

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES SCIENCES

ANNEE 1990



DYNAMIQUE DES SYSTEMES ECOLOGIQUES SAHELIENS:
STRUCTURE SPECIFIQUE, PRODUCTIVITE
ET QUALITE DES HERBAGES
LE FORAGE DE WIDDU THIENGOLY

MEMOIRE

présenté et soutenu publiquement le *en Janvier 1990*
à la Faculté des Sciences de Dakar
pour obtenir le

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES (D.E.A)
DE BIOLOGIE VEGETALE

par

Leonard Elie AKPO
Docteur Vétérinaire

Président du Jury : M. Antoine NONGONIERMA
Professeur titulaire à la Faculté des Sciences

Rapporteur : M. Amadou Tidiane BA
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences

Membres : M. Mouhamadou Lamine THIAM
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences
: M. Michel GROUZIS
Docteur es-Sciences Ecologue

Directeur de Stage : M. Michel GROUZIS
Chargé de Recherches à l'ORSTOM,

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 35.228

Cote : B

22 AVR. 1992

NOUS DEDIONS CE TRAVAIL

à

*Sévan Freddy, Hervin et Hervé, Cécil Kévin, Armel et Rose-Cica
pour les sacrifices consentis.*

LOUISE OGOUGBA OTCHOUN, notre mère. Tu nous as quitté trop tôt. Ta tendresse, ton amour et ton courage sont un exemple pour nous. Paix à ton âme.

LEONARD KOSHIPA AKPO, notre père. Tu as largement rempli ton devoir, c'est à nous de faire le reste. Fruit modeste de notre profonde gratitude.

Familles **AKPO, OTCHOUN, HOUETON et DAGBA**. L'union fait la force.

Familles **AFFOUDJI et ONODJE** (à Dakar). Profonde gratitude.

E R R A T A

Pages	Lignes	Au lieu de :	Lire
26	24	clasification	classification
39	3	nos animaux	les animaux
40	10	pluviométrie	pluviométrie
42	26	de charge	de la charge
44	22	provient donc	provient plutôt
50	5	échantil-lonnage	échantillonnage

LISTE DES ABREVIATIONS

C.I.L.S.S. : Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

P.S.3. : Parcours sur pénéplaine sableuse (n°3)

A.F.C. ou **ANACOR** : Analyse factorielle des correspondances

C.A. : Classification automatique

kg_{MS} : kilogramme de matières sèches

V_p : Valeur pastorale

M.A.T. : Matière azotée totale

U.B.T. ou **L.S.U.** : Unité Bétail Tropical

P_W : Pluviométrie estimée de Wiidu Thiengoly

P_D : Pluviométrie relevée à Dagana

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	IV
INTRODUCTION.	1
CHAPITRE 1. MATERIEL ET METHODES D'ETUDE	3
1.- LA ZONE D'ETUDE	3
1.1. Présentation. Situation	3
1.2. Les conditions du milieu	4
1.2.1. Le milieu physique	4
1.2.2. L'environnement biotique	5
1.2.3. Les systèmes d'exploitation	6
2.- LES DONNEES . ORIGINES ET METHODES D'ACQUISITION	6
2.1. Les données floristiques	6
2.1.1. Origine des données floristiques	6
2.1.2. Caractéristiques du parcours PS3	7
2.1.3. Méthodes d'observation	9
2.2. Les données quantitatives	11
2.2.1. Leur origine	11
2.2.2. Méthodes d'acquisition	11
2.2.3. La pluviosité	11
3.- TRAITEMENT DES DONNEES	11
1. Constitution du fichier "BIOMECO"	12
3.2. L'analyse factorielle des correspondances	12
3.3. La classification automatique	13
3.4. La régression	13
CHAPITRE 2 . RESULTATS	15
1 - CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES	15
1.1. La pluviométrie	15
1.2. Le nombre de jours de pluie	16
1.3. L'étude fréquentielle des pluies	17
1.3.1. Recherche d'une station à longue série chronologique	17
1.3.2. Etude fréquentielle	18

2.- L'ANALYSE FLORISTIQUE	20
2.1. La variabilité spatiale	21
2.2. La variabilité interannuelle	23
2.2.1. L'analyse globale	23
2.2.2. L'approche analytique	26
2.3. L'effet pâture	29
2.4. Conclusion	32
3.- PRODUCTION ET QUALITE DES HERBAGES	33
3.1. La phytomasse	33
3.2. La phytomasse et la valeur pastorale	36
3.3. La valeur pastorale et la pluviosité	37
3.4. La teneur en azote total (MAT) dans les herbages	39
3.5. Conclusion	40
4.PHYTOMASSE HERBACEE ET CHARGE FREQUENTIELLE	40
4.1. Aspects généraux et normes	40
4.1.1. Capacité de charge : définition	40
4.1.2. Coefficient d'utilisation	40
4.1.3. Besoins des animaux	41
4.2. Résultats	41
CHAPITRE 3. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION	43
1.- METHODES D'ETUDE DES PARCOURS	43
1.1. L'inventaire de la végétation herbacée	43
1.2. La phytomasse	43
2.- METHODES D'ANALYSE	43
3.- RESULTATS	44
3.1. La pluviosité	44
3.2. La floristique	44
3.3. La production et la qualité des herbages	44
3.4. Inadéquation Charge / Production	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	46
ANNEXE 1. Liste des espèces	53
ANNEXE 2. Pluviométrie(mm) estimée autour du forage de	55
Wiidu Thiengoly	

AVANT PROPOS

Dans le pastoralisme sahélien les pâturages jouent un rôle considérable. En effet ils constituent et constitueront pendant longtemps le seul mode d'alimentation des herbivores domestiques.

Dégradation, régression écologique, rupture d'équilibre qualifient l'état actuel du système écologique sahélien. Ainsi l'avenir de l'élevage apparaît parfois de façon particulièrement dramatique (conséquences douloureuses des périodes de sécheresse).

Toute tentative de développement de ce domaine doit tenir compte :

- de l'évolution et du suivi temporel des ressources fourragères et hydriques du milieu;
- de la surveillance continue au sol des phytocoénoses, qui permet de mettre en évidence les modifications du milieu naturel sous les actions biotiques et abiotiques; c'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail.

Eu égard au caractère particulièrement frappant de la diversité sahélienne, nous avons choisi dans ce mémoire, d'effectuer nos observations à l'échelle du terroir. Alors un parcours à *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida mutabilis* (PS3) a été retenu. Toutefois, la complexité d'un problème tel que celui de : "l'étude de l'évolution de la végétation à partir de séries d'observations", est si évidente que nous ne pensons pas avoir cerné le problème dans sa globalité. Cependant, un tel problème a toujours été pour nous d'une importance capitale, ne serait-ce que du point de vue du maintien et/ou de la sauvegarde de l'équilibre des systèmes écologiques.

En outre, les deux années de stage, (LNERV, FAPIS, ORSTOM), qui consistaient essentiellement à aller collecter des données sur le terrain ne nous ont pas permis d'en disposer suffisamment pour cette étude, qui nécessite une série chronologique. C'est pourquoi le Laboratoire national d'Elevage et de Recherches vétérinaires LNERV a bien voulu mettre à notre disposition les données collectées autour du forage de Wiidu Thiengoly.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire d'Ecologie Végétale de l'ORSTOM de Dakar sous la direction du Docteur GROUZIS. Le traitement des données est exécuté grâce à la programmation BIOMEKO, élaborée par le groupe Biométrie du Centre L. Emberger du CNRS de Montpellier.

Et c'est le moment d'adresser l'hommage de notre profonde gratitude :

- à monsieur *André GASTON*, Docteur es-Sciences, Ecologue. Vous avez bien voulu guider nos premiers pas dans le domaine agrostologique en nous accueillant dans votre service au Laboratoire d'Elevage et de Recherches vétérinaires de Dakar. Dès le début en effet, vous nous avez orienté et avez bien voulu mettre à notre disposition tout ce dont nous avons besoin. Tout notre attachement;
- à monsieur *Ayayi Justin AKAKPO*, Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar. Que dire ? Sans vous en effet nous serions à cette nouvelle étape aujourd'hui. Toute notre gratitude;
- à monsieur *Ibrahima Albassadjè TOURE*, Coordinateur du Projet FAPIS. Les mots nous font défaut. Sincères remerciements;
- à *BADA Fidèle*, *ODJAKI Laurent*, *Ibrahima CISSE*. Courage;
- à nos frères et soeurs du RESB et de l'AEBVD, sincères attachements;

- à *Jean Kouagou N'TCHA*, *Gervais N'DAH-SEKOU* et Familles. Bien faible témoignage de cette rencontre fortuite mais très appréciable. Puisse se renforcer davantage cette compréhension;

- à toute l'équipe de formation de DEA-BV pour la qualité de l'enseignement dispensé;

- au Personnel du Service Agrostologie du Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires (LNERV) de Dakar, particulièrement aux Docteurs Kh. DIEYE, A.T. DIOP. Le séjour à vos côtés a été très agréable et instructif. Sincères remerciements;

- au Docteur *J.NIZINSKI* du Laboratoire d'Ecologie Végétale de l'ORSTOM de Dakar;

- à notre Président de Jury, Professeur *Antoine NONGONIERMA*. Vous nous faites un grand honneur en acceptant, malgré vos multiples occupations, de présider ce jury. Votre simplicité et votre disponibilité à notre égard n'ont cessé de nous marquer. Nous vous remercions d'avoir bien voulu lire avec attention ce mémoire et pour les corrections que vous avez bien voulu y apporter. Soyez assuré de notre profonde reconnaissance;

- à notre Maître et Juge, Monsieur *Mouhamadou Lamine THIAM*. C'est un réel plaisir et un privilège pour nous de vous compter parmi les membres de notre jury de mémoire. Profonde gratitude;

- à notre Maître et Juge, Monsieur *Amadou Tidiane BA*. La simplicité avec laquelle vous nous recevez et la spontanéité de votre réponse à notre demande de stage en Ecologie pastorale ne nous ont pas laissé indifférent. Votre disponibilité, vos observations et suggestions nous ont permis de mener ce travail à terme. Soyez assuré de notre profonde reconnaissance pour avoir encore accepté la lourde tâche d'être le rapporteur de notre mémoire.

Nous tenons à remercier tout particulièrement le Docteur *M.GROUZIS* qui, malgré ses innombrables occupations, a bien voulu nous accorder son parrainage portant ainsi son aimable contribution à la réalisation de ce travail. Qu'il soit assuré que nous emportons de lui le souvenir d'un travail méthodique, rigoureux et celui d'une grande modestie.

A tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont apporté leur soutien, nous disons **MERCI**.

I N T R O D U C T I O N

Le Sahel, de *es-Sahel* (GIRI, 1975) ou de *Sahil* (ROBERT, 1988), rivage en arabe, désigne à la fois les régions proches des côtes en Algérie et en Tunisie et surtout aujourd'hui, une étroite bande de terre comprise entre 15° et 20° de latitude nord au sud du Sahara. Il couvre une superficie de 5,378 millions de km² (J.A., 1973). Les neuf états du Sahel (Burkina Faso, Cap Vert, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad) sont regroupés au sein du Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (C.I.L.S.S., carte 1).

Large de 600 km environ du nord au sud et long de 4500 km d'Est en Ouest (Praia au Cap Vert à Ndjaména au Tchad), le Sahel se trouve confronté aux grands problèmes de développement liés à la croissance démographique, au déficit structurel de la production vivrière et à la dégradation des conditions écologiques (GROUZIS, 1988).

L'économie des régions sahéennes *sensu stricto*, où l'agriculture est marginale, est basée sur les activités pastorales. L'élevage, de type extensif, exploite les herbages naturels composés principalement de graminées annuelles (thérophytes) et d'épineux pérennes (phanérophytes). L'éleveur, ne pouvant pas trouver sur place en toute saison, la nourriture nécessaire à son troupeau, transhume sur d'immenses territoires.

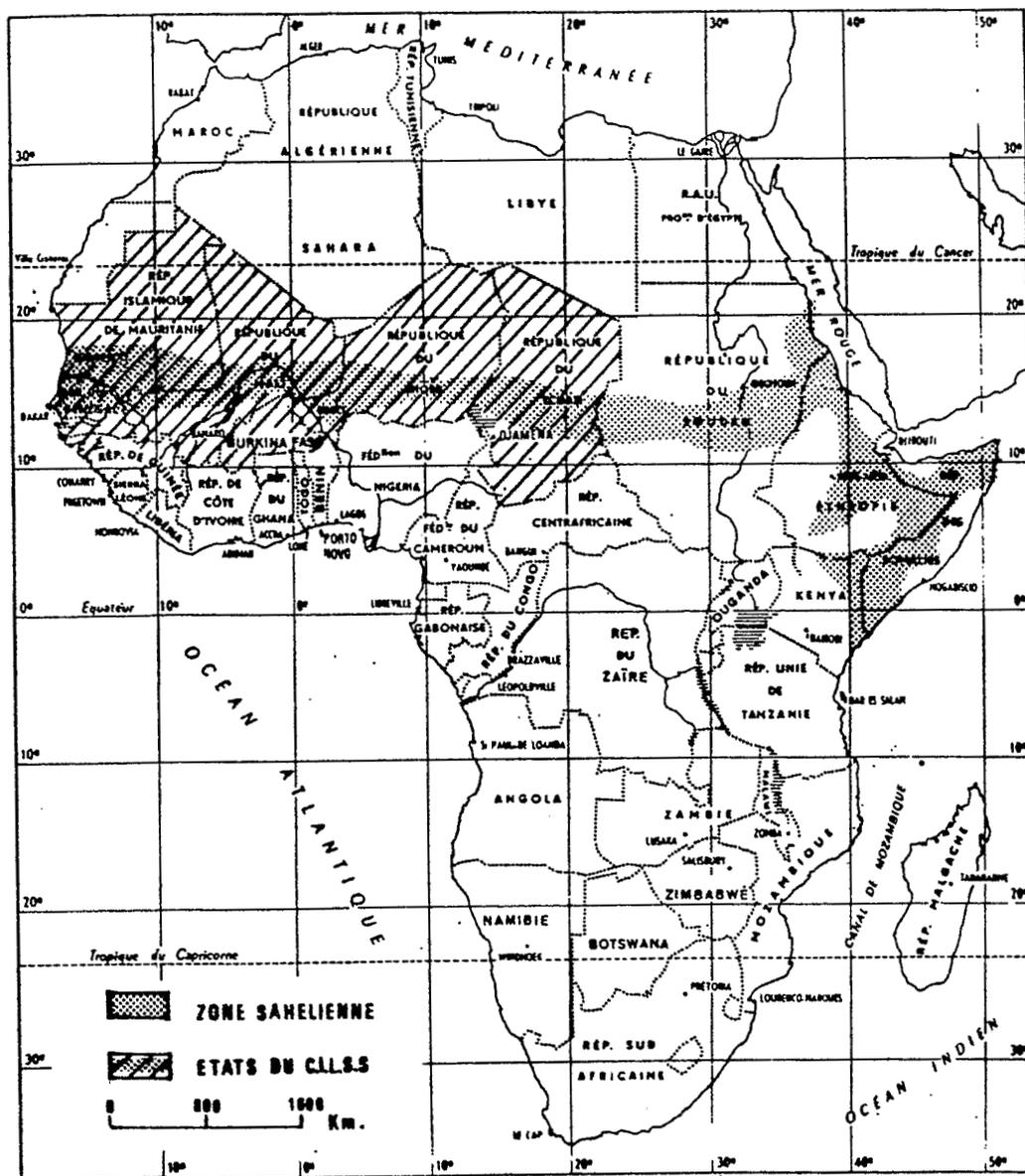
L'accroissement du cheptel, les activités anthropiques associées et les conditions de sécheresse intense engendrent des perturbations parfois profondes des systèmes écologiques sahéens, par ailleurs fragiles. On parle souvent de dégradation. Cette dégradation se manifeste par des modifications de la structure de la végétation et de la composition floristique.

De nombreuses études ont été menées pour caractériser ces modifications. Citons notamment celles de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), dans le cadre du Programme Biologique International (BILLE, 1971, 1975, 1977 ; POUPON, 1980), dans celui du programme de la Lutte contre l'Aridité en Milieu Tropical (VALENTIN, 1981) au Sénégal et GROUZIS (1988) au Burkina Faso ; du Groupe de Recherches Interdisciplinaires en Zones Arides (BARRAL *et al.*, 1983) au Sénégal ; CISSOKO (1986) au Mali ; CHAMBRIS (1988) au Sénégal.

Pour ce qui concerne le Sénégal, signalons notamment les études réalisées par le Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires (LNERV) : VALENZA et DIALLO, 1972 ; VALENZA, 1974, 1978, 1984 ; et plus récemment les travaux du Projet Sénégal-Allemand de Reboisement (PSAR) à partir de 1981.

Il apparaît que l'étude des ressources biologiques au Sahel peut se résumer en trois mots : **sec, sommaire et aléatoire**. En effet, c'est un milieu sec presque toute l'année, sommaire en raison de la durée très courte des manifestations de la vie, aléatoire à cause de la non reproductibilité des phénomènes d'une année sur l'autre (BILLE, 1977).

Le couvert végétal sahéen paraît cependant suffisamment **plastique** pour s'adapter aux fluctuations climatiques et se régénérer progressivement lorsque les conditions pluviométriques redeviennent normales, à condition que la pression d'exploitation diminue (BOUDET 1977, 1984 ; TOUTAIN, 1978a ; POUPON, 1980 ; RAMBAL et CORNET, 1982 ; GROUZIS, 1986 ; MALDAGUE, TOURE et SKOURI 1989).



Carte n° 1. La zone sahélienne et les états du CILSS.

Dans ce mémoire, nous nous proposons d'étudier la dynamique d'un système écologique sahélien situé autour du forage de Vidou Thiengoly, dans le Ferlo à partir des séries d'observations réalisées par le LNERV. Il s'agit de caractériser à partir d'un suivi pluriannuel les modifications de la composition floristique et de la productivité.

Par ailleurs, nous avons essayé d'établir des relations entre certains paramètres quantitatifs de la végétation et les caractéristiques de la pluviométrie.

Après avoir rappelé quelques aspects méthodologiques (Chapitre I), nous présenterons (Chapitre II) les résultats relatifs aux conditions de milieu (évolution pluviométrique essentiellement), ceux concernant l'évolution spatiale et temporelle de la composition floristique et ceux relatifs à l'analyse quantitative (évolution de la biomasse, de la teneur en azote, de la valeur pastorale et de la liaison phytomasse / pluie). L'ensemble de ces résultats sera ensuite discuté dans le dernier chapitre.

CHAPITRE I

MATERIEL ET METHODES

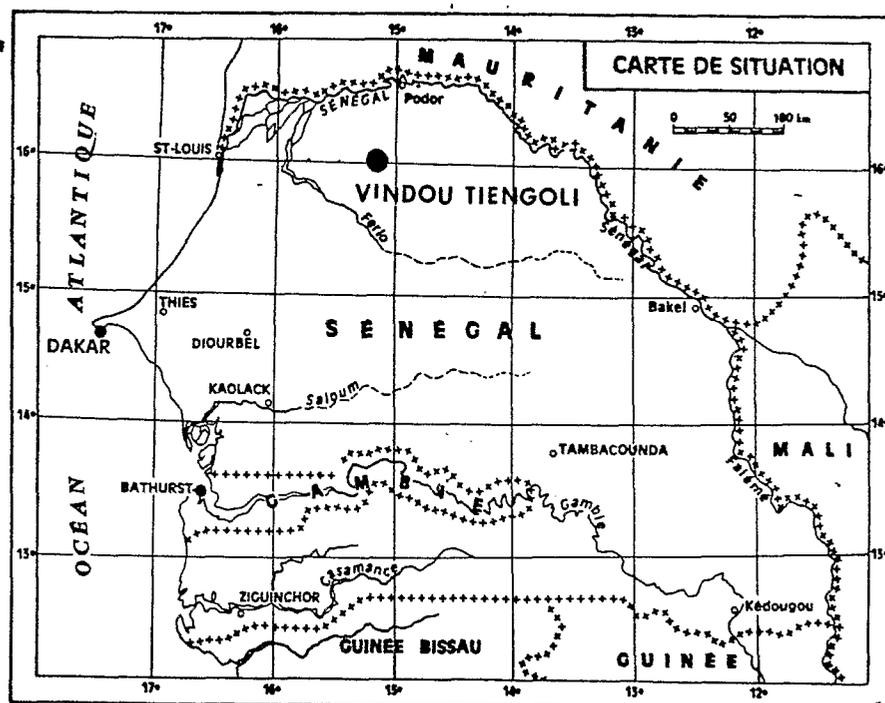
Ce chapitre sera consacré essentiellement aux méthodes d'inventaire floristique et de mesure de la phytomasse herbacée utilisées au LNERV de Dakar pour la série d'observations autour du forage de Vindou Thiengoly.

1 LA ZONE D'ETUDE

1.1. Présentation-Situation.

Vidou est une transformation du mot *Wiidu* (que nous adopterons) -Campement de bergers célibataires en *pular*-terme qui désigne un campement de saison des pluies où les Peuhls viennent nourrir leurs troupeaux d'herbes et de l'eau des mares. Ce campement est en effet, situé sur une dune, où se trouve un arbre : thiengoli (*Lannea acida*) auprès duquel se situe une mare. C'est donc un campement de fin de saison des pluies /début saison sèche. La création selon les habitants, remonterait à une quarantaine d'années (vers les années 1950).

Ses coordonnées géographiques sont : $15^{\circ}20'$ de latitude nord et $16^{\circ}21'$ de longitude ouest (Carte n°2).



Carte 2. Situation de Wiidu Thiengoly

Carrefour de trois arrondissements , Yang-Yang, Mbane et Thilé Boubakar, appartenant respectivement aux départements de Linguère, Dagana et Podor, Wiidu Thiengoli se trouve dans la Communauté Rurale de Tessékéré, Département de Yang-Yang, Région de Louga. Il est situé à 7 km au sud-ouest du forage qui porte son nom dans la Réserve Sylvopastorale (RSP) de Koya, autrefois dénommée RSP des six forages, au nord du Sénégal, dans la partie ouest du Ferlo.

1.2. Les Conditions du milieu

1.2.1. Le milieu physique

1.2.1.1. Le climat

Situé dans la partie occidentale du Ferlo, Wiidu présente les principaux traits climatiques de la bande sahéenne. Ce climat se caractérise en effet, par une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 200 et 400 mm. C'est le climat sahéen type (AUBREVILLE, 1949), où l'année se décompose classiquement en deux saisons:

- une saison humide, saison des pluies, qui s'étend du début juillet à la fin septembre, pendant laquelle se concentrent plus de 80% des précipitations;
- une saison sèche de neuf mois, froide en novembre et décembre, qui se réchauffe de janvier à mai.

Le calendrier peuhl reconnaît par contre cinq saisons basées sur les températures, la disponibilité en eau et la phénologie des arbres et des herbages (NAEGELE, 1971). Elles conditionnent la vie des pasteurs et le mode d'exploitation des ressources (FAO/PNUE, 1988). Ce sont:

- *dabbude*, la saison sèche, fraîche : Décembre à Février;
- *ceedu*, la saison sèche, chaude : Mars-Avril;
- *cedcedle*, la saison prépluviale : Mai-Juillet;
- *nduggu*, la saison pluvieuse : Août-Septembre;
- *kawle*, la saison post-pluviale : Octobre- Novembre.

1.2.1.2. Le relief.

Le relief résulte de dunes anciennes issues d'ergs du Ferlo septentrional constitué de grès argileux et de sable hétérogène du continental terminal.

La topographie se présente sous forme de vastes plateaux avec une faible altitude formant un immense plan incliné. Le point le plus bas se trouve dans la région de Belel-Doba, à 23 km environ de Wiidu Thiengoli (DIONE *et al.*, 1988).

1.2.1.3. Les sols.

On rencontre essentiellement trois types de sols (MAIGNIEN, 1965):

- des sols brun-rouges intergrades;
- des sols ferrugineux sur sable siliceux . Ce sont des sols de transition entre les sols sub-arides et les sols ferrugineux tropicaux. L'horizon A (ou de surface), pauvre en matières organiques, peut atteindre parfois 40 cm. Cela facilite leur déplacement par le vent et la formation des ergs;
- des sols sub-arides intergrades hydromorphes sur sables colluviaux qui se rencontrent au niveau des mares.

1.2.1.4. Les ressources en eau.

Elles sont de deux ordres; les précipitations et les eaux souterraines.

Dans le Ferlo sableux, où se situe Wiidu Thiengoli, le ruissellement des eaux de pluie est toujours localisé vers des bassins; elles s'accumulent en mares plus ou moins temporaires (FAO/PNUE, 1988). Elles fournissaient, avant les forages, l'essentiel de l'eau d'abreuvement des troupeaux et des hommes. BARRAL (1982) rapporte : "dans le *Jeeri*, quelques mares remplies par les pluies d'hivernage permettent aux groupes pastoraux (pasteurs et leurs animaux) d'avoir de l'eau jusqu'à mars".

Les eaux souterraines sont mises à la disposition des populations par le biais des forages. Celui de Widu, créé en 1954 et ouvert à l'abreuvement en 1956, présente les caractéristiques suivantes (BARRAL, 1982; DIONE; *op. cit.*):

- Aquifère capté: Maëstrichtien
- Profondeur : 253 m.
- Niveau statique: 39,83 m.
- Débit : $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Il dessert une zone de 15 km. de rayon environ, autour du forage.

1.2.2. L'environnement biotique.

1.2.2.1. La végétation.

La région de Wiidu Thiengoli est située dans le domaine des steppes à épineux où prédominent les thérophytes et les phanérophytes. La nette dominance de ces types biologiques traduit une adaptation écologique aux sévères conditions d'aridité qui règnent sur le milieu (GROUZIS, 1986).

Le couvert ligneux, au temps où la sécheresse n'était pas fréquente, recelait beaucoup d'espèces (NAEGELE, 1968, 1971) dont certaines ont aujourd'hui disparu- *Sclerocarya birrea*, *Sterculia setigera*...-(VALENZA, 1979, 1984; DIONE *et al*, 1988) ; d'autres (*Acacia senegal*) montrent une nette tendance à la concentration vers les points bas à bilan hydrique favorable (BILLE, POUPON, 1980; MALDAGUE, SKOURI, TOURE, 1989). Rares, enfin, sont les espèces en extension (*Boscia senegalensis*, *Calotropis procera*...).

Par contre, la comparaison des relevés de VALENZA et DIALLO (1972) et du PSAR (1982 à 1988) témoigne d'une grande stabilité de *Balanites aegyptiaca*, et montre une capacité de régénération assez remarquable des autres espèces dans les périmètres de mise en défens.

La végétation herbacée, essentiellement à base de graminées, dépasse rarement 40 cm de hauteur.

1.2.2.2. Le milieu humain.

La population est composée de trois groupes ethniques: les Peuhls, les Maures et les Ouolofs.

Les Peuhls, essentiellement Peuhls "*Jeeri*" ou *Fulbe Jengelbe*", constituent la fraction la plus importante (95%) de la population. On les appelle ainsi parce qu'ils ne pratiquaient en principe que la culture dite de "*Jeeri*" c'est-à-dire la culture du mil pluvial, dans la vallée du Ferlo (BARRAL, 1982). Ils seraient les premiers à s'installer à Widu où ils pratiquent surtout l'élevage.

Les Maures s'occupent du commerce.

(BARRAL, 1982). Ils seraient les premiers à s'installer à Widu où ils pratiquent surtout l'élevage.

Les Maures s'occupent du commerce.

Les Ouolofs, arrivés après 1975, qui pratiquent une agriculture de type traditionnel, représentent la main d'oeuvre disponible pour le projet Sénégal-Allemand de reboisement (PSAR).

1.2.3. Les Systèmes d'exploitation.

1.2.3.1. L'élevage

L'élevage représente l'activité principale des populations peuhles. Il s'agit d'un élevage de type extensif basé uniquement sur l'exploitation des pâturages naturels. Cela traduit le caractère permanent des mouvements des groupes pastoraux à la recherche d'herbes.

Le cheptel, assez diversifié, se compose (Sénégal: DNE, 1986 à 1988) :

- Bovins	: 9.825
- Ovins-Caprins	: 15.000
- Equins	: 300
- Asins	: 500
- Dromadaires	: 500

soit l'équivalent de: 11.513 UBT

A cela, il faut ajouter l'effectif des transhumants qui ne cesse de croître chaque année.

1.2.3.2. L'agriculture

Elle repose sur les cultures vivrières, représentées essentiellement par le mil, qui se pratiquent sur de petites superficies (0,2 à 1 ha) en général clôturées avec du bois mort, évitant ainsi les dégâts que pourraient entraîner les animaux.

D'autres activités, apparemment moins importantes, pèsent lourdement sur le milieu. Ce sont les activités de "cueillette" (BERNUS, 1967; GROUZIS, 1988) telles que celle des bûcherons qui pratiquent des abattages incontrôlés des arbres soit pour produire du charbon de bois (*Acacia raddiana*), soit pour des mortiers et pilons (*Sclerocarya birrea*), soit enfin pour le bois de chauffe.

2. LES DONNEES : ORIGINES ET METHODES D'ACQUISITION.

2.1. Les données floristiques.

2.1.1. Origine des données floristiques.

Les données proviennent d'une série d'observations effectuées par VALENZA de 1974 à 1983, GASTON et DIEYE de 1984 à 1988 et qui se poursuivent encore. Elles ont été tirées de la banque de données du LNERV au Centre de Recherches Océanographiques de Thiaroye (CRODT) et mises aimablement à notre disposition en 1988 par Mr GASTON, Service d'Agrostologie (LNERV). Il s'agit de relevés correspondant à un inventaire écologique et floristique d'une station c'est-à-dire d'une unité de milieu (GODRON *et al.*, 1968 cité par CHAMBRIS, 1988).

Dans notre cas, les relevés ont été effectués dans trois directions (ou axes)- Amali, Ganine et Tatki- à partir du forage et intéressent un même type de parcours : PS3 (VALENZA, DIALLO, 1972 ; VALENZA, 1979, 1983). Ils avaient été réalisés pour :

- mieux saisir l'influence éventuelle des variations d'intensité du piétinement et des apports azotés ; donc de mesurer l'exploitation de saison sèche essentiellement sur la composition floristique du pâturage et sa valeur alimentaire;

- suivre l'évolution qualitative et quantitative dans le temps de ce pâturage et en assurer ainsi la surveillance continue.

2.1.2 Caractéristiques du PS3 (VALENZA et DIALLO, 1972).

Le PS3 est un parcours sur pénéplaine sableuse n° 3.

Cette unité de végétation à *Schoenefeldia gracilis* et *Aristida mutabilis* recouvre les pentes de l'erg ancien et, quand elles sont faibles, les interdunes. C'est une steppe arbustive mésophile parfois arborée claire.

2.1.2.1. Pédologie

Les sols sont du type ferrugineux peu lessivé avec une tendance vers les lessivés, mais bien différenciés, à horizon B de cohésion avec tendance à l'hydromorphie sur matériaux sableux d'origine éolienne faiblement argileux compact.

. Le profil, à 10,5 km de Wiidu Thiengoly, se présente comme suit (LEPRUN, 1971):

- * 0 - 18 cm : gris brun à jaune (10 YR-5.5/6) sableux moyen, structure très massive à tendance prismatique large avec fentes verticales, cohésion moyenne, porosité interstitielle non visible forte, tubulaire faible, enracinement fin limité sur 5 -6 cm moyennement développé, contraste moyen à faible, transition 2-3 cm;

- * 18 - 40 cm : brun jaune (7.5 YR-5.5/8) sableux faiblement argileux structure massive, à tendance polyédrique, cohésion plus faible, porosité tubulaire fine mieux développée, enracinement très fin des radicelles moyennement développé (très peu d'activité biologique sur l'ensemble du profil, contraste moyen;

- * 40 - 52 cm : plus jaune (7.5 YR-5.5/6) sableux un peu moins argileux, structure tendance polyédrique 2-3 cm, cohésion d'ensemble faible, mais plus forte des mottes, enracinement fin semblable, porosité tubulaire mieux développée, contraste faible, transition rapide 2 cm;

- * 52 - 120 cm : jaune légèrement brun (7.5 YR-5.5/8) même texture que précédemment, structure massive, débit peu aisé mamelonné tendance verticale, cohésion plus forte, mais moyenne, porosité tubulaire fine assez faible, moyenne bonne, transition graduelle;

- * > 120 cm : plus jaune clair (7.5 YR-6.5/8) sableux faiblement argileux, même structure mais plus mamelonné, cohésion plus forte et plus compacte.

C'est donc un sol sableux à sablo-argileux.

La fiche analytique (tableau 1), établie par le même auteur, indique :

Profondeur (cm)	0 - 18	18 - 40	40 - 52	52 - 120	> 12
Paramètres	Analyse mécanique				
Argile †	4.5	7.5	8.3	.5	8.0
Limon fin †	2.3	2.0	1.7	.0	1.0
limon gros. †	4.2	5.1	3.7	4.3	7.7
Sable fin †	53.9	54.1	52.3	50.9	50.7
Sable gros. †	34.7	31.0	33.8	35.1	32.6
	Matière organique				
M.A.T. (†)	0.41	0.28	0.16	0.17	-
Carbone	2.3	1.6	0.9	1.0	-
Azote	0.2	0.14	0.18	0.11	-
C / N	11.5	11.4	5.0	9.1	-
	Fer				
Fe203 total †	11.5	13.9	14.4	14.7	13.2
	Bases échangeables (mEq./100g de sol)				
Calcium	1.66	1.86	1.63	1.36	0.94
Magnésium	0.84	1.14	1.63	1.66	1.64
Potassium	0.07	0.10	0.07	0.04	0.03
Sodium	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
S.	2.58	3.11	3.34	3.08	2.63
T.	2.20	3.10	3.10	3.20	3.40
S / T = V †	sat.	sat.	sat.	96.00	77.70
	Acidité - alcalinité				
pH eau	6.1	6.9	7.2	7.0	6.00
KCl	5.4	5.7	5.9	5.6	5.00

Tableau n° 1. Fiche analytique des sols du PS₃

Le sol du PS₃, d'une structure très sableuse dominée par les sables fins, présente malgré sa pauvreté en matières organiques une fertilité chimique assez équilibrée (V%) et une certaine compacité en profondeur due aux oxydes et à l'argile.

2.1.2.2. La végétation

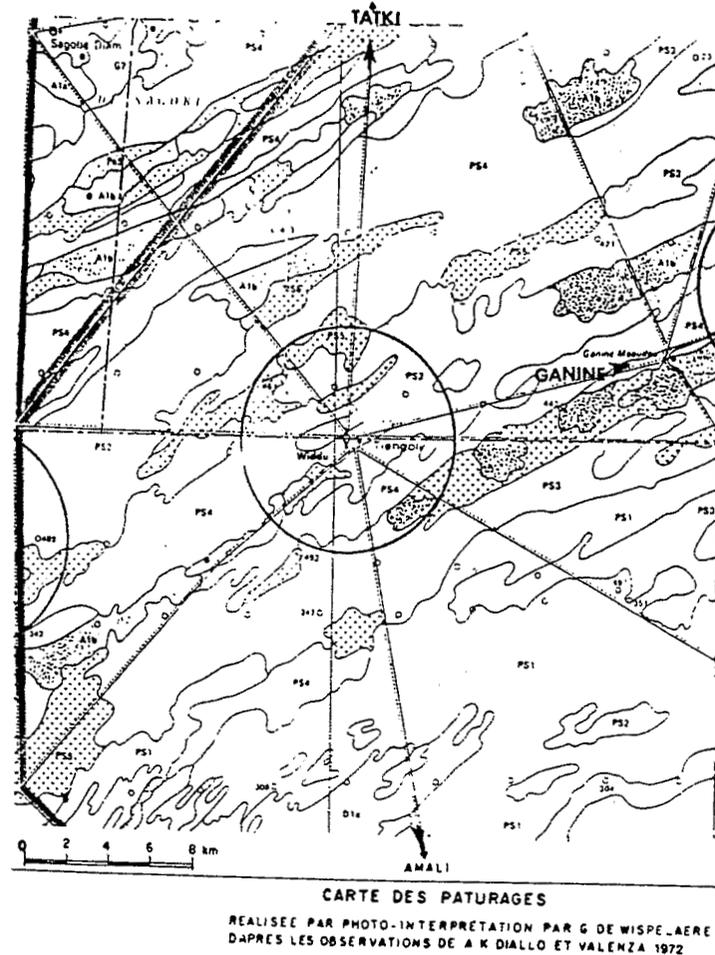
La végétation ligneuse est à base de *Sclerocarya birrea* et de *Balanites aegyptiaca*. La composition de la strate herbacée, que l'on peut apprécier à partir des observations effectuées depuis 1974, ne fait pas apparaître des différences avec celles réalisées antérieurement dans l'étude des pâturages du Nord Sénégal. Elle est en effet constituée de : *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrostis tremula*, *Aristida mutabilis*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Cenchrus biflorus*, *Zornia glochidiata*, *Alysicarpus ovalifolius*.

C'est un parcours constitué de plus de 70% de graminées. Les légumineuses sont représentées principalement par *Zornia glochidiata* et *Alysicarpus ovalifolius*, plantes fourragères d'excellente qualité.

2.1.3. Méthodes d'observation.

Il s'agit des méthodes utilisées par LNERV dans la collecte des données mises à notre disposition.

Les observations sont effectuées sur la même unité de végétation dans trois directions (Amali, Ganine, et Tatki) à partir du forage (Carte n° 3).



Carte n° 3. Situation de la zone d'étude

Les relevés sont réalisés annuellement en fin de saison des pluies (généralement fin septembre-début octobre), sur les mêmes placeaux, situés selon le cas à 2-3 et 5-6 km du forage. Ces placeaux, d'environ 1 ha, sont parfaitement repérables et identifiés. Le centre de cette parcelle ou un point quelconque situé à l'intérieur mais parfaitement repéré par rapport à un des arbres sert d'origine à l'inventaire de la végétation et à la mesure du recouvrement du sol.

2.1.3.1. L'inventaire de la végétation

Il est réalisé le long de deux lignes de 20 m de long disposées à partir de cette origine selon généralement la courbe de niveau et la ligne de la plus grande pente. L'orientation est constante. Les lignes sont généralement observées sous forme de bandes étroites (ANDERSON, 1942; BOUDET, BAYENS, 1963) ou sous forme de lignes *intercept* (CANFIELD, 1944). Toutes les espèces herbacées présentes le long de cette ligne matérialisée par un cordeau et à moins de 5 cm de part et d'autre sont inventoriées.

On calcule ensuite :

- la densité moyenne (nombre de plants par mètre linéaire) ;
- la contribution en pour cent de chaque espèce ou groupe d'espèces par rapport à l'ensemble des plantes relevées ; la précision des données recueillies est déterminée selon la formule de l'intervalle de confiance (IC) d'un pourcentage (SCHWARTZ, 1980) avec :

$$IC = \pm 2\sqrt{\frac{pq}{n}}$$

p = % observé, q = $1-p$, n = effectif

Signalons que l'effectif de l'échantillonnage pour les relevés floristiques n'apparaît pas dans les documents consultés. Aux km 2 et 5 la précision est néanmoins donnée par rapport à la population d'*Aristida mutabilis* ; elle varie de 2,8 à 7 (VALENZA, 1979, 1984). A ce sujet, GROUZIS (1988) note qu'un échantillonnage de 250 points est nécessaire pour stabiliser l'intervalle de confiance de la précision à 5%. POISSONNET (1969) notent en effet que la précision dépend du nombre de points échantillonnés.

Il nous faut signaler que les données floristiques ont été stockées dans la banque de données avec un critère quantitatif d'abondance (BRAUN-BLANQUET, 1932) et de dominance (DE VRIES, 1938) modifiées en cote abondance-dominance par BOUDET (1975) et non sous forme de fréquence.

Pour calculer certains paramètres, telle que la valeur pastorale par exemple, il a fallu procéder à la transformation abondance-dominance en fréquence selon l'échelle de BOUDET (*op. cit.*, tableau 2).

Cote abondance-dominance	Fréquence spécifique (%)
+	1
1	3
2	5
3	25
4	65
5	87

Tableau 2. Echelle de transformation de la cote abondance-dominance en Fréquence spécifique.

Cette méthode de relevé linéaire permet aussi de caractériser le recouvrement puisque lorsque le nombre de points échantillonnés devient suffisamment grand la fréquence spécifique tend vers le recouvrement (GREIG-SMITH, 1957, 1964; GODRON, 1966). La méthode permet enfin de calculer la valeur pastorale (V_p) par la relation suivante (DAGET et POISSONNET, 1971) :

$$V_p(\%) = 0,2 \sum CS_i \times I_s$$

avec CS_i = contribution spécifique = $FS_i / \sum FS_i$

I_s = Indice de qualité de l'espèce considérée (= Indice bromatologique).

2.2. Les données quantitatives

2.2.1. Leur origine

Les données ont été extraites de divers documents : VALENZA, 1979, 1984 ; SENEGAL-DNE, rapports annuels de 1986 à 1988 ; PSAR, rapports d'activité de 1982 à 1988 ; LNERV, rapports annuels de 1974 à 1986; SENEGAL-Service Météo (relevés pluviométriques de 1933 à 1988), DEGOULET, 1984.

2.2.2. Méthodes d'acquisition

2.2.2.1. La phytomasse herbacée

Dans les milieux sahéliens, où la quantité d'herbes produite pendant deux ou trois mois doit assurer le maintien du cheptel durant la longue période de sécheresse, la notion de bilan fourrager, qui conditionne la capacité de charge, constitue un moyen important pour aider ou améliorer la gestion et l'exploitation des ressources. L'évaluation de ce disponible est réalisée à partir de la production herbacée.

La production herbacée est estimée par la méthode de récolte intégrale, qui consiste à couper la strate herbacée à 1 cm (en saison sèche), à 10 cm (en saison des pluies) du sol dans des placeaux de 9 à 25 m² ou de 4 à 25 m² ou de 10 à 25 m² selon le degré d'homogénéité de la végétation (FOTIUS, 1966 ; BOUDET, 1970 ; VALENZA, DIALLO, 1972; VALENZA, 1979, 1983). L'effectif de l'échantillonnage n'apparaît pas dans les références. Signalons à cet effet le travail réalisé par LEVANG et GROUZIS (1980) dans le sahel burkinabe et qui montre que 30 à 40 échantillons de 1 m² permettent d'avoir des précisions de l'ordre de 10 à 15% pour un coût de sondage réduit. La phytomasse est exprimée en kilogramme (kg) de matières vertes par ha. La production en Kg de matières sèches(Kg_{MS}), est obtenue après détermination de la teneur en eau (séchage à l'étuve d'un échantillon d'environ 1 kg)

2.2.2.2. La matière azotée totale (MAT)

La teneur en matière azotée totale du fourrage est déterminée par la méthode de Kjeldahl, où les matières azotées protéiques sont d'abord minéralisées, puis l'azote minéral obtenu est titré sous forme d'ammoniac par l'acide sulfurique. La matière azotée brute est obtenue en multipliant ce résultat par un coefficient conventionnel de 6,25 (BOUDET, 1978). La teneur en matière azotée brute est exprimée en pour cent (%) de matières sèches.

2.2.2.3. La pluviosité

Jusqu'en 1976, les pluviosités annuelles et le nombre de jours de pluie dans l'année sont enregistrés à Linguère. Ce n'est qu'à partir de cette année qu'un pluviomètre a été installé à Wiidu Thiengoly. Pour ce travail, les données ont été extraites des divers documents sus-cités.

Trois variables essentielles : relevés floristiques, pluviosité et phytomasse constitueront donc les données de base de cette analyse.

3. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données ont été traitées par la programmathèque BIOMEKO, conçue et élaborée par le Groupe BIOMETRIE du CEPE-CNRS (Montpellier, France).

3.1. Constitution du fichier "BIOMECO"

Le traitement nécessite d'élaborer un fichier qui a une structure particulière. Le fichier "BIOMECO" comprend le fichier principal et des fichiers associés.

• Le fichier principal est défini par:

- un nom de huit caractères au maximum, et une extension de trois caractères;
- une dimension caractérisant le nombre de lignes et le nombre de colonnes.

* Les fichiers associés, qui correspondent au fichier lignes et au fichier colonnes.

Le fichier ainsi constitué (traduction du tableau de base en langage BIOMECO) est appelé "MATRICE DE DONNEES". Le tableau 3 est un exemple .

Fichier principal	Fichiers associés	
EXEMPLE1.TAB		
15 3 (dimensions)		
EXEMPLE1.LIG	EXEMPLE1.LIG	EXEMPLE1.COL
EXEMPLE1.COL		
330 17 850	P74	P74
475 25 1150	P75	Nj
342 14 1350	P76	PHY
233 14 650	P77	
287 17 460	P78	
202 12 460	P79	
197 16 350	P80	
193 13 1030	P81	
184 15 610	P82	
120 9 210	P83	
131 14 112	P84	
302 18 931	P85	
349 21 965	P86	
281 18 1052	P87	
335 20 1065	P88	

Tableau n° 3. Exemple de fichier BIOMECO.

A partir de ces matrices de données plusieurs analyses ont été entreprises :

- l'analyse factorielle des correspondances (ANACOR) ;
- la classification automatique (CA);
- les regressions, simple et/ou multiple.

3.2. L'Analyse Factorielle des Correspondances

L'utilisation des méthodes d'analyses multivariées aussi bien en phytosociologie qu'en phytoécologie date des travaux de GOODAL (1954) et de DAGNELIE(1960). CORDIER (1965) et BENZECKI (1966) préconisent une nouvelle forme dite ANALYSE FACTORIELLE DES

CORRESPONDANCES (ROMANE, 1972), dont le domaine d'application est surtout les tableaux croisés ou tableaux de contingence (DAUBIN, 1981).

Les relevés et (ou) les espèces considérés comme un ensemble de réalisations d'une variable aléatoire sont classés dans un espace à quatre dimensions (ou facteurs) à partir de la seule présence ou absence des espèces au sein du relevé dans le but d'apprécier les correspondances.

L'ANACOR permet d'obtenir une représentation graphique simultanée des individus de deux ensembles de données dans un même espace (ROMANE, 1972). Dans notre cas, il s'agira des espèces et des relevés floristiques qui représentent les différentes années.

Cette correspondance définit également une notion de proximité entre les éléments d'un ensemble et ceux de l'autre ensemble : un état de variables est "proche" des espèces qu'il attire et une espèce des états qui la provoquent. C'est cette notion de proximité qui est mise à profit pour la classification automatique (du moment d'ordre 2).

3.3. La Classification automatique

L'idée principale d'une classification (CA) est la constitution de groupes répondant à deux conditions:

- la cohésion (homogénéité) de chacun des groupes formés ;
- l'isolement (hétérogénéité) des groupes.

La classification automatique cherche donc à décrire la dissemblance plus ou moins forte entre les individus par un indice (d) appelé indice de dissimilarité, qui correspond à la notion de distance euclidienne dans l'analyse factorielle en composantes principales (ACP).

Elle débouche en outre, sur la visualisation du résultat : le dendrogramme. Celui-ci se présente sous la forme d'un arbre, dont les feuilles sont les individus. Deux individus sont d'autant plus proches qu'il est nécessaire de monter moins haut pour aller de l'un à l'autre (DANZART, 1981). Ces individus sont représentés dans ce travail par les relevés.

AFC et CA sont des méthodes statistiques qui n'impliquent pas de test. Elles paraissent cependant adaptées à l'étude des problèmes qualitatifs phytoécologiques pour pouvoir apporter des résultats intéressants lors d'une approche globale de ces problèmes.

Lorsque l'on veut apprécier des paramètres quantitatifs, l'on a recours à des méthodes basées sur des tests telle que la régression.

3.4. La Régression

C'est une méthode statistique de détermination de liaison entre deux ou plusieurs variables quantitatives. Elle est basée sur un test dit "test d'indépendance ou de dépendance".

Le coefficient qui mesure l'intensité de cette liaison est appelé **coefficient de corrélation** (r). L'association est d'autant plus étroite que la valeur absolue de r est plus proche de l'unité (SCHWARTZ, LAZAR, 1978 ; SCHWARTZ, 1980), c'est-à-dire de ses valeurs extrêmes (-1, +1).

Le coefficient de détermination (r^2) exprime la variabilité du système liée au paramètre considéré.

Lorsque la représentation sur deux axes orthogonaux a la forme d'une droite d'équation

$$Y = ax + b + e_t.$$

On appelle a , la pente de la droite, b l'ordonnée à l'origine, e_t l'erreur.

Ces méthodes d'analyse (AFC, CA et Régression) utilisées conjointement, permettent une approche synthétique (qualitative et quantitative) de l'évolution des écosystèmes pastoraux.

CHAPITRE II

R E S U L T A T S

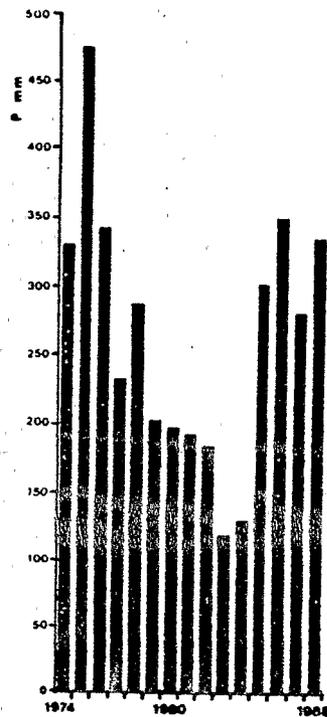
1. CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES

Pour la période des observations 1974 à 1988, nous disposons des quantités annuelles de pluie et du nombre de jours de pluie (Fig.1).

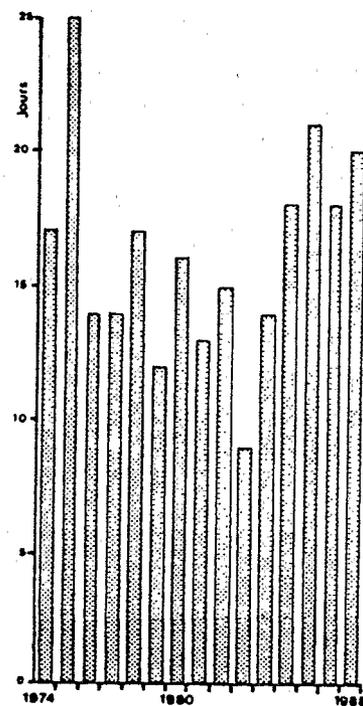
1.1. La pluviosité

A Wiidu Thiengoli, la pluviométrie annuelle moyenne (1974-1988) se situe dans l'intervalle de confiance : 264 ± 51 mm. La variabilité est assez forte. En effet, la pluviométrie de l'année 1975 (475 mm), est d'environ 4 fois plus élevée que celle de 1983 (120 mm).

Le coefficient de variation ($100 \times \text{écart-type/moyenne}$), est de 34.8%. BARRAL *et al* (1983) donnent pour les périodes 1920-1981 (62ans), 1920-1969 (50ans) et 1970-1981 (12ans) respectivement 29, et 24 18 % pour Linguère. Sous une même latitude, ce coefficient est plus élevé au Sénégal que plus à l'est (COCHEME et FRANQUIN, 1967 cités.par CHAMBRIS, 1988). Il passe de 23 à Mopti (Mali) au Sud du Sahel, à 32 à Agades (Niger) à l'extrémité Nord du Sahel (BOUDET, 1975), et à 27% à la mare d'Oursi (Burkina Faso) pour le mois le plus pluvieux (GROUZIS, 1988).



(a)



(b)

Figure 1. Variation de la pluviosité (a) et du nombre de jours de pluie (b).

Cette variabilité interannuelle permet de distinguer trois groupes d'années, pour ce qui concerne la quantité de pluie tombée, en considérant la relation :

$$P \pm S$$

avec P = moyenne annuelle de la quantité de pluie tombée pendant la période étudiée (1974-1988 : $P = 264$ mm) et s = écart-type par rapport à cette moyenne ($S = 92$). On peut noter que 92 mm correspondent au déficit moyen (36%) de la période 1970-1981, évalué par BARRAL *et al.*, (1983), pour un certain nombre de stations sahéliennes encadrant le Ferlo.

Groupe 1. **Années humides** : ($P > 356$ mm) : 1975 ;

Groupe 2. **Années moyennement humides** : ($170 < P < 356$ mm). Ce sont 1974, 1976, 1977, 1978, 1985, 1986, 1987 et 1988. Avec une pluviométrie annuelle de $295 \pm 41,8$ mm, ce groupe présente un coefficient de variation relativement faible (17 %).

Groupe 3. **Les années sèches**, ($P < 170$ mm), correspondent à 1983 et 1984. Les années 1979, 1980, 1981, 1982, bien que légèrement supérieures à cette limite ont été classées dans ce dernier groupe car elles se rapprochent plus de ces années déficitaires et ont de plus un nombre de jours de pluies avoisinant 13.

1.2. Le nombre de jours de pluie

Le nombre de jours de pluie par an, qui permet de juger de la répartition saisonnière de la quantité d'eau tombée, est dans notre cas de $16 \pm 1,6$. Cela correspondrait, pour une saison de pluie normalement étalée sur 3 ou 4 mois à 4 ou 5 jours de pluie par mois.

Selon les groupes d'années précédemment définis, on observe (Tableau 4) :

Groupes d'années	nombre de jours	Qté(mm.J ⁻¹)
1	25	-
2	$16,8 \pm 2$	17,6
3	$13,4 \pm 2$	12,7
moenne	$16,6 \pm 1,6$	16,5

Tableau n° 4. Caractéristiques pluviométriques : nombre de jours et quantité de pluie par jour dans les groupes d'années.

Ainsi on pourrait espérer par jour de pluie au moins 12 mm. Or, dans ces régions, les pluies se concentrent, pour 60 % des précipitations en août et septembre (VALENZA, 1981). La variabilité est alors plus forte en début et en fin de saison des pluies.

L'étude de la pluviosité et du nombre de jours de pluie par année permet de déterminer trois groupes d'années ; humides, moyennement humides et sèches.

Les deux premiers groupes, années humides et années moyennement humides, représentent les **années normales** tandis que 1983 et 1984, avec des pluviométries annuelles respectives de 120 et 131 mm, constituent des **années exceptionnelles** (BILLE, 1974).

1.3 L'étude fréquentielle des pluies

Le poste pluviométrique de Wiidu Thiengoli ne datant que de 1976 ne nous permet pas d'effectuer une étude fréquentielle des pluies. Nous sommes alors obligé de passer par une station voisine ayant une longue série chronologique.

1.3.1. Recherche d'une station à longue série chronologique

Il nous faut choisir parmi les stations pluviométriques de la même zone écologique celle qui reflète le mieux la pluviométrie de Wiidu.

Pour cela une régression a été calculée entre les pluviométries annuelles de Wiidu Thiengoly et celles de Linguère habituellement utilisées pour caractériser la pluie du Ferlo (VALENZA et DIALLO, 1972; VALENZA, 1979, 1981, 1984; BARRAL *et al.*, 1983; LE HOUEROU, 1986), Dagana et Podor.

Le tableau n° 5 montre que la meilleure corrélation est obtenue avec la station de Dagana (fig.2). Elle explique en effet plus de 90% (r^2) de la variabilité de la pluviométrie de Wiidu. Podor n'en explique que 70% environ.

STATIONS	r	Signif.(†)	r^2	Equation de régression
LINGUERE	0.22	NS	-	-
PODOR	0.84	1	70.54	$Y_{mm} = 0.82 PP + 76.497$
DAGANA	0.95	1	90.25	$Y_{mm} = 1.00 PD + 53.52$

Tableau n° 5. Coefficients de corrélation et Equations des droites de régression (Pluviométries annuelles de Wiidu :1976-1988).

L'équation de la droite de régression pour Dagana est:

$$Y_{mm} = 1.00 P_D + 53.52$$

Le gain (n') ou le nombre d'années d'extension de cette régression est donné par la formule (DUBREUIL, 1974):

$$n' = k \cdot E^{-1}$$

dans laquelle E représente l'efficacité relative

$$E = 1 + \frac{(1 - k)(1 - (k - 2)r^2)}{n(k - 3)}$$

k = la période de la nouvelle station (à étendre),
 n = la longueur de la période explicative.

Autour du forage de Wiidu Thiengoli le nombre d'années de rétroprojection est de 47,6 ans. Ainsi les pluviométries annuelles de Widdu peuvent être estimées jusqu'à 1941. Elles figurent en annexe 2.

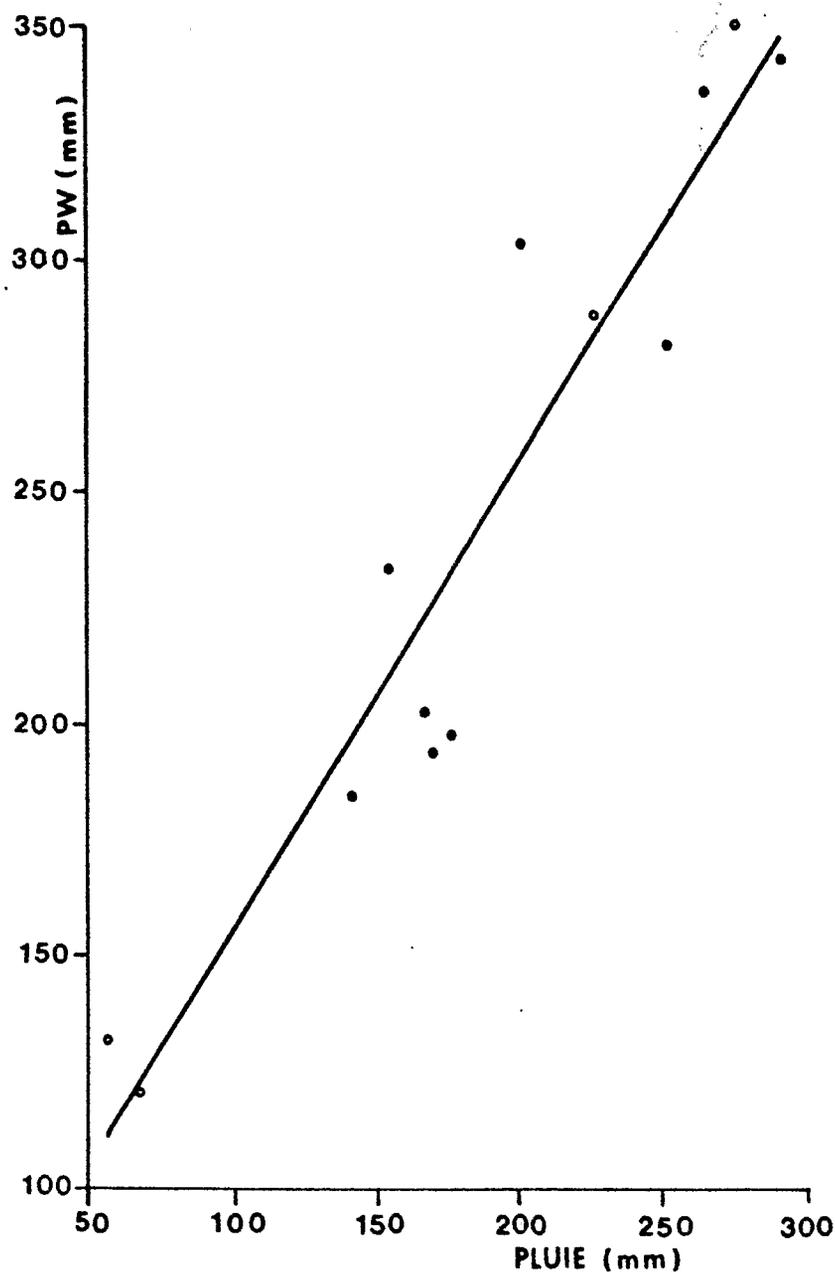


Figure 2. Droite de régression de $P_W = f(P_D)$

1.3.2. Etude fréquentielle

Les pluviométries annuelles de Wiidu ont été ajustées à des lois par la méthode du maximum de vraisemblance. Les résultats sont consignés dans le tableau n° 6.

PARAMETRES	MOYENNE	MEDIANE	COEF. VAR.	VALTEST	KHI ²
LAPLACE GAUSS	298.0	298.0	0.291	2.6	6.34
GUMBEL V.	303.3	285.2	0.363	10.8	3.39
GUMBEL M.	298.0	283.6	0.294	24.4	5.80
GALTON	299.6	287.3	0.333	8.1	3.30
PEARSON III	298.0	290.9	0.305	5.7	3.30
PEARSON IV	299.8	283.4	0.231	11.1	7.60
GOODRICH	298.7	303.0	0.284	1.5	3.60
FRECHET	323.9	275.8	0.595	21.5	13.80
L GAMA	300.9	281.8	0.357	12.7	6.40
LOI DES FUITES	298.0	291.1	0.304	5.6	3.30

Tableau n° 6. Ajustement par la méthode du Maximum de vraisemblance des données pluviométriques de Wiidu à diverses lois: valeurs caractéristiques

La loi qui donne le meilleur ajustement est indiquée par la plus faible valeur de test. Il s'agit des lois de LAPLACE- GAUSS (ou loi normale) et de GOODRICH (fig.3).

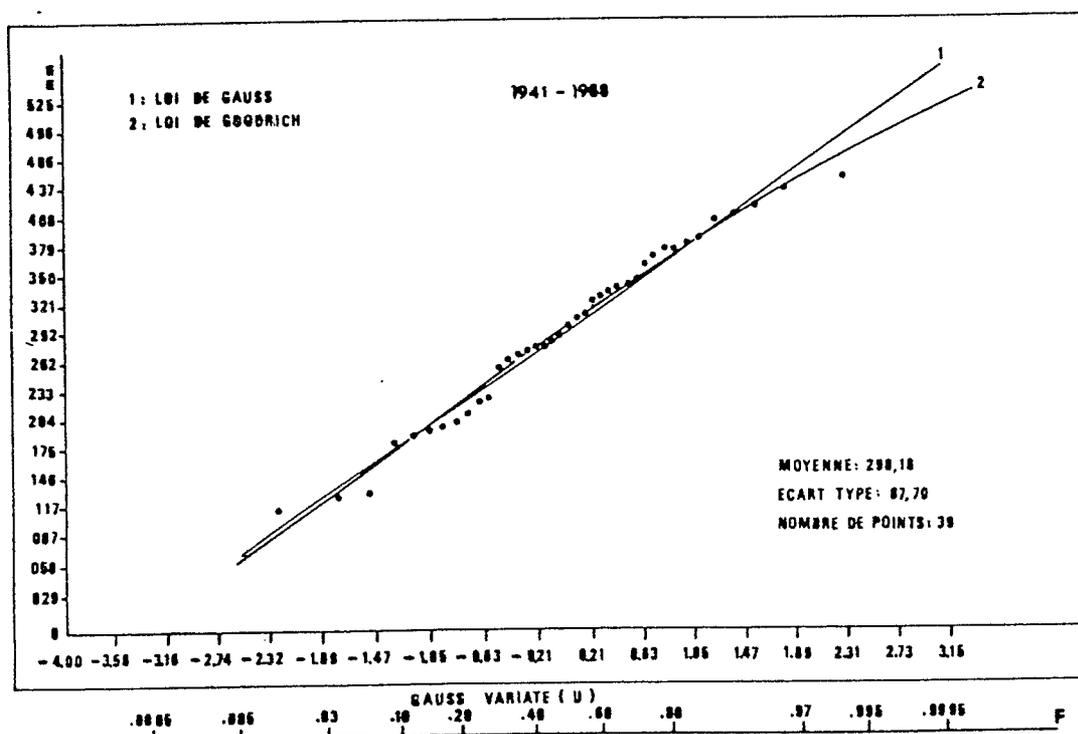


Figure 3. Lois de GAUSS et de GOODRICH : droites d'ajustement de la pluviosité annuelle estimée de Wiidu Thiengoly

La loi normale, qui présente la particularité d'être une loi limite vers laquelle tendent les autres lois (VENTSEL, 1973; SCHWARTZ, 1980; GRAIS, 1981; LABROUSSE, 1983), a été retenue. Elle permet de distinguer les paramètres du tableau 7.

PERIODES	PROBABILITES	RECURRENCE	P(mm)	IC (±)
S	0.01	100	96.6	16.8
E	0.02	50	120.2	17.0
C	0.05	20	155.6	17.3
H	0.10	10	187.0	17.6
E	0.20	5	225.1	17.8
	0.35	3	264.6	18.0
NORMALE	0.50	2	298.0	19.5
H	0.35	3	331.3	18.0
U	0.20	5	370.4	17.8
M	0.10	10	408.9	17.6
I	0.05	20	440.4	17.3
D	0.02	50	475.8	17.0
E	0.01	100	499.4	16.8

Tableau n°7. Pluies fréquentielles (mm) d'après la loi normale (Loi de LAPLACE-GAUSS)

- la pluviométrie normale qui doit être attendue tous les deux ans est de 298 ± 19.5 mm;
- les périodes humides sont relativement rares (23/47) soit 48.93%;
- les années exceptionnellement sèches (1983, 1984) sont également rares. Elles ont une récurrence de 50 ans;
- les années à pluviométrie de l'ordre de 264 mm, qui correspondent à la moyenne observée, sont assez fréquentes (tous les trois ans). Cette pluviométrie, très différente de celle de 1971 est encore inférieure à la normale estimée de 12%. Cette différence est largement significative. Cela nous confirme que l'année de typologie des pâturages du Nord-Sénégal et la période des observations sont effectivement sèches.

Cette étude montre en outre, une énorme variabilité et une fréquence relativement élevée des quantités d'eau inférieures à la moyenne arithmétique. Cette variabilité interannuelle des précipitations agit sur la structure des groupements végétaux herbacés.

2. ANALYSE FLORISTIQUE

Les tendances évolutives des phytocénoses ont été étudiées en tenant compte de la variabilité spatiale, interannuelle et de l'effet de proximité du forage.

Les analyses portent essentiellement sur les relevés du Km5 sauf exception, pour éviter l'action éventuelle des troupeaux sur la végétation (VALENZA et DIALLO, 1972 ; VALENZA, 1979, 1984 ; BARRAL *et al.*, 1983 ; CHAMBRIS, 1988).

2.1. La variabilité spatiale

Dans un premier temps, nous nous proposons de tester si les relevés relatifs aux trois directions retenues appartiennent à une même population ; en d'autres termes on cherche à tester l'homogénéité spatiale de cette végétation. Pour ce faire, nous avons soumis la matrice Espèces(62)/Relevés(32) des années d'observation à une AFC.

Les pourcentages d'inertie expliqués par les quatre facteurs (axes) retenus sont donnés dans le tableau 8.

FACTEURS	VALEURS PROPRES	%INERTIE	%CUMULE
1	0.3157	9.34	9.34
2	0.2671	7.94	17.33
3	0.2422	7.20	24.53
4	0.2239	6.56	31.19

Tableau n° 8. Variabilité spatiale : valeurs propres et pourcentages d'inertie absorbés par les 4 premiers axes de l'AFC appliquée aux ensembles Espèces/Relevés.

Les valeurs portées sur le tableau 8 montrent que les 4 premiers facteurs rendent compte de 31 % de la variabilité totale.

La projection de l'ensemble des variables sur le plan des 2 premiers axes est représentée sur la figure 4 (a et b) et les résultats de la classification automatique sur la figure (4c).

La répartition des relevés relatifs aux années sèches (1984) et humides (1975) le long du premier axe (fig. 4a) permet de l'interpréter comme représentant le gradient pluviométrique.

A l'exception des relevés 5A84 (année exceptionnellement sèche) et 5A85 (effet mémoire des années défavorables précédentes sur lequel nous reviendrons plus en détail ultérieurement), les relevés relatifs à l'axe Amali s'individualisent dans le secteur I (fg. 4a). Les espèces caractéristiques sont figurées sur le diagramme 4b. La correspondance entre les numéros et les taxons est donnée dans l'annexe 1.

L'observation de l'arbre de la classification (fig.4c) permet d'ailleurs de séparer ces deux ensembles, bien que la variabilité interannuelle forte, masque quelque peu les tendances. Nous reviendrons aussi sur cet aspect ultérieurement.

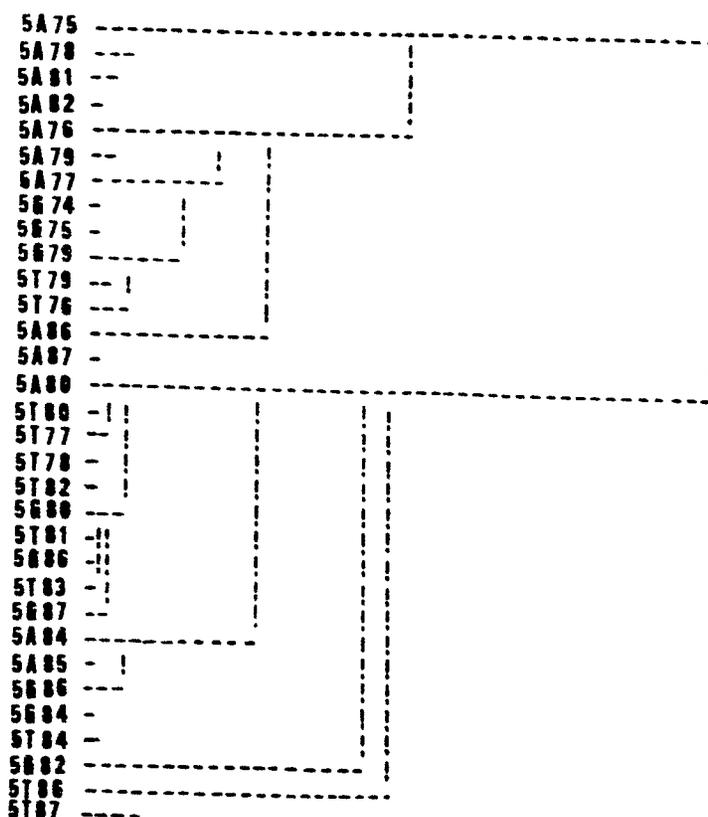


Figure 4c. Variabilité spatiale : Classification automatique des relevés de Wiidu (hiérarchie du moment d'ordre 2).

Cette première analyse nous incite à considérer les relevés relatifs aux trois directions comme des ensembles distincts, et conclure que cette échelle d'observation est hétérogène bien que les sites correspondent à une même unité de végétation à l'échelle d'observation (1/200.000) utilisée par VALENZA et DIALLO (1972).

Dans la suite de ce travail, les axes Amali, Ganine et Tatki seront traités séparément.

2.2. La variabilité temporelle

2.2.1. Analyse globale

Cette analyse, basée sur le traitement en AFC des matrices Espèces/Relevés des différentes années, permet d'analyser diachroniquement les populations complexes (DAGET et TRANCHEFORT, 1974 ; GROUZIS, 1988).

Les résultats relatifs à la direction Tatki consignés dans le tableau 9 montrent que les deux premiers axes absorbent plus du tiers de la variabilité (65 % pour les 4 facteurs).

FACTEURS	VALEURS PROPRES	%INERTIE	%CUMULE
1	0.3341	18.74	18.74..
2	0.3146	17.65	36.69
3	0.2738	15.36	51.75
4	0.2454	13.76	65.51

Tableau n° 9. Variabilité interannuelle : valeurs propres et pourcentages d'inertie absorbés par les 4 premiers facteurs de l'AFC appliquée aux ensembles Espèces/Relevés de Tatki.

La figure (5a) représente le "chronogramme" c'est-à-dire le diagramme des relevés. Le "cheminement" est défini (DAGET et TRANCHEFORT, op.cit.) comme étant la ligne qui relie les différentes années. Il traduit les stades successifs dans les modifications de la végétation.

L'examen du chronogramme montre que les oscillations dans le plan des axes 1 et 2 des points représentatifs de la végétation sont très fortes. Ce caractère traduit la très forte variabilité interannuelle d'autant plus que dans ce niveau d'analyse l'espèce rare joue un rôle identique à l'espèce dominante dans l'image de la végétation.

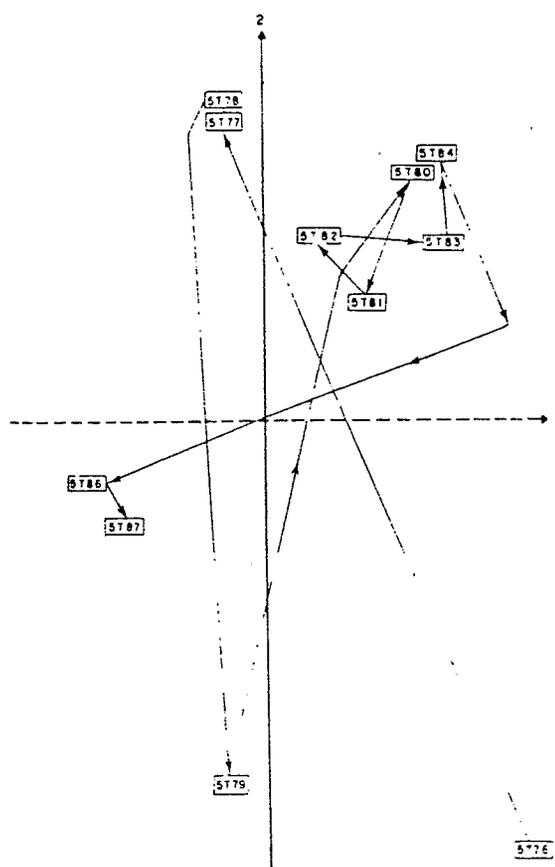


Figure 5a. Variabilité interannuelle : diagramme des relevés dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

Le diagramme des espèces (fig.5b) constitue le cénogramme et matérialise les relations mutuelles entre les espèces.

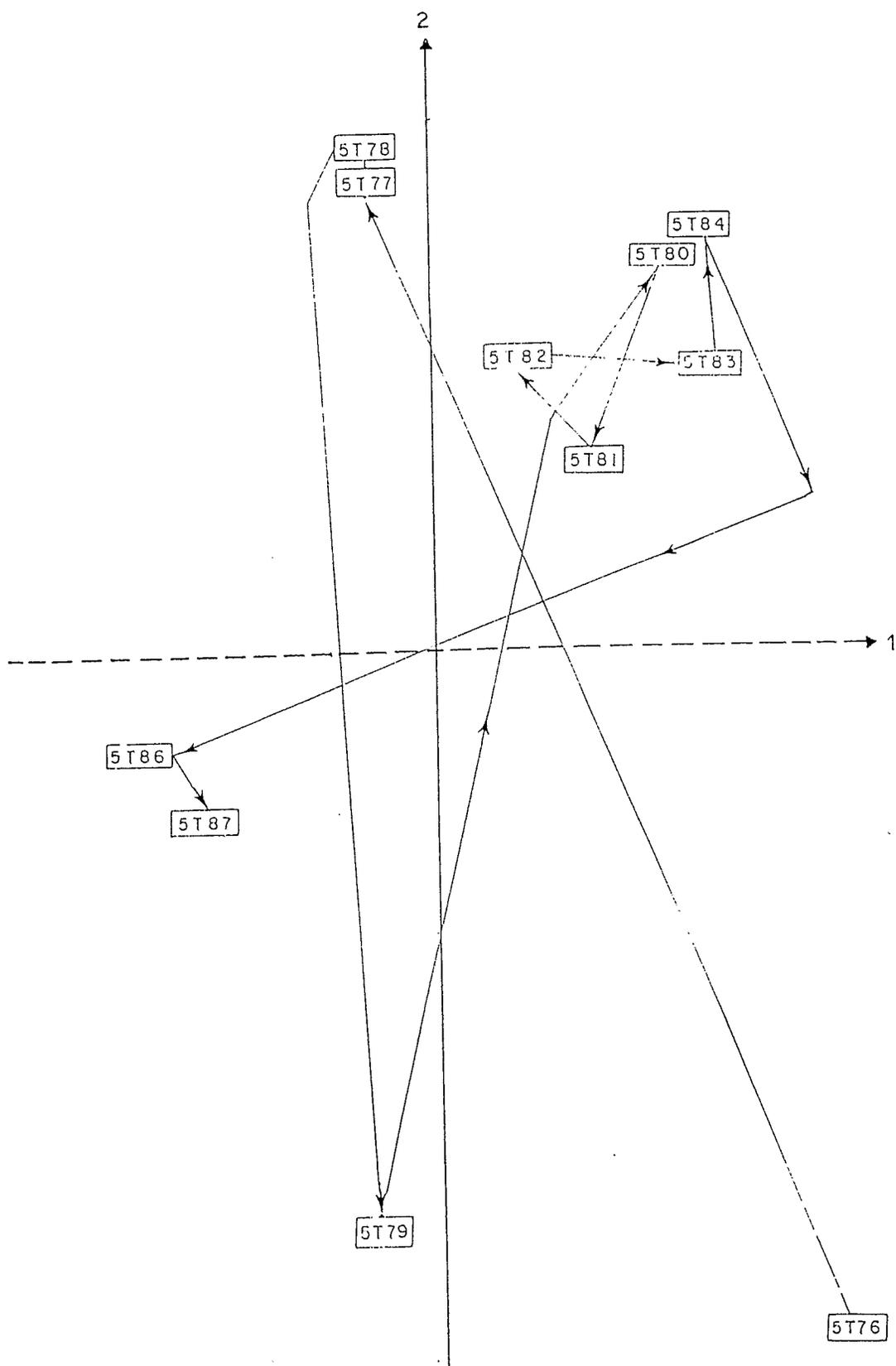


Figure 5a. Variabilité interannuelle : diagramme des relevés dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

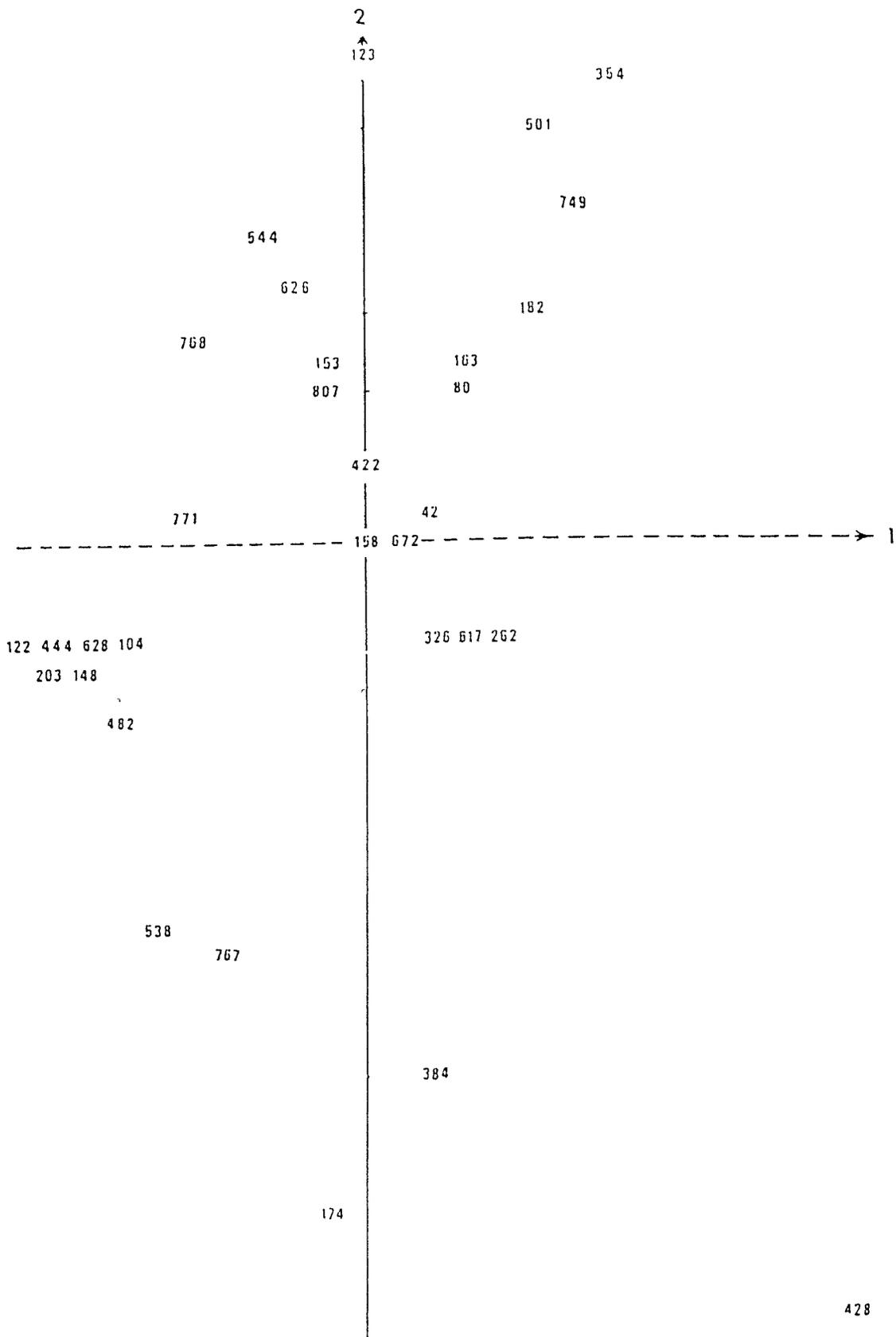


Figure 5b. Variabilité interannuelle : diagramme des especes dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

Il existe un effet "mémoire". En effet, il semble que l'état de la végétation et du milieu de l'année (n) influence l'état de l'année (n+1). Ce phénomène est d'autant plus accentué que l'année de référence est largement excédentaire (1986, 1987) ou largement déficitaire (1977, 1980, 1981, 1982, 1983 et 1984). Il est moins net lorsque l'année de référence est moyenne suivie d'une année où les conditions pluviométriques sont nettement différentes (1976, 1977, 1978 et 1979).

Cette hypothèse émise par différents auteurs notamment (BILLE,1977), en raison de la large dominance des thérophytes dans les phytocénoses est vérifiée dans le cadre de cette analyse.

L'examen de "l'arbre" de la classification automatique (fig.5c) relatif à la direction Amali permet d'ailleurs de confirmer ces faits. En effet, les années successives se rapprochent dans la mesure où l'année initiale est déficitaire ou excédentaire (1981/1982 ; 1984/1985 ; 1986/1987 ; 1977/1978).

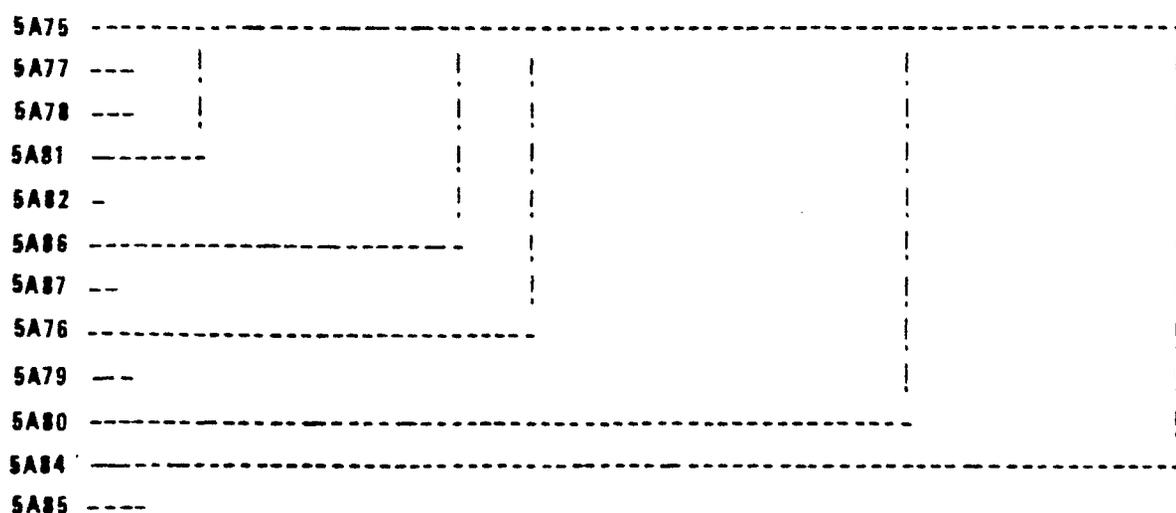


Figure 5c. Variabilité interannuelle : classification automatique des relevés de l'axe Amali (hiérarchie du moment d'ordre 2).

2.2.2. Approche analytique

Cette approche analytique consiste à étudier les variations interannuelles des groupes d'espèces et ou des espèces.

Les figures 6a,6b et 6c représentent les variations interannuelles de la CSI des trois groupes d'herbacées relevées (Graminées, Légumineuses et Espèces diverses) pour les trois directions. L'année 1983 n'est pas représentée car les relevés n'ont pas été effectués dans cette direction).

Il apparaît la nette dominance des Graminées quelle que soit l'année. En 1984 (année exceptionnellement sèche), elles ont constitué en effet, la totalité du couvert herbacé. En 1985 et 1986, les relevés n'ont pas été réalisés.

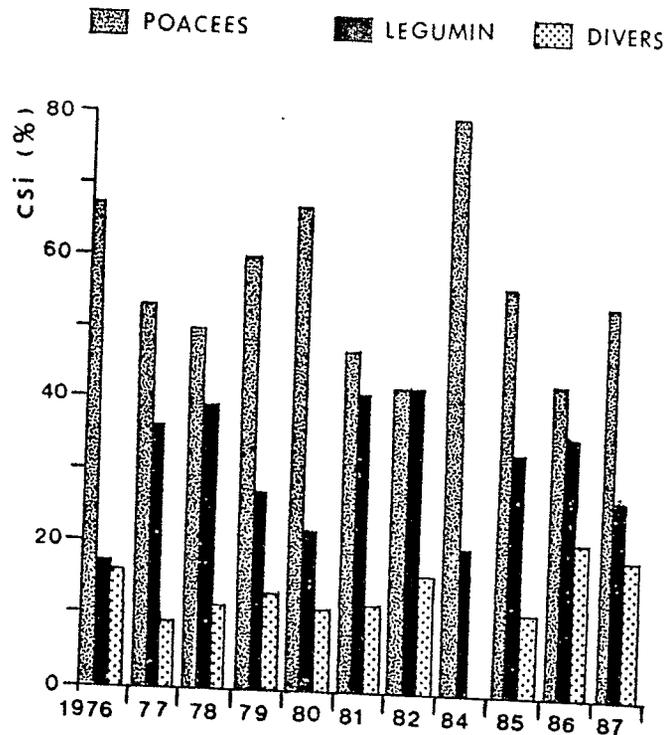


Figure 6a. Variation interannuelle des Csi des groupes floristiques (direction Amali)

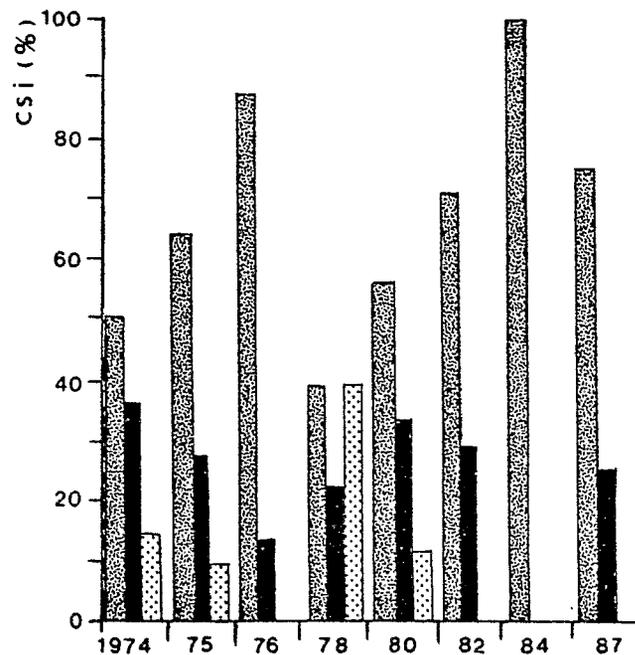


Figure 6b. Variation interannuelle des Csi des Groupes floristiques (direction Ganine)

Cela corrobore les observations de VALENZA (1979, 1984). CHAMBRIS (1988) note par contre une baisse de ce groupe pendant les bonnes années. Toutes les Csi demeurent relativement faibles (3 à 15 %). En 1985 et 1986 les relevés n'ont pas été exécutés.

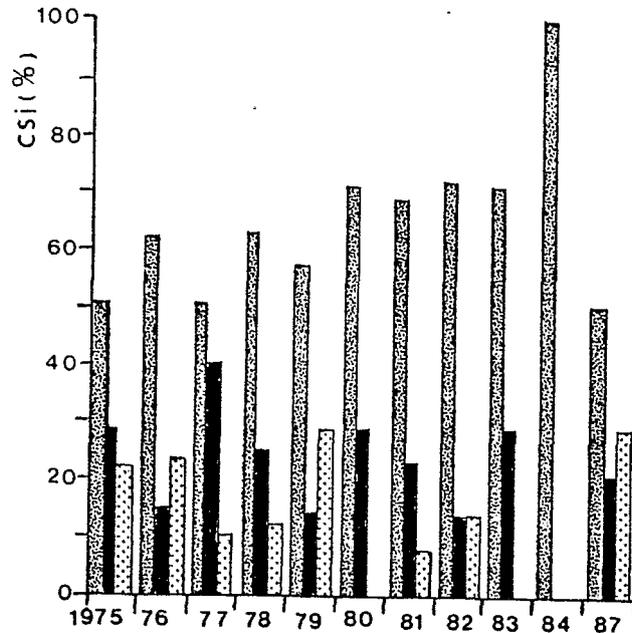


Figure 6c. Variation interannuelle des Csi des groupes floristiques (direction Tatki)

Dans le fonds de parcours de VALENZA et DIALLO (1972) on note le remplacement de *Dactyloctenium aegyptium* (262) par *Brachiaria xantholeuca* (123), qui n'est plus réapparu depuis 1982) et de *Chloris prieurii* (163).

Les fluctuations des CSI sont relativement faibles à l'exception de celles de *Zornia glaberrima* (807), direction Ganine. En 1987 par contre, presque toutes les CSI ont doublé voire triplé. Cela traduit bien l'influence de la quantité des précipitations sur la végétation.

D'autres espèces, sur la période considérée, n'ont été observées qu'une seule fois (771, 77, 482, 174, 122, 749 et 501 et 379) ou tous les 4 ou 5 ans (362, 538, 384) ou 6 ans (439, 544 direction Amali). (cf. annexe 1 pour la correspondance des numéros).

Dans le premier groupe de ces espèces rares, on peut distinguer les espèces qui se développent uniquement pendant les années humides pour le Sahel (mésophytes : 771, 77, 482, 174 et 122) et celles d'années sèches (xérophytes : 749, 501, 379).

Dans le second groupe, 538 et 384 qui ont été relevées en 1979 et 1986 (années sèches) mais aussi en 1978 et 1985 (années relativement humides) peuvent être considérées comme des mésophytes. Il s'agit en fait, de "l'effet mémoire" des années humides.

Ces faits s'expliquent par des phénomènes de bonne conservation des graines et caryopses des graminées (espèces rencontrées une année sur 15) ; des phénomènes de compétition interspécifique et des phénomènes de résistance à la sécheresse (*Tephrosia bracteololata* (749), *Sesuvium portulacastrum* (501), *Heliotropium undulatum* (379)).

Il existe donc dans le PS3 de Wiidu une forte variabilité liée à l'irrégularité interannuelle des précipitations et qui se traduit par une richesse floristique importante. Celle-ci est essentiellement due aux espèces rares.

Le parcours PS3 de Wiidu montre une fois de plus son hétérogénéité. Cela nous conduit maintenant à analyser les réponses aux perturbations anthropiques.

2.3. L'influence de l'action du bétail : l'effet pâture

L'élevage extensif repose sur la végétation naturelle, dont l'exploitation souvent non contrôlée entraîne de profondes modifications du milieu.

L'influence de l'action du bétail sera étudiée en comparant les relevés floristiques à 2km et 5km du forage, seules données complètes dans les séries utilisées.

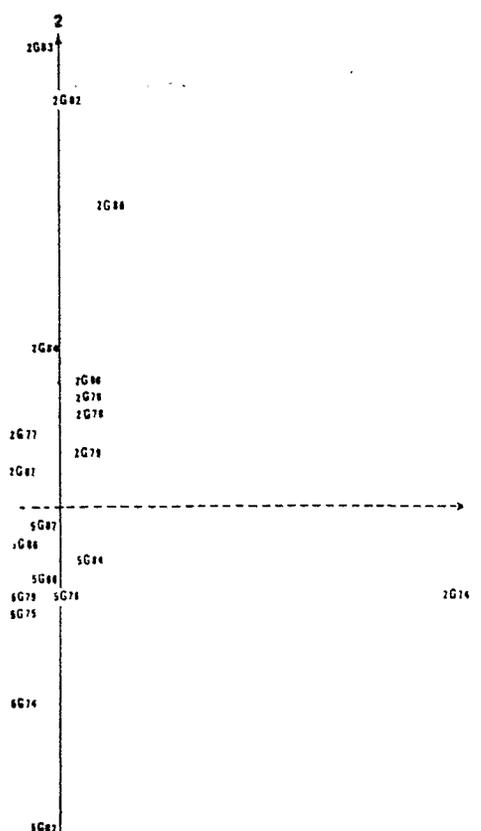
Les contributions portées sur le tableau 10 montrent que les 4 premiers facteurs rendent compte de 46 % de la variabilité totale.

FACTEURS	VALEURS PROPRES	% INERTIE	% CUMULE
1	0.4221	13.95	13.95
2	0.3566	11.82	25.87
3	0.3132	10.30	36.25
4	0.2969	9.84	46.09

Tableau 10. Effet pâture : valeurs propres et pourcentages d'inertie absorbés par les 4 premiers facteurs de l'AFC appliquée aux ensembles Espèces-Relevés de Ganine.

Les deux premiers axes absorbent près du quart de la variabilité totale.

L'analyse permet d'opposer très nettement (fig.7a) les relevés du km2 (ordonnées positives) à ceux du km5 (ordonnées négatives).



Les relevés du km² se caractérisent (fig.7b) par les espèces *Fimbristylis hispidula* (354), *Eragrostis ciliaris* (315), *Spermacoce stachydea* (112), *Portulaca foliosa* (626) et *Monsonia senegalensis* (544). Les relevés du km⁵ se distinguent par les taxons suivants : *Eragrostis pilosa* (322), *Heliotropium strigosum* (384) et *Cleome tenella* (173).

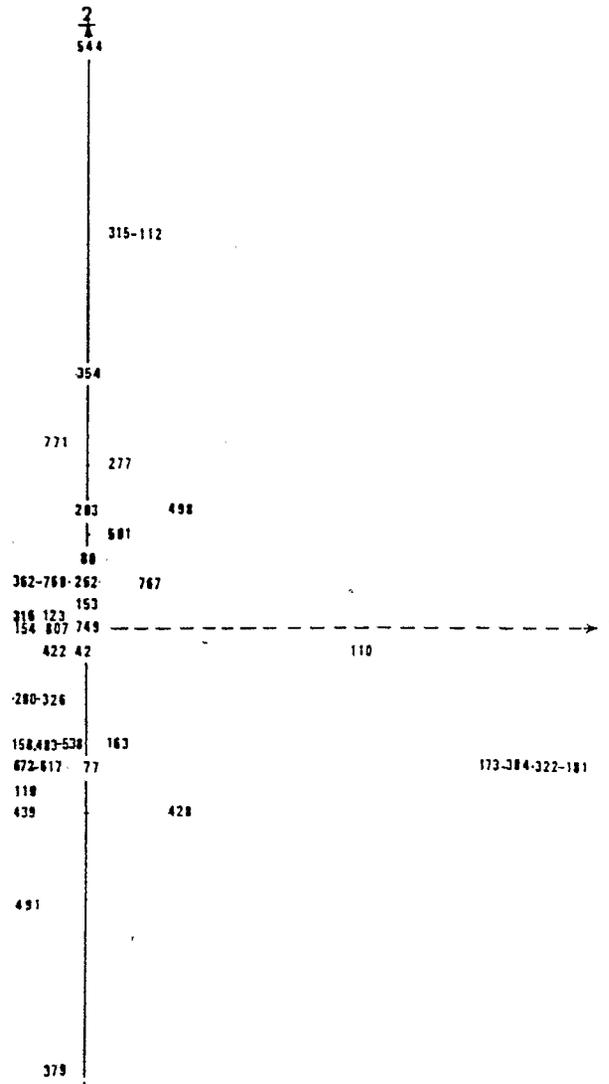


Figure 7b. Effet pâture : diagramme des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

L'examen de l'arbre de la classification (fig.7c) montre par contre que l'effet année est parfois plus fort que l'effet distance (5G87 plus proche des 2G que des années 1986 et 1987). Cet effet année est d'autant plus important que l'on s'éloigne du forage, c'est-à-dire que la pression anthropique s'estompe et que la diversité floristique augmente. **Cette augmentation de la diversité traduit l'aptitude de cette végétation à répondre aux fluctuations du milieu.**

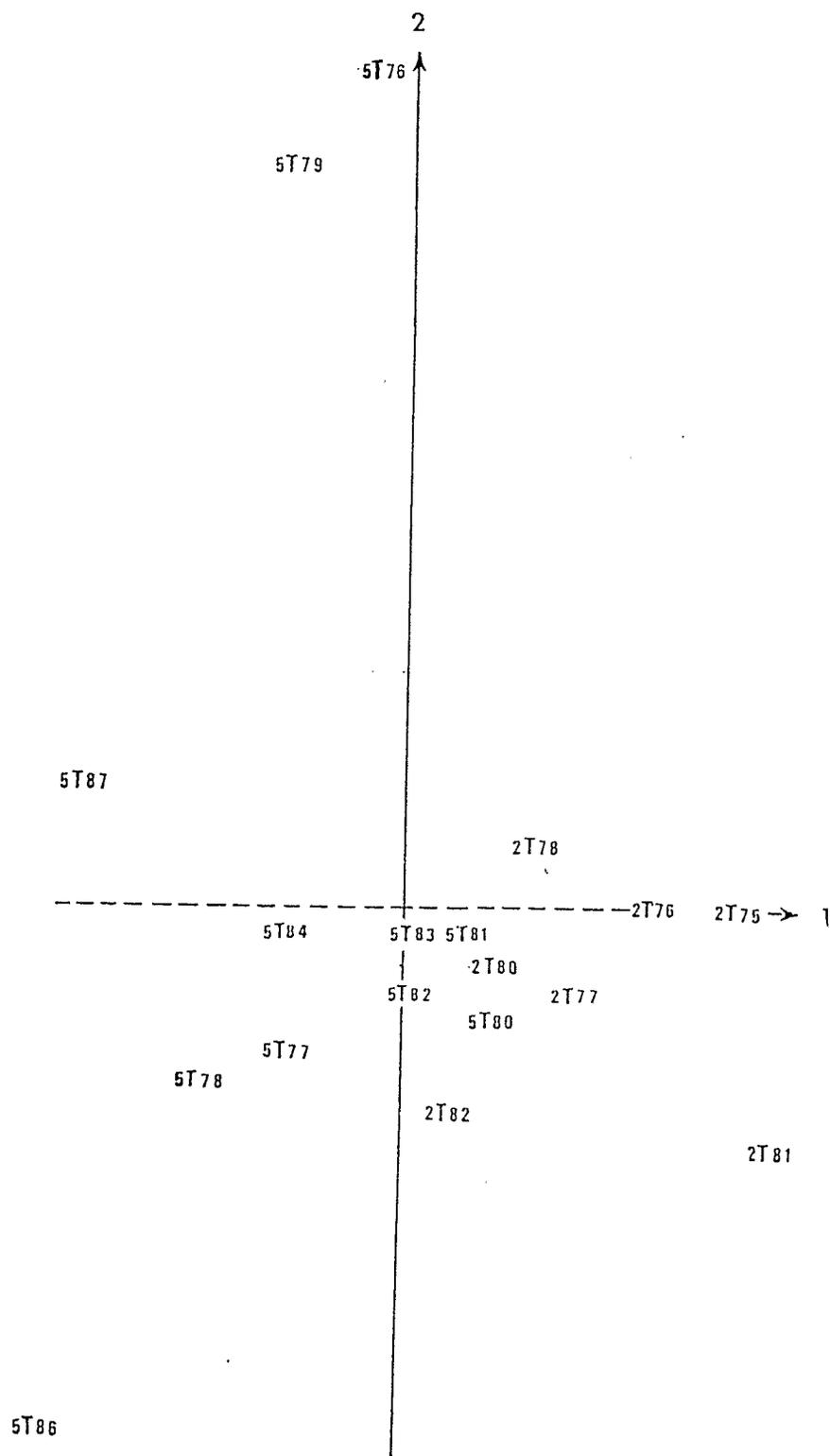


Figure 8a. Effet pâture : diagramme des relevés dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

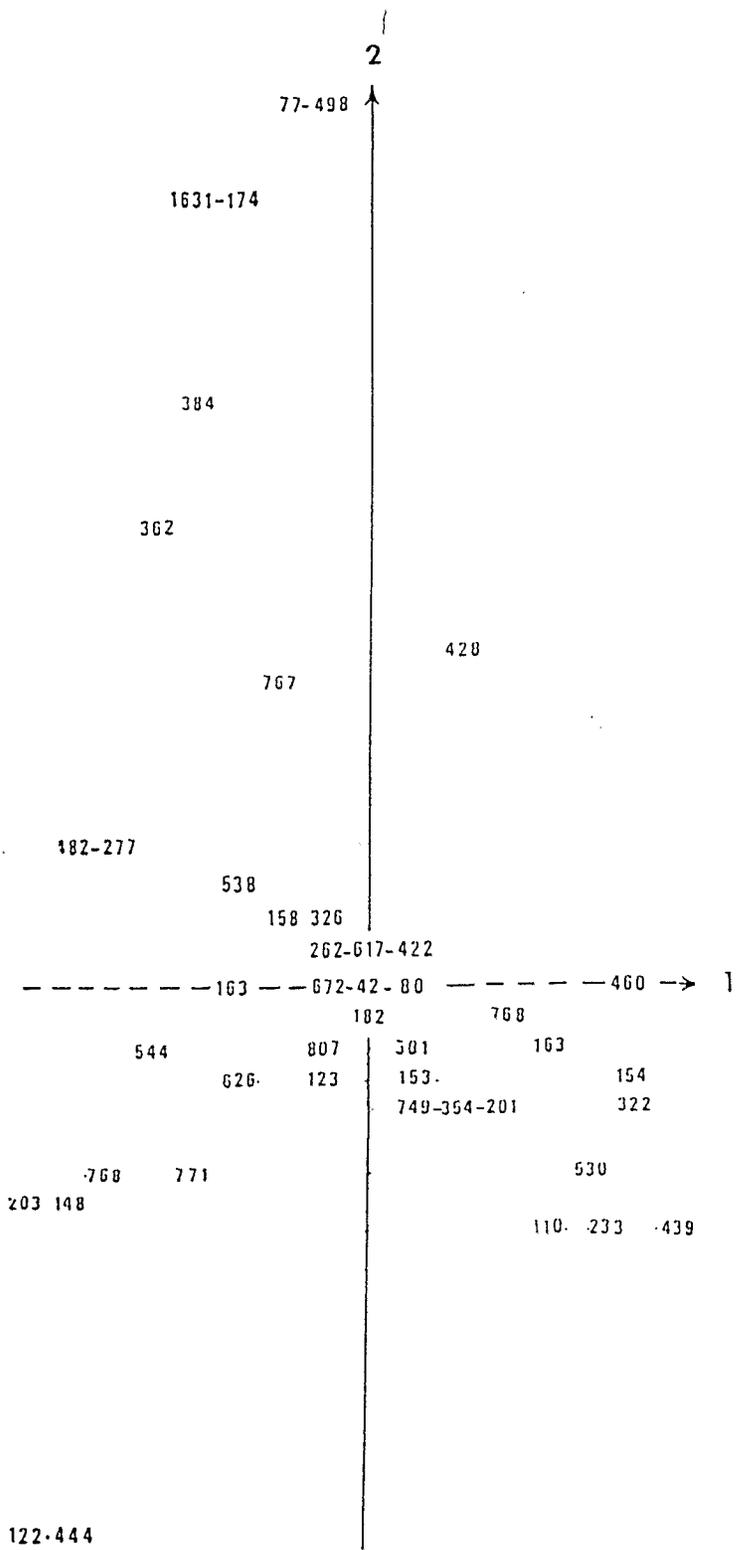


Figure 8b. Effet pâture : diagramme des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

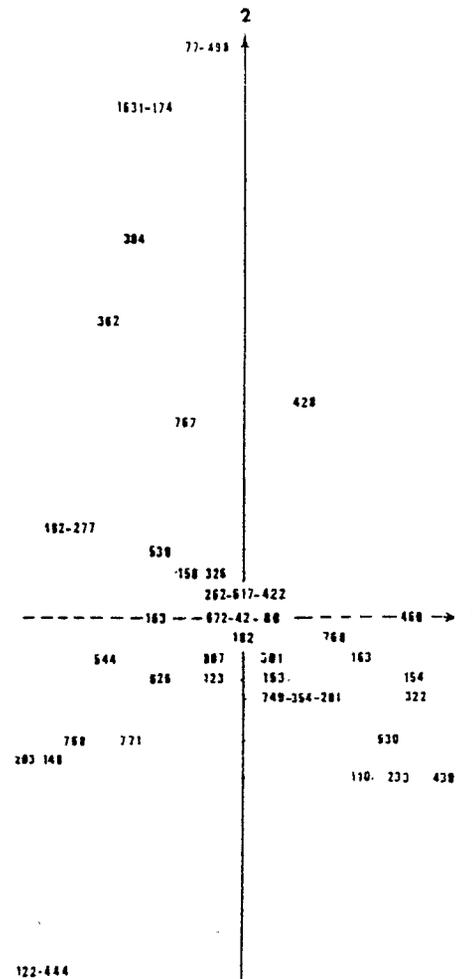


Figure 8b. Effet pâture : diagramme des espèces dans le plan des axes 1 et 2 de l'ANACOR

Au km5 un nombre plus important d'espèces sous-tend la végétation. Ce sont entre autres *Corchorus tridens* (203), *Tragus racemosus* (768), *Chloris prierii* (163), *Brachiaria ramosa* (122), *Oldenlandia grandiflora* (482), et *Corchorus fascicularis* (201).

L'étude de la pression animale sur les parcours PS3 montre donc :

- une nette séparation entre les relevés du km2 et du km5. Ces deux stations ont une composition floristique assez distincte qu'on peut assimiler à deux unités floristiques ;
- l'effet année (variabilité interannuelle) est beaucoup plus marqué au km5 qu'au km2 (forte dispersion des années, quelle que soit la direction).

2.4. Conclusion

L'analyse des données floristiques autour du forage de Wiidu montre une forte variabilité spatiale et une variabilité temporelle marquée. L'homogénéité de la végétation sahélienne (MARCHE-MARCHAD, 1965) surtout au niveau des parcours PS3 (VALENZA, DIALLO, 1972) n'est qu'apparente à grande échelle. Celle-ci est constituée d'une mosaïque d'éléments de végétation (GOUNOT 1969).

Malgré la nette dominance des graminées, la richesse floristique confère à la phytocénose une certaine plasticité face à la variabilité interannuelle de la pluviosité.

Un "effet mémoire" a pu être mis en évidence. Celui-ci est d'autant plus important que l'année de référence est exceptionnellement sèche ou humide..

La pression animale, qui s'exerce préférentiellement sur la végétation des abords immédiats du forage est forte. Elle permet de définir deux unités de végétation entre les km² et km⁵. L'effet est cependant masqué certaines années à cause de la prépondérance du cycle pluviométrique.

L'évolution des parcours dépend donc étroitement des précipitations (quantités et répartition). Cette caractéristique est due essentiellement à l'importance des thérophytes dans la végétation.

3. L'ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA QUALITE DES HERBAGES

L'étude des variables quantitatives concerne la phytomasse totale, la valeur pastorale et la valeur nutritive, approchée par la teneur en azote (ou matière azotée totale : MAT) des herbages.

3.1. La phytomasse.

La figure 9 représente l'évolution de la phytomasse au cours des différentes années de mesure.

La valeur moyenne pour la période 1974-1988 s'élève à : 750 kg.ha⁻¹. La variabilité de la phytomasse est élevée puisqu'elle varie de 1300 kg.ha⁻¹ (1976) à environ 100 kg.ha⁻¹ en 1984 (soit dans un rapport de 13 à 1). On peut noter que la variabilité de la phytomasse est plus élevée que celle de la pluviosité (5 à 1).

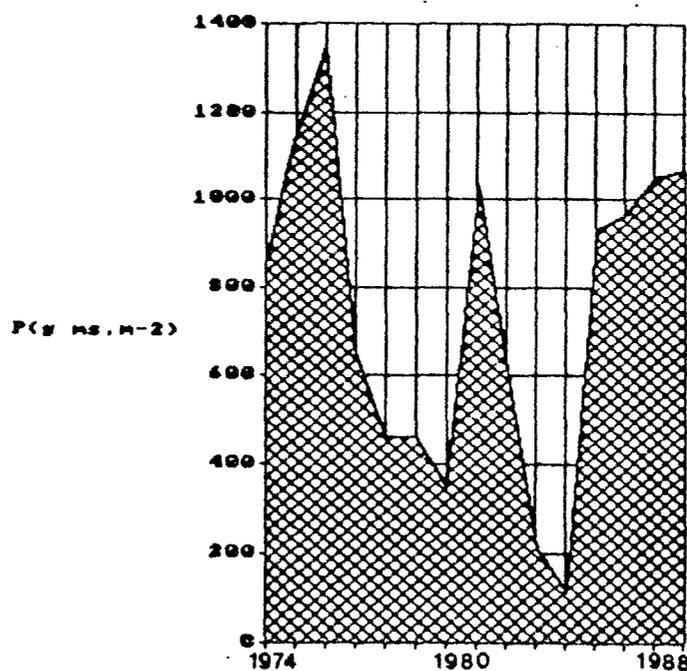


Figure 9. Variation interannuelle de la phytomasse

L'évolution comparée de la phytomasse et de la pluviométrie (fig.10) montre que les variations de phytomasse épousent celles de la pluviométrie. Il y a donc une corrélation positive entre les deux variables pour le nombre d'années étudiées.

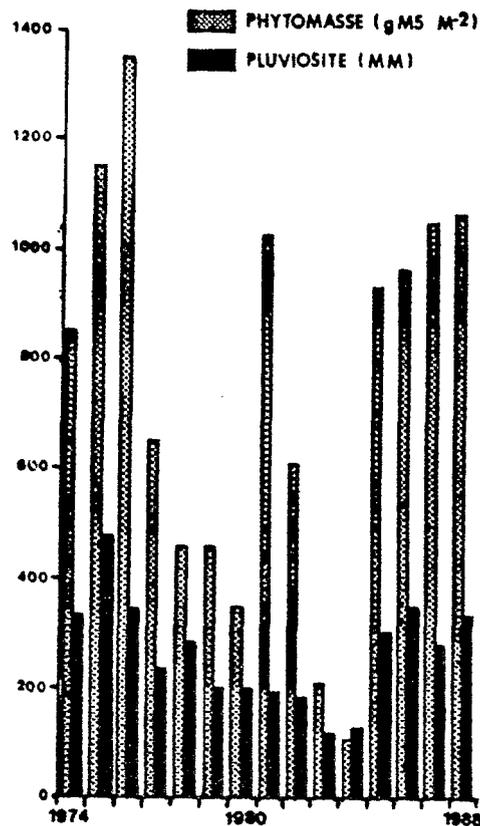


Figure 10. Evolution comparée de la phytomasse et de la pluviométrie

La pluviométrie conditionne donc non seulement la composition floristique mais aussi la production des herbages.

L'évaluation de la production des herbages repose généralement sur la méthode directe de la récolte, souvent onéreuse et difficile à réaliser. C'est pourquoi nous avons cherché à formuler la production des parcours ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) en fonction des précipitations (quantité annuelle de pluie : $P(\text{mm})$ et le nombre de jours de pluie: J). Cela nous a donné les résultats reportés dans le tableau 11.

LIAISONS	r	Signif.†	r ²	Equation de régression
Ph / pluie	0.77	1	0.60	Ph = 2.99P - 41.8
Ph / nb.J	0.54	5	0.30	Ph = 51.41J - 83.2

Tableau n° 11. Coefficient de corrélation et équation des droites de régression de la relation phytomasse en fonction de la pluviométrie.

Les variables, quantité de pluie et nombre de jours de pluie expliquent assez bien la variabilité de la phytomasse. La quantité annuelle de pluie est plus déterminante. Ce facteur explique en effet, près de 60 % de la variance de la phytomasse, alors que le nombre de jours n'en explique que la moitié.

Nous avons tenté d'améliorer la relation en tenant compte de la quantité et du nombre de jour de pluie dans une régression multiple. Les résultats sont consignés dans le tableau 12.

LIAISONS	r	Signif. ‡	r ²	Equation de régression
Ph = f(P,J)	0.80	5	0.65	Ph = 439.4P - 39.7J + 232.2

Tableau n° 12. Coefficient de corrélation et équation de la droite de régression de la phytomasse en fonction des paramètres pluviométriques.

L'intégration des deux facteurs dans la régression multiple améliore l'estimation de la phytomasse. Les facteurs quantité de pluie et nombre de jours de pluie, n'étant pas indépendants, l'amélioration du coefficient de détermination est assez faible (5 %).

L'équation de prévision (dont la droite est tracée sur la figure 11):

$$\text{Phytomasse} = 2.99 P - 41.80$$

(kg/ha) (mm)

peut être d'utilisation courante dans la situation de Wiidu Thiengoly. Toutefois, si les conditions de calcul le permettent la régression multiple apporte une précision appréciable (5 %).

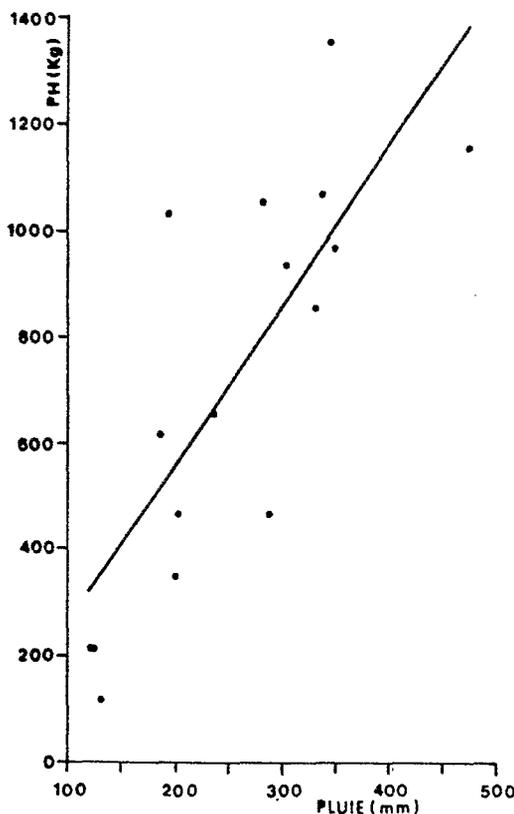


Figure 11. Droite de régression de Phytomasse = f(Pluie)

L'expression de la phytomasse en fonction de la pluie permet de comparer notre résultat avec d'autres travaux (tableau 13)

AUTEURS	PRODUCTION (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹ pluie incidente)
LE HOUEROU, HOSTE (1975)	2.58
BILLE (1977)	3.0
DIARRA, BREMAN (1978)	2.4
CORNET (1981)	3.3
GROUZIS (1988)	2.9
notre résultat	2.99

Tableau 13. Production (kg.ha⁻¹.mm⁻¹ de pluie incidente)

Ces données montrent qu'en zone sahélienne, les valeurs estimées de la production globale de phytomasse herbacée par mm de pluie incidente sont assez voisines. Cela témoigne de l'importance des pluies, qui constituent le facteur limitant principal des productions herbacées dans ces zones sahéliennes (BILLE, 1977 ; CORNET, 1981a).

3.2. La phytomasse et la valeur pastorale.

Dans la littérature la valeur pastorale (Vp) est souvent utilisée pour apprécier les parcours.

L'évolution de la Vp estimée au km² et au km⁵ (fig.12) fait apparaître une variabilité assez forte, qui suit aussi les variations pluviométriques.

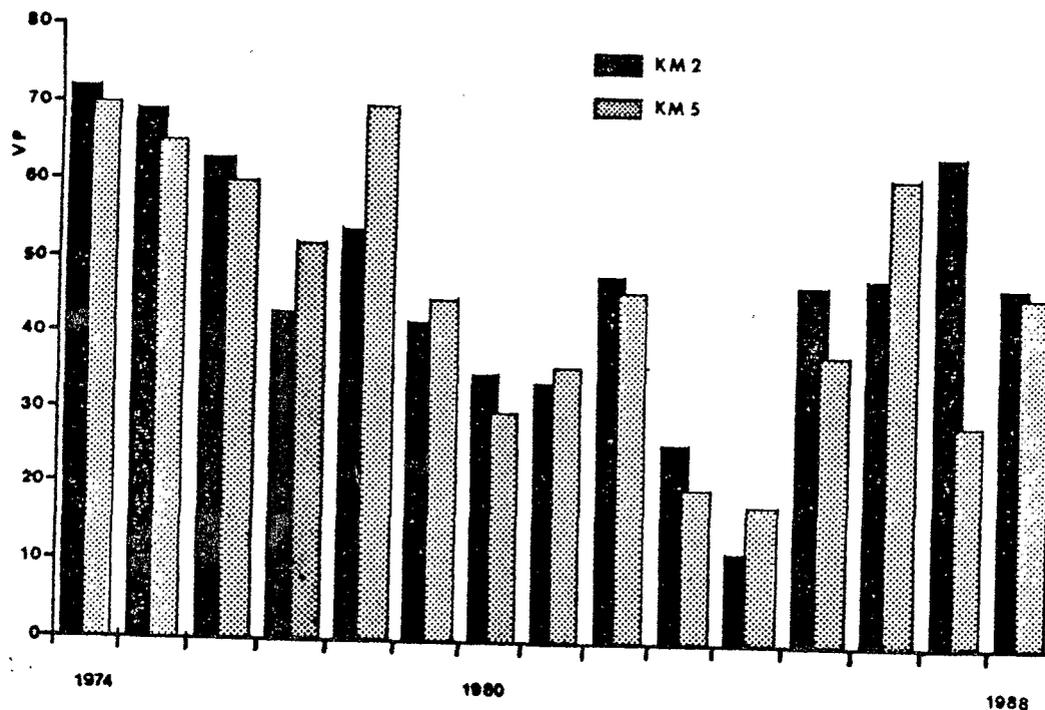


Figure 12. Variation interannuelle de la valeur pastorale (Vp)

Si globalement les variations au km² et au km⁵ sont plus ou moins similaires, il existe des

années où les évolutions sont complètement divergentes. C'est notamment le cas en 1986 et 1987: la Vp au km² continue d'augmenter alors qu'il y a une chute brusque de la Vp au km⁵.

La Vp se déduisant rapidement des résultats d'un relevé linéaire, relativement facile à mettre en oeuvre, nous avons recherché la relation permettant d'estimer la phytomasse. Les résultats obtenus figurent dans le tableau 14.

LIAISONS	r	Signific.‡	r ²	Equation de régression
Ph / Vp	0.48	10	0.23	Ph(kg) = 10.5Vp + 271.5

Tableau 14. Coefficient de corrélation et équation de la droite de régression de la phytomasse (kg.ha⁻¹) en fonction de la Vp.

La relation est significative à 10%. Elle paraît cependant trop lâche pour être utilisée en terme prévisionnel. Ce caractère proviendrait certainement de la transformation des données abondance/dominance en fréquence (Tableau 1). En effet, à une cote on fait correspondre une classe de C_{Si} et non une valeur.

3.3. La valeur pastorale et la pluviosité

Nous venons d'observer que l'évolution de la Vp est étroitement liée à la variabilité des caractéristiques pluviométriques (quantité de pluie en particulier). Nous avons alors recherché la relation permettant d'estimer la Vp (tableau 15) selon les distances (km² : Vp₂ et km⁵ : Vp₅) en fonction de la quantité annuelle de pluie.

LIAISONS	r	Signific.‡	r ²	Equation de régression
Vp ₂ /pluie	0.82	1	0.70	Vp ₂ (t) = 0.14P + 10.3
Vp ₅ /pluie	0.68	1	0.55	Vp ₅ (t) = 0.12P + 15.2

Tableau n° 16. Coefficients de corrélation et équations de régression de la VP = f(P).

Les relations sont hautement significatives. L'impact de la pluie sur la Vp est assez important. Elle explique 70% de la variabilité au km² (fig.13a) contre 55 au km⁵ (fig.13b). Au km² l'accumulation des matières organiques, plus importante (influence du bétail plus accrue) retiendrait plus d'eau et en fournirait plus également aux plantes que le sol sablo-argileux du km⁵.

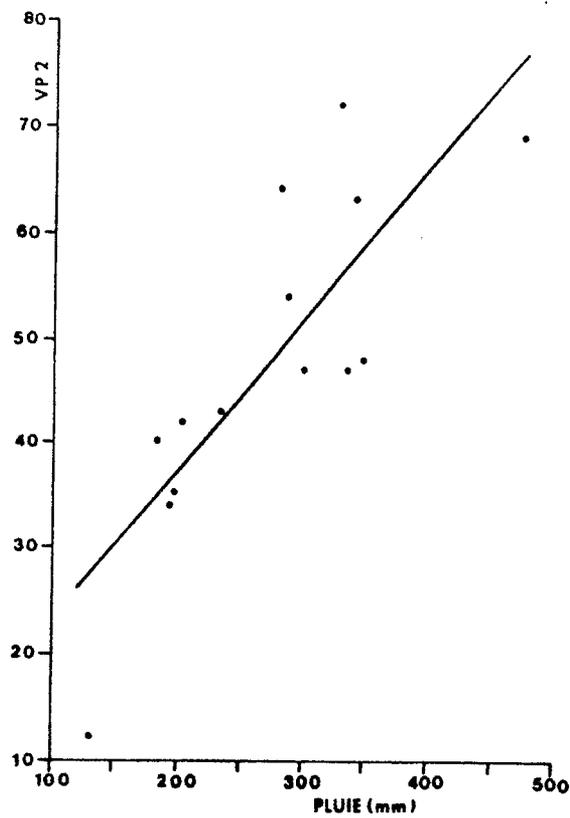


Figure 13a. Droite de régression de $Vp_2 = f(\text{Pluie})$

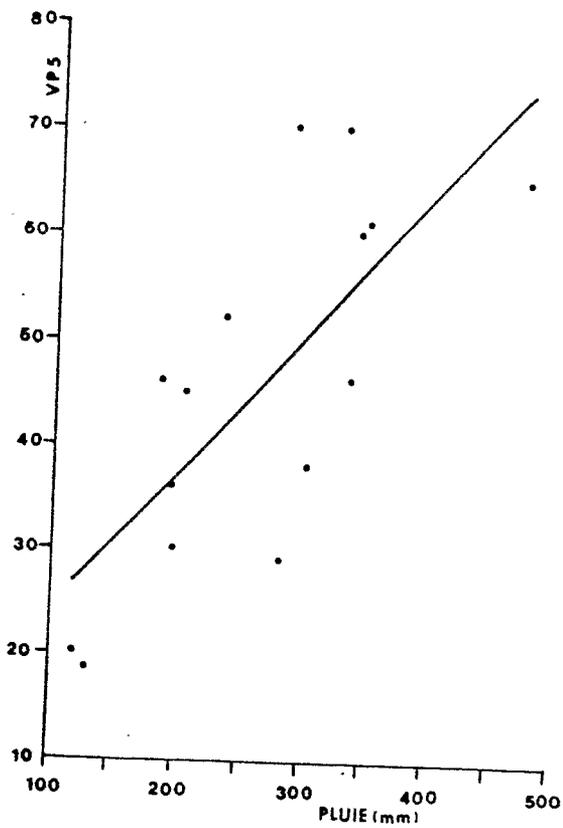


Figure 13b. Droite de régression de $Vp_5 = f(\text{Pluie})$

3.4. La teneur en matière azotée totale (MAT) dans les herbages

La teneur en azote des parcours est l'un des critères de rationnement des animaux, voire un facteur limitant pour un niveau de production acceptable chez nos animaux.

Les résultats de l'analyse reportés sur le graphique de la figure 14 font apparaître de nouveau une variabilité de ce paramètre. La teneur en azote est cependant inversement proportionnelle à la pluviosité: c'est pendant les années de bonne pluviosité (1974, 1975 et 1976) que les teneurs sont les moins élevées: il y a un phénomène de dilution. Ce phénomène a déjà été signalé par DE VRIES et DJITEYE (1982) au Mali.

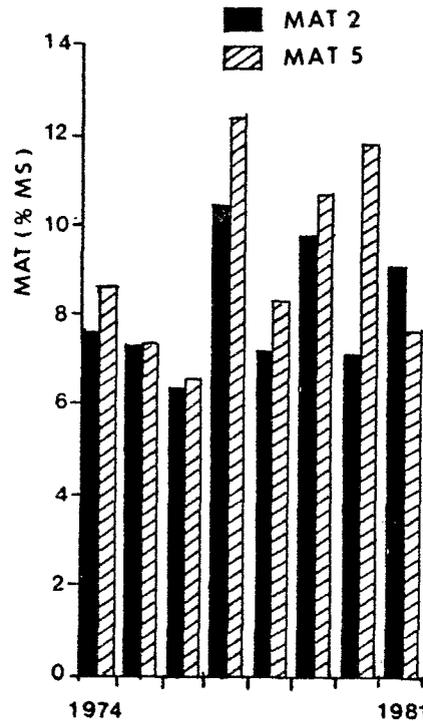


Figure 14. Variation interannuelle de la matière azotée

Les variations de la teneur en azote en fonction de la distance par rapport au forage s'opposent par contre aux résultats de VALENZA (1979). Cet auteur montre en effet, que c'est à proximité du forage que l'influence de la fumure organique est la plus forte. Cette influence se traduit par une teneur en matière azotée totale plus élevée. Ce n'est pas le cas ici puisque les teneurs au km5 sont, à l'exception de 1981, généralement similaires ou supérieures à celles de végétation du km2. Cette contradiction s'explique certainement par le fait que VALENZA (*op.cit.*) a étudié la proximité immédiate du forage (km0,1) alors que nous avons comparé le km2 au km5, c'est-à-dire à une distance où cette influence s'estompe certainement déjà.

Comme pour la phytomasse, nous avons recherché une relation entre matière azotée totale (MAT) et valeur pastorale (Vp). Les résultats sont portés sur le tableau 16.

LIAISONS	r	Signifi.t	r ²	Equation de régression
MAT / Vp2	-0.49	NS	0.24	-
MAT / Vp5	-0.54	NS	0.29	-

Tableau 16. Coefficient de corrélation et équation de la droite de régression de la MAT = f(Vp).

Ces relations ne sont pas significatives (NS). Cela proviendrait certainement du nombre de données relativement peu important et de la méthode d'estimation de cette V_p . Les coefficients de corrélation sont négatifs. Ils traduisent l'effet de deux variables opposées : lorsque l'une augmente l'autre chute. C'est le phénomène de dilution qui est ainsi quantifié.

3.4. Conclusion

L'analyse de la production et de la qualité des herbages montre:

- une forte variabilité de la production, celle-ci épouse les variations de la pluviosité. C'est cette dernière qui conditionne la production des parcours (BOUDET, 1975; DIOP, 1984 ; CORNET, 1981b ; VALENZA, 1979, 1984 ; FAO/PNUE, 1988);

- une étroite corrélation entre la phytomasse produite et la pluviométrie annuelle et mieux encore entre la phytomasse et les quantités de pluie et le nombre de jours de pluie. La pluie explique près de 60% de la variabilité de la phytomasse et jusqu'à 65% si on intègre le nombre de jours de pluie dans la relation..

Le modèle de simulation, qui donne $2.99 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ de pluie incidente, est comparable aux résultats des travaux effectués par d'autres auteurs (tabl.13) sur la zone sahéenne. Il constitue donc une bonne approximation de la production des pâturages.

Il existe un phénomène de dilution de l'azote qui est la conséquence d'une production abondante de phytomasse. Ce phénomène peut être corrigé chez l'animal par une complémentation.

La corrélation entre MAT et V_p n'est pas satisfaisante. Cela vient certainement de l'estimation de la V_p à partir de cote d'abondance/dominance.

4. PHYTOMASSE HERBACEE ET CHARGE FREQUENTIELLES

4.1. Aspects généraux et normes

4.1.1. Capacité de charge : définition

La capacité de charge d'un parcours est la quantité de bétail que peut supporter ce pâturage et pouvoir se régénérer; le bétail devant rester en bon état d'entretien voire prendre du poids ou produire du lait ou de la viande.

Cette capacité de charge dépend de la quantité de fourrage produite et de la qualité de ce fourrage comparées aux besoins des animaux.

4.1.2. Production consommable : coefficient d'utilisation

En raison de la consommation primaire, de la dégradation par piétinement et de la décomposition partielle, la totalité de la production n'est pas consommée. Ainsi différents coefficients ont été proposés par les auteurs suivants.

- VALENZA et FAYOLLE (1965), à partir des essais de détermination du taux d'exploitation optimale ont proposé 60 à 65% en fin de saison des pluies et 30 à 35% en saison sèche pour les parcours du Centre de Recherches Zootechniques (CRZ) de Dahara;

- BOUDET (1978) rapporte que les pastoralistes américains évaluent ce coefficient d'utilisation à 40 à 60%;

- TOUTAIN et LHOSTE (1978) dans une étude spécifique d'un périmètre sahéen ont estimé ce facteur à 35 à 40%;

- BOUDET (1975, 1978); TOUTAIN et DEWISPELAERE (1978) estiment que la production saisonnière exploitable en saison sèche représente le 1/3 de la production primaire en fin de saison des pluies sans compromettre le pâturage.

Nous retiendrons ici la proportion préconisée par BOUDET (1975) et TOUTAIN - DEWISPELAERE (1978), à savoir que le 1/3 de la phytomasse herbacée produite est exploitable compte tenu des pertes et de la nécessité de préserver la productivité des parcours.

4.1.3. Besoins des animaux

Ils sont exprimés pour une unité de bétail standard: l'Unité Bétail Tropical, UBT (Livestock Standard Unit, *LSU* des auteurs de langue anglaise). Elle correspond à un bovin de 250 kg dont la consommation journalière est évaluée à 2,5 kg_{MS} pour 100 kg de poids vif. La ration quotidienne d'une UBT représente donc 6,25 Kg_{MS}

La détermination de la capacité de charge des parcours peut être faite en comparant les besoins des animaux aux disponibilités représentées par la fraction exploitable de la production de phytomasse.

Dans notre cas les disponibilités seront évaluées sur l'aire de desserte du forage estimée à 706,8km² (soit un cercle de 15km de rayon). En évaluant à 20% environ les superficies occupées par les habitations, les routes, les pistes et autres infrastructures, l'aire exploitable par le bétail se ramènerait à 565,2 km².

4.2. Résultats

La capacité de charge est calculée pour quelques fréquences remarquables (Tableau n° 17) et pour une utilisation essentiellement de saison sèche de huit (8) mois (Novembre à Juin) à partir de la production obtenue par le modèle:

$$Y_{kgms} = 2.99 P_{mm} - 41.80$$

Récur. (ans)	P (mm)	Product. kg _{MS} . ha ⁻¹	Product. utile(kg)	Charge ha/UBT	Capacité accueil UBT
100	96.6	247.0	84.2	18.2	3.105
50	120.2	317.6	105.9	14.2	3.980
20	155.6	423.5	141.2	10.6	5.332
10	187.0	517.3	172.4	8.7	6.497
5	225.1	631.3	210.4	7.1	7.961
3	264.6	749.4	249.8	6.0	9.420
2	298.0	849.2	283.1	5.3	10.664
3	343.3	984.7	328.2	4.6	12.287
5	370.8	1066.9	355.6	4.2	13.457
10	408.9	1180.8	393.6	3.8	14.874
20	440.4	1275.0	425.0	3.5	16.149
50	475.8	1380.8	460.3	3.7	17.127
100	565.5	1649.1	549.7	2.8*	20.186

Tableau n° 17. Phytomasse herbacée et charge fréquentielles (Wiidu Thiengoly)

Les données de ce tableau font apparaître une capacité de charge de 5.3 ha.UBT⁻¹ une année sur deux. VALENZA et DIALLO (1972) indiquent pour le même groupement végétal (PS3) une charge de 4,6. Cette capacité de charge correspond à la production d'une année humide (réurrence 3). Cela voudrait dire que l'étude des pâturages du Nord Sénégal aurait été menée en une période plus favorable. Il n'en est pourtant pas ainsi. En effet VALENZA utilisait un coefficient d'utilisation de 65% lors de ces études.

En utilisant la pluviométrie estimée de 1971 (année de référence) et le même coefficient (65%), la production herbacée obtenue permet d'obtenir une même capacité de charge. Cela montre que le modèle est un bon estimateur de la production de phytomasse.

En comparant la capacité d'accueil à l'effectif actuel de la zone, on constate une année sur deux, que la production herbacée autour du forage de Wiidu Thiengoly ne permet pas d'assurer l'entretien du cheptel présent évalué à 11.513 UBT. Il serait alors nécessaire de délester le forage d'environ 10% de l'effectif actuel afin d'assurer la couverture des besoins alimentaires des animaux.

Pour des années exceptionnelles telles que 1983 et 1984, on doit délester le secteur d'un effectif plus important (60%). C'est d'ailleurs sur ces années défavorables qu'il faudrait baser les plans d'aménagement du secteur si l'on veut conserver le pâturage pour une exploitation durable.

Dans le cas de la centennale favorable (année particulièrement humide), même en tenant compte de la majoration de 10% de la contribution de la strate ligneuse (BILLE, 1977 ; POUPON, 1980 ; GROUZIS, 1988) à la production herbacée, la production globale ne permettrait plus, dans une vingtaine d'années, d'assurer la couverture des besoins des animaux. Au taux d'accroissement actuel de 2.5% l'an, l'effectif avoisinerait en effet 28.000 UBT. Qui plus est, dans ces conditions très favorables, où les précipitations sont supérieures à 500mm la fertilité (globale) du sol devient limitante (DE VRIES et DJITEYE, 1982).

L'étude de la production et de la charge fréquentielles permet donc de suivre les variations de production (en fonction de la pluviométrie), de charge en bétail et de prendre éventuellement dès la fin de la saison des pluies les mesures - délestage de la zone par recours à une transhumance élargie (BARRAL *et al*, 1983; GROUZIS, 1988), ou organisation de la vente de bétail, complémentations ...- nécessaires à l'ajustement de la charge aux ressources de l'année.

CHAPITRE III

DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Ce travail s'insère dans le cadre d'une acquisition de la méthodologie d'étude et d'analyse de l'évolution des parcours.

Les données exploitées proviennent essentiellement du Service Agrostologie du Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires (LNERV) de Dakar qui a bien voulu les mettre à notre disposition. Ces observations sont réalisées dans le cadre de la surveillance continue des écosystèmes pastoraux du Nord-Sénégal.

1. LES METHODES D'ETUDE DES PARCOURS

1.1. L'inventaire de la végétation herbacée

Cet inventaire a été réalisé par la méthode des points quadrats ou relevé linéaire sur de mêmes placeaux d'observation. Dans les documents consultés, l'effectif de l'échantillon n'est pas donné. La précision des fréquences estimée sur l'espèce dominante *Aristida mutabilis* est de 2.8 à 7%. Cette précision est stabilisée à partir d'un échantillon de 250 points (GROUZIS, 1988). Les résultats sont traduits en cote d'abondance/dominance avant leur insertion dans la banque de données.

Lorsque la végétation est dense, les observations sont réalisées par la méthode de "point quadrat" de LEVY et MADDEN (1933) à l'aide d'une aiguille descendue verticalement dans la masse végétale.

1.2. La phytomasse

L'évaluation de la production de phytomasse est effectuée par la méthode destructive de la coupe intégrale, entre les deux lignes du relevé linéaire sur des superficies de 3 à 9 m², 4 à 16 m² ou de 4 à 25 m². Les aires de récolte sont réparties de manière à cerner l'hétérogénéité de la végétation.

2. LES METHODES D'ANALYSE

Nous avons utilisé l'AFC (pour le traitement des données floristiques) et les regressions (pour l'analyse de la production et de la qualité des herbages).

3. LES RESULTATS

3.1. La pluviosité

Il est sans doute prématuré, avec 15 années d'observation (juste la moitié de la norme de l'Organisation Mondiale de la Météorologie) de vouloir sérier les années. Cependant la fréquence des années sèches est de plus en plus élevée. Une année sur cinq totalise des précipitations inférieures à 200 mm (FAO/PNUE 1988). Ce déficit pluviométrique perturbe les productions vivrières (GROUZIS, ALBERGEL, 1988). C'est précisément sur la base de ces années de déficit pluviométrique que le calcul des capacités d'accueil ou de charge des parcours doit se faire si l'on veut sauvegarder le milieu, déjà fragilisé par ailleurs. Les années sèches constituent dorénavant une contrainte avec laquelle il va falloir composer, car on ne peut plus se départir d'elles lors d'établissement d'un programme d'aménagement.

3.2. La floristique

Malgré le nombre d'années d'observations relativement faible, les fluctuations annuelles de la composition floristique sont nettes. Ces résultats confirment les observations de VALENZA (1979, 1984) autour des forages de Tatki, Labgar et Tessékéré ; celles de CHAMBRIS (1988) sur les parcours de Labgar et celles de GROUZIS (1986, 1988) autour de la mare d'Oursi au Burkina Faso.

On peut donc retenir avec des réserves toutefois, nombre d'années statistiquement insuffisant, qu'il existe des espèces caractéristiques des années sèches et humides. Par ailleurs certains taxons caractérisent les stations proches du forage par rapport à des sites plus éloignés.

Dans ce parcours PS3 de Wiidu, les espèces dominantes qui constituent le fonds présentent par contre, une variabilité relativement faible. Elles sont essentiellement représentées par des graminées. La variabilité enregistrée provient donc des espèces rares

La variabilité des pluviométries annuelles qui permet de distinguer des groupes d'années représente donc le **facteur essentiel de la diversité floristique**. Celle-ci détermine un effet mémoire, plus important lorsque l'année de référence est sèche ou très humide..

3.3. La production et la qualité des herbages.

L'étude de la phytomasse en fonction de la pluviosité montre que l'utilisation de modèles simples basés sur l'hypothèse "l'eau constitue le facteur limitant essentiel en zone sahé-lienne", permet une simulation satisfaisante de la production. Il convient cependant de faire quelques remarques :

- les séries chronologiques de pluviométrie annuelle utilisées se situent dans une série d'années sèches ;
- la durée des observations est relativement courte (15 années au lieu de 30 recommandées par l'OMM);
- un seul type de sol et un seul type de parcours ont été étudiés. Or, les travaux effectués notamment au Sénégal (BILLE, 1977 ; CORNET, 1981b ; FAO/PNUE, 1988) et au Burkina Faso (GROUZIS, 1988) ont montré que la production varie fortement suivant les groupements. La composition floristique et la position de ces groupements dans l'espace déterminaient une utilisation différente de l'eau.

Les résultats obtenus comparés à d'autres travaux sont assez voisins et peuvent donc être d'utilisation courante pour le forage de Wiidu.

3.4. Inadéquation charge / production

La capacité d'accueil en année normale (réurrence 2) est de 10.664 UBT. Elle fait apparaître un excédent de charge par comparaison à l'effectif actuel de l'ordre de 1000 UBT, qui est multiplié par 10 en années exceptionnelles (à pluviométrie largement déficitaire).

L'élevage sahélien a trop tendance à se baser sur les années favorables alors qu'il devrait plutôt tabler sur les productions des fréquences pluviométriques défavorables. La charge fréquentielle, qui représente une valeur optimale pour une utilisation rationnelle, est en effet largement dépassée en saison sèche dans la zone sahélienne sénégalaise. Les superficies réellement disponibles pour la pâture sont le plus souvent réduites en raison des feux de brousse (VALENZA et DIALLO, 1972) ce qui aggrave encore la situation.

Cet excédent permanent, associé à la péjoration climatique de ces 20 dernières années, constitue donc les contraintes essentielles de l'élevage sahélien et les facteurs de dégradation des parcours.

Globalement on assiste à **une dynamique régressive du milieu** qui, à terme, constitue une menace certaine non seulement pour les civilisations agro-pastorales mais aussi et surtout pour les populations pastorales sahéliennes sénégalaises.

Prévoir une capacité d'accueil ou une capacité de charge à partir de ces productions calculées doit donc tenir compte de la fréquence des pluviométries défavorables et des modalités d'exploitation par les sociétés. Cette production, très abondante en début de la saison sèche en effet, est vite détruite soit, par les feux de brousse soit, par une utilisation non contrôlée. Pour pallier ce type de gestion, la prise en compte des données humaines et économiques s'avère nécessaire sinon indispensable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON, K. L. (1942).- A comparison of line transects and permanent quadrats in evaluating composition and diversity of pasture vegetation on the tall-prairie grass type. *Jour. Americ. Soc. Agron.*, 34, 85 - 122
- AUBREVILLE, A. (1949).- Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Paris : Soc. Ed. Géogr. marit. colon.-351p.
- BARRAL, H. (1982).- Le Ferlo des forages: gestion ancienne et actuelle de l'espace pastoral. Dakar : ORSTOM.- 85 p.
- BA, A. S. (1982).- L'Art vétérinaire des pasteurs sahéliens. Dakar : ENDA.- 98p. (Thèse Doct. vét.; 20).
- BARRAL, H. *et al.*, (1983).-Sytèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo: synthèse de fin d'études d'une recherche d'équipes pluridisciplinaires.Paris:GREDAT-ORSTOM.- 112 p.
- BENZECKI, J. P. (1966).- Leçons sur l'analyse factorielle et la reconnaissance des formes.Paris: Inst. Sup.- 79p (Cours du 3^e cycle).
- BERHAUT, J. (1967).- Flore du Sénégal.Dakar: Clairafrique.- 485 p.
- BERNUS, E. (1967).- La cueillette et exploitation des ressources spontanées au Sahel nigérien par les *Kel Tamasheq*. Cah.ORSTOM IV,(1) 31 - 52 (Sciences humaines).
- BLANCOU, J.,CALVET,H., FRIOT,D., VALENZA,J. (1977).- Composition du pâturage naturel consommé par les bovins en milieu tropical : note sur une nouvelle technique d'étude. Dakar: LNERV.- 10 p.
- BILLE, J. C. (1971).- Principaux caractères de la végétation herbacée sahélienne. Dakar: Programme ORSTOM/SAHEL.- 51 p.
- BILLE, J. C. (1973).- L'écosystème sahélien de Fété Olé: essai de bilan au niveau de la production primaire nette annuelle. Dakar: Programme ORSTOM-SAHEL .
- BILLE, J. C. (1974).-Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : Année sèche au Sahel. Extrait de "*La Terre et la Vie*": *Rev. d'Eco. appl.* t.28 n° 1;3 - 130
- BILLE, J. C. (1977).- Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Paris: ORSTOM .- 82 p (Trav. et Doc.; 65)
- BILLE, J. C., LEPAGE, M., POUPON, H; (1972).- Etude d'un écosystème subdésertique : Présentation de la zone d'étude de Fété Olé. Paris : Programme ORSTOM-SAHEL.- 54 p.
- BOUDET, G. (1970).- Les pâturages naturels de la Haute et Moyenne Casamance. (Etude agrost.;27), Paris : IEMVT.
- BOUDET, G., (1974) - Les pâturages et l'élevage au Sahel: notes techniques MAB/UNESCO, 29 - 33.

- BOUDET, G. (1975).- Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Paris : IEMVT.-254 p.
- BOUDET, G. (1977) - Contribution au contrôle continu des pâturages tropicaux en Afrique Occidentale. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.*, **30** (54), 384-406.
- BOUDET, G. (1978).- Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères, 3^e édition. Paris : IEMVT.- 258 p.
- BOUDET, G. (1984).- Recherche d'un équilibre entre production animale et ressources fourragères au Sahel. *Bull. Soc. Languedocienne de Géographie*, **18**, (3-4), 167 - 177.
- BOUDET, G. BAYENS, C. (1963).- Une méthode d'étude et de cartographie des pâturages tropicaux. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.* **16** (2) 191 - 219.
- BOUDET, G., RIVIERE, R. (1967).- Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux. Paris: IEMVT. (Rapport AGROSTO.; 8)
- BRAUN-BLANQUET, J. (1932).- Plant sociology. The study of plant communities. New York, London: McGray Hill.- 439p. (traduit par FULLER, G.D. et CONARD, H.S.).
- CANFIELD, R. H. (1941).- Application of the line intercept method in sampling range vegetation. *Jour. Forestry.*, **39**, 338 - 394.
- CENTRE INTERNATIONAL POUR LA PROMOTION DE L'ELEVAGE EN AFRIQUE
CIPEA (1975).- Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains. Actes du Colloque de BAMAKO, 3-8 Mars 1975, 399 p. + 3cartes.
- CHAMBRIS F., (1988).- Dynamique des pâturages sahéliens: Influence des pluies, du substrat et de l'exploitation animale. Exemple du Ferlo septentrional, Sénégal, 6 années d'observation à LABGAR. Mémoire de Spécialisation ENSA: Montpellier.
- CIBOIS, P. (1983).- L'analyse factorielle : Analyse en composantes principales et analyse des correspondances. Paris. PUF.- 126 p. (Que sais-je)
- CISSOKO, M.S. (1986).- Une étude intégrée de l'influence de la pluviosité, des caractères des espèces, du substrat et de l'exploitation sur la dynamique des écosystèmes sahéliens au Mali. Séminaire régional sur la dynamique des pâturages sahéliens (3 - 8 novembre) Dakar: FAPIS-UNESCO.- 12 p.
- COCHEME, J. FRANQUIN, P. (1967).- Etude agroclimatologique de l'Afrique sèche au Sud du Sahara en Afrique Occidentale. Rome : FAO - 325 p. (Rapport technique)
- CORDIER, B. (1965).- Analyse factorielle des correspondances. Thèse Fac. Sci.: Rennes, 65p.
- CORNET, A. (1981a).- Mesure de la biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal. *Acta Oecologia, Occol. Plant.*, **2**, 16, n° 3, 251-266.
- CORNET, A. (1981b).- Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse Dr Ing.: Montpellier (Univer. Sc. et Techn. de Languedoc).- 353 p.
- CORNET, A. (1984).- Utilisation de modèles simples de bilan hydrique pour déterminer les potentialités de production de parcours en zone sahélienne sénégalaise. Paris : ORSTOM (Trav. et Doc.s/n°)

- DAGET, P., POISSONNET, J. (1971).- Une méthode d'analyse phytoécologique des prairies: critères d'application. *Ann. Agron.*, 22 (1), 5 - 41.
- DAGET, P., TRANCHEFORT, J. (1974).- Une méthode d'analyse diachronique de populations complexes: application au peuplement végétal d'une prairie permanente. Colloque international sur l'utilisation de l'Informatique dans les sciences de l'Environnement. Arlon, 20 au 22 Mai 1974 ; 18 p.
- DAGET, P. GODRON, M. (1982).- Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans des communautés. Paris : Masson.-163p.
- DAGNELIE, P. (1960).- Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle. *Bull. Ser. Cartes phytogéographiques*, 5, 2, 95 - 149.
- DANCETTE, C. (1979).- Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne. *L'Agron. trop.* XXXIV,4:331-335
- DANZART, M. (1981).- Mathématique et Informatique: la Classification automatique. Paris-Grignon.: INSA (Polycopié cours 3^e année)
- DAUBIN, J. J. (1981).- Mathématique et Informatique: Analyse factorielle des correspondances. Paris-Grignon: INSA (Polycopié, cours 3^e année)
- DEGOULET, A. (1984). Etude des pluies journalières de fréquence rare au Mali, en Mauritanie et au Sénégal. Ouagadougou: CIEH.- 129 p. (Série Hydrologie)
- DERVIN, C. (1988).- Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle de correspondances ? INRA/INA/PG/ITCF.- 75p (Mathématique, Informatique, Biométrie).
- DE VRIES, D. M. (1938).- The plant sociology combined specific frequency and order method. *Chronica Botanica*, 4 (2) 115 - 127.
- DE VRIES, F. W. T. DJITTEYE, M. A. (1982).- La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Wageningen : Center for Agricul. Publish. & Document.- 525 p.
- DIALLO, A. K. (1981).- Production primaire au Sahel. Dakar : LNERV.- 10 p. (Rapport de mission, Bamako -Mali- 29 au 31 Janvier 1981).
- DIOP, A. T. (1984).- Inventaire et suivi des ressources en eau du Ferlo . Zone pilote du Projet Ecosystèmes pastoraux sahéliens. Mémoire de confirmation. Dakar : LNERV.- 24p.
- DIONE, M. FAYE, O. TRAORE, M. PEDRO P. P. (1988).- Aménagements pastoraux autour d'un point d'eau : cas du forage de Vindou Thiengoly. Mémoire de stage, FAPIS - UNESCO.
- DUBREUIL, P. (1974).- Initiation à l'analyse hydrologique. Paris : Masson / ORSTOM.- 216 p.
- FAO - PNUE (1988).- Introduction au Projet Ecosystèmes pastoraux sahéliens. Rome : FAO.- 146p.
- FOTIUS, G., VALENZA, J. (1966).- Etude des pâturages naturels du Ferlo oriental. Paris : IEMVT.- 108p. + carte (Etude agrost. :13)
- GASTON, A. DIEYE, K. (1985). - Productivité et gestion des parcours naturels en milieu pastoral sahélien: principes méthodologiques de typologie des parcours et modalités de gestion des systèmes de production de l'élevage. Dakar: ISRA-LNERV

- GILLET, H. GASTON, A. TOURE, I. A. (1986).- Evolution générale des écosystèmes pastoraux sahéliens et lignes directrices pour la surveillance continue, l'aménagement et le gestion. Séminaire régional sur la dynamique des pâturages sahéliens (3 - 8 novembre). Dakar : FAPIS-UNESCO.- 33p.
- GIRI, J. (1983).- Le Sahel de demain : renaissance ou catastrophe. Paris; Ed. KARTHALA.- 325p.
- GODRON, M. (1966).- Une application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation. CEPE / CNRS, Doc. 24, 67p.
- GODRON, M. (1968).- Quelques applications de la notion de fréquence en Ecologie végétale. *Oecol. Plant.*, 3, 185 - 212
- GOODAL, D. W. (1954).- Objective method for the classification of vegetation III. An essay in the use of factor analysis. *Aust. J. Bot.* 2 : 304 - 324.
- GOUNOT, M. (1969).- Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Paris : Masson .- 314p.
- GRAIS, B. (1981).- Méthodes statistiques. Paris: Dunod.- 381 p.
- GREIG-SMITH, P. (1957, 1964).- Quantitative plant ecology. *Butterworths scientific publications*, 198p, 256p
- GROUZIS, M. (1986).- Dynamique et tendances évolutives des phytocénoses sahéliennes au Burkina Faso. Séminaire régional sur la dynamique des pâturages sahéliens (3 - 8 novembre). Dakar: FAPIS-UNESCO.- 15 p.
- GROUZIS, M. (1988).- Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens : la mare d'Oursi au Burkina Faso. Paris : ORSTOM.- 336p. (Collection Etudes et Thèses)
- GROUZIS, M. ALBERGEL, J. (1988).- Environnement et productions agricoles : le cas du Burkina Faso. Colloque International "La crise de l'agriculture africaine". Dakar: 19-23 décembre 1988.
- JEUNE AFRIQUE, (1973).- Le Grand Atlas du Continent Africain, Paris.
- LABROUSSE, C. (1983).- Statistiques : Tome 2; Sciences écon. 2^o année. 4^o Paris : Dunod.- 280 p.
- Le HOUEROU, H. N. HOSTE, C. H. (1977).- Rangeland production and animal rainfall relation in the mediterranean and in the african sahélo-soudanien zone. *Journal of Range Management* 30, 3: 181-189.
- Le HOUEROU, H. N. (1986).- La variabilité de la pluviosité annuelle dans quelques régions arides du monde; les conséquences écologiques. Paris : I.H.E.A.L.
- LEPRUN, J. C. (1986).- Nouvelles observations sur les formations sableuses fixées du Ferlo occidental (Sénégal). *Assoc. sénég. Et. Quater. Ouest afr., Bull. Liaison, Sénégal*, n° 31
- LEVANG, P. GROUZIS, M. (1980).- Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes: application à la mare d'OURSIS en Haute Volta. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 1, (15), n° 3, 31-44.
- LEVY, E.A. MADDEN, A. E. (1933).- The point method of pasture analysis. *New Zeal. Jour. Agr.* 46, 267 - 279.

- LONG, G. (1957).- Description d'une méthode linéaire pour l'étude de l'évolution de la végétation. *Bull. Serv. Carte phytogéogr.* B, 3 (2) 107 - 128.
- MAIGNIEN, R. (1965).- Cartes des sols du Sénégal 1/1000000. Dakar : ORSTOM.
- MAINGUY, P. (1958).- Les herbages tropicaux: revue synoptique des principes et méthodes d'étude. Application à l'échantil-lonnage de la végétation. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.*, 1958, 11, (3), 305-338.
- MALDAGUE, M. TOURE, I. A. SKOURI, M. (1989).- Eléments de stratégie pour une politique agro-sylvo-pastorale au Sahel. Dakar : FAPIS.- 118p.
- MARCHE-MARCHAD, J. J. (1965).- Le monde végétal en Afrique intertropicale. Paris: Edit. de l'Ecole.-471 p.
- NAEGELE, A. F. G. (1968).- Etude des potentialités pastorales de la Forêt classée des six forages ou Réserve sylvopastorale de KOYA. Rome : FAO.- 2 vol.
- NAEGELE, A. F. G. (1971).- Etude et amélioration de la zone pastorale du Nord-Sénégal. Rome : F.A.O.- 163p. + cartes
- NONGONIERMA, A. (1978).- Contribution à l'étude biosystématique du genre ACACIA MILLER (MIMOSACEES) en Afrique occidentale. Thèse : doct. Sci.Dakar.- 20 -120
- PAGOT, J. DERBAL, Z. LAHORTE, J. (1954).- Méthode pratique d'analyse fluorines des pâturages tropicaux. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.*, 1954, 7 (3) : 173-195.
- POISSONNET, P. POISSONNET J. (1969).- Etude comparative de diverses méthodes de la végétation des formations denses et permanentes : conséquences pour les applications agronomiques. C.N.R.S. / C.E.P.E.- 119p (Document; 50)
- POUPON, H. BILLE, J. C. (1974).- Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal: la régénération de la strate herbacée : Influence de la sécheresse sur la strate ligneuse. "La Terre et la Vie": *Rev. d'Ecol. appl.* 28, (1) : 3-13.
- POUPON, H. (1980).- Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Thèse: doct.Sci. Paris-Sud.- 317p. + annexe.
- POUPON, H. BILLE, J. C. (1979).- Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal: La régénération de la strate herbacée. Programme Dakar: ORSTOM/SAHEL (Mémoires 9 à 5)
- RAMBAL, S. CORNET, A. (1982).- Simulation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une phytomasse sahélienne du Sénégal. *Acta Oecologica, Oecologica Plant*, 3 (17), n° 4 : 381-397.
- RAYNAL, J. (1964).- Etude botanique des pâturages du Centre de Recherches Zootechniques - C.R.Z. - de DAHARA-DJOLOFF (Sénégal). Dakar : ORSTOM.-99 p. ronéo. + Annexes (Rapport).
- ROBERT, P. (1988).- Le Petit Robert : Dictionnaire de langue française. Paris : Le Robert.
- ROMANE, F. (1972).- Un exemple d'utilisation de l'analyse factorielle des correspondances en Ecologie végétale. *Grundlagen und Method in der Pflanzensoziologie*, vander Maarel Tuxen eds; verlag. Dr W. JUNK N.V. Den Hang.
- ROBERGE, G. POUCHOR, R. ROCHAMBO, F. de (1987).- Suivi d'hivernage des parcours de la zone sylvopastorale. Dakar: ISRA-LNERV.- 5p.

- SCHWARTZ, D. LAZAR, P.(1978).- Statistique médicale et biologique. 4° édit., Collection Eléments de statistique. Paris: Flammarion (Médecine-Sciences).
- SCHWARTZ, D. (1980).- Méthodes statistiques à l'usage des Médecins et Biologistes. 3° édition Collection statistique en Biologie et en Médecine. Paris : Flammarion.-318p. (Médecine-Sciences)
- SENEGAL, MIN. TRAV. TRANSP. ET MINES (1960).-Le climat du Sénégal : données statistiques. Dakar : Service météo.- 41 p.
- SENEGAL, MIN. INT. SECRET. D'ETAT CHARGE A LA DECENTRALISATION (1984).- Schéma national d'aménagement du territoire : version préliminaire. Dakar.
- SENEGAL, MIN. DE LA PROTECT. DE LA NATURE. PROJET SENEGALO-ALLEMAND DE REBOISEMENT : PSAR.(1982) Inventaire et suivi (Monitoring) dans la parcelle d'élevage de Widdu Thiengoly (Ferlo sénégalais). Hamburg.- 84p. + 26p.annexes (Rapport).
- SENEGAL, MIN. DE LA PROTECT. DE LA NATURE. PROJET SENEGALO-ALLEMAND DE REBOISEMENT : PSAR.Rapports annuels 1982 à 1988. Saint-Louis.
- SENEGAL, SECRET; D'ETAT AUX RESSOURCES ANIMALES, SOCIETE DE DEVELOPPEMENT DE L'ELEVAGE DANS LA ZONE SYLVO-PASTORALE (1985).- Décret n° 85 - 066 portant concession de la gestion et de l'exploitation des forages du 19 Octobre 1985. Dakar.
- SENEGAL, DIRECTION NATIONALE DE L'ELEVAGE : DNE. Rapports annuels 1986 à 1988. Dakar.
- SENEGAL, DIRECTION NATIONALE DE L'ELEVAGE (1988).- Hydraulique pastorale : situation actuelle et besoins complémentaires. Dakar : DNE.- 7p.
- SICOT, M. GROUZIS, M. (1981).-Etudes méthodologiques : l'estimation de la production fréquentielle du bassin versant de la mare d'Oursi en Haute-Volta. Ouagadougou: ORSTOM.- 33 p. Multigr.
- TOUTAIN, B. DEWISPELAERE, G. (1978).- Etude des effets de la mise au repos temporaire de quelques formations végétales sahéniennes dégradées sur leur évolution. Paris : DGRST / IEMVT. 67p. multigr.
- TOUTAIN, B., LHOSTE, P. (1978b).- Essai d'estimation du coefficient d'utilisation de la biomasse herbacée par le bétail dans un périmètre sahéni. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.*, 30 (1), 95 - 101
- VALENTIN, G. (1981).- Systèmes de production d'élevage au Sénégal: évolution du sol: piétinement, érosion hydrique et éolienne. GRIZA/LAT/ORSTOM.- 18 p.
- VALENZA, J. (1970).- Etude dynamique de différents types de pâturages naturels en République du Sénégal. Proceed. XIth Grassland Congr. 208, Surfers Paradise, Queensland, Australia.
- VALENZA, J. (1977).- Dynamique de quelques types de pâturages naturels sahélo-soudaniens en République du Sénégal. XIIIth International Grassland Congress du 18 - 27 mai 1977. Liepzig.- 13p.
- VALENZA, J. (1979).- Surveillance continue des pâturages naturels sénégalais: résultats de 1974 à 1978. Dakar: LNERV.- 37p.

- VALENZA, J. (1981).- Productivité et valeurs alimentaires des pâturages sahéliens sénégalais: facteurs limitants de l'intensification de l'élevage. Séminaire national sur la Production animale. (24 au 26 Mars 1981) Dakar.- 7p.
- VALENZA, J. (1984).- Surveillance continue des pâturages naturels sahéliens sénégalais: Résultats de dix années d'observations. Dakar: LNERV. 2 vol.
- VALENZA, J. DIALLO, A. K. (1972).- Etude des pâturages du Nord Sénégal. Paris : IEMVT.- 311 p., 1 carte coul. 1/200 OOO, 3 feuilles. (Etude agrost.,34)
- VALENZA, J. FAYOLLE, F. (1965).- Note sur les essais de charge des pâturages naturels au Sénégal. *Rev. El. Med. vét. Pays trop.*, 1965, 18 : 321-327.
- VENTSEL, H. (1973).- Théorie des probabilités. Moscou : MIR.- 563p

ANNEXE 1. LISTE DES ESPECES
FLORISTIQUES RENCONTREES

- 42 *Alysicarpus ovalifolius* (Schum. et Thom.)
J. Léonard Fabaceae
- 77 *Aristida funiculata* Trin. et Rupr Poaceae
- 80 *Aristida mutabilis* Trin. et Rupr. Poaceae
- 83 *Aristida longiflora* Schum. Poaceae
- 84 *Aristida stipoïdes* Lam. Poaceae
- 104 *Boerhavia repens* L. ssp. *diandra* (L.)
Maire et Weiller Nyctaginaceae
- 110 *Spermacoce radiata* DC. Rubiaceae
- 112 *Spermacoce stachydea* DC. Rubiaceae
- 116 *Brachiaria stipitata* Hubb. Poaceae
- 122 *Brachiaria ramosa* (L.) Stapf Poaceae
- 123 *Brachiaria xantholeuca* (Hach. ex Schinz)
Stapf Poaceae
- 143 *Cassia obovata* Collad. Caesalpiaceae
- 144 *Cassia mimosoides* L. Caesalpiaceae
- 148 *Cassia obtusifolia* L. Caesalpiaceae
- 153 *Cenchrus biflorus* Roxb. Poaceae
- 154 *Cenchrus prieuri* (Kunth) Maire Poaceae
- 158 *Ceratothera sesamoides* Endl. Poaceae
- 163 *Chloris prieuri* Kunth. Poaceae
- 167 *Chrozophora senegalensis* (Lam.) A. Juss.
ex Spreng Euphorbiaceae
- 173 *Cleome tenella* L.f. Capparaceae
- 174 *Cleome viscosa* L. Capparaceae
- 181 *Colocynthis citrulus* (L.) O.Ktze. Cucurbitaceae
- 182 *Colocynthis vulgaris* Shtad. Cucurbitaceae
- 194 *Commelina forskalaei* Vahl. Commelinaceae
- 201 *Corchorus fascicularis* Lam. Tiliaceae
- 203 *Corchorus tridens* L. Tiliaceae
- 221 *Crotalaria perottetii* DC. Fabaceae
- 233 *Cucumis melo* L. Cucurbitaceae
- 262 *Dactyloctenium aegyptium* (L.) P. de B. Poaceae
- 267 *Desmodium setiserum* (E. Mey) Benth.
ex Harit. Fabaceae
- 277 *Digitaria gayana* (Kunth.) Stapf. ex Chev. Poaceae
- 280 *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. Poaceae
- 315 *Eragrostis ciliaris* (L.) R. Br. Poaceae
- 316 *Eragrostis dominsensis* (Per.) Steud. Poaceae
- 322 *Eragrostis pilosa* P. B. Poaceae
- 326 *Eragrostis tremula* Hochst. ex Steud. Poaceae
- 338 *Euphorbia serpens* H.B.K. Euphorbiaceae
- 354 *Fimbristylis hispidula* (Vahl.) Kunth. Cyperaceae
- 362 *Gisekia pharnacioides* L. Aizoaceae
- 379 *Heliotropium undulatum* Vahl. Boraginaceae
- 384 *Heliotropium strigosum* Willd. Boraginaceae
- 422 *Indigofera aspera* Perr. ex DC. Fabaceae
- 423 *Indigofera astragalina* DC. Fabaceae
- 428 *Indigofera diphylla* Vent. Fabaceae
- 439 *Indigofera pilosa* Poir. Fabaceae
- 444 *Indigofera senegalensis* Lam. Fabaceae
- 460 *Ipomea pes-tigridis* L. Convolvulaceae

- 482 *Oldenlandia grandiflora* (DC.) Hiern. Rubiaceae
 483 *Oldenlandia senegalensis* (Cham. et Schl.)
 Hiern. Rubiaceae
 494 *Lepidagathis scarlosa* Nees. Asclepiadaceae
 495 *Leptadenia hastata* (PERS.) Decne Acanthaceae
 498 *Latipes senegalensis* Kunth. Poaceae
 500 *Limeum linifolium* Fenzl. Aizoaceae
 501 *Semonvillea pterocarpa* Gay. Molluginaceae
 502 *Limeum viscosum* (Gay) Fenzl. Aizoaceae
 530 *Merremia pinnata* (Hochst. ex Choisy) Hall. f. Convolvulaceae
 531 *Merremia tridentata* (L.) Hallier. f. Convolvulaceae
 534 *Mimosa pigra* L. Mimosaceae
 538 *Mollugo nudicaulis* Lam. Boraginaceae
 544 *Monsonia senegalensis* Guill. et Per. Geraniaceae
 617 *Polycarpaea lineariifolia* (D.C) D.C. Caryophyllaceae
 626 *Portulaca foliosa* Ker-Gawl. Portulacaceae
 627 *Portulaca grandifolia* Hook. Portulacaceae
 628 *Portulaca oleracea* L. Portulacaceae
 672 *Schoenefeldia gracilis* Kunth Poaceae
 749 *Tephrosia bracteolata* Guill. et Per. Fabaceae
 751 *Tephrosia linearis* (Willd) Pers. Fabaceae
 757 *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. Fabaceae
 767 *Tragus berteronianus* Schuwlt. Poaceae
 768 *Tragus racemosus* (L.) All. Poaceae
 771 *Tribulus terrestris* L. Zygophyllaceae
 807 *Zornia glochidiata* Reichb. ex DC. Fabaceae
 872 *Ascolepis protea* Welw. Cyperaceae
 1631 *Eriospermum abyssinicum* Bak. Liliaceae

ANNEXE 2. PLUVIOMETRIE ESTIMEE ATOUR
DU FORAGE DE WIIDDU THIENGOLI (1940
à 1988).

ANNEES PLUVIOMETRIE
(mm/an)

1940	216.5
1941	189.2
1942	280.4
1943	316.6
1944	240.3
1945	240.5
1946	316.2
1947	225.0
1948	296.0
1949	349.5
1950	294.0
1951	410.0
1952	415.0
1953	384.0
1954	311.0
1955	282.0
1956	327.0
1957	438.0
1958	371.0
1959	206.0
1960	381.0
1961	365.0
1962	273.0
1963	380.0
1964	329.0
1965	341.0
1966	450.0
1967	390.0
1968	213.0
1969	422.0
1970	268.0
1971	229.0
1972	134.0
1973	274.0
1974	259.0
1975	315.0
1976	342.0
1977	233.0
1978	287.0
1979	202.0
1980	197.0
1981	193.0
1982	184.0
1983	120.0
1984	131.0
1985	302.0
1986	349.0
1987	281.0
1988	335.0