

Ministère de la Recherche Scientifique et
Technique (MIREST)
INSTITUT DE LA RECHERCHE
AGRONOMIQUE (IRA)
CAMEROUN

Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur
(MRES)
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION (ORSTOM)
CENTRE L.EMBERGER. CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)
FRANCE

Commission des Communautés Européennes
Contrat TS20077M(CD)

Réhabilitation et Utilisation des Terres Marginales au Nôrd-Cameroun

Rapport final

juin 1993

IRA
Donfack P.
Moukouri-Kuoh H.
Mainam F.
Oumar H.
Seyni Boukar L.

ORSTOM
Masse D.
Pontanier R.
Velche J.P.

Centre L.Emberger
Floret C.

22 OCT. 1993

| _____ |

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	11
INTRODUCTION.....	1
2. LES FACTEURS REGIONAUX DU MILIEU.....	3
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES REGIONS CONSIDEREES.....	3
2.2. LES CONDITIONS CLIMATIQUES.....	3
2.2.1. La pluviosité.....	6
2.2.2. Les températures.....	8
2.2.3. Les vents.....	8
2.3. DYNAMIQUE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES.....	9
2.3.1. Les principaux types de sols.....	9
2.3.2. Erosion et dégradation des sols.....	9
2.3.3. Disponibilité en eau et utilisation des sols.....	10
2.4. LA VEGETATION.....	12
2.4.1. Les prairies périodiquement inondées.....	12
2.4.2. Les zones d'imbrication entre les prairies périodiquement inondées et les steppes à épineux.....	12
2.4.3. Les savanes à épineux.....	13
2.5. LES HOMMES ET LEURS ACTIVITES.....	13
2.5.1. Caractéristiques de la population.....	13
2.5.2. L'agriculture.....	14
2.5.3. L'élevage.....	15
2.5.4. La cueillette.....	15
2.5.4.1. Les produits alimentaires.....	15
2.5.4.2. Les produits technologiques et le bois de feu.....	16
3. AMELIORATION DU REGIME HYDRIQUE DES TERRES MARGINALES.....	17
3.1 INTRODUCTION.....	17
3.2 LES PRATIQUES TESTEES ET LE PROTOCOLE D'ETUDE.....	18
3.2.1 Les aménagements testés et le plan expérimental.....	18
3.2.1.1 Les aménagements testés.....	18
Le pitting ou trouaison.....	19
Les bandes alternées et le microcatchment.....	19
Les casiers.....	19
3.2.1.2 Le choix des sites expérimentaux.....	19
Les sols "hardés".....	21
Les vertisols dégradés.....	21
3.2.1.3 Les parcelles expérimentales et les techniques culturales appliquées.....	21
3.2.1.3.1 Les parcelles expérimentales sur les sols "hardés".....	22
3.2.1.3.2 La mise en culture des vertisols dégradés.....	22
Parcelles expérimentales avec mise en culture de saison des pluies sur vertisols dégradés.....	23
Parcelles expérimentales avec mise en culture de contre-saison sur vertisols dégradés.....	23
3.2.2 Indicateurs suivis.....	24
3.2.2.1 Mesures de l'humidité du sol par la méthode neutronique.....	24

Plan d'installation des tubes d'accès de sonde à neutrons	25
3.2.2.2 Suivi de la végétation spontanée et des cultures	26
3.2.2.2.1 Suivi de la végétation spontanée des sols "hardés" en voie d'amélioration	26
3.2.2.2.2 Suivi des cultures sur vertisol dégradé	26
Suivi du sorgho de saison des pluies	27
Suivi du sorgho de contre-saison	27
3.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS	28
3.3.1 Amélioration du régime hydrique des sols "hardés"	28
3.3.1.1 Evolution des réserves hydriques totales	28
3.3.1.2 Impact sur le développement de la végétation	30
3.3.1.3 Evolution de la matière organique	33
3.3.1.4 Discussion sur le fonctionnement des différents aménagements sur sols "hardés"	34
3.3.2 Amélioration du régime hydrique sur vertisols dégradés	36
3.3.2.1 Misc en culture de saison des pluies	36
3.3.2.1.1 Evolution des réserves hydriques totales et disponibles	36
3.3.2.1.2 Comportement comparée d'une culture de sorgho de saison des pluies ("djigaari")	38
3.3.2.1.3 Conclusions sur l'efficacité des traitements en condition de saisons des pluies	42
3.3.2.2 Misc en culture de contre-saison	42
3.3.2.2.1 Evolution des réserves hydriques totales et disponibles	42
3.3.2.2.2 Comportement comparée d'une culture de contre-saison ("muskwaari")	44
3.3.2.2.3 Conclusions sur l'efficacité des traitements en culture de contre-saison	46
3.4 EVALUATION DE LA FLUCTUATION INTERANNUELLE DE LA BIOMASSE AERIENNE DES ESPECES HERBACEES SUR VERTISOL DEGRADE	47
3.4.1 But de l'étude	47
3.4.2 Méthode utilisée	47
3.4.3 Résultats	47
3.4.3.1 Année 1990	47
3.4.3.2 Année 1991	50
3.4.3.3 Evolution des ligneux sous l'effet de la protection	50
4. RECONSTITUTION DE LA VEGETATION NATURELLE APRES ABANDON CULTURAL	52
4.1 INTRODUCTION	52
4.2 LES SITES ETUDIEES	53
4.2.1 Dans la zone sahélo-soudanienne (500 à 700 mm)	53
4.2.2 Dans la zone soudano-sahélienne (700 à 800 mm)	53
4.3 ETUDE DE LA SUCCESSION POST-CULTURALE	53
4.3.1 Introduction : principe général	53
4.3.2 Méthodes	56
4.3.2.1 Approche diachronique : étude de l'évolution de la végétation des premiers stades de l'abandon	56
4.3.2.2 Approche synchronique : étude de la succession post-culturale	57
4.3.2.2.1 Principe de la méthode	57
4.3.2.2.2 Méthodes des relevés	57
4.3.2.2.3 Echantillonnage : âge de la parcelle et type de milieu édaphique	58

4.3.2.2.4 Traitement et interprétation des données	58
Importance écologique des variables échantillonnées	59
Valeur indicatrice des espèces	60
4.3.3 Résultats	60
4.3.3.1 Relations sol-végétation	60
4.3.3.2 Evolution de la végétation lors des premiers stades de la reconstitution	65
4.3.3.3 Modification de la composition floristique	65
4.3.3.4 Végétation et âge de la jachère	66
4.3.3.5 Conclusions	67
4.4 DYNAMIQUE DE LA STRATE LIGNEUSE	70
4.4.1 Introduction	70
4.4.2 Datation des friches par comptage des cernes de croissance sur les ligneux	70
4.4.2.1 Méthode	70
4.4.2.2 Résultats	71
4.4.3 Etude de la dynamique des populations de ligneux	71
4.4.3.1 Méthode	71
4.4.3.2 Résultats	73
4.4.3.2.1 Composition et richesse floristiques en espèces ligneuses et leur évolution dans les principaux milieux étudiés	73
4.4.3.2.2 Evolution de la démographie et de la structure	74
4.4.3.2.2.1 Evolution de la densité des peuplements des espèces ligneuses	74
4.4.3.2.2.2 Répartition des brins par classes de hauteur	76
4.4.3.2.3 Dynamique des espèces	76
4.4.3.2.4 Mode d'installation des espèces ligneuses	80
4.5 EVALUATION DU STOCK DE GRAINES DANS LE SOL	80
4.5.1 But	80
4.5.2 Principe de la méthode	81
4.5.3 Evolution du stock de graines au cours du suivi	81
4.5.4 Evolution de la composition du stock de graines avec l'âge d'abandon de la parcelle	81
4.5.5 Conclusion	82
4.6 DISCUSSIONS SUR LA RECONSTITUTION DE LA VEGETATION NATURELLE APRES ABANDON CULTURAL	82
4.6.1 Mécanismes de la reconstitution	82
La flore adventice et les premiers stades de l'abandon	82
La succession post-culturelle	83
4.6.2 Dynamique des ligneux	87
4.6.3 Conséquences de la pression anthropique	88
4.6.4 Modèles pour la reconstitution de la végétation	89
4.6.4.1 Compatibilité des résultats avec les modèles relatifs à la succession	89
4.6.4.2 Temps de jachère et perturbations anthropiques : discussion sur un modèle	94
4.6.5 Conséquences du raccourcissement du temps de jachère pour la végétation	96
CONCLUSION GENERALE	98
BIBLIOGRAPHIE	106

INTRODUCTION

Le projet intitulé "Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun" a fait l'objet du contrat n° TS2A/0077M(CD), signé entre la DG XII de la Commission des Communautés Européennes (CCE), l'Institut de la Recherche Agronomique (IRA) et le département Milieux et Activités Agricoles (MAA) de l'ORSTOM associé au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE) du CNRS (Montpellier). Les activités du programme ont duré de janvier 1989 à juin 1993. Le présent rapport est la synthèse scientifique et technique des différentes recherches réalisées pendant projet.

Suite à trois années de recherche dans un programme "Erosion et bilan hydrique des sols du Nord-Cameroun", initiée par l'IRA, l'IRGM et l'ORSTOM, un contrat de renforcement était entrepris en 1985 avec la CEE (n° TSD/A/216/CAM(S)), intitulé "Utilisation et conservation des ressources en sols et en eaux dans le Nord-Cameroun".

Ce projet avait été réalisé conjointement par le Centre National des Sols (IRA), le Centre de Recherche Hydrologique (IRGM), l'ORSTOM, et le CEPE (CNRS Montpellier).

Les zones concernées par ces études ont été principalement la plaine du Diamaré et ses bordures, où la pluviosité moyenne annuelle est de 650 mm à 750 mm, ainsi qu'un secteur des monts Mandara bordant l'ouest de la plaine, où la pluviosité est supérieure (800 à 1000 mm), l'ensemble étant situé dans la province de l'Extrême-Nord du Cameroun.

Dans une situation de déséquilibre biologique liée à la surexploitation du milieu naturel et en vue d'une meilleure utilisation des ressources en eau, en sol et en végétation, ce premier projet de recherche a visé à renforcer et initier un certain nombre d'actions concernant la dynamique de l'eau à l'interface sol-plante-atmosphère et à préciser le processus de dégradation et éventuellement de régénération des sols de la végétation naturelle.

C'est ainsi qu'ont été menées des études dont les principaux résultats sont (CEE, 1988) :

- la cartographie des systèmes écologiques d'une zone test (bassin versant de Mouda), réalisée au 1/21 000 ème, caractérisant 15 systèmes écologiques en trois secteurs. Ceci a été le point de départ d'une réflexion sur les aspects dynamiques concernant la dégradation des sols et du couvert végétal. Les indices de dégradation de la végétation sont l'augmentation des épineux, la diminution des graminées pérennes, de la biomasse et de la diversité spécifique. On a pu observer ceci sur les sols fersiallitiques et ferrugineux, que l'on a montré susceptibles de retrouver un potentiel et une physionomie comparables à ceux des réserves forestières de la région. Par contre sur les glacis vertisoliques, certaines zones fortement dégradées ("hardés") ont atteint des seuils d'irréversibilité dans la dégradation des caractéristiques physico-hydriques et de la végétation ;
- le cycle de vie des espèces végétales spontanées en relation avec le partage de la ressource hydrique des sols. L'analyse phénologique a permis de mettre en évidence différentes réponses face aux perturbations intenses (climatiques et anthropiques) : conservation des feuilles et cycle reproductif en saison sèche ou en saison des pluies. La végétation herbacée est considérablement appauvrie et se limite à une dominance exclusive d'annuelles,

conséquences du surpâturage et de la mise en culture qui font disparaître les herbacées pérennes. Les ligneux et herbacées sont donc en compétition pour la ressource hydrique, puisqu'ils exploitent principalement la même profondeur de sol : 20 à 25 cm pour les sols "hardés" et 40 cm pour les vertisols. Pour les sols ferrugineux, il existe une alimentation des arbres à partir des horizons profonds ;

- la caractérisation et la quantification à différente échelle du ruissellement ont été déterminées. L'état de la végétation et l'activité mésofaunique ne sont influants sur le ruissellement qu'en fin de saison des pluies, lorsque le recouvrement par les herbacées est d'au moins 30 % sur micro-bassin et de 25 % sur grande parcelle. Le couvert végétal a un rôle prépondérant sur l'érosion. Les mesures ont donné des valeurs de l'ordre de 11 à 17 t/ha/an sur micro-bassin et de 5,2 t/ha/an sur bassin représentatif.

Suite à ce projet, un nouveau contrat a été signé en 1989 entre la CEE, l'IRA et l'ORSTOM associé au CEPE/CNRS, permettant l'exploitation des principales connaissances acquises.

Ce nouveau projet s'intitule "Réhabilitation et Utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun"

Il s'agit dans ce projet de proposer et d'éprouver, en conditions contrôlées un certain nombre d'actions réalisables par le paysan qui visent à régulariser les productions agricoles et pastorales des terres marginales du Nord-Cameroun étudiées lors de la phase précédente.

Dans cette optique deux thèmes ont été abordés :

- (i) l'amélioration du bilan d'eau des sols sur ces terres cultivées sporadiquement. Notre but est, d'une part de proposer des techniques et des solutions visant à régulariser les disponibilités en eau pour les cultures (augmentation de l'infiltration, supplémentation par ruissellement, limitation du ruissellement et de l'évaporation sur la parcelle), d'autre part de rechercher l'adéquation entre le calendrier des disponibilités en eau du sol et les cycles végétatifs des variétés cultivées. Les pratiques culturales et les petits aménagements hydro-agricoles (diguettes, billons, impluvium, etc...) ainsi que le niveau d'intervention réalisable par le paysan sont privilégiés. Cette amélioration du bilan d'eau a concerné aussi des essais de remontée biologique des vertisols les plus dégradés ("hardés") dont l'homme a abandonné depuis longtemps la culture à cause d'un dysfonctionnement hydrique très prononcé ;
- (ii) l'étude de la reconstitution de la végétation naturelle, après abandon cultural, sur les principaux sols de la région (vertisols et sols ferrugineux). Une réflexion a été menée sur la durée optimale d'abandon, selon les types de milieux (systèmes écologiques) pour une bonne utilisation des ressources naturelles renouvelables, dans un système qui connaît une forte pression par l'accroissement des surfaces cultivées.

Le projet avait également comme objectif la formation de scientifiques et de techniciens dans les domaines de la science du sol et de l'écologie végétale.

Le programme de recherche mis à sa place a débuté en 1989. Le présent rapport en présente les résultats. On présentera d'abord rapidement les conditions régionales de l'étude afin de rendre compte de sa représentativité.

On s'intéressera ensuite au volet concernant l'amélioration du régime hydrique des terres marginales, puis on donnera les résultats concernant la reconstitution de la végétation naturelle après abandon de la culture. Enfin la conclusion sera centrée sur les applications pratiques que l'on peut tirer des recherches entreprises.

2. LES FACTEURS REGIONAUX DU MILIEU

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES REGIONS CONSIDEREES

La région dénommée Nord Cameroun couvre les territoires situés entre le sixième et le treizième degré de latitude nord. Elle s'étend du plateau de l'Adamawa au Lac Tchad et représente 35% du territoire national. Administrativement, le Nord Cameroun couvre du sud au nord, les provinces de l'Adamaoua, du Nord et de l'Extrême-Nord.

La zone d'étude est rattachée à la province de l'Extrême-Nord. Elle est située entre le dixième et le douzième degré de latitude nord. Les travaux ont été conduits en grande partie dans la plaine du Diamaré (Région de Maroua). Cette plaine fait transition entre la vallée de la Bénoué et la cuvette tchadienne (figure 1). Cette région, en général très plate, présente cependant des massifs granito-gneissiques et vulcano-sédimentaires, isolés, dont les altitudes sont parfois assez importantes (cf. pic de Mindif culminant à 707 m). A l'ouest, la plaine est dominée par les Monts Mandara dont l'altitude est supérieure à 1000 m.

2.2. LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Du sud au nord, le Cameroun s'étend sur un gradient de 11 degrés en latitude. Il est soumis à deux principaux climats (OLIVRY, 1986) dont la limite correspond au cinquième parallèle nord. Au sud de cette ligne règne un climat équatorial à quatre saisons. Au nord, c'est le climat tropical. Tout le Nord Cameroun appartient à ce climat tropical à deux saisons plus ou moins contrastées : une saison des pluies qui dure 3 à 6 mois et une saison sèche qui prend le reste de l'année.

Les auteurs ne sont toujours pas d'accord sur la classification climatologique du Nord Cameroun (GENIEUX, 1958 ; TROCHAIN, 1980 *etc.*). Cette région a été en effet divisée selon LETOUZEY (1968) en trois domaines climatiques : le domaine soudanien, le domaine soudano-sahélien et le domaine sahélien. SUCHEL (1972) et OLIVRY (1986) distinguent quant à eux sur l'ensemble du Nord Cameroun géographique quatre zones climatiques :

- une zone soudanienne à tendance humide ;
- une zone soudanienne franche ;
- une zone soudanienne à tendance sèche ;
- une zone sahélienne.

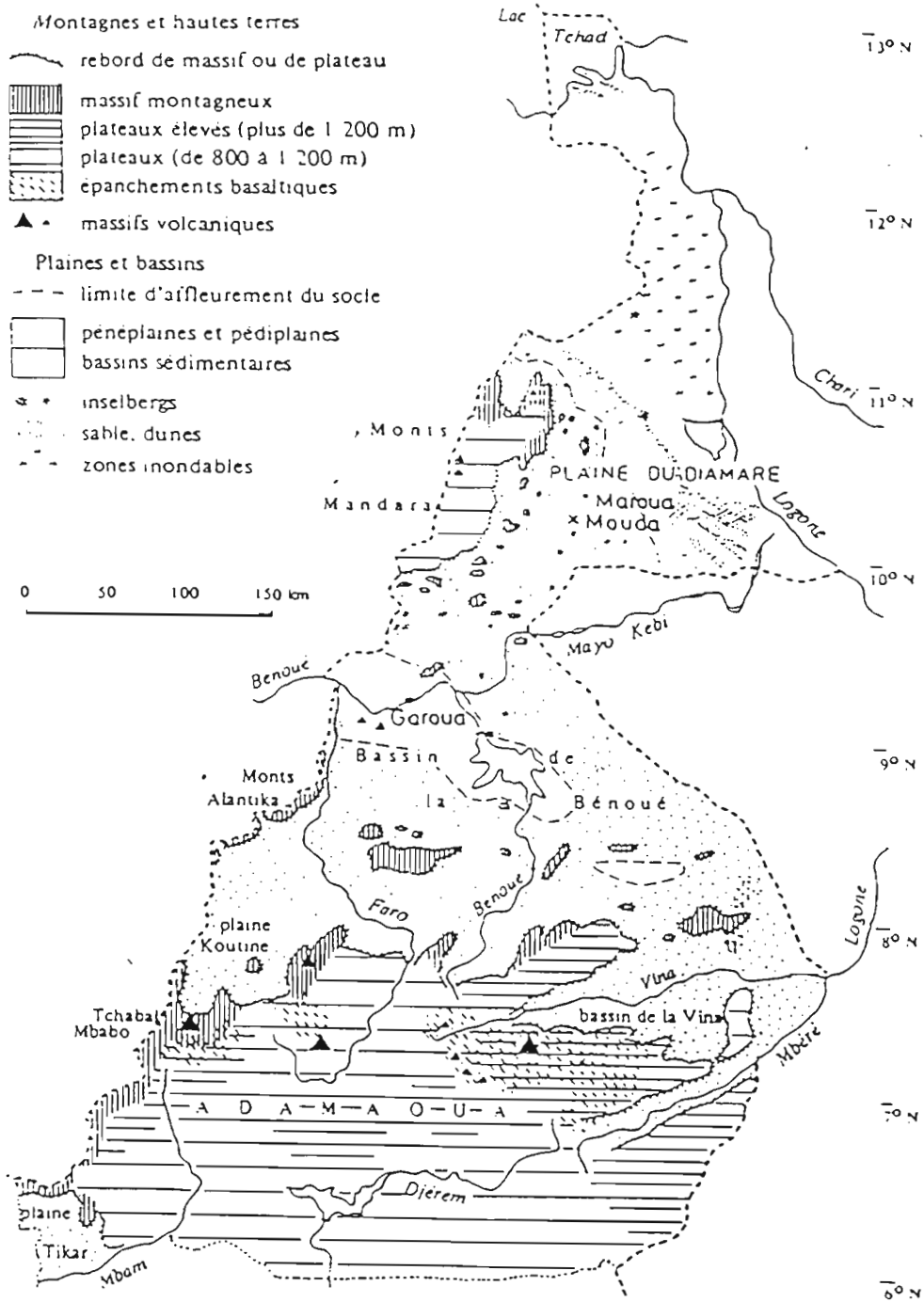
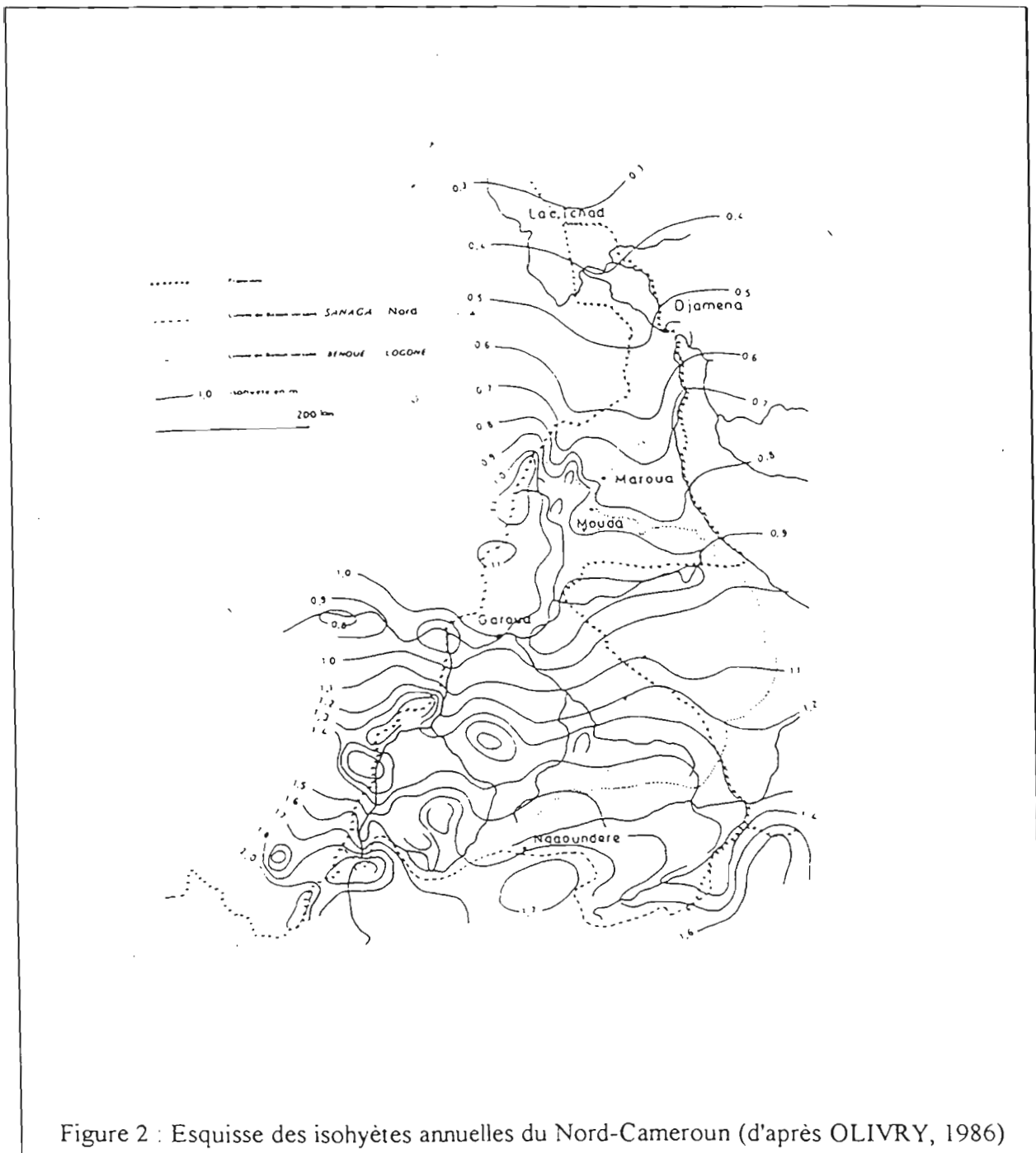


Figure 1 : Situation géographique du Nord-Cameroun et les grands traits du relief (d'après ROUPSARD, 1987)

La zone d'étude se situe entre la seconde et la quatrième zone c'est-à-dire dans le domaine soudano-sahélien de LETOUZEY (1968). Les massifs qui s'étendent en altitude, influencent largement cette répartition. Par exemple les Monts Mandara introduisent dans leur zone d'influence, un climat de type soudanien. Pour AUBREVILLE (1949) par contre, le climat typiquement sahélien s'étend au nord du dixième parallèle, entre Maroua et N'Djamena alors que pour TROCHAIN et PITOT (1951) le domaine sahélien est représenté au Cameroun par un petit secteur sahélo-soudanien (MONOD, 1957). TROCHAIN et PITOT rejoignent ainsi la plupart des spécialistes qui fixent la limite sud de la zone sahélienne aux environs de l'isohyète annuel moyen 600 mm correspondant à la limite nord de la distribution des espèces



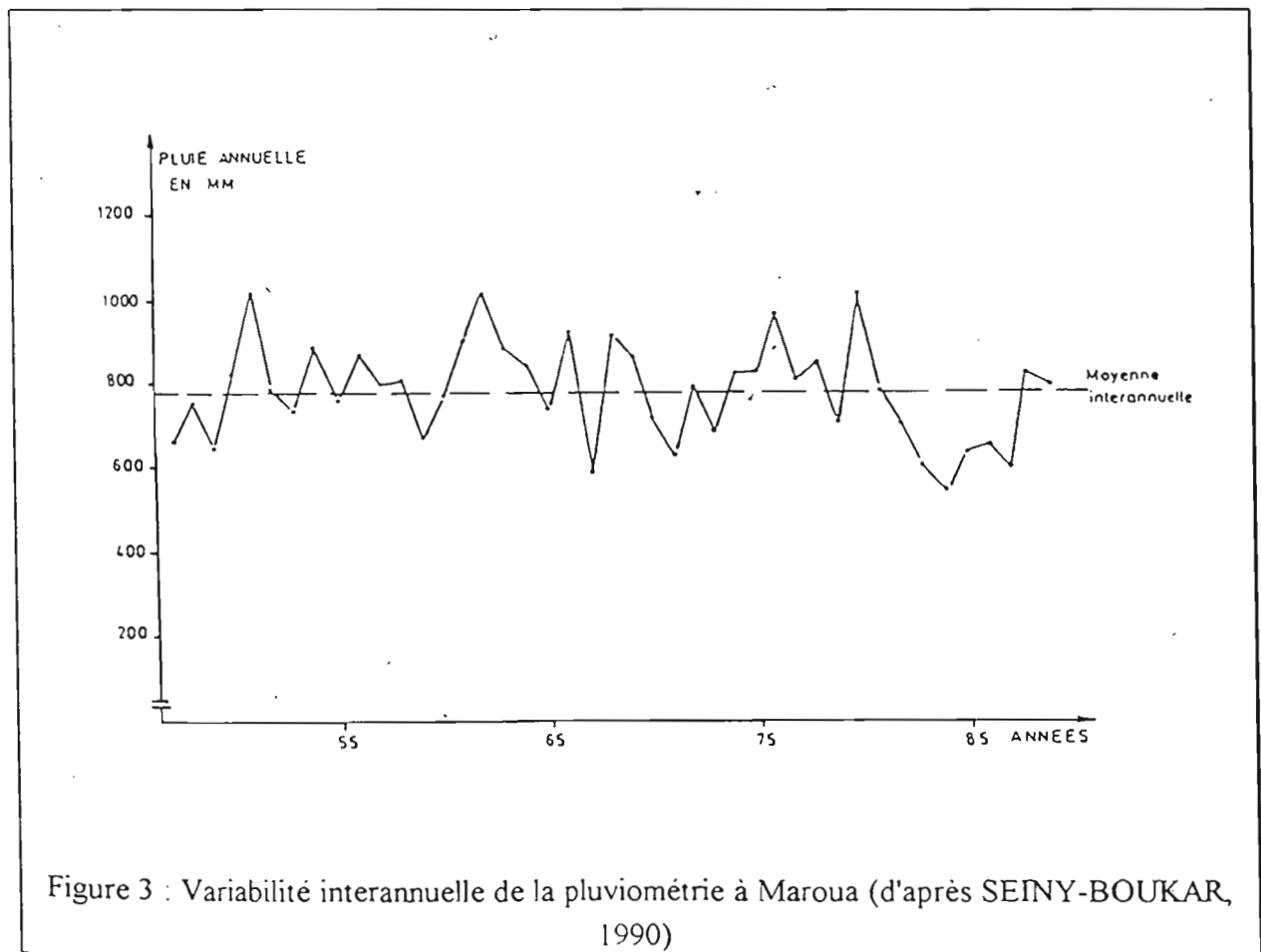
végétales soudaniennes (LE HOUEROU, 1989) (figure 2).

Les caractéristiques climatiques de la région sont décrites ici principalement sur la base des données de deux stations météorologiques : Maroua-Agro et Maroua-Salak. La dernière station est située à environ 10 Km du bassin versant de Mouda. Ces données sont complétées par des données pluviométriques récoltées par des pluviomètres installés sur ce bassin.

La zone d'étude est caractérisée par deux saisons fortement contrastées : une saison sèche qui dure plus de 7 mois, avec 5 mois à pluviosité nulle ; et une courte saison pluvieuse qui concentre 57% de la pluviosité totale sur deux mois (Juillet et Août). La pluviosité annuelle est comprise entre 600 mm et 1000 mm.

2.2.1. La pluviosité

Des données provenant des stations météorologiques de Maroua-Agro et Maroua-Salak, et synthétisées dans plusieurs publications SUCHEL (1972) ; OLIVRY (1986) ; PONTANIER et al.(1984) ; THEBE (1987) ; CCE (1988) ; SEGHERI (1990) ; SEINY BOUKAR (1990) ; MASSE (1992), *etc.*, il ressort que la pluviosité moyenne annuelle de la région de Maroua s'élève à environ 800 mm. L'un des traits caractéristiques de cette pluviométrie c'est sa variabilité interannuelle. Le graphique de la figure 3 montre l'évolution des précipitations annuelles depuis plus de 40 ans. Il se dégage clairement de cette figure, l'existence d'années



particulièrement arrosées, avec plus de 1000 mm de pluie (1952, 1962, 1980 *etc.*) ; et des années très peu arrosées avec environ 600 mm de pluie seulement (1967, 1983, 1987,...).

Compte tenu de la moyenne annuelle des précipitations, le caractère sec de la région tient davantage à la longueur de la saison sèche, et à l'irrégularité des précipitations qu'au total des pluies précipitées annuellement. Comme annoncé plus haut, les mois de Juillet et Août concentrent plus de la moitié des précipitations annuelles. On observe au moins une pluie journalière supérieure ou égale à 65 mm tous les ans et légèrement supérieure à 100 mm tous les 10 ans (SEINY BOUKAR 1990). L'illustration la plus spectaculaire de ceci, est la pluie de 183 mm enregistrée à la station de Maroua Djarengol le 12 Août 1991. Notons enfin la variabilité des hauteurs des pluies précipitées en début et fin de saison des pluies, ainsi que l'irrégularité dans la répartition spatiale des pluies. Ajoutées aux autres irrégularités à l'intérieur des années, ces variations jouent un rôle déterminant dans la mise en culture des jachères ou dans l'abandon des cultures.

Pluviosité des années d'étude

Dans le tableau 1, sont présentés les pluviosités décadaires des années 1989 à 1992 relevées sur les sites expérimentaux sols "hardés" et vertisols dégradés.

Années		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total annuel
1989	SH				30	96	205.7	188.2	167.2	123.5	18			828.5
	VD				30	91.5	182.5	164.5	144.5	117.1	19			747.8
	NP				0 0 2	1 0 4	3 5 3	4 5 5	5 3 5	4 2 0	2 1 0			53
1990	SH				39	41.6	243	187	213	48	33	8		812.6
	VD				39	48.6	275	186.5	185.5	54.5	20.8			817.1
	NP				0 1 2	3 1 4	1 4 4	3 4 3	5 5 3	4 3 1	2 0 1	1 0 0		53
1991	SH				16	138	117	180	369	125	27			972
	VD				20	135	120	189	363	46	25			915
	NP				1 2 2	2 3 5	2 3 4	4 6 4	7 3 5	2 0 2	3 0 2			62
1992	SH				27	58	101	237	326	169.5				908.5
	VD				25	65	107.5	225.5	271	205.5				899.5
	NP				1 0 0	1 3 2	2 5 4	5 3 5	3 3 4	5 4 1				51
SALAK	Q1			0.7	34.7	74.8	171.9	242.1	265.3	185.4	40.4			1015.3
	M			3.7	20.6	62.9	134.3	215.4	241.3	156.9	30.7	0.35		866.1
	Q2			0	5.7	32.5	85.3	159.4	192.8	127.5	5.3			608.5

SH : Sols "Hardés" VD : Vertisols Dégradés NP : Nombre de jours de pluie

Q1 et Q2 : 1er et 2ème quartile M : Moyenne

Tableau 1 : Pluviosité et nombre de jours de pluie par MOIS en 1989, 1990, 1991 et 1992, comparée à la moyenne de la station de Salak-Aéroport (d'après OLIVRY, 1986)

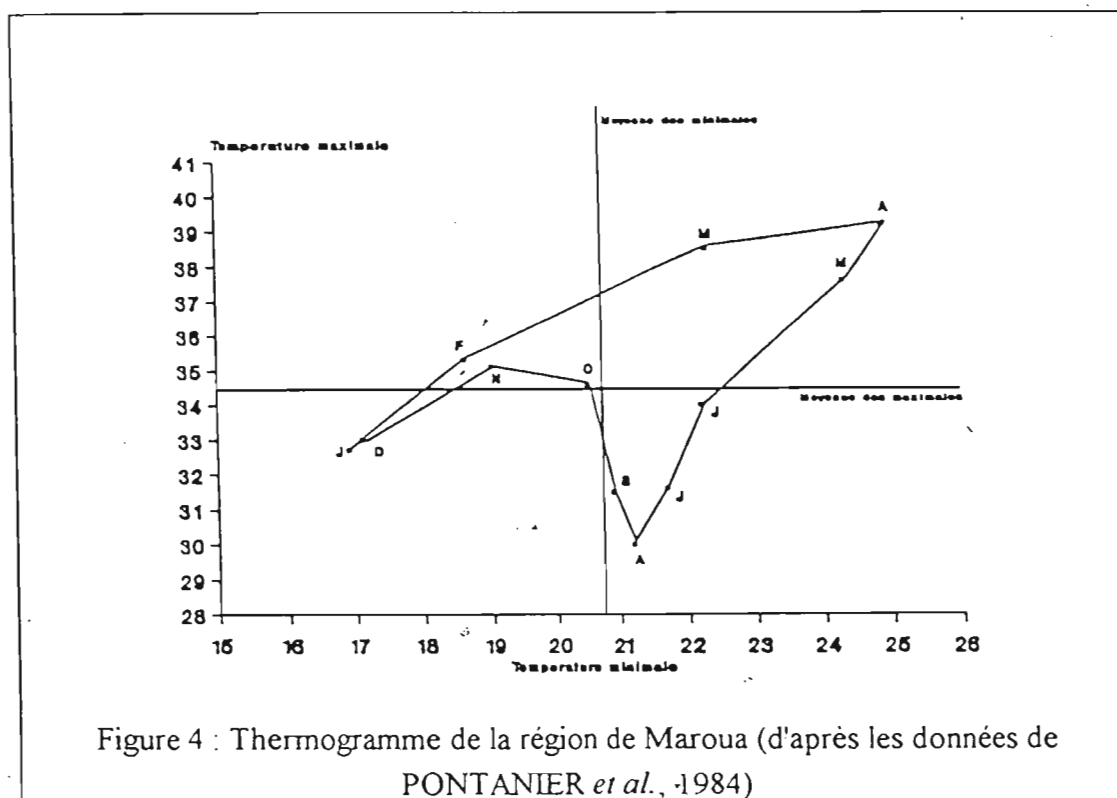
La pluviosité des années 1989 et 1990 apparaît plutôt déficitaire, alors que les années 1991 et 1992 sont excédentaires.

Mise à part l'année 1992, les pluies ont eu tendance à s'arrêter précocement au mois de septembre limitant la durée de la saison des pluies et affectant la maturation des productions céréalières, surtout en 1991 qui fut pourtant une année très pluvieuse. En 1990, apparaît

également un déficit marqué en milieu de saison des pluies (3ème décade de juillet et 1ère du mois d'août) (IRA-CNS , 1990).

2.2.2. Les températures

Le thermogramme de la figure 4 illustre les variations des températures maximales et minimales de la région de Maroua. Les points représentant pour le mois les valeurs des



températures maximum et minimum sont joints dans l'ordre des mois.

Cette figure permet de diviser l'année en 3 périodes :

- une saison chaude, pendant laquelle les températures maximales et minimales sont supérieures aux moyennes annuelles ; elle va de mars à mai ;
- une saison pendant laquelle les températures maximales diminuent et deviennent inférieures à la moyenne annuelle (juin, juillet, août et septembre) ; il s'agit de la saison des pluies ;
- une saison fraîche au cours de laquelle les températures maximales et les minimales mensuelles sont voisines ou inférieures aux moyennes annuelles. Elle englobe la période d'octobre à février, avec les mois de décembre et de janvier particulièrement froids.

Le régime thermique est caractérisé par des températures maximales toujours supérieures à 30°C. Pendant les mois les plus froids, les écarts sont parfois importants.

2.2.3. Les vents

Le vent dominant, durant la saison sèche, est l'harmattan. Très desséchant, il est particulièrement actif au cours de la période sèche.

2.3. DYNAMIQUE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES

Les caractéristiques du milieu naturel apparaissent très diverses, ce qui se traduit par l'extrême hétérogénéité du milieu physique. Dans cette région, apparaît, en effet, la juxtaposition des trois grands ensembles morphologiques du Nord-Cameroun ; les montagnes et plateaux cristallins et volcaniques des monts Mandara, les surfaces horizontales des pénéplaines, et les plaines sédimentaires de la cuvette tchadienne (ROUPSARD, 1987).

2.3.1. Les principaux types de sols

Les sols de cette province ont été étudiés à l'occasion d'études pédologiques à l'échelle 1/100000 (SEGALEN 1962 ; SIEFFERMANN 1963 ; MARTIN 1963 ; SEGALEN et VALLERIE 1963 ; BARBERY *et al.*, 1980), ou de synthèse (BRABANT et GAVAUD 1985). Ils présentent une grande diversité ; la classe des sols à sesquioxides est considérée comme le faciès climacique régional, bien que ceux-ci n'occupent pas les surfaces les plus importantes (HUMBEL, 1965).

En reprenant la synthèse de SÉINY BOUKAR (1990), on constate que les sols sont répartis dans cinq types de paysages :

- 1- *les sols squelettiques des paysages montagnards* ; sols peu épais, lithosols et régosols plus ou moins lessivés à faciès variés (fersiallitiques et ferrugineux, localement à caractères vertiques) ;
- 2- *les sols évolués des pédiments et glacis d'altération situés dans un paysage au relief adouci (pentes < 5 %)* ; sols ferrugineux peu ou très différenciés, lessivés tropicaux, planosols à cuirasse résiduelle, planosols solodiques et solonetz, sols fersiallitiques rouges et bruns sur matériaux basiques (andésites, diabases...) et vertisols à faciès calcique ;
- 3- *les sols peu évolués des glacis colluviaux* ; sols peu évolués d'apport colluvial, modaux à faciès fréquemment lessivé, vertisols et sols ferrugineux tropicaux, ravinés sur les glacis terrasses ;
- 4- *les sols exondés des alluvions anciennes* ; sols peu évolués, d'apport éolien, lacustre ou alluvial, sols peu différenciés, et un ensemble de sols dégradés (sols lessivés, planosols et solonetz présentant souvent des caractères d'hydromorphie).
- 5- *les sols des alluvions récentes et actuelles* ; sols peu évolués sur apport sableux fins micacés et alluviaux, parfois éoliens, hydromorphes ou halomorphes, et des sols hydromorphes minéraux à argiles gonflantes de type 2:1.

Les sols qui font l'objet de notre étude sont les vertisols, formés sur les glacis colluviaux. Nous reviendrons ultérieurement sur leur description spécifique.

2.3.2. Erosion et dégradation des sols.

Selon BRABANT et GAVAUD (1985), l'érosion fait courir des risques à court terme pour les sols. Elle entraîne un déséquilibre entre la pédogénèse et la morphogénèse au profit de cette dernière. Deux phénomènes, liés à l'érosion, se distinguent, d'une part la dégradation des sols et d'autre part l'érosion mécanique.

La dégradation des sols consiste, plus précisément, en une modification des propriétés physiques des horizons supérieurs du sol sans obligatoirement entraînement mécanique apparent. Les conséquences en sont une perte de structure, la formation d'une couche battante

en surface, une réduction de la perméabilité, une augmentation de la compacité, le manque d'aération, la limitation de l'enracinement. On assiste alors à un dérèglement du régime hydrique du sol et l'apparition d'un pédoclimat présentant une aridité accentuée (GAVAUD, 1971 ; FLORET et PONTANIER, 1984 ; BRABANT et GAVAUD, 1985 ; SEINY BOUKAR, 1990). Beaucoup de sols peuvent subir cette dégradation, seuls les sols très sableux et très perméables ou les sols très structurés (sols fersiallitiques par exemple) sont peu sujets à ces phénomènes. A cette dégradation, font suite en général des processus d'érosion mécanique des sols.

L'érosion mécanique implique un entraînement des substances solides par les eaux de ruissellement. Les glacis colluviaux y sont sensibles, à cause de leur modelé et des pentes qui accélèrent le ruissellement. Les pertes en terre sont par contre très réduites dans les grandes plaines sédimentaires. Les sols formés sur les pédiments du socle granito-gneissique ont déjà une faible épaisseur par nature et l'érosion hydrique peut provoquer un décapage jusqu'à la roche mère : c'est le cas notamment sur certains secteurs des monts Mandara et de leur piémont. D'autres manifestations spectaculaires se rencontrent sur les formations argileuses ou sablo-argileuses compactes, où l'on note de grandes surfaces décapées voire de véritables ravins profonds de plusieurs mètres (région de Kaélé).

Les causes de l'érosion et de la dégradation sont souvent liées aux propriétés intrinsèques des sols et de leur environnement pédogénétique, mais aussi aux problèmes de surexploitation du milieu par l'homme : déboisement, feux, pâturages intensifs, ou autres pratiques culturales. Les sols mis à nu sont alors soumis à l'agressivité des fortes pluies du début de saison pluvieuse (BRABANT et GAVAUD, 1985).

2.3.3. Disponibilité en eau et utilisation des sols.

Dans les zones arides et semi-arides, l'utilisation des sols est fortement conditionnée par la disponibilité en eau du sol ; ce facteur explique environ 50 % des fluctuations actuelles de la productivité et des potentialités agricoles (SICOT, 1989).

Cette disponibilité est fonction de la pluviosité; des propriétés physico-chimiques intrinsèques du sol et des caractéristiques pédo-climatiques définies par les quantités d'eau qui s'infiltrent et participent à la recharge du stock hydrique (CASENAVE et VALENTIN, 1989).

A partir des critères de différenciation physico-hydrrique des sols, définis par FLORET et PONTANIER (1982), à savoir la profondeur humectée, l'importance des réserves en eau totale et des réserves en eau disponible pour les végétaux, FLORET *et al.* (1991) regroupent les types de sols du Nord-Cameroun en deux classes distinctes ; *les sols argileux de la famille vertisolique* et *les sols ferrugineux à dominance sableuse*.

La profondeur d'humectation est superficielle dans les sols argileux (40-50 cm) légèrement plus importante sur les vertisols modaux du fait de la présence des fentes de retrait, qui favorisent la pénétration des pluies (jusqu'à 70 cm). A l'opposé les sols ferrugineux s'humectent sur des profondeurs dépassant généralement les 150 cm.

En ce qui concerne les réserves maximales en eau disponible (Rd max), celles-ci sont 2 à 3 fois plus importantes dans les 40 premiers centimètres pour les vertisols modaux. Par contre,

ces réserves sont équivalentes pour les 2 types de sols pour la tranche 0-80 cm, où elles atteignent en moyenne 60 mm ; les sols ferrugineux présentent un transfert plus important de l'eau par drainage en profondeur.

Les capacités de stockage potentielles sont cependant plus importantes sur les sols argileux, de 1,5 à 2,3 mm/cm suivant les faciès, par rapport aux sols ferrugineux (1 mm/cm).

Globalement les périodes de disponibilité de l'eau pour les horizons superficiels 0-80 cm sont en moyenne plus tardives, mais plus importantes et plus durables sur les sols vertisoliques que sur les sols ferrugineux sableux, lesquels sont caractérisés par une disponibilité d'eau précoce mais de courte durée ; cette disponibilité est peu importante et instable surtout en début et en fin de saison des pluies.

Ces fonctionnements hydriques influent non seulement sur le comportement des végétaux en milieu naturel mais aussi sur la conception des itinéraires culturaux pratiqués par les agriculteurs, ainsi que sur l'exploitation pastorale de l'environnement.

Pour les vertisols modaux, la faible profondeur humectée crée une compétition pour l'eau entre les ligneux et les herbacées. Par contre, sur les sols ferrugineux, la redistribution verticale profonde de l'eau permet une complémentarité entre les deux types végétatifs, grâce à la stratification de l'exploitation racinaire (SEGHIERI, 1990). Ceci aboutit à une complexité des différents systèmes phyto-écologiques, liée également à une forte anthropisation du milieu (LETOUZEY, 1985).

Concernant la production agricole, les agriculteurs ont mis au point toute une stratégie pour limiter les risques de perte des récoltes, lesquelles sont fortement influencées par les disponibilités en eau "erratiques" que présentent notamment les sols ferrugineux sableux, principaux sols exploités pour la production de céréales (sorgho, mil,...). Les techniques culturales, exclusivement manuelles, sont adaptées à la mise en valeur agricole de grands espaces dans un contexte d'aléas climatiques (MILLEVILLE, 1989)(1).

Sur les sols argileux de la famille vertisolique, la culture de contre-saison constitue de vastes îlots de verdure persistante pendant la saison sèche. Cette production particulière profite des disponibilités qui se maintiennent au delà de la fin des pluies ; elle permet la mise en valeur de sols parfois inondés pendant la saison pluvieuse. Nous reviendrons ultérieurement sur cette culture.

Il faut également citer l'utilisation des sols dans les zones de montagnes, qui constitue un bel exemple d'intensification (BOUTRAIS *et al.*, 1984). L'exploitation des Monts Mandara est basée sur l'emploi de mesures antiérosives très strictes. L'édification de terrasses soutenues par des petits murets de pierres autorise la mise en culture de versants très abrupts. C'est une véritable leçon de conservation des ressources en eau et en sol. Bien qu'efficaces, ces systèmes de production n'en sont pas moins très fragiles, les terrasses demandent un entretien constant sous peine de voir apparaître une érosion intense (BOUTRAIS *et al.*, 1984 ; CEE, 1988 ; SEINY BOUKAR, 1990).

(1) Le délai entre la fin d'une pluie et le semis est ainsi extrêmement court, ce qui limite en partie les risques d'échec de mise en place de la culture.

2.4. LA VEGETATION

Une description de la végétation de la région est donnée dans quelques travaux (CCE, 1988 ; SEGHERI, 1990 ; DONFACK, 1991, *etc.*). Les lignes suivantes complètent cette description. L'unité phytogéographique comprise entre le Lac Tchad et la côte 800 m des pentes méridionales du plateau de l'Adamaoua, correspond à la région Soudano-Zambézienne de LETOUZEY (1968). Cette région peut être divisée en deux domaines : au nord un domaine sahélien et au sud un domaine soudanien subissant les influences guinéennes dans sa limite méridionale. Entre les deux domaines, existe une zone de transition plus ou moins influencée par l'un ou l'autre. Selon la terminologie de WHITE (1983), cette région correspond à l'ensemble formé par trois phytochories qui, du nord au sud, sont :

- une zone de transition régionale sahélienne (secteur sahélien) ;
- un centre d'endémisme régional soudanien, qui comporte les secteurs sahélo-soudanien, soudano-sahélien et médio-soudanien ;
- une zone de transition régionale guinéo-congolaise/soudanienne (secteur soudano-guinéen).

Si floristiquement parlant, on peut isoler un secteur sahélien pour l'Extrême Nord du Cameroun, il est cependant complètement extérieur à notre zone d'étude qui se situe principalement dans les secteurs sahélo-soudanien et soudano-sahélien.

Dans le secteur sahélo-soudanien, on distingue comme pour le secteur sahélien : les prairies périodiquement inondées et les steppes à épineux (dans presque toute l'étendue de la plaine du Diamaré). Il existe un troisième type de végétation formé par l'imbrication de ces deux formations ci-dessus.

2.4.1. Les prairies périodiquement inondées

Les prairies périodiquement inondées correspondant à ce qui est localement appelé "Yaéré" ne sont que très peu concernées par cette étude. En effet, un seul des cinq principaux types de prairies périodiquement inondées recensées par LETOUZEY (*op. cit.*), peut y être identifié. Il s'agit des prairies inondables à *Pennisetum ramosum*, sur sol vertique localement appelé "karal" moyennement à fortement inondé, avec *Echinochloa obtusifolia*, *Echinochloa pyramidalis*, *Eriochloa fatmensis*, *Oryza longistaminata* en association avec *Corchorus olitorius*, *Cyperus procerus*, *Cyperus rotundus*, *Panicum anabaptistum*, *etc.* On les trouve parfois sur sol semi-vertique avec *Hyparrhenia ruffa* en association avec *Brachiaria mutica*, *Setaria sphacelata* var. *sericea*, *etc.* Cette unité de végétation, décrite ailleurs est représentée dans les milieux étudiés.

2.4.2. Les zones d'imbrication entre les prairies périodiquement inondées et les steppes à épineux

Dans les zones d'imbrication entre les prairies périodiquement inondées et les steppes à épineux, lorsque les inondations sont superficielles, domine un paysage boisé qui repose essentiellement sur des argiles noires calcimorphes. Ce boisement est constitué essentiellement par *Acacia seyal* et, lorsque le terrain est plus nettement en cuvette, par *Acacia nilotica* var.

adansonii, auxquelles se mêlent des espèces prospérant surtout en limite des zones d'inondation.

De vastes zones de "karal" sont dépourvues de strate ligneuse par dégradation anthropique. La végétation de ces zones est une prairie herbacée qui fait place à la fin des pluies à des champs de sorgho. LETOUZEY a distingué dans cette zone 7 groupements que nous ne détaillerons pas ici.

2.4.3. Les savanes à épineux

Les savanes à épineux couvrent une part importante du domaine d'étude. Elles sont souvent des formations issues de l'abandon de la culture. Une autre caractéristique est l'isolement au milieu des cultures d'arbres domestiqués : *Acacia albida*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Bombax costatum*, *Ficus platyphylla*, *Ficus gnaphalocarpa* ssp. *gnaphalocarpa*, *Tamarindus indica*, etc. La plupart de ces espèces appartiennent au domaine soudanien. Elles subsistent dans ces savanes secondaires post-culturelles. Cultures, jachères récentes et friches plus ou moins anciennes appartenant à ce domaine constellent la plaine de Maroua.

Les espèces les plus représentées sur les sols sablo-argileux (vertisols et hardé) sont : *Acacia ataxacantha*, *Acacia hockii*, *Acacia seyal*, *Albizia chevarieri*, *Balanites aegyptiaca*, *Bauhinia rufescens*, *Boscia senegalensis*, *Capparis* spp., *Combretum aculeatum*, *Dichrostachys cinerea*, *Piliostigma reticulatum*, *Strychnos spinosa*, *Ximenia americana*, *Ziziphus* sp., etc. La plupart de ces espèces forment des fourrés plus ou moins denses avec les autres épineux. Le tapis herbacé, très irrégulier, avec parfois des taches nues dans lesquelles on trouve des termitières d'*Odontotermes magdalenae*, est riche en *Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Schizachyrium exile*, *Aristida* sp. ou *Pennisetum pedicellatum*.

Sur les unités à sol plus ou moins sableux (sols ferrugineux par exemple), même s'il subsiste quelques épineux, ce sont surtout les Combretacées qui dominent : *Anogeissus leiocarpus*, *Combretum* sp., *Guiera senegalensis*, en association avec des espèces telles que *Cissus cornifolia*, ou *Annona senegalensis*.

Les recherches sur la végétation réalisées dans le cadre de cette étude ont donc concerné des formations de savanes post-culturelles, dont l'âge dépasse rarement une vingtaine d'année.

2.5. LES HOMMES ET LEURS ACTIVITES

2.5.1. Caractéristiques de la population

L'extrême Nord du Cameroun a une population dont l'effectif avoisine 1 855 000 habitants. Le département du Diamaré, (380.000 habitants environ), représente un peu plus du cinquième de l'effectif provincial. Les principaux groupes ethniques de la zone sont les Peuls et assimilés et les Guiziga. Cependant, on dénombre plus d'une quinzaine d'autres groupes ethniques.

La population est sédentaire en grande partie. Cependant, on rencontre aussi des éleveurs nomades et semi-nomades. Chez ces derniers, le mode de vie est fortement influencé

par le rythme des saisons. Ainsi, les déplacements sont plus fréquents en saison sèche vers les points humides ("Yaéré").

L'accroissement de la population entraîne une pression continue sur les terres de culture. La conséquence est soit une augmentation des surfaces habituellement cultivées, soit un raccourcissement du temps de jachère, soit les deux à la fois.

Les activités de production sont l'agriculture, l'élevage et la cueillette. A côté de celles-ci, il faut citer l'artisanat

2.5.2. L'agriculture

Le pourcentage des terres cultivables est assez élevé dans la région. Cependant, en raison des caprices du climat et de la baisse de la fertilité, une forte proportion de ces terres reste non cultivée chaque année. Les principales cultures sont les céréales (sorgho, mil, maïs) et les légumineuses (niébé, arachide, voanzou). Les autres cultures vivrières sont le sésame, la patate douce, le riz et les cultures maraîchères. Le coton constitue la principale culture de rente. On trouve surtout dans la culture fruitière le goyavier, le manguié ou le citronnier.

Les cultures sont, pour la plupart, localisées dans les plaines (sorgho) ou au pied des collines (sorgho et coton). Cependant en fonction du degré d'anthropisation et de la forte densité de la population, les versants des collines, à pente plus ou moins forte, peuvent aussi être cultivés avec aménagement en terrasses.

Les unités de production sont ici des structures familiales de deux à dix personnes parfois. Les techniques agricoles sont variables selon les milieux et les moyens matériels des exploitants. Le labour, qui est en fait un grattage superficiel du sol, est manuel ou rarement attelé.

Au total, 760 000 ha sont cultivés en moyenne par an dans le département du Diamaré (Rapport de la Délégation d'Agriculture pour l'Extrême Nord, 1990).

Dans l'ensemble, si les rendements varient d'une année à l'autre (60 à 1 500 Kg/ha pour le "Muskwaari" sorgho de contre-saison) ou d'une culture à une autre (environ 550 Kg/ha pour le Niébé à 1 500 Kg/ha pour le sorgho de saison sèche), seules les superficies exploitées en culture de contre-saison subissent les plus grandes variations interannuelles, en fonction de la pluviométrie. L'importante proportion de ces terres à "Muskwaari" (BRABANT et GAVAUD, 1985) implique que chaque année, en fonction des conditions climatiques, des superficies plus ou moins importantes soient laissées en jachère de plus ou moins longue durée, en raison du caractère marginal de certaines d'entre elles. Les chances de réussite étant maximisées avant la mise en place des cultures, presque 100 % de ces terres vont être cultivées les "bonnes années". Ce sont ces terres marginales cultivées sporadiquement qui ont fait l'objet de cette étude pour leur amélioration et pour la régularisation de leur mise en culture.

Les jachères de longue durée sont rares sur ces sols à culture de ruissellement. Par contre sur les terres convenant plutôt aux cultures pluviales, les jachères de plus longues durées sont plus fréquentes. La baisse des rendements est interprétée comme liée à la "fatigue" du sol. L'utilisation de la fumure et des engrais est peu fréquente.

2.5.3. L'élevage

L'élevage occupe une place de choix dans l'économie de la région, si l'on s'en tient à l'effectif du cheptel, aux différents types d'animaux élevés et à la place de la viande dans l'alimentation des populations. En effet, d'après le rapport annuel 1988-1989 de la Délégation provinciale de L'élevage de l'Extrême Nord, les effectifs des herbivores, dans le Diamaré sont de 188 377 bovins, 169 274 ovins, 181 794 caprins.

Cet élevage, ordinairement extensif, est basé sur la divagation. Les éleveurs sont en principe sédentaires, mais les caprices du climat font de la transhumance partielle un recours obligé pendant la saison sèche pour des troupeaux se nourrissant pour l'essentiel dans ces savanes. Les ligneux jouent ici un rôle de premier plan (protéines), surtout en saison sèche lorsque la couverture herbacée a entièrement disparu. Les résidus de récolte, estimés à 0,5 million de tonnes de matière sèche par an pour toute la province de l'Extrême Nord, n'assurent la nutrition du cheptel estimé à un million d'Unités Bovines Tropicales (UBT) que pendant deux mois pour une ration d'entretien. Or la saison de soudure est plus longue et, malgré le déplacement des troupeaux, il y a surexploitation des écosystèmes naturels. La régénération naturelle se trouve être gênée voire anéantie (GROUZIS, 1988).

L'élevage en stabulation étant inexistant, ainsi que la culture fourragère, on peut dire, en reprenant les termes de MILLEVILLE et al. (1982) que l'élevage peut être considéré comme une activité de cueillette par animal interposé.

Dans la plupart des cas, les éleveurs font paître les animaux dans les jachères en reconstitution, et sur les terres cultivées, à la fin des récoltes. Rappelons qu'en dehors des reliefs, il n'existe presque plus de savane n'ayant pas été cultivée. Le pâturage peut constituer un grave danger pour la végétation et les sols (érosion) si la charge du troupeau n'est pas contrôlée. Lorsque celle-ci est raisonnable, les animaux aident à la dissémination des semences de la végétation naturelle et favorisent le recyclage de l'azote

2.5.4. La cueillette

En dehors de la coupe de bois, l'activité de cueillette constitue l'une des pratiques les moins agressives dans les écosystèmes de savane. Les espèces végétales de la friche ont des usages multiples chez les populations rurales. L'ampleur de ces différentes formes d'utilisation varie en fonction des saisons. Cependant, l'exploitation du bois de feu constitue une réelle menace pour les écosystèmes de savane. Par ailleurs les feux de brousse constituent une pratique courante qui influence fortement l'évolution des friches post-culturelles. Ils freinent la régénération naturelle des espèces ligneuses, en détruisant chaque année les individus qui viennent de se mettre en place.

2.5.4.1. Les produits alimentaires

Les ressources de la savane contribuent à compléter la ration quotidienne. Divers organes de la plante sont en effet consommés. A titre d'exemple, on peut citer les feuilles de

Balanites aegyptiaca et de multiples espèces herbacées ; les fruits de *Tamarindus indica*, *Sclerocarya birrea*, etc.

2.5.4.2. Les produits technologiques et le bois de feu

Les espèces végétales herbacées et ligneuses de la savane produisent le matériau nécessaire à la fabrication de plusieurs objets utilisés dans la vie domestique.

Diverses écorces sont utilisées pour les cordages (exemple *Piliostigma reticulatum*), les colorants et les tanins. Pour la construction des habitats ou des clôtures, les herbacées interviennent fortement. Il s'agit surtout des graminées telles que par exemple toutes les Andropogonées. Des outils et des ustensiles divers sont faits à partir des espèces ligneuses telles que *Anogeissus leiocarpus*, *Dalbergia melanoxylon*, *Sclerocarya birrea*, *Balanites aegyptiaca*, etc.

La production du bois de feu et de charbon constitue dans la région la plus importante forme d'exploitation des espèces ligneuses de nos savanes. Cette exploitation est stimulée par une forte demande à partir de la ville. Les espèces les plus appréciées sont *Anogeissus leiocarpus*, *Dalbergia melanoxylon*, *Acacia seyal*, *Dichrostachys cinerea*, *Balanites aegyptiaca*, etc. A défaut de ces espèces, beaucoup d'autres espèces sont utilisées. Seules quelques unes, particulièrement peu appréciées sont pour le moment délaissées : *Sclerocarya birrea*, *Boswellia dalzielii*, *Sterculia sétigera*. Elles constituent l'essentiel de ce qui reste comme espèces de la strate arborée des savanes.

3. AMELIORATION DU REGIME HYDRIQUE DES TERRES MARGINALES

3.1 INTRODUCTION

L'étude de l'amélioration du régime hydrique des sols a été abordé sur des sols de type vertisols et leurs différents faciès de dégradation.

Les raisons qui ont guidé ce choix de ces milieux sont :

- d'une part, la nature vertisolique des sols est une composante commune à de nombreux écosystèmes représentés dans la province de l'Extrême Nord ;
- d'autre part, BRABANT et GAVAUD (1985) considèrent les phénomènes d'érosion et de dégradation sur les vertisols très alarmants dans cette province qui "marginalisent" l'utilisation agricole de ces sols sur de grandes surfaces;
- enfin, les sols des familles vertisoliques sont ceux qui offrent les plus importantes potentialités et possibilités d'aménagements agricoles ; aussi dans une région comme le Diamaré où ils représentent près de 80 % des terres cultivables, les signes de fatigue, dégradation, et leur restauration doivent être particulièrement suivis.

De plus, nous bénéficions de sites d'étude décrits par de nombreux travaux (SEINY BOUKAR, 1990 ; FLORET *et al.*, 1991).

Beaucoup d'auteurs ont noté la grande sensibilité des vertisols à la dégradation et à l'érosion, non seulement en Afrique (VIRMANI, 1988) mais aussi sous d'autres continents, comme en Inde (SWINDALE, 1988) ou en Australie (YULE, 1987). Ces deux dernières régions ont fait l'objet de nombreuses études sur l'aménagement et l'utilisation des vertisols en vue d'améliorer leur productivité (GARDNER *et al*, 1988 ; VIRMANI *et al*, 1985).

Concernant la conservation des vertisols, et à partir d'une discussion sur les composantes du bilan hydrique, YULE (1987) suggère une meilleure maîtrise des eaux de ruissellement ; la pratique la plus appropriée consistant à édifier des diguettes selon les courbes de niveau. Au Malawi, MITCHELL (1987) observe également des phénomènes de dégradation sur des vertisols exploités intensivement pour la production de coton. Il remarque notamment qu'en milieu cultivé, aucune précaution n'est prise pour maîtriser les écoulements de surface. En milieu naturel par contre, la présence d'une plante, *Lachaemum brachyatherum*, assure non seulement la couverture du sol, mais limite également l'agressivité des pluies, ralentit et diffuse le ruissellement. L'auteur considère donc que la mise en culture doit obligatoirement s'accompagner d'un contrôle du ruissellement par des techniques culturelles appropriées.

FLORET *et al* (1991) considèrent que *l'amélioration de l'efficacité des pluies dans la recharge hydrique des vertisols dégradés est indispensable non seulement pour la*

régénération du milieu naturel mais aussi pour une réhabilitation des terres abandonnées par les paysans. L'amélioration de leur régime hydrique passe par la limitation des pertes en eau par ruissellement, voire l'augmentation des quantités d'eau "infiltrables", le but étant de régulariser les disponibilités en eau pour les plantes.

Deux stades de dégradation des vertisols sont considérés ;

- les terres désignées par le terme "hardé", aux propriétés physico-hydriques particulièrement défavorables et qui ne sont plus cultivés, doivent faire l'objet, dans un premier temps, d'une tentative de "réactivation biologique". Pour cela l'augmentation des réserves en eau du sol, liée à une amélioration de la structuration et de la porosité, concomitante à une augmentation des teneurs en matière organique, devrait redonner à ces sols des statuts leur permettant d'assurer une production agro-pastorale durable;
- le vertisol dit dégradé, stade intermédiaire de dégradation, fait l'objet, à l'heure actuelle, d'une mise en culture sporadique, tant en culture de saison des pluies qu'en culture de contre-saison. L'amélioration du bilan de l'eau dans ces sols doit donc aider à régulariser la mise en culture, en assurant l'adéquation des disponibilités en eau avec les besoins de la plante cultivée au cours de son cycle.

Par ailleurs, concernant les vertisols, des pratiques culturales et les petits aménagements hydro-agricoles réalisables par le paysan doivent ici être privilégiés (diguettes, casiers, labour attelé). L'objectif est de faire appel à une main d'oeuvre locale et à son savoir-faire basé sur l'utilisation d'outils connus (houe, charrue attelée...). Nous répondrons ainsi à un problème de coût, de rapidité et d'autogestion de l'intervention.

Avant d'aborder les résultats obtenus au cours des 4 années d'expérimentation, nous présenterons les différentes pratiques testées et le dispositif expérimental.

3.2 LES PRATIQUES TESTEES ET LE PROTOCOLE D'ETUDE

L'objectif des divers aménagements testés est de maîtriser le ruissellement et d'augmenter l'efficacité des pluies par l'augmentation des réserves en eau disponibles en quantité et dans le temps. Les traitements ont été choisis suivant le type de sol, l'état de la dégradation et les objectifs de la réhabilitation.

Les indicateurs suivis sur les différentes parcelles sont : l'humidité volumique et les réserves hydriques disponibles pour la végétation, le comportement de deux types de culture de sorgho sur les vertisols dégradés, et de la végétation naturelle sur les sols "hardés".

3.2.1 Les aménagements testés et le plan expérimental

3.2.1.1 Les aménagements testés

Les aménagements testés ont pour rôle principal de capter le ruissellement, de favoriser l'augmentation des quantités d'eau infiltrées et stockées dans le sol, et d'allonger le calendrier des disponibilités en eau pour la végétation, tant en début qu'en fin de saison. Notons que ces aménagements sont permanents sur plusieurs saisons, contrairement à certaines façons

culturales, tel le buttage, qui sont appliquées en fonction du cycle cultural et renouvelées chaque année.

Les principes retenus pour atteindre les objectifs fixés sont :

- *l'arrêt ou le ralentissement du ruissellement*, obtenus par la mise en place d'une petite élévation de terre de type diguette, et par rupture de la croûte de battance, avec augmentation de la rugosité à la surface du sol ;
- *l'augmentation des quantités d'eau "infiltrables"* par "supplémentation" en eau d'une zone, grâce aux ruissellements provenant d'une partie amont.

Basés sur ces principes, quatre aménagements, couplés avec des façons culturales, sont testés : le pitting, les bandes alternées, le microcatchment, et les casiers. La figure 5 représente schématiquement ces aménagements.

Le pitting ou trouaison.

Le ruissellement est capté dans des trous confectionnés à la surface du sol. D'une profondeur de 0,15 m, de 1 m de longueur et de 0,30 m de largeur, ces mini-fosses sont disposées, perpendiculairement à la pente, en quinconce sur des lignes séparées de 1 m. La terre excavée est placée en tas sur le bord aval du trou.

Les bandes alternées et le microcatchment.

Ces aménagements sont basés sur l'alternance d'une bande labourée, où l'on détruit la croûte de battance par un travail du sol, et d'une bande non labourée située en amont de la précédente ; celle-ci joue le rôle d'impluvium et de collecteur pour la partie aval. La différence entre les traitements bandes alternées et microcatchment consiste en l'édification pour ce dernier d'une diguette sur le front aval de la bande labourée, afin d'éviter un ruissellement éventuel au delà de cette bande.

Les casiers.

L'aménagement en casiers consiste en un carroyage de la surface du sol par des diguettes de 20 à 30 cm de hauteur. Les dimensions de chaque casier sont de 5 m × 5 m. On considère dans ce cas que le ruissellement est pratiquement inexistant, sauf s'il y a débordement.

3.2.1.2 Le choix des sites expérimentaux

Les parcelles d'expérimentation ont été installées au sein de la station de recherche du Centre de Recherches Agronomiques de Maroua, située sur le bassin versant du mayo Mouda à 40 km de la ville de Maroua.

Les sites choisis sont caractéristiques des sols "hardés" et des vertisols dégradés de la séquence de dégradation des vertisols décrits par SEINY BOUKAR (1990).

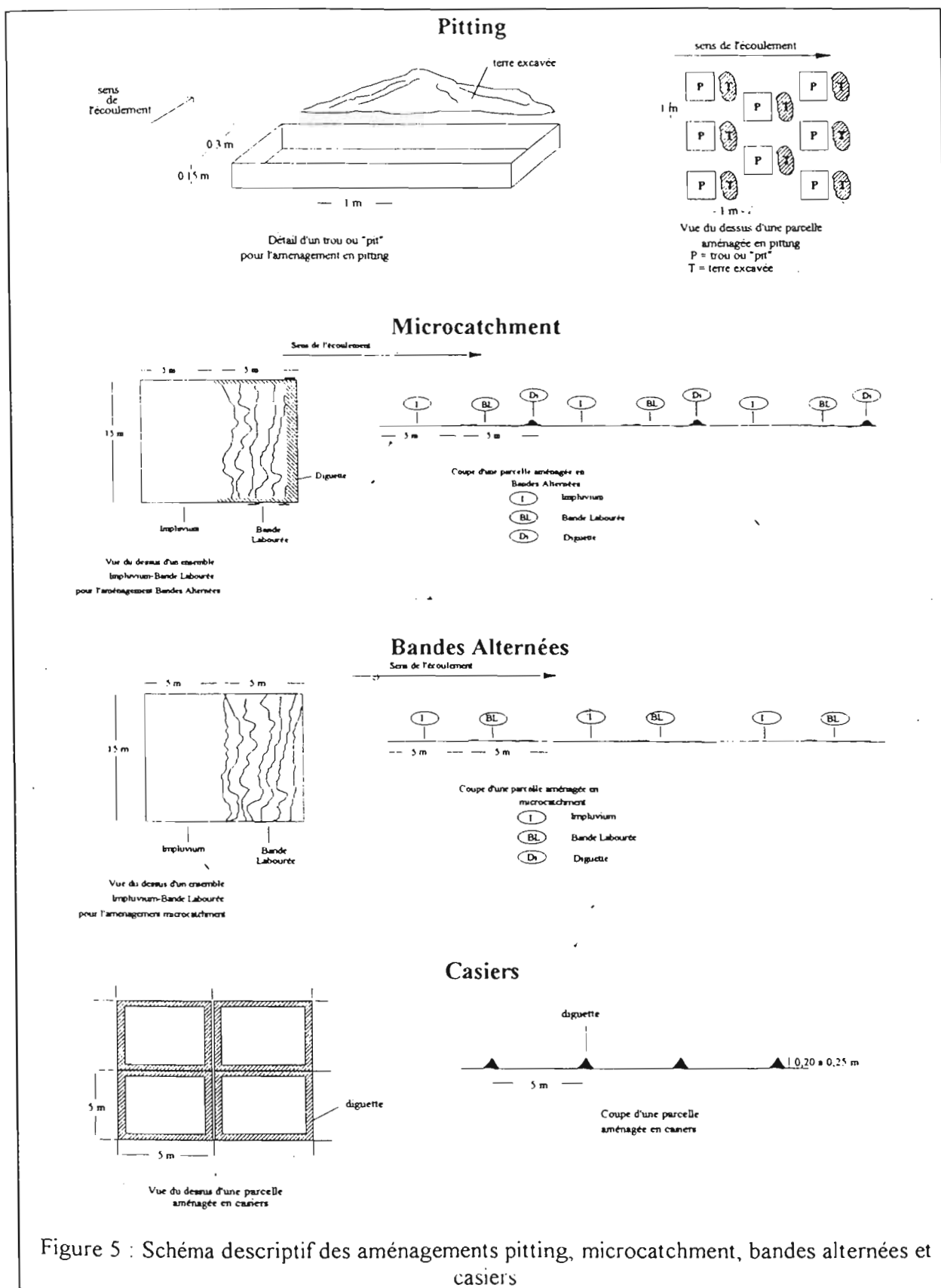


Figure 5 : Schéma descriptif des aménagements pitting, microcatchment, bandes alternées et casiers

Les sols "hardés".

En fin de saison sèche, l'aspect de surface des sols "hardés" est une juxtaposition de tâches claires et sombres. Les tâches sombres correspondent aux zones de développement de la végétation lors de la saison des pluies précédentes ; on y note la présence d'une graminée pérenne *Sporobolus festivus*. Les ligneux présents sont entre autres *Lannea humilis* et *Dychrostachys glomerata*. Les tâches claires sont des zones sans végétation.

Le profil pédologique est caractérisé par un horizon superficiel sablo-argileux massif et compact, recouvert d'une épaisse pellicule de battance. Cet horizon, épais de 5 à 20 cm, recouvre un horizon sous-jacent argileux et vertique présentant en profondeur des nodules calcaires. Le tableau 2 présente les caractéristiques physico-chimiques des sols "hardés".

Les vertisols dégradés.

Une des caractéristiques de la morphologie des vertisols dégradés est la faible expression des caractères vertisoliques de surface par rapport au vertisol modal non dégradé ; on observe donc la présence d'un micro-relief plat, la diminution du nombre de fentes de retrait et la présence de phénomènes de battance. Sous un horizon superficiel (0 à 30 cm) de texture sablo-argileuse, auquel s'ajoutent quelques fentes de retrait, on trouve un matériau argileux vertique, avec apparition de l'horizon à accumulation de nodules calcaires. Les caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau 2.

Type de sols	Profondeur	Bases échangeables meq/100g					Densité apparente sèche g/cm ³	pF g/100g	
		T	Ca	Mg	K	Na		2.5	4.2
Sols "Hardés"	0-5 cm	23.4	10.4	3.76	0.32	0.25	1.730	16.7	8.5
	5-35 cm	35.7	23.4	5.34	0.29	0.80	1.730	23.2	15.3
	35-70 cm	30.2	25	6.68	0.35	0.51	1.870	30.8	17.3
	> 70 cm	30.6	30.6	2.28	0.51	0.95	1.870	40.1	21.2
Vertisols Dégradés	0-15 cm	27	15	5.62	0.36	0.96	1.540	24.3	14.7
	15-40 cm	30.1	16.4	5.34	0.32	0.79	1.540	28.6	17.4
	40-100 cm	35.2	18.4	5.58	0.41	0.86	1.830	30.2	18.5
	> 100 cm	35.8	21.4	6.18	0.45	0.83	1.830	34.0	19.6

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols du site expérimental sur sols "hardés" et vertisols dégradés

3.2.1.3 Les parcelles expérimentales et les techniques culturales appliquées

Il est rappelé ici que seuls sont mis en culture les vertisols dégradés. Les sols "hardés" font seulement l'objet d'une tentative d'amélioration du régime hydrique, en vue d'une réactivation biologique du sol.

3.2.1.3.1 Les parcelles expérimentales sur les sols "hardés"

Les aménagements testés sur les sols "hardés" sont le pitting, les bandes alternées et le microcatchment ; tous sont comparés à une parcelle témoin sans aménagement particulier.

En dehors de l'aspect de la conservation des eaux et du sol, l'objectif sur les sols "hardés" est également d'améliorer le statut organique du sol. Des labours successifs sont donc réalisés au cours de la saison des pluies, permettant l'enfouissement de la végétation spontanée. Seuls les traitements bandes alternées et microcatchment sont concernés par ces façons culturales.

Les parcelles élémentaires sur lesquelles sont appliquées les traitements mesurent 15 m de large et 30 m de long. Pour les traitements microcatchment et bandes alternées, la parcelle élémentaire comprend donc trois couples impluvium - bande labourée. L'ensemble est répété une fois. Nous avons donc deux blocs de 4 parcelles de 450 m² chacune.

L'expérimentation a été mise en place en mai et juin 1989. Les trous ("pitts") et les diguettes ont été réalisés à l'aide de pioches et de houes.

Trois labours en 1989 et un en 1990, réalisés par culture attelée, ont permis de casser la croûte de battance, de travailler le sol de 0 à 10 cm de profondeur, et d'enfouir partiellement la végétation naturelle.

3.2.1.3.2 La mise en culture des vertisols dégradés

L'objectif est de régulariser l'utilisation des vertisols dégradés et d'augmenter les rendements en limitant les risques de déficit dans l'alimentation hydrique des plantes cultivées.

Dans la carte des contraintes et ressources en terre du Nord-Cameroun, BRABANT et GAVAUD (1985) regroupent une partie des vertisols dans une unité, désignée sous l'appellation "terres de karal" (unité 4). Ce sont, pour ces auteurs, des terres argileuses, généralement peu profondes, en terrain ondulé ou presque plat, calcaires et parfois sodiques en profondeur, sensibles à la dégradation.

"Karal" est un terme peuhl désignant communément les terres cultivées en sorgho repiqué, de contre-saison, le "muskwaari" (*Sorghum durum*).

D'après, SEIGNOBOS (1993), la pratique du sorgho repiqué de contre-saison est apparue dans la région au cours de la première moitié XIX^{ème} siècle. Depuis est né l'art de la culture du "muskwaari", bâti sur une connaissance parfois pointue des sols et de leur potentialité agronomique.

Dans la province de l'Extrême Nord du Cameroun, la principale utilisation de vertisols est donc une culture de contre saison. Le sol est laissé en jachère pendant la saison des pluies. Vers la fin du mois de septembre, la végétation est alors coupée et brûlée après quelques jours de dessèchement. Intervient ensuite le repiquage de plants de sorgho, issus d'une pépinière réalisée un mois auparavant; des trous d'une profondeur de 20 à 25 cm sont réalisés grâce à un lourd plantoir, environ 500 ml d'eau y sont versés avant de placer deux plants de sorgho. Par la suite des sarclages sont réalisés en fonction de l'importance du développement d'adventices.

La culture du "muskwaari" est donc basée sur l'utilisation des réserves en eau établies tout au long de la saison des pluies. La dégradation des sols limitant le stockage de l'eau augmente donc les risques d'échec de la culture. Des aménagements de ces sols dégradés pour une utilisation en contre-saison doivent donc favoriser un emmagasinement maximal de l'eau en fin de saison des pluies au moment du repiquage.

L'utilisation des vertisols pour un cycle cultural pendant la saison des pluies est plus rare. La contrainte majeure est la déficience du drainage interne accentuant les phénomènes d'asphyxie préjudiciable à la plante. Les phénomènes de dégradation peuvent apparaître comme un atout compte tenu d'un raccourcissement de la période d'engorgement excessif. Une contrainte majeure est alors un retard dans l'humectation des sols en début de saison, limitant les chances de réussite du semis et diminuant ainsi le temps du cycle cultural.

Les aménagements testés devront donc tenir compte de ces contraintes. Les besoins en eaux des plantes variant suivant l'espèce cultivée et son cycle cultural, nous avons envisagé deux alternatives dans l'utilisation des vertisols, la culture de saison des pluies (sorgho de variété "djigaari") et la culture de contre-saison (sorgho de variété "muskwaari").

Parcelles expérimentales avec mise en culture de saison des pluies sur vertisols dégradés

Trois itinéraires culturaux sont comparés dans le cas de la culture d'un sorgho en saison des pluies :

- l'itinéraire traditionnel basé sur un semis direct sans préparation spéciale du lit de semence, avec 2 à 3 sarclages à la houe en cours de cycle ;
- un itinéraire avec un labour en début de saison des pluies, dès qu'une première pluie suffisante permet le travail d'une charrue tractée par 2 boeufs ; les façons culturales sont ensuite identiques à l'itinéraire traditionnel ;
- un itinéraire identique au précédent, mais avec un buttage des plantes par une charrue bisocs, 30 à 40 jours après le semis.

Le labour en début de saison vise à augmenter et régulariser l'humectation d'un lit de semence en début de saison des pluies. Le buttage a pour but de limiter les effets d'un drainage interne déficient qui subsisterait au cours du cycle cultural.

Chaque itinéraire cultural est mis en place sur une parcelle de 15 m × 30 m, dont la longueur a pour direction la pente principale du terrain. Nous avons réalisé une répétition, l'expérimentation comporte donc deux blocs de trois parcelles.

Parcelles expérimentales avec mise en culture de contre-saison sur vertisols dégradés

L'objectif est ici d'obtenir le maximum de réserve hydrique en fin de saison des pluies, période qui correspond à la phase d'installation de la culture de sorgho de contre-saison.

Deux aménagements, les casiers et le microcatchment, sont comparés à l'itinéraire traditionnel pour lequel aucun ouvrage de collecte et de conservation des eaux n'est réalisé

Le plan expérimental est le même que pour les cultures de saison des pluies, soit deux blocs de trois parcelles. La mise en place des aménagements a été réalisée en mai 1989. Les

aménagements et façons culturales testés sont résumés dans le tableau 3. La figure 6. présente le plan d'expérience sur les sols "hardés" et les vertisols dégradés.

3.2.2 Indicateurs suivis

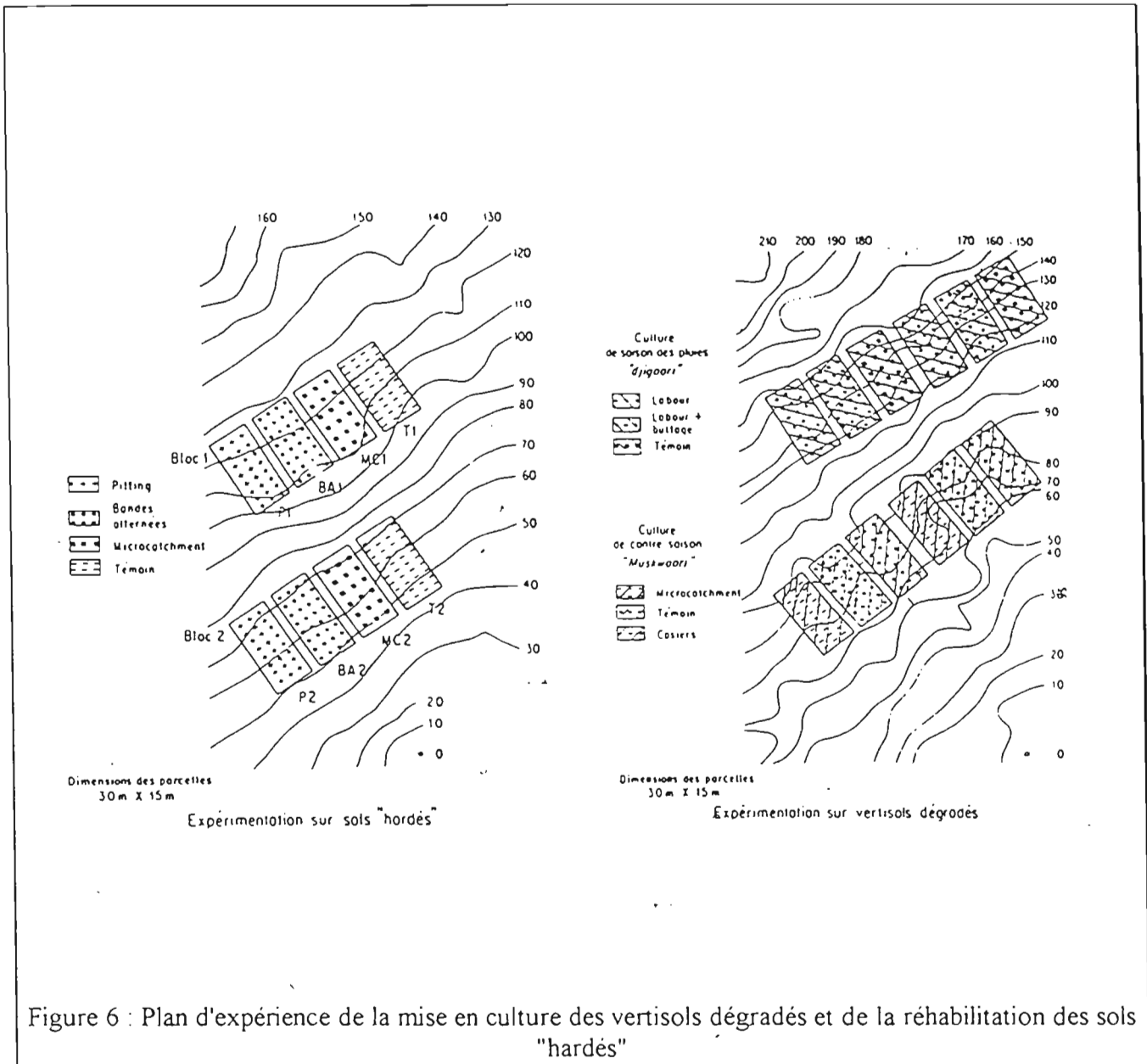
Les indicateurs suivis sont de deux ordres différents. D'une part, ceux relatifs au bilan d'eau ; des mesures d'humidité volumique et la prise en compte des paramètres pluviométriques ont permis de suivre l'effet des aménagements sur les réserves hydriques du sol, et d'autre part, ceux qui concerne l'élaboration du rendement et l'évolution de la végétation.

3.2.2.1 Mesures de l'humidité du sol par la méthode neutronique

La sonde à neutrons permet d'obtenir des données d'humidité *in situ* sans détruire le site, et autorise une répétition des mesures dans le temps aux mêmes endroits. Cette méthode de mesure présente donc un grand intérêt pour les suivis de bilan hydrique.

Sols	Désignation parcelle	Aménagements			Façons culturales particulières		Mise en culture		
		Pitting	Bandes Alternées	Micro- catchment	Casiers	Labour	Buttage	Saison des pluies	Contre- saison
Vertisols	L	0	0	0	0	+	0	+	0
	B	0	0	0	0	+	+	+	0
	T	0	0	0	0	0	0	+	0
dégradés	C	0	0	0	+	0	0	0	+
	MC	0	0	+	0	+	0	0	+
	TM	0	0	0	0	0	0	0	+
Sols Hardés	P	+	0	0	0	0	0	0	0
	BA	0	+	0	0	+	0	0	0
	MC	0	0	+	0	+	0	0	0
	T	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 3 : Résumé des différents aménagements testés sur les sols hardés et vertisols dégradés



Plan d'installation des tubes d'accès de sonde à neutrons.

Pour les vertisols dégradés, nous avons placé trois tubes d'accès distants de 7 à 8 m par traitement, mais uniquement sur une des 2 répétitions. Le dispositif complet n'a été mis en place que pour la saison 1990. Au cours de la saison des pluies, la périodicité des mesures a été de 6 à 8 jours, sans qu'il soit tenu compte des événements pluviométriques. En saison sèche, les mesures ont été réalisées tous les 15 jours puis tous les mois après les dernières récoltes de sorgho de contre-saison (mois de février).

Sur les sols "hardés", les fentes de retrait sont pratiquement inexistantes, et n'agissent donc pas sur la représentativité des mesures. Le nombre de tubes par traitement testé a été multiplié pour se prémunir de toute hétérogénéité spatiale du sol.

Sur le traitement "pitting", le tube d'accès est placé à 50 cm à l'amont du trou. Sur les traitements microcatchment et bandes alternées, un tube est placé au milieu de la bande labourée, un autre est associé sur l'impluvium correspondant.

La pluviométrie a été suivie, quotidiennement, grâce à trois pluviomètres, placés à 1,5 m de hauteur ; un sur le site expérimental des sols "hardés", et deux sur celui des vertisols dégradés.

Pour l'obtention d'humidité volumique, on a utilisé des valeurs de densité apparente, mesurées par la méthode des cylindres, au paroxysme de la saison des pluies de 1989.

Les objectifs de l'étude sont de comparer l'influence des aménagements réalisés sur un même type sol sur le bilan d'eau et l'état des réserves hydriques. L'utilisation des données recueillies grâce à la sonde à neutrons ne pose donc pas, à priori, de problèmes majeurs dans le cadre d'une étude relative, en estimant que, pour un même type de sol, les erreurs liées à la méthode sont identiques.

3.2.2.2 Suivi de la végétation spontanée et des cultures

A côté du suivi hydrique des sols, nous avons observé le comportement de la végétation spontanée sur les sols "hardés", et celui des cultures de sorgho de saison des pluies et de contre-saison sur les vertisols dégradés.

3.2.2.2.1 Suivi de la végétation spontanée des sols "hardés" en voie d'amélioration

La méthode utilisée pour suivre l'évolution de la végétation naturelle sur les sols "hardés" est celle des points quadrats. Cette méthode permet de caractériser la composition floristique et de quantifier le recouvrement d'une végétation, en mesurant la fréquence de toutes les espèces recensées, et en exprimant, en particulier, cette fréquence en terme de recouvrement.

Le suivi a consisté en l'observation de 100 points le long d'une ligne de 10 m, matérialisés par un fil tendu, sur chaque parcelle et en distinguant bande labourée et impluvium. Il a été effectué, sur les mêmes emplacements, au rythme de deux mesures par an. Sur le pitting, étant donné l'hétérogénéité du milieu liée à la présence rapprochée des trous à la surface du sol, le suivi a concerné également les modifications qualitatives de la végétation ; la longueur des lignes est ici de 20 m pour 100 points de lecture.

3.2.2.2.2 Suivi des cultures sur vertisol dégradé

L'objectif sur les vertisols dégradés est la remise en culture, il nous importait donc d'observer le comportement des plantes cultivées en fonction des disponibilités en eau offertes par les différents aménagements testés. Le principe a donc été d'implanter des cultures avec le même itinéraire cultural sur l'ensemble des parcelles du plan d'expérience. Les variétés utilisées sont traditionnelles. Ce choix est justifié par l'option prise de rester proche des conditions du milieu paysan. De plus, les champs cultivés par les paysans aux alentours ont pu servir de référence, contrairement aux variétés améliorées dont l'emploi reste très limité dans la région.

Suivi du sorgho de saison des pluies

Le sorgho de saison des pluies employé est le *Sorghum caudatum* sous-série *caffra*. Nous utiliserons pour la suite de l'exposé sa dénomination dans la langue locale à savoir le "djigaari". C'est un sorgho hâtif avec un cycle de 110 à 120 jours ; sa particularité réside dans la couleur rouge ou brune de ses grains à maturité (MARATHEE, 1970).

L'itinéraire cultural adopté est proche de celui pratiqué par les paysans, mis à part les aménagements testés que nous avons mis en place. Cet itinéraire consiste en un semis direct, réalisé en poquet de 7 à 8 graines au cours de la deuxième quinzaine de juin, avec une densité de 31000 poquets à l'hectare. Au cours du cycle deux sarclages sont effectués à la houe, ainsi que les démarrages pour laisser deux plantes par poquet. Les dates des façons culturales sont décidées en accord avec le paysan avec, comme contrainte, leur application le même jour sur l'ensemble des parcelles expérimentales (IRA-CNS, 1989).

La croissance et le développement du sorgho ont été observé à partir de dix placettes repérées par parcelle. Chaque placette comportait 18 poquets et représentait une surface de référence de 5,76 m².

Les mesures et observations effectuées sont :

- les dates limites des différentes phases de développement de la plante : stades de levée, montaison, épiaison-floraison, maturation. Ces dates limites correspondent au moment où 50 % des plantes observées ont atteint le stade considéré ;
- la vitesse de croissance au cours de la phase de montaison ;
- les composantes relatives à l'élaboration du rendement : nombre et poids des épis, nombre et poids des tiges, poids de 1000 grains, rendement en grain (t/ha).

L'analyse des corrélations entre ces différentes données permet ainsi de déterminer les phases importantes et les facteurs limitants pour l'élaboration du rendement optimal.

Un profil racinaire selon la méthode décrite par CHOPART (1989) a été réalisé au moment où la plante atteint son enracinement maximal.

Suivi du sorgho de contre-saison

Le "muskwaari", *Sorghum durum*, est un sorgho repiqué de contre-saison (EKCKEBIL *et al.*, 1972). La principale variété utilisée dans la région de Maroua est le "Safrari". Le repiquage des plants, obtenus à partir d'une pépinière semée au cours de la première quinzaine d'août, est effectué, après la fin des pluies, de septembre à octobre. Auparavant, la végétation, développée pendant la saison des pluies, aura été fauchée et brûlée. Les trous de repiquage sont distants d'un mètre et confectionnés à l'aide de lourds plantoirs. En 1990, un sarclage fut nécessaire, à cause d'un brûlis insuffisant avant le repiquage.

Selon le même principe que pour le sorgho de saison des pluies, les façons culturales appliquées sont identiques pour l'ensemble de l'expérimentation.

Nous avons observé, selon le même schéma, les différentes phases du développement de la plante, ainsi que les vitesses de croissance. L'enracinement du sorgho de contre-saison a également été décrit, permettant ainsi de situer les horizons de sol participant à l'alimentation en eau de la plante.

**AMELIORATION DU FONCTIONNEMENT
HYDRIQUE DES VERTISOLS DEGRADES**



Pratique du pitting sur sol Harde
(début de saison des pluies)



Mise en culture avec bandes
alternées(début de saison des pluies)



Les casiers (5x5 m) sur vertisols
dégradés(fin de saison des pluies)



Les bandes alternées sur vertisols
dégradés(après une pluie)

3.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.3.1 Amélioration du régime hydrique des sols "hardés"

3.3.1.1 Evolution des réserves hydriques totales

La figure 7 présente les courbes comparatives d'évolution des réserves hydriques dans les 50 premiers centimètres du sol pour les différents traitements. Pendant toute la saison des pluies, la tranche de sol comprise entre 50 et 100 cm ne présente pratiquement aucune variation de réserve pour les 3 aménagements.

Les réserves mesurées sont significativement différentes entre les traitements bandes alternées et microcatchment d'une part, et les traitements pitting et témoin d'autre part. De même, une différence significative apparaît entre les traitements microcatchment et bandes alternées pour certaine année, notamment en 1990 et 1991.

La figure 8 présente le calcul d'un indice de stockage de l'eau (comparaison entre les réserves hydriques cumulées sur une période de temps donné entre le témoin et les traitements). La mise en réserve de l'eau est supérieure par rapport au témoin de 58 à 76 % pour les traitements microcatchment, de 39 à 58 % pour le traitement bandes alternées. Le pitting n'apporte pratiquement aucune amélioration du stockage de l'eau les deux premières années : en 1991 et 1992, l'indice de stockage augmente jusqu'à 120 (témoin base 100).

Les indices sont élevés dès la première année de mise en place des aménagements microcatchment et bandes alternées, l'efficacité de stockage augmente ensuite légèrement mais à tendance à se stabiliser par la suite, voire à diminuer à partir de 1992. Par contre le traitement pitting présente une augmentation régulière au cours des quatre années. ceci est en accord avec les observations sur la croissance de l'auréole d'humidité autour du trou (rappelons que le tube d'accès de sonde à neutrons est placé à 50 cm de la bordure amont d'un trou).

Les aménagements microcatchment et bandes alternées modifient les réserves hydriques par rapport au témoin, avec respectivement un gain de 50 à 60 mm et de 20 à 30 mm. Sur la tranche 0-40 cm, le pitting ainsi que le témoin présentent, au cours du temps, des variations très faibles des réserves en eau. Les maxima de stockage sont atteints vers la fin de la première décade de juillet, avec un nouveau pic au cours de la troisième décade d'août.

Les calculs sur les réserves disponibles sont peu exploitables. On observe en effet des humidités volumiques supérieure au pF 4,2 uniquement dans les horizons superficiels entre 0 et 20 cm. Le pas de temps des mesures sur cet horizon est trop long pour enregistrer les variations réelles d'humidité. L'estimation des réserves disponibles en est donc occultée. Toutefois, sur les traitements pitting et témoin, aucune disponibilité en eau n'est observée.

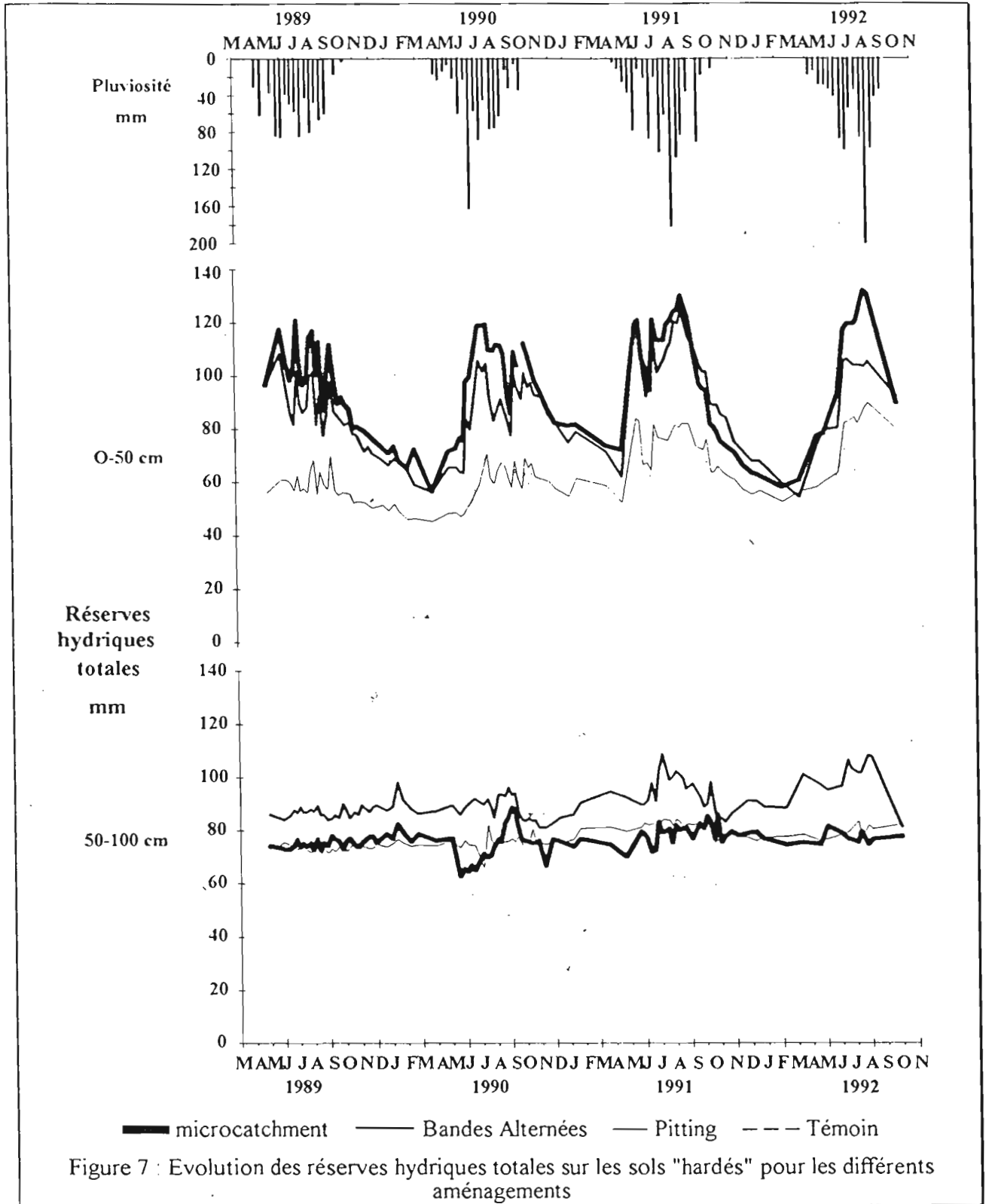
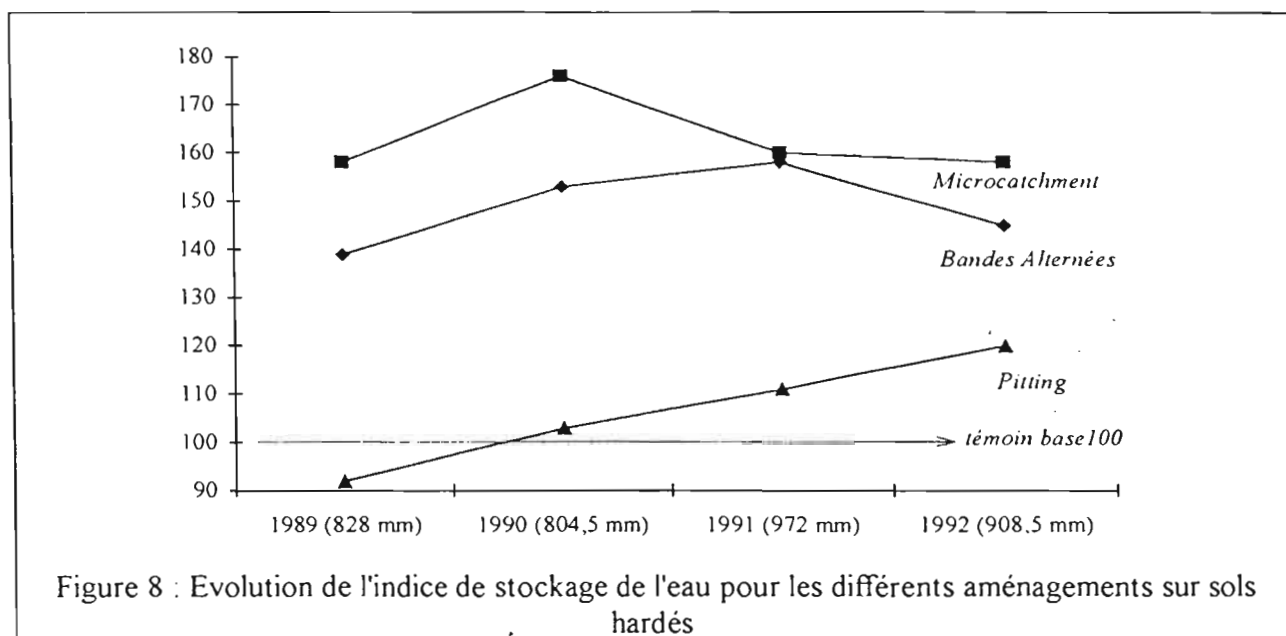


Figure 7 : Evolution des réserves hydriques totales sur les sols "hardés" pour les différents aménagements



3.3.1.2 Impact sur le développement de la végétation

Les relevés sur points quadrats (figure 9) révèlent une influence du labour des traitements microcatchment et bandes alternées sur le recouvrement global des espèces et la composition spécifique ; ce qui concorde avec les résultats sur le régime hydrique des sols.

Concernant le nombre d'espèces, on assiste à une augmentation les trois premières années. En 1992, il apparaît cependant un fléchissement de l'apparition de nouvelle espèce voire une diminution de la richesse floristique (figure 9). Le traitement témoin présente une amélioration constante de la richesse floristique au cours du temps jusqu'en 1992 ; ceci indiquerait l'effet de la protection totale contre le pâturage.

Les figures 10 et le tableau 5 présente les contributions spécifiques de présence des principales espèces. Sur la bande labourée du traitement bandes alternées, la CSP de *Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis* et *Sporobolus festinus* diminue fortement par contre des espèces comme *Panicum laetum* ou *Brachiaria xantholeuca* voient leur CSP augmenter fortement. Sur l'impluvium de ce même traitement, on note le comportement contraire avec une prédominance des 3 premières espèces (*Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis* et *Sporobolus festinus*) qui à elles seules représentent près de 75% du couvert végétal. Le labour modifie profondément la composition floristique avec une moindre importance des espèces propres aux sols "hardés", mais favorisant des espèces qui se comportent bien sur des sols régulièrement remaniés *Brachiaria xantholeuca*, ou des milieux à pédoclimat humide comme *Setaria pumila*.

Sur le traitement pitting, on observe une modification moins radicale de la composition floristique et des contributions spécifiques de présence. Cependant, à *Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Sporobolus festinus* et *Tripogon minimus*, principales espèces du hardé non aménagé, s'ajoutent sur le pitting des espèces telles que *Brachiaria xantholeuca*, *Panicum laetum*,

et dans une moindre mesure *Setaria pumila* qui contribuent fortement au couvert herbacé. En 1992, les espèces principales (*Schoenefeldia gracilis*, *Loudetia togoensis*, *Sporobolus festivus*, *Brachiaria xantholeuca* et *Panicum laetum*) ont des CSP équitables (figure 10). Ces observations indiquent une juxtaposition équitable de milieux pédoclimatiques différents, sec et humide, avec une prépondérance accrue des zones dont le régime hydrique a été modifié.

La figure prend en considération l'évolution du nombre d'espèces qui contribuent le plus par leur recouvrement spécifique. Pour les traitements bandes alternées et microcatchment, le nombre d'espèces, dont le recouvrement est de plus 3%, est supérieur au témoin pour les années 1989 et 1990. Cet effet s'atténue à partir de la troisième année. Par contre, pour le traitement pitting, ce

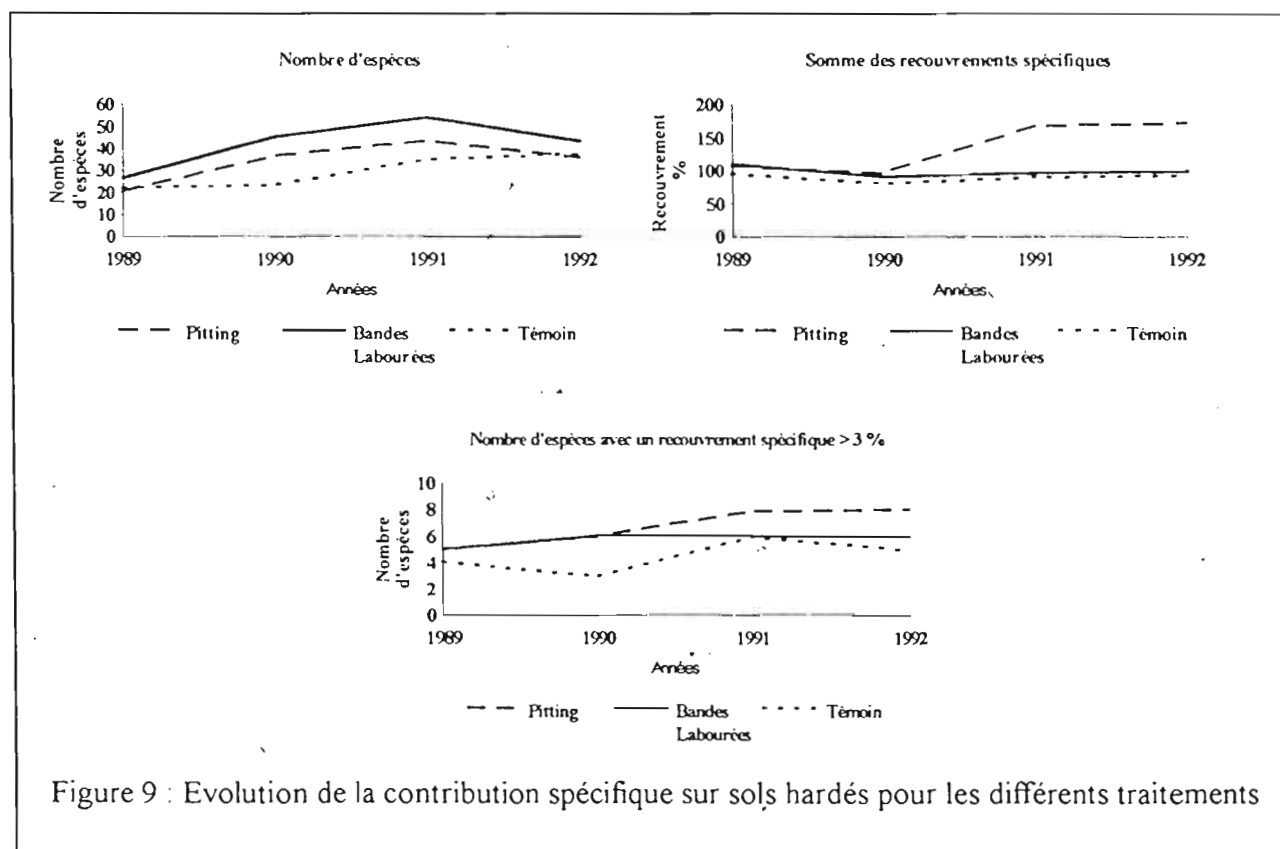


Figure 9 : Evolution de la contribution spécifique sur sols hardés pour les différents traitements

nombre continu de croître jusqu'en 1992 et demeure supérieur au témoin.

La somme des recouvrements spécifiques, qui est en relation avec l'encombrement aérien, est aussi fonction des traitements. Ici, le traitement pitting donne une réponse positive par rapport au témoin. Par contre, les bandes alternées et le microcatchment, bien que légèrement favorables, ne sont pas loin du témoin.

Traitements	1989	1990	1991	1992
Bande labourée	10,9	18,7	18,9	14,0
Impluvium(témoin)	7,6	12,1	12,9	13,9

Tableau 4 : Nombre d'espèces par bande dans les traitements Bandes Alternées et Microcatchments

Espèces	Pitting				Bandes Labourées				Impluvium			
	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992
<i>Loudetia togoensis</i>	17.3	17.1	26.7	14.1	10.1	2.03	1.22	0.08	7.76	27.8	34.6	29.6
<i>Schoenfeldia gracilis</i>	50.6	20.8	17.2	15.2	65.4	21.7	5.15	2.36	53.6	25.7	21	25.8
<i>Sporobolus festinus</i>	12.1	20.2	15.3	13	2.91	0.47	0.18	0	26	29.4	16.7	20.1
<i>Panicum laetum</i>	3.02	7.3	12.3	17.5	1.34	29.7	40	35.5	0.8	2.73	6.49	3.68
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	10.8	17.1	8.44	15.7	7.39	13	14.7	14.2	1.73	2.09	3.7	2.43
<i>Chloris lamproparia</i>		8.27	4	5.97	2.24	2.87	1.65	3.72	2.14	3.56	7.13	5.85
<i>Tripogon minimus</i>									3.21	2.71	1.58	2.43
<i>Setaria pumila</i>	2.17	0.77	4.68	4.51		6.11	6.36	12.8				
<i>Eragrostis sp.</i>		0.77	1.33	2.18								
<i>Andropogon speudapricus</i>					0.63	3.89	0.86	0.33				
<i>Brachiaria stigmatisa</i>						1.67	4.63	2.53				
<i>Echinochloa colona</i>					0.67	1.11	7.77	12.7				
<i>Eriochloa nubica</i>						0.37	2.88	12.5				
<i>Mariscus squarrosus</i>					3.14	0.56	0.52	0.08				
Autres	4.15	7.69	7.09	10.9	6.92	16.7	14.4	3.3	4.82	6.69	8.8	10.1

Tableau 5 : Contribution spécifique de présence des principales espèces sur les différents traitements testés sur sol hardés

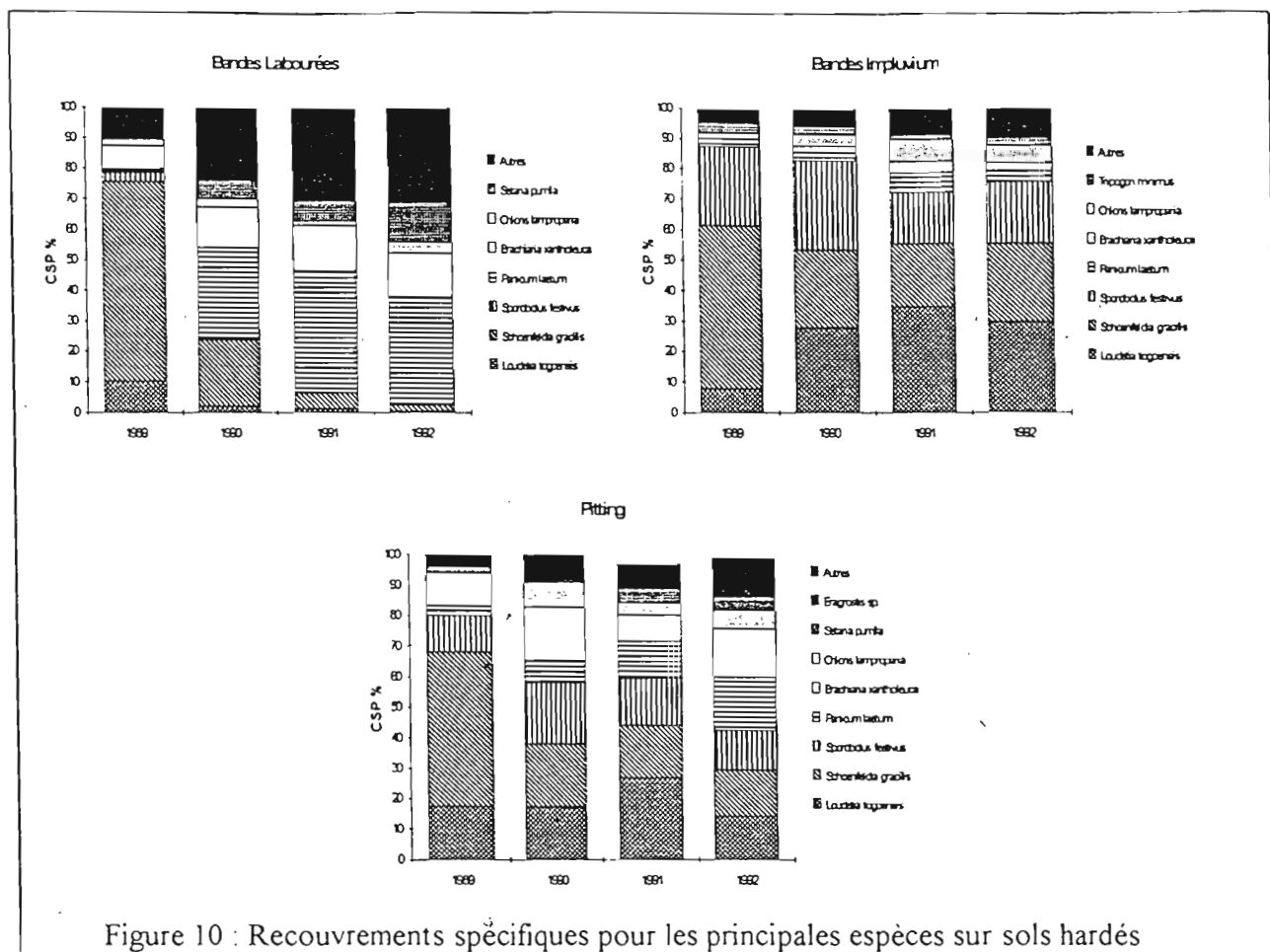


Figure 10 : Recouvrements spécifiques pour les principales espèces sur sols hardés

3.3.1.3 Evolution de la matière organique

Dans le tableau 6 ont été portés les résultats d'analyse concernant l'évolution de la matière organique des horizons de surface. Ces mesures ont été effectuées en fin d'expérience (1992). Ils concernent le carbone total et l'azote total.

Il ressort que :

- c'est dans le fond des "pits" qu'il y a une augmentation très significative des stocks de matière organique, cela étant lié à une plus forte biomasse sur pied, et surtout à un piégeage des résidus organiques dans ce fond qui ne subit pas l'action du ruissellement ;
- les autres traitements améliorent sensiblement le statut organique sans que l'on puisse dire si cette amélioration est plutôt liée à la mise en défens (amélioration du témoin dans l'expérimentation HT seul) qu'aux aménagements hydrauliques et aux façons culturales (FP, SP, IB, LB, et HT) ;

Traitement	Carbone total (0/00)		Azote total (0/00)	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
FP	13.71	7.86	1.13	0.67
SP	8.17	6.77	0.69	0.60
IB	8.57	7.68	0.76	0.58
LB	8.26	8.02	0.63	0.63
HT	8.14	7.97	0.83	0.79
H1	6.24	6.12	0.54	0.50
Test F	++	++	++	++

FP Fond Pitting, SP Surface Pitting, IB Bandes Alternées Impluvium, LB Bandes Alternées Labour, HT Témoin Expérimentation (protégée), H1 Témoin Hors expérimentation

Tableau 6 : Carbone totale et azote total sur les sols hardés après quatre années d'expérimentation de réhabilitation.

- dans tous les cas, les traitements avec mise en défens, et la mise en défens seule (HT) apportent par rapport au témoin hors mis en défens (H1) régulièrement surpaturé et brûlé, une amélioration moyenne en ce qui concerne les teneurs en carbone total. Cette augmentation va du double (fond de pitting) à 15 % dans le cas de la mise en défens seule. Cette amélioration est moins sensible en ce qui concerne l'azote ;
- l'amélioration est plus nette en surface (0-5 cm) et bien moins significative entre 5 et 15 cm. D'ailleurs, il semble que, dans les témoins hors parcelle, la dégradation, tout comme l'amélioration du statut organique touche d'abord le haut de l'épipédon (0-5 cm) ;
- les résidus organiques s'humifient et se minéralisent très vite ; le rapport C/N dans tous les cas est stabilisé entre 10,5 et 13,5.

3.3.1.4 Discussion sur le fonctionnement des différents aménagements sur sols "hardés"

Les différents aménagements testés ont montré une efficacité différente en ce qui concerne l'amélioration du régime hydrique des sols "hardés".

L'augmentation de la profondeur d'humectation jusqu'à 40 cm de profondeur est cependant très nette pour les aménagements microcatchment et bandes alternées. Au vue des mesures, l'amélioration des réserves hydriques totales semble principalement obtenue grâce au travail du sol ; la faiblesse des conductivités hydrauliques dans les horizons sous-cultureux limite l'efficacité d'apports d'eau supplémentaires à partir d'un impluvium. Par ailleurs, le traitement microcatchment montre une efficacité marquée par rapport au traitement bandes alternées, grâce à des pertes par ruissellement moins importantes au delà de la bande labourée.

Le pitting est caractérisé par une humectation du profil, limité à la proximité du trou. Cet aménagement provoque donc une forte hétérogénéité dans le comportement hydrique global de la parcelle.

L'augmentation de l'humidité volumique observée pour ces traitements a permis d'élever les réserves hydriques disponibles pour la végétation. Il en résulte un meilleur taux de recouvrement, une plus grande richesse floristique et des productions de matières sèches aériennes plus élevées.

Toutefois, au bout de quatre années, l'amélioration des disponibilités en eau est relativement faible ; elle ne pourrait que difficilement permettre une mise en culture de ces sols.

En dehors de la macroporosité fissurale, qui caractérise des vertisols peu ou pas dégradés, ces sols présentent des conductivités hydrauliques faibles, limitant considérablement les vitesses de circulation de l'eau. Les stagnations d'eau en surface tant sur le pitting que sur les traitements microcatchment et bandes alternées le montrent très nettement. L'amélioration du régime hydrique de façon durable devrait être conditionnée par l'activation d'un réseau fissural.

Après ces quatre années d'expérimentation, l'acquisition d'un réseau fissural ne semble pas évidente ; l'observation des horizons supérieurs n'a pas, en saison sèche, révélée la présence de fissuration très nette. Les variations de teneur en eau obtenues par humectation ne sont pas suffisantes pour créer les mouvements de retrait et de gonflement, susceptibles de provoquer une macroporosité fissurale dans les matériaux vertiques.

Ces phénomènes de retrait et de gonflement des argiles sont, selon WILDING et TESSIER (1988), en étroite relation avec des propriétés liées au sol mais aussi avec d'autres caractéristiques. D'après ces auteurs, interviennent dans ces phénomènes non seulement les caractéristiques minéralogiques, chimiques et structurales des argiles présentes, mais également le climat et l'histoire des stress d'origine climatique, la topographie, la végétation et les systèmes de culture pratiqués sur ces sols.

TESSIER (1990) a démontré notamment que l'organisation interne des argiles, à tous les niveaux d'unité structurale, joue un rôle majeur dans les rapports de ces matériaux vis à vis de l'eau. Cette micro-organisation dépend non seulement des caractéristiques minéralogiques de la phase solide, mais aussi des propriétés de la solution de contact (PEDRO, 1987). Ainsi les argiles de type *smectite-Ca* subissent des modifications de structure après une forte dessiccation, qui ont pour effet de diminuer les capacités de rétention en eau de ces argiles au cours d'une nouvelle phase d'humectation (TESSIER *et al.*, 1980).

Il conviendrait donc d'étudier, plus profondément, l'ensemble de ces propriétés sur les sols "hardés" de Mouda, afin d'établir plus précisément les potentialités de réhumectation de ces sols et de mieux connaître les processus de dégradation qu'on y observe.

3.3.2 Amélioration du régime hydrique sur vertisols dégradés

3.3.2.1 Mise en culture de saison des pluies

3.3.2.1.1 Evolution des réserves hydriques totales et disponibles

La figure 11 illustre l'évolution des réserves en eau totale pour les 3 saisons sur les tranches de sol 0 à 50 cm et 50 à 100 cm de profondeur.

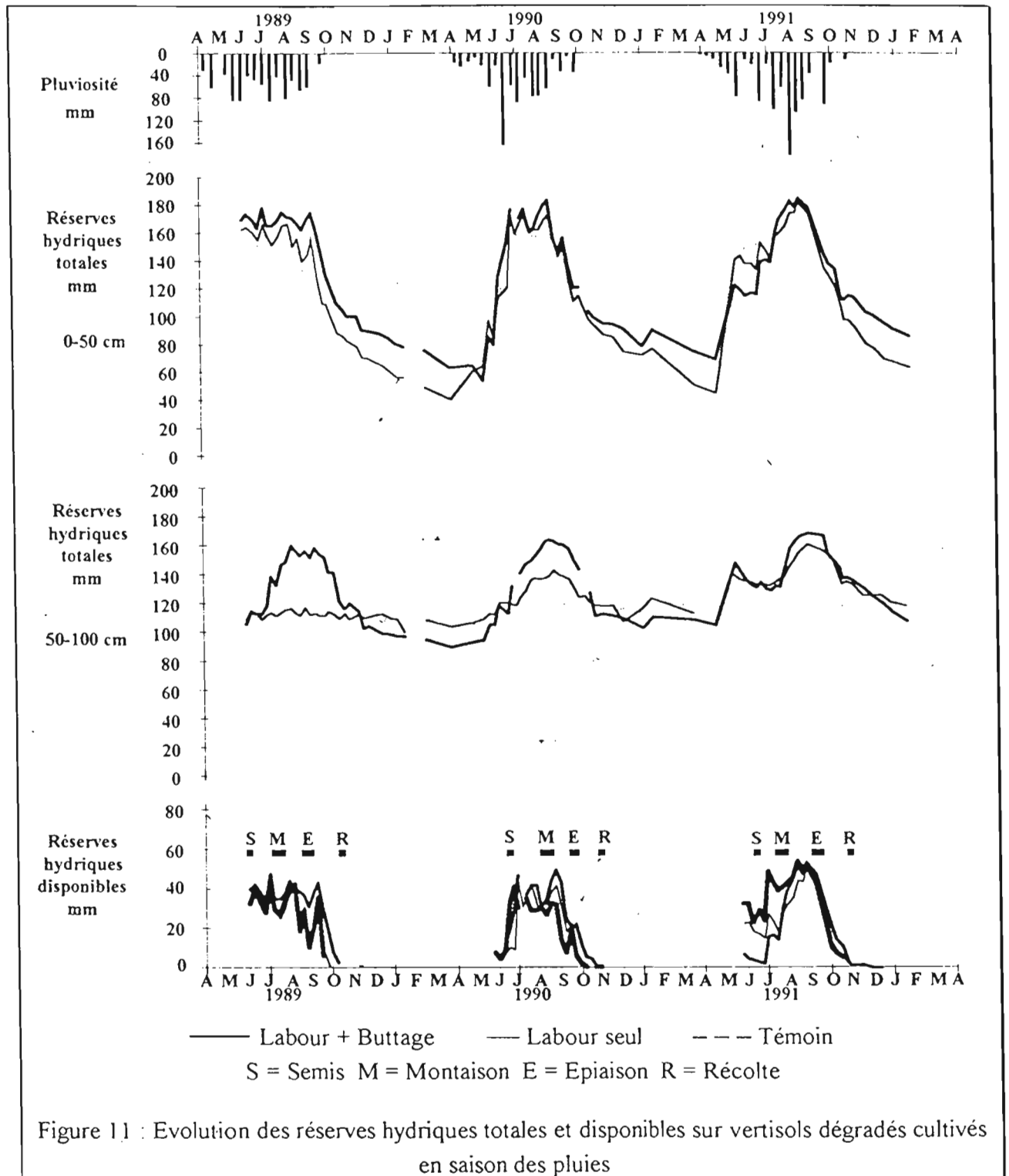
Dès les premières pluies importantes de début de saison des pluies, la réserve en eau augmente rapidement dans la tranche de sol comprise entre 0 et 50 cm. Elle semble se maintenir alors autour d'un plafond compris entre 160 et 180 mm. En fin de saison des pluies, une pluviosité faible voire nulle durant une décade implique la baisse des réserves hydriques totales ; ce fut le cas pour la 3ème décade du mois septembre en 1989 et 1990, en 1991, la baisse est amorcée dès la 2ème décade du mois de septembre.

Sur cette tranche de sol, les travaux culturaux (labour et buttage) n'apportent pas d'amélioration significative par rapport au témoin. Par contre, une différence apparaît dans le réservoir 50-100 cm, pour lequel l'augmentation de la profondeur d'humectation (MASSE, 1992) par le buttage entraîne un stockage accru de l'eau. Le traitement labour seul implique une amélioration qu'à partir de 1991, la différence relative entre les traitements labour et labour+buttage diminuent en 1992.

Par rapport à la parcelle témoin (sans labour), le gain global en réserves hydriques totales par les traitements labour et labour+buttage est peu important. Seul le buttage apporte une amélioration des réserves en eau totale (tableau 7). Sur une saison, les réserves hydriques emmagasinées dans les 50 premiers centimètres de la parcelle buttées sont de 6% (en 1991) à 17% (en 1989) supérieures à la parcelle témoin. Cet avantage tend à diminuer au cours du temps.

La figure 11 présente, également pour les trois traitements, l'évolution des réserves hydriques théoriquement disponibles aux différentes profondeurs sur la tranche de sol 0-100 cm (1). Le traitement Labour+Buttage augmente globalement, sur une saison des pluies, la quantité d'eau disponible, augmentation de 38% (en 1989 et 1990) par rapport au témoin. Le traitement Labour donne très peu de modifications ; de 1% (en 1989) à 15% (en 1990). En 1991, cet avantage pour les deux traitements avec labour n'existe plus. La parcelle témoin conserve plus d'eau disponible. L'explication provient de la pluviosité abondante de l'année 1991 qui a permis une humectation importante surtout en début de saison. Les travaux culturaux comme le labour associé au buttage ou non seraient d'un intérêt en année plutôt sèche.

(1) L'eau théoriquement disponible est calculée par différence entre les humidités volumiques mesurées et l'humidité volumique à pF4,2. Dans notre cas, la réserve hydrique disponible sur 0-100 cm correspond pratiquement à la réserve hydrique disponible sur la tranche de sol 0-50 cm, les humidités volumiques sous les 50 cm de profondeur étant généralement inférieures à l'humidité au pF4,2.



La disponibilité en eau existe donc tout au long du cycle d'une culture de saison des pluies. Pour les trois années, la durée de présence d'eau disponible est suffisante pour des plantes cultivées telles que le sorgho dont le cycle est de 110 à 120 jours. Aucune phase culturale ne semble souffrir de déficit hydrique ; des légers déficits peuvent toutefois apparaître en fin de période de maturation. Nous considérons ici les réserves théoriquement disponibles, calculées par rapport au pF4,2. Cette théorie peut être discutée pour des types de sol aux teneurs en argiles gonflantes importantes ; cependant l'analyse des observations sur les composantes de rendement n'indique pas les phases d'épiaison et de maturation comme phase critique pour l'élaboration du rendement (MASSE, 1992).

Année	Traitement	Réserves hydriques totales		Réserves hydriques disponibles (mm)					
		0-50 cm	50-100 cm	I_{Rd}	durée(jours)	Semis	Montaison	Epiaison	Récolte
1989	Labour	101	99	101	125	39	25-31	14-20	0
	Labour+Buttage	117	112	138	142	40	34-37	31-38	0
	Témoin	100	100	100	104	32	27-34	10-21	0
1990	Labour	105	107	115	140	10	32-39	8-22	0
	Labour+Buttage	113	114	138	154	19	35-44	20-22	0
	Témoin	100	100	100	124	33	27-33	6-19	0
1991	Labour	96	108	79	158	17	17-28	42	0
	Labour+Buttage	106	108	80	176	3	14-30	47	1
	Témoin	100	100	100	150	29	39-41	42	0

Tableau 7 : Comparaison des Réserves hydriques totales et disponibles sur vertisols dégradés cultivés en sorgho de saison des pluies. (I_{Rd} et I_{Rt} = Indice de comparaison avec Témoin en base100)

3.3.2.1.2 Comportement comparée d'une culture de sorgho de saison des pluies ("djigaari")

Une analyse en composantes principales sur les différentes composantes du rendement a été réalisée; les variables prises en compte sont les données relevées sur les 60 placettes de l'expérimentation, à savoir :

- la longueur de la phase de levée, c'est à dire du semis au stade début montaison (LONGL) ;
- la longueur de la phase de montaison (LONGM) ;
- le nombre de grains par épis (NGREP) ;
- le poids de 1000 grains (P1000) ;
- la densité d'épis au m² à la récolte (DENS2) ;
- la hauteur de la plante en fin de montaison (HAUT3) ;
- la vitesse de croissance durant la phase de montaison (VIT) ;
- la production de matière sèche aérienne totale (MS).

La variable rendement (RDT), qui représente la variable à expliquer, est considérée comme variable supplémentaire.

D'après l'analyse des cercles de corrélation (figure 12), l'élaboration du rendement est fortement conditionnée par l'acquisition d'une biomasse aérienne importante ; la phase d'installation de la culture semble à cet effet primordiale. Les facteurs, tels que le climat et les techniques culturales, qui ont favorisé une levée rapide après le semis puis une croissance forte pendant la phase de montaison, ont permis l'obtention d'un rendement optimal (MASSE, 1992).

Suite à l'étude de l'élaboration du rendement, nous avons comparé l'effet des traitements par des analyses de variance sur les différentes variables.

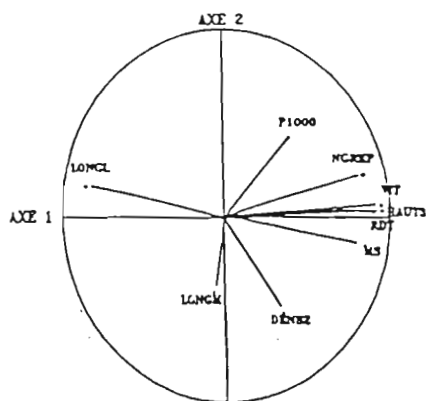
Les coefficients de variation sont en général relativement élevés. Ceci est dû à une forte hétérogénéité intraparcellaire. Cependant des différences hautement significatives apparaissent et nous pouvons donc tirer quelques conclusions.

Les résultats sur trois années sont consignés dans le tableau 8.

La première remarque concerne la différence significative entre les blocs pour certaines variables ; celle-ci révèle donc la présence d'une hétérogénéité du terrain d'essai, indépendante des traitements appliqués. Le bloc 2 a présenté des engorgements de surface plus importants. L'interaction traitement - bloc n'est pas significative ; la culture a donc montré des différences entre traitements allant dans le même sens sur les deux blocs.

D'autre part, les moyennes de rendement et des variables précédemment déterminées qui lui sont corrélées sont significativement différentes entre les traitements au risque de 1 %. Les tests de comparaison de moyennes (test de NEWMANNS et KEULS) donnent pour les 2 années un avantage significatif au traitement labour pour les deux premières années ; en 1991, le rendement n'est pas significativement différent entre les trois traitements.

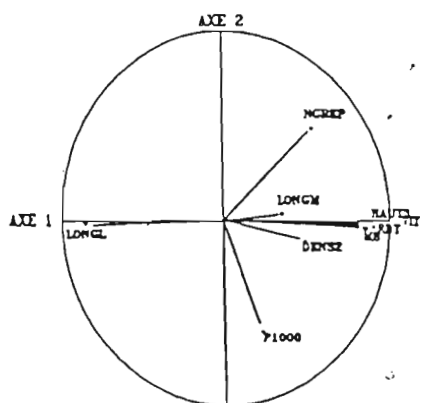
Le labour offre les meilleurs rendements sur ce type de sol. Son action favorise la levée des plantes, en assurant un meilleur lit de semence par rapport à une parcelle non labourée. Les raisons peuvent être l'acquisition d'un milieu plus aéré, la présence d'un meilleur drainage externe ainsi que d'un "flash" de minéralisation à la suite du travail du sol. La dépréciation du rendement par le buttage est due à la présence d'un excès d'eau en surface, qui provoquerait un ralentissement de la croissance pendant la montaison. HODGSON et CHAN (1982) ont noté l'effet néfaste d'engorgement de surface sur des vertisols cultivés sous irrigation gravitaire en Australie, la principale conséquence de ces engorgements temporaires est la baisse de l'aération du sol, qui limite les mécanismes d'absorption racinaire et provoque des phénomènes de nécrose. En 1991, la pluviosité importante est sûrement la cause d'une limitation du rendement, contrainte hydrique qui s'est alors appliquée au trois traitements.



Diagonalisation: Valeurs propres (variances sur axes principaux)
 axe 1: 4,3182 axe 2: 1,7204
 Contribution à la variance totale
 axe 1: 48,8 % axe 2: 19,1 %

variable	Composantes principales axe 1		Composantes principales axe 2	
	r	r ²	r	r ²
LONGL	-0,8511	0,7245	0,2481	0,0616
LONGM	-0,0690	0,0048	-0,5994	0,3593
NGREP	0,8499	0,7223	0,3426	0,1174
MS	0,8521	0,7261	-0,2303	0,0530
HAUT3	0,9611	0,9237	0,0467	0,0022
VIT	0,9546	0,9112	0,0950	0,0090
P1000	0,4009	0,1607	0,6443	0,4152
DENS2	0,3541	0,1254	-0,7674	0,5889
RDT	0,9077	0,8238	0,0415	0,0017

(a) 1989



Diagonalisation: Valeurs propres (variances sur axes principaux)
 axe 1: 3,7688 axe 2: 1,3816
 Contribution à la variance totale
 axe 1: 47,1 % axe 2: 17,3 %

variable	Composantes principales axe 1		Composantes principales axe 2	
	r	r ²	r	r ²
LONGL	-0,8553	0,7315	-0,0284	0,0008
LONGM	0,3611	0,1304	0,0547	0,0030
NGREP	0,5450	0,2971	0,7357	0,5412
MS	0,8667	0,7512	-0,0676	0,0046
HAUT3	0,9085	0,8253	-0,0481	0,0023
VIT	0,8540	0,7294	-0,0586	0,0034
P1000	0,2341	0,0548	-0,8935	0,7984
DENS2	0,4992	0,2492	-0,1673	0,0280
RDT	0,7959	0,6334	-0,0148	0,0002

(b) 1990

LONGL : longueur de la phase de levée, en jour (du semis au stade début montaison)

LONGM : longueur de la phase de montaison, en jour;

NGREP : nombre de grains par épis;

P1000 : poids de 1000 grains, en gramme;

DENS2 : densité d'épis au m² à la récolte;

HAUT3 : hauteur de la plante en fin de montaison, en centimètre;

VIT : vitesse de croissance durant la phase de montaison, en centimètre par jour;

MS : production de matière sèche aérienne totale, en tonne par hectare;

RDT : rendement en grains, en tonne par hectare.

r : Corrélations entre variables et axes principaux

r² : Corrélations au carré

Figure 12 : Cercles de corrélation des analyses en composantes principales sur les composantes du rendement du sorgho pluvial

Traitements	Composantes du rendement					
	HAUT3	DENS2	NGREP	MS	P1000	RDT
LABOUR	231 a	5,69 -	1219 a	7,34 a	28,33-	1,70 a
	231 a	5,33 -	1464 a	8,03 -	26,80 -	2,09 a
	200 a	4,83 -	562 a	2,95 -	17,01 -	0,52 -
BUTTAGE	174 b	5,37 -	529 b	4,59 b	30,80-	0,95 a
	193 b	5,78 -	1111 b	8,51 -	26,80 -	1,71 b
	149 b	6,14 -	282 b	2,49 -	17,39 -	0,33 -
TEMOIN	183 b	5,65 -	598 b	4,10 b	27,08-	0,89 b
	121 c	4,83 -	952 b	4,64 -	26,20 -	1,22 c
	191 a	6,11 -	348 b	2,95 -	17,81 -	0,38 -
BLOC 1	215	5,56	884	6,33	30,56	1,48
	210	5,35	1379	7,97	26,80	1,98
	204	6,15	483	3,43	18,66	0,55
BLOC 2	178	5,58	600	4,36	26,92	0,87
	153	5,28	973	6,15	26,50	1,37
	157	5,24	311	2,23	16,15	0,27
Ft	19,62 **	0,55 ns	8,44 **	21,35 **	2,86 ns	9,44 **
	27,34 **	6,55 ns	12,10 **	25,64 **	2,20 ns	13,64 **
	4,12 *	4,56 *	8,69 **	0,63 ns	0,63 ns	2,35 ns
Fb	21,26 **	0,00 ns	1,83 ns	20,32 **	7,89 **	12,85 **
	21,46 **	0,10 ns	21,75 **	14,44 **	1,11 ns	19,97 **
	9,32 **	5,02 *	8,94 **	18,70 **	18,70 **	14,20 **
Finter	0,94 *	0,38 ns	0,03 ns	1,47 ns	0,62 ns	0,35 ns
	2,92	1,51 ns	1,22 ns	5,10 **	0,12 ns	1,43 ns
	2,63	4,81 *	0,73 ns	0,70 ns	0,70 ns	0,91 ns
CV(%)	16	19	75	32	17	56
	40	16	29	26	4	32
	33	28	56	47	13	69

Tableau 8 : Analyses de variance sur les composantes du rendement d'une culture de saison des pluies (sorgho de variété traditionnelle) sur vertisol dégradé, en 1990, en 1989 et en 1991.

Ft : F traitement ; Fb : F bloc ; Finter : interaction traitement bloc. ns : Non significatif au risque 5%; ** : significatif au risque 1%. a,b,c : Désignation des groupes de moyennes significativement différents selon test de NEWMANNS et KEULS.

NGREP nombre de grains par épis ; P1000 poids de 1000 grains (g) ; HAUT3 hauteur de la plante en fin de montaison (cm) ; VIT vitesse de croissance durant la phase de montaison (cm/j) ; MS production de matière sèche aérienne totale (t/ha) ; RDT rendement grain (t/ha).

3.3.2.1.3 Conclusions sur l'efficacité des traitements en condition de saisons des pluies

Les gains en stock hydrique se situent essentiellement dans les horizons profonds, entre 50 et 100 cm de profondeur. Le labour sans buttage n'améliore pas significativement les réserves hydriques totales du sol par rapport à un itinéraire cultural traditionnel.

Cependant, l'évolution des stocks disponibles en saison des pluies a montré que l'alimentation en eau apparaît pas comme le principal facteur limitant de l'élaboration du rendement d'une culture de sorgho sur les vertisols dégradés. Au contraire, une des contraintes est l'engorgement excessif des horizons supérieurs qui diminue significativement le rendement, c'est ce qui se produit notamment après un buttage.

Le comportement des vertisols dégradés en saison des pluies est proche de celui des vertisols modaux, dont le handicap majeur d'une mise en culture pendant cette période est de présenter des risques d'engorgement excessif. Le vertisol dégradé, bien que présentant une déficience hydrique par rapport au vertisol modal, semble donc exiger, malgré tout, des aménagements pour assurer un meilleur drainage externe pendant la saison pluvieuse.

3.3.2.2 Mise en culture de contre-saison

3.3.2.2.1 Evolution des réserves hydriques totales et disponibles

La figure 13 présente l'évolution des réserves hydriques totales sur les tranches de sol 0-50 cm et 50-100 cm pour les différents traitements. On remarque une brusque montée des réserves hydriques dans les 50 premiers centimètres dès les premières décades très pluvieuses ; il semblerait qu'une décade d'au moins 70 à 80 mm soient nécessaire pour provoquer l'augmentation rapide des réserves hydriques totales. Les différents traitements réagissent à cet égard de la même façon.

Par rapport à la parcelle témoin, le traitement casiers donnent les meilleurs résultats concernant le stockage de l'eau (tableau 9) ; sur l'horizon 0-50 cm, les casiers améliorent de 18 à 35% les réserves en eau totale sur une saison des pluies. Le traitement microcatchment a un effet moindre ; de 7% en 1989 et 18% en 1990. L'amélioration s'estompe en 1991 ; la forte pluviosité de cette année peut en être la cause, les traitements seraient donc efficaces pour des années relativement peu pluvieuses. Sous les 50 cm de profondeur les différences sont identiques ; le microcatchment n'apporte pas de différence significative sur cette tranche en 1990 et 1991.

La nette amélioration par le traitement casiers sur les réserves hydriques totales se reflètent également sur les réserves hydriques disponibles. Pour les trois années, sur les casiers, la réserve hydrique disponible globale sur une saison est de 2 à 3 fois supérieure par rapport au témoin. Le microcatchment améliore les disponibilités en eau de 50% à 90% par rapport au témoin respectivement pour les années 1989 et 1990. En 1991, la différence relative entre ces 2 parcelles est minimale ; cette baisse peut être due à la pluviosité abondante de cette année (voir paragraphe précédent).

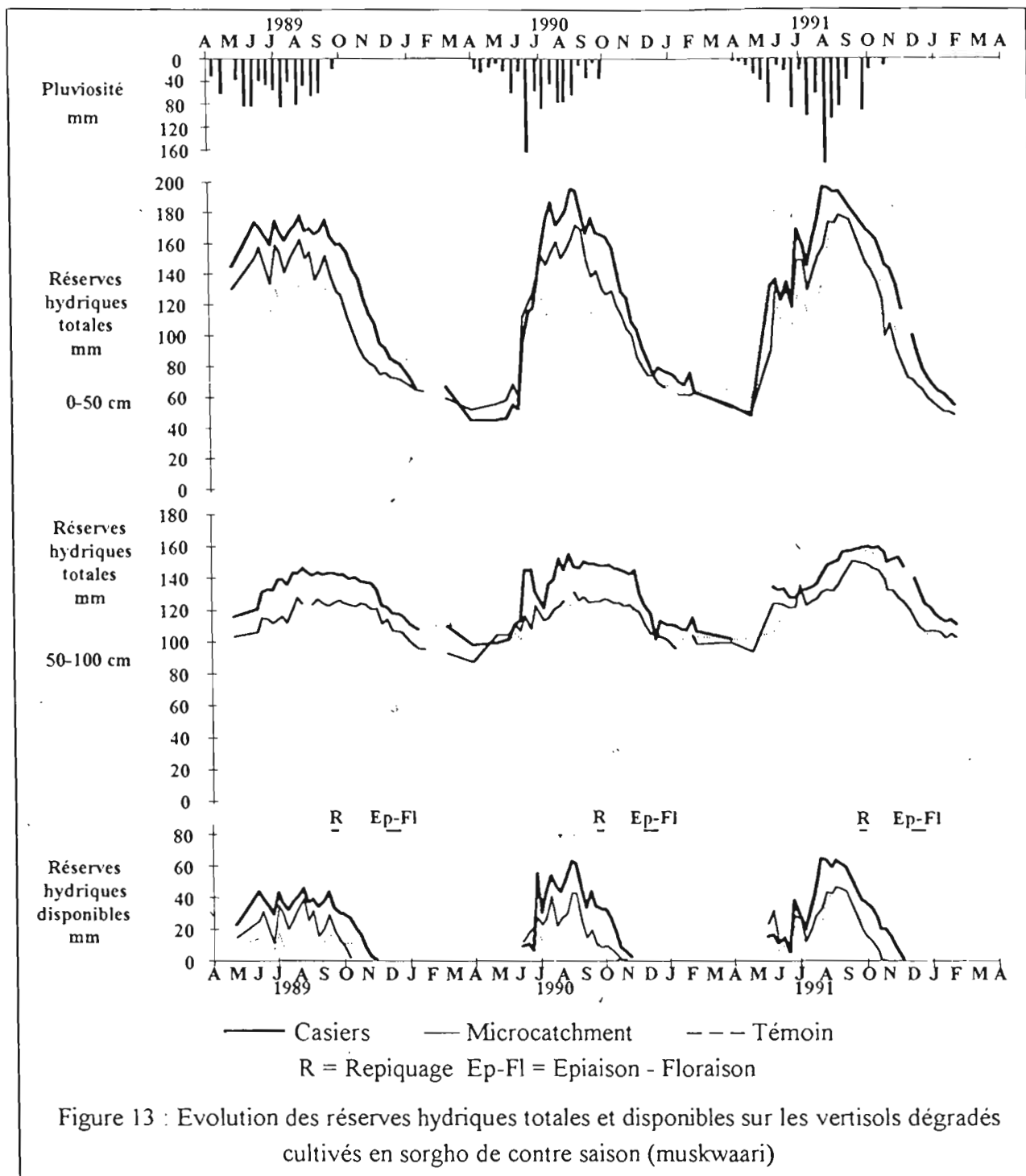


Figure 13 : Evolution des réserves hydriques totales et disponibles sur les vertisols dégradés cultivés en sorgho de contre saison (muskwaari)

Année	Traitement	Réserves hydriques totales		Réserves hydriques disponibles		
		0-50 cm	50-100 cm	I _{Rd}	durée (jours)	Rd (mm) Repiquage
1989	Casiers	126	114	271	160	30-34
	Microcatchment	107	86	157	125	13-19
	Témoin	100	100	100	160	12-13
1990	Casiers	135	115	329	131	33-34
	Microcatchment	118	100	188	124	9-11
	Témoin	100	100	100	124	9-10
1991	Casiers	118	111	170	152	39-59
	Microcatchment	99	100	116	99	21-44
	Témoin	100	100	100	99	24-43

Tableau 9 : Comparaison des Réserves hydriques totales et disponibles sur vertisols dégradés cultivés en sorgho de contre-saison.

Concernant la durée de disponibilité en eau, les trois années donnent des résultats différents ; toutefois, nous pouvons remarquer que les casiers prolongent généralement le nombre de jours avec présence d'eau disponible, d'une semaine en 1990 et de près de 1 mois et demi en 1991. Dans tous les cas, la réserve théoriquement disponible est nulle dès la fin novembre, c'est à dire au moment de la période d'épiaison qui a lieu généralement au mois de décembre.

3.3.2.2 Comportement comparée d'une culture de contre-saison ("muskwaari")

Contrairement à la culture de saison des pluies, les données quantitatives utilisables sont restreintes. N'ayant pu contrôler l'action de nombreux prédateurs des cultures, aucun rendement en grains n'a pu être mesuré. En supposant que la prédation sur les graines est identique sur tous les épis, on utilisera pour la comparaison entre les différents traitements les mesures de quantités de matière sèche aérienne produite. Nous avons également suivi la vitesse de croissance des plantes, par mesure de hauteur à plusieurs dates successives.

Les résultats, pour les trois années de suivi, sont consignés dans le tableau 10.

Sur l'ensemble des parcelles expérimentales aménagées en casiers, les matières sèches produites sont nettement plus élevées pour les trois années de mesure. Cette production plus importante est due à une croissance plus forte et surtout spatialement plus homogène. La reprise des plants, après repiquage, fut nettement plus difficile sur microcatchment et témoin, où l'on a relevé des pertes à la reprise de l'ordre de 60 à 90 % de perte, alors que celle-ci se situaient entre 40 et 45 % sur les casiers.

L'amélioration de la production sur les parcelles aménagées en casiers est à mettre en relation avec l'augmentation des réserves hydriques disponibles ; ce qui confirme le rôle majeure joué par l'alimentation en eau de la plante pour la culture du sorgho de contre-saison, comme l'ont affirmé ECKEBIL *et al.* (1972).

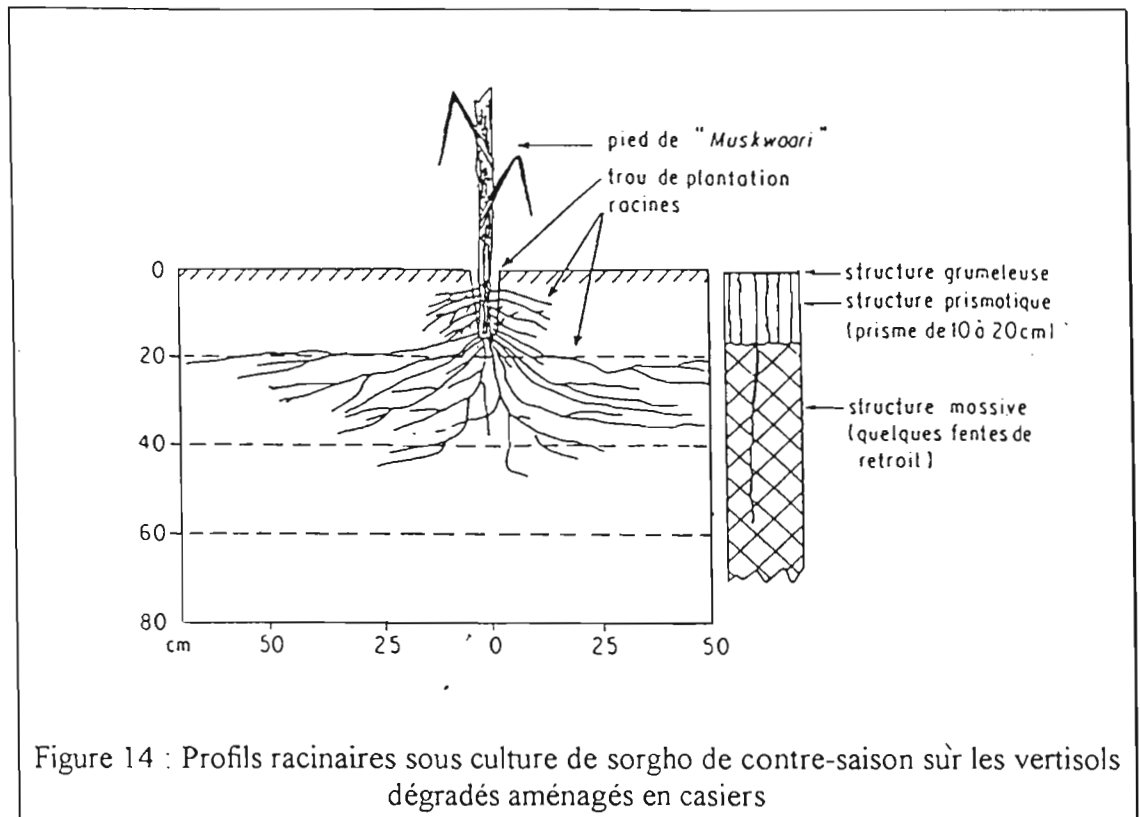


Figure 14 : Profils racinaires sous culture de sorgho de contre-saison sur les vertisols dégradés aménagés en casiers

Enracinement du "muskwaari", sorgho de contre-saison.

Un profil racinaire a été réalisé sous une plante bien développée, située sur une parcelle aménagée en casier. L'observation a été réalisée fin janvier 1991, donc au maximum de développement du système racinaire (figure 14).

Aucune racine apparaît dans l'horizon 0-15 cm. De grosses racines se sont développées à la base du plateau racinaire qui se situe au fond du trou de plantation soit entre 15 et 20 cm. Celles-ci prospectent essentiellement l'horizon 20-40 cm. En dessous de 40 cm, les racines, même très fines, sont quasiment absentes. Par contre, nous avons observé, entre 30 et 40 cm de profondeur la présence de racines à développement horizontal sur une distance de plus d'un mètre. Le système racinaire de ce type de sorgho, dans les conditions édapho-hydriques présentes, est donc caractérisé par un développement préférentiel subhorizontal entre 20 et 40 cm, et la prospection racinaire se limite aux horizons peu profonds. Ces résultats rejoignent ceux présentés par GORSOU (1983), qui considère que l'enracinement sous les 50 centimètres de profondeur constitue moins de 5 % de l'enracinement total.

Année	Traitement	Pluviosité annuelle (mm)	Repiquage		Matière sèche aérienne (t/ha)
			Date	Rd (mm)	
1989	Casiers	749	28/9/89	30-34	1,9
	Microcatchment			13-19	1,5
	Témoin			12-13	1,4
1990	Casiers	808	26/9/90	33-34	1,3
	Microcatchment			9-11	0,5
	Témoin			9-10	0,6
1991	Casiers	915	20/9/91	39-59	1,18
	Microcatchment			21-44	0,89
	Témoin			24-43	0,95

Tableau 10 : Comparaison des Réserves hydriques totales et disponibles sur vertisols dégradés cultivés en sorgho de contre-saison.

3.3.2.2.3 Conclusions sur l'efficacité des traitements en culture de contre-saison

Les casiers améliorent nettement les stocks d'eau disponible sur les vertisols dégradés. De plus, ils ont une action d'homogénéisation des conditions culturales sur la parcelle.

Au moment du repiquage du sorgho de contre-saison, soit en fin de saison des pluies, l'eau théoriquement disponible se situe essentiellement dans la tranche 10-40 cm. L'enracinement se développe donc dans cet horizon et dans une direction subhorizontale. Ceci explique les faibles densités de repiquage pratiquées par les paysans dans ce type de culture, la surface utile minimale et nécessaire à une plante étant plus élevée si son enracinement est limité en profondeur.

Le microcatchment demande un entretien constant au cours de la saison des pluies. La concentration de l'eau en un point de la diguette de retenue provoque souvent son écroulement et donc des pertes en eau parfois importantes. Sur les casiers, le carroyage serré limite considérablement les risques de destruction des diguettes ; l'entretien y est nettement moins fastidieux.

Enfin, pour une mise en culture de contre-saison, l'absence de variations des réserves hydriques disponibles sur la parcelle témoin montre bien l'intérêt des aménagements sur les vertisols dégradés, surtout pour des années à faible pluviosité ; leur importance est donc non seulement d'améliorer des rendements mais également de régulariser dans le temps la production agricole.

3.4 EVALUATION DE LA FLUCTUATION INTERANNUELLE DE LA BIOMASSE AERIENNE DES ESPECES HERBACEES SUR VERTISOL DEGRADE

3.4.1 But de l'étude

Le but de cette étude était de quantifier la production des herbacées, afin de mener une réflexion sur la valeur pastorale de ces unités sur vertisols dégradés et sur l'intérêt de la mise en défens de courte durée.

3.4.2 Méthode utilisée

Les recouvrements du sol par les ligneux, les herbacées, les cailloux, ainsi que par le sol nu, sont estimés et exprimés en pourcentage de la surface totale du sol.

Pour les mesures de l'évolution de la biomasse, la méthode utilisée est celle décrite par FLORET (1992). Le principe de cette méthode consiste en une série de mesures effectuées au cours de la saison des pluies; l'important étant de ne pas manquer la mesure au moment du pic de la production (en général fin septembre). A chaque date de mesures, on coupe la végétation herbacée sur un certain nombre de placettes de 1 m², prises au hasard dans la parcelle. La biomasse verte aérienne est pesée et des échantillons sont prélevés pour séchage à l'étuve et détermination de la matière sèche. Sur deux ou trois parcelles jugées représentatives, les herbacées sont triées par espèces ou par catégories pesées et séchées pour leur matière sèche spécifique. Le nombre d'individus de chaque espèce ligneuse est aussi relevé tous les ans.

Nous avons choisi deux parcelles de 30 x 30 m, dans des zones à conditions écologiques contrastées, aux abords des essais de mise en culture des vertisols dégradés. A chaque coupe, 25 placettes de 1 m² ont été échantillonnées dans chaque parcelle. Le site a été clôturé en Juin 1990. Deux tubes d'accès de sonde à neutrons ont été placés en Mai, un tube dans chaque parcelle et les mesures d'humidité ont été effectuées tout au long de l'année avec une périodicité de 8 jours environ.

Les mesures de phytomasse aérienne ont été réalisées durant les saisons des pluies 1990 et 1991. Le comptage des individus des espèces ligneuses a été réalisé durant trois ans de mise en défens (1990 à 1993).

3.4.3 Résultats

3.4.3.1 Année 1990

Le 10 Mai 1990, on a noté le début de la pousse des Liliacées et ce n'est que vers le 28 Mai que, dans certaines dépressions de la parcelle n° 1, des espèces ont commencé à pousser. Les germinations ont ensuite continué sur l'ensemble des deux parcelles. La pluie du 8 Juin 1990 (62 mm) a permis un début de remontée du stock d'eau totale. Le stock augmente alors progressivement pour atteindre un maximum vers la fin Août, avec environ 250 mm sur la tranche

0-100 cm. Une différence nette apparaît entre les parcelles choisies; la parcelle n° 1 présente par rapport à la parcelle n° 2 un déficit d'une cinquantaine de mm durant la troisième décennie d'août, qui correspond à la phase de pleine croissance de la végétation naturelle. La parcelle n° 1 présente donc un état de dégradation du fonctionnement hydrique plus avancé. Ceci est confirmé notamment par l'existence de zones dénudées plus nombreuses sur cette parcelle, donc d'un recouvrement et d'une hauteur de la végétation moins élevés. Les résultats de l'évolution de ces différents paramètres sur les deux parcelles sont consignés dans le tableau 11. Les productions moyennes apparaissent sur le tableau 12.

N° parcelle	date de coupe	Recouvrement moyen % R	Hauteur moyenne H (cm)
1	27/07/90	38,0	12,0
2	27/07/90	34,2	19,5
1	27/08/90	55,0	26,0
2	28/08/90	61,4	55,7
1	25/09/90	54,8	43,3
2	25/09/90	80,4	76,4

Tableau 11 : Evolution du recouvrement et de la hauteur des herbacées sur le vertisol dégradé.

N° Parcelle	date de la coupe		
	27/07/90	27 et 28/08/90	25/09/90
1	0,70	1,74	2,30
2	0,96	3,04	3,84
Moyenne	0,83 ± 0,70	2,39 ± 1,60	3,07 ± 2,02

Tableau 12 : Evolution de la biomasse aérienne des herbacées en 1990 (t.MS/ha)

Espèces	Date de la coupe			
	27/08/90		25/09/90	
	Parcelle		Parcelle	
	1	2	1	2
<i>Andropogon gayanus</i>	38,5	42,4	35,0	45,0
<i>Andropogon fastigiatius</i>	-	-	-	6,5
<i>Panicum laetum</i>	29,3	3,0	4,9	3,0
<i>Setaria pumila</i>	15,0	34,0	20,0	8,6
<i>Pennisetum pedicelatum</i>	-	-	5,4	-
<i>Spermacocae rulliae</i>	3,3	1,6	-	-
<i>Chloris lamproparia</i>	2,5	-	0,4	-
<i>Chloris pilosa</i>	-	-	-	-
<i>Dipcadi sudanica</i>	1,0	0,2	-	-
<i>Brachiaria lata</i>	0,7	-	-	-
<i>Blepharis madaraspatensis</i>	0,6	-	0,0	-
<i>Schizachyrium exile</i>	0,5	-	-	-
<i>Digitaria ciliaris</i>	0,4	0,7	3,0	-
<i>Zornia glochidiata</i>	0,2	0,1	0,2	0,1
<i>Polygala erioptera</i>	0,2	-	-	-
<i>Dipcadi viride</i>	-	-	0,0	-
<i>Eriochloa nubica</i>	0,2	-	-	-
<i>Schoenfeldia gracilis</i>	0,2	-	2,2	-
<i>Sida acuta</i>	0,1	-	-	-
<i>Aristida hordeacea</i>	-	-	4,1	-
<i>Pandika heudelotii</i>	0,1	-	-	-
<i>Chrysantelum americana</i>	0,1	0,1	-	-
<i>Hackelochloa granularis</i>	0,0	-	-	-
<i>Cassia mimsoïdes</i>	0,0	0,4	0,0	4,5
<i>Alysicarpus rugosus</i>	0,0	-	-	-
<i>Hygrophila auriculata</i>	-	-	-	2,1
<i>Striga aspera</i>	-	-	0,0	-
<i>Spermacoce filifolia</i>	-	6,0	-	-
<i>Loudetia togoensis</i>	-	2,5	-	-
<i>Brachiaria xantholeuca</i>	-	1,7	2,2	-
<i>Cyperus sp.</i>	-	0,5	-	-
<i>Ipomea coscinosperma</i>	-	0,5	-	-
<i>Spemacoce stachydea</i>	-	-	5,0	1,0
<i>Panicum pansum</i>	-	-	0,4	-
<i>Sporobolus festivus</i>	-	-	0,2	-
Autres	6,8	6,6	16,8	20,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 13 : Contribution des espèces à la phytomasse herbacée.

Le tableau 13 donne la contribution des différentes espèces à la phytomasse pour deux dates de coupes.

Il ressort de ce tableau que certaines herbacées contribuent de façon importante à la biomasse aux deux dates de coupe et dans les deux parcelles. Il s'agit d' *Andropogon gayanus*, *Panicum laetum*, *Setaria pumila*, et *Zornia glochidiata*. Les autres sont en quantité plus faible, certaines n'apparaissent que dans la deuxième coupe, quand d'autres ont fini leur cycle.

3.4.3.2 Année 1991

Les résultats concernant l'évolution de la biomasse et de la production des deux parcelles apparaissent sur le tableau 14.

Parcelle	Date de la coupe				Production primaire nette
	4/07/1991	6et7/08/1991	3/09/1991	1/10/1991	
1	0,60	1,60	2,45	2,91	2,91
2	0,78	2,14	4,20	4,60	4,60
Moyenne	0,69	1,82	3,32	3,75	3,75

Tableau 14 : Evolution de la biomasse aérienne des herbacées en 1991 (t.MS/ha)

Les mesures de profils hydriques font ressortir que le profil de sol de la parcelle 2 s'humecte plus profondément que celui de la parcelle 1 ; les réserves disponibles pour la végétation y sont donc plus importantes. En effet, la parcelle 1 a produit 2,9 tMS/ha, et la seconde parcelle 4,6 tMS/ha. Ce sont les *Andropogon sp.*, *Loudetia togoensis*, *Panicum laetum* et *Setaria pumila* qui contribuent le plus à cette production. La production des *Andropogon sp.* est constituée pour 2/3 par *Andropogon gayanus* et pour le reste par *Andropogon fastigiatus*.

En raison sans doute de la pluviosité plus importante en 1991 qu'en 1990 (100 mm en plus) et aussi de l'effet de 1 an de mise en défens supplémentaire, la production des herbacées a été supérieure de 0,7 t MS par ha, soit une augmentation relative de 6,9 kg/mm de pluie.

Avec une production moyenne de 3,3 t de MS sur les deux années, ces vertisols dégradés montrent une production pastorale herbacée intéressante, à laquelle il faut ajouter celle des ligneux qui n'a pas été mesurée.

3.4.3.3 Evolution des ligneux sous l'effet de la protection

L'évolution du nombre d'individus des espèces ligneuses durant trois de protection apparaît sur le tableau 15. Il ressort que le peuplement de *Lannea humilis* colonise de plus en plus les parcelles, malgré la mise en défens. Cette espèce est pourtant considérée comme caractéristique des faciès de dégradation. *Combretum aculeatum* et *Albizia chevalieri* ont vu leurs populations augmenter. D'une façon générale, le nombre total d'individus a augmenté de 50% en trois ans de protection, sans que le couvert ligneux augmente beaucoup puisqu'il s'agit encore de jeunes individus.

Espèces	Parcelle N° 1			Parcelle N° 2		
	1990	1991	1992	1990	1991	1992
<i>Acacia seyal</i>	6	8	5	4	6	13
<i>Acacia senegal</i>	5	4	7	5	4	5
<i>Acacia hockii</i>	-	-	1	-	-	-
<i>Acacia geraldii</i>	-	-	22	-	-	1
<i>Albizia chevalieri</i>	-	-	2	159	155	175
<i>Asparagus flagellaris</i>	1	3	3	7	6	8
<i>Balanites aegyptica</i>	3	5	7	27	22	27
<i>Combretum aculeatum</i>	106	160	154	35	21	45
<i>Combretum fragrans</i>	1	-	1	-	-	-
<i>Capparis corymbosa</i>	17	26	29	11	9	14
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	-	-	-	1	-	1
<i>Dichrostachys glomerata</i>	13	23	48	-	-	4
<i>Entada africana</i>	20	21	20	2	4	3
<i>Lannea humilis</i>	8	6	26	20	9	33
<i>Leptadenia sp.</i>	-	-	2	-	-	5
<i>Sclerocarya birrea</i>	3	3	6	1	-	-
<i>Ziziphus mauritiana</i>	1	2	2	-	1	1
Indéterminées	-	3	8	-	1	-
Couvert ligneux (%)	36,5	32,7	36,5	41,8	58,3	59,6

Tableau 15 : Nombre d'individus d'espèces ligneuses dans les 2 parcelles et recouvrement des ligneux pour les 3 années d'observation.

4. RECONSTITUTION DE LA VEGETATION NATURELLE APRES ABANDON CULTURAL

4.1 INTRODUCTION

Le système d'exploitation des terres dans la région consiste le plus souvent à faire alterner au même endroit une phase de jachère qui dure 2 à 7 ans consécutifs et une phase de jachère qui habituellement de 10 à 50 ans tend actuellement à se raccourcir (5 à 15 ans).

Après l'abandon cultural consécutif à la diminution du rendement des cultures, on assiste donc périodiquement à un retour à la savane dans cette zone semi-aride.

Les processus de reconstitution de la végétation naturelle sont contrariés par une pression humaine qui persiste sous forme de feu, du pâturage, des prélèvements de bois et d'un système d'exploitation des terres inapproprié (culture extensive sur des sols à potentiel de production faible etc.) de telle sorte que celle-ci n'arrive plus à jouer ses deux rôles majeurs dans cette zone, à savoir la protection et la production (amélioration des sols, production de bois de chauffe, de service, fruits, pharmacopée, fourrages etc.).

L'objectif est donc d'étudier, lors des phases de reconstitution et de culture, l'effet des perturbations anthropiques sur la dynamique des savanes et en conséquence, d'en tirer quelques conclusions pour la gestion du cycle culture-jachère.

Les principales questions auxquelles on peut chercher à répondre sont les suivantes :

- Les espèces s'installent-elles simultanément, progressivement ou successivement ?
- Quel est leur mode d'installation, voie végétative ou graines? Des espèces sont elles initialement présentes sous formes de graines dans le sol ou bien viennent-elles progressivement à partir de l'extérieur? Existe-il des stades d'équilibres dynamiques, des paliers dans la succession post-culturelle. A quel moment les changements observés dans la végétation sont-ils les plus importants? Quels degrés de stabilité, de résilience peuvent être appliqués aux différents faciès de végétation? Quelles sont les vitesses d'évolution de la composition floristique et de la stratification? Quels sont les facteurs qui influencent la dynamique post-culturelle? L'influence du feu, du pâturage ou de la pluviosité des premières années est-elle déterminante sur les stades ultérieurs?
- Quelle est l'influence de la durée de la phase de culture et du potentiel de production du milieu sur l'orientation de la succession?

4.2 LES SITES ETUDIEES

4.2.1 Dans la zone sahélo-soudanienne (500 à 700 mm)

Dans la zone sahélo-soudanienne, située au Nord de Maroua, nous avons choisi de travailler dans 3 secteurs écologiques (tableau 16) :

- le secteur des glacis sur gneiss à séquence vertisolique ;
- le secteur des pédiments à la périphérie des massifs granitiques des monts Mandara ;
- le secteur du cordon dunaire continental, péri-tchadien.

4.2.2 Dans la zone soudano-sahélienne (700 à 800 mm)

La plus importante partie des mesures et observations réalisées dans le cadre de cette étude concerne cette zone soudano-sahélienne. Quatre principaux secteurs écologiques peuvent y être distingués (Tableau 17) :

- les glacis et plaines sur gneiss à séquence vertisolique ;
- le plateau à sols cuirassés, sur gneiss à quartzite, et à sol ferrugineux ;
- les versants et glacis des collines à roches vulcano-sédimentaires, à sols fersiallitiques ;

4.3 ETUDE DE LA SUCCESSION POST-CULTURALE

4.3.1 Introduction : principe général

L'expression "succession post-culturelle" désigne les processus de colonisation et de reconstitution d'un milieu par les êtres vivants (végétaux), et les changements dans le temps de la composition floristique de la station, après l'arrêt de la culture. L'étude s'intéresse donc à des unités de milieu plus ou moins anciennement mises en culture. Nous les désignerons par les termes jachère ou friche. Le terme jachère désigne une terre cultivable, laissée temporairement au repos pour permettre la reconstitution de la fertilité du sol. Dans ce cas, le paysan qui abandonne le champ en programme une remise en culture. La friche, quant à elle, désigne une terre non cultivée, mais qui l'a été ou qui pourrait l'être. Aucune remise en culture n'y est programmée.

Deux approches ont été utilisées pour étudier cette succession :

- l'approche diachronique, pour l'étude de l'évolution de la végétation des premiers stades de l'abandon ; elle consiste à suivre sur une même parcelle abandonnée, la reconstitution de la végétation durant les premières années de jachère ;
- l'approche synchronique, qui consiste à étudier, dans des conditions de milieux similaires, des parcelles différentes ayant subi un abandon à des dates échelonnées dans le passé.

**ETUDE DU RETOUR A LA SAVANE
APRES ABANDON CULTURAL**



Friche d'altitude (1000 mm)
en saison sèche

Friche de deux ans en début
de saison sèche



Aspect de la savane en saison des
pluies (région de Garoua 1000 mm)

Friche d'un an après
abandon cultural



		Glacis plaine sur gneiss Séquence vertisolique (Gouzoudou)			Pédiments de massifs granitiques des monts Mandara (Molkoa)		Cordon dunaire sableux continental (Mokyo, Aïssa Hardé)		
Position de la forme		Centre	Centre	Bas	Haut	Bas	Haut de dune	Milieu de dune	Bas de dune
S O L S	Type dominant	Vertisols modaux	Vertisol dégradé	Sols hardés	Sols ferrugineux sur arène granitique		Sols ferrugineux sur sable fin		
	Caractéristiques	Argileux avec fentes en surface	Epandage caillouteux, troncature, battance	Battance accentuée	Texture graveleuse		Sableux très battant		
	Régime hydrique	I=P-R	I=P-R		I=P-R	I=P+R	I=P	I=P+R	
V E G E T A T I O N	Type dominant	Savane arbustive à épineux et cultures			Cultures sous parc à <i>Acacia albida</i> et jachère arbustive		Savane arbustive et culture		
	Ligneux dominant	<i>Acacia seyal</i> , <i>Combretum aculeatum</i>	<i>Acacia seyal</i> , <i>Dichro-stachys cinerea</i> ,	<i>Dichro-stachys cinerea</i> <i>Acacia gérardii</i>	<i>Annona senegalensis</i> , <i>Piliostigma reticulatum</i>		<i>Guiera senegalensis</i>		
	Herbacées dominantes	<i>Setaria pumila</i> , <i>Schoenfeldia gracilis</i>			<i>Brachiaria xantholeuca</i> , <i>Digitaria spp.</i> , <i>Eragrostis tremula</i> Moyen		<i>Cenchrus biflorus</i> , <i>Zornia glochidiata</i> , <i>Triumfetta pentandra</i>		
	Etat du couvert	Bon	Moyen	Faible	Moyen		Moyen		
Type d'observation		Relevés phyto-écologiques							

Tableau 16 : Principales caractéristiques des systèmes écologiques étudiés de la zone sahélo-soudanienne (500-700 mm). Types d'observations réalisées. (I=Infiltration, P=Précipitation, R=Ruissellement)

		Glacis/plaine sur gneiss à séquence vertisolique (Mouda, Midaoua)			Plateau ferrugineux à cuirasse sur gneiss à quartzite (Mouda, Gazal)		Versant des collines à roches vulcano-sédimentaires (Mouda, Gayak, Ndonkolé, Mambang)			Glacis/plaine/hautes terrasses sur alluvions anciennes (Salak, Gaklé, Lougol, Ngassa, Guiring, Lagadgè, Pitoa)			
Position de la forme		Milieu	Bas	Bas	Haut	Haut	Haut et milieu de pente	Bas de versant	Glacis de raccordement	Terrain plat	Haut de terrasse	Sol très dégradé	
S O L S	Type dominant	Vertisol à pédoclimat sec sur gneiss	Idem, faciès dégradé, planosol (solonetz)	Idem, faciès dégradé, régosolique	Sols ferrugineux indurés, charge importante, localement faciès planosolique		Sols peu évolués à faciès fersiallitiques, sols fersiallitiques à faciès vertique vers le bas			Sols peu évolués alluviaux et vertisoliques sur alluvions			
	Caractéristiques	Argileux, larges fentes de retrait	Argileux, peu de fentes, cailloux en surface	Argilo-sableux, compact, battance	Sablo-argileux discontinu, cailloux gravillons en surface, cuirasse affleurante	Sablo-argileux, concrétions, induration en profondeur	Très caillouteux, sablo-argileux, blocs de roches volcaniques			Sablo-argileux, argilo-sableux, inondable	Argileux avec quelques fentes	Sols peu évolués, alluviaux, sablo-limoneux, sablo-argileux	Planosol
	Régime hydrique	I=P-R	I=P+R	I=P-R	I=P-R	I=P	I=P-R	I=P+R	I=P-R	I=P-R à I=P+R	I=P	I=P-R	
V E G E T A T I O N	Type dominant	Savane arbustive à épineux et cultures	Savane arbustive à épineux et culture de saison des pluies		Savane arborée ou arbustive et cultures		Savane arborée ou arbustive et cultures			Savane arborée très dégradée, savane à épineux, cultures			
	Ligneux dominant	<i>Acacia seyal</i>	<i>Acacia hockii</i> , <i>Acacia gérardii</i>	<i>Lannea humilis</i> , <i>Acacia gérardii</i>	<i>Combretum spp.</i> , <i>Annona senegalensis</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i>	<i>Combretum spp.</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>Cassia singueana</i>	<i>Boswellia dalzielii</i> , <i>Sterculia setigera</i> , <i>Combretum spp.</i>			<i>Acacia albida</i> , <i>Piliostigma reticulatum</i> , <i>Acacia spp.</i>			
	Herbacées dominantes	<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Loudetia togoensis</i>	<i>Schizachyrium exile</i> , <i>Sporobolus festivus</i>	<i>Loudetia togoensis</i> , <i>Setaria pumila</i> , <i>Andropogon</i>		<i>Andropogon spp.</i> , <i>Thelepogon élégans</i>			<i>Pennisetum ramosum</i> , <i>Setaria pumila</i> , <i>Andropogon spp.</i>			
	Etat du couvert		Moyen		Bon		Moyen			Bon			
Type d'observation		Relevés phyto-écologiques, suivi diachronique, étude du stock de graines et de la strate ligneuse						Relevés phyto-écologiques					

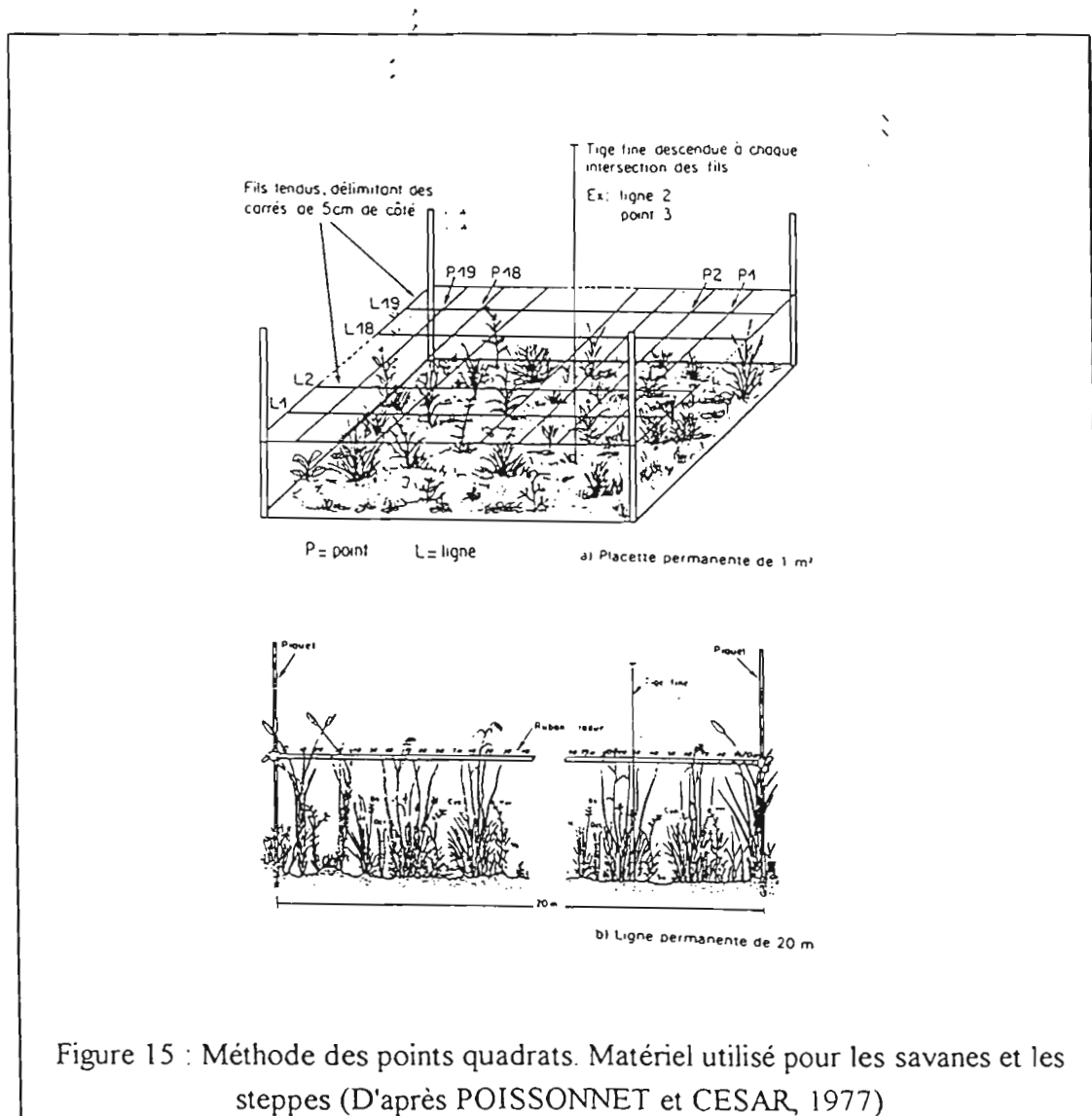
Tableau 17 : Principales caractéristiques des systèmes écologiques étudiés de la zone soudano-sahélienne (700-800 mm). Types d'observations réalisés (I=Infiltration, P=Précipitation, R=Ruissellement)

4.3.2 Méthodes

4.3.2.1 Approche diachronique : étude de l'évolution de la végétation des premiers stades de l'abandon

Les observations se font une fois tous les ans, à l'optimum de végétation (mi-septembre). La méthode utilisée est celle des points quadrats. Elle permet de quantifier la composition floristique d'une végétation en mesurant la fréquence de toutes les espèces recensées et en exprimant cette fréquence en terme de recouvrement.

On utilise la méthode des points quadrats ; une aiguille fine est descendue dans la végétation. Les espèces qui sont touchées par l'aiguille sont recensées (figure 15). Les observations faites font intervenir les notions suivantes (DAGET et POISSONNET, 1971).



4.3.2.2 Approche synchronique : étude de la succession post-culturale

4.3.2.2.1 Principe de la méthode

A défaut de pouvoir suivre les changements dans la végétation des jachères pendant un temps suffisamment long, nous avons eu recours à l'approche synchronique. Elle consiste à analyser les variations spatiales de la structure et de la composition floristique des communautés végétales établies à la suite des abandons culturels étalés dans le temps. L'étude est basée sur l'exécution et l'exploitation de relevés phyto-écologiques (GOUNOT, 1961 ; 1969) dans les parcelles d'âges d'abandon différents.

4.3.2.2.2 Méthodes des relevés.

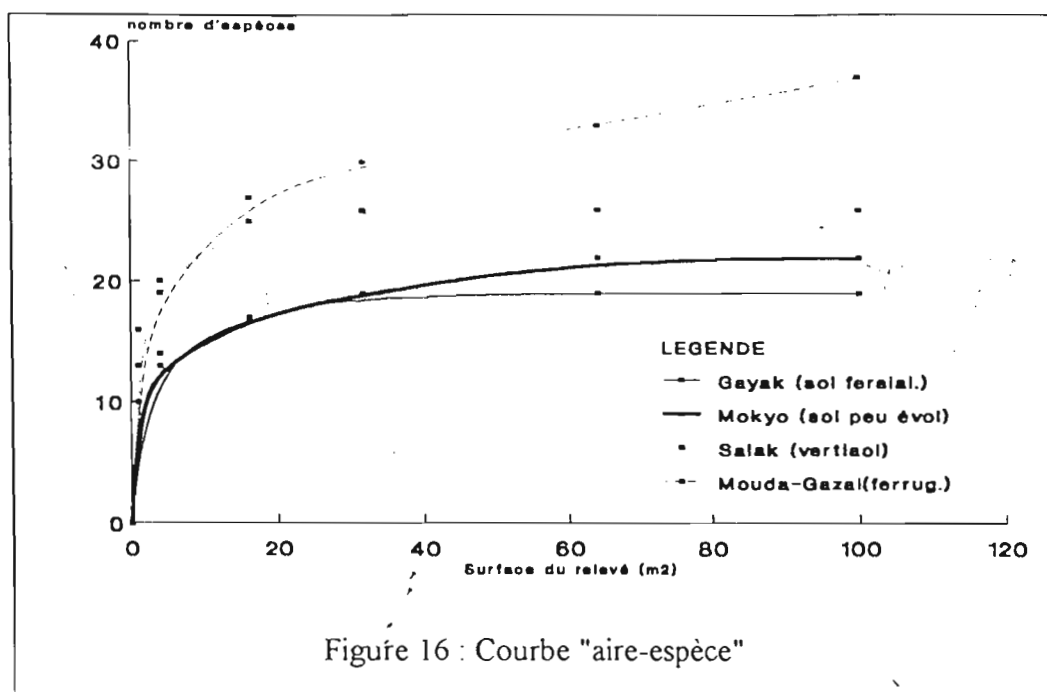
Des relevés phyto-écologiques ont été effectués sur des jachères d'âge déterminé par une synthèse des observations recueillies par enquête auprès des paysans et par comptage de cernes sur la section du tronc principal des ligneux "pionniers", qui sont ceux rejetant de souche dès la première année d'abandon.

Vingt zones d'étude, soit vingt grappes de relevés, ont été retenues. L'échantillonnage a pris en compte principalement deux paramètres : l'âge de la friche (nombre d'années depuis la cessation de la culture) et le type de sol.

Pour la réalisation des relevés, une fiche concernant la flore, la végétation et les caractéristiques écologiques de la station a été mise au point, sur la base de la fiche IRCT/CIRAD de LE BOURGEOIS (1988). Nous avons pris en compte 44 variables du milieu, même si la même importance n'est pas attachée à toutes.

La méthode utilisée pour la détermination de la surface à prendre en compte pour les relevés concernant la flore est celle de l'aire minimale qualitative (GOUNOT, 1969). Elle est basée sur l'utilisation de la courbe aire-espèce (figure 16). Elle consiste, dans une communauté végétale homogène, à faire la liste des espèces présentes sur une petite surface, puis sur des surfaces de plus en plus grandes doublées chaque fois, jusqu'à ce que la liste ne s'allonge plus. Dans la plupart de nos relevés, cette aire correspond à une surface d'environ 64 m² pour la strate herbacée, sauf sur sol ferrugineux. Cependant, une extension autour de cette aire minimale a été réalisée dans tous les milieux pour recenser les espèces plus rares. Quant à la strate ligneuse, on l'a échantillonné sur une surface de 2000 m² environ. L'aire du relevé des herbacées est incluse dans cette surface d'observation des ligneux.

Le relevé de végétation consiste à dresser une liste de toutes les espèces représentées dans la parcelle échantillonnée. Les espèces sont relevées par strate, correspondant à des classes de hauteur. On estime le recouvrement de l'espèce dans chaque strate de hauteur. Ce recouvrement correspond au pourcentage de la surface du sol couverte par l'espèce par rapport à la surface totale du sol. Il est estimé et noté par un indice.



4.3.2.2.3 Echantillonnage : âge de la parcelle et type de milieu édaphique

170 relevés ont été effectués durant les trois années d'observations (1988, 1989, 1990). L'échantillonnage réalisé apparaît sur le tableau 19.

4.3.2.2.4 Traitement et interprétation des données.

Types de sols	Age de l'abandon						Total (Moy=34)
	0 an (AG0)	1 à 2ans (AG1)	3 à 4ans (AG2)	5 à 9ans (AG3)	10 à 22ans (AG4)	+ de 23ans (AG5)	
Ferrugineux	6	14	15	13	7	7	62(++)
Vertisols modaux	3	14	7	12	8	0	44(+)
Vertisols dégradés et sols hardés	9	0	1	0	6	11	27(-)
Collines à sols fersiallitiques	7	2	3	2	6	5	25(-)
Sables dunaires	2	3	2	2	3	0	12(-)
TOTAL (moy = 28)	27	33(+)	28	29	30(+)	23(-)	170

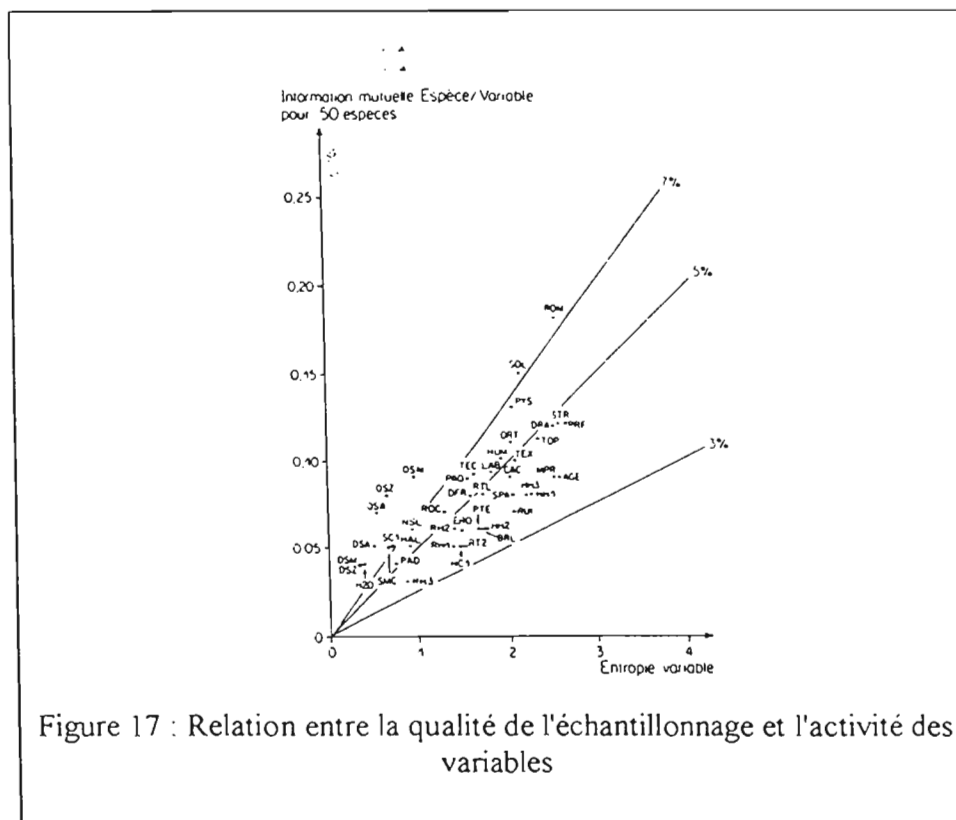
Tableau 18 : Tableau d'échantillonnage (Les chiffres représentent le nombre de relevés par classe. Les signes entre parenthèses renseignent sur l'écart par rapport à la valeur moyenne).

Tous les relevés mésologiques et floristiques ont été saisis sur ordinateur à l'aide du logiciel BASEFLO (GRARD et LE BOURGEOIS, 1988). Les analyses des profils écologiques ont été faites par les méthodes de l'information mutuelle et de l'analyse factorielle des correspondances. Elles ont été réalisées respectivement avec les logiciels INFECO (BACOU et LEPART, 1984), et BIOMEKO (LEBRETON *et al.*, 1990).

La méthode utilisant la théorie de l'information (ABRAMSON, 1963) pour les études phytocologiques a fait l'objet de nombreuses publications. On trouvera dans GOUNOT (1958, 1969); GODRON (1968); GUILLERM (1971); GODRON et POISSONET (1970); DAGET *et al.* (1971); MORIS et GUILLERM (1974), l'exposé détaillé de ces méthodes dont nous rappellerons seulement le principe.

Importance écologique des variables échantillonnées.

Parmi les variables écologiques analysées, celles qui jouent un rôle important sur la distribution des espèces ("facteurs actifs") peuvent être déterminées par le calcul de l'information



mutuelle espèce-variable. La comparaison de l'information mutuelle moyenne des 50 espèces apportant le plus d'informations, avec l'entropie variable, permet de tracer le graphique de la figure

17. Sur ce graphique, les "facteurs actifs" sont placés sur la partie supérieure et les variables ayant un rôle secondaire sont situées vers la partie inférieure. Ce graphique renseigne également sur les variables bien échantillonnées, qui sont situées sur la partie droite du graphique, alors que les variables mal échantillonnées sont sur la partie gauche.

Valeur indicatrice des espèces

L'étude des profils écologiques corrigés permet de préciser l'écologie des espèces et de regrouper celles dont les exigences écologiques sont semblables. Les groupes d'espèces indicatrices des états de facteurs sont ainsi construits.

4.3.3 Résultats

4.3.3.1 Relations sol-végétation.

En raison de leurs nombreuses caractéristiques (texture, profondeur, capacité d'échange d'ions, etc.), les types de sol sont intéressants à considérer pour expliquer la répartition des populations de plantes. A quelques exceptions près, chaque type de sol échantillonné est caractérisé par un groupe d'espèces plus ou moins important (figure 18). Les groupes ne sont pas forcément constitués d'espèces exclusives. Ils sont souvent imbriqués en "écaille" (GODRON, 1967). Nous n'analyserons que quelques unes des variables édaphiques actives sur la végétation : type de sol, texture du sol, et humidité du sol de la station.

Végétation et type de sol (figure 18)

Parmi les 439 espèces constituant la flore recensée dans notre étude, environ 80 sont sensibles au facteur "type de sol". Près de la moitié de celles-ci se retrouvent sur les sols ferrugineux. Ce très grand nombre d'espèces sensibles montre l'extrême complexité de la végétation et surtout l'importante richesse floristique sur sol ferrugineux (SEGHIÉRI, 1990).

Le deuxième groupe est celui des espèces indicatrices des vertisols modaux. Il y a plus d'une vingtaine d'espèces "sensibles" à ce sol. La plus caractéristique est *Acacia seyal*. Les espèces compagnes sont *Merremia emarginata*, *Eriochloa nubica*, etc. Ce groupe peut aussi être subdivisé en plusieurs sous-groupes liés au stade de dégradation.

Le troisième groupe est constitué des espèces indicatrices des vertisols dégradés et des sols "hardés". Les espèces caractéristiques sont : *Lannea humilis*, *Dipcadi sudanica*, *Acacia gerrardii*. Ces espèces sont presque absentes dans les sols ferrugineux indurés, sauf *Dichrostachys cinerea* et assez rares dans les vertisols modaux.

Le quatrième groupe est celui des espèces indicatrices des sols ferrugineux sableux sur dune. Ce sont *Guiera senegalensis*, *Cenchrus biflorus*, *Chloris prieurii*, *Triumfetta pentandra*, etc.

Le groupe des espèces caractérisant les collines à roches basiques d'origine volcanique et les sols fersiallitiques qui leur font suite à l'aval, ne s'individualise pas dans cette analyse. Les espèces

qui les constituent sont aussi présentes sur les sols ferrugineux. Il s'agit de *Boswellia dalzielii*, *Sterculia setigera*, *Anogeissus leiocarpus*, etc.

On constate donc que le facteur "type de sol" exerce une forte influence sur la flore de la région.

La texture du sol (figure 19)

Les principales propriétés du sol, liées à son type, constituent un facteur écologique important. L'étude de l'influence de la texture permet de démontrer que les espèces végétales sont sensibles à ce facteur. En effet, les espèces telles que *Acacia seyal*, *Setaria pumila* et *Chloris lamproparia* sont assez bien liées à la texture fine. A l'opposé les textures très grossières ou graveleuses sont caractérisées par *Eragrostis tremula*, *Chloris prierii*, *Guiera senegalensis*, *Annona senegalensis*. En général, à chaque classe de texture correspond un groupe d'espèces bien distinct des autres.

Le facteur "Humidité de la station" (figure 20)

Les sols stations "sèches", dans notre classification en valeur relative d'humidité, sont caractérisés par les espèces telles que *Triumfetta pentandra*, *Chloris prierii*, *Cenchrus biflorus*, etc. Il s'agit, pour la plupart, d'espèces indicatrices du sable dunaire, et des faciès secs des sols ferrugineux à cuirasse. Sur vertisol dégradé jusqu'au stade hardé, on trouve par exemple *Lansea humilis*. Cette espèce se rencontre également sur les sols des stations humides, sous forme de jeunes pousses qui n'atteignent jamais le stade adulte dans les vertisols modaux. En effet, elle se développe en saison sèche et disparaît en saison des pluies sur ces sols humides.

Les stations "humides", représentées par les vertisols modaux et les vertisols dégradés dans les dépressions, sont caractérisées par des espèces telles que *Echinochloa colona*, *Rhamphicarpa fistulosa*, *Scleria sphaerocarpa* et *Merremia emarginata*.

...ESPECE.....	FA	IM	S01	S02	S03	S05	S07	
Setaria pumila (Poir.) Roe	127	.17	+	---	0	---	---	} Gr 1
Ptilostigma reticulatum (D	84	.09	+	---	---	---	0	
Loudetia togoensis (Pilger	86	.24	---	---	---	---	0	
Larrea fruticosa (Hochst.	18	.11	+	---	---	---	+	
Brachiaria xantholeuca Sta	44	.22	---	---	---	---	---	
Dactyloctenium aegyptium (	68	.17	---	0	---	---	---
Sida cordifolia L.	38	.15	---	---	---	0	+	
Guiera senegalensis J.F.Gm	44	.16	---	---	0	0	---	
Aneilema lanceolatum Benth	36	.13	---	---	0	0	0	
Spermacoce chaetocephala D	25	.07	+	0	---	---	0	
Brachiaria stigmatistata (M	33	.23	---	---	0	---	---	
Cassia mimosoides L.	67	.09	---	0	---	---	0	
Chloris pilosa Schumach.	68	.10	---	0	---	---	0	
Andropogon pseudapricus St	34	.13	---	---	0	---	---	
Indigofera secundiflora Po	43	.15	---	---	---	0	0	
Ipomoea heterotricha F.Did	13	.09	---	0	---	---	---	
Brachiaria ramosa (L.) Sta	13	.07	---	0	---	---	---	
Spermacoce radiata (DC.) S	22	.13	---	---	0	0	---	
Sporobolus festinus Hochst	66	.07	---	---	0	0	0	
Acacia senegal (Linn.) Wil	44	.08	---	---	0	0	0	
Amelocissus macrocirtrea	51	.25	---	---	---	0	0	
Anogeissus leiocarpus (DC.	52	.08	---	0	0	0	---	
Annona senegalensis Pers.	37	.17	---	---	---	0	0	
Brachiaria deflexa (Schum.	15	.10	---	---	---	---	---	
Cissus multistriata	9	.08	---	---	---	---	---	
Combretum collinum Fresen.	42	.21	---	---	---	---	0	
Combretum fragrans F.Hoffm	60	.11	---	---	0	0	---	
Combretum glutinosum Perr.	50	.17	---	---	0	---	0	
Combretum molle R. Br. ex	14	.07	---	---	---	---	---	
Hibiscus asper Hook. f.	24	.10	---	---	---	0	0	
Indigofera stenophylla Gui	59	.18	---	---	---	0	0	
Kyllinga monocephala	13	.08	---	---	---	---	---	
Lepidagathis heudelotiana	24	.09	---	0	---	0	---	
Securidaca longepedunculat	12	.09	---	---	---	---	---	
Sida stipulata Cav.	18	.09	---	0	---	---	---	
Stereospermum kunthianum C	32	.13	---	---	0	0	---	
Dipcadi viride (L.) Moench	12	.11	---	---	---	0	0	
Acacia seyal Del.	69	.25	---	---	+	0	---	
Acalypha ciliata Forssk.	33	.09	---	---	+	0	---	
Chloris lamproparia Stapf.	59	.15	0	---	---	---	---	
Entada africana Guill.& Pe	26	.08	---	---	+	0	---	
Spermacoce filifolia Perr.	25	.12	---	---	---	---	---	
Alysicarpus rugosus (Willd	44	.08	---	---	0	0	0	
Desmodium triflorum (L.) D	9	.07	---	---	+	---	---	
Echinochloa colona (L.) Li	23	.09	---	---	0	0	---	
Eriochloa nubica (Steud.)	25	.18	---	---	0	0	---	
Panicum laetum Kunth.	31	.14	---	---	0	0	---	
Pennisetum ramosum (Hochst	9	.08	---	---	---	---	---	
Phyllanthus anarus Schum.	19	.13	---	---	0	0	---	
Rhamphicarpa fistulosa (Ho	29	.11	---	---	0	0	---	
Scleria sphaerocarpa (E.A.	13	.09	---	---	---	---	---	
Sida acuta Burm.F.	48	.09	---	---	0	---	0	
Aristida hordeacea Kunth.	48	.08	0	---	0	0	---	
Chlorophytum laxum R. Br.	21	.07	0	---	---	---	---	
Chrysanthellum americanum	41	.10	---	---	0	0	0	
Caperonia senegalensis Hul	15	.11	0	---	---	---	---	
Calotropis procera (Ait.)	25	.09	0	+	---	0	---	
Desmodium sp.	16	.14	---	---	---	---	---	
Andropogon fastigiatus Sw.	29	.07	0	+	0	---	---	
Merremia emarginata (Burm	18	.14	---	---	0	---	---	
Stylochiton lancifolius Ko	31	.08	0	+	0	---	---	
Vigna comosa Bak.	18	.07	0	---	0	---	---	
Panicum pansum Rendle	12	.11	---	0	---	---	---	
Polygala erioptera DC.	19	.12	---	0	---	0	---	
Acacia gerrardii Benth.	12	.12	---	0	---	---	---	
Balanites aegyptiaca (Linn	53	.08	---	0	---	0	0	
Capparis corymbosa Lam.	25	.11	---	0	---	0	0	
Dichrostachys cinerea (L.)	55	.11	0	0	---	---	---	
Dipcadi sudanica	11	.15	---	0	---	---	---	
Larrea humilis (Oliv.) Eng	37	.22	---	0	---	---	---	
Cenchrus biflorus Roxb.	8	.20	---	---	---	---	---	
Digitaria ciliaris (Retz.)	53	.10	0	0	0	---	---	
Eragrostis tremula Hochst	17	.07	0	0	---	---	---	
Stylochiton hypogaeus Lepr	42	.08	0	0	0	0	---	
Striga hermonthica (Del.)	37	.08	0	0	---	0	---	
Triumfetta pentandra A. Ri	25	.17	0	---	0	0	---	
Zornia glochidiata Reichb.	69	.09	0	0	0	---	---	
Chloris prieurii Kunth	10	.17	0	---	---	---	---	
Ipomoea pes-tigridis L.	6	.14	---	---	---	---	---	
Pandiaka involucreta (Moq.	7	.10	0	---	---	---	---	

LEGENDE

FA = Fréquence absolue
IM = Information mutuelle
espèce/variable

S01 = Sol ferrugineux induré
S02 = Vertisol modal
S03 = Vertisol dégradé + "Hardé"
S05 = Sol peu évolué régosolique
et à faciès fersialitique
S07 = Sol ferrugineux sableux sur
dune

+ = L'espèce réagit à la modalité
du facteur par sa présence, au
seuil de 5%

++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon significative
(au seuil de 1%)

+++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)

- = L'espèce réagit par son absence
au seuil de 5%

-- = L'espèce réagit par son absence
de façon significative
(au seuil de 1%)

--- = L'espèce réagit par son absence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)

0 = L'espèce est indifférente à la
modalité de la variable

L'absence de signe signifie : espèce
pas assez échantillonnée pour le
calcul de la probabilité

Figure 18 : Profil écologique indicé des espèces pour la variable "type de sol" (sortie de 80 espèces sensibles)

.....ESPECE.....	FA	IM	TE0	TE1	TE2	TE3	TE6	
Acacia seyal Del.	67	.16	→	→	-	-	-	} Gr 1
Ziziphus mauritiana Lam.	65	.11	→	→	0	-	-	
Ammannia auriculata Willd.	4	.06	→	→	-	-	-	
Echinochloa colona (L.) Li	22	.07	→	0	-	-	-	
Eriochloa nubica (Steud.)	24	.08	→	0	0	-	-	
Pennisetum ramosum (Hochst)	9	.09	→	0	-	-	-	
Rhamphicarpa fistulosa (Ho	27	.06	→	0	0	0	-	
Scleria sphaerocarpa (E.A.	13	.08	→	0	-	-	-	
Setaria pumila (Poir.) Roe	122	.16	→	0	0	-	-	
Sida acuta Burm.f.	47	.08	→	0	0	-	-	
Acacia senegal (Linn.) Wil	43	.05	→	0	0	-	-	
Andropogon gayanus Kunth.	67	.10	→	0	0	-	-	
Aristida hordeacea Kunth.	45	.07	→	0	0	0	-	
Chloris lamprospira Stapf.	56	.15	→	0	0	-	-	
Cissus aralioides Welw. ex	7	.08	→	0	0	-	-	
Combretum aculeatum Vent.	86	.15	→	0	-	-	0	
Caperonia senegalensis Hul	15	.06	→	0	0	-	-	
Dichrostachys cinerea (L.)	54	.12	→	0	0	-	-	
Entada africana Guill.& Pe	26	.10	→	0	-	-	-	
Hibiscus articulatus Hochs	6	.06	→	0	-	-	-	
Lanea huallii (Oliv.) Eng	36	.12	→	0	-	-	-	
Merremia emarginata (Burma	18	.08	→	0	-	-	-	
Stylochiton lancifolius Ko	30	.12	→	0	0	-	-	
Panicum pansum Rendle	12	.08	→	0	0	-	-	
Polygala erioptera DC.	17	.06	0	→	0	-	-	
Acalypha ciliata Forssk.	30	.07	0	→	0	-	-	
Chrysanthellum americanum	39	.05	0	→	0	-	-	
Capparis corymbosa Lam.	25	.11	0	→	-	-	0	
Dipcadi sudanica	11	.07	0	→	-	-	-	
Triumfetta pentandra A. Ri	25	.18	0	→	-	-	→	
Annona senegalensis Pers.	37	.13	-	-	→	0	→	
Spermacoce chaetocephala D	21	.06	0	0	-	-	-	
Cassia nigricans Vahl.	7	.07	-	-	→	-	-	
Euphorbia hirta L.	15	.06	0	0	→	-	-	
Eragrostis ciliaris (L.) R	18	.06	0	0	→	-	-	
Ipomoea heterotricha F.Did	13	.06	0	0	→	-	-	
Leucas martinicensis (Jacq	26	.08	-	-	→	0	-	
Waltheria indica L. (= W.	8	.06	-	-	→	-	-	
Anplocissus macrocirrhea	49	.07	0	0	→	-	-	
Anogeissus leiocarpus (DC.	51	.07	0	0	→	0	-	
Brachiaria villosa A. Camu	8	.06	-	-	→	-	-	
Combretum collinum Fresen.	39	.07	0	0	→	0	-	
Cymbopogon giganteus Chiov	5	.05	-	-	→	-	-	
Heteropogon contortus (L.)	17	.09	-	0	→	-	-	
Mariscus sumatrensis (Retz	12	.06	-	0	→	-	-	
Piliostigma thonningii (Sc	25	.07	0	-	→	0	-	
Brachiaria xantholeuca Sta	44	.14	0	-	0	→	→	
Dactyloctenium aegyptium (	67	.09	-	0	0	→	→
Mitracarpus villosus (Sw.)	21	.10	0	-	0	→	→	
Sida cordifolia L.	38	.14	0	-	0	→	→	
Striga hermonthica (Del.)	36	.10	0	-	0	→	→	
Fimbristylis hispida (Va	32	.14	0	0	0	→	→	
Acanthospermum hispidum DC	15	.06	0	-	0	→	→	
Alysicarpus ovalifolius (S	3	.06	-	-	→	-	-	
Cassia occidentalis L.	11	.05	-	-	0	0	→	
Cenchrus biflorus Roxb.	8	.16	-	-	→	-	-	
Monechma ciliatum (Jacq.)	3	.06	-	-	→	-	-	
Polycarpaea linearifolia (	11	.08	-	-	0	→	-
Chloris prieurii Kunth	10	.14	-	-	0	→	-	
Guiera senegalensis J.F.Gm	42	.07	0	-	0	→	-	
Ipomoea pes-tigridis L.	6	.12	-	-	→	-	-	
Merremia pinnata (Hochst.	3	.06	-	-	→	-	-	
Pandlaka involucreta (Moq.	7	.07	-	-	→	-	-	
Boerhaavia diffusa L. = B.	4	.09	-	-	→	-	-	
Ceratopoda sesamoides End	7	.10	-	-	→	-	-	
Citrullus colocynthis (L.)	3	.05	-	-	→	-	-	
Cyperus amabilis Vahl.	4	.09	-	-	→	-	-	
Eragrostis tremula Hochst	17	.20	0	-	0	→	-	
Evolvulus alsinoides (L.)	8	.06	-	0	0	→	-	
Heliotropium ovalifolium f	2	.06	-	-	→	-	-	
Indigofera pilosa Poir.	2	.06	-	-	→	-	-	
Tridax procumbens L.	10	.06	-	0	0	→	-	
Acacia albida Del.	15	.16	-	0	0	→	-	
Centaurea perrottetii DC.	4	.05	-	-	→	-	-	
Commelina benghatensis L.	10	.08	-	-	0	→	-	
Crotalaria naragutensis Hu	2	.06	-	-	→	-	-	
Digitaria gayana (Kunth) S	9	.08	-	-	0	→	-	
Luffa echinata Roxb.	3	.09	-	-	→	-	-	
Alysicarpus rugosus (Willd	42	.05	0	0	0	-	-	
Balanites aegyptiaca (Linn	52	.06	0	0	-	0	-	

LEGENDE

FA = Fréquence absolue
IM = Information mutuelle

TE0 = Texture très fine
(argilo-limoneuse)

TE1 = Texture fine
(argilo-sableuse ou
limono-argileuse)

TE2 = Texture moyenne
(limoneuse, limon
sableux fin)

TE3 = Texture grossière
(limon sableux,
sable limoneux)

TE6 = Texture très grossière
ou graveluse (sable et
arènes)

+ = L'espèce réagit à la modalité
du facteur par sa présence, au
seuil de 5%

++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon significative
(au seuil de 1%)

+++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)

- = L'espèce réagit par son absence
au seuil de 5%

-- = L'espèce réagit par son absence
de façon significative
(au seuil de 1%)

--- = L'espèce réagit par son absence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)

0 = L'espèce est indifférente à la
modalité de la variable

L'absence de signe signifie : espèce
pas assez échantillonnée pour le
calcul de la probabilité

Figure 19 : Profil écologique indicé des espèces pour la variable "texture du sol" (80 espèces sensibles)

SAVANES ET JACHERES SUR SOLS FERRUGINEUX
Nord Cameroun -Maroua (800 mm)



Restes de culture avec
Piliostigma reticulatum
et *Annona senegalensis*



Friche récente avec *Annona senegalensis*,
Piliostigma reticulatum, *Setaria pumila*



Savane à Combrétacées avec
Combretum spp., *Anogeissus leiocarpus*
et friche à *Setaria pumila* en premier plan

Savane à Combrétacées avec
Combretum spp., *Anogeissus leiocarpus*
et, dans la clairière, *Loudetia togoensis*



.....ESPECE.....	FA	IM	HU0	HU2	HU3	HU4	
Brachiaria xantholeuca Sta	44	.11	+	+	0	---	} Gr 1
Sida cordifolia L.	38	.12	+	+	0	---	
Triumfetta pentandra A. Ri	25	.13	---	---	---	---	
Balanites aegyptiaca (Linn)	53	.09	+	0	---	---	
Aristida adscensionis L.	55	.06	+	0	0	-	
Cenchrus biflorus Roxb.	8	.10	---	0	-	-	
Dactyloctenium aegyptium (	68	.08	+	0	0	---
Microchloa indica (L.f.) P	11	.05	+	0	-	0	
Chloris prierii Kunth	10	.12	---	0	-	-	
Guiera senegalensis J.F.Ga	44	.06	+	0	0	-	
Ipomoea pes-tigridis L.	6	.08	---	---	---	---	
Pandiaka involucrata (Moq.	7	.08	---	---	---	---	
Aneilema lanceolatum Benth	36	.07	0	+	0	---	
Cassia absus L.	11	.08	+	-	-	-	
Ceratothera sesamoides End	7	.07	---	---	---	---	
Comelina forskalei Vahl.	14	.06	+	0	-	-	
Indigofera secundiflora Po	43	.10	0	---	0	---	
Mitracarpus villosus (Sw.)	21	.05	+	-	-	0	
Schizachyrium exile (Hochst.	61	.08	0	---	---	0	
Ampelocissus macrocirrhea	51	.12	---	---	0	---	
Annona senegalensis Pers.	37	.19	0	---	---	---	
Cassia singueana Del.	65	.06	-	---	-	0	
Combretum collinum Fresen.	42	.06	0	+	0	---	
Crotalaria microcarpa Hoch	5	.05	---	---	---	---	
Heteropogon contortus (L.)	17	.09	---	---	-	-	
Lansea fruticosa (Hochst.	18	.07	+	0	-	-	
Ptilostigma thonningii (Sc	26	.07	0	---	-	0	
Vernonia kotschyana Sch. B	5	.05	---	---	---	---	
Setaria pumila (Poir.) Roe	127	.24	---	0	---	---	
Sida acuta Burm.f.	48	.09	-	-	+	---	
Acalypha ciliata Forssk.	33	.10	-	---	+	---	
Brachiaria stigmatifera (M	33	.06	0	0	---	---	
Eragrostis turgida (Schum.	21	.06	-	-	+	0	
Grewia bicolor Juss.	10	.07	0	---	---	---	
Mukia maderaspatana (L.) M	23	.05	0	0	+	0	
Brachiaria ramosa (L.) Sta	13	.07	0	---	-	-	
Acalypha segetalis Mull. A	16	.09	+	+	-	0	
Achyranthes aspera L. var.	11	.05	---	0	---	---	
Brachiaria lata (Schum.) C	56	.08	-	-	---	---	
Hibiscus asper Hook. f.	24	.07	-	0	---	0	
Indigofera stenophylla Gui	59	.07	-	0	-	-	
Lepidagathis heudelotiana	24	.11	-	---	---	0	
Securidaca longepedunculat	12	.08	-	0	---	---	
Stereosperma kunthianum C	32	.07	-	0	+	-	
Dipcadi viride (L.) Moench	12	.05	0	0	+	-	
Alysicarpus rugosus Willd	44	.08	---	0	0	---	
Amannia auriculata Willd.	4	.05	-	-	-	---	
Cyperus esculentus L.	14	.06	-	0	---	---	
Desmodium triflorum (L.) D	9	.07	-	0	---	---	
Echinochloa colona (L.) Li	23	.11	-	---	0	---	
Eriochloa nubica (Steud.)	25	.09	-	-	0	---	
Fimbristylis dichotoma (L.	6	.05	-	-	-	---	
Hygrophila auriculata (Shu	11	.06	0	0	0	---	
Panicum laetum Kunth.	31	.05	0	-	0	---	
Pennisetum ramosum (Hochst	9	.07	-	-	0	---	
Phyllanthus amarus Schum.	19	.09	-	-	0	---	
Rhamphicarpa fistulosa (Ho	29	.13	-	-	0	---	
Scleria sphaerocarpa (E.A.	13	.14	-	-	-	---	
Vernonia galamensis (Cass.	4	.05	-	-	-	---	
Acacia seyal Del.	69	.08	0	0	0	---	
Aristida hordeacea Kunth.	48	.09	-	0	0	---	
Chloris lauroproaria Stapf.	59	.05	0	---	0	---	
Cissus quadrangularis L.	8	.06	0	-	-	---	
Chrysanthellum americanum	41	.08	---	0	0	---	
Combretum aculeatum Vent.	88	.13	---	0	0	---	
Caperonia senegalensis Hul	15	.06	-	-	0	---	
Desmodium sp.	16	.09	-	-	0	---	
Entada africana Guill.& Pe	26	.11	0	0	-	---	
Hibiscus articulatus Hochs	7	.09	0	0	0	---	
Andropogon fastigiatus Sw.	29	.05	0	0	0	---	
Lansea humilis (Oliv.) Eng	37	.11	0	-	-	---	
Merremia emarginata (Burma	18	.11	---	---	---	---	
Sesbania pachycarpa DC.	10	.05	0	0	0	---	
Spermacoce filifolia Perr.	25	.12	0	---	---	---	
Stylochiton lancifolius Ko	31	.07	0	---	0	---	
Vigna comosa Bak.	18	.05	-	-	0	+	
Eragrostis tremula Hochst	17	.06	-	0	---	0	
Hackelochloa granularis (L	38	.05	-	0	0	0	
Hibiscus panduriformis Bur	11	.06	-	0	0	0	
Spermacoce radiata (DC.) S	22	.06	0	0	-	-	

LEGENDE

FA = Fréquence absolue

IM = Information mutuelle

HU0 = Sol des stations sèches
et très sèches)HU2 = Sol des stations à
humidité moyenne

HU3 = Sol des stations humides

HU4 = Sol des stations très
humides ou temporairement
inondées+ = L'espèce réagit à la modalité
ou facteur par sa présence, au
seuil de 5%++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon significative
(au seuil de 1%)+++ = L'espèce réagit par sa présence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)- = L'espèce réagit par son absence
au seuil de 5%-- = L'espèce réagit par son absence
de façon significative
(au seuil de 1%)--- = L'espèce réagit par son absence
de façon très significative
(au seuil de 0,1%)0 = L'espèce est indifférente à la
modalité de la variableL'absence de signe signifie : espèce
pas assez échantillonnée pour le
calcul de la probabilité

Figure 20 : Profil écologique indicé des espèces pour la variable "humidité du sol de la station" (80 espèces sensibles)

- une apparition progressive d'espèces telles que *Heteropogon contortus*, *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*, *Vigna radiata*, *Schizachyrium exile*, etc.

4.3.3.4 Végétation et âge de la jachère

Les profils écologiques liés au facteur "âge de la friche" sont présentés dans les figures 22 et 23. La méthode du profil indicé (figure 22) présente pour chaque classe, un groupe d'espèces indicatrices.

Groupe 1

Il s'agit des espèces fréquentes dans les cultures. Les plus importantes sont *Leucas martinicensis*, *Acalypha ciliata*, *Commelina benghalensis*, etc. Les espèces de ce groupe sont toutes des annuelles. La plupart sont presque toujours rattachées à la culture.

Parmi celles qui sont favorisées par le labour encore récent, citons : *Brachiaria lata*. Leur enracinement n'est pas important. Quelques unes se retrouvent dans des friches plus anciennes, en particulier sous des ligneux (*Leucas martinicensis*). Cependant, elles sont presque toutes absentes dans les stades avancés de l'abandon cultural.

Si ce groupe n'est constitué, dans cette représentation, que d'une dizaine seulement d'espèces indicatrices du stade culture, les profils en "écaille" font cependant ressortir, sur une analyse de 80 espèces les plus sensibles au facteur âge de la friche, une cinquantaine d'espèces rencontrées dans les cultures (figure 23). Il s'agit à la fois d'herbacées et de ligneux. Ces ligneux étaient pratiquement toujours présents avant, pendant et naturellement après abandon de la culture (arbres à usage anthropique tels que *Tamarindus indica*, *Acacia albida*, *Anogeissus leiocarpus*, etc. ; jeunes pousses résultant des rejets de souche telles que *Piliostigma reticulatum*, *Annona senegalensis*, *Acacia seyal*, etc.). Les autres herbacées rencontrées dans la culture, et caractérisant plutôt la savane, sont liées à l'emplacement de la culture et/ou à la taille du champ (isolé ou non dans la savane) par rapport aux autres formations végétales, qui jouent souvent le rôle de réserve de semenciers pour les herbes du champ cultivé.

Groupe 2

Il est constitué d'espèces qui sont beaucoup plus abondantes dans les friches des deux premières années d'abandon que dans les autres classes d'âge. Les plus caractéristiques sont : la forme annuelle d'*Andropogon gayanus*, *Eriochloa nubica*, *Caperonia senegalensis*, *Calotropis procera*, *Hibiscus panduriformis*, etc. En nombre d'espèces, les graminées ne représentent qu'une petite fraction de ce groupe. Cependant, les quelques espèces graminéennes présentes dominent les autres herbacées à feuilles larges. Les espèces de ce groupe ont aussi la propriété d'être des plantes herbacées annuelles (sauf *Calotropis procera* dont la germination semble être favorisée par l'abandon cultural). La plupart ont déjà un enracinement assez puissant.

Groupe 3

Ce groupe est constitué d'espèces caractérisant les friches de 3 à 4 ans. Les espèces les plus caractéristiques sont *Lepidagathis hendelotiana* et *Tripogon minimus*. Ici, les ligneux apparaissent et deviennent progressivement nombreux : *Annona senegalensis*, *Acacia seyal*. De plus, les graminées et les autres herbacées vivaces font également leur apparition : *Stylochiton lancifolius*, *Dipcadi viride*, *Sida cordifolia*.

Groupe 4

Les espèces de ce groupe caractérisent les friches de plus de 5 ans d'âge. Les plus caractéristiques sont : *Acacia ataxacantha*, *Balanites aegyptiaca*, *Cissus cornifolia* et *Combretum glutinosum* pour la strate ligneuse ; *Sporobolus festinus* et *Loudetia togoensis* pour la strate herbacée. Dans ce groupe, les ligneux sont encore plus nombreux et ne sont plus seulement constitués de jeunes pousses. Il y a également des espèces arbustives et parfois même des ligneux de la strate haute.

Ce groupe peut être divisé en deux sous-groupes. La différence essentielle entre les deux étant plus physiologique que floristique. Le premier, qui correspond à une savane arbustive à *Anogeissus leiocarpus* ou à *Acacia seyal*, contient beaucoup de graminées pérennes (*Sporobolus festinus*, *Heteropogon contortus*, *Andropogon chinensis*, etc.). Tout cet ensemble s'établit avant l'âge de 6 ans. Le second caractérise le proclimax ou subclimax (KRUGER, 1982), en équilibre avec l'exploitation actuelle des savanes. Les espèces qui le caractérisent sont *Combretum glutinosum*, *Balanites aegyptiaca* et *Loudetia togoensis*. Le degré d'anthropisation influence fortement la physiologie de cette savane. Les espèces de la strate haute sont *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, *Sterculia setigera*, *Boswellia dalzielii*, etc. Quelquefois, ces arbres, par leur feuillage, exercent une concurrence sur le tapis herbacée et sur les ligneux bas, pendant une bonne partie de l'année, si bien que, par endroit, les espèces du sous-bois prennent le dessus sur les graminées habituelles. Ces espèces du sous-bois sont *Commelina forkalei*, *Celosia argentea*, *Aspilia africana* par exemple.

4.3.3.5 Conclusions

D'importants changements surviennent au cours de la reconstitution de la jachère. Ils sont en particulier notables sur la composition floristique et sur la physiologie de la végétation. Cependant, de la culture à la savane boisée, la seule césure nette se situe entre la récolte et le début des pluies de la première année de jachère. En d'autres termes, les états post-culturels, qui se suivent, constituent un continuum où il est difficile de distinguer des stades nets. Ceci n'est valable que lorsque la pression humaine est moindre.

.....ESPECE.....	FREQUENCE	INF. MUT	AGO	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5	
Commelina forskalaei Vahl.	14	.06	+	0				+	Gr. 1
Corchorus tridens L.	26	.08	+	0	0	0	-	-	
Digitaria ciliaris (Retz.)	53	.07	---	0	0	0	0	0	
Eragrostis ciliaris (L.) R	18	.09	+	0	-	0	0		
Leucas martinicensis (Jacq	29	.14	---	0	-	0	0	-	
Panicum pansum Rendle	12	.07	---						
Acalypha ciliata Forssk.	33	.15	---	0	0	0	-	---	
Brachiaria lata (Schum.) C	56	.06	+	0	0	0	0	---	
Commelina benghalensis L.	10	.08	---						
Dipcadi sudanica	11	.09	---						
Mariscus sumatrensis (Retz	13	.08	---						
Eriochloa nubica (Steud.)	25	.10	-	+	+	0	0	-	Gr. 2
Alysicarpus rugosus (Willd	44	.09	0	+	0	0	0	---	
Cassia obtusifolia L.	75	.06	0	+	0	0	0	-	
Hibiscus panduriformis Bur	11	.08	---						
Alysicarpus glumaceus (Vah	19	.09	-	+	0	0	0		
Andropogon gayanus Kunth.	72	.10	---	+	0	0	0	-	
Chlorophytum laxum R. Br.	21	.08	-	+	0	0	0	-	
Caperonia senegalensis Mul	15	.09	---						
Calotropis procera (Ait.)	25	.09	0	+	0	0	0	0	
Desmodium sp.	16	.09	---						
Blumea aurita (L.f.) DC. v	8	.07	---						
Launaea chevalieri O. Hoff	16	.08	---						
Merremia emarginata (Burma	18	.06	0	+	0	0	0	0	
Vigna unguiculata (L.) Wal	11	.06	---						
Annona senegalensis Pers.	37	.08	-	+	+	0	0	0	
Stylochiton lancifolius Ko	31	.08	---	0	+	+	0	0	
Chloris pilosa Schumach.	68	.06	-	0	+	0	+	-	
Acacia senegal (Linn.) Wil	44	.08	-	0	+	0	0	+	
Aspilia helianthoides (Sch	18	.06	0	0	+	0	-	-	
Spermacoce chaetocephala D	25	.06	0	0	+	0	0	-	
Fimbristylis dichotoma (L.	6	.06	---						
Ipomoea heterotricha F.Did	13	.07	---						
Mukia maderaspatana (L.) M	23	.06	0	0	+	0	0	0	Gr. 3
Spermacoce radiata (DC.) S	22	.06	0	0	+	0	0	-	
Hibiscus asper Hook. f.	24	.06	0	0	+	0	-	0	
Kyllinga monocephala	13	.06	---						
Lepidagathis heudelotiana	24	.12	-	0	+	0	-	0	
Tripsogon minimus (A.rich.)	10	.08	---						
Dipcadi viride (L.) Moench	12	.07	---						
Eragrostis tremula Hochst	17	.06	0	0	0	+	0	0	
Cassia singueana Del.	65	.10	---	-	0	+	0	0	
Piliostigma reticulatum (D	84	.12	---	0	0	+	0	0	
Sporobolus festivus Hochst	66	.17	---	-	0	0	+	+	
Acacia ataxacantha DC.	19	.17	-	-	-	0	+	+	
Balanites aegyptiaca (Linn	53	.15	-	-	-	0	+	+	
Capparis corymbosa Lam.	25	.08	0	-	0	-	+	+	
Feretia apodanthera Del.	24	.11	-	-	0	0	+	+	
Cassia absus L.	11	.08	---						
Andropogon pseudapricus St	34	.08	---	0	0	0	+	0	
Sida acuta Burm.f.	48	.06	0	0	0	0	+	---	
Acacia gerrardii Benth.	12	.07	---						
Acacia hockii De Wild.	40	.06	---	0	0	0	+	0	
Anogeissus leiocarpus (DC.	52	.08	-	0	0	0	+	0	
Cissus cornifolia (Bak.) P	31	.15	---	-	0	0	+	0	
Pandiaka heudelotii (Moq.)	25	.10	0	-	0	0	+	0	
Loudetia togoensis (Pilger	86	.09	---	0	0	0	0	+	
Microchloa indica (L.f.) P	11	.09	---						
Abutilon sp.	4	.07	---						
Aristida kerstingii Pilger	6	.11	---						
Celosia argentea L.	4	.07	---						
Cissus quadrangularis L.	8	.07	---						
Combretum glutinosum Perr.	50	.15	---	-	0	0	0	+	
Dalbergia melaoxylon Guil	14	.07	-	-	-	-	-	+	
Larrea humilis (Oliv.) Eng	37	.06	0	-	0	0	0	+	
Panicum anabaptistum Steud	7	.06	---						
Sterculia setigera Del.	21	.10	0	-	0	0	0	+	
Tamarindus indica Linn.	23	.09	0	-	0	0	0	+	
Aspilia africana (Pers.) C	27	.08	-	0	-	0	0	0	
Aristida adscensionis L.	55	.08	-	0	-	0	0	0	
Cassia mimosoides L.	67	.06	-	0	-	0	0	0	
Hackelochloa granulata (L	38	.06	0	0	0	0	0	0	
Polygala erioptera DC.	19	.06	0	0	0	-	0	0	
Setaria pumila (Poir.) Roe	127	.07	0	0	0	0	0	0	
Bridelia ferruginea Benth.	6	.06	---						
Chrysanthellum americanum	41	.06	0	0	0	0	0	0	
Combretum fragrans F.Hoffm	60	.07	-	-	0	0	0	0	
Guiera senegalensis J.F.Gm	44	.06	-	0	0	0	0	0	
Indigofera stenophylla Gui	59	.08	-	0	0	0	0	0	
Sida stipulata Cav.	18	.07	-	0	0	0	0	0	

LEGENDE
 INF MUT = Information mutuelle
 AG0 = Culture ou labour de l'année
 AG1 = Abandon de 1 à 2 ans
 AG2 = Abandon de 3 à 4 ans
 AG3 = Abandon de 5 à 9 ans
 AG4 = Abandon de 10 à 22 ans
 AG5 = Abandon de plus de 22 ans

+ = L'espèce réagit à la modalité du facteur par sa présence, au seuil de 5%
 ++ = L'espèce réagit par sa présence de façon significative (au seuil de 1%)
 +++ = L'espèce réagit par sa présence de façon très significative (au seuil de 0,1%)
 - = L'espèce réagit par son absence au seuil de 5%
 -- = L'espèce réagit par son absence de façon significative (au seuil de 1%)
 --- = L'espèce réagit par son absence de façon très significative (au seuil de 0,1%)
 0 = L'espèce est indifférente à la modalité de la variable
 L'absence de signe signifie : espèce pas assez échantillonnée pour le calcul de la probabilité

Figure 22 : Profil écologique indicé des espèces en fonction de la variable "âge de la friche".
 Représentation de 80 espèces sensibles

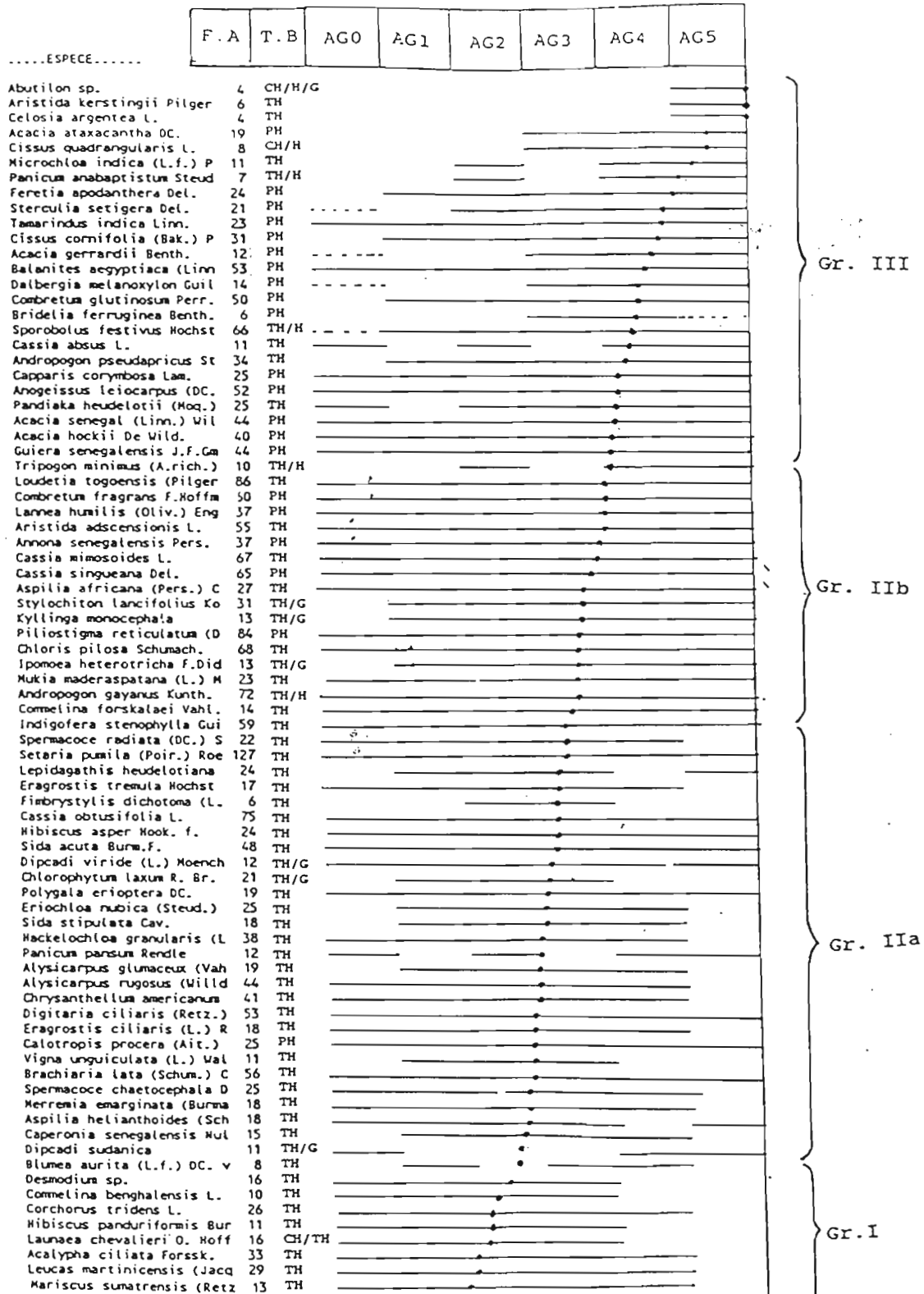


Figure 23 : Profil écologique des espèces en fonction de la variable "âge de la friche".
représentation en échelle de 80 espèces à partir d'une sortie triée sur les préférences écologiques
des espèces. (N.B. : T.B. = type biologique)

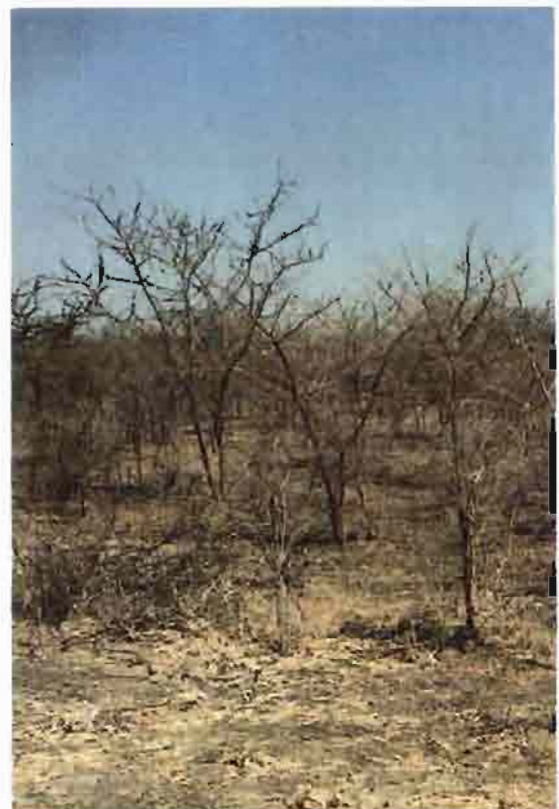
SAVANE ET JACHERES SUR VERTISOLS
Nord Cameroun - Maroua (800 mm)

Défrichement avant remise en culture
(coupe d'*Acacia seyal*)



Jachères de divers âges
avec *Acacia seyal* dominant

Savane secondaire après culture
avec *Acacia seyal* dominant



Réserve forestière
avec *Acacia polyacantha* (strate haute)
et *Acacia ataxacantha* (strate basse)

4.4 DYNAMIQUE DE LA STRATE LIGNEUSE

4.4.1 Introduction

La méthode que nous avons utilisée pour étudier la succession post-culturale dans son ensemble ne permet pas une compréhension satisfaisante des modifications de la structure des ligneux en relation avec le temps de jachère. C'est pourquoi, nous avons entrepris de compléter notre étude par une analyse plus approfondie de la strate ligneuse.

Nous avons étudié la structure et la dynamique de la strate ligneuse et son évolution en fonction du temps de jachère. Cette étude a aussi l'avantage de montrer la forte influence des facteurs anthropiques

4.4.2 Datation des friches par comptage des cernes de croissance sur les ligneux

Afin de pouvoir envisager la datation des friches par comptage des cernes de croissance sur la section basale du brin principal des ligneux pionniers, nous nous sommes proposés :

- de vérifier que les cernes se forment distinctement sur la section de tige des ligneux de notre région d'étude ;
- de chercher à savoir si le comptage de ces cernes est possible et s'il peut renseigner sur l'âge des individus.

Le rythme saisonnier auquel est soumise la végétation de la région tropicale sèche devrait être favorable à la formation, dans le bois des essences ligneuses, de cernes de croissance. En effet, la végétation est soumise à un cycle pluvial, très contrasté, accompagné généralement de variations notables des températures, de l'humidité de l'air et de l'évapotranspiration potentielle (MARIAUX, 1979). L'alternance des saisons pluvieuses et sèches et surtout la courte durée de la saison sèche, devraient favoriser la formation des cernes. Ceux-ci, comptés sur les individus ayant un âge connu, peuvent être des indicateurs de l'âge.

4.4.2.1 Méthode

Un essai de mise au point a été réalisé en 1988 dans l'arboretum du Centre de Recherche Forestière (CRF) du Cameroun, situé à Mouda. Cet arboretum contient des parcelles plantées chacune d'une espèce végétale ligneuse.

Nous avons, pour cette étude, choisi huit espèces ligneuses locales différentes : *Acacia polyacantha*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia gerrardii*, *Acacia seyal*, *Acacia hockii*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* et *Dichrostachys cinerea*. L'ensemble de l'arboretum a été mis en place en 1984. Dans chacune des huit parcelles, nous avons choisi au hasard 5 individus (A, B, C, D et E) qui sont coupés à la scie, à environ 10 cm du sol, puis pesés. Sur la partie basale du tronc nous avons prélevé un cylindre pour le comptage des cernes. Ce dernier a été poncé au papier verre et le comptage a été effectué après mouillage à l'eau ; il s'agit là en effet, d'après MARIAUX (1979) de

la meilleure préparation des bois pour voir les cernes. Les mouillants, colorants et réactifs, apportent rarement une amélioration et souvent des inconvénients. Nous avons eu recours à la loupe simple pour les comptages de cernes.

4.4.2.2 Résultats

Les espèces choisies dans l'arboretum de Mouda présentent des cernes sur les sections de leur tige. La visibilité de ces cernes est plus ou moins nette. Cependant, le mouillage à l'eau augmente légèrement cette visibilité et permet ainsi le comptage.

Le poids des individus ayant le même âge varie largement (tableau 20), aussi bien à l'intérieur d'une même espèce qu'entre les espèces. Malgré cette variation de poids, toutes les sections de tiges, à quelques exceptions près, présentent le même nombre de cernes (quatre).

Quelques exceptions portent sur les espèces telles qu'*Acacia senegal* et *Acacia gerrardii* chez lesquelles on a observé, pour certains individus, un nombre de cernes supérieur à l'âge de l'individu. Il existe, comme nous le montrerons plus loin, de faux cernes pour ces espèces. D'autres espèces présentent des individus avec un nombre de cernes inférieur à leur âge (*Dichrostachys cinerea*, *Ziziphus mauritiana*). Nous n'avons pas pu expliquer ce phénomène. Mais chez la plupart des espèces et individus, 4 cernes correspondent aux 4 ans d'âge de l'arboretum (mis en place en juillet 1984). Il s'est donc formé un seul cerne par année durant la période considérée puisque le comptage a eu lieu en mai 1988. Ces résultats confirment ceux de la littérature, pour des climats à pluviosité unimodale semblables. En est-il toujours ainsi quelles que soient les conditions climatiques de l'année ? Nous en avons admis le principe pour pouvoir appliquer le comptage des cernes à la datation des individus.

4.4.3 Etude de la dynamique des populations de ligneux

4.4.3.1 Méthode

L'étude de la structure des ligneux et de la dynamique de leur population a été entreprise sur des parcelles de 900 m² chacune. Trois types de sol ont été retenus : le vertisol modal, le vertisol dégradé et le sol ferrugineux. Pour chaque type de sol, trois stades d'abandon ont été considérés :

- le stade initial (S1) marqué par le début de l'abandon ;
- un stade intermédiaire (S2), dont l'âge d'abandon varie entre 6 et 12 ans, parfois jusqu'à 15 ans ;
- le stade représentant (S3) l'âge le plus avancé rencontré sur le type de sol considéré.

Chaque parcelle a fait l'objet d'un recensement de tous les ligneux présents, avec mesure de la hauteur de l'individu et du diamètre du brin principal, et avec comptage du nombre de rejets s'il y en a. Nous avons également noté le mode d'installation (brin issu de germination ou rejet végétatif). Pour les plus petits individus, il a été procédé à une coupe systématique, à environ 5 à 10 cm du sol, afin de compter le nombre de cernes sur la section du brin principal. Pour les plus

gros (diamètre supérieur à 10 cm), il a seulement été procédé à un prélèvement d'une carotte dans le bois, à l'aide d'une tarière de Presler pour ne pas les détruire

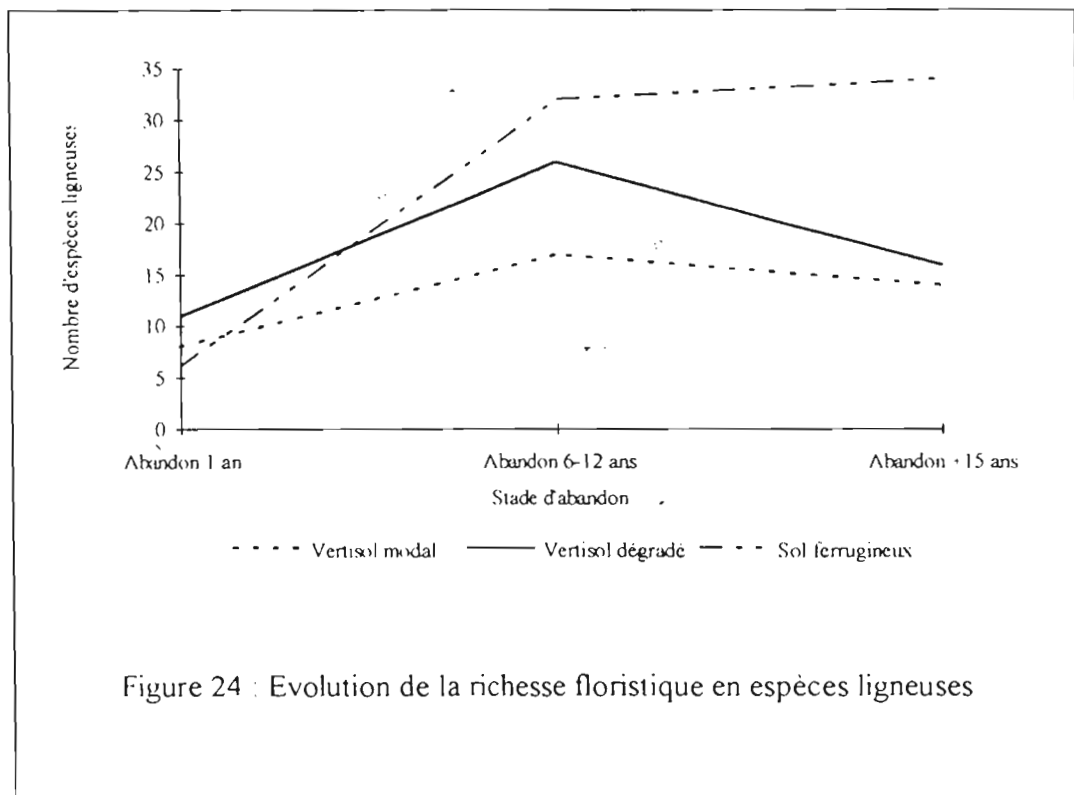
Espèces		Nombre de cernes	Masse des individus (kg de matière verte)
<i>Acacia gerrardii</i>	A	4	12
	B	4	3
	C	4	4.5
	D	4	6
	E	5	10
<i>Acacia hockii</i>	A	4	5
	B	4	8
	C	4	7.5
	D	4	7
	E	4	4
<i>Acacia nilotica, nilotica</i>	A	4	5.5
	B	4	10.8
	C	4	6.5
	D	4	5.5
	E	4	3.3
<i>Acacia polyacantha</i>	A	4	29
	B	4	0.2 (rejet)
	C	4	8
	D	4	28
	E	4	23
<i>Acacia senegal</i>	A	4	5.2
	B	4	10
	C	4	13.5
	D	5	9
	E	4	16.5
<i>Acacia seyal</i>	A	4	5.8
	B	4	8
	C	4	7.5
	D	4	7.5
	E	4	6.5
<i>Dichrostachys cinerea</i>	A	4	2.5
	B	4	3
	C	4	9
	D	3	2.5
	E	4	4
<i>Ziziphus mauritiana</i>	A	4	4
	B	4	1
	C	-	-
	D	3	2
	E	4	3

Tableau 20 : Etude des cernes : récapitulatif de l'échantillonnage et des résultats (date de plantation : juillet 1984 ; date de comptage : mai 1988)

4.4.3.2 Résultats

4.4.3.2.1 Composition et richesse floristiques en espèces ligneuses et leur évolution dans les principaux milieux étudiés

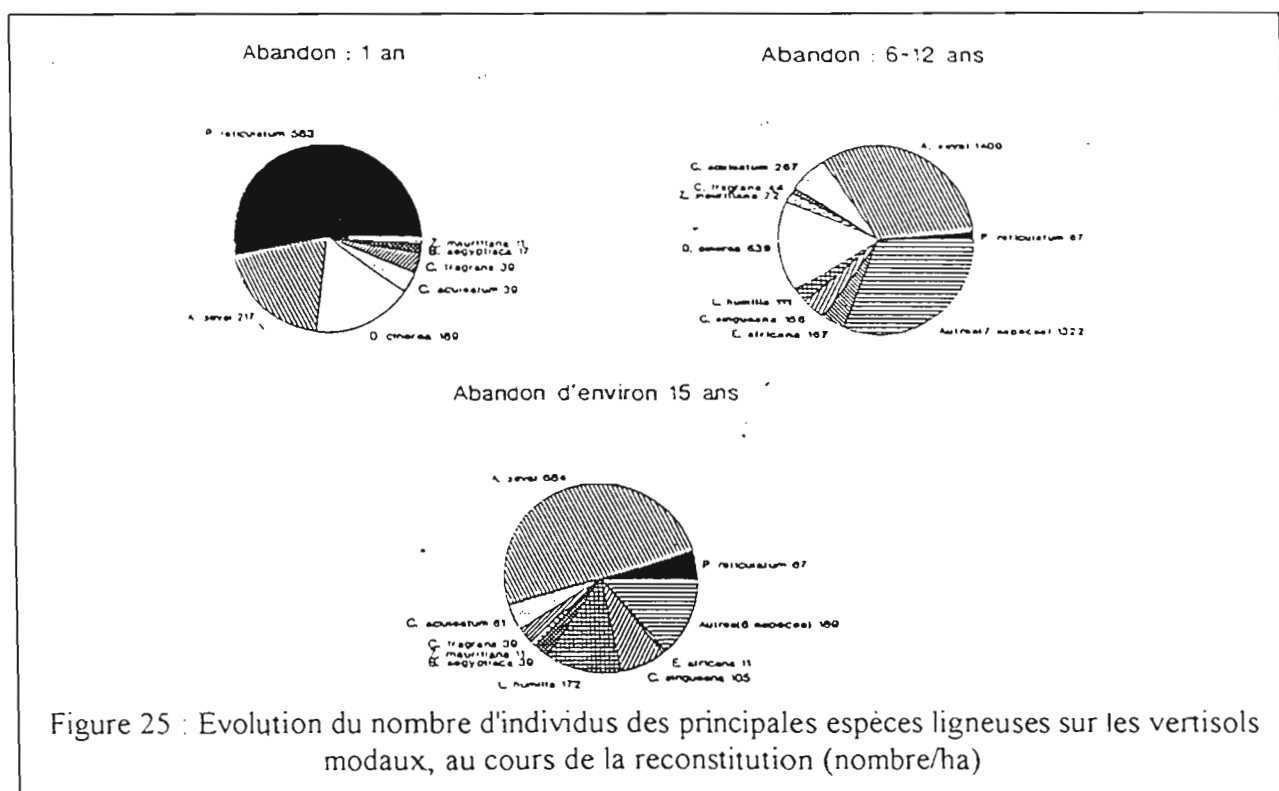
L'étude de l'évolution de la richesse floristique des ligneux au cours du temps est intéressante compte tenu du fait que la strate ligneuse favorise la richesse floristique totale et la levée des autres espèces ligneuses grâce à leur ombrage. L'évolution de la richesse floristique dans les trois milieux apparaît sur la figure 24. On peut dire qu'il y a d'abord une phase de diversification des ligneux, au cours de laquelle la richesse floristique s'accroît dans tous les milieux. Au delà de 12 ans d'abandon, le nombre d'espèces ligneuses tend à diminuer. Cette diminution est moins perceptible dans les sols ferrugineux et les vertisols modaux, mais très élevée dans les vertisols dégradés. Ces résultats sont assez proches de ceux obtenus par l'analyse des 170 relevés de végétation (cf_ 3.3 3.1.2).



4.4.3.2 Evolution de la démographie et de la structure

4.4.3.2.1 Evolution de la densité des peuplements des espèces ligneuses

Lors de la constitution des peuplements, et selon les milieux, certaines espèces interviennent plus que d'autres à un stade précis. Par exemple dans les vertisols modaux au début de l'abandon cultural, la strate ligneuse est dominée par *Piliostigma reticulatum*. Les autres espèces (*Acacia seyal* et *Dichrostachys cinerea*) sont très faiblement représentées. Au cours de la reconstitution de la savane, *Acacia seyal* prend numériquement le dessus sur les autres espèces. Plus tard, par son développement quantitatif, elle va exercer une forte concurrence sur toutes les espèces, au point que physionomiquement la savane devient quasi monospécifique au niveau de la strate ligneuse (figure 25). Paradoxalement, *Piliostigma* régresse au cours de la reconstitution sans disparaître complètement. Sur les vertisols dégradés, l'hétérogénéité masque les tendances évolutives des espèces (figure 26). Rappelons que les principales espèces : *Combretum aculeatum*, *Dichrostachys cinerea*, *Lannea humilis*, *Capparis corymbosa*, etc., sont présentes à tous les stades sur vertisols dégradés. Sur les sols ferrugineux également, les Combretacées dominent d'un bout à l'autre de la reconstitution ; contrairement à ce qui se passe pour la végétation sur vertisols, le temps de jachère est favorable à un enrichissement en espèces variées (figure 27).



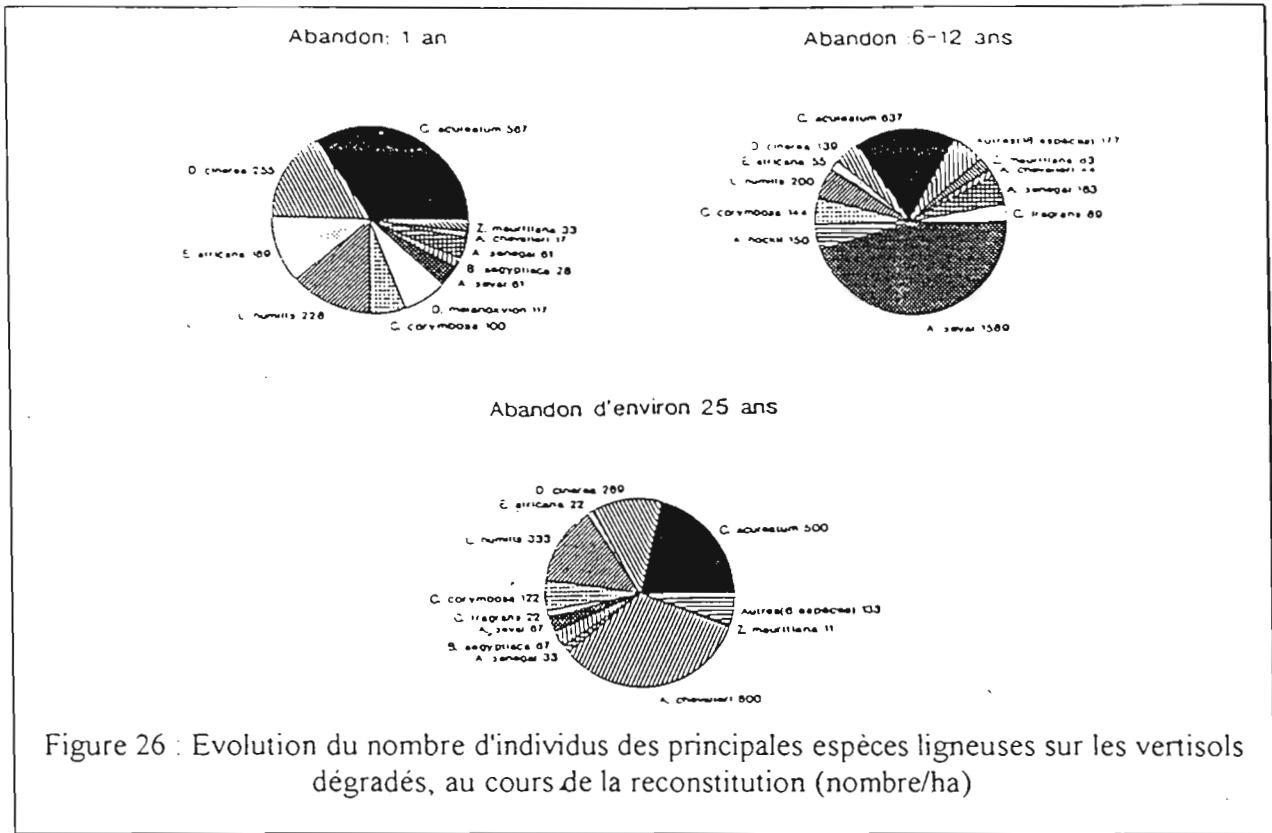


Figure 26 : Evolution du nombre d'individus des principales espèces ligneuses sur les vertisols dégradés, au cours de la reconstitution (nombre/ha)

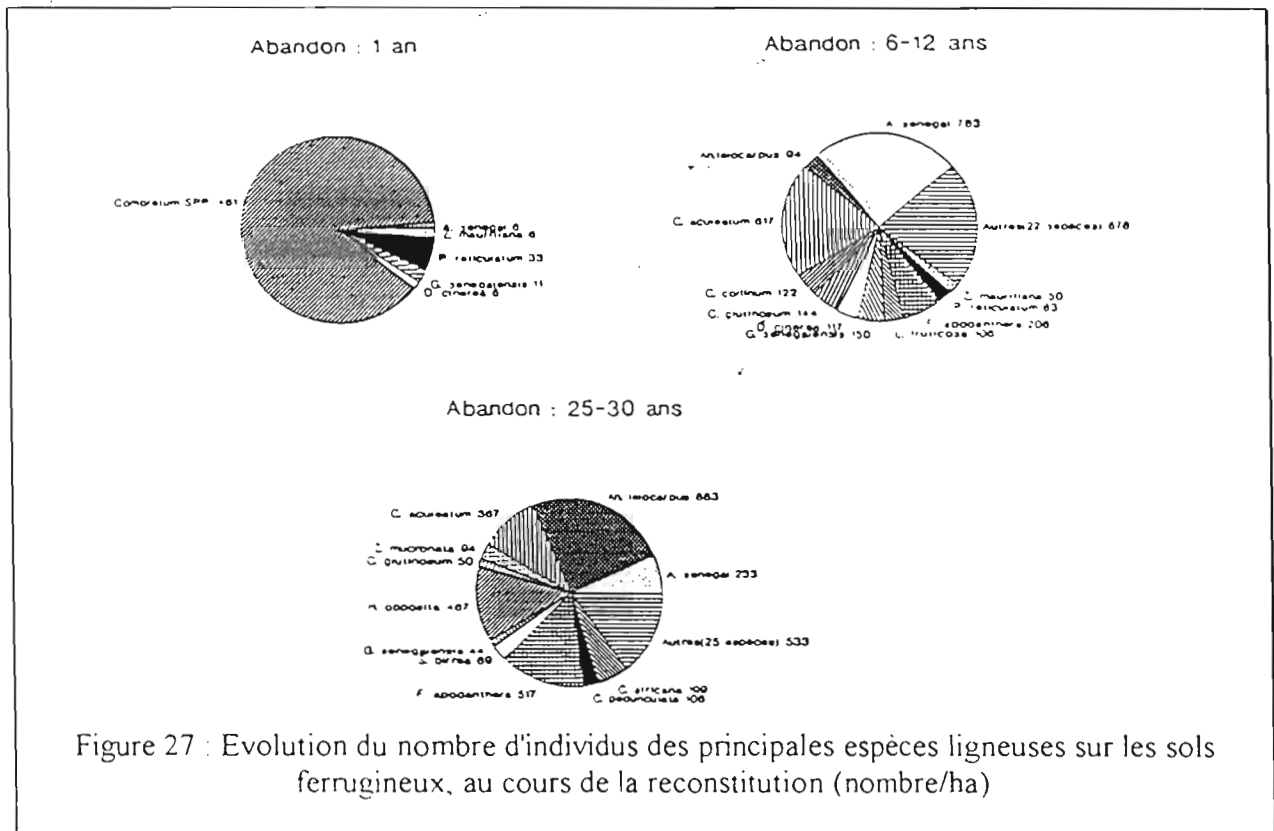


Figure 27 : Evolution du nombre d'individus des principales espèces ligneuses sur les sols ferrugineux, au cours de la reconstitution (nombre/ha)

4.4.3.2.2 Répartition des brins par classes de hauteur

Des classes de hauteurs ont été constituées à partir des données recueillies, de la manière suivante :

- de 0 à 0,5 m
- de 0,5 à 1 m
- de 1 à 2 m
- de 4 à 6 m
- de 6 à 10 m
- de 10 à 13 m

Le nombre d'individus à l'intérieur de chaque classe a été établi pour chaque parcelle de 900 m², puis ramené à l'hectare. Pour la réalisation des graphiques, une seule parcelle représentative a été considérée par strate.

Les résultats suivants ont été obtenus (figure 28) :

- Il n'existe pas d'individus de taille supérieure à 0,5 m dans les parcelles qui viennent d'être abandonnées. Ceci s'explique par le fait que la culture a détruit les grands individus.
- Les individus les plus hauts de taille (taille variant entre 10 et 13 mètres) n'ont été rencontrés que dans les parcelles dont l'âge de mise en friche est au moins supérieur à 15 ans.
- Quel que soit l'âge de la parcelle, les individus de moins de 4 mètres représentent l'essentiel de la population totale dans tous les types de sol. Les autres strates ne sont que faiblement représentées. Ce principe varie légèrement en fonction des milieux. En effet, sur vertisol modal, jusqu'à 6 mètres de hauteur, on trouve encore beaucoup d'individus pour les parcelles d'âges intermédiaires et avancés. La raison est sans doute la rapide croissance en hauteur des individus d'*Acacia seyal* qui dominent sur ce type de sol.
- D'une façon générale, la densité diminue progressivement avec l'augmentation de la hauteur des arbres. Sur sol ferrugineux, seules les parcelles les plus âgées abritent les plus grands individus.

4.4.3.2.3 Dynamique des espèces

L'étude de la structure d'âge a été reprise ici, en faisant intervenir l'ensemble des espèces en présence. En annexe 3, les résultats sont présentés par parcelle étudiée. Cependant, à cause des convergences observées dans la plupart des cas, nous ne présenterons ici que les résultats de trois parcelles pour discuter cette dynamique (tableaux 21, 22 et 23). Dans ces tableaux, pour chaque espèce et, pour chaque âge, nous précisons le nombre d'individus inventoriés.

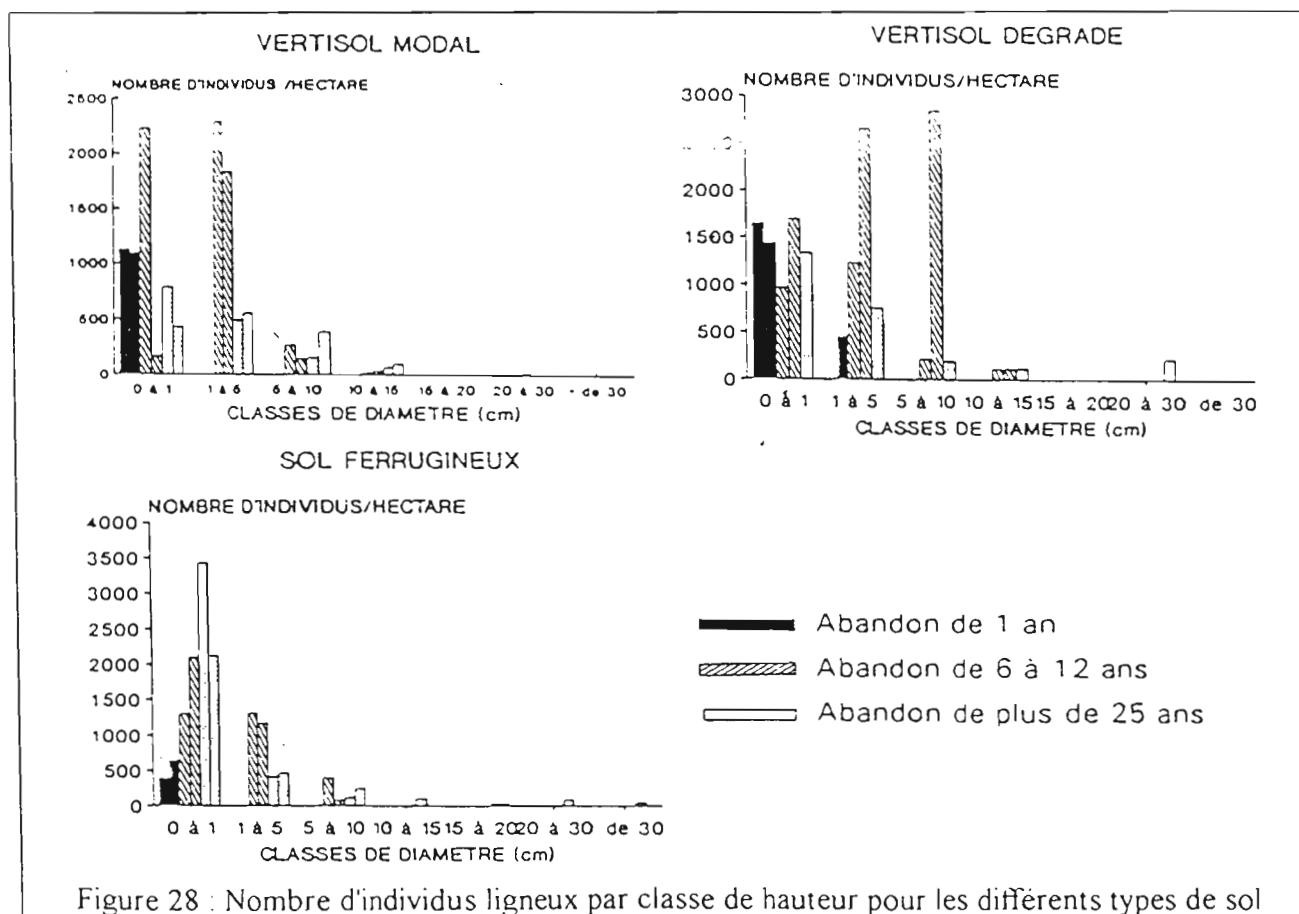
A la lecture du tableau 21, sur vertisol dégradé, *Lannea humilis* peut être considérée comme la seule espèce pionnière qui ait subsisté, car c'est la seule qui possède les individus les plus âgés de la parcelle. Entre l'âge des plus gros individus de cette espèce et celui des autres espèces telles qu'*Acacia seyal* ou *Ziziphus mauritiana*, les écarts sont assez importants (au moins 4 ans). Tout se passe comme s'il existait une première phase pendant laquelle seul *Lannea humilis* pousse. Dans une seconde phase, croîtraient, en plus d'*Acacia seyal* et *Ziziphus mauritiana*, d'autres espèces telles que *Acacia senegal*, *Combretum aculeatum* pour ne citer que celles-là. Dans le système

d'exploitation actuel (labour peu profond), ces quatre dernières espèces se mettent facilement en place par rejets de souches. On peut donc penser que leur installation est contemporaine de celle de *Lannea humilis* et que, étant plus appréciées comme bois de feu, elles ont été souvent coupées et les plus jeunes rejets détruits par le feu. *Lannea humilis* serait conservé parce qu'il ne constitue pas un bon bois de chauffe et parce que même les individus de plus de 8 ans n'ont pas une importante biomasse (arbuste). Seule une espèce, *Piliostigma reticulatum*, que l'on s'attendait à trouver dans ce groupe des pionniers n'y figure pas. On peut penser que son développement dans les jeunes stades serait suivi quelques années après d'une phase d'extinction. La concurrence des autres espèces, les termites et les feux de brousse contribueraient fortement à cette extinction.

La plupart des individus de presque toutes les espèces (sauf *Lannea humilis*) sont jeunes (moins de 4 ans). Le problème des ligneux se pose, dans la savane, plus en terme de développement qu'en terme de régénération. La croissance n'est pas bloquée, mais la pression sur le milieu (prélèvement, feu,...) freine le développement vers une domination par les individus les plus âgés. Ce résultat a été obtenu dans toutes les parcelles étudiées. Sur vertisol modal, à partir d'un certain âge, seul *Acacia seyal* présente des individus les plus nombreux (tableau 22). Quelques uns de ces individus arrivent à échapper aux prélèvements ci-dessus. Les autres espèces (*Cassia singueana*, *Combretum aculeatum*, etc.), peu représentées, ont une forte concentration des individus jeunes. *Balanites aegyptiaca* et *Acacia polyacantha* seuls possèdent quelques individus âgés isolés. Une étude sur sol ferrugineux (tableau 23) nous a permis de constater qu'*Acacia senegal* possède de faux cernes. Cette espèce n'est donc pas fiable pour la datation. En effet, sur une friche de 6 ans datée de façon certaine par enquête, et dont l'histoire est bien connue (labour profond pendant la période de culture, pas d'individus à l'abandon), on a pu compter jusqu'à 11 cernes chez un individu. Par contre, toutes les autres espèces ont au plus 5 cernes pour les individus les plus âgés.

Espèces	Age d'abandon (an)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Acacia caffra</i>			1							
<i>Acacia gerardii</i>		1	2							
<i>Acacia hockii</i>		2	3							
<i>Acacia nilotica</i>				1						
<i>Acacia polyacantha</i>	1		3							
<i>Acacia senegal</i>	3	9	9	3						
<i>Acacia seyal</i>	43	91	69	32		1				
<i>Albizia chevalieri</i>	3			1						
<i>Capparis corymbosa</i>	2									
<i>Combretum aculeatum</i>	31	22	4	1						
<i>Combretum fragrans</i>	2	3	3							
<i>Combretum sp.</i>	1									
<i>Dichrostachys glomerata</i>		2	4							
<i>Entada africana</i>	1	1	6							
<i>Lannea fruticosa</i>	7	2								
<i>Lannea humilis</i>	1		2	3	3	5	2	3	2	1
<i>Piliostigma reticulata</i>	1	2								
<i>Sclerocarya birrea</i>	1		1							
<i>Ziziphus mauritiana</i>	1	3	6	3	1	1				

Tableau 21 : Dynamique d'installation des espèces ligneuses dans une parcelle de 12 ans sur vertisol dégradé



Espèces	Age d'abandon (an)														
	Ind.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Acacia hockii</i>						1									
<i>Acacia polyacantha</i>							1	1							
<i>Acacia seyal</i>	7		5	14	10	11	3	11	8	1		1	2	2	1
<i>Balanites aegyptiaca</i>		3		1				1	1						
<i>Cassia singueana</i>		4	1	4		1									
<i>Combretum aculeatum</i>		1	2	2	2										
<i>Combretum fragrans</i>		1		1											
<i>Combretum glutinosum</i>				1											
<i>Entada africana</i>		1													
<i>Ilaematostaphis barteri</i>		5													
<i>Lanea humilis</i>		4	4												
<i>Ptilostigma reticulata</i>		2	2	1											
<i>Sclerocarya birrea</i>				3											
<i>Ziziphus mauritiana</i>			1		2										

Tableau 22 : Dynamique d'installation des espèces ligneuses dans une parcelle de 15 ans sur vertisol modal

Espèces	Age d'abandon (an)												
	Ind.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Acacia hockii</i>			1										
<i>Acacia senegal</i>			5	17	22	12	20	9	3	4			1
<i>Anogeissus leiocarpus</i>				3	8	3							
<i>Asparagus sagellaris</i>			4	2									
<i>Balanites aegyptiaca</i>				3	3								
<i>Calotropis procera</i>			2	1									
<i>Capparis corymbosa</i>				1									
<i>Cassia singueana</i>			1	1	2	1							
<i>Combretum aculeatum</i>			17	33	13	1							
<i>Combretum collinum</i>			2	1	1		1						
<i>Combretum fragrans</i>			1	2	1								
<i>Combretum glutinosum</i>				2									
<i>Commiphora africana</i>				1		1							
<i>Dichrostachys glomerata</i>				1	2	1							
<i>Grewia bicolor</i>						1							
<i>Guiera senegalensis</i>					1								
<i>Lanea fruticosa</i>			1	6	8								
<i>Mitragyna inermis</i>			1	4									
<i>Ptilostigma reticulata</i>				1	4								
<i>Sclerocarya birrea</i>			1	7	1								
<i>Securinega virosa</i>					2								
<i>Stereospermum kunthianum</i>			1	5	2								
<i>Ziziphus mauritiana</i>			1	3	3		1						

Tableau 23 : Dynamique d'installation des espèces ligneuses dans une parcelle de 6 ans sur sol ferrugineux

4.4.3.2.4 Mode d'installation des espèces ligneuses.

Le tableau 24 montre que dans l'ensemble des observations, il y a en moyenne environ quatre fois plus d'individus issus de rejets que de germinations de graines. Le pourcentage de germinations est plus faible (presque nul) au début de l'abandon cultural. Les rejets de souches constituent en effet l'essentiel des modes d'installation des espèces ligneuses dans les premiers stades. Plus tard, dans les friches, les rejets de souches font place aux rejets de drageons et aux germinations de graines. Cependant, à cause de l'action combinée du broutage intensif et des feux de brousse, les jeunes individus issus des germinations sont coupés ou rabattus par le feu et repartent sous forme de rejets de souches jeunes.

La régénération naturelle fait donc intervenir en priorité deux formes de potentiel floristique (ALEXANDRE, 1989) : le potentiel végétatif et le potentiel séminal édaphique. L'ordre de priorité de ces deux formes, bien que dépendant du stade d'évolution de la friche, est influencé par les facteurs du milieu (biotiques et édaphiques). Mais, il semble bien que le potentiel végétatif domine généralement.

Milieu	Stade	Germination %	Rejets %	Incertains %
Vertisols dégradés	1	2.0	98	0
	2	17	86	0
		16.4	68.8	14.7
		29.3	61.2	9.4
3	15.9	78.6	5.4	
Vertisols modaux	1	3.9	96.1	0
	2	2	98	0
		6	91.9	2.1
		15.1	79.8	5.1
3	33.2	66.7	0	
Sols ferrugineux	1	25	75	0
		36.1	63.9	0
	2	51.7	48.3	0
		29.5	64.6	5.9
		14.6	84.3	1
	3	19.7	79.4	2.3
		19.5	80.5	0
Moyenne		19.8	77.7	2.5

Tableau 24 : Mode d'installation des ligneux dans les friches en fonction du type de sol

4.5 EVALUATION DU STOCK DE GRAINES DANS LE SOL

4.5.1 But

Le but de l'expérimentation est de rechercher l'influence du stock de graines dans le sol (estimation qualitative et quantitative), sur la composition floristique initiale et sur la succession post-culturale dans les friches après abandon de la culture.

4.5.2 Principe de la méthode

Les conditions les plus importantes pour déclencher la germination sont l'humidité et une chaleur suffisante. En plaçant les graines dans un environnement humide et en veillant à ce que la lumière, ou la température ne soient pas limitantes, on pense pouvoir faire germer une bonne partie du stock. On peut espérer, par comptage des jeunes plantules, évaluer le nombre de graines susceptibles de germer si les conditions sont favorables. Le stock est ainsi, en principe épuisé, après quelques années. Il s'agit donc de faire un test de la présence de graines susceptibles de germer, par la méthode proposée par BROWN et OOSTERHUIST (1981).

4.5.3 Evolution du stock de graines au cours du suivi

Cette partie comporte les résultats de l'ensemble des essais de germination (tableau 25)

Années	Parcelles de Gazal			Parcelles de Mouda	
	Culture	Jachère (2 ans)	Friche (11 ans)	FRF (4 ans)	FRVD (15 ans)
1988	9522	7844	1711	-	-
1989	6755	7844	2522	1537	951
1990	539	357	296	768	49
TOTAL	22265	19654	7521	2305	1000

Tableau 25 : Nombre de graines germées par m² dans les différents essais.

Dans tous les essais, on note une diminution des germinations avec le temps de suivi. Cette diminution est très sensible en 1990, par rapport aux autres années. Cependant, le nombre de germinations n'est nul dans aucun essai, ce qui écarte l'éventualité d'un épuisement complet. Le manque de succès des essais de 1991 est en partie lié au nombre négligeable de graines viables restant dans les bacs. Bien que quelques espèces aient germé pour la première fois en 1990 (*Paspalum scrobiculatum*, *Cassia occidentalis*, *Fimbristylis sp.* etc.) sous forme d'individus isolés, on peut noter que plus de la moitié des espèces n'ont plus montré de germination en 1990.

4.5.4 Evolution de la composition du stock de graines avec l'âge d'abandon de la parcelle.

A la lumière de l'essai de Gazal, pour chacune des trois années d'observation, il apparaît clairement des différences dans le stock de graines entre les stades jeunes (culture de l'année et friche de 2 ans) et la vieille friche. En effet, parmi les espèces rencontrées dans la parcelle en culture, les adventices des cultures tiennent une place importante (figure 22). Il s'agit surtout de *Mariscus sumatrensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Commelina spp.*, *Leucas martinicensis*, *Spermacoce spp.* La présence d'espèces de ce premier groupe devient de plus en plus faible dans la jachère de 2 ans et tend à s'annuler dans la friche de 11 ans. La plupart des espèces qui ont ce comportement n'ont pas germé la troisième année d'arrosage. Les herbacées à feuilles larges (phorbes) constituent l'essentiel de ce groupe d'espèces.

Dans la friche de deux ans, le stock de graines s'enrichit avec l'apparition ou la domination d'autres espèces telles que *Setaria pumila*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Loudetia togoensis*, *Brachiaria lata*, *Schoenefeldia gracilis*, etc., même si leur nombre n'est pas très important. Ces espèces se mélangent aux adventices qui sont encore présentes pour la plupart.

Certaines espèces de ces deux premiers groupes ne se retrouvent plus dans la friche de 11 ans. Par contre, de nouvelles espèces sont apparues: *Sporobolus festivus*, *Microchloa indica*, *Tridax procumbens*. La première est une pérenne. Nous n'avons pas observé de germinations d'espèces ligneuses.

4.5.5 Conclusion

Des différences importantes dans le stock de graines ont été trouvées entre les parcelles jeunes par rapport à celles abandonnées depuis plus de 10 ans. Dans les premières années de l'abandon, la plupart de graines appartiennent aux adventices de culture. Les stades plus avancés sont dominés par les graines d'espèces savanicoles.

Il existe un pourcentage important de graines viables à plus de 5 cm de profondeur, quel que soit l'âge de la parcelle. L'ensemble des graines viables du sol ne germent ni au même moment de l'année, ni la même année. Cependant, les graines produites l'année précédente, plus abondantes en surface, germent en grande partie l'année suivante. La dormance affecte une partie de ce stock, probablement celle qui a pu s'enfouir dans le sol. Ainsi, même en condition favorable de germination, le stock de graines contenu dans le sol à un moment donné ne s'épuise que progressivement suite aux germinations.

En dehors de *Calotropis procera*, on n'a pas observé de germinations d'espèces ligneuses.

4.6 DISCUSSIONS SUR LA RECONSTITUTION DE LA VEGETATION NATURELLE APRES ABANDON CULTURAL

4.6.1 Mécanismes de la reconstitution

La flore adventice et les premiers stades de l'abandon

Pour mieux comprendre les processus de la succession post-culturelle, nous avons considéré en premier, le stade cultural, avec son cortège d'espèces végétales naturelles associées. Ces espèces sont considérées, pour la culture, comme des mauvaises herbes. On leur réserve le nom d'adventices. Leurs origines ont été discutées entre autres par THELLUNG (1912), qui a parlé d'anthropophytes et d'apophytes, selon que les herbes de la culture sont liées à l'homme ou non. La flore adventice est parfois influencée par la végétation de la savane environnante. Celle-ci contient les semenciers pour les champs cultivés voisins. L'éloignement de ces semenciers par rapport à la culture est déterminant pour certaines espèces. Mais ce qui compte le plus, c'est la nature des graines qui peuvent être lourdes ou légères, longévives ou de courte durée de vie, et leur mode de

dispersion (anémochores, zoochores, *etc.*). Il faut souligner le rôle joué par le stock de graines contenus dans le sol de la culture. GUILLERM (1978) pense que dans un champ cultivé, il existe un groupe d'espèces indicatrices du milieu édaphique, un autre groupe d'espèces lié à la culture (indifférentes aux conditions du milieu) et un autre groupe lié aux friches environnantes (qui occupent temporairement l'espace, même si elles ne sont pas en équilibre avec le milieu). Les travaux actuels de LE BOURGEOIS (1990) au Nord-Cameroun portent sur les problèmes d'enherbement dans les terres cultivées. Ses premiers résultats mettent l'accent sur l'influence du travail du sol et du facteur humain. Il montre que la répartition et la diversité des espèces (flore) est liée aux facteurs du milieu (pédo-climatique) et que l'évolution et la diversité des peuplements est plus en rapport avec les pratiques culturales.

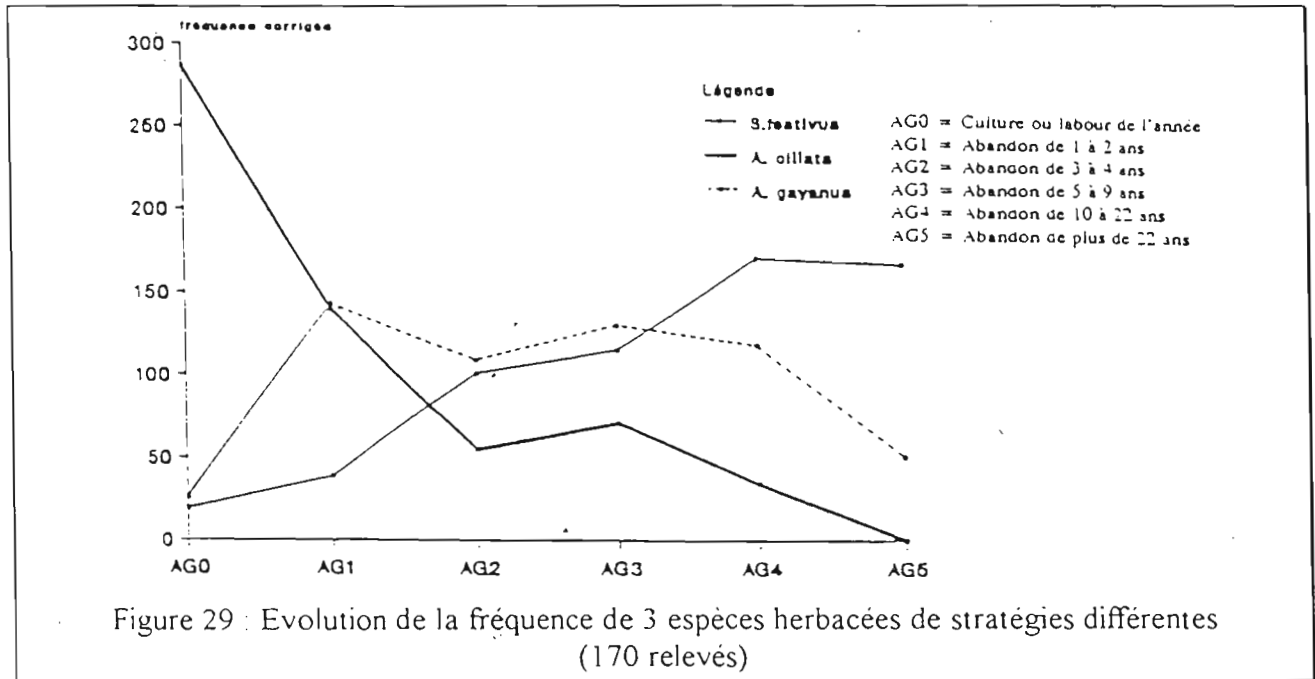
Les facteurs du milieu (climat, sol, en particulier) influencent fortement la répartition des herbes de la culture. GUILLERM (op. cit.), en zone méditerranéenne, divise, d'un point de vue dynamique, les espèces de la culture en espèces arvaies, rudérales et post-culturales. Les premières sont des espèces d'origine étrangère introduites depuis longtemps ou plus récemment dans la région étudiée. Les secondes sont des espèces qui habitent autour des maisons, et des points d'occupation humaine. Elles constituent une flore adaptée aux milieux perturbés, nitrophiles, caillouteux ou humides. Les espèces post-culturales sont des pionnières des stades ultérieurs à l'abandon de la culture. Elles apportent des informations sur la dynamique post-culturelle. Nous retrouvons dans nos données chacun de ces groupes. *Commelina benghalensis* par exemple est une rudérale mais favorisée également par le travail du sol et la fertilisation minérale.

Durant la phase de culture, d'une année sur l'autre, ce sont principalement les espèces herbacées annuelles qui arrivent à boucler leur cycle de développement et à produire des graines pour survivre et occuper l'espace vide de l'année suivante. Lorsqu'on passe de la culture à la jachère, les conditions du milieu changent (fermeture du sol, absence de sarclage,...) pour la végétation naturelle qui subit de profondes modifications. Ces modifications vont contribuer à la mise en place de nouveaux peuplements végétaux. Si la culture est abandonnée pendant quelques années, les herbacées vivaces et quelques ligneux sous forme d'arbrisseaux ou d'arbustes s'installent. Si l'abandon culturel dure plus longtemps, la flore commensale des cultures est progressivement remplacée par des espèces post-culturales. Il s'agit des herbacées annuelles ou pérennes de la savane et de ligneux qui sont des arbustes ou des arbres.

La succession post-culturelle

Dans une suite de stades qui contribuent à la reconstitution des friches post-culturales, les espèces apparaissent, se maintiennent un certain temps, puis disparaissent pour être remplacées par d'autres qui suivront le même processus. Les premiers stades de l'abandon culturel (y compris la culture), sont colonisés par des espèces herbacées annuelles. Il s'agit des espèces à court cycle de vie, qui produisent un important stock de graines pour assurer leur maintien. Le grand nombre de germinations d'adventices que nous avons observé en conditions expérimentales dans les premiers

stades confirme cette hypothèse. DE ROUW (1991) a obtenu le même résultat en zone forestière en notant l'épuisement progressif du stock de graines des adventices. Ceci est également conforme aux travaux de PRACH (1990), d'après lesquels dans un champ abandonné, la production de diaspores culmine la première année qui suit l'abandon, puis diminue graduellement avec le temps.



Ces espèces herbacées sont liées au labour récent, aux cultures et à l'influence de l'homme (espèces rudérales).

Entre les divers milieux édaphiques étudiés, il y a moins de différences dans la structure et la composition de la végétation lorsque l'abandon est récent que lorsqu'on est dans une friche âgée. Comme le notent TELAHIGUE *et al.* (1987), la mise en culture conduit à une homogénéisation des milieux dans les stades jeunes. Les conditions écologiques créées par le labour et les pratiques culturales (facteurs extrinsèques) prennent le pas sur les caractéristiques intrinsèques du milieu.

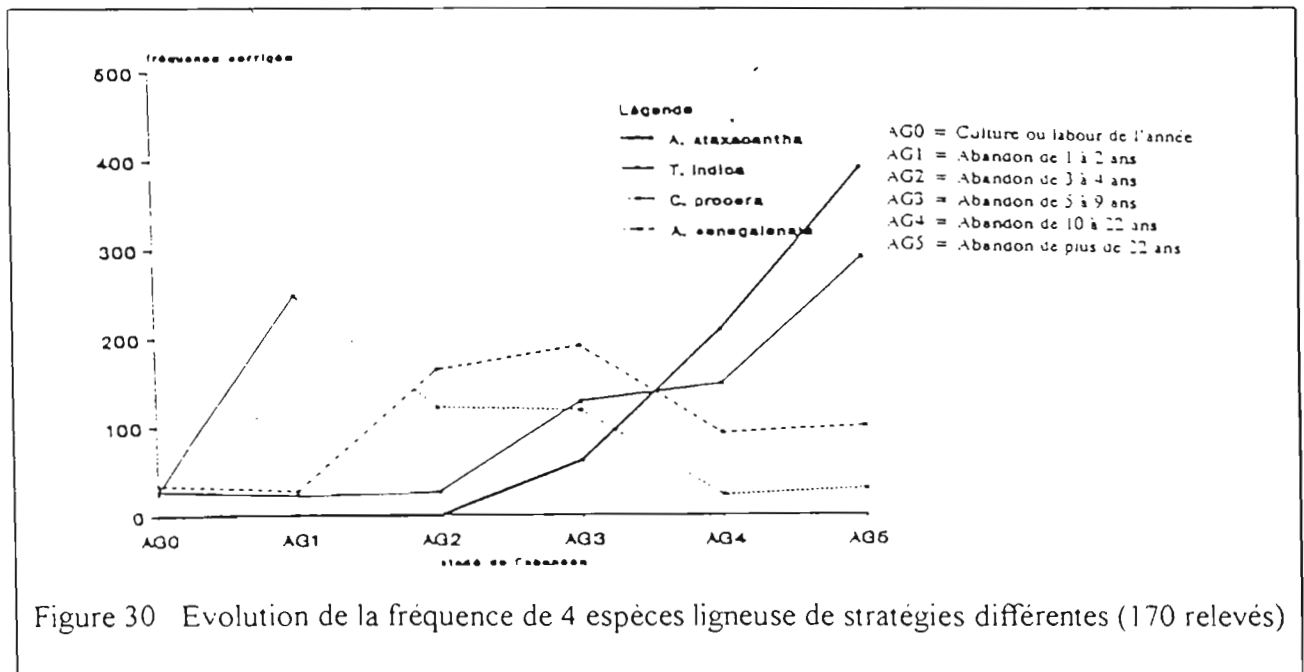
La reconstitution de la friche s'accompagne d'une diminution du nombre d'herbacées annuelles. Nous avons noté la régression des adventices (*Acalypha ciliata*, *Leucas martinicensis*, *etc.*) à la suite de l'abandon cultural. Est-ce le fait d'un épuisement du stock de graines et/ou de la concurrence des autres espèces ? Nous en discuterons plus loin. Cette reconstitution s'accompagne aussi d'une augmentation du nombre de ligneux. Cependant, quelques exceptions ont été notées, par exemple : régression d'espèces telles que *Ptilostigma reticulatum* après 5 à 6 années d'abandon.

Ce remaniement de la composition floristique avec des disparitions et des apparitions peut être considéré comme ce qu' EGLER (1954) qualifie de "floristic relay". Ainsi, les espèces ou les groupes d'espèces se remplacent par vagues dans le temps.

Par contre, lorsque la pression anthropique est trop forte, on observe un blocage de structure, même s'il n'est pas évident sur l'évolution de la composition floristique. Bien que des stades distincts bien définis liés ou non à des blocages n'aient pas été caractérisés dans notre étude, certaines espèces semblent renseigner sur des situations précises. Parmi les espèces indicatrices des premiers stades après abandon cultural, certaines semblent plus liées à la culture qu'à toute autre chose : c'est le cas par exemple de *Striga hermonthica* dont la présence est la conséquence de la culture céréalière.

Les figures 29 et 30 illustrent la variation de la fréquence de quelques espèces de comportements différents. Chaque espèce représente en fait un groupe d'espèces qui ont des comportements apparentés (tableau 26). On voit que les groupes d'espèces se subordonnent les uns aux autres, passant par une phase optimale, puis cèdent la place aux espèces des stades ultérieurs.

La plupart des espèces sont présentes dans plusieurs stades à la fois. Ce sont des espèces de liaison. Le cas le plus commun est celui des liaisons continues (liaisons sans hiatus) obligatoires en principe pour les espèces ligneuses. Nous avons aussi noté ce genre de liaison dans la strate herbacée, chez les espèces telles que *Loudetia togoensis*, *Aristida adscensionis*, *Chloris pilosa*, *Andropogon gayanus* (forme annuelle), etc. mais surtout chez les herbacées pérennes. Ceci est clairement visible sur la figure 23 qui présente le profil des espèces sensibles au facteur âge de la friche, et dans lequel il existe un fort pourcentage d'espèces présentes dans plusieurs stades à la fois.



Especies	<i>Piliostigma reticulatum</i>	<i>Acacia seyal</i>	<i>Sclerocarya birrea</i>
Stade préféré de la jachère	jeune	intermédiaire	avancé
Tempérament	pionnière	post-pionnière	savanicole
Grégarité	souvent non grégaire	grégaire parfois sur vertisols	individus isolés
Utilité: fourrage bois de feu	moyen médiocre	bon bon	variable mauvais
Mode d'installation dominant	rejets de souche	rejets de tige et de souche	germination
Aptitude à rejeter	forte	moyenne	faible
Durée de vie	courte (4 à 7 ans)	moyenne	longue
Age à maturité	environ 3 ans	à partir de 4 ans	à partir de 6 ans
Taille moyenne	environ 1 m	environ 8 m	plus de 10 m
Résistance au feu des individus issus de germination	faible	très forte	moyenne
Période de floraison	début de saison des pluies	avant fin des pluies	fin saison sèche
Période fructification	saison des pluies	après les pluies	avant les pluies
Caractéristiques des graines	lourdes, zoochores	anémochores, zoochores	lourdes zoochores
Dispersion des diaspores	gravité, animaux	gravité, vent, eau, animaux	gravité, animaux
Caractérisation des fruits	indéhiscents, persistants sur l'arbre	déhiscent, dispersion spontanée	non persistant en général
Durée de vie des feuilles	permanente ou presque	8 à 10 mois	environ 6 mois
Répartition population	très vaste dispersée	limitée semi-grégaire	vaste souvent dispersée
Système racinaire	superficiel	superficiel et profond	superficiel et profond
Especies "apparentées"	<i>Calotropis procera</i> <i>Ammonia senegalensis</i> <i>Piliostigma thomningii</i> <i>Dichrostachys cinerea</i>	<i>Acacia spp.</i> <i>Cassia</i> <i>singueana</i> <i>Ziziphus spp.</i> <i>Ximena americana</i> <i>Combretum spp.,...</i>	<i>Tamarindus indica</i> <i>Sterculia setigera</i> <i>Acacia</i> <i>ataxacantha</i> <i>Boswellia</i> <i>dalziellii,...</i>

Tableau 26 : Essai de caractérisation de trois espèces ligneuses types représentatives de trois stades de jachère

4.6.2 Dynamique des ligneux

Dans les savanes semi-arides, la strate ligneuse constitue l'un des plus importants éléments permanents de la végétation. Elle contribue à assurer la couverture du sol, malgré la perte temporaire des feuilles de certaines espèces, pendant une bonne partie de l'année. Les racines des ligneux sont les seules capables d'exploiter les horizons profonds du sol. Elles contribuent donc fortement à la remontée des éléments minéraux des couches profondes du sol et à la réalisation du cycle biogéochimique (DUCHAUFOR, 1965). De plus, le système racinaire, particulièrement développé, contribue de plusieurs manières à l'enrichissement du sol en matière organique. En effet, le taux de renouvellement des racines dans les savanes tropicales est compris entre 0,5 et 1,2 (MENAUT et CESAR, 1979). L'apport annuel de matière organique au sol par les racines peut ainsi être évalué à 4 à 5 tonnes/ha au minimum dans des jachères soudaniennes en bon état (CESAR et COULIBALY, 1990). Une partie du système racinaire meurt chaque année sans que la plante cesse de vivre. Ces racines participent à la reconstitution du stock de matière organique du sol.

Dans la plupart des types de sol concernés par notre étude (sols à caractère argileux), les légumineuses arbustives tiennent numériquement ou par leur grand développement, une place importante. La plupart sont fixatrices d'azote. Les légumineuses arbustives, dans l'ensemble de nos relevés représentent 36,3% de la strate ligneuse. C'est ainsi que 88,3% de relevés en contiennent au moins une espèce. Ce pourcentage est même plus important compte tenu du fait que 5,6% de nos relevés n'ont pas de ligneux. Rien ne prouve d'ailleurs que les légumineuses n'apparaîtront pas dans ces stations avec la vague de ligneux qui s'installera postérieurement.

Les ligneux sont pour la plupart constitués d'espèces fourragères. Ce rôle, très important, a été souligné par LE HOUEROU (1979) pour les pâturages sahéliens et en zone guinéenne du Cameroun par KOUONMENIOC (1990) et reste incontestable ici, compte tenu de la durée de la saison sèche et de l'importance de la pratique de l'élevage. Ils assurent un complément de protéines indispensables dans la ration des animaux lorsque la strate herbacée est sous forme cellulosique en saison sèche. Les ligneux constituent aussi, une importante source d'énergie pour de nombreux ménages ruraux et urbains. Signalons enfin leur rôle dans l'alimentation pour l'homme (petits fruits, feuilles) et en tant que plantes médicinales. Tout ceci perturbe fortement et la composition en espèces, et la structure d'âge des individus des espèces fortement utilisées.

La réinstallation des ligneux après abandon cultural est liée à la durée des phases cultures dans le cycle culture-jachère, à la profondeur du labour, et à l'emplacement des semenciers par rapport à la parcelle. Dans tous les cas, l'aptitude des espèces à rejeter de souches, à drageonner ou à produire des graines à germination facile est un facteur primordial. Mais la multiplication végétative prend le pas sur la multiplication par graines compte tenu des perturbations.

Les différentes composantes de l'étude de la structure de ligneux s'accordent sur un point : la fréquence des individus jeunes et petits est élevée quel que soit le stade d'évolution de la savane. Les grands arbres sont rares. Un résultat semblable a été obtenu à Fété Olé au Sénégal par

POUPON (1977), dans une savane. Ce résultat traduit une bonne régénération mais une forte "mortalité" au-delà d'un certain âge ou d'un certain stade de croissance. En effet, les feux de brousse éliminent les individus les plus jeunes. Les espèces fourragères les plus accessibles aux herbivores et celles constituant le meilleur bois de feu pour l'homme sont les plus jeunes.

4.6.3 Conséquences de la pression anthropique

Nous distinguerons pour la végétation, la perturbation initiale et les perturbations ultérieures. La première est constituée par le défrichement et la mise en culture, de son début jusqu'au moment de l'abandon. Elle est déterminante par son intensité (profondeur du labour, longueur de la phase culture). Les perturbations ultérieures sont celles qui surviennent pendant la reconstitution. Elles peuvent être relativement uniformes (feu, pâturage dans une moindre mesure) ou non uniformes (coupe de bois créant des trous dans la friche). Elles sont différentes des contraintes écologiques telles que le stress hydrique, l'harmattan (HOFFMANN, 1985).

L'évolution des premiers stades se fait sans beaucoup de contraintes. En effet, la strate herbacée étant encore constituée de beaucoup de dicotylédones, le couvert étant encore faible, les feux de brousse sont irréguliers, peu intenses et moins dévastateurs. La plupart des espèces ligneuses en profitent pour s'installer.

Dans un système de culture itinérant comme celui pratiqué dans notre région, la plupart des mises en culture, consécutives à un défrichement de la savane sont faites sans dessouchage systématique. C'est la longueur de la phase de culture qui va contribuer à éliminer la plupart de souches ligneuses vivantes. Il s'en suit que lorsque la culture est abandonnée quelques années seulement après le défrichement, la vitesse de retour des ligneux et la diversification des espèces sont grandes. Le mode d'installation des ligneux est presque exclusivement végétatif dans les premiers stades. Les germinations de graines ne se font que plus tard. Si la remise en culture de la nouvelle friche se reproduit dans un temps assez court (avant 5 ans par exemple) seuls les ligneux qui résultent des rejets de souches auront eu le temps de s'installer. C'est pourquoi, les arbustes qui rejettent vigoureusement de souches (*Dichrostachys cinerea*, *Combretum aculeatum*, *Piliostigma reticulatum*) vont envahir la friche en cas de phases jachères très courtes et répétées.

Dans les premiers stades de l'abandon cultural, l'homme n'intervient pas pour couper le bois de feu car les ligneux ne sont pas encore assez grands pour être exploités. Il n'y a pas non plus production de fruits susceptibles d'attirer l'homme et les animaux. Ces raisons expliquent, au moins en partie, la rapidité de reconstitution de la friche dans les premiers stades avec des changements importants observés au niveau de la composition floristique et sur la structure de la végétation. Cependant, lorsque la couverture végétale devient grande, lorsque les ligneux deviennent exploitables, la savane devient l'objet des sollicitations diverses. Ceci se produit le plus souvent à partir de la sixième année de jachère. Les conséquences peuvent être la disparition des individus les plus grands des "bonnes" espèces ligneuses.

Indépendamment du type de sol, les espèces ligneuses qui ont le plus de chance de se trouver dans les friches de moins de 10 ans sont entre autres *Piliostigma reticulatum*, *Piliostigma thommingii*, *Cassia singueana*, *Ammonia senegalensis*, *Bauhinia rufescens*, *Combretum aculeatum*, *Combretum glutinosum*, *Dichrostachys cinerea*, *Acacia seyal*, *Ziziphus mauritiana*, etc. La plupart de ces espèces jouent un rôle indéniable comme fourrage pour les animaux domestiques (PIOT et al., 1980 ; NOUVELET, 1987 ; LE HOUEROU, 1989 ; KOUONMENIOC, 1990). Elles contribuent à la nutrition des troupeaux tant qu'elles restent accessibles. Or d'après l'étude de la structure verticale, elles le sont dans toutes les savanes anthropisées étudiées.

Le Centre de Recherche Forestière de Maroua (CRF) a mis en place, en 1985 à Laf-Badjava, un essai pour mesurer l'effet du pâturage, du feu et de la coupe de bois, sur la production de bois et de l'herbe. Les premiers résultats de cet essai, encore en cours, mettent l'accent sur la nécessité d'une protection contre le feu afin de régénérer le pâturage, coloniser les zones nues et augmenter la production de bois. La protection contre le bétail n'est favorable que dans les jachères moins âgées (PELTIER, 1989 ; PELTIER et EYOG MATIG, 1990). Par ailleurs, d'après nos propres observations, la protection simultanée contre le feu et le pâturage entraîne en particulier une reconstitution d'une strate herbacée dominée par *Andropogon gayanus* pérenne, ce qui n'est pas observé ailleurs dans des parcelles pâturées ou brûlées. On peut donc affirmer avec OFFMANN (1985) que le pâturage provoque l'élimination de bonnes Graminées et le développement d'espèces moins appréciées.

Si l'on considère que les friches de la région d'étude sont soumises aux feux de brousse presque tous les ans, et qu'elles sont sujettes à une intense exploitation par les animaux et par l'homme, une mise en défens dans les premières années contribuerait à accélérer les processus de reconstitution de façon à favoriser des germinations de graines avant 5 ans de jachère. Pour que les espèces qui se reproduisent par graines puissent s'installer facilement et se développer, il faut soit un temps de jachère assez long (plus de 6 ans) soit une action anthropique favorable (contrôle des feux et de la charge du pâturage) afin de favoriser les jeunes plantes.

4.6.4 Modèles pour la reconstitution de la végétation

4.6.4.1 Compatibilité des résultats avec les modèles relatifs à la succession

Les travaux se rapportant aux théories et modèles de la succession sont nombreux. On peut citer, entre autres, ceux de ESCARRE (1979) pour la succession post-culturelle ; ou encore ceux de CONNELL et SLATYER (1977), EGLER (1954), GLEASON (1926) etc. pour les modèles généraux. La synthèse de ces travaux a été faite par LEPART et ESCARRE (1983). D'autres travaux plus récents sur la question existent : ALEXANDRE (1989), MENAUT et al. (1990), OSBORNNOVA et al. (1990). Notre propos est de confronter nos résultats avec les théories et les modèles qui peuvent s'appliquer à la succession post-culturelle.

Au cours de la reconstitution de la savane, on assiste à une élimination progressive de certaines espèces, qui apparaissent en premier ou qui étaient déjà dans la culture, et à leur remplacement par des espèces plus adaptées à de nouvelles conditions. La théorie organismique de CLEMENTS (1916, 1936) peut s'appliquer ici. Il s'agit du modèle de succession autogénique, selon lequel les espèces pionnières créent des conditions favorables à l'installation de nouvelles espèces, qui les remplaceront graduellement et les élimineront. La forte hétérogénéité des milieux édaphiques et surtout la pression anthropique rendent discutable la notion de retour à un climax unique déterminé par le climat. L'étude des relations sol-végétation en effet a montré que chaque type de sol est caractérisé par un groupe d'espèces plus ou moins important. La composition de ce groupe varie avec l'âge de la formation. Chaque groupe possède ses particularités, même dans les savanes reconstituées. En effet, la savane sur vertisol modal ne ressemble pas à celle sur sol ferrugineux. La première est à base d'épineux et la seconde est dominée par les Combretacées. De même, dans les mises en défens, les changements les plus importants sont surtout physiologiques. Après 60 ans de protection n'observe pas encore la domination des espèces sahéliennes par les soudaniennes, dans la réserve de Gokoro-Mozogo, comme ce devait être le cas avant la destruction de la végétation climacique. La validation de la notion de climax climatique au sens de CLEMENTS est donc contrariée ici par la forte influence du sol, comme l'a constaté aussi BRAUN-BLANQUET (1964) pour les zones méditerranéennes très influencées par l'homme. C'est un cas général dans les zones arides et semi-arides à forte influence humaine où la végétation n'a pas le temps de s'affranchir du substrat comme c'est parfois le cas en zone plus humide.

Sur chaque type de sol on note une évolution particulière de la végétation marquée par une vitesse d'évolution propre et des groupes d'espèces souvent différents. Il a été constaté, par exemple, que certaines espèces, pionnières dans un type de milieu (*Annona senegalensis* sur sol ferrugineux par exemple) ne le sont pas dans les autres. Parfois même, ces espèces pionnières deviennent caractéristiques de stades plus avancés dans des milieux différents. *Ptilostigma thonningii*, une des espèces pionnières sur divers types de sols, et qui régresse habituellement en savane, subsiste comme une des principales espèces physiologiques dans certaines savanes sur sols fersiallitiques et ferrugineux, où les feux sont moins fréquents. L'hypothèse de GLEASON (1917, 1926) se validerait ici : selon cet auteur, la communauté végétale est un ensemble d'individus indépendants appartenant à des espèces différentes ayant chacun des préférences écologiques précises. La succession est un phénomène dont les résultats ne sont pas entièrement prévisibles.

Certains ligneux (arbres entretenus dans les cultures ou ligneux pionniers à croissance rapide) jouent un rôle important dans la reconstitution de la friche. Des conditions favorables créées sous le couvert des arbres pionniers, peuvent permettre à certaines espèces de s'installer. Ainsi, les arbres et arbustes pionniers, qui s'installent isolément dans les premiers stades des successions, peuvent modifier localement les conditions du milieu, pour permettre l'organisation du développement de la succession (KOECHLIN *et al.*, 1986). Sur les friches étudiées, le développement des espèces telles que *Ptilostigma spp.* favorise les espèces herbacées à feuilles

larges telles que *Leucas martinicensis*, *Spermacoce spp.* et permet un meilleur développement des Graminées telles que *Pennisetum pedicellatum*. Ces noyaux peuvent constituer des points privilégiés à partir desquels s'organise la succession. C'est ce que YARRANTON et MORRISON (1974) ont appelé "nucléation". Il y aurait en effet, modifications du régime hydrique sous les arbres, création de nouvelles conditions bioclimatiques (microclimat) et apport de graines d'espèces ornithochores. Ces taches s'étendraient progressivement à partir de l'arbre. Ce rôle des arbres ne se limite pas aux stades jeunes de l'abandon cultural. GROUZIS (Com. verb.) souligne que l'ombrage favorise la levée des espèces ligneuses en savane. Le modèle de "facilitation" de CONNELL et SLATYER (1977), selon lequel les espèces pionnières modifient les conditions pour l'établissement des espèces transitoires, peut donc être appliqué dans ces cas. Bien que non pionniers, les arbres entretenus dans les champs par les paysans, contribuent fortement à cette facilitation, après abandon de la culture. Cependant, l'influence de l'arbre dépend de son degré de développement. Selon TOUTAIN (1983), dans un noyau de un mètre autour de lui, le pied d'*Acacia seyal* adulte cause une diminution de la production herbacée de moitié, mais ne modifie pas la flore. Nous avons noté l'absence d'Andropogonées sous des individus adultes d'*Acacia seyal*. Dans un peuplement dense d'*Acacia seyal*, le développement des arbres s'accompagne d'une diminution de graminées (Andropogonées en particulier) et de leur remplacement par des espèces telles que *Merremia emarginata* ou *Spermacoce filifolia*. Il s'agirait alors plutôt d'une inhibition (CONNELL et SLATYER (1977)).

La plupart des espèces ligneuses indicatrices des stades jeunes (*Piliostigma spp.* ou *Annona senegalensis* dans les sols ferrugineux, *Calotropis procera* dans certains sols à caractère vertique) se retrouvent, sous forme très isolée ou dispersée, dans les stades avancés, dominés par d'autres espèces. De même, beaucoup d'espèces qui dominent les stades pseudo-climaciques (*Acacia ataxacantha*, *Tamarindus indica*, etc.) apparaissent déjà timidement dans les abandons récents. Entre les deux extrêmes, le relais est surtout assuré par les espèces herbacées qui coexistent avec les deux groupes. Ceci confirme le modèle de "tolérance" de CONNELL et SLATYER (1977). Comme l'ont aussi noté MITJA et PUIG (1991), la reconstitution obéit au modèle de tolérance, car les espèces savaniques s'installent et se développent en même temps que les espèces pionnières. Selon ce modèle en effet, les espèces transitoires peuvent s'établir et se développer en présence des espèces pionnières parce qu'elles sont plus efficaces pour exploiter les ressources du milieu. Il convient de préciser que si certaines espèces sont plus aptes à apparaître ou à dominer une période précise de la jachère, l'apparition des ligneux dans la friche est progressive et se fait tout au long du temps de jachère. Le relais entre les groupements initiaux et finaux n'est donc pas seulement assuré par les herbacées.

Au cours de la reconstitution de la savane, les différents groupes d'espèces de stratégies différentes se mettent en compétition. Les plus aptes se maintiennent au détriment des autres. Cette compétition entre les strates ligneuse et herbacée pour la réserve hydrique du sol a été étudiée et modélisée pour des zones plus sèches par WALKER (1981), WALKER et NOY MEIR

(1982), KNOOP et WALKER (1985). Au Cameroun SEGHERI (1990) a étudié cette compétition sur les vertisols. Au cours de la succession, certaines espèces sont empêchées de s'installer par d'autres. En effet, lorsque le développement des graminées devient très important, il limite celui des phorbes plus nombreuses dans les jeunes stades. Des blocages de ce genre ont été soulignés en zone aride par TELAHIGUE *et al.* (1987) et en zone forestière humide par KAHN (1982). C'est le modèle d'inhibition de CONNEL et SLATYER (1977) qui peut alors s'appliquer. De même, lorsque la couverture ligneuse devient très importante, les graminées diminuent au profit des herbes du sous bois telles que *Achyranthes spp.* Il s'agit ici d'une compétition pour la lumière, spatialement limitée à la végétation sous la canopée. Les ligneux finissent par l'emporter s'il y a peu de prélèvements par l'homme. C'est le cas dans les réserves forestières où les graminées régressent beaucoup en raison du fort couvert ligneux.

Les successions post-culturelles se font sur un sol déjà différencié et évolué, et sont différentes des successions primaires dans lesquelles les espèces pionnières modifient les conditions du milieu pour l'installation des autres espèces. Le sol, après abandon cultural contient des graines dormantes ou non et un potentiel végétatif sous forme de souches ou de drageons plus ou moins important, sauf s'il y a défrichement avec dessouchage (YOSSI et DEMBELE (1991), MITJA et PUIG (1991). Il faut aussi considérer le potentiel advectif, formé de graines venant des savanes environnantes (ALEXANDRE, 1989). Le problème de la succession doit se poser en terme d'aptitude de ces potentiels à se développer ou non. C'est pourquoi, il faut interpréter la succession en fonction de la stratégie de chaque espèce (aptitude à rejeter, condition de levée de dormance, mode de dispersion des graines, *etc.*). NOBLE et SLATYER (1980) signalent que les phénomènes de colonisation et de succession peuvent s'envisager comme des conséquences d'aptitudes différentielles à l'installation, à la croissance et à la survie d'espèces adaptées à croître dans les divers milieux. Nous avons souligné le rôle joué par le type de sol dans la répartition des espèces. Une espèce se développera d'autant mieux sur un type de sol que celui-ci lui est favorable. Sur la base de caractéristiques biologiques des principales espèces présentes, et des pas de temps probables des perturbations récurrentes, on a pu proposer des modèles qualitatifs d'évolution (LEPART et ESCARRE, 1983). PRADO (1988), MENAUT *et al.* (1990) ont proposé un modèle simple de ce genre. Bien que nous ayons progressé dans la connaissance de la biologie des principales, nous n'avons pas pu établir un modèle de ce genre pour les communautés végétales des jachères. Nous ne connaissons en fait pas suffisamment les conditions de milieux, en particulier les conditions climatiques, pas plus que nous ne connaissons les exigences des espèces. Les résultats de la compétition en milieu naturel sont très difficile à prévoir et à modéliser.

Il est bien connu que lorsqu'on soumet expérimentalement les graines à la germination, elles ne germent pas toutes en même temps. Certaines germent dès les premiers arrosages. D'autres par contre germent assez tardivement. Les graines d'une espèce peuvent souvent étaler leur germination sur plusieurs années. Nous l'avons vérifié en particulier pour *Dactyloctenium*

aegyptium et *Setaria pumila*. Ce comportement est une stratégie des espèces pour se maintenir même après des années de sécheresse.

Dans notre expérience, il a fallu quatre années pour que le nombre de germinations diminue fortement. Malgré cette diminution, certaines espèces (*Dactyloctenium aegyptium*) sont encore assez bien représentées la dernière année. ODUM (1978), FENNER (1985) et bien d'autres soulignent que des graines de certaines espèces peuvent survivre dans le sol pendant 10 ans et plus. Ceci amène à penser que le stock de graines de stades jeunes est susceptible d'influencer les peuplements de la future friche. Cependant, il faut considérer que malgré la diminution du stock de graines et la compétition, il y a toujours quelques individus qui germent et produisent des graines. Le modèle d' EGLER (1954) de la "composition floristique initiale" s'applique donc au moins partiellement. En zone forestière, l'épuisement du stock des adventices se fait progressivement (DE ROUW, 1991) en raison de la compétition (ombrage) des arbustes pionniers. Dans notre cas, ce rôle doit être joué par les Graminées.

Si la période de jachère est courte comme c'est le cas dans les vertisols modaux, la compétition des Graminées ne parvient pas à éliminer les herbacées annuelles à faible enracinement. Le modèle d' EGLER s'applique. Dans le cas des cycles culture-jachère longs, le potentiel séminal advectif commence à jouer son rôle. Les espèces qui n'étaient pas initialement présentes arrivent. A ce moment le modèle d' EGLER ne s'applique plus.

La reconstitution de la friche, et surtout l'installation des espèces ligneuses, sont influencées par le type de labour (la profondeur du labour en particulier) et la longueur de la phase culture dans le cycle culture-jachère (MITJA, 1990 ; MITJA et PUIG, 1991 ; YOSSEI et DEMBELE, 1991). En effet, dans les friches établies sur les anciens labours mécaniques, assez profonds, le retour des ligneux se fait plus lentement. Ceci a été observé dans les jachères à l'intérieur des antennes IRA (Guiring et Mouda) où après deux ans de jachère il n'y avait presque pas de ligneux. Dans la région étudiée, sur les terres cultivées en continu pendant plus de 15 ans, le même phénomène est observé. L'histoire de la parcelle est donc très importante à connaître pour prévoir et modéliser la reconstitution de la végétation après abandon de la culture.

A partir de ce qui précède, il est clair qu'il n'y a pas, "un modèle" de succession dans la région d'étude. Des exemples de "facilitation" et de "tolérance" existent pendant les phases initiales de la succession. Les phénomènes de dormance peuvent également intervenir, au moins en partie. Si aucune évidence ne peut être établie quant au modèle d'inhibition dans les savanes jeunes et anthropisées, ce modèle est applicable dans les stades âgés de la succession (réserves forestières et mises en défens). Le modèle d'une dynamique par tache des savanes est encore à vérifier. Enfin, l'action anthropique très forte perturbe et oriente la succession localement de façon différentielle.

On peut donc se demander, comme WALKER (1981), si la succession est un concept valable en zone de savane; "it is not clear-cut and obvious, the classical kind". Dans le cas général, elle est multidirectionnelle et apparaît à travers différentes échelles de temps. Les évolutions les plus fréquentes sont les changements à court terme dus au feu ou après modification de l'équilibre

hydrique. En ce qui concerne notre cas, dans tous les premiers stades après abandon de la culture, la succession est claire et directionnelle. Dans la savane peu perturbée, elle est également assez directionnelle. En effet, les feux de brousse sont prévisibles et passent presque tous les ans. Il pleut en outre suffisamment en zone soudano-sahélienne. Les sécheresses relatives, périodiques ne semblent pas beaucoup modifier les choses. C'est finalement l'homme qui fait prendre des directions diverses (multidirectionnels) à la végétation.

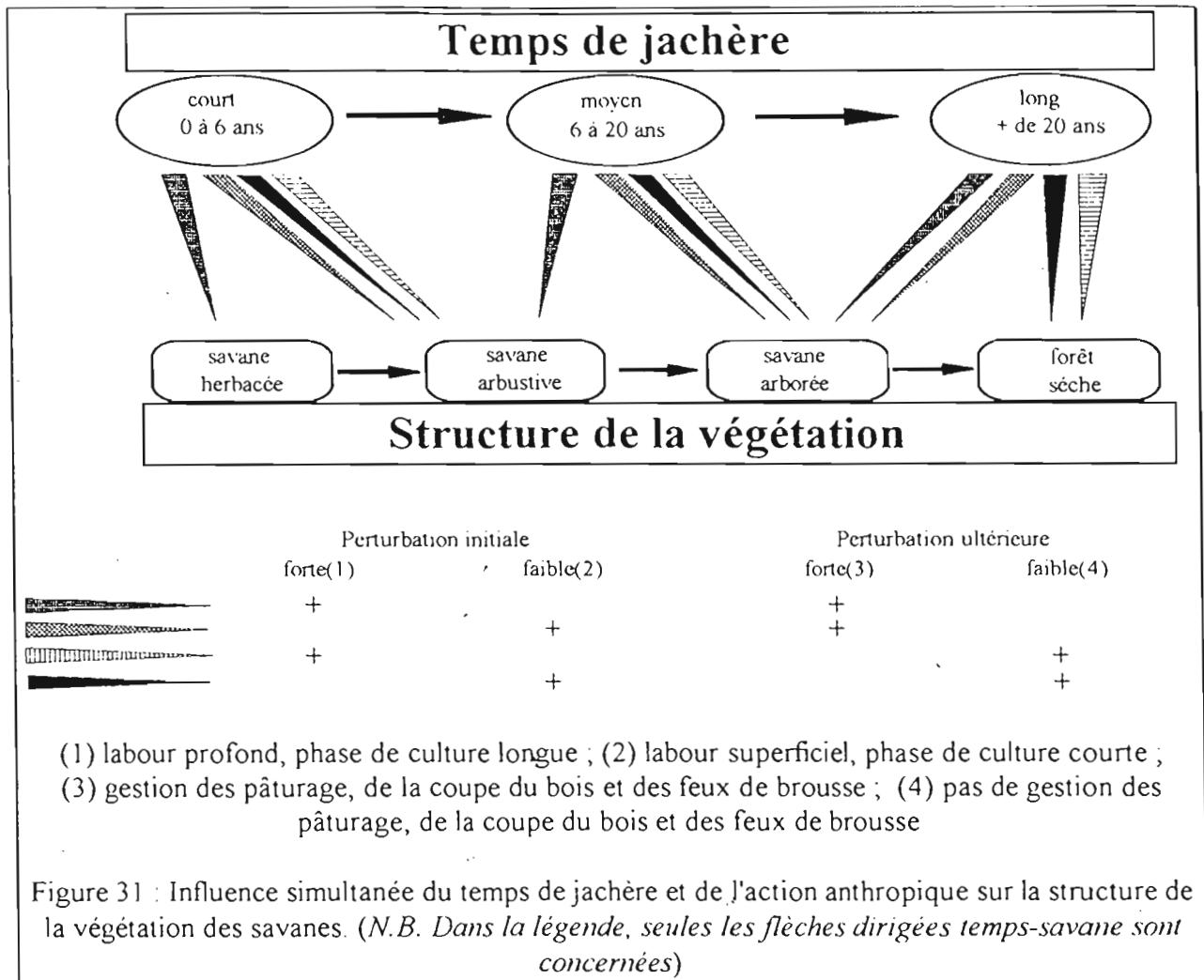
4.6.4.2 Temps de jachère et perturbations anthropiques : discussion sur un modèle

Nous avons montré l'évidence d'une rapide reconstitution de la savane à partir de la cessation de la culture (bonne résilience). Le temps est apparu comme un facteur clé de la dynamique post-culturelle. En effet, plus le temps sans culture est long, plus la savane tend vers un état "pseudo-climacique", représenté par ce nous avons appelé forêt sèche (figure 31). Pour atteindre le stade forêt sèche, on passe par les stades de savanes herbacée, arbustive et arborée. En terme de structure de la végétation, quatre situations différentes existent. La savane herbacée n'a presque pas de ligneux. La savane arbustive possède une strate ligneuse dominée par les arbustes dont la taille ne dépasse pas trois mètres. Dans la savane arborée, la strate ligneuse est dominée par des ligneux supérieurs à trois mètres, mais avec une densité faible par rapport à la forêt sèche. Sur la figure 31, à une jachère donnée au temps t peut correspondre deux situations différentes en terme de structure (les flèches traduisent les chemins pour arriver à chaque situation et non les situations elles mêmes):

- l'une représente le résultat d'une évolution de la jachère subissant toutes les contraintes possibles (perturbations anthropiques ultérieures) ;
- l'autre représente le résultat d'une évolution sans perturbations ;

Lorsque le temps de jachère est court (compris entre 1 et 6 ans), avec une perturbation initiale forte (labour profond, phase de culture longue), et que des perturbations ultérieures se produisent (feu de brousse, pâturage, prélèvement de bois,...), la savane ressemble à une savane herbeuse à dominance d'annuelles. La perturbation initiale, a ici un rôle très déterminant dans la conservation du potentiel floristique. Par contre, avec une perturbation initiale faible (labour superficiel sans dessouchage, phase de culture courte), quelles que soient les perturbations ultérieures, la reconstitution conduit à une savane arbustive. Avec un temps de jachère court, il n'est pas possible d'arriver à la savane arborée, encore moins à la forêt claire.

Le paradoxe est que, même avec un temps de jachère long, il peut arriver que le stade pseudo-climacique (forêt claire) ne parvienne toujours pas à s'établir en raison des perturbations anthropiques. Atteindre ce stade nécessite des conditions particulières avec un minimum de perturbations ultérieures. Il est le résultat d'une préservation de l'environnement contre les perturbations ultérieures (exemple des réserves forestières). Autrement dit, lorsque la gestion du milieu n'est pas bien assurée, le temps de jachère, même très long, conduit à la dégradation des ressources. Une forêt sèche formée produit des ressources en bois et une bonne protection du sol. Cependant, elle n'est pas exploitable comme pâturage.



La structure de la végétation peut donc être considérée comme la résultante d'une action combinée du temps et des perturbations initiales et ultérieures. La première influence la composition floristique initiale en jouant sur le potentiel végétatif (extirpation des souches et des racines) et même sur le potentiel séminal édaphique (épuisement du stock grainier de certaines semences). Ce potentiel est très important pour le démarrage de la reconstitution. Les perturbations anthropiques ultérieures, auxquelles s'ajoutent avec un moindre degré d'influence, la sécheresse, influent beaucoup sur la physionomie et beaucoup moins sur la composition floristique.

Le mode de culture qui a précédé joue un rôle extrêmement important dans les premiers stades de l'abandon cultural. Les autres perturbations ont moins d'effet dans ces premiers stades. A l'inverse, lorsque le temps de jachère devient grand, la structure de la végétation repose essentiellement sur le degré des perturbations (pâturage, feu, prélèvement de bois).

Le problème à considérer est celui du degré de stabilité ou de résilience de ces savanes post-culturelles à base d'épineux. Un système stable est celui dans lequel les variables définissant son état (composition spécifique, abondance relative, biomasse, production, *etc.*) changent peu en

réponse à une pression extérieure telle que la sécheresse, le feu ou le pâturage (WALKER, 1987). Comme le disent WALKER et NOY-MEIR (1982), "stability is the ability of the system to remain the same while external conditions change". Par ailleurs, pour HOLLING (1973) "Résilience is the ability of the system to recover after it has change". Pour évaluer la stabilité d'un système, on peut mesurer la variabilité d'un ou de plusieurs de ses paramètres dans le temps. Nous n'avons pas pu étudier la variabilité interannuelle de la biomasse ou de la production de ces savanes anthropiques. Il apparaît cependant que leur équilibre est fragile et maintenu par la pression qui s'exerce sur elle. On peut considérer qu'elles sont dans un état d'équilibre instable puisqu'elles peuvent se régénérer et tendre vers la forêt sèche si la pression diminue ou au contraire basculer vers le stade "hardé" si cette pression s'accroît. Ces savanes ont donc une faible stabilité mais une forte résilience liée à l'adaptation des espèces à leur environnement, à la sécheresse et au feu en particulier. La structure se reconstitue rapidement après les feux annuels par exemple. Cependant, une fois le stade "hardé" atteint, la stabilité augmente. Une simple mise en défens ne suffit plus pour remonter le système qui a franchi un seuil d'irréversibilité (FLORET et PONTANIER, 1981). La remontée vers l'équilibre initial, ou tout au moins vers un niveau de production convenable, demande alors une forte et longue intervention de l'homme. GROUZIS (1988) a présenté un modèle dynamique pour les écosystèmes sahéliens qui prend en compte cette notion de seuil d'irréversibilité de la dégradation dans les milieux naturels et anthropisés. Les modalités et moyens à considérer pour aider un système naturel à franchir à nouveau un seuil, autrement irréversible, sont étudiés depuis une date récente par une nouvelle branche de l'écologie : "l'écologie de la restauration" (ARONSON *et al.*, 1993). Par le biais d'une étude pluridisciplinaire, nous avons entrepris des recherches sur les possibilités de les améliorer. L'une des voies choisie est celle des aménagements de surface pour améliorer le régime hydrique des sols afin de les remettre régulièrement en culture. Ces aménagements sont également testés pour la remontée biologique des "hardés" (cf chapitre 3).

4.6.5 Conséquences du raccourcissement du temps de jachère pour la végétation

La succession observée se traduit en termes de composition floristique, de modification du stock de graines, de changement de structure. Les changements qui interviennent dans les processus de reconstitution de la végétation post-culturale paraissent plus importants dans les premiers stades. En effet, la disparition d'adventices s'accomplit assez rapidement quelles que soient les techniques agricoles utilisées. De même, le passage de la savane herbeuse à la savane arbustive est très rapide (moins de trois ans). Le développement de la savane arbustive vers la savane pseudo-climacique est aussi assez rapide. En un mot, d'un point de vue structural, les premières années de l'abandon sont les plus importantes. Ceci s'explique par le fait que la croissance des individus ligneux installés, indépendamment de l'action anthropique, est relativement rapide. Par contre, après environ 6 ans, on observe une sorte de blocage de structure. Les changements floristiques, qui continuent à se produire, passent souvent inaperçus. Les conséquences du raccourcissement du temps de jachère sur la végétation sont nombreuses :

- après la remise en culture, les mauvaises herbes reviennent rapidement, n'ayant pas pu être entièrement éliminées pendant la courte jachère ;
- les herbacées vivaces n'ont pas le temps de s'installer ;
- la strate ligneuse est dominée ou formée presque exclusivement d'espèces adaptées au labour telles que les espèces drageonnantes telles que *Dichrostachys cinerea*, *Lansea humilis*, *Combretum aculeatum* ; ou les espèces rejetant de souches du genre *Piliostigma reticulatum*, *Acacia spp.*, etc. Ces espèces ne vont-elles pas aussi disparaître par épuisement des souches en cas de maintien d'une succession de jachères courtes ?
- les espèces ligneuses susceptibles de s'établir en priorité par germination de graines se raréfient.

Dans la région étudiée, en tenant compte du type de sol, on peut prévoir assez fidèlement le type de végétation qui est susceptible de constituer le pseudo-climax à la fin de la succession (LETOUZEY, 1965) si l'action anthropique est faible. Ce qu'il est difficile de prévoir, c'est le temps nécessaire à cette évolution, compte tenu des perturbations anthropiques, souvent diffuses.

Plus de 80 % la couverture herbacée est assurée, quel que soit l'âge de la jachère, par les espèces annuelles, sans doute à cause des feux. L'augmentation du pourcentage de pérennes herbacées au cours du temps n'est effective ou sensible que lorsqu'il y a une pression faible sur le milieu. Nous n'avons pas observé de "blocages" par les pérennes herbacées, mais une influence de plus en plus grande du couvert ligneux s'il n'est pas trop éclairci par les coupes.

En conclusion, lorsque le temps de jachère est trop court, on assiste à une perte de diversité floristique, au moins au niveau des herbacées pérennes avec une dominance d'espèces bien adaptées à des cycles courts.

CONCLUSION GENERALE

La réhabilitation des terres marginales du Nord-Cameroun a été abordée sous l'angle de deux thèmes complémentaires :

- l'amélioration du fonctionnement hydrique des sols dégradés, par réactivation biologique des sols les plus dégradés, et augmentation de la disponibilité hydrique dans les sols propices à une mise en culture ;

- et la caractérisation de la végétation et l'analyse des modalités de retour à la savane après abandon cultural nous amenant à une réflexion sur la durée optimale de la jachère en vue d'une bonne gestion de ces terres marginales.

UTILISATION ET AMENAGEMENTS DES SOLS HARDES ET DES VERTISOLS DEGRADEES

Les principales conséquences de la dégradation des caractéristiques physiques et même chimiques des horizons supérieurs des sols sont une augmentation des pertes en eau par ruissellement de surface et une baisse des réserves en eau disponible pour les végétaux.

L'approche proposée ici, pour la réhabilitation des terres marginales, s'est donc orientée vers l'utilisation d'aménagements de petite hydraulique de surface en vue de l'amélioration du régime hydrique de ces sols dégradés ; pitting, microcatchment, casiers, bandes alternées.

L'expérimentation a été réalisée sur deux types de sols appartenant à la série de dégradation des vertisols ; les sols "hardés" et les vertisols dégradés.

Les résultats obtenus sur les sols "hardés", faciès le plus dégradé, concerne l'augmentation de la profondeur humectée, ainsi que l'amélioration de la richesse floristique. Les aménagements les plus efficaces sont ceux qui combinent un travail du sol par labour et l'édification de diguettes de 25 à 30 cm de haut et perpendiculaires à la pente. Le travail du sol, en supprimant la croûte de battance et en augmentant la macroporosité dans l'horizon retourné, favorise l'infiltration et le stockage des eaux de pluies à court terme. Cependant, les profondes transformations nécessaires pour que cette amélioration soit durable n'apparaissent pas dans la structure du sol ; seul le traitement pitting semble provoquer une modification graduelle du régime hydrique.

Concernant les vertisols dégradés, qui présentent encore un réseau fissural en fin de saison des pluies, le problème de l'utilisation a été considéré suivant deux modes d'exploitation ; la culture de saison des pluies et la culture de contre-saison. Globalement, l'augmentation des réserves en eau est réalisée par des aménagements qui stoppent tout ruissellement de surface, créant dans le même temps une charge hydraulique élevée favorisant la circulation, à travers la macroporosité fissurale, de l'eau au moment des premières pluies.

Ces résultats ont révélé l'importance du réseau fissural pour le régime hydrique des vertisols. Cette macroporosité fissurale constitue en effet la principale voie d'humectation du profil, qui conduit à un stockage plus ou moins important de l'eau. **Le maintien du fonctionnement hydrique de façon durable passe donc par la conservation des fentes de retrait. Il semble, à cet égard, que les vertisols nécessitent, pour maintenir en état leur fonctionnement hydrique, la présence d'aménagement créant un modelé ou une rugosité de surface suffisant, qui jouerait un rôle analogue au relief de type gilgai.**

Mise en culture des vertisols dégradés.

Ces sols conservent de réelles potentialités pour une mise en culture. Cependant, suite à la dégradation, la diminution de la mise en réserve de l'eau disponible augmente les risques d'échec pour une culture de contre-saison, qui constitue le principal mode d'exploitation des vertisols dans le Nord-Cameroun. Par ailleurs, en saison des pluies, les risques d'engorgement temporaire demeurent élevés, amenant les paysans à préférer les sols à texture plus grossière pour la plupart des productions vivrières et industrielles.

Utilisation des vertisols dégradés en culture de contre-saison (septembre à janvier)

La réussite d'une culture de contre-saison, en particulier sur un vertisol dégradé, est conditionnée principalement par les réserves disponibles en eau au moment du repiquage, en fin de saison des pluies.

Sur le bassin versant de Mouda nous avons vu qu'**un carroyage serré à l'aide de diguettes d'une hauteur de 15 à 20 cm assurait la meilleure efficacité pour améliorer les réserves hydriques du sol.**

Les diguettes sont un outil important non seulement pour l'amélioration de la production, mais aussi pour la limitation du risque d'échec de la culture et le maintien des conditions de bon fonctionnement hydrique des vertisols. Elles sont dans ce sens un gage de mise en place d'une productivité durable et devrait pouvoir se généraliser.

D'après nos observations sur l'expérimentation de Mouda, et les propos des paysans de la région de Maroua, quelques règles simples peuvent être énoncées sur les dimensions d'un carroyage à l'aide de diguettes. Nous pensons d'abord que, pour créer une charge hydraulique conséquente, les diguettes doivent être totalement imperméables. Les dimensions du carroyage sont en relation directe avec l'ampleur de la dégradation et du dysfonctionnement hydrique. La largeur du maillage et la topographie qui doit être plane déterminent la hauteur des diguettes utilisées, considérant qu'un maillage plus large implique une augmentation de la hauteur des diguettes. Pour un maillage de l'ordre de 5 m, une hauteur de 0,20 à 0,25 m semble suffisante, alors que, pour des cloisonnements de l'ordre de 10 à 20 m, la hauteur devrait atteindre environ 0,30 à 0,35 m. Notons par ailleurs que, dans les régions citées précédemment, la hauteur des levées de terre s'élève à près d'un mètre pour des longueurs de diguettes, sans cloisonnement,

atteignant une centaine de mètres. Naturellement, ces dimensions, données à titre indicatif, sont également modulées par la nature granulométrie exacte des horizons de surface, qui entrent en jeu, en général, dans la confection des diguettes.

La pratique du carroyage apparaît essentielle pour une remise en culture en contre-saison des vertisols dégradés, par contre elle peut être un inconvénient pour l'exploitation de ces sols en culture de saison des pluies.

Utilisation des vertisols dégradés en culture de saison des pluies (juin à octobre).

Nos résultats sur le bassin versant de Mouda ont montré que **les risques de déficit hydrique, sur les vertisols dégradés, ne sont pas importants en saison des pluies. Par contre, tout aménagement visant à réduire le ruissellement, tel que le buttage, induit un risque d'engorgement préjudiciable à la culture.** On rejoint à cet égard les difficultés que l'on rencontre pour les cultures de saison des pluies sur les vertisols modaux.

Dans la province de l'Extrême-Nord du Cameroun, la culture de saison des pluies sur vertisols est plus rare que celle de contre-saison. Les principales contraintes à ce mode d'utilisation sont les risques d'engorgement de l'horizon cultivé, et la difficulté de réaliser les façons culturales nécessaires à la culture.

Cependant, dans certaines régions, l'absence de sols à texture plus grossière oblige les paysans à utiliser les vertisols une production de sorgho précoce et de coton en saison des pluies. Les paysans n'emploient aucune technique culturale particulière pour assurer un meilleur drainage externe. Ils se contentent en général de réaliser ces cultures dans les parties les plus hautes donc les mieux drainées.

Dans d'autres zones, des aménagements ont été testés et vulgarisés pour permettre un meilleur drainage des vertisols en saison des pluies. Ils consistent essentiellement au modelage de la surface du sol, avec une alternance de bandes surélevées et de sillons assurant l'évacuation des eaux excédentaires. La largeur des bandes doit être suffisante pour retenir l'eau en début de saison des pluies et assurer ainsi une humectation prolongée du lit de semence ; le semis sur billon avec un rang de culture donnerait en effet des résultats peu satisfaisants ; le dessèchement serait trop rapide dans l'environnement de la graine.

Ces techniques ont été largement développées par l'ICRISAT, sur les vertisols de la zone semi-aride en Inde (SWINDALE, 1988). En zone tropicale humide, les aménagements pour assurer le drainage externe sont nécessaires. Ils sont basés sur une sur-élévation des lits de semences, sur une largeur plus ou moins importante en fonction notamment de la possibilité de mécanisation des travaux.

Voie d'intensification de l'utilisation des vertisols dégradés.

Outre l'augmentation globale de la production, l'amélioration de la productivité sur certains sols est aussi un moyen de libérer des terres surexploitées et dégradées. où une mise en jachère s'avère nécessaire pour une reconstitution de leur fertilité.

En Inde, les systèmes de production intensifs, qui sont développés, sont des systèmes de double culture séquentielle avec pour la même année une culture de contre-saison succédant à une culture de saison des pluies, ou bien encore des systèmes de cultures associées en saison des pluies. Les travaux de l'ICRISAT ont montré qu'il était possible d'obtenir une augmentation de 100 à 300 % de la production avec un système de culture "amélioré" par rapport au système traditionnel (SWINDALE, 1988). L'expérimentation en station de ces systèmes intensifiés a été également été réalisée avec succès en Afrique (JUTZI et ABEBE, 1987).

Le centre de recherche agronomique de Maroua effectue actuellement des essais agronomiques de double culture séquentielle. Les premiers résultats sont très satisfaisants avec un gain de production de l'ordre de 500 à 600 % par rapport au système traditionnel (SINGH et NDIKAWA, 1989). De même, dans la vallée de la Bénoué VERNIER *et al.* (1987) ont obtenu de très bons résultats avec une culture de riz pluvial suivi d'une culture de "muskwaari". Toutes ces possibilités d'intensification de la productivité sur les vertisols sont directement liées à des aménagements nécessitant un travail important de mise en place.

Réhabilitation des sols hardés

Fonctionnement hydrique et régénération des sols hardés

Les sols "hardés" sont caractérisés par un dysfonctionnement extrême du régime hydrique, qui entraîne une très forte limitation des ressources en eau disponibles pour les végétaux. Les obstacles à l'infiltration de l'eau sont la croûte de battance, et la faible conductivité hydraulique forte compacité, porosité fermée, de ces sols en l'absence de réseau fissural. Etant donnée la nature originelle de type verticale de ces sols, l'acquisition d'un réseau fissural est conditionnée par l'établissement d'un cycle humectation-dessiccation en profondeur ; les aménagements qui provoquent une forte concentration en eau sur une surface restreinte donnent à cet égard les résultats les plus prometteurs.

Un traitement en "pitting" tel que nous l'avons réalisé est pratiquement difficilement réalisable pour l'aménagement de vastes zones; compte tenu d'un coût humain et financier important. Des trous de dimensions moindres, de l'ordre 0,20 m × 0,20 m × 0,10 m, avec un maillage plus serré devraient être aussi efficace et pourraient permettre une mécanisation de l'aménagement

A l'échelle de la parcelle du paysan, l'association diguettes en casiers et pseudo-labour pourraient permettre de récupérer ou améliorer la production de terres très dégradées. Ce type d'aménagement est d'ailleurs employé dans certaines zones de la province de l'Extrême Nord. Les

sols sur lesquels ont été constitués ces implantations sont situés en général sur des parties hautes de toposéquences et présentent les caractéristiques de dégradation des vertisols, avec, notamment, un réseau fissural très limité. Les agriculteurs désignent ces terres par le terme *karal hardé*, montrant ainsi l'origine "hardé" de ces sols avant leur mise en culture. Il semble que la mise en place de diguettes se soit faite progressivement en partant d'un carroyage relativement lâche dont les dimensions ont été modifiées en fonction des observations sur le comportement de la culture au fil des saisons. Au dire des paysans, la mise en culture en "muskwaari" est possible 3 à 4 ans après l'aménagement en casiers. Ce type de pratique est actuellement testé sur le site expérimental de Mouda. Un aménagement en pitting pourraient être réalisé par le paysan ; en diminuant les dimensions, on rejoint alors les techniques pratiquées en Afrique de l'Ouest où sont associés pitting et apport de matière organique permettant la récupération de sols très dégradés (technique du "zai").

Toutefois, d'autres aspects doivent être considérés pour la régénération de ces sols en vue du maintien des conditions de fertilité du milieu ; il s'agit essentiellement de l'amélioration du statut organique et de la porosité biologique. La matière organique joue un rôle important dans la stabilité structurale et la fertilité chimique des sols. Selon SEINY BOUKAR (1990), la dégradation des vertisols s'accompagne d'une diminution des taux de matière organique. A contrario, l'amélioration du statut organique serait un gage à un maintien durable de la fertilité de ces sols.

La jachère constitue le principal mode de reconstitution du statut organique des sols en région soudano-sahélienne. Le raccourcissement de sa durée, voire l'abandon de ce principe sont souvent avancés comme principales causes de la dégradation des sols (FLORET et PONTANIER, 1991).

RECHERCHE D'UNE DUREE OPTIMALE DE JACHERE

L'étude de la reconstitution de la végétation a été abordée sur la base d'observations réalisées en mode diachrone et synchrone et d'une expérimentation sur le stock de graines viables du sol. Elle a porté sur quatre grands types de sols (vertisols, sols ferrugineux, sols peu évolués et sols fersiallitiques).

Mis à part la caractérisation des écosystèmes anthropiques, les principaux résultats portent sur les modifications de la composition floristique au cours de la succession post-culturale, l'évolution de la physionomie de la végétation, et la structuration des peuplements des espèces ligneuses.

Les mécanismes généraux de reconstitution sont sensiblement les mêmes dans tous les types de sols étudiés. Les vitesses d'évolution et la composition de la flore varient en fonction du type de milieu édaphique. Le concept général de succession est valable dans la zone d'étude mais aucun modèle existant n'a été validé dans tous ses détails. La succession est fortement contrariée par l'influence de l'homme, surtout à partir de la sixième année d'abandon qui marque souvent le

début de très forts prélèvements de fourrage et de bois. Cependant, **quant les prélèvements sont modérés, la reconstitution progressive de la savane continue encore jusqu'à la douzième année environ.**

Ces résultats nous ont amenés à proposer l'optimisation de la durée du temps de jachère en tenant compte des priorités des différents acteurs.

Cas de l'agriculteur

Pour l'agriculteur, le temps de jachère est souvent fonction des causes qui ont provoqué l'abandon cultural. Si c'est l'envahissement du champ par les mauvaises herbes comme c'est souvent le cas, il faut laisser à la jachère juste **le temps nécessaire à la disparition des adventices** qui posent le plus de problèmes (*Commelina benghalensis*, *Acalypha segetalis*, etc.). D'après les profils écologiques de ces espèces en fonction de l'âge de la jachère, **quatre ans sont suffisants** pour qu'elles soient remplacées par les espèces de savane.

Si c'est au contraire la baisse de la fertilité qui a provoqué l'abandon de la culture, c'est le temps nécessaire à la remontée du niveau de fertilité qu'il faut considérer. Le problème est alors complexe car il faut tenir compte du type de sol et du degré de sa dégradation sur l'influence de la culture et de la façon de conduire la jachère. Par rapport aux sols argileux, les sols ferrugineux sont plus affectés dans leur possibilité de retenir l'eau et les éléments minéraux (PIERI, 1990). Selon cet auteur, le taux annuel de perte nette de matière organique des sols sableux est légèrement au dessus de la moyenne des sols cultivés qui est de 2%. Cette chute de la teneur en matière organique occasionne une perte de structure, qui entraîne une baisse de fertilité plus rapide sur les terrains sableux que sur ceux à texture équilibré, plus tamponnés.

Sur les vertisols modaux les moins dégradés à texture fine et relativement riches en éléments nutritifs, la culture de contre saison se pratique chaque année. On y rencontre ce que PELTIER (1989) appelle une "jachère dérobée annuelle" car ces sols sont couverts de végétation spontanée en saison des pluies. A la fin de la saison des pluies, on y repique le "Muskwaari" avec ou sans labour. Lorsqu'il y a régulièrement labour, la jachère dérobée est peu riche en espèces ligneuses. Seul *Piliostigma reticulatum* résiste dans ces conditions. Par contre, lorsque le repiquage du "Muskwaari" se fait sans labour (après coupe et brûlis de l'herbe), la jachère dérobée est plus riche en espèces ligneuses. Dans les deux cas, la présence du couvert herbacée pendant la période des pluies limite le ruissellement des eaux de pluie et protège mieux le sol que la culture de saison des pluies. Le facteur humidité du sol intervient ici si fortement qu'après une bonne saison des pluies (en quantité et dans sa répartition), le paysan est assuré d'une bonne récolte. N'arrivera-t-il pas un moment où le système ne fonctionnera plus en raison d'une baisse de fertilité due aux exportations année après année de la totalité des récoltes ?

Quant aux autres types de sol des terres marginales, les connaissances actuelles ne permettent pas de prévoir le temps de jachère utile pour assurer une bonne remontée de la fertilité. Nos programmes futurs sont orientés dans ce sens. Selon PIERI (*op. cit.*) les jachères jeunes de

moins de 6 ans ont une action améliorante faible. Il n'est pas possible pour la variété annuelle d'*Andropogon gayanus*, d'enrichir le sol en matière organique et en azote autant que la variété pérenne rare dans la région d'étude mais présente en zone soudanienne. **Il n'y aurait donc pas d'amélioration tangible de la fertilité du sol à attendre avant 10-15 ans de jachère.** Le rôle de la jachère longue est indéniable, mais compte tenu de la tendance actuelle, elle tendra à disparaître comme elle a disparu dans de nombreuses régions d'Afrique. Comment la remplacer ? Comment gérer au mieux une jachère courte ? Le danger de dégradation n'existe pas seulement sur les sols sableux. Cependant, des voies d'améliorations ou de maintien de cette fertilité peuvent être dégagées par l'utilisation de certains systèmes de culture.

Cas de l'éleveur

Pour l'éleveur, la période de jachère pendant laquelle apparaissent ou dominent les espèces les plus appréciées est très importante. La période pendant laquelle domine *Andropogon gayanus* (variété annuelle) semble la plus indiquée. Ceci correspond sensiblement à **la période entre la quatrième et la quinzième année de jachère.** Cependant, cette période est variable selon les différents types de sols. Elle est plus courte sur sol ferrugineux, car les Andropogonées accompagnant le contingent de Graminées qui remplacent les mauvaises herbes, sans réellement dominer, sont rapidement remplacées par les peuplements à *Loudetia togoensis* (espèce de peu d'intérêt pastoral). Par contre, ces Andropogonées apparaissent tôt et restent sur vertisol peu dégradé tant que la strate herbacée domine. Il faut également noter l'intérêt d'une complémentarité fourragère en ligneux. Elle dure tant que les ligneux restent bas et donc disponibles.

Cas de l'exploitant de bois

Pour l'exploitant du bois de feu, les espèces les plus recherchées sont entre autres : *Acacia polyacantha*, *Acacia seyal*, *Albizia chevalieri*, *Anogeissus leiocarpus*, *Dichrostachys cinerea*. L'exploitation du bois est plus fréquente dans la jachère à **partir de 6 ans** (âge des individus) et est très sélective. Elle est systématique au moment du défrichement cultural. Les jachères de moins de 5 ans n'ont pas beaucoup d'attrait ni d'intérêt pour cet usage.

En conclusion, très souvent, le même paysan est à la fois agriculteur, éleveur et exploitant de bois, même s'il exerce certaines de ses fonctions par personne interposée. C'est pourquoi la gestion des jachères est souvent en rapport avec toutes ces considérations. La durée de la jachère n'est pas définie à l'avance. Il peut arriver qu'après reconstitution de la fertilité, la remise en culture ne se fasse qu'à la suite d'une décision collective. Cette décision vise à limiter l'influence des ravageurs des récoltes (oiseaux, singes, ...) par une exploitation de grandes superficies. Les problèmes de droit foncier sont aussi impliqués car la remise en culture permet ne pas perdre son droit sur une parcelle (JEAN, 1991). La pression démographique à travers la demande accrue de terres cultivées joue également en faveur du raccourcissement du temps de jachère. Ceci pose évidemment un problème puisque la jachère longue permet d'assurer le contrôle des adventices, de diminuer la

pression des maladies et des parasites, et d'entretenir la fertilité des sols et de contribuer à la production de bois de feu et à l'alimentation des troupeaux (JOUVE, 1991). Pour que la jachère continue de jouer tous ces rôles, il faut que les pratiques culturales durant la phase de culture permettent le maintien d'un potentiel végétatif et séminal pour la végétation naturelle : **pas de dessouchage ni de phase de culture trop longue.**

L'action anthropique est apparue comme principal moteur de la dégradation des milieux cultivés et pastoraux dans le Nord-Cameroun. Dans bien des cas, il semble nécessaire d'insuffler une nouvelle vitalité à ces milieux dégradés pour provoquer une réhabilitation et un maintien un état productif durable. Cette étude a permis de donner les interventions nécessaires dans les domaines pédologiques et phytoécologiques pour les écosystèmes les plus représentés de la zone septentrionale du Nord-Cameroun ; il reste cependant à en préciser les modalités exactes ainsi que les conditions socio-économiques propices à des travaux de réhabilitation.

BIBLIOGRAPHIE

- A.F.E.S. 1988 - Référentiel pédologique français. 2^{ème} proposition, novembre 1988. Ed. INRA, 251p
- ABRAMSON N., 1963 - Information theory and coding. Mc Graw Hill, 201p
- ACHERAR M., LEPART J., DEBUSSCHE M., 1984 - La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) en Languedoc méditerranéen. *Acta Oecol., Oecol. Plant.* 5 (19): 179-189
- ADEDEJI F. O., 1984 (a) - Nutrient cycles and successional changes following shifting cultivation practice in moist semi-deciduous forests in Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 9 (2): 87-99
- ADEDEJI F. O., 1984 (b) - Population dynamics of *Aspilia africana* in lowland bush fallows following shifting agriculture in Southern Nigeria. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum* 5 (4): 315-320
- AHMAD N. 1988.- Management of vertisols in the humid tropics. In *Vertisols: their distribution, properties, classification and management*, p97-115. Edited by L.P. WILDING and R. PUENTES, Texas A&M University Printing Center, college station, Texas
- ALBERGEL J., PEREZ P., VAKSMANN M., 1991.- Amélioration des modèles du bilan hydrique sur parcelle par la prise en considération des états de surface. In *Soil water balance in the Sudano-sahelian zone*, p483-496. Edited by M.V.K. SIVAKUMAR, J.S. WALLACE, J. RENARD & C. GIROUX, IAHS Publ. n°199. IAHS press, Institute of hydrology, Wallingford, U.K.
- ALEXANDRE D. Y., 1989 - Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte d'Ivoire. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris, 102p
- ALEXANDRE D. Y., 1989 - L'arbre et le maintien des potentialités agricoles en zone intertropicale humide. in: *Le risque en agriculture*, A Travers Champs, ORSTOM, Paris, pp. 115-129
- ALEXANDRE D. Y., GUILLAUMET J. L., KAHN F. et NAMUR C. DE, 1978 - Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Conclusion: Caractéristiques des premiers stades de la reconstitution. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.* 13 (3): 267-270
- ALEXANDRE D. Y., 1991 - Amélioration des jachères en zone de savanes : l'expérience de réafforestation des friches du Nazinon (Burkina Faso). Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO
- ALLEN M.F., 1988.- Below-ground structure: a key to reconstructing a productive arid ecosystem. In *The reconstruction of disturbed arid lands: an ecological approach* p113-135. Edited by E.A. ALLEN, Westview press, Boulder, CO. USA.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOCH E., OVALLE C. and PONTANIER R., 1993 - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semiarid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology* 1:1-10
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOCH E., OVALLE C. and PONTANIER R., (sous presse) - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semiarid lands. II. Case studies in southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology*
- AUBREVILLE A., 1947 - Les brousses secondaires en Afrique équatoriale- Côte d'Ivoire, Cameroun, A.E.F. Bois et Forêts des Tropiques 2: 24-49
- AUBREVILLE A., 1949 - Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale.. Soc. Ed. Géogr. Marit. et Coloniales, Paris 351p
- AWETO A. O., 1981 - Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria; I- Succession. *J. of Ecology* 69 (2): 601-607
- BACOU A. M., LEPART J., 1984 - Dispositif et mode d'utilisation en libre service de la bibliothèque INFECO implantée sur micro-ordinateur corail en vue de la gestion et du traitement de fichiers de relevés phyto et zoo-écologiques. Version 1 CNRS, Centre L. EMBERGER, Ecothèque méditerranéenne
- BARBERY J., GAVAUD M., 1980.- Carte pédologique du Nord-Cameroun, à 1/100000: feuille Bogo-Pouss. Notice n°8, ORSTOM Paris, 58p
- BEGOM M., HARPER J. L. and TOWMSEND C.R., 1990 - The nature of the community. in " *Ecology, Individuales, Populations and community*. Blackwell Sci. Pub. 2^eédition
- BENDALI F., 1987 - Dynamique de la végétation et mobilité du sable en Jeffara tunisienne. Thèse Doctorat Université Sci. et Tech. du Languedoc, Montpellier, 241p
- BERDNT R.D., COUGHLAN K.J., 1976.- The nature of changes in bulk density with water content in a cracking clay. *Aust. J. Soil Res.* 15:27-37
- BILLE J.C., 1973 - Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Sénégal septentrional: Description de l'écosystème, biomasse végétale et production primaire. *Ann. Univ. Abidjan, Série E: Ecologie* 6 (52): 131-137
- BILLE J.C., 1975 - Analyse mathématique des relevés de végétation en zone sahélienne. Actes du colloque de Bamako (Mali) sur l'"Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains" "6-8 mars 1975, CIEA, Adis-Abeba, PP 333-334
- BILLE J. C., 1977 - Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. *Trav. Doc. ORSTOM Paris*, (82 p.)
- BLAKE G, SCHLICHTING E., ZIMMERMANN U., 1973.- Water recharge in a soil with shrinkage cracks. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37:669-672
- BOOYSEN P.(de), TANTON N. M., 1984 - Ecological effects of fire in south african ecosystems. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg NewYork Tokyo

- BOUDET G., 1975 - Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Minst. Coop., Sér. "Manuels et précis d'élevage" 4 231p
- BOUDET G., 1981 - La végétation sahéenne, son évolution et sa gestion par l'homme. Maisons Alfort IEMVT. MF IEMVT n°50989
- BOUDET G., 1983 - Systèmes de production d'élevage au Sénégal: Etude du couvert herbacé. Compte rendu de fin d'étude. IEMVT, Maisons Alfort, 58p
- BOUMA J., DEKKER L.W., 1979.- A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20:27-40
- BOURGEAT F., 1972.- Sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire. Mémoires ORSTOM, 335p
- BOURLIERE F. (ed.), 1983 - Tropical savannas. Ecosystems of the World n° 13, Elsevier, Amsterdam
- BOUTRAIS J., BOULET J., BEAUVILLAIN A., GUBRY P., BARRETEAU D., DIEU M., BRETON R., SEIGNOBOS C., PONTIE G., MARGUERAT Y., HALLAIRE A., FRECHOU H., 1984.- Le Nord Cameroun. Des hommes, une région. Editions de l'ORSTOM. Coll. Mémoires n°102, Paris, 550p
- BOUTRAIS J., 1983 - L'élevage soudanien, des parcours de savane aux sauchs (Cameroun-Nigéria). ORSTOM-DGRST Cameroun TD, 160p
- BRABANT P., 1968 - Sols ferrugineux et sols apparentés du Nord Cameroun. Aspects de leurs pédogénèses. ORSTOM Yaoundé, 42 p, multigr.
- BRABANT P., GAVAUD M., 1985.- Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. Coll. cartes et notice explicative n°103. Ed. ORSTOM, MESRES-IRA Yaoundé, ORSTOM Paris. 285p + 6 cartes couleur hors texte
- BRABANT P., 1987.- Selection of sites for the vertisols network: Distinction between types of vertisols. In Management of vertisols under semi-arid conditions p 65-70. Édité by LATHAM M., AHN P., ELLIOTT C.R.. IBSRAM Proceedings n°6, Bangkok, Thailand
- BRADSHAW A.D., 1987.- Restoration: an acid test for ecology. In Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research p23-29. Edited by W.R. JORDAN, M.E. GILPIN & J.D. ABER, Cambridge university press, Cambridge (U.K.)
- BRAUN-BLANQUET J., 1952- Avec la collaboration de ROUSINE N., NEGRE R. et EMBERGER L., - Les groupements végétaux de la France Méditerranéenne. CNRS et Direct. de la carte des group. végét. de l'Afrique du Nord
- BREMAN H., CISSE A.M., DJITEYE M.A., ELBERSE W.T., 1980 - Pasture dynamics and forage availability in the Sahel. *Israel Journal of Botany*, vol. 28 : 227-251
- BREMAN H., CISSE A.M., 1977 - Dynamics of sahelian pastures in relation to drought and grazing. *Oecologia (Berl.)* 28: 301-315
- BREMAN, H., CISSE, A. M., DJITEYE, M. A. et ELBERSE, W. Th., 1982 - Le potentiel botanique des pâturages. In : PENNING DE VRIES F. W. T. et DJITEYE, M. A. : La productivité des pâturages sahéens. Une étude des sols, des végétations et l'exploitation de cette ressource naturelle. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, pp 98 - 132. BRAUN-BLANQUET, J., 1932 - Plant sociology (traduit de l'allemand par GD Fuller et H. S. Cornard) Mc Graw Hill, New York, 439p
- BROWN A. H. F. and OOSTERHUIJST L., 1981 - The role of buried seed in coppice woods. *Biological conservation*, 21 : 19-38
- CANCELA DA FONSECA J. P., 1980 - Le concept de diversité, le chevauchement des niches écologiques et l'organisation des systèmes écologiques. *Acta Oecologica, Oecol. Gener.*, 1 : 3, 293 - 305
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989 - Les états de surface de la zone sahéenne. Influence sur l'infiltration. Ed. ORSTOM, Coll. Didactiques, Paris, 229p
- CEE, 1988 - Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord Cameroun). Rapport final. Contrat TSD A-216-CAM (DG12-CEE). MESRES-ORSTOM-CNRS
- CESAR J., COULIBALY Z., 1990 - Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres. In: Actes des Rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990, Savane d'Afrique, terres fertiles? Comment produire plus et de façon durable en zone de savanes au Sud du Sahara, pp. 271-290
- CESAR J., ZOUMANA C., 1991 - Conséquences de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte d'Ivoire. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO
- CHAIËB M., 1987 - Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. Thèse Doct. USTL, Montpellier. 293p
- CHAN K.Y., 1982 - Shrinkage characteristics of soil clods from a grey clay under intensive cultivation. *Aust. J. Soil Res.* 20:65-68
- CHOPART J.L., 1989 - Méthodes d'étude de l'enracinement à mettre en oeuvre dans le projet de recherche R3S PF2 (amélioration de l'alimentation hydrique par les techniques culturales). Note technique n°04/89/syst. IDESSA, Côte d'Ivoire.
- CISSE A. M., 1986 - Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahéenne. Wageningen (NLD), 211p.
- CISSE M.I., HIERNAX P., DIARRA, L., 1991 - Intégration agro-pastorale au Sahel : Dynamique et rôle fourragère des jachères. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO.
- CLEMENTS F.E., 1916 - Plant succession. An analysis of the development of vegetation. Carnegie institution Washington Publ. 242: 1-512
- CLEMENTS F.E., 1928 - Plant succession and indicators. A definitive edition of plant succession and plant indicators.. Hafner pub. 453p
- CLEMENTS F.E., 1936 - The origin of the desert climax and climate.. Goodspeed ed., University of California, pp. 87-140

- CLEMENTS F.E., 1949 - Dynamics of vegetation. Hafner, New York, 296 p.
- CONNELL J. M., SLATYER R.O., 1977 - Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Nat.* 111 : 1119-1144
- COOPER W.S., 1926 - The fundamentals of vegetational change. *Ecology*, 7, 391-413
- COUCHAT P., 1974 - Mesure neutronique de l'humidité des sols. Thèse d'état. Université Paul Sabatier, Toulouse, 123p
- COWLES H.C., 1911 - The cause of the vegetation cycle. *Bot. Gaz*, 51, 161-183
- DAGET P., GODRON M., 1882 - Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés. Ed. Masson, 163 p
- DAGET P., POISSONET R., 1971 - Une méthode d'analyse phyto-écologique des prairies : critères d'application. *Annales agronomiques* 22 (1) : 5 - 41
- DAGET P., GODRON M., GUILLERM J. L., 1972 - Avec la collaboration de DRDOS, H., RUZICKOVA, URVICHAROVA. Profils écologiques et Information mutuelle entre espèces et facteurs écologiques. Grunfragen und methoden in der pflanzenziologie (Basic problems and methods in phytosociology). Herausgegeben Von R. TUXEN (Ed.) Vander MAAREL und R. TUXEN P 121-149
- DANCETTE C., 1983 - Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *Agron. Trop.* 38(4):281-294
- DANCETTE C., 1991 - Critique des recherches sur le bilan hydrique en zone soudano-sahélienne. In *Soil-water balance in the Sudano-Sahelian zone* p45-62. Edited by M.V.K. SIVAKUMAR, J.S. WALLACE, C. RENARD & C. GIROUX, IAHS Publ. n°99. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- DE ROUW A., 1991 - Impact du raccourcissement de la jachère forestière sur l'enherbement et la conduite des systèmes de culture. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO.
- DEVINEAU J.L., 1986 - Impact écologique de la recolonisation des zones libérées de l'onchocercose dans les vallées Burkinabé (Nazinon, Nakanbé, Mouhoun, Bougouriba). Rapport final, Convention ORSTOM/OMS: Projet de lutte contre l'Onchocercose, 151 p. (+ cartes)
- DIEYE K., GASTON A., 1986 - Productivité et gestion des parcours naturels en milieu pastoral sahélo-loudais, E, et Faye (eds). Actes de l'atelier: Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale PP. 269-298. IEMVT, Maisons Alfort. Etudes et Synthèse IEMVT n°20
- DJITEYE M., 1988 - Composition et production des communautés sahéliennes : application à la zone de Nioro (Mali). Thèse Doct., Univ. Paris Sud (150 pages + annexes)
- DONFACK P., 1991 - Dynamique de la végétation après abandon de la culture au Nord-Cameroun. Atelier La jachère en Afrique de l'Ouest Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris
- DONFACK P., 1993 - Etude de la dynamique de la végétation après abandon cultural au Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université de Yaoundé, Cameroun, 192p
- DONFACK P., FLORET C., 1993 - Influence de quelques aménagements de surface sur la végétation spontanée des sols hardés du nord Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, Cahiers Scientifiques, 11:71-80
- DONFACK P., MASSE D., SEINY BOUKAR L., 1993 - Réhabilitation d'un sol "hardé" d'origine vertisolique. Bois et Forêts des Tropiques, Cahiers Scientifiques, 11, 65-70
- DRURY W.H., NISBET I.C.T., 1973 - Succession. *Journal of the Arnold Arboretum* 54, 331-1060
- DUCHAUFOR P., 1965 - Précis de pédologie. Ed. Masson, Paris, 438p.
- DUDAL R., 1965 - Dark clay soils of tropical and subtropical regions. FAO agricultural Development paper n°83, FAO, Rome.
- DUDAL R., ESWARAN H., 1988.- Distribution, properties and classification of vertisols. In *Vertisols: their distribution, properties, classification and management* p1-22. Edited by L.P. WILDING and R. PUENTES, Texas A&M University Printing Center, college station, Texas.
- ECKEBIL J.P., BARRAULT J., VAILLE J., 1972.- Points des travaux de l'IRAT sur les sorghos repiqués du Nord Cameroun. *Agron. Trop.* vol XXVII, 8:791-814.
- EGLER F.E., 1954 - Vegetation science concepts. I^o- Initial floristic composition, a factor in old field vegetation development. *Vegetatio* 4: 412-417
- ELDIN M., 1989 - Analyse et prise en compte des risques climatiques pour la production végétale. In *Le risque en agriculture* p47-63. Ed. ORSTOM, Coll. A travers champs, Paris.
- EMBERGER L., 1930 - Végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue générale de Botanique.* tome 45 475
- EYOG MATIG O., 1989 - Quelques tentatives de récupération des sols stériles. Plantations forestières dans le Nord Cameroun. In IFS (International Foundation for Science), proceedings of a regional seminar on Trees for development in Sub-Saharan Africa, february 20-25, 1989, Nairobi, Kenya.
- FELLER C., LAVELLE P., ALBRECHT A., 1991 - La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. Atelier La jachère en Afrique de l'Ouest Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris, p11-32
- FELLER C., MILLEVILLE P., 1977 - Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). I- Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques. *Cah ORSTOM, sér. Biol.* 12 (3) 199-211
- FELLER C., 1977 - Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie* 15 (3): 291-302
- FENNER M., 1985 - Seed ecology.. Chapman and Hall, London (151 p.)
- FLORET C., 1981 - The effects of protection on steppic vegetation of the mediterranean arid zone. A dynamic study on five types of vegetation in Southern Tunisia. *Vegetatio*, 46 : 117-129

- FLORET C., 1991 - Recherches sur la jachère en Afrique de l'Ouest. Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, Montpellier, 31 p.
- FLORET C., LE FLOCH E., PONTANIER R., ROMANE F., 1981 - Dynamique de systèmes écologiques de la zone aride. Application à l'aménagement sur des bases écologiques d'une zone de la Tunisie Présaharienne. *Acta Oecologica/Oecol. Applic.*, 2, 3 : 195-214
- FLORET C., PONTANIER R., 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et Documents de l'ORSTOM N°150, Paris, 544p
- FLORET C., PONTANIER R., 1984.- Aridité climatique, aridité édaphique. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 131, Actual. bot. (2/3/4):265-275
- FLORET C., PONTANIER R., 1991.- Recherches sur la jachère en Afrique Tropicale. l'Atelier La jachère en Afrique de l'Ouest Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris, p491-492
- 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, Univ. Paris VI, 445 pages
- FOX W.E., 1964 - A study of bulk density and water in a swelling soil. *Soil Sci.* 98:307-316
- FRANQUIN P., FOREST F., 1977 - Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *Agron. Trop.* 22:7-11
- FREEBAIRN D.M., WOCKNER G.H., 1986 - A study of soil erosion on vertisols of the eastern darling downs, Queensland. I Effects of surface conditions on soil movement within contour bay catchments. *Aust. J. Soil Res.*, 24:135-158
- FREEBAIRN D.M., WOCKNER G.H., 1986 - A study of soil erosion on vertisols of the eastern darling downs, Queensland. II The effects of soil, rainfall, and flow conditions on suspended sediment losses. *Aust. J. Soil Res.*, 24:159-172
- FROST P.G.H., 1984 - The responses and survival of organisms in fire prone environments. pp173-309. In: *Ecological effects of fire in south african ecosystems*. Ed. by BOOYSEN, P.(de) and TANTON, N. M. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg NewYork Tokyo
- FROST P.G.H., ROBERTSON F., 1987 - The ecological effects of fire in savannas. in: Walker, B.H. (ed.), *Determinants of Tropical Savannas*, ISCU Press, Miami, pp. 93-140
- FROST P.G.H., MEDINA E., MENAUT J.C., SOLBRIG O.T., SWIFT M., WALKER B.H., 1986 - Responses of savannas to stress and disturbance: a proposal for a collaborative program of research. *Biology International Special Publication (IUBS)* 10: 1-82
- GARDNER E.A., COUGHLAN K.J., SILBURN D.M., 1988 - Soil water measurement and management on vertisols in Queensland, Australia. In *Management of vertisols in sub-saharan africa*, p 131-165. Edited by S.C. JUTZI, I. HAQUE, J. MACINTIRE, J.E.S. STARES, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia
- GASTON A., 1973 - Esquisse de reconnaissance des groupements végétaux de la zone de recherches écologiques intensives du projet Quelea Quelea (Région de Fort Lamy). IEMVT, Maisons Alfort/Farcha, 50 p.
- GASTON A., 1977 - Connaissance du couvert végétal et évolution de la végétation sous diverses actions en particulier la sécheresse. in: Third Int. Conf. on the Central Bilad al Sudan, Tradition and adaptation, Karthoum, 11-13/8, 1977
- GAUSSEN H., 1951 - Le dynamisme des biocénoses végétales. *Ann. Biol.* 27, 90 - 102.
- GAUSSEN H., 1954 - Géographie des plantes. Paris Librairie Armand Colin, 223 P.
- GAVAUD M., 1971 - Les sols "hardés" du Nord Cameroun. (Sols halomorphes, sols lessivés, planosols, sols hydromorphes). Mise au point bibliographique. *Bull. Liais. thème B n°2*, 1971. ORSTOM, Paris, p55-88
- GENIEUX M., 1958 - Climatologie du Cameroun. Atlas du Cameroun 4p. 7fig, tabl.+ planche
- GILLON D., 1983 - The fire problem in tropical savannas. in: Bourlière F. (ed.), *Tropical savannas, Ecosystems of the World* 13, Elsevier Scientific Publ. Co., pp. 617-641
- GLEASON H.A., 1917 - The structure and development of the plant association. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 53 7 - 26
- GLEASON H.A., 1926 - The individualistic concept of the plant association. *Bull. Torrey Bot. Club* 53: 7-26
- GODRON M., 1967 - Les groupes écologiques imbriqués en écaillé *Oecol. Plant. Gauthier Villard. Vol.2*, p 217-226
- GODRON M., 1968 - Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. *Oecol. Plant.*, 3 : 185 - 212
- GODRON M., 1972 - Echantillonnage linéaire et cartographie. *Investigation Pesquera Vol. 36(1)*
- GODRON M., POISSONET J., 1972 - Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu. *Bull. Soc. Languedoc. Géographie*, 6, 3, 329 - 356
- GOMMES R.A., 1983 - Pocket computers in agrometeorology. In *FAO Plant production and protection paper*, n°45 p31-41. Edited by Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- GORSOU P., 1983 - Contribution à l'étude du "muskwari" dans le Nord-Cameroun: les relations sol-plante sous l'aspect du bilan hydrique. Mémoire de fin d'étude ENSA Centre Universitaire de Dschang, ronéo, 65p.
- GOUNOT M., 1958 - Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudérales de la Tunisie. *Ann. S.B.A.T., Tunisie*, 31, 152p
- GOUNOT M., 1961 - Les méthodes d'inventaires de la végétation. *Bull. Serv. Carte Phytogéog.*, B, 1, 7-72
- GOUNOT M., 1969 - Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie édit. (Paris), 314p
- GREACEN E.L., HIGNETT C.T., 1979 - Sources of bias in the field calibration of a neutron meter. *Aust. J. Soil Res.* 17:405-415
- GREENLAND D.J., 1980 - The nitrogen cycle in West Africa. Agronomic considerations. in: Rosswall T. (ed.) *Nitrogen cycling in West African ecosystems*, Royal Academy of Sciences, Stockholm, Sweden, pp. 73-82
- GROUZIS M., 1979 - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute Volta). ACC, Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, Centre ORSTOM, Ouagadougou, 56 p. + Biblio.
- GROUZIS M., 1982 - Restauration des pâturages sahéliens: Mise en défens et reboisement; rapport de campagne 1981. ORSTOM, Ouagadougou, 38 p

- GROUZIS M., 1988 - Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Ed. ORSTOM, coll. Etudes et thèses, Paris, 336p
- GROUZIS M., NIZINSKI J., AKPO E.L., 1991 - L'arbre et l'herbe au Sahel. Influence de l'arbre sur la structure spécifique et la production de la strate herbacée et la régénération des espèces ligneuses. Texte dactylographié, IVème Congrès International des Terres de Parcours, 22-26 avril 1991, Montpellier, France, 11p
- GUILLAUMET J.L., 1978 - Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). I - Présentation. Cah. ORSTOM, Sér. Biol., Vol. XIII (3): 189-190
- GUILLERM J.L., 1969 - Relation entre la végétation spontanée et le milieu dans les terres cultivées du Bas Languedoc. Thèse 3ème cycle. Ecologie. Fac. Sc. Montpellier, 165p
- GUILLERM J.L., 1971 - Calcul de l'information fournie par un profil écologique et valeur indicatrice des espèces. Oecol. Plant. 6 209 - 225
- GUILLERM J.L., 1978 - Sur les états de transition dans les phytocénoses post-culturelles. Thèse d'état USTL Montpellier
- GUILLERM J.L., SUTISNA M., 1983 - Caractérisation écologique des adventices des rizières en camargue (France). Le Communita vegetali com Indicator Ambicutali R.E.R et SISDF
- GUINOCHE M., 1955 - Logique et dynamique du peuplement végétal. Masson, Paris, 143 p
- GUIS R., 1976 - Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols hardé du Nord Cameroun. Agron. Trop. 31(2):141-158
- HAINNAUX G., 1980 - Le cycle de l'azote dans les agrosystèmes de l'Afrique de l'Ouest. in: Rosswall, T. (ed.) Nitrogen cycling in West African ecosystems, Royal Swedish Acad. Science, Stockholm, Sweden, pp: 115-130
- HENIN S., 1976 - Cours de physique du sol. Volume I: texture, structure, aération. Initiations, documents techniques, 28. ORSTOM, Paris, Editest-Bruxelles, 159p
- HILLEL D., 1974 - L'eau et le sol. Principes et processus physiques. Ed. Vander, 288p
- HODGSON A.S., CHAN K.Y., 1982 - The effect of short-term waterlogging during furrow irrigation of cotton in a cracking grey clay. Aust. J. Agric. Res. 33:109-116
- HODNETT M.G., BELL J.P., 1986.- Soil moisture investigations of groundwater recharge trough black cotton soils in Madhya Pradesh, India. Hydr. Sc. J. 31:361-381
- HOFFMANN O., 1985 - Pratiques pastorales et dynamique du couvert végétal en pays Lobi (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Collection "Travaux et Documents" de l'ORSTOM, n° 189, 355 p
- HOLLING C. S., 1973 - Resilience and stability of ecological systems. Ann. Rev. Ecol. Syst. 4: 1-23
- HOOGMOED F.X., BOUMA J., 1980 - A simulation model for predicting infiltration into cracked clay soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:458-461
- HUMBEL F.X., 1965 - Etude des sols halomorphes du Nord-Cameroun (Maroua). Transformation des "hardés" par sous-solage et culture du cotonnier. Rapport centre ORSTOM Yaoundé, Cameroun, 146p
- HUNTLEY B. J., WALKER, B. A. (eds.), 1982 - Ecology of tropical savannas. Ecological Studies 42, Springer-Verlag, 669p
- I.R.A. - C.N.S., 1989 - Réhabilitation et utilisation de terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989. Projet CEE-MESURES IRA-CNRS-ORSTOM TS 2A/0077/M(CD), roneo 58p + annexes
- I.R.A. - C.N.S., 1990 - Réhabilitation et utilisation de terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1990. Projet CEE-MESURES IRA-CNRS-ORSTOM TS 2A/0077/M(CD), roneo 50p + annexes
- JACQUES-FELIX H., 1968 - Evolution de la végétation au Cameroun sous l'influence de l'homme. J. d'Agric. Tropicale et de Botanique Appliquée 15 (9-10-11): 350-356
- JAGGI *et al.*, 1977 - Field balance in a vertisol under fallow and cropped conditions. Indian J. agric. Sci. 47(12):617-621
- JAILLARD B., CABIDOUCHE Y.M., 1984 - Etude de la dynamique de l'eau dans un sol argileux gonflant: dynamique hydrique. Science du sol, 3:187-198
- JEAN S., 1991 - Jachères et stratégies foncières. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO
- JOUVE P., 1991 - Usages et fonctions de la jachère en Afrique de l'Ouest et au Maghreb. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO
- JOVET P., 1937 - Evolution après abandon de culture des champs du Valois. Bull. Soc. Bot. Fr., 84, 184 195.
- JOVET P., 1949 - Le valois. Phytosociologie et phytogéographie. S.E.D.E.S. Paris, 390p
- JUHREN M. C., 1952 - Fire and biotic factors affecting germination. Ecology 33 (3): 351-364
- JUTZI S., ABEDE M., 1987 - Improved agricultural utilization of vertisols in the Ethiopian highlands- an interinstitutional approach. Edited by M. LATHAM, P. AHN, C.R. ELLIOTT, p 175-183. IBSRAM Proceedings n°6, Bangkok, Thailand
- KAHN F., 1982 - La reconstitution de la forêt tropicale après culture traditionnelle (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire ORSTOM, n°97, 150 p
- KNOOP W.T., WALKER, B.H., 1985 - Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern african savanna. J. of Ecology 73 (1): 235-253
- KOECHLIN B., RAMBAL S. et DEBUSSCHE M., 1986 - Rôle des arbres pionniers sur la teneur en eau du sol en surface de friches de la région méditerranéenne. Oecol. Plant., Vol.7(21), no2 : 177-190
- KOUONMENIOC J., 1990 - Les ligneux fourragers au Cameroun : Productivité et intérêt pour la production animale en région guinéenne Thèse Doct. Univ. Paris-Sud, Centre d'Orsay 192 p
- KRUGER F.J., 1984 - Effects of fire on vegetation structure and dynamics. pp 219-243. In : Ecological effects of fire in south african ecosystems. Ed. by BOOYSEN, P.(de) and TANTON, N. M. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg NewYork Tokyo
- LASCANO R.J., 1991 - Reviews of models for predicting soil water balance. In Soil water balance in the Sudano-sahelian zone p443-458. Edited by M.V.K. SIVAKUMAR, J.S. WALLACE, J. RENARD & C. GIROUX, IAHS Publ. n°199. IAHS press, Institute of hydrology, Wallingford, U.K.

- LE HOUEROU H.N., 1977 - The grasslands of Africa : Classification, Production, evolution and development outlook..
 Proceed. XIII International Grassland Congress, Akademie Verlag, Berlin, Vol. 1, pp. 99-116
- LE HOUEROU H.N., 1979 - Le rôle des arbres et arbustes dans les pâturages Sahéliens.. C.R. Colloque International sur le rôle des arbres au Sahel, Centre International de recherche et de développement, Ottawa, Canada, pp. 19-32
- LE HOUEROU H.N., 1981 - Long-term dynamics in arid-land vegetation and ecosystems of North Africa. in: Arid land ecosystems: structure, functioning and management, Vol. 2, D.W. Goodall & R.A. Perry (eds.), IBI 17, Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 357-384
- LE HOUEROU H.N., 1989 - The grazing land ecosystems of the African Sahel. Ecological Studies 75, Springer-Verlag, Berlin, 282 p
- LEBOURGEOIS T., GRARD P., 1988 - BASEFLO : La gestion informatique des données dans les relevés d'enherbement. Notice d'utilisation IRCT / CIRAD, Montpellier
- LEBOURGEOIS T., 1990 - Projet FAC Régional Malherbologie, Garoua-Cameroun. Rapport annuel 1989-1990. CIRAD/IRCT, Montpellier. 95p
- LEBRETON J.D., ROUX M., BACOU A.M., BANCO G., 1990 - BIOMEKO (Biométrie écologie), version 4.0, Logiciel de statistique écologique pour PC. CEPE / CNRS Montpellier
- LEPART J., ESCARRE J., 1983 - La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. Bull. Ecol. 14(3):133-178
- LETOUZEY R., 1968 - Etude phytogéographique du Cameroun. Paul Lechevalier, Paris 511p
- LETOUZEY R., 1985 - Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500.000. 1) Domaine sahélien et soudanien. IRA (Herbier National), Yaoundé. Institut de la Carte Internationale de la Végétation. Toulouse, pp. 1-26
- LOCH R.J., DONOLLAN T.E., 1982 - Field rainfall simulator studies on two clay soils of the Darling Downs, Queensland. I The effects of plot length and tillage orientation on erosion processes and run off and erosion rates. Aust. J. Soil. Res. 21:33-46
- LOCH R.J., DONOLLAN T.E., 1982 - Field rainfall simulator studies on two clay soils of the Darling Downs, Queensland. II Aggregate breakdown, sediment properties and soil erodibility. Aust. J. Soil. Res. 21:47-58
- LONG G., 1974 - Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. Tome 1 Principes généraux et méthodes. Tome 2 Application du diagnostic phytoécologique. Masson et Cie, Paris (256 p. et 222 p.)
- MAC MAHON J.A., 1980 - Ecosystems over time : succession and other types of change.. In: Forest fresh perspectives from ecosystem analysis, Proceedings of the 40th annual biology colloquium, Oregon state university press, Corvallis, Oregon, pp. 27-58
- MARATHÉE M., 1970 - Les différentes variétés de sorghos dans le Diamaré, Nord-Cameroun. In Rapport analytique IRAT div. agronomie année 1970, Montpellier, France
- MARLAUX A., 1979 - Nature et périodicité des cernes dans les arbres de zone tropicale sèche en Afrique de l'Ouest.. CTFT, Nogent-sur-Marne, 83p
- MARTIN D., 1963 - Carte pédologique du Nord-Cameroun. Feuille Kaélé à 1/100000. IRCAM-ORSTOM, Paris. 100p multigr. 1 carte couleur hors texte
- MASSE D., 1992 - Amélioration du régime hydrique des sols dégradés en vue de leur réhabilitation. Cas des vertisols du Nord Cameroun. Thèse Doct. Ing., Inst. Polytech. de Toulouse. 187p
- MENAUT J.C., CESAR J., 1979 - Structure and primary productivity of Lamto savannas, Ivory coast.. Ecology 60 (6) : 1197-1210
- MENAUT J.C., BARBAULT R., LAVELLE P., LEPAGE M., 1985 - African Savannas : biological systems of humification and mineralization. In J. C. Tothill et J. J. Mott "Ecology and Management of the world's savannas", Australian Acad. Science, Canberra, pp. 14-33
- MENAUT J.C., GIGNOUX J., PRADO C., CLOBERT J., 1990 - Tree community dynamics in a humid savanna of the Côte d'Ivoire: modelling the effects of fire and competition with grass and neighbours. J. Biogeography 17: 471-481
- MERLIER H., 1967 - Evolution d'une jachère naturelle bisannuelle intervenant dans une rotation quinquennale type: sa comparaison avec une jachère continue naturelle. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux 19-25/11/1967, Tananarive, Madagascar, IRAT, Paris, pp. 1803-1822
- MIEGE J., BODARD M., CARRERE P., 1966 - Evolution floristique des végétations de jachère en fonction des méthodes culturales à Darou (Sénégal). Trav. Fac. Sci., Univ. Dakar, 58 p. et IRHO, Paris, Série Scientifique n° 14
- MILLEVILLE P., 1989 - Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne. In Le risque en agriculture p233-241. Ed. ORSTOM, Coll. A travers champs, Paris
- MILLEVILLE P., COMBES J., MARCHAL J. Y., 1982 - Systèmes d'élevage sahéliens de l'Oudalan. Etude de cas. ORSTOM, Ouagadougou, multigr. 127 p. + annexes
- MITCHELL A.J.B., 1987 - Management problems of cotton on vertisols in the lower shire valley of Malawi. In Management of vertisols under semi-arid conditions p 221-229. Edited by M. LATHAM, P. AHN, C.R. ELLIOTT. IBSRAM Proceedings n°6, Bangkok, Thailand
- MITJA D., 1990 - Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou ; Touba). Thèse Doctorat, Univ. Paris VI, Spécial. Biologie Végétale Tropicale, 314 p.
- MITJA D., HLADIK A., 1989 - Aspects de la reconstitution de la végétation dans deux jachères en zone forestière africaine humide (Makokou, Gabon). Acta Oecol., Oecol. Gener. 10 (1): 75-94
- MITJA D., PUIG H., 1991 - Essartage et régénération des jachères en savane humide de Côte d'Ivoire (l'ouba). Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris, pp377-392
- MONNIER Y., 1968 - Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte D'Ivoire. in "Etudes Ebumécennes". Direction de la recherche scientifique. Min. Educat. Nationale de la Côte d'Ivoire. Abidjan.
- MONOD T., 1956 - Nomenclature des formations végétales dans les régions arides et semi arides.. Rapport Réun. Phyt. Yangambi 304-319

- MORIS J.W., GUILLERM J.L., 1974 - The ecological profiles technique appli to data from Litenburg, South Africa, *Bothalia*, 11 : 355-364
- NAMUR (de) C., 1978 (a) - Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). 4- Etude floristique. Cah. ORSTOM, Sér. Biol., Vol. XIII, n°3 :203 - 210
- NAMUR (de) C., 1978 (b) - Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Quelques caractéristiques du développement d'un peuplement ligneux au cours d'une succession secondaire. ORSTOM, Sér. Biol., Vol. XIII, n°3 :211 - 221
- NAMUR (de)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. Cah. ORSTOM, Sér. Biol., Vol. XIII, n°3 :197 - 201
- NOBLE I.R., SLATYER R.O., 1980 - The use to vital attributes of predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio* 43 : 5-21
- NOUVELET Y., 1987 - Fiche technique de diverse essences de la région de Maroua (51 essences locales, 9 essences acclimatées ou exotiques). Antenne de Recherche forestière de Maroua Cameroun
- NOY MEIR I., WALKER B.H., 1986 - Stability and resilience in rangelands, pp 21-25. In : Proc. of the 11th Intern. Rangeland Congress, Adelaïde 13-18 mai 1984, Williams (eds.) Australian Academy of Science D
- ODUM E.P., 1959 - Fundamentals of ecology. Saunders Company, London, 546p
- ODUM E.P., 1971 - Foundamental of ecology. Third ed. W. B. SAUNDERS Co (574 p.)
- ODUM S., 1978 - Dormant seeds in Danish ruderal soils, anexperimental study of relation between seed bank and pioneer flora. Horsholm Arboretum, Danmark
- OLIVRY J.C., 1983 - Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cah. ORSTOM, sér. Hydrologie, vol. XX, 1:47-69
- OLIVRY J.C., 1986 - Fleuves et rivières du Cameroun. MESRES, Yaoundé. ORSTOM, Coll. Monographies hydrologiques, n° 9, Paris, 733 p
- OLSON T.S., 1958 - Rates of succession and soil changes on southern lake Michigan sand dunes.. *Bot. Gaz.* 119 : 125-170
- OSBORNOVA J., KOVAROVA M., LEPS J., PRACH K., (Eds.). 1990 - Succession in abandon fields . *Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia.* Kluwer Academic Publishers, 166 p.
- OSSENI B., DIOMANDE M., 1989 - Importance de la jachère dans les systèmes traditionnels de cultures en Côte d'Ivoire. *Fruits* 44 (1): 13-19
- OUEDRAOGO J., 1985 - Contribution à l'étude du dynamisme des formations naturelles du Burkina: Reconstitution des jachères dans la zone de Kaïbo, Niaogho. Mémoire Fin d'Etudes, IDR, ORSTOM, Ouagadougou, 63p
- PEDRO G., 1976 - Sols argileux et argiles. Eléments généraux en vue d'une introduction à leur étude. *Sciences du sol*, 2:69-84
- PEDRO G., 1987.- Géochimie, minéralogie et organisation des sols: aspects coordonnés des problèmes pédogénétiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, 3:169-186.
- PELTIER R., 1989 - Un essai sylvo-pastoral au Nord-Cameroun. CTFT, MESIRES, IRA, Cameroun, 41 p
- PELTIER R., 1991- Gestion des jachères arborées en Afrique de l'Ouest; effet de quelques facteurs sur leur productivité en biomasse. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest"; Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris
- PELTIER R., EYOG MATIG O., 1989 - Les essais d'agroforesterie au Nord Cameroun. BFT n°217:3-31
- PELTRE-WURTZ J., STECK B., 1979 - Influence d'une société de développement sur le milieu paysan. Coton et culture attelée dans la région de la Bagoué (Nord-Côte d'Ivoire) . Petit Bassan, ORSTOM, 428 p. + annexes
- PENNING DE VRIES, F. W. T. et DJITEYE, M. A., 1982 - La productivité des pâturages Sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. PUDOC, Wageningen, Agric. Res. Rep. 918, 525p
- PHILLIPEAU G., 1986 - Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale. ITCF
- PIERI C., 1985 - Bilans minéraux des systèmes de cultures pluviales en zones arides et semi-arides . *Agronomie Tropicale* 40 (1): 1-20
- PIERI C., 1989 - Fertilité des terres de savane: Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. CIRAD, IRAT, 444p
- PIERI C., 1990 - Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au Sud du Sahara.. In: Actes des Rencontres Internationales, Montpellier (France), 10-14 décembre 1990, Savanes d'Afrique, terres fertiles? Comment produire plus et de façon durable en zone de savanes au Sud du Sahara, pp. 43-73
- PIOT J., 1969 - Végétaux ligneux et pâturages des savanes de l'Adamaoua au Cameroun. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.* 22: 541-559
- PIOT J., NEBOUÏ J.P., NANOT R., TOUTAIN B., 1980 - Utilisation des ligneux sahéliens par les herbivores domestiques. Etude quantitative dans la zone sud de la mare d'Oursi (Haute Volta). CTFT, IEMVT, 213 p
- PODWOSJEWSKI P., 1988 - Les vertisols de Nouvelle-Calédonie. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 24(4):279-301
- PONS A., 1953 - Le peuplement végétal sur les anciennes cultures de la région du Grand Lubéron (Vaucluse). *Recueil Trav. Lab Bot. Géol. et Zool. Fac. Sciences, Univ. Montpellier. Série Bot.*, 6, 135 - 147.
- PONTANIER R., THEBE B., 1989.- Etude du ruissellement au Nord-Cameroun transfert de la parcelle au bassin versant. *Hydrol. Continent.* 4(1):57-69
- PONTANIER R., MOUKOURI KUOH H., SAYOL R., SEINY BOUKAR I., THEBE B., 1984 - Comportement hydrique et sensibilité à l'érosion de quelques sols du Nord-Cameroun soumis à des averses contrôlées. MESRES-IRA-IRGM, Yaoundé, Cameroun, 71p
- POUPON H., 1973 - Influence de la sécheresse de l'année 1972-1973 sur la végétation d'une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal. in: Les problèmes de désertification au Sud du Sahara, le cas de la Mauritanie, FAO, Nouakchott, 17-19/12/1973, Doc n° 12

- POUPON H., 1977 - Evolution d'un peuplement d'*Acacia senegal* (L.) Willd dans une savane sahélienne au Sénégal de 1972 à 1976. Cah. ORSTOM, sér. Biol. XII, 4: 283-291
- POUPON H., 1980 - Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au Nord du Sénégal. Travaux et Documents de l'ORSTOM n°115
- PRACH K., 1990 - Vegetation dynamics. in : Succession in abandon fields . Studies in Central Bohemia, Czechoslovakia. Ed. by OSBORNOVA, J., KOVAROVA, M., LEPS, J., and PRACH, K. Kluwer Academic Publishers, p127-143.
- PRADO, C., 1988 - Un modèle de succession végétale: rôle des traits biologiques des espèces et des contraintes spatiales. Doct. Univ. Paris VI, Ecologie, 212 p.
- PUENTES R., HARRIS B.L., VICTORA C., 1988 - Management of vertisols of temperate regions. In Vertisols : their distribution, properties, classification and management p 129-145. Edited by L.P. WILDING and R. PUENTES, Texas A&M University Printing Center, college station, Texas.
- RIOU C., 1980 - Aspects climatiques de la secheresse de part et d'autre du Sahara (de l'Afrique centrale sèche à la Tunisie). Cah. ORSTOM, sér. Biol., 42:43-51
- ROBERTSON G. P., ROSSWALL T., 1986 - Nitrogen in West Africa: the regional cycle. Ecol. Monographs 56 (1): 43-72
- ROMANE F., 1972 - Application à la phyto-écologie de quelques méthodes d'analyse multivariable. Thèse Docteur Ingénieur USTL, Montpellier, 124p
- ROUPSARD M., 1987 - Nord-Cameroun. Ouverture et développement. Thèse de doctorat d'Etat en géographie, Univ. de Paris X, Coutances, 516p
- SCHMIDT F., MOUTONNET P., 1985 - Analyse de l'erreur d'étalonnage d'une sonde de mesure neutronique de l'humidité des sols. Bull. G.F.H.N., 18:55-67.
- SCHNELL R., 1976 - Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale. Vol. 3, 1ère partie, Gauthiers-Villars, Paris
- SCHREVE F., 1951 - The vegetation of the Sonoran desert.. Carnegie Inst. n°591
- SEBILLOTTE M., 1991 - Théorie agronomique de la jachère. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris
- SEGALEN P., 1962 - Carte pédologique du Nord-Cameroun à 1/100000: feuille Maroua(imprimée). ORSTOM Yaoundé, + notice: 72p multigr.
- SEGALEN P., VALLERIE M., 1963 - Carte pédologique du Nord-Cameroun à 1/100000: feuille Mokolo (imprimée). IRCAM, Yaoundé, ORSTOM, Paris, 72p multigr. + 2 cartes couleur hors texte à 1/100000 et 2 cartes hors texte à 1/50000.
- SEGHIERI J., 1990 - Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse Doct. USTL, Montpellier, 200 p
- SEIGNOBOS C. 1981 - L'arbre et la cité dans la zone soudano-sahélienne. Rev. de géographie du Cam. Vol. 2 n°1 49-52.
- SEIGNOBOS C., 1993 - Hardé et Karal du Nord Cameroun; leur perception agro-pastorale par les populations du Diamaré. Bois et Forêts des Tropiques, Cahiers scientifiques, 11, pp65-70
- SEIGNOBOS C., IYEBI MANDJECK O., 1991 - Jachères et terroirs ; l'exemple de Mouda (Nord Cameroun). Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris
- SEINY BOUKAR L., 1990. Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse de 3ème cycle. Univ. de Yaoundé, 226 p.+ annexes
- SEINY BOUKAR L., FLORET C., PONTANIER R., 1991 - Plant-Soil-Water relationships in a sahelo-soudanian savannah: the case of vertisols in Northern Cameroon. Can. J. Soil Sci. 72:481-488.
- SEINY BOUKAR L., FLORET C., MOUKOURI-KUOH H., PONTANIER R., 1990 - Dégradation des vertisols du Nord-Cameroun. Modification du régime hydrique des terres et tentatives de réhabilitation. in Comptes-rendus du séminaire "Utilisation rationnelle de l'eau des petits versants en zone aride", EIERS, Ouagadougou, 12-15 mars 1990
- SIBAND P., 1972 - Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute Casamance. Principaux résultats. L'Agron. Trop. 27(5): 574-591
- SICOT M., 1989 - Contraintes et risques hydriques encourus par l'activité agro-pastorale au Sahel. Exemple de la mare d'Oursi au Burkina Faso. In Le risque en agriculture p131-142. Ed. ORSTOM, Coll. A travers champs, Paris
- SIEFFERMAN G., 1963 - Carte pédologique du Nord-Cameroun à 1/100000. Feuille de Kalfou. IRCAM-Yaoundé, ORSTOM, Paris, 65p multigr. + 1 carte couleur hors texte
- SINGH L., NDIKAWA R., 1989 - Annual progress report, 1989, Sorghum millet agronomy, Maroua. Agronomic Research Center, Maroua, Cameroon, 41p
- SMEDEMA L.K., 1984 - Furrow irrigation design for vertisols. Agri. Water. Manag. 9:211-218.
- STIRK G.B., 1954 - Some aspects of soil shrinkage and the effect of cracking upon water entry into the soil. Aust. J. Agric. Res. 23:279-285
- SUCHEL J.B., 1972 - La répartition et les régimes pluviométriques au Cameroun. Travaux et Documents de Géographie Tropicale, n° 5, CEGET-CNRS Bordeaux, 283 p
- SWINDALE L.D., 1988 - Developing, testing and transferring improved vertisol technology: the Indian experience. In Management of vertisols in sub-saharan africa, p 13-43. Edited by S.C. JUTZI, I. HAQUE, J. MACINTIRE, J.E.S. STARES, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia
- TELAHIGUE T., 1981 - Contribution à l'étude des déséquilibres écologiques et agricoles en zone aride tunisienne : le cas des friches post-culturelles de la région de Bir Lahmar. Thèse Docteur Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 159 p
- TELAHIGUE T., FLORET C., LE FLOCH E., 1987 - Succession post-culturelle en zone aride tunisienne. Acta Oecologica/Oecol. Plant, 8 (22) 1 : 45-58
- TESSIER D., 1990 - Behaviour and microstructure of clay minerals. In Soil colloids and their associations in aggregates, p 387-415. Edited by M. DE BOODT, M. HAYES & A. HERBILLON, Plenum Press, New York

- TESSIER D., BRUAND A., CABIDOUCHE Y.M., 1991 - Vertisols of France. In Proceedings of the Sixth International Soil Correlation Meeting (VI ISCOM): Characterization, classification and utilization of cold aridisols and vertisols p 227-231. Edited by J.M. KIMBLE, Soil Management Support Service USDA
- TESSIER D., CAMARA L., PEDRO G., 1980 - Sur le comportement hydrique et l'évolution des organisations des argiles (kaolinites et smectites) au cours de la dessiccation et de la réhumectation. *Compte-rendu Acad. Sciences, Paris*, 290, D:1169-1172
- TESSIER D., PEDRO G., 1980 - Sur les propriétés des de gonflement dans les sols. *Comptes Rendus Acad. Sc. Paris*, t. 291. Série D. p461-464
- THEBE B., 1987 - Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles. Thèse Doct. USTL, Montpellier, 306p.
- THELLUNG A., 1912 - La flore adventice de Montpellier. *Bull. Soc. Nat. SC. nat. et math. de Cherbourg* : 57-728
- TOGOLA M., 1982 - Contribution à l'étude de la végétation sahélo-soudanienne et des potentialités pastorales de la région du Kaarta (Mali). Thèse 3ème cycle, Ecologie Végétale, Université Paris Sud, Orsay, (86 pages + annexes)
- TOUTAIN B., PIOT J., 1980 - Mises en défens et possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes. Etudes expérimentales dans le bassin de la mare d'Oursi (Haute-Volta). Rapport IEMVT/GERDAT, 156p
- TROCHAIN J.L., 1980 - Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique. Université Paul Sabatier, Toulouse, 468 p.
- TROLLOPE W.S.W., 1974 - Role of fire in preventing bush encroachments in the eastern cape. *Proceeding of the grassland Society of southern Africa*. 9, 67-72
- TROLLOPE W.S.W., 1984 - Fire behaviour. pp 199-217. In : *Ecological effects of fire in south african ecosystems*. Ed. by BOOYSEN, P.(de) and TANTON, N. M. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg NewYork Tokyo
- UNESCO, 1977 - Carte de la répartition mondiale des régions arides. Notes techniques du MAB, n°7. Unesco, Paris
- VAILLE J., 1970 - Essais de mise en valeur des-sols "hardés" du Nord cameroun. *Agron. Trop.* 25(5) : 472-490
- VALENTIN C., 1981 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez, Rép. du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie de l'eau. Coll. Etudes et thèses, ed. ORSTOM, Paris, 1985, 259p
- VAN WYK, P., 1971 - Veld burning in the Kruger National Park, and interim report of some aspects of research. *Proceeding of the tall timber fire ecology conference* 11, 9-31.
- VASEK F., 1980 - Early successional stages in Mojavè Desert scrub vegetation. *Israel Journal of Botany*, vol. 28 : 133-148
- VERNIER P., ABOUBAKAR Y., TCHARI B., 1987 - Le système de double culture riz pluvial-sorgho moukwari au Cameroun. Essais préliminaires. *Agron. Trop.* 42(4):280-288
- VIRMANI S.M., 1988.- Agroclimatology of the vertisols and vertic soil areas of Africa. In *Management of vertisols in sub-saharan africa* p45-63. Edited by S.C. JU'TZI, I. HAQUE, J. MACINTIRE, J.E.S. STARES, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia.
- VIRMANI S.M., BURFORD J.R., SAHRAWAT K.L., 1985 - Improved management systems for vertisols in India. In *Taxonomy and management of vertisols and aridisols (proc. of 5th International Soil Classification Workshop, Sudan, 2-11 november 1982)* p275-283. Khartoum, Sudan, Soil Survey Administration
- WALKER B. H., 1981 - Is succession a viable concept in African Savanna Ecosystems ? pp 431-503. In : *Forest succession : concepts and appication*, Ed. by D. C. West, H. H. Shugart D. B. Botkin, Springer-Verlag NY Heidelberg Berlin
- WALKER B. H. (ed.), 1987 - Determinants of tropical savannas. IUBS, Monograph series n°3, ICSU Press, Miami
- WALKER B.H., NOY-MEIR I., 1982 - Aspects of the stability and resilience of Savanna ecosystems. In : *Ecology of tropical savannas*. Huntley, B.J. ; Walker, B.H. (Eds). Ecological studies, 42, Springer-Verlag, Berlin, pp. 555-590.
- WENT F.W., JUHREN G., JUHREN M.C., 1952 - Fire and biotic factors affecting germination.. *Ecology* 33 (3): 351-364
- WHITE P.S. 1979 - Pattern, process, and natural disturbance in vegetatio. *Bot. Rev.*, 45, pp229-299
- WHITE P.S., 1983 - The vegetation of Africa. *Natural Ressources Research*, XX 356p + carte
- WHITTAKER R.H., 1953 - A consideration of climax theory : the climax as a population and pattern.. *Ecological Monographs*, 23 (1) : 41-78
- WHITTAKER R.H., 1977 - Evolution of species Diversity in Land Communities. From : *Evolutinary biologie*, Volume 10 Edited by Max K. Hecht, William C. Steere and Bruce Wallace. (Plenum publishing corporation)
- WHITTAKER R.H., MORRIS J.W., GOODMAN D., 1984 - Pattern analysis in savanna-woodlands at Nysvley, South Africa. *Memoirs of the Botanical survey of south Africa*. n° 49 Batanical Research Institute, department of Agriculture, SOUTH Africa, 51p
- WILDING L.P., PUENTES R., 1988 - Vertisols: their distribution, properties, classification, and management. Ed. Texas A&M University Printing Center, college station, Texas
- WILDING L.P., TESSIER D., 1988 - Genesis of vertisols: shrink-swell phenoma. In *Vertisols: their distribution, properties, classification, and management* p55-81. Edited by L.P. WILDING and R. PUENTES, Texas A&M University Printing Center, college station, Texas
- YARRANTON G.A., MORRISON R.G., 1974 - Spatial dynamics of a primary succession : nucleation. *J. of Ecology* 62 : 417-428
- YERIMA B.P.K., WILDING L.P., HALLMARK C.T., CALHOUN F.G., 1989 - Statical relationships among select properties of Northern Cameroon vertisols and associated vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1758-1763
- YOSSI H., FLORET C., 1991 - Dynamique temporelle et spatiale des ligneux dans une savane de la zone soudanienne au Mali : conséquences pour le pâturage. Actes du IVth International Rangeland Congress, Montpellier, France, 22-26 avril 1991:191-193

- YOSSI H., DEMBELE F., 1991 - Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne au Mali : évolution de la composition floristique et de la strate ligneuse. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris
- YULE D.F., 1987.- Water management of vertisols in the semi-arid tropics. In Management of vertisols under semi-arid conditions p107-123. Edited by M. LATHAM, P. AHN, C.R. ELLIOTT. IBSRAM Proceedings n°6, Bangkok, Thailand.
- ZEIN EL ABEDINE A., GLENN H.R., TYEGO J., 1969.- A study of certain physical properties of a vertisol in the Gezira area, Republic of Sudan. Soil Sci. 108(5):359-366
- ZOUNGRANA I., 1991 - Analyse floristique de stades secondaires au cours de la reconstitution des jachères Nord Soudanienues au Burkina Faso. Diversité, stabilité, évolution des communautés végétales. Atelier international "La jachère en Afrique de l'Ouest", Montpellier, 3-5 déc. 1991, ORSTOM-CNRS-UNESCO

Publications des membres du Projet

- ARONSON J., FLORET C., LE FLOCH E., OVALLE C. and PONTANIER R., 1993 - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semiarid lands. I. A view from the south. *Restoration Ecology* 1:1-10
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOCH E., OVALLE C. and PONTANIER R., (sous presse) - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of arid and semiarid lands. II. Case studies in southern Tunisia, Central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology*
- CEE, 1988 - Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord Cameroun). Rapport final. Contrat TSD A-216-CAM (DG12-CEE). MESRES-ORSTOM-CNRS
- DONFACK P., 1993 - Dynamique de la végétation après abandon de la culture au Nord-Cameroun. In : FLORET C. & SERPANTIE G. (eds) *La jachère en Afrique de l'Ouest*, pp.319-330. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris
- DONFACK P., 1993 - Etude de la dynamique de la végétation après abandon cultural au Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université de Yaoundé, Cameroun, 192p
- DONFACK P., FLORET C., 1993 - Régénération de la végétation spontanée d'un sol Hardé. *Bois et Forêts des Tropiques*, Cahiers Scientifiques, 11:71-80
- DONFACK P., MASSE D., SEINY BOUKAR L., 1993 - Réhabilitation d'un sol "hardé" d'origine vertisolique. *Bois et Forêts des Tropiques*, Cahiers Scientifiques, 11, 65-70
- FLORET C., 1990 - Dynamique comparée des milieux arides sahéliens et nord-africains. Communication invitée, Colloque de l'Observatoire du Sahara et du Sahel, Paris, Palais des Congrès, 5-7 juin 1990
- FLORET C., PONTANIER R., 1993 - Recherches sur la dynamique de la végétation des jachères en Afrique Tropicale. In : FLORET C. & SERPANTIE G. (eds) *La jachère en Afrique de l'Ouest*, pp.33-46. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris
- FLORET C., PONTANIER R., 1993 - Cadre général pour un programme coopératif de recherche et de développement sur la jachère en Afrique Tropicale. In : FLORET C. & SERPANTIE G. (eds) *La jachère en Afrique de l'Ouest*, pp.491-494. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris
- I.R.A. - C.N.S., 1989 - Réhabilitation et utilisation de terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989. Projet CEE-MESURES IRA-CNRS-ORSTOM TS 2A/0077/M(CD), roneo 58p + annexes
- I.R.A. - C.N.S., 1990 - Réhabilitation et utilisation de terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1990. Projet CEE-MESURES IRA-CNRS-ORSTOM TS 2A/0077/M(CD), roneo 50p + annexes
- MASSE D., 1992 - Amélioration du régime hydrique des sols dégradés en vue de leur réhabilitation. Cas des vertisols du Nord Cameroun. Thèse Doct. Ing., Inst. Polytech. de Toulouse. 187p
- MASSE D., FLORET C., PONTANIER R., SEINY BOUKAR L., 1992 - Amélioration du régime hydrique des vertisols dégradés du Nord-Cameroun en vue de leur réhabilitation. *Cahiers ORSTOM série Pédologie*, Volume 27 n°4
- SEIGNOBOS C., 1993 - Hardé et Karal du Nord Cameroun; leur perception agro-pastorale par les populations du Diamaré. *Bois et Forêts des Tropiques*, Cahiers scientifiques, 11, pp65-70
- SEIGNOBOS C., IYEBI MANDJECK O., 1993 - Jachères et terroirs ; l'exemple de Mouda (Nord Cameroun). In : FLORET C. & SERPANTIE G. (eds) *La jachère en Afrique de l'Ouest*, pp.147-156. Collection Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris
- SEINY BOUKAR L., 1990. Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse de 3^e cycle. Univ. de Yaoundé, 226 p.+ annexes
- SEINY BOUKAR L., FLORET C., MOUKOURI-KUOH H., PONTANIER R., 1990 - Dégradation des vertisols du Nord-Cameroun. Modification du régime hydrique des terres et tentatives de réhabilitation. in *Comptes-rendus du séminaire "Utilisation rationnelle de l'eau des petits versants en zone aride"*, EIER, Ouagadougou, 12-15 mars 1990
- SEINY BOUKAR L., FLORET C., PONTANIER R., 1991 - Plant-Soil-Water relationships in a sahelo-soudanian savannah: the case of vertisols in Northern Cameroon. *Can. J. Soil Sci.* 72:481-488.