

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Faculté des Sciences Agronomiques
Unité des Eaux et Forêts



LA DEGRADATION DES SYSTEMES ECOLOGIQUES SAHELIENS

**EFFETS DE LA SECHERESSE ET DES FACTEURS ANTHROPIQUES SUR
L'EVOLUTION DE LA VEGETATION LIGNEUSE DU FERLO
(SENEGAL)**

Promoteur: F. Devillez (UCL)
Co-promoteur: M. Grouzis (ORSTOM)

Mémoire de fin d'études
présenté par
Caroline Vincke
en vue de l'obtention du diplôme
« Ingénieur Agronome »;
orientation Eaux et Forêts.

Année Académique 1994-1995

Avant-Propos

Avant d'exposer les résultats de ce mémoire, réalisé au Laboratoire d'Ecologie de l'ORSTOM Dakar, j'aimerais adresser mes remerciements à toutes les personnes qui en ont permis la réalisation

Monsieur F. Devillez, chef de travaux et chargé d'enseignement à la Faculté des Sciences Agronomiques, Unité des Eaux et Forêts, pour ses conseils précieux et sa disponibilité en tant que promoteur de ce mémoire

Docteur M. Grouzis, Responsable du Laboratoire d'Ecologie végétale du centre ORSTOM de Dakar, pour m'avoir accueillie au sein de son équipe pendant toute la durée de mon mémoire au Sénégal. Sa constante disponibilité, sa rigueur scientifique, son dynamisme au sein du Laboratoire ont été autant de facteurs qui m'ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions. Je tiens ici à le remercier tout particulièrement pour son enseignement précieux

Monsieur P. Mathieu, Directeur de l'ORSTOM Dakar, pour avoir rendu possible mon séjour au sein de cet Institut

Monsieur P. André et Monsieur T. Avella pour leurs conseils avisés et leur appui

Monsieur F. Lints, Monsieur B.-P. Louant et Monsieur J.-L. Blanchez, pour avoir accepté de juger ce travail et de participer au jury

Monsieur M. Herman, pour son soutien et ses conseils tout au long de la réalisation de ce travail.

Monsieur A. Rocheteau pour sa constante disponibilité et son aide dans le domaine de l'informatique

Monsieur I. Diedhiou pour son aide précieuse sur le terrain ainsi que pour ses conseils pertinents.

Docteur L.-E. Akpo et Macoumba Diouf pour les discussions fort intéressantes que nous avons eues tout au long de ce travail.

Tous les techniciens du Laboratoire d'Ecologie: Mbaye Youm, Hamédine Samb et Hyacinthe Tendeng.

Nombreux sont ceux qui méritent d'être remerciés parmi ma famille, mes professeurs et mes amis. Je ne peux tous les citer ici mais je leur exprime toute ma gratitude.

Liste des figures

Figure 1: Etat de la dégradation en Afrique, en 1990.

Figure 2: Modélisation de quelques solutions au problème de la dégradation.

Figure 3: Localisation du Sahel en Afrique. *Source: Le Houérou, (1989)*

Figure 4: La Zone Sylvo-Pastorale au Sénégal. *Source: Anonyme, (1991)*

Figure 5: Situation des deux sites d'étude. *Source: Valenza et Diallo, (1972)*

Figure 6: Carte des isohyètes du Sénégal. *Source: Diedhiou, (1994).*

Figure 7: Saison sèche (1), saison des pluies (2) et bilan hydrique climatique à Dagana: 1919/1988
Source: Le Houérou (1989)

Figure 8: Série pluviométrique de Dagana.

Figure 9: Série pluviométrique de Dahra.

Figure 10: Coupe hydrogéologique du Sénégal. *Source: Anonyme, (1983)*

Figure 11: Le site d'étude de Fété-Olé.

Figure 12: L'aire d'influence du forage de Tatki. *Source: Valenza et Diallo (1972).*

Figure 13a: AFC de la matrice 100 rel. x 19 sp. de Fété-Olé. Carte factorielle des relevés dans le plan 1-2 (Rel. 88 en individu supplémentaire).

Figure 13b: AFC de la matrice 100 rel. x 19 sp. de Fété-Olé. Carte factorielle des espèces dans le plan 1-2 (Rel. 88 en individu supplémentaire).

Figure 14a: AFC de la matrice 79 rel. x 16 sp. de Fété-Olé. Carte factorielle des relevés dans le plan 1-2 (Rel. 88 en individu supplémentaire).

Figure 14b: AFC de la matrice 79 rel. x 16 sp. de Fété-Olé. Carte factorielle des espèces dans le plan 1-2 (Rel. 88 en individu supplémentaire)

Figures 15a et 15b: Régénération de sept espèces à Fété-Olé, par élément de relief, en 1995.

Figure 16: Evolution de la population ligneuse par hectare d'élément de relief.

Figure 17: Structure comparée de la population de sept espèces à Fété-Olé, entre 1976 et 1995.

Figure 18: Evolution de la densité de la population de quatre espèces ligneuses en fonction de l'élément de relief (Moyenne \pm IC pour $p=0.05$)

Figure 19: Répartition de *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis* par hectare d'élément de relief et par hectare du quadrat (Q).

Figure 20: AFC de la matrice 23 sp. x 6 rel. de Tatki. Carte factorielle des espèces et des relevés dans le plan 1-2.

Figure 21: AFC de la matrice 21 sp. x 4 rel. de Tatki. Carte factorielle des espèces et des relevés dans le plan 1-2.

Figure 22: Evolution de quatre espèces par rapport à la distance au forage.

Figure 23: Evolution de quatre paramètres en fonction de la distance au forage (km).

Liste des Tableaux

Tableau 1: Liste floristique des espèces observées à Fété-Olé (Berhaut, 1967).

Tableau 2: Les sept espèces les plus fréquentes à Fété-Olé.

Tableau 3: Etat des lieux à Fété-Olé en 1995

Tableau 4: Tests de comparaisons de moyennes pour quatre espèces.

Tableau 5: Evolution de la végétation à Fété-Olé entre 1976, 1983 et 1995.

Tableau 6: Résultats de l'analyse de variance effectuée sur le groupe des versants et sommets.

Liste des Annexes

Annexe 1: Liste des abréviations

Annexe 2: Fréquence (%) par parcelle de chaque espèce observée sur le quadrat de Fété-Olé.

Annexe 3: Fréquence de chaque espèce en fonction de la distance au forage de Tatki.

Introduction

Depuis plusieurs années, de nombreux scientifiques se sont engagés dans le débat sur la dégradation des écosystèmes. Ce débat est particulièrement d'actualité dans le domaine de la gestion des ressources naturelles en zones arides et semi-arides.

Aucun auteur ne conteste vraiment l'existence de cette dégradation, mais peu d'entre eux s'accordent sur sa définition, ses causes, ses manifestations. En effet, il est difficile de raisonner sur ce sujet, car il manque souvent un certain nombre d'éléments, parmi lesquels

- l'écosystème de référence,
- les indicateurs d'évolution du système,
- des données disponibles au niveau spatial et temporel

La plupart des scientifiques qui s'intéressent au problème de la dégradation tentent d'en déterminer les causes. C'est à ce niveau que les avis divergent. Globalement, il y a ceux qui privilégient les causes climatiques, telle que la sécheresse qui sévit au Sahel depuis une vingtaine d'années, et ceux qui privilégient les causes anthropiques, c'est à dire les activités humaines. Parmi ces activités humaines, citons les pratiques agricoles inadaptées, la déforestation, la surexploitation des arbres et arbustes pour les usages domestiques, et le surpâturage par le bétail.

La dégradation des écosystèmes sahéliens étant généralement admise, l'objectif premier de ce mémoire est d'évaluer les variations, au cours d'une vingtaine d'années, d'un certain nombre d'indicateurs écologiques. Le deuxième objectif est de tenter de déterminer les causes de ces variations, en particulier le rôle respectif de la sécheresse et des facteurs anthropiques.

Cette étude porte sur le Ferlo, situé en zone sahélienne au nord du Sénégal. Cette zone est aussi appelée Zone Sylvopastorale car l'activité principale de ses populations y est l'élevage extensif. Le cheptel est estimé à 430 000 bovins et à 610 000 petits ruminants (Ndiaye, 1993).

Cette zone a été retenue en raison des nombreux travaux qui y ont été réalisés

- le Programme Biologique International (1970-1980),
- le Programme Recherche/Développement du Comité Lutte contre l'aridité en Milieu Tropical de la DGRST¹ Française (1980-1983),
- le Programme GEMS (1972-1987),
- le Programme GTZ (1975-1994),
- le Programme Arbre/Herbe (ORSTOM 1988-1992),
- le Programme de Réhabilitation des terres dégradées (CCE/ORSTOM 1992-1996)

L'abondance des données fournies par ces programmes de recherche nous a permis d'effectuer des comparaisons entre nos observations et les leurs. Cela nous a procuré le recul nécessaire

¹ Délégation Générale de Recherche Scientifique et Technique

pour étudier l'évolution de la population ligneuse dans cette région du Ferlo depuis le début des observations et ce jusqu'en 1995.

Comme notre étude a été réalisée en saison sèche, les indicateurs ne concernent que la strate ligneuse, car la strate herbacée, composée essentiellement de thérophytes, a disparue. De plus, en tant que future Ingénieur Agronome, orientation Eaux et Forêts, l'étude de la strate ligneuse d'une savane sahélienne m'intéressait vivement, car cela me permettait de confronter ma vision « tempérée » de la gestion des forêts, avec celle, particulière, qui s'applique aux ligneux des zones arides.

Pour permettre de répondre à nos questions, deux sites appartenant au même climat régional, au même type de sol, à la même formation végétale, mais caractérisés par un degré d'anthropisation différent ont été retenus. Il s'agit de

- Fété-Olé, site du programme PBI, suivi depuis 1976 et relativement peu artificialisé compte tenu de sa relative distance aux forages (environ 20 km),
- L'aire d'influence du forage de Tatki, très fréquentée par les populations d'éleveurs nomades Peulhs car le forage permet aux hommes et aux animaux d'avoir accès à l'eau au cours de la saison sèche.

Dans notre travail nous allons confronter les résultats que nous avons obtenus sur ces deux sites, et nous les discuterons par rapport à ce qui est disponible dans la littérature.

Le présent mémoire comporte quatre parties. Dans la première nous tenterons de synthétiser brièvement les connaissances sur la dégradation. La zone d'étude et les méthodologies d'approches seront décrites dans la deuxième partie. Les principaux résultats seront exposés dans la troisième partie et la quatrième partie présentera la discussion et les conclusions concernant notre étude.

Première partie:

**La dégradation des zones arides et
semi-arides en Afrique.**

L'état des connaissances.

1.- Quelques définitions:

Avant d'aborder ce débat sur la dégradation des zones arides et semi-arides, il est nécessaire de préciser les définitions de quelques termes afin de bien montrer qu'il existe déjà à ce niveau des opinions divergentes selon les auteurs². Pour chaque terme ci-dessous nous donnons les diverses définitions trouvées dans la littérature

Aridité:

- « ...ensemble de facteurs climatiques qui caractérisent une région, dont la pluie représente le facteur limitant crucial. Un tiers de la surface des continents est considéré comme zone aride ou semi-aride, ce qui recouvre 60 pays. » (Toupet, 1984).

- « ... l'expression zones arides, semi-arides et subhumides sèches désigne les zones, à l'exclusion des zones arctiques et subarctiques, dans lesquelles le rapport des précipitations annuelles à l'évapotranspiration potentielle se situe dans une fourchette allant de 0.05 à 0.65. » (UN, 1994).

Dégradation d'une terre:

- «... c'est la perte de résilience. En effet, la dégradation se définit par rapport à la capacité de maintien d'un écosystème. La dégradation est inférieure à la désertification, mais elle est beaucoup plus courante donc plus dangereuse ...» (Warren et Agnew, 1988)

- «... déclin irréversible de la production de bétail, donc dans le sol et la végétation. Elle est fonction du type de gestion de l'espace (conservationniste, productif...)... » (Behnke et al., 1993)

- «... elle est provoquée par certaines méthodes d'utilisation des terres dans des conditions écologiques délicates. Elle se manifeste par un déclin persistant de la productivité de la végétation et des sols ...» (Toulmin, 1993).

Ces deux dernières définitions centrent la dégradation par rapport aux activités de l'homme, et non simplement comme une manifestation de perturbations naturelles.

- «... ce sont les conséquences d'un surpâturage... » (Anonyme, 1982)

Cette définition attribuée à un mode de gestion de l'espace toute la responsabilité de la dégradation, mais n'en explique pas les manifestations

- « ...L'expression dégradation des terres désigne la diminution ou la disparition dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique [...] du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que:

i) l'érosion des sols causée par le vent et /ou l'eau;

ii) la détérioration des propriétés physiques, chimiques, biologiques, ou économique des sols, et

² D'où l'affirmation des auteurs de (UN, 1994). que définir correctement les termes intervenant dans la recherche sur la dégradation doit être la préoccupation première de tout scientifique s'intéressant à ce problème. C'est d'ailleurs ce en quoi consiste l'article premier de la Première partie de l'analyse consacrée à ce sujet par la source citée.

iii) la disparition à long terme de la végétation naturelle. » (UN, 1994).

Cette dernière définition ne charge pas l'homme de toute la responsabilité de ce phénomène, tout en expliquant quels types de dégradation il peut provoquer par ses activités.

Il existe donc des définitions qui constatent la dégradation et décrivent ses manifestations, et d'autres qui tentent déjà de l'expliquer en montrant du doigt un certain mode de gestion de l'espace

Le terme dégradation est très souvent confondu avec celui de désertification dont nous donnons des définitions ci-dessous

Désertification:

- « ...extension de paysages désertiques, due à un déficit pluviométrique et à une intervention de l'homme... » (Toupet, 1984)

- « forme extrême de dégradation des terres, dont le recouvrement par la végétation est inférieur à 35%... » (Warren et Agnew, 1988)

- « ...conséquence d'une trop forte influence de l'homme sur le système écologique qui se manifeste par une destruction du potentiel écologique. Et le climat ne fait que renforcer les choses... » (Anonyme, 1982)

- « ...Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides semi-arides et subhumides sèches résultant de divers facteurs, dont les variations climatiques et les activités humaines... » (UN, 1994)

Il n'y a pas de contradictions profondes entre ces définitions. Elles se complètent plus qu'elles ne s'opposent

Une dernière définition mérite d'être exposée. En effet, le concept même de lutte contre la dégradation, qui justifie toutes les études réalisées sur ce sujet, s'est modifié. L'expression « combattre la désertification » est devenue « améliorer la gestion des ressources naturelles dans les zones arides » (Toulmin, 1993). Ceci est appuyé par les auteurs de la Convention Internationale pour la lutte contre la désertification (UN, 1994) qui expliquent que « L'expression lutte contre la désertification désigne les activités qui relèvent de la mise en valeur intégrée des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, en vue d'un développement durable et qui visent à:

- i) prévenir et/ou réduire la dégradation des terres;
- ii) remettre en état les terres partiellement dégradées, et
- iii) restaurer les terres désertifiées »

Cette nouvelle perception de la notion de « lutte contre... » montre que l'on considère actuellement la dégradation non plus comme un phénomène inéluctable, mais bien comme quelque chose que l'on peut tenter de « gérer » en s'intéressant aux modes de gestion de l'espace pratiqués dans les régions touchées par la dégradation.

On voit bien que selon les définitions données aux différents phénomènes cités ci-dessus, le débat sur les causes de chacun d'entre eux, en particulier celui sur la dégradation, sera déjà orienté au départ. Ces différentes définitions montrent toute la prudence dont il faut se doter lorsque l'on aborde le sujet sensible de la dégradation

2.- La dégradation: ses manifestations, les indicateurs qui permettent de la diagnostiquer.

Dans notre exposé, nous ne parlerons que de la dégradation dans les terres arides et semi-arides. Selon Brabant (1992), elle peut se manifester par différents phénomènes dont les principaux sont:

- une érosion hydrique ou éolienne, si les précipitations sont supérieures à 300-400 mm (ce qui n'est pas le cas dans la zone sahélienne qui nous intéresse)
- une dégradation des terres, qui peut être
 - * chimique: perte d'éléments nutritifs et d'humus, salinisation, acidification, pollution...
 - * physique: compaction (passage répété des hommes et de leurs troupeaux), prise de masse, variations du régime hydrique...

En Afrique, la dégradation présente quelques particularités: on y observe peu de phénomènes de salinisation (à l'exception des zones irriguées et de l'Afrique du nord), et peu de pollution par les engrais et les pesticides. La dégradation s'y manifeste plutôt par une érosion hydrique diffuse (décapage des couches superficielles) et par une perte d'éléments nutritifs et d'humus. Au cours du processus de dégradation, le sol perd en fait un certain nombre de ses propriétés essentielles de surface (Brabant, 1992). Il s'agit d'une dégradation structurelle du sol avec ses conséquences.

Par des observations sur le terrain et des interprétations d'images satellitaires, on peut dresser un état des lieux général de la dégradation en Afrique (Brabant, 1992), représenté sur la Figure 1.

Nous présentons ci-dessous le détail des zones représentées sur cette carte.

- les terres exploitables non dégradées ou peu dégradées sont de cinq types:

- * les terres qui sont sous végétation naturelle, qui n'ont jamais été défrichées (forêt dense équatoriale),
- * les terres laissées en friche depuis longtemps (forêts secondaires);
- * les terres défrichées, cultivées, stabilisées par les pratiques agricoles (irrigation, reboisement),
- * les terres cultivées non stabilisées,
- * les parcs et réserves naturelles

- les terres exploitables dégradées

La dégradation y est qualifiée de moyenne si la restauration est encore possible par les agriculteurs. Cependant l'investissement nécessaire est important, et dans le contexte économique actuel il nécessite une aide extérieure et des subventions. Par contre, la dégradation est qualifiée de forte à très forte si la restauration est hors de portée des agriculteurs, même avec l'aide de subventions.

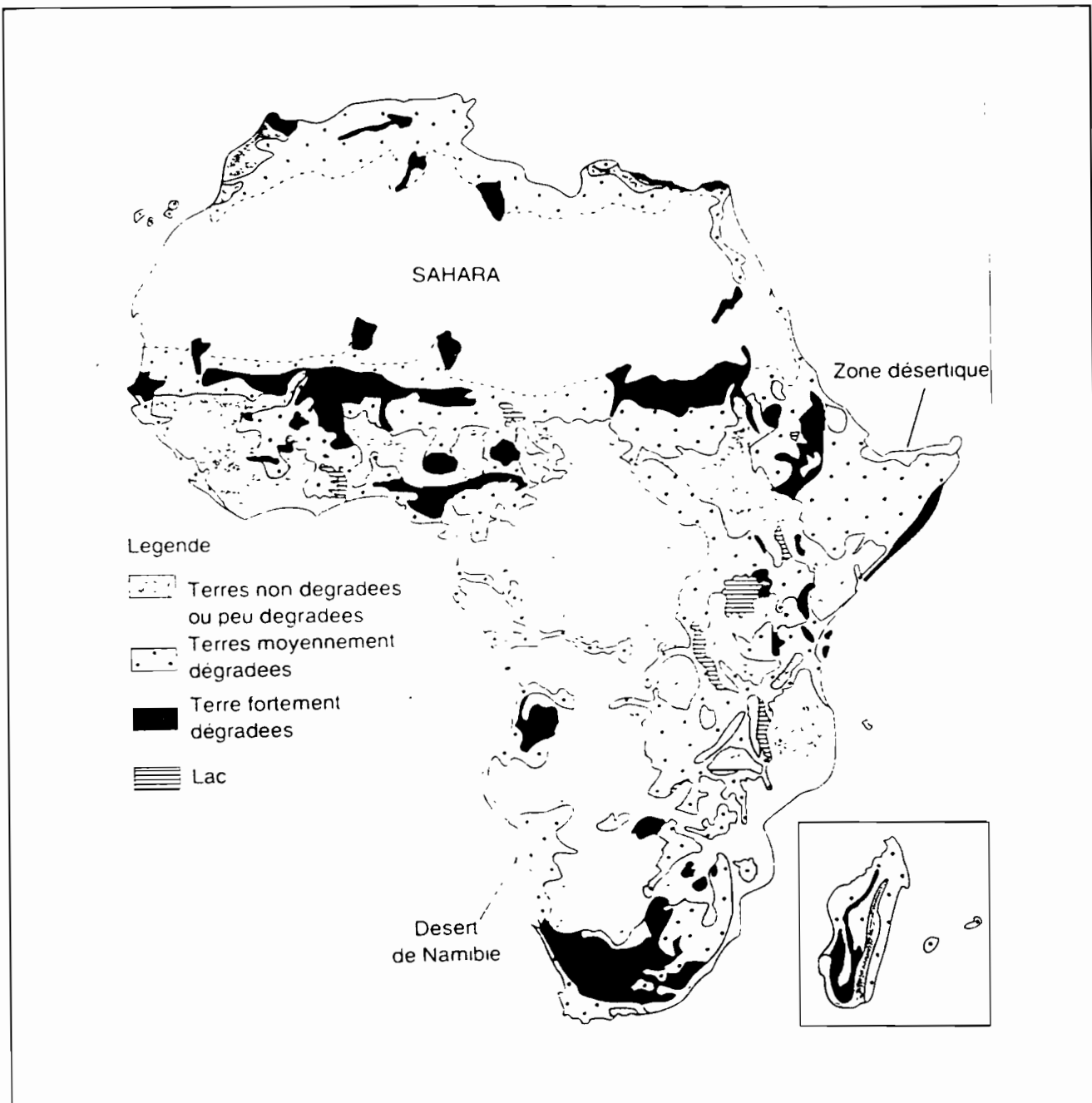


Figure 1: Etat de la dégradation en Afrique. en 1990.

Comme nous l'avons vu, les définitions de la dégradation sont contradictoires et la valeur diagnostique de la plupart des critères de désertification est limitée. Ceci crée des problèmes lors de tentative d'évaluation du taux de dégradation des terres. En effet.

- 1- comment fixer la norme (écosystème de référence) en fonction de laquelle évaluer la situation actuelle?
- 2- comment estimer la résilience de l'écosystème?
- 3- comment déterminer si la diminution de productivité est temporaire ou à long terme?
- 4- les données disponibles sont insuffisantes tant au niveau spatial que temporel
- 5- les données sont rarement mises en rapport avec la capacité de maintien des systèmes locaux d'utilisation des terres (Warren et Agnew, 1988)

Certains auteurs sont néanmoins parvenus à identifier des critères permettant de diagnostiquer ou d'évaluer une dégradation. Selon Warren et Agnew (1988), la dégradation peut-être évaluée sur base de:

- 1- la productivité: c'est la quantité de matières végétales produite par unité de surface et de temps. Si elle diminue alors on parle de dégradation. Il faut dans ce cas déterminer la spécificité d'échelle (temps et espace) de l'évaluation de cette productivité et la spécificité environnementale³ de l'écosystème étudié
- 2- la résilience c'est la capacité d'un écosystème à retourner à une trajectoire de succession préalable, après avoir été dégradé par des perturbations externes. C'est un indicateur de santé et d'intégrité d'un écosystème (Aronson *et al.*, 1993). Évaluer la résilience est difficile car cela met en jeu le mode de gestion de l'espace. En termes de résilience, la mise en culture est d'ailleurs plus dangereuse que le broutage par les animaux domestiques. Au Sahel, il y a une bonne résilience des écosystèmes, à condition que les cycles d'années déficitaires soient espacés et d'une durée maximale de 2 à 3 ans, et que les effets de l'érosion éolienne soient tels, qu'ils n'aient pas contribué à éliminer tous les stocks de semences viables (Poissonet *et al.*, 1992)

Ces deux critères n'évoluent pas forcément dans le même sens. En effet, au niveau des zones arides et semi arides, la productivité peut diminuer à court terme car le climat varie, mais l'écosystème étudié peut avoir une bonne résilience à long terme.

En ce qui concerne l'intensité de la dégradation, deux constatations sont à faire. On peut observer une diminution plus ou moins forte de la productivité des terres mais aussi une détérioration de l'une ou de plusieurs des cinq fonctions essentielles du sol: support de plantes, réservoir d'eau, régulation de température, banque d'éléments nutritifs, usine biologique de transformation et d'épuration (Brabant, 1992). Warren et Agnew (1988) font la distinction entre dégradation aiguë et dégradation chronique. La première n'affecte que de petites parties de paysages semi-arides et ne persiste que rarement. La seconde signifie un déclin chronique de productivité.

Malgré l'identification de certains critères de dégradation tels que la productivité et la résilience, toute tentative de quantification de la dégradation se heurte à quatre problèmes principaux (Warren et Agnew, 1988)

- 1- définition de l'utilisation des terres.
- 2- évaluation de l'impact de la dégradation.
- 3- détermination des causes naturelles ou induites,
- 4- nature épisodique du phénomène

Nous allons tenter de préciser un peu plus ces points, en particulier celui concernant les causes de la dégradation.

³ Précisons que dans les zones arides et semi-arides, le concept d'environnement n'est pas nécessairement un concept de protection de la nature, mais bien plutôt un concept de gestion des ressources naturelles

3.- Les conditions/causes de la dégradation:

Dans le débat sur les causes de la dégradation, différentes thèses sont en présence.

Il y a celles qui privilégient les causes climatiques, et qui sont défendues par les spécialistes de climatologie, de géologie et de sciences humaines. Selon eux, l'indicateur le plus précieux quant au passage entre équilibre et déséquilibre écologique, c'est la persistance d'un déficit pluviométrique qui s'observe au Sahel depuis une vingtaine d'années (Behnke *et al*, 1993)

Et puis il y a les thèses qui privilégient les causes anthropiques malgré que la pluviométrie ait connu une forte régression depuis 20 ans, étant donné que les sécheresses reviennent régulièrement (elle font partie des risques du milieu sahélien), la péjoration du couvert végétal a pour principal auteur l'homme dont la pression sur le milieu augmente brutalement en période de sécheresse (Grove, 1977; Le Houérou, 1976)

Mais que l'on soit partisan d'une école ou de l'autre, on se trouve devant une difficile interprétation des faits et devant des preuves imparfaites

3.1.- Arguments en faveur d'une dégradation due au climat:

Le principal facteur climatique évoqué est la sécheresse. En voici trois définitions, qui montrent bien que si les auteurs s'accordent sur une définition générale, certains spécifient un peu plus les manifestations de ce phénomène

Sécheresse:

- « ...*phénomène accidentel, de durée et de périodicité variables, avec un déficit anormal en eau. Ses conséquences sont une diminution de la flore, de la couverture végétale et de la production agricole...* » (Toupet, 1984). Cette définition décrit les manifestations générales du phénomène, sans parler des causes qui le provoque

- « ...*mesure de la convenance du climat à une fin spécifique. Exemple: sécheresse « pastorale », sécheresse « d'écosystème » ou sécheresse « du milieu ». La sécheresse peut accélérer la dégradation en diminuant la fourniture en eau des systèmes déséquilibrés par la surexploitation...* » (Warren et Agnew, 1988) Dans cette définition, les auteurs différencient plusieurs types de sécheresse en fonction du mode de gestion de l'espace. Ils orientent de plus le débat sur la dégradation, en spécifiant que la sécheresse n'est pas dégradante en soi, mais qu'elle peut accentuer la dégradation de terres déjà détruites par les activités humaines.

- « ...*ce terme désigne le phénomène naturel qui se produit lorsque les précipitations ont été sensiblement inférieures aux niveaux normalement enregistrés, ce qui provoque de graves déséquilibres hydrologiques préjudiciables aux systèmes de production des ressources en terres...* » (UN, 1994). Cette définition parle des causes naturelles du phénomène et de leurs conséquences sur les systèmes de production, sans spécifier si ceux-ci sont dégradants ou non

En fait, la question est de savoir si les épisodes de sécheresse observés depuis vingt ans s'inscrivent dans un processus d'aridification continue et irréversible ou bien si ce sont seulement des pulsations périodiques naturelles (Toupet, 1984). Plus simplement, on se demande s'il existe des « cycles » climatiques.

Les recherches s'effectuent sur deux plans:

- 1- établir un répertoire des sécheresses anciennes, indiquant leur date, leur rythme, leurs conséquences;
- 2- commencer une recherche d'ordre spatial: le caractère zonal des sécheresses est il aussi évident qu'on l'admet généralement ?

L'établissement du répertoire des sécheresses anciennes est plus ou moins réalisé et il en ressort que depuis le début de la chronique et jusqu'en 1949, on observe au Sahel des trains d'années sèches et humides. Mais un risque de sécheresse qui avait une occurrence décennale dans la période antérieure à 1970, apparaît en moyenne six fois en 15 ans pour 1970-1984. Donc il y a effectivement une phase sèche depuis la fin des années 1960, avec une ampleur, une durée et une extension géographique supérieures à celles de 1913, 1931 et 1939 (Grouzis, 1988).

3.2.- Arguments en faveur d'une dégradation due aux activités de l'homme:

Toutes les zones arides et semi arides ont une caractéristique commune: une écologie fragile. Selon El Kassas (1977), sans intervention de l'homme et des animaux domestiques, ce système écologique est capable de rester en équilibre et se régénère même dans de telles conditions.

Il existe différentes causes de dégradation dues aux activités humaines, dont voici les principales:

- 1- déforestation (forêt dense tropicale) ou défrichement (forêt claire, savane arborée, arbustive) de la végétation spontanée;
- 2- pratiques agricoles inadaptées: raccourcissement de la jachère naturelle (dû à une croissance continue des populations ce qui provoque la réduction des zones arables) et faible restitution des déchets de récolte. On observe dans ce cas une dégradation chimique et de l'érosion (hydrique et/ou éolienne);
- 3- surpâturage des terres exploitables mais non arables (aptitude marginale due aux conditions climatiques): il est associé à l'élevage extensif. Ce surpâturage provoque une diminution du couvert végétal, une compacité des couches supérieures du sol, des ravines d'érosion. Il n'est pas facile dans ce cas de distinguer ce qui peut être attribué aux conditions naturelles ou à la mauvaise gestion des agriculteurs et des pasteurs. C'est le cas du Sahel. Les éleveurs (dont le bétail est à but de production laitière) augmentent les effectifs de leur cheptel pour augmenter les chances de reconstitution s'il y a un accident climatique. Il en résulte une surexploitation des pâturages en saison sèche, avec comme nous le verrons dans l'exemple des abords du forage de Tatki, une strate ligneuse

très perturbée (Miehe, 1990). Le résultat est une **dégradation physique** et une **érosion hydrique, éolienne** parfois;

4- **surexploitation des arbres et arbustes** pour les usages domestiques, effets des feux de brousse et de la divagation des animaux domestiques. Ces phénomènes ont commencé autour des villes et des grands campements villageois car leurs besoins respectivement en charbon de bois et en bois étaient en croissance (Toupet, 1984). La dégradation est alors physique (structurelle) avec une augmentation de l'érosion hydrique et éolienne;

5- **activités bio-industrielles**: en dehors de certaines activités irriguées industrielles, ce facteur ne concerne pas encore de manière conséquente les zones arides.

Warren et Agnew (1988), qui ont étudié les causes de la dégradation des zones arides, mettent eux aussi l'accent sur les méthodes d'utilisation des terres. Selon eux, les facteurs responsables sont soit des facteurs techniques (le surpâturage, la surexploitation agricole), soit des facteurs sociaux (la croissance démographique, l'ignorance, l'avidité, l'inégalité, la dépendance) Examinons ces deux types de facteurs de plus près:

- Les facteurs techniques:

- *la surexploitation pastorale*: elle peut se définir par rapport à différents critères.

* le critère conservacionniste: la dégradation se manifeste par la perte d'espèces de pâturages précieuses.

* le critère de l'exploitant pastoral commercial. il y a dégradation si le pâturage n'atteint pas le niveau optimal de productivité des plantes.

* le critère du pastoraliste pauvre. ses chèvres n'ont plus rien à manger!

- *la surexploitation agricole* liée à une technique de culture inadaptée: la résilience du système est endommagée s'il y a perte de la couche arable fertile. C'est la cause de dégradation la plus répandue

- Les facteurs sociaux:

C'est essentiellement la pression des populations sur les terres arides due à la croissance démographique qui est responsable du processus de dégradation.

Le facteur ignorance du fonctionnement des écosystèmes peut s'appliquer aussi, mais pas dans le cas des éleveurs nomades, car leur élevage est un élément très rationnel d'une stratégie complexe de vie dans un environnement à risque. Une autre source de problème peut venir du fait que la terre est à usage commun tandis que les bêtes sont des propriétés individuelles. Ce qui conduit à une surexploitation des terres, manifestation de l'avidité des gens. L'inégalité dans la distribution des ressources est aussi une cause de dégradation. Par exemple, les terres des nomades sont souvent attribuées à des plans d'agriculture mécanisée, ce qui confine ces populations sur des terres de plus en plus réduites et marginales.

La dégradation apparaît donc comme la résultante d'une mauvaise gestion de l'espace par des sociétés soumises à des pressions. Les sociétés rurales sont très érodées au niveau culturel, économique, social et politique. Elles ne disposent plus du pouvoir nécessaire à l'application des décisions autonomes au niveau de l'utilisation des terres, ce qui provoque des comportements démissionnaires quant à la conservation du patrimoine écologique. Selon certains, la dégradation va empirer. Mais ils ne font pas la distinction entre les phases de déclin temporaire de la productivité secondaire et les transformations irréversibles, permanentes du sol et de la végétation (Evers, 1994).

Face au problème de la dégradation, il ne faut pas adopter une position d'attente. Les questions essentielles qui se posent sont les suivantes (Brabant, 1992):

- faut-il porter l'effort principal sur la restauration des terres dégradées, des terres marginales, même si les résultats attendus sont incertains, en raison de l'importance des causes naturelles que l'homme ne maîtrise pas?
- est-il préférable d'assurer d'abord une bonne gestion des grands blocs encore peu dégradés (Figure 1) qui sont les vraies réserves foncières de nombreux pays?

4.- Un modèle conceptuel de la dégradation des pâturages arides:

4.1.- Les modèles:

Afin de trouver des solutions au problème de la dégradation des zones arides, plusieurs modèles de dynamique de la végétation ont été conçus

On a tout d'abord utilisé le modèle Clementsien ou modèle de la succession. Ce modèle envisage que pour un ensemble de données climatiques, la végétation, après la perturbation, va retourner à un état stable prévisible ou « climax »

La théorie de la succession, assez incomplète, donne place à celle du déséquilibre, qui se présente sous le modèle Etat et transition (Westoby *et al*, 1989). Celui-ci postule que la transition n'est pas toujours réversible entre états, car il y a perte d'espèces, changements dans les interactions compétitives, dans les facteurs physiques. Mais la végétation peut être stable dans n'importe quel stade alternatif.

Selon ce dernier modèle, la dégradation due aux activités de l'homme, et en particulier l'élevage extensif, se déroule en différentes étapes:

- * étape 0 la composition de la végétation varie en réponse aux oscillations climatiques. A travers une gestion adaptative qui inclut la variation de densité du bétail, ces événements peuvent encore être profitables
- * étape 1. il y a variation dans la structure d'âge de la population, et les espèces toxiques se répandent. En fonction de l'objectif du type de la végétation, les plantes fourragères pourraient être restaurées en modifiant la saison de pâturage, la densité de l'élevage ou le type d'animaux. Par exemple, on pourrait appliquer un pâturage tournant, transposer les herbivores à certains moments comme après des événements climatiques défavorables
- * étape 2: on observe une diminution de la diversité de la végétation et de sa productivité. Il est très coûteux de rendre ce stade réversible
- * étape 3 les plantes pérennes diminuent
- * étape 4. le recouvrement devient nul, l'érosion croissante, le sol se salinise. On se trouve avec un désert fait par l'homme

4.2.- Modélisation des solutions:

Tout comme il existe des modèles schématisant les divers stades de la dégradation, il existe des modèles visant à proposer des solutions en fonction de la gravité ou de l'irréversibilité de la dégradation (Figure 2)

Au départ, nous nous trouvons en présence de l'écosystème originel, qui est utilisé comme standard de comparaison et d'évaluation des modifications ultérieures. Si cet écosystème est soumis à de légères perturbations, il va se trouver dans un état dit pénestable. On parle d'état dégradé lorsque cet écosystème stable alternatif est soumis à des perturbations (anthropiques et/ou climatiques) prolongées. A ce stade, trois schémas sont possibles

- soit l'écosystème dégradé possède encore une bonne résilience et il peut alors être restauré par des actions visant à conserver la biodiversité indigène, la structure ainsi que la dynamique de l'écosystème,
- soit l'écosystème n'est plus résilient et dans ce cas seule une stratégie de réhabilitation est adaptée. Il s'agit alors de rééquilibrer les cycles d'énergie et de nutriments, par intervention de l'homme et de ses techniques (l'action de l'homme a dans ce cas des effets positifs sur l'écosystème),
- soit la perturbation se prolonge et les seuils de rupture sont dépassés. On atteint un état désertifié, ou seule la stratégie de réhabilitation permet de revenir à l'état pénestable. Dans le cas où aucune solution ne permet de revenir à cet état pénestable, on réaffecte les terres

Aronson *et al* (1993) proposent quelques hypothèses pour une écologie de restauration et de réhabilitation

- au delà de certaines limites, la dégradation de l'environnement est irréversible sans intervention au niveau structurel combinée avec de nouvelles techniques de gestion;
- plus les limites d'irréversibilité sont dépassées, plus il est difficile d'intervenir;
- la perte des espèces clé de voûte accélère la dégradation;
- réintroduire ces espèces clé de voûte devrait accélérer la réhabilitation d'un écosystème en facilitant la réintroduction et l'établissement des espèces natives;
- les cycles de l'eau, de l'azote et des nutriments se raccourcissent avec l'augmentation de la dégradation,
- la diversité des sols et leur compatibilité avec les plantes diminue,
- le taux de récupération potentielle par restauration et réhabilitation est inversement relié à la complexité structurelle et fonctionnelle de l'écosystème de référence.

Bien que l'établissement de ces modèles ressemble plus à un exercice théorique qu'à la recherche de solutions pratiques, ils permettent de définir de manière plus ou moins précise les étapes de la dégradation, et les solutions offertes en fonction du niveau de cette dégradation.

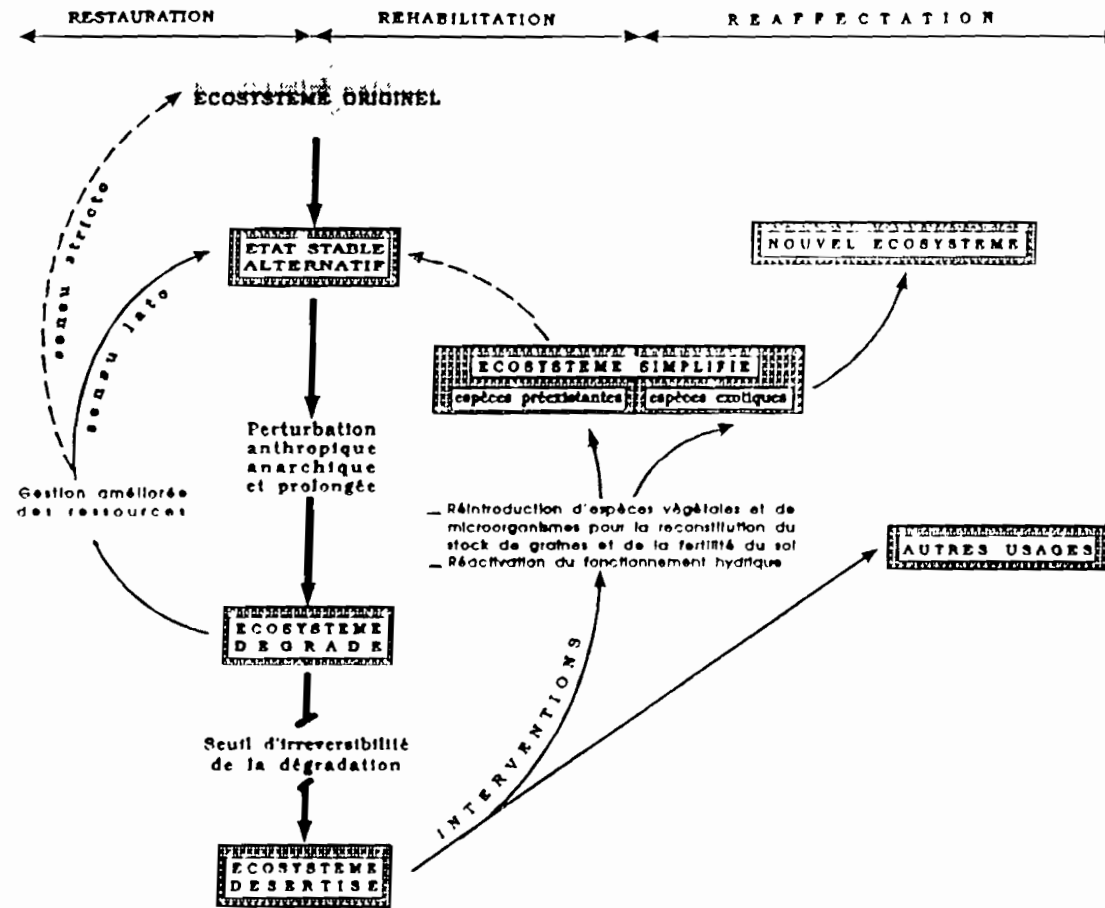


Figure 2 : Modélisation de quelques solutions au problème de la dégradation

5.- Conclusions:

L'évaluation de la dégradation ne tente pas de déterminer quel est le meilleur système de mise en valeur des terres mais plutôt d'estimer la capacité d'un mode de gestion à maintenir les caractéristiques de l'environnement naturel qui sont nécessaires à son équilibre

La réelle question est de savoir si les différents systèmes d'agriculture, incluant le système de pâturage, et si les environnements créés par l'homme sont durables à long terme. Le terme de durabilité introduit un concept qui essaie de relier la croissance économique avec les intérêts écologiques. On parle de dégradation « économiquement acceptable » si elle n'inflige pas de dégâts irréversibles sur les ressources naturelles (Kwesi, 1992)

Deuxième partie:

***Description de la zone d'étude et
méthodologie***

1.- Conditions écologiques et mode de gestion de l'espace géographique étudié:

Le terme « Sahel » (qui en arabe signifie « rivage ») réfère à la région écoclimatique et biogéographique bordant le Sahara dans ses limites sud. D'après Le Houérou (1989) la zone sahélienne est comprise entre les isohyètes 100 et 600 mm, l'isohyète 600 mm séparant la zone sahélienne de la zone soudanienne.

Le Sahel traverse toute l'Afrique d'ouest en est sur une bande large de 400 à 600 km et longue d'environ 6000 km (Figure 3)

Le climat du Sahel est typiquement tropical avec un régime de précipitations monomodal commençant en juin et se terminant aux environs du mois de septembre. Dans la partie occidentale de l'Afrique, la zone sahélienne se situe entre les latitudes 14° et 18°N

1.1.- Description générale de la zone Sylvo-Pastorale: le Ferlo

Cette zone sahélienne est représentée au Sénégal⁴ dans la région dite du Ferlo. Le Ferlo s'étend au sud de la vallée du fleuve Sénégal et couvre environ tout son bassin (Figure 4)

On distingue le Ferlo sableux au nord-ouest (pseudosteppe arbustive à *Acacia* et *Balanites*) et le Ferlo latéritique au sud-est (strate ligneuse relativement dense à *Pterocarpus lucens*). Notre zone d'étude se situe dans le Ferlo sableux (entre le fleuve Sénégal et la latitude 15°30'), en bordure de la réserve sylvo-pastorale des six forages. Les deux sites d'étude choisis sont celui de Fété-Olé et l'aire d'influence du forage de Tatki. (Figure 5)

Le Ferlo est aussi appelé zone Sylvo-Pastorale du Sénégal. Tout son système de production repose sur la mobilité spatiale et temporelle des pasteurs.

Le Ferlo a une densité de trois habitants au km² et un taux d'accroissement de la population de l'ordre de 0.9% depuis 60 ans. Il est intéressant de noter que c'est l'un des plus faibles, sinon le plus faible de la zone sahélienne (Barral *et al*, 1983)

1.1.1.- Le climat:

La région du Ferlo appartient au domaine sahélien délimité par les isohyètes 250-300 mm et 600 mm (Figure 6). On y distingue classiquement deux périodes au cours de l'année: une saison sèche de 9 à 10 mois (octobre à mai-juin) et une saison des pluies de 2 ou 3 mois (juin à octobre), appelée hivernage. Les pluies se concentrent entre juillet, août et septembre, mois durant lesquels tombent plus de 90% des précipitations annuelles (Akpo, 1992). Ceci est présenté à la Figure 7 ci-après

⁴ Elle représente 27% du pays (Anonyme, 1987)

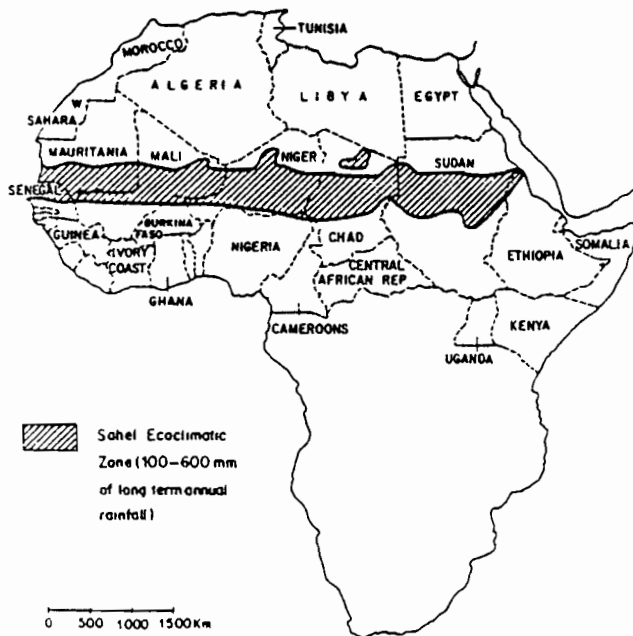


Figure 3: Localisation du Sahel en Afrique. Source: Le Houérou, (1989).

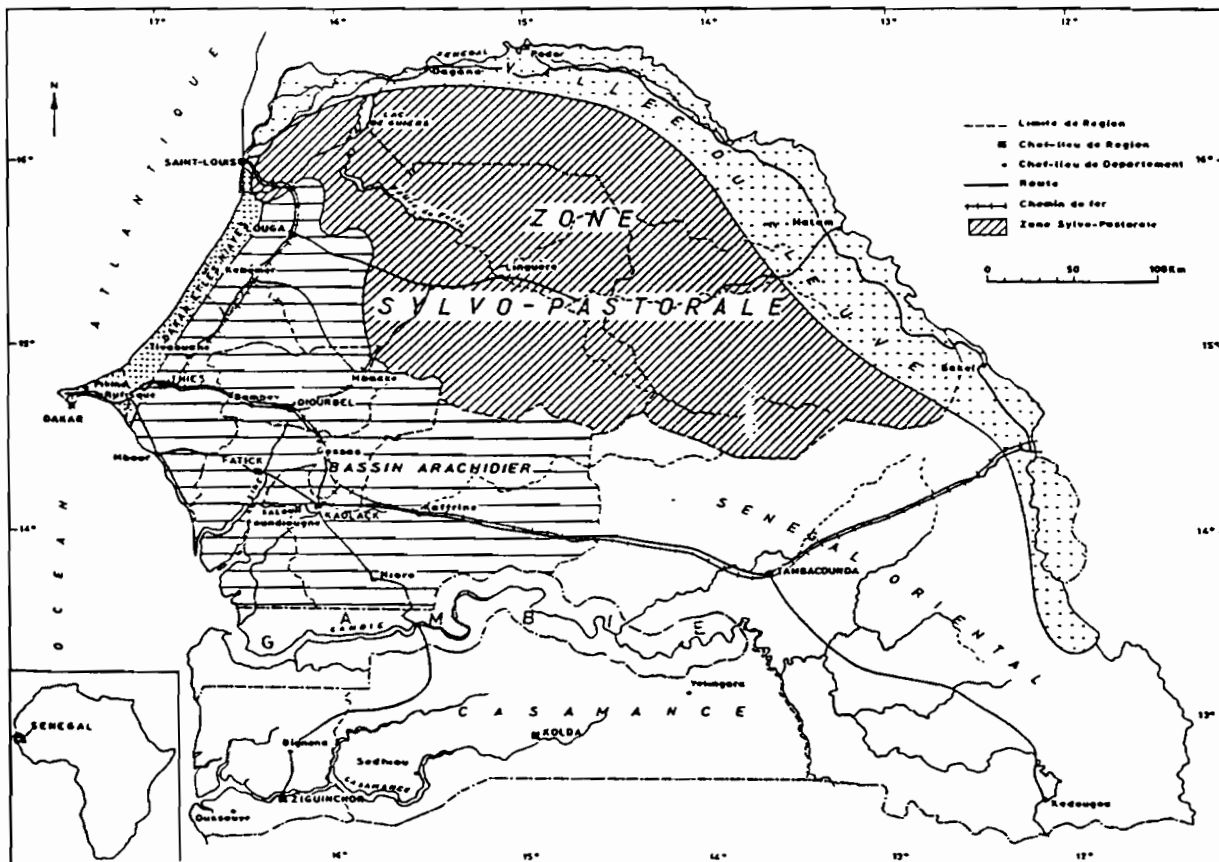


Figure 4: La Zone Sylvo-Pastorale au Sénégal. Source: Anonyme, (1991).

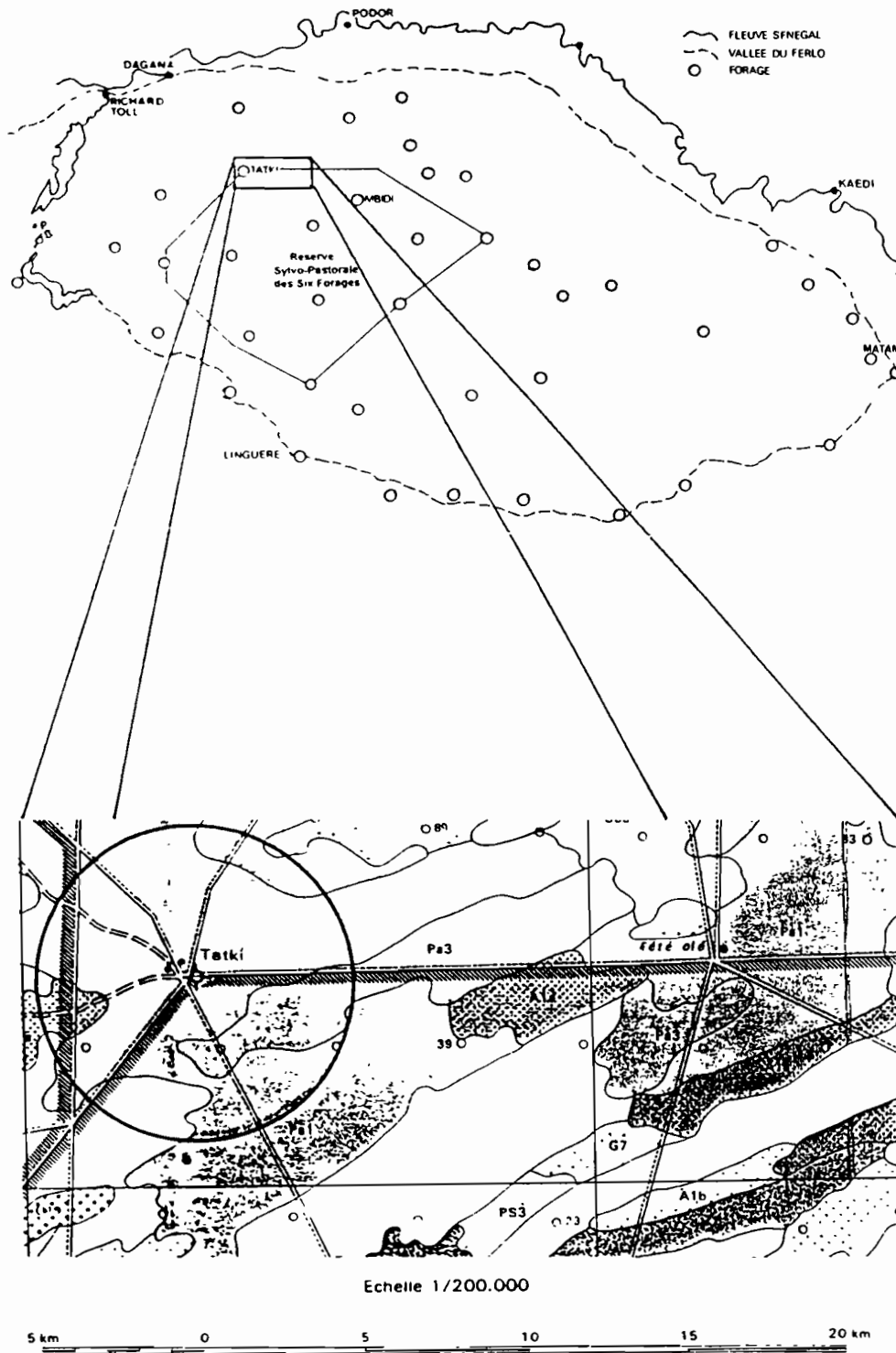


Figure 5: Situation des deux sites d'étude. Source: Valenza et Diallo, (1972).

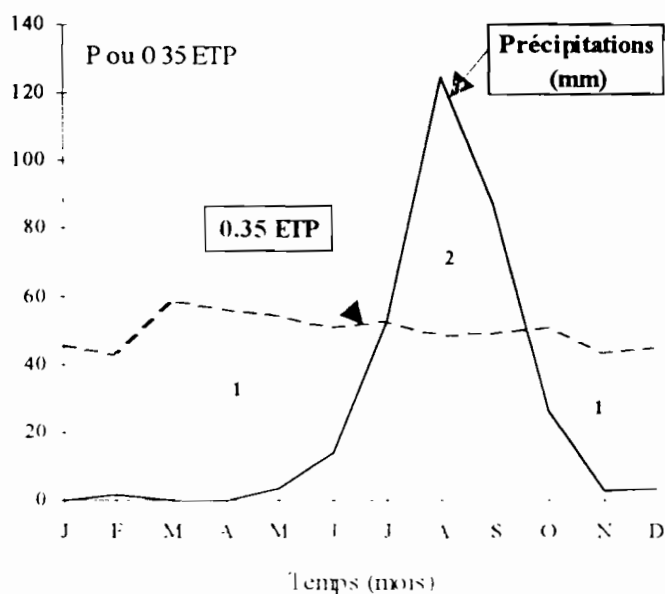


Figure 7: Saison sèche (1), saison des pluies (2) et bilan hydrique climatique à Dagana: 1919/1988.
Source Le Houérou (1989)

Sur la Figure 7, les mois de juillet à octobre sont caractérisés par des précipitations supérieures au tiers environ (0.35) de l'évapotranspiration potentielle (ETP), limite qui correspond à l'évaporation d'un sol nu, et au-delà de laquelle toute l'eau est utilisable pour la croissance des végétaux (Le Houérou et Popov, 1981). Durant cette période, appelée phase de végétation active, les pluies sont suffisamment régulières et rapprochées pour permettre la croissance des végétaux sans qu'il y ait épuisement de la réserve hydrique du sol.

Le système écologique semi-aride du Ferlo est caractérisé par une extrême variabilité de ses paramètres climatiques dans l'espace et dans le temps. L'existence d'années de sécheresse, c'est à dire de périodes de déficit anormal en eau, y est donc tout à fait normale et fait partie des risques climatiques associés à ces régions (Le Houérou, 1989).

Ce que nous tentons de mettre en évidence sont les cas de successions d'années de déficit pluviométrique, les tendances climatiques à moyen terme, et l'éventualité d'une modification du climat dans le sens d'une aridification (Grouzis, 1988).

Notre analyse porte sur les séries de données de pluviométries annuelles à Dagana (Figure 8) et à Dahra (Figure 9). Ces deux villes sont respectivement situées au nord et au sud de notre zone d'étude, à une cinquantaine de kilomètres. Leurs pluviométries sont donc considérées comme représentatives du milieu étudié. La moyenne des pluviosités annuelles est de 282.4 mm à Dagana pour la série 1918-1993 (pluviométrie répartie sur 16 à 25 jours) et de 444.7 mm à Dahra pour la série 1933-1994 (pluviométrie répartie sur 13 à 48 jours). La forte variabilité de ces chroniques est encore exacerbée par les années exceptionnellement sèches telles que 1983 et 1984, dont les valeurs de pluviométrie enregistrées à Dagana (67 mm en 1983 et 57.9 mm en 1984) ont une récurrence de 200 ans. Les coefficients de variation sont en effet élevés, étant de 37.3% à Dagana et de 34.3% à Dahra.

Pour analyser les tendances évolutives de la pluviométrie, nous avons appliqué à ces deux séries chronologiques la méthode de la moyenne mobile pondérée (Olivry, 1983; Albergel *et al.*, 1985; Grouzis *et al.*, 1989). L'avantage de cette méthode est qu'elle relie chaque donnée à celles des années précédentes, ce qui évite l'apparition de fausses périodicités appelées « effet Slutsky » (Grouzis, 1988).

Les résultats consignés sur les Figures 8 et 9 permettent de discerner dans les séries trois périodes relativement bien distinctes

La première période s'étend du début des observations (en 1918 pour Dagana et en 1933 pour Dahra) jusqu'à l'année 1950 et se caractérise par une succession de trains d'années sèches et humides sans règle apparente

La seconde qui s'étend de 1951 à 1969 se caractérise par des années successives globalement excédentaires

La troisième période, qui débute en 1970, est caractérisée par une tendance générale d'un régime déficitaire. Il faut noter que les années 1983-1984 représentent l'épisode déficitaire le plus grave jamais mesuré (Sircoulon, 1984). Seule la pluviométrie de 1989 enregistrée à Dahra fait exception à cette règle, en étant légèrement supérieure à la moyenne

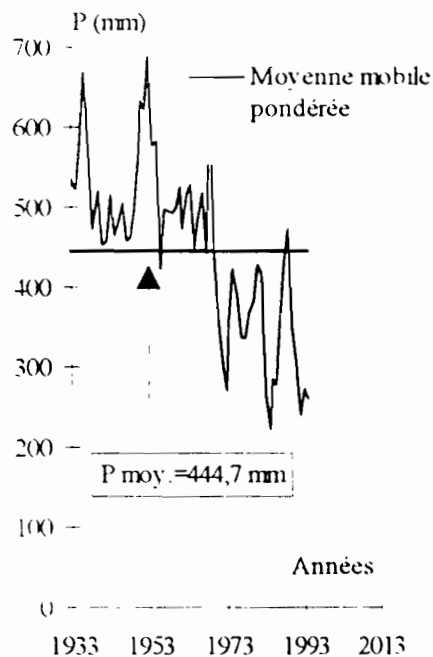
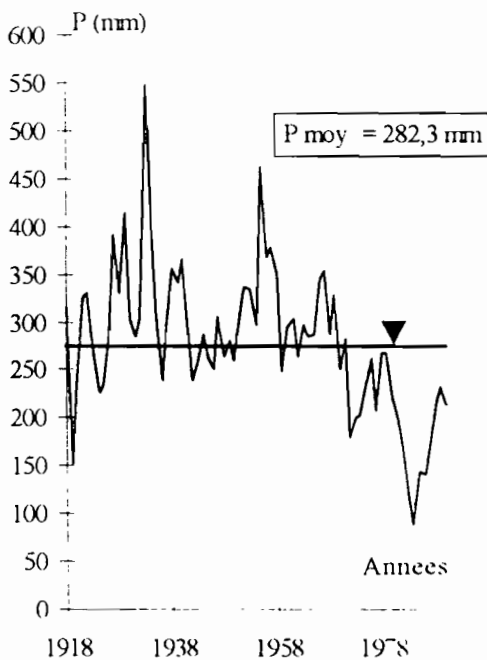


Figure 8: Série pluviométrique de Dagana.

Figure 9: Série pluviométrique de Dahra.

Comme les autres zones sahéliennes étudiées par Olivry (1983), Snijders (1986), Albergel et Grouzis (1989) et UICN (1989), le Ferlo, dont les stations de référence étudiées sont Dagana et Dahra, se caractérise donc par une sécheresse persistante. La variabilité climatique interannuelle normale des régions sahéliennes, c'est à dire le risque climatique, est devenue une variabilité à long terme, une contrainte naturelle (Albergel et Grouzis, 1989). L'exceptionnelle durée des années sèches a conduit certains auteurs à démontrer la non-stationnarité des régimes pluviométriques annuels (Snijders, 1986; Hubert et Carbonnel, 1992) et à conclure à une véritable aridification du système (Toupet, 1989).

1.1.2.- *Les sols:*

Dans le Ferlo, Maignien (1965) et Staljanssens (1986) distinguent deux types de sols:

- * les sols bruns sub-arides et brun-rouges au nord et à l'ouest qui constituent la zone sableuse, où fut menée notre étude,
- * les sols ferrugineux cuirassés en profondeur à l'est qui constituent le Ferlo cuirassé, dont nous ne ferons pas état dans notre étude

La zone sableuse est plus sujette à l'érosion éolienne (70%) que la partie ferrugineuse (30%) qui subit davantage l'érosion hydrique en nappe (Valenza et Diallo, 1972)

Dans les régions arides, les conditions édaphiques jouent un rôle majeur. Elles interviennent essentiellement par le biais du comportement des sols vis-à-vis de l'eau, de telle sorte que le sol pourra, dans une assez large mesure, compenser, ou au contraire aggraver l'aridité climatique (Koechlin, 1989). Les sols sablo-argileux à argilo-sableux de notre zone d'étude ont un comportement différent selon que l'on se trouve sur un sommet de dune ou sur un bas de pente. En effet, sur les sommets de dunes, la pénétration du front d'humectation atteint 150 à 180 cm en septembre, pour disparaître totalement dès la fin novembre. Par contre, en bas de pente, dès le mois de juillet le front d'humectation peut atteindre 100 cm et dépasser les 300 cm en août. Puis débute l'assèchement du profil qui se poursuivra durant toute la saison sèche. Au cours des années à pluviométrie favorable il arrive que l'on trouve en profondeur un reliquat d'eau utilisable (15 à 20 mm) en fin de saison sèche (Cornet, 1981)

1.1.3.- *Les ressources en eaux:*

Elles sont constituées par les nappes d'eaux superficielles et les nappes d'eaux profondes

Les eaux superficielles sont représentées par le fleuve Sénégal, le lac de Guiers (une dépression naturelle défluent du fleuve Sénégal, couvrant 300 km² à son maximum d'extension) et les mares temporaires.

En saison des pluies, d'innombrables mares de tailles variables parsèment en effet la réserve Sylvo-Pastorale du Ferlo sableux. Si certaines de ces mares sont des flaques de quelques m², d'autres ont plus d'un hectare de superficie (Grosmaire, 1957). En dépit de l'implantation de forages et de puits, le rôle des mares dans la vie de l'éleveur n'a pas été modifié. Elles sont demeurées le lieu d'abreuvement des animaux et de l'alimentation en eau de la population en saison des pluies (Grosmaire, 1957, Barral, 1982). Il arrive qu'à l'emplacement des mares tarées ou dans les cours d'eau asséchés, les éleveurs cherchent à exploiter des nappes superficielles en creusant des céanes⁵

Les eaux profondes comprennent les nappes phréatiques et la nappe du Maestrichtien

Les nappes phréatiques se trouvent dans les grès du Continental terminal ou dans les calcaires de l'Eocène et du Paléocène (Figure 10). Les puits des villages les atteignent, puisque dans le Ferlo occidental le niveau de ces nappes se situe à 40 mètres (Diop, 1989)

⁵ Ouvrages hydrauliques constitués par des trous de grand diamètre-3 à 10m- de forme évasée et d'une profondeur faible

Les forages captent dans leur grande majorité la nappe du Maestrichtien d'une surface de 150000 km², qui fut découverte en 1938 (Barral, 1982). Cette nappe est atteinte entre 100 et 350 mètres de profondeur et l'eau qui en est issue remonte jusqu'à quelques mètres de la surface. L'alimentation de la nappe s'effectue en partie par les crues du fleuve Sénégal et elle est en partie fossile. Notons qu'un forage peut débiter 50 à 100 m³ par heure (Anonyme, 1983).

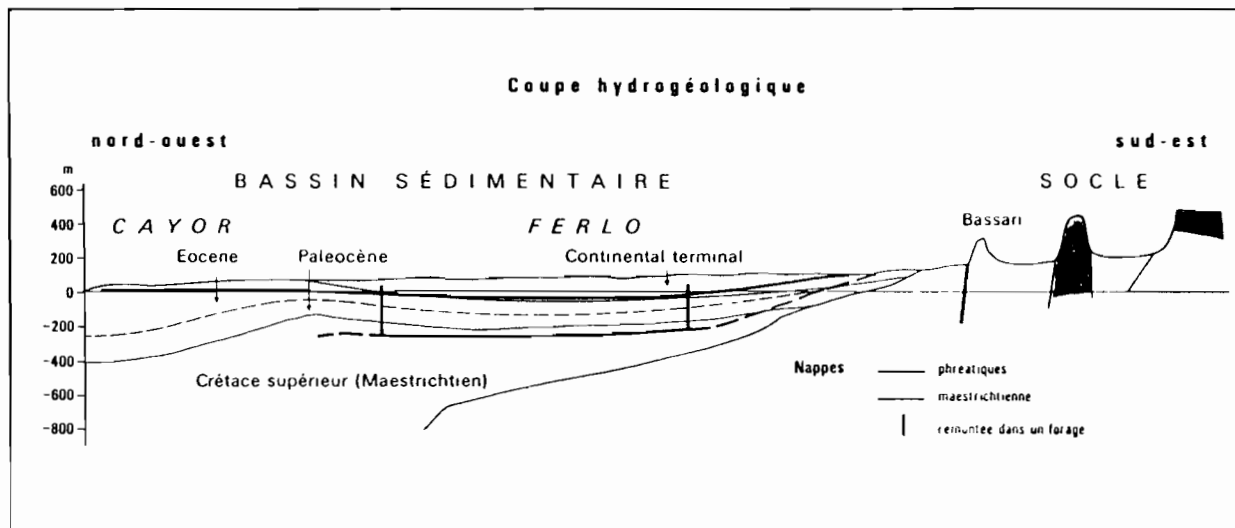


Figure 10: Coupe hydrogéologique du Sénégal. Source: Anonyme, (1983)

1.1.4.- La végétation:

En fin de saison des pluies (soit à l'optimum de développement), la végétation de la zone étudiée se présente sous la forme d'un tapis herbacé plus ou moins continu. Celui-ci peut atteindre 50 cm à 1 m et est composé essentiellement d'espèces annuelles. Ce tapis est parsemé d'arbres et d'arbustes fréquemment épineux, ne formant jamais une strate continue (Akpo, 1992). Ils sont plutôt rassemblés en agrégats qui forment une mosaïque

La strate herbacée des formations sahéliennes est caractérisée par la dominance d'espèces annuelles, notamment des Poaceae à feuilles basilaires, à limbes étroits et pliés ou enroulés (*Schoenefeldia gracilis*, *Aristida sp.*, *Cenchrus sp.*, *Chloris sp.*). c'est la pseudosteppe décrite par Trochain (1980). On y trouve aussi une grande variété de phorbes (légumineuses et autres familles).

Valenza et Diallo (1972), étudiant les pâturages du nord Sénégal distinguent sept types de formations suivant la nature du substrat. Chaque type de végétation, établi à partir de la description des strates herbacée et ligneuse est divisé en groupements, puis en parcours. Bien que ces formations ne correspondent pas précisément à des unités phytosociologiques, ces divisions donnent une bonne image de la végétation à l'échelle de l'utilisation (Akpo, 1992).

D'après Valenza et Diallo (1972), la zone étudiée appartient à la formation végétale inféodée aux sols sablo-argileux à argilo-sableux. Elle est caractérisée par le groupement à *Balanites aegyptiaca* et *Schoenefeldia gracilis*, et par le parcours à *Boscia senegalensis* et *Alysicarpus ovalifolius* (appelé Pa 1; Figure 5). Ce parcours, largement répandu, se présente comme une steppe arbustive assez dense et parfois arborée.

Les espèces ligneuses caractéristiques de ce parcours sont les suivantes: *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Commiphora africana*, *Ziziphus mauritania*, *Acacia senegal* et *Guiera senegalensis* (Valenza et Diallo, 1972).

1.1.5.- Le mode de gestion de l'espace (Barral, 1982; Barral et al., 1983; Santoir, 1982; Benoît, 1988)

Avant l'installation des forages dans les années cinquante, le Ferlo était fréquenté pendant quatre à six mois par an par les pasteurs Peulh et leurs troupeaux. Ils transhumant au cours de la saison sèche soit vers la vallée du fleuve au nord soit vers la vallée du Ferlo au sud

La stratégie d'occupation de l'espace variait selon qu'il s'agissait des *Peulh Walo* ou des *Peulh Dieri*.

Les « *Peulh Walo* » cultivaient le sorgho de décrue en début de saison sèche, tandis que leurs troupeaux constitués essentiellement de petits ruminants, exploitaient les espèces herbacées et ligneuses des zones hydromorphes. L'abreuvement quotidien des animaux pouvait alors être assuré. En fin de saison sèche les animaux avaient accès aux résidus de sorgho. Dès les premières pluies, ces agro-pasteurs se rendaient avec le cheptel dans leur « *Rumano*⁶ » au Ferlo pour pratiquer des cultures pluviales de petit mil et exploiter les pâturages dunaires et de bas-fonds.

Les « *Peulh Dieri* » restaient durant la saison sèche en bordure de la zone de décrue du fleuve où l'abreuvement de leurs animaux n'avait lieu qu'un jour sur deux. Les troupeaux fréquentaient des parcours situés en bordure du Ferlo. En saison des pluies, les *Peulh Dieri* retournaient dans leur « *Rumano* » situé plus à l'intérieur du Ferlo que celui des *Peulh Walo*. Ils pratiquaient une agriculture pluviale et ne conservaient avec eux que les vaches laitières, tandis que l'essentiel du troupeau transhumait plus au sud jusque dans le Djolof. Au cours de cette transhumance, ils bénéficiaient d'une cure salée dans la vallée du Bounoum (ancienne dénomination de la basse vallée du *Ferlo*). Le retour au « *Rumano* » se faisait en septembre avant la récolte du mil.

Le paysage et les terroirs étaient donc organisés en fonction d'une mare ou d'un système de mares autour desquelles s'articulaient les « *Houroum*⁷ ».

Le développement de l'hydraulique pastorale a permis la création, entre 1950 et 1980, de 35 forages profonds (80-322m) et de 33 puits-forages alimentés par l'aquifère Maestrichtien (Barral, 1982).

La création de ces forages a profondément modifié les pratiques de ces sociétés, en provoquant un abandon progressif de la transhumance pour une sédentarisation. Les « *Rumano* » sont devenus des pôles de peuplements permanents (photos 1, 2, 3). Entre 1950 et 1980, le taux de transhumants est passé de 60 à 13% avec une augmentation du cheptel de 20%. L'aphosphorose, maladie des forages (botulisme hydrique) est apparue, en relation avec la disparition de la cure salée.

⁶ Campement de saison des pluies (en Pullar. langue des Peulhs)

⁷ Domaine pastoral exploité par un *Rumano* (environ 5 à 6 km de rayon autour de celui-ci)



Photo n°1: un campement Peulh dans la région du Ferlo.



Photo n°2: une case Peulh.



Photo n°3: une jeune fille Peulh dans la case de ses parents le jour de son mariage.

La gestion actuelle des parcours en saison pluvieuse repose sur des déplacements de faibles distances (moins de 5 km) d'un « *Rumano* » permanent vers une mare; celle-ci assure un abreuvement quotidien du troupeau. La saison sèche voit l'exploitation des pâturages les plus éloignés (10 à 20 km) du campement, et l'abreuvement du cheptel a lieu un jour sur deux, le plus souvent autour du forage le plus proche. Le campement de saison sèche (« *Sedano* ») peut être déplacé deux ou trois fois en fonction de la disponibilité des parcours.

La mobilité existe toujours mais au lieu d'être unidirectionnelle et périodique, elle est devenue anarchique. On passe à un micro-nomadisme de faible amplitude plutôt qu'à une véritable sédentarisation (Barral *et al*, 1983)

Pendant les années à fort déficit pluviométrique, on assiste cependant à des transhumances exceptionnelles qui se manifestent par un exode quasi général vers le sud.

« Les forages du Ferlo auront donc réalisés le paradoxe de permettre le maintien du pastoralisme et par là même celui de la culture Peulh la plus authentique, là où l'on pouvait s'attendre à une véritable sédentarisation et à une désaffectation rapide envers le genre de vie pastorale » (Barral, 1982)

De plus, les Peulhs à grande adaptabilité ont modifié leurs stratégies en réponse à la réduction de l'espace de pâture, réduction due à l'augmentation des cultures (en particulier la culture de l'arachide). Certains deviennent fermiers, sédentaires, et profitent des écoles et des services publics. D'autres encore organisent une protection des intérêts pastoraux.

2.- Sites et méthodes d'étude:

2.1.- Les sites:

2.1.1.- Fété-Olé:

Afin de préciser les effets de la sécheresse sur la strate ligneuse d'un biome sahélien nous avons réalisé l'étude du site de Fété-Olé⁸ (Figure 5), qui est localisé dans la partie septentrionale de la « Réserve Sylvo-Pastorale des six forages ». près du village qui porte le même nom

Nous avons choisi ce site, car il fait l'objet d'observations régulières depuis plus de vingt-cinq ans. En effet, en 1967, Morel, Naegele et Fotius y implantèrent une parcelle expérimentale qui devait répondre à deux critères du Programme Biologique International (P.B.I):

- être représentative du milieu sahélien.
- se situer dans une zone où l'écosystème connaissait peu de bouleversements imputables à l'homme et à ses activités

Cette région présentant des ondulations très aplanies, les faibles dépressions ne retiennent pas l'eau suffisamment longtemps que pour former de véritables mares utilisables en début de

⁸ Ce qui signifie « mares jaunes » en Peulh

saison sèche. Aussi n'est-elle pas à proprement parler une zone recherchée par les pasteurs nomades et leurs troupeaux

Les forages les plus proches (Tatki et Mbidi) sont situés à environ 20 km, ce qui correspond à la distance limite que peut parcourir le bétail qui s'abreuve au forage un jour sur deux

Ces conditions de localisation répondaient donc assez bien aux critères de choix, le paysage autour de Fété-Olé ayant été peu influencé par l'homme au cours des dernières décennies. Le site retenu semblait bien caractéristique du milieu sahélien climat à deux saisons marquées dont une longue période sèche et chaude, absence de réseau hydrographique, faible couverture végétale constituant de véritables mosaïques, vie végétale brève et intense surgissant entre de longues périodes de repos végétatif

En 1968, un quadrat de 25 ha (500 m de côté) a été installé, et il était clôturé par un réseau de fil de fer barbelé. Depuis, cette protection a disparue, et il ne reste sur le terrain que les bornes limitatives du quadrat. Il est donc possible qu'il ait fait l'objet de passages ponctuels de pasteurs et de leurs troupeaux. Toutefois, ceci change peu au fait que cette station, de par sa distance aux forages, est relativement bien protégée des activités de l'homme

Le paysage de Fété-Olé se caractérise par des dunes de peu d'amplitude et sans orientation bien définie. Les dépressions fermées sont au nombre de huit pour 25 ha et distantes de deux cent mètres environ les unes des autres (Figure 11). Bien que le relief soit faible (dénivellation maximale de 4 m) il joue cependant un grand rôle dans l'évolution des sols et dans la répartition des différentes unités de végétation

2.1.2.- L'aire d'influence du forage de Tatki:

Afin d'évaluer l'influence du facteur anthropique sur le couvert ligneux, nous avons étudié l'évolution de ce couvert autour du forage de Tatki. Notre choix s'est porté sur Tatki pour deux raisons. La première est que le climat, le type de végétation et le type de sol de ce forage et de ses alentours sont identiques à ceux de Fété-Olé, qui peut donc lui servir de population ligneuse témoin. La seconde raison est que ce forage est très fréquenté par les pasteurs Peulhs et leurs troupeaux, et ce depuis l'installation du forage en 1956

Les Peulhs de la zone habitent dans des campements qui comptent chacun une petite quarantaine de personnes. L'ensemble des campements dont le cheptel vient s'abreuver au forage constitue l'aire d'influence du forage (ou aire pastorale). L'élevage extensif y est l'activité dominante et apporte plus de 70% des revenus totaux des habitants (Fayolle *et al.*, 1974; Anonyme, 1983). Les effectifs du cheptel au début des années 1980 sont estimés à 418 500 têtes soit une charge de 7,2 ha/UBT⁹. Ce cheptel est essentiellement constitué de zébus (*Bos indicus*), d'ovins et de caprins. Les ânes et les chevaux sont utilisés pour la traction, notamment celle des charrettes, les ânes étant néanmoins plus spécialisés dans le transport de l'eau entre le forage et les campements

⁹ UBT: Unité Bétail Tropical. Unité représentant un bovin de 250 kg de poids vif ou équivalent (Rivière, 1978).

2.2- Protocoles et méthodes d'étude:

2.2.1.- Les protocoles:

2 2 1.1 - Fété-Olé

Jusqu'à présent, deux recensements de la population ligneuse du quadrat ont été réalisés. Le premier en 1976 par Poupon (1980) et le second en 1983 par le Centre de Suivi Ecologique de Dakar (CSE)¹⁰

L'intérêt de notre étude à Fété-Olé réside dans le fait que nous avons réalisé un inventaire total des ligneux présents sur le quadrat en 1995, en utilisant, quand cela était possible, la même méthodologie que celle utilisée par Poupon et le CSE

Cela nous a permis d'observer l'évolution de la strate ligneuse depuis 1976, en nous intéressant à différents paramètres. Il s'agit notamment de la structure des populations, de leur répartition par élément de relief, de la densité totale et par espèce, de la diversité, de la surface terrière

Le quadrat de 25 ha, représenté par un carré de 500 mètres de côté, est divisé en 100 parcelles de 50m x 50m (Figure 11). Afin de pouvoir comparer nos données avec celles obtenues par Poupon en 1976, nous avons attribué à chaque parcelle une topographie dominante, de la manière suivante: si une parcelle se trouve recouverte à plus de 50% par un type d'élément de relief, cet élément de relief lui est attribué, ceci en se basant sur les cartes de relief établies par Poupon en 1976

Sur ces cartes, Poupon distingue cinq éléments de relief (Poupon et Bille, 1974)

- les sommets (17% de la surface du quadrat),
- les replats (14% de la surface du quadrat);
- les versants (46% de la surface du quadrat),
- les bas de versants (18% de la surface du quadrat);
- les dépressions (5% de la surface du quadrat)

Nous avons travaillé en ne considérant que trois types de relief:

- les sommets (S) correspondent aux sommets décrits par Poupon (1980): taux d'argile d'environ 5% et matière organique en surface (0-20 cm),
- les versants (V) correspondent aux versants et replats de Poupon (1980);
- les dépressions (D) correspondent aux bas de versants et dépressions de Poupon (1980). Les dépressions ont un taux d'argile d'environ 10 % et à 50-80 cm de profondeur, on y observe la présence d'un pseudogley (Bille, 1977)

Pour chaque arbre, nous avons mesuré la circonférence à la base du tronc, soit à 10 cm du sol pour les jeunes plants, soit à 40 cm pour les arbres plus âgés qui présentent parfois un renflement à la base. Cette donnée inhabituelle en zone tempérée (puisque d'une façon générale, tous les travaux concernant les arbres indiquent la valeur du diamètre à 1.30 mètre de

¹⁰ Ce rapport a été publié par le GEMS. Par la suite, (Anonyme, 1987) sera la référence utilisée pour le rapport du CSE

hauteur), mais quasi générale en zone sahélienne, nous a été imposée par la forme même de arbres: nombre d'entre eux présentent des ramifications très basses.

Dans chaque parcelle, nous avons:

- indiqué le nombre de juvéniles, représentés par la classe de circonférence 0-5 cm,
- indiqué les individus morts;
- compté le nombre d'individus ainsi que le nombre de tiges des plantes multicaules

A l'exception de *Grewia bicolor*, toutes les espèces sont répertoriées dans nos tableaux en nombre d'individus. Pour *Grewia bicolor*, la totalité de nos calculs sont en nombre de tiges car c'est ainsi que Poupon a procédé. En effet, cette espèce étant souvent installée sur des termitières épigées, il était impossible de savoir à combien d'individus on avait affaire, à moins de détruire systématiquement toutes les termitières jusqu'à leur base.

Lors du traitement des données, nous nous sommes particulièrement intéressés au traitement de sept espèces, qui à elles seules constituent 95,86% de la population ligneuse. Les six premières espèces ont été traitées en détail par Poupon et sont *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Grewia bicolor*, *Acacia senegal* et *Commiphora africana*. La septième espèce, *Calotropis procera*, sera étudiée ici car elle s'est fortement développée dans le quadrat depuis 1976.

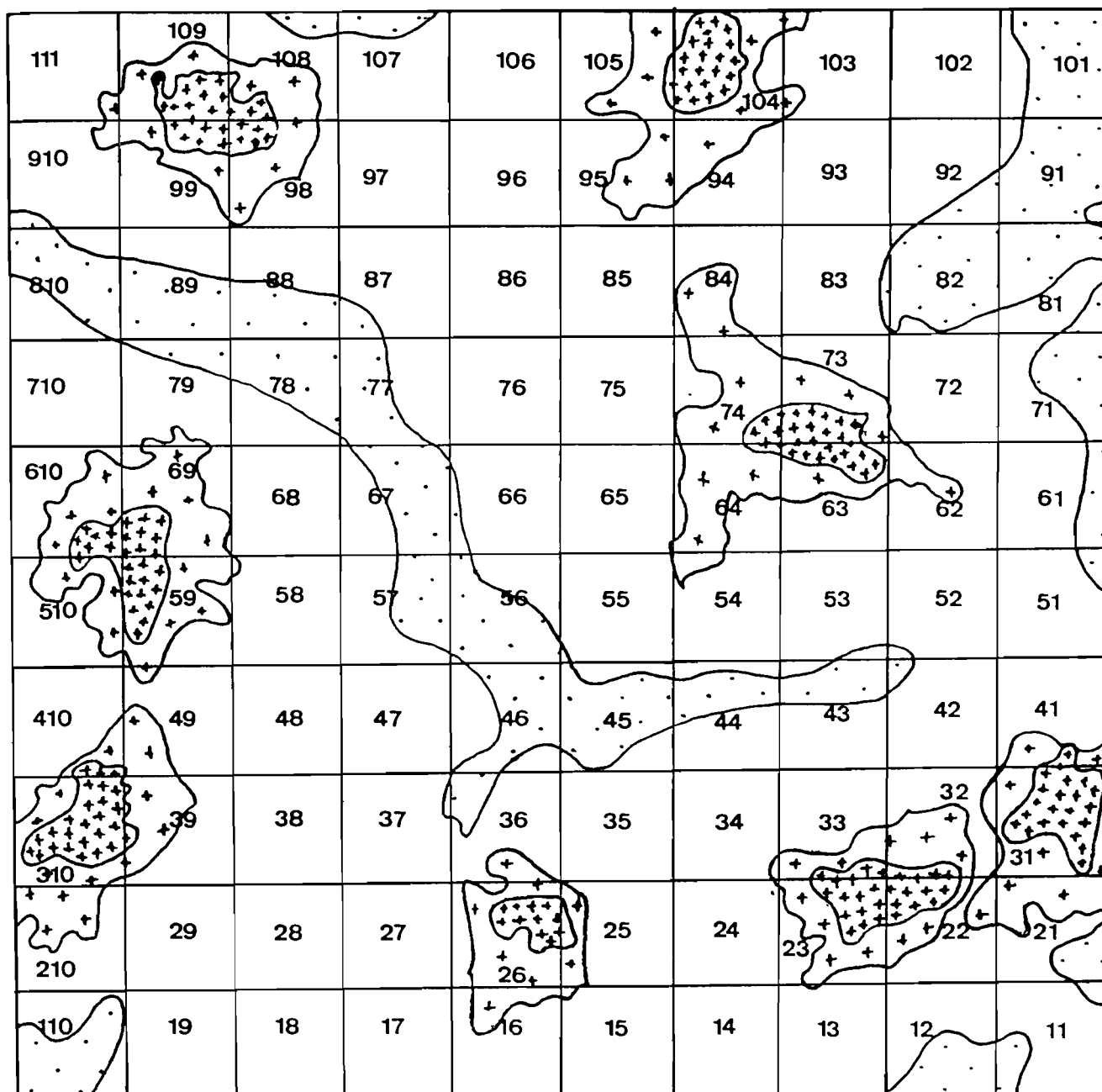
Il est nécessaire de faire remarquer que pour *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis*, Poupon n'a pas réalisé d'inventaire sur le quadrat entier. Il a effectué ses mesures sur deux hectares de terrain et a extrapolé ses résultats à l'ensemble du quadrat. Par contre, au cours de notre inventaire, nous avons répertorié et mesuré la circonférence de ces deux espèces sur la totalité du quadrat.


L'importance relative de chaque espèce est exprimée par deux variables: la densité et la surface terrière, calculées par rapport à une surface unitaire qui sera successivement un hectare de terrain et un hectare de chaque unité de relief. Ces deux variables sont complémentaires l'une de l'autre, car comme le signale Bouxin (1975 et 1976): « aussi bien en savane qu'en forêt, il n'y a pas nécessairement parallélisme entre la distribution de la surface terrière et la densité de jeunes individus ». Il faut préciser que les surfaces terrières données dans les tableaux sous-estiment la réalité, car nous les avons calculées en ne considérant que le diamètre de la plus grosse tige de chaque individu multicaule. Il aurait été totalement impossible de mesurer la circonférence de toutes les tiges des individus multicaules.

Nous analysons aussi les courbes de fréquence des classes d'âges de sept populations. A cette fin, nous avons utilisé deux amplitudes différentes en fonction de la taille maximale atteinte par chaque essence:

- 5 cm pour *Acacia senegal*, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis* et *Calotropis procera*;
- 10 cm pour *Balanites aegyptiaca*, *Commiphora africana* et *Grewia bicolor*.

Dans chaque classe de circonférence, le nombre d'individus est traduit en fréquence relative (effectifs dans une classe par rapport à la somme des effectifs dans toutes les classes).



 Sommets

 Versants

 Dépressions

12 indice de la parcelle

Figure 11: Le site d'étude de Fété-Olié.

Pour l'ensemble des parcelles du quadrat nous avons réalisé des Analyses Factorielles de Correspondances, afin de déterminer la typologie de la végétation de Fété-Olé. La matrice qui nous a permis de réaliser ces AFC est présentée en Annexe 2. L'ensemble des lignes présente les parcelles étudiées, et l'ensemble des colonnes présente les espèces observées. A l'intersection des lignes et des colonnes nous indiquons la fréquence relative de chaque espèce dans la parcelle correspondante.

2.2.1.2 - L'aire d'influence du forage de Tatki:

A Tatki, six distances au forage ont été retenues: 500m, 1 km, 2 km, 5 km, 10 km, et 15 km¹¹ (Figure 12). Ces distances ont été retenues, compte tenu des résultats de Poissonet *et al.* (1992) relatifs à l'influence du bétail sur la composition floristique de la strate herbacée et sur la structure du sol en fonction de la proximité au forage

A chacune de ces six distances au forage, nous avons réalisé l'inventaire ligneux de cinq parcelles de 0.25 hectares en stratifiant l'échantillonnage en fonction de l'élément de relief. A chaque distance nous avons donc deux parcelles situées sur des sommets, deux parcelles situées sur des versants et une parcelle correspondant à une dépression. Dans la suite du texte, nos relevés sont donc classés par distance et à une certaine distance, par élément de relief

La surface élémentaire d'inventaire (0.25 ha) était représentée par un cercle si la densité était faible (sommets et versants) et par un carré si la densité était forte (dépressions).

Pour chaque arbre, et dans chaque parcelle, nous avons mesuré les mêmes paramètres que ceux expliqués dans la méthodologie de Fété-Olé.

Afin de déterminer s'il y avait une relation entre la composition floristique et la distance au forage, nous avons appliqué la méthode des Analyses Factorielles de Correspondances aux données de Tatki. La matrice utilisée est placée en Annexe 3. Dans cette matrice, les colonnes représentent les distances au forage et les lignes représentent les espèces inventoriées à chaque distance. A l'intersection des lignes et des colonnes est indiqué la fréquence relative de chaque espèce à chaque distance.

2.2.2.- Les paramètres:

Dans cette section nous donnons quelques définitions concernant les paramètres que nous avons étudiés:

- la diversité: c'est la richesse floristique (N espèces) ou la diversité maximale (logN).
- la densité totale: le nombre d'individus présents sur le quadrat toutes espèces confondues.
- la densité moyenne: nombre d'individus (toutes espèces confondues ou par espèce) présents par hectare du quadrat ou par hectare d'élément de relief.
- population: ensemble des individus d'une espèce.

¹¹ La station de 15 km est constituée de cinq parcelles du quadrat de Fété-Olé, dont la composition floristique moyenne par élément de relief est représentative de la végétation à cette distance. L'idéal aurait été de prendre les données de la totalité du quadrat. Nous ne l'avons pas fait pour des raisons de traitements statistiques (Analyse de variable à *n* répétitions identiques)

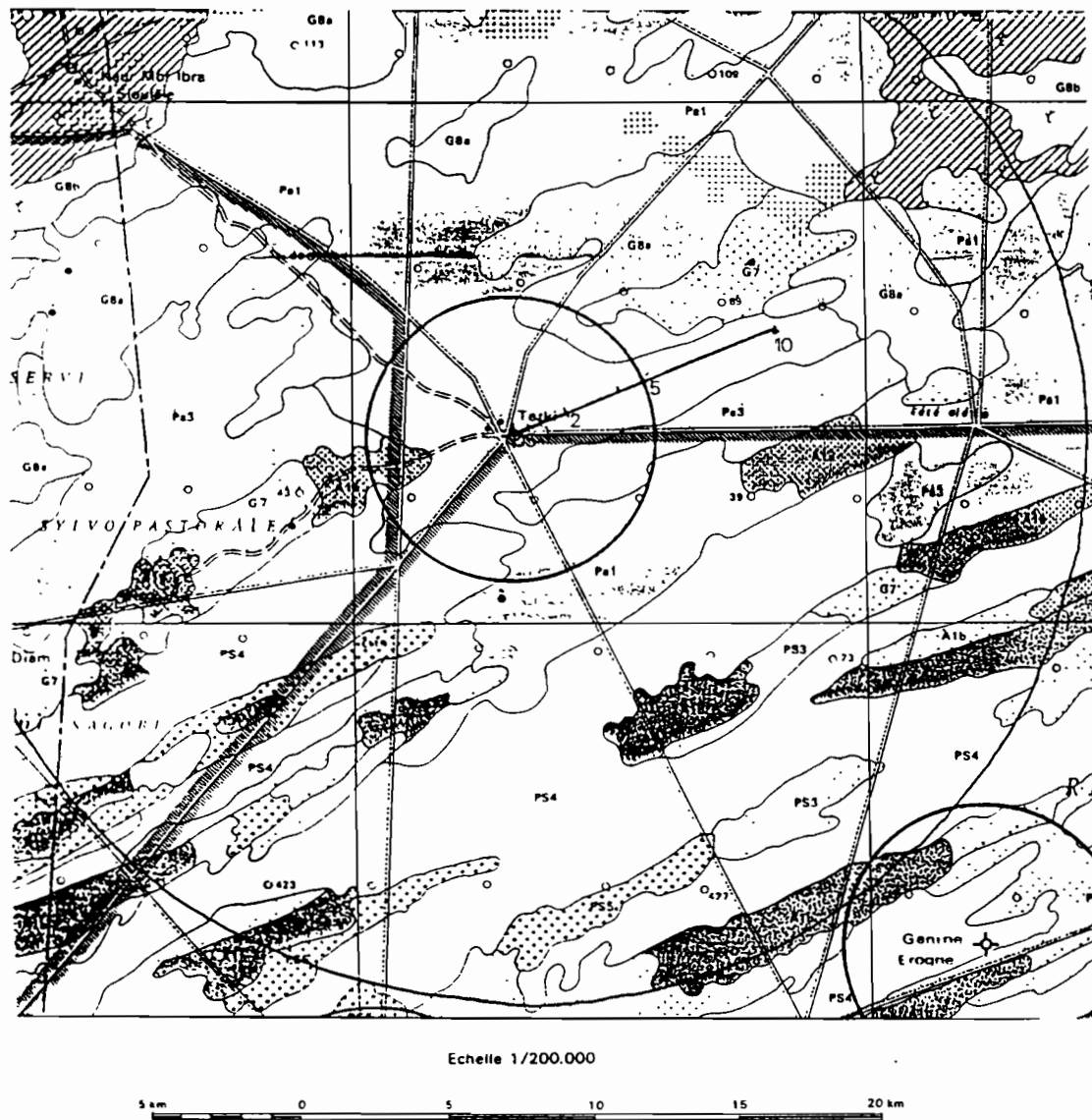


Figure 12: L'aire d'influence du forage de Tatki. Source: Valenza et Diallo (1972).

- peuplement. ensemble des individus de x populations.
- structure de population. fréquence (%) de chaque classe d'âge d'une espèce, exprimée en fréquence des classes de circonférence.

2.2.3- *Le traitement des données:*

Le programme Bioméco du Praxème et le programme STAT-ITCF ont été utilisés. Bioméco nous a permis de réaliser les Analyses Factorielles de Correspondances STAT-ITCF nous a permis de réaliser les divers tests statistiques tels que les analyses de variance, les comparaisons de moyenne et les tests KHI-2

Pour les interprétations et les méthodes de calcul nous nous sommes référés à Deselle (1992) et Dervin (1992)

La méthode de l'AFC mérite d'être explicitée. Elle a pour but de décrire (en particulier sous forme graphique) le maximum de l'information contenue dans un tableau rectangulaire de données. Ce tableau, appelé aussi matrice de données, doit être constitué de données provenant de « mesures » faites sur deux ensembles de caractères. Ces deux ensembles de caractères sont disposés l'un en ligne et l'autre en colonnes. Le terme de correspondances provient du fait que l'on cherche à mettre ces deux ensembles de caractères en correspondance: on décrit leur dépendance l'un par rapport à l'autre. Cette méthode est essentiellement descriptive.

Dans l'interprétation des AFC nous avons utilisé les paramètres suivants:

- l'inertie. le taux d'inertie mesure la part de variance expliquée par un axe relativement à la variance totale. Autrement dit, il permet de quantifier l'information contenue par chaque axe.
- la contribution: elle mesure la participation d'un individu (appelé point-ligne) ou d'une variable (appelée point-colonne) à l'inertie d'un axe. Les contributions permettent de savoir quels points-colonne ou quels points-ligne interviennent de façon significative dans la construction d'un axe. Ils permettent donc leur description. Cette contribution dans Bioméco est appelée contribution relative par STAT-ITCF.
- la corrélation. la corrélation d'un point-ligne ou d'un point-colonne permet de mesurer la qualité de la représentation de ce point sur l'axe considéré. Elle est exprimée en millièmes dans Bioméco.

Ce qui est appelé corrélation dans Bioméco, est appelé qualité de la représentation par STAT-ITCF

Troisième partie

Résultats

1.- Fété-Olé: ~~évaluation de l'évolution~~ de la végétation en condition de faible anthropie.

Avant de présenter les résultats relatifs à l'évolution de la végétation ligneuse dans des conditions de faible anthropisation entre 1976 et 1995, nous exposons les résultats d'une analyse du couvert ligneux qui précise les unités de végétation de la zone étudiée et nous donnons ensuite l'état de la structure de cette végétation en 1995

1.1.- Typologie de la végétation ligneuse:

1.1.1.- Analyse globale:

Afin de préciser la nature des unités de végétation et leur relation avec les éléments de relief, nous avons soumis la matrice 100 relevés x 19 espèces (Annexe 2) à une analyse globale, par la méthode de l'Analyse Factorielle des Correspondances. L'examen de la carte factorielle (non représentée) sur le premier plan (Axes 1-2) singularisait le relevé 88, du fait de la présence de *Euphorbia balsamifera*. Nous avons donc été conduits à reprendre l'analyse en considérant ce relevé comme élément supplémentaire.

Les résultats de cette deuxième analyse sont reportés sur les Figures 13a (carte des relevés) et 13b (carte des espèces). Les axes 1 et 2 qui absorbent respectivement 32,7% et 23,35% de la variabilité totale suffisent à eux deux pour représenter les résultats.

L'axe 1 oppose les relevés¹² 12 (89), 13 (89), 35 (83) et 34 (53) aux relevés 16 (37), 49 (32) et 73 (30) c'est à dire les relevés à faible et forte diversité floristique, il peut donc être interprété comme représentant la diversité maximum.

L'axe 2 oppose les relevés 33 (114), 73 (73), 49 (70), 109 (35), et 63 (47) en coordonnées négatives aux relevés 68 (59), 62 (29) et 102 (27) en coordonnées positives, c'est à dire les relevés relatifs aux dépressions, limoneuses et à hydromorphie temporaire, par rapport à ceux relatifs aux sommets, sableux et drainants. Cet axe 2 peut donc être considéré comme représentant la topographie et par là le degré d'humidité.

Cette première analyse permet de distinguer un ensemble de relevés situés dans le coin inférieur droit. Ces relevés sont caractérisés par le regroupement de *Guiera senegalensis* (587 A2), *Grewia bicolor* (44 A2) et *Sclerocarya birrea* (8 A1). Ils correspondent aux relevés de dépressions.

Il est par contre assez difficile d'isoler d'autres groupes. Nous avons donc soumis la matrice 79 relevés x 16 espèces (c'est à dire la matrice précédente de laquelle nous avons retiré les 21 relevés précédemment identifiés et les espèces qui leur étaient spécifiques, *Combretum micranthum*, *Cadaba farinosa* et *Feretia apodanthera*), à une analyse partielle.

¹² Les valeurs indiquées ci-après représentent l'indice du relevé et, entre parenthèses, la valeur de sa contribution absolue, suivie si nécessaire de l'axe selon lequel cette contribution est maximale.

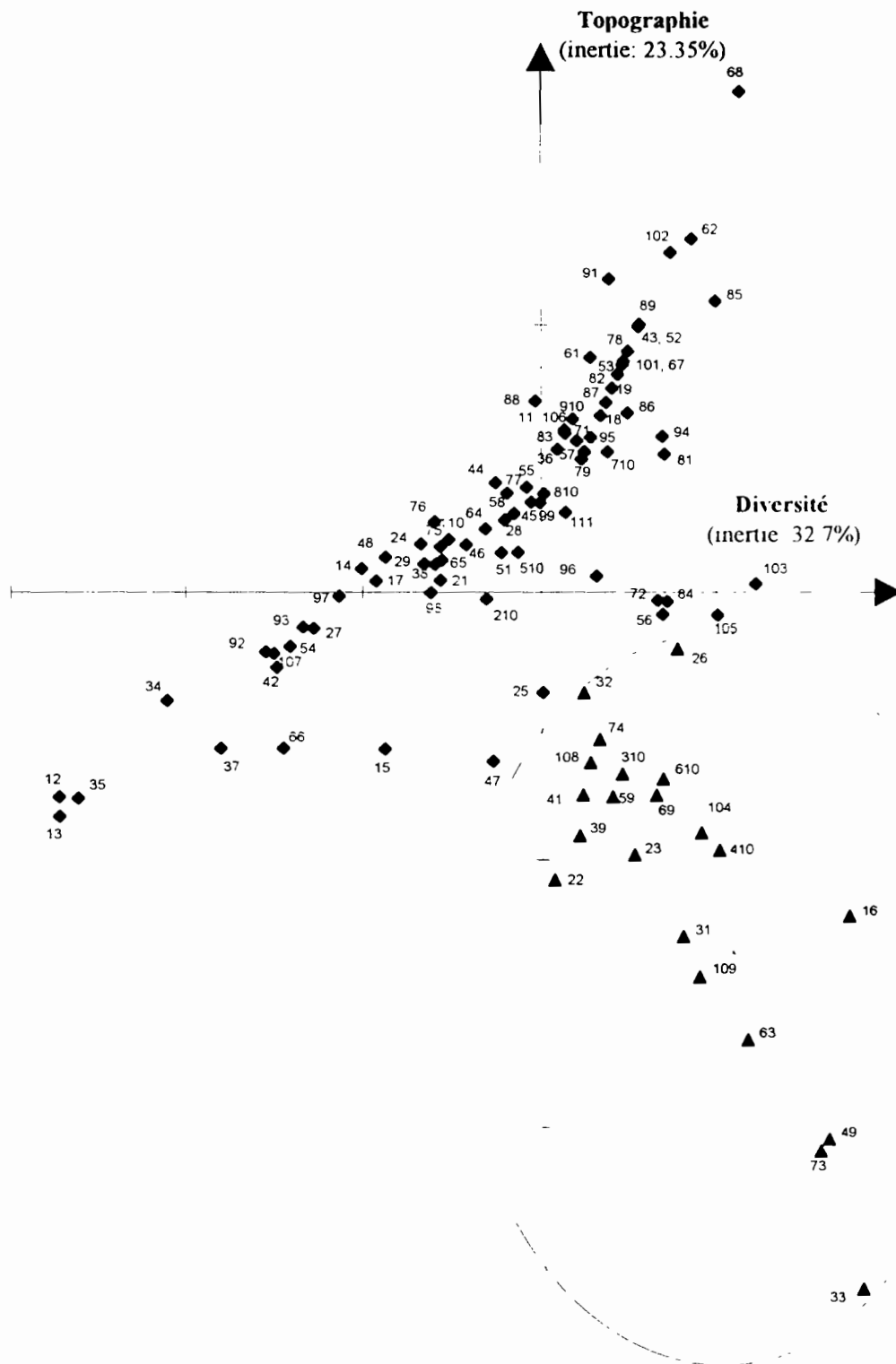


Figure 13a : AFC de la matrice 100 relevés x 19 espèces de Fété Olé. Carte factorielle des relevés dans le plan 1-2 (Relevé n° 88 en individu supplémentaire).

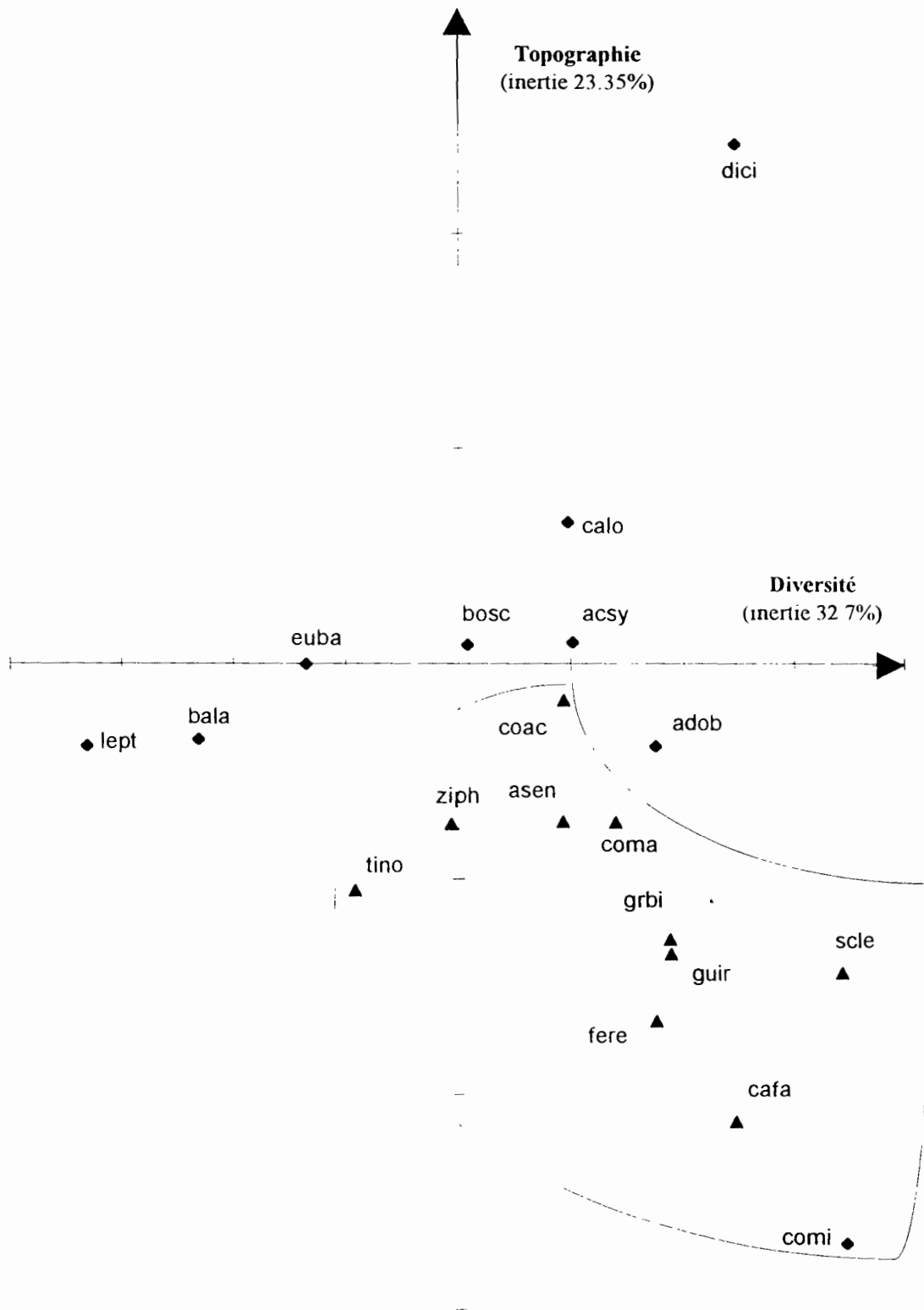


Figure 13b : AFC de la matrice 100 relevés x 19 espèces de Fété Olé. Carte factorielle des espèces dans le plan 1-2 (Relevé n° 88 en individu supplémentaire).

1.1.2.- Analyse partielle:

Les résultats sont représentés sur les Figures 14a et 14b. Les axes 1 et 2 absorbent respectivement 41.1% et 17.8% soit près de 60% de la variabilité totale. Tout comme dans l'analyse précédente l'axe 1 représente la diversité maximale et l'axe 2 la topographie.

Trois regroupements peuvent être identifiés.

- le premier dans le coin supérieur droit (ordonnées et abscisses positives) est caractérisé par *Calotropis procera* (638 A2), *Guiera senegalensis* (53 A2), *Dichrostachys cinerea* (1 A2), et *Acacia seyal* (1 A2). Ce regroupement caractérise les sommets, à texture sableuse ferrugineuse,
- le deuxième, situé à gauche de l'axe de la topographie (abscisses négatives), est caractérisé par *Balanites aegyptiaca* (738 A1), *Leptadenia hastata* (10 A2), *Tinospora bakis* (12 A1), *Ziziphus mauritiana*, *Euphorbia balsamifera* et *Sclerocarya birrea*. Ce regroupement caractérise les replats,
- le troisième, situé dans la partie inférieure des Figures 13a et 13b (ordonnées négatives) est caractérisé par *Boscia senegalensis* (176 A2), *Commiphora africana* (3 A2), *Acacia senegal* (2 A2), *Grewia bicolor* (1 A2), *Adenium obesum* (1 A2) et *Combretum aeculatum* (1 A2). Ce regroupement caractérise les versants et les bas de versants

Il apparaît donc qu'en soumettant notre matrice originale (100 relevés x 19 espèces) à la méthode de l'AFC, nous identifions quatre groupes, caractérisés par différentes espèces. Il a été montré que sur d'autres critères, Poupon (1980) identifie cinq unités de végétation associées à des éléments de relief. Notre analyse confirme donc parfaitement les observations de Poupon, mais sur des critères floristiques.

L'AFC nous montre donc bien qu'il existe une dépendance entre la répartition des espèces ligneuses sur le quadrat et le type d'élément de relief. En effet, le nombre d'espèces diminue progressivement lorsque l'on passe des dépressions aux sommets.

Il est intéressant de rappeler qu'entre les dépressions et les sommets; il n'y a que 4 mètres de dénivellation. En climat tempéré, on n'aurait sans doute pas mentionné l'existence d'éléments de relief dans de telles conditions. Par contre, dans un paysage comme celui de Fété-Olé, soumis à un régime de précipitations très variable, ce faible dénivelé a son importance!

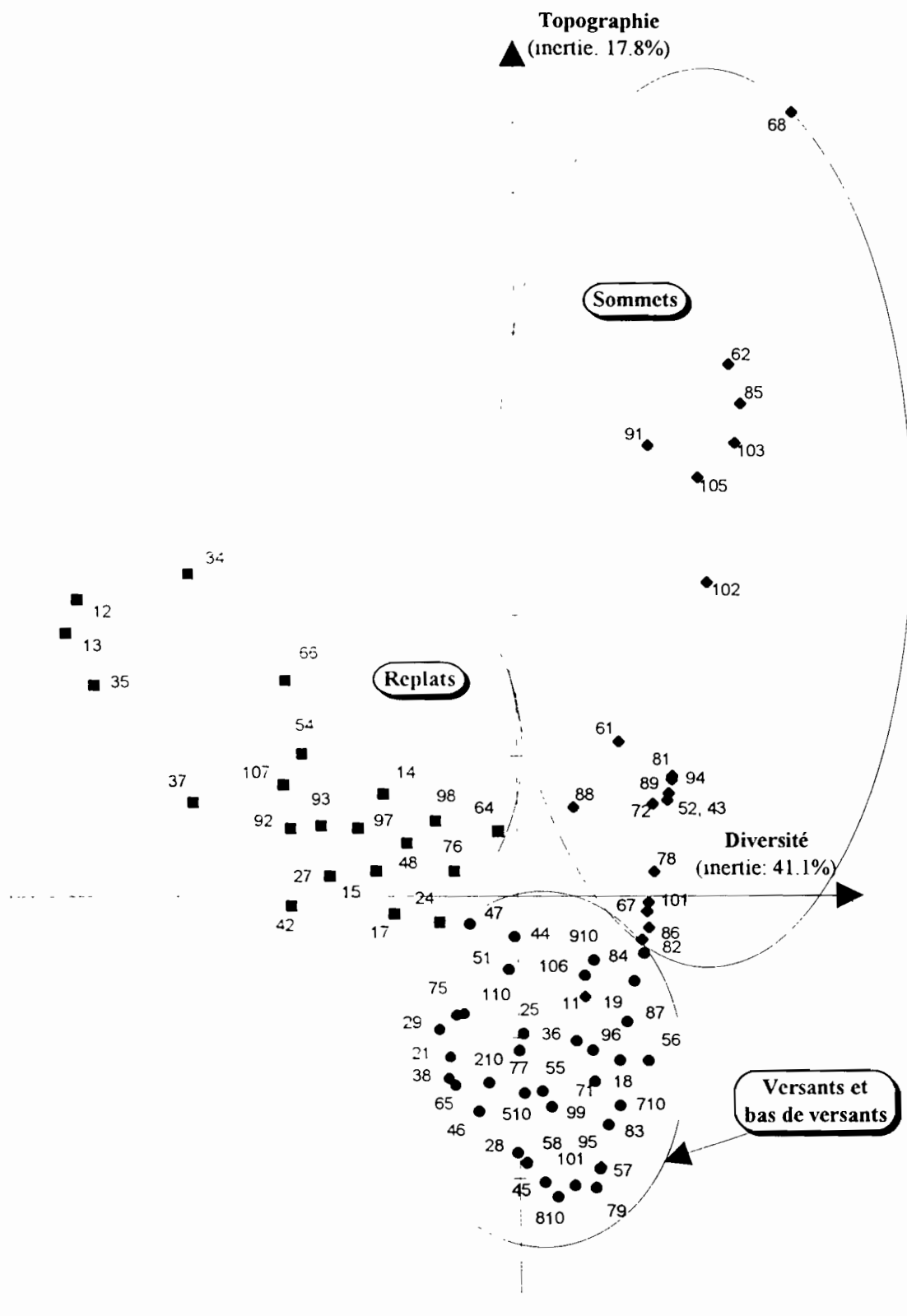


Figure 14a : AFC de la matrice 79 relevés x 16 espèces de Fété Olé. Carte factorielle des relevés dans le plan 1-2 (Relevé n° 88 en individu supplémentaire).

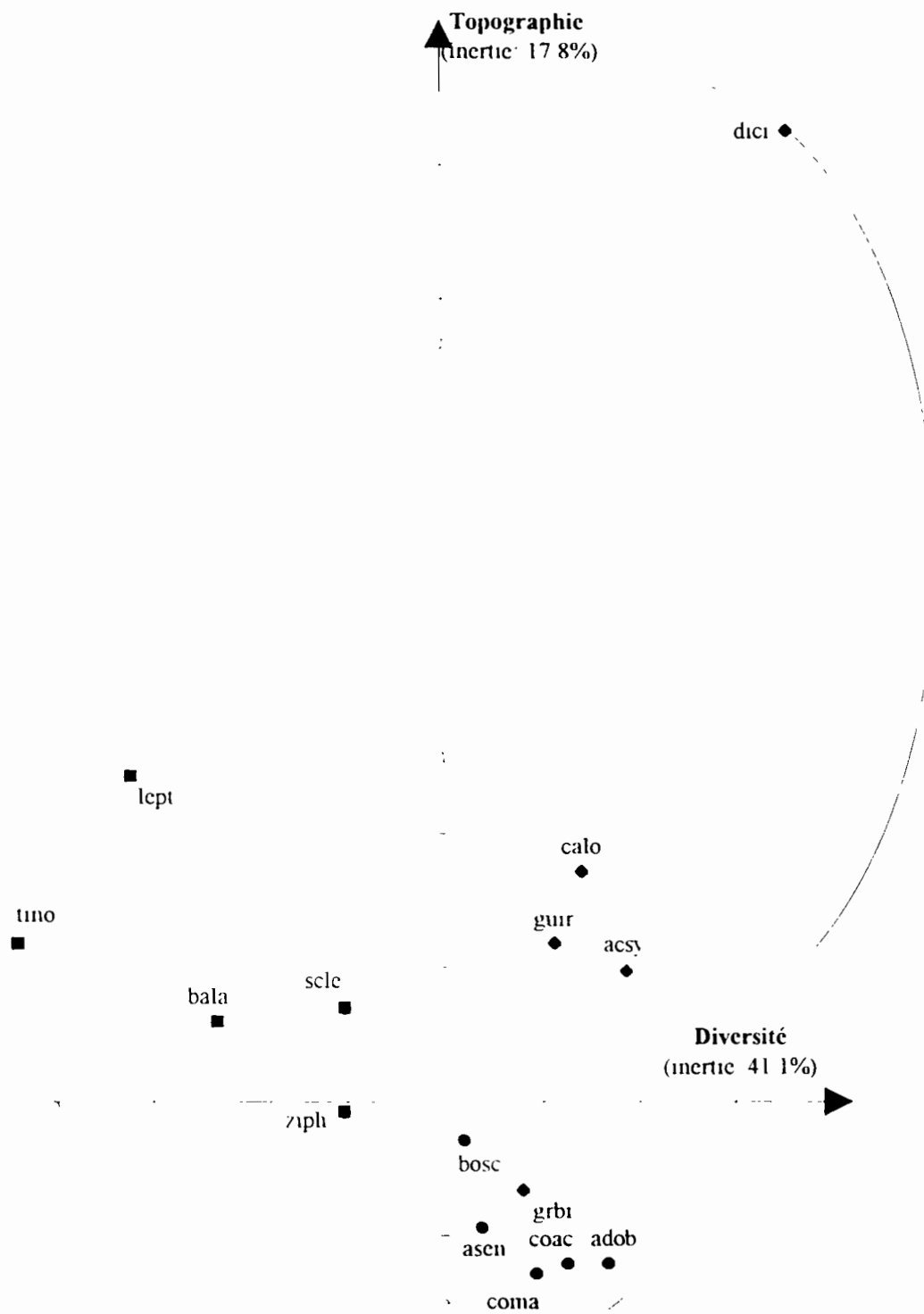
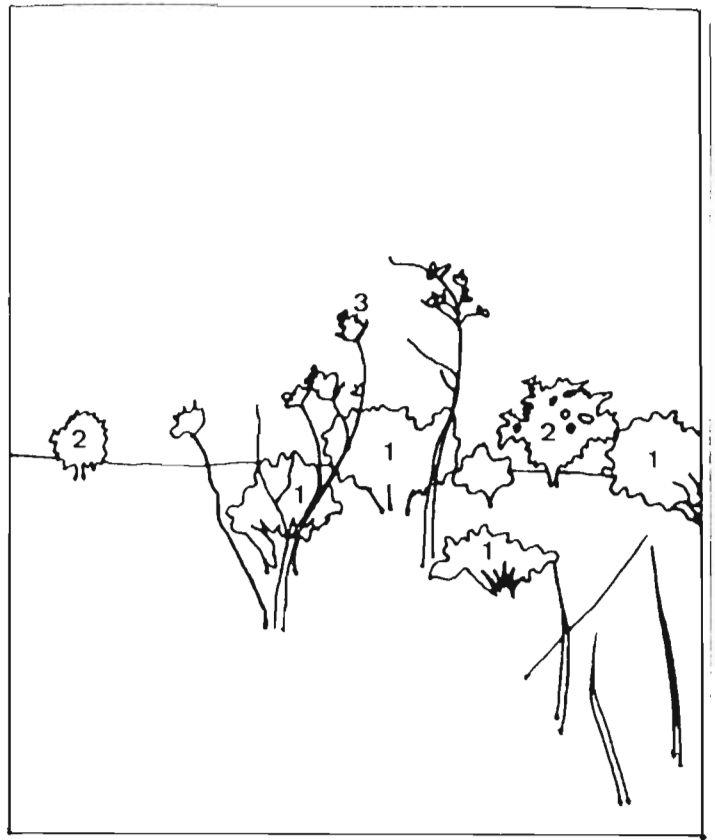


Figure 14b : AFC de la matrice 79 relevés x 16 espèces de Fété Olé. Carte factorielle des espèces dans le plan 1-2 (Relevé n° 88 en individu supplémentaire).



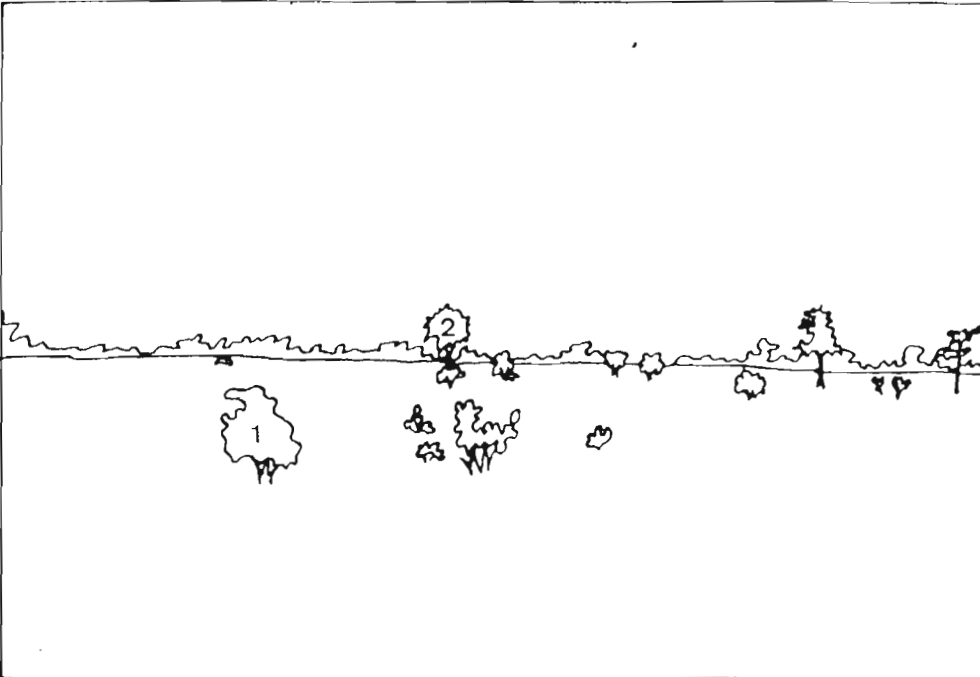
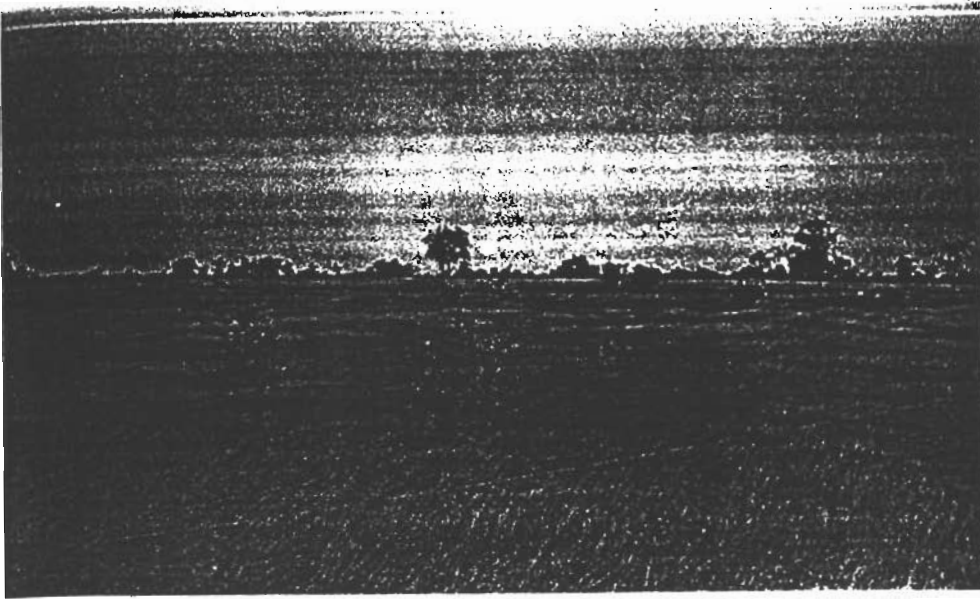
Photo n°4: paysage de bas de versant à Fête-Olé



- 1: *Boscia senegalensis*
- 2: *Balanites aegyptiaca*
- 3: *Calotropis procera*



Photo n°5: *Boscia senegalensis*



- 1- *Boscia senegalensis*
- 2- *Balanites aegyptiaca*

Photo n°7: *Calotropis procera* en fleur.



Photo n° 8 :
vue du haut d'un sommet à Fête-Olé.

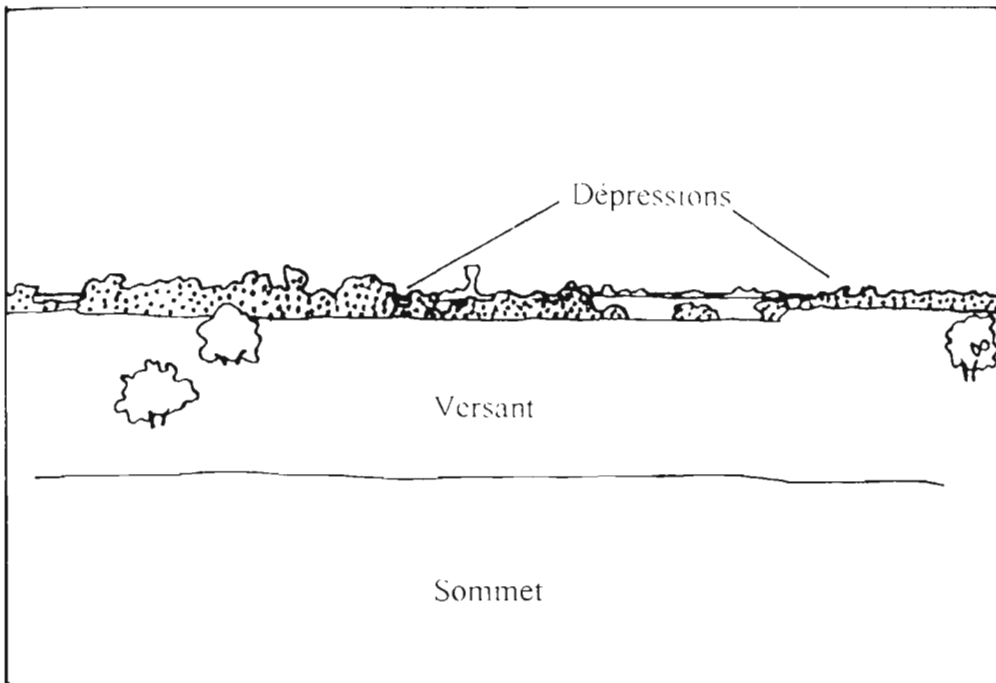
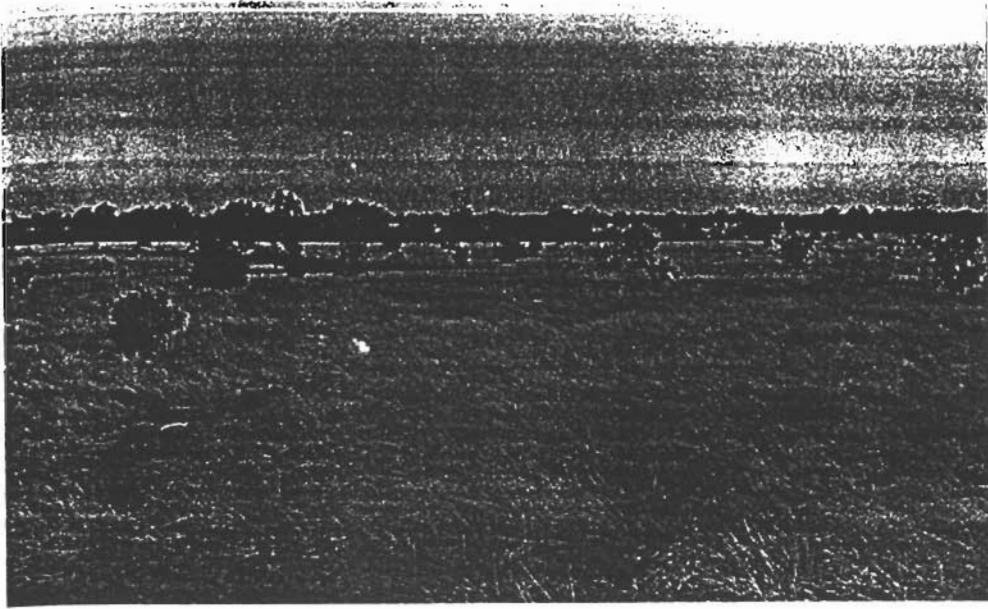
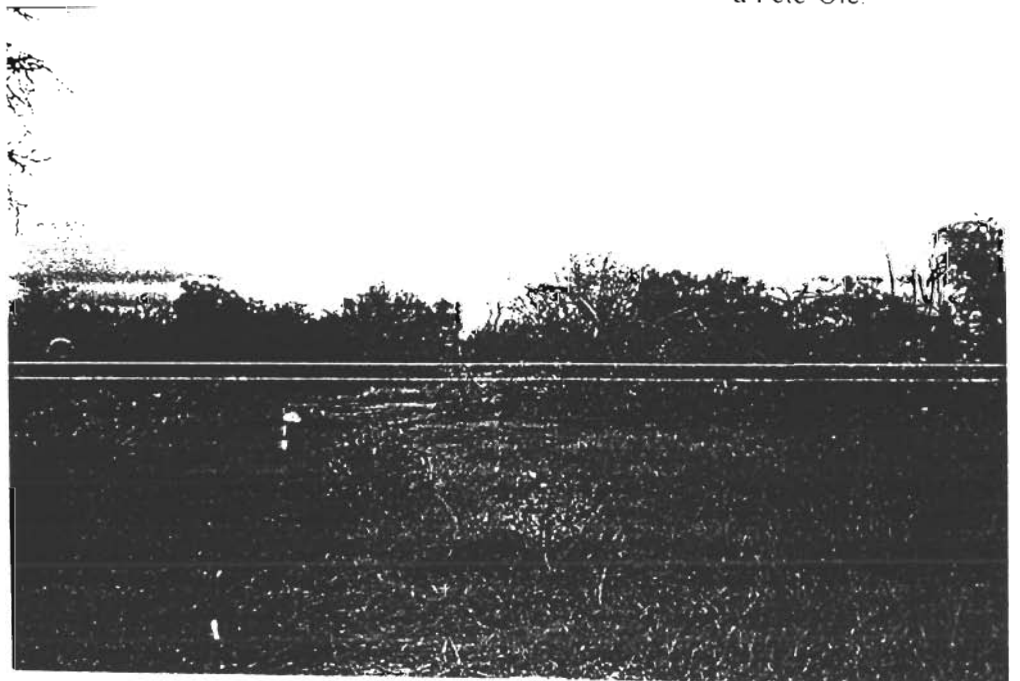


Photo n°9 : à l'intérieur d'une dépressio
à Fête-Olé.



1.2.- L'état de la végétation ligneuse en 1995:

1.2.1.- Nombre d'arbres sur le quadrat expérimental:

Sur les 25 hectares du quadrat, nous avons recensé 16 989 individus, soit 680 individus par hectare. Au total, 19 espèces appartenant à 13 familles sont présentes.

Nous présentons ci-dessous (Tableau 1) la liste floristique des espèces observées à Fété-Olé

Tableau 1: Liste floristique des espèces observées à Fété-Olé (Berhaut, 1967).

Famille	Espèces
BURSERACEES	<i>Commiphora africana</i> (A.Rich.) Engl.
ANACARDIACEES	<i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich) Engl.
RUBIACEES	<i>Feretia apodanthera</i> Del
RHAMNACEES	<i>Ziziphus mauritania</i> Lam.
APOCYNACEES	<i>Adenium obesum</i> (Forsk) Roem & Schult
ASCLEPIADACEES	<i>Calotropis procera</i> (Ait) Ait.F.
	<i>Leptadema hastata</i> (Pers.) Decne
ZYGOPHYLLACEES	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del
TILIACEES	<i>Grewia bicolor</i> Juss.
EUPHORBIACEES	<i>Euphorbia balsamifera</i> Ait.
MENISPERMACEES	<i>Tinospora bakis</i> (A.Rich.) Miers
CAPPARIDACEES	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.)Lam
	<i>Cadaba farinosa</i> Forsk.
MIMOSACEES	<i>Acacia senegal</i> (L.)Willd.
	<i>Acacia seyal</i> Del.
	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L) Wight & Arn
COMBRETACEES	<i>Combretum aculeatum</i> Vent.
	<i>Combretum micranthum</i> G.Don.
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F Gmel.

Sept espèces (Tableau 2) seront analysées en détail dans notre étude, car à elles seules elles représentent 95.86 % de la population ligneuse du quadrat.

Tableau 2: Les sept espèces les plus fréquentes à Fété-Olé.

Espèces	N/ha	%/ N total
<i>Boscia senegalensis</i>	473.3	69.64
<i>Guiera senegalensis</i>	80.8	11.89
<i>Balanites aegyptiaca</i>	46.24	6.8
<i>Acacia senegal</i>	1.36	0.2
<i>Grewia bicolor</i>	13.8	2.03
<i>Commiphora africana</i>	2.2	0.323
<i>Calotropis procera</i>	33.88	4.98

1.2.2.- Etat des lieux en 1995:

Le Tableau 3 indique la valeur de cinq paramètres (diversité, densité, surface terrière, régénération, individus morts) par élément de relief et pour l'ensemble du quadrat en 1995. Il donne aussi la densité des sept espèces les plus fréquentes par hectare d'élément de relief et de quadrat

Tableau 3: Etat des lieux à Fété-Olé en 1995

	Sommets Moy ±IC(p=0.05)	Versants Moy±IC(p=0.05)	Dépressions Moy±IC(p=0.05)	Quadrat Moy±IC(p=0.05)
Diversité (nbre d'sp/ha)	10.4 ±1.67	14 ±6.38	32 ±3.75	15.8 ±1.73
Densité moy. (nbre/ha)	146.7 ±33.08	399.6 ±99.12	2440 ±590.6	679.6 ±189.02
<i>Boscia senegalensis</i>	125.1 ±34.21	285.2 ±70.88	1727.1 ±383.43	473.3 ±130.63
<i>Guiera senegalensis</i>	1.1 ±1.62	37.3 ±22.43	373.6 ±181.87	80.8 ±41.91
<i>Balanites aegyptiaca</i>	4.3 ±3.19	37.5 ±12.74	129.9 ±34.7	46.2 ±12.73
<i>Acacia senegal</i>	0	0.7 ±0.53	14.8 ±11.52	1.4 ±2.12
<i>Grewia bicolor</i>	0	3.2 ±2.62	71.8 ±43.34	13.8 ±9.1
<i>Commiphora africana</i>	0.3 ±0.52	1 ±0.72	8.7 ±3.71	2.2 ±0.99
<i>Calotropis procera</i>	12.8 ±5.63	30.6 ±14.10	69.8 ±26.94	33.88 ±11.12
Surface terrière (m²/ha)	0.2 ±0.053	0.8 ±0.23	4.2 ±0.92	1.2 ±0.33
Régénération (nbre/ha)	16.8 ±14.13	80.3 ±30.76	649.2 ±224.44	156.5 ±59.73
Morts (nbre/ha)	4 ±3.24	26.3 ±9.99	172.7 ±51.66	43.8 ±15.2

La diversité moyenne est de 16 espèces par hectare. Sa valeur minimum est de 10 espèces/ha sur les sommets et sa valeur maximum de 32 espèces/ha dans les dépressions

La densité moyenne totale est de 680 individus/ha. Ce paramètre atteint sa valeur minimum dans les sommets (147 individus/ha) et sa valeur maximum dans les dépressions (2440 individus/ha). On constate que les valeurs de la densité moyenne de chacune des sept espèces présentées dans le Tableau 3 présentent le même type de répartition par élément de relief.

Ces valeurs permettent aussi de déterminer quelles sont les espèces les plus représentées sur chaque élément de relief

Sur les dunes, le peuplement est essentiellement constitué de *Boscia senegalensis*, *Calotropis procera* et *Balanites aegyptiaca*

Dans les versants, *Boscia senegalensis* domine encore (285 individus/ha), suivi de *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Calotropis procera* et quelques *Grewia bicolor*.

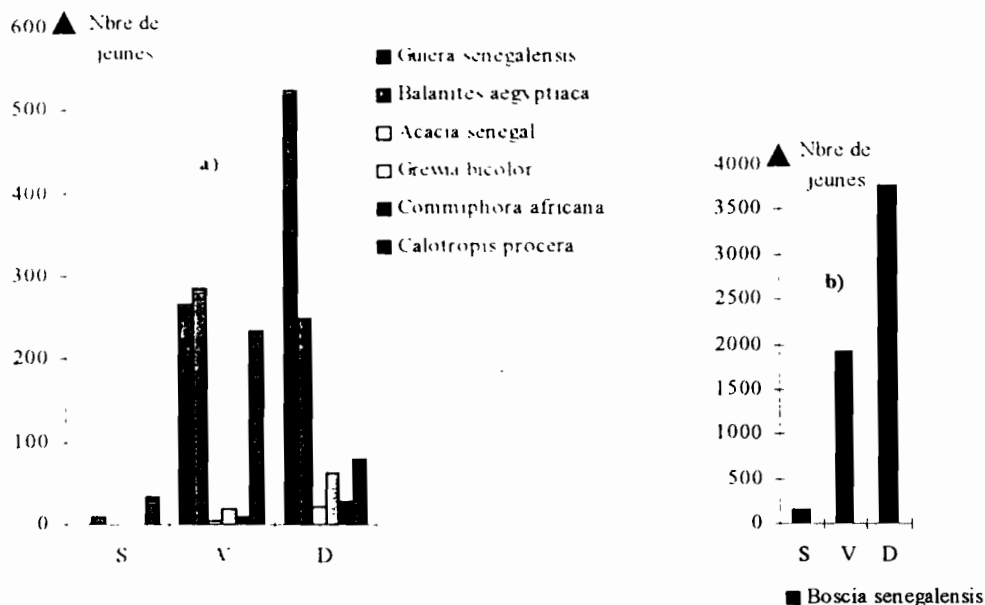
Dans les dépressions et leurs pourtours, *Boscia senegalensis* (1727 individus/ha) et *Guiera senegalensis* (373.6 individus/ha) forment l'essentiel du peuplement. *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera* et *Grewia bicolor* sont nombreux tandis que *Acacia senegal* et *Commiphora africana* ne constituent qu'une faible part du peuplement.

La surface terrière par hectare de terrain est faible: elle est, en moyenne de 1.22 m², allant de 0.17 m² en sommet de dune à 4.16 m² en dépressions. Les valeurs trouvées à Fété-Olé sont du même ordre de grandeur que celles indiquées par les auteurs suivants:

- Whittaker et Niering (1975) en Arizona indiquent pour la strate arbustive des surfaces terrières allant de 0.21 à 4.15 m²/ha,
- Poupon (1980) dans le Ferlo sénégalais inventorie des valeurs de 0.6 à 8.8 m²/ha,

- Grouzis (1988) à la Mare d'Oursi au Burkina Faso indique des valeurs de surface terrière variant de 1.6 à 3.2 m²/ha dans des unités de végétation très ressemblantes de celles de Fété-Olé;
- Diatta (1994) inventorie des surfaces terrières de l'ordre de 0.8 à 1.6 m²/ha dans des petits bassins versants du Sine-Saloum au Sénégal constitués d'espèces similaires à celles trouvées à Fété-Olé.

La régénération moyenne est d'environ 160 jeunes/ha, avec une valeur minimale sur les sommets (17 jeunes/ha) et maximale dans les dépressions (650 jeunes/ha). Ceci est appuyé par les Figures 15a et 15b qui montrent la répartition des jeunes des sept espèces étudiées par élément de relief, en 1995



Figures 15a et 15b: Régénération de sept espèces à Fété-Olé, par élément de relief, en 1995.

On remarque que pour toutes les espèces étudiées à l'exception de *Balanites aegyptiaca*, les jeunes sont bien essentiellement situés dans les dépressions. Cela traduit une plus grande fragilité de leur part à tout accident climatique. *Balanites aegyptiaca* présente une régénération légèrement supérieure sur les versants, ce qui témoigne de sa remarquable adaptabilité aux conditions de sécheresse.

En ce qui concerne le nombre d'individus morts par hectare il est intéressant de noter qu'il augmente aussi des sommets aux dépressions. Cela s'explique pour deux raisons. Tout d'abord, on trouve dans les dépressions des espèces plus hygrophiles que celles des versants et des sommets. Elles sont par là même plus sensibles à la sécheresse. De plus, sachant que c'est dans les dépressions que l'on a la plus grande densité à l'hectare, que c'est donc là qu'il existe la plus grande compétition pour l'eau, on comprend que l'on y trouve le nombre d'individus morts à l'hectare le plus élevé.

L'examen du Tableau 3 montre donc que les valeurs de chaque variable étudiée augmentent des sommets aux dépressions. Cette répartition est logique si l'on sait que les dépressions

bénéficient d'une hydromorphie favorable puisque l'eau s'y accumule pendant la saison des pluies.

Notons que les résultats obtenus pour l'ensemble du quadrat sont toujours inférieurs à ceux obtenus pour les dépressions car les sommets et versants, étant plus nombreux que les dépressions, masquent leur contribution

1.3.- Dynamique de la végétation ligneuse:

1.3.1.- Evolution du peuplement ligneux (1976-1995):

Quelle que soit l'année considérée (1976 ou 1995), il apparaît donc nettement que la densité du peuplement augmente significativement lorsque l'on passe des sommets aux dépressions. Cette répartition est facilement explicable par les conditions édaphiques (notamment hydriques) qui sont plus favorables dans les dépressions (Cornet, 1981, Gavaud, 1990)

Ceci est confirmé par l'analyse de l'évolution du peuplement entre 1976 et 1995 en fonction de trois éléments de relief définis : les sommets (S), les versants (V) et les dépressions (D). En effet, il existe une corrélation entre le taux de dépérissement des ligneux et le relief de dunes ainsi que le type de savane (Miehe, 1990)

La Figure 16 montre la répartition du nombre d'individus toutes espèces confondues, par hectare d'élément de relief

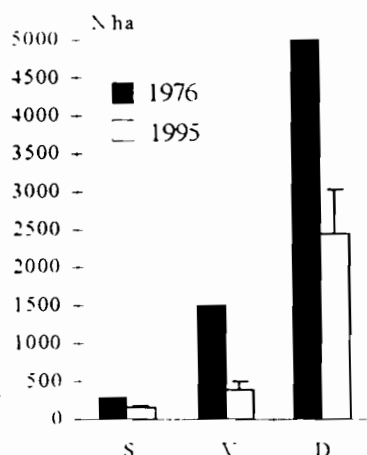


Figure 16: Evolution de la population ligneuse par hectare d'élément de relief.

Il est évident, au vu de la Figure 16 que le site de Fété-Olé a souffert ces dernières années. En effet, le nombre d'individus par hectare d'élément de relief diminue drastiquement, quel que soit le relief considéré et ceci de manière significative.

1.3.2.- Evolution des populations ligneuses entre 1976 et 1995:

Soulignons qu'en 1976, *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, *Grewia bicolor* et *Commiphora africana* représentaient à elles seules 99% de la population ligneuse du quadrat (Poupon, 1980). Le fait qu'elles ne représentent plus que 91% de la population ligneuse en 1995 (*Calotropis procera* non compris) peut être expliqué comme suit: ces six espèces ont chacune vu leur effectif diminuer, pendant que *Calotropis procera* voyait augmenter les siens. De plus, les autres espèces présentes sur le quadrat (Annexe 2) n'ont proportionnellement pas fort évolué durant cette période. Ce qui pourrait expliquer que la contribution relative des six premières espèces du tableau ait diminuée pendant les vingt dernières années.

1.3.2.1 - Evolution de la structure de la population ligneuse de quelques espèces (Figure 17)

La structure de la population de *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis* et *Balanites aegyptiaca* illustre bien le modèle exponentiel décroissant (Diedhiou, 1994). Ces structures montrent que les classes jeunes sont bien représentées, quoique pour *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis* elles sont inférieures à celles observées en 1976. L'allure générale de ces courbes ne s'est pas modifiée depuis 1976: ces populations sont restées équilibrées. Pour *Boscia senegalensis* et *Balanites aegyptiaca*, leurs comportements hydrique et photosynthétique peuvent expliquer leur maintien, voire même leur extension. En effet, *Boscia senegalensis* est une espèce à feuilles coriaces persistantes donc bien adaptée aux conditions de sécheresse. Et *Balanites aegyptiaca*, ligneux à épines, a des rameaux photosynthétiquement actifs toute l'année et des feuilles réduites. Ces deux espèces sont capables de puiser l'eau du sol pour des potentiels très négatifs car elles tolèrent des tensions de sève très basses sans dommage apparent pour les tissus foliaires (Fournier, 1993).

Depuis 1976 (la structure étant alors de type exponentiel décroissant), la structure d'*Acacia senegal* a fortement changé. On observe en 1995 une courbe à l'allure bimodale. On se trouve en présence de deux populations: une adulte (classes de circonférence 15 cm et supérieures) et l'autre très jeune (classe de circonférence 5 cm). Il est difficile de déterminer si la classe manquante résulte d'une régénération difficile ou d'une mortalité précoce élevée. Une possible explication serait une attaque par les rongeurs sur les jeunes pousses, car cette espèce est très appréciée par ceux-ci¹³. De plus, *Acacia senegal* est une espèce mal adaptée aux conditions d'aridité car elle ne sait pas assurer la régulation de son eau (Fournier, 1993, Colonna *et al.*, 1990). Cette population se caractérise malgré tout par une évolution progressive, en raison de sa régénération importante.

La structure de la population de *Commiphora africana* s'est aussi complètement modifiée. En 1976 on se trouvait avec une population âgée, déséquilibrée, ce qui est totalement différent de la situation actuelle. En effet, la structure de 1995 s'approche d'une exponentielle décroissante, c'est à dire d'une population en équilibre. On pourrait conclure que cette espèce a bien évolué, mais comme on le voit à la Figure 15a, la majorité des jeunes plants se situent dans les dépressions, et non plus sur l'ensemble du relief. Cela traduit une plus grande fragilité de cette espèce.

¹³ Poupon (1980) fait état d'attaques de rats (*Arvicanthus niloticus*) de 1975 à 1977 sur la strate ligneuse à Fété-Olé, en particulier sur les jeunes pousses d'*Acacia senegal*. En 1975, 15% des rejets de cette espèce ont été détruits définitivement.

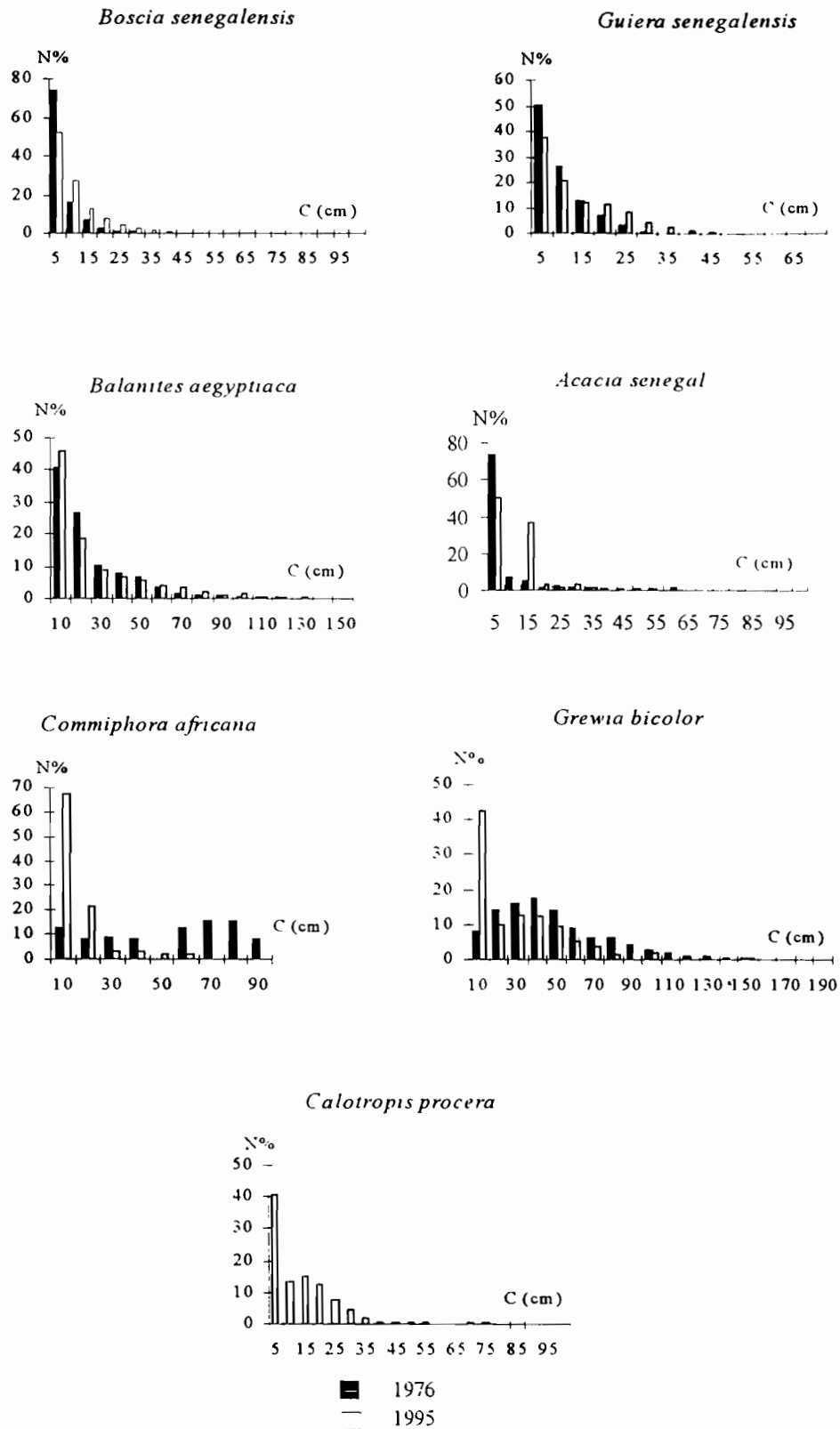


Figure 17: Structure comparée de la population de sept espèces à Fété-Olé, entre 1976 et 1995
 Les différences de structure entre 1976 et 1995 analysées par un test de KHI-2 sont hautement significatives pour toutes les espèces

Grewia bicolor se régénère de manière importante et tend vers une allure exponentielle décroissante alors qu'en 1976 elle avait une allure de demi cloche. On remarque aussi que les gros individus de 1976 (circonférence supérieure à 100 cm) ont totalement disparus. La régénération est sans doute en partie issue de ces arbres mères justement. Il semble que la mortalité de cette espèce ait été assez importante. Cela est peut-être lié au fait que cette espèce hydrophile a accusé les déficits hydriques. Mais par ailleurs elle est très recherchée par les pasteurs Peulh, car ils l'utilisent pour fabriquer leurs « bâtons de berger » et leurs ustensiles de cuisine.

Calotropis procera n'a pas été étudiée en 1976 car elle n'était alors presque pas représentée. En 1995, elle représente environ 5% de la population ligneuse globale. Sa structure tend vers une exponentielle décroissante, ce qui montre que *Calotropis procera* est une population proche de l'équilibre. Cette espèce aime les sols meubles et organiques (Miehe, 1990) et elle apparaît surtout aux endroits où il y a une accumulation de bois mort (*Sclerocarya birrea* et *Combretum glutinosum*)

1 3.2.2.- Evolution de la densité de la population ligneuse de quelques espèces:

Afin d'affiner nos observations concernant l'évolution de la végétation ligneuse, nous nous sommes intéressés d'un peu plus près à six espèces. Pour chacune d'entre elles nous avons étudié son évolution par élément de relief et sur l'ensemble du quadrat, entre 1976 et 1995

Les résultats sont présentés en deux groupes. Le premier groupe (Figure 18) concerne les espèces pour lesquelles nous disposons des données issues des cartes de Poupon (1980); ces espèces sont *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, *Commiphora africana* et *Grewia bicolor*. Pour chacune de ces quatre espèces, un test de comparaison de moyennes à été réalisé. Les résultats de ces tests sont consignés dans le Tableau 4

Le deuxième groupe d'espèces (*Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis*) est représenté sur la Figure 19. Ces espèces sont traitées à part car il n'est pas possible de réaliser un test statistique sur leur évolution entre 1976 et 1995. En effet nous ne disposons pas des données de Poupon qui nous permettrait de calculer l'écart-type de 1976. Par contre nous représentons l'intervalle de confiance de nos données de 1995.

En ce qui concerne *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Acacia senegal* et *Grewia bicolor*, la proportion de chacune de ces quatre espèces dans chaque élément de relief ne varie pas, si ce n'est que le nombre d'individus diminue fortement de 1976 à 1995. Mais dans l'ensemble, on obtient toujours une densité croissante des sommets aux dépressions.

Pour *Grewia bicolor* le test de comparaison des moyennes sur les sommets s'avère être non significatif, et pourtant en 1995, il n'y a plus aucun *Grewia bicolor* sur cet élément de relief. En fait il y en avait déjà peu en 1976, et donc même s'ils ont disparus actuellement, la différence n'est pas significative. En observant la Figure 19 nous remarquons aussi que mis à part *Boscia senegalensis* sur les sommets et pour l'ensemble du quadrat, la barre supérieure de chaque intervalle de confiance de 1995 ne dépasse jamais la valeur moyenne correspondante de 1976. On pourrait être tenté de conclure que les effectifs de *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis* ont diminué de manière très significative, mais il faudrait pour cela que la barre inférieure de l'intervalle de confiance de 1976 (que nous ne pouvons pas calculer) n'inclue pas la valeur moyenne de 1995.

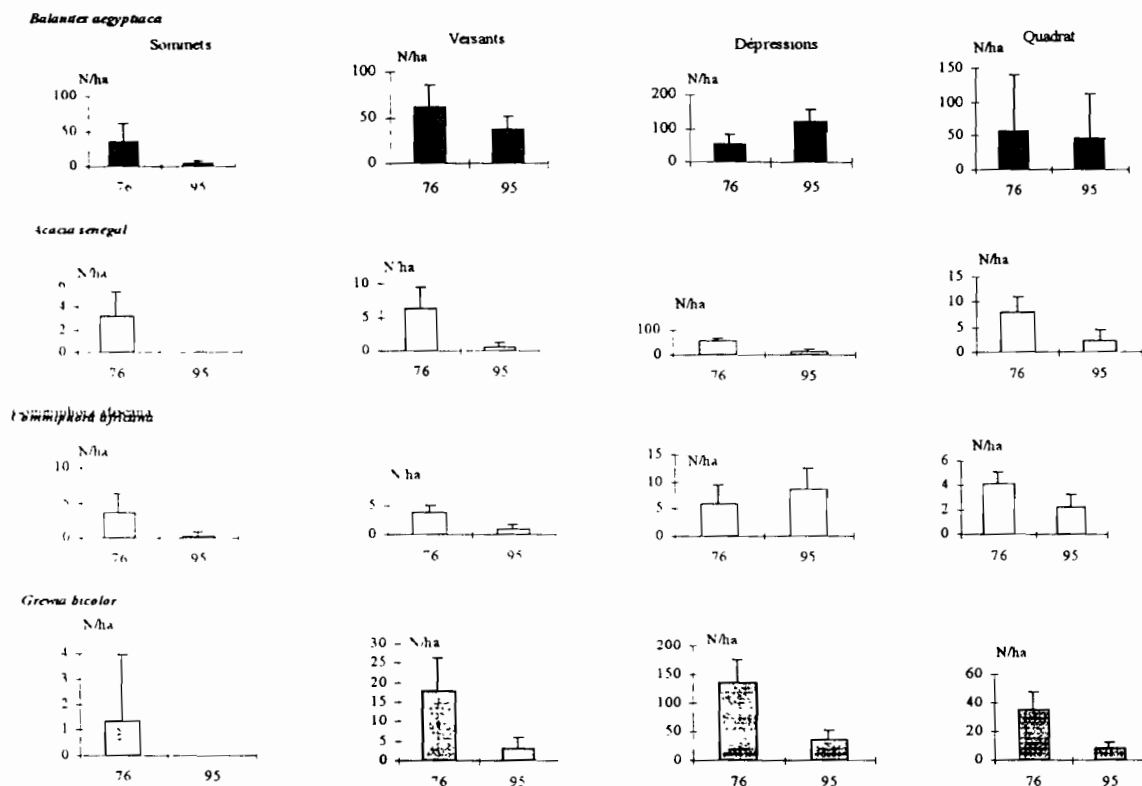


Figure 18: Evolution de la densité de la population de quatre espèces ligneuses en fonction de l'élément de relief (Moyenne \pm IC pour $p=0.05$)

Tableau 4: Tests de comparaisons de moyennes pour quatre espèces.

Espèces	Sommets	Versants	Dépressions	Quadrat
<i>Balanites aegyptiaca</i>	t: 2.46 * (28)	t: 1.83 NS (134)	t: 3.12 ** (32)	t: 0.89 NS (198)
<i>Acacia senegal</i>	t: 2.86 ** (28)	t: 3.67 ** (134)	t: 1.07 NS (32)	t: 3.20 ** (198)
<i>Commiphora africana</i>	t: 2.24 * (28)	t: 3.33 ** (134)	t: 1.08 NS (32)	t: 2.50 ** (198)
<i>Grewia bicolor</i>	t: 1 NS (28)	t: 3.85 ** (134)	t: 4.32 ** (32)	t: 3.99 ** (198)

NS: non significatif; *: significatif; **: hautement significatif

Les valeurs indiquées entre parenthèses sont les degrés de liberté associés à chaque test.

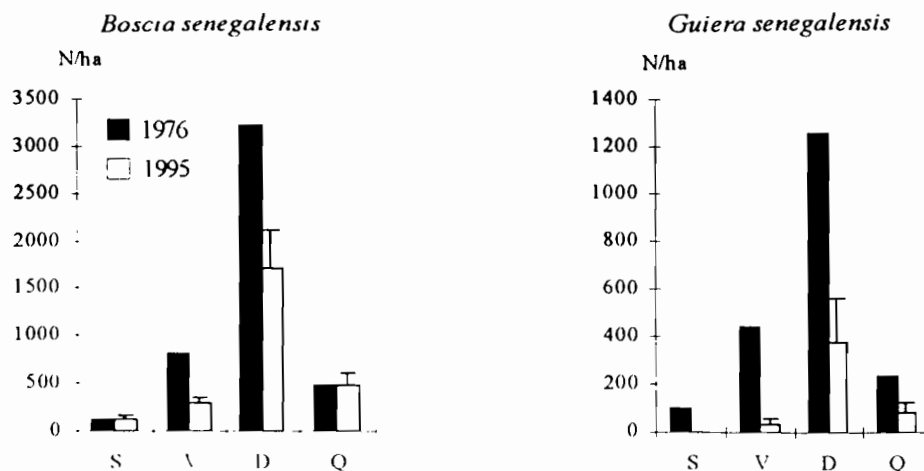


Figure 19: Répartition de *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis* par hectare d'élément de relief et par hectare du quadrat (Q).

Balanites aegyptiaca présente un comportement particulier. En 1976, on trouve le plus grand nombre d'individus sur les versants, alors qu'en 1995, ce sont les dépressions qui se sont fortement enrichies de cette espèce. C'est ce que l'on appelle le phénomène de contraction de la végétation. Les *Balanites aegyptiaca* se rassemblent dans les endroits les plus favorables, le climat devenant de plus en plus sec. Cette observation est surprenante de la part de *Balanites aegyptiaca* à Fété-Olé, car cette espèce semble en général y craindre les terrains engorgés, et en 1976 elle représentait moins de 1% du peuplement des dépressions (Poupon, 1980).

Le même phénomène de contraction de la végétation s'observe pour *Commiphora africana*. En 1976, Poupon faisait la remarque suivante: «... *Commiphora africana* se maintiendrait relativement mieux que les autres espèces sur les sommets et les pentes de dunes... ». Les observations de 1995 permettent de conclure exactement l'inverse. Cette espèce est donc particulièrement sensible à la sécheresse qui persiste depuis ces dernières années. Ceci est confirmé par la répartition de sa régénération qui se concentre dans les dépressions (Figure 15a).

Il paraît clair au vu de ces courbes, qu'il y a eu des changements depuis 1976 dans la répartition de ces six espèces par élément de relief, et donc sur le quadrat entier.

1.3.2.3 - Vingt ans d'évolution synthèse

Grâce à l'étude réalisée par Poupon en 1976 (Poupon, 1980) et à celle réalisée par le GEMS (Anonyme, 1987), nous sommes en mesure de présenter l'évolution de la densité par hectare de six espèces, ainsi que le taux de changement de ces espèces pour les trois périodes. Ceci est présenté dans le Tableau 5.

Sur les six espèces étudiées dans ce Tableau 5, seuls les effectifs de *Balanites aegyptiaca* et *Acacia senegal* diminuent de manière continue depuis 1976. Mais cette diminution n'est significativement différente que pour *Acacia senegal*, espèce très sensible à toute variation de l'écosystème

Tableau 5: Evolution de la végétation à Fété-Olé entre 1976, 1983 et 1995.

ESPECES (individus/Ha)	DENSITE PAR HA			CHANGEMENT (%/an)		
	1976 (1)	1983 (2)	1995	76-83 (3)	83-95 (4)	76-95
<i>Boscia senegalensis</i>	492	353.2	473.28	(a)	2.83	(a)
<i>Guera senegalensis</i>	235	46.8	80.8	(a)	6.05	(a)
<i>Balanites aegyptiaca</i>	56.7	49.6	46.24	-1.79 NS	-0.56	-0.97 NS
<i>Acacia senegal</i>	8.04	3.6	1.36	(a)	-5.19	-4.37**
<i>Grewia bicolor</i>	17.1	5.6	7.6	-9.61**	2.97	-2.92**
<i>Commiphora africana</i>	4.1	1.9	2.2	-7.67**	1.32	-2.43*

(1) données issues de (Poupon, 1980).

(2) données issues de (Anonyme, 1987).

(3) test de comparaison de moyennes effectué par (Anonyme, 1987) NS= Non Significatif; *= significatif, **= hautement significatif.

(4) il est impossible dans ce cas de réaliser un test statistique pour savoir si ce changement est significatif car nous ne possédons pas les données brutes des auteurs du GEMS.

(a) pour *Boscia senegalensis* et *Guera senegalensis* Poupon n'a réalisé l'inventaire que sur deux hectares alors que les données du GEMS et les nôtres comprennent l'ensemble des vingt cinq hectares. Le test de comparaison des moyennes n'est donc pas réalisable

Pour *Boscia senegalensis*, *Guera senegalensis*, *Grewia bicolor* et *Commiphora africana*, on observe un comportement particulièrement intéressant. Les effectifs de ces quatre espèces diminuent fortement de 1976 à 1983, début d'une très forte sécheresse dans le Ferlo (ce que montrent les séries pluviométriques de Dagana et de Dahra). Pour *Grewia bicolor* et *Commiphora africana* les tests de comparaison de moyenne ont pu être réalisés et les différences sont hautement significatives.

Après 1983, les effectifs de ces quatre espèces se reconstituent mais ne parviennent néanmoins pas à atteindre ceux de 1976. En effet, pour les six espèces le taux de changement entre 1976 et 1995 est négatif, ce qui indique une diminution. Celle-ci est d'ailleurs hautement significative pour *Acacia senegal*, *Grewia bicolor* et *Commiphora africana*, toutes trois des espèces très sensibles à la sécheresse.

Au vu de ces résultats, il semble évident que la sécheresse qui règne depuis bientôt vingt ans a des effets dégradants sur la végétation naturelle des zones sahéliennes. La contraction de la végétation dans les dépressions le montre bien (Boudet, 1972; Boudet, 1977; Courel, 1985). Ceci est confirmé par Miehe (1990) qui explique que les écosystèmes du Ferlo sableux évoluent vers une savane « plus aride », et ceci presque indépendamment de tout pâturage.

A Fété-Olé, la diversité floristique diminue dans son ensemble¹⁴, et la densité de chaque espèce varie en fonction de ses capacités d'adaptation, de sa résistance. Certaines espèces comme *Boscia senegalensis*, *Guera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca* se maintiennent bien, car elles sont bien adaptées aux conditions de sécheresse. D'autres comme *Acacia senegal*, *Grewia bicolor*, *Commiphora africana* tendent à disparaître car les quelques grands arbres qui restent sur pied ne sont plus assez vigoureux pour permettre une bonne régénération.

Il faut toutefois signaler que le phénomène de contraction de la végétation qui a été remarqué de façon spectaculaire chez *Balanites aegyptiaca* et *Commiphora africana* est un phénomène qui semble assez généralisé.

¹⁴ Entre 1976 et 1993, le site s'est appauvri de quatre espèces *Grewia tenax*, *Maerua angolensis*, *Acacia ataxacantha* et *Dalbergia melanoxylon*.

2.- Tatki: évaluation de l'évolution de la végétation dans des conditions de forte anthropisation.

Les résultats relatifs à l'évolution de la végétation autour du forage de Tatki devraient nous permettre de mettre en évidence l'évolution de la végétation ligneuse, similaire à celle de Fété-Olé (type de sol, type de climat et type de végétation identiques), en fonction du degré d'artificialisation. Dans toutes les figures et tous les tableaux de cette section, l'abréviation suivante y est utilisée Di= Distance i (en km) au forage

2.1.- Analyse qualitative:

2.1.1.- Analyse Factorielle de Correspondances:

Afin de mettre en évidence l'effet de la distance au forage sur la composition floristique de la végétation ligneuse, la matrice (23 espèces x 5 relevés) a été soumise à une AFC. Les résultats sont représentés sur la Figure 20. L'axe 1 absorbe 65,40% de l'inertie et l'axe 2, 27,8%. A eux deux ils absorbent donc 93,2% de l'information. On peut donc se contenter largement de ces deux axes pour interpréter nos résultats. L'axe 1 oppose le relevé F0.5 (510) au relevé F15 (467) et représente donc la distance au forage. L'axe 2 oppose le relevé F1 (110) au relevé F10 (167), soit respectivement un relevé constitué de 4 espèces à un relevé constitué de 19 espèces (Annexe 3). On identifie aisément le relevé F0.5 (abscisses positives, ordonnées négatives) défini essentiellement par *Calotropis procera* (536 A1), et le relevé F15 (abscisses négatives, ordonnées négatives) défini essentiellement par *Guiera senegalensis* (275 A1). Par contre, les relevés F1, F2, F5 et F10 regroupés dans la partie centrale, sont difficiles à séparer, ce qui nous a conduit à réaliser une analyse partielle de la matrice de départ en retirant F0.5 et F15. Notons que la forme parabolique de la courbe de la Figure 20 est assez caractéristique. C'est ce que l'on appelle l'effet Guttman. Il apparaît lorsque le nuage des observations peut être réduit à une seule dimension. Cela arrive en particulier lorsqu'il y a dépendance totale entre l'ensemble des lignes (espèces) et des colonnes (distances) de la matrice traitée.

Les résultats de l'analyse partielle sont exposés sur la Figure 21. L'axe 1 absorbe 58% de l'inertie et l'axe 2 en absorbe 31,5%. A eux deux ils absorbent donc 89,5% de l'information et suffisent donc pour interpréter nos résultats. L'axe 1 oppose le relevé F2 (98) au relevé F10 (572), c'est à dire un relevé constitué de 5 espèces à un relevé constitué de 19 espèces. L'axe 1 représente donc dans ce cas la diversité. L'axe 2 quant à lui oppose les relevés F1 (355) et F2 (145) aux relevés F5 (356) et F10 (144) et représente donc la distance au forage. On identifie aisément cette fois les espèces caractéristiques des différentes distances au forage.

Le relevé F1 est défini essentiellement par *Acacia senegal* (126 A3) et le relevé F2 par *Prosopis juliflora* (288 A3). Le relevé F5 est défini par *Calotropis procera* (367 A1), *Balanites aegyptiaca* (185 A2) et *Ferretia apodanthera* (122 A1). Le relevé F10 est essentiellement représenté par quatre espèces, *Mytragyna inermis* (129 A1), *Grewia bicolor* (99 A2), *Acacia nilotica* (80 A1) et *Acacia ataxacantha* (60 A1).

Il apparaît donc que la diversité floristique varie effectivement avec la distance au forage, du moins au niveau qualitatif. C'est ce que montre l'effet Guttman observé sur la Figure 20.

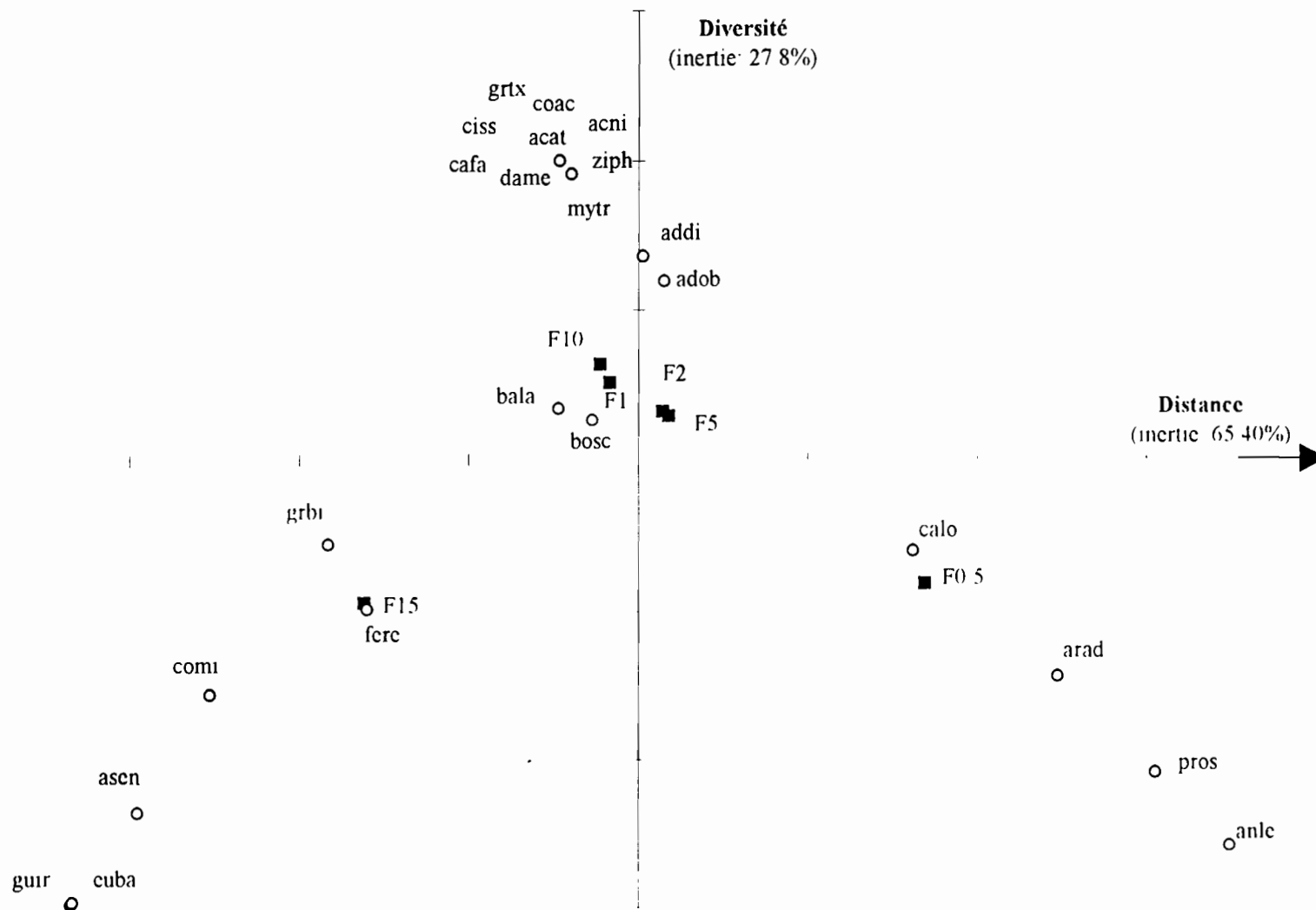


Figure 20 : AFC de la matrice 23 espèces x 6 relevés de Tatki. Carte factorielle des espèces et des relevés dans le plan 1-2.

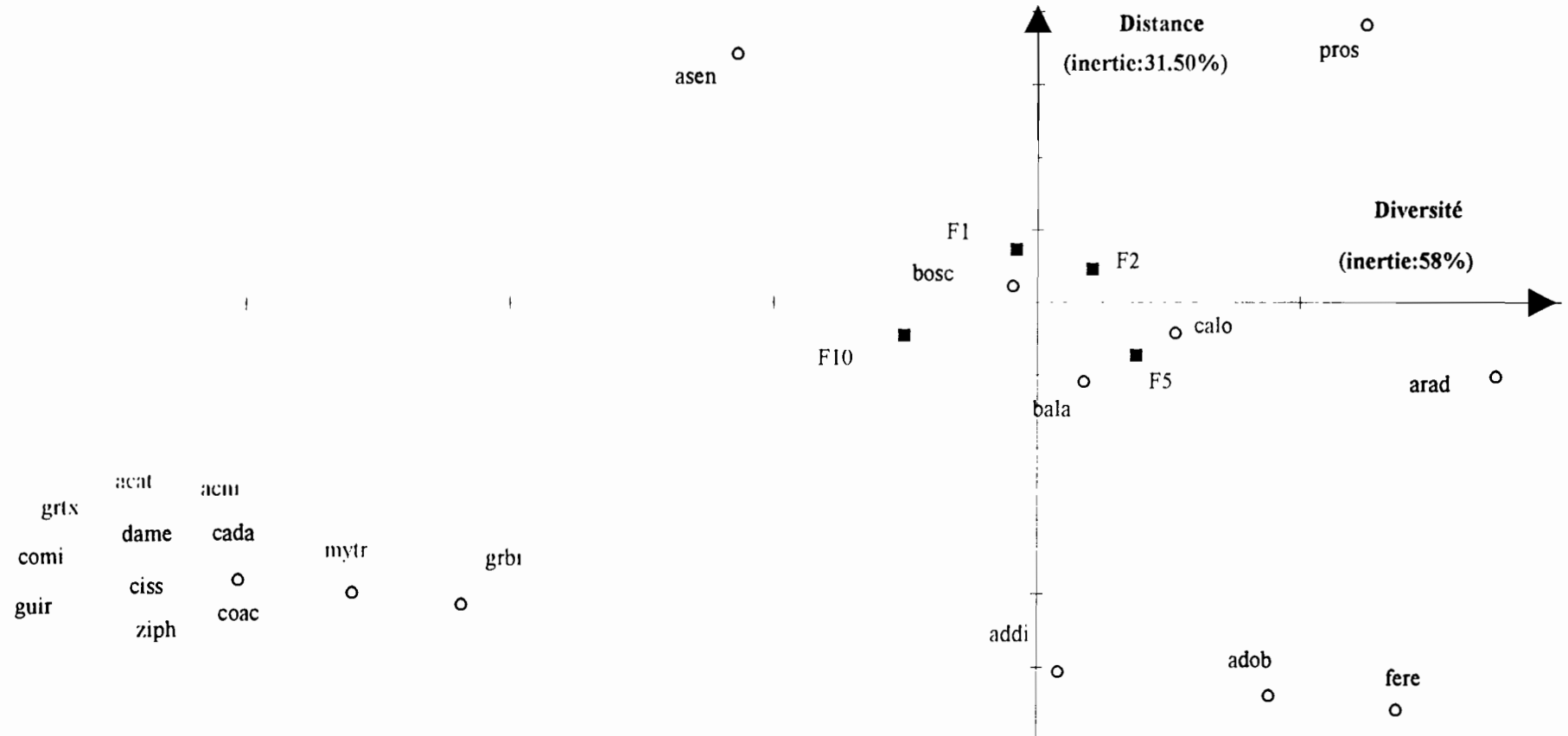


Figure 21 : AFC de la matrice 21 espèces x 4 relevés de Tatki. Carte factorielle des espèces et des relevés dans le plan 1-2.

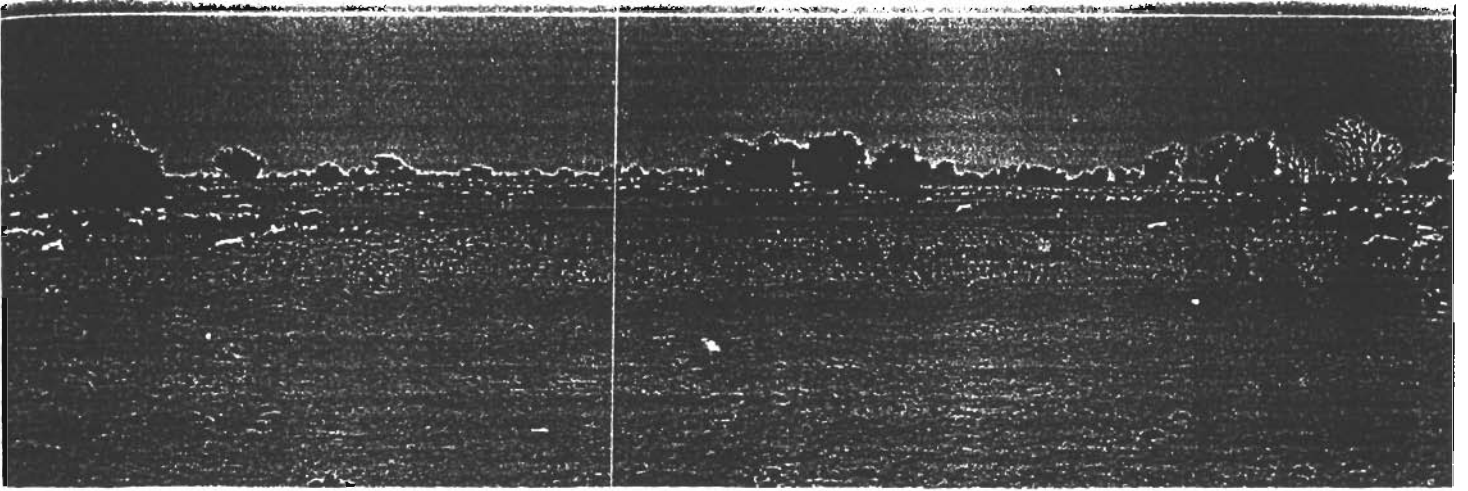


Photo n°10: les abords du forage de Tatki aux environs de midi, heure à laquelle les troupeaux sont presque tous réunis pour s'abreuver.



Distance 500 m

Photo n°11: les bêtes se reposent autour du forage.



Photo n°12: la citeime du forage de Tatki.



Distance 1 km



Distance 2 km

Photo n°14: une dépression déjà fort colonisée par *Calotropis procera*.

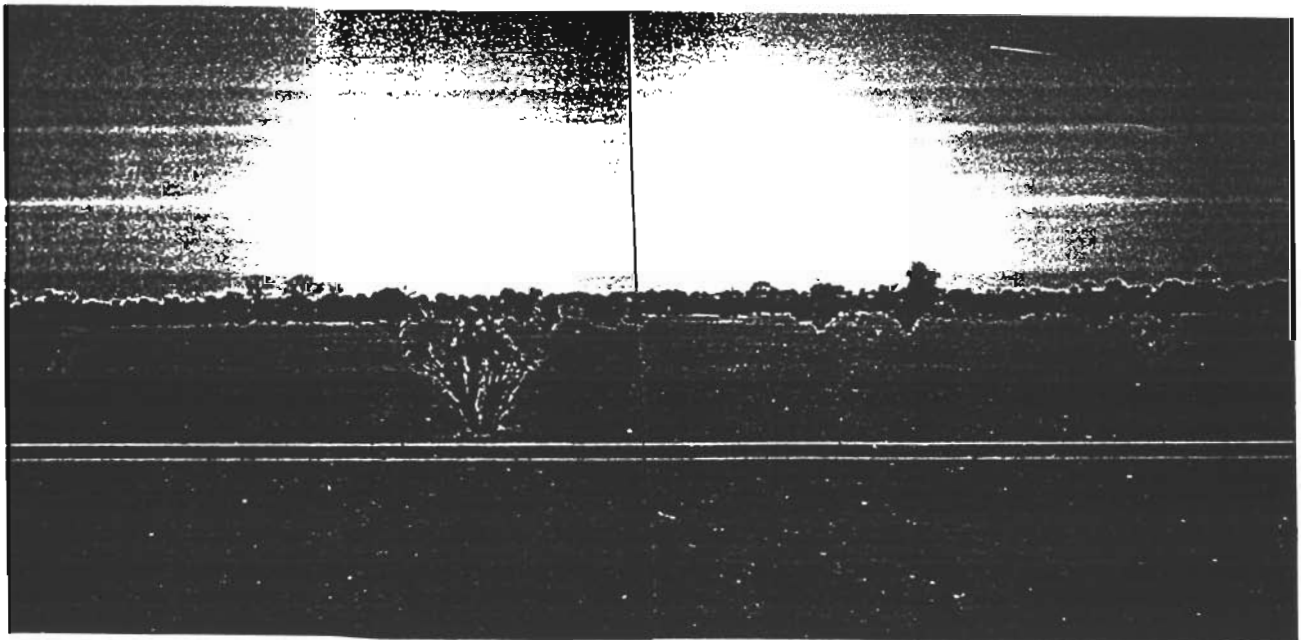


Photo n°15: vue du haut d'un sommet.

Distance 5 km



Photo n°16: l'intérieur d'une mare temporaire (dépression fréquentée par les Peulh en saison des pluies) déjà colonisée par *Calotropis procera*.

Distance 10 km



Photo n°17: un sommet sur lequel on observe encore un tapis d'herbacées desséchées.

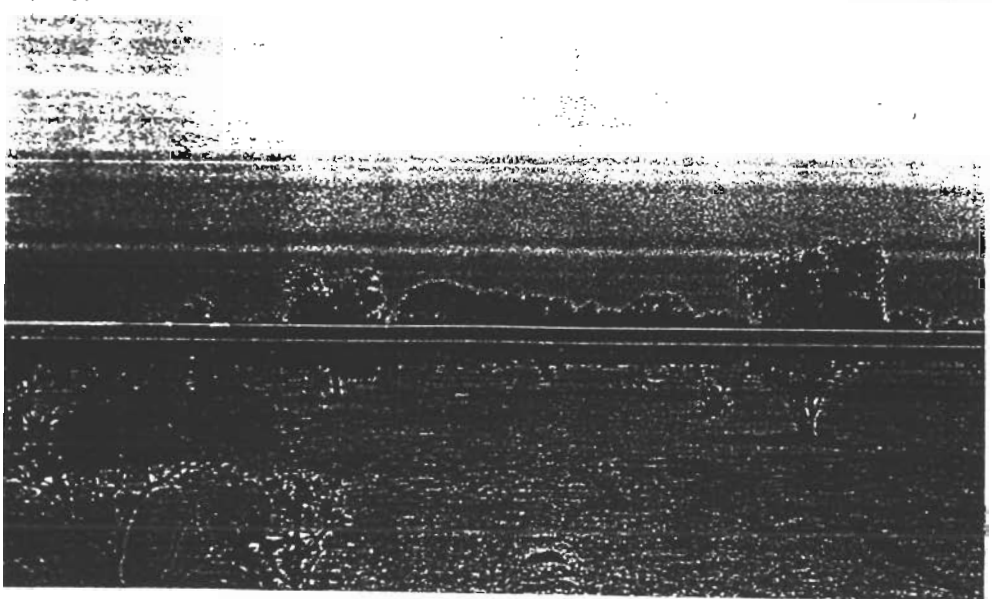


Photo n°18: une dépression.

2.1.2.- Evolution de la fréquence de quatre espèces en fonction de la distance au forage:

En observant la matrice utilisée pour réaliser l'AFC (Annexe 3), nous avons remarqué que quatre espèces méritaient une attention plus particulière en ce qui concerne leur réponse à l'anthropisation du milieu. Il s'agit de *Boscia senegalensis*, *Calotropis procera*, *Balanites aegyptiaca* et *Guiera senegalensis*.

La Figure 22 représente l'évolution de leur fréquence en fonction de la distance au forage. Sur le graphe sont également indiqués les villages et les campements qui se trouvaient à proximité (1-2 km) des parcelles. Les photos 10 à 18 montrent l'évolution de la végétation ligneuse en fonction de la distance au forage.

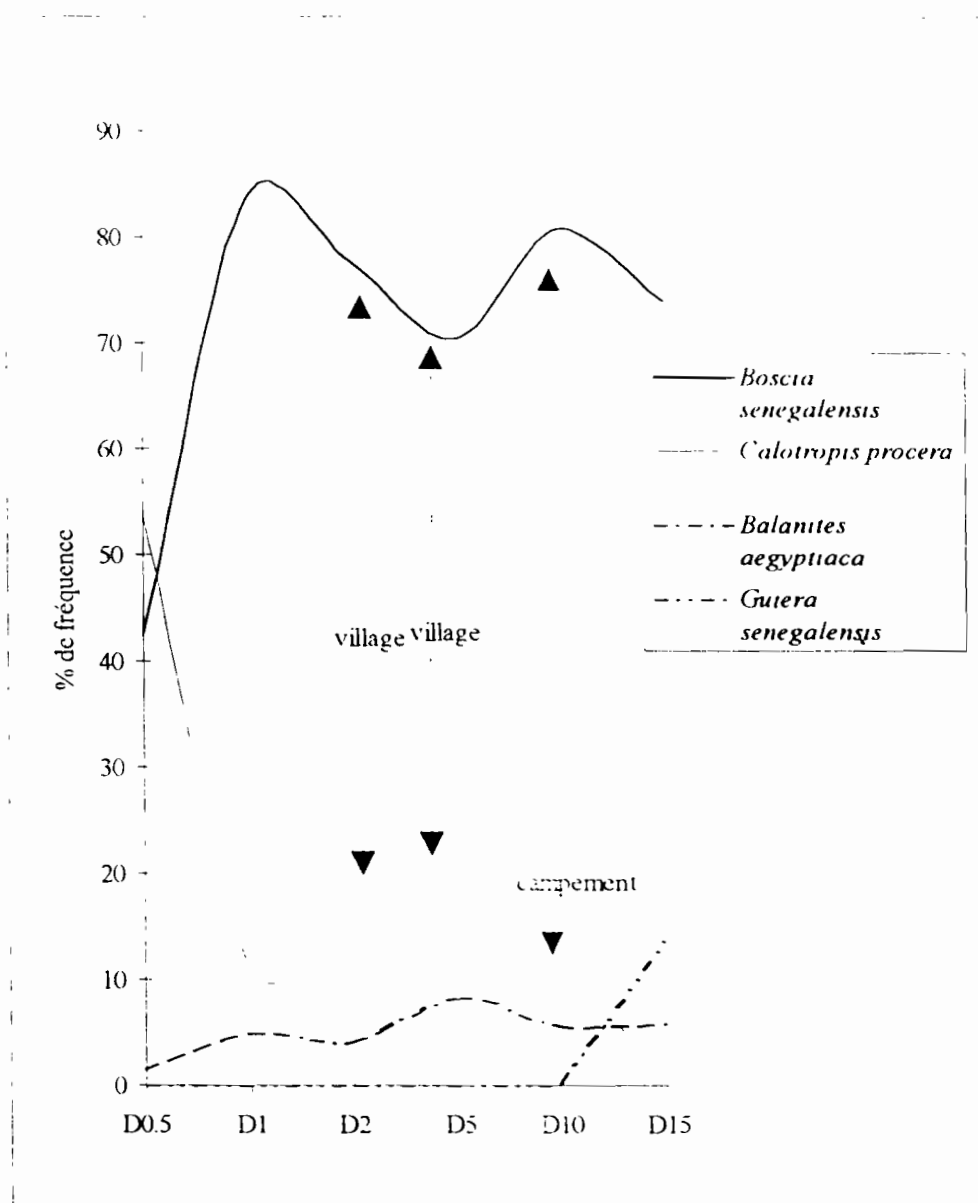


Figure 22: Evolution de quatre espèces par rapport à la distance au forage.

Boscia senegalensis est l'espèce qui est la plus représentée à chaque distance, à l'exception de D0.5. On remarque qu'entre 2 et 10 km, là où se situent plusieurs sites anthropisés, sa fréquence diminue, pour augmenter en bordure de ces sites. Mais malgré ces réponses à la présence de l'homme et à ses activités, cette espèce se maintient bien. Outre son adaptation à la sécheresse (Fournier, 1993), ceci est sans doute dû au fait qu'elle est la moins appétée de tous les ligneux communs de la région (Barral, 1980; Miehe, 1990)

Espèce pionnière typique, *Calotropis procera* montre une évolution inverse de celle de *Boscia senegalensis*. Sa fréquence est maximale à proximité immédiate du forage (D0.5), et elle diminue dès que l'on s'en éloigne, pour augmenter à chaque abord de campement. D'après Boutrais (1992), cette espèce colonise lorsque les arbustes fourragers ont disparus et que les plantes herbacées ne se trouvent plus que dans des auréoles. Elle semble être une indicatrice des milieux anthropisés et dégradés. Selon Miehe (1990), cette espèce est une indicatrice du degré de pression exercé sur le pâturage. Elle n'est pâturée qu'en période de forte sécheresse.

Balanites aegyptiaca ne semble pas fort sensible à l'activité humaine. Sa fréquence diminue néanmoins légèrement autour des campements, et tend à augmenter avec la distance au forage. Le comportement de cette espèce démontre que certains ligneux fourragers sahéliens s'accommodent de la présence des animaux domestiques.

Guiera senegalensis semble par contre très sensible à l'anthropisation. En effet, elle est quasi inexistante des abords du forage jusqu'à plus de 10 km de celui-ci, distance à partir de laquelle elle commence à apparaître, pour augmenter de manière continue jusqu'à 15 km.

Il semble clair que les passages quotidiens des troupeaux et la présence de campements ont un effet sur la végétation environnante. Chaque espèce réagit par rapport à ses exigences, ses tolérances et son degré d'appétabilité.

Certaines espèces ligneuses ne s'accommodent pas de la présence de l'homme et des animaux domestiques. En effet, une espèce comme *Guiera senegalensis* qui est caractéristique du biotope sahélien autour de Tatki, ne supporte pas cette pression anthropique. Tout comme *Acacia senegal*, *Commiphora africana*, *Sterculia setigera* et *Sclerocarya birrea* qui disparaissent dans un rayon de 200 mètres autour des campements permanents. Ceci car ce sont toutes des espèces utiles à l'homme. En effet, les trois premières sont des espèces à gomme, et la dernière est utilisée pour la fabrication d'ustensiles tels que les mortiers.

Au contraire, d'autres espèces vont foisonner autour des sites d'activités humaines: c'est le cas de *Calotropis procera*.

Il y a donc une modification floristique d'ordre quantitatif à proximité des forages. Si l'on sait que dans le Ferlo les ligneux représentent 20% du régime alimentaire des bovins, 25% de celui des moutons et 60% de celui des chèvres, on comprend un peu mieux les dégâts occasionnés par ces animaux (Anonyme, 1987) lorsqu'ils sont en nombre trop important.

2.2.- Analyse quantitative (analyse de variance):

Afin d'appuyer, de compléter et de nuancer les conclusions précédentes, nous avons effectué une analyse de variance sur l'évolution de quatre paramètres en fonction de la distance au forage:

- la diversité;
- la densité;
- la surface terrière;
- la régénération.

Nous avons représenté l'évolution de ces quatre paramètres en séparant les dépressions et le groupe des versants et des sommets. Les résultats obtenus sont exposés à la Figure 23. Les résultats de l'analyse de variance sont présentés dans le Tableau 6. L'analyse de variance pour ces quatre paramètres n'a été réalisée que pour le groupe des versants et sommets car pour les dépressions nous ne disposons chaque fois que d'une parcelle par distance.

Dans le Tableau 6 nous résumons les résultats de l'analyse de variance effectuée sur le groupe des versants et des sommets.

Tableau 6: Résultats de l'analyse de variance effectuée sur le groupe des versants et sommets.

	D0.5	D1	D2	D5	D10	D15	Test F(23,5)*
Diversité	11	7	6.5	8	10	10	2.11 NS
Densité	92	125	312	258	270	277	1.24 NS
Surf. terr.	1.17	0.16	1.29	0.74	0.51	0.51	1.27 NS
Rég.	0	0	49	42	12	20	1.26 NS

* 23: ddl de la variance totale, 5 ddl du facteur distance

Malgré la séparation des éléments de relief, nous remarquons qu'aucun test ne s'avère significatif. Or, avec l'AFC nous avons montré une nette différence floristique entre les distances. Nous pensons que ce résultat est dû à la représentativité de notre échantillonnage. En effet, pour cerner le maximum de variabilité, nous avons stratifié l'échantillonnage en fonction des éléments de relief, vu l'importance de ce facteur dans la région (cf résultats de Fété-Olé). Cependant les variations entre les différents éléments de relief n'ont pu être intégrées par l'effectif trop restreint de l'échantillonnage (5 x 0.25 ha). De ce fait, la variabilité intrasites (effet topographie) s'est avérée être largement supérieure à la variabilité intersites (effet distance). Il y a donc des tendances en fonction de la distance, et non des différences, puisque les résultats sont non significatifs statistiquement. Il faut noter aussi qu'aux abords du forage, le modèle du paysage subit une déstructuration due au passage répété des troupeaux, ce qui provoque un aplanissement des dépressions et donc une homogénéisation du paysage. Néanmoins, au vu des résultats de l'AFC et des graphes de la Figure 23, nous pouvons supposer que si notre échantillonnage avait été plus important, nous aurions obtenu des différences significatives.

Dans les versants et les sommets, la diversité tend à être la plus élevée à D0.5. En effet, il reste beaucoup d'espèces différentes, mais elles ne sont représentées que par un ou deux individus de grande taille, qui ne sont plus accessibles au broutage des animaux. Ce paramètre diminue ensuite dans les zones anthropisées puis réaugmente aux environs de 7 km. D'après le test statistique réalisé, l'évolution de la diversité en fonction de la distance au forage n'est pas significative. Or l'AFC montre qu'il y a dépendance totale entre ces deux paramètres. L'AFC est donc plus performante en ce qui concerne la représentation des résultats, car elle indique à la fois le nombre d'espèces observées, et leur contribution relative à la communauté végétale.

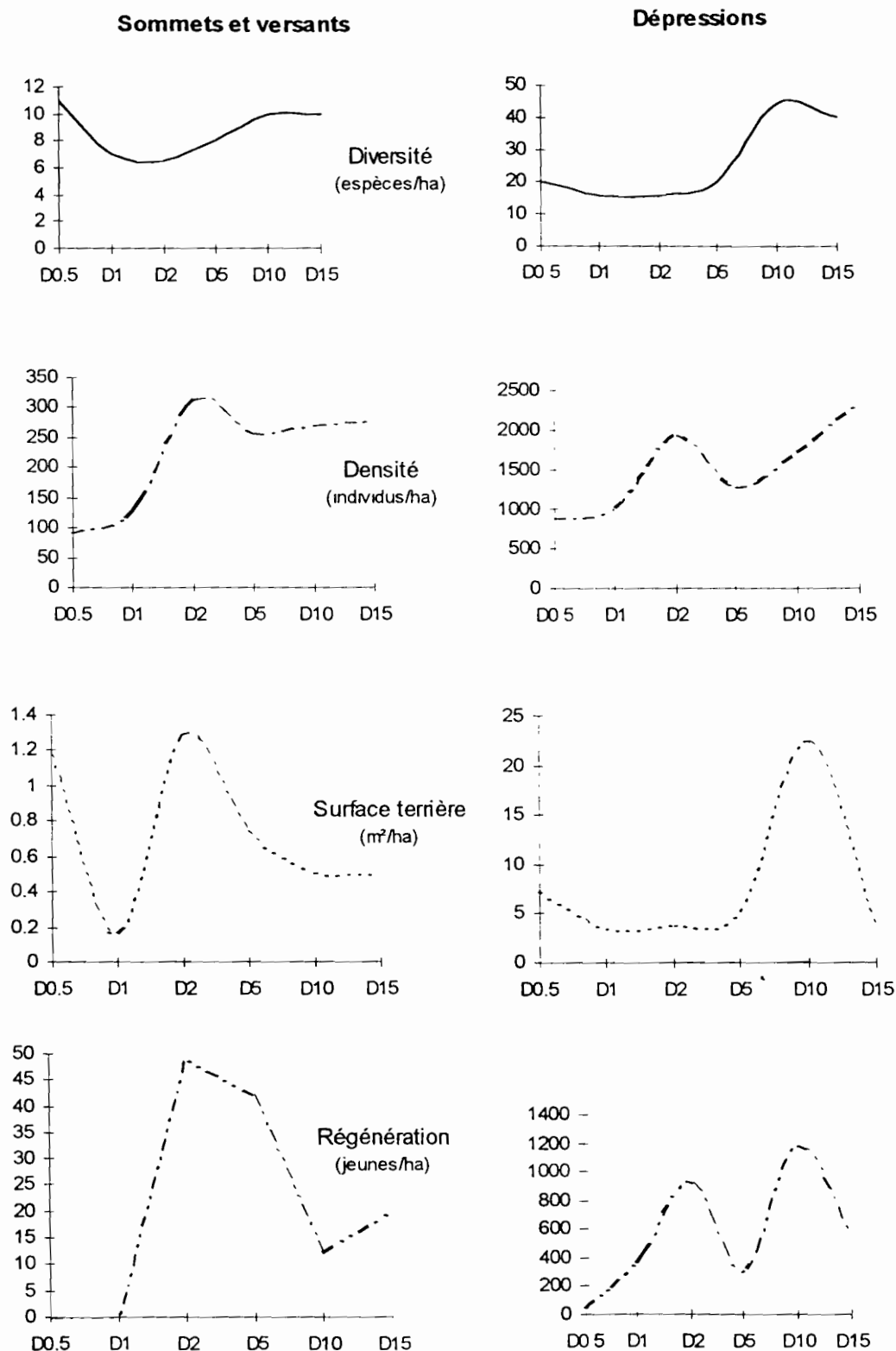


Figure 23: Evolution de quatre paramètres en fonction de la distance au forage (km).

Dans les dépressions, la diversité est constante (environ 20 espèces /ha) jusqu'à D5, puis elle augmente fortement en D10 et diminue à D15. Le fait que la diversité maximale s'observe à D10 et non à D15 s'explique. En effet, à D10 on trouve à la fois des espèces pionnières

résistantes à l'anthropisation et des espèces typiques du biome sahélien mais qui ont disparues à proximité des villages et des sentes à bétail. La distance D10 est une zone de transition; on pourrait la comparer à un écotone.

L'évolution de la densité est identique dans le groupe des sommets et versants et dans les dépressions, avec toutefois une variabilité plus grande dans ces dernières. On constate que c'est lorsque la diversité est minimale que la densité est maximale. Certaines espèces comme *Calotropis procera* contribuent à cet effet. De plus, selon Aronson *et al.* (1993) certains écosystèmes sont plus productifs pendant les premiers stades de la dégradation, car il y a colonisation rapide des espèces nitrophiles (asteraceae annuelles et herbes, et quelques légumineuses ligneuses). On observe une augmentation de la densité aux environs de D1 et D2. Cela peut s'expliquer par une augmentation de la fertilité du sol. En effet, les déjections des animaux apportent de l'azote et de la matière organique, ce qui favorise les lits de semences (Barral *et al.*, 1983).

En ce qui concerne l'évolution de la surface terrière sur les sommets et versants, on remarque qu'il y a peu d'arbres à D0.5, mais que ce sont de gros arbres, donc vieux et non accessibles au bétail. A D1, la surface terrière diminue très fortement pour réaugmenter entre D1 à D2, ce qui correspond à une augmentation de la diversité, de la densité et à l'apparition d'une forte régénération. Au delà de D2, la densité se maintient, mais la surface terrière diminue: les arbres deviennent moins gros.

Dans les dépressions, malgré que la densité augmente entre D1 et D2, la surface terrière reste faible. Il y a donc beaucoup de jeunes ligneux. On observe la surface terrière maximale à D10, ce qui est sans nul doute lié au fait qu'à cette distance le paramètre diversité atteint aussi son maximum.

Dans les sommets et versants, la régénération est nulle aux abords des forages. Le piétinement par les animaux ainsi que le prélèvement des pousses qui auraient pu germer favorisent ce phénomène. D'après Miehe (1990), il semblerait que l'intensité du pâturage aux abords du forage de Tatki soit excédentaire et que dès lors la régénération soit étouffée. Au delà de D1, la régénération reprend et semble trouver son maximum dans les zones bien fréquentées par les hommes et leur bétail. Il y a effectivement une corrélation entre le taux de régénération et l'intensité de pâturage. Le bétail stimule la germination de certaines espèces grâce au transit intestinal des semences qu'il ingère. De plus, il y a une sélection des plantules par le pâturage ainsi qu'une influence du broutage sur le taux de croissance des jeunes arbres (Miehe, 1990).

Dans les dépressions, l'évolution de la régénération est assez différente. En effet, on observe deux pics à D2 et D10, qui sont à proximité de campements. Ceci peut s'expliquer comme ci-dessus: le bétail stimule la germination de certaines espèces. Ce qui est surprenant c'est qu'à D5, qui est aussi à proximité d'un campement, la régénération diminue fortement. On ne peut ici que supposer que la charge de bétail est trop importante pour permettre aux plantules de se développer.

Quatrième partie

Discussion et conclusion générale

1.- Les problèmes posés et les principaux résultats obtenus au cours de notre étude:

Au cours de ce mémoire, nous avons tenté d'apporter quelques éléments au débat portant sur la dégradation des écosystèmes sahéliens. Cette dégradation étant généralement admise, notre attention s'est portée sur l'évaluation des variations d'un certain nombre d'indicateurs écologiques. Ce faisant, nous avons tenté d'estimer l'importance relative des causes naturelles (la sécheresse) et des causes anthropiques dans ce processus de dégradation.

Afin de répondre à ces questions, nous avons étudié deux sites dans le Ferlo sableux au nord du Sénégal. Le premier site, Fété-Olé, nous a permis d'étudier l'influence de la sécheresse sur la végétation ligneuse et ce depuis 1976, date du début des recherches effectuées à cet endroit par Poupon (1980). Le second site, l'aire d'influence du forage de Tatki, nous a permis d'étudier l'effet des activités humaines sur la végétation ligneuse.

Ces deux analyses nous montrent bien que pour étudier s'il y a ou non une dégradation dans un écosystème donné, il ne faut pas s'intéresser qu'à un seul paramètre mais à plusieurs, en les mettant en corrélation. Prenons un exemple sur le site de Tatki, à D0.5, la diversité est supérieure à celle de D1, ce qui pourrait nous amener à conclure qu'il n'y a pas de dégradation aux abords directs du forage. Par contre, si pour la même distance on s'intéresse en plus à l'évolution de la densité, de la surface terrière, de la régénération, on s'aperçoit qu'il y a bien dégradation de la végétation ligneuse à D0.5. Cette étude nous montre donc que lorsque l'on tente de diagnostiquer une dégradation, il est important de prendre plusieurs paramètres en compte et de les comparer les uns aux autres.

Voici aussi l'exemple d'une étude réalisée autour de 20 forages du Ferlo en 1987 et qui montre bien qu'en fonction de l'époque d'expérimentation et de l'indicateur choisi, on peut arriver à la conclusion qu'il n'y a pas de dégradation autour des forages dans le Sahel. Hanan *et al.* (1991) ont estimé la production primaire herbacée autour de 20 forages pendant la saison des pluies, à l'aide d'images satellites à radiomètre de très haute résolution. Le seul paramètre étudié ici est la production herbacée. Ils arrivent à la conclusion qu'étant donné que la productivité totale durant la saison des pluies semble très peu affectée par la présence des troupeaux, ceux-ci n'ont absolument aucun effet sur la dégradation des pâturages autour des forages. Leur étude est biaisée car ils n'étudient qu'un seul paramètre (la production), en ignorant totalement l'évolution d'autres paramètres tels que la diversité par exemple. De plus, ils effectuent leurs mesures durant la saison des pluies, qui est la période durant laquelle les abords du forage sont moins fréquentés par le bétail, ce qui permet la germination d'un tapis herbacé monospécifique et nitrophile.

Il est donc important de bien rechercher et définir tous les paramètres intervenant dans la notion de dégradation, avant de conclure. C'est ainsi que l'on pourra à long terme mieux préciser la notion d'indicateurs de dégradation. De plus, il est nécessaire de bien préciser dans quelles limites de temps et d'espace on travaille, car selon l'époque des relevés et l'endroit où ils ont été réalisés, on pourra obtenir des résultats antagonistes en apparence, mais qui ne sont peut-être pas différents dans le fond.

L'analyse réalisée sur les deux sites d'étude nous a permis d'avancer quelques conclusions.

- à une distance moindre: la dégradation s'accroît et il y a une érosion éolienne. On observe des auréoles de convergence des sentes à bétail et des zones de passage intense, qui se manifestent par des variations de densité, de diversité et de régénération de la population ligneuse,

- à proximité immédiate (D0 5): en saison sèche, c'est la distance à laquelle la dégradation est la plus frappante. La diversité y est forte, du fait de l'existence de quelques gros arbres ayant échappés au pâturage, mais aussi du fait d'actions de réintroduction dues à l'homme (*Prosopis juliflora* et *Acacia raddiana*) Mais la régénération est inexistante ou prélevée immédiatement par le bétail, et la densité très faible. Le sol est totalement nu sur la plus grande partie du terrain, à l'exception de quelques résidus de dépressions encore apparents

En ce qui concerne la régénération naturelle, même si certaines espèces ont gardé une aptitude à s'installer, les conditions du milieu ne se prêtent plus au développement des plantules. En effet, on observe une déstructuration du modelé autour du forage, une homogénéisation des microclimats, ce qui rend le développement de certaines espèces impossible. Les seuils trophiques et biologiques sont dans bien des cas dépassés.

Ces modifications floristiques de la végétation ligneuse autour des forages sont dues à deux causes: le déficit pluviométrique enregistré depuis vingt ans, c'est ce que montre l'étude de Fété-Olé, mais surtout la mise en service des forages qui a modifié les stratégies des sociétés paysannes. Les forages du Ferlo ont en fait développé le concept d'« eau facile et gratuite pour tous », à la différence des grands puits traditionnels qui étaient la propriété de groupements pastoraux. Ce qui explique la présence d'un cheptel hétérogène important qui encombre les abords des forages, qui provoque un surpiétinement et un surpâturage jusqu'à une distance fonction des aires de dessertes (Boutrais, 1992). Il arrive d'ailleurs qu'un forage ait des pâturages tellement détruits, qu'il devienne sous exploité puis finalement fermé.

Tous ces résultats nous montrent bien que dans les zones arides, les activités de l'homme peuvent être fortement dégradantes, tant du point de vue écologique que du point de vue pastoral (diminution de la qualité des pâturages). En soi, l'élevage extensif n'est pas une activité fort dégradante si elle n'est pas perturbée par une trop grande diminution de la mobilité des troupeaux ou la réduction des pâturages accessibles. Si on confine les pasteurs sur des terres de plus en plus réduites, on se trouve devant des phénomènes tels que celui qui s'observe à Tatki: changement ou perte de diversité, forte variabilité de la densité par rapport à la distance au forage, réponse adaptative différentielle d'espèce à espèce en fonction de leur phénologie et de leur degré d'appétabilité.

2.- Les solutions envisagées pour lutter contre la dégradation dans les terres arides et semi-arides:

Avant d'aborder les solutions à ce problème de dégradation, un récapitulatif mérite d'être fait sur les conflits dont les ressources naturelles sont l'enjeu (Behnke *et al.*, 1993)

- propriété et tenure foncière,
- absence d'un réel transfert de pouvoirs aux populations locales;
- attention trop limitée dont les régions pastorales sont l'objet,

- intérêt excessif accordé à la terre par rapport à d'autres sources importantes de revenu rural.

Malgré toutes les recherches effectuées sur la dégradation, on ne sait toujours pas précisément comment interpréter les faits ni proposer de solutions réellement concrètes. La seule chose qui semble certaine, c'est qu'il n'y a pas de solution toute faite, ni unique. Mais il en existe

Actuellement les solutions se situent dans une coopération participative et dans une responsabilisation des populations locales. Il faut créer le contexte d'une gestion locale des ressources naturelles allant dans le sens de la pérennité des systèmes de production, et de l'amélioration du bien-être des populations concernées. N'oublions pas que la sécheresse est le quotidien des zones sahéliennes (Toupet, 1984). Les communautés sahéliennes ont par rapport à ce risque climatique des facultés d'adaptation peu communes. Il s'agira de renforcer les pratiques adaptatives contre le risque et l'incertitude (Evers, 1994).

Il faut donc favoriser le pouvoir indigène et la participation locale. Il faudrait que les utilisateurs de la terre aient une liberté juridique et économique de contrôle de leur avenir. En effet, plus la population a le contrôle des terres, de l'eau et de la commercialisation, plus elle a la volonté d'agir. Dans ce but, les projets doivent

- éveiller une prise de conscience de la population villageoise et transmettre les connaissances nécessaires. Ce qui permettra aux jeunes de prendre l'avenir de leur communauté en main, plutôt que de devenir des « réfugiés écologiques » dans les bidonvilles de demain;
- soutenir une volonté d'entraide,
- assurer une participation à tous les stades de planification et de développement,
- veiller au développement de la condition féminine. Ce sont les femmes qui gèrent les problèmes de nourriture, d'éducation, de santé, d'hygiène. Mais elles ne possèdent ni ne contrôlent aucun des facteurs de production, n'ont pas d'éducation formelle (alphabétisation...) et très peu de temps disponible (Evers, 1994).

Ceci nous amène à l'introduction du concept de « gestion du terroir » par les populations locales. Ce concept a pour but de mieux valoriser le capital naturel disponible, de le maintenir en bon état, pour que les productions soient plus sûres et plus durables. Ces initiatives sont décidées par les villageois avec le conseil d'experts. Elles ont pour but une augmentation du potentiel agricole, une diversification des activités en vue d'une intensification agricole durable (Anonyme, 1994).

Au Sénégal, ce n'est qu'au milieu des années 1980 que les pouvoirs publics ont commencé à associer les pasteurs à la politique sectorielle, à travers la création d'associations pastorales devant prendre en charge la gestion rationnelle des terres qui leurs seraient confiées. Les différents droits (traditionnels, coutumiers et d'usage) ont été dans beaucoup de cas respectés lors de la constitution de ces associations pastorales. Une politique de formation, tardive, est initiée en 1987, avec l'alphabétisation fonctionnelle comme support. Elle est renforcée par le Programme National de Vulgarisation Agricole (PNVA) dont le volet élevage est étendu à l'ensemble de la zone Sylvo-Pastorale depuis 1991 (Anonyme, 1991).

En ce qui concerne les effets dégradants du surpâturage et du piétinement autour des forages du Ferlo, diverses solutions ont été proposées. A partir du milieu des années '70, on a tenté de transformer le Ferlo en une zone de naisseurs et d'éleveurs. Les animaux destinés à être abattus étaient envoyés dans des ranch, des ateliers d'embouche. Mais actuellement, cette pratique est

plus ou moins abandonnée. En effet, dans un système qui aurait pour but la production de viande bouchère, c'était effectivement une solution au surpâturage. Le problème c'est que les pasteurs Peulhs élèvent leur bétail (leur capital) pour la production de lait (leur intérêt). Ils ont donc besoin de leurs bêtes à proximité tous les jours

Une autre solution serait de multiplier les points d'abreuvements de saisons sèche et de fermer les forages en saison des pluies. Mais fermer les forages signifie que tous les animaux devraient aller s'abreuver aux mares, ce qui est difficile. Par contre, on pourrait

- fermer les abreuvoirs d'août à octobre, en ouvrant des bornes fontaines pour les besoins des hommes.
- faucher le fourrage fin septembre jusqu'à 400 mètres du forage pour en faire du foin. En effet, seulement 25 à 30% de la végétation produite autour du forage est utilisée, le reste est perdu par piétinement (Cornet, Poupon, 1977, Valenza, Diallo, 1982)

3.- Conclusion:

Nous avons établi que la dégradation de la végétation ligneuse en zone semi-aride est une réalité et que ses causes, tout en étant en partie climatiques -la sécheresse persistante de ces vingt dernières années- sont surtout le résultat de la croissance démographique et des activités humaines. Les résultats de notre étude sur les sites de Fété-Olé et de Tatki abondent dans ce sens.

Il y a cependant autant de types de dégradation qu'il y a de types de gestion de l'espace par les populations. Chaque cas est particulier, ce qui justifie les tentatives de conception de modèles qui pourraient donner des solutions empiriques.

Face à la dégradation climatique, à la croissance démographique sur des milieux fragiles, au contexte politique et social trouble, il n'y a pas beaucoup d'alternative que celle de réponses adaptatives par rapport aux incertitudes du milieu. Les enjeux de l'avenir se résument en deux termes: conservation des ressources naturelles et développement social et économique. Il s'agit de donner une dimension sociologique à la désertification.

Annexes

acat: *Acacia ataxacantha*
 acni. *Acacia nilotica*
 acsy: *Acacia seyal*
 addi: *Adansonia digitata*
 adob: *Adenum obesum*
 anle: *Anogeissus leiocarpus*
 arad: *Acacia raddiana*
 asen: *Acacia senegal*
 bala: *Balanites aegyptiaca*
 bosc: *Boscia senegalensis*
 cafa: *Cadaba farinosa*
 calo: *Calotropis procera*
 ciss: *Cissus quadrangularis*
 coac: *Combretum aculeatum*
 comi: *Combretum micranthum*
 coma: *Commiphora africana*
 dame: *Dalbergia melanoxylon*
 dici: *Dichrostachys cinerea*
 euba: *Euphorbia balsamifera*
 fere: *Feretia apodanthera*
 grbi: *Grewia bicolor*
 grtx: *Grewia tenax*
 guir: *Guiera senegalensis*
 lept: *Leptadenia hastata*
 mytr: *Myrtragina inermis*
 pros: *Prosopis juliflora*
 scle: *Sclerocarya birrea*
 tino: *Tinospora bakis*
 ziph: *Ziziphus mauritiana*

	D0.5	D1	D2	D5	D10	D15
acat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
acni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00
arad	0.30	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00
asen	0.00	0.28	0.00	0.00	0.10	2.45
addi	0.00	0.00	0.00	0.14	0.10	0.00
adob	0.00	0.00	0.00	0.42	0.15	0.00
anle	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
bala	1.48	4.99	4.11	8.22	5.69	5.76
bosc	42.60	83.80	77.76	70.45	80.79	74.02
cafa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
calo	53.55	10.94	17.78	20.00	10.26	1.72
ciss	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
coac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
comi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.12
dame	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
euba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
fere	0.00	0.00	0.00	0.49	0.10	0.61
grbi	0.00	0.00	0.00	0.14	0.73	0.86
grtx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00
guir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	13.85
mytr	0.00	0.00	0.00	0.07	0.78	0.00
pros	1.78	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00
ziph	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00

Annexe 3: Fréquence de chaque espèce en fonction de la distance au forage de Tatki. A chaque distance, la fréquence indiquée est la moyenne des relevés de cette distance en %.

Références bibliographiques

- Akpo L.E., 1992.- *Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. Les déterminants écologiques* TDM, ORSTOM Ed., Paris, 174p.
- Albergel J., Carbonnel J-P., Grouzis M., 1985.- Sécheresse au Sahel. Incidence sur les ressources en eau et production végétales. Cas du Burkina Faso *Veille satellitaire*, 7, 18-30.
- Albergel J., Grouzis M., 1989.- Du risque climatique à la contrainte écologique Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso *In: Eldin M, Milleville P, Le risque en agriculture*, Paris, ORSTOM, coll. à travers champs, 243-254
- Anonyme, 1980.- *Atlas du Sénégal*. Editions J A., Paris, 72p
- Anonyme, 1982 *La désertification dans les pays du Sahel*. GTZ, Ouagadougou, 55p
- Anonyme, 1983.- *Rapport d'activité 1983 du service d'agrostologie* ISRA-LNERV, Dakar Hann
- Anonyme, 1987.- Végétation ligneuse sahélienne *The Global Environment Monitoring System*, Série Sahel, FAO, 7, 83p
- Anonyme, 1991.- Termes de références du Plan Directeur de Développement intégré de la Zone Sylvo-Pastorale (PDZSP) 1091-2015. République du Sénégal, MEFP, Direction de la Planification, CAB.
- Anonyme, 1994.- La gestion de terroir, un défi écologique. *Spore*, CTA Ed , 53, 1-4.
- Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R., 1993 - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands, I: A view from the south. *Restoration ecology*, 8-17.
- Barral H., 1982.- *Le Ferlo des forages. Gestion ancienne et actuelle de l'espace pastoral*. ORSTOM Ed., Dakar, 85 p
- Barral H., Bénéfice E., Boudet G., Denis J-P , De Wispelaere G , Diaite I., Diaw O.T., Dieye K., Doutre M.P., Meyer J.F., Noel J., Parent G., Piot J., Planchenault D , Santoir C , Valentin C., Valenza J., Vassiliades G , 1983.- *Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo* ACC GRIZA (LAT), Min. Rech. et Ind , GERDAT-ORSTOM, 172p.
- Behnke R.H., Scoones I., Kerven C., 1993.- *Range ecology at disequilibrium, new models of natural variability and pastoral adaptation in African savannas*. Overseas Development Institute, International Institute for Environment and Development, Commonwealth Secretariat, 248p.
- Benoît M., 1988.- La lisière du Kooya, espace pastoral et paysages dans le nord du Sénégal (Ferlo). *L'espace géographique*, Paris, 2. 95-108.
- Bille J-C., 1977.- Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. *Travaux et Doc.*, ORSTOM Ed., Paris, 82p.

- Berhaut J., 1967.- *Flore du Sénégal*. Clairafrique Ed., Dakar, 485p.
- Boudet G., 1972.- Désertification de l'Afrique tropicale sèche. *Adansonia*, sér., 2, **12**, (4), 505-524.
- Boudet G., 1977.- Désertification ou remontée biologique au Sahel *Cah. ORSTOM*, sér., Biol., vol. XII, (4), 293-300.
- Boutrais J., 1992.- L'élevage en Afrique tropicale: une activité dégradante?. In: Pontié G., Gaud M., *Afrique contemporaine- l'environnement en Afrique*, **161**, 109-125.
- Bouxin G., 1975.- Ordination & classification in the savanna vegetation of the Akagera Park (Rwanda, Central Africa). *Vegetatio*, **29**, 155-167.
- Bouxin G., 1976.- Ordination & classification in the upland Rugege Forest (Rwanda, Central Africa) *Vegetatio*, **32**, 2, 97-115.
- Brabant P., 1992 - La dégradation des terres en Afrique. In: Pontié G., Gaud M., *Afrique contemporaine- l'environnement en Afrique*, **161**, 90-108.
- Colonna J-P., Dreyfus B., Grouzis M., Montoroi J-P., Neyra M., Nizinski J., Touma J., Zante P., 1990 - *Comportement comparé en conditions semi-contrôlées d'Acacia raddiana et d'Acacia senegal: influence de l'alimentation en eau et de la nutrition azotée*. Rapport de fin de campagne, Rapport multigr., ORSTOM, Dakar, 20p., 8tab., 10 fig. h t.
- Connell J.H., Slatyer R O., 1977.- Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Nat.*, **111**, 1119- 1144
- Cornet A., Poupon H., 1977.- Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long d'un gradient climatique en zone sahélienne au Sénégal. *ORSTOM*, Dakar, 30 p., annexe.
- Cornet A., 1881.- Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse, Univ. des Sces et tech. du Languedoc, 353p.
- Courel M.F., 1985.- L'adaptation de la végétation sahélienne à la sécheresse récente: la contraction des ligneux. *Photointerprétation*, **1**, 2, 9-15.
- Dervin C., 1992.- Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances? *ITCF*, Paris, 72p.
- Desselle J-L., 1992.- Analyses multivariées sous contraintes: présentation à partir d'exemples. Réalisation pratique à l'aide du logiciel Bioméco. *AVENIX*, CNRS, Montpellier.
- Diatta M., 1994.- Mises en défens et techniques agroforestières au Sine-Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation de l'eau du sol et sur la production primaire. Thèse, Univ. Scientif. L. Pasteur (Strasbourg I), 202p.
- Diedhhiou I., 1994.- *Importance des légumineuses dans les systèmes écologiques arides et semi-arides du Sénégal* DEA, Université Cheikh Anta Diop, ISE, Dakar, 69p.

- Diop A.T., 1989.- *L'aménagement et la gestion des ressources sylvopastorales au nord du Sénégal: le cas de l'aire d'influence du forage de Tatki*. Thèse, Université Cheikh Anta Diop, ISE, Dakar, 185p.
- El Kassas M., 1977.- L'avance des déserts et la complicité de l'homme. *Le courrier de l'UNESCO*, 3p.
- Evers Y D , 1994.- Risques et incertitudes dans les zones arides africaines: aspects sociaux de la désertification. *IIED*, Programme réseaux des zones arides, **48**, 51p.
- Fayolle A F *et al.*, 1974.- *Valorisation du cheptel bovin. Zone sylvopastorale de la République du Sénégal*. Paris: IEMVT, Dakar. LNERV, 126p.
- Fournier C , 1993 - *Fonctionnement hydrique de six espèces ligneuses coexistant dans une savane sahéenne (région du Ferlo, nord-Sénégal)*. TDM, ORSTOM Ed., Paris, 166p
- Frontier S , Pichod-Viale D., 1991.- Ecosystèmes. structure, fonctionnement, évolution. *Collection d'écologie*, **21**, Masson Ed , 392p.
- Gavaud M , 1990 - Nature et localisation de la dégradation des sols au Sénégal. *In* : Richard J -F, *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*, Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, 95-110
- Grosmaire, 1957.- *Eléments de politique sylvopastorale au sahel Sénégalais*. Inspection Forestière du Fleuve, St-Louis, 10 fascicules.
- Grouzis M , 1988.- *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéiens (mare d'Oursi, Burkina Faso)*. ORSTOM Ed., Etudes et thèses. Paris 336 p.
- Grouzis M , Albergel L. et Carbonnel J. P., 1989.- Péjoration climatique au Burkina Faso: effets sur les ressources en eau et les productions végétales. *In*: B. Bret, *Les hommes face aux sécheresses, Nordeste brésilien, Sahel africain*, EST-IHEAL, 165-178.
- Grove A T , 1977 - Desertification in the African environment. *In: Drought in Africa 2*, Int. Afr. Inst., Londres.
- Hanan N P., Prevost Y., Diouf A. et Diallo O., 1991.- Assessment of desertification around deep wells in the Sahel using satellite imagery *Journal of Applied Ecology*, **28**, 173-186.
- Hubert P et Carbonnel J-P., 1989.- Approches statistiques de l'étude des séries pluviométriques de longue durée de l'Afrique de l'Ouest. *In*: B. Bret, *Les hommes face aux sécheresses, Nordeste brésilien, Sahel africain*, EST-IHEAL, 101-114.
- ITCF, 1988 - Manuel d'utilisation. *ITCF*, Paris.
- Koechlin J., 1989.- Adaptation des systèmes agro-pastoraux aux milieux du Niger et dans la Paraiba *In*: Bret B., *Les hommes face aux sécheresses*, IHEAL & EST, collection « Travaux et Mémoires », **42**, 317-321

- Kwesi K.P., 1992.- Sustainability of production systems and society in arid & semi-arid Africa. *In: Lykke A.M., Tybirk K. & Jorgensen A., Sustainable development in the Sahel*, AAU reports 29, Dept. of Systematic Botany, 132p.
- Le Houérou H -N., 1976.- Peut-on lutter contre la désertisation? *In: colloque de Nouakchott, La désertification au sud du Sahara*, Nouv Ed Afr
- Le Houérou H -N, Gillet H., (sd) - Conservation versus desertization in African arid lands. *In: Soulé M.E., Conservation biology: The science of Scarcity and diversity*, Sinauer Associates, Publ. Sunderland, Massachusetts, 444-461
- Le Houérou H -N, Popov G.F, 1981 - An eco-climatic classification of intertropical Africa. *FAO, Plant Production and Protection*, 31, 40p et annexes
- Le Houérou H -N, 1989 - The grazing land ecosystems of the african sahel. *Ecological studies*, Berlin, 75, 282p
- Lepart J, Escarre J, 1983 - La succession végétale, mécanismes et modèles. Analyse bibliographique *Bull. Ecol*, 1983, 14, 3, 133-178
- Maignien, 1965 - *Carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000*. ORSTOM, Dakar, une coupure
- Miehe S., 1990 - *Inventaire et suivi de la végétation dans les parcelles pastorales à Widou Thiengoly*. GTZ, 108p.
- Morel G, Fotius G et Naegele A F G, 1967 - *Tournée pour l'implantation des parcelles du P.B.I*, C R. tournée, 7p ronéo
- Ndiaye M., 1993.- *Protection de l'environnement et amélioration des systèmes agraires sahéliens. Place des légumineuses pérennes dans les systèmes de production des zones arides et semi-arides du Sénégal* Mémoire, Université Abdou Moumouni, Niamey, 77p.
- Olivry J. C., 1983.- Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénagambie et aux îles du Cap Vert Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah. ORSTOM, Sér Hydrol*, XX, 1, 47-69
- Plit F., 1984.- Le système pastoral traditionnel du Sahel en tant que réponse aux limitations de l'environnement naturel *Africana Bulletin*, Warszawa, 32, 67-94.
- Poissonet J., Chambris F., Touré I. 1992.- Equilibre et déséquilibre des phytocénoses herbacées sahéliennes. *In: Le Floch E, Grouzis M., Cornet A., Bille J-C., L'aridité, une contrainte au développement*, ORSTOM Ed., Paris, 597p
- Poupon H., 1980.- *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal*. Travaux et documents de l'ORSTOM, ORSTOM Ed., Paris, 351p.
- Poupon H, Bille J-C., 1974.- Influence de la sécheresse sur la strate ligneuse. *In: Recherches écologiques sur une savane sahélienne du ferlo septentrional (Sénégal)*, ORSTOM Ed., 49-71

- Rivière R., 1978 - *Manuel d'utilisation des ruminants domestiques en milieu tropical*. IEMVT, Paris, 579p.
- Santoir C., 1982.- Contribution à l'étude de l'exploitation du cheptel: région du Ferlo au Sénégal. In: GRIZA, *Systèmes de production d'élevage au Sénégal*, ORSTOM, Dakar, 48p
- Sircoulon J., 1984 - Quinze années de sécheresse au Sahel Impact sur les ressources et moyens de lutte In: *Proceedings of the 5th International Conference on water resource and management « water in the year 2000 »*, Athènes, 1-4 octobre 1984, 3-5
- Snidjers T A.B , 1986 - Interstation correlation and non stationarity of Burkina Faso rainfall *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 524-531
- Staljanssens M , 1986 - *Sols et aptitude des terres en cartographie et télédétection des ressources de la République du Sénégal* Dakar DAT-USAID, 281-476
- Toulmin C , 1993 - Lutter contre la désertification réflexions préliminaires à une convention mondiale *IIED*, programme réseaux des zones arides, 42, 52p
- Toupet C., 1984 - Signification de la récente sécheresse qui a sévit dans le Sahel In: *La sécheresse au Sahel*, Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie, 107^{ème} année, 18, 3-4, 226p
- Toupet C., 1989 - Comparaison de sécheresses historiques et de la sécheresse actuelle: essai de définition de la sécheresse et de l'aridification In: B. Bret , *Les hommes face aux sécheresses, Nordeste brésilien, Sahel africain*, EST-IHEAL, 77-84.
- Trochain J , 1980.- *Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique*. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 468p.
- UICN, 1989.- *Etudes sur le Sahel*, UICN éd . Gland 152 p
- UN, 1994 - *Convention Internationale sur la lutte contre la désertification*. Nations Unies, AG, Cinquième session, Paris, 61p
- Valenza J., Diallo K , 1972 - *Etude des pâturages du Nord Sénégal*. Paris IEMVT; Dakar LNERV. Etude agrostologie, 4, 311p . une carte au 1/200 000 en 3 feuilles.
- Warren A., Agnew C., 1988 - Une analyse de la désertification et dégradation des terres aux zones arides et semi-arides *IIED*, programme des zones arides, 2, 28p
- Westoby M., Walker B., Noy-Meir I , 1989 - Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 42, 266-274.
- Whittaker R.H & Niering W A , 1975 - Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, 56, 4, 771-790.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	2
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES ANNEXES.....	6
INTRODUCTION	7
PREMIERE PARTIE:.....	9
LA DEGRADATION DES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES EN AFRIQUE.....	9
L'ETAT DES CONNAISSANCES.....	9
1 - QUELQUES DEFINITIONS	10
2.- LA DEGRADATION: SES MANIFESTATIONS, LES INDICATEURS QUI PERMETTENT DE LA DIAGNOSTIQUER.	12
3 - LES CONDITIONS/CAUSES DE LA DEGRADATION	15
3.1 - <i>Arguments en faveur d'une dégradation due au climat</i>	15
3.2.- <i>Arguments en faveur d'une dégradation due aux activités de l'homme</i>	16
4.- UN MODELE CONCEPTUEL DE LA DEGRADATION DES PATURAGES ARIDES	18
4.1 - <i>Les modèles.....</i>	18
4.2 - <i>Modélisation des solutions</i>	19
5 - CONCLUSIONS	21
DEUXIEME PARTIE:.....	22
DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE ET METHODOLOGIE.....	22
1.- CONDITIONS ECOLOGIQUES ET MODE DE GESTION DE L'ESPACE GEOGRAPHIQUE ETUDIE	23
1.1.- <i>Description générale de la zone Sylvo-Pastorale. le Ferlo</i>	23
2.- SITES ET METHODES D'ETUDE:	32
2.1.- <i>Les sites:</i>	32
2.2.- <i>Protocoles et méthodes d'étude:</i>	34
TROISIEME PARTIE	40
RESULTATS.....	40
1.- FETE-OLE: EVALUATION DE L'EVOLUTION DE LA VEGETATION EN CONDITION DE FAIBLE ANTHROPIE.	41
1.1.- <i>Typologie de la végétation ligneuse:</i> ..	41
1.2.- <i>L'état de la végétation ligneuse en 1995</i>	47
1.3.- <i>Dynamique de la végétation ligneuse</i>	50
2.- TATKI: EVALUATION DE L'EVOLUTION DE LA VEGETATION DANS DES CONDITIONS DE FORTE ANTHROPISATION. 57	57
2.1.- <i>Analyse qualitative:</i>	57
2.2.- <i>Analyse quantitative (analyse de variance)</i>	61
QUATRIEME PARTIE	65
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE	65
1.- LES PROBLEMES POSES ET LES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS AU COURS DE NOTRE ETUDE:.....	66
2.- LES SOLUTIONS ENVISAGEES POUR LUTTER CONTRE LA DEGRADATION DANS LES TERRES ARIDES ET SEMI-ARIDES.	68
3.- CONCLUSION:	70
ANNEXES	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	76