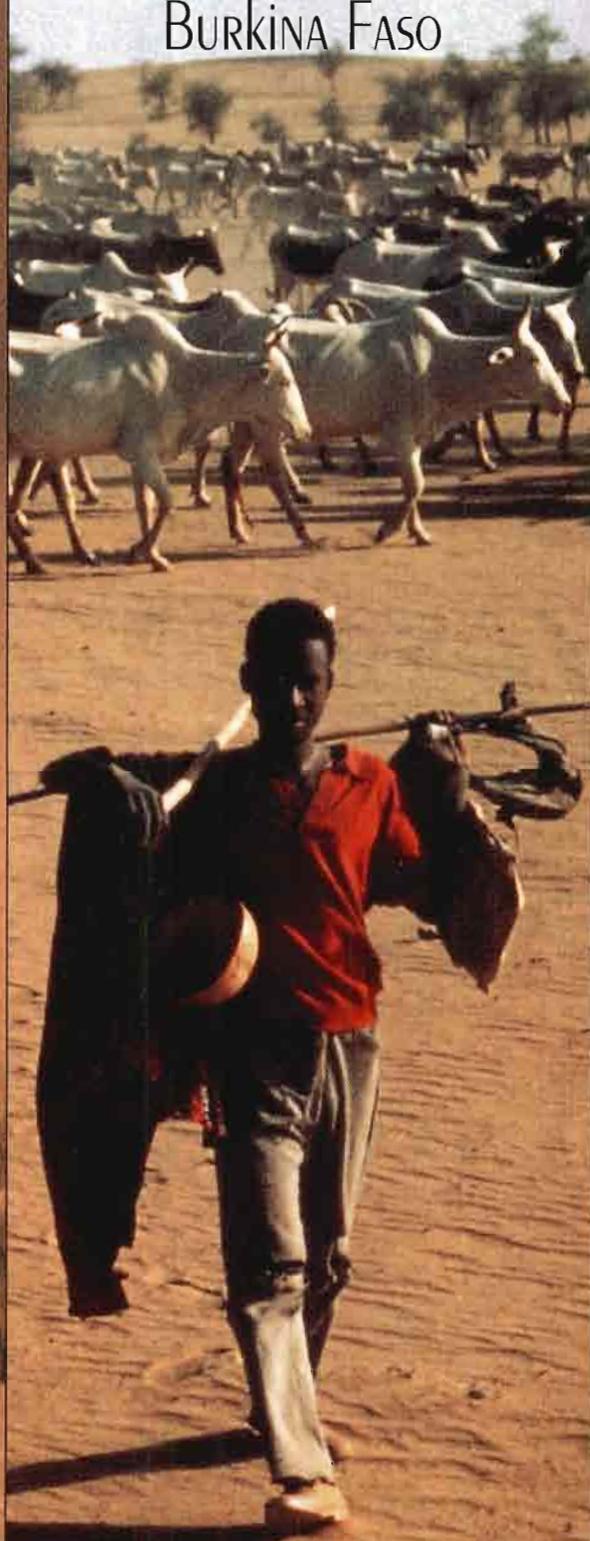


# UN ESPACE SAHÉLIEN

LA MARE d'OURSI

BURKINA FASO



Jacques Claude  
Michel Grouzis  
Pierre Milleville

*Éditeurs scientifiques*

# UN ESPACE SAHÉLIEN

## LA MARE d'OURSi

### BURKINA FASO

JACQUES CLAUDE  
MICHEL GROUZIS  
PIERRE MILLEVILLE  
ÉDITEURS SCIENTIFIQUES

**Éditions de l'ORSTOM**

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Maquette de couverture et des planches couleurs : *Michelle Saint-Léger*  
Fabrication, mise en page et coordination : *Marie-Odile Charvet Richter*

Photos de couverture :

*Vent de sable dans l'Oudalan*

*Berger peul et son troupeau aux environs de la mare d'Oursi (clichés M. Grouzis)*

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

© ORSTOM 1991

ISBN 2-7099-1067-5

UN ESPACE SAHÉLIEN  
LA MARE d'OURS  
BURKINA FASO



# SOMMAIRE

PRÉFACE	<i>R. FAUCK</i>	7
AVANT-PROPOS	<i>J. CLAUDE</i>	9
INTRODUCTION	<i>J. CLAUDE</i>	13

## *PREMIÈRE PARTIE*

### LA RÉGION DE LA MARE D'OURSIS : UN MILIEU SAHÉLIEN

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE	<i>J. CLAUDE, P. CHEVALLIER</i>	23
LA VÉGÉTATION	<i>M. GROUZIS</i>	43
L'OCCUPATION DE L'ESPACE	<i>M. LANGLOIS, P. MILLEVILLE</i>	50

## *DEUXIÈME PARTIE*

### LA DYNAMIQUE DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

L'EAU ET LES SOLS	<i>F. JOLY, Y. DEWOLL, P. CHEVALLIER, J. CLAUDE, M. SICOT, J. COLLINET</i>	65
LA PRODUCTION VÉGÉTALE	<i>M. GROUZIS</i>	88
ÉVOLUTION ET SEUILS DE RUPTURE	<i>M. GROUZIS</i>	126

## *TROISIÈME PARTIE*

### Exploitation des ressources et systèmes de production

LES SYSTÈMES DE CULTURE	<i>P. MILLEVILLE</i>	143
LES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE	<i>P. MILLEVILLE</i>	156
LES UNITÉS DOMESTIQUES	<i>M. LANGLOIS</i>	179
EFFICIENCE ET DIVERSITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION	<i>M. LANGLOIS</i>	193

CONCLUSION	<i>J. CLAUDE, M. GROUZIS, P. MILLEVILLE</i>	203
------------	---	-----

BIBLIOGRAPHIES		213
----------------	--	-----

ANNEXE		235
--------	--	-----

TABLE DES MATIÈRES		237
--------------------	--	-----

## SIgLES ET DÉFINITIONS

ACC-LAT :	Action complémentaire coordonnée. Lutte contre l'aridité en milieu tropical.
CEPE :	Centre d'études phyto-écologiques, Louis Emberger, CNRS Montpellier ; devenu en 1989 :
CEFE :	Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive.
CIDR :	Centre international pour le développement rural.
CILSS :	Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel.
CIRAD :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
CNRS :	Centre national de la recherche scientifique (France).
CNRST :	Centre national de recherche scientifique et technologique (Burkina Faso).
CTFT :	Centre technique forestier tropical.
CVRS :	Centre voltaïque de recherches scientifiques (ancienne structure correspondant au CNRST actuel).
DGRST :	Délégation générale à la recherche scientifique et technique (France, jusqu'en 1981).
FED :	Fonds européen de développement géré par la Commission des communautés européennes.
GERDAT :	Groupement d'études et de recherches pour le développement de l'agriculture tropicale.
GRIZA :	Groupe de recherches interdisciplinaires en zones arides.
IEMVT :	Institut d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale.
INSERM :	Institut national de la santé et de la recherche médicale.
OMM - WMO :	Organisation météorologique mondiale.
OMS - WHO :	Organisation mondiale de la santé.
ORD (du Sahel) :	Office régional de développement (l'ORD du Sahel, basé à Dori, avait compétence sur tout l'ancien département du Sahel).

*Note sur la toponymie :* Nous avons utilisé l'orthographe toponymique la plus courante, telle qu'elle figure habituellement sur les cartes de l'IGN ou de l'IGB. Ainsi, nous orthographions " Gountouré " et " Boulel " et non pas " Gunture " et " Bulel " .

La Haute-Volta est devenue Burkina Faso le 4 août 1984. Nous utilisons le nom de Burkina Faso de façon courante dans le texte de cet ouvrage, mais nous avons conservé le nom de Haute-Volta dans toutes les citations, références bibliographiques et dénominations officielles antérieures à cette date.

## PRÉFACE

*La sécheresse exceptionnelle qui a affecté les régions sabéliennes en Afrique, entre 1970 et 1974, a eu des conséquences graves tant économiques que sociales. La crise a conduit la communauté internationale des donateurs à renforcer considérablement l'aide à tous les pays assujettis aux climats de type semi-aride. La première phase de secours, à court terme, en vivres et en argent, a progressivement laissé la place à la préoccupation d'instaurer les conditions d'un développement agricole stable, susceptible d'amortir les effets des périodes de sécheresse dont on pouvait craindre la réapparition. Leurs conséquences risquaient en effet d'être encore plus catastrophiques compte tenu de la poursuite de la croissance démographique. Par la suite, la mise en place de projets de développement à plus long terme a mis en évidence certaines lacunes dans les connaissances.*

*Les organismes de recherche scientifique ont été conscients de la nécessité d'une meilleure connaissance des problèmes du Sabel. Ils se sont mobilisés pour intensifier leur effort de recherche sur le milieu physique mais également sur les milieux humains. Leur problématique scientifique a reposé sur l'idée que l'apparition régulière de périodes de sécheresse*

*anormale était en fait normale et non un événement exceptionnel. Les grands thèmes de recherche ont visé à mieux connaître les ressources du milieu physique, à comprendre les raisons de la fragilité des écosystèmes dans un contexte climatique à grande variabilité, à définir les interrelations entre les hommes, les animaux et les ressources renouvelables. Toutes ces connaissances sont absolument nécessaires pour la définition par les États d'une politique de développement agricole et pour la recherche de l'autosuffisance alimentaire compatible avec la sauvegarde de l'environnement.*

*La Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) a également décidé, en 1975, de faire un effort exceptionnel. Elle a voulu non seulement soutenir les efforts de la communauté scientifique, mais les développer en mobilisant des crédits incitatifs nouveaux à la disposition, sur programme, des organismes et équipes de recherche. La DGRST a établi une action concertée intitulée " Lutte contre l'aridité en milieu tropical ". La gestion des crédits, qui ont été renouvelés pendant huit années consécutives, a été confiée à un comité spécial dénommé comité LAT. Le terme LAT pouvait*

*prêter à confusion étant donné qu'il ne s'agissait pas de lutter contre la sécheresse mais de fournir aux États les connaissances scientifiques et techniques pour asseoir leur développement à long terme sur des bases sûres. Aussi le LAT a-t-il été transformé en 1980 en un Groupe de recherches interdisciplinaires en zones arides (GRIZA).*

*Le comité LAT a procédé par appels d'offres auprès des organismes scientifiques. Ces derniers ont été invités à présenter des programmes répondant à des termes de référence bien définis et à aborder l'étude des problèmes complexes du Sahel de manière interdisciplinaire. Le dépouillement des réponses aux appels d'offres a conduit le comité LAT à proposer des rectifications de programme et à suggérer le regroupement d'équipes d'organisations scientifiques différentes autour de thèmes communs. La mobilisation concertée d'équipes appartenant aux organismes spécialisés, ORSTOM, GERDAT (CIRAD) et INRA avec des laboratoires du CNRS, de l'INSERM et des équipes universitaires, n'a pas toujours été aisée. Non seulement les diverses composantes n'avaient pas les mêmes règles administratives, en particulier pour lancer des opérations outre-mer, mais encore on essayait de mobiliser des chercheurs de la recherche fondamentale, de la recherche dite stratégique et de la recherche appliquée, chercheurs et spécialistes aux conceptions et méthodologies parfois assez dissemblables et travaillant à des échelles de temps et d'espaces différentes.*

*Parmi les projets qui ont été financés par le LAT, celui dénommé " Mare d'Oursi " peut être considéré comme exemplaire par l'ampleur des moyens mis en œuvre, par le nombre et la diversité des équipes de recherche associées, par la gamme des recherches allant de la connaissance du milieu à la santé publique et à la nutrition humaine.*

*Le titre " Mare d'Oursi " peut prêter à confusion. Le titre officiel " Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan ", région importante du nord du Burkina Faso reflète mieux l'intérêt des travaux dont les résultats dépassent largement non seulement le cadre géographique limité du bassin versant de la mare d'Oursi, mais également de la région Oudalan. De nombreuses conclusions peuvent sinon s'appliquer du moins être utiles pour la politique de développement dans les autres régions semi-arides d'Afrique.*

*Le rapport final qui suit concerne uniquement les résultats des recherches sur les écosystèmes. Il devrait intéresser de nombreux États d'Afrique de l'Ouest et même de l'Est. Ce rapport risque d'être critiqué pour avoir été publié trop tardivement, et je le regrette personnellement : peut-être faut-il admettre qu'un peu de recul dans la présentation de conclusions parfois délicates n'est pas toujours une mauvaise chose. Cependant, il ne faut pas oublier que ce rapport de synthèse s'appuie sur de très nombreux documents techniques, diffusés régulièrement dans la communauté scientifique, et peut-être malheureusement trop peu exploités par les développeurs. Cette synthèse ne répondra pas à toutes leurs interrogations. Et comme toute publication scientifique, elle posera de nouvelles questions à la recherche. Le dialogue recherche-développement doit donc se poursuivre. La persistance des anomalies climatiques entre 1981 et 1988 a justifié la poursuite des recherches dont on souhaite la prise en charge progressive par les structures nationales de recherche agricole.*

*En tant qu'ancien président du LAT, je souhaite que ce document soit largement diffusé. La DGRST a réalisé une œuvre utile avec le LAT. Il faut maintenant valoriser au maximum cet effort financier en assurant le plus tôt possible une large diffusion des résultats.*

Roger FAUCK

*Ancien Président du  
Comité LAT*

## AVANT-PROPOS

Sans vouloir raconter ici la saga du projet “ Mare d'Oursi ” ou rappeler des souvenirs personnels liés aux solides amitiés qui ont pu se nouer autour de la table commune du campement de Jalafanka, il nous paraît opportun d'évoquer le contexte dans lequel fut conçue et programmée l'Action complémentaire coordonnée (ACC) de lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, dont l'intitulé complet, “ Étude des potentialités agro-sylvo-pastorales d'un écosystème en Haute-Volta ”, fut très vite abrégé en “ Projet mare d'Oursi ”.

Les programmes d'actions mis en place à partir de 1974 (année de la création du CILSS) par les décideurs et les responsables du développement de ces régions reposaient sur quelques hypothèses ou attendus dont quelques-uns se sont révélés tout à fait pertinents et clairvoyants mais dont beaucoup n'ont pas résisté aux difficultés et démentis infligés par la sécheresse climatique dont on ne peut dire, quinze ans après, si elle persiste encore et pour combien de temps.

De fait, la sévère sécheresse des années 1970-1974 avait pris au dépourvu aussi bien les responsables du développement que les scientifiques qui accompagnaient leurs travaux. Les uns et les autres n'avaient pas accordé jusqu'alors une véritable priorité à ces régions sahéliennes, peu productives et dont l'évolution semblait assez lente. Les pôles d'intérêt étaient plutôt situés dans les régions de savane soumises à un mouvement de colonisation pionnière important et plus au sud, dans les régions humides préforestières, prometteuses du développement d'une agro-industrie en expansion. On a donc naturellement pensé que le transfert de techniques éprouvées était possible et que des projets d'aménagement du territoire et de développement d'infrastructures pour l'exploitation des ressources du milieu naturel permettraient de lutter efficacement contre les effets de la sécheresse (projets et réalisations de ranches d'élevage, de barrages, de petites retenues, de forages et d'aménagement de pistes de transhumance se multiplièrent grâce aux importants financements apportés par l'aide internationale). Les chercheurs impliqués de près ou de loin dans ces opérations, peu nombreux à bien connaître les milieux sahéliens et à en avoir étudié le fonctionnement, pensaient que des recherches intensives sur les causes

de la sécheresse et sur les mécanismes d'adaptation aux conditions d'aridité permettraient de fournir rapidement des résultats chiffrés dont avaient besoin les projeteurs et aménageurs pour mener à bien leurs projets. C'est ainsi que les objectifs fixés au projet " Mare d'Oursi " étaient :

*...de caractériser et de définir les potentialités de production d'un écosystème sabélien jugé représentatif du nord de la Haute-Volta, de faire un diagnostic sur l'évolution de ces milieux au plan physique, biologique et humain ainsi que de leurs ressources en fonction des facteurs spatio-temporels variables qui les conditionnent ; ce diagnostic devant permettre de prévoir les moyens à mettre en œuvre pour pallier une dégradation croissante des écosystèmes de la région.*

On peut dire tout de suite, sans influencer le lecteur ni anticiper sur la conclusion, que le premier objectif a été largement rempli et qu'il constitue l'essentiel du présent ouvrage de synthèse mais que le second reste toujours très problématique et ne peut recevoir de réponses que partielles et localisées. En effet, la seule réponse globale, mais qui conduit à une stratégie inacceptable, est que pour pallier la dégradation des milieux naturels soumis à une sécheresse prolongée, il faut soit cesser de les exploiter, soit diminuer très fortement la pression anthropique qu'ils subissent ce qui est évidemment incompatible avec l'évolution démographique de la région et l'évolution des modes de vie des sociétés paysannes et pastorales qui vivent de ces ressources naturelles <sup>(1)</sup>.

Au rang des prémisses judicieuses de l'ACC, lutte contre l'aridité, deux assertions ont eu une influence prépondérante et constante dans la conduite des opérations de terrain et l'exploitation des résultats qui ont suivi.

- La sécheresse climatique sévissant au Sahel n'était pas une aberration passagère et inexplicable, puisque deux épisodes comparables avaient été enregistrés depuis le début du siècle (1913-1915 et 1940-1943) (SIRCOULON, 1976). Il fallait donc s'attacher à l'étude de l'évolution des milieux et de leurs capacités de production en phase de sécheresse ainsi que du potentiel d'adaptation à la sécheresse, sans attendre un retour hypothétique à une situation " normale ".
- Il y avait des liens étroits et de nombreuses interactions entre les facteurs climatiques, géodynamiques, biologiques et anthropiques qui concouraient à la dégradation des milieux naturels. Il fallait donc faire appel au plus large éventail possible de disciplines scientifiques pour appréhender ces différents facteurs et leurs relations : l'étude de la mare d'Oursi devait par principe être pluridisciplinaire et coordonnée. Les équipes de recherches de cinq organismes français furent donc engagées dans cette opération " Mare d'Oursi " sur des programmes coordonnés permettant de prévoir une répartition des tâches et une complémentarité des études. À l'ACC-LAT proprement dite ont participé dans le cadre d'un accord passé avec le ministère du Plan de Haute-Volta :
  - l'ORSTOM en hydrologie, pédologie, agronomie, phytoécologie, économie et démographie,
  - l'IEMVT en agrostologie et zootechnie,
  - le CTFT pour les études forestières et la protection des sols,
  - le CEPE-CNRS de Montpellier en botanique et phytoécologie,
  - l'UER de Géographie de l'université Paris-VII pour la géomorphologie et la géodynamique.

Parallèlement, une autre ACC-LAT était lancée dans le domaine de la santé pour l'étude des situations sanitaires et nutritionnelles des populations de l'Oudalan sous la responsabilité de l'UER de

<sup>(1)</sup> La décision de ne pas exploiter des ressources assez facilement accessibles a cependant été appliquée dans le cas tout à fait exemplaire du forage Christine, situé au cœur du Séno-Mango dont la question de l'opportunité de réouverture fut posée en 1979. Les conclusions d'une étude très proche du terrain et des éleveurs, menée par M. BENOIT (1981) et s'appuyant sur l'expérience catastrophique de la deuxième année d'exploitation en 1973 (observée par H. BARRAL), étaient que l'ouverture du forage entraînerait une dégradation irréversible des pâturages dans un rayon d'au moins 30 km aux alentours et que les éleveurs qui utilisaient ces parcours dans des conditions très difficiles, conscients de ce risque, étaient opposés à cette remise en exploitation du forage. Cette sage décision prise par les responsables du projet de développement de l'élevage dans le nord du Sahel est un des rares exemples d'application immédiate des résultats d'une étude scientifique.

médecine tropicale de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Pr. Gentilini) regroupant le CHU de l'université de Paris-VI et l'INSERM. Bien que de nombreux échanges aient eu lieu entre ces deux ACC et qu'ils se soient poursuivis après 1980, nous n'intégrerons pas cette étude de santé dans notre synthèse : elle a fait l'objet en son temps de publications et de comptes rendus séparés et diffusés auprès du ministère de la Santé publique.

S'appuyant largement sur la logistique du centre ORSTOM de Ouagadougou, l'opération " Mare d'Oursi " a débuté pour la saison des pluies 1976 et s'est poursuivie sur financement DGRST jusqu'en 1979-80. Pour mieux caractériser les variations spatio-temporelles de certains phénomènes étudiés, pour lesquels cinq ans d'observations étaient jugés nécessaires, certains programmes ont été conduits jusqu'en 1981 par l'ORSTOM, puis d'autres études se basant sur l'accumulation de données disponibles ont été entreprises ou étendues à partir d'Oursi. Il s'agit notamment :

- de l'étude du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion en zones sahélienne et subdésertique par simulation de pluie (étude LAT 03) menée par une équipe de pédologues du centre ORSTOM d'Adiopodoumé (1979) qui suscita en 1981-82 une campagne de mesures au minisimulateur de pluie pour caractériser les comportements hydrodynamiques des principales unités de surface des bassins versants de la mare d'Oursi (à l'initiative et sur financement du centre ORSTOM de Ouagadougou) ;
- d'une étude des principales unités de paysages par télédétection aéroportée dans le cadre du programme " Simulation SPOT " préalable au lancement du satellite (1981-1983), suivie du projet PEPS 149 (1985-1987) ;
- et surtout de l'étude de suivi et d'évaluation du Projet de développement de l'élevage dans l'ORD du Sahel, financé par le FED de 1979 à 1983.

Les résultats de ces études, complétant fort utilement les observations faites sur le bassin versant de la mare d'Oursi, sont largement intégrés dans la synthèse présentée maintenant.

Bien sûr, tout ne fut pas exemplaire dans cette coordination et dans la pluridisciplinarité des études : on peut regretter en particulier l'absence d'étude des ressources en eaux souterraines ou d'inventaire de la faune sauvage fortement menacée (en particulier l'avifaune) ou encore, le manque de simultanéité entre les études pédologiques et les mesures de ruissellement et d'érosion sur parcelles, menées par le CTFT. Mais on regrettera surtout l'absence de chercheurs burkinabé dans les équipes de recherche, quelque peu compensée par l'accueil de nombreux stagiaires de l'université de Ouagadougou ou des établissements d'enseignement supérieur rattachés et par la réalisation tardive de la carte pédologique par le Service national des sols. On peut évidemment expliquer que cette participation n'était pas prévue dans l'accord passé avec le ministère du Plan, ni les financements adéquats et que le CVRS de l'époque, devenu CNRST, n'avait pas les moyens matériels ni les chercheurs disponibles pour s'engager à des séjours sur le terrain de plusieurs mois par an pendant cinq années consécutives : il n'en reste pas moins que cette opération " Mare d'Oursi " a été un exceptionnel laboratoire de terrain dont aurait pu et aurait dû mieux profiter la communauté scientifique nationale.

Dernière critique sur cette opération " Mare d'Oursi ", que nous préférons faire et commenter nous-même dès à présent : pourquoi publier cette synthèse aussi tard, presque dix ans après la fin des observations sur le terrain ?

Nous pouvons y donner deux séries de raisons :

- Des raisons matérielles et humaines : le contrat d'étude passé par la DGRST avec cinq organismes différents ne prévoyait pas une synthèse de l'ensemble de l'étude et ce n'est qu'en 1979, devant le foisonnement de rapports de campagne et d'études partielles que nous rendions, que nous avons décidé de réaliser une synthèse avec la contribution de tous les participants. Il s'est trouvé que dès 1980-81, les équipes participantes se sont dispersées vers des horizons très divers et qu'il n'a jamais été possible de les réunir par la suite. Nous savons d'expérience qu'il est très difficile à un chercheur engagé dans d'autres programmes de recherches, dans d'autres pays ou ayant complètement changé de sujet de recherche, de se replonger dans des résultats qu'il a déjà produits et diffusés aux utilisa-

teurs, pour en tirer une synthèse cohérente avec celle de ses collègues lointains. L'ouvrage que nous publions maintenant est donc bien différent de celui que nous avons envisagé en 1979-80 <sup>(1)</sup>.

- Des raisons scientifiques : l'exploitation et l'interprétation des résultats d'observations ont soulevé de nombreuses interrogations et ouvert de nouvelles pistes de recherche, que bien sûr nous étions avides de poursuivre (ce que nous avons pu faire, mais avec un certain délai) : ainsi la modélisation des écoulements sur les bassins versants de la mare d'Oursi a attendu de pouvoir utiliser les résultats de l'étude de télédétection et des campagnes de simulation de pluies, elle n'a pu être menée à bien qu'en 1984-85. Par ailleurs, plusieurs d'entre nous étaient engagés dans un travail de préparation de thèse et, comme il est d'usage, ne pouvaient pas publier leurs résultats dans une synthèse commune avant d'avoir soutenu leur thèse. Les différents morceaux de la mosaïque que constitue cette présentation pouvaient difficilement être rassemblés avant 1988-89.

Pourquoi alors publier maintenant, si l'essentiel a déjà été dit, écrit et diffusé ? Parce que le sujet est plus que jamais d'actualité, que la sécheresse n'est pas " terminée " et que même si une nette rémission est actuellement observée, les effets de cette sécheresse prolongée ne s'effaceront pas de sitôt et la régénération des milieux dégradés ne se fera probablement pas de façon entièrement naturelle.

Au moment où l'on parle beaucoup de préservation de l'environnement, de gestion conservatrice des ressources naturelles, la synthèse d'une étude qui s'est appuyée sur ces concepts dès le début n'est sûrement pas dépassée ! N'écrivions-nous pas en effet, dès 1977, que si les prélèvements de l'homme étaient supérieurs à la capacité annuelle de production de ces milieux fragiles (variable et dépendant des facteurs climatiques), on entamerait le capital de production et l'on s'engagerait dans un processus de péjoration des capacités de production décroissant exponentiellement.

Par ailleurs, si la publication des résultats s'est faite au fur et à mesure de leur production auprès des utilisateurs potentiels, il faut reconnaître que la forme de cette diffusion laissait à désirer ; si bien que les rapports multigraphiés dont la liste est donnée ci-après, tirés à 50 ou 100 exemplaires sont tous épuisés et peu facilement accessibles, même au centre ORSTOM de Ouagadougou où la plupart ont été produits ; une synthèse restituant l'essentiel de ces résultats ne sera donc probablement pas inutile.

Enfin, cette publication sera l'occasion de rappeler que le projet " Mare d'Oursi ", ayant eu sa production propre, a aussi été le lieu d'éclosion de nouveaux programmes de recherche suivant une approche très novatrice de l'étude des fonctionnements et des évolutions des écosystèmes sahéliens ; c'est par exemple à Oursi qu'a été mise en évidence l'importance des organisations pelliculaires de surface sur l'hydrodynamique des sols, ce qui a conduit à la méthodologie aujourd'hui opérationnelle de classification des états de surface (CASENAVE, VALENTIN, 1989). C'est également au vu d'une des premières images LANDSAT de la zone d'Oursi que l'on a pensé à utiliser les données numérisées de classification des surfaces élémentaires comme données d'entrées dans les modèles de simulation à discrétisation spatiale pour reconstituer les fonctions de production du ruissellement issues des tests au simulateur de pluie. On pourrait prolonger cette énumération dans les domaines de l'agronomie, de la phytoécologie, etc.

Espérons que la diffusion la plus large possible de cet ouvrage apportera à tous ceux qui travaillent au Sahel, non seulement une meilleure connaissance des milieux naturels et de leur fonctionnement mais également une source de réflexions sur les stratégies à mettre en œuvre pour en permettre une exploitation raisonnée au profit de ceux qui y vivent de façon difficile et qui veulent y rester et y vivre mieux.

<sup>(1)</sup> La rédaction de cet ouvrage est donc due en grande partie aux trois éditeurs scientifiques, J. CLAUDE, M. GROUZIS, P. MILLEVILLE, qui ont également rassemblé et harmonisé les extraits de rapports multigraphiés comportant des résultats synthétiques ou bien les contributions demandées à des auteurs fort dispersés, à savoir : P. CHEVALLIER, J. COLLINET, M. LANGLOIS et B. POUYAUD.

# INTRODUCTION

Les objectifs du projet " Mare d'Oursi " ont été au départ très clairement formulés, il s'agissait, en quatre temps :

- de dresser un inventaire des ressources des milieux physique et biologique sahéliens,
- d'analyser les conditions de leur exploitation par l'homme,
- de discerner l'évolution de ces milieux et de leurs ressources en fonction des facteurs écologiques variables qui les conditionnent,
- d'évaluer les moyens à mettre en œuvre pour pallier la dégradation des écosystèmes.

Dès le début du projet, il était clair qu'une telle étude se ferait nécessairement dans un cadre pluridisciplinaire associant les spécialistes des sciences de la terre, des sciences de la vie et des sciences humaines.

La présentation d'un ouvrage de synthèse aurait donc dû suivre au plus près ces lignes planificatrices et, partant d'une description du cadre géographique et géomorphologique du périmètre d'étude, dresser l'inventaire des ressources en eaux, en sols, végétales et animales, expliquer les fonctionnements des différents compartiments des écosystèmes et leurs interrelations, pour dégager enfin les potentialités d'exploitation des ressources naturelles renouvelables et les règles d'une gestion rationnelle et conservatoire de ces milieux.

Nous avons rapidement évoqué dans notre avant-propos, les conditions d'exécution du projet sur le terrain, qui ont fait que ce schéma initial n'a pas pu être intégralement respecté. Sans doute était-il trop théorique pour rendre compte de la complexité de l'étude et de ses résultats. Une présentation de la synthèse des études réalisées, qui suivrait le même cheminement, en exposant discipline par discipline un condensé des résultats sectoriels acquis, risquerait d'apparaître comme quelque peu réductrice. Elle serait alors davantage le reflet d'une " multidisciplinarité de proximité ", que d'une pluridisciplinarité

effective, à laquelle, tout au long du projet, certains des participants se sont attachés, acceptant le cas échéant d'y sacrifier leurs particularités ou de remettre en cause les théories dominantes de leur spécialité. Au demeurant, le lecteur intéressé pourra retrouver, dans les quelque quatre-vingt-dix publications partielles ou disciplinaires que le projet " Mare d'Oursi " a produites, toute la diversité des approches disciplinaires initiales et tous les détails de l'élaboration des résultats bruts, dont la synthèse est présentée ici.

Nous avons donc tenté pour cette synthèse de restituer toute la richesse d'une approche pluridisciplinaire ambitieuse, qui tiendrait compte à la fois de l'intégration des résultats des différentes disciplines, chacune à leur échelle pertinente, des liaisons entre leurs approches, mais aussi des spécificités de chacune dans ses méthodologies et ses domaines d'observations et de mesures. Si, comme nous l'avons déjà signalé, la coordination entre les diverses disciplines et la programmation des interventions sur le terrain n'ont pas toujours été parfaites, on peut, *a posteriori*, reconnaître des convergences dans les démarches des différents intervenants qui, en allant du particulier au général ou du ponctuel au régional, ont tous fait l'hypothèse de la représentativité des objets étudiés.

Pour chaque domaine d'étude, dans les deux dimensions spatiale et temporelle, nous avons pu distinguer cinq niveaux d'analyse (du plus élémentaire au plus vaste), qui se différencient selon les extensions spatiale et temporelle des objets ou de leur mode d'appréhension (tableaux I, II III).

### ***DIMENSION SPATIALE***

Niveau S1 : 0 à 10 m

Mesures ou observations ponctuelles. Identification ou échantillonnage élémentaire.

Niveau S2 : 10 à 100 m

Échelle de la parcelle. Représentativité et situations types (champ, station, troupeau, famille).

Niveau S3 : 100 m à 1 km

Groupements et associations. Intégration de plusieurs unités types (toposéquences, versants).

Niveau S4 : 1 à 50 km

Ensembles composites intégrant plusieurs systèmes (terroirs villageois comprenant cultures et parcours).

Niveau S5 : au-dessus de 50 km

Ensemble régional. Totalité d'un bassin versant ou zone d'endodromie. Extrapolabilité de la représentativité à l'ensemble de la zone sahélienne ?

### ***DIMENSION TEMPORELLE***

Niveau T1 : 1' à 1 h

Événement instantané.

Niveau T2 : 1 h à 1 jour

Échelle journalière (cycle journalier nuit-jour).

Niveau T3 : quelques jours à 1 décade

De la décade au mois.

Niveau T4 : 1 mois à 1 an

Échelle de l'année (cycle annuel des saisons)

Niveau T5 : > 1 an

Variations pluriannuelles. Dimension historique.

Le croisement de ces deux dimensions spatiale (x, y) et temporelle (t) détermine un référentiel dans lequel peuvent être replacés les actions et les résultats de recherche des différentes disciplines. Chacune des " cases dimensionnelles " (spatial x temporel) n'est pas forcément pertinente pour chacune des disciplines, car les divers niveaux de pertinence sont souvent définis par la finalité des résultats. Par exemple, les études des mécanismes biophysiques privilégient les niveaux S1, S2 et T1, T2, T3, alors que la compréhension des systèmes d'exploitation porte surtout sur les niveaux S3, S4 et T2, T3, T4.

Mais, ces deux types d'approche doivent, dans tous les cas, conserver le souci de représentativité régionale (niveaux S4, S5) et la dimension pluriannuelle ou historique (T5).

Le passage d'un niveau à un autre (spatial et temporel) ou d'une case dimensionnelle à une autre, pose la question, très imparfaitement et inégalement résolue, de la justification des extrapolations, pourtant obligatoires lorsqu'il s'agit de changer de niveau d'observation pour tenter de répondre à une demande posée à une autre échelle que celle des observations disponibles.

On donne improprement à ce problème délicat le nom de " transfert d'échelle ". Il s'agit en fait de savoir si la compréhension effective des mécanismes, à l'échelle d'une dimension (spatiale ou temporelle) inférieure, peut être utile, voire suffisante pour répondre à un questionnement scientifique qui se pose dans une dimension supérieure. Toute la difficulté est que les mécanismes et les processus changent en général de nature lorsque leur dimension de référence change. Cela est vrai autant pour la dimension temporelle (comment prévoir la variabilité pluriannuelle, lorsqu'on ne dispose que des observations portant sur une seule année) que pour la dimension spatiale (la règle de trois est un outil dangereux pour la spatialisation ou la régionalisation des phénomènes naturels, dont la variabilité et la diversité se prêtent mal à toute linéarisation).

Cette question ne doit pas pour autant être escamotée, parce qu'elle n'est pas résolue, bien qu'elle n'ait pas la même importance dans tous les domaines. C'est pourquoi nous avons maintenu dans cer-

Tableaux synoptiques des niveaux spatiaux et temporels des objets d'étude

TABLEAU I

CLIMATOLOGIE		
S1	Mesure en stations	T1
	- paramètres climatiques	à
	- pluviométrie	T2
S5	Climatologie régionale ; évolution des paramètres	T2 à T5

PÉDOLOGIE		
S1	Profil pédologique	T1
S2	Types de sol ; états de surface	T1
S3	Toposéquences et ensemble de sols associés	T1 à T5
S5	Cartographie pédologique régionale	T1 à T5

GÉOMORPHOLOGIE		
S1	Microrelief ; formes élémentaires	T1
S2	Modelé ; relations amont-aval ; formes d'érosion	T1
S3	Unité morphogénétique - mécanismes d'évolution	T1 à T4
S4	Ensemble morphologique - évolution géodynamique	T2 à T5
S5	Cartographie géodynamique régionale	T4 T5

HYDROLOGIE		
S1	Mesures en stations	T1
	- pluviométrie	à
	- écoulements ; érosion	T2
S2	Cycle et bilan de l'eau sur petits bassins versants	T2 à
S3	Bassins versants composites et/ou emboîtés	T5
S4	Hydrologie de la mare d'Oursi	T4
S5	Régimes hydrologiques sahéliens	à T5

tains chapitres une place importante pour la présentation des aspects méthodologiques spécifiques aux disciplines ou aux objets d'étude rencontrés et pour la discussion sur la validité d'extrapolation de certains résultats à des dimensions supérieures. Il faut voir là aussi la raison principale qui justifie la conduite sur plusieurs années des expérimentations, en milieu naturel ou en conditions contrôlées, méthode s'ajoutant à celles classiques d'inventaires et de mesures des écosystèmes, pour en comprendre les mécanismes de fonctionnement et générer les algorithmes qui en faciliteront, en principe, l'extrapolation et la généralisation.

Nous avons essayé de disposer selon les deux axes dimensionnels trois séries de tableaux, consacrées l'une au contexte du milieu physique, l'autre au contexte de l'environnement phyto-écologique, la dernière au contexte de l'exploitation du milieu par l'homme.

Les tableaux I, II et III retracent aussi fidèlement que possible la démarche effectuée par chaque spécialité à chacun des niveaux identifiés, mais ils ne peuvent prendre en compte (sous peine de complication excessive) deux aspects fondamentaux de cette étude pluridisciplinaire des potentialités agro-sylvo-pastorales du bassin versant de la mare d'Oursi :

— D'une part, la différenciation entre ce qui est descriptif et explicatif de l'état actuel des écosystèmes étudiés (inventaires, cartographie, bilans) et l'étude des mécanismes de fonctionnement et d'évolu-

TABLEAU II

BIOLOGIE VÉGÉTALE			AGROÉCOLOGIE		
S1	Inventaire ; phénologie	T1	S1	Bilans hydriques sur profils types	T1
S2	Productivité des unités de végétation (parcelles 1 ha)	T2 à T4			à T4
S3	Association des unités dans les secteurs écologiques	T1	S2	Production biomasse des unités	T3 à T4
S5	Cartographie régionale des phytomasses et potentiels de production	T1 à T5	S3	Caractérisation et productivité d'écosystèmes représentatifs	T2 à T5
			S5	Relations eau-sol-plante - modélisation à l'échelle de l'écosystème	T2 à T5

PHYTOÉCOLOGIE		
S1	Taxonomie ; phénologie	T1
S2	Groupements végétaux	T1
S3	Répartition des unités dans le secteur écologique	T2 à T5
S5	Cartographie régionale des unités de végétation	T4 ou T5

TABLEAU III (1)

AGRICULTURE		
S1	Caractérisation du matériel végétal ; élaboration du rendement	T1 T3 T4
S2	Conduite technique de la culture	T3
	Évaluation de la productivité	T4
S2	Évolution du milieu sous culture	T5
	Mobilisation des facteurs de production, couverture des besoins vivriers du groupe familial	T4
S4	Variabilité des résultats et	T4
S5	adéquation productions/besoins à l'échelle régionale	à T5

ÉLEVAGE		
S1	Caractérisation de l'animal, évaluation de ses besoins et de ses performances zootechniques	T1 T3 T4
	Structure et dynamique du troupeau	T1 à T5
S4	Conduite du troupeau, mobilités quotidienne et saisonnière	T4
S3	Fonctions économiques et sociales de l'élevage ; exploitation du cheptel	T4 T5
S5	Adéquation besoins/ressources fourragères à l'échelle de la zone ; capacités de charge	T4 T5

OCCUPATION HUMAINE ET SYSTÈMES DE PRODUCTION		
S1	Types d'habitat, unités domestiques	T1
S2	Localisation des implantations humaines et démographie	T1 à S5
S3	Fonctionnement du système de production, mobilité saisonnière ; économie domestique	T3 T4
S4	Diversité des systèmes de production, relations de complémentarité et de concurrence	T4 à T5
S5	Équilibre population/ressources, disparités intrarégionales et diagnostic d'ensemble	T4 T5

(1) Classer, pour ces trois rubriques, les éléments et phénomènes qui s'y réfèrent dans des échelles d'espace et de temps peut apparaître assez arbitraire. S'agissant de l'activité humaine et de ce qui en résulte, il importe en effet d'appréhender la réalité également à travers des niveaux d'organisation pertinents (le troupeau, l'unité de production...).

tion des différents compartiments de ces écosystèmes. En pratique, ces deux axes de recherche coexistent à chaque niveau d'étude et sont étroitement mêlés l'un à l'autre ; l'état actuel des écosystèmes et le mode actuel de leur exploitation étant l'aboutissement d'un ensemble de mécanismes que l'on doit forcément étudier à toutes les échelles pertinentes en même temps que l'on en fait la description. Nous avons cependant tenté de séparer ces deux volets d'une même approche dans la présentation de cette synthèse.

- D'autre part, les liaisons et interrelations entre phénomènes (et donc entre disciplines), qui peuvent être très fortes et évidentes, comme entre la géomorphologie et les formes de ruissellement et d'érosion, ou plus ténues et diffuses, comme l'implantation de l'habitat et la nature des sols, mais qui relie presque chaque niveau de chaque domaine à tous les niveaux de tous les autres domaines.

Il est bien sûr impossible de faire état de ces liaisons à tous les stades de cet ouvrage de synthèse, mais c'est dans la partie consacrée à la dynamique et à l'évolution des écosystèmes que nous avons le plus mis en évidence la complémentarité des différentes approches.

Cette présentation synthétique des études réalisées dans la région de la mare d'Oursi s'articule en trois parties d'inégal volume.

La première partie, essentiellement descriptive, présente les composantes géographiques, physiques et biologiques, de la région étudiée ainsi que l'occupation actuelle de l'espace, replacée dans une perspective historique. On s'attache à mettre en relief les caractères sahéliens des milieux et des populations, caractères qui seront la base de la représentativité des études plus localisées. En particulier, les données climatiques de la période 1976-1981, pendant laquelle ont été effectuées nos mesures, sont situées dans le contexte de la sécheresse prolongée sévissant au Sahel depuis 1969-70. Cette période de sécheresse, exceptionnelle par sa durée à l'échelle historique, ne semble cependant pas être une aberration climatique pour cette région dont l'aridité constitue un trait majeur et déterminant de l'évolution.

La deuxième partie est consacrée à l'étude de la dynamique des écosystèmes naturels et des mécanismes de leur fonctionnement. Elle traite d'abord de l'évolution morphopédologique actuelle, des mécanismes de l'érosion et du ruissellement et des facteurs conditionnant le cycle et le bilan de l'eau étudiés sur bassins versants représentatifs ; la dynamique de la production végétale des milieux naturels, c'est-à-dire principalement des espèces fourragères, est étudiée à partir de données recueillies sur parcelles expérimentales et de mesures extensives sur tout le bassin versant. Ces données ont permis d'explicitier les relations entre les facteurs du bilan hydrique et la production de phytomasse et de proposer une méthode d'estimation annuelle et fréquentielle de la production fourragère.

Cette connaissance de la dynamique des écosystèmes de la mare d'Oursi amène au constat actuel de l'évolution de la plupart des milieux sahéliens : sous l'influence conjuguée d'une péjoration climatique et d'une pression anthropique accentuée, ces milieux évoluent vers une dégradation de plus en plus marquée. La fin de cette deuxième partie analyse les conditions et les processus de cette dégradation, mais, au-delà, elle évalue les capacités de régénération naturelle ou artificielle et tente de définir les niveaux d'équilibre auxquels pourrait se stabiliser l'évolution dynamique de ces milieux dès lors que certains seuils conditionnant ces états pourraient être franchis soit par un retour à des conditions climatiques plus favorables, soit par des actions d'aménagement et de gestion des ressources orientant et limitant l'action de l'homme.

Dans la troisième partie, axée sur les activités humaines, on s'attache à l'étude de l'exploitation des ressources naturelles au travers des deux activités principales pratiquées dans la région que sont la culture pluviale de céréales et l'élevage. La combinaison de ces activités, à la fois complémentaires et concurrentes dans l'utilisation de l'espace et des moyens de production, définit des systèmes de production, basés sur des unités familiales assez larges, qui s'avèrent très diversifiés et qui puisent leur efficacité dans une adaptabilité aux contraintes climatiques et écologiques, adaptabilité dont les limites sont cependant rapidement atteintes en situation de crise. Le constat actuel est que, sous l'influence conjuguée d'une péjoration climatique et d'une pression anthropique accentuée, les écosystèmes sahéliens tels ceux de la région de la mare d'Oursi évoluent vers une dégradation marquée.

En conclusion de cette synthèse, il nous est possible d'établir un diagnostic sur l'état et l'évolution des systèmes écologiques de la mare d'Oursi ; diagnostic valable pour une grande partie des milieux sahéliens qui se caractérisent par une aridité climatique et édaphique extrême en cette phase de sécheresse prolongée qui accentue la fragilité de leurs capacités de production. Mais, ils se caractérisent aussi par une grande diversité dans tous les compartiments des écosystèmes et une grande variabilité spatiale et temporelle des processus d'évolution, ce qui leur permet de s'adapter aux conditions actuelles en retrouvant des niveaux d'équilibre moins productifs et leur confère également une capacité endogène de régénération, parfois surprenante.

Ces milieux sahéliens manifestent à l'évidence qu'ils sont en crise ; crise dont la sécheresse n'est pas en définitive la cause principale mais ne fait que révéler les limites et les contradictions des systèmes de production et d'exploitation par rapport à l'évolution actuelle de leur environnement socio-économique.

Face à ce défi, l'action des chercheurs et l'impact de cet ouvrage ne peuvent se limiter à la description d'un constat ou à dresser un catalogue des actions et techniques d'aménagement qui devraient être mises en œuvre. Le rôle majeur de la recherche devrait être d'orienter des stratégies de développement et de fournir les données pour les rendre compatibles avec les capacités de production et l'évolution des sociétés sahéliennes. Mais ce rôle ne peut être efficace que s'il est relayé dans l'action par une volonté politique nationale et régionale de promouvoir un véritable éco-développement.



*Première partie*

La région de la mare d'Oursi :  
un milieu sahélien



La description des milieux naturels, de leurs ressources végétales, du climat qui les conditionne et de leur occupation par l'homme, met bien en évidence les caractères sahéliens de la région étudiée, marquée par une forte aridité exacerbée par une longue saison sèche de neuf mois et par l'irrégularité des pluies qui influe aussi bien sur les évolutions géodynamiques, phytoécologiques et agropastorales des milieux que sur le mode de vie des populations.

## LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

La mare d'Oursi est située dans l'Oudalan au nord du Burkina Faso. Son bassin versant s'étend entre les parallèles 14° 33' et 14° 41' nord et entre les méridiens 0° 26' et 0° 40' ouest (figure 1).

Ce lac pérenne, en années de pluviométrie normale, est accessible à partir de Ouagadougou (360 km) par deux itinéraires routiers non revêtus et de praticabilité parfois difficile : le premier passe par Kaya, Dori et Gorom-Gorom ; le second par Kongoussi, Djibo, Aribinda et Déou.

La zone d'étude englobe la totalité du bassin versant de la mare d'Oursi (263 km<sup>2</sup>) et s'étend plus ou moins au sud (jusqu'à Gorom-Gorom et Saouga) au nord-est (mares de Ganadawri et Yomboli, pâturages d'Eraf N'aman) ou à l'ouest (Déou-Bidi) selon que les différentes disciplines scientifiques ont poussé leurs investigations jusqu'aux limites des unités de paysages ou de la zone d'endodromie centrée sur la mare d'Oursi.

Le bassin versant de la mare d'Oursi reste cependant le cadre principal des études et observations de terrain ; c'est là qu'on a été implantés les dispositifs de mesures (bassins versants représentatifs, parcelles phytoagronomiques, champs de culture...) ; la diversité des situations rencontrées à l'intérieur de ce bassin versant offrant toutes les possibilités d'effectuer des observations représentatives de toute la région.

## LES UNITÉS DE PAYSAGE

Le bassin versant de la mare d'Oursi repose sur un socle précambrien incliné faiblement vers le nord, barré par un cordon dunaire orienté d'est en ouest, typique de la morphologie sahélienne de la boucle du Niger. Ce cordon constitue la limite nord du bassin et offre un barrage naturel aux écoulements, créant la mare d'Oursi. Le même phénomène d'endoréisme se retrouve pour les mares voisines de Tin Edjar, à l'ouest, et de Yomboli, à l'est. Centrée sur le synclinal birrimien de Gouba (DELFOUR et JEANBRUN, 1970 ; PION, 1979), la géologie du bassin est dominée par une altération plus ou moins développée. Des reliefs de faible amplitude mais parfois vigoureux et d'origines variées, encadrent le bassin à l'ouest, au sud et à l'est :

- plateaux cuirassés ferrugineux de Gouba, Tchalol, Kouni-Kouni et Tazawat,
- granites en boules de Déou et affleurements de Gountouré,
- massifs de gabbros et localement de magnétite à Tin Edjar, Kolel et Warga.

Le paysage de la mare d'Oursi, d'apparence monotone et peu vigoureuse aux yeux d'un voyageur pressé, renferme en fait une étonnante diversité de milieux et de faciès écologiques, étudiés en détail par plusieurs équipes de chercheurs sous l'angle de leur spécialité, ainsi :

- JOLY, DEWOLF et RIOU (1980) distinguent plus de 20 faciès géomorphologiques,
- LEPRUN (1977) classe les sols en 17 unités,
- TOUTAIN (1976) décrit 10 grandes classes d'associations sol-végétation,
- LOINTIER et LORTIC (1984) isolent par classification multispectrale de données satellitaires 10 thèmes d'état de surface (carte 1 h.-t.).

Nous nous sommes appuyés sur ces classifications fort complexes et interdépendantes pour distinguer quatre grandes familles de paysages qui compartimentent cet ensemble :

- le système dunaire,
- les talwegs et les dépressions,
- les reliefs et les buttes,
- les grand glacis.

La description simplificatrice de ces unités rend compte schématiquement du fonctionnement de ces écosystèmes et de la perception qu'en permet la télédétection satellitaire. La classification par états de surface, pour des terrains généralement peu couverts, restitue en effet des groupements qui correspondent à ces quatre grands types de paysages. Chaque composante de ces paysages est décrite de façon détaillée par les auteurs cités ; nous en avons extrait les éléments qui dessinent leurs principales caractéristiques.

## LE SYSTÈME DUNAIRE

Le grand cordon dunaire au nord du bassin versant de la mare d'Oursi correspond à un erg ancien fixé et plus ou moins pédogénésé, plaqué sur le socle précambrien. Fragile et soumis à une forte pression anthropique, ce système est par endroit remanié et dégradé jusqu'à revenir à l'état de dune vive (autour du village d'Oursi). Adossés aux buttes et reliefs, des sables éoliens forment assez fréquemment d'épais placages sableux sur piémont (Gouba, Tchalol, Warga, Kolel).

Les sols sont identifiés comme sols brun-rouge subarides sur sables éoliens pauvres en argile et limon (erg récent) ou comme sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur sur sable éolien (erg ancien).

Le système dunaire apparaît sur la carte 1 avec les thèmes 1 (sables vifs) et 8 (sables fixés). Ils couvrent 12 % de la superficie du bassin versant de la mare d'Oursi (*stricto sensu*).

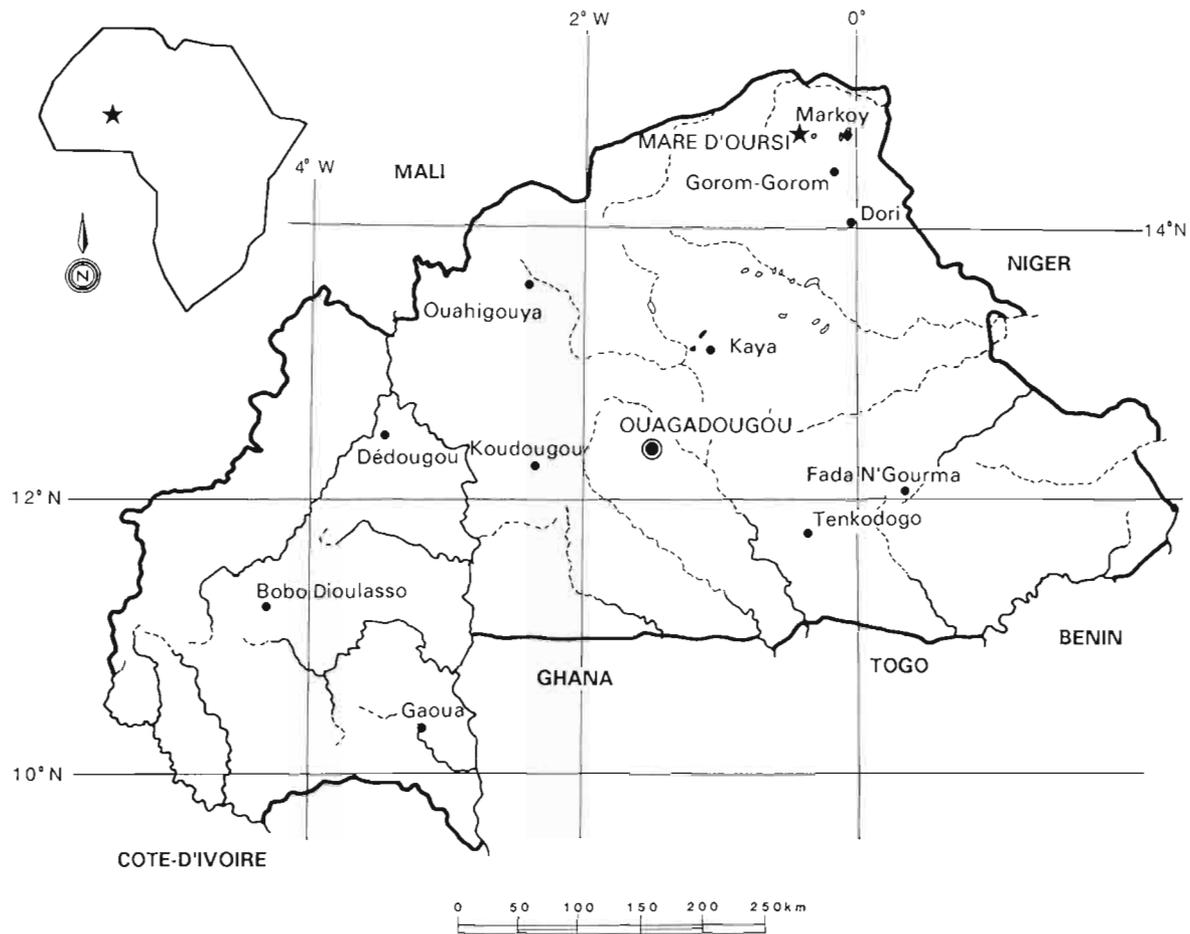


Figure 1 - La situation de la mare d'Oursi, Burkina Faso

Le ruissellement est très médiocre sur ces sols sableux et le réseau hydrographique inexistant. Sur l'erg ancien, on peut observer une alternance d'organisations superficielles distinctes : des plaques de sols nus recouverts d'une fine pellicule indurée et des recouvrements sableux. CHEVALLIER ET VALENTIN (1985) ont mis en évidence une différence de comportement à l'infiltration extrêmement importante d'une surface à l'autre.

## LES TALWEGS ET LES DÉPRESSIONS

Cette deuxième entité est constituée par les marigots et la mare d'Oursi elle-même. L'orientation générale du réseau hydrographique est sud-ouest, nord-est, avant de converger dans la mare.

Ces talwegs et dépressions sont des zones de concentration des écoulements dans un réseau de chenaux désordonnés. Le lit mineur des marigots généralement bien marqué à l'amont y disparaît progressivement vers l'aval et évolue vers des bas-fonds inondables.

Cette entité est caractérisée par des vertisols et des sols hydromorphes minéraux peu humifères. Ils sont vite saturés et retiennent mal l'eau dans les argiles gonflantes où apparaissent, en saison sèche, les surfaces à fentes de retrait larges et profondes souvent présentées - à tort - par les médias comme illustration significative de la sécheresse sahélienne.

Les talwegs et les dépressions apparaissent sur la carte 1 en thèmes 9 (végétation dense) et 10 (mare). Ils couvrent 21% de la superficie totale du bassin versant de la mare d'Oursi (y compris la mare elle-même).

L'eau s'infiltré mal dans ces sols imperméables après fermeture des nombreuses fentes dès les premières pluies. Les flaques qui stagnent dans les dépressions du réseau dégradé sont très vite reprises par évaporation.

## LES BUTTES ET LES RELIEFS

Les reliefs, collines et buttes, sont issus soit de roches basiques (gabbros, dolérites), soit de roches granitiques, soit de paléosurfaces cuirassées, puis disséquées. Ils encadrent le bassin de la mare, mais, çà et là, apparaissent quelques pointements isolés (Taïma, Jalafanka).

Les altitudes, bien que modérées, sont les plus élevées de l'Oudalan et le massif de Tin Edjar qui culmine à 518 m domine de plus de 200 m la cuvette de la mare d'Oursi.

Les massifs de Kolel et de Tin Edjar, riches en magnétites, ont fait l'objet de plusieurs prospections minières vers 1970 qui n'ont pas donné de suite.

Les sols sont identifiés comme sols minéraux bruts climatiques d'érosion sur cuirasses ferrugineuses et sur roches diverses. Pour une approche géologique et pédologique, il faut rappeler le travail de PION (1979) sur le massif de Kolel.

La carte 1 des états de surface par télédétection présente ces reliefs et buttes en thèmes 2 (buttes), 3 (altérations de cuirasse) et 4 (blocs de roches diverses). Ils couvrent 8 % de la superficie du bassin de la mare.

Les pentes et les piémonts sont soumis à une forte dynamique d'érosion et de ravinement. Le ruissellement y est intense localement et se concentre assez rapidement en ravines dont le développement est modéré par la brièveté des versants. À l'échelle du massif, de nombreuses fractures dues aux altérations font qu'une grande partie de ce très fort ruissellement s'infiltré ponctuellement et la part qui parvient au réseau hydrographique de plaine atteint un pourcentage nettement moins élevé.

## LES GRANDES ZONES DE GLACIS

Le terme très général de glacis est une notion topographique désignant des paysages à surface relativement plane et de faible pente. Il englobe une grande variété de matériaux, d'évolutions et de dynamiques des modelés.

En schématisant, on peut subdiviser ces zones en deux formations typiques : d'une part, celle liée aux cuirasses ferrugineuses (formations allochtones des géomorphologues) et d'autre part, celle liée aux affleurements rocheux (altérites autochtones). La végétation y est très inégalement répartie allant de la brousse dense (" mouchetée " selon son aspect sur les photographies aériennes -- le " bush " des anglo-saxons), à de grandes plaques de sol nu sur lesquelles se développent des bandes d'accumulation sableuse éolienne. Quelques baobabs (*Adansonia digitata*) disséminés donnent du relief à ces paysages monotones.

Cette séparation en deux familles ne recouvre pas la même réalité chez les géomorphologues et chez les pédologues.

La cartographie des états de surface (carte 1 h.-t.) ne sépare pas ces deux formations et la classification multispectrale distingue, pour ces glacis, les thèmes 5 (épandage gravillonnaire), 6 (arènes granitiques, sables grossiers) et 7 (pellicule indurée). Ils couvrent 59 % de la superficie totale du bassin versant de la mare d'Oursi.

### FORMATION LIÉE AU CUIRASSES FERRUGINEUSES

Les sols sont identifiés comme sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur, en association à des sols gravillonnaires, ou comme sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches, concrétions et à l'horizon éluvial bien développé sur arène granitique à texture grossière.

Ces glacis sont peu perméables et l'hydrodynamique y est réglée par les organisations superficielles (COLLINET *et al.* 1980). Drainés par un réseau hydrographique en arête, les ruissellements sous forte averse se produisent le plus souvent en nappe. Sous pluies simulées, on note l'apparition du ruissellement pour des hauteurs de précipitations faibles (5 mm au plus), quelle que soit l'intensité de l'averse.

### FORMATION LIÉE AUX AFFLEUREMENTS ROCHEUX

Les sols sont bruns subarides vertiques sur matériaux argileux issus de granites ou de roches basiques et de granites en association à des sols bruns subarides modaux hydromorphes et localement à des sols gravillonnaires. On y trouve également des sols sur arènes, répartis en auréoles autour des affleurements rocheux, plus ou moins recouverts de pellicules de battance selon l'importance de la végétation.

Le comportement hydrodynamique est assez semblable à celui des formations précédentes. On peut cependant noter la présence de micronappes perchées (moins de 2 mètres de profondeur), piégées dans des dépressions de la roche mère remontant assez près de la surface.

### DIVERSITÉ ET EMBOÎTEMENT DES UNITÉS DE PAYSAGES

Une illustration parlante de la diversité des faciès géo-pédo-morphologiques et écologiques et de l'emboîtement des compartiments de paysages est donnée par la coupe schématique d'un transect sud-nord du bassin versant de la mare d'Oursi (figure 2) que l'on pourrait situer comme allant du sommet du massif de Kolef à la dune vive du village d'Oursi en passant par les pointements granitiques de Jalafanka.

Sous la coupe topographique, figurent les unités de sols et les formations végétales (d'après TOUTAIN, 1976) qui y sont associées ; ces formations sont décrites en détail au chapitre sur la végétation.

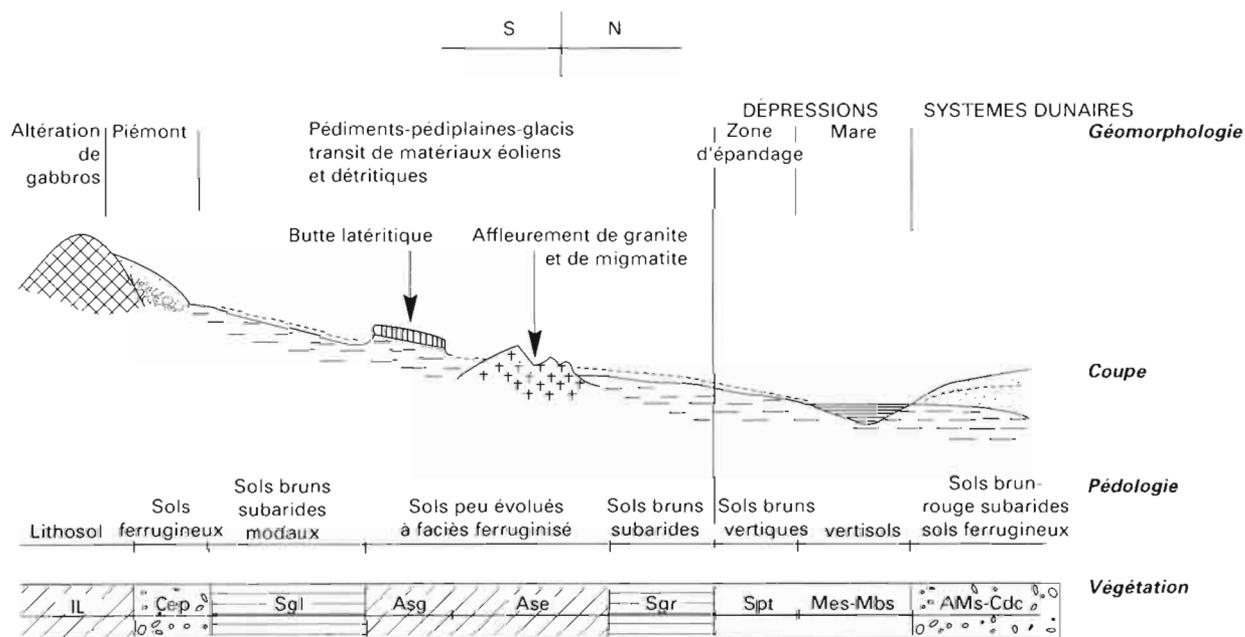


Figure 2 - Surface fonctionnelle actuelle du bassin de la mare d'Oursi et répartition des unités de sol et de végétation, le long d'un transect sud-nord (in GROUZIS, 1988).

Sur ce transect de 5 km environ, on traverse successivement les unités décrites plus haut :

- relief de gabbros altérés sur une grande profondeur,
- placage sableux éolien, propice à la mise en culture mais fragile, sur un piémont d'altérations où se sont développés les sols ferrugineux,
- grand glacis de transit où s'ancrent quelques buttes témoins surmontées de leur cuirasse latéritique et des affleurements granitiques,
- glacis de transition où l'on passe insensiblement des sols bruns subarides aux sols bruns vertiques et où le ruissellement se concentre puis s'étale en un réseau de chenaux et de mouilles jusqu'à la mare dont la bordure sud se différencie nettement du glacis par sa végétation arborée et ses vertisols inondables alors que sa bordure nord est constituée par le long cordon dunaire support de bons pâturages et de céréaliculture.

Ces principales unités de paysages, elle-mêmes hétérogènes et subdivisibles en nombreuses combinaisons d'associations, seront le cadre de référence des études sur le fonctionnement et les potentialités de production des phytocénoses de la région.

## LE CLIMAT

### LE RÉGIME CLIMATIQUE

Le régime climatique de l'Oudalan est typiquement sahélien, conditionné par les oscillations annuelles du front intertropical (FIT) qui représente la zone de contact entre l'air sec continental au nord-est et l'air humide de la mousson au sud-ouest.

Le passage du FIT à la latitude d'Oursi s'effectue généralement vers la mi-mai et son retour vers le sud a lieu à la mi-septembre, ce qui détermine une saison des pluies de trois à quatre mois sujette à de fortes irrégularités. Dans la longue saison sèche de neuf mois, on peut distinguer trois périodes :

- une période humide et chaude de mi-septembre à mi-novembre caractérisée par une remontée des températures après les pluies et une humidité relative importante ;
- une période sèche et fraîche de novembre à février avec des minima inférieurs à 10 °C et une faible humidité ;
- une saison sèche et chaude de mars à juin avec des maxima supérieurs à 43 °C et une nette remontée de l'humidité accompagnant le passage du FIT.

Ce régime climatique simple est caractérisé par une assez forte irrégularité liée aux fluctuations des circulations atmosphériques d'altitude (jet d'Est africain, JE ; jet d'Est tropical, JTE et flux de mousson). Les observations faites à la station climatologique de Jalafanka ont permis une analyse détaillée des facteurs du climat (CHEVALLIER *et al.*, 1985).

### LES DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

La station climatologique de Jalafanka est située à 310 m d'altitude, par 14° 37' N et 0° 29' W, sur un glacis très dégagé à proximité du campement central et de la piste pour avions légers construits pour l'étude de la mare d'Oursi.

Cette station climatologique est la plus septentrionale de tout le Burkina et ses données sont en fait représentatives également d'une bonne partie du Gourma malien.

Dans ce qui suit, nous présentons une synthèse des principaux facteurs susceptibles de décrire et de

caractériser l'environnement climatique de la mare d'Oursi. Il va de soi que la situation même de la station climatologique de Jalafanka (plateau bien dégagé modérément arboré) fait que, si elle est à notre avis représentative des conditions climatiques régionales moyennes, elle s'écarte en revanche sensiblement à la fois des conditions climatiques au voisinage de la mare (couvert arboré plus dense, vent réduit, humidité plus forte et amplitudes thermiques réduites) et de celles observées sur les reliefs et particulièrement sur les cuirasses (absence de couvert végétal, vent violent, air plus sec et amplitudes thermiques exacerbées).

## LES TEMPÉRATURES

Le tableau des valeurs moyennes mensuelles des températures maximales et minimales journalières, des températures à 6 h, 12 h et 18 h TU et des températures moyennes mensuelles différencie la saison fraîche à forte amplitude diurne (novembre à février) de la saison chaude (mars à juin) ; la saison des pluies est plus fraîche mais avec moins d'amplitude diurne alors que l'intersaison centrée sur octobre marque une nette remontée de toutes les valeurs.

TABLEAU IV  
Températures moyennes mesurées à la station climatologique de Jalafanka durant la période 1976-1983

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
T max.	31,3	33,9	37,1	40,4	40,8	38,3	34,9	33,9	36,4	38,6	35,1	31,6	35,9
T min.	15,1	17,5	21,4	25,6	27,6	25,8	23,8	23,3	24,1	23,9	19,2	15,3	21,8
T 6 h	16,5	19,1	23,3	27,0	29,3	27,7	25,7	24,7	25,2	25,4	20,4	16,7	23,5
T 12 h	28,5	30,8	34,3	38,1	38,0	35,1	32,2	31,2	33,5	36,1	33,2	29,4	33,5
T 18 h	27,4	31,0	34,3	37,6	37,9	35,8	32,6	30,9	32,7	34,1	30,9	27,3	32,8
T moy.	23,6	26,3	30,0	33,8	34,4	32,6	30,1	28,6	30,3	31,0	27,6	20,8	29,4

On retiendra que les valeurs extrêmes observées à Jalafanka ont été de 45,7 °C le 8 mai 1983 et 7,6 °C le 26 décembre 1977 et que les maxima se produisent vers 15 h et les minima après le lever du jour (7 h).

## L'humidité

Nous avons relevé les valeurs moyennes mensuelles de la tension de vapeur d'eau sous abri et de l'humidité relative mesurées à Jalafanka de 1976 à 1983.

Il faut remarquer l'extrême sécheresse de l'air des mois de novembre à mars et même avril (environ

TABLEAU V  
Tension de la vapeur d'eau et humidité relative mesurées à Jalafanka de 1976 à 1983

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
Tension vapeur d'eau en mb	7,3	7,7	7,5	9,9	18,5	20,8	23,1	24,4	23,0	15,5	8,0	7,3	14,5
Humidité relative en %	24,3	22,4	17,5	19,5	35,4	44,5	53,5	62,4	53,6	31,8	21,3	23,0	34,1

11 hPa) avec des valeurs extrêmes inférieures à 3 hPa, à peine significatives quand elles sont obtenues avec un psychromètre à ventilation naturelle.

On observe une remontée des tensions de vapeur d'eau en fin de saison sèche (avril, mai, juin) qui culminent pendant la saison des pluies où les humidités relatives le matin varient de 80 % à 95 % avec apparition de rosées, mais descendent à 50 % en milieu de journée. En saison sèche, l'humidité relative peut descendre en dessous de 5 % dans la journée et dépasse rarement 30 % le matin.

## LE VENT

Le régime des vents au sol est très lié au régime de la mousson et deux directions d'origine du vent sont prépondérantes avec une remarquable stabilité d'une année à l'autre :

- la première au nord-est et à l'est correspond à l'harmattan de saison sèche de novembre à avril,
- la seconde au sud-ouest et à l'ouest est celle du flux d'air humide de la mousson et prévaut de mai à octobre.

Les mois les plus venteux sont presque toujours juin et juillet alors qu'octobre et novembre marquent la fin de la saison des pluies et l'inversion du régime prévalant avec des vents plus faibles.

TABLEAU VI  
Vitesse moyenne mensuelle et annuelle du vent. Directions prédominantes

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
Vitesses moyennes (m.s <sup>-1</sup> ) période 1976-1983	2,7	2,8	2,4	2,8	3,6	4,1	4,1	3,1	2,5	2,2	2,2	2,4	2,93
Direction prédominante en % des observations (en 1981)	NE-E 73	E-NE 74	NE-E 56	E-NE8 58	SW-W 47	SW-W 67	SW-W 66	SW-W 63	SW-W 59	E-NE 55	NE-E 83	NE-E 83	- -

Les valeurs moyennes du tableau VI masquent des irrégularités dans l'intensité du vent (plus forte moyenne journalière 7,9 m.s<sup>-1</sup> en juin 1980) et les phénomènes paroxysmiques accompagnant les tornades - sèches ou accompagnées de pluies - du début de l'hivernage, où des pointes de vitesse supérieures à 35 m.s<sup>-1</sup> pendant 15 minutes ont été enregistrées.

## DURÉE D'INSOLATION ET RAYONNEMENT GLOBAL

Ces données sont obtenues par héliographe à boule et par le calcul (CHEVALLIER *et al.*, 1985) et présentées dans le tableau VII :

- S<sub>0</sub> et S sont les durées d'insolation maximale et observée en heures et en dixièmes,
- G<sub>0</sub> et G, le rayonnement solaire global maximal à l'entrée de l'atmosphère et celui calculé par la formule  $G = G_0 (0,25 + 0,56 S/S_0)$ .

## ÉVAPORATION ET ÉVAPOTRANSPIRATION

Nous avons rassemblé dans le tableau VIII les valeurs moyennes, exprimées en millimètres par jour, des évaporations mesurées à l'évaporomètre de Piche, sur bac classe A et sur bac Colorado enterré de type ORSTOM, ainsi qu'une estimation de l'évaporation sur la mare d'Oursi (POUYAUD, 1985), toujours pour la même période de 1976 à 1983.

TABLEAU VII

Durée d'insolation et rayonnement global

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
S <sub>0</sub> heures et 1/10	10,8	11,1	11,5	11,9	12,2	12,4	12,3	12,1	11,8	11,4	11,0	10,8	10,9
S heures et 1/10	9,4	9,6	8,6	8,4	8,7	8,1	8,0	8,5	8,6	9,4	9,6	9,3	8,9
G <sub>0</sub> J.cm <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup>	2 961	3 263	3 582	3 768	3 835	3 852	3 820	3 787	3 697	3 466	3 137	2 891	3 505
G J.cm <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup>	2 179	2 353	2 409	2 443	2 502	2 390	2 381	2 448	2 413	2 463	2 331	2 104	2 375

TABLEAU VIII

Évaporations mesurées et calculées

Évaporation mm.j <sup>-1</sup>	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total annuel mm
Piche	15,9	17,8	18,6	19,2	13,4	10,1	7,4	5,6	7,5	12,2	15,7	15,7	4 891
Bac classe A	15,1	18,0	20,2	20,6	19,2	15,4	12,2	10,3	10,5	13,9	14,6	13,9	5 694
Bac Colorado	11,7	13,5	15,5	16,4	16,3	14,4	11,7	10,4	10,9	13,0	12,2	11,1	4 818
Mare d'Oursi	7,0	7,5	8,6	9,1	9,4	9,5	8,7	7,7	7,3	7,9	7,8	7,0	2 920

TABLEAU IX

Moyennes mensuelles interannuelles de l'ETP

ETP Penman en mm.j <sup>-1</sup>	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	AN
pour un albedo = 0,05	7,1	8,2	8,7	9,7	10,3	9,7	8,7	7,9	8,0	8,6	7,7	6,6	8,54
pour un albedo = 0,15	6,4	7,4	7,9	8,9	9,4	8,9	7,9	7,2	7,3	7,7	7,0	6,0	7,77

Les différences notables entre ces diverses approximations de l'évaporation sont dues en partie aux appareils et méthodes de mesures et en partie à la situation de la station de Jalafanka (glacis très dégagé et venté hors de l'influence de la mare) et aux particularités de la mare d'Oursi couverte de végétation presque en toute saison (valeur retenues de l'albedo = 0,15).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée par la formule de Penman la mieux adaptée aux régions sahéliennes (POUYAUD, 1985 ; CHEVALLIER *et al.*, 1985).

La moyenne interannuelle de l'ETP, pour un albedo égal à 0,15 correspondant à une végétation clairsemée, s'élève à 2 836 mm et situe le caractère d'aridité de la région avec un maximum très marqué en avril-mai et un maximum secondaire en octobre.

## LA PLUVIOMÉTRIE

C'est le paramètre le plus important et le mieux suivi pour caractériser le régime climatique.

Trois postes pluviométriques servent de référence pour caractériser le régime pluviométrique de la région de l'Oudalan, mais l'hétérogénéité spatiale des pluies ainsi que l'hétérogénéité des périodes d'observations et de la qualité des mesures ne permettent pas de chiffrer des valeurs et tendances régionales du régime pluviométrique ni de situer correctement les valeurs observées à Jalafanka de 1976 à

1983 dans une série chronologique homogène (un essai d'homogénéisation par la méthode du vecteur régional de HIEZ [1977] n'a donné aucun résultat). Ces trois postes sont :

- Gorom-Gorom, situé à 40 km au sud-est d'Oursi, observé à partir de 1955,
- Markoy, situé à 70 km au nord-est, observé depuis 1955,
- Dori, situé à 100 km au sud - sud-est, observé depuis 1920 ce qui en fait son intérêt malgré un régime de précipitations plus abondant.

## PLUIES ANNUELLES ET MENSUELLES

Le tableau X présente les moyennes interannuelles des précipitations mensuelles et annuelles aux trois postes de référence et à Jalafanka sur leurs périodes respectives d'observations.

TABLEAU X

Moyenne interannuelle des précipitations aux trois postes de référence et à Jalafanka

Postes	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
Gorom-Gorom													
26 ans 1955-1981	0	0	1	4	18	68	124	158	67	12	1	0	462
Markoy													
26 ans 1955-1981	0	0	1	4	12	59	106	143	64	14	0	0	402
Dori													
61 ans 1920-1981	1	1	1	5	25	64	139	177	88	17	1	0	535
Jalafanka													
8 ans 1976-1983	0	0,2	2	5,2	24,3	54,6	96,6	123,7	54,4	16,6	0	0	378

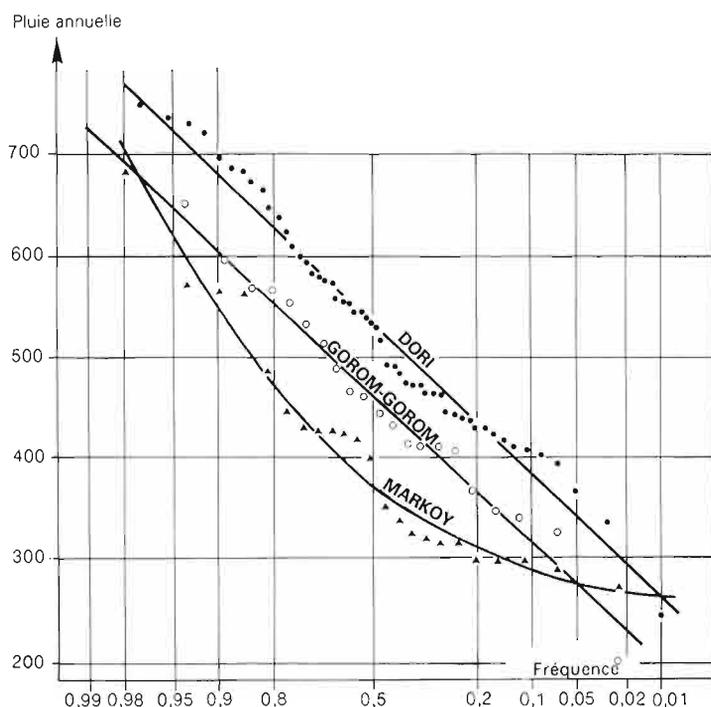


Figure 3 - Ajustement statistique des hauteurs de précipitations annuelles.

Il apparaît que la répartition mensuelle des pluies est très voisine pour les quatre postes avec une saison des pluies bien centrée sur les mois de juin à septembre avec un maximum en août.

On constate également que si les précipitations sont spatialement très hétérogènes, au point que les coefficients de corrélation des totaux pluviométriques annuels ne dépassent pas  $r^2 = 0,42$ , il existe une grande unité climatique régionale avec pour les trois postes de référence des écarts-types des échantillons de totaux annuels très voisins (respectivement 116 à Gorom-Gorom, 112 à Markoy et 118 à Dori) et une tendance homogène à une pluviométrie déficitaire depuis 1970 (coefficients de pluviosité inférieurs à 1 sauf en 1974 et 1978). Sans que l'on puisse reconstituer les observations antérieures à Jalafanka, on admettra que les ajustements statistiques effectués à Markoy avec une loi de PEARSON III donnent une bonne représentation du régime des pluies à Oursi (figure 3). Les valeurs de pluviométries mensuelle et annuelle correspondant à des fréquences remarquables sont indiquées au tableau XI.

TABLEAU XI

Pluviométries mensuelle et annuelle aux trois postes de référence

Périodes de retour (années)	Années sèches				médianes	humides			
	50	20	10	5		2	5	10	20
<b>Gorom-Gorom</b>									
P. annuelles	230	276	317	367	462	557	606	647	693
mai	0	0	2	6	15	28	36	44	54
juin	5	13	22	33	61	98	122	146	176
juillet	46	57	69	85	122	161	182	199	218
août	61	75	88	106	148	205	243	279	325
septembre	10	18	26	36	61	95	117	139	166
<b>Markoy</b>									
P. annuelles	266	276	288	309	375	478	551	620	708
mai	0	0	1	2	8	20	31	42	57
juin	2	10	17	26	53	86	108	129	157
juillet	22	33	45	62	101	145	169	190	213
août	83	90	98	108	134	172	199	225	263
septembre	24	27	32	39	58	86	105	123	145
<b>Dori</b>									
P. annuelles	295	343	385	436	535	633	684	726	774
mai	0	1	2	5	17	41	59	77	102
juin	11	15	20	28	53	93	120	146	180
juillet	49	63	76	94	134	180	207	231	258
août	57	81	103	128	177	226	252	273	297
septembre	19	29	38	51	82	123	150	176	210

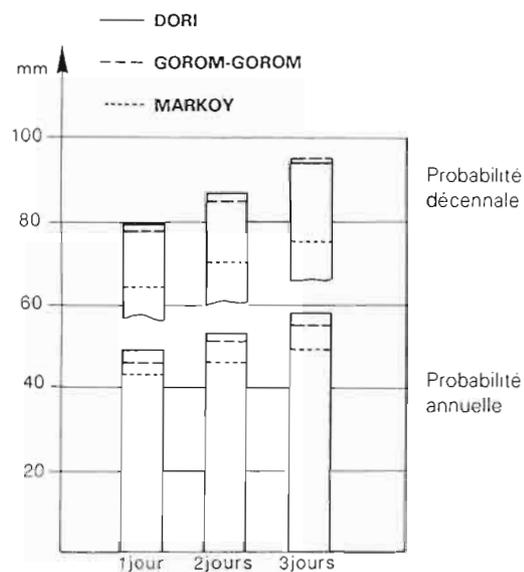
### PLUIES JOURNALIÈRES

Il y a relativement peu de différence entre les hauteurs de pluie estimées pour un jour, deux jours et trois jours ; en effet, les épisodes pluvieux provoquant des pluies abondantes pendant plusieurs jours consécutifs sont rares au Sahel et l'hypothèse de l'averse tropicale unique identifiable à la pluie journalière sur 24 heures est la plupart du temps vérifiée (figure 4).

En simplifiant, trois grands types d'épisodes pluvieux peuvent être identifiés dans cette région climatique. On note que dans la plupart des cas, les fronts de précipitations arrivent du nord-est ou de l'est, beaucoup plus rarement de l'ouest, jamais du nord ou du sud.

1 - Les averses les plus violentes sont en général de courte durée et se produisent le plus souvent en début ou en fin de saison des pluies (mai, juin et septembre).

Figure 4 - Pluviométrie de un à trois jours consécutifs. Loi exponentielle généralisée.



Elles accompagnent le passage du front intertropical (FIT) qui oscille entre son avance vers le nord en début de mousson, puis son retour vers le sud à la fin de la saison des pluies. Les averses sont souvent précédées de vents de sable particulièrement spectaculaires (avril-mai-juin). Mais inversement, les vents de sable ne sont pas toujours suivis de précipitations notables. Ces tornades sont isolées et leur extension géographique est limitée.

- 2 - En milieu de saison des pluies (fin juillet-août), le FIT est installé et les lignes de grains s'étalant sur plusieurs centaines de kilomètres produisent des épisodes assez longs (plusieurs heures) d'intensité moyenne où se succèdent plusieurs corps d'averses. Ces " trains " d'averses peuvent s'observer sur un ou deux jours consécutifs.
- 3 - Enfin de petites pluies, fines et persistantes, particulièrement appréciées des agriculteurs, sont observées surtout en milieu de saison des pluies et exceptionnellement en dehors de la période d'hivernage. Ces averses ne sont jamais très importantes en volume.

### FORMES D'AVERSES

Sur la figure 5 les hyétogrammes de différentes formes d'averses enregistrées au poste de Jalafanka illustrent les trois grands types de précipitations évoqués ci-dessus.

- 1 - La tornade du 22 septembre 1977 est particulièrement violente et représente bien les pluies de début et de fin de mousson.
- 2 - La succession d'averses des 29 et 30 juillet 1978 est typique des périodes pluvieuses de milieu de saison des pluies.
- 3 - La pluie régulière et continue des 2 et 3 juillet 1980 est représentative des précipitations homogènes de faible intensité très profitables aux cultures et aux pâturages (" pluie agronomique ").

Le tableau XII donne les caractéristiques des hauteurs de pluie journalière : on constate aux quatre stations une évolution très parallèle de tous les paramètres mais, de Dori à Markoy, l'aridité croissante du régime pluviométrique se manifeste par la diminution du nombre de jours de pluie, de l'importance des fortes pluies ( $h > 10$  mm) et des valeurs maximales journalières estimées en fonction de leur période de retour.

Les valeurs notées pour Jalafanka se distinguent cependant par le fait que les observations mieux suivies prennent en compte toutes les pluies supérieures à 0,1 mm, ce qui n'est pas le cas aux trois autres stations où le nombre de jours de pluie est sûrement sous-estimé et également du fait que la période d'observation à Oursi (1976-1983) est entièrement comprise dans la période de sécheresse prolongée commencée en 1970. Ce qui nous amène à deux remarques importantes sur la représentativité des mesures et l'appréciation de la sécheresse.

TABLEAU XII

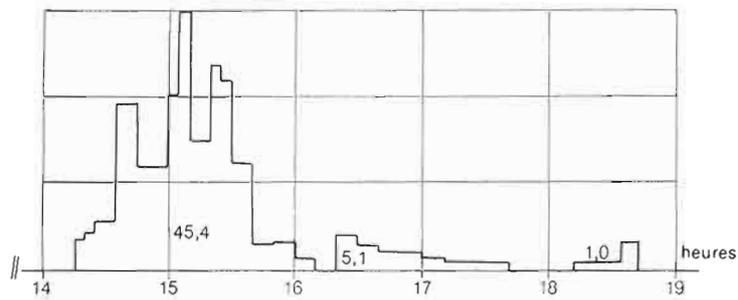
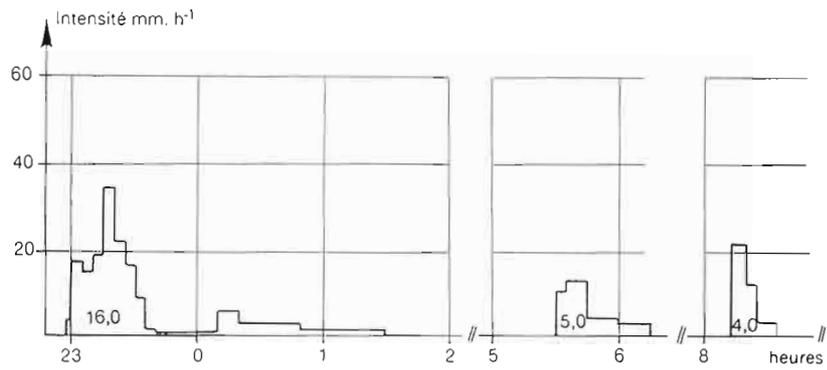
Hauteurs de pluie journalière aux trois postes de référence et à la station de Jalafanka

	Nombre de jours de pluie par an			Hauteur journalière de pluie				
	NJ <sub>p</sub>	NJ <sub>p10</sub>	NJ <sub>p40</sub>	5 x 1	1/1	1/2	1/5	1/10
Gorom-Gorom	34	16	1,5	25,2	45,7	54,2	65,1	73,2
Markoy	33	11	1,3	24,9	42,9	49,7	58,0	64,0
Dori	47	18	2,0	27,9	49,2	58,3	70,3	79,3
Jalafanka	38	12	1,8	(20)	37,5	44,4	52,1	57,2

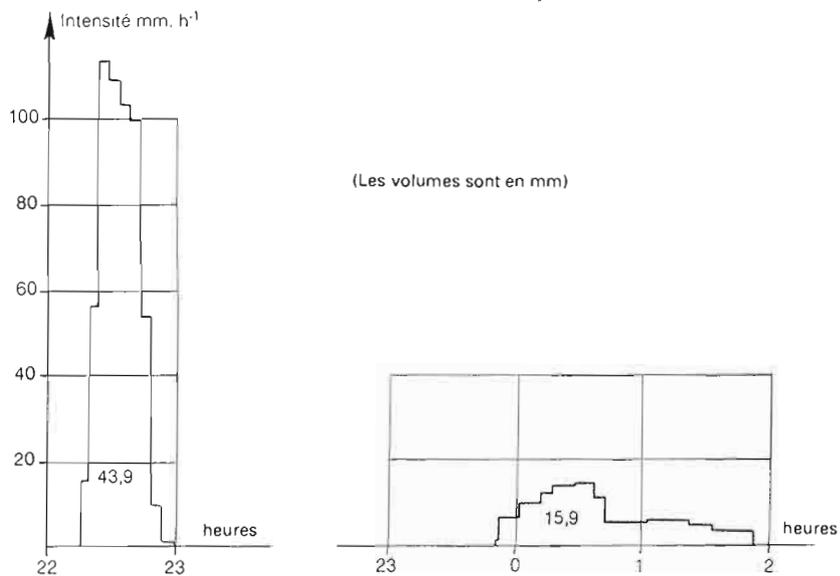
NJ<sub>p</sub> : nombre moyen de jours de pluie > 0,1 mm. NJ<sub>p10</sub> : nombre moyen de jours de pluie > 10 mm.

NJ<sub>p40</sub> : nombre moyen de jours de pluie > 40 mm.

Hauteur de pluie journalière : 5 x 1 = dépassée 5 fois par an, 1/1 = dépassée 1 fois par an, 1/5 = dépassée 1 fois en 5 ans.



Succession d'averses des 29 et 30 juillet 1978



Averse du 22 septembre 1977

Averse des 2 et 3 juillet 1980

Figure 5 - Les différentes formes d'averses à Jalafanka

## REPRÉSENTATIVITÉ DES DONNÉES ; PLUIE AU SOL

La comparaison entre la pluie mesurée à un mètre conformément aux normes de l'Organisation météorologique mondiale et la pluie mesurée dans le seau d'un pluviomètre Snowdon muni d'une grille anti-rejaillissements et dont la bague réceptrice se trouve au niveau du sol, fait apparaître une différence très importante. On établit une bonne corrélation entre ces deux valeurs à la station de Jalafanka sur la période d'observation (1977-1981, 139 averses supérieures à 1 mm) :

$$P62 = 1,43.P61 - 1,80$$

avec  $r^2 = 0,98$

avec P62, pluie mesurée au pluviomètre Snowdon  
et P61, pluie mesurée au pluviomètre " à lecture directe ".

Cela donne un écart de 39 % pour une hauteur de pluie journalière de fréquence annuelle (45,7 mm).

La question de la représentativité des mesures pluviométriques classiques est donc posée : le volume de la précipitation qui intervient dans le bilan hydrique du bassin versant est en effet celui qui parvient au sol. L'interception par la végétation semble tout à fait annexe dans le cas particulier d'Oursi.

La mesure de la pluie à 1 m est sans doute faussée par l'influence du vent qui établit autour du seau, considéré comme un obstacle aérodynamique, une zone tourbillonnaire modifiant le trajet des gouttes de pluie. Outre la hauteur de précipitation, l'intensité de l'averse est une grandeur mesurable concernée par ce phénomène. La vitesse horizontale du vent devrait être le paramètre explicatif, mais pour l'instant les tentatives de corrélation quantitatives ne sont guère convaincantes, car non significatives.

## COMMENT SITUER LA PÉRIODE DE SÉCHERESSE ACTUELLE ?

Nous avons signalé que les indices de pluviosité des trois stations de référence sont tous inférieurs à 1 depuis 1970 et donc que la sécheresse climatique perdure depuis 18 ans au moins ; mais quelle est la signification de cette persistance et la valeur d'un indice basé sur une valeur moyenne établie sur une période variable pour chaque station ?

À la recherche d'éléments de réponse à cette question, HUBERT et CARBONNEL (1986) constatent tout d'abord que les hypothèses habituelles de stationnarité et d'indépendance des séries pluviométriques sont incompatibles avec les phénomènes de persistance mis en évidence dès 1975 par BRUNET-MORET et ROCHE. L'hypothèse de non stationnarité des séries pluviométriques est mise en évidence par les tests de LEE et HEGHINIAN (1977) et de PETTITT (1979) applicables aux totaux pluviométriques annuels mais aussi à d'autres paramètres descriptifs du régime pluviométrique tels que les fractions pluviométriques résultant des pluies journalières classées, le nombre de jours de pluie et la répartition temporelle des épisodes pluvieux pendant la saison des pluies. Ces tests, appliqués à un nombre important de stations sahéliennes de longue durée, mettent en évidence une rupture dans ces séries, nette et généralisée dans toute l'Afrique de l'Ouest située avec un maximum de probabilité en 1969-1970.

Reprenant cette méthodologie pour sept stations du Burkina Faso, GROUZIS, ALBERGEL et CARBONNEL (1989) font en fait apparaître :

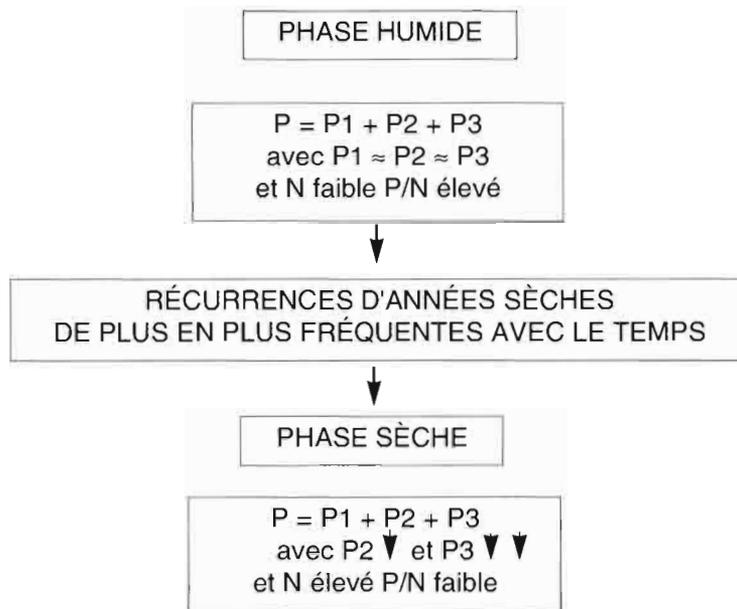
- de 1930 à 1949, une période à pluviométrie proche de la moyenne,
- de 1950 à 1968, des années successives largement excédentaires,
- depuis 1969, un net déficit pluviométrique.

Cette même évolution est évidente sur les fractions pluviométriques définies comme :

- P1 = somme des  $P_j < 20$  mm,
  - P2 = somme des  $P_j$  comprises entre 20 et 40 mm,
  - P3 = somme des  $P_j$  supérieures à 40 mm,
- avec donc P par an = P1 + P2 + P3.

On observe une bonne stabilité de la fraction P1 et une décroissance continue de P2 et surtout de P3 qui explique à elle seule 55 % de la variation de P par an.

Le passage d'une phase humide à une phase sèche se fait selon le schéma suivant :



avec P : pluviométrie annuelle ; P1, P2, P3 : fractions pluviométriques ; N : nombre de jours de pluies.

Ces évolutions mises en évidence pour Dori sont certainement applicables à Gorom-Gorom et à Markoy où les séries d'observations trop courtes ne permettent pas cette analyse ; étant donné l'homogénéité du régime climatique sur la région, il ne fait pas de doute que la zone de la mare d'Oursi est incluse également dans ces processus. La période d'observation à Jalafanka de 1976 à 1983 se situe au sein d'une phase climatique de sécheresse persistante, formellement mise en évidence mais pas encore modélisable statistiquement. De nombreux auteurs pensent que *c'est à grande échelle qu'il faut rechercher les mécanismes responsables de ces changements climatiques* au niveau d'anomalies dans les systèmes de circulation océanique et des flux de haute atmosphère qui expliqueraient par ailleurs d'autres phénomènes " aberrants " observés depuis plus d'une décennie sur le globe.

À l'heure actuelle nous n'avons pas les moyens de modéliser les processus aléatoires qui semblent régir les équilibres des flux atmosphériques et océaniques et donc de prédire ces changements climatiques... mais il est permis de conclure que *l'évolution climatique au Sabel depuis le début du siècle n'a pas été continue et encore moins cyclique mais a évolué vers une aridification à travers une série de paliers successifs interprétables comme une succession d'états d'équilibre du bilan énergétique régional* (HUBERT et CARBONNEL, 1989).

## LES EAUX DE SURFACE

Le bassin versant de la mare d'Oursi couvre une superficie de 263 km<sup>2</sup>. Un cordon dunaire orienté d'est en ouest constitue la limite nord du bassin et offre un barrage naturel aux écoulements, créant ainsi la mare d'Oursi.

Le dispositif expérimental mis en place pour l'étude hydrologique de la mare d'Oursi (CHEVALLIER *et al.*, 1985) comprend sept bassins versants représentatifs dont six appartiennent au bassin versant de

la mare, le septième lui étant contigu. Les critères qui ont présidé au choix sont dans l'ordre : la représentativité, la classe de superficie, les conditions matérielles d'installation d'une station hydrométrique et l'accessibilité. La carte 1 présente les limites et la situation géographique de ces bassins ; leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII  
Caractéristiques des bassins versants étudiés

	Superficie (km <sup>2</sup> )	Altitude maximale (m)	Altitude exutoire (m)
Oursi	263	501	295
Outardes	16,5	448	303
Polaka	9,14	402	339
Tchalol	9,28	402	332
Taïma	105	414	305
Jalafanka	0,809	322	310
Kolel	1,05	451	334
Gountouré	24,6	345	304

Les deux petits bassins versants de Jalafanka et Kolel ont été choisis en raison de leur représentativité, pour le premier, d'un glacis dont la formation est liée aux cuirasses, pour le second, d'un massif de gabbros particulièrement accidenté et couvert de roches décomposées en boules (PION, 1979).

Le bassin versant de Gountouré, qui ne fait pas partie du bassin de la mare d'Oursi, mais qui lui est contigu, peut être considéré comme caractéristique des glacis de formation liée aux très nombreux affleurements de rocher sain avec une grande partie de la surface constituée d'arènes couvertes localement par des pellicules de battance.

Le bassin de Tchalol est lui aussi de composition simple, partagé entre le paysage de buttes passablement dégradées et le glacis ferrugineux à surface fortement gravillonnaire qui en est la continuité logique.

Les bassins d'Outardes et de Polaka sont plus complexes, présentant l'un et l'autre des formations de glacis à l'aval (pour Outardes, c'est une formation allochtone et pour Polaka une formation autochtone), mais avec un amont de buttes et reliefs et un piémont sableux. En terme d'hydrodynamique, on observe sur ces deux bassins une organisation dans le sens d'une imperméabilisation croissante des sols de l'amont vers l'aval où les formations de bas-fond prennent une importance non négligeable.

Le bassin versant de Taïma reproduit assez fidèlement les caractéristiques du bassin complet de la mare d'Oursi et permet surtout le contrôle du principal tributaire de cette mare.

La répartition sur chacun des bassins des quatre grandes familles de paysage est donnée dans le tableau XIV.

TABLEAU XIV  
Répartition des surfaces respectives (en %)

	Système dunaire	Talwegs et dépressions	Buttes et reliefs	Grands glacis
Oursi	12	21	8	59
Outardes	0	25	19	56
Polaka	18	6	16	60
Tchalol	1	8	44	47
Taïma	8	16	10	66
Jalafanka	0	0	0	100
Kolel	0	0	100	0
Gountouré	8	5	0	87

## LES ÉCOULEMENTS : LAMES ÉCOULÉES ET COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT

L'exutoire de chacun des bassins versants, ainsi que le plan d'eau de la mare d'Oursi, est équipé d'un dispositif de mesure permettant de suivre en continu la variation des hauteurs d'eau et de réaliser des mesures de débit permettant l'étalonnage des stations. Tous les écoulements ont été enregistrés de façon correcte, mis à part quelques fins de crues rendues imprécises soit à cause de l'envasement, soit à cause de variations du fond de lit de la rivière.

Comme partout en zone sahélienne, l'essentiel de l'écoulement sur les bassins versants de la mare d'Oursi provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiate après-crue. On ne peut donc pas parler d'écoulement de base, à l'exception peut-être, lors de rares périodes particulièrement humides, de bassins versants déjà relativement importants tel celui de Taïma. Les notions classiques de modules mensuels et annuels sont dans ce contexte sans grande signification physique.

Les écoulements se produisent tous entre les mois d'avril et d'octobre et il n'a jamais été observé d'écoulement notable en dehors de cette période (excepté en mars 1979 où le personnel d'observation et les enregistreurs n'étaient malheureusement pas opérationnels).

TABLEAU XV

Lames ruisselées (en mm) et coefficients de ruissellement (en %) annuels des bassins versants de la mare d'Oursi

Années	1976	1977	1978	1979	1980	1981	valeurs interannuelles
Outardes	65,0 18,2 %	106,9 22,2 %	63,0 17,8 %	38,0 14,6 %	81,1 25,5 %		20,0 %
Polaka	44,0 14,9 %	66,9 17,4 %	42,6 10,1 %	33,6 9,4 %	71,5 21,1 %		14,4 %
Tchalol	106,6 36,9 %	106,3 26,8 %	55,5 15,1 %	80,6 22,8 %	115,1 33,2 %		26,5 %
Taïma	31,2 11,5 %	58,7 14,1 %	36,3 11,1 %	44,6 15,1 %	70,1 21,7 %		14,8 %
Jalafanka		201,3 44,6 %	116,1 30,2 %	125,4 35,3 %	140,3 40,7 %	108,7 30,8 %	36,6 %
Kolel	60,7 14,3 %	53,7 12,5 %	11,1 3,4 %	21,1 7,2 %	43,7 15,4 %	79,2 20,6 %	12,6 %
Gountouré	77,6 22,0 %	112,0 28,2 %	61,0 21,3 %	31,0 12,8 %	115,8 37,0 %		25,0 %

Le tableau XV rassemble les lames annuelles écoulées et les coefficients d'écoulement correspondants (rapport de la lame annuelle au cumul annuel de la pluviométrie moyenne sur le bassin versant) pour chacun des bassins versants.

La comparaison des valeurs moyennes interannuelles de la lame écoulée ou des coefficients d'écoulement permet un classement de l'aptitude à l'écoulement des différents bassins qui se révèle n'être pas seulement fonction de leur superficie.

La comparaison de ces données avec celles proposées par RODIER (1975) dans son évaluation de l'écoulement annuel au Sahel conduit à des conclusions nettes et intéressantes. Pour cette comparaison, il convient de partir pour les bassins de la mare d'Oursi d'une hauteur de précipitation annuelle médiane de 400 mm (chiffre légèrement supérieur à celui observé sur la période d'observation) et il est nécessaire de procéder à des corrections de surface pour ramener les observations aux surfaces de référence proposées par RODIER.

Ces corrections faites, on constate :

- Les sols argileux de Jalafanka présentent une lame écoulée annuelle médiane de 148 mm (pour une précipitation de 400 mm), alors que les sols argileux de Dianiniadié (Sébikotane, Sénégal) et de Gagara Ouest (Burkina Faso) produisent respectivement des lames écoulées annuelles de 56 et de 72 mm, soit moitié moins. Même si les pentes sont un peu différentes, Jalafanka est donc un remarquable exemple de sols argileux ruisselant très bien. Son écoulement est à classer immédiatement après celui des alluvions argileuses de Galmi (Niger) qui, avec 160 mm, est le record connu.
- Les gabbros décomposés en boules et fissurés de Kolel présentent pour 400 mm un écoulement de 49 mm (coefficient d'écoulement de 12,3 %), alors que Abou Goulem (Tchad), bassin considéré comme perméable, a un coefficient de 8 % pour une surface ramenée à 1 km<sup>2</sup> avec une lame écoulée de 32 mm.
- Le ruissellement sur Gountouré est tout à fait remarquable dans la série des bassins sur granite, puisqu'il produit environ 100 mm par an sous 400 mm au lieu des 25 mm pour le Barlo (Tchad) ramené à 25 km<sup>2</sup>. Ce ruissellement justifierait de désigner ce bassin comme un des bassins types sur granite, caractérisé par un substratum granitique sain, avec une multitude de dépressions peu profondes à remplissage de matériaux perméables.
- Le bassin de Tchalol avec une lame écoulée de 106 mm sur roches diverses (dolérites, basalte, schistes et quartzites) se classe à peu près dans la même situation que celui de Gountouré par rapport aux autres bassins du Sahel, mais la pente y joue un rôle non négligeable à l'échelle annuelle. De manière absolue, on doit ranger les bassins analogues à ceux de Tchalol, Gountouré et Outardes parmi ceux qui ont les plus forts écoulements annuels du Sahel.

## LE BILAN DE LA MARE D'OURSİ

L'hydrologie de la mare d'Oursi est typique de la zone climatique sahélienne puisqu'on y retrouve toutes les difficultés attachées classiquement aux termes du bilan hydrique et à leur estimation.

- *Apports par ruissellement.* On doit distinguer les apports du système hydrographique établi (marigot sud-ouest principalement) des apports directs par ruissellement en nappe de la périphérie de la mare. Cette distinction restera en fait très subjective puisque ces deux types d'apport sont aussi inaccessibles à la mesure l'un que l'autre. Les mesures à Taïma (105 km<sup>2</sup>) donnent pourtant une assez bonne approche des apports à la mare par le marigot sud-ouest principal et celles de Jalafanka, malgré la faible surface de ce bassin versant, sont représentatives des écoulements des piémonts sud et sud-est.
- *Apports pluviométriques.* On sait que les quantités de pluies tombant sur la mare d'Oursi, ou son voisinage immédiat, participent en totalité au bilan hydrologique.
- *Pertes par évaporation.* Les mesures directes d'évaporation ne sont pas très fiables et il est préférable d'estimer les évaporations de la mare à partir du calcul de l'évapotranspiration potentielle par la formule de Penman qui, sous réserve de certaines adaptations, peut très bien être appliquée au Sahel comme l'ont montré les études du lac de Bam (POUYAUD, 1985).
- *Pertes par infiltration.* La première caractéristique des sols de la mare d'Oursi est leur manque d'homogénéité. Pourtant les piétinements de l'abondant bétail, l'apport d'argile et de matière organique paraîtraient avoir dû relativement bien imperméabiliser ce fond de mare, au moins en ce qui concerne la partie habituellement recouverte par les eaux. Mais des lentilles sableuses, plus ou moins étendues et épaisses, subsistent partout et surtout au nord de la mare au voisinage du cordon

dunaire d'Oursi. Ces lentilles sont le siège d'une infiltration notable, limitée toutefois par la saturation de ces volumes, eux-mêmes limités. Il faut cependant y voir un phénomène localisé en quelques points plutôt qu'une nappe continue s'enfonçant sous les dunes d'Oursi, hypothèse que confirme les résultats anarchiques des observations piézométriques.

Sur ces bases, le tableau XVI donne les valeurs annuelles du bilan hydrologique pour la période 1976-1983. Une modélisation du remplissage et de la vidange de la mare d'Oursi a été réalisée en utilisant des techniques nouvelles, la simulation de pluie et la télédétection satellitaire, associée à un modèle déterministe distribué pluie-débit (GIRARD, 1982).

TABLEAU XVI  
Bilan hydrologique annuel du bassin versant de la mare d'Oursi

Année	Volume d'apports (10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> )	Lame écoulée (mm)	Pluie moyenne (mm)	Coefficient d'écoulement (%)
1976	26,5	101	[400]	[25,2]
1977	26,0	98,9	481	23,2
1978	15,3	58,2	358	16,3
1979	10,8	41,1	322	13,0
1980	17,1	65,0	308	21,0
1981	19,6	74,5	337	22,1
1982	19,4	73,8	382*	19,3*
1983	7,3	27,8	204*	13,6*

[ ] : valeurs estimées

\* : les valeurs de pluie moyenne sont celles mesurées à la station climatologique de Jalafanka.

Le principe général de cette modélisation est le suivant (CHEVALLIER *et al.*, 1986) : une fonction de production d'écoulement est établie pour des entités morphologiques caractérisées par leur état de surface à partir des observations expérimentales obtenues à l'aide d'un petit simulateur de pluies sur des parcelles de 1 m<sup>2</sup> (CHEVALLIER, 1982). La cartographie de ces états de surface est réalisée automatiquement par une analyse multispectrale de la " scène " fournie par le satellite d'observation de la terre Landsat. Les caractéristiques physiographiques obtenues sont introduites avec la fonction de production correspondante dans le modèle distribué pour l'évaluation des apports au pas de temps journalier.

La figure 6 présente une comparaison entre l'observation et le résultat de la modélisation pour les années 1978 à 1980. Une

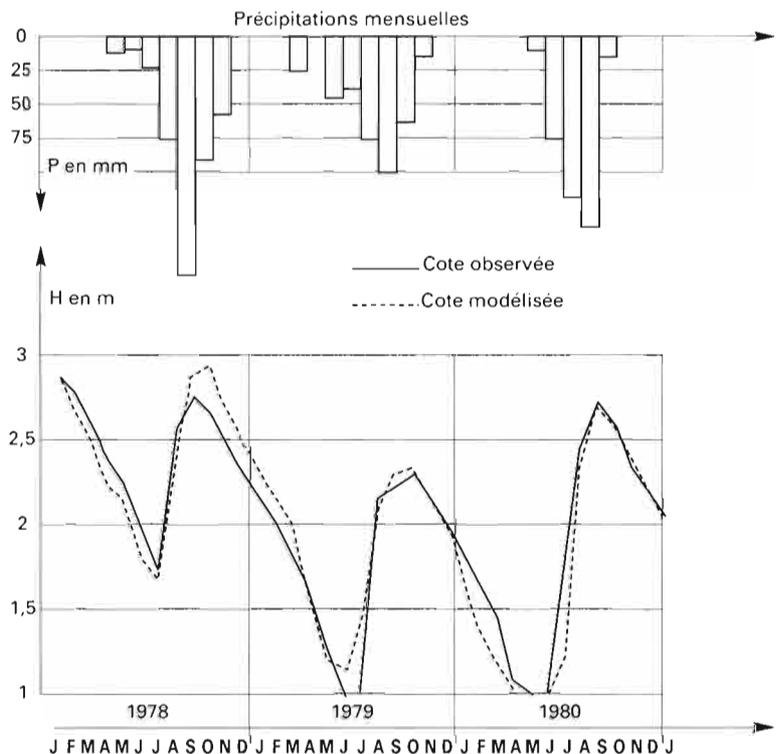


Figure 6 - Les niveaux de la mare d'Oursi (1978-1980) : comparaison de l'observation et du résultat de la modélisation.

tentative de simulation pour des situations extrêmes a donné des résultats intéressants (figure 7). Elle a consisté à appliquer le modèle à une succession de trois années pluviométriques fictives (cinquantennale humide, moyenne et centennale sèche). Dans l'hypothèse humide, on s'aperçoit que le niveau de la mare est susceptible de dépasser la cote de 300 mètres qui correspond approximativement au débordement par-dessus le cordon dunaire. Dans l'hypothèse moyenne, les oscillations du niveau de la mare tendent vers un équilibre qui se situe entre les cotes 296,5 et 298,3 mètres. Dans l'hypothèse sèche, la figure parle d'elle-même. La mare s'assèche de février à juillet (on peut noter que les variations observées en 1983-84 sont à peine meilleures que celles données dans le cas extrême de simulation).

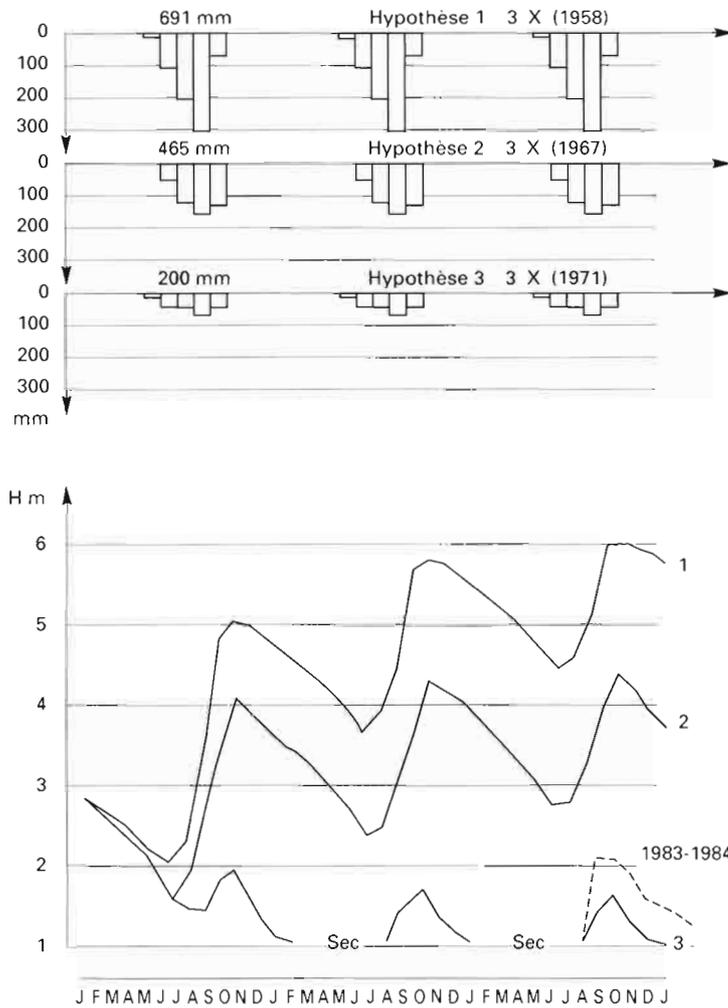


Figure 7 - Les niveaux de la mare d'Oursi simulés pour différentes hypothèses de pluviométries extrême et moyenne.

# LA VÉGÉTATION

## CARACTÈRES GÉNÉRAUX

La région de la mare d'Oursi est le domaine des steppes à épineux, c'est-à-dire une formation herbeuse ouverte, généralement non parcourue par les feux et dans laquelle les graminées présentent des caractères de xéromorphie (TROCHAIN, 1957). Ce type de végétation assure la transition entre les savanes soudaniennes à andropogonées et combrétacées, situées plus au sud et la végétation désertique.

D'après les inventaires floristiques établis par GASTON et BOTTE (1971), par TOUTAIN (1976) ainsi que par GROUZIS et NGARSARI (1981), la flore dans cette zone comprend près de 400 espèces (tableau XVII).

L'examen des spectres floristiques de la strate herbacée établis sur la base des présences des espèces au cours du cycle végétatif de l'année 1977 (figure 8) montre l'importance des graminées puisqu'elles constituent 25 à 50 % des espèces des différentes unités écologiques. Dans les unités établies sur sols lourds, la proportion des graminées est comparable (Sgl) ou supérieure (Spt, Sgr) à celle des diverses familles. Dans les unités des sols légers (Ams, Cep, Ase), elle est jusqu'à deux fois plus faible. Les légumineuses contribuent par leur présence à moins de 13 % de la communauté dans les unités Sgr, Sgl et Ase et à environ 20 % dans Ams et Cep. Elles représentent 35 % des espèces dans l'unité Spt. Le tableau XVIII rassemble l'effectif des taxons inventoriés dans les différentes unités écologiques. Il apparaît que ce sont les unités établies sur sols légers et plus particulièrement l'unité Ase qui réunit la plus grande richesse floristique. Cette richesse est due à la plus grande variation des facteurs écologiques de ce milieu : gradient de texture, gradient d'humidité, microvariation de l'état de surface du sol...

TABLEAU XVII

Formations végétales caractéristiques de la région de la mare d'Oursi (TOUTAIN, 1976)

Symboles	Désignation des parcours	Strate herbacée	Strate ligneuse	
FORMATIONS DES DUNES ET DES ENSABLEMENTS				
○	AMs	Pénéplaines dunaires du nord-ouest de l'Oudalan	<i>Aristida mutabilis</i> et <i>Schoenefeldia gracilis</i>	<i>Guiera senegalensis</i> et <i>Acacia senegal</i>
	Cd	Cordons dunaires	<i>Cenchrus biflorus</i>	<i>Combretum glutinosum</i>
○	Cdc	Faciès du centre de l'Oudalan	+ <i>Aristida longiflora</i>	
	Cds	Faciès du sud de l'Oudalan	+ <i>Andropogon gayanus</i>	+ <i>Balanites aegyptiaca</i> et <i>Acacia albida</i>
	(Cdo)	Faciès de crête au nord d'Oursi	+ <i>Schoenefeldia gracilis</i>	+ <i>Acacia raddiana</i>
	Ce	Ensablements peu épais	<i>Cenchrus biflorus</i>	<i>Acacia raddiana</i>
○	Ces	Faciès des bas de pentes dunaires	<i>Aristida mutabilis</i> et <i>Schoenefeldia gracilis</i>	
○	Cee	Faciès des ensablements éoliens et anciens cordons dunaires arasés	+ <i>Eragrostis tremula</i> et <i>Andropogon gayanus</i>	+ <i>Piliostigma reticulatum</i> et <i>Acacia adansonii</i>
○	Cep	Faciès sur piémonts d'inselbergs	+ <i>Schoenefeldia gracilis</i> et <i>Aristida mutabilis</i>	+ <i>Acacia adansonii</i> et <i>Combretum glutinosum</i>
●	Cds	Creux interdunaires	<i>Schoenefeldia gracilis</i> et <i>Chloris pilosa</i>	<i>Bauhinia rufescens</i>
	(Csda)	Faciès anthropique	+ <i>Acacia albida</i>	
FORMATIONS LIÉES AUX CUIRASSES FERRUGINEUSES				
	IL	Bowé et inselbergs latériques	<i>Aristida adscensionis</i>	<i>Combretum micranthum</i> et <i>Pterocarpus lucens</i>
	AS	Bush	<i>Aristida adscensionis</i> et <i>Schoenefeldia gracilis</i>	<i>Pterocarpus lucens</i> et <i>Combretum micranthum</i>
■	ASg	Faciès sur pentes gravillonnaires	+ <i>Schizachyrium exile</i>	+ <i>Acacia laeta</i> et <i>Boscia senegalensis</i>
■	ASc	Faciès sur sols colluvionnés	+ <i>Panicum laetum</i> et <i>Pennisetum pedicellatum</i>	+ <i>Commiphora africana</i> , <i>Acacia laeta</i> et <i>Grewia bicolor</i>
□	ASe	Faciès sur sols plus ou moins sableux	+ <i>Eragrostis tremula</i> et <i>Panicum laetum</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i> et <i>Acacia raddiana</i>
	ASd	Faciès des bas de pentes et des dépressions	+ <i>Brachiaria lata</i> , <i>Pennisetum pedicellatum</i> et <i>Panicum laetum</i>	+ <i>Grewia bicolor</i> et <i>Acacia laeta</i>
FORMATIONS LIÉES AUX AFFLEUREMENTS ROCHEUX				
	IR	Affleurements et inselbergs	<i>Aristida adscensionis</i> et <i>Aristida funiculata</i>	variable
	Sg	Glacis	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	<i>Acacia</i> spp.
△	Sgl	Faciès sur glacis pierreux	+ <i>Uruchloa trichopus</i>	<i>Acacia laeta</i>
▲	Sgs	Faciès sur glacis pierreux	+ <i>Panicum laetum</i>	<i>Acacia seyal</i>
	Sgr	Faciès des glacis colluvionnés sur sol halomorphe	<i>Aristida adscensionis</i> et <i>Panicum laetum</i>	<i>Acacia raddiana</i>
▽	Spt	Dépressions et talwegs	<i>Panicum laetum</i> et <i>Schoenefeldia gracilis</i>	<i>Acacia seyal</i> <i>Acacia adansonii</i>
FORMATION RIPICOLE ARBORÉE				
▽	FRS	Talwegs importants	<i>Echinochloa colona</i> et <i>Panicum anabaptistum</i>	<i>Anogeissus leiocarpus</i> et <i>Piliostigma reticulatum</i>
FORMATIONS INONDABLES				
	MEs	Mares à inondations de faible durée	<i>Echinochloa colona</i> et <i>Oryza barthii</i>	<i>Mitragyna inermis</i> ou <i>Acacia seyal</i>
	MVs	Mares inondées en début de saison sèche	<i>Vetiveria nigriflora</i>	<i>Acacia nilotica</i>
	MBS	Mares à inondation prolongée	<i>Oryza longistaminata</i> et <i>Echinochloa stagnina</i>	sans

TABLEAU XVIII

Effectifs des espèces herbacées dans les différentes unités de végétation. Relevés du cycle 1977

Paramètres	Unités					
	Ams	Cep	Ase	Sgr	Sgl	Spt
Nombre total d'espèces herbacées	49	39	64	30	36	18
Nombre de familles	21	21	24	14	18	8
Nombre d'espèces exclusives	12	5	16	0	3	7
Nombre d'espèces communes	6			1		

Les inventaires floristiques permettent d'évaluer pour l'ensemble de la flore sahélienne du nord du Burkina Faso, la proportion des différents types biologiques définis par RAUNKIAER (1905) et considérés par EMBERGER (1966) comme applicables aux régions tropicales à saison sèche défavorable.

Les thérophytes, plantes annuelles passant la mauvaise saison à l'état de graines, représentent 61 % des espèces. Les phanérophytes, c'est-à-dire les plantes ayant les bourgeons de renouvellement à plus de 25 cm du sol pendant la saison sèche, constituent 17,3 % des taxons. Les chamaephytes, géophytes

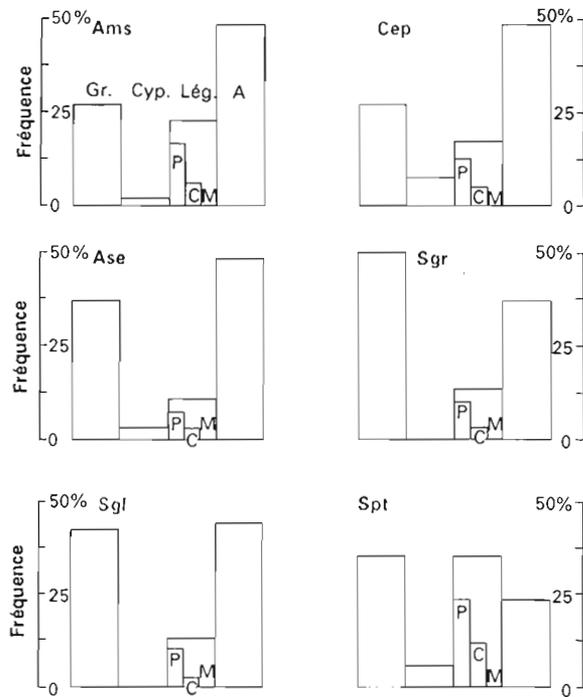


Figure 8 - Spectres floristiques de la strate herbacée des différentes unités de végétation.  
Gr. : graminées, Cyp. : cypéracées, Lég. : légumineuses, A : autres familles, P : papilionacées, C : césalpiniacées, M : mimosacées.

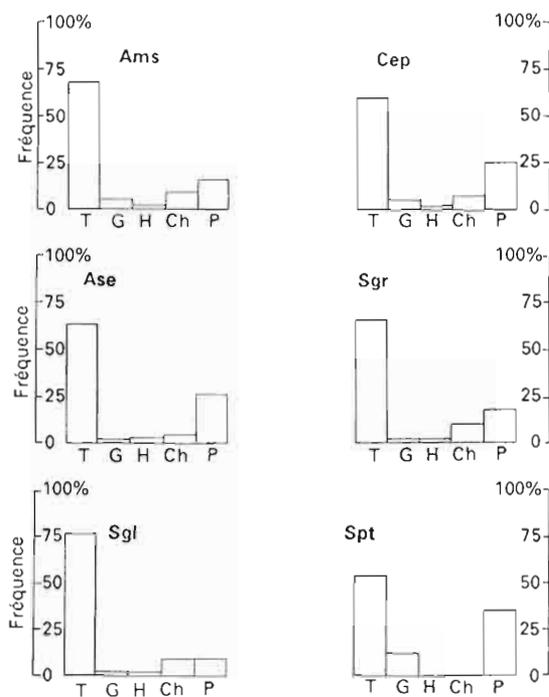


Figure 9 - Spectres biologiques des différentes unités de végétation.  
T : thérophyte, G : géophyte, H : hémicryptophyte, Ch : chamaephyte, P : phanérophyte.

et hémicryptophytes sont peu représentés (22 % des taxons) et sont principalement liés pour les derniers aux stations humides de bords de mares.

Les spectres biologiques relatifs à différentes unités de végétation (figure 9) confirment le spectre donné pour l'ensemble des espèces de la région. Ils illustrent par ailleurs l'existence d'une certaine variabilité. En effet, l'examen des histogrammes de la figure 9 montre que les thérophytes représentent plus de 50 % des espèces et jusqu'à 76 % dans l'unité Sgl (Kouni). Les phanérophytes constituent 10 à 35 % des taxons. Leur importance s'accroît dans les milieux édaphiquement plus humides (Ase, Spt), ce qui est tout à fait comparable à ce que l'on observe lorsque l'humidité atmosphérique augmente (CORNET et POUPON, 1978).

La nette dominance des types biologiques thérophyte et phanérophyte traduit la meilleure adaptation écologique aux sévères conditions d'aridité qui règnent sur le milieu (GROUZIS, 1979).

La classification proposée par EVENARI (1985) nous semble d'un grand intérêt pour caractériser l'adaptation à l'aridité de cette flore sahélienne. Cet auteur distingue d'une part les espèces " arido-passives ", c'est-à-dire les taxons dépourvus d'organes photosynthétiques pendant la saison défavorable et qui évitent la sécheresse et, d'autre part, les espèces " arido-actives " qui, au contraire, portent des organes chlorophylliens et doivent disposer de réserves en eau pour fonctionner.

Le premier groupe, comprenant les thérophytes, les ligneux et sous-ligneux caducifoliés représente 78,5 % des taxons. Le deuxième groupe, qui rassemble en particulier les ligneux et sous-ligneux à feuillage persistant et les crassuléscentes, ne représente que 21,5 % des espèces. Ces proportions diffèrent très nettement de celles obtenues par FLORET et PONTANIER (1982), qui montrent que ce sont les arido-actives qui forment la plus grande partie de la végétation de la plupart des systèmes écologiques de la Tunisie présaharienne.

Comme pour les autres régions arides du monde, les espèces arido-actives de la zone sahélienne du Burkina Faso, offrent un ensemble de caractères favorisant l'économie de l'eau. Ces caractères se situent au niveau de :

- la morphologie : aphyllie (*Leptadenia pyrotechnica*) ; microphyllie (*Acacia* sp) ;
- l'anatomie : sclérophyllie, cuticule cireuse (*Boscia senegalensis*) ; développement des tissus parenchymateux aboutissant à la crassulescence des organes (*Cissus quadrangularis*, *Caralluma dalzielli*, *Caralluma retrospiciens*) ; stomates situés dans des cryptes protégés par une forte pilosité (*Guiera senegalensis*) ;
- la physiologie : forte proportion de plantes fixant le CO<sub>2</sub> atmosphérique par la voie du C<sub>4</sub>. En effet, en nous inspirant des travaux de DOWNTOWN (1975), GROUZIS (1976), ZIEGLER *et al.* (1981), PENNING DE VRIES et DJITËYE (1982), on peut estimer que les plantes de type C<sub>4</sub> représentent environ 22 % de l'ensemble des taxons. On les trouve notamment parmi les graminées et certaines familles de dicotylédones telles que : aizoacées (*Gisekia pharnaceoides*), capparidacées (*Cleome gynandra*), zygophyllacées (*Tribulus terrestris*), portulacacées (*Portulaca oleracea*).

Or, ces espèces C<sub>4</sub> offrent par rapport aux C<sub>3</sub> un ensemble de propriétés les rendant mieux armées pour la croissance et la survie sous des conditions extrêmes de température et de sécheresse (LARCHER, 1980). Il s'agit notamment de :

- l'optimum de température pour la fixation nette de CO<sub>2</sub> qui se situe entre 30 et 40 °C pour les C<sub>4</sub> contre 15 à 25 °C pour les C<sub>3</sub> ;
- la vitesse de photosynthèse environ deux fois supérieure à celles des C<sub>3</sub> ;
- une meilleure efficacité en eau. Ainsi le rapport de transpiration (gramme d'eau par gramme de matière sèche) est de 250 à 350 pour les C<sub>4</sub> et de 450 à 950 pour les C<sub>3</sub> (QUEIROZ, 1975) ;
- une utilisation plus efficace de l'azote et du phosphore (PENNING DE VRIES et DJITËYE, 1982).

## TYPLOGIE DE LA VÉGÉTATION

La définition et la cartographie de la végétation ont été orientées vers l'application de cette étude à l'aménagement pastoral. La carte des ressources fourragères au 1/50 000, réalisée par l'EMVT (TOUTAIN, 1976) se compose d'une photomosaïque sur laquelle sont portées les limites des unités cartographiques (par type de pâturage et par classe d'état). Elle est complétée par des éléments de topographie et des renseignements d'hydraulique pastorale. Le planimétrage (tableau XIX) a permis de déterminer les superficies des différents types de pâturages ainsi que leur superficie par classe d'état.

Neuf groupements généraux, répartis en vingt-trois faciès ont été reconnus par TOUTAIN (1976) sur des bases floristiques et écologiques (tableau XVII). Ils peuvent être regroupés en quatre grands ensembles correspondant à des conditions géomorphologiques et édaphiques différentes. La localisation de ces unités le long du profil du bassin versant est représentée sur la figure 2.

### LES UNITÉS DE VÉGÉTATION LIÉES AUX DUNES ET AUX ENSABLEMENTS

La strate herbacée constitue l'essentiel de la végétation. Le recouvrement continu atteint des valeurs élevées (80 %) dans les unités peu dégradées. Par contre, le recouvrement devient inférieur à 10 % dans le stade 4 de dégradation. *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis* et *Cenchrus biflorus* sont les espèces caractéristiques. *Zornia glochidiata*, légumineuse à cycle court, prolifère dans les zones les plus pâturées. La strate arbustive est très lâche. Elle est représentée notamment par *Combretum glutinosum*, *Acacia senegal*, *Guiera senegalensis*, *Acacia raddiana*, auxquelles se substitue de plus en plus *Balanites aegyptiaca* en raison de sa dissémination par les animaux. Ces formations colonisent les cordons dunaires, les piémonts et les ensablements peu épais. Elles sont parmi les plus productives et constituent les réserves fourragères de la saison sèche. Neuf parcours correspondant à trois groupements généraux (Ams, Cd, Ce) ont été décrits par TOUTAIN (1976).

### LES UNITÉS DE VÉGÉTATION LIÉES AUX CUIRASSES FERRUGINEUSES

Les espèces ligneuses (*Pterocarpus lucens*, *Combretum micranthum*, *Commiphora africana*, *Boscia senegalensis*) se regroupent en fourrés denses, difficilement pénétrables, entrecoupés d'espaces nus. C'est la physionomie d'un " bush " ou " fourré " (GUILLAUMET et KOECHLIN, 1971). La strate herbacée (*Pennisetum pedicellatum*, *Schizachyrium exile*, *Aristida adscensionis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Panicum laetum*...) est discontinue. Sa répartition est étroitement corrélée à l'état de surface du sol et de ses conséquences sur la répartition de l'eau. Des épandages sableux alternent avec des microdépressions et des sols nus glacés, ce qui favorise la structure en mosaïque de la végétation.

Ces groupements associés aux pédiplaines (figure 2) sont pâturés en toute saison. Pendant la période sèche le feuillage des ligneux offre un complément alimentaire non négligeable. Cinq unités relatives à deux groupements principaux (As, IL) ont été décrites.

### LES UNITÉS DE VÉGÉTATION LIÉES AUX AFFLEUREMENTS ROCHEUX

Elles occupent l'essentiel de la surface du bassin. La strate herbacée dominée par *Schoenefeldia gracilis* est discontinue. Le recouvrement est faible. La strate arbustive (*Acacia laeta*, *Acacia raddiana*) est très lâche. Ces groupements qui colonisent les formations allochtones (figure 2) sont peu productifs. Ils sont néanmoins bien exploités à la fin de la saison des pluies. L'unité " Spt " des dépressions et talwegs (tableau XVII), bénéficiant des eaux de ruissellement, se présente comme des formations mixtes herbacées-ligneux hauts. Les espèces tant herbacées (*Panicum laetum*) que ligneuses (*Acacia*

TABLEAU XIX  
Superficie des différents types de pâturages (en ha)

Pâturage	Superficie nord	Superficie sud	Superficie totale	Pâturage	Superficie nord	Superficie sud	Superficie totale
AMs 2			4 221	Sgr 3			448
AMs 3			2 063	4			25 584
AMs	6 284		9 284	Sgr	10 633	15 399	26 032
Cdc 1			991	Spt 1			4 701
2			4 205	2			6 268
3			736	3			927
4			320	4			688
Cdc	6 252		6 252	Spt	6 764	5 820	12 584
Cds 3			416	IL	256	80	336
Cds 4			144				
Cds		560	560	Asg 3			1 519
				4			720
				Asg	1 151	1 088	2 239
Ces 2			1 711				
Ces 3			432				
Ces	2 143		2 143	Asc 2			1 727
				3			3 102
				4			560
Cee 3	1 567	4 749	6 316	Asc	4 558	831	5 389
Cep 2			2 207	Ase 2			464
Cep 3			768	3			2 814
Cep	2 015	960	2 975	4			2 079
				Ase	4 142	1 215	5 357
Csd 1			240				
2			768	Asd 1			368
Csd	720	288	1 008	2			224
				3			304
IR	2 990	2 127	5 117	Asd		896	896
Sgl 3			4 877	Frs	416	2 031	2 447
4			6 284				
Sgl	5 196	5 965	11 161				
				MEs	336	-	336
				MVs	304	-	
Sgs 1			512	MBs	1 951	176	2 127
2			368				
3			2 063	eau libre	112	-	112
Sgs		2 943	2 943				
				Cutures	4 829	14 487	19 316
				Jachères	1 775	1 967	3 742
				TOTAL	64 394	61 582	125 976

*seyal*, *Acacia adansonii*) sont hygrophiles. La production est élevée. Ce sont des pâturages de la saison des pluies. Cinq faciès correspondant à trois groupements généraux (IR, Sg, Spt) ont été reconnus.

## LES FORMATIONS INONDABLES

Ce sont généralement des prairies composées de graminées annuelles (*Echinochloa colona*, *Oryza barthii*) ou pérenne (*Echinochloa stagnina*) selon la durée de l'inondation. Le recouvrement est continu. La productivité est élevée. Elles sont parcourues pendant la saison sèche et procurent aux troupeaux le seul fourrage vert de la région.

La typologie des milieux effectuée d'une manière plus académique par DOS SANTOS (1981) (traitement des relevés de végétation par la méthode analytique des profils écologiques [GOUNOT, 1969]) fait ressortir sept " groupes écologiques ".

La comparaison de ces groupes écologiques aux groupements généraux définis par TOUTAIN (1976) (tableau XX) fait apparaître une bonne relation.

Cette identité de vue résulte notamment du rôle prépondérant que joue l'édaphisme dans l'organisation des grands traits de la végétation des milieux semi-arides, en aggravant ou en compensant les effets de l'aridité climatique (KOECHLIN, 1986).

TABLEAU XX

Relation entre groupes écologiques (DOS SANTOS 1981) et groupements généraux (TOUTAIN 1976)

GROUPES ÉCOLOGIQUES (DOS SANTOS, 1981)	GROUPEMENTS GÉNÉRAUX (TOUTAIN, 1976)
G1 lié aux bords de mares	G lié aux formations inondables (M.s)
G2 lié aux bas-fonds	G lié aux dépressions et talwegs (Spt)
G3 lié aux glaciés de transit	G lié aux affleurements rocheux (Sg)
G4 lié aux glaciés cuirassés	G lié aux cuirasses ferrugineuses (As)
G5 lié aux reliefs résiduels	Bowé et inselberg latérique (IL)
G6 lié aux dunes fixées	Affleurement et inselberg (IR)
G7 lié aux dunes	G lié aux pénélaines dunaires (Cd)
	G lié aux cordons dunaires (Cd)

## L'OCCUPATION DE L'ESPACE

Avec 65 000 habitants sur quelque 10 000 km<sup>2</sup> au moment de la sécheresse de 1972-73, l'Oudalan représente 1/25 du territoire burkinabé mais près de 1/10 de son cheptel bovin. C'est sa partie centrale la plus dense (presque trois fois plus que la moyenne : 15 hab. au km<sup>2</sup>), à cheval sur trois zones centrales d'« endodromie pastorale »<sup>(1)</sup> (tableau XXI a,b,c), qui a servi de cadre au projet « Mare d'Oursi » : 18 000 personnes environ en 1978 sur 1 200 km<sup>2</sup>.

Les composantes qui apparaissent de prime abord dans cette partie sahélienne du Burkina Faso sont les extrêmes diversités socio-ethnique et linguistique. Ces diversités qui transparaissent à tous les niveaux de la société n'ont pas empêché une évolution synergique des activités rurales. Les identités culturelle et tribale reposaient auparavant en grande partie sur des modes de vie bien caractérisés ; aujourd'hui, l'élevage pastoral, pour ne prendre que cet exemple, n'est pas le fait des seuls groupes peul. De plus en plus les sociétés en présence tendent à se confondre sur le plan des activités et des systèmes de production.

### MISE EN PLACE DU PEUPLEMENT

Deux types de sociétés venues du nord, Sahara pour l'un, delta intérieur du Niger pour l'autre via le Djelgodji, cohabitent dans cette frange sahélienne du Burkina (Kel Tamachek, Peul), où s'ajoutent des micro-groupes villageois sédentaires, établis plus récemment. L'absence complète de tradition orale sur la période pré-tamachek pourrait laisser croire à l'absence de peuplements anciens, mais de nombreux vestiges archéologiques portent trace d'une civilisation agricole authentique.

<sup>(1)</sup> Selon la définition donnée par H. BARRAL (voir p. 60).

TABLEAU XXI  
Les zones d'endodromie pastorale de l'Oudalan

	Population	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité de pop.	Charge <sup>(1)</sup>
Nord-ouest : H.-Béli-Gandéfabou-Déou	6 800	3 030	2,2	6,9
Moyenne nord-est :	(14 900)	(4 120)	3,6	9,8
(Béli-mare de Darkoy)	9 900	2 380	4,1	9,0
(Kabia-Markoy)	5 000	1 740	2,8	11,0
Moyenne centre :	(25 200)	(2 293)	11,0	3,5
(amont mare d'Oursi - a)	7 200	1 110	6,5	3,8
(Oursi-Bidi, Gorom-Gorom - b)	11 500	615	18,7	3,4
(mares centrales - c)	6 500	568	11,4	3,1
Est Oudalan	10 000	1 325	7,5	5,4
Mare Boukouma, dune Bidi-Felleol :	15 800	1 500	10,5	3,0
TOTAL toutes zones	72 700	12 268	5,9	6,8

(<sup>1</sup>) Charge exprimée en surface de pâturage (ha) disponible par bovin.

(Source : BARRAL, 1977. La dernière zone n'est pas incluse en totalité dans l'Oudalan, ce qui explique la différence entre les deux chiffres de population totale.)

D'après les datations effectuées sur les sites prospectés en 1985 (GROUZIS, 1988), la première grande période d'occupation concernerait essentiellement la première moitié du premier millénaire après J.-C., et, plus secondairement, la fin de ce premier millénaire. Plusieurs modes d'organisation sociale et d'exploitation du milieu se sont sans doute succédé sur des périodes allant de deux à cinq siècles (Tounté et nord de la dune d'Oursi).

L'abondance et la diversité des sites, généralement associés aux milieux fortement dégradés (corrélation déjà relevée au Yatenga par MARCHAL [1978] et en pays d'Aribinda par DUPRÉ et GUILLAUD [1986]) attestent, dans l'état actuel des connaissances, une occupation sédentaire relativement dense reposant sur une activité agropastorale et le développement d'une industrie métallurgique importante.

Parmi les sites recensés, combinant assez souvent différents signes d'une présence humaine (activité de production, de fabrication et de construction), ont été répertoriés des vestiges appartenant à cinq catégories :

- les tertres anthropiques (de 1 à 2 m de haut sur une longueur d'environ 20 m) qui, associés à des structures agraires de 2 à 3 ha, sont accompagnés de nombreux objets : tessons de poteries, objets métalliques, broyeurs, meules etc. ;
- les sites à activités lithiques avec pointes de flèches bifaces, éclats aménagés en micrograttoirs, micropéroirs, disques perforés, haches et herminettes polies ;
- les nécropoles : jarres et urnes funéraires ;
- les sites d'activités agricoles : meules fixes sur blocs rocheux ou mobiles, bases empierrées de greniers, empierrages de parcelles de taille modeste correspondant plutôt à des jardins (d'environ 100 m<sup>2</sup>), traces sur les lignes de pente d'ouvrages antiérosifs et d'aménagements hydriques (réservoirs-citernes creusés dans le sol, puits cuvelés) ;
- les emplacements d'activité métallurgique (scories en lentilles isolées ou en amas) qui attestent d'une mise à contribution relativement aisée des ressources en minerai de fer (magnétite) et en bois-énergie.

La disparition encore inexpiquée de cette civilisation et le retour de vastes espaces exploités à la brousse ont rendu possible, à partir du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, des mouvements migratoires de grande envergure à partir du nord ; les rivalités guerrières des fractions touareg de la boucle du Niger (Mali

actuel) et la poursuite de captifs échappés vers le sud ont provoqué l'arrivée en Oudalan des deux tribus guerrières Alkassybaten et Oudalan, puis coup sur coup celles de plusieurs groupes kel tamachek, chacun avec leurs captifs (*iklan*) et leurs associés ou assujettis, bergers gaobé, artisans, etc.

Une organisation politique et sociale souple, l'absence de droits sur le sol (malgré un incontestable marquage toponymique) évitant la fixation-appropriation des parcours pastoraux et des terrains de culture (BARRAL, BENOIT, 1976) ont joué comme autant de facteurs de décongestion et de libération pour les populations du nord.

Dans la mesure où les modes de vie touareg exigeaient dans le même temps des possibilités de razzia sur les populations sédentaires (prélèvements en hommes et en biens sur des villages de royaumes voisins) et l'association entre des activités d'élevage et d'agriculture, l'installation de différentes tribus ne pouvait que s'amplifier devant la richesse, la diversité d'un milieu naturel inoccupé : présence d'une importante nappe d'eau à faible profondeur, accès libre aux ressources, disponibilités fourragères variées en toute saison pour le bétail, possibilités de mise en culture (dunes de l' " erg " ancien) sous une pluviosité minimale satisfaisante.

L'extension et le raffermissement de la domination politique touareg par conquêtes guerrières et razzias (l'émirat peul de Dori défait en 1827 doit payer un tribut annuel et laisser les villages peul et rimaïbé aux vainqueurs), l'accroissement des réseaux de dépendants tributaires et d'alliés permettent l'installation dès la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle d'une confédération de tribus à caractère politico-religieux autour du " tambour de guerre " des Oudalan.

Un mode de fonctionnement aussi dominateur et belliqueux ne pouvait que heurter les visées colonisatrices de la " mission " française et aboutir, avec les périodes difficiles de disette de la Première Guerre mondiale, à la révolte et à l'écrasement militaire des groupes touareg (batailles d'Aderambukan au Niger et de Yomboli en Haute-Volta en 1916).

C'est un peu plus tard, vers le début des années trente, une fois l'hégémonie kel tamachek définitivement vaincue, que l'on assiste à l'arrivée plus discrète en Oudalan de groupes peul farouchement indépendants, originaires du Djelgodji, puis à l'installation plus opportuniste de commerçants mossi et haoussa.

Avec l'abolition des rezzous, et bientôt de l'esclavage, la déstabilisation est complète pour toutes les tribus de la mouvance kel tamachek. Cette déstabilisation correspond d'abord à la dislocation des rapports sociaux avec l'assouplissement des relations de vassalité entre catégories sociales (libération des captifs kel tamachek et peul). La brutalité et la profondeur de la rupture doit être rapportée au contexte de rapports complexes non toujours conflictuels entre " nobles " et " assujettis " et à une sorte de vassalité en cascade : *illelan-iklan*, " captifs de tente " -captifs indépendants, ceux-ci pouvant devenir prospères (en mil et en bétail) au point d'avoir leurs propres vassaux.

C'est le clivage social ancien qui donne encore à l'heure actuelle sa physionomie à l'occupation humaine de cette région, plus particulièrement là où il était l'élément clé du mode de fonctionnement économique et social, celui de la société touareg. Une division semblable existait, moins bien affirmée et structurée cependant, chez les Peul (et à moindre degré encore chez les Songhaï) : nobles peul, anciens tributaires et bergers, captifs maccubé, rimaïbé.

Dans le même temps, la dislocation des échanges tributaires ébranle les liens de complémentarité sédentaire/nomade avec la disparition de la protection militaire des sociétés jusque-là soumises à redevance ou à tribut. À la mobilité " guerrière et politique " se substitue désormais une mobilité plutôt écologique reposant sur l'utilisation des ressources locales ; la pacification contribue ainsi à l'anthropisation extensive de l'espace disponible : dispersion géographique de l'habitat, accès aux biens réservés, augmentation de l'élevage du bétail avec la disparition du tribut annuel en têtes de bétail.

À la multiplicité des clans familiaux touareg plus ou moins apparentés, de statuts socio-religieux variés, liés par leur passé guerrier (Oudalan, Idamossen, Takarangat, etc.) s'opposent désormais les groupes peul, fondamentalement éleveurs nomades (Djelgobé), restés indépendants même si parfois l'opportunité les a conduits à pratiquer le gardiennage des bœufs et des petits ruminants pour le compte des Touareg.

## POPULATIONS ET ÉVOLUTION DÉMOGRAPHIQUE

Véritable " terre promise " pour les populations de la boucle du Niger, l'Oudalan avec ses grandes mares pérennes, ses pâturages diversifiés et ses potentialités en mil a attiré une population diversifiée d'agriculteurs et de nomades, secondairement de commerçants et d'artisans.

L'enquête démographique, par recensement des différents groupes installés en fin de saison sèche, donne une estimation des effectifs présents sur la base d'une unité moyenne d'habitation comprise entre 3,3 et 4 personnes selon le groupe considéré : la famille est de taille plus réduite par unité d'habitation chez les Iklan par exemple que dans les groupes peul.

Avec environ le cinquième de la population de l'Oudalan (près de 92 villages avec Gorom-Gorom <sup>(1)</sup>), la zone considérée offre, du point de vue de l'appartenance ethnique comme du degré de mobilité et de sédentarité, une bonne représentativité de l'ensemble de la région. La prépondérance des non-sédentaires (74 %) y est manifeste, de même que celle des groupes d'anciens captifs iklan et rimaïbé.

TABLEAU XXII  
Importance relative des groupes humains

	Sous-région (1978)			Oudalan (75)
	Effectifs	%	%	%
Kel Tamachek				
Illelan	588	(3,3)		
Iklan	7 748	(43,3)	(46,6)	(52,7)
Peul				
Djelgobé	476	(2,7)		
Gaobé	4 372	(24,4)	(27,1)	(23,3)
Rimaïbé (Gaobé)	2 880	(16,1)	(16,1)	(5,4)
Mallebé	1 240	(6,9)		
Songhaï	356	(1,9)	(8,9)	(15,5)
Forgerons	216	(1,2)		
Divers	16	(0,1)		
Total	17 882			≈ 75 000

L'augmentation de la population peut difficilement être estimée dans l'état actuel des données démographiques : données très variables selon les sources <sup>(2)</sup> sans autre localisation plus précise que la " région " Oudalan, qui correspondrait en principe à la circonscription administrative actuelle (ancienne subdivision nord du cercle de Dori, chef-lieu Gorom-Gorom), considérée tantôt seule, tantôt avec ses " marges ".

La comparaison entre les deux statistiques officielles, l'enquête nationale par sondage de 1964 et le recensement de 1975, qui concluerait à un taux annuel d'accroissement de près de 6 % (!) atteste sans doute d'une mauvaise extrapolation géographique et d'une forte sous-estimation de la population de 1964. Dans des zones de peuplement comparables, au Niger par exemple (enquête INSEE), l'accroissement naturel des groupes semi-nomades kel tamachek (Iklan et Illelan confondus) qui représentent ici la moitié des effectifs n'atteint pas 3 % en moyenne.

La densification actuelle au rythme de 2,5 % <sup>(3)</sup>, qui atteint maintenant les 8 habitants au kilomètre carré, est aussi imputable aux groupes sédentarisés à dominante agraire des hameaux et villages (songhaï, rimaïbé, mallebé, mossi) de croît naturel supérieur et connaissant d'importants mouvements d'immigration depuis les années 1970.

(1) Depuis les récentes années de sécheresse, cette sous-préfecture a connu un accroissement spectaculaire et sa population actuelle dépasse sans doute les 3 000 habitants.

(2) Entre les années 1972 et 1975, les chiffres avancés varient entre 60 000, 64 500 et 75 000 pour 10 000 km<sup>2</sup>.

(3) PERETTI (ORD du Sahel, 1977) conclut à un accroissement de 64 % de 1955 à 1974, soit 2,5 % l'an.

## IMPLANTATION DE LA POPULATION ET MOBILITÉ

Modes de résidence, habitat et mobilité des populations se déterminent par rapport à un référentiel géographique social et individuel. Nous avons retenu à cet effet le concept d' "aire résidentielle " qui circonscrit et définit les limites des déplacements saisonniers habituels d'un groupe par rapport au mode de vie, au système de production et aux contraintes de types agricole, pastoral, sanitaire, en opposition aux migrations plus ou moins éloignées, réponses aux " accidents " écologiques, économiques et familiaux.

Le schéma classique des déplacements correspond à la mobilité des campements entre plusieurs pôles de résidence bien déterminés et dans la très grande majorité des cas entre deux localisations seulement : celle de saison sèche dans les champs, celle d'hivernage hors des champs, c'est-à-dire sur des lieux suffisamment éloignés des cultures en cas d'absence de clôtures collectives de protection. La carte 2 rend compte de l'implantation de l'habitat en 1978, à la fin de la saison sèche.

Dans les villages construits, cette mobilité n'existe plus qu'à titre individuel et même anecdotique. Dans les campements, il s'agit au contraire de déplacements massifs et pratiquement simultanés, en moins de deux semaines, de l'ensemble des familles.

Premier type de déterminant de la mobilité, la contrainte agricole : elle agit au niveau de la fumure du champ, de la pratique du semis et de la protection des plants.

La fertilisation du sol par les déjections des animaux est très largement pratiquée à l'occasion du parcage, après la traite du matin et du soir. Individuelle au niveau du ménage si le troupeau est important, elle peut aussi s'effectuer collectivement, en alternance entre chefs de ménage qui gèrent leur animaux en commun. Dans le premier cas, elle incite le propriétaire d'un troupeau conséquent à s'installer dans son champ ; dans le second, elle demande qu'au moins l'un des ménages s'installe dans l'un des champs choisi pour être fumé : ainsi à Boulel, par exemple, seuls quelques ménages d'une famille riche en bétail se chargent de la fumure des champs familiaux tandis que ceux qui n'ont pas suffisamment d'animaux renoncent à la fumure directe et portent au champ les déjections de leur enclos villageois. Le même fonctionnement se retrouve chez les Gaobé et les Kal Bamba qui s'installent toujours dans leurs champs avec leurs animaux.

En début d'hivernage, le moment propice au semis est plus facile à apprécier si le paysan n'est pas trop éloigné de son champ ; il peut déjà avoir une idée assez juste de la quantité et de la répartition spatiale de la pluie tombée la veille, idée qu'il pourra confirmer en piochant à la houe et en constatant la profondeur d'humectation du sol. Cette contrainte peut s'appliquer aussi bien aux villages qu'à certains campements dont les champs sont parfois distants de quelques kilomètres (Boulel, Gaobé cultivant à Tounté, etc.).

Mais le point primordial, c'est la protection des plants et de la récolte future. Dans cette partie de l'Oudalan où la densité de bétail met constamment en danger la croissance du mil, surtout après le début du tallage, il faut faire sortir les animaux des zones cultivées et empêcher leur incursion au moyen de clôtures d'épineux régulièrement entretenues, parfois étendues sur plusieurs kilomètres.

Du tallage du mil jusqu'à la fin de la récolte, aucun ménage, aucune famille ayant ses animaux avec elle ne peut se permettre de rester dans les champs : la contrainte est bien sûr individuelle (l'individu se porte tort à lui-même) mais surtout sociale. L'entretien (parfois insuffisant) des branchages d'épineux n'étant pas une protection absolue, contre les vaches en particulier, il est indispensable que les troupeaux soient gardés dans des zones de pâturages éloignées ; on rejoint ici la logique des départs en transhumance qui exigent une certaine mobilité résidentielle.

À l'intérieur de l'aire résidentielle la contrainte pastorale n'a d'influence que pour les groupes d'éleveurs qui doivent adapter leur lieu de résidence aux besoins spécifiques des animaux : besoins en eau, besoins en pâturages, plus particulièrement pour les jeunes veaux, et pour les petits ruminants. Cela apparaît clairement chez les Djelgobé d'Oursi qui utilisent trois principaux lieux de résidence : Petel

Borty (près des puisards de la mare) en saison sèche, Windé Kiama en hivernage concurremment avec Gourare Mallebé où le pâturage aérien est particulièrement abondant certaines années pour les chèvres. Les rapports sont étroits entre les différentes localisations : le campement où se fait la traite, les points d'eau d'hivernage et de saison sèche et les pâturages disponibles, localisations qui en retour déterminent la pénibilité de certains tâches (transport de l'eau) et l'état physiologique du bétail.

La contrainte sanitaire, saisonnière, agit particulièrement sur les campements qui ne veulent pas revenir dans les champs sitôt la récolte effectuée en raison du froid particulier qui sévit à cette période de l'année : certains ménages avancent cette raison pour sortir des champs après les premiers sarclages. Elle éloigne ainsi les tentes djelgobé des grands points d'eau en hivernage afin de se préserver de l'humidité et surtout des insectes qui prolifèrent vers la fin juillet. Elle provoque l'installation sur de grandes surfaces dénudées, gravillonnaires et argileuses - *kolangal* - où les eaux de pluie ruissellent, de même que dans des clairières hydromorphes au couvert arbustif peu dense : c'est le cas des Peul Gao-bé Warag-Warag de Dibissi et Tin Aidjar.

La mobilité, interne à l'aire résidentielle, se résume en fait à des déplacements fréquents de faible amplitude (5 km au plus) entre les champs et le ou les pôles de résidence d'hivernage ; de plus elle touche en priorité ceux qui ont gardé, malgré leurs pratiques agricoles, un mode de vie centré sur les valeurs pastorales, avec un habitat potentiellement plus adapté aux déplacements, qu'il soit multiple ou qu'il soit transportable (plusieurs cases fixes ou, au contraire, une hutte unique démontable).

## HABITAT ET UNITÉS RÉSIDENTIELLES

Lieu de brassage privilégié des groupes humains, à la jonction des modes de vie sédentaire-paysan et nomade-éleveur, l'Oudalan se distingue par la diversité de son habitat : modes de construction bien sûr, mais surtout types d'implantation dans l'espace, et fonctionnalités propres des habitations.

Les constructions rencontrées, maisons, huttes, greniers, abris divers, apparaissent bien souvent exclusives soit d'un groupe ethnique particulier, soit d'un genre de vie donné. Deux catégories d'habitat se distinguent en fonction des matériaux employés, de la forme, et des possibilités permises par tel ou tel type de case ; les unes, de propriété masculine, relèvent plutôt d'une maçonnerie à base de terre argileuse, les autres, de propriété féminine, d'un assemblage-remontage de matières végétales ou plus rarement, animales.

### LES TYPES D'HABITAT

Composé de pièces mono- ou multi-fonctionnelles, en relation avec le cloisonnement interne ou la multiplicité de bâtiments annexes, l'habitat remplit des fonctions différenciées selon les déclinaisons locales socioculturelles et ethniques où la relation espace intérieur/extérieur est la composante essentielle :

- un abri contre les éléments naturels, en particulier lorsque les protections corporelles sont insuffisantes (habillement sommaire des individus) : réverbération du soleil, tornades sableuses ou pluvieuses, froid et humidité de l'hivernage ;
- stockage des aliments, rangement et protection des instruments, ustensiles, vêtements, affaires individuelles ;
- isolement de l'individu et du couple : besoin d'intimité particulière, repos, soins corporels, vie sexuelle, mais aussi maladie ;
- souci esthétique avec la décoration et l'apport d'éléments d'artisanat, mobilier notamment ;
- lieu d'échanges : travaux domestiques (préparation de la farine de mil en famille, tissage de nattes...), repas, prise rituelle du thé.

Les différents groupes de population ont chacun développé un habitat spécifique où se remarque l'adéquation entre mobilité/fixité/genre de vie et le type de construction/matériaux utilisés/complexité de l'habitat. Cela se traduit par :

- le caractère démontable et transportable de l'habitation suivant les matériaux (terre, paille, bois, écorce végétale, cuir), son poids et son degré d'encombrement ;
- le caractère unique ou plural, simultané ou successif de l'habitat : maison et tente, ou deux constructions indépendantes distantes géographiquement.

Les différents types d'habitat illustrent à des degrés variables ces caractéristiques. C'est dans les villages rimaïbé que l'architecture est la plus diversifiée. On y trouve comme chez les Mallebé la case ronde à pièce unique et toit de paille conique, *bogu*, mais aussi la case ronde à toit charpenté plat recouvert de banco, *garutende* (s)<sup>(1)</sup>, et la case rectangulaire plus ou moins allongée avec terrasses en banco, *garual* (s), mais qui comporte toujours plusieurs pièces, chambres, salle de réception, éventuellement remise (le nombre de chambres correspond au nombre d'épouses du chef de ménage) ; enfin cas particulier rencontré à Bossey, l'habitation double où le partage d'un *garual* par deux ménages se concrétise par deux seuils et un mur de séparation mitoyen.

Chez les rimaïbé l'évolution vers la sédentarisation s'accroît avec la séparation spatiale des différentes fonctions (coucher, réception, remisage) ; la cuisine elle-même peut nécessiter un emplacement abrité spécifique avec la récupération d'un *bogu* vide ou la construction du *garutende* avec entreposage et conservation des épis de maïs au dessus du foyer. Des latrines extérieures, isolées par des *seccos*, sont indispensables ici alors qu'à Boulel par exemple la végétation environnante, moins dégradée, permet de s'en passer.

Chez les Kel Tamachek la case est multifonctionnelle, comme celle des Gaobé. Type d'habitat le plus répandu dans la région, l'*ekarban* (t)<sup>(2)</sup>, avec son espace intérieur vaste ouvert sur l'extérieur, procure une ombre fraîche dans la journée mais laisse peu de place à l'intimité et à l'isolement. Le démontage

#### Commentaire de la carte 2

Alors que durant la saison des pluies les campements restent localisés avec les troupeaux sur les glacis incultes à la périphérie des terres de culture, la fin des récoltes marque leur retour sur les champs. Au cours de la saison sèche, la stabulation du bétail permet d'y concentrer la fumure animale et ce n'est qu'après les semis que le lieu d'habitation sera à nouveau déplacé. Ce mouvement pendulaire, généralement de très faible amplitude (quelques kilomètres, voire moins), s'accompagne soit d'un déplacement des habitants (cas des groupes peul), soit de l'existence de deux résidences permanentes successivement occupées au cours de l'année (cas le plus fréquent des groupes kel tamachek). Lorsque l'habitat est sédentaire, seuls quelques bergers et leurs familles s'installent avec le bétail sur les terres de culture proches du village pendant la saison sèche.

La localisation de l'habitat en fin de saison sèche se trouve de ce fait étroitement associée à l'emplacement des terres de culture, d'une part, et à celui des points d'eau pérennes (puits, puisards), d'autre part. La population est alors concentrée sur les cordons dunaires d'orientation générale est-ouest et plus spécifiquement sur l'erg ancien qui constitue par excellence le domaine de la culture du mil. Du sud au nord se succèdent ainsi des zones sableuses densément peuplées et presque uniformément occupées, où la saturation de l'espace agricole utile est totale, et que séparent de vastes étendues alors désertées constituées de glacis et de bas-fonds. Les villages de populations sédentaires (Rimaïbé, Mallébé, Songhaï) sont tous situés sur le domaine sableux : Oursi, Kolel, Boulel, Bossey, Petoy, Debentia... De notables exceptions se manifestent néanmoins, tout particulièrement au sud et à l'ouest de la mare d'Oursi, en raison de l'extension progressive des champs de sorgho de bas-fond et de l'attraction qu'exerce ce point d'abreuvement en saison sèche pour les éleveurs du sud de la région (Assinga, Guidoy, Tassamakat).

(1) (s) : terme songhaï.

(2) (t) : terme tamachek.

**Carte 2**  
**LIEUX DE RÉSIDENCE EN FIN DE SAISON SÈCHE (1978)**  
 (Situation des cases occupées)

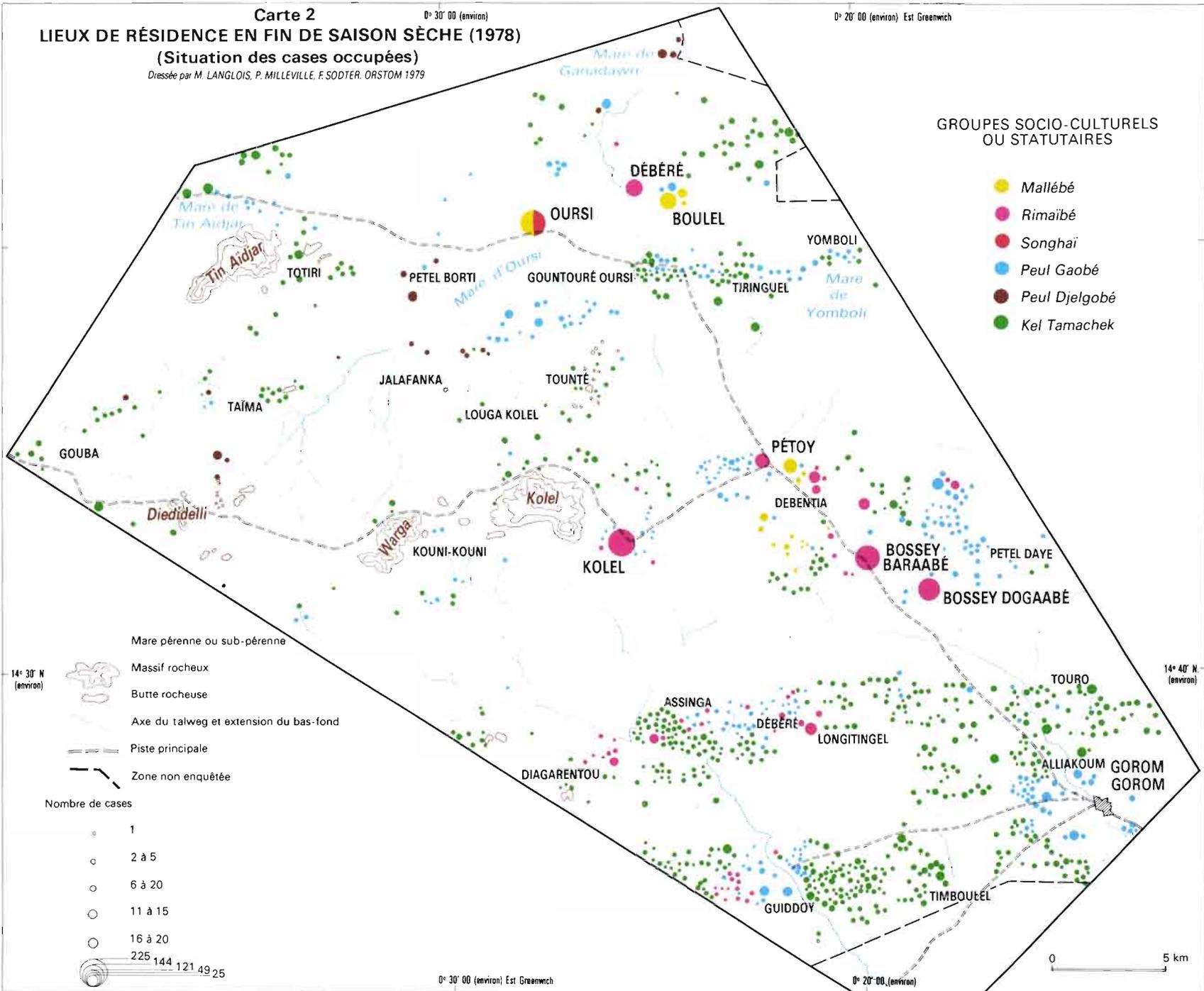
Dressée par M. LANGLOIS, P. MILLEVILLE, F. SODTER, ORSTOM 1979

0° 30' 00 (environ)

0° 20' 00 (environ) Est Greenwich

**GROUPES SOCIO-CULTURELS  
 OU STATUTAIRES**

- Mallébé
- Rimaibé
- Songhaï
- Peul Gaobé
- Peul Djelgobé
- Kel Tamachek



- Mare pérenne ou sub-pérenne
- Massif rocheux
- Butte rocheuse
- Axe du talweg et extension du bas-fond
- Piste principale
- Zone non enquêtée

- Nombre de cases
- 1
  - 2 à 5
  - 6 à 20
  - 11 à 15
  - 16 à 20
  - 225
- 144 121 49 25

0° 30' 00 (environ) Est Greenwich

0° 20' 00 (environ)

0 5 km



difficile de cette lourde paillote limite par ailleurs la mobilité et conforte la sédentarisation : dans les campements *iklan* on procède parfois au déplacement exceptionnel des *ekarban*, sur une courte distance (quelques centaines de mètres), après en avoir déterré les fourches de soutien.

Les ménages qui disposent encore de la tente de cuir, *ehaket* (t), sont rares à cette latitude ; ceux des jeunes ménages qui pratiquent encore la transhumance d'hivernage se contentent d'une hutte sommaire, *tafala* (t), composée d'une natte et de quelques piquets taillés sur place. Pour répondre aux besoins saisonniers de déplacement, le Kel Tamachek dispose d'un habitat multiple correspondant à chaque emplacement où il désire s'installer ; dans la très grande majorité des cas, il habite tour à tour l'*erkaban* du champ et celle du lieu d'hivernage, cette dernière étant coiffée à son sommet d'un chapeau de paille pointu facilitant le glissement des eaux de pluie.

Chez les Peul qui pratiquent encore le nomadisme, la case est toujours une tente, transportable et démontable, composée d'une double série d'arceaux entrecroisés de bois souples sur lesquels sont arrimées des couches successives de nattes, nattes inférieures en feuilles étanches de palmier-doum, nattes supérieures de grandes dimensions en pailles brélées.

La sédentarisation ne touche pour le moment que ceux qui ont personnellement abandonné l'exploitation directe de leur bétail ; parmi les groupes étudiés, cela concerne les chefs de fraction, un aîné âgé, un chef de ménage marabout-guérisseur qui ont chacun remisé leur tente à l'intérieur de leur *bogu*.

La différence de taille entre l'habitation des Djelgobé et celle des Gaobé, du simple au double en encombrement et en poids, est révélatrice de la mobilité potentielle et de la fréquence des déplacements de l'un et l'autre groupe. Des animaux de bât, ânes, plus rarement bœuf dressé, sont indispensables chez les Gaobé Tcheudibé et Adabé qui ne se déplacent pas aussi souvent que les Djelgobé ; bien qu'éleveurs de bétail, ils ne prendront pas le risque de s'éloigner trop des champs comme le font souvent inconsidérément leurs voisins.

D'un point de vue fonctionnel, la tente djelgobé dans laquelle le lit conjugal occupe presque tout l'espace, laisse peu de place à la vie sociale, à la communication et aux échanges. C'est un aspect de la culture djelgobé où les interdits et les attitudes d'évitement sont courants : la tente apparaît ici surtout comme l'unique possibilité d'isolement et d'intimité nocturne pour le couple (mari et femme " s'ignorent " dans la journée, cf. RIEMAN, 1974). Exception faite des besoins de préparation culinaire, d'abri et de rangement (notamment entreposage desalebasses de lait), les autres fonctions s'exercent à l'extérieur, souvent en brousse, à l'écart du campement.

La caractéristique commune à tous les habitats rencontrés dans la région d'Oursi reste celle du " bâtiment " annexe, qui se résume le plus souvent à une sorte de hangar végétal des plus sommaires, un peu à l'écart ou collé à la case, qui permet un travail artisanal à l'ombre, à l'abri du vent et du sable, mais cependant suffisamment aéré et éclairé. C'est là, aux heures chaudes de la journée, que les femmes, leur enfant au sein, déroulent la chaîne de leurs nattes, et que les hommes se consacrent à de menus travaux de saison sèche : fabrication de cordes, réparation d'outils...

## LES CAMPEMENTS ET LES VILLAGES

Les villages " construits " de la région, avec leurs habitats permanents en dur, se répartissent en deux formes correspondant assez exactement au statut social des habitants : condition noble ou condition serve. L'une se retrouve dans des structures résidentielles lâches (cases distantes de plusieurs dizaines de mètres, cours disséminées), l'autre dans des conglomérats à l'échelle de quartiers : cases parfois contiguës, germains partageant un habitat multiple, cours fortement imbriquées les unes dans les autres, espace densifié par de nombreux enclos et jardins.

Ainsi à Boulel s'opposent très schématiquement le *wuro* des Mallebé au *débéré* de leurs Rimaiibé, quartier de captifs anciennement rattaché au *wuro* qui seul a le statut de village indépendant. La même dichotomie résidentielle s'observe entre le chapelet de hameaux de Debentia et les villages de captifs proches : Petoy, Bossey Baraabé, Kolel.

Par opposition aux villages sédentaires en banco, les campements des fractions tamachek et peut se différencier particulièrement avec :

- un habitat transportable souvent démontable ;
- une résidence bipolaire ou tripolaire, dont l'occupation est liée au rythme saisonnier du genre de vie et des activités ;
- la présence des greniers sur le domaine cultivé ;
- l'instabilité chronique des unités résidentielles qui se dispersent et se regroupent chaque année selon les campements et qui manifestent ainsi l'indépendance et l'autonomie des chefs de ménage par rapport au pouvoir traditionnel local.

L'organisation spatiale des campements, variable selon les implantations saisonnières, liée beaucoup plus aux affinités individuelles qu'aux relations parentales, donne *grosso modo* l'image d'alignements le dos aux vents de sable et de pluie venant de l'est ; au relâchement et à la dispersion des huttes sur les champs en saison sèche s'oppose en hivernage le ressoudage des familles et des quartiers sur le modèle d'une cour.

Tous les caractères précédents, s'appliquant à un milieu dont les modes d'utilisation restent en grande partie libres, ont contribué à une occupation quasi complète de l'espace, très remarquable en saison sèche. La colonisation s'étend ainsi partout où le sol est cultivable, jusqu'aux zones rocheuses dégradées de Tounté par exemple, et en saison pluvieuse sur les sols gravillonnaires compacts et déboisés.

Nul doute qu'en Oudalan les hommes ont trouvé des terres propices aux activités essentielles : l'agriculture et l'élevage. Aux déterminants historiques — particulièrement les conflits guerriers — qui ont provoqué les vagues de migrants depuis la fin du siècle dernier se sont substitués les facteurs écologiques, les richesses potentielles du milieu naturel, sans lesquelles les groupes humains n'auraient pu durablement s'établir. Les diversités temporelle et spatiale ont pu ainsi permettre, malgré la sévérité climatique, la multiplicité et la complémentarité des modes d'utilisation du milieu plus ou moins spécifiques des différents groupes sociaux.

Avec la saturation de l'espace résultant de l'accroissement démographique dans une zone située à la limite de l'habitat sédentaire et de l'agriculture pluviale, et la codification de fait de la gestion des ressources, les migrations ont cessé, les installations se sont pérennisées ; le nomadisme s'est éteint au profit d'une sédentarisation quasi complète et les transhumances ont laissé la place à un élevage aux modes de conduite étriqués.

## EFFECTIFS ET LOCALISATION DU CHEPTEL

Compte tenu de l'importance que revêt l'élevage dans les modes d'exploitation du milieu, les herbivores domestiques constituent une composante essentielle de l'écosystème sahélien. Sans anticiper sur la troisième partie de l'ouvrage, il convient de souligner dès à présent le fondement du pastoralisme sahélien : l'accès libre à une aire de parcours ouverte dans laquelle, à partir des points d'eau existants, les troupeaux peuvent atteindre des ressources fourragères irrégulièrement distribuées dans l'espace et affectées de fortes variations saisonnières et interannuelles. La mobilité du bétail qui en résulte, les mouvements saisonniers qui peuvent modifier considérablement la répartition spatiale du cheptel, l'absence de droits d'usage formels reconnus sur des portions d'espace bien délimitées, rendent délicate toute appréciation et interprétation des effectifs et des charges. En fait, l'observation révèle des régularités, qui ont conduit BARRAL (1974 et 1977) à proposer le concept de " zone d'endodromie " pour qualifier un *espace exploité selon un cycle annuel à partir d'un nombre variable de points d'eau pérennes, par différents groupes d'éleveurs, sédentaires ou nomades, utilisateurs habituels de ces points d'eau en*

saison sèche et ayant adopté empiriquement les mêmes aires et le même calendrier de transhumances. BARRAL a ainsi pu, pour l'Oudalan, identifier et délimiter huit zones d'endodromie, dont trois débordent au nord sur le Gourma malien. La mare d'Oursi, localisée à la charnière de trois zones endodromes, se trouve plus particulièrement solidaire de la zone Oursi - Bidi - Gorom-Gorom, qui exclut une grande partie du bassin versant de la mare.

C'est sur l'ensemble de cette zone d'endodromie, d'une superficie évaluée à 61 520 ha, que les effectifs du cheptel ont été estimés en fin de saison sèche 1976 par dénombrement autour des points d'eau (LHOSTE, 1977). Des comptages ont par ailleurs été réalisés à trois reprises au cours de la saison sèche 1980-81 sur la mare d'Oursi proprement dite. L'estimation des effectifs par espèces donne, pour avril 1976, les résultats suivants pour l'ensemble de la zone d'endodromie :

bovins <sup>(1)</sup>	13 000 à 14 000
caprins <sup>(1)</sup>	30 000
ovins <sup>(1)</sup>	7 000
ânes	1 500
chevaux	100
chameaux	300

La charge globale, estimée à 15 300 UBT <sup>(2)</sup>, correspond en moyenne à 4 ha environ par UBT. Compte tenu de la population totale de la zone estimée à partir des résultats du recensement de 1975, les moyennes s'établiraient à 1,2 bovin, 2,6 caprins et 0,6 ovin par habitant.

Concernant plus particulièrement les bovins, le rapprochement de ces chiffres et de ceux établis par BARRAL avant 1972 permet d'évaluer pour ce secteur les pertes totales subies en 1972-1973 à 30-35 % (soit 5 000 à 6 000 têtes). Estimation bien entendu très globale, qui masque de fortes variations en fonction des situations locales et des groupes d'éleveurs.

En fin de saison sèche, la localisation du cheptel dépend directement de celle des points d'eau résiduels, les distances des pâturages accessibles à partir de ceux-ci variant selon le rythme d'abreuvement adopté. La figure 10 indique schématiquement la répartition du cheptel bovin en avril 1976, cinq ensembles de points d'eau pérennes étant alors fréquentés :

abreuvement à la mare d'Oursi	5 400 à 6 000 bovins
abreuvement aux puisards de Bossey	1 500 bovins
abreuvement aux puisards de Gorom-Gorom	2 600 à 3 000 bovins
abreuvement aux puisards de Guidoy	2 700 à 3 000 bovins
abreuvement aux puisards de Bidi	800 à 1 000 bovins

Durant la saison des pluies, la multiplication des points d'abreuvement et la nécessité d'écarter les troupeaux des terres de culture entraînent un déplacement préférentiel du cheptel des ensembles sableux du nord et du sud vers le centre de la zone d'endodromie Oursi - Bidi - Gorom-Gorom (où prédominent les glacis et les bas-fond). Un mouvement analogue, dans la zone d'endodromie " amont mare d'Oursi ", contribue à concentrer alors le bétail dans les étendues incultes et les axes de drainage qui alimentent par le sud-ouest la mare d'Oursi.

Plus on se réfère à un espace réduit, et plus il importe de considérer avec précaution les estimations d'effectifs et de charges. Le cheptel fréquentant tel ou tel point d'eau peut être affecté de fortes variations, même au cours de la même saison sèche. C'est ainsi que le nombre de bovins s'abreuvent à la mare d'Oursi a pu être estimé à 7 800 têtes en novembre 1980, 9 500 têtes en mars 1981, 3 200 têtes en mai 1981 (NIAMALY, 1981). Au cours du mois d'avril, de nombreux troupeaux avaient en effet quitté le

<sup>(1)</sup> Les bovins, du type zébu peul pour la plupart, sont dans l'ensemble d'un format modeste et relativement léger. Les ovins et caprins sont de type sahélien et d'assez grande taille.

<sup>(2)</sup> UBT : unité de bétail tropical, correspondant à un bovin de référence de 250 kg.

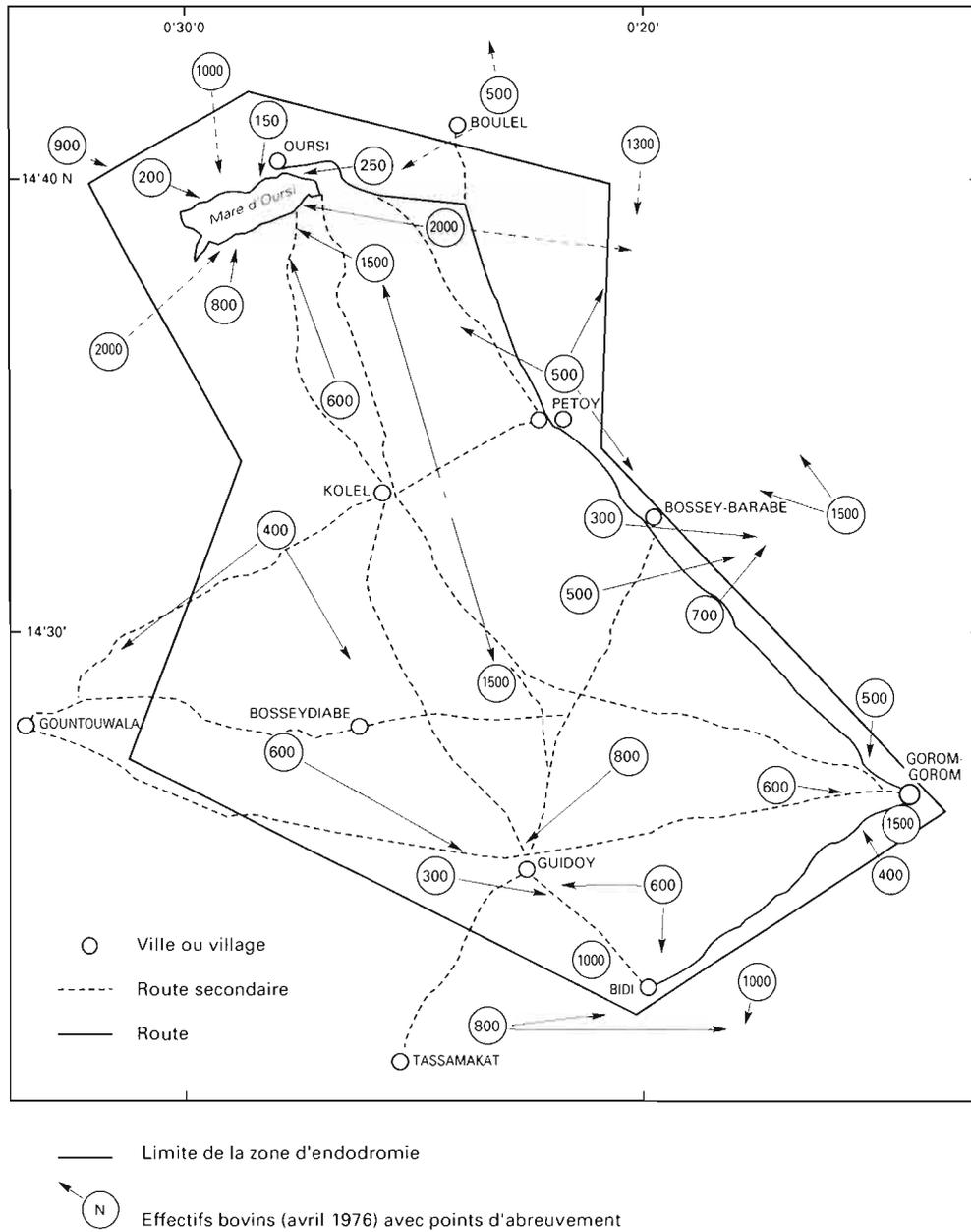


Figure 10 - Répartition du cheptel bovin en avril 1976 (LHOSTE, 1977).

centre de l'Oudalan pour gagner au nord, de part et d'autre du Béli, des pâturages encore en partie préservés. Inversement, la mare d'Oursi accueille assez régulièrement en saison sèche des troupeaux originaires du Liptako et peut constituer un point de repli temporaire pour le bétail du nord de l'Oudalan. Par ailleurs, la localisation de certains villages et campements explique que des troupeaux fréquentent, alternativement ou indifféremment, la mare d'Oursi et un point d'eau périphérique : mare de Yomboli pour les éleveurs de Gountouré, mare de Ganadawri pour ceux de Boulel, mare de Tin Edjar pour ceux de Totiri. La zone d'endodromie représente bien une réalité en matière d'aire de déplacements privilégiés, mais ses limites n'ont évidemment aucun caractère d'étanchéité absolue.

*Deuxième partie*

La dynamique des systèmes écologiques



La dynamique des systèmes écologiques naturels de la mare d'Oursi est de fait marquée par une forte influence des activités humaines qui s'exercent dans un milieu fragile soumis à de fortes variations climatiques qui se répercutent, à différentes échelles de temps, à la fois sur la végétation et sur les sols ; si bien que beaucoup hésitent maintenant à qualifier de " naturels " de tels écosystèmes.

Toutefois, nous avons tenté dans cette étude de leur dynamique, de faire la part des facteurs naturels, non anthropiques, sur le cycle de l'eau et la production végétale, de façon à caractériser les potentialités de production et d'exploitation des ressources naturelles. C'était l'objectif de l'implantation de six parcelles de mesures de un hectare, mises en défens, caractéristiques des milieux décrits précédemment, et de sept stations de mesures hydrologiques constatant le ruissellement.

L'évolution actuelle de ces milieux est également l'héritage d'une évolution pédo-morphologique qui a modelé le relief et organisé l'emboîtement des différents compartiments des milieux ; cette dynamique est toujours très active sous l'effet des mécanismes d'érosions hydrique et éolienne.

## L'EAU ET LES SOLS

### ÉVOLUTION GÉODYNAMIQUE ET GÉODYNAMIQUE ACTUELLE

Sur cette frange méridionale du Sahara, traditionnellement soumise à des oscillations climatiques importantes, il est difficile de considérer séparément l'action de la morphogénèse et celle de la pédogénèse. Toutefois, la première l'emporte incontestablement durant les périodes arides ou même semi-arides alors que la seconde domine au cours des phases tropicales plus humides. Le Sahel voltaïque a connu successivement ces deux systèmes, et les témoignages de l'un et de l'autre subsistent encore et

même s'imposent dans la physionomie des paysages et dans la dynamique actuelle. C'est la raison pour laquelle il nous a paru impossible d'isoler les deux thèmes. Nous avons donc chaque fois considéré les deux aspects du problème, cette méthode s'imposant d'ailleurs par la nécessité d'intégrer le modelé et les altérations, la dynamique externe et les transferts internes (*cf.* carte 3 h.-t.).

L'esquisse rapide des principales étapes qui ont marqué l'histoire déchiffrable du relief régional a mis en évidence de nombreux témoignages de systèmes morphodynamiques inactuels. Ces systèmes paraissent caractériser deux phases nettement distinctes, successives mais sans qu'il soit possible, dans le cadre de notre étude, d'en préciser la chronologie ni les récurrences.

Les plus anciens témoins consistent en traces de vieilles et profondes altérations de type tropical humide. Le levé cartographique suggère la reconstitution d'une paléotopographie (" Surface fondamentale 1 " sur la figure 11) comprenant :

- les reliefs de gabbros, soumis à une intense altération qui fournissent en abondance du fer largement exporté ;
- de très longs glacis façonnés en fonction d'un réseau hydrographique exoréïque orienté vers le nord (peut-être jusqu'au Béli) ; ces glacis sont l'objet d'une pédogénèse de type ferrallitique ; à leur surface émergent localement des reliefs résiduels : inselbergs granitiques aux formes lourdes, pointements de roches métamorphiques, etc.

Cet équilibre morphoclimatique est perturbé par une aridification qui gagne progressivement les marges méridionales du Sahara. L'évolution vers la sécheresse s'accompagne du démantèlement de la surface précédente, et une " surface fondamentale 2 " (figure 11) s'élabore au détriment des sols ferrallitiques ; ceux-ci, tronqués, n'apparaissent plus que dans les coupes des buttes cuirassées qui, avec les reliefs résiduels amenuisés, accidentent la nouvelle surface. C'est au cours (à la fin ?) de cette évolution, que s'établit le système dunaire W-N-W - E-S-E, témoin de l'avancée vers le sud de sables vifs, qui occulte le drainage vers le nord et provoque la formation de la mare. Seul le Gountouré parvient à s'adapter aux nouvelles conditions et à conserver un contact avec les régions situées au-delà du barrage dunaire.

C'est dans ces conditions que la dynamique des oueds et des glacis a façonné et continue de façonner la " surface fonctionnelle actuelle " (n° 3 sur la figure 11). Deux jalons permettent encore de préciser cette évolution :

- le paléosol rubéfié sur sables dunaires qui supporte localement des traces d'occupation humaine et qui témoigne d'une récurrence humide, peut-être contemporaine de l'élaboration de sols sur la surface 2 comme ceux que l'on rencontre sur l'interfluve entre mare d'Oursi et Gountouwala ;
- le dernier grand apport éolien qui fossilise ce paléosol et qui traduit un retour vers l'aride.

Dans la description des mécanismes de la géodynamique actuelle, il est utile de distinguer l'impact des incisions linéaires, du ruissellement diffus et de la dynamique éolienne.

## LES INCISIONS LINÉAIRES

À l'exception de l'érosion fluviale proprement dite, des incisions linéaires par érosion régressive se manifestent en de nombreux endroits. Nous avons pu observer de quelle manière, et sous quelles conditions, évoluent les ravines dans différents secteurs.

- En zone sableuse, l'ouverture des ravins a été observée en bordure du Gountouré, à son entrée dans la vieille dune. La progression des entailles vers l'amont est préparée, sur une longueur de plusieurs mètres, par un lent travail de suffosion qui se marque par l'alignement de trous circulaires isolés correspondant au soutirage interne du matériau sableux. Il existe ainsi tout un réseau d'ablation souterraine précédant l'entaille proprement dite. La phase cruciale du recul de l'incision vers l'amont paraît être sous la dépendance de l'affouillement des berges du marigot principal. En fin de crue, l'eau se

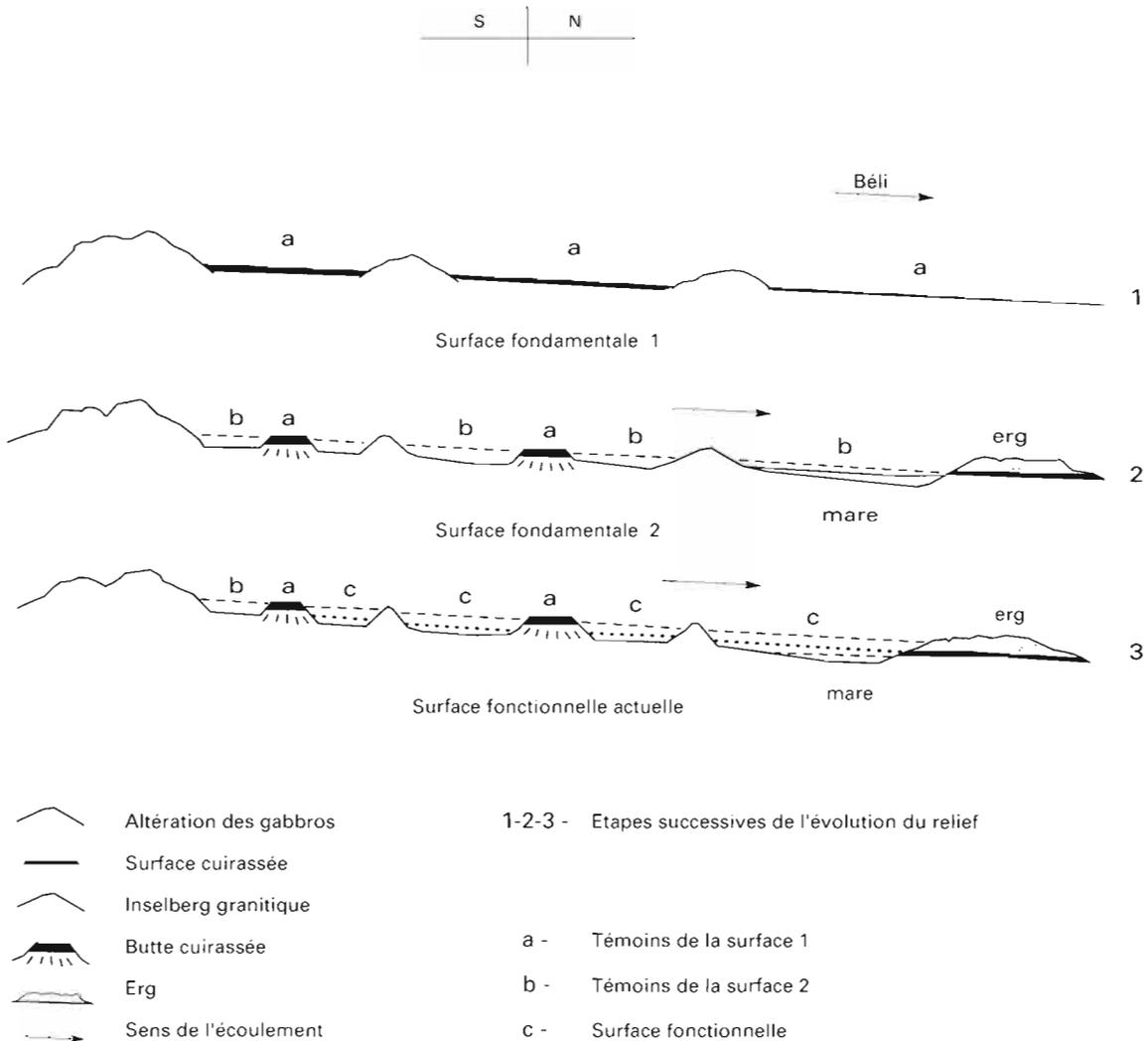


Figure 11 - Schéma d'évolution du bassin de la mare d'Oursi.

concentre dans les chenaux et l'abaissement local du niveau de base provoque un réajustement de tout le système d'écoulement riverain. C'est dans cette phase de baisse des eaux de crues que s'effectue la reprise majeure d'érosion, l'ouverture et l'allongement des ravins. Le même schéma se retrouve également sur le piémont méridional ensablé du sud-est du Tin-Edjar.

— En zone limono-arénacée, il a été possible de suivre trois ans de suite le travail de l'érosion dans une zone située au nord du village de Petoy. Il s'agit d'une région tabulaire à couverture végétale très ouverte et extrêmement dégradée, non loin d'un marigot ; les coupes des ravinelements eux-mêmes montrent, de haut en bas :

- de 0 à 15 cm : une formation limono-sableuse fine, caractérisée en surface par un glaçage accentué
- de 15 à 50 cm : un horizon argilo-limoneux brun rougeâtre, formant saillie, et dans lequel apparaissent quelques nodules diffus
- de 50 à 70 cm : une arène granitique.

Ces ravinelements ont la particularité de progresser très largement, selon des diverticules qui donnent à l'ensemble un aspect lobé. L'incision principale se partage ainsi, en amont, en une dizaine d'incisions

adventices qui éclatent elles-mêmes en une trentaine de diverticules à parois raides de 20 à 25 cm de commandement. La progression de cette érosion nous a paru atteindre en trois ans un développement de 4 à 5 m vers l'amont sur un front de 20 à 25 m de large. Quant au chenal principal, il s'est dans le même temps ouvert de plus de un mètre sans pour autant s'approfondir sensiblement. L'incision paraît se bloquer sur la zone d'altération du granite. La même dynamique s'observe également en bordure d'un chenal sur piémont argilo-limoneux, et sur piémont arénacé, dans les deux cas en l'absence de végétation.

En zone argilo-sableuse, sur le piémont de Kolel, l'érosion linéaire a été suivie à proximité des parcelles expérimentales du CTFT sur une formation complexe sableuse présentant, entre 30 et 65 cm de profondeur, un horizon plus argileux rubéfié. Sur ce piémont en pente faible (moins de 5 %), le réseau de ravines sur sol peu couvert (graminées en saison humide) est important, mais relativement peu ramifié. En revanche, les entailles atteignent rapidement 1,50 à 1,75 m de profondeur. L'évolution se fait par éboulement en paquets au niveau de l'horizon B, en porte à faux au-dessus d'une formation sableuse sapée à la base.

Toutes ces variations dans le mode d'attaque de l'érosion linéaire sont à mettre en rapport avec la texture du matériau, la proximité du drain principal, et surtout la pédogénèse. Cette évolution concerne en priorité des terrains dénudés, où la végétation est dispersée ou fortement dégradée.

## LES RUISSELLEMENTS diffus

Nous avons tenté d'étudier l'impact des tornades sur les différents milieux caractéristiques du secteur d'Oursi, et en particulier d'analyser la dynamique du ruissellement diffus au cours des diverses phases sous averses violentes.

L'observation nous a permis de constater qu'à intensité sensiblement égale de la pluie, après une phase semblable partout, les milieux réagissaient de manière assez différente. Quelques minutes après le début de l'averse, on observe en effet un ennoïement généralisé par une nappe d'eau peu épaisse, qui suit la pente d'écoulement préférentielle. Mais dès que la précipitation diminue, le ruissellement s'organise : d'abord sous forme de chenaux à fleur de sol, largement anastomosés et balayant toute la surface inondée ; puis, une série de petits drains élémentaires se constituent, encore divagants mais susceptibles de s'enfoncer de 1 à 2 ou 3 cm dans la couverture meuble. Ce sont ces deux derniers temps qui sont dynamiquement efficaces. Cela se marque d'ailleurs par le trouble de l'eau, restée claire pendant toute la phase initiale.

La concentration en chenaux anastomosés a pour conséquences :

- sur les glacis arénacés, un granoclassement du matériau, les fines étant évacuées, les sables grossiers et gravillons de quartz n'étant que lavés et parfois légèrement déplacés ;
- sur les glacis argilo-limoneux, l'étalement des particules fines et le comblement des petites dépressions et des fentes de dessiccation ; ce " gommage " a pour effet de préparer le glaçage de la surface au retour de la sécheresse ;
- sur les piémonts cuirassés, des incisions linéaires plus nettement marquées à la suite des tornades ; la concentration de l'eau sur ces surfaces nues et imperméables est rapide, et elle entraîne le creusement ou l'approfondissement de ravines qui divergent autour des buttes ;
- sur les surfaces sableuses cultivées, des effets dissymétriques du ruissellement autour des pieds de mil : affouillement à l'amont et légère accumulation en aval ; on notera la protection efficace des touffes de cram-cram (*Cenchrus biflorus*) arrachées et plaquées contre les tiges ou jonchant le sol.

En définitive, l'efficacité du ruissellement diffus en fin d'averse est indiscutable, et elle s'impose d'autant plus que le sol n'est pas protégé par la végétation. Cette protection est d'ailleurs très variable, selon les secteurs ; mais la plupart des glacis ne portent plus, en hivernage, qu'une couverture herbacée, les arbres étant trop dispersés ou ayant disparu.

## LA DYNAMIQUE ÉOLIENNE

Si la plupart des formations sableuses se sont mises en place au cours du Quaternaire, l'activité éolienne n'a pas cessé pour autant jusqu'à l'époque actuelle incluse. L'erg vif d'Oursi en est la preuve la plus évidente. Et en dehors de cet ensemble il existe encore, sur le territoire étudié, divers témoignages de remobilisation fréquente des sables.

Le levé topographique a mis en évidence un saupoudrage éolien récent, non seulement dans les situations d'abri, mais très répandu sur tout le domaine et particulièrement sur les piémonts. Ces accumulations sont en partie compensées, et alimentées, par des phénomènes de déflation également répartis sur la quasi-totalité du territoire. Tous les sondages, fosses et coupes observés sur les glaciers montrent en effet l'existence d'une couverture sableuse d'au moins quelques centimètres, sauf dans les zones de très forte érosion.

Cet apport éolien s'organise en petites nebkas dès que la végétation le permet. Une coupe dans une de ces microformes a révélé une disposition litée correspondant à un granoclassement alterné de sable grossier, sable fin et même limon. Dans ces lits étaient inclus de petits gravillons de quartz de 4 à 5 mm. Et l'ensemble reposait en discontinuité texturale sur une formation limono-sableuse légèrement humifère. Le rôle de ces placages sableux n'est pas sans bénéfice pour le milieu. Ils peuvent en effet retenir de l'eau, fixer les graines et redonner localement aux glaciers une meilleure couverture végétale protectrice.

L'origine principale de ces dépôts sableux réside dans les tempêtes sèches ou les coups de vent qui précèdent les averses. On peut d'ailleurs voir là une des explications de l'accumulation préférentielle éolienne sur le piémont de Kodel. Les tornades, en provenance du N-E, se chargent de sable sur l'erg vif et viennent heurter de plein fouet le relief en abandonnant leur phase grossière. Les observations du CTFT le montrent bien qui ont constaté, dans les cuves des parcelles expérimentales, une charge sableuse inversement proportionnelle à la nudité du sol : 6,4 kg par exemple après plusieurs heures de vent dans la cuve de la parcelle Wischmeier, et 13,5 kg dans celle de la parcelle cultivée. Ceci est loin d'être négligeable si l'on considère par ailleurs le nombre de coups de vent efficaces. Mais, en fait, de petites différences de situation par rapport au modelé local du terrain et par rapport au lit du vent peuvent créer des écarts considérables dans les piègeages, d'où la nécessaire prudence dans l'interprétation de mesures ponctuelles.

Pourtant la répartition de ces dépôts, dans ce contexte particulier, n'est plus directement en rapport avec la dynamique éolienne. C'est finalement le ruissellement diffus qui redistribue le sable, en fonction de sa propre compétence. C'est ce qui explique, entre autres, la relative régularité de la couverture sableuse sur les glaciers.

## MESURES D'ÉROSION SUR PARCELLES <sup>(1)</sup>

La quantification des phénomènes de dynamique actuelle aurait nécessité la mise en place et la surveillance d'un dispositif de mesures qu'il n'a pas été possible de réaliser dans le cadre du projet " Mare d'Oursi " ; en particulier les mesures des transports solides dans les marigots et des dépôts dans la mare n'ont pas pu raisonnablement être entreprises faute d'un dispositif fiable de prélèvements et d'un laboratoire d'analyses à Ouagadougou.

Nous disposons cependant des mesures de ruissellement et d'érosion effectuées sur parcelles par le CTFT, dont il convient de préciser le contexte et l'objectif avant de considérer les résultats obtenus comme représentatifs de la dynamique érosive sur l'ensemble des sols du bassin.

Les trois parcelles d'érosion ont été installées en piémont du massif de Kodel sur un placage sableux d'origine éolienne, afin d'évaluer l'effet de la mise en culture de ces sols réputés fragiles.

<sup>(1)</sup> D'après PIOT et MILLOGO, 1980.

Les paramètres d'intensité de la pluie, d'intensité du ruissellement, de pertes en terre et de rendement des cultures ont été suivis pendant 3 ans sur :

- 1 parcelle cultivée traditionnellement de 3 105 m<sup>2</sup> avec une pente de 5 % = Pc ;
- 1 parcelle mise en défens clôturée de 2 838 m<sup>2</sup> de même pente 5 % = Pp ;
- 1 parcelle dite de Wischmeier de 100 m<sup>2</sup> et de 6,25 % de pente en condition d'érodibilité maximale = Pw.

Sur les résultats bruts énoncés dans le tableau XXIII, on peut faire les commentaires suivants :

- Les 3 années suivies sont fortement déficitaires en pluviométrie totale et en pluies de forte intensité : la moyenne des R<sub>p</sub> calculée à Dori sur 15 ans est de 261 points, alors qu'on ne dépasse pas ici 171 points pour l'année 1977 la plus abondante.
- L'effet de la pente n'est pas mis en évidence sur des parcelles installées en parallèle sur un même versant, mais il est sûrement considérable sur ce type de sol. Les champs cultivés ne dépassent généralement pas 3 % de pente.
- L'effet de la réinstallation de la végétation naturelle sur la parcelle protégée (Pp) est très spectaculaire sur les dernières années ; la protection du sol par la végétation en place, même desséchée, joue plus que la destruction des pellicules de battance par le travail du sol sur la parcelle cultivée.

TABLEAU XXIII

Ruissellement et pertes en terre mensuels sur parcelles (d'après PIOT et MILLOGO, 1980)

Parcelles		Pc				Pp		Pw	
		P <sub>mm</sub>	R <sub>p</sub>	K <sub>r</sub>	PT	K <sub>r</sub>	PT	K <sub>r</sub>	PT
1977	Mai	10,0	-	-	-	-	-	-	-
	Juin	57,9	42,1	30,7	2873	31,7	3421	19,9	1 978
	Juillet	117,5	44,0	3,5	470	27,8	2582	5,2	10 986
	Août	134,7	61,9	2,9	185	10,9	240	1,2	6 459
	Septembre	62,5	23,3	1,5	26	6,9	17	1,0	1 945
Total annuel		387,6	171,3	7,2	3553	18,8	6260	5,3	21 369
1978	Mai	-	-	-	-	-	-	-	-
	Juin	29,0	-	0,5	49	3,5	18	2,2	1 385
	Juillet	138,7	24,8	8,3	400	9,0	128	12,4	7 465
	Août	54,1	13,9	2,7	53	5,8	24	1,1	4 460
	Septembre	57,0	15,5	2,0	12	1,7	40	1,1	938
Total annuel		278,8	53,3	4,5	513	6,0	210	6,4	14 248
1979	Mai	40,2	7,9	0,3	14	3,5	19	1,7	1 044
	Juin	19,4	5,65	0,2	14	2,7	62	12,6	1 704
	Juillet	65,9	18,3	2,5	82	3,4	69	9,5	8 088
	Août	101,5	27,1	3,9	144	3,6	36	8,0	6 433
	Septembre	56,9	16,9	14,7	570	7,6	38	0,6	483
Total annuel		289,3	75,9	4,8	824	4,2	223	6,2	17 752

P : hauteur de pluie en millimètre.

R<sub>p</sub> : indice d'agressivité des pluies de Wischmeier,  $R_p = 0,0158 P \times I_{30}^{-1,2}$ .

K<sub>r</sub> : coefficient de ruissellement en pourcentage.

PT : pertes en terre en kilogrammes par hectare.

- À part l'impact de la forte pluie du 12 juin 1977, arrivant sur un sol dénudé pour les 3 parcelles, l'effet de la mise en culture de ces sols fragiles ne semble pas très néfaste au plan de l'exportation des terres arables. Mais les pratiques culturales appliquées sur la parcelle Pc favorisent l'infiltration des pluies de faible intensité enregistrées en 1978 et 1979. Qu'en serait-il dans un champ paysan au-delà d'un certain seuil d'agressivité des pluies et entre des sarclages trop espacés ?
- Les pertes en terres mesurées sont extrêmement variables d'une année à l'autre et surtout d'un épisode pluvieux à l'autre. En fait, l'essentiel des pertes en terre se produit au cours de 3 ou 4 épisodes pluvieux intenses au cours de la saison des pluies et l'état de surface du sol joue le rôle régulateur principal ; les bilans annuels et les moyennes interannuelles n'ont pas grande signification dans ce contexte. C'est surtout la démonstration de l'efficacité de la protection du sol, par rapport à la parcelle dénudée et ratissée de Wischmeier, qui est intéressante ici, en dehors de la valeur absolue des chiffres obtenus.
- Les chiffres de pertes en terre sur des parcelles de moins d'un hectare sont dans la gamme des mesures faites dans des conditions voisines au Sahel (3 à 6 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) mais n'ont plus de signification à l'échelle du bassin versant et même de la toposéquence : les mécanismes d'érosion linéaire, de transfert dans les chenaux, de déposition et de reprise d'érosion ou de transport ne sont pas appréhendés dans ces protocoles de mesures. Si, en effet, les zones de glacis qui couvrent 60 % de la surface du bassin versant de la mare d'Oursi perdaient en moyenne 2 000 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de terre, les apports de sédiments à la mare seraient de l'ordre de 30 000 tonnes par an soit à peine 20 000 m<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup>, ce qui n'expliquerait pas le comblement progressif de la mare et les phénomènes d'endoréisme observés dans toute la région.

Pour rapide qu'elle soit, cette brève analyse de la dynamique actuelle permet de remarquer :

- l'importance considérable des débits des marigots et des transports par ruissellement concentré en hivernage ;
- la généralisation du transfert en suspension de particules fines le long des glacis par le ruissellement diffus, dans la phase décroissante des averses ;
- l'estimation, même très approchée, du volume sableux déplacé dans les coups de vent.

Dans ce milieu endoréique, c'est finalement dans la mare que viennent s'accumuler tous ces matériaux.

C'est finalement un ensemble complexe qui sert de cadre à l'activité humaine contemporaine. Il est essentiellement soumis aux trois dynamiques ci-dessus analysées : dynamique éolienne, dynamique fluviale et ruissellement diffus. La première peut agir par déflation, ou par accumulation. Les deux autres concourent toujours au modelé des formes et à l'exportation des formations mobilisables.

Les observations faites à partir des fosses ouvertes en avril 1979 ont en outre permis de montrer l'importance relative de l'érosion et des transferts superficiels par rapport à la pédogénèse. Tous les profils étudiés sont plus ou moins tronqués, au point qu'on peut s'interroger sur le caractère hérité ou simplement figé de ces sols. Les mesures neutroniques d'humidité du sol permettant de connaître la profondeur de pénétration de l'eau paraissent conforter cette hypothèse. Le ruissellement joue donc un rôle prépondérant et nuisible, d'une part en ce qui concerne l'érosion de la couverture meuble des versants, d'autre part par le lent comblement de la mare, fonction du volume de matériel transporté par les marigots en hivernage. Et ceci d'autant plus que les apports éoliens contribuent eux aussi au comblement de la mare, dans une proportion mal connue mais qui pourrait être précisée par des carottages systématiques dans ses alluvions.

Le bilan de cette analyse est en définitive assez clair. Le ruissellement diffus, même si son action est intermittente et difficile à évaluer, représente la dynamique la plus dégradante et, à long terme, la plus dangereuse pour ce milieu sahélien en butte à des déséquilibres fréquents. C'est contre elle qu'il convient de lutter en premier lieu et tout ce qui conduit à la favoriser doit être à surveiller étroitement.

# LA DYNAMIQUE DE L'EAU

Les précipitations météoriques, concentrées sur trois mois de saison humide, constituent :

- par la partie ruisselée, la force motrice des mécanismes de la géodynamique actuelle ;
- par la partie infiltrée, la matière première de la production végétale à travers le cycle de l'eau dans le sol.

Les mesures sur parcelles et bassins versants ont permis de quantifier ces deux termes principaux de bilan hydrique, qui peuvent s'interpréter de façon très fine par la dynamique des états de surface.

## VARIABILITÉ DU RUISSÈLEMENT

On observe en moyenne de quinze à vingt crues par année sur chacun des sept bassins versants étudiés de la mare d'Oursi (CHEVALLIER *et al.*, 1985). Ces crues sont provoquées par le ruissellement consécutif à une ou plusieurs averses. Il est intéressant d'étudier quels sont les facteurs de ce ruissellement et cette étude portera sur six des sept bassins, le bassin de Taïma étant trop vaste pour apporter des éléments précis.

Deux groupes de facteurs peuvent être distingués :

- ceux qui caractérisent l'événement pluviométrique (hauteur d'averse, intensité, hauteur du corps de l'averse...);
- ceux qui caractérisent l'état du milieu récepteur au moment de l'averse (état d'humectation, niveau du développement végétal). Un indice des précipitations antérieures (CHEVALLIER, 1983) sera largement employé pour synthétiser ces facteurs ; il se calcule selon l'expression :

$$API_n = (API_{n-1} + P_{n-1}) e^{-0,5 t_a}$$

où  $API_n$ , indice de la pluie n  
 $P_n$ , hauteur de la pluie n  
 $t_a$ , durée en jours entre les pluies n-1 et n.

### PLUIE D'IMBIBITION

La pluie d'imbibition est la partie de l'averse qui précède l'apparition du ruissellement. Elle est fonction de la nature et du relief du sol, de la quantité d'eau préalablement stockée et de la forme de l'averse. Pour un état donné du sol, la pluie d'imbibition présente une valeur limite au-delà de laquelle le débit apparaît : c'est la *précipitation limite d'infiltration*.

Le tableau XXIV donne cette précipitation limite d'infiltration établie sur chacun des bassins pour diverses valeurs de l'indice des précipitations antérieures.

TABLEAU XXIV  
Précipitation limite d'infiltration (en mm)

API	0	5	10	20	30
Outardes	9,5	6,5	4,8	3,4	2,7
Polaka	8,1	6,3	5,1	4,2	3,8
Tchalol	9,8	5,3	4,7	4,0	3,3
Jalafanka	8,5	5,2	4,5	3,9	3,2
Kolel	17,3	8,7	7,7	6,0	5,5

Ce tableau appelle deux remarques :

- On obtient sur les bassins d'Outardes, Polaka, Tchalol, Jalafanka et Gountouré des précipitations limites très comparables pour tous les degrés d'humectation et ceci indépendamment de la superficie respective des bassins. En effet, d'une part, la structure des averses ne varie guère régionalement et, d'autre part, la précipitation limite de ruissellement est régie essentiellement par les zones les moins perméables. Or, sur ces cinq bassins on retrouve des zones de glacis couvertes d'une pellicule indurée peu perméable. Ces zones sont les premières à ruisseler et le transfert à l'exutoire diffère peu d'un bassin à l'autre, l'organisation du drainage restant tout à fait comparable. Il est possible d'admettre ces valeurs comme représentatives d'une grande partie des paysages de glacis qui couvrent une part importante de la zone sahélienne.
- Le bassin de Kodel a un comportement différent dû à sa morphologie. Entièrement situé dans un massif de gabbros très altérés, à forte pente avec de multiples fissures qui permettent à l'eau de s'infiltrer, il se présente comme une succession de petites cuvettes qui se déversent les unes dans les autres. Une hauteur de précipitation plus élevée est donc nécessaire pour remplir et faire déborder ces cuvettes et déclencher un écoulement à l'exutoire. La décroissance de cette précipitation limite est rapide avec l'accroissement de l'indice d'humectation.

### ANALYSE DES FACTEURS DU RUISSÈLEMENT

Cette analyse a été réalisée à l'aide des techniques de l'analyse statistique multivariée en prenant en compte toutes les crues observées décrites par toutes les variables disponibles (pluie moyenne, lame ruisselée, hauteur de précipitation tombée avec une intensité supérieure à 20 mm.h<sup>-1</sup>, intensité maximale de l'averse en 5 minutes, indice de précipitations antérieures). Elle a permis de dresser un bilan des facteurs conditionnels prédominants sur chacun des bassins versants.

#### *OUTARDES*

Le ruissellement est presque exclusivement fonction de la hauteur de pluie tombée avec une intensité supérieure à 20 mm.h<sup>-1</sup> et de l'état d'humectation du sol. Le bassin est, en effet, formé d'un glacis adossé à un piémont sableux et à un massif de gabbros. Il est, pour une part non négligeable, cultivé pendant la saison des pluies. Enfin, de nombreuses dépressions (y compris dans le lit même du cours d'eau) peuvent retenir l'eau de ruissellement. Il est donc nécessaire que la pluie tombe avec une intensité suffisante pour d'abord compenser l'infiltration abondante dans les zones sableuses et cultivées, puis faire déborder les flaques.

#### *POLAKA*

Le ruissellement est surtout conditionné par la pluie moyenne, accessoirement par son intensité. La partie amont sableuse, dont une très grande surface est cultivée, est particulièrement perméable. La partie aval est constituée par un glacis couvert d'une pellicule d'induration et parsemée de bourrelets sableux fixés par la végétation. Tout se passe comme si seule la partie aval réagissait à l'averse. L'humectation préalable n'a que peu d'effet sur le sol déjà peu perméable lorsqu'il est sec et la quasi-totalité de la pluie est susceptible de ruisseler ; une forte intensité accentue l'effet des bourrelets qui freinent l'écoulement en nappe.

#### *TCHALOL*

Ce bassin peu perméable (cuirasse et pellicule indurée, quelques zones sableuses) est surtout sensible à la hauteur totale de la précipitation, les autres variables intervenant secondairement.

#### *JALAFANKA*

Le ruissellement sur ce petit bassin de glacis se produit presque totalement en nappe. Cela explique la forte influence de la hauteur de pluie et particulièrement du corps de l'averse (intensité supérieure à 20 mm.h<sup>-1</sup>). L'intensité maximale de la pluie n'a, en revanche, aucune influence, le ruissellement pou-

vant se produire pour de très faibles intensités. Ce comportement est sensiblement différent de celui d'un bassin de plus grande superficie et géomorphologiquement comparable (Outardes, aval de Polaka) où l'écoulement en nappe est perturbé par des obstacles (végétation, dépressions, bourrelets sableux).

### *Kolel*

La mise en œuvre très particulière du ruissellement sur ce bassin a été décrite à la fin du paragraphe précédent. Elle explique que l'indice d'humectation n'intervienne pas directement dans l'expression du ruissellement (alors qu'il est essentiel pour la précipitation limite de ruissellement) qui est, en effet, surtout conditionnée par le corps de l'averse qui doit tomber avec une intensité suffisante pour compenser l'infiltration dans les cuvettes. La valeur réelle de l'intensité n'a pratiquement aucune influence, du moment qu'elle est supérieure au seuil nécessaire.

### *GOUNTOURÉ*

Ce bassin peu perméable de glacis avec une surface gravillonnaire souvent indurée est (comme Tchalol) surtout sensible à la pluie moyenne, accessoirement à l'indice d'humectation et à l'intensité maximale de précipitation.

## CRUES DE PROJET

L'étude des crues observées a conduit à la construction pour chacun des bassins versants d'une crue de projet, destinée à être une référence de travail pour les aménagistes. Cette crue de projet est une crue provoquée par une averse de période de retour décennale tombant sur le bassin, toutes les autres conditions étant considérées comme moyennes. Les caractéristiques de cette crue de projet calculée sur les sept bassins versants observés sont données dans le tableau XXV.

TABLEAU XXV  
Crue de projet (précipitation décennale)

Bassins	lame ruisselée (mm)	coefficient de ruissellement (%)	débit maximal spécifique (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )	temps de montée (h, min)	temps de base (h, min)
Outardes	35,0	57,5	2,42	2, 30	> 11, 00
Polaka	22,2	35,3	5,03	1, 10	> 6, 00
Tchalol	41,7	66,2	4,74	1, 30	> 6, 00
Jalafanka	42,1	57,5	8,28	1, 10	6, 00
Kolel	19,3	26,2	18,1	0, 20	< 3, 00
Gountouré	40,1	68,4	3,74	3, 00	> 12, 00
Taima	18,5	36,0	0,648	10, 00	> 45, 00

## DYNAMIQUE DE L'EAU DANS LES SOLS

Les lois physiques régissant les infiltrations, stockages et redistributions de l'eau dans le sol sont d'abord démontrées dans des milieux poreux, homogènes verticalement. Or, les sols sont rarement homogènes, aussi y constate-t-on de sensibles différences de comportement par rapport à ce que laisserait prévoir le fonctionnement des modèles théoriques.

Les comportements hydrodynamiques des sols sont essentiellement sous la dépendance de deux causes d'hétérogénéité qui sont :

— celles liées à la différenciation en couches, (horizons des pédologues), dont les caractéristiques

physiques, chimiques, parfois minéralogiques, varient verticalement et aussi latéralement le long des versants ;

- celles qui sont dues à des modifications d'organisations structurales, et à des changements de compositions de l'extrême surface du sol, qu'il s'agisse d'apports éoliens, colluviaux, d'ablations liées au ruissellement, de l'action de la faune, de celle de l'énergie des pluies, des concentrations de sels, etc.

Il convient donc de prendre en compte cette nature hétérogène et stratifiée des sols, caractère particulièrement important pour comprendre :

- la modification des capacités des différents " réservoirs " du sol contenant des eaux plus ou moins mobiles et plus ou moins disponibles pour les plantes ;
- les modifications de la conductivité au niveau des " barrières hydrauliques " que sont les limites d'horizons *dans les sols*, mais aussi les organisations structurales *sur la surface des sols*.

On développera d'abord les caractéristiques de stockage et de redistribution des eaux infiltrées dans les principaux types de sol du bassin de la mare. On abordera ensuite le problème du contrôle des conductivités hydrauliques par différents états de la surface du sol ainsi que les potentialités et contraintes en résultant sur le plan de l'économie de l'eau.

On entend par dynamique de l'eau dans le sol, l'étude de la part du bilan hydrique qui s'y est infiltrée au moment des précipitations. Ce volume d'eau est retenu dans la porosité de la matrice pédologique ; il est susceptible d'une reprise par évapotranspiration, d'un stockage dans la zone non saturée du sol, ou d'un drainage profond, éventuellement vers une zone saturée (nappe).

Les observations réalisées sur l'ensemble de la région de la mare d'Oursi permettent de distinguer quatre types de comportements hydrodynamiques des sols, reliés à trois des quatre grands types de paysages déjà proposés (les talwegs et la cuvette de la mare constituant un milieu de stockage et de transfert superficiel des eaux de ruissellement) :

- le milieu dunaire et les placages sableux de piémont ;
- les glacis sur roches basiques (type Jalafanka) ;
- les glacis sur roches cristallines acides (type Gountouré) ;
- les buttes et les collines rocheuses ou cuirassées (Kolel, Polaka).

Pour les trois premiers types de paysage, COLLINET (1988) a établi la composition de la matrice du sol selon un profil vertical effectué à l'occasion d'une campagne de simulation de pluie sur des sites représentatifs. Ces résultats peuvent être rapprochés des mesures de profils hydriques réalisées à l'aide d'un humidimètre neutronique (SICOT, 1982). On a schématisé ces résultats sur la figure 12 ; pour simplifier, seuls les profils-enveloppes secs et humides sont représentés. On notera des différences entre les graphiques proposés par Collinet et Sicot (profils secs en particulier) ; elles sont essentiellement dues au fait que les mesures n'ont pas été réalisées sur les mêmes sites, mais elles possèdent globalement les mêmes caractéristiques.

### **Milieu dunaire et placages sableux**

Les réserves sont étroites le long du profil et correspondent à des humidités volumiques faibles, à la fois au point de flétrissement (pF 4,2) et à la capacité au champ. Cependant les capacités de drainage sont bonnes (abstraction faite de l'influence éventuelle de micro-organisations pelliculaires de surface). Cela signifie que les pluies s'infiltreront facilement, mais aussi que les remontées capillaires ne sont pas limitées et la reprise par évapotranspiration des faibles réserves est rapide. La forme verticale des profils d'humidité pratiquement sans niveau de blocage du front d'humectation le montre bien. La part de la pluie susceptible de s'infiltrer profondément est estimée à environ 25 mm pour une précipitation annuelle de 400 mm.

### **Glacis sur roches basiques**

La composition de la matrice montre une microporosité très importante qui décroît peu en profondeur. Les réserves utiles sont correctes. Mais environ 85 % de cette porosité est liée à cette microporosité et cela implique de très faibles possibilités de drainage. La constitution des réserves utiles sera longue par limitation du drainage qui n'entraîne qu'une redistribution partielle des eaux infiltrées. Les enveloppes des profils hydriques montrent un fonctionnement quasiment bloqué à faible profondeur (75 cm) qui correspond à un niveau d'induration important (augmentation du taux d'éléments grossiers). Les stockages actifs sont limités aux horizons proches de la surface et soumis intensivement aux effets évapotranspiratoires. Le drainage profond pour une pluviométrie annuelle de 400 mm est estimé inférieur à 10 mm.

### **Glacis sur roches cristallines acides**

Les profils pédologiques présentent une texture très hétérogène qui se répercute sur le fonctionnement hydrodynamique. L'aptitude à l'infiltration est médiocre. Les réserves utiles sont cependant correctes et l'infiltration à travers une matrice grossière alimente des nappes perchées dans les dépressions de la surface de la roche mère. On observe parfois des colmatages plasmiques à faible profondeur qui limitent les remontées capillaires et donc l'aptitude à l'évapotranspiration et au développement végétal. Ces indications sont confirmées par des profils hydriques se développant verticalement : l'humidité volumique croît régulièrement avec la profondeur, atteignant assez rapidement la saturation (nappes perchées). La roche mère faiblement fracturée et peu profonde empêche pratiquement tout drainage profond.

### **Les buttes et les collines rocheuses ou cuirassées**

On ne peut plus parler ici de sol puisqu'on ne trouve pas de véritable matrice plasmique. Ces massifs correspondent à des ensembles géologiques très altérés où les possibilités d'infiltration dans les fissures sont importantes d'autant plus que les altérites sont très profondes (PION, 1979). Le refus à l'infiltration (et donc le ruissellement) se fait par engorgement des drains. Les réserves utiles sont pour les mêmes raisons extrêmement limitées. Ces buttes et collines ont souvent pour piémont des ensembles soit du type sableux, soit du type glacis sur roches basiques, et il est probable qu'une part importante de l'infiltration est restituée latéralement dans ces ensembles adjacents (COLLINET, 1988).

Dans tous ces milieux il faut bien garder à l'esprit que l'influence évapotranspiratoire est prépondérante, atteignant 7 à 8 mm.j<sup>-1</sup> en saison pluvieuse. C'est donc la nature des horizons superficiels (50 premiers centimètres, pour donner un ordre de grandeur) qui va définir prioritairement les capacités de stockage. Cette caractéristique est à relier avec l'importance primordiale, voire exclusive, de l'état de surface du sol (organisations pelliculaires superficielles) pour son aptitude au ruissellement.

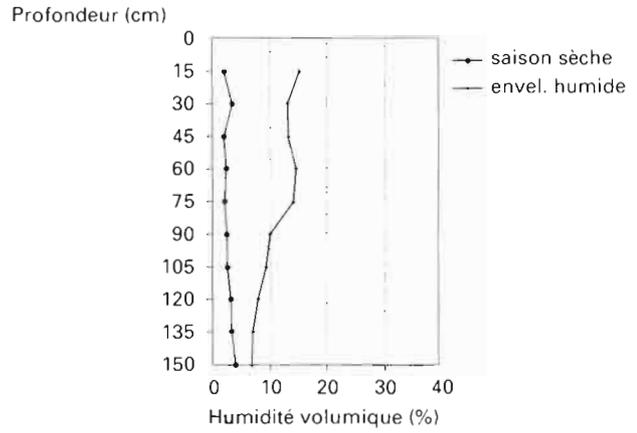
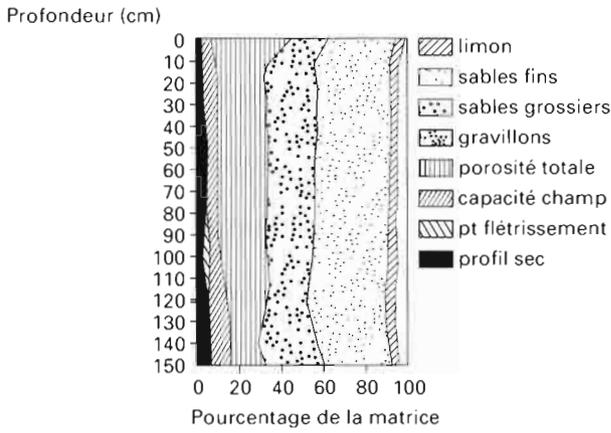
## **BILANS HYDRIQUES ANNUELS DE DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS <sup>(1)</sup>**

Les mesures de variations des profils hydriques effectués à la soude à neutrons sur 30 à 40 sites échantillonnant les divers types de sols et unités de paysage, permettent de quantifier les comportements hydrodynamiques des sols. De fait, les mesures d'humidité neutroniques ne permettant que de mesurer les variations du stock hydrique, le long d'un profil entre deux dates de mesures. Complétées par les caractéristiques hydrophysiques des sols (granulométrie, porosité, capacité de rétention...) ces variations de stock d'eau servent à évaluer les réserves hydriques utilisables par les plantes et peuvent être exploitées à différentes échelles de temps :

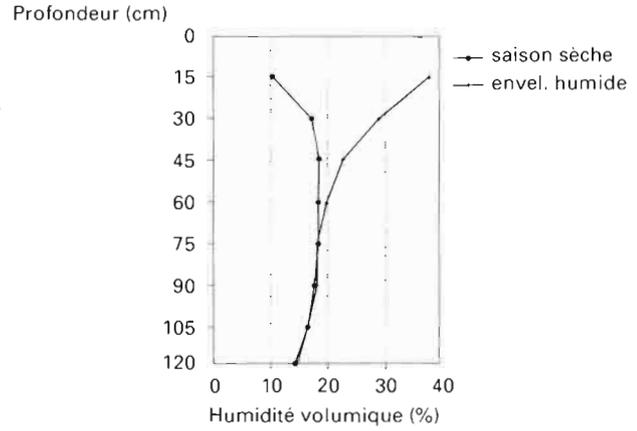
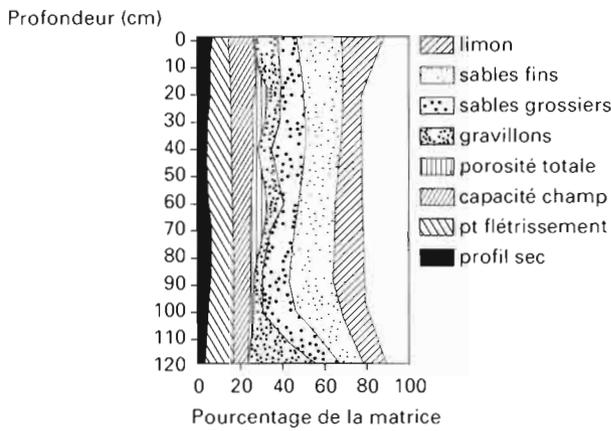
— à l'échelle décadaire (parfois pentadaire), elles servent à établir des relations entre réserves hydriques et évolution de la biomasse et à identifier les périodes cruciales de stress hydrique des plantes à différents stades phénologiques ;

<sup>(1)</sup> D'après SICOT, 1982.

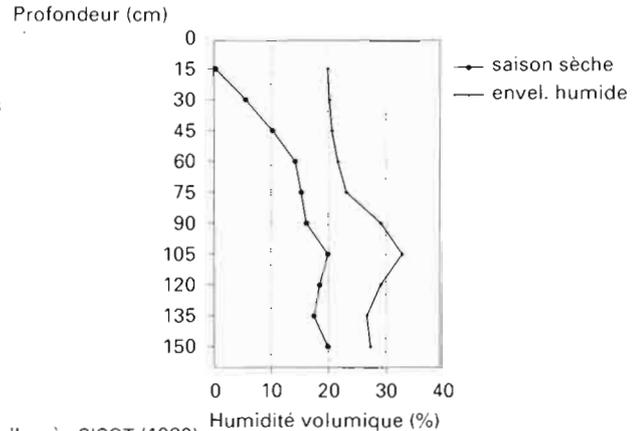
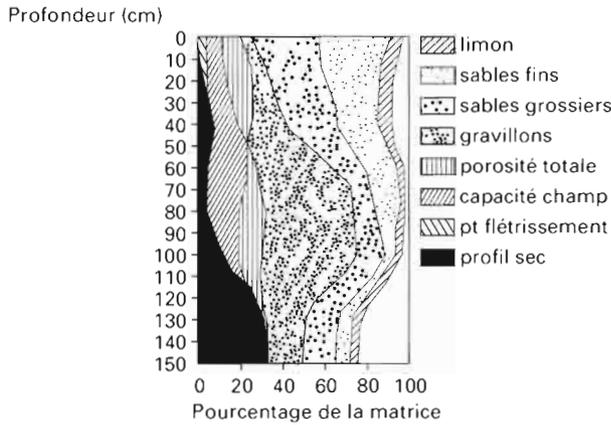
### Milieu dunaire et placages sableux



### Glacis sur roches basiques



### Glacis sur roches cristallines acides



d'après COLLINET (1988)

d'après SICOT (1982)

Figure 12 - La dynamique de l'eau dans les sols.

— à l'échelle annuelle, elles ont permis d'établir des relations entre la production globale de biomasse et la pluviométrie sur le bassin versant ; cet aspect sera développé au chapitre suivant.

Les bilans hydriques annuels permettent également une schématisation synthétique des comportements hydrodynamiques des différents types de sols.

Pour l'estimation de ces bilans, il est nécessaire de faire des hypothèses sur les termes de l'équation classique du bilan :

$$P - R = I = ETR + D$$

où P = pluviométrie annuelle  
R = ruissellement de surface  
I = infiltration dans le sol  
ETR = évapotranspiration réelle  
D = drainage profond ou latéral hors du profil mesuré.

Cette équation simplifiée suppose que :

1. Au cours d'un cycle annuel, le sol évolue d'un état initial sec au même état sec en fin de saison sèche, en passant par des états d'humectation pouvant aller jusqu'à la saturation. Autrement dit, la variation de stock hydrique est nulle sur l'année et toute l'eau infiltrée dans le profil est reprise soit par évapotranspiration, soit par drainage. En milieu sahélien, avec une saison sèche de neuf mois, cette hypothèse est généralement vérifiée, à condition que les mesures d'humidité descendent jusqu'à la profondeur où les teneurs en eau ne varient pas.

2. La hauteur des précipitations à prendre en compte est celle de la pluviométrie  $P_s$  arrivant au sol. Nous avons vu qu'elle pouvait se déduire des mesures de pluie dans les pluviomètres à 1 m du sol par les corrélations établies avec les pluviomètres au sol (voir p. 31).

3. La hauteur d'eau ruisselée à la surface du sol est la somme des lames ruisselées pour chaque averse ayant dépassé l'intensité limite de ruissellement. Elle peut s'obtenir par les relations  $L_r(P, i_k, I)$  établies par les tests au simulateur de pluies ou, à défaut, par comparaison avec les valeurs des coefficients de ruissellement mesurées sur les bassins versants englobant les sites de mesures. On suppose que toute l'eau ruisselée est exportée hors du site de mesures et qu'il ne reçoit pas par ailleurs d'apports d'eau par ruissellement de l'amont.

4. La lame d'eau infiltrée est, de la même façon, la somme des lames d'eau infiltrées à l'occasion de chaque averse. Elles représentent les variations de stock d'eau dans le sol sur la tranche contrôlée par l'humidimètre à neutrons. Elles ne peuvent être mesurées avec précision qu'en effectuant des mesures juste après l'averse ou du moins dans un délai où les phénomènes d'évaporation et de drainage sont négligeables devant la lame d'eau infiltrée. Ce n'est pas toujours le cas et il faut alors vérifier l'estimation de la lame d'eau infiltrée en la comparant aux variations de stock hydrique par tranches de sol.

5. L'évapotranspiration réelle est le paramètre le plus délicat à mesurer. En l'absence d'un dispositif de mesures adéquat, il est ici déduit de l'équation du bilan hydrique, ce qui est acceptable à l'échelle annuelle dans les situations où le drainage reste faible.

6. Le drainage profond ou latéral est également très difficile à mesurer directement, surtout en milieu sahélien où les gammes de mesures des tensiomètres et psychromètres et les difficultés de mise en place et de maintenance des appareils ne permettent pas d'appréhender avec précision des phénomènes fugaces. C'est pourquoi ce terme est souvent négligé dans l'établissement des bilans hydriques ; on a cependant estimé le drainage profond par les équations de Hénin qui proposent un calcul à partir des caractéristiques physiques et structurales des horizons de profondeur. On a ainsi vérifié la faiblesse du drainage profond, sauf en milieu sableux.

À partir de ces hypothèses, nous proposons une estimation du bilan hydrique annuel pour quatre types de sols et pour une année de référence moyenne où la pluviométrie mesurée à 1 m du sol est de 380 mm. Ces estimations ne doivent pas être considérées comme ayant une précision meilleure que 15 à 20 %, compte tenu des erreurs systématiques qu'entraînent les hypothèses préalables.

TABLEAU XXVI

Bilans hydriques annuels estimés pour différents types de sol

	P1m	Ps	R	I	D	ETR
Milieux sableux	380	498	0	498	66	432
Milieux argileux	380	505	138	367	3	364
Milieux sablo-argileux	380	475	80	395	19	376
Milieux à concrétions	380	475	92	383	6	377

## LA DYNAMIQUE ACTUELLE DES ÉTATS DE SURFACE

### LA NOTION D'ÉTAT DE SURFACE

Après avoir évoqué la redistribution des eaux d'infiltration dans les sols, il peut paraître surprenant de reconsidérer les modalités de ces infiltrations depuis la surface du sol. En fait, les taux de remplissage des " réservoirs " des différents types de sols dépendent, en partie, des débits de l'eau pouvant y parvenir donc de la conductivité hydraulique saturée des surfaces.

Depuis quelques années, des expériences de simulation de pluies, réalisées notamment sur les sols de la zone sèche, ont prouvé l'intérêt d'étudier attentivement les caractéristiques des surfaces dans la mesure où celles-ci contrôlent les flux d'infiltration dans la totalité du profil. L'analyse de nombreuses informations regroupant des descriptions de surfaces et les expérimentations réalisées sur ces surfaces ont permis de dresser une liste des organisations superficielles, ou " états de surface ", des zones sèches, d'expliquer leurs formations et leurs caractéristiques hydrodynamiques (CASNAVE et VALENTIN, 1989).

Le terme " état de surface " décrit l'organisation, à un instant donné, d'un volume renfermant : le couvert végétal, les matériaux posés sur le sol et les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques et anthropiques. L'exemple de la figure 13, extrait de l'ouvrage de CASNAVE et VALENTIN, montre une surface élémentaire résultant de la mise en culture et dont l'infiltrabilité globale dépend des caractéristiques de quatre associations de microhorizons (1 : croûte structurale, 2 : croûte d'érosion, 3 : croûte de ruissellement, 4 : croûte de décantation) juxtaposés sur cette surface. Leur étude nécessite des

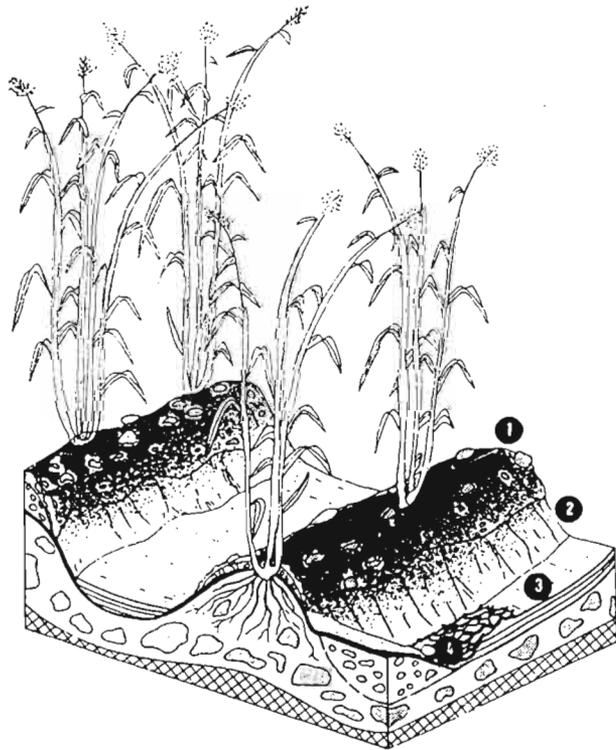


Figure 13 - Exemple d'association d'états de surface sur un billonnage (d'après CASNAVE et VALENTIN, 1989).

changements d'échelle pour décrire les organisations structurales de la micromorphoscopie à la macromorphoscopie ainsi que leurs distributions dans le paysage depuis la microtopographie jusqu'aux informations livrées par la télédétection. Leurs caractérisations hydrodynamiques font appel aux techniques infiltrométriques sous simulation de pluies, seule méthode permettant d'imiter les contraintes résultant des précipitations naturelles et d'en suivre les effets évolutifs sur les sols. Les durées d'existence, les modalités de transformations de ces organisations superficielles dépendent du rythme des saisons et des systèmes d'exploitation qu'elles supportent. Ce sont donc des " éléments marqueurs " de la dynamique des paysages particulièrement intéressants en zone sèche.

## IDENTIFICATION ET COMPORTEMENTS HYDRODYNAMIQUES DES PRINCIPAUX ÉTATS DE SURFACE

Les premiers travaux prenant en compte les caractéristiques hydrodynamiques des surfaces représentatives du bassin de la mare d'Oursi remontent à la première campagne de simulation de pluies de 1979 (COLLINET *et al.*, 1980). La formalisation de méthodes rigoureuses d'identifications et de caractérisations hydrodynamiques sous infiltrmètre à aspersion s'est progressivement dégagée des travaux de VALENTIN (1981 b, 1985, 1986), CHEVALLIER (1982, 1985 b), CASENAVE et VALENTIN (1989), au moins en ce qui concerne la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Dans cette zone, et particulièrement sur la mare d'Oursi, cette identification des états de surface a aussi bénéficié de l'apport des informations pédologiques et géomorphologiques antérieures de BOULET (1968, 1978), LEPRUN (1977), JOLY, DEWOLF et RIOU (1980).

Sur l'ensemble du bassin, on distingue une dizaine de situations représentatives considérées comme des " états de surface ". Parmi ceux-ci un état correspond à des affleurements cuirassés plus ou moins continus, quatre se rattachent à des épandages ou à des affleurements d'éléments grossiers, cinq sont des surfaces sur matériaux meubles à dominance sableuse ou à dominance argileuse, avec ou sans pellicule consolidée superficiellement et plus ou moins enherbées.

On ne retiendra ici qu'une caractérisation sur cinq situations représentatives en prenant notamment quelques exemples provenant de surfaces différenciées sur un glacis s'étendant à partir du massif de Kolel (OURSI 1 à 3, figure 14).

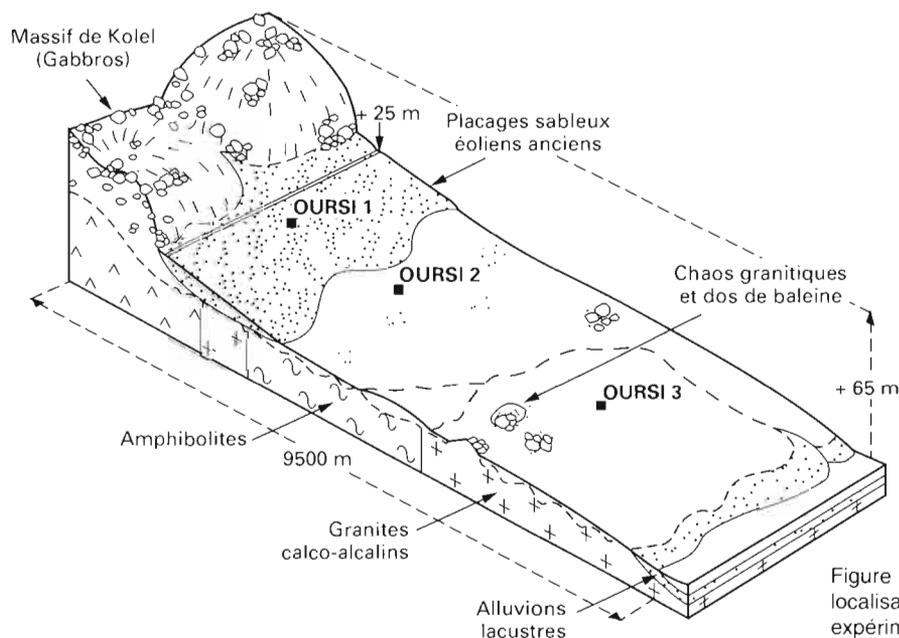


Figure 14 - Géoséquence d'Oursi : localisation des trois sites expérimentaux.

**Sables fins d'origine éolienne, non consolidés et minces lames de concentrations plasmiques, discontinues, en profondeur, couvert herbacé > 60 %, pentes de 3 à 5 %**

Ce type de surface se développe sur des dépôts sableux éoliens récents ou actuels fréquemment accumulés en piémont du versant nord des reliefs délimitant le bassin de la mare. Une coupe sur quelque 10 à 20 cm (figure 15 A) permet de distinguer un certain nombre de microhorizons (mh) différenciés sous l'effet d'une dynamique actuelle (mh 1 à 4 sur OURSI 1 A), selon des caractéristiques texturales, structurales et des modifications de la cohésion.

Sans entrer dans le détail, on peut y distinguer un ensemble de niveaux de sables fins meubles avec quelques interstratifications plus cohérentes (mh 1 et 3) et quelques minces lames plus argileuses que l'on désignera par les termes de " concentrations plasmiques " (dans le sol, le " plasma " argileux joue le rôle de ciment entre les grains du " squelette " qui est, quant à lui, souvent constitué de grains de quartz). Ces lames de concentrations plasmiques se comportent en " barrière hydraulique " contrôlant l'infiltrabilité du sol dès sa surface et ce de façon plus ou moins efficace selon leur consolidation, leur épaisseur, leur continuité.

La formation de ces lames de concentrations plasmiques met en jeu un ensemble de processus de dislocation du fond matriciel (association plasma + squelette) sous l'effet de l'énergie des pluies, de migration et de regroupement du plasma argileux au-dessus d'un niveau où le dégazage du sol est momentanément contrarié par la saturation hydrique sus-jacente. Ces processus s'articulent très étroitement avec les différentes phases caractéristiques de formation des ruissellements, la concentration finale se produisant au moment du ressuyage rapide du sol à l'issue de l'averse. La complexité apparente de l'enchaînement de ces processus a pu être étudiée en faisant coïncider les prises d'échantillons de surface de sol avec les différentes phases de ruissellement. À partir de ces échantillons on obtient finalement des lames minces translucides permettant toutes observations et interprétations sous microscopie optique.

Ce premier type de surface est très perméable en début de saison des pluies, l'infiltrabilité tend ensuite à diminuer au fur et à mesure que s'édifie(nt) la (ou les) concentration(s) plasmique(s). Ce colmatage superficiel n'est jamais très important car une végétation herbacée se développe, dès le début de la saison des pluies, à partir des graines piégées dans les sables meubles et qui germent grâce à des réserves hydriques suffisantes. Les processus de mobilisation, migration, concentration des argiles sont ainsi contrariés et la lame plasmique s'interrompt à l'aplomb des touffes d'herbe qui constituent autant de drains préférentiels pour les eaux d'infiltration.

Les relations s'établissant entre les caractéristiques morphologiques et les comportements hydrodynamiques sont résumées sur le tableau XXVII où l'on a regroupé les données provenant de différents essais réalisés sur des surfaces équivalentes. On y a aussi fait figurer les valeurs médianes et les limites de variation des données synthétiques de CASENAVE et VALENTIN (1989).

On constate une diminution sensible du coefficient d'infiltration ( $K_i$  %) entre l'état sec et l'état humide. Cette différence importante traduit deux choses :

- d'abord, un colmatage des surfaces lié au cumul des énergies des pluies ;
- ensuite, comme ce colmatage n'est que partiel, un remplissage des " réservoirs " profonds du sol, donc une diminution du déficit de saturation du sol.

Figure 15 - Organisations superficielles sur le site OURSI 1,  
A : sables éoliens meubles,  
B : pellicule plasmique.

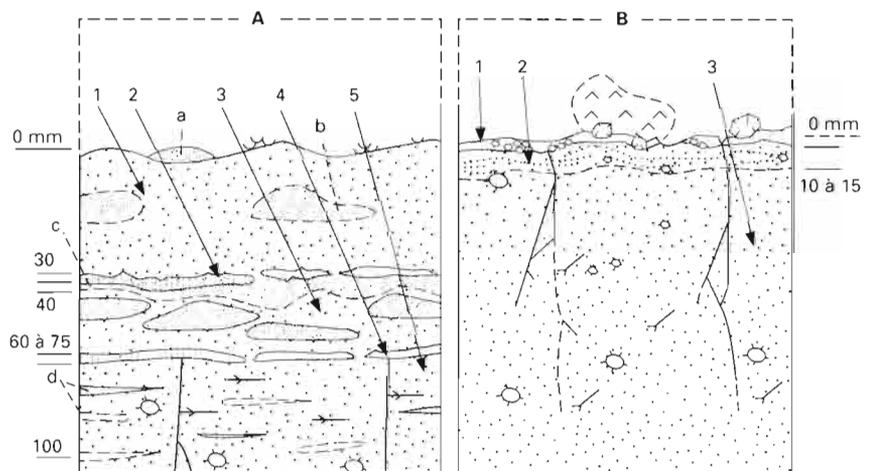


TABLEAU XXVII

Comportements hydrodynamiques des principaux états de surface du bassin versant de la mare d'Oursi

1 ÉTATS DE SURFACES	2 RÉFÉR.	3 RUISELLEMENT		4 INFILTRATION		5 INT. LIMITE		6 P. IMBIBITION	
		Lr = aPu + b		Ki (%)		Ii (mm.h <sup>-1</sup> )		Pi (mm)	
		a	b	sec	hum.	sec	hum.	sec	hum.
(a) Sables fins éoliens, quelques lames plasmiques discont., profondes	AX * L5 ** OUS1*** DES****	0,4 0,4 0,4 0,3	- 6 -15 -13 - 8	85 - 80/90 80/90	44 50 35/75 51/79	45 37 29 -	17 19 18 10/20	13 - 15 20/30	4 - 4 10/20
(b) Pellicules plasmiques consolidées, en surface	AZ * L1 ** ERO****	0,9 0,8 0,9	- 9 - 1 - 9	47 - 15/30	24 21 13/22	22 - -	4 3 0/2	3 - 2/6	2 - 0/5
(c) Lames plasmiques de décantation ou fusion, sols vertiques à argiles gonflantes	OUS2*** M2.3 ** DEC****	0,8 0,8 0,8	- 5 -23 - 12	25/35 - 35/55	13/20 6 20/35	2 12 -	2 10 0/2	8 - 4/10	1 - 4/7
(c) <i>id.</i> , lame de dessiccation, sols vertiques à argiles gonflantes	DX,DZ *	0,9	- 11	50/70	3/7	15/20	0	8/10	3/6
(d) Dépôts colluviaux sableux et pellicules plasmiques sur arènes granitiques	OUS3*** N1 **	0,8 0,8	- 4 - 8	16/34 -	12/16 10	1 -	4 4	6 -	1 -
(e) 30 % épandages gravillons ferrugin., non inclus dans la pellicule	BY,BZ *	0,9	- 8	15/22	10/14	21	6	4	3
(e) 50 % épandages graviers de quartz, inclus dans la pellicule	CY *	0,9	- 7	20	6	13	0	4	3

1 - États de surfaces : caractérisation synthétique des organisations superficielles ; lettres (a) à (e) : référence au texte.

2 - Références : désignation des sites expérimentaux pris en exemple. Travaux de \* CHEVALLIER (1982,1985 b), \*\* VALENTIN (1979, 1981 a), \*\*\* COLLINET *et al.* (1980), COLLINET (1988), \*\*\*\* CASNAVE, VALENTIN (1989).

3.- Ruissellement : a et b = pente et ordonnée à l'origine de la droite de régression dans l'équation de la lame ruisselée. Lr = aPu + b, en mm.

4 - Infiltration : Ki = coefficient d'infiltration sur sols secs et humides, = somme des lames infiltrées / somme des hauteurs de pluies, en %.

5 - Intensité limite : Ii = intensité limite de la pluie provoquant les premiers ruissellements, en mm.h<sup>-1</sup>, (obtenue graphiquement par intersection de la première bissectrice et de la droite Fn (I)).

6 - Pluie d'imbibition : Pi = quantité d'eau infiltrée avant le début du ruissellement, en mm, sur sols secs et humides.

La hauteur de la lame infiltrée est elle-même le résultat de la conjonction de deux phénomènes :

- pendant une période assez longue (par rapport à ce que l'on constatera sur les autres surfaces), l'intensité de l'averse reste inférieure à la conductivité hydraulique du sol, une certaine hauteur de pluies préliminaire ( $P_i$  mm) s'infiltré totalement avant l'apparition du ruissellement ;
- les intensités limites de la pluie, à partir desquelles apparaissent ces ruissellements, restent relativement élevées, même lorsque le sol est humide.

#### **Pellicules plasmiques consolidées, continues, superficielles, sur sables fins d'origine éolienne, couvert herbacé < 5 %, pentes de 3 à 5 %**

Ce type de surface dérive du type précédent par ablation du (ou des) microhorizon(s) de sables meubles superficiels, cette ablation pouvant être due soit à la déflation éolienne, soit à l'érosion hydrique, soit à l'action conjuguée de ces deux processus se succédant dans le temps. Ces surfaces se juxtaposent donc aux précédentes. Elles sont souvent très lissées, leur rugosité est généralement insuffisante pour que des graines puissent s'y fixer. Elles constituent ainsi des étendues dénudées.

Elles résultent de la mise en affleurement du microhorizon de concentration plasmique décrit précédemment. Bien que très fin, ce microhorizon peut se consolider par développement de différents processus :

- par ultradessiccation d'autant plus intense que ces surfaces, de couleur sombre, réfléchissent peu les radiations ;
- par précipitation des sels minéraux concentrés en surface par l'évaporation ;
- dans certains cas cette consolidation est complétée par le développement d'algues et de filaments mycéliens ;
- enfin, en saison humide la battance des pluies accentue cette cohésion.

La figure 15 B représente une coupe d'état de surface sur le site OURSI 1, son profil très simplifié ne nécessite pas de commentaires particuliers.

Il s'agit de surfaces peu à non perméables où l'infiltrabilité ne peut être restaurée que par des interruptions naturelles ou artificielles de la pellicule superficielle (abrasion en plaques par le vent de sable, piétinement du bétail par exemple). Ces surfaces ruissellent dès les premières averses comme le prouvent les très faibles hauteurs de pluies d'imbibition et des intensités limites très basses quelles que soient les humectations antérieures.

#### **Épaisses lames plasmiques superficielles des systèmes de fusion, de décantation, sur sols à argiles gonflantes**

Ce type de surface est strictement lié aux sols à argiles gonflantes se formant eux-mêmes soit sur des roches riches en bases calco-alcalines (exemple du site OURSI 2), soit en des sites topographiques collectant des eaux elles-mêmes riches en bases (certaines couvertures pédologiques de la périphérie de la mare). Les argiles gonflantes désignent des argiles minéralogiques appartenant à la famille des smectites (montmorillonite). Celles-ci possèdent la propriété d'adsorber beaucoup d'eau entre leurs feuillets, donc d'augmenter leur volume apparent en saison humide. En saison sèche, elles se rétractent par dessiccation ce qui détermine une structuration du sol en prismes, cubes, polyèdres, ou larges lames vers la surface. Ces unités structurales sont séparées par des vides importants plus ou moins connectés avec un réseau de fissures verticales, larges de plusieurs centimètres, très profondes (70 à 150 cm), débouchant en surface et y constituant un maillage polygonal de fentes ouvertes en saison sèche, refermées en saison humide.

Le comportement hydrodynamique de ces sols, et de ces surfaces, est donc lié à ce type particulier d'argile mais aussi à la nature des cations qui les saturent. Si le calcium prédomine, les unités structurales sont plus fines et résistent partiellement au processus de fusion lors des sursaturations hydriques de saison des pluies. Si c'est le magnésium qui prédomine, les structures de saison sèche deviennent très grossières à massives, en saison humide le sol " fond " littéralement sur une profondeur de 5 à 8 cm.

L'évolution de ces surfaces est ainsi liée aux conditions d'humectation (hauteurs et répartition des pluies dans l'année) et aux conséquences de ces humectations sur des argiles particulières. Il est d'ailleurs plus judicieux de parler de système d'états de surface plutôt que d'une seule surface élémentaire. La figure 16 schématise cette dynamique des états de surface : le micromodelé AB en buttes (A) et en cuvettes (B) représente une situation de saison des pluies moyenne. L'aplanissement généralisé (C) représente la situation au même endroit pour une année exceptionnellement humide.

*Sous-système de fusion-dessiccation (A)*

Les surfaces exondées (buttes A de la figure 16) correspondent aux zones contaminées par les sables éoliens plus ou moins longuement fixés par un couvert herbeux qui s'est développé à partir de graines piégées dans les fissures du sol ou dans les copeaux de dessiccation de la surface (figure 17). Les premiers microhorizons sont contaminés par les apports sableux éoliens (mh 2 et 3). En profondeur, la texture devient de plus en plus argilo-limoneuse. La structure lamellaire superficielle (mh 2, 3 et 4) traduit cette interstratification de matériaux de textures différentes, on passe ensuite à une structure cubique (mh 5), puis polyédrique à prismatique (mh 6). Cette différenciation structurale et les modalités particulières de l'enracinement (racines engagées dans l'agrégat ou plaquées sur l'agrégat) traduisent la profondeur atteinte annuellement par la sursaturation hydrique amenant la fonte des agrégats, celle-ci atteint par exemple - 75 mm sur la coupe de la figure 17.

Le comportement hydrodynamique de ce système est illustré par les données du tableau XXVII. Il convient cependant de distinguer deux cas de figure :

- dans les zones non fissurées, la sursaturation hydrique superficielle est générale (symbole LIQ de la figure 16), l'infiltration est faible à nulle ;
- en présence d'un réseau de fentes la sursaturation hydrique est moins générale (DES), le régime d'infiltration se dédouble : l'infiltration est moyenne avant la fermeture des fentes, très faible à nulle ensuite ; ceci explique les fortes différences des coefficients d'infiltration (Ki) selon les sites présentés sur le tableau XXVII.

*Sous-système de décantation (B)*

La partie submersible recueille les éléments détachés et transportés depuis les zones en relief (A) ; il s'y produit une interstratification de lames argileuses et de lames limono-sableuses (DEC) à travers lesquelles l'infiltration est très faible à nulle.

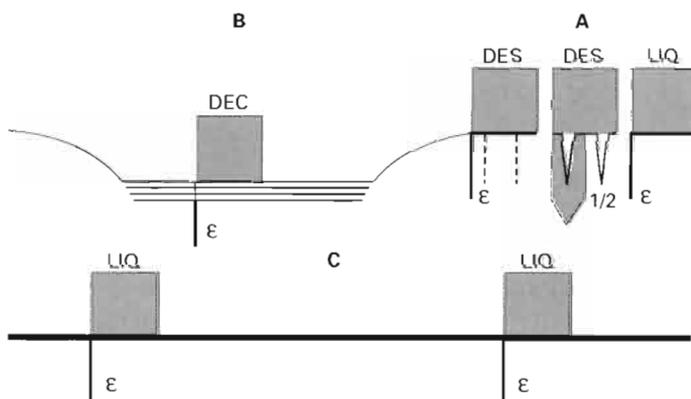


Figure 16 - Effet des concentrations plasmiques superficielles des sols à argiles gonflantes sur l'infiltration.

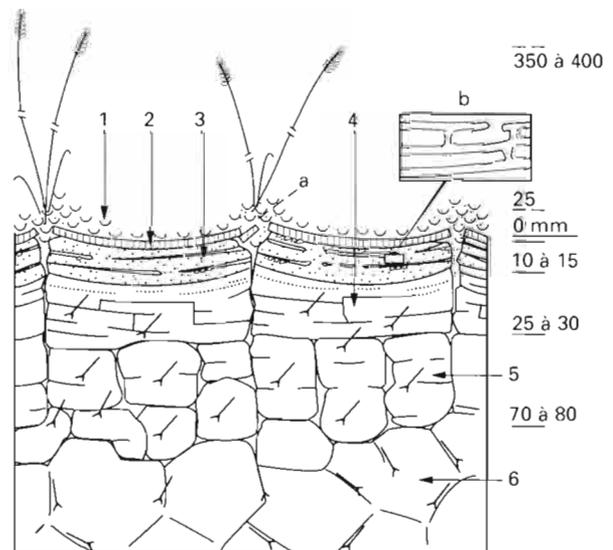


Figure 17 - Organisations superficielles sur des sols à argiles gonflantes (site OURSI 2).

### Sous-système de liquéfaction généralisée (C)

En saison très pluvieuse, la partie submersible constitue la quasi-totalité de la surface qui s'est aplani. La liquéfaction par sursaturation hydrique est générale (LIQ) jusqu'à environ - 5 cm ; l'engorgement sans perte de rigidité se produit de - 5 à - 45 cm ; en dessous, le sol reste frais à sec (site OURSI 2 par exemple). L'infiltration y est évidemment très faible à nulle.

### Dépôts colluviaux à interstratifications fines et grossières, et pellicules plasmiques consolidées, continues, superficielles, sur arènes granitiques

La figure 18 représente une coupe de cette surface composite caractéristique des glacis sur les altérations aréniformes et hydromorphes des granites calco-alcalins à gros grains.

D'épais dépôts sableux (parfois 30 cm), enherbés y alternent avec des surfaces dénudées à pellicule plasmique superficielle consolidée. Il s'agit de colluvions mobilisées, transportées, déposées par les eaux de ruissellement. La distribution des deux types de surface dépend de la force abrasive et de la compétence du courant, donc de l'épaisseur et de la vitesse de la lame ruisselante.

Dans les buttes sableuses (schéma A) alternent des lits graveleux et sableux épais (mh 2 et 5) et des lames de concentration plasmique formées *in situ* (mh 4 et 6) selon un enchaînement de processus déjà évoqué précédemment.

Les pellicules plasmiques superficielles (schéma B) proviennent de la mise en affleurement de celles formées dans les buttes sableuses, elles sont généralement plus épaisses que les lames formées dans les sables éoliens car les horizons dont elles proviennent sont nettement plus argileux.

Ces surfaces composites sont imperméables (tableau XXVII), cependant, à l'échelle du glacis, il faut tenir compte des drainages préférentiels dans les altérations ceinturant les affleurements chaotiques de granite fréquents sur cette partie de glacis.

### Épandages d'éléments grossiers

Ces surfaces présentent des accumulations superficielles d'éléments grossiers de différentes granulométries provenant de la désagrégation d'affleurements rocheux ou de carapaces et cuirasses de plateaux. Elles sont donc plus fréquentes en piémont de certains reliefs.

Ces épandages modifient très sensiblement la conductivité hydraulique des sols, mais il convient de distinguer les deux situations représentées sur la figure 19 :

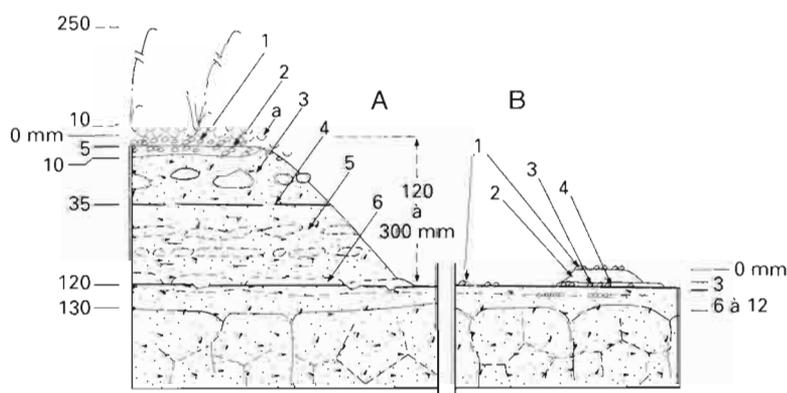


Figure 18 - Organisations superficielles dans les zones à colluvionnement (site OURSI 3). A : colluvions sableux et graveleux, B : pellicule plasmique consolidée.

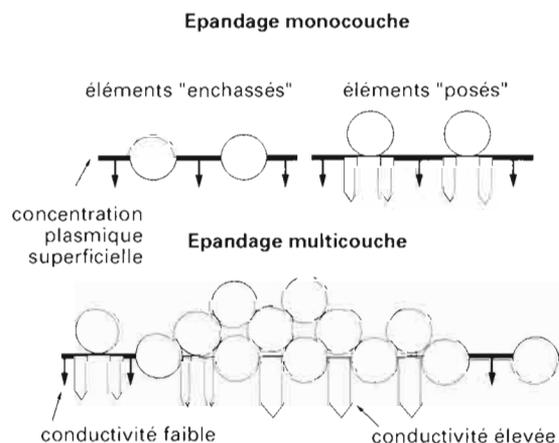


Figure 19 - Rôle des épandages d'éléments grossiers sur l'infiltrabilité des surfaces.

- éléments “ enchassés ” dans une surface à pellicule plasmique consolidée ;
- éléments posés sur une surface de même nature.

Dans le premier cas, la conductivité hydraulique de la surface est faible, elle dépend en effet d'une part du taux de recouvrement en éléments grossiers non poreux, d'autre part de l'infiltrabilité des surfaces à pellicule plasmique.

Dans le second cas, ces éléments, posés sur le sol, ménagent à leur aplomb des porosités ouvertes interrompant le processus de constitution et de conservation des lames plasmiques, ceci par interception de l'énergie cinétique des pluies.

Dans les zones sahéliennes, ces épandages sont essentiellement “ monocouches ” car les concentrations proviennent surtout d'apports latéraux. Dans les zones soudaniennes ces épandages sont plus fréquemment “ multicouches ” car ils se constituent souvent par érosion sélective des éléments fins d'horizons gravillonnaires épais arrivant en affleurement. Les surfaces gravillonnaires sahéliennes seront ainsi assez souvent moins perméables que les surfaces gravillonnaires soudaniennes.

## POTENTIALITÉS ET CONTRAINTES DES SURFACES REPRÉSENTATIVES SUR LE PLAN DE L'ÉCONOMIE DE L'EAU

Le bassin versant de la mare d'Oursi draine à la fois des ensablements éoliens, des glacis granitiques, des massifs de roches basiques. Il présente une grande variété de sols allant des vertisols à texture lourde dans le sud-ouest à des sols sableux qui prédominent dans le nord-est. Compte tenu de cette variabilité et de la présence de la plus importante réserve d'eau de l'Oudalan, il possède des potentialités certaines que l'on peut résumer à travers le comportement des principales surfaces étudiées.

### LA CUVETTE DE LA MARE

Les sols y présentent deux pôles texturaux, leur utilisation est tributaire soit de l'eau libre de la mare, soit de sa nappe.

*Les sols hydromorphes à argile gonflante* ont une très forte capacité de rétention en eau (160 mm sur les 50 premiers centimètres), mais cette eau est rapidement inutilisable par les plantes car le point de flétrissement est atteint alors que 80 à 90 mm sont encore stockés dans cette tranche de 50 cm. Leur travail est impossible en deçà et au-delà d'une étroite fourchette d'humectation. Ils pourraient supporter des cultures de décrue à condition que leur période de submersion soit suffisante car, on l'a vu précédemment, ils ne peuvent guère s'humecter que par une lente imbibition. Cette augmentation de leurs réserves d'eau utilisable est cependant seulement possible pour les sols les plus proches de la mare.

*Les sols sableux à nappe* de la mare ont une faible capacité de rétention (50 mm sur les 50 premiers centimètres), une gamme d'eau utilisable des plus étroites (30 mm sur ces 50 premiers centimètres) et, surtout, ces réserves sont déportées vers les faibles humidités ce qui fait que ces sols se dessèchent très vite. Il faut aussi signaler des risques importants de rupture de lien capillaire interrompant les remontées hydriques du fait d'hétérogénéités texturales verticales. Ils permettraient des cultures maraîchères prolongées une partie de la saison sèche par arrosage à partir de puisards.

### LES GLACIS

L'utilisation des sols des glacis est, cette fois-ci, exclusivement tributaire des précipitations.

*Les sols des dépôts sableux éoliens* (type OURSI 1) sont occupés par une steppe herbeuse à dominante graminéenne et sont fréquemment cultivés en mil et sorgho. Ils se trouvent sur les itinéraires parcourus par le bétail et présentent une situation hydrique médiocre avec des réserves étroites (0,5 à 0,6 mm d'eau par centimètre de sol) sur toute l'épaisseur du profil. Ils drainent facilement, au moins sur 140 cm, car les infiltrations correctes (35 à 75 %) se redistribuent dans un profil structuralement

et texturalement homogène. Cette homogénéité ne perturbe malheureusement pas non plus les remontées capillaires ni la dessiccation, aussi leur économie hydrique est-elle, plus que pour tout autre sol, pluvio-dépendante.

Le développement de leur couvert végétal naturel dépend du piégeage des graines sur des supports plus ou moins rugueux, il est tributaire aussi de la régularité des premières averses de mai suffisantes ou insuffisantes pour permettre les premières germinations. En ce qui concerne les semis, leur réussite va dépendre de trois choses :

- comme précédemment d'une régularité et d'une hauteur d'averses suffisantes ;
- de la formation de pellicules superficielles plus ou moins cohérentes selon les intensités des premières pluies, celles-ci constituant un obstacle mécanique à la levée des graines germées pour peu que la densité de ces graines par poquet soit insuffisante ;
- un tassement correct entre la terre et la graine, condition réalisée par des trains d'averses suffisamment rapprochés.

Dans des conditions climatiques optimales, ces sols, mis en défens, pourraient produire jusqu'à 2 t.ha<sup>-1</sup> de biomasse (GROUZIS, 1979).

*Les sols bruns subarides vertiques à pellicule limono-argileuse de liquéfaction, décantation et dessiccation* (type OURSI 3) ont une microporosité importante et homogène jusqu'aux altérites (1,0 à 1,2 mm d'eau par centimètre de sol). Malheureusement environ 90 % de la porosité totale du sol est liée à cette microporosité ; ce sont donc des sols qui vont s'engorger mais qui ne draineront pas. Comme dans le cas des sols argileux vertiques de la cuvette, l'eau stockée est rapidement inutilisable par les plantes. Ces caractéristiques hydriques sont améliorées, de façon hétérogène sur le glacis, par des contaminations sableuses dues à la déflation éolienne ou aux apports liés aux ruissellements. Il est significatif de constater (GROUZIS, 1979) que ce sont ces couvertures pédologiques et les surfaces associées qui fournissent les biomasses les plus faibles (< 1 t.ha<sup>-1</sup>). Toute maintenance de productivité d'espèces fourragères ne peut être espérée que par une mise en défens.

*Les sols ferrugineux tropicaux à buttes sableuses de colluvionnement et pellicules superficielles* (type OURSI 3) présentent de fortes variations verticales de macroporosité qui répercutent, en fait, les superpositions d'horizons lessivés et d'accumulations argileuses (voir p. 72). Leurs réserves hydriques utiles sont intéressantes jusqu'à 1 m avec 1,2 mm d'eau par centimètre de sol mais leur redistribution se heurte au problème de la rupture du lien capillaire fréquent dans les sols à textures aussi contrastées. Heureusement, comme on l'a évoqué dans le paragraphe précédent, certaines zones à drainage préférentiel autour des affleurements rocheux granitiques sont susceptibles d'alimenter des nappes superficielles et ce, indépendamment des surfaces fortement colmatées.

Ces sols pourraient convenir pour des essais de régénération de la strate arbustive naturelle à condition d'y mener une prospection détaillée pour pouvoir mieux repérer la présence et la profondeur de ces aquifères. Cette régénération introduirait une rugosité suffisante pour inverser une proportion actuellement défavorable entre les surfaces pelliculaires dénudées plus ou moins stériles et les buttes sableuses enherbées à meilleures réserves hydriques les années à répartition correcte des pluies. Comme dans le cas précédent, cette restauration passe par une mise en défens des zones favorables jusqu'à l'obtention d'une brousse fermée qui reconstitue son micromodelé propre, donc sa mosaïque d'impluviums et de surfaces drainantes.

# LA PRODUCTION VÉGÉTALE

## MÉTHODOLOGIE OPÉRATIONNELLE

Au cours de cette étude certains aspects méthodologiques ont fait l'objet d'observations spécifiques soit pour éprouver de nouvelles techniques (radiométrie) soit pour évaluer la représentativité des mesures effectuées, aspect faisant souvent défaut dans de nombreux travaux. Sans entrer dans le détail des nombreuses publications relatives à ce sujet (LEVANG, 1978 ; LEGRAND, 1979 ; LEVANG et GROUZIS, 1980 ; GROUZIS et SICOT, 1980 ; GROUZIS et METHY, 1983), synthétisées par GROUZIS (1988), il nous semble utile de rappeler quelques éléments qui sont à la base de ces recherches, notamment ceux relatifs à l'échantillonnage, à la représentativité et à la précision des mesures.

## LES NIVEAUX D'ÉTUDES

Trois niveaux de perception ont été retenus pour exprimer la diversité aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ce sont les niveaux de la station, du secteur et de la région écologiques.

- La station est " une surface où les conditions écologiques sont homogènes ; elle est caractérisée par une végétation uniforme " (GODRON *et al.*, 1983). C'est à ce niveau que les relations milieu - végétation sont les plus significatives et les actions de l'homme sur le milieu les mieux perçues. Six unités de végétation représentant plus de 50 % de la superficie du territoire étudié ont été retenues. Le choix de ces six unités (Ams, Cep, Ase, Sgr, Sgl, Spt selon la terminologie de TOUTAIN, 1976, tableau XVII) a été principalement dicté par l'importance de l'unité au niveau du secteur d'étude, la physiologie et la composition floristique de la végétation, les conditions liées au substrat éclaphique (géo-

morphologie, géologie, pédologie) et des critères agronomiques liés au niveau de production et à l'utilisation pastorale et/ou agricole.

- Au niveau du secteur écologique (ou du bassin versant) les variables écologiques prépondérantes sont la topographie et les types lithologiques (LONG, 1974). Ce niveau correspond en outre à la meilleure définition de l'utilisation de l'espace par l'homme (pratiques agricoles, pastorales). Les observations effectuées ont pour but d'établir un bilan annuel de la production et de vérifier certaines relations établies au niveau de la station pour une éventuelle extrapolation à l'échelle régionale. L'échantillonnage est constitué suivant les années de 35 à 42 sites de mesures établis dans les faciès de végétation définis par TOUTAIN (1976).
- La région est constituée de " grandes étendues de pays sur lesquelles règne le même climat, qu'occupe une même végétation " (MANIL, 1963). Cette échelle est nécessaire pour appréhender les variations pluriannuelles des paramètres, climatiques en particulier.

## RECOUVREMENT ET CONTRIBUTION SPÉCIFIQUE

La détermination de la fréquence des espèces est faite selon la méthode des points quadrats. Les variations de la précision en fonction de l'effectif de l'échantillon (espacement des observations : 20 cm) portées sur la figure 20 A montrent qu'elles se stabilisent autour de 10 % pour un effectif de 250 points.

## LA PHYTOMASSE HERBACÉE

La production primaire est une donnée de base en écologie car elle permet non seulement de comprendre le fonctionnement d'un écosystème (LAUENROTH et WHITMAN, 1977) mais encore de faciliter la mise en valeur et la gestion des systèmes écologiques sahéliens, dont la végétation spontanée constitue l'alimentation de base des troupeaux.

L'évaluation de la production est souvent conduite avec une méthodologie inappropriée en raison de l'hétérogénéité des milieux et de la grande variabilité de la production qui en résulte. L'estimation est loin d'être représentative de l'unité étudiée car elle est souvent réalisée à partir d'un échantillon unique de 4 à 25 m<sup>2</sup>. C'est ce qui nous a conduits à mettre au point une méthodologie d'évaluation de la phytomasse herbacée au niveau du bassin versant en déterminant par la technique de la récolte intégrale, la surface de prélèvement, et la taille de l'échantillon (LEVANG, 1978 ; LEVANG et GROUZIS, 1980). Trente à quarante répétitions (n) ont été effectuées pour toutes les surfaces élémentaires de prélèvements (1, 3, 4, 8, 12 et 16 m<sup>2</sup>) dans trois unités de végétation (Ams, Spt, Sgr) caractérisées par différents niveaux d'hétérogénéité.

Les variations de la précision en fonction du nombre de répétitions pour des surfaces extrêmes des trois groupements sont reportées sur la figure 20 B.

Il apparaît très nettement que la surface de 1 m<sup>2</sup> est la plus intéressante car la plus économique.

De plus, comme l'augmentation de l'effectif de l'échantillon au-delà de 40 n'améliore que très peu la précision (figure 20 B), 30 à 40 prélèvements de 1 m<sup>2</sup> donneront une évaluation satisfaisante de la phytomasse à un coût de sondage réduit. Il faut cependant noter que la précision obtenue sera différente selon les milieux. Elle sera de l'ordre de 10 à 13 % pour les groupements dunaires et de bas-fonds, et de l'ordre de 20 % pour les glacis.

Trente à quarante prélèvements de 1 m<sup>2</sup> donneront donc une évaluation satisfaisante de la phytomasse à un coût de sondage réduit, à condition de les répartir suivant un transect dans le site, pour tenir compte de son hétérogénéité.

Afin d'estimer la phytomasse racinaire et sa distribution, une étude similaire (LEGRAND, 1979) a été effectuée à l'aide de la méthode des sondages verticaux (BOHM, 1979) dans les mêmes unités de végétation. Les principaux résultats (figure 20 C) mettent en évidence la nécessité d'observer 10 à 15 répétitions par horizon si l'on veut obtenir des précisions comparables à celles obtenues pour la phytomasse

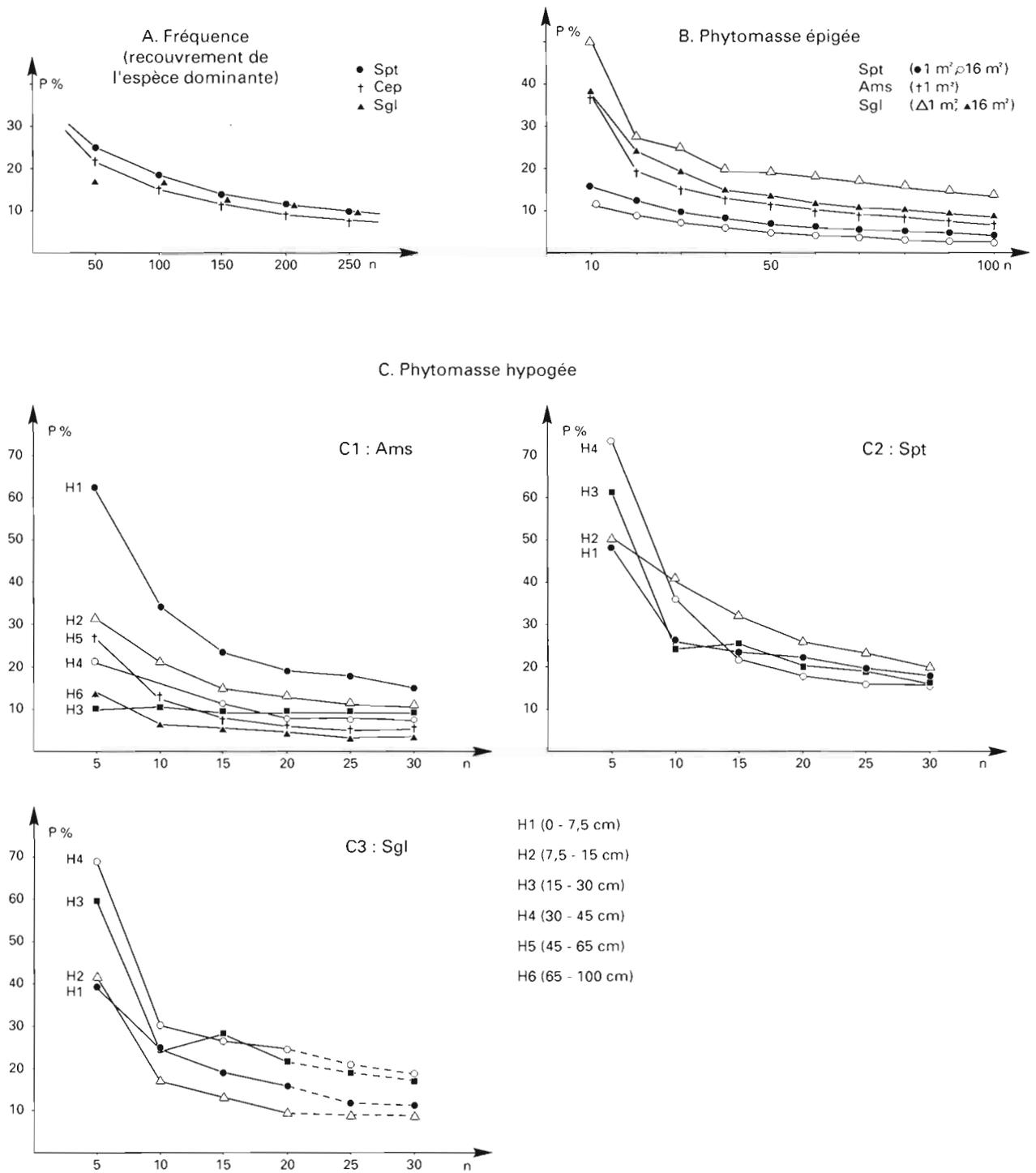


Figure 20 - Évolution de la précision (%) en fonction de l'effectif de l'échantillonnage (n).

épigée. Au-delà de 15 répétitions l'amélioration de la précision est faible. Il apparaît en outre que les précisions sont meilleures dans les horizons inférieurs, pour l'unité de végétation établie sur sols sableux (Ams).

L'estimation de la phytomasse par la technique de la récolte intégrale est utilisable avec succès en milieu sahélien, mais elle s'avère longue, onéreuse et destructive. Pour éviter ces inconvénients et en prévision de l'utilisation de l'imagerie satellitaire SPOT dans la régionalisation des observations, nous avons été amenés (GROUZIS et METHY, 1983) à définir les conditions d'utilisation d'un radiomètre pour l'estimation des phytomasses en milieu sahélien.

Tout en fixant les conditions d'utilisation (effet du type de temps, hauteur du soleil) d'un radiomètre (METHY 1977), les effets de la structure de la végétation et ceux du stade phénologique sur les paramètres d'étalonnage dans les steppes à épineux sahéliens ont été principalement recherchés.

Les résultats montrent que la méthode radiométrique est applicable à la végétation spontanée pluri-spécifique sahélienne à condition de satisfaire aux exigences suivantes :

- opérer par temps serein, quoique les limites dues aux variations de la lumière incidente puissent être levées, en utilisant les valeurs relatives à une cible référence (JENSEN 1980, TUCKER *et al.* 1980) ;
- normaliser les valeurs en fonction de la hauteur angulaire du disque solaire au-dessus de l'horizon.

Il est possible d'exprimer la phytomasse herbacée en fonction du rapport des signaux photoélectriques obtenus dans les domaines spectraux proche infrarouge-rouge par une relation linéaire. Les liaisons sont hautement significatives et l'on observe, au moment du maximum de phytomasse que les variations du rapport R expliquent en moyenne 70 % de la variabilité de la phytomasse herbacée. Les résultats montrent, par ailleurs, qu'il semble y avoir un effet de saturation du radiomètre à partir d'une phytomasse d'environ  $400_{MS} m^{-2}$  et qu'il est nécessaire d'étalonner pour les différents stades phénologiques.

Deux avantages essentiels peuvent être tirés de l'utilisation du radiomètre :

- la rapidité du procédé permet d'étendre les mesures sur de plus amples surfaces et d'accroître leur précision ;
- il constitue un précieux relais dans l'utilisation des images SPOT pour la détermination de la phytomasse et la régionalisation des observations (DEWISPELAERE *et al.* 1983).

## LA PHÉNOLOGIE DES LIQUEUX

La méthode définie par GROUZIS et SICOT (1980) essaie de réunir les conditions idéales exposées par FRANKIE *et al.* (1974) pour une étude phénologique, c'est-à-dire : station non perturbée, effectif élevé ( $n > 30$ ), observations sur plusieurs années. Elle a pour principal caractère de s'adresser à la population de l'espèce dans la station considérée pour tenir compte de la variabilité intrapopulation.

Le principe est de suivre les variations temporelles (fréquence décadaire ou mensuelle pendant la saison sèche) de la feuillaison, floraison et de la fructification (MOONEY et PARSONS, 1974) et de représenter graphiquement le spectre phénologique.

Ce dernier (figure 21 c) offre les mêmes caractéristiques que le phénogramme classique (figure 21 a) quant à l'apparition des phases et leur durée. L'intérêt de notre méthode réside par ailleurs :

- dans le fait que les observations sont quantifiées par la fréquence, ce qui permet en particulier de mettre en relation les observations phénologiques avec d'autres données quantitatives (eau du sol, précipitations...);
- elle donne une idée de l'amplitude des phénomènes ;
- elle permet de rendre compte de l'interpénétration des stades (ex. : inactivité  $V_0$  et feuillaison  $V$ ) ;
- elle permet de faire apparaître des irrégularités dans les courbes de fréquence des différentes phases (floraison dans l'exemple de la figure 21 c), ce qui permet de mesurer l'action de certains facteurs écologiques, tels que sécheresse ou prédateurs, sur la phénologie.

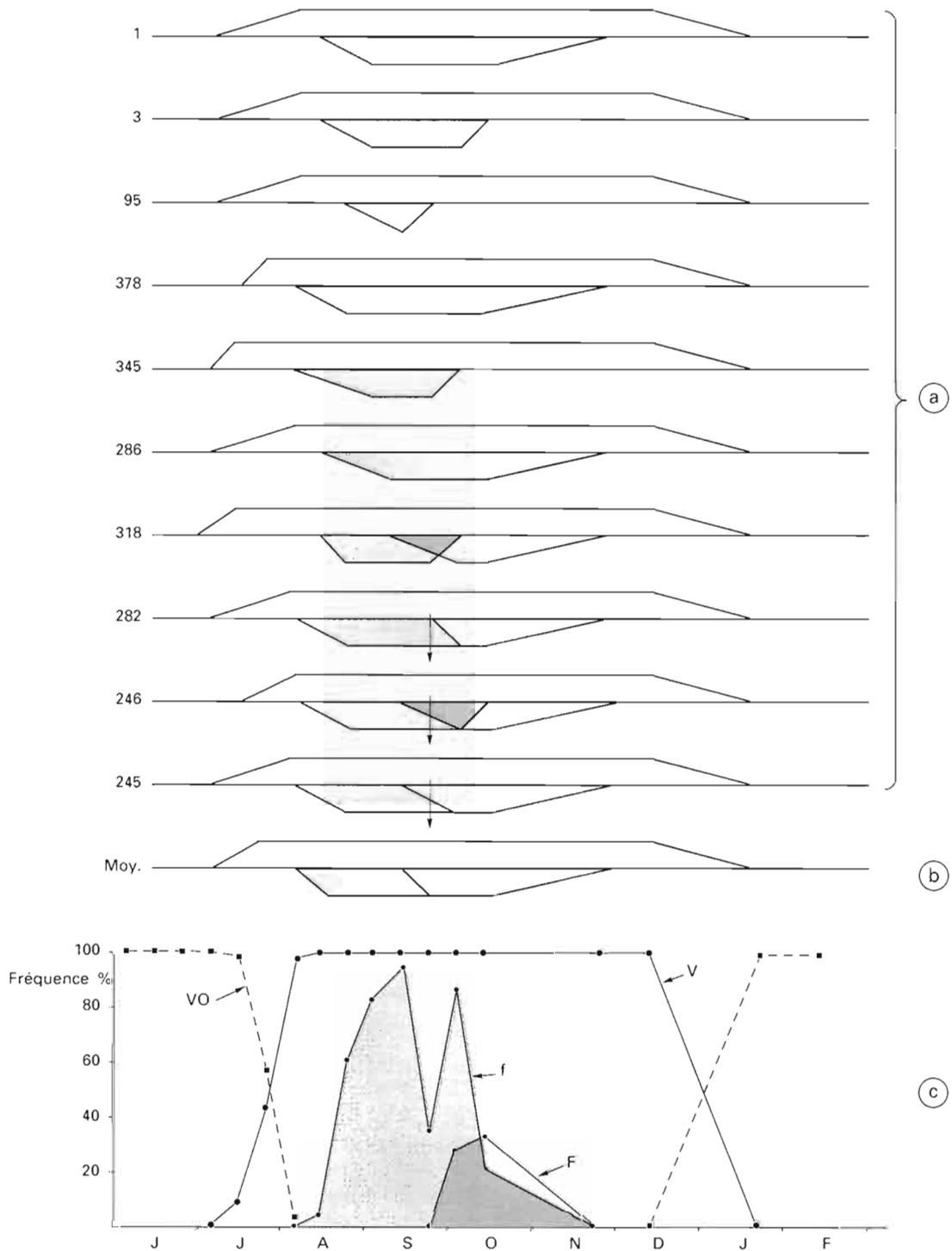


Figure 21 - *Acacia nilotica* var. *adansonii* (Guill et Perr) O. Ktze.

Phénogrammes de quelques individus (a), phénogramme moyen (b) et spectre phénologique de la population (c) au cours du cycle 1978. Sur le diagramme sont représentées les variations en fonction du temps, des fréquences de feuillaison V, de floraison f, de fructification F et de la phase sans feuilles Vo. La flèche des phénogrammes des individus 282, 246, 245 indique que le stade f1 a été observé.

# APPROCHE STATIONNELLE DE LA PRODUCTION VÉGÉTALE

## LA STRATE HERBACÉE

Six unités de végétation ont été retenues pour réunir le maximum de variabilité écologique. Ce sont Ams (Oursi), Cep (Kolel), Ase (Gountouré), Sgl (Kouni), Sgr (Bas-Kolel), Spt (Windé). Les principales caractéristiques pédologiques des sols de ces unités, établies par LEPRUN (1977) et SICOT (1978) sont données sur la figure 22 et le tableau XXVIII.

Dans chaque unité, une parcelle de un hectare est mise en défens pour permettre de suivre l'évolution naturelle de la végétation.

TABLEAU XXVIII  
Caractéristiques pédologiques des sols des stations étudiées  
Données extraites de LEPRUN (1977) et SICOT (1978)

Caractéristiques pédologiques	OURSIS Ams	KOLEL Cep	GOUNTOURÉ Ase	B.-KOLEL Sgr	KOUNI Sgl	WINDÉ Spt
Densité g.cm <sup>-3</sup>	1,6 - 1,7	1,5 - 1,6	1,5 - 2,2*	1,6 - 1,9	1,5 - 1,8	1,4 - 1,6
Porosité totale %	33,1 - 36,8	32 - 35,5	24,5 - 32,3	19,2 - 32,7	18,6 - 31,4	25,5 - 18,3
Instabilité struct.	0,5	0,3 - 0,5	3	5,4 - 5,6	4,9 - 8	4,4 - 4,7
Perméabilité cm.h <sup>-1</sup>	4,7 - 18	3,2 - 1,3	0,4 - 1,2	0,5 - 1,5	2,1 - 0,8	-
Humidité pondérale à : pF 2,5	4,5 - 1,6	2,9 - 9,6	7,2 - 16,7	21,6 - 9,4	18,3 - 31,4	-
pF 3	3,3 - 0,9	2,0 - 6,8	5,0 - 14,2	15,5 - 6,9	14,0 - 24,8	17,5 - 21,2
pF 4,2	2,9 - 0,5	1,7 - 4,4	2,7 - 10,2	11,1 - 3,8	4,4 - 16,4	11,0 - 13,9
pH eau 1/2,5	6,2 - 6,8	6,9 - 7,6	6,6 - 7,4	7,5 - 9,5	7,6 - 8,7	6,9 - 8,6
Bases échangeables						
S meq % sol	3,3 - 0,6	2,1 - 5,7	2,6 - 9,7	3,9 - 18,7	18,6 - 29,6	5,7 - 18,7
Cap. éch. tot.						
T meq % sol	4,3 - 1,4	2,3 - 4,7	4,3 - 9,3	4,4 - 18,2	12,8 - 30,3	13,9 - 18,8
Taux saturat. V %	33 - 76	80 - 100	60 - 100	88 - 100	100	38 - 100
Mat. org. tot. %	0,2 - 0,1	0,4 - 0,3	0,4	0,7 - 0,3		1,1
Carbone %	1,2 - 0,6	2,4 - 2	2,1	3,8 - 1,6		6,3
Mat. humique tot.						
C %	0,4 - 0,3	0,5 - 0,8	0,6	1,5 - 0,5		
Ac. hum. C%	0,2 - 0,1	0,3 - 0,4	0,4	1,3 - 0,3		
Ac.fulv. C%	0,24 - 0,2	0,2 - 0,4	0,18	0,21 - 0,23		
Taux humification %	31,9 - 35,9	19,9 - 40,5	28,4	38,7 - 29,6		
Azote %	0,14 - 0,04	0,26 - 0,20	0,14	0,24 - 0,1		0,58
C/N	8,9 - 16	9,1 - 10	14,9	15,9 - 10,1		10,9

\* Roche mère altérée

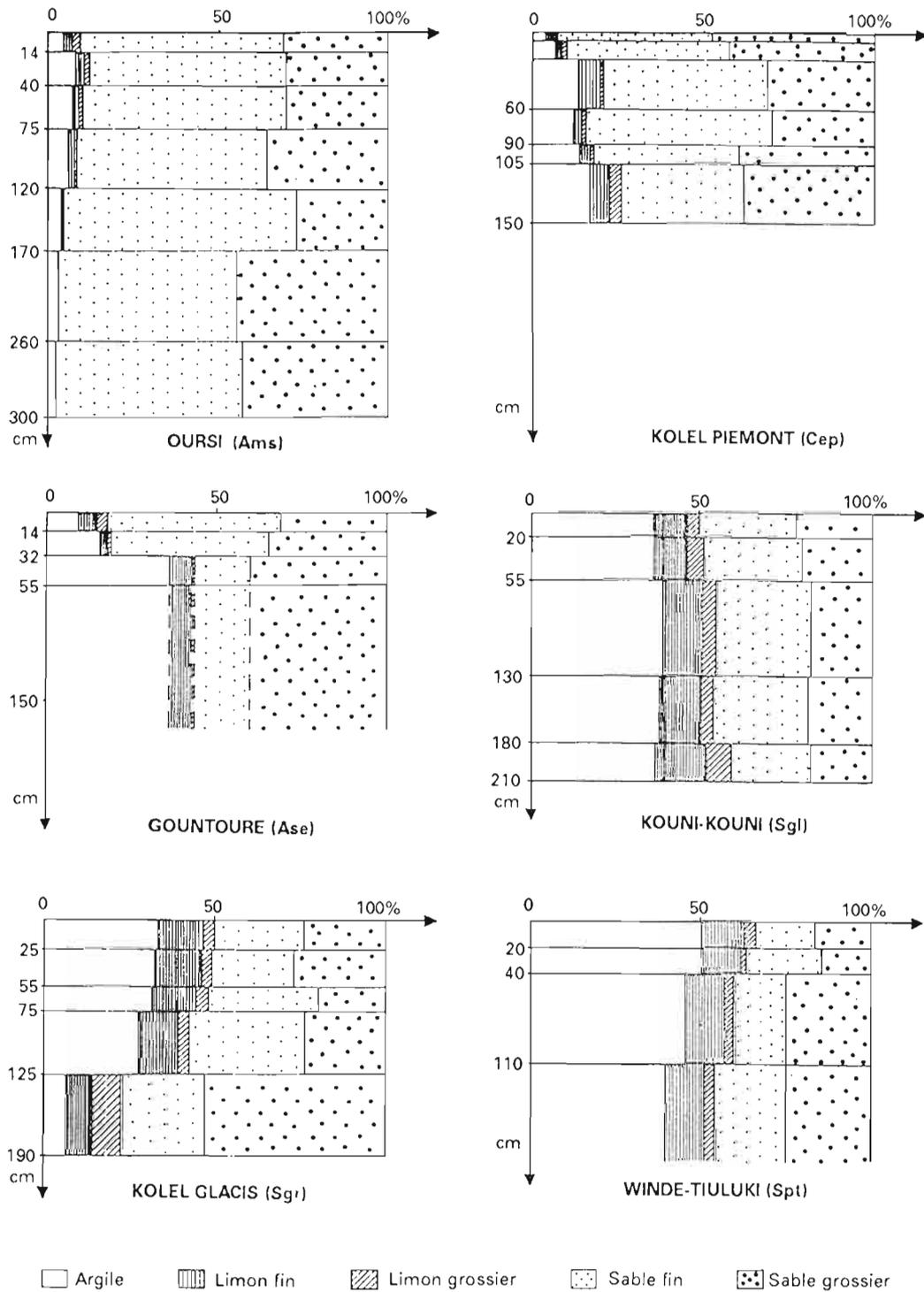


Figure 22 - Caractéristiques granulométriques des stations (extrait de SICOT, 1978).

## LES CYCLES ET LEUR VARIABILITÉ

À titre d'exemple, la figure 23 donne les variations saisonnières du poids de matière sèche des différents compartiments végétaux (biomasse, nécromasse, phytomasse) de la station protégée de Windé au cours du cycle 1980. Les courbes présentées corroborent les résultats obtenus par différents auteurs dont CORNET (1981 b) et HIERNAUX (1984). On distingue différentes phases :

— La première correspond à la phase d'établissement. Elle s'étale de la première pluie occasionnant une levée jusqu'à l'installation des " pluies régulières " (HIERNAUX, 1984) déterminant le début de la phase de croissance continue (CISSE, 1986) qui se situe généralement dans la première décade de juillet.

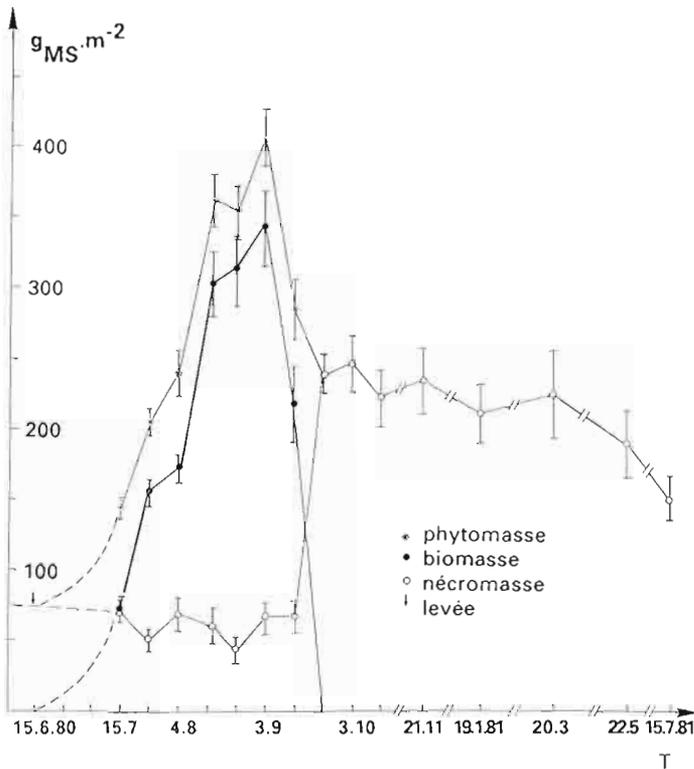
On note par ailleurs au cours de cette phase une dégradation de la nécromasse issue du cycle précédent.

— La seconde phase se déroule généralement du début du mois de juillet à la fin du mois d'août. C'est une période de croissance rapide, pratiquement linéaire et correspondant à l'élaboration active de la matière vivante, rendue possible par des conditions hydriques généralement favorables (CORNET, 1981 a). Elle est déterminante pour la production. On définit au cours de cette phase une productivité moyenne correspondant à l'accroissement de matière végétale par unité de surface et de temps :

$$p \text{ (g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1})} = \frac{1}{n} \sum_i^n (b_i - b_0) / (t_i - t_0)$$

et une vitesse moyenne de croissance relative. Celle-ci exprime la productivité par unité de matière végétale initiale :

$$\text{VRC (g}_{\text{MS}} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{j}^{-1})} = \frac{1}{n} \sum_i^n (b_i - b_0) / b_0(t_i - t_0)$$



Dans ces équations  $b_i$  et  $b_0$  représentent respectivement la biomasse au temps  $t_i$  et  $t_0$  et  $n$  le nombre d'intervalles considérés.

Notons que ces calculs portent sur la biomasse et non sur la phytomasse pour éviter d'y intégrer une fraction végétale issue du cycle antérieur.

— La troisième est une phase de stabilisation de la phytomasse, relativement courte pour les systèmes écologiques étudiés. Elle correspond à la maturation de la communauté végétale et donc à la phytomasse optimale observée. C'est cette valeur qui est utilisée pour exprimer à une certaine approximation près, la production annuelle.

Figure 23 - Variations saisonnières du poids de matière sèche des différents compartiments végétaux (Station protégée de Windé, 1980).

En considérant qu'à l'instant  $t$  la phytomasse est égale à la somme de la biomasse ( $b$ ) et de la nécromasse ( $g$ ) :

$$Ph = b + g$$

avec

$$IC = \pm t \left\langle \frac{s_b^2 + s_g^2}{n_b + n_g - 2} \right\rangle^{\frac{1}{2}}$$

la production annuelle des parcelles protégées s'exprime par :

$$Pr = Ph_{\max} - g_{\min}$$

car il faut tenir compte de la matière végétale qui subsiste d'une année sur l'autre. Pour les parcelles témoins où la nécromasse est inexistante en début de cycle en raison du pâturage, l'équivalent production est identifié à la phytomasse maximale. Cette méthode de la phytomasse maximale est considérée comme très acceptable pour les communautés d'annuelles à cycle court (SINGH *et al.*, 1975).

La maturation est suivie d'une courte phase de décroissance de la phytomasse. La biomasse chute et la nécromasse qui diminuait lentement auparavant (dégradation de la nécromasse du cycle antérieur

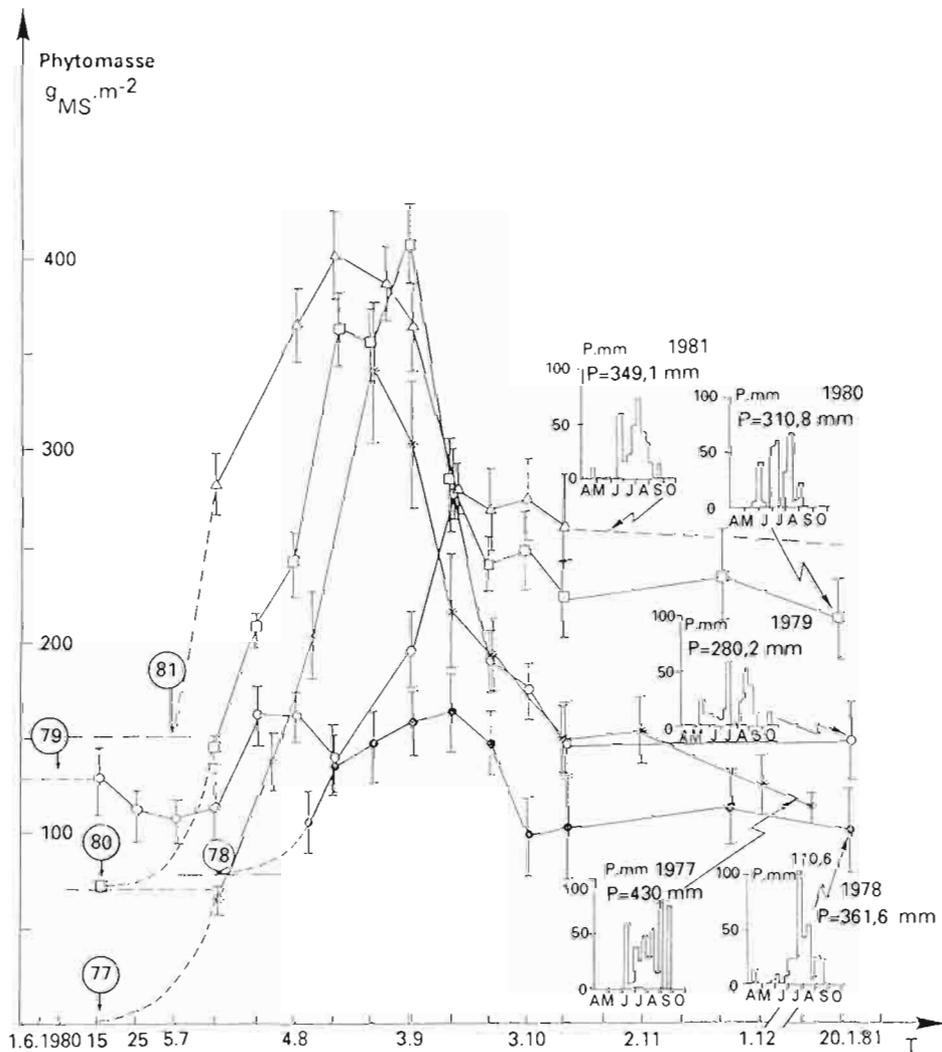


Figure 24 - Variations interannuelles des cycles de phytomasse en relation avec la distribution décadaire des pluies (station protégée de Windé).

compensée par l'apport de matière morte du cycle suivi) augmente brusquement. Cette phase correspond à la dispersion des diaspores, à la disparition des espèces précoces à cycle court et à la consommation primaire.

- La dernière phase s'étend du début du mois d'octobre jusqu'au mois de juin de l'année suivante. La décroissance de la phytomasse est lente tout au moins dans les stations protégées. Les pertes correspondent essentiellement à la consommation primaire (termites...), à l'enfouissement, à des transferts dus aux vents et au prélèvement par les animaux domestiques dans les zones pâturées.

Cette description peut être considérée comme représentative d'une situation moyenne. En fait on observe une grande variabilité des cycles de production, due notamment à la répartition des précipitations, à la nature du substrat édaphique et à l'hétérogénéité de la structure spatiale de la végétation.

La figure 24 montre, pour une même unité de végétation, l'importance du cycle pluviométrique sur le déroulement du cycle de phytomasse et la phénologie : date de levée variable suivant les années ; décalage du cycle en 1978 et effet dépressif de la submersion due aux fortes pluies de fin juillet-début août ; étroite relation entre distribution des pluies et cycle de phytomasse en 1979.

L'influence du substrat édaphique pour un même cycle pluviométrique (1980) est illustrée par les variations saisonnières de la biomasse des différentes unités de végétation (figure 25). Bien que les premières levées soient concentrées dans la deuxième décennie de juin (10 à 17-6) pour l'ensemble des unités étudiées, l'établissement est plus tardif dans les glacis de Bas-Kolel et de Kouni (21 et 27-7) que dans les autres biotopes (1<sup>re</sup> décennie de juillet). Des différences notables s'observent dans les niveaux de production et de productivité. Celles-ci s'expliquent non seulement par le niveau de la fertilité, plus élevé dans les dépressions (tableau XXVIII), mais encore par un bilan hydrique plus défavorable dans les glacis.

La variabilité du cycle de production peut aussi être liée à l'hétérogénéité de la structure spatiale de la végétation (GROUZIS, 1979), dont les différents éléments, c'est-à-dire les " unités floristiquement, écologiquement et physiologiquement différentes " (GOUNOT, 1969) ont parfois un comportement phénologique distinct en relation avec les microvariations des conditions écologiques auxquelles ils sont associés.

La figure 26 relative à la station du glacis de Bas-Kolel illustre parfaitement la complexité du cycle phénologique dans des unités à structure hétérogène. On peut y opposer les glacis aux microdépressions qui se comportent en impluvium (SICOT, 1983). L'accumulation d'eau y permet la mise en place plus rapide du peuplement végétal et le déroulement plus précoce du cycle phénologique. C'est ainsi que la levée a lieu le 21 mai dans les dépressions et seulement le 1<sup>er</sup> juillet dans les glacis. À la mi-juin des individus de *Panicum laetum*, *Aristida adscensionis* et *A. bordeacea* sont en fleurs et en fruits dans les zones favorables, alors que dans les glacis la levée n'est pas encore assurée. D'autres levées s'effectuent au cours du temps de sorte que le cycle de phytomasse résulte d'une superposition de plusieurs cohortes.

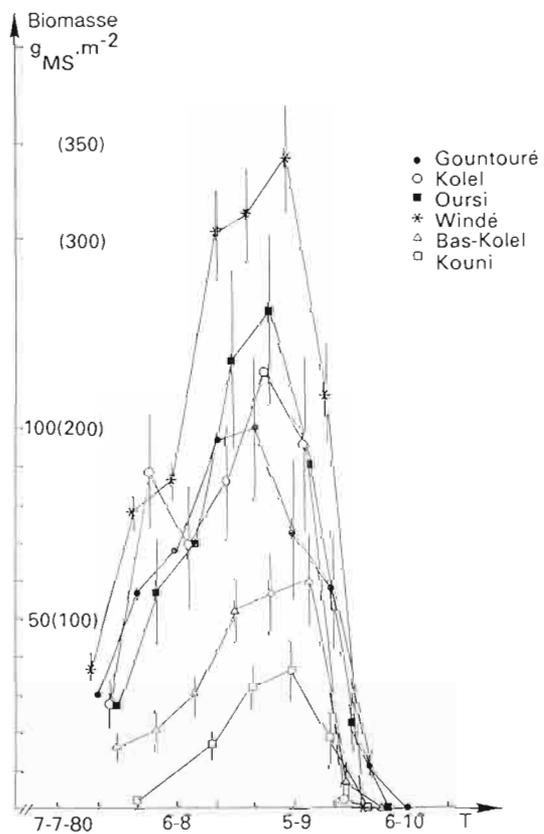


Figure 25 - Variations intersites des cycles de biomasse (stations protégées, 1980).

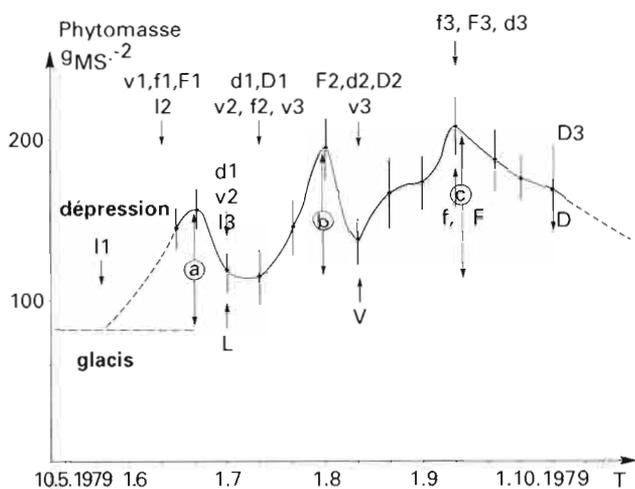


Figure 26 - Variation du cycle de production avec l'hétérogénéité de la structure de la végétation (station de Bas-Kolel, 1979).  
 I : levée ; v : stade végétatif ; f : stade de floraison ;  
 F : stade de fructification ; d : dispersion ;  
 D : dessèchement  
 1, 2, 3 : rang des cohortes successives

Ces différences de phénologie ne sont pas dues uniquement à des conditions édaphiques (disponibilité en eau et éléments nutritifs du sol), mais encore aux rapports entre photopériodisme et date de germination. En effet, PENNING DE VRIES et DJITEYE (1982) ont montré que certaines plantes sahéliennes sont sensibles à l'induction florale dès leurs premiers stades. Elles fleurissent plus vite quand elles lèvent en jour court c'est-à-dire à une date située avant ou après le solstice d'été.

Dans les unités constituées d'une mosaïque d'éléments, la phytomasse est évaluée à partir d'un échantillonnage stratifié. La phytomasse moyenne de l'unité de végétation est établie par la relation :

$$X_u = \sum_1^n ix_i$$

avec  $x_i$  la phytomasse moyenne et  $i$  la proportion de l'élément  $i$ .

## FRACTION ÉPIQÉE : VALEURS CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTES PHASES

### ÉTABLISSEMENT

La date et la durée moyennes de la phase d'installation sont consignées dans le tableau XXIX. L'établissement s'effectue dans la première décade de juillet et dure environ un mois pour les unités sur sables. Dans l'unité de bas-fond (Windé) la période séparant la première levée de la mise en place du peuplement est deux fois plus courte car la première levée est plus tardive dans ce milieu.

TABLEAU XXIX

Date et durée moyenne (1977-1981) de la phase d'installation

Unité	Site	Texture	Date moyenne d'installation	Durée moyenne d'installation (jours)
Ams	Oursi	sableuse	4 juillet	34
Cep	Kolel	sableuse	7 juillet	35
Ase	Gountouré	sableuse en surface	9 juillet	33
Sgr	Bas-Kolel	limono-argilo-sableuse	21 juillet	41
Sgl	Kouni	argile sableuse	28 juillet	36
Spt	Windé	argile sableuse	8 juillet	16

Dans les glacis la période d'installation est plus longue. Cette observation s'explique par l'hétérogénéité précédemment décrite. En effet des levées peuvent avoir lieu très tôt dans les microdépressions mais il faut attendre que la saison soit bien avancée (troisième décennie de juillet) et que la végétation soit établie sur les surfaces glacées pour admettre que celle-ci soit définitivement installée.

Les observations réalisées par GROUZIS (1988) sur la mise en place du peuplement herbacé permettent d'ajouter qu'une dizaine de millimètres de pluie (humidité pondérale de la surface du sol : 6 à 9 %) suffisent à provoquer la levée dans les milieux sableux, alors qu'il faut 25 à 30 mm (humidité pondérale de la surface du sol : 10 à 15 %) pour les sols lourds. Des levées précoces peuvent avoir lieu sur sols légers mais les plantules ne se maintiennent pas. En général la végétation peut être considérée comme définitivement installée après 70 mm de pluie, ce qui représente environ 20 % des précipitations annuelles.

Pour les deux types de milieu, le total annuel des levées s'élève en moyenne à 3 500 plantules au mètre carré, mais seulement 30 % subsistent en raison d'une forte mortalité.

L'établissement des plantules en milieu sahélien se caractérise par ailleurs par des vagues successives de levées qui traduisent :

- l'hétérogénéité des facteurs du milieu (distribution des averses, microvariations du substrat) ;
- l'hétérogénéité de la position des semences dans le sol (BOUDET *et al.*, 1987) ;
- l'hétérogénéité des aptitudes à la germination des semences en raison de mécanismes physiologiques divers (inhibition péricarpique due aux glumelles, dormance, postmaturation, polymorphisme somatique, tolérance au déficit hydrique...) tels qu'ils ont été mis en évidence par LEGRAND (1979), PALE (1982) et GROUZIS *et al.* (1986).

Ce sont les interactions entre la nature du sol, les événements pluvieux, la capacité de germination et la résistance à la sécheresse des taxons, qui se déroulent au cours de cette phase d'installation, qui déterminent la composition floristique du tapis végétal extrêmement variable d'une année sur l'autre (CORNET, 1981 b ; PENNING DE VRIES et DJITËYE, 1982 ; BOUDET, 1984...).

Ce sont ces interférences qui expliquent que les tentatives de prévision de la composition floristique en fonction de la répartition des pluies (BARRAL *et al.*, 1983 ; GASTON, 1983 ; HIERNAX, 1984 ; GROUZIS, 1988...) ne sont pas entièrement satisfaisantes car non généralisables.

### CROISSANCE

La phase de croissance est caractérisée par les valeurs de la productivité et de la vitesse relative de croissance dont les variations interannuelles sont reportées dans le tableau XXX.

La VRC de Sgl est à interpréter avec précaution, car la durée sur laquelle elle a été calculée est inférieure à celles des autres unités.

La moyenne interannuelle des moyennes donne pour le bassin versant de la mare d'Oursi, une productivité de  $2,8 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ . On note cependant une assez forte variabilité intersite. Les productivités les plus fortes sont obtenues dans l'unité de bas-fond hydromorphe ( $5 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ , valeur maximale :  $7 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ ) ; les plus faibles productivités correspondent aux glacis (1,6 à  $2 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ ). Les unités développées sur sables offrent des valeurs intermédiaires. Pour chaque unité, les variations interannuelles rapportées dans le tableau peuvent être importantes. C'est le cas de l'unité Ams d'Oursi, où la valeur très basse de l'année 1981 (voir <sup>(1)</sup> dans tableau XXX) est imputable d'une part, à un sévère déficit pluviométrique (déficit pluviométrique de 32 % par rapport à la moyenne des autres stations) et d'autre part, à la prédation par les criquets des graminées plus abondantes dans la station protégée (GROUZIS, 1982, 1988 a). Une évolution semblable a été obtenue par BOUDET (1980) cité par CORNET (1981 b) mais dans son cas la réduction de la contribution du peuplement graminéen de 70 % en 1977 à 1 % en 1979 est due à des chenilles. Les faibles valeurs observées dans les unités Sgr et Sgl en 1980 (voir <sup>(2)</sup> dans tableau XXX) sont liées à des perturbations humaines : dégradation intense des stations

TABLEAU XXX

Variations interannuelles de la productivité ( $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ), de la vitesse relative de croissance ( $g_{MS} g^{-1} \cdot j^{-1}$ ) et de la production annuelle dans les stations protégées

	Unité	1977	1978	1979	1980	1981	Moyenne interannuelle
PRODUCTIVITÉ	Ams	5,9	2,77	1,97	2,59	0,5 <sup>(1)</sup>	2,7
	Cep	3,54	3,09	2,97	3,53	2,38	3,1
	Ase	2,35	1,57	2,11	1,7	3,38	2,3
	Sgl	2,45	1,14	1,83	0,90 <sup>(2)</sup>	-	1,6
	Sgr	1,82	3,6	1,8	0,88 <sup>(2)</sup>	1,98	2,0
	Spt	6,9	2,57	4,30	4,96	5,57	4,9
VRC	Ams	0,08	0,09	0,06	0,05	0,02 <sup>(1)</sup>	0,06
	Cep	0,09	0,12	0,08	0,09	0,04	0,08
	Ase	0,06	0,05	0,08	0,09	0,04	0,08
	Sgl	0,09	0,16	0,06	0,17 <sup>(2)</sup>	-	0,12
	Sgr	0,04	0,09	0,05	0,03 <sup>(2)</sup>	0,03	0,05
	Spt	0,06	0,05	0,10	0,04	0,03	0,06
PRODUCTION	Ams	226	174,6	161,2	134,3	67,3 <sup>(1)</sup>	152,7
	Cep	187,7	170,7	135,8	134,1	166,4	158,7
	Ase	157,2	88,1	177,3	102,6	206,8	146,4
	Sgl	66,1	46,2	96,6	44,4 <sup>(2)</sup>	-	63,3
	Sgr	104	132,4	262,9	70,3 <sup>(2)</sup>	119,8	137,9
	Spt	340,2	126,3	227,8	364,7	308,2	253,4

(1) et (2) : voir texte.

par les animaux pendant la saison sèche, et installation par les paysans d'une diguette dans les champs situés en amont de la station de Sgr, ce qui réduit les apports d'eau par ruissellement. Les variations interannuelles sont plus modérées pour les autres unités. Ces données sont comparables à celles rapportées par BILLE (1977) pour des unités de végétation analogues dans le Ferlo sénégalais (1,4 à 6,9  $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ), Cornet (1981 b) pour des groupements situés plus au sud (4 à 9  $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ), GILET (1967) au Tchad (1 à 4  $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ) et HIERNAUX (1984) pour des régions plus humides dans la région de Niono au Mali (1,5 à 6  $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ).

La moyenne générale des vitesses de croissance relative est de 0,07  $g_{MS} \cdot g^{-1} \cdot j^{-1}$ . La variabilité interannuelle, à l'exception des cas particuliers précédemment cités, est plus modérée. Dans les conditions naturelles du ranch de Niono (Mali), PENNING DE VRIES et DJITËYE (1982) rapportent une valeur moyenne de 0,1  $g_{MS} \cdot g^{-1} \cdot j^{-1}$  c'est-à-dire un résultat très proche de celui observé compte tenu que la pluviosité y est plus élevée (580 mm.  $an^{-1}$ ). Pour des sols fertilisés non irrigués la VRC des mêmes unités s'élève à 0,18  $g_{MS} \cdot g^{-1} \cdot j^{-1}$  et peut atteindre 0,25 à 0,5  $g_{MS} \cdot g^{-1} \cdot j^{-1}$  dans des conditions optimales d'irrigation et de fertilisation.

### MATURATION

La production annuelle moyenne pour le bassin d'Oursi est de  $158 \pm 30 g_{MS} \cdot m^{-2}$ . Les valeurs les plus élevées caractérisent les bas-fonds hydromorphes. Elle peut atteindre plus de 350  $g_{MS} \cdot m^{-2}$  (1980). Elle se situe autour de la moyenne pour les unités sur sables et varie de 60 à 140  $g_{MS} \cdot m^{-2}$  pour les

glacis. On peut noter une différence assez nette entre les glacis de Bas-Kolel et de Kouni bien que ces deux stations offrent des propriétés édaphiques voisines. Cet état relève de leur position topographique respective dont nous analyserons les effets sur le bilan d'eau ultérieurement. Tout comme pour les précédents paramètres ces résultats s'accordent avec ceux obtenus par différents auteurs pour des unités de végétation analogues sous même pluviométrie (BOURLIÈRE et HADLEY, 1970 ; CORNET, 1981 b) et plus particulièrement TOUTAIN et PIOT (1980) sur d'autres systèmes écologiques du bassin versant de la mare d'Oursi.

### DÉGÉNÉRESCENCE

On trouvera dans le tableau XXXI les valeurs relatives à la dégradation naturelle de la phytomasse au cours de la saison sèche. À la mi-octobre, cinq des six unités perdent en moyenne 25 % du maximum de phytomasse observé (21,3 à 32,8 %).

TABLEAU XXXI

Dégradation naturelle de la phytomasse exprimée en pourcentage du maximum observé (moyenne 1977-1980)

Unité de végétation	Diminution de la phytomasse	
	mi-octobre	mai-juin
Ams	26,6	47,2
Cep	24,2	53,0
Ase	21,3	55,7
Sgr	23,6	56,3
Sgl	32,8	-
Spt	43,4	72,6

Pour le bas-fond, les pertes correspondant à cette période sont plus élevées (43,4 %). Elles intègrent en effet non seulement la chute des diaspores mais encore la dégradation d'une fraction de la nécromasse favorisée par une humidité plus importante (période de submersion).

En prenant comme critère la diminution de la phytomasse au mois de juin, l'examen du tableau XXXI permet de distinguer deux groupes : d'une part les unités qui perdent en moyenne 50 % de la phytomasse maximale observée au cours du cycle (Ams, Cep, Ase, Sgr), soit environ 10 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup>, et d'autre part le bas-fond qui perd plus de 70 % de la phytomasse, soit en moyenne 26 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup>. Si ces chiffres confirment les résultats présentés par TOUTAIN et PIOT (1980) et nous-même (GROUZIS, 1979) pour le cycle 1977-1978 (perte de 14 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup>), ils sont relativement moins élevés dans des systèmes écologiques similaires que ceux rapportés par d'autres auteurs, tels que KLEIN *et al.* (1981) au Niger (32 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup>) et BILLE (1977) dans le Ferlo sénégalais (38 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup>).

Quant à LEPAGE (1972) qui s'adresse aux mêmes communautés que celles étudiées par BILLE (*op. cit.*), il évalue à 50-60 kg.ha<sup>-1</sup>.mois<sup>-1</sup> la prédation par les seuls termites.

En dehors du fait que la dégradation naturelle de la végétation au cours de la saison sèche est importante, les différentes estimations divergent. Ces différences peuvent être liées, d'une part, au fait que l'on ne s'adresse pas exactement au même objet (phytomasse dressée, au sol, totale...) et, d'autre part, à la très grande hétérogénéité des situations qui ne sont pas toujours abordées de la même manière.

## CARACTÉRISTIQUES DES PARTIES SOUTERRAINES

### MODÈLE DE RÉPARTITION. CARACTÉRISTIQUES DE L'ENRACINEMENT

La figure 27 donne l'histogramme de répartition des phytomasses racinaires des différentes unités non protégées des perturbations anthropiques en fonction de la profondeur, au moment du dévelop-

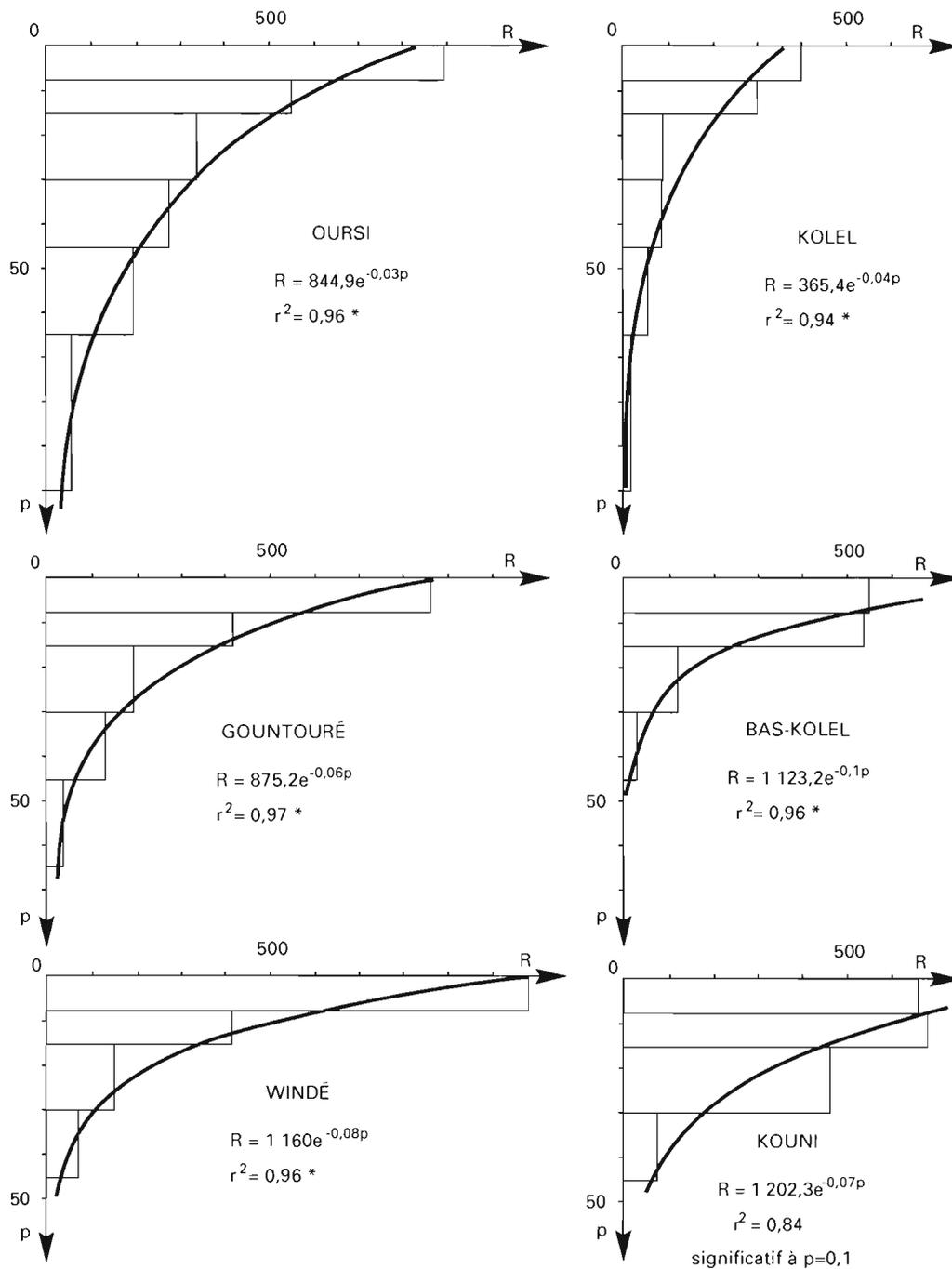
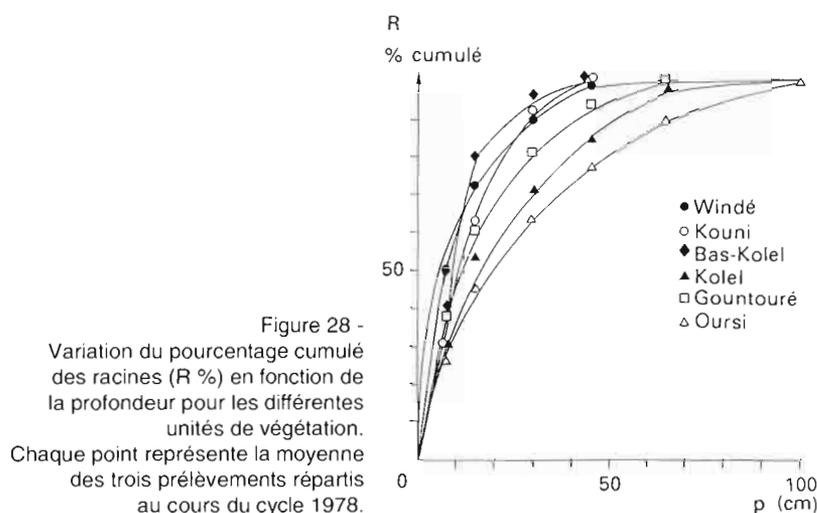


Figure 27 - Distribution de la phytomasse racinaire (R en mg.1 000 cm<sup>-3</sup>) en fonction de la profondeur (p en cm). Prélèvement d'août 1978. \* : significatif pour une probabilité  $p = 0,05$ .

pement maximal de la végétation. La distribution des racines s'ajuste bien à une fonction exponentielle. Les observations réalisées à différents stades du cycle végétatif montrent que la répartition racinaire ne subit pas de modifications profondes (LEGRAND, 1979 ; GROUZIS, 1988).



Ce modèle exponentiel s'écarte de celui proposé par BILLÉ (1977) et CÉSAR (1971). Pour ces auteurs la répartition racinaire varie en fonction de la profondeur suivant une fonction puissance :  $R = ap^b$

Malgré la discordance relative entre ces deux résultats, les distributions sont en fait tout à fait comparables, puisque l'ajustement de nos données à une fonction puissance est acceptable, bien que les coefficients de corrélation soient dans l'ensemble plus faibles et pas toujours significatifs.

Pour normaliser l'expression de l'enracinement (R %) en fonction de la profondeur (p), GERWITZ et PAGE (1974) proposent la relation générale suivante :

$$R \% = 100 (1 - e^{-bp})$$

Les courbes expérimentales relatives à ce modèle sont tracées sur la figure 28. Il y apparaît que 50 % des racines de l'unité Ams (Oursi), Spt (Windé) et Sgr, Sgl, Ase, Cep (Bas-Kolel, Kouni, Gountouré, Kolel) se développent respectivement dans les 20 et 7 premiers centimètres du sol et entre 10 et 15 cm. On y observe par ailleurs que les trente premiers centimètres du sol renferment 90 % du système racinaire, des unités établies sur sols lourds (Sgl Kouni, Sgr Bas-Kolel, Spt Windé).

Cet enracinement très superficiel s'explique notamment par une forte proportion d'argile (35 à 50 %, figure 22) et des fronts d'humectation peu profonds (45-60 cm, SICOT 1978) ce qui rend les sols compacts et limite le développement racinaire en profondeur pour ces unités.

Pour les unités établies sur sables (Oursi, Cep) il faut atteindre 65 cm pour réunir plus de 90 % des racines. Cet enracinement moins superficiel est dû à la texture : plus de 85 % de sable en moyenne sur le profil (figure 22). Cette caractéristique texturale favorable est accompagnée d'une humectation plus profonde (170 cm en 1977 par exemple ; SICOT, 1978).

Ce caractère d'enracinement superficiel s'accorde parfaitement avec les résultats de BILLÉ (1977) et PENNING DE VRIES et DJITËYE (1982) pour les formations herbeuses sahéliennes du Sénégal et du Mali. Il corrobore par ailleurs les résultats relatifs aux savanes africaines plus méridionales (CÉSAR, 1971 ; FOURNIER, 1982) et américaines (SAN JOSE et MEDINA, 1976 ; SAN JOSE *et al.*, 1982).

### PHYTOMASSE ET PRODUCTION RACINAIRES

La moyenne interannuelle des phytomasses relatives à trois unités de végétation étudiées s'élève à  $162 \pm 44 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$  (tableau XXXII)

Les moyennes relatives à l'unité établie sur sables ( $175 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$  Ams-Oursi) sont plus élevées que celle relative au glacié de Kouni ( $132 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

TABLEAU XXXII

Variations interannuelles de la phytomasse racinaire ( $\text{g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ ) et du rapport fraction hypogée/fraction épigée (R/T)

Unité	Nature	1978	1979	1980	1981
Oursi (Ams)	Phytomasse	$310 \pm 15^{(1)}$	$133 \pm 27$	$157 \pm 17$	$100 \pm 12$
	R/T	2,1	1,02	1,16	1,05
Kouni (Sgl)	Phytomasse	$183 \pm 16^{(1)}$	$107 \pm 10$	$147 \pm 13$	$93 \pm 9$
	R/T	5,1	2,12	3,34	3,37
Windé (Spt)	Phytomasse	$146 \pm 24^{(1)}$	$123 \pm 30$	$148 \pm 17$	$294 \pm 44$
	R/T	2,7	1,37	1,24	2,11

(1) Observation de LEGRAND (1979)

La variabilité interannuelle de la phytomasse racinaire est proportionnellement plus élevée que celle de la phytomasse aérienne. Pour Oursi, par exemple, le rapport phytomasse maximale/phytomasse minimale est de 1,55 pour les parties aériennes et de 3,10 pour les fractions souterraines. Notons en particulier les valeurs de phytomasse racinaire globalement plus élevées en 1978 (moyenne intersite  $213 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ ) alors que celle des parties aériennes est la plus faible ( $79 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

En fait les mesures de phytomasse racinaire ne sont pas entièrement satisfaisantes car elles intègrent non seulement la production racinaire du cycle en cours mais aussi une fraction de la production des années antérieures. Celle-ci n'est pas encore décomposée au moment des observations.

L'évaluation de la production hypogée annuelle nécessite la détermination de ce reliquat racinaire. Pour la première fois en zone sahélienne ce reliquat a été estimé en suivant l'évolution de la phytomasse d'une zone témoin et d'une zone dont on a empêché l'installation de la végétation à l'aide d'un désherbant total (Hyrvax) appliqué peu de temps avant la saison des pluies (GROUZIS, 1988).

Les valeurs moyennes (1979-1981) des rapports production annuelle/phytomasse sont respectivement de 0,59, 0,45 et 0,40 pour Oursi, Windé et Kouni. Cela correspond à des temps de renouvellement (*turn-over*) de 1,7, 2,2 et 2,5 ans. La valeur moyenne pour le bassin versant d'Oursi est de 0,48 soit un *turn-over* de 2,1 ans. Ce résultat confirme que le temps de renouvellement des savanes tropicales est plus rapide que celui des pays tempérés (DAHLMAN et KUCERA, 1965, TRIVEDI et MISHRA, 1979) en raison notamment des conditions climatiques, de l'activité microbienne, de la composition floristique et de la stabilité des écosystèmes (SAN JOSE *et al.*, 1982).

L'application de ces rapports aux valeurs de la phytomasse racinaire (tableau XXXIII) permet d'estimer la production racinaire annuelle pour chaque unité de végétation.

La production moyenne pour les différentes unités étudiées du bassin versant s'élève à  $80 \text{ g}_{\text{MS}} \cdot \text{m}^{-2}$ . L'examen des variations interannuelles de la production (tableau XXXIII) confirme les remarques relatives aux variations de la phytomasse, notamment la plus grande variabilité interannuelle de la production racinaire par rapport à celle de la production aérienne, et la plus grande production des unités établies sur substrat meuble (la production moyenne d'Oursi est deux fois plus élevée que celle du glacis de Kouni).

Le tableau indique aussi que la moyenne de la production hypogée est équivalente à la moyenne de production épigée (R/T : 1). Cependant l'unité du glacis de Kouni produit plus de racines lorsque celle-ci est ramenée à l'unité de matériel épigée produit. Cette caractéristique peut être mise en relation avec une relative indisponibilité des nutriments (BOOTE, 1976) et/ou une plus grande xéricité des conditions écologiques (BRAY, 1963). La production hypogée exprimée en pourcentage de la production totale varie de 43 % à Oursi à 57 % à Kouni et présente une valeur moyenne d'environ 50 %, montrant ainsi que les résultats établis pour la végétation annuelle du bassin versant de la mare d'Oursi sont compa-

TABLEAU XXXIII

Variations interannuelles de la production racinaire annuelle ( $g_{MS} \cdot m^{-2}$ ) et du rapport production annuelle hypogée/épigée

Station/Année		1978	1979	1980	1981	Moyenne (1978-1981)
Oursi	Production annuelle	183 ± 8,8 <sup>(1)</sup>	95 ± 19	91 ± 9,9	49,5 ± 5,9	104,6
	R/T	1,23	0,72	0,67	0,52	0,79
	R/R+T	0,55	0,42	0,40	0,34	0,43
Kouni	Production annuelle	73,5 ± 6,4 <sup>(2)</sup>	43 ± 4 <sup>(2)</sup>	69 ± 6	30,7 ± 2,9	54
	R/T	2,03	0,85	1,57	1,11	1,39
	R/R+T	0,67	0,46	0,61	0,53	0,57
Windé	Production annuelle	66 ± 10,8 <sup>(1)</sup>	55,4 ± 13,5	66,6 ± 7,7	132,3 ± 19,8	80,1
	R/T	1,25	0,61	0,63	0,95	0,86
	R/R+T	0,56	0,38	0,39	0,49	0,46
Moyenne au niveau du bassin versant	Production annuelle					79,6
	R/T					1,01
	R/R+T					0,49

Calcul d'après la moyenne interannuelle 1979-1981 <sup>(1)</sup> et 1980-1981 <sup>(2)</sup> du reliquat racinaire.

rables à ceux généralement admis pour les zones arides et semi-arides et qui se situent entre 30 % et 50 % d'après VAN KEULEN (1975), FLORET et PONTANIER (1982) et PENNING DE VRIES et DJITÏYE (1982). Ce rapport fraction hypogée/fraction épigée (R/T) est élevé quant il est établi d'après les phytomasses (tableau b). C'est cette caractéristique qui a conduit un certain nombre d'auteurs dont BOURLIÈRE (1978) à considérer incorrectement cette masse racinaire apparente comme une adaptation particulière à l'aridité.

### DYNAMIQUE DE LA QUALITÉ FOURRAGÈRE DES PRINCIPAUX TYPES DE PÂTURAGES

Contrairement à l'usage, l'analyse de la qualité fourragère des herbages a porté sur l'ensemble du groupement végétal et non sur chaque espèce en raison notamment de :

- l'abondance dans la littérature d'analyses bromatologiques spécifiques (HÉDIN, 1967 ; RIVIÈRE, 1978 ; KAYONGO-MALE et THOMAS, 1975 ; LE HOUEROU, 1980...);
- l'objectif à long terme de l'étude écologique qui, entre autres, est d'établir le bilan biogéochimique des écosystèmes pâturés sahéliens du nord du Burkina Faso ;
- l'utilisation dans la région étudiée de toutes les espèces végétales pendant la saison sèche, même si un broutage sélectif s'observe pendant la période d'abondance de la saison favorable.

#### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les variations saisonnières de la qualité des herbages ont été suivies au cours du cycle végétatif de l'année 1980, qui a totalisé 372,3 mm de pluies réparties en 32 jours. Ce total représente un déficit de près de 20 % par rapport à la moyenne établie sur 22 ans (1956/1977) pour Gorom-Gorom (464 mm). La répartition pluviométrique se caractérise par un déficit au cours de la troisième décade de juin et de la première décade de juillet. De plus l'arrêt des pluies est précoce puisque 15 mm seulement sont enregistrés au cours du mois de septembre.

Trois groupements végétaux, respectivement établis sur un bas-fond (Spt, Windé), sur un glacis (Sgl, Kouni) et sur une dune (Ams, Oursi), représentatifs des principaux types de pâturages de la zone ont été retenus pour cette étude.

De plus, leur choix a été dicté par la chronologie de leur utilisation par les pasteurs. Le pâturage de Windé (Spt) est exploité au début de la saison des pluies. La liste floristique établie au cours de l'année 1980 montre une nette dominance des graminées (95,8 %) avec essentiellement *Panicum laetum* et *Eragrostis pilosa*. Cyperacées et légumineuses ne représentent que 4 %.

Le pâturage sur glacis (Kouni) est utilisé vers la fin de la saison des pluies et au début de la saison sèche. Le groupement est essentiellement constitué par *Schoenefeldia gracilis* (90,9 %).

Le pâturage sur dune (Oursi) constitue la réserve fourragère sur pied de la saison sèche. Bien que la diversité floristique soit plus grande par rapport aux groupements précédents, *Zornia glochidiata*, petite légumineuse à cycle court est l'espèce dominante. Les graminées contribuent pour près du tiers et les autres familles pour 17 %.

Les prélèvements des parties aériennes s'effectuent toutes les décades, excepté à la fin du cycle végétatif. Les échantillons sont séchés à l'étuve (85 °C) jusqu'à poids constant. C'est sur cet échantillon composite que portent les analyses effectuées par les méthodes classiques développées par le Laboratoire d'alimentation et de nutrition de l'IEMVT à Maisons-Alfort.

## RÉSULTATS

### Les variations saisonnières des teneurs en azote et en phosphore ; immobilisations minérales

L'examen de la figure 29 montre que les teneurs en azote et en phosphore diminuent au cours du cycle végétatif quel que soit le type de pâturage étudié. L'évolution est caractéristique de l'élément considéré. Pour N, cette diminution en fonction du temps suit une courbe indiquant un abaissement rapide au début du cycle, suivi d'une dégradation plus lente. Pour P, l'évolution peut être ajustée à une droite, ce qui suppose une décroissance constante.

Cette diminution de la teneur en N en fonction de l'âge, résulte notamment de :

- l'annulation de l'absorption de N après le stade de floraison ;
- la réduction de la synthèse des tissus riches en N (protéines, acides nucléiques) au profit d'un enrichissement en cellulose ;
- du type biologique de la majorité des plantes composant cette végétation. En effet, la formation des semences, élément essentiel de la reproduction des plantes annuelles (thérophytes) implique en fin de cycle, une redistribution de l'azote des tissus végétatifs vers les tissus reproducteurs (graines). Les graines disséminées n'entrent alors plus dans la composition de la fraction analysée.

Entre le début et la fin du cycle végétatif, les variations sont identiques pour P (- 77 %) et N (- 78 %) dans le groupement de bas-fond (Windé). Les diminutions des teneurs en P, bien que légèrement inférieures à celles de N pour les groupements situés sur glacis (Kouni P : - 50 % contre N : - 60 %) et sur dune (Oursi P : - 35 % contre N : - 49 %), sont comparables.

Il en résulte, pour les trois types de pâturages étudiés, des variations du rapport P/N relativement constantes au cours du cycle annuel. Cette caractéristique est considérée comme générale des parcours sahélo-soudaniens (PENNING DE VRIES et DJITËYE, 1982).

Les taux de N (étendue de variation 3,35 à 0,67 % MS) et de P (étendue de la variation : 0,2 à 0,05 % MS) obtenus sont comparables à ceux observés par ces mêmes auteurs dans les savanes de la région de Niono (Mali), mais sont moins élevés que ceux rapportés par HEIDIN (1967) pour des savanes à *Hyparrhenia* sp., *Loudetia* sp. et *Schizachyrium platyphyllum* de la région de Lamto (Côte-d'Ivoire).

On peut affirmer que les groupements végétaux de Kouni et de Windé, constitués à plus de 95 % de graminées, n'ont pas souffert d'une carence en N, puisque leur teneur en cet élément à maturité est supérieure à 0,05 % MS (PENNING DE VRIES et DJITËYE, *op. cit.*).

L'analyse de la figure 29 permet aussi de noter des disparités entre les taux de N et de P dans les trois types de pâturages. Celles-ci sont à mettre en relation avec la nature des espèces dominantes com-

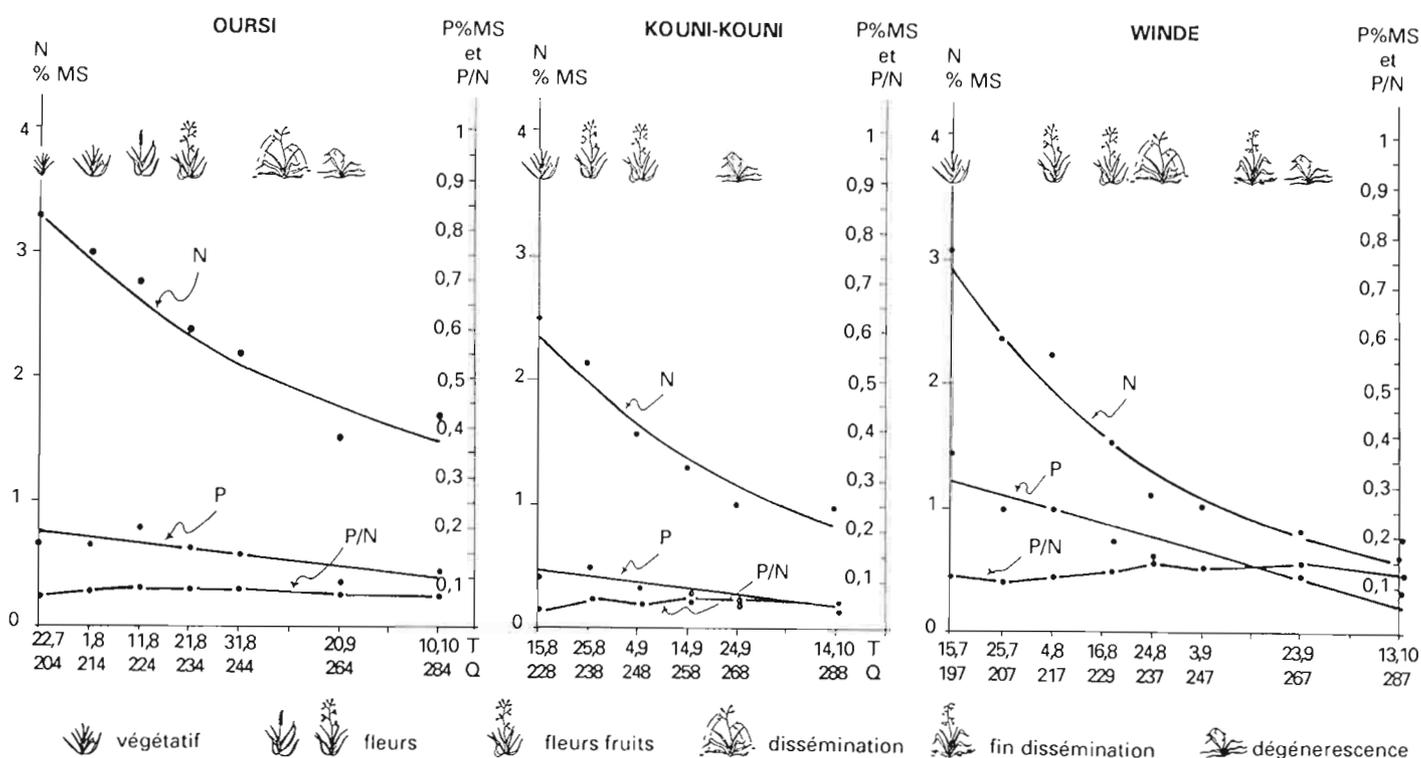


Figure 29 - Variations saisonnières de la teneur en azote et en phosphore et du rapport P/N (1980).  
T : date, Q : jour julien.

posant les herbages. S'il est difficile de comparer les groupements végétaux à une même date, en raison de la chronologie différente des stades phénologiques (au 15 août par exemple le groupement d'Oursi est au stade floraison, celui de Kouni au stade végétatif et celui de Windé au stade fructification), leur rapprochement à un même stade phénologique (végétatif ou en fin de cycle par exemple) montre que les taux de N et de P sont plus élevés pour le groupement d'Oursi, nettement plus riche en légumineuses (contribution spécifique CSi : 50 %) que pour les groupements de Windé (CSi légumineuses : 2 %) et de Kouni (CSi légumineuses : 0 %).

Les variations des teneurs en N et en P des herbages sont enfin à mettre en relation avec la fertilité du sol. On voit en effet (figure 29), qu'à un même stade phénologique, les teneurs en éléments minéraux surtout en P, sont nettement plus élevées pour le groupement de Windé que pour celui de Kouni (deux groupements dominés par des graminées et correspondant à des textures comparables). Ce caractère est dû au fait que le groupement de Kouni est situé dans un glacis où le ruissellement intense et l'érosion sélective appauvrissent le support édaphique au profit du bas-fond (Windé) où s'accablent matières organiques et matières minérales. On trouve par exemple environ trois fois plus de N dans le sol à Windé (0,58 % MS) qu'à Kouni (0,17 % MS).

Le produit de la production ( $\text{kg}_{\text{MS}} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) par la teneur d'un élément donné (% MS) permet d'évaluer les exportations qu'il faudrait restituer au sol par fertilisation.

Le tableau XXXIV donne à titre d'exemple les immobilisations correspondant au maximum de phytomasse pour les trois groupements et les compare à des résultats rapportés par SICOT (1980, relevés en octobre) et ceux de BILLE (1977), obtenus sur des groupements comparables au Ferlo (Sénégal).

TABLEAU XXXIV

Immobilisations minérales (N, P) en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  au maximum de phytomasse (GROUZIS), comparées à d'autres résultats

GROUPEMENT	GROUZIS			SICOT (1980)			BILLE (1977)		
	N	P	P/N	N	P	P/N	N	P	P/N
OURSIS (dune)	32,4	2,2	0,07	11,6	1,6	0,14	5,8	0,58	0,10
KOUNI (glacis)	5,1	0,3	0,06	3,6	0,22	0,06	-	-	-
WINDÉ (bas-fond)	14,3	2,0	0,14	9,4	1,13	0,12	-	-	-

Les minéralomasses ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) au maximum de phytomasse sont peu élevées en raison notamment de la faiblesse des teneurs en éléments ( $1,08\% \text{ MS} < \text{N} < 2,39\% \text{ MS}$ ) et de la médiocrité des productions ( $414 \text{ kg}_{\text{MS}}\cdot\text{ha}^{-1}$  à  $1355 \text{ kg}_{\text{MS}}\cdot\text{ha}^{-1}$  en 1980). On constate néanmoins une exportation annuelle de 5 à 32 unités de N et de 0,3 à 2 unités de P, selon les herbages considérés. Cette évaluation ne concerne que la seule strate herbacée.

Les immobilisations sont plus élevées que celles rapportées par SICOT (1980) sur les mêmes groupements. Cette différence s'explique aisément par le fait que les observations n'ont pas été réalisées au même stade phénologique (en octobre, période de la dégénérescence précédente pour SICOT, et période de la phytomasse maximale dans notre cas).

L'étude de l'évolution saisonnière de la composition en N et en P des trois types de pâturage du bassin versant de la mare d'Oursi, montre que leurs teneurs varient en fonction :

- de stade phénologique (appauvrissement avec l'âge) ;
- de la nature des espèces dominantes ;
- des conditions édaphiques (fertilité du sol).

Ces résultats soulignent la complexité de la détermination de la qualité des herbages.

#### Les variations saisonnières de la valeur énergétique et de la valeur azotée : qualité des herbages

Les résultats portés dans le tableau XXXV et sur la figure 30 permettent de suivre les variations de la valeur azotée et énergétique des fourrages définies par BOUDET et RIVIÈRE (1968) d'après les normes correspondant aux types de végétation étudiés.

Au début du stade de végétation, les herbages sont riches en énergie ( $0,74$  à  $0,85 \text{ UF}\cdot\text{kg}_{\text{MS}}^{-1}$ ). Bien que décroissant au cours du cycle végétatif, ces valeurs énergétiques restent généralement comprises entre  $0,55$  et  $0,85 \text{ UF}\cdot\text{kg}_{\text{MS}}^{-1}$ , c'est-à-dire à un niveau élevé autorisant un gain de poids et une production de lait (BOUDET et RIVIÈRE 1968). Il n'y a pas de différence fondamentale entre les trois types de pâturage.

Les herbages sont aussi riches en matières azotées digestibles (Mad) au début du cycle. Les valeurs observées, nettement supérieures au seuil de  $53 \text{ g}\cdot\text{kg}_{\text{MS}}^{-1}$ , permettent de les classer à ce stade dans la catégorie des fourrages d'excellente qualité. Cependant, et contrairement à la valeur énergétique, mais à l'image des variations de N, les teneurs en Mad diminuent rapidement avec l'âge. En effet, en raison de la rapidité des cycles, les stades correspondant à la mobilisation des principes nutritifs pour la formation des graines sont rapidement atteints. Les herbages s'appauvrissent alors très vite en éléments protéiques.

Les valeurs relatives au groupement d'Oursi sont dans l'ensemble supérieures à celles des deux autres pâturages du fait de sa richesse en légumineuses.

Les variations saisonnières de la qualité des herbages sont synthétisées sur la figure 31, à l'aide du rapport nutritionnel (BOUDET et RIVIÈRE, 1968). Le groupement de bas-fond à *Panicum laetum* et à *Eragrostis pilosa* représente pour l'année de référence des fourrages d'excellente qualité jusqu'au début du mois d'août. Les fourrages de cette unité écologique autorisent jusqu'à cette période des productions

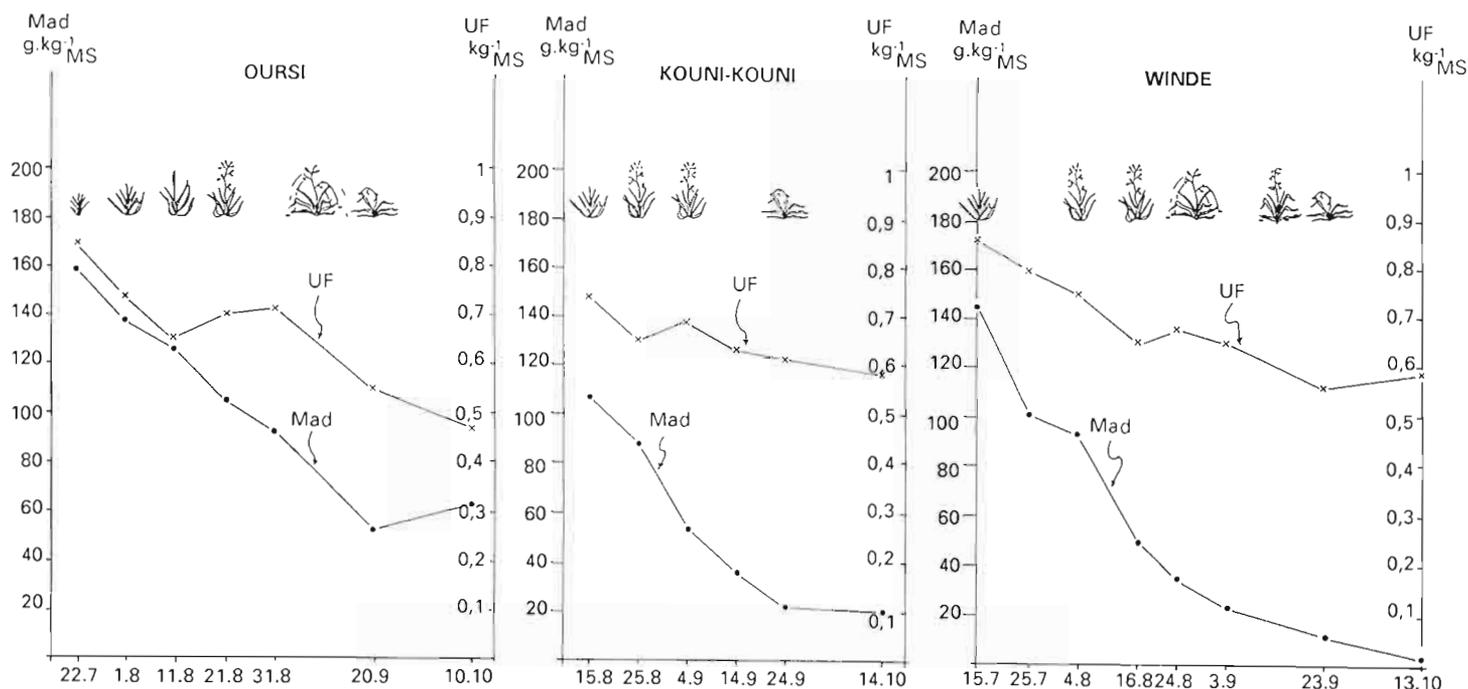


Figure 30 - Variations saisonnières de la valeur azotée (Mad) et de la valeur énergétique (UF) de quelques herbages sahétiens (1980).

TABLEAU XXXV

Variations saisonnières de la valeur fourragère des trois types de pâturage (région d'Oursi)

	Date	Mat % MS	Cell. % MS	UF kg <sup>-1</sup> MS	Mad g.kg <sup>-1</sup> MS	Mad/UF	Catégorie
OURSIS dune	22/07/80	23,62	12,87	0,85	159,4	187	
	01/08/80	24,09	18,61	0,74	138,3	187	
	11/08/80	14,43	28,72	0,65	126,1	194	
	21/08/80	12,00	27,88	0,70	103,6	148	Excellent
	31/08/80	10,49	28,42	0,71	92,4	130	
	20/09/80	7,97	35,58	0,55	53,2	97	
	10/10/80	11,97	35,66	0,47	63,8	136	
KOUNI glacis	15/08/80	12,79	25,49	0,74	107,3	145	Excellent
	25/08/80	13,64	28,52	0,65	87,9	135	Excellent
	04/09/80	10,11	29,56	0,69	53,9	78	Bon
	14/09/80	10,56	31,26	0,63	36,6	58	Médiocre
	24/09/80	11,48	31,71	0,61	22,0	36	Pauvre
	10/10/80	11,41	30,24	0,64	21,1	33	Pauvre
WINDÉ bas-fond	15/07/80	18,11	16,78	0,86	145,7	169	Excellent
	27/07/80	20,97	17,92	0,80	101,3	127	Excellent
	04/08/80	20,16	20,54	0,75	93,1	124	Excellent
	16/08/80	20,58	24,76	0,65	49,9	77	Bon
	24/08/80	18,37 <sup>(1)</sup>	24,78 <sup>(1)</sup>	0,68 <sup>(1)</sup>	35,3 <sup>(1)</sup>	52	Pauvre
	03/09/80	18,11	26,15	0,65	22,9	35	Pauvre
	23/09/80	15,31	30,91	0,56	11,8	21	Pauvre
	13/10/80	15,88	29,55	0,59	3,7	6	Pauvre

<sup>1</sup> Compte tenu de la correction due à la teneur en SiO<sub>2</sub> (BOUDET et RIVIERE, 1968)

Mat : matières azotées totales ; Cell. : cellulose ; UF : unité fourragère ; Mad : matières azotées digestibles.

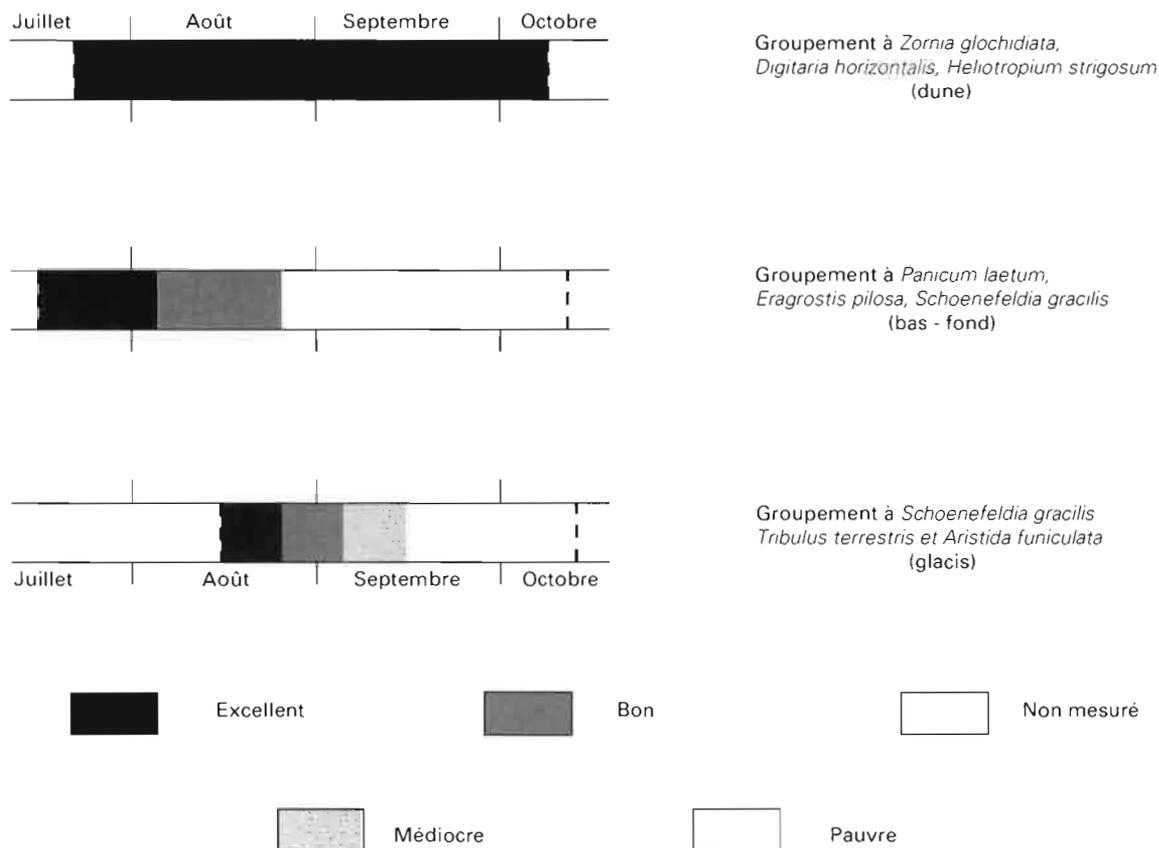


Figure 31 - Rapport nutritionnel de quelques herbages de la mare d'Oursi en 1980.

de 1 à 3 litres de lait par jour ou un gain de poids de 100 à 300 grammes de poids vif par jour et par UBT. Ils se dégradent très vite en raison de la brièveté du cycle comme nous l'avons déjà rapporté. Au cours du mois de septembre ces fourrages n'assurent déjà plus les besoins d'entretien et les petits déplacements de l'UBT.

Le bétail commence alors à paître dans les pâturages sur glacis (Kouni), qui sont plus tardifs et qui assurent jusqu'à la mi-septembre l'entretien de l'UBT et un gain de poids vif de 100 g.j<sup>-1</sup>. Comme les pâturages de bas-fond, ils se dégradent assez vite.

L'examen du rapport nutritionnel du fourrage correspondant à la formation dunaire à *Zornia glochidiata*, *Digitaria horizontalis*... montre que sa qualité se maintient à un niveau permettant la production de 3 l.j<sup>-1</sup> de lait ou un gain de poids vif de 300 g.j<sup>-1</sup> par UBT, pendant toute la durée de l'étude (juillet - début octobre). De part leur qualité, les pâturages dunaires assurent la relève des parcours situés sur les bas-fonds et glacis.

Mais cette qualité ne se perpétue pas au cours de la saison sèche. Très vite les parcours deviennent pauvres principalement en N et en P.

On admet alors généralement que ce sont les fourrages ligneux qui complètent la ration alimentaire des animaux.

### Conclusions

Pour exploiter un pâturage, il est utile d'avoir non seulement des informations sur sa productivité mais encore sur sa valeur alimentaire. Le suivi de la variation de certains paramètres des principaux types de pâturages du bassin versant d'Oursi a permis de préciser l'évolution de leur qualité fourragère.

Les résultats suggèrent une assez grande variabilité des teneurs en azote et en phosphore due au stade phénologique, à la nature des espèces dominantes et à la fertilité du sol.

Les valeurs énergétiques sont relativement élevées et stables au cours de la durée du cycle de végétation étudié ; en revanche, les valeurs azotées diminuent fortement au cours du temps.

On note que la complémentarité des trois grands types de parcours permet d'avoir pendant la durée de toute la saison favorable (juillet à octobre) des fourrages d'excellente qualité.

Cette complémentarité est bien connue des pasteurs. En effet, le suivi de la conduite traditionnelle des troupeaux, démontre que les pasteurs de l'Oudalan ont élaboré, tout au moins pour ce qui concerne la qualité des herbages, un système d'utilisation de l'espace fortement adapté aux caractéristiques des composantes du milieu naturel, puisqu'ils exploitent d'abord les bas-fonds à *Panicum laetum*, puis évoluent vers le glacis à *Schoenefeldia gracilis* et terminent par les formations dunaires qui constituent les réserves fourragères de saison sèche (cf. chapitre " Les systèmes d'élevage ").

Notons cependant qu'au cours de la saison sèche (octobre à juin) les conditions d'élevage se dégradent sur le plan qualitatif par leur appauvrissement en éléments nutritifs.

## LA STRATE LIQNEUSE

### LES CYCLES

À titre d'exemples les spectres phénologiques de *Combretum aculeatum* Vent. et de *Acacia adansonii* (cycles 1977 à 1981), ainsi que les variations de certains facteurs du milieu pour les mêmes périodes sont représentés sur les figures 32 et 33.

L'analyse des graphiques relatifs à *Combretum aculeatum* montre que la feuillaison apparaît au mois de juin (1980 : 1<sup>re</sup> décade, 1981 : 3<sup>e</sup> décade), au mois de juillet (1978 : 1<sup>re</sup> décade) et à la première décade de mai en 1979. Cette année-là 90 % de la population est déjà pourvu de feuilles à la première décade de juin.

Chez *Acacia adansonii*, les feuilles apparaissent en général plus tard (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> décade de juin en 1980 et 1981; 1<sup>re</sup> décade de juillet en 1978) et vers la 3<sup>e</sup> décade de mai en 1979.

Les tableaux XXXVI et XXXVII rassemblent les valeurs caractéristiques des courbes de fréquence de la floraison des deux espèces. Une grande variabilité interannuelle s'observe entre les dates d'apparition, les durées, les amplitudes de la floraison d'une année sur l'autre.

TABLEAU XXXVI

Valeurs caractéristiques de la floraison de *Combretum aculeatum* (n.o. : non observé)

Nature	Année	Valeur	Écart max.
Début	1977	2 <sup>e</sup> décade de juillet	] ≠ 40 j.
	1978	3 <sup>e</sup> déc. juillet	
	1979	2 <sup>e</sup> déc. juin, antérieur n.o.	
	1980	2 <sup>e</sup> déc. juin	
	1981	3 <sup>e</sup> déc. juin	
Durée	1977	97 jours	] ≠ 39 j.
	1978	68	
	1979	99 jours au moins	
	1980	107	
	1981	78	
Formes et amplitude	1977	2 vagues : 22, 40 %	
	1978	1 vague : 77 %	
	1979	3 vagues : 20, 66, 80 %	
	1980	3 vagues : 22, 47, 64 %	
	1981	3 vagues : 28, 62, 87 %	

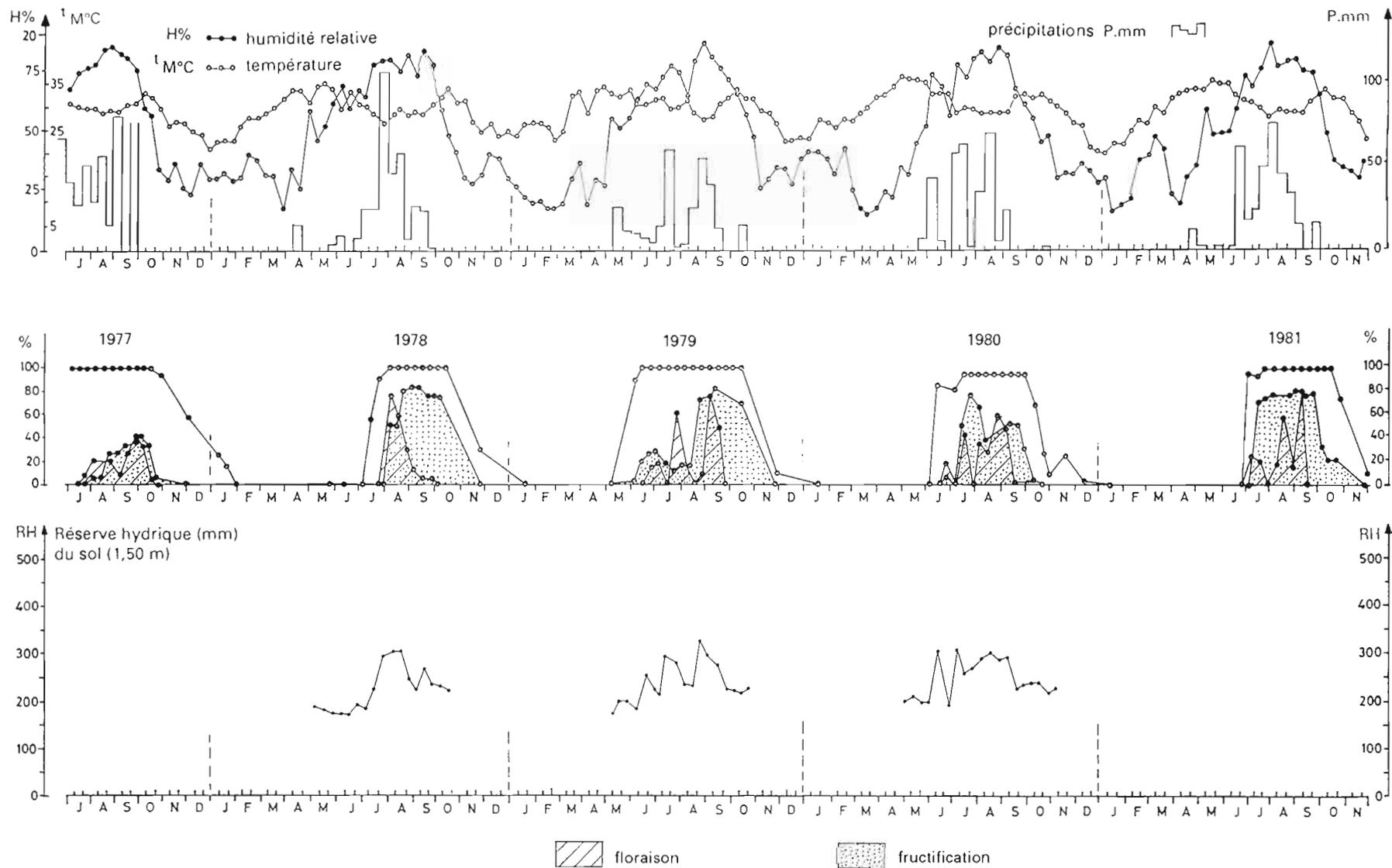


Figure 32 - Variabilité interannuelle de la phénologie de *Combretum aculeatum* Vent., en relation avec les facteurs écologiques dans un glaciais de bas de pente à sol brun subaride vertique (Windé Tiuluki).

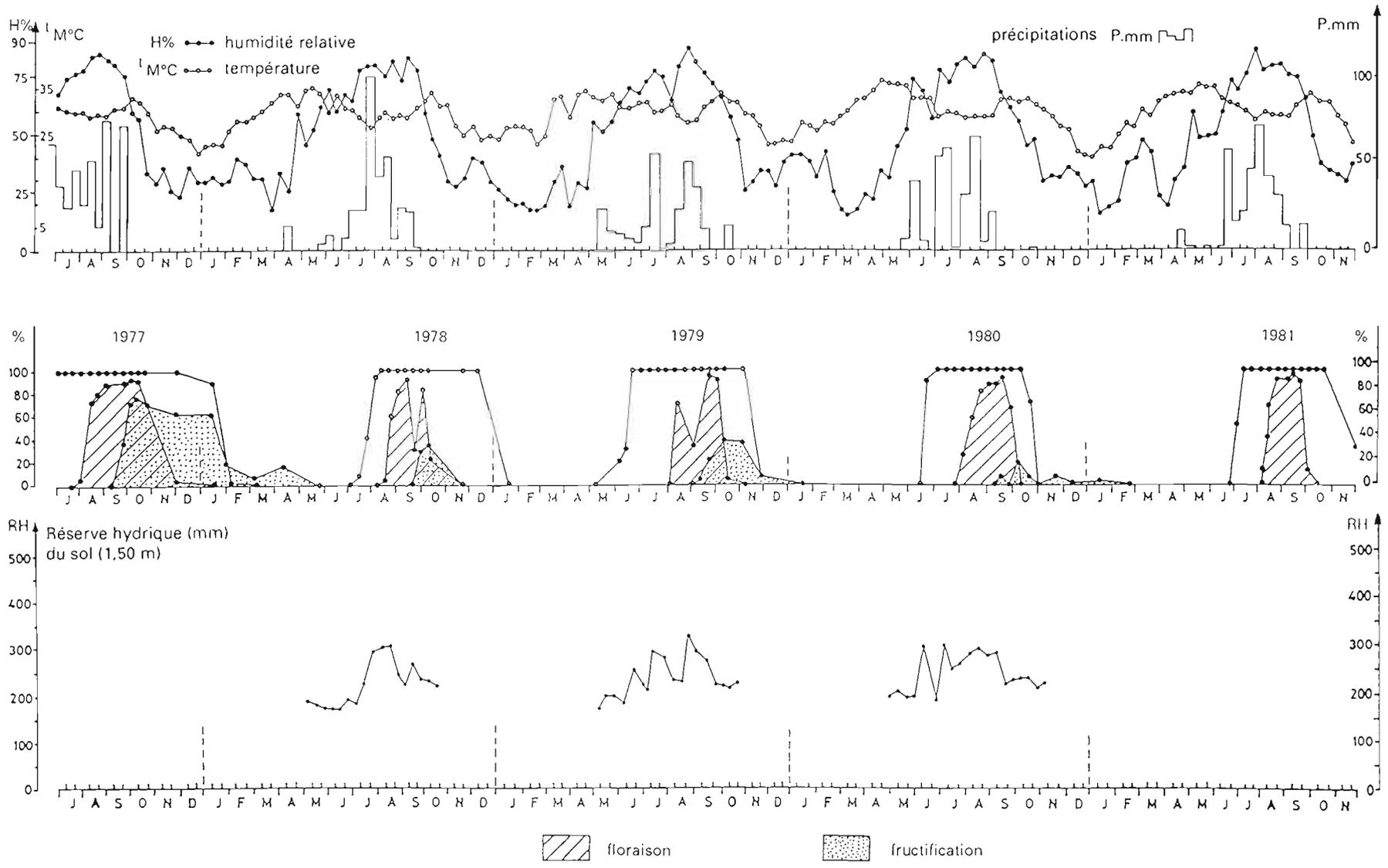


Figure 33 - Variabilité interannuelle de la phénologie d'*Acacia adansonii* (Guill. et Perr.) O. Ktze, en relation avec les facteurs écologiques dans un glacis de bas de pente à sol brun subaride vertique (Windé Tiuluki).

TABLEAU XXXVII

Valeurs caractéristiques de la floraison de *Acacia adansonii*

Nature	Année	Valeur	Écart max.
Début	1977	3 <sup>e</sup> déc. juillet	] ≠ 10 j.
	1978	1 <sup>er</sup> août	
	1979	1 <sup>er</sup> août	
	1980	3 <sup>e</sup> déc. juillet	
	1981	1 <sup>er</sup> août	
Durée	1977	127	] ≠ 59 j.
	1978	108	
	1979	93	
	1980	77	
	1981	68	
Formes et amplitude	1977	1 vague : 92 %	
	1978	2 vagues : 94, 86 %	
	1979	2 vagues : 71, 97 %	
	1980	1 vague : 94 %	
	1981	1 vague : 97 %	

L'amplitude de variation pour la date d'apparition de la floraison est plus faible chez *Acacia adansonii* que chez *Combretum aculeatum*. Pour la durée de la floraison, c'est l'inverse qui se produit.

Remarquons enfin que l'étendue de variation de la date d'apparition des fruits et celle de l'amplitude de la fructification sont aussi élevées.

Nous avons essayé d'interpréter ces fluctuations interannuelles par la hauteur des précipitations annuelles. La figure 34 où sont reportées les intégrales des courbes de fréquence de feuillaison, de floraison et de fructification des deux espèces montre qu'on ne peut corrélérer ces deux paramètres.

Ces différences interannuelles s'expliquent en grande partie par les conditions écologiques qui ont présidé au déroulement des cycles de végétation étudiés.

Les facteurs macroclimatiques ne jouent apparemment pas un rôle déterminant sur la phénologie des deux espèces (figures 32 et 33). En effet, l'augmentation sensible de l'humidité de l'air (25-30 % à 50-60 %), les variations actuelles de la température, et les premières précipitations ne semblent pas intervenir directement sur l'apparition des phénophases.

L'étroite relation entre les variations de la réserve hydrique du sol pour les années où elle a été suivie et celles des fréquences de feuillaison suggère, en revanche, l'importance du facteur hydrique pour la phénologie de ces taxons. Ce caractère n'est d'ailleurs pas étonnant dans ce type de sol à fort pouvoir de rétention (sol brun subaride vertique) où, en début de saison des pluies s'établit une sévère compétition entre la plante et le sol. Ces résultats corroborent ceux d'ACKERMAN et BAMBERS (1974) et de SAUER et URESK (1976). Remarquons que l'absence de relevés phénologiques du 5 mai au 5 juin 1979 ne permet pas d'affirmer le rôle déterminant de ce facteur sur l'installation des feuilles de *Combretum aculeatum* en 1979. En effet, étant donné la répartition groupée des pluies, il est difficile de dissocier l'action des différents facteurs.

Compte tenu du léger décalage entre les deux espèces, le rôle de la réserve hydrique est, en revanche, confirmé par les résultats relatifs à *Acacia adansonii* (figure 33).

Dans l'ensemble, le stade de disparition des feuilles s'accorde avec la diminution de l'humidité de l'air. Cette caractéristique est surtout manifeste pour *Combretum aculeatum* pour laquelle les variations de la fréquence de feuillaison ont pu être ajustées à l'humidité par une fonction logarithmique

( $r^2 = 0,62$ , figure 35). Pour *Acacia adansonii*, la corrélation n'a pas été calculée car la chute trop brutale des feuilles empêche d'avoir des couples de données suffisantes.

L'effet de l'eau du sol se manifeste nettement sur la floraison, et ce pour deux raisons essentielles :

- durée de vie limitée des fleurs,
- grande sensibilité de la plante au déficit au cours de cette phase.

Les variations au cours des cycles 1978, 1979 et 1980 montrent que l'évolution de la floraison de *Combretum aculeatum* est fortement corrélée aux fluctuations de la réserve hydrique : chaque vague de floraison correspond pratiquement à un pic de la réserve hydrique du sol.

Pour *Combretum aculeatum* (figure 32) l'absence de la deuxième vague de floraison en 1978 peut s'expliquer par des conditions hydriques très favorables provoquant en un temps très court une véritable explosion de la floraison conduisant à une fructification abondante.

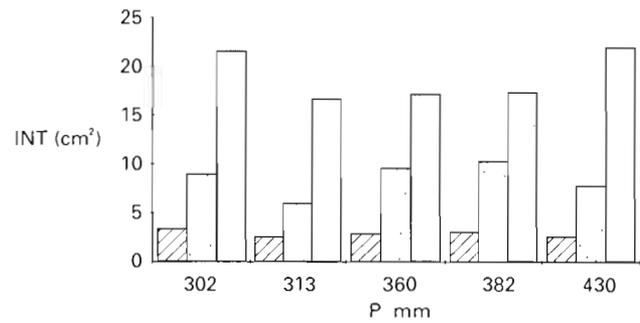
On observe des résultats similaires pour *Acacia adansonii*, mais il y a un léger décalage entre les fluctuations de la réserve hydrique et leur répercussion au niveau de la floraison.

Remarquons enfin que les deux espèces étudiées présentent un léger décalage dans leur cycle phénologique : *Combretum aculeatum* est plus précoce que *Acacia adansonii*. Cette observation peut s'interpréter de deux manières :

- *Acacia adansonii* est plus exigeante en eau et nécessite une réserve hydrique plus importante pour se manifester (?) ;
- ces deux espèces exploitent différentes tranches de sol : *C. aculeatum* les supérieures et *A. adansonii* les couches inférieures (?) ; de tels faits ont été mis en évidence par DAVIS et MOONEY (1986).

Les deux espèces se distinguent par ailleurs par l'évolution opposée de leur capacité reproductive : celle de *Combretum aculeatum* augmente : elle conserve son

Relation phénologie / pluies annuelles (*C. aculeatum*)



Relation phénologie / pluies annuelles (*A. adansonii*)

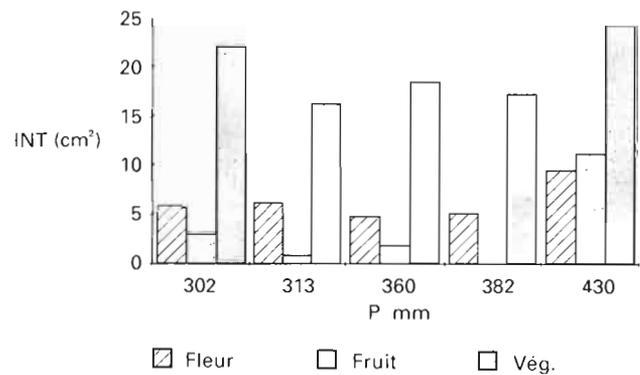


Figure 34 - Variations de l'intégrale des courbes de feuillaison, de floraison et de fructification en fonction de la hauteur des précipitations annuelles pour *C. aculeatum* et *A. adansonii*.

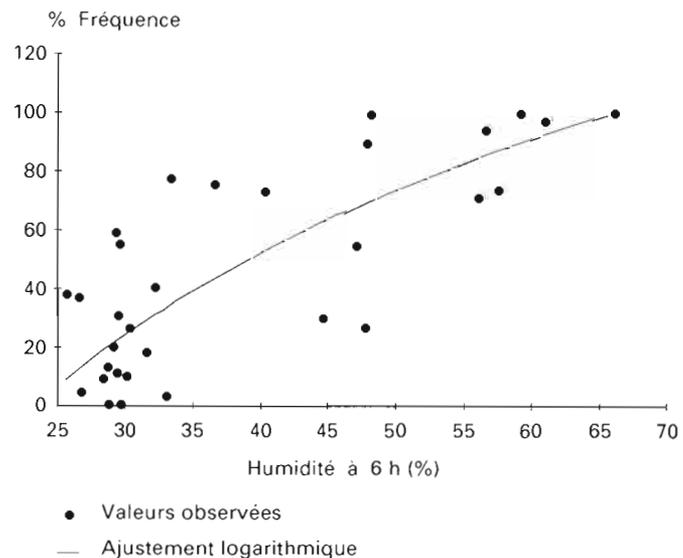


Figure 35 - Déterminisme de la chute des feuilles de *C. aculeatum*.

volume de fructification ; celle de *Acacia adansonii* diminue : elle perd sa capacité de reproduction. Là encore des phénomènes de compétition interspécifique peuvent être évoqués.

Cette étude succincte sur la phénologie de deux populations d'espèces ligneuses sahéliennes montre tout d'abord l'importance de la variabilité intrapopulation et interannuelle, dont il faut tenir compte si l'on veut caractériser avec précision les cycles phénologiques des taxons.

La variabilité observée notamment interannuelle s'explique en grande partie par les fluctuations des facteurs écologiques.

Bien que le photopériodisme ait été considéré comme responsable de certains phénomènes (NJOKU, 1963), il semble que son action soit secondaire dans cette étude en particulier sur la floraison. En effet, des décalages énormes existent dans la manifestation de cette phase sans variation notable de ce facteur.

De même les variations actuelles de la température ne semblent pas déterminants. On doit cependant admettre que l'influence des sommes de température n'a pas été recherchée.

L'accent a été mis sur l'alimentation en eau, qui constitue le facteur limitant le plus impératif dans cette zone semi-aride. La réserve hydrique du sol joue un rôle prépondérant sur le déterminisme des phases. Certaines années la simultanéité d'action des précipitations et de l'eau du sol ne permet pas d'attribuer à ce dernier un rôle exclusif.

Contrairement à certaines espèces relativement peu sensibles aux variations des conditions écologiques (*Guiera senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Boscia senegalensis*), les espèces étudiées calquent leurs comportements sur les fluctuations des conditions du milieu, notamment celles de la réserve hydrique du sol. Ce type de comportement, qui mérite d'être suivi par d'autres méthodologies permettant de suivre la contrainte hydrique interne, constitue une adaptation particulière à la pluviométrie erratique de ces régions. Il faut cependant reconnaître que l'on sait peu de choses sur ces espèces sur la périodicité induite par les facteurs du milieu et celle dite indépendante ou génotypique.

## RELATIONS ALLOMÉTRIQUES

Afin d'estimer les productions foliaires, des relations allométriques sont établies entre le diamètre à la base des espèces (cm) et le poids de matière sèche (grammes) des feuilles. Parmi les espèces étudiées par NEBOUT et TOUTAIN (1978) les relations établies sont généralement linéaires. Certaines présentent cependant une allure sigmoïdale (*Acacia seyal*). Le tableau XXXVIII donne les équations relatives à quelques espèces.

L'influence des facteurs du milieu sur ces relations (POUPON, 1980 ; CISSE, 1980) ne permet cependant pas de les généraliser à un ensemble régional. Il est nécessaire d'établir pour chaque zone d'étude et même pour chaque station écologique une relation spécifique.

TABLEAU XXXVIII

Relations allométriques entre la masse des feuilles (g) et le diamètre à la base (cm) pour quelques espèces (NEBOUT et TOUTAIN, 1978)

Espèces	Relations allométriques	
<i>Acacia laeta</i>	$P = 142 D + 216,7$	$r = 0,94$
<i>Acacia raddiana</i>	$P = 52,5 D - 44,6$	$r = 0,97$
<i>Balanites aegyptiaca</i>	$P = 540 D - 5210$	$r = 0,98$
<i>Combretum aculeatum</i>	$P = 60,6 D - 17,7$	$r = 0,99$

# APPROCHE RÉGIONALE ET FRÉQUENTIELLE DE LA PRODUCTION ANNUELLE

## PRODUCTION HERBACÉE RÉGIONALE MOYENNE POTENTIEL DE CHARGE

Pour évaluer la phytomasse totale du bassin versant à la fin de la période des pluies, une valeur moyenne de la phytomasse par unité de végétation a été déterminée à partir des résultats obtenus sur les divers sites échantillonnés (voir p. 119).

La phytomasse moyenne de l'unité  $j$  est donnée par la formule suivante :

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^p s_i}{\sum s_i} \cdot \bar{x}_i$$

dans laquelle  $s_i/\sum s_i$  est le coefficient de pondération par la surface du site  $i$ , établie par planimétrie ;  $p$  le nombre de sites sondés de l'unité  $j$ ,  $x_i$  la phytomasse moyenne du  $i^{\text{e}}$  site de l'unité  $j$ .

Le tableau XXXIX rassemble les productivités moyennes pondérées par la surface et l'étendue de variation des observations effectuées de 1976 à 1980. Les capacités de charge et le potentiel de charge du périmètre (64 000 ha) sont établis d'après les normes habituellement admises :

- ration quotidienne de 1 UBT (unité bovin tropical de 250 kg) égale à 6,25 kg de matière sèche (BOUDET, 1978) ;
- coefficient d'utilisation des parcours : 40 % (TOUTAIN et LHOSTE, 1978).

L'examen du tableau XXXIX montre que les groupements situés aux bords des mares et dans les bas-fonds non dégradés (Mes, Mb, Spt1) avec une production moyenne supérieure à 2 500 kg.ha<sup>-1</sup> ont une capacité de charge moyenne variant de 1,6 à 2,6 ha.UBT<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Les études relatives au déterminisme écologique de la production (GROUZIS, 1988) montrent que ces productions élevées sont associées aux plaines alluviales et talwegs de texture argileuse et riches en matière organique. Le bilan hydrique est favorable car ces milieux captent les eaux de ruissellement. Les unités sur sables et de bas-fonds dégradés (Ams, Cdc, Cep, Spt2-4...) sont caractérisées par une production moyenne annuelle de l'ordre de 1 000 kg.ha<sup>-1</sup> et une capacité de charge d'environ 6 ha.UBT<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. La teneur en matière organique de l'horizon de surface est faible, mais les productions restent élevées car les ruissellements négligeables favorisent l'infiltration des précipitations. Les unités liées aux glacis (Sgr, Sgl, Asc...) ont une production faible : 550 kg.ha<sup>-1</sup>. Il en résulte une capacité de charge peu élevée : 10 ha.UBT<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. La structure horizontale de la végétation est très discontinue en raison du niveau de dégradation très avancé. Il en résulte un ruissellement élevé, responsable du bilan hydrique très défavorable à la production. Les périmètres cultivés (surtout en *Pennisetum typhoides*) ont une production moyenne de 1 130 kg.ha<sup>-1</sup> soit une production équivalente à celle des ensablements (QUILFEN et MILLEVILLE, 1983).

Notons aussi que les unités sur sables et celles liées aux glacis ont sensiblement la même importance sur le plan pastoral lorsque l'on compare les productions régionales.

Le tableau donne aussi une idée de la variabilité interannuelle des capacités de charge pendant la période considérée. Il apparaît que celle-ci est relativement faible pour les unités de bords de mare et des bas-fonds peu dégradés, car ces milieux subissent assez peu les effets des contraintes hydriques. La variabilité est élevée pour les ensablements et surtout les glacis (Sgr, Sgl) et les " bush " (Asc, Asc...) car ces milieux non tamponnés par les eaux de ruissellement reflètent assez étroitement les conditions pluviométriques. Ces résultats entrent dans la gamme des valeurs généralement données pour les pâturages sahéliens (TOUTAIN, 1976 ; TOUTAIN et DEWISPELAERE, 1978 ; GASTON et BOTTE, 1971 ; GROUZIS, 1984).

TABLEAU XXXIX

Productivité, production et potentiel de charge du bassin versant de la mare d'Oursi

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ams	1,38	4,1	0,99-1,93	5,7-2,9	6 284	8 672	1 520	2 126
Cdc	1,07	5,3	0,67-1,54	8,5-3,7	6 252	6 690	1 173	1 688
Ces	0,85	6,7	0,80-0,95	7,1-6,0	2 143	1 822	319	357
Cee	0,85	6,7	0,80-0,95	7,1-6,0	1 567	1 332	233	261
Cep	0,98	5,8	0,80-1,18	7,1-4,8	2 015	1 975	346	416
Csd	0,85	6,7	0,80-0,95	7,1-6,0	720	612	107	119
IR/IL	0,33	17,2	0,27-0,40	21,1-14	3 246	1 071	187	227
Sgl	0,73	7,8	0,51-1,06	11,1-5,3	5 196	3 793	665	965
Sgr	0,63	9,0	0,46-0,93	12,3-6,1	10 633	6 699	1 174	1 734
Spt1	2,15	2,6	1,99-2,34	2,8-2,4	448	963	168	183
Spt2-4	1,07	5,3	0,65-1,27	8,7-4,4	6 316	6 758	1 185	1 406
Asg	0,59	9,6	0,47-0,82	12,1-6,9	1 151	679	119	165
Asc	0,52	10,9	0,47-0,60	12,1-9,5	4 558	2 370	415	479
Ase	0,56	10,1	0,47-0,72	12,1-7,9	4 142	2 320	406	522
Asd-Fr	2,11	2,7	1,99-2,34	2,8-2,4	416	878	153	170
Mes-Mb	3,50	1,6	3,32-3,68	1,7-1,5	2 591	9 069	1 590	1 672
Résidu récol.	1,28	4,4	1,00-1,60	5,7-3,5	4 829	6 181	1 083	1 354
Jachère	1,13	5,0	0,86-1,60	6,6-3,5	1 775	2 006	351	498
Moyenne								
ou total	1,11	6,75	-	-	64 282	63 890	11 194	14 342

A : unités de végétation

B : productivité moyenne 1976-1980 (t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>)C : capacité de charge moyenne (ha.UBT<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>)

D : étendue de variation de la productivité

E : étendue de variation de la capacité de charge

F : superficie Nord (ha)

G : production moyenne

H : potentiel de charge (UBT)

I : potentiel de charge maximal de 1976 à 1980

L'hétérogénéité de la disponibilité des ressources fourragères implique non seulement de connaître et de raisonner sur la production globale et la valeur fourragère des unités de végétation, mais encore de localiser sa distribution spatiale pour maximiser son exploitation. La figure 36 relative à l'année 1977 illustre cette répartition spatiale.

## PRODUCTION FOLIAIRE DES LIQUEUX

Les résultats sont tirés des travaux de NEBOUT et TOUTAIN (1978). L'évaluation de la production foliaire des ligneux demande un inventaire des espèces, de leur densité, et l'établissement de corrélations entre paramètres structuraux (hauteur, diamètre à la base...) et le poids de matières sèches des différents organes (bois, branches, feuilles, fruits...). Les relations allométriques (diamètre, production foliaire) ayant déjà été données à la page 116, nous traiterons de la production foliaire après avoir évalué la densité dans les différentes unités de végétation retenues.

L'inventaire a été réalisé à partir d'un échantillon de 13 150 ha recoupant 5 des groupements généraux (Spt, Ams, Cd, Sg, As) définis par TOUTAIN (1976) et regroupés en 3 grands ensembles qui sont :

- les bas-fonds (2 701 ha),
- les systèmes de glacis (5 925 ha),
- les systèmes dunaires (4 524 ha).

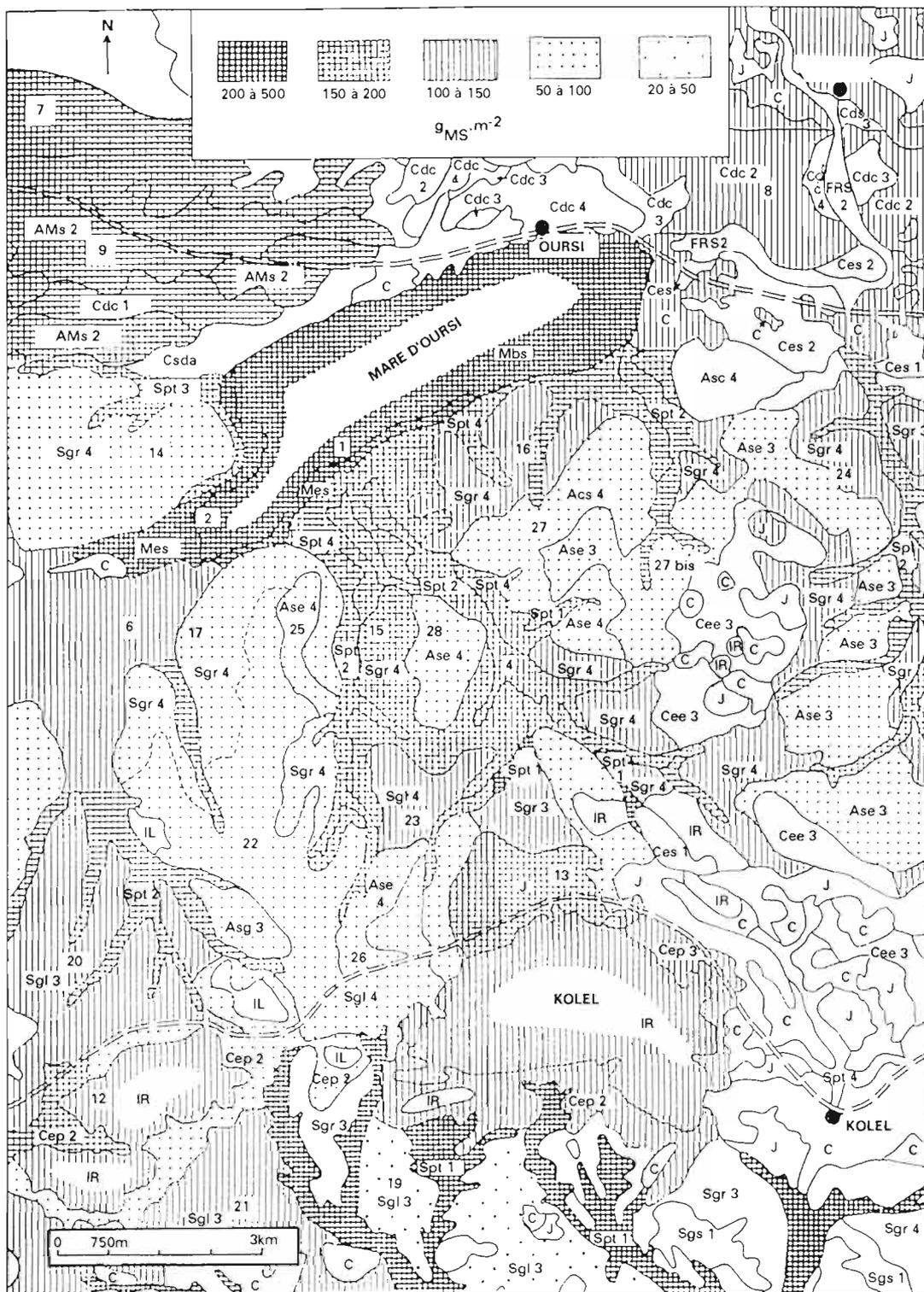


Figure 36 - Distribution de la phytomasse herbacée au 1<sup>er</sup> octobre 1977. 14, 22, 8 : numéros des sites échantillonnés (Fond de carte : réduction de la carte de TOUTAIN, 1976, IEMVT.)

TABLEAU XL

Biomasse foliaire des espèces ligneuses retenues au moment de la feuillaison maximale (gramme de matières sèches)

Dimensions	Diamètre (cm)								Hauteurs (m)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	>35	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Espèces														
<i>Acacia laeta</i>	217	926	1 637	2 346	3 057	5 666								
<i>Acacia raddiana</i>	8	218	480	743	1 005	1 268	1 530							
<i>Acacia seyal</i>	60	520	1 300	1 700	3 800	6 900	8 000	8 500						
<i>Balanites aegyptiaca</i>	50	80	190	2 890	5 590	8 290	10 990							
<i>Guira senegalensis</i>	40	250	790	870										
<i>Combretum aculeatum</i>									12,6	43	73	103	134	164

Sur la carte des ressources fourragères (TOUTAIN, 1976), un quadrillage délimitant des carrés de 1 km<sup>2</sup> a été tracé. À chaque nœud de maille un élément de 1 ha a été matérialisé et inventorié : comptage exhaustif des espèces, mesure de hauteur et de diamètre à la base du tronc.

Pour obtenir la phytomasse foliaire, il suffit de multiplier pour chaque site le nombre de ligneux classés par espèce et par catégorie de dimension par la phytomasse foliaire correspondante (tableau XL). Les phytomasses moyennes relatives aux trois grands ensembles ont été calculées à partir de ces sites. Les résultats relatifs à la densité et à la répartition de espèces sont reportés dans les tableaux XLI et XLII.

Les unités liées aux dunes et ensablements présentent une certaine homogénéité tant sur le plan de la densité moyenne que de la répartition des principaux taxons. En effet, sur 81 % de la surface inventoriée, la densité observée est inférieure à 50 tiges à l'hectare et *Balanites aegyptiaca* représente 70 % des taxons. Pour ces formations la biomasse foliaire au moment de la feuillaison maximale de l'année 1978 est de 30 kg<sub>MS</sub>.ha<sup>-1</sup>.

Une assez grande homogénéité s'observe aussi sur les unités de glacis. Sur 91 % de la surface, la densité est inférieure à 100 tiges.ha<sup>-1</sup>. *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca* et *Acacia laeta* sont les espèces les plus fréquemment rencontrées. La biomasse foliaire est en moyenne de 40 kg<sub>MS</sub>.ha<sup>-1</sup>.

La variabilité des densités observés (tableau XLI) rend difficile le calcul d'une valeur moyenne pour les bas-fonds. Sur 60 % de la surface, on note une densité inférieure à 100 tiges.ha<sup>-1</sup>. Sur le reste les densités se situent principalement entre 100 et 200 tiges à l'hectare mais peuvent atteindre près de 500 tiges.ha<sup>-1</sup> avec une dizaine d'espèces (GROUZIS, 1988). *Balanites aegyptiaca* et *Acacia seyal* représentent alors 90 % des espèces inventoriées.

Les biomasses foliaires sont regroupées en deux catégories :

TABLEAU XLI

Densités des ligneux pour les différentes unités étudiées

d . ha <sup>-1</sup>	≤ 50	50-100	100-150	> 300	aire totale (ha)
Milieux					
Dunes et ensablements	3 669	855	-	-	4 524
Glacis	3829	1 572	-	524	5 925
Bas-fonds	304	1 249	531	617	2 701

TABLEAU XLII  
Surfaces occupées par les espèces en pourcentage du total

Espèces	Gs	Ar + Ca	Gs + Caf	Ba	Ar	Ba + Ca	Ar + Al	Al	Al + Caf	Caf	As	As + Ba	An
Milieux													
Dunes et ensablements	5	11	14	70									
Glacis		1,5		20	42	3	2	27	1	3,5			
Bas-fonds				48	5						34	8	5

Gs : *Guiera senegalensis*      Al : *Acacia laeta*  
 Ar : *Acacia raddiana*          As : *Acacia seyal*  
 Ca : *Combretum aculaetum*      An : *Acacia nilotica*  
 Caf : *Commiphora africana*      Ba : *Balanites aegyptiaca*

- les zones ayant une densité inférieure à 100 tiges.ha<sup>-1</sup> dans lesquelles la biomasse est en moyenne de 150 kg.ha<sup>-1</sup> ;
- les zones ayant une densité de 100 à 200 tiges.ha<sup>-1</sup> où la biomasse est égale à 300 kg.ha<sup>-1</sup>.

Dans les zones où la densité est supérieure à 200 tiges.ha<sup>-1</sup> les auteurs ne donnent pas de valeur moyenne car les estimations sont trop hétérogènes.

Pour l'année 1978, la production foliaire ramenée aux 64 000 ha du périmètre d'étude est consignée dans le tableau XLIII.

Les bas-fonds, qui n'occupent que 10 % de la surface de la zone (13 % de la surface échantillon), assurent près de 50 % de la production. Les glacis et les unités sur sables contribuent respectivement pour 33 % et 18 % de la production de la zone.

La production foliaire des espèces ligneuses représente près de 5 % de la production totale (herbacée et ligneux) soit environ la moitié de ce qui est généralement admis en zone sahélienne (BILLE, 1977 ; POUPON, 1980).

On doit admettre que l'évaluation de la production ligneuse n'a pas été réalisée avec la même densité et la même précision que celle de la production herbacée et que certaines réserves doivent être émises.

Tout d'abord, ce sont des estimations par défaut puisque toutes les espèces constituant la phytocénose ne sont pas prises en compte. Par ailleurs, ces données sont approximatives en raison de l'échantillonnage de base nécessairement limité. Notons enfin qu'elles ne tiennent pas compte de la variabilité interannuelle puisqu'elles n'ont été établies que pour le cycle végétatif 1978, qui présente un déficit pluviométrique de l'ordre de 20 % par rapport à la moyenne de Gorom-Gorom (1956-1981).

TABLEAU XLIII  
Production foliaire des ligneux dans la région d'Oursi (cycle 1978)

Unités de végétation	Surface (ha)	Biomasse kg <sub>MS</sub> .ha <sup>-1</sup>	Production (tonnes)
Dunes et ensablements	18 981	30	569
Glacis	25 680	40	1 027
Bas-fonds	6 764	225	1 522
Mares, inselbergs, zones cultivées	12 857	non sondés	non sondés
Total	64 282	-	3 118

## ESTIMATION DE LA PRODUCTION HERBACÉE ET DE LA CHARGE FRÉQUENTIELLES

La production des herbages et par conséquent la capacité de charge sont très variables, puisqu'elles sont étroitement dépendantes des conditions spécifiques d'aridité, liées au caractère saisonnier et à la variabilité des précipitations. Compte tenu de cette variabilité, l'estimation des charges ne peut s'appuyer sur les mesures relatives à une seule année. Les observations sur de plus longues périodes telles que celles présentées précédemment sont souhaitables, mais celles-ci sont souvent difficiles à réaliser en raison de leur coût. C'est pourquoi nous avons tenté d'élaborer un modèle simple de production en fonction des précipitations, pour faciliter l'estimation de la production.

La pluie efficace est la hauteur d'eau infiltrée pendant une période déterminée. Elle s'exprime par la relation  $Pe = P \pm KrP$ , dans laquelle  $P$  représente les précipitations et  $Kr$  le coefficient de ruissellement.

Comme la pluie réelle arrivant au sol est supérieure à celle mesurée dans les appareils normalisés à 1 mètre (CHEVALLIER *et al.*, 1985), c'est le coefficient de ruissellement réel  $Ks$  qui a été utilisé dans l'établissement de ces relations (SICOT et GROUZIS, 1981). Ce dernier est représenté par le rapport du  $Kr$  conventionnel par le coefficient de proportionalité entre pluie à 1 mètre et pluie au sol.

La figure 37 rassemble les quatre années de mesures relatives aux liaisons phytomasse-pluie efficace pendant les différentes périodes considérées.

Il apparaît que, quelle que soit la quantité totale d'eau infiltrée dans le sol (A, B, C), il existe une liaison très hautement significative entre la phytomasse herbacée et l'eau infiltrée.

Les coefficients de détermination respectivement de 0,33, 0,28 et 0,33 pratiquement égaux n'autorisent aucune discrimination entre les trois types de liaisons.

Le choix se porte néanmoins sur la relation entre la phytomasse et la pluie efficace pendant la saison des pluies, d'équation :

$$y = 0,40 x - 34,6 \text{ (figure 37 A)}$$

parce que les données de base nécessaires à son établissement sont réduites à la pluviométrie et au ruissellement annuels. La valeur des constantes  $a$  et  $b$ , respectivement 0,4 et 34,6, résulte de l'utilisation de la pluviométrie à 1 m et du coefficient de ruissellement réel.

L'utilisation du coefficient de ruissellement conventionnel permet d'exprimer la phytomasse ( $g_{MS} \cdot m^{-2}$ ) en fonction de la pluie efficace à 1 m (mm) par la relation :

$$y = 0,36 Pe - 14,2 \quad (r^2 = 0,35)$$

Le coefficient de régression " $a$ " représente l'efficacité moyenne de l'eau. Dans notre cas, 1 mm d'eau infiltrée permet donc la production d'environ  $4 \text{ kg}_{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ .

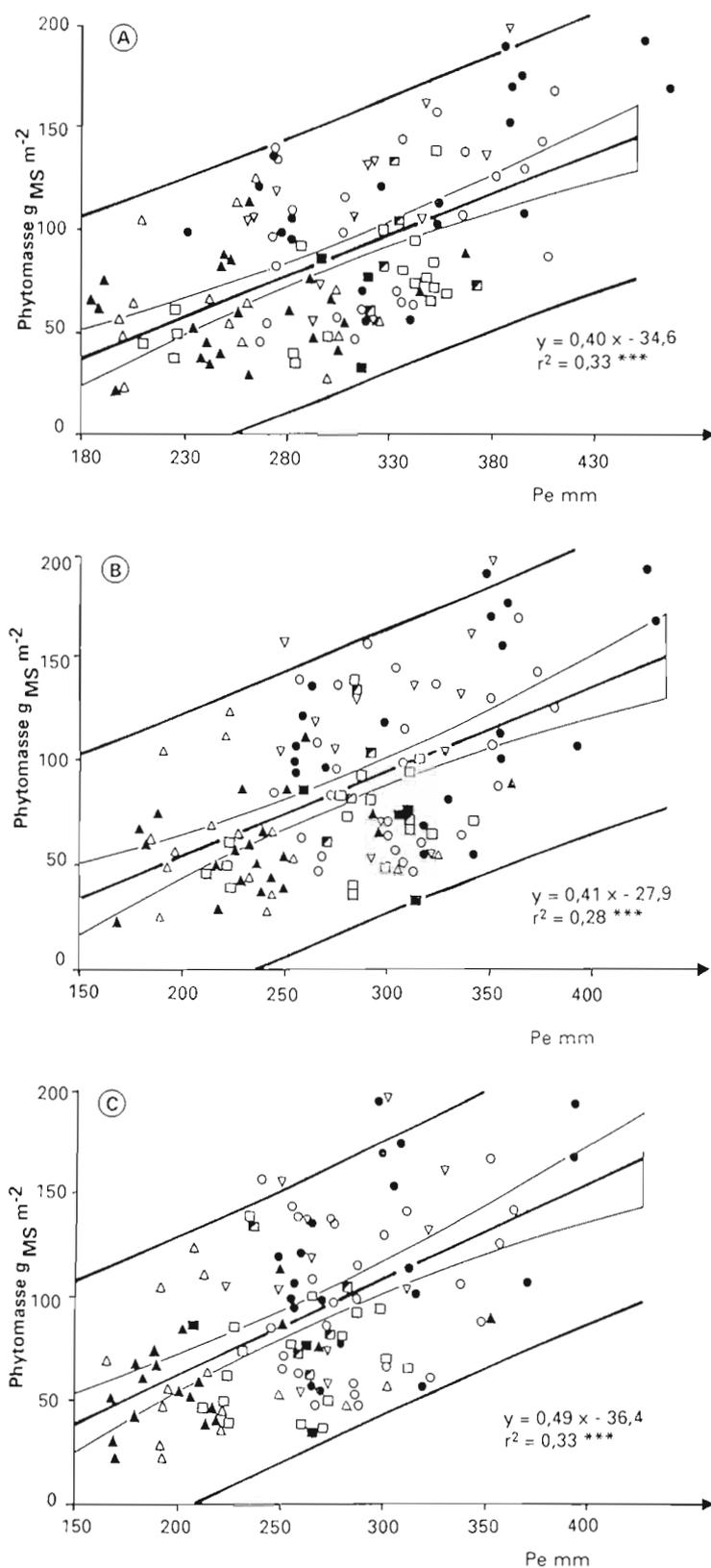
L'utilisation de la formule est limitée dans la partie inférieure par la valeur  $Pe = 150 \text{ mm}$ . Par ailleurs, la zone correspondant à l'effet optimal du bilan d'eau n'est pas explicitée dans la relation. En effet, bien que l'on ait des précipitations efficaces supérieures à 450 mm, ce terme est mal contrôlé dans cette gamme de valeurs. C'est le cas des talwegs et de certains bas-fonds où la détermination des précipitations efficaces est moins précise car une partie de l'eau ruisselée transite vers les points bas (la mare), tandis qu'une autre fraction s'évapore à partir de la nappe d'eau libre non infiltrée à cause de l'imperméabilité du sol.

Notons aussi que le facteur eau, au-delà d'un certain seuil ne permet pas d'augmenter de façon très nette la production de la végétation (FLORET et PONTANIER, 1978), car il perd son caractère limitant. D'autres facteurs dont la fertilité deviennent alors déterminants. Remarquons cependant que les limites données par BREMAN et KRUL (1982) placent le site d'Oursi dans une zone de transition (200-500 mm) où la fertilité n'est pas encore le facteur le plus important ; celle-ci ne devenant limitative que pour des précipitations supérieures à 500 mm.

Pour ce niveau de perception, l'effet de la répartition pluviométrique n'a pas été directement pris en compte dans l'élaboration de la fonction. Cependant, et en raison de la nature très différente de la répartition pluviométrique durant les quatre années d'observations, cette variable a été implicitement intégrée dans la relation pluriannuelle. Cette intégration se manifeste d'ailleurs par la diminution du coefficient de détermination qui passe de 0,64 pour la seule année 1976 (SICOT et GROUZIS, 1981) à 0,33 pour la relation pluriannuelle.

À cette échelle du secteur écologique la recherche d'une relation générale ne nous a pas incité à distinguer *explicitement* les variables liées au sol et à la végétation. Les différentes unités ont été traitées globalement dans l'établissement de la relation et c'est ce qui explique la relative variabilité des résultats. L'influence de ces variables a été cependant appréhendée à l'échelle de la station écologique. Les résultats portés sur la figure 38 révèlent que l'efficacité en eau, c'est-à-dire la quantité de matières végétales produite par unité de surface et par millimètre de pluie incidente (RUE) ou infiltrée (WUE) varie avec les caractéristiques édaphiques. En considérant les valeurs obtenues dans les unités protégées (figure 38 B), il n'est pas étonnant en effet de trouver un RUE élevé pour l'unité Spt, puisqu'il est lié au milieu qui présente le potentiel édaphique le plus élevé si l'on se base sur les valeurs de la capacité d'échange, les taux de matière organique et d'azote (tableau XXVIII).

Figure 37 - Relation pluriannuelle (1976-1980) entre phytomasse herbacée et eau infiltrée. (A) Saison des pluies, (B) début saison des pluies-fin du cycle, (C) durant cycle végétatif. Les symboles, dont la signification est donnée sur le tableau XVII, p. 44, représentent les différents groupements végétaux observés. \*\*\* : significatif pour  $p = 0,01$ .



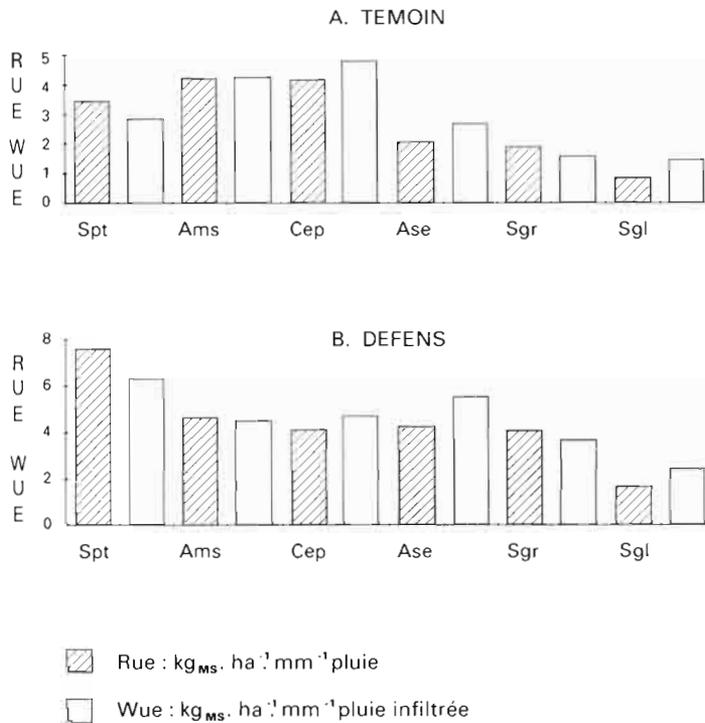


Figure 38 - Moyennes interannuelles (1977-1981) des efficacités en eau de différentes unités de végétation du bassin versant d'Oursi.

situées en bas de pente alors que celles des unités qui ruissellent ont tendance à augmenter. Les unités situées sur des sols à texture sableuse et pour lesquelles le ruissellement est nul (Oursi : Ams) ou modéré (Kolel : Cep) ont des RUE et WUE identiques ou similaires.

La comparaison des valeurs observées dans les stations protégées et témoins montrent que l'efficacité en eau (RUE, WUE) dépend étroitement du stade évolutif de la végétation et accuse particulièrement l'impact des activités humaines sur l'écosystème. Nous reviendrons plus en détail sur ces aspects ultérieurement. Notons toutefois que, pour toutes stations confondues, le RUE des unités témoins du bassin versant d'Oursi s'élève à :

$$2,9 \pm 0,6 \text{ kg}_{\text{MS}}.\text{ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$$

Afin d'exprimer la phytomasse herbacée en fonction de la pluie moyenne sur le bassin, nous avons recherché une relation entre lame d'eau ruisselée, calculée à partir du bilan hydrologique de la mare, et pluie moyenne.

L'utilisation des valeurs publiées dans CHEVALLIER *et al.*, (1985), donne la relation suivante :

$$\text{Le} = 0,43 \text{ Pm} - 79,1 \quad r = 0,825 \text{ (n = 6 : 1976-1981)}$$

L'expression de la pluie efficace se réduit donc à :

$$\text{Pe} = \text{Pm} - \text{Le} = 0,57 \text{ Pm} + 79,1$$

En remplaçant Pe par cette valeur dans la relation  $y = 0,36 \text{ Pe} - 14,2$ , la phytomasse herbacée en fonction de la pluie moyenne s'écrit :

$$y \text{ (g}_{\text{MS}}.\text{m}^{-2}\text{)} = 0,21 \text{ Pm (mm)} + 14,2$$

Cette dernière relation n'est utilisable que pour le bassin versant de la mare d'Oursi, mais elle offre l'avantage d'être très pratique puisque son utilisation ne demande que la connaissance de la pluviométrie moyenne annuelle.

Avec des potentiels équivalents les unités sur sables (Ams, Cep, Ase) présentent des efficacités en eau plus élevées (4,4) que les unités correspondant aux sols limono-argileux, sauf si ces derniers occupent des positions topographiques leur permettant de recueillir les eaux de ruissellement.

À cet égard, la différence entre la station de Sgr (RUE : 4) et Sgl (1.7) est significative. En effet, avec des caractéristiques pédologiques quasi identiques, le RUE de Sgr est d'environ 2,5 fois plus élevé tout simplement parce que le glacis de Bas-Kolel (Sgr) bénéficie d'une partie des eaux de ruissellement évaluée annuellement en moyenne à 12,4 % (1976-1981) tandis que Kouni laisse échapper 36,3 % des précipitations par ruissellement (CHEVALLIER *et al.*, 1985).

L'intérêt du WUE réside alors dans le fait qu'il intègre les fractions d'eau ruisselées. Ainsi on peut voir sur la figure 38 que les valeurs de l'efficacité en eau diminuent pour les unités

TABLEAU XLIV

Phytomasse herbacée et charges fréquentielles du bassin versant d'Oursi (calculs sur 64 000 ha)

Fréquence	Réurrence (an)	Phytomasse $g_{MS} \cdot m^{-2}$	Charge UBT	Fréquence	Réurrence (an)	Phytomasse	Charge
0,01	100	60,0	6 734	0,50	2	100,7	11 302
0,02	50	63,8	7 160	0,80	5	121,7	13 658
0,05	20	70,1	7 867	0,90	10	135,2	15 174
0,10	10	76	8 529	0,95	20	146,9	16 486
0,20	5	83,5	9 371	0,98	50	159,5	17 901

L'efficacité en eau au niveau du bassin versant ( $2,1 \text{ kg}_{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) confirme celle établie au niveau de la station écologique pour les stations soumises à l'influence des activités humaines ( $2,9 \text{ kg}_{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ). Par ailleurs, elle corrobore celles d'autres zones sahéliennes (DIARRA et BREMAN, 1975 ; BILLE, 1977) ou semi-arides (LE HOUEROU et HOSTE, 1977) qui se situent entre 2,4 et 3.

L'application de la relation phytomasse/pluie à la chronique pluviométrique constituée pour Oursi (SICOT et GROUZIS, 1981) permet d'estimer les phytomasses herbacées et les charges relatives à ces disponibilités, pour quelques fréquences remarquables (tableau XLIV) en sachant toutefois que ces charges sont surestimées pour des précipitations supérieures à 500 mm (réurrence favorable 10) car la fertilité devient limitative.

Les charges fréquentielles relatives à ces disponibilités, majorées de 20 % pour corriger l'erreur systématique par défaut et tenir compte de la contribution de la strate ligneuse à la production, exprimées en UBT et en tête de bovins sont présentés sur la figure 39.

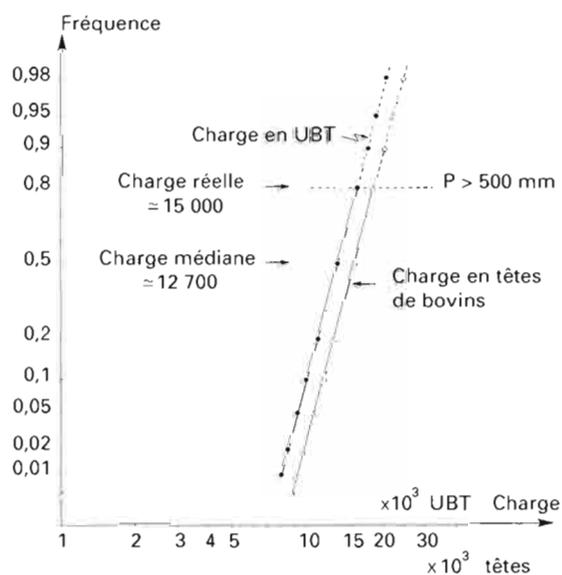


Figure 39 - Charges fréquentielles du bassin versant d'Oursi. À partir de 500 mm de pluie, les prévisions sont en retrait et non sur la droite car la fertilité devient limitative.

# ÉVOLUTION ET SEUILS DE RUPTURE DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES

Les systèmes écologiques du bassin versant d'Oursi, n'échappent pas au phénomène de désertification qui touche la zone bioclimatique sahélienne.

Certains auteurs imputent ces phénomènes de dégradation à la période de sécheresse qu'ils situent dans un processus de péjoration climatique tendant vers l'aridification (MICHEL, 1984 ; TOUPET, 1986). D'autres l'attribuent aux activités humaines qui accentuent les effets des conditions climatiques déjà défavorables (BOUDET, 1972 ; LE HOUEROU, 1979 ; GROUZIS et ALBERGEL, 1989).

Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur les causes du phénomène, l'ensemble de la communauté scientifique reconnaît aujourd'hui la profonde dégradation des systèmes écologiques sahéliens. Les processus de dégradation sont bien connus. Ils débutent par une diminution du couvert végétal ; le sol, moins protégé, est soumis suivant les saisons à l'action du vent et de la pluie. Pendant la longue saison sèche, les vents actifs mettent en mouvement les particules les plus fines du sol. En saison des pluies, le ruissellement augmente et différentes formes érosives s'installent (glaçage superficiel, érosion en nappes, rigoles, ravines...). Ces phénomènes érosifs se manifestent par une perte de terre et une baisse de la fertilité en raison du transport sélectif des particules fines et du lessivage des éléments nutritifs (phénomène de lixiviation superficielle ; ROOSE, 1977). Il en résulte une diminution des réserves en eau du sol et une baisse de la productivité, entraînant de nouveau la régression de la couverture végétale ; la désertification apparaît donc comme un processus en chaîne, difficile à maîtriser une fois amorcé. On peut se demander toutefois si cette évolution est irréversible et quelles sont les capacités de régénération de ces systèmes écologiques.

Après avoir rappelé les principales conditions qui déterminent l'extension des surfaces dégradées, le potentiel de régénération des systèmes écologiques sera évalué par les effets d'une simple mise en défens et de divers aménagements.

# LES CONDITIONS DE LA DÉGRADATION

## LA SÉCHERESSE

Nous ne reviendrons pas sur l'évolution climatique traitée dans le détail dans la première partie. Rappelons simplement que les auteurs s'accordent pour admettre que les pays de la zone soudano-sahélienne accusent des déficits hydropluviométriques particulièrement intenses (OLIVRY, 1983 ; SIRCOULON, 1984 ; ALBERGEL *et al.*, 1985 ; SNIJDERS, 1986 ; HUBERT et CARBONNEL, 1987). Cette période de sécheresse qui s'est installée à la fin des années soixante se singularise des autres sécheresses connues (1913, 1931, 1939...) par sa durée (plus de 18 ans de déficit pluviométrique dans certaines stations), son ampleur (fréquence élevée d'années exceptionnellement sèches) et son extension géographique (les zones méridionales présentent les mêmes caractères).

Ce sont là des conditions particulièrement défavorables à la régénération de la végétation.

## L'EMPRISE HUMAINE

Les zones sahéliennes sont actuellement caractérisées par une forte croissance démographique. Estimée à 35 millions d'habitants en 1984, la population sahélienne atteindrait 70 millions d'ici 25 ans si les tendances actuelles se maintiennent.

Pour faire face aux besoins de cette population en pleine expansion et de plus en plus déséquilibrée en raison de la forte urbanisation, on développe des techniques extensives d'exploitation car les rendements évoluent peu (GROUZIS et ALBERGEL, 1987). Les cultures s'étendent aux dépens des jachères, des bas-fonds et des zones d'aptitude culturale souvent marginales et sensibles à l'érosion. Ainsi DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 b) notent pour le Sahel burkinabé, entre 1955 et 1975, un accroissement des surfaces cultivées au rythme de 2,25 % par an, chiffre très voisin de la croissance démographique.

Sur le plan pastoral, la logique est comparable. L'éleveur tend à augmenter l'effectif du cheptel pour accroître les chances de reconstitution du troupeau en cas d'accident climatique. De ce fait, le milieu surexploité n'est plus en mesure de répondre aux besoins du bétail.

Les valeurs du potentiel de charge de la zone s'élèvent en moyenne à 11 194 UBT et au maximum pendant la période d'observation à 14 342 UBT (tableau XXXIX). Les dénombrements effectués au mois d'avril 1976 par LHOSTE (1977) et au cours de la saison sèche 1980 par N'Tio (1981) donnent respectivement un effectif de 15 300 UBT et de 14 624 UBT. Il en résulte un excès de charge de 36 % à 30 % si l'on se base sur la production herbacée moyenne. L'équilibre est pratiquement atteint (excès de 6 à 2 % en fonction des dénombrements) en considérant la production maximale obtenue. Si l'on se réfère à la charge moyenne de la zone, il y aurait eu en 1983, année exceptionnellement sèche (204 mm), une surcharge d'environ 9 000 UBT. En termes fréquentiels, on constate que la production du bassin ne permet d'assurer les besoins du cheptel présent, évalué à environ 15 000 UBT, qu'une année sur cinq et qu'il serait nécessaire de délester le bassin d'au moins 15 à 20 % de l'effectif actuel, afin d'assurer la couverture des besoins d'entretien au moins une année sur deux.

La strate ligneuse est particulièrement touchée par ces activités humaines. L'élimination ou la forte dégradation du couvert ligneux est notamment due :

- à la préparation des champs (réduction de l'ombrage, lutte contre la nidification des oiseaux granivores, constitution des haies de protection contre les troupeaux) ;
- à l'émondage et à l'étêtage afin de mettre le feuillage à la disposition du bétail ;
- au prélèvement pour couvrir la quasi-totalité des besoins énergétiques de la population.

L'emprise de l'homme sur le milieu n'est pas uniquement due aux activités actuelles mais relève aussi de l'histoire. Rappelons, en effet, que cette région a été largement occupée pendant la première moitié du premier millénaire après J.-C. (1900 à 1375 avant nos jours). Les vestiges témoignent d'une occupation sédentaire relativement dense reposant sur une activité agricole (BARRAL, 1977 ; GROUZIS, 1988).

TABLEAU XLV

Superficie des pâturages selon l'état de la végétation dans la zone d'endodromie Oursi, Bidi, Gorom-Gorom (TOUTAIN, 1976)

Nature et état des unités		Superficie (ha)	%
Parcours	état 1	8 635	7
	état 2	22 787	18
	état 3	26 785	21
	état 4	36 379	29,5
Mares		2 767	2
Inselbergs		5 453	4
Cultures et jachères		23 058	18,5
Eaux libres		112	
Total		125 976	100

L'état de la végétation est exprimé selon la classification suivante :

- 1 : bon état du tapis herbacé et de la strate ligneuse ;
- 2 : début de dégradation : tapis herbacé éclairci, strate ligneuse stable ;
- 3 : dégradation importante, tapis herbacé très discontinu, mort de quelques ligneux ;
- 4 : dégradation très avancée : tapis herbacé très réduit ou disparu, nombreux ligneux morts ou disparus.

Ces systèmes d'exploitation caractérisés par une consommation d'espace associés à la contrainte sécheresse induisent globalement une dégradation du milieu. Celle-ci se manifeste notamment par la remobilisation des sables et l'extension des dunes vives. DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 a) indiquent par exemple que la surface de la dune vive d'Oursi a été multipliée par douze entre 1955 et 1975. Ce phénomène, bien que localisé, est néanmoins symptomatique. Sur les sols lourds, les zones nues à forte réorganisation superficielle (pellicule de battance) s'étendent. Il en résulte une augmentation sensible du ruissellement (DEWISPELAERE et TOUTAIN, 1981) qui péjore le bilan hydrique des sols.

Le tableau XLV montre que les pâturages dégradés occupent plus de 50 % de la zone considérée. Les parcours présentant une dégradation très avancée (stade 4) s'étendent sur près du tiers du territoire. DEWISPELAERE et TOUTAIN (1976 b) rapportent de plus que ces derniers ont quadruplé de 1955 à 1975 dans la région Oursi-Gorom. En conséquence la production fourragère a diminué de 20 à 25 % pendant cette même période.

Cette évaluation succincte des phénomènes de désertification montre que la région d'Oursi est affectée par différentes formes de dégradation dues notamment à la persistance d'années pluviométriques déficitaires et aux techniques d'exploitation.

Dans ce contexte globalement défavorable on peut se demander quel est le potentiel de régénération de ces systèmes écologiques et quelle est la part respective des facteurs climatiques et anthropiques dans leur évolution.

## LES CAPACITÉS DE RÉGÉNÉRATION

Pour répondre à ces questions deux axes de recherches ont été développés :

- l'étude des effets d'une mise en défens des systèmes écologiques afin de définir leur potentiel de régénération naturelle ;
- le suivi d'opération de réhabilitation (travail du sol, reboisement...) pour évaluer la réponse des systèmes écologiques fortement dégradés aux efforts de restauration.

## LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE

Le potentiel de régénération naturelle a été apprécié par l'évolution de certains paramètres caractéristiques de la végétation, d'unités représentatives protégées (1 ha) de l'exploitation des troupeaux et d'unités témoins (GROUZIS, 1988 a, 1988 b ; TOUTAIN et PIOT, 1980).

Les effets de la mise en défens, largement positifs dans les sites peu ou moyennement dégradés se répercutent sur la structure de la végétation, la composition floristique, la production et la dynamique de la strate ligneuse.

Sur le plan structural, la protection engendre une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement notamment dans les glacis de transit à sol lourd. En effet, un effet cumulatif permet aux éléments de végétation haute et dense des zones favorables de s'étendre car la paille constitue un obstacle au sable et aux diaspores. Parfois la mise en défens provoque une large dénudation de la parcelle, en raison de la constitution à la base du grillage et au cours de la première averse d'un bourrelet de terre et de matières organiques. Cet obstacle bloque la redistribution des diaspores et détourne les eaux de ruissellement, ce qui diminue localement le bilan d'eau (TOUTAIN et PIOT, 1980).

Sur le plan floristique, la protection se manifeste généralement par un accroissement de la richesse floristique. Dans certaines unités (Spt, Sgr) la richesse floristique double pratiquement en cinq années de protection. Dans les autres unités, les tendances sont difficiles à dégager, en raison des fluctuations interannuelles élevées. La suppression du pâturage permet aussi l'extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique.

À titre d'exemple, les résultats relatifs aux unités Spt et Sgr sont donnés sur les figures 40 et 41.

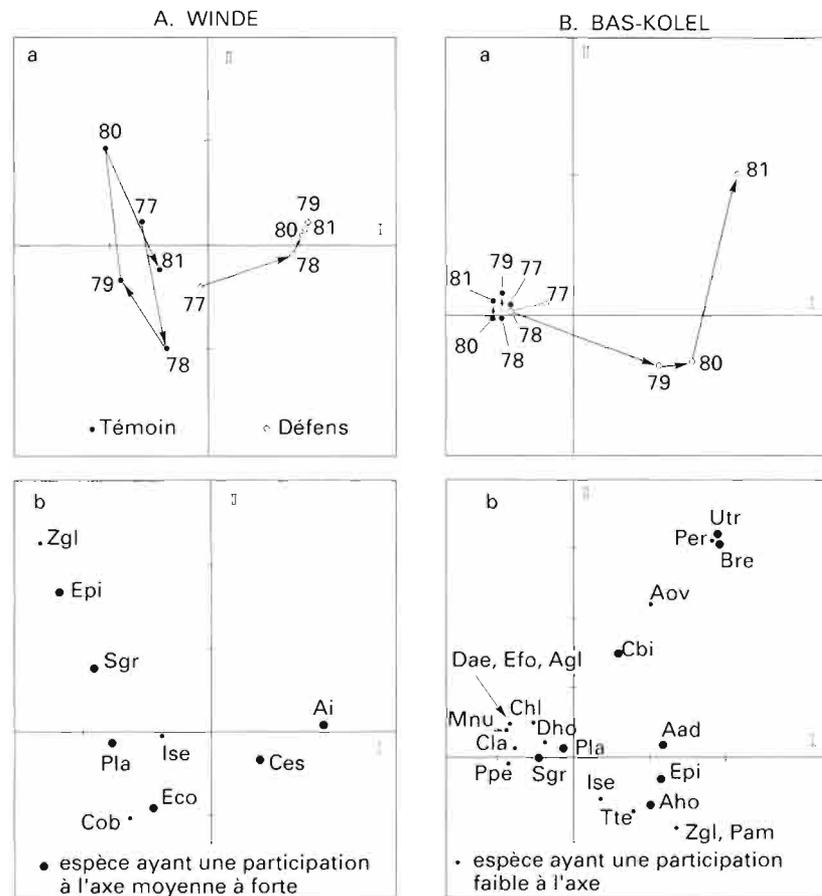


Figure 40 - Analyse diachronique de la végétation (in GROUZIS, 1988).  
 Diagramme des relevés (chronogramme a) et diagramme des espèces (cénogramme b) dans le plan des axes I et II de l'analyse des correspondances. La ligne qui relie les différentes dates (cheminement) traduit les phases successives de l'évolution de la végétation.

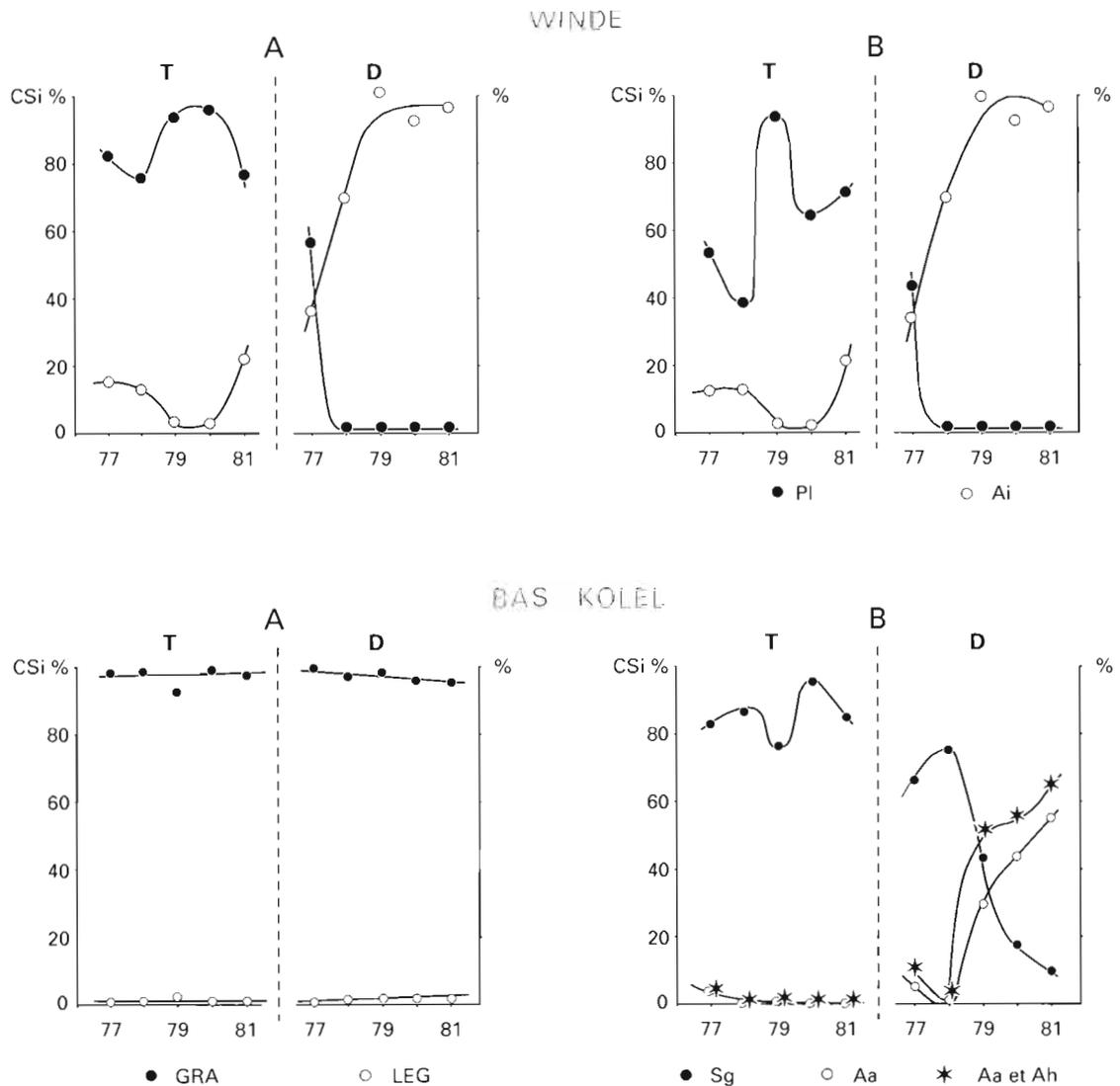


Figure 41 - Variations interannuelles de la contribution spécifique (CSi %) des familles (A) et des espèces principales (B) dans les conditions actuelles (T) et de mise en défens (D).

GRA, LEG : graminées, légumineuses PI : *Panicum laetum* Ai : *Aeschynomene indica*  
 Sg : *Schoenefeldia gracilis* Aa : *Aristida adscensionis* Aa et Ah : *Aristida hordeacea*

L'examen du chronogramme de l'analyse globale relatif à Windé (figure 40 Aa) montre que l'évolution de la végétation dans la parcelle protégée diffère nettement de celle du témoin. Dans cette dernière, les points représentatifs de la végétation groupés autour de *Schoenefeldia gracilis* et de *Panicum laetum* se déplacent nettement vers le bas en 1978 (*Echinochloa colona*) et vers les ordonnées positives en 1980 (*Eragrostis pilosa*). Les oscillations autour d'un état moyen sont relativement élevées. Dès 1977, l'image de la végétation de la parcelle protégée s'écarte du témoin en s'approchant des abscisses positives, grâce à la forte participation de *Aeschynomene indica*. Puis les images successives se resserrent suggérant qu'un état d'équilibre est atteint.

Dans la station de Bas-Kolel (figure 40 Ba) les images des témoins auxquelles s'ajoutent celles des années 1977 et 1978 des zones protégées restent groupées autour de *Schoenefeldia gracilis* et *Panicum*

*laetum*. Puis on assiste à un déplacement vers les abscisses positives du point représentatif de la végétation protégée. Cette évolution correspond à un appauvrissement en *Schoenefeldia gracilis* et à un enrichissement en *Aristida adscensionis*, *Aristida hordeacea* et *Eragrostis pilosa*. Le cheminement vers des ordonnées positives s'explique notamment par la forte participation de *Urochloa trichopus*, *Boerhavia repens*, malgré leur faible recouvrement.

L'approche analytique révèle que malgré de grandes fluctuations interannuelles la contribution spécifique (CS) des graminées de la parcelle témoin de Windé (figure 41) se maintient à un niveau élevé (74 à 96 %) tandis que celle des légumineuses reste constamment basse (2 à 22 %). Dès la deuxième année de protection, les graminées sont complètement inhibées par le développement des légumineuses. Au niveau spécifique cela se concrétise par le total remplacement de *Panicum laetum* par *Aeschynomene indica*. À noter que la faiblesse de la CS de *Panicum laetum* en 1978 s'explique par une submersion prolongée qui a avantagé une espèce plus hygrophile : *Echinochloa colona* (CS = 35 %).

Aucune différence ne s'observe dans les variations interannuelles des CS des graminées et des légumineuses des deux traitements de l'unité Sgr de Bas-Kolel (figure 41). En revanche, au niveau spécifique, il apparaît que la CS de *Schoenefeldia gracilis*, qui se maintient entre 76 et 95 % dans le témoin, chute dès la troisième année de protection au profit des *Aristida*, en particulier *Aristida adscensionis*.

L'ensemble des résultats relatifs à ces variations floristiques (TOUTAIN et PIOT, 1980 ; GROUZIS, 1988) montre qu'en général les graminées sont favorisées par la protection dans les unités de végétation établies sur sables (Oursi, Kolel, Goutouré), alors que les légumineuses sont avantagées par la mise en défens dans les unités de sols lourds, en particulier dans l'unité Spt du bas-fond de Windé. Sur le plan spécifique, les résultats montrent que *Schoenefeldia gracilis*, espèce ubiquiste de la région, a une nette tendance à être remplacée par d'autres espèces : *Aristida adscensionis*, *Aristida funiculata*, *Aristida hordeacea* et *Aeschynomene indica* qui élimine aussi *Panicum laetum*. En revanche, sur les formations sableuses (Oursi, Kolel), cette espèce est plutôt favorisée, ainsi que *Cenchrus biflorus* et l'espèce vivace *Aristida sieberana*.

L'influence de la protection sur la production varie en fonction de l'unité de végétation considérée et de la période d'exploitation (GROUZIS, 1988).

Sur dune et piémont, c'est-à-dire sur les unités de végétation exploitées en saison sèche, les différences en terme de production annuelle ne sont pas significatives bien que la phytomasse des stations protégées soit largement supérieure à celle des parcelles témoins :

- pente de 0,94 pour Oursi (0,96 ;  $r = 0,93^{***}$  pour Kolel non représenté sur la figure 42) ;
- valeurs comparables et non significativement différentes des productivités (tableau XLVI).

Dans les unités de végétation qui constituent les pâturages de saison des pluies (Ase, Sgl, Sgr, Spt), la protection de la végétation favorise la croissance et entraîne une augmentation sensible de la production des parcelles protégées qui est 1,5 à 2,5 fois plus élevée que celle des parcelles témoins (figure 42 et tableau XLVI).

Notons que l'ordonnée à l'origine des équations de la figure 42 constitue une estimation de la phytomasse protégeant le sol lorsque les parcelles témoins sont complètement dénudées. La valeur de cette phytomasse varie de 60 à 100  $g_{MS} \cdot m^{-2}$ .

Cette différence de production se retrouve aussi au niveau de l'efficacité en eau ainsi qu'on peut le

TABLEAU XLVI

Moyennes interannuelles (1977-1981) de la productivité ( $g_{MS} \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$ ) des unités protégées (D) et témoins (T)

Unités	Ams		Cep		Ase		Sgl		Sgr		Spt	
	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
Productivité	2,7	2,9	3,1	3,2	2,3	1,0	1,6	1,0	2,0	1,5	4,9	2,0

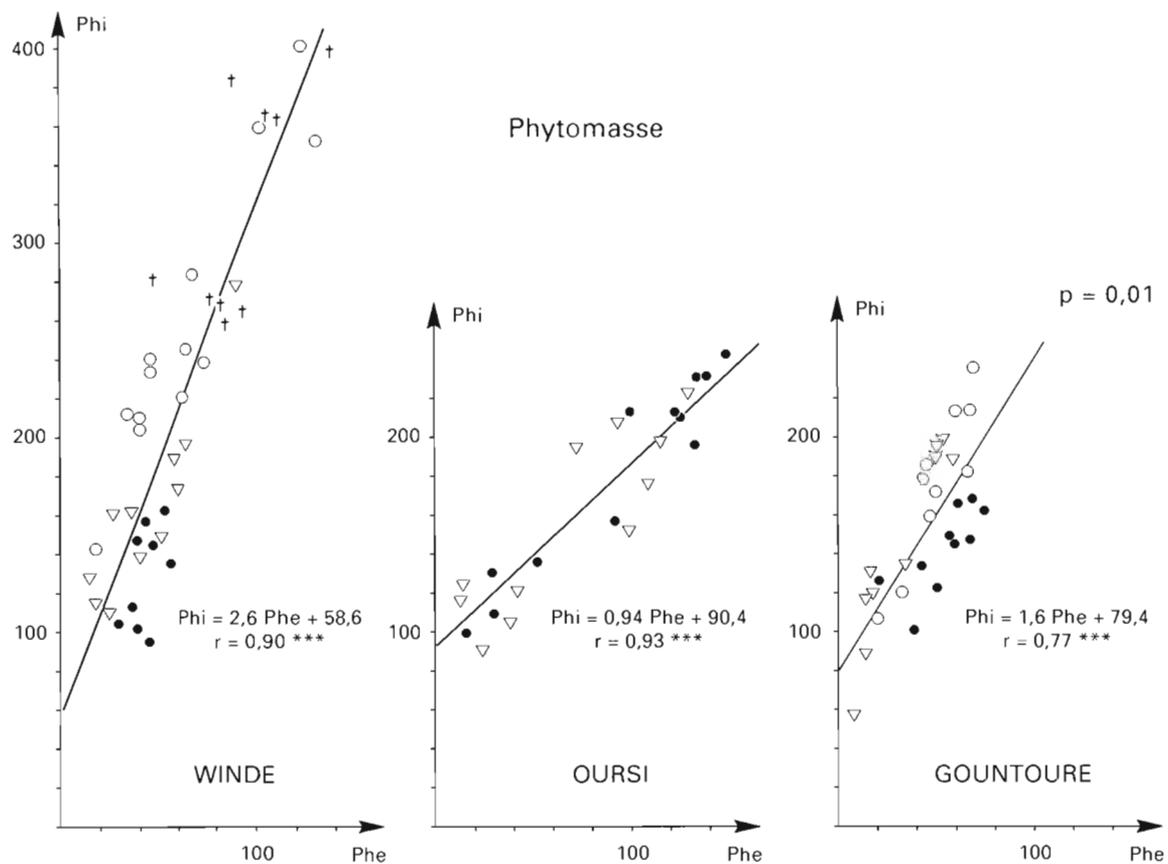


Figure 42 - Variations interannuelles (1978-1981) de la production des parcelles protégées (i) en fonction de celle des témoins (e) pour trois unités de végétation différemment exploitées. Les figurés correspondent aux observations des différentes années.

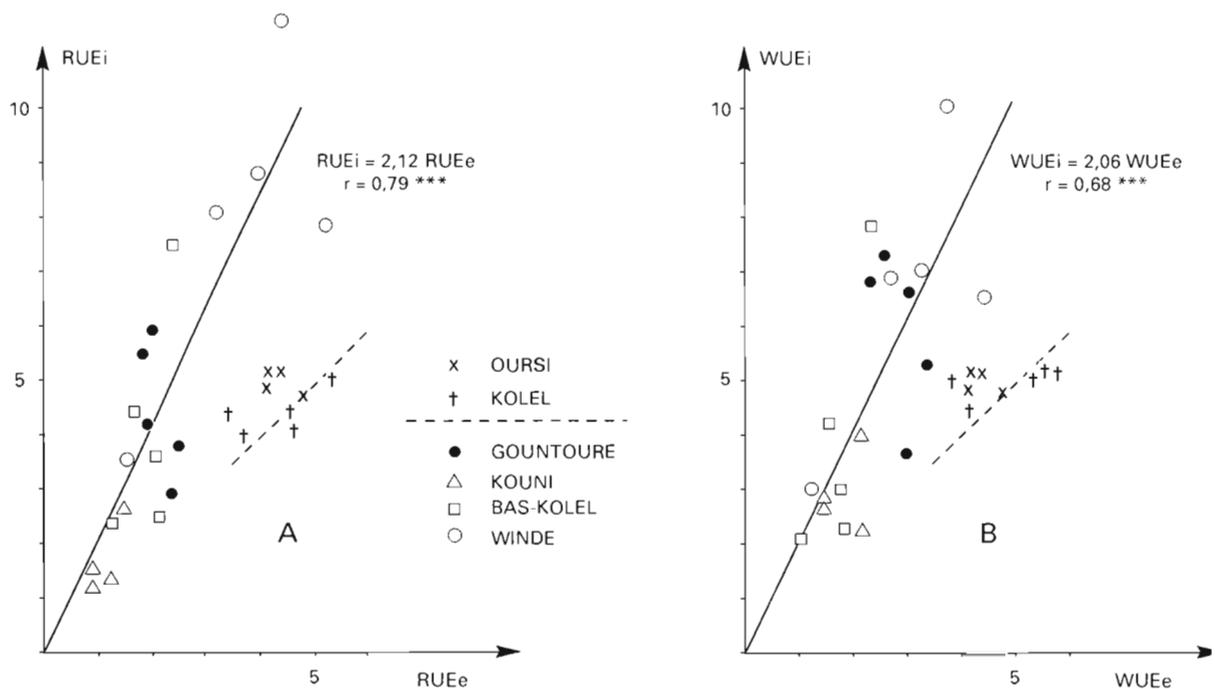


Figure 43 - Relation de l'efficacité en eau des parcelles protégées par rapport aux témoins.  $\text{kg}_{\text{MS}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$  de pluie (A) et de pluie infiltrée (B).

noter sur la figure 43 qui compare les variations de 1977 à 1981 de l'efficience en eau de la végétation entre parcelles protégées et parcelles témoins. Quel que soit le mode d'expression retenu (RUE par mm de pluie ou WUE par mm d'eau infiltrée) les unités pâturées pendant la saison de végétation se séparent nettement des unités exploitées pendant la saison sèche. Pour le premier groupe (Gountouré, Kouni, Bas-Kolel et Windé), il est possible de calculer une droite de régression commune, significative à 1 % et montrant que l'efficience en eau de la végétation des parcelles protégées est environ 2 fois plus élevée que celle des parcelles témoins. Pour le deuxième groupe (Oursi, Kolel), la répartition des points représentatifs autour de la bissectrice suggère qu'aucune différence ne s'observe entre les deux traitements.

L'effet de la protection de la végétation se manifeste aussi sur la strate ligneuse (tableau XLVII).

Après cinq ans de " protection ", il n'apparaît que 4 espèces nouvelles : *Boscia angustifolia*, *Grewia tenax* à Gountouré, *Maerua crassifolia*, *Boscia angustifolia* à Bas-Kolel. L'effectif des peuplements ligneux augmente au cours du temps à l'exception de celui de la station de Windé. Le plus fort accroissement est observé sur la dune d'Oursi (9 % par an environ). Celui-ci est dû notamment à *Maerua crassifolia*. À Kolel et Gountouré, les taux d'accroissement (4 à 5 % par an) sont similaires. Les espèces favorisées par la mise en défens sont les *Acacia* et *Balanites*, *Commiphora africana* et *Combretum aculeatum*. Les variations de l'effectif sont faibles à Bas-Kolel (1,5 % par an), mais des régénérations records ont pu être observées dans un bas glacis par TOUTAIN et PIOT (1980). En effet, le peuplement ligneux a plus que doublé en un an, avec l'apparition de cinq nouvelles espèces. À Windé le peuplement ligneux a régressé (- 6,6 % an<sup>-1</sup> de 1977 à 1984) malgré l'augmentation de l'effectif de *Combretum aculeatum*. Cette dynamique est due à une pullulation de rats (*Arvicanthis niloticus*) qui, en trouvant dans la parcelle protégée un biotope favorable, se sont abattus sur le peuplement ligneux (GROUZIS, 1988). Une évolution semblable a été décrite par POULET et POUPON (1978) dans le Ferlo sénégalais.

L'effet de la protection de la végétation sur la strate ligneuse se manifeste aussi sur la croissance et le développement. Certaines espèces (*Pterocarpus lucens*, *Grewia bicolor*, *Guiera senegalensis*, *Combretum aculeatum*) rejettent sur souche même lorsque celles-ci semblent mortes depuis quelque temps. D'autres espèces (*Maerua crassifolia*, *Combretum aculeatum*) que l'on trouve généralement surpâturées font preuve de capacités de croissance exceptionnelles. De plus, la floraison et la fructification sont favorisées, ce qui augmente les chances de reproduction à long terme de ces espèces.

TABLEAU XLVII  
Influence de la mise en défens sur la régénération de la strate ligneuse

Unités	Oursi			Kolel			Gountouré			Bas-Kolel			Windé		
	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d	ni	nf	d
Effectifs	94	123	29	78	95	17	636	759	123	59	63	4	484	453	- 31
Variation en % ni	+ 30,9			+ 21,3			+ 19,3			+ 6,8			- 6,4		

ni : effectif au moment de la mise en place de la protection (avril, 1977 ou 1978 pour Oursi).

nf : effectif en octobre 1980.

d : nf - ni.

## LA RÉGÉNÉRATION ARTIFICIELLE

Dans diverses situations de l'Oudalan, voire du Sahel, il s'avère que, après une dégradation trop importante du milieu, la régénération spontanée de la végétation est impossible.

De nombreux travaux de réhabilitation des systèmes écologiques ont donc été réalisés dans la région sahélienne notamment par les organismes de développement et les organisations non gouverne-

mentales. Les évaluations de ces opérations ont cependant été peu nombreuses. Pour l'Oudalan, nous ferons appel aux réalisations de TOUTAIN (1977), TOUTAIN et PIOT (1980) dans la région d'Oursi et de LE MASSON (1980) pour la strate herbeuse, ainsi qu'aux opérations de reboisement réalisées par l'Organisme régional de développement du Sahel dont le suivi nous a été confié (1).

Les aménagements menés dans la région d'Oursi, de Gorom-Gorom et de Markoy consistent en une simple action mécanique par travail superficiel du sol (sous-solage, hersage) et ont pour principal objectif d'augmenter la rugosité du sol, de favoriser l'infiltration afin de permettre la fixation des semences, leur levée et leur développement. Les résultats obtenus par les auteurs précédemment cités montrent qu'un léger travail du sol autorise l'installation de la végétation herbacée à l'emplacement du passage des outils et une augmentation de production localisée allant de 20 à 100 g<sub>MS</sub>.m<sup>-2</sup>. De plus, de nombreux ligneux (*Acacia*, *Ziziphus*, *Balanites*...) lèvent sur les lignes de sous-solage.

Des aménagements appropriés permettent donc à des systèmes écologiques même très dégradés (la majorité des expérimentations réalisées par TOUTAIN (1977) et LE MASSON (1980) portent sur des milieux dénudés) de se reconstituer. Cette caractéristique suggère que le potentiel biologique existe et que l'amélioration de certains facteurs physiques suffit à sa manifestation. Ces auteurs rapportent cependant qu'un certain nombre de mesures doivent être prises en compte dans ces aménagements. La première est d'éviter un labour trop serré afin de réduire les risques d'érosion. La seconde consiste à protéger pendant 2 à 3 ans les aménagements contre le pâturage afin de ne pas perdre le bénéfice des effets de la première année et de favoriser la régénération ligneuse. En effet, un des principaux inconvénients en situation non protégée est le manque de pérennité des améliorations observées.

Pour ce qui concerne les reboisements effectués dans la région de Markoy (Ziguiberi : 18 ha ; Bamgel : 9 ha ; Zindoboum : 18 ha), le tableau XLVIII rapporte les résultats présentés par GROUZIS (1988 b).

Ils montrent que le taux de réussite des trois stations confondues se situe à environ 60 %. On observe cependant une assez grande variabilité puisque les résultats obtenus à Zindoboum sont largement supérieurs à ceux des deux autres stations. Ces différences sont notamment dues à la proportion des espèces qui ont un comportement particulier. Il s'avère en effet que *Acacia seyal* (90,1 %) est plus performant que *Acacia adansonii* (83,6-85,5 %), *Prosopis juliflora* (72 %), *Acacia senegal* (43,4 %), *Acacia raddiana* (48,9-26,8 %).

De plus, les espèces allochtones peuvent être considérées comme moins performantes que les espèces autochtones, soit à cause de leur taux de mortalité plus élevé (30 % contre 13 % à Zindoboum, 95 % contre 53 % à Bamgel), soit à cause de leur forte sensibilité à l'égard des prédateurs (rongeurs, criquets...).

TABLEAU XLVIII

Évaluation des aménagements (travail du sol et reboisement) dans la région de Markoy

Station	Taux de reprise (1) (oct. 81) tp %	Taux de réussite (2) (nov. 82) ts %
Ziguiberi	79,4 ± 1,7 (2320)	57,8 ± 2,1 (2295)
Bamgel	74,6 ± 1,8 (2449)	44,1 ± 2 (1243)
Zindoboum	90,6 ± 1,2 (2505)	82,3 ± 2,2 (1253)

% : taux ± intervalle de confiance pour p = 0,05 suivi de l'effectif de l'échantillon.

(1) tp % : nombre d'individus vivants en octobre 1981/nombre d'individus plantés en juillet 1981.

(2) ts % : nombre d'individus vivants en novembre 1982/nombre d'individus plantés en juillet 1981.

Préparation du sol : sous-solage croisé (distance des raies 6 m, profondeur 20 cm).

(1) Résultats des recherches menées dans le cadre d'accords conclus entre l'ORD du Sahel, le Fonds européen de développement et l'ORSTOM.

Bien qu'il soit nécessaire d'assurer un suivi sur de plus nombreuses années avant de tirer des conclusions définitives, ces aménagements démontrent bien les possibilités de reconstitution du milieu : augmentation du recouvrement herbacé dans les raies de sous-solage, assez bonne réussite du reboisement. La pérennité de ces aménagements nécessite toutefois une protection vis-à-vis des troupeaux pendant les premières années de leur installation.

Les résultats relatifs aux effets de la mise en défens et des divers aménagements soulignent la fragilité de l'équilibre des écosystèmes sahéliens, leur grande sensibilité aux interactions des différents facteurs et leurs réelles capacités de régénération. La végétation actuelle qui diffère de la végétation potentielle sur les plans de la floristique et de la productivité résulte de l'anthropisation. La pression humaine, très forte dans la région considérée, engendre des états d'équilibre très instables caractérisés par une flore relativement pauvre et par de faibles niveaux de productivité.

## SEUILS DE RUPTURE ET NOUVEAUX ÉQUILIBRES

Dans un contexte climatique plutôt défavorable et malgré des conditions de protection imparfaites, nous avons pu mettre en évidence dans la région considérée, de réelles capacités de régénération et une vitalité de la végétation qui se manifestent dès la première année de mise en défens par :

- une augmentation de l'hétérogénéité et du recouvrement de la végétation ;
- un accroissement de la richesse floristique et une extériorisation des phénomènes de compétition interspécifique ;
- une élévation du niveau de production dans les unités exploitées en saison des pluies.

Dans les systèmes écologiques fortement dégradés (recouvrement herbacé faible à nul, strate ligneuse pratiquement inexistante, sol érodé...) où la régénération naturelle par protection ou mise en repos temporaire n'est plus possible en raison de la faiblesse du potentiel de régénération, il a été possible de montrer qu'un travail du sol associé ou non à un reboisement permet de restaurer le milieu. Tout comme les travaux de BOUDET (1977), FLORET (1981), BENOIT (1984), ces résultats montrent que la végétation sahélienne, placée dans des conditions particulières (charge faible à modérée, pluviométrie favorable...), a de réelles capacités de régénération.

Pour ce qui concerne la zone sahélienne, ces capacités de régénération résident dans les caractères d'adaptation des espèces et des structures de végétation à la sécheresse et à la variabilité des conditions édapho-climatiques : dominance de thérophytes, d'espèces arido-passives, caractères physiologiques liés aux propriétés germinatives des semences, à la forte proportion de plantes en C4, structure en mosaïque de la végétation...

L'ensemble de ces caractères adaptatifs devrait permettre à ces phytocénoses de surmonter le risque climatique, si l'homme, par sa pression actuelle et historique, n'engendrait des contraintes permanentes (dégradation des structures) venant aggraver les effets d'une sécheresse persistante depuis deux décennies. Le modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens, extrapolables aux systèmes écologiques de zones arides subissant une forte perturbation anthropique est représenté sur la figure 44.

Lorsque les facteurs qui agissent sur la dynamique d'une phytocénose ne répondent qu'à des fluctuations aléatoires, il s'établit entre la végétation et le milieu un état d'équilibre (E). Cet équilibre correspond à un état stationnaire qui se situe à un niveau élevé de l'échelle (e) et se traduit par une structure de la végétation (diversité floristique, organisation en mosaïque, niveau de production élevé...). Il existe peu ou pas d'exemple de cet état stationnaire car les milieux naturels au Sahel font défaut, mais des états comparables ont été décrits par BOUDET (1983) et BENOIT (1984) dans des régions faiblement anthropisées du Burkina Faso et de la Mauritanie. Le résultat issu de la mise en défens de la station de Windé s'en approcherait aussi (voir p. 129 et suivantes, figures 40, 41 et 42).

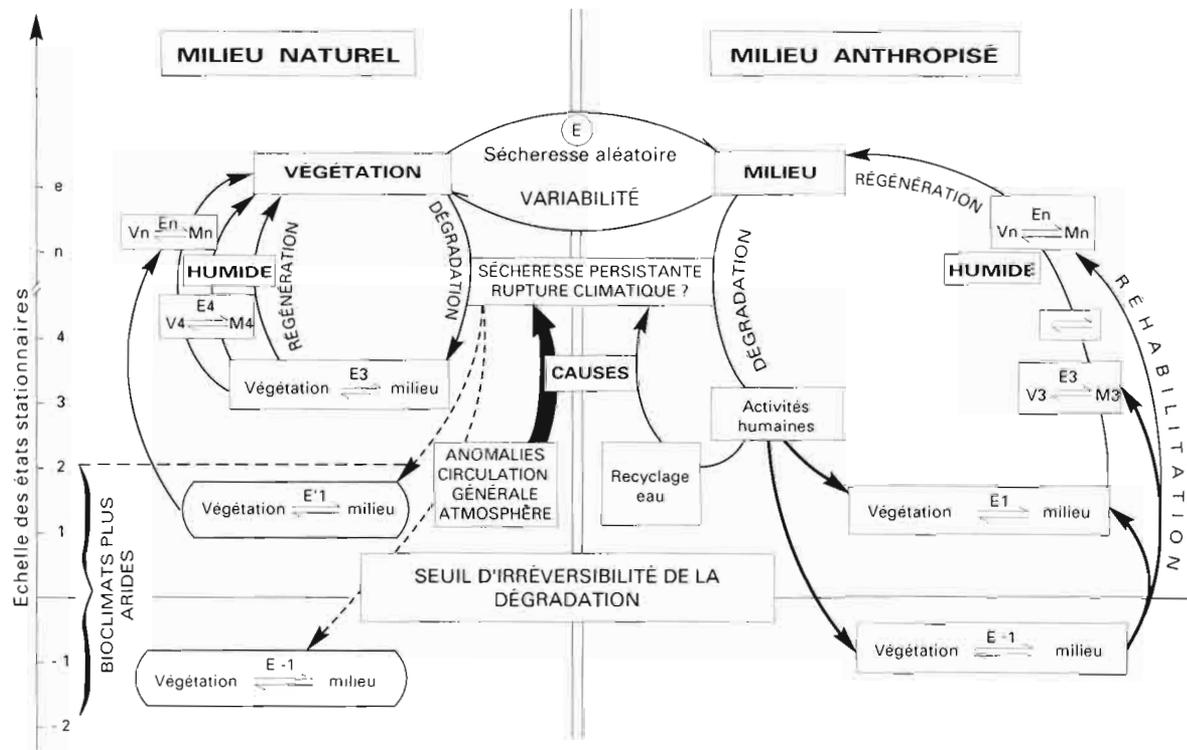


Figure 44 - Modèle de la dynamique des systèmes écologiques sahéliens.

Lorsque l'un des facteurs de l'équilibre subit une modification importante (perturbation climatique telle que la sécheresse persistante décrite au Sahel) l'équilibre est rompu et le système s'écarte de son état habituel. Il évolue vers un nouvel équilibre (E3) correspondant à une autre structure de végétation. En milieu sahélien peu ou pas anthropisé, l'effet de la sécheresse se manifeste par exemple par une modification de l'organisation de la végétation. On observe une contraction des ligneux (COUREL, 1985) traduisant une adaptation à des conditions hydriques plus défavorables.

Lorsque la pression cesse, le retour à l'état initial (régénération) s'effectue, soit directement, soit par des états stationnaires intermédiaires (E4, En...). Les étapes intermédiaires du cheminement des images de la végétation dans les expériences de mise en défens pourraient illustrer ces états (voir p. 129 et figure 40).

En milieu anthropisé, l'itinéraire est identique. Cependant le nouvel équilibre se situe à un niveau beaucoup plus bas de l'échelle des états stationnaires (E1), car, aux effets de la contrainte naturelle (sécheresse), sont venus s'ajouter les effets aggravants des perturbations anthropiques. Les phytocénoses étudiées à Oursi se situent dans leur grande majorité à ce niveau qui est caractérisé par une relative pauvreté floristique et un faible niveau de productivité. Dans ces conditions, le retour à l'état initial (régénération) nécessite un cheminement beaucoup plus long que dans le cas d'un milieu naturel, car les capacités de stabilisation du système (BLANDIN, 1980) qui dépendent des espèces constituant la phytocénose, de leurs propriétés, de leur agencement et des disponibilités du milieu (énergie, éléments biogènes) sont moins élevées. De plus, les risques de nouvelles perturbations au cours de ce long cheminement sont importants.

Des conditions de dégradations intenses en relation avec une forte et souvent ancienne occupation humaine peuvent conduire à des niveaux (E -1) dépassant les seuils à partir desquels la régénération naturelle est impossible.

L'apparition et l'extension de ces zones totalement désertiques (lambeaux de glacis très érodés, piémonts sableux stériles creusés de ravines, dunes vives...) sont encore limitées. Mais ce sont des indices graves de désertification qui doivent être surveillés.

Le retour à des états stationnaires plus favorables et, à terme, à l'état initial ne peut alors se réaliser que par des aménagements : amélioration des disponibilités du milieu (état de surface, bilan hydrique, fertilité...) et/ou amélioration du potentiel biologique (introduction d'espèces par semis, reboisement...).

Bien que certains auteurs aient montré que la déforestation altère localement plusieurs paramètres climatiques (GORNITZ et NASA, 1985), il reste à démontrer son impact sur la circulation régionale et les conséquences au niveau de la pluviosité. D'autres recherches (COUREL, 1986) conduisent à penser que les activités humaines ne constituent pas le facteur déterminant de la sécheresse au Sahel contrairement aux hypothèses de CHARNEY (1975). Les causes de la sécheresse relèvent davantage d'anomalies de la circulation générale de l'atmosphère. De nombreux exemples attestent cependant que l'homme, par ses activités actuelles et historiques, engendre au niveau du substrat édaphique des contraintes permanentes qui viennent accentuer les effets du risque de sécheresse de plus en plus élevé ces dernières années, et qui amènent les systèmes écologiques à un niveau de dégradation tel que les mécanismes d'adaptation à l'aridité ne peuvent plus fonctionner. La régénération naturelle est alors rendue difficile, voire impossible.



*Troisième partie*

## Exploitation des ressources et systèmes de production



Les droits d'utilisation du milieu naturel (prélèvement, exploitation, artificialisation), largement issus de la mise en place du peuplement au début de ce siècle, ont été profondément influencés par la densification humaine et animale de ce même milieu. La liberté d'accès à l'eau, aux pâturages, aux terres favorables au mil se trouve aujourd'hui restreinte.

Facteur propice à l'établissement de villages permanents ou de campements saisonniers, c'est la disponibilité en eau pour les besoins humains qui présente le cas le plus simple : quel que soit le type d'eau disponible (avec ou sans exhaure) personne ne pourra en refuser l'accès ; la qualité passe d'ailleurs au second plan malgré les risques évidents de contamination. La situation particulière de certains villages, dotés de puits permanents, induit une attraction susceptible d'engendrer engorgement et conflits entre voisins.

Le mode d'utilisation des terres repose sur un consensus coutumier ancien de séparation entre zones de cultures et pâturages : mise en culture exclusive des dunes de l'erg ancien et des piémonts, mise en réserve pastorale des zones non cultivées. La fixation des terroirs qui en a résulté (parfois d'une façon assez rigoureuse dans des villages comme Oursi où le chef est aussi le garant de l'utilisation communautaire des terres) n'a cependant pas empêché une certaine souplesse d'utilisation des terres, et des comportements moins orthodoxes. La pratique de la jachère, aujourd'hui presque disparue, sera difficilement opposable à une demande de remise en culture de la part d'une tierce personne par exemple.

La facilité de stabulation-fumure et de pâturage des résidus de culture est directement liée à l'occupation physique des champs : résidence sur l'aire de culture, particulièrement par les Gaobé et les Kel Tamachek. Elle ne peut s'exercer par des tiers que par le biais de " contrats " entre groupes différents dans la mesure où l'appropriation des chaumes de mil n'existe pas <sup>(1)</sup>. La gestion de l'espace pastoral en tant que délimitation et allocation des pâturages reposait sur des principes traditionnellement admis, confirmés ensuite par l'autorité politique régionale (chef de canton touareg) : les ressources fourragères exploitables à partir d'un point d'eau permanent sont réservées aux troupeaux des premiers habitants

<sup>(1)</sup> En pratique, les tiges de mil sont aussi récoltées car très utilisées pour la fabrication de *seccos*, paravents, etc.

établis près de ces points d'eau <sup>(1)</sup> et les nouveaux venus ne peuvent s'installer et faire paître sans autorisation <sup>(2)</sup>.

Dans le complexe eau-pâturage, l'accès à l'herbe dépend bien sûr largement de la proximité de l'eau, mais inversement la disponibilité d'une eau abondante retire rapidement tout caractère attractif aux formations herbeuses environnantes, surpâturées et piétinées. Les contextes d'exploitation varient fortement selon les saisons et la distinction s'impose entre l'eau de surface et l'eau d'exhaure.

En début d'hivernage, la transhumance sur les meilleurs pâturages est toujours théoriquement possible : seuls les groupes prioritairement éleveurs la pratiquent encore ; mais elle ne peut être entreprise sans risques, sans la connaissance de la répartition de la pluviosité locale et du remplissage des mares temporaires. L'abreuvement du bétail dans les nappes d'eau libre est possible pour tous, la seule contrainte étant la qualité de l'eau (décroissante au cours de la saison sèche), et depuis peu la restriction des couloirs d'accès aux pourtours non cultivés des grandes mares.

Le creusement et l'entretien de puisards confère à son initiateur un droit d'usage privilégié <sup>(3)</sup> qui s'éteint cependant à chaque hivernage avec l'effondrement partiel des ouvrages dû au remplissage des mares ; la faculté de laisser venir un tiers pour l'abreuvement ne sera généralement accordée qu'après avoir laissé se désaltérer ses propres bêtes. Il n'est pas réaliste pour un berger de devoir obtenir l'eau d'un étranger : le puisard se partage au sein d'un groupe familial tribal ; d'ailleurs au cœur de la saison sèche le remplissage est si lent qu'il est indispensable d'abreuver simultanément sur deux ou trois puisards du groupe familial.

Les conditions d'accès à l'eau sont radicalement différentes s'il s'agit de forages ou de puits permanents construits par l'administration : leur utilisation libre ne manque pas de provoquer des heurts entre pasteurs et agriculteurs. Les objectifs de développement et d'hygiène pour les populations ont conduit inévitablement à la multiplication des points d'eau pérennes avec la fragilisation croissante du domaine pastoral que l'on imagine : *en 1955 il n'y avait que 7 puits busés... en 1985 il existait 140 puits et 70 forages, presque tous équipés de pompes manuelles.* (RONDOT, 1987.)

L'Oudalan appartient à la zone climatique sud-sahélienne, celle où l'agriculture pluviale demeure possible. Les activités agricoles et pastorales y coexistent donc, impriment leurs marques sur le milieu, sans qu'il soit possible de reconnaître une réelle prééminence des unes sur les autres. Qui plus est, ces deux grands types d'activités apparaissent étroitement associés dans les systèmes de production familiaux. La distinction classiquement établie au Sahel entre agriculteurs et éleveurs rend ici compte des réalités de façon trop tranchée et restrictive. En effet, si certains sont (et s'affirment) avant tout pasteurs et d'autres prioritairement agriculteurs, il reste que pour une grande partie des unités domestiques ces deux secteurs d'activité semblent coexister avec équilibre. Et il est tout aussi exceptionnel de rencontrer des éleveurs ne mettant pas de champs en culture que des agriculteurs ne gérant pas quelques têtes de bétail. En fait, une extrême diversité caractérise les places respectives qu'occupent l'agriculture et l'élevage dans les systèmes de production. Une telle situation doit être comprise d'abord en référence à l'histoire. Même si les Iklan pouvaient, par le passé déjà, posséder du bétail, les groupes tributaires (Iklan, Rimaïbé) étaient avant tout agriculteurs. Leur émancipation a sans aucun doute permis à l'élevage d'occuper une place grandissante dans leurs systèmes de production. À l'inverse, elle a probablement poussé les Peul Gaobé à adopter progressivement *un mode de vie plus sédentaire, axé sur une*

<sup>(1)</sup> Actuellement, l'Administration, indépendamment de toute concertation avec les éleveurs, délivre des certificats de transhumance qui font force de loi. (RONDOT, 1987.)

<sup>(2)</sup> Ce n'est pas le fruit du hasard si le territoire du chef touareg Akam (de Sagoua à Sikiré) a été le seul à ne pas connaître de dégradation de son couvert végétal dans les trente années passées ; son autorité sur l'exploitation de la terre et le contrôle des migrants s'est exercée sans partage jusqu'en 1984. (RONDOT, 1987.)

<sup>(3)</sup> Ce n'est pas un droit de propriété sur l'eau dans la mesure où on ne peut empêcher quelqu'un de creuser son puisard. P. RONDOT cite le cas de refus d'abreuvement opposé à des bergers venant du Mali pendant la saison sèche 1980 qui relève du souci de restreindre l'accès aux pâturages.

*économie plus agricole que pastorale* (BARRAL, 1977). Si une spécificité réelle des modes de production caractérise encore les divers groupes sociaux de l'Oudalan (à ce titre, les Peul Djelgobé représentent localement le " prototype du pasteur peul "), la tendance va dans le sens d'une atténuation des spécialisations et d'une complexification interne des systèmes de production. La densification progressive de l'espace, conjuguée à l'impact de la sécheresse, renforce cette tendance. D'autant qu'aux activités locales principales (agriculture et élevage) ou secondaires (cueillette, artisanat, petit commerce...) s'ajoute la migration masculine vers les villes (Abidjan tout particulièrement) qui, bien que déjà ancienne, tient à présent une place prépondérante dans certains groupes ethniques et peut jouer un rôle décisif de régulation de l'économie familiale.

# LES SYSTÈMES DE CULTURE

## LOCALISATION DES CULTURES ET SURFACES CULTIVÉES

Il existe une forte liaison entre l'implantation de l'habitat, la présence de points d'eau permanents, et celle d'un revêtement sableux. La principale culture de cette zone, le mil (*Pennisetum typhoides*), n'est en effet pratiquée que sur sol léger, et tous les terroirs d'une certaine étendue se sont développés, soit sur les complexes dunaires proprement dits, soit sur les recouvrements sableux des piémonts des massifs cristallins.

L'erg ancien constitue l'espace agricole privilégié. Les sols y présentent un taux élevé de sable en surface (90 % ou plus) et un enrichissement en éléments fins en profondeur, ce qui les différencie des sols de l'erg récent, en principe non cultivés, caractérisés par un taux de sable de l'ordre de 95 % sur l'ensemble du profil. Le paysage apparaît rythmé par l'alternance de vastes zones vouées aux parcours et de terroirs aux champs jointifs, parsemés de greniers, à l'uniformité parfois rompue par de rares jachères. La présence de sols sableux cultivables représente un facteur évident de localisation d'un habitat à la fois dense et relativement stable. Et si l'installation des groupes humains actuels est assez récente, les vestiges abondent, notamment sur tous les piémonts sableux des massifs rocheux, témoignant sans ambiguïté d'une implantation sédentaire ancienne liée à une activité agricole.

Dans toute la zone d'étude, la quasi-totalité des surfaces correspondant aux deux unités pédologiques précédentes est exploitée et, sur certains terroirs, la culture du mil gagne les rebords de l'erg récent, comme à Gountouré Oursi et à Yomboli. De la même façon, certains champs de sorgho s'implantent sur les sols plus argileux des bas de piémonts. Ces extensions traduisent la saturation actuelle de l'espace agricole privilégié.

Mais l'exception la plus spectaculaire réside dans la mise en culture des bas-fonds argileux, milieu habituellement réservé au pâturage de saison des pluies et à la cueillette du fonio sauvage. Alors qu'aucun défrichement de bas-fond n'apparaît sur les photographies aériennes de 1955, celles de 1975 montrent que de nombreux champs, entourés d'une haie de branchages, s'égrainent sur les principaux talwegs qui alimentent par le sud et par l'ouest la mare d'Oursi. Il semble bien, tous les témoignages le confirment, que l'ouverture de ces champs soit la conséquence des années de pluviométrie déficitaire de la précédente décennie.

Ces sols bénéficient en effet d'un apport hydrique supérieur à la pluviométrie puisqu'ils recueillent l'eau de ruissellement d'impluviums amonts et latéraux. La culture du mil n'est pas envisageable dans un tel milieu (plus de 40 % d'argile dans les horizons superficiels) et c'est celle du sorgho qui y est pratiquée. Cette culture du sorgho de bas-fond continue à s'étendre d'année en année, soit par accroissement des surfaces des parcelles déjà créées, soit par ouverture de nouveaux champs. Certains Peul Djelgobé, installés dans les zones de bas-fond et de glacis de Windé Cillouki et Jalafanka, ont même abandonné les champs de mil qu'ils cultivaient près de Tin Edjar pour se consacrer à la seule culture du sorgho de bas-fond. Mais, on le verra, cette exploitation des sols argileux ne s'est pas accompagnée d'une modification des techniques de culture, qui restent celles des sols sableux.

La distinction des superficies cultivées par espèces (mil et sorgho) n'est pas toujours aisée. Ces deux cultures sont en effet en présence sur de nombreuses parcelles, suivant diverses modalités. Trois types de parcelles sont donc distinguées : mil, sorgho, mil + sorgho. Pour ces dernières, le sorgho occupe dans tous les cas sur terroir dunaire une place beaucoup plus réduite que le mil (moins de 25 % de la surface de la parcelle). Sur piémont, la part respective de ces deux espèces est parfois équivalente.

Pour l'échantillon suivi, en 1978, le mil concerne globalement 44 % des surfaces cultivées, contre 47 % pour le mil + sorgho et 9 % pour le sorgho. Ce dernier est, bien entendu, surtout cultivé en situations de piémonts et de bas-fonds.

La surface cultivée par habitant est en moyenne de 0,73 ha, chiffre proche de celui donné par PERENT (1977) pour la zone d'endodromie Oursi - Gorom-Gorom (0,80 ha) à partir d'une interprétation des photographies aériennes de 1974 et des chiffres de recensement. Cette moyenne cache en fait de forts écarts entre unités de production, puisque la surface cultivée par habitant varie de 0,15 à 1,98 ha. La figure 45 illustre cette disparité ainsi que le niveau de rendement que devrait atteindre chaque unité de production pour assurer son autosubsistance alimentaire, estimée sur la base de 250 kg de grain par personne et par an. 26 unités de production sur 39 mettent en culture une surface comprise en 0,5 et 1 ha par habitant.

Pour chaque unité de production a également été calculée la surface cultivée par " unité de sarclage ". Cet indice essaie d'apprécier la force de travail effectivement mise en œuvre lors du sarclage, et tient compte de la contribution réelle de chaque travailleur. Malgré l'arbitraire de telles approximations (il aurait fallu, pour mieux cerner la réalité, disposer d'emplois du temps journaliers pour tous les actifs), le croisement du " nombre d'unités de sarclage " avec la surface cultivée par unité de production aboutit aux constatations suivantes :

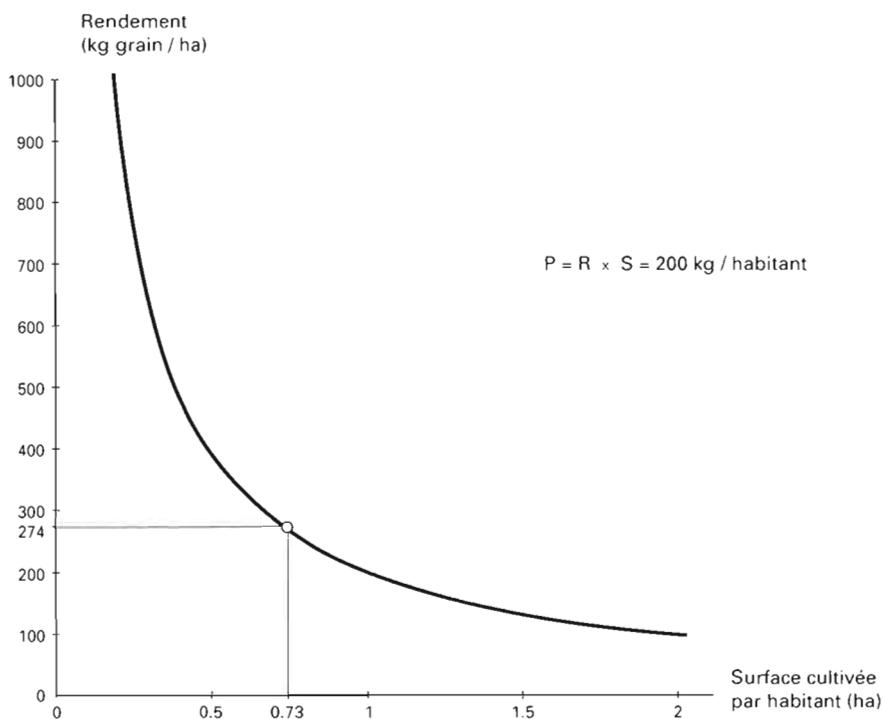
- globalement une assez forte corrélation ( $r = 0,80$ ) relie ces deux variables, la surface cultivée croissant en moyenne de 2 ha environ lorsque la main-d'œuvre au sarclage s'accroît de 1 unité ;
- les terroirs dunaires (Boulel, Gountouré Oursi, Totiri) se différencient nettement des terroirs de piémont (Lougga Kolel et Warga, figure 46). Lorsque la main-d'œuvre s'accroît de 1 unité, la surface cultivée s'accroît en moyenne de 2,1 ha dans les premiers, de 1,3 ha dans les seconds (tableau XLVIII).

Ces résultats s'expliquent par le fait que le temps de sarclage à l'hectare est plus élevé sur les sols de piémonts que sur les sols dunaires, et appellent à conclure que c'est la main-d'œuvre disponible au sarclage qui limite la surface cultivée.

TABLEAU XLVIII

Surface moyenne cultivée par unité de sarclage

Gountouré Oursi	2,35 ha	}	moyenne terroirs dunaires
Boulel	2,23		2,35 ha
Totiri	2,47		
Lougga Kolel	1,71	}	moyenne terroirs de piémont
Warga	1,49		1,61 ha



1978 (n = 39)

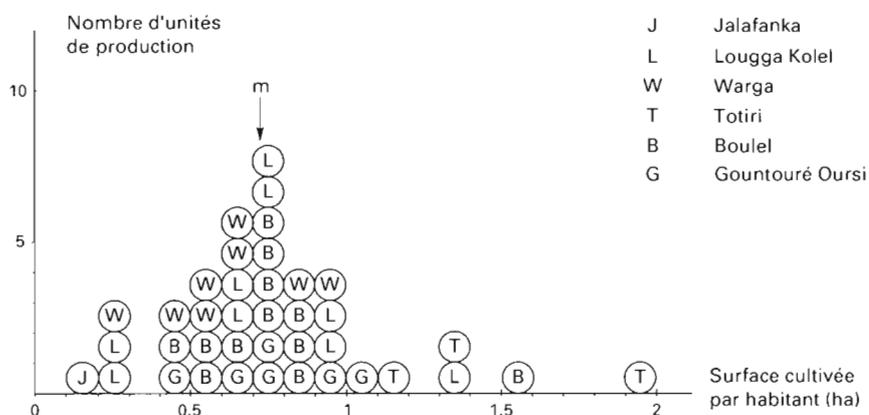


Figure 45 - Surface cultivée par habitant et courbe théorique de satisfaction des besoins céréaliers sur la base de 200 kg de grain par habitant et par an.

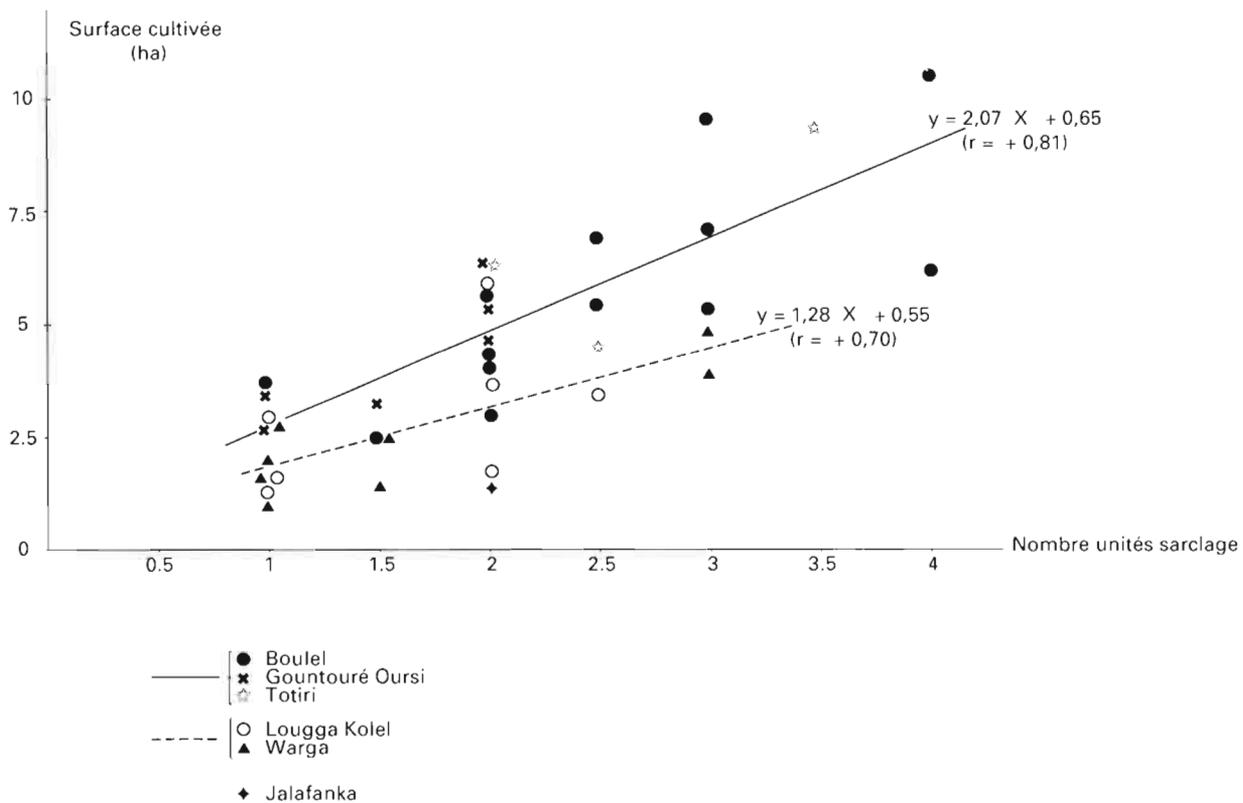


Figure 46 - Surface cultivée par unité de production en fonction du nombre d'unités de sarclage.

L'unité de production agricole a en moyenne les caractéristiques de taille données dans le tableau XLIX.

La comparaison des couvertures aériennes de 1955 et 1974 montre sans ambiguïté une extension très nette des terres de cultures : PERETTI (1976) estime que les surfaces cultivées se sont accrues de 75 % pour l'ensemble de l'ORD du Sahel, suivant en cela le rythme d'accroissement de la population (64 % pour cette même période). TOUTAIN et DEWISPELAERE (1977) ont également montré que, pour la région de Gorom-Gorom et d'Oursi, les périmètres agricoles représentent 20 % de la superficie totale et que *l'extension de surfaces cultivées progresse approximativement au même rythme que la population depuis 20 ans.*

Cette pression croissante de l'agriculture sur le milieu s'est exercée de deux manières.

*Une extension des domaines exploités :*

— sur sables dunaires, où les champs de mil tendent de plus en plus à s'implanter sur les rebords de

TABLEAU XLIX

Caractéristiques moyennes de l'unité de production

Nombre d'habitants	5,5
Nombre d'unités de sarclage	2
Surface cultivée	4 ha
dont :	
mil	44 %
mil + sorgho	47 %
sorgho	9 %
Surface cultivée par habitant	0,73 ha
Surface cultivée par unité de sarclage	2 ha

- l'erg récent, et se développent dans des zones de l'erg ancien qui étaient jusque-là non cultivées (au sud-ouest de la mare de Ganadawri par exemple) ;
- sur les piémonts où, comme à Lougga Kolel, des sols plus lourds ont été mis en culture de bas de pente, et où prédomine maintenant le sorgho ;
  - sur les sols de bas-fond où l'ouverture de nouveaux champs se poursuit d'année en année de façon spectaculaire.

*Une réduction des surfaces de jachère* sur les terroirs cultivés, à tel point que l'on peut considérer qu'à Boulel ou à Gountouré Oursi la mise en jachère est devenue un phénomène presque accidentel.

Tout indique une tendance à la saturation de l'espace exploitable. Les témoignages recueillis dans le village de Boulel, créé au début du siècle, semblent rendre compte de trois types de phénomènes évolutifs concomitants : un accroissement démographique, une réduction des durées et des fréquences des jachères, enfin une extension des surfaces cultivées par famille liée à une régression des rendements. Paradoxalement, ces agriculteurs estiment que leur terroir est assez vaste pour qu'ils puissent étendre encore leurs surfaces cultivées s'ils disposaient d'une force de travail supplémentaire. En fait, ce jugement paraît traduire un déplacement du concept de surface exploitée vers celui de surface cultivée, les jachères se trouvant assimilées aux terres à conquérir. L'évolution vers la culture continue du mil dans ces terroirs sableux relativement anciens ne fait pas de doute.

Il est difficile de dire si la jachère a, dans le passé, occupé une place bien définie dans les successions culturales. Les normes avancées sont diverses concernant ce qu'il est théoriquement souhaitable d'entreprendre : pour certains, 4 à 5 années de culture devraient être suivies d'une durée analogue de jachère, pour d'autres, il n'y aurait pas d'inconvénient à pratiquer 20 années ou plus de culture ininterrompue. Aux dires de ces mêmes agriculteurs, certains champs seraient cultivés sans repos depuis une quarantaine d'années, ce qui semblerait montrer que la jachère ne paraissait pas toujours s'imposer comme une nécessité. Et si une régression générale des rendements est un phénomène dont font état la plupart des paysans, la cause en est plus fréquemment attribuée à une péjoration des conditions pluviométriques qu'à la " fatigue " des sols.

La situation varie d'un terroir à un autre. Si la culture continue est devenue ainsi généralisée à Boulel et à Gountouré Oursi <sup>(1)</sup>, ceci paraît moins vrai pour le terroir d'Oursi, beaucoup plus étendu et diffus. Des zones entières peuvent y être abandonnées et d'autres reconquises, parfois très loin des habitations. Les terroirs de piémont semblent caractérisés par une fréquence plus grande des jachères, liée d'une part à une pression moins forte sur cet espace plus récemment mis en valeur que les ensembles dunaires, d'autre part à des déplacements vers les parties basses de parcelles situées auparavant en position ruisselante des hauts de pente, et qui ont de ce fait souffert plus que d'autres des conditions de pénurie pluviométrique. Quant aux bas-fonds, ils sont généralement cultivés depuis trop peu de temps pour que la jachère y soit réellement apparue, même si plusieurs agriculteurs notent un effet dépressif du sorgho se succédant à lui-même.

Ajoutons qu'au sein d'un même terroir les situations individuelles concernant l'accès à la terre ne sont pas égalitaires. Certains paysans disposent d'une surface trop réduite pour envisager de laisser leurs champs en jachère, d'autant qu'il leur faudrait alors souvent mettre en culture des sols de moindre valeur agricole et plus éloignés du lieu d'habitation. Enfin, la mise en jachère ne résulte souvent pas de jugements techniques portés par l'agriculteur sur une modification de l'état du milieu engendrée par la culture continue. D'autres motifs interviennent, tels que le déplacement d'une famille d'un lieu à un autre (pour se rapprocher d'un parent proche par exemple) ou la réduction momentanée de la main-d'œuvre familiale qui peut provoquer l'abandon d'un champ durant une année.

<sup>(1)</sup> L'abondance de *Striga* en est sans aucun doute une conséquence directe.

# LES TECHNIQUES AGRICOLES

Elles sont toutes réalisées manuellement, et leur nature varie très peu d'un groupe humain à un autre, d'un terroir au terroir voisin.

## PRÉPARATION DU CHAMP

Si la parcelle a été cultivée l'année précédente, cas le plus fréquent, les résidus de culture sont à la disposition des troupeaux dès le mois de novembre. Les tiges ne sont pas abattues à la récolte, mais le passage fréquent des animaux les fragmente peu à peu, aboutissant dès les mois de janvier/février à transformer le sol cultivé en une étendue parsemée de maigres chicots peu appétés. L'agriculteur parachève en général l'action de l'animal en déterrants et abattant chaque reste des poquets de mil.

Si le champ est remis en culture après une période plus ou moins longue de jachère, le principal travail se limite à détruire au coupe-coupe ou à la hache certaines repousses arbustives, le broutement des animaux se chargeant de supprimer la strate herbacée.

La mise en culture de nouvelles terres de bas-fonds demande, en revanche, un effort beaucoup plus important, compte tenu de l'abondance des ligneux dont il faut se débarrasser. Les branchages des épineux abattus servent d'ailleurs à clôturer la parcelle de sorgho, qui doit impérativement être protégée des troupeaux. Cette nécessité de protection du champ conduit souvent à un élagage des arbres situés à proximité, la matière première se trouvant en quantité insuffisante sur la surface défrichée.

Si chaque parcelle de sorgho apparaît bien délimitée par sa clôture d'épineux, cette dernière existe également pour le mil. Mais ici il n'est généralement pas question d'entourer chaque parcelle, qui est d'ailleurs rarement isolée. La clôture a pour fonction de séparer un terroir cultivé d'un espace pastoral. La barrière d'épineux, dont les trous sont rebouchés chaque année, s'allonge donc à la limite du terroir, ceinturant tout un ensemble de champs.

## FUMURE

En l'absence de fertilisation chimique, les restitutions minérales au sol proviennent presque exclusivement de la fumure animale. Dès la fin des récoltes (novembre), les terroirs sont ouverts au bétail qui y consomme les résidus de culture. Deux types de parcelles peuvent alors être distingués : celles où les troupeaux stabulent régulièrement pendant une partie de la saison sèche, lorsqu'un campement est implanté sur le champ lui-même (le bétail bovin y demeure plusieurs heures quotidiennement, en particulier le soir et le matin, lorsqu'il est regroupé au point de traite) ; celles où les animaux, au cours de leur divagation, ne restent que le temps d'un passage plus ou moins rapide.

Sur les premières, les pesées réalisées par échantillonnage indiquent que la quantité de déjections épandues sur le sol peut atteindre des valeurs considérables, de l'ordre de  $10 \text{ t}_{\text{MS}}.\text{ha}^{-1}$ , sur des surfaces non négligeables (près d'un demi-hectare). Plus on s'éloigne de ces zones à fumure forte (points de traite et aires de repos) et plus la dose de fumure diminue, en même temps que sa distribution spatiale devient plus hétérogène. Globalement, la quantité de déjections est de l'ordre de  $2,5 \text{ à } 4,5 \text{ t}_{\text{MS}}.\text{ha}^{-1}$  après quelques mois de fréquentation des parcelles par les animaux. Sur les parcelles de deuxième type, les quantités épandues sont nettement plus faibles :  $1,2 \text{ à } 1,7 \text{ t}_{\text{MS}}.\text{ha}^{-1}$  <sup>(1)</sup> (QUILFEN et MILLEVILLE, 1983).

<sup>(1)</sup> Des analyses de fèces de bovins prélevés à l'état sec sur le sol donnent les teneurs suivantes : 1,28 % N ; 0,25 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; 0,56 % K<sub>2</sub>O. Sans préjuger des vitesses de minéralisation de cette matière organique et de la mise à disposition à la plante cultivée des éléments minéraux libérés, on peut constater que les quantités de fumure épandues correspondent à des doses d'apport d'éléments fertilisants non négligeables, en particulier en azote (15 à 60 unités par hectare).

L'apport de fumure animale constitue la raison primordiale d'installation des cases sur le champ en saison sèche. Celles-ci sont d'ailleurs souvent déplacées plusieurs fois au cours de la saison sèche, sur le même champ, ou d'un champ sur un autre. La fumure est recherchée et l'agriculteur qui ne dispose que de quelques têtes demandera parfois à un éleveur peul de se fixer sur son champ pendant une partie de la saison sèche. Certains agriculteurs de Boulel, qui ne déplacent pas leur habitation durant l'année, transportent des paniers de fumier du village jusqu'au champ, parfois sur plusieurs kilomètres.

La fumure n'est jamais enfouie. Elle sera peu à peu décomposée, fragmentée et incorporée aux premiers centimètres du sol au cours des sarclages. À la récolte se rencontrent encore à la surface de nombreuses déjections peu décomposées, mélangées à des résidus de culture de l'année précédente.

## SEMIS

Le semis se décompose en deux opérations : le creusement des trous, réalisé à l'aide d'une houe-pioche légère et coudée, maniée en position debout et que l'utilisateur abaisse latéralement tous les deux pas, au rythme d'une marche normale ; le semis proprement dit que suit le rebouchage du trou. La densité de semis se situe habituellement entre 5 000 et 6 500 poquets à l'hectare. Le nombre de grains semés par poquet est considérable (70 environ en moyenne) et ces grains se trouvent échelonnés dans les dix premiers centimètres du sol. Le poids de grains nécessaire au semis d'un hectare est donc de l'ordre de 3 kg, compte tenu d'un poids moyen d'un grain de 6 à 8 mg. Quantité faible, qui représente la consommation d'un individu pendant 4 à 5 jours, mais qui est en fait fortement accrue en raison des resemis successifs, ce qui doit porter la quantité effectivement semée à 8 kg par hectare en année moyenne. Le semis du sorgho s'effectue de la même façon et le nombre de grains semés par poquet est de l'ordre de 15 à 20. Le temps global de travail réel est de 8 à 9 heures par hectare, ce qui signifie que 4 personnes travaillant ensemble peuvent, après une pluie, semer une parcelle de 2,5 ha dans la journée. S'il s'agit d'un homme seul, 4 journées seront en revanche nécessaires pour semer la même surface. Il ne lui sera alors possible, sauf pluie exceptionnelle, de semer la totalité de cette parcelle qu'à l'occasion de deux pluies consécutives. On voit ici l'importance que revêt la participation de membres de l'unité de production considérés habituellement comme non-actifs au vu d'une contribution globale dérisoire d'heures de travail. Elle peut être pourtant déterminante, puisque la possibilité de semer rapidement, donc précocement, a une influence décisive sur le rendement.

L'investissement très réduit à la fois en semence et en travail explique que l'agriculteur n'hésite pas à semer en conditions très marginales, assumant ainsi des risques d'échec considérables. En 1978, la plupart des paysans ont semé du mil après la pluie du 26 avril (10 à 12 mm), date extrêmement précoce. La pluie suivante n'étant survenue que le 6 juin, tous les poquets semés avaient dépéri entre-temps. En 1979, les semis ont été généralisés après la pluie du 15 mai et, toujours en sol sableux à Oursi (la pluie y avait été de 30 mm environ), les plantules se sont, pour la plupart, maintenues malgré une période de sécheresse de près de 20 jours. Inversement ont été tentés des semis très tardifs, en particulier pour le sorgho, puisque durant trois années (de 1977 à 1979) des agriculteurs poursuivirent leurs semis durant la première décade du mois d'août. Les semis sont donc étalés sur une très longue période, intervenant à chaque pluie dont la hauteur est jugée suffisante. Pari sur la chance qu'un semis précoce soit suivi de quelques pluies qui permettront au mil de ne pas dépérir, et sur la probabilité pour les semis tardifs d'arriver à maturité grâce à des pluies tardives de fin de saison.

La décision de semer après une pluie est prise après avoir pratiqué à différents endroits de la parcelle quelques trous à l'aide de la houe-pioche. Si le front d'humectation n'atteint pas le fond du trou (8 à 10 cm), le paysan décide généralement de surseoir au semis et d'attendre la pluie suivante. Ce comportement induit parfois une forte hétérogénéité intraparcellaire sur les sols de piémont caractérisés par la coexistence de plages sablo-argileuses battues et de placages sableux : si la pluie est faible, le semis n'est souvent effectué que sur ces derniers, l'agriculteur attendant une forte pluie pour semer les zones battues (ce sera d'ailleurs fréquemment du sorgho qui y sera cultivé). Il en est de

même des zones à forte accumulation de fumure animale, qui ne seront semées qu'après une pluie de hauteur suffisante.

Les surfaces semées après une pluie dépendent de l'importance de celle-ci (semis 1, 2, exceptionnellement 3 jours après) et de la main-d'œuvre disponible. Elles concerneront parfois l'intégralité de la parcelle. Les semis suivants auront alors pour but de remplacer les poquets disparus et d'implanter la culture sur des zones à texture plus fine et à surface battue.

Le comportement hydrique des sols de piémont apparaît très différent en position de placage sableux et de zone battue. Sur le premier, l'eau s'infiltré et un mulch naturel se crée sans doute rapidement, limitant l'évaporation, alors que le ruissellement est très accusé en zone battue, en même temps que l'infiltration y est beaucoup plus réduite en profondeur. Les périodes de sécheresse suivant un semis sont dans ce dernier cas beaucoup plus dommageables que sur les placages sableux. Globalement les terroirs dunaires se révèlent, paradoxalement mais sans ambiguïté, plus favorables que les sols de piémonts (plus riches en éléments fins) à la réussite de semis précoces effectués en conditions hydriques marginales, le plus souvent suivis de longues périodes de sécheresse.

L'hétérogénéité du peuplement végétal à l'échelle d'une parcelle de mil peut être considérable. Liée à l'imbrication fréquente de plusieurs semis successifs, elle l'est aussi à la variabilité du matériel végétal lui-même. Plante allogame, le mil présente en effet la particularité très marquée en région sahélienne, de rassembler des génotypes très divers résultant de croisements entre les formes cultivées (*Pennisetum typhoides*) et les formes sauvages (*Pennisetum violaceum s.l.*) (GROUZIS, 1980).

## DÉMARIAGE

Cette opération ne concerne que le mil qui, contrairement au sorgho est semé à très forte densité (dans le poquet) et manifeste un fort tallage. Elle consiste à arracher à la main un certain nombre de pieds du poquet, un mois environ après le semis, de manière à laisser en place les 4 à 6 pieds les plus développés. Les pieds de mil hybride caractéristiques sont extirpés préférentiellement, et le démariage a donc une double fonction : maîtriser la compétition entre les pieds du poquet et sélectionner le matériel végétal. En fait, cette technique, qui semblait systématique par le passé, est largement tombée en désuétude et souvent remplacée par un éclaircissage à l'aide du sarcloir. On peut légitimement se demander si l'abandon progressif du démariage manuel ne contribue pas à accroître dans les populations locales de mil la proportion des formes hybrides.

## SARCLAGE

La lutte contre les adventices constitue le travail cultural le plus lourd, fixant l'agriculteur à ses champs durant la plus grande partie de la saison pluvieuse. Ce travail est effectué à l'aide d'un sarcloir à long manche, muni d'une poignée, et à lame semi-circulaire faisant avec le manche un angle de 30° environ. L'iler<sup>(1)</sup> est maniée par poussées successives d'amplitude variable, fonction de la résistance de la couche superficielle du sol et de l'enherbement. Le paysan utilise cet outil en position debout, ramenant à lui périodiquement la poignée et imprimant un effort en avant pour pousser le sarcloir en plusieurs saccades.

La lame de l'iler pénètre à faible profondeur dans le sol, sectionnant sur son passage les adventices. Cette profondeur de travail est directement fonction des caractéristiques d'humidité et de texture du sol en surface : de 4 cm environ en sol très sableux à un simple raclage sans pénétration sur les zones battues desséchées des piémonts. L'ameublissement de la couche superficielle qui en résulte est donc très variable et souvent médiocre dans les cas où il se justifierait le plus, c'est-à-dire là où la pente et le glissement du sol sont responsables d'un intense ruissellement.

<sup>(1)</sup> Iler est le terme (d'origine wolof) habituellement utilisé pour désigner ce sarcloir qui, à quelques variantes de détail près, se rencontre dans toute la bande sud-sahélienne du Sénégal au Tchad (cf. RAULIX, 1967). Localement il reçoit les noms de *darao* (en fulfuldé), *allolam* (en tamachek), *kebena* (en songhaï).

Des observations et mesures de temps de travaux réalisés par chronométrage en 1979 et 1980 concluent à une moyenne d'environ 100 heures de travail effectif par hectare pour un sarclage. Ce chiffre varie en fait dans de très larges proportions (35 à 300 heures à l'hectare), les valeurs les plus faibles correspondant à des sols dunaires très propres, les plus élevées à des sols argileux de bas-fond dans des conditions de très fort enherbement. Bas-fonds exclus, ces chiffres varient entre 35 et 150 heures à l'hectare, et leur moyenne s'établit à 75 heures à l'hectare. La recherche des causes de variation du rendement du travail met en évidence le rôle de plusieurs facteurs : l'enherbement bien sûr, qui influe à la fois par son abondance et par la nature des adventices ; la texture et l'humidité de l'horizon superficiel qui agissent en interaction (à ce propos on notera que l'iler se révèle un instrument totalement inadapté à la mise en valeur des bas-fonds) ; le stade de développement de la plante cultivée ; le rythme et l'activité déployés par le travailleur.

L'agriculteur effectue en général deux sarclages. C'est une norme qui, de l'avis de tous, doit permettre, sauf circonstances exceptionnelles, de maîtriser de façon acceptable l'enherbement. En fait, le nombre de sarclages se révèle variable et il n'a de signification que mis en rapport avec l'état du milieu lors de sa réalisation.

Alors qu'une parcelle peut être semée en quelques jours à l'occasion d'une pluie, le sarclage, beaucoup plus exigeant en travail, est nécessairement étalé dans le temps. Il n'est pas rare qu'un mois entier, parfois plus, sépare le début de la fin d'un sarclage sur une grande parcelle. Il peut en résulter un fort gradient spatial de l'enherbement, dont l'importance sera fonction des conditions pluviométriques.

C'est ainsi qu'en 1979, la quasi-totalité des parcelles du village d'Oursi a pu être semée en mai. Le premier sarclage a été entrepris peu de temps après, et s'est poursuivi durant un mois sans que les adventices prolifèrent. Au moment où les pluies se sont véritablement installées, la plupart des paysans débutaient le deuxième sarclage. Certains en ont commencé un troisième, et globalement la lutte contre les adventices a été efficace. En 1977, les conditions ont été différentes : les semis n'ont pas débuté avant mi-juin, et plusieurs semis successifs ont été nécessaires. Le premier sarclage n'a débuté que vers le 5 juillet, dans la majorité des cas, et s'est déroulé pendant une période de croissance active des adventices. De nombreux agriculteurs ont alors choisi de commencer le second sarclage avant d'avoir terminé le premier. Abandon définitif par conséquent de certaines parties jugées trop enherbées et, dans certains cas, de parcelles entières de sorgho, la priorité étant accordée au sarclage du mil. Le second sarclage a été réalisé en conditions de fort enherbement et tous les agriculteurs se sont plaints cette année-là de l'abondance des mauvaises herbes.

Les conditions pluviométriques sont parfois responsables de semis très tardifs, à un moment où de nombreuses adventices ont déjà levé. Il est alors fréquent que le sarclage précède le semis pour éviter la concurrence des mauvaises herbes dès la levée de la céréale. C'est une pratique qui se rencontre en particulier sur les parcelles de sorgho de bas-fond, où le sol très argileux ne s'humecte que lentement et où le semis ne peut donc être entrepris qu'à une date avancée.

## GARDIENNAQE

En fin de cycle, le mil devient très sensible aux dégâts d'oiseaux. Ces attaques sont d'une gravité très variable suivant les années. Elles ont été nettement plus fortes en 1979 que lors des deux années antérieures. La localisation du champ revêt une importance considérable, les dégâts étant beaucoup plus intenses près des étendues d'eau libre (telles que la mare d'Oursi). La lutte consiste à garder le champ durant la période critique de maturation du grain, mais ce gardiennage est loin d'être réalisé en permanence et efficacement.

On notera par ailleurs l'importance que peuvent revêtir, certaines années (1980 par exemple) et localement, les dégâts occasionnés par les sautériaux, contre lesquels les agriculteurs peuvent difficilement agir efficacement.

## RÉCOLTE

La récolte du mil s'effectue sur la parcelle d'une manière qui peut sembler anarchique. Elle s'étale souvent sur une période assez longue (15 jours à un mois) et n'est pas systématique, en ce sens que plusieurs passages sont nécessaires pour épuiser la population d'épis récoltables.

Les premiers épis récoltés sont ceux de formes hybrides, plus précoces. Ces épis, généralement petits et à grains peu visibles, présentent un rendement faible au battage, de l'ordre de 30 à 40 %. Ils sont néanmoins prisés puisque leur récolte intervient à l'extrême limite de la période de soudure alimentaire. En 1978, leur récolte débute à Boulel le 10 septembre, soit près d'un mois avant celle du mil proprement dit, qui s'étale jusqu'à la fin du mois d'octobre. L'essentiel des épis récoltés est mis en grenier, excepté une petite fraction d'épis qui, récoltés avant complète maturité, sont séchés sur un feu et immédiatement consommés. La moisson est jumelée à la mise en fagot, destinée à faciliter le transport des épis jusqu'au grenier et à mesurer le volume de la récolte. La mise en grenier s'effectue en vrac, les épis étant répartis en couches horizontales radiales dans le grenier circulaire.

Une fois la récolte engrangée, les prélèvements se feront au fur et à mesure des besoins de la cuisine. Quelle que soit la localisation des cases au cours de l'année, la récolte est conservée en épis ou panicules dans les greniers situés sur les champs.

Les techniques pratiquées apparaissent à l'évidence adaptées à la mise en culture de grands espaces, de sols légers, et à des conditions pluviométriques aléatoires. L'absence de travail du sol et l'extrême rapidité d'exécution des semis permettent à l'agriculteur de profiter d'une pluie favorable pour implanter sa culture et d'effectuer, si le besoin s'en fait sentir, des resemis successifs à chaque épisode pluvieux. Le sarclage à l'iler, bien que beaucoup plus exigeant en travail que le semis, reste une opération rapide comparativement au sarclage à la houe.

## EFFICIENCE DES SYSTÈMES DE CULTURE

Les rendements apparaissent particulièrement médiocres et largement insuffisants pour que les productions satisfassent les besoins céréaliers, malgré l'importance des surfaces mises en culture. Le rendement moyen (estimé à l'échelle des parcelles dans leur ensemble), mil et sorgho confondus, n'atteint que 190 kg.ha<sup>-1</sup> en 1977, malgré une pluviométrie totale " normale " (420 mm en moyenne sur le bassin versant). Le rendement du mil en culture pure est de 150 kg.ha<sup>-1</sup>, celui du sorgho de 400 kg.ha<sup>-1</sup>, celui des deux cultures, en association ou en présence, de 230 kg.ha<sup>-1</sup>. Cette différence de rendement entre les deux espèces explique celle que l'on enregistre entre les deux grands types de situations : 150 kg.ha<sup>-1</sup> en moyenne dans les terroirs dunaires, 275 kg.ha<sup>-1</sup> dans les terroirs de piémont. En 1978, avec 360 mm de pluie en moyenne, le rendement céréalier moyen est du même ordre (205 kg.ha<sup>-1</sup>), mais la différence s'inverse au profit du milieu dunaire (215 kg.ha<sup>-1</sup> contre 175 kg.ha<sup>-1</sup> en piémonts).

Les rendements du mil mesurés sur placettes d'observation surestiment les niveaux réels (ils sont en moyenne, respectivement pour 1977, 78 et 79, de 260, 400 et 520 kg.ha<sup>-1</sup>). Ils révèlent une très forte dispersion de l'ensemble des composantes : nombre de poquets à l'unité de surface, nombre d'épis par poquet, poids de grain par épi. Mais les rendements les plus élevés observés au cours de ces années restent toujours très inférieurs à ce que le matériel végétal semble susceptible de produire dans ce milieu lorsque certaines techniques d'intensification sont adoptées : les essais agronomiques réalisés sur la dune de Saouga par le CIDR montrent ainsi que le rendement des populations locales de mil, sous des pluviométries de 400 à 500 mm, peut régulièrement dépasser 1 000 kg.ha<sup>-1</sup> : sur quatre années, le rendement moyen de mil obtenu en essais expérimentaux lorsque les thèmes d'intensification précé-

nisés sont appliqués est de 1 280 kg.ha<sup>-1</sup>, et tombe à 600 kg.ha<sup>-1</sup> en parcelles paysannes en phase de vulgarisation (PETILLON, 1978 ; RONDOT, 1987).

S'il apparaît difficile d'extrapoler de tels chiffres dans le temps et dans l'espace, il reste que des possibilités réelles semblent exister d'améliorer sensiblement les rendements des céréales et donc de mieux valoriser l'eau mobilisable par la plante.

La figure 45 indique que pour satisfaire des besoins céréaliers estimés à 200 kg par habitant, un rendement moyen de 274 kg.ha<sup>-1</sup> devrait être obtenu. La production locale (pour l'échantillon considéré) n'a permis, en 1977 et 1978, que de satisfaire 70 à 75 % de ces besoins. Ceux-ci ont, en revanche, sans doute été couverts en 1976. Quant aux données dont nous disposons pour les années postérieures, même si elles ne concernent pas les mêmes situations, elles révèlent un déficit substantiel pour les campagnes 1979 et 1980 et une situation de pénurie très grave à l'issue de l'hivernage 1981. Sur six années consécutives, une seule peut donc être considérée comme satisfaisante sur le plan de la production céréalière, si on lui fixe comme objectif de couvrir les besoins locaux. Le déficit, on le voit, est devenu chronique et structurel.

Ces systèmes de culture apparaissent de plus en plus bloqués, dans la mesure où l'espace agricole utile par habitant se raréfie. Ils n'évoluent pas vers des formes plus intensives d'utilisation de l'espace, et l'on peut même considérer qu'ils se dégradent (régression des jachères et sans doute aussi de la fumure animale). Ils manifestent une faible capacité à s'adapter à des situations nouvelles qui tendent à les remettre en cause, et ne font face à la pression démographique croissante qu'en accentuant leur consommation d'espace : ouverture de nouveaux champs dans des milieux qui, comme l'erg récent, sont de médiocre valeur agricole, et mise en valeur de bas-fonds, sans que celle-ci n'induisse une réelle transformation des techniques culturales, qui pourtant s'imposerait.

## ACTIVITÉS DE CUEILLETTE

La culture du mil ne permet plus de subvenir régulièrement aux besoins vivriers de la plupart des familles de l'Oudalan. Palliatif ancien, la cueillette des végétaux spontanés contribue à diversifier la ration alimentaire et à franchir les périodes de pénurie plus ou moins marquée. L'importance qu'elle revêt dans les systèmes de production varie largement avec le groupe social considéré, la saison, la localisation géographique de l'habitat, les réserves vivrières des cellules familiales. Activité sporadiquement pratiquée à certaines périodes de l'année, la cueillette peut devenir systématique et très intense lorsque le déficit de la production céréalière est accusé. La saison des pluies en particulier constitue une période privilégiée de collecte des produits végétaux à des fins alimentaires, puisqu'elle correspond à la fois aux phases de croissance active et de fructification de la plupart des espèces, herbacées et ligneuses, ainsi qu'au terme de la soudure céréalière. Les feuilles, fruits ou graines de nombreuses espèces rentrent alors couramment dans la ration, allant parfois jusqu'à remplacer le mil et le sorgho lorsque les greniers sont épuisés : *Boscia senegalensis*, *Adansonia digitata*, *Tribulus terrestris*, *Cassia obtusifolia*, *Leptadenia hastata*, *Ziziphus mauritiana*, *Balanites aegyptiaca* ...

Mais c'est surtout le fonio sauvage (*Panicum laetum*) qui, à cette période de l'année, fait l'objet d'une récolte massive et constitue la principale nourriture de substitution au mil. Céréale gustativement appréciée, le fonio forme dans certains bas-fonds des peuplements presque monospécifiques (Boubosa, Windé Cillouki) et il est présent sur les plages de sol à texture fine des terroirs de piémont (Warga, Lougga Kolel). Si quelques groupes (Peul Gaohé et Djelgobé) ne pratiquent pas cette cueillette, si d'autres s'y livrent d'une manière épisodique à proximité immédiate de leurs parcelles, certains lui accordent une importance telle que des familles entières quittent le terroir de culture dès la fin du mois d'août (alors que les sarclages ne sont donc généralement pas terminés) pour s'installer sur les prairies à fonio : Mallebé de Boulel à Bubosa, Iforas de Deberé et Iklan Itaboten de Gountouré à Windé

Cillouki, femmes songhaï et mallebé d'Oursi à Windé Cillouki et en bordure sud-est de la mare. La récolte s'effectue, avant complète maturité du fonio, à l'aide d'un panier à claire-voie qui, balancé à bout de bras, frappe la strate herbacée. Une fraction des graines s'accumule au fond du panier, tandis que la plupart sont projetées au sol ou restent fixées à la plante. Les quantités recueillies grâce à cette technique s'établissent à 5 à 6 kg de grain par récolteur et par jour, pour une durée de travail de récolte effectif de l'ordre de 4 heures. La production collectée en une journée par actif permet donc, dans ces conditions, de nourrir quotidiennement 6 personnes environ, soit la totalité des membres d'une unité de consommation moyenne.

Le grain de fonio, une fois mûr, se détache de la panicule et tombe sur le sol. La récolte au panier doit alors être abandonnée au profit d'une autre technique : fauchage de la prairie au ras du sol à l'aide du coupe-coupe (travail masculin) puis balayage des grains suivi d'un fastidieux nettoyage par vannages successifs (travail féminin). Cette opération se pratique sur de très petites surfaces (quelques dizaines de mètres carrés) choisies en fonction de leur productivité, et s'oppose donc à la précédente qui consistait à ne récupérer qu'une faible fraction des grains sur une grande étendue. Ce mode de collecte se poursuit souvent jusqu'à la fin du mois de septembre, puis cède la place à la récolte des épis des formes hybrides de mil.

La collecte des végétaux spontanés ne se limite pas à la période d'hivernage. Le fonio se récolte aussi durant la saison sèche, en cas de pénurie alimentaire prononcée, par ouverture des fourmillières et prélèvement du stock de graines accumulées (quelques kilos au plus par fourmilière). Seules les femmes bella pratiquent ce type de collecte, dont il est inutile de souligner la pénibilité. En 1977-78, la plupart des fourmillières des piémonts et des pourtours de bas-fonds avaient ainsi été éventrées et vidées de leur contenu. Le *Cenchrus biflorus* peut faire lui aussi l'objet d'une collecte intense en saison sèche, tout particulièrement lorsque les conditions de pénurie céréalières sont très sévères. Le produit récolté à l'aide du balai, suivant la technique décrite précédemment pour le fonio, doit ensuite subir un lourd travail de battage et de vannage pour libérer et isoler la graine de son enveloppe.

Une autre ressource alimentaire importante fournie par les végétaux spontanés est le bulbe de nénuphar (*Nymphaea lotus*), que l'on trouve en abondance dans certaines mares et surtout dans le Béli. Ce bulbe, susceptible d'être conservé après séchage pendant plusieurs mois, et consommé en général en mélange avec le lait, est récolté soit en fin de saison des pluies dans les bas-fonds comme celui de In Taïlale (au nord de la mare de Ganadawri), soit durant la saison fraîche sur le Béli ou dans la mare d'Oursi, à mesure que s'abaisse le niveau de l'eau. En 1977, de nombreux agriculteurs-éleveurs djelgobé de Ganadawri étaient partis dès le 15 septembre à In Taïlale puis sur le Béli. Pendant plusieurs mois le *tikendi*<sup>(1)</sup> et le lait représentèrent l'essentiel de la ration alimentaire, ce qui permit de retarder d'autant l'ouverture des greniers familiaux. Seule la fraction âgée de la population était entre-temps rentrée à Ganadawri pour récolter le mil. La transhumance n'obéit donc pas dans ce cas à de simples exigences de conduite du troupeau, mais apparaît de fait comme un déplacement du bétail et du groupe humain en vue d'une quête alimentaire conjointe.

Si l'on a ici tout particulièrement insisté sur la fonction vivrière de la cueillette, on ne doit pas oublier pour autant le rôle essentiel qu'elle joue pour satisfaire d'autres types de besoins dans une économie qui, bien que de plus en plus ouverte par nécessité sur l'extérieur, demeure encore intimement fondée sur l'exploitation des ressources locales. Les végétaux fournissent ainsi les matériaux nécessaires à la fabrication de multiples objets de la vie domestique : habitat, literie, ustensiles de cuisine, récipients, cordage, nattes et vannerie... (GROUZIS, 1987 ; LANGLOIS, 1980). Ils sont par ailleurs largement utilisés dans la pharmacopée traditionnelle.

(1) Terme tamachek désignant le bulbe de nénuphar.

## LES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

La notion de système d'élevage (LHOSTE, 1984) fait intervenir trois pôles principaux : le territoire pastoral, l'animal et le troupeau, l'éleveur. Son analyse suppose d'expliciter les composantes propres à chacun de ces pôles, mais également de rendre compte des phénomènes caractéristiques de leurs interfaces. Au cours de cette étude, l'accent a ainsi été mis sur la compréhension des pratiques d'élevage. Celles qui permettent au bétail d'accéder aux ressources alimentaires, en premier lieu, et qui constituent le fondement du pastoralisme sahélien, celles qui s'exercent plus directement sur l'animal et le troupeau, ensuite, dans les domaines des soins ou de l'exploitation (laitière, commerciale). L'efficacité du système d'élevage peut être appréciée à travers plusieurs types de critères. Les performances zootechniques d'abord, qu'elles soient individuelles ou caractéristiques du troupeau dans son ensemble, les rôles effectivement remplis par l'élevage dans le système de production par ailleurs, l'impact de l'activité pastorale sur le milieu enfin. Certains points n'ont pas été abordés au cours de ce travail, tel le comportement alimentaire des animaux. On ne reviendra pas sur les problèmes liés à la distribution de la biomasse herbacée, à sa variabilité interannuelle et aux capacités de charge des parcours, qui ont été spécifiquement analysés dans la seconde partie de l'ouvrage.

L'enquête sur les systèmes d'élevage <sup>(1)</sup> a privilégié le suivi rapproché de 1980 à 1982, de quatre situations contrastées réparties de l'ouest de l'Oudalan (Saba Kolangal) à la frontière du Niger.

L'une d'entre elles (Totiri, en bordure du massif de Tin Edjar) concerne la zone proprement dite de la mare d'Oursi. Certaines informations avaient été collectées antérieurement lors de l'enquête consacrée plus particulièrement aux systèmes de culture. Une enquête plus extensive a par ailleurs été réalisée en fin de programme (COMBES, 1984), afin de rendre compte de la diversité des systèmes d'élevage de l'Oudalan et d'en proposer une ébauche de typologie. Le lecteur pourra se reporter aux ouvrages de BARRAL (1977) et de BENOIT (1984) pour une connaissance plus complète des problèmes pastoraux de cette région.

<sup>(1)</sup> Sauf sur quelques points particuliers, les données ici concernent l'élevage bovin, sur lequel s'est concentré l'essentiel du travail d'enquête.

# CONDUITE ET DÉPLACEMENTS DES TROUPEAUX :

## LA QUÊTE ALIMENTAIRE

En région sahélienne, l'élevage peut être considéré comme une activité de cueillette par animal interposé. La satisfaction des besoins alimentaires du bétail dépend directement, et presque exclusivement, de l'existence de pâturages accessibles par les troupeaux. Une tâche essentielle de l'éleveur, du pasteur, est de rendre possible et de faciliter cet accès, et ceci durant toute l'année, grâce à des modes de conduite appropriés.

Les conditions climatiques sahéliennes, on l'a vu, imposent un déterminisme strict à la production fourragère, qui subit de considérables variations (saisonniers, interannuelles, spatiales) tant quantitatives que qualitatives. Au cours des trois à quatre mois de la saison des pluies, s'élabore la production des formations végétales herbacées, constituées pour l'essentiel d'espèces annuelles, principalement graminéennes. Dès la fin du cycle végétatif de ces plantes (soit souvent avant l'arrêt des pluies), la strate herbacée se dessèche et perd rapidement une grande partie de sa valeur nutritive. Le stock fourrager de la longue saison sèche est alors constitué, et décroîtra ensuite progressivement jusqu'au retour des pluies de l'année suivante, sous les actions conjuguées du prélèvement par le bétail et des autres facteurs de dégradation qu'amplifie sans aucun doute le piétinement des animaux.

La distribution spatiale des ressources fourragères se trouve affectée d'une très forte hétérogénéité. Les précipitations, et plus particulièrement les averses à caractère orageux qui prédominent en début de saison des pluies, sont souvent localisées dans l'espace. Le substrat édaphique, très diversifié, induit de considérables variations dans la répartition de la lame d'eau infiltrée (c'est-à-dire celle qui participe à la production végétale), compte tenu de la variété des états de surface du sol qui conditionnent directement le ruissellement. Ces deux phénomènes sont responsables d'une extrême hétérogénéité de répartition de la biomasse disponible en fin de saison des pluies. Par la suite, les prélèvements différentiels opérés par les animaux dans l'espace parcouru contribueront à atténuer, ou au contraire à accentuer, l'hétérogénéité initiale.

Une autre caractéristique essentielle des ressources fourragères, liée d'ailleurs à ces phénomènes de variabilité et de dispersion, réside dans leur non-appropriation. L'espace pastoral est ouvert et en principe accessible à tous, même si des règles plus ou moins tacites tendaient par le passé (et tendent parfois encore) à attribuer à certains groupes d'éleveurs des droits d'accès préférentiels sur telle ou telle portion de territoire. Cette liberté d'accès et de fréquentation de l'espace constitue un fondement du pastoralisme, compte tenu des pratiques adaptatives et contre-aléatoires qu'elle permet (BARRAL, 1977 ; BENOIT, 1984 ; GALLAIS, 1975).

Enfin l'espace pastoral, hétérogène et d'accès libre, est aussi polarisé. En effet, l'existence de points d'abreuvement représente une condition nécessaire de l'utilisation des pâturages. À une période, celle de la saison des pluies, où l'eau se trouve disponible dans les axes alluviaux, les zones dépressionnaires, les flaques, et " ouvre " l'espace exploitable, succède une longue saison sèche au cours de laquelle les points d'eau temporaires tarissent les uns après les autres, impliquant une concentration de plus en plus forte du bétail autour des points d'eau résiduels ainsi qu'une adaptation progressive en matière de choix des pâturages, de rythme et de mode d'abreuvement. Cela dit, l'Oudalan est suffisamment bien pourvu en points d'eau pour que les pâturages, dans leur presque totalité (excepté ceux du nord-ouest), soient accessibles durant tout ou partie de la saison sèche. Il reste que l'utilisation aux différentes périodes de l'année des parcours disponibles dépend directement de celle des points d'eau existants. Il convient à ce propos de distinguer les rythmes quotidiens de déplacement du bétail à partir d'un lieu d'abreuvement et d'un campement, compte tenu de la localisation des ressources fourragères environnantes et des mouvements de rupture aboutissant à l'utilisation d'autres points d'eau et d'autres zones de parcours qui suivent alors un rythme saisonnier plus ou moins régulier.

## LA SPÉCIFICITÉ DES DÉPLACEMENTS SAISONNIERS

La mobilité constitue une caractéristique essentielle de l'élevage en milieu sahélien. On réserve habituellement le terme de transhumances à des déplacements affectés d'un rythme saisonnier plus ou moins régulier, et celui de nomadisations à des mouvements de nature plus conjoncturelle, quelle qu'en soit l'ampleur. Cette distinction est dans la réalité souvent difficile à établir et dans l'Oudalan ces mouvements du bétail se révèlent très diversifiés quant à leur amplitude, leur durée et leur périodicité. Il convient en outre, avant d'examiner les principaux types de déplacements au cours de l'année, de préciser que les causes de ces mouvements sont généralement multiples et que l'éleveur en attend alors des bénéfices variés. À la recherche de pâturages plus intéressants sur le plan de leur productivité ou de la diversité des formations végétales parcourues, qui représente bien entendu la cause majeure des déplacements, s'ajoutent en effet d'autres raisons : nécessité d'écarter le cheptel des terres de culture en hivernage, fréquentation d'un lieu de cure salée, utilisation d'une nappe d'eau libre permettant de supprimer le travail d'exhaure de l'eau des puisards, réduction de l'exploitation laitière du troupeau en l'éloignant du groupe familial, association à la conduite du bétail d'activités de cueillette (fonio sauvage, bulbes de nénuphar), limitation du déplacement quotidien des animaux... Ces divers aspects interviennent différemment suivant les conditions de milieu (possibilités et contraintes), responsables d'une certaine spécificité saisonnière de la mobilité (cf. BARRAL, 1977).

### PRÉHIVERNAGE

Les premières pluies, souvent précoces (mai, parfois même avril) sont, de par leur caractère orageux, très localisées dans l'espace. Il n'est en outre pas rare qu'un mois ou plus les sépare des suivantes, qui marqueront la véritable installation de l'hivernage. L'eau se trouve alors brusquement présente dans les bas-fonds et sous forme de flaques dispersées sur tous les sols argileux, permettant l'accès à des pâturages non exploitables en saison sèche, ou qui ne l'étaient qu'au prix d'une marche forcée et d'un rythme d'abreuvement épuisant pour le bétail. Cette première pluie, si elle est de hauteur suffisante, s'accompagnera peu après de la feuillaison de certaines espèces ligneuses et de la levée de plantes herbacées.

Il devient dès lors possible de rompre le rythme adopté en fin de saison sèche (cf. *infra*) et de gagner des zones éloignées où les animaux pourront profiter à la fois de l'eau présente, de la réserve fourragère en partie préservée de l'année précédente et d'un appoint en fourrage vert de bonne valeur nutritive. Ces déplacements supposent qu'il reste alors un certain stock fourrager sur pied, ce qui n'est pas le cas de la majeure partie de l'Oudalan à cette période, et l'est encore moins plus au sud. Ils concerneront donc généralement les grandes " brousses tigrées " du nord-ouest et la rive gauche du Béli, les troupeaux gagnant vers le nord et le nord-ouest des pâturages encore utilisables. Ce mouvement sera d'ampleur et de durée variables, car étroitement tributaire de la localisation géographique et de la hauteur des pluies qui l'auront déclenché.

Le bétail bovin, souvent à cette période de l'année en état d'amaigrissement prononcé et soumis à un rythme épuisant, retrouve alors des conditions plus favorables puisqu'il limite considérablement ses déplacements quotidiens, améliore son alimentation et peut s'abreuver tous les jours à proximité des pâturages qu'il fréquente. Effets d'autant plus favorables que cette nomadisation intervient en début ou en pleine période des vélages : meilleures conditions d'alimentation des femelles en fin de gestation et production laitière plus abondante en début de lactation.

Cette nomadisation de préhivernage est loin d'être générale et la plupart des éleveurs ne la pratiqueront qu'en cas de conditions de fin de saison sèche très sévères.

Si les petites mares temporaires s'assèchent, les troupeaux se replient sur les points d'eau permanents de saison sèche. Si, en revanche, surviennent de nouveaux épisodes pluvieux, le bétail peut poursuivre sa pérégrination et entamer une transhumance proprement dite de saison des pluies, tandis que les vaches ayant mis bas ainsi que leurs veaux regagnent le campement pour assurer les besoins en lait de la famille jusqu'à la récolte du mil.

## SAISON DES PLUIES

Avec l'installation des pluies, le domaine pâturable s'ouvre encore davantage, les points d'eau sont dispersés dans l'espace et le bétail dispose de nouveaux pâturages de bonne valeur nutritive. Les formations végétales les plus utilisées à cette période sont celles des bas-fonds (prairies à *Panicum laetum*), des glacis, des brousses tigrées. Le domaine sableux en est à peu près exclu, et ceci pour deux raisons : la croissance des espèces herbacées y est moins précoce d'une part, et il devient d'autre part impératif d'écarter les troupeaux des terres de culture. Trois cas peuvent alors se présenter :

- Le bétail poursuit son déplacement amorcé à l'occasion des premières pluies pour ne revenir sur les terres de culture qu'après les récoltes ou plus avant dans la saison sèche.
- Les troupeaux, rentrés de cette première nomadisation, repartent avec des bergers pour un nouveau déplacement de plus longue durée. Il est alors souvent scindé, une partie au moins des laitières demeurant au campement avec leurs veaux pour que la famille puisse bénéficier de lait pendant la période de soudure céréalière. Pour certains groupes cette transhumance d'hivernage est de grande amplitude et permettra de gagner les pâturages et les cures salées du sud du Gourma malien.
- Le groupe familial quitte les terres de culture et s'installe avec son bétail à l'écart, à une distance des champs allant de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres. Les bovins et les petits ruminants pâturent alors dans les bas-fonds et sur les glacis environnants, souvent sans être gardés, et s'écartent peu du campement où il sont présents matin et soir. C'est de loin le cas le plus fréquent. Les bovins seront pendant cette période éventuellement conduits une ou plusieurs fois dans l'une des cures salées de l'Oudalan.

La transhumance d'hivernage suppose qu'une partie de la main-d'œuvre quitte les terres de culture pendant la période des travaux agricoles. On comprend donc que ceux qui y ont systématiquement recours soient préférentiellement des possesseurs de grands troupeaux pour lesquels l'élevage représente une priorité. La plupart de ceux qui mettent en culture de grandes surfaces et disposent d'un nombre réduit de têtes de bétail préféreront en revanche concentrer toute leur force de travail sur les travaux cultureux, gardant avec eux la totalité de leur cheptel.

## SAISON SÈCHE

Les récoltes de mil marquent un mouvement de repli assez général du bétail sur les champs où les résidus de culture pourront durant deux mois environ participer à l'alimentation du bétail. Le fourrage sur pied est alors présent non loin des points d'eau et de nombreuses mares subsistent. Les pâturages dunaires constitueront, jusqu'au retour des pluies de l'année suivante, les lieux de parcours privilégiés.

Certains troupeaux effectuent alors une transhumance de saison fraîche, leur permettant d'accéder à des pâturages qui ne seront plus exploitables par la suite, lorsque certains points d'eau seront taris.

Au fur et à mesure de l'avancée de la saison sèche, le nombre de points d'abreuvement diminue progressivement, et l'on assiste à une concentration du cheptel de plus en plus forte autour des points d'eau permanents. Les troupeaux vont s'y maintenir jusqu'aux premières pluies en adoptant (lorsque cela est possible) des rythmes de plus en plus contraignants pour atteindre les pâturages disponibles. En année très déficitaire, des solutions de fuite pourront être adoptées plus ou moins tardivement. Ce fut le cas en 1973 où le seul recours était un départ général vers le sud, en région soudanienne, et dans une certaine mesure en 1980. Cette année-là, les pâturages étant épuisés dans la majeure partie de l'Oudalan, de nombreux éleveurs sont partis en pleine saison sèche, à la fois avec les bovins et les petits ruminants, gagnant au Mali ou au Niger des zones qu'ils n'avaient pour certains jusque-là jamais fréquentées.

L'importance et la fréquence des déplacements des troupeaux au cours de l'année sont extrêmement variables. Si à la diversité des groupes sociaux de l'Oudalan correspond celle de " genres de vie " liés à une mobilité plus ou moins forte, la taille du troupeau apparaît elle aussi jouer un rôle déterminant. De nombreux éleveurs, qui pratiquaient par le passé de manière systématique une transhumance de saison

des pluies, l'ont à présent abandonnée, jugeant qu'un troupeau de faible importance peut sans grand dommage rester non loin des terres cultivées et qu'il est plus utile de consacrer aux travaux agricoles toute la force de travail disponible. Sur ce plan, les années sèches des deux dernières décennies auront sans aucun doute eu un impact direct (et différentiel suivant les groupes et les éleveurs) sur les pratiques pastorales, qu'il est difficile de ne pas interpréter comme une fragilisation accrue d'une grande partie des systèmes d'élevage actuels.

## LA MOBILITÉ AU QUOTIDIEN

Suivant la nature du point d'eau, la localisation du campement, la distribution spatiale des ressources fourragères, l'état du cheptel, les besoins et les disponibilités en main-d'œuvre du groupe familial, peuvent se distinguer des types bien différenciés de rythmes quotidiens, plus ou moins spécifiques des différentes saisons. La figure 47 (qui adopte une représentation schématique proche de celle proposée par LE MASSON, 1980) rassemble les principaux types observés au cours du suivi de quelques situations d'élevage de cette région, réalisé durant les années 1980 et 1981 et de l'enquête plus extensive de 1982.

### *Type A*

Le campement est situé à proximité immédiate du point d'eau, ou ce dernier est présent sur le périple quotidien sans être distant de plus de quelques kilomètres du campement. L'abreuvement a lieu chaque jour, le troupeau pâture durant la journée, rentre au campement le soir et, après un long repos, pâture à nouveau quelques heures pendant la nuit pour revenir au campement le matin. Les veaux, maintenus au campement, sont allaités matin et soir. La traite a lieu deux fois par jour <sup>(1)</sup>. C'est le schéma général de saison des pluies (le bétail trouve alors l'eau disponible en certains points du parcours quotidien) qui se caractérise par de faibles distances parcourues et un excellent rapport temps de pâture/distance parcourue.

C'est également le cas le plus fréquent en début de saison sèche, lorsque l'herbe est encore abondante non loin du point d'eau. Le périple diurne s'allonge progressivement au fur et à mesure que les disponibilités fourragères régressent près du point d'eau, la distance maximale atteinte à partir de celui-ci pouvant être d'environ 10 kilomètres. Ce type de rythme est favorable à la fois à l'alimentation des animaux du troupeau et à celle des veaux car elle correspond généralement à la période de forte production laitière. Elle n'implique ni le gardiennage, le bétail divaguant souvent à de faibles distances du campement, ni une quelconque scission du troupeau (seuls les veaux sont maintenus à part).

### *Type B*

Le campement est situé à plusieurs kilomètres du point d'eau, généralement sur ses terres de culture. Le rythme adopté et ses caractéristiques sont les mêmes que dans le cas précédent, mais durant la nuit le bétail peut aller pâturer dans la direction opposée au point d'eau. Le périple diurne est par ailleurs beaucoup plus polarisé et permet d'autant moins de choisir les pâturages fréquentés que le campement est situé plus loin du point d'eau. La localisation du campement nécessite d'autre part le transport de l'eau à usage domestique ainsi que le déplacement des veaux (en général gardés) jusqu'au point d'abreuvement ou, si possible, sur un point d'abreuvement périphérique pour qu'au cours de leur parcours ils ne puissent rencontrer le troupeau et têter leurs mères.

### *Type B'*

Il s'agit d'une variante du type précédent, où la situation du campement permet une utilisation alternative de deux points d'eau différents, ce qui accroît évidemment l'espace utilisable tout en permettant

<sup>(1)</sup> Les veaux, qui durant la journée restent à proximité du campement, sont rassemblés le soir dans un enclos de branchages avant l'arrivée du troupeau. C'est la condition nécessaire pour que la traite ait lieu. Ils en sont sortis au moment de la traite (suivi de l'allaitement) et y restent en général parqués pendant la nuit.

éventuellement de bénéficier de types de pâturages plus diversifiés. Comme dans le premier cas, les types B et B' n'imposent pas de gardiennage du troupeau au pâturage, dans la mesure où l'abreuvement est direct (nappe d'eau libre). Si l'abreuvement nécessite l'exhaure de l'eau de puisards, le gardiennage sera au moins partiel (accompagnement du troupeau le matin du campement au point d'eau).

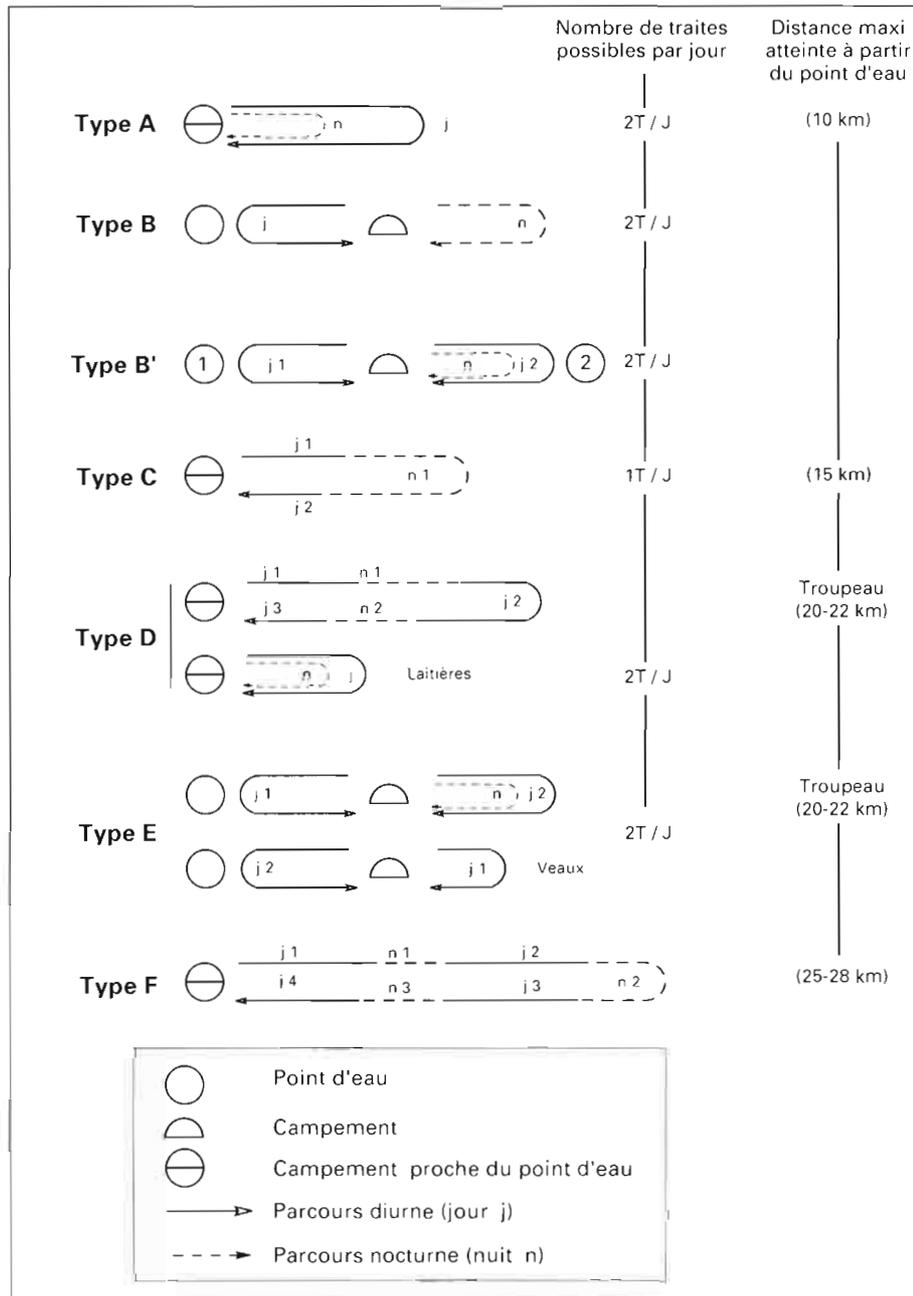


Figure 47 - Typologie des rythmes quotidiens de déplacement du troupeau bovin.

### *Type C*

Plus avant dans la saison sèche, les ressources fourragères régressent et sont d'autant plus faibles que l'on se situe près du point d'eau. Il devient nécessaire de fréquenter des pâturages plus éloignés, et le rythme adopté change, bien que l'abreuvement soit toujours quotidien : le troupeau part du point d'eau en début d'après-midi, gagne par marche rapide des pâturages qu'il atteint à la tombée de la nuit, et revient au campement le lendemain matin.

La priorité est donnée au pâturage nocturne, et une seule traite-allaitement a lieu, le matin. Le gardiennage du troupeau est nécessaire (mais dans certains cas non réalisé) et ce rythme permet d'accéder à des pâturages distants au plus de 15 kilomètres du point d'eau. Le rapport temps de pâture/distance parcourue est plus faible que dans les cas précédents, et l'est d'autant plus que le troupeau gagne des pâturages plus éloignés.

### *Type D*

Il correspond à une réduction croissante des ressources fourragères et à la nécessité de porter plus loin le front de pâture. Bien que pouvant débuter dès la saison fraîche, certaines années très déficitaires, il se situe généralement pendant la deuxième partie de la saison sèche, englobant les mois où les températures sont les plus élevées, dépassant régulièrement 40 °C sous abri aux heures les plus chaudes de la journée. Le troupeau ne s'abreuve plus qu'un jour sur deux, car il doit parcourir une longue distance avant d'accéder aux pâturages utilisables. Partant du point d'abreuvement l'après-midi du jour j1, il passe deux nuits consécutives en brousse, pâturant activement la nuit et pendant les heures les moins chaudes de la journée j2, pour revenir au campement le matin du jour j3. L'abreuvement est suivi de la traite et, en général, un complément d'abreuvement a lieu avant le départ de l'après-midi. Ce rythme ne permet donc qu'une traite-allaitement tous les deux jours, ce qui est insuffisant pour les veaux nés tardivement ; Les veaux âgés sont alors souvent intégrés au troupeau, tandis que restent à proximité du campement les vaches ayant des veaux en bas âge ainsi que les animaux malades ou affaiblis. Il en résulte donc souvent une scission partielle du troupeau, et les animaux qui demeurent au campement, rarement gardés, pratiquent alors un rythme de type A, mais dans des conditions de pénurie fourragère prononcée.

Le type D permet d'accéder à des pâturages éloignés de 20 kilomètres du point d'eau, et impose la présence continue d'un berger qui, se déplaçant avec le troupeau, se nourrit du lait de quelques vaches et transporte son eau de boisson dans une outre passée au cou d'une des bêtes les plus dociles.

Le passage du type C au type D se traduit par une amélioration du rapport temps de pâture/distance parcourue, qui se réduira ensuite progressivement au fur et à mesure du recul du front de pâture. En période chaude, le fait que le bétail ne s'abreuve qu'un jour sur deux doit par ailleurs limiter significativement la quantité de matière sèche ingérée, tandis que les besoins d'entretien sont élevés compte tenu de la longueur du parcours (45 à 50 km entre deux abreuvements successifs). On assiste alors à une perte progressive du poids de la plupart des animaux du troupeau.

### *Type E*

Le campement est installé à une dizaine de kilomètres du point d'eau. Le troupeau s'y rend le jour j1 pour s'abreuver, et gagne le jour j2 des pâturages situés dans la direction opposée. Le périple nocturne est réalisé à partir du campement, ou plus ou moins intégré à celui de j1 et j2. Ce type, par rapport au précédent, permet le retour du troupeau au campement matin et soir, et donc deux allaitements quotidiens des veaux. La priorité est donnée au pâturage le jour j2 (celui où le bétail ne s'abreuve pas) et pendant la nuit. C'est un système particulièrement adapté aux conditions de saison fraîche, car d'une part les animaux se contentent alors volontiers d'un abreuvement tous les deux jours et, d'autre part, il reste généralement à cette période suffisamment d'herbe entre le campement et le point d'abreuvement pour que le bétail puisse s'alimenter pendant le jour j1. Il n'en va pas de même en saison chaude, lorsque toute herbe a quasiment disparu sur ce trajet, et le type E est alors affecté des mêmes

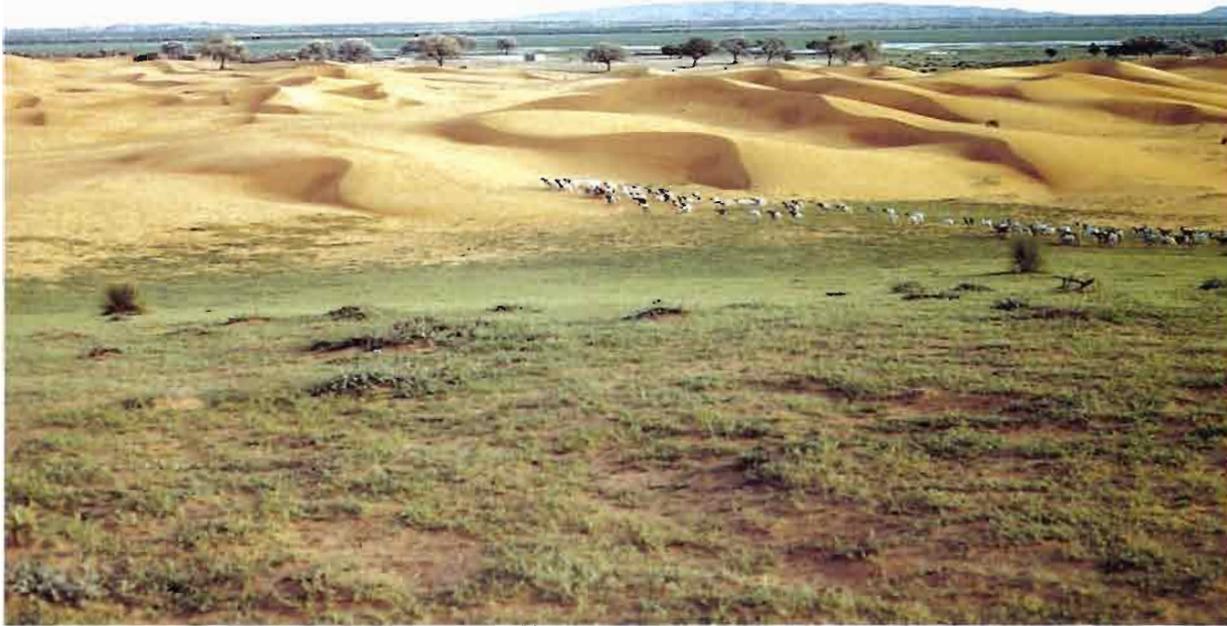
P. Milleville



Pâturage dunaire  
sur erg récent  
en début de saison  
sèche.

# MILIEU-VÉGÉTATION

M. Grouzis

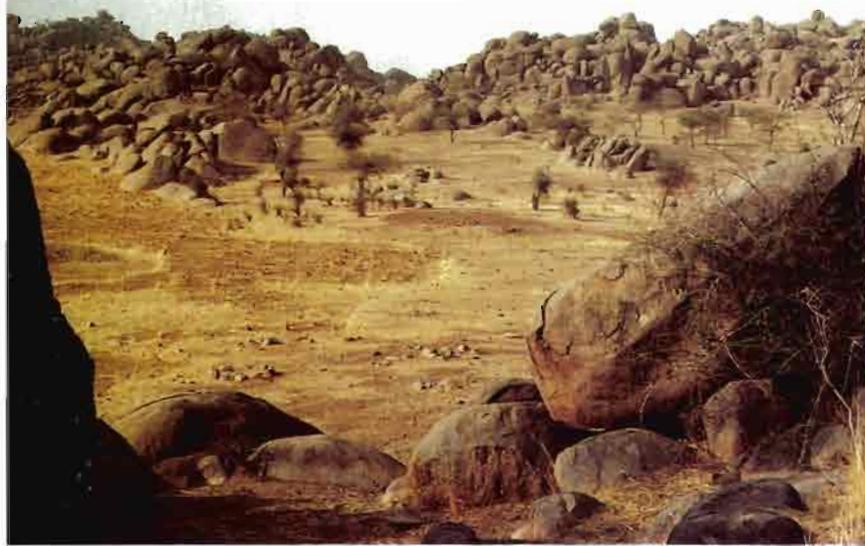


La dune vive  
d'Oursi : reprise  
éolienne  
de l'erg récent.

F. Sodier



Arrivée d'un vent  
de sable en fin de  
saison sèche.



P. Milleville



P. Milleville

La butte cuirassée de Kouni-Kouni.

Chaos granitique et recouvrement sableux de piémont près de Déou.

# MILIEU-VÉGÉTATION



P. Milleville

Le glacis de Jalafanka en début de saison des pluies.



F. Sadler



P. Milleville

*Acacia seyal* en fleurs.

Végétation de bas-fonds : *Acacia seyal* et *Panicum laetum*.



P. Milleville

Écoulement en nappe sur le glacis de Taïma.



J. Claude

Front de tornade, en début de saison des pluies.

# L'EAU...



J. Claude

Crue à la station de Taïma.



J. Claude

Glacis inondé après une crue.

La mare d'Oursi bien remplie après la saison des pluies de 1977.



P. Milleville



M. Grouzis

Stade ultime de dégradation sur formation dunaire.

Formation ligneuse sur glaciais, en cours de dégradation.



M. Grouzis

# DÉGRADATION DES SYSTÈMES ÉCOLOGIQUES



B. Pouyaud

Ancien site de cultures érodé (bas de la photo) avec déplacement des champs en amont (haut de la photo).



M. Grouzis

Défens

Glacis de Gountouré (Ase).



M. Grouzis

Témoïn

# CAPACITÉS DE RÉGÉNÉRATION

Effets de la mise en défens sur l'évolution du couvert végétal dans trois milieux caractéristiques.



M. Grouzis

Défens

Témoïn

Bas-fond de Windé (Spt).



M. Grouzis

Défens

Dune d'Oursi (Ams).



M. Grouzis

Témoïn



P. Milleville

Sarclage à l'iler.



P. Milleville

Formes cultivées et sauvages du mil.

# AGRICULTURE CUEILLETTE

Transport de  
graminées  
pérennes en  
provenance de  
zones plus  
méridionales.



P. Milleville

Mobilisation du  
groupe familial  
pour le semis  
du mil.



F. Sodter



Le mil parasité par  
le *Striga*.

P. Milleville

Collecte du fonio  
sauvage au balai.



P. Milleville

P. Milleville



Campement peul djelgobé et son troupeau.

M. Grouzis



Troupeau se dirigeant vers le point d'abreuvement en saison sèche.

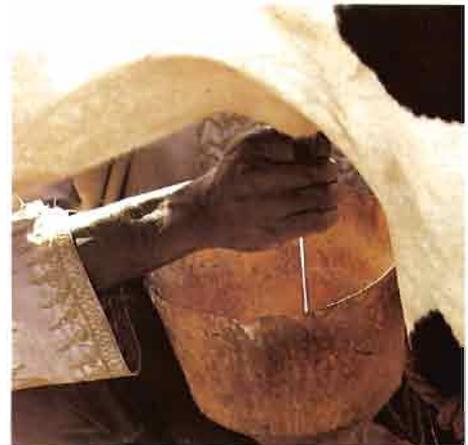
P. Milleville



Bétail au centre de la mare d'Oursi en saison sèche.

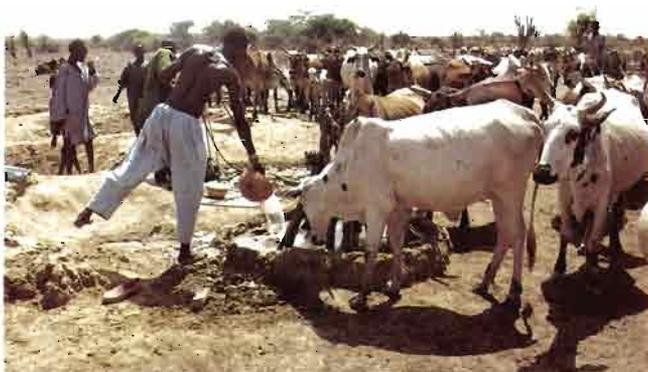
# ÉLEVAGE

P. Milleville



Scène de traite.

P. Milleville



Abreuvement des animaux au puisard.

J. Claude



Un village sédentaire : Oursi.

# HABITAT

Une hutte peul.



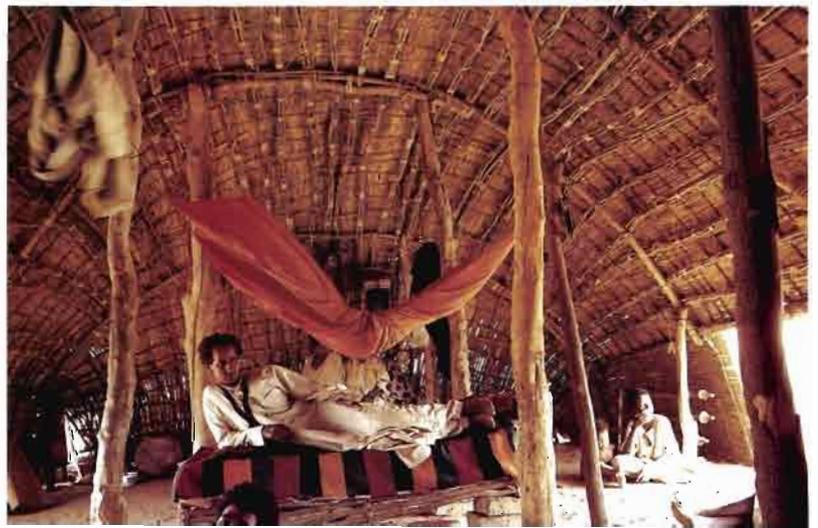
P. Milleville



J. Claude

L'habitat mobile d'une famille peul.

L'intérieur d'une *ekarban* kel tamachek.



P. Milleville

contraintes de pénurie fourragère que le type D, tout en présentant des avantages incontestables (allaitement des veaux, possibilité de ne pas isoler les laitières du troupeau principal).

Il est, en revanche, plus exigeant en main-d'œuvre et plus contraignant pour les bergers. Le campement ainsi situé est souvent temporaire et les bergers y sont donc éloignés de leur groupe familial. Il est de plus nécessaire d'abreuver les veaux au point d'eau si possible le jour j2 (pour qu'ils ne rencontrent pas leurs mères sur le parcours), ce qui implique alors un dédoublement de la main-d'œuvre, un berger gardant le troupeau proprement dit, l'autre les veaux.

### *Type F*

Très rare (il a été pratiqué par certains éleveurs en 1973 ainsi qu'en fin de saison sèche 1980), il correspond à l'extrême limite des possibilités physiques du bétail dans des conditions de grave pénurie fourragère. Le troupeau part le soir du jour j1 du point d'eau pour n'y revenir que le matin du jour j4 après avoir donc passé trois nuits et deux jours entiers sans boire. C'est une solution exceptionnelle qui semble n'avoir été adoptée que par quelques éleveurs peul djelgobé du nord-ouest de l'Oudalan, et qui permet d'accéder à des pâturages situés à 25 km environ du point d'eau. Les animaux affaiblis ou malades, les jeunes veaux et leurs mères, ne peuvent évidemment pas suivre le troupeau, qui adopte un rythme particulièrement épuisant.

Une telle typologie ne doit pas laisser penser à une causalité stricte de la distribution spatiale des ressources fourragères (compte tenu de la localisation des points d'eau) sur le rythme réellement adopté. Le passage du type A aux types C, D, voire F, suppose un espace ouvert, où les seules limitations sont celles imposées par la charge en bétail du point d'eau concerné et donc par la réduction progressive des ressources fourragères à partir de ce point d'eau.

Cette situation est caractéristique de l'ouest de l'Oudalan où les points d'eau de saison sèche ouvrent au nord et à l'ouest sur un espace non borné par les utilisateurs d'autres points d'abreuvement, puisque ceux-ci n'existent pas. L'avancée progressive du front de pâture permet donc de gagner de proche en proche des pâturages jusque-là préservés. Il n'en va pas de même pour la plupart des autres zones de l'Oudalan, où les points d'abreuvement sont suffisamment proches les uns des autres pour que les fronts de pâture à partir de deux points d'eau se rencontrent plus ou moins tôt en cours de saison sèche, ou que les troupeaux puissent s'abreuver à plusieurs points d'eau différents à partir du même lieu de campement. Dans ce cas, les solutions de type D ou E ne peuvent souvent être adoptées puisqu'elles seraient sans objet, et les éleveurs disposent donc d'une gamme plus réduite de choix possibles. Les troupeaux sont alors soumis à des conditions de pénurie fourragère à la fois plus précoce et plus sévère, qui peuvent constituer une raison impérieuse pour gagner d'autres zones de parcours et utiliser d'autres points d'eau.

Par ailleurs, certains types imposent plus que d'autres des contraintes aux bergers et au groupe familial, qui seront ou non acceptées compte tenu des disponibilités en main-d'œuvre, des besoins en lait de la famille, de la taille du troupeau... Et certains éleveurs pourront opter, alors que le niveau des ressources fourragères est encore satisfaisant non loin du point d'eau, pour des rythmes plus contraignants leur permettant d'accéder les premiers à des pâturages productifs éloignés.

Les comportements adoptés traduisent donc à la fois l'impact des conditions climatiques, celui de la distribution des ressources fourragères dans l'espace, ainsi que l'influence d'autres facteurs moins liés au milieu qu'à la structure et au fonctionnement du système de production.

## LES PRATIQUES DE CONDUITE

L'exemple de deux cas suivis au cours des années 1980 et 1981 permet de rendre compte de la succession des pratiques de conduite adoptées par les éleveurs et d'illustrer les raisons et les conséquences de la disparité des comportements observés.

*Le premier exemple* concerne une famille peul djelgobé, de 25 personnes environ, qui gère un troupeau bovin de plus de 200 têtes. Son campement et ses terres de cultures sont situés à Saba Kolangal, dans la partie ouest de l'Oudalan, face à un vaste domaine de parcours dépourvu de tout point d'eau en saison sèche.

Sur les graphiques de la figure 48 sont schématisés les déplacements saisonniers du troupeau durant les années 1980 et 1981, ainsi que les rythmes adoptés en saison sèche à partir des puisards de Saba. Le centre du cercle symbolise le lieu de campement de saison sèche, et les chiffres entre parenthèses qui suivent dans le texte renvoient à ceux des secteurs de ces graphiques ainsi qu'aux cartes des déplacements saisonniers correspondants.

Après les récoltes de 1979, les conditions fourragères sont très mauvaises. Le troupeau bovin est dissocié en deux fractions : l'une reste quelque temps sur le champ d'un agriculteur de Saba ("contrat" de fumure), pâture à proximité en rentrant matin et soir au point de parcage (rythme A). L'autre adopte le rythme C, bientôt remplacé par le rythme D (abreuvement tous les deux jours) et tout le bétail est finalement regroupé fin janvier. Devant la pénurie fourragère de plus en plus prononcée, les bergers décident en pleine saison chaude d'adopter le rythme F (exceptionnel) qu'ils maintiennent pendant près d'un mois, accédant alors à des pâturages situés au-delà du forage Christine. Trois bergers se remplacent par roulement (un seul berger conduit le troupeau). À la fin du mois de mai, les mises-bas débutant, ils décident de revenir au rythme D, qu'ils pratiquent jusqu'aux premières pluies de l'hivernage (6 et 9 juin 1980). Le troupeau avait été auparavant divisé, les animaux âgés, faibles ainsi que les vaches ayant mis bas étant conduits séparément. Cette scission va se prolonger durant la saison des pluies.

Dès la première pluie, le troupeau s'installe pendant 10 jours à Siringou (1) (cf. figure 48) puis gagne l'ouest de la mare d'Oursi (2). Les vélages sont alors quasiment terminés. Après deux semaines de séjour près de la mare d'Oursi, il rentre à Saba pour repartir immédiatement à Tioffa, sud-ouest de Déou. Le troupeau principal n'y reste qu'une semaine (3), revient à nouveau à Saba pour se rendre ensuite fin juillet à la cure salée d'Amniganda au Mali (4) et ne revient à Saba qu'après les récoltes. Des laitières et les bêtes faibles étant restées à Tioffa (5), elles partent à Loukodou (6) au début du mois de septembre pour atteindre Saba vers la mi-octobre. Ces déplacements successifs de saison des pluies se justifiaient par la recherche des pâturages de bas-fonds et de glacis les plus productifs, la nécessité, à partir du mois d'août, d'écarter le bétail des terroirs cultivés, et la fréquentation en saison des pluies des cures salées (Oursi, et surtout Amniganda) considérée sans doute cette année-là comme impérative du fait de l'état d'affaiblissement très prononcé de tous les animaux.

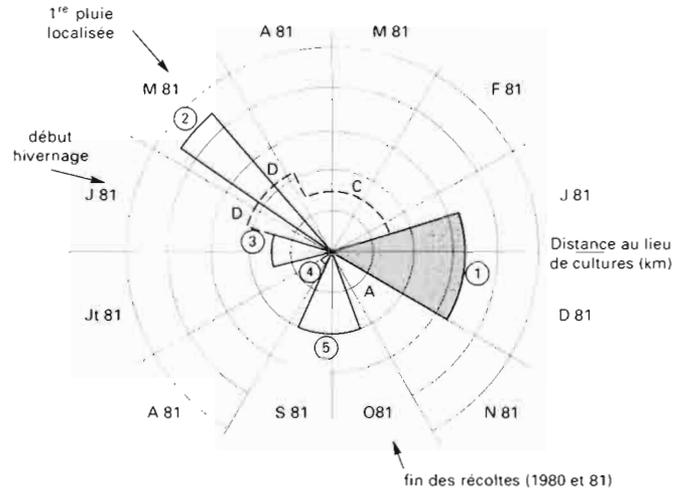
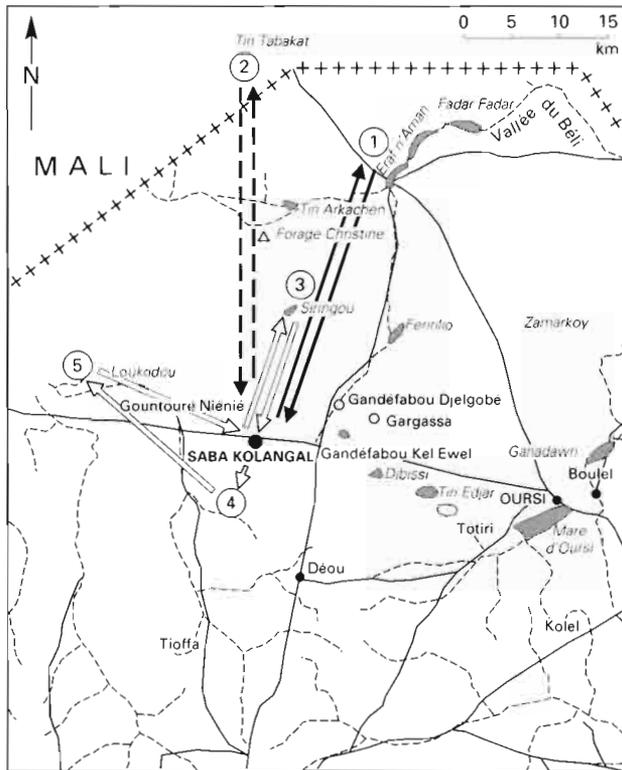
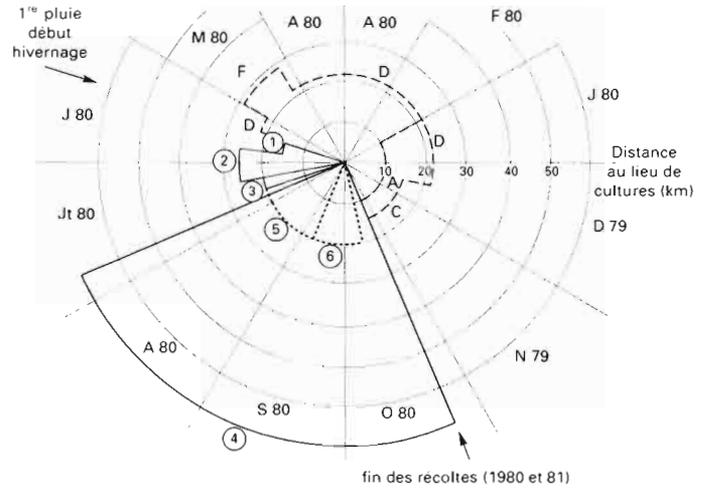
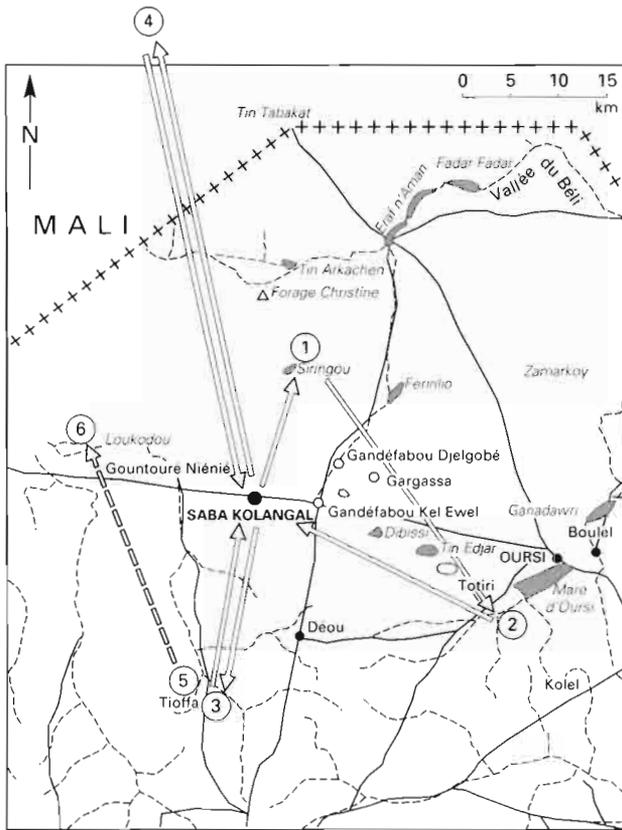
Après les récoltes de 1980, le troupeau suit pendant un peu plus d'un mois un rythme de type A, puis entreprend une transhumance en saison fraîche à Eraf N'Aman pendant plus d'un mois et demi, tandis que les laitières sont maintenues à Saba. Ce séjour au Béli, au cours duquel le campement provisoire des bergers est fréquemment déplacé, permet l'abreuvement direct du bétail (en évitant donc le dur travail d'exhaure de l'eau des puisards) et en outre l'accès à des pâturages qui ne peuvent plus être fréquentés par la suite lorsque le Béli est tari à Eraf N'Aman.

En établissant le campement à une dizaine de kilomètres du Béli, le bétail peut gagner grâce au rythme de type E, des pâturages situés à une vingtaine de kilomètres du point d'eau, donc dépasser largement le forage Christine. L'abreuvement un jour sur deux ne représente d'autre part pas une contrainte véritable pour les animaux à cette période de l'année (basses températures).

Le troupeau se replie sur Saba le 17 janvier 1981, non parce que l'eau et le pâturage ne sont plus disponibles, mais parce que les bergers ont hâte de retrouver leurs familles. Durant trois mois, les ressources fourragères abondantes vont permettre de maintenir à partir des puisards de Saba un rythme de type C, et ce n'est que fin avril que le bétail passera au rythme D. Vers le 10 mai tombe une pluie très localisée au nord, et le troupeau part immédiatement en déplacement de préhivernage à Tin Tabakat (2) pour profiter, à partir des flaques d'eau créées, des pâturages qui, en saison sèche, sont inaccessibles, adopter un rythme quotidien moins contraignant (partir loin permet de marcher moins) et bénéficier donc en fin de saison chaude de bonnes conditions alimentaires. Dès la première mise-bas, le troupeau regagne Saba pour reprendre le rythme D qu'il avait interrompu, et à la pluie suivante gagne la petite mare de Siringou (3) où, en s'abreuvent chaque jour, il fréquente les pâturages dunaires et les brousses tigrées environnantes. Seules 10 vaches laitières sont alors maintenues à Saba où la pluie importante du 18 juin déclenche les semis. Le troupeau se replie sur Saba le 9 juillet et tout le campement se déplace le 22 juillet à quelques kilomètres au sud-ouest pour s'écarter des champs, le bétail pâturant dans les bas-fonds et sur les glacis voisins (4). Début septembre, alors que quelques laitières demeurent au campement, le troupeau (qui s'est en fait divisé durant l'hivernage) part à Loukodou (5) pour rentrer à Saba dès la fin des récoltes. Au début du mois de novembre 1981, il repartira comme l'année précédente en transhumance de saison fraîche sur le Béli.

Pour chacune de ces deux années, le troupeau principal (compte non tenu des animaux restant au campement) aura été absent de Saba pendant 5 mois environ. Mais les lieux et les périodes de déplacement diffèrent sensiblement, notamment en raison des conditions climatiques, des disponibilités fourragères et de l'état du cheptel.

Quant aux rythmes adoptés en saison sèche, ils apparaissent évidemment liés très directement à la répartition



-  Saison fraîche
-  Préhivernage
-  Saison des pluies
-  Rythme adopté en saison sèche et distance maximale atteinte à partir du point d'eau
-  Scission du troupeau

Figure 48 - Déplacements du troupeau bovin de Saba Kolangal en 1980 et 1981.

des ressources fourragères et témoignent, dans cette région nord-ouest de l'Oudalan, de la possibilité d'exploiter des pâturages éloignés à partir des points d'eau pérennes situés à leur périphérie.

Le troupeau principal de Saba est toujours accompagné. Seul le sous-troupeau de laitières, éventuellement dissocié du reste des animaux à certaines périodes, n'est pas systématiquement gardé, tout au moins lorsque l'abreuvement est quotidien et qu'il ne pâture pas à de trop longues distances du campement. En saison sèche 1981, lorsque tout le bétail était encore regroupé en un troupeau unique, un seul berger l'accompagnait au pâturage, mais en fait trois hommes se remplaçaient régulièrement pour ce gardiennage. L'abreuvement était réalisé aux puisards au retour du troupeau le matin, et un complément était généralement apporté avant le départ de l'après-midi. Ce travail de puisage, compte tenu de la taille du troupeau (200 bêtes), exigeait la participation de deux hommes et l'exhaure de 5 m<sup>3</sup> d'eau ou plus <sup>(1)</sup>. Durant les déplacements de saison des pluies ou de saison fraîche, il n'est pas rare que deux bergers, sinon trois, soient nécessaires pour accompagner le troupeau.

*Le second exemple* se rapporte à une famille d'Iklan Iderfane dont le campement et les terres de culture sont localisées à Totiri, à quelques kilomètres à l'est de la mare d'Oursi. Le groupe résidentiel, constitué de cinq ménages, comprend 23 personnes lorsqu'il est complet. Les surfaces cultivées sont importantes (environ 0,9 ha par habitant) et permettent en année " normale " de satisfaire les besoins vivriers de la famille.

Le troupeau bovin regroupe 55 têtes en décembre 1981 et manifeste une mobilité beaucoup plus réduite que celui de Saba. La situation du campement permet durant la saison sèche d'utiliser deux points d'eau : la mare d'Oursi et celle de Tin Edjar, cette dernière s'asséchant assez rapidement mais étant alors relayée par les puisards qui y sont creusés. La différence fondamentale existant avec le cas précédent réside surtout dans la très forte charge en bétail qui s'exerce autour de la mare d'Oursi au cours de la saison sèche et qui, selon les disponibilités fourragères de l'année, aboutit plus ou moins tôt à une disparition quasi totale du pâturage herbacé dans un rayon d'une dizaine de kilomètres autour de la mare. Le complexe dunaire situé au nord, bien que vaste, est activement pâturé à partir des points d'eau d'Oursi, Ganadawri, Tin Edjar, Dibissi et Gargassa.

En 1980, confronté à une situation de pénurie fourragère très sévère, le chef de campement décide de quitter Totiri avec le troupeau bovin pour s'installer à Gargassa (à une dizaine de kilomètres au N-O de Totiri), dès le 27 février, tandis que le groupe familial demeure sur les champs avec les caprins et les ovins.

Les bovins sont alors, à partir de Gargassa, abreuvés aux puisards de Tin Edjar, quotidiennement pendant un mois (rythme B), puis une fois tous les deux jours (rythme E), allant pâturer le lendemain de l'abreuvement au N-E de Gargassa. Le bétail est très affaibli et la mortalité très élevée en fin de saison sèche et en début d'hivernage (11 morts au total, dont 9 veaux nés l'année précédente). Le troupeau rejoint Totiri le 10 juin 1980 à la première pluie, s'abreuvant désormais dans les bas-fonds proches et n'étant gardé que la nuit, car tous les hommes sont accaparés pendant la journée par les travaux agricoles. Début août, après le premier sarclage du mil, le campement se déplace dans son lieu d'hivernage, sur les glacis situés à quelques kilomètres au sud des champs. Jusqu'à la mi-octobre, le bétail pâture à proximité (bas-fonds et glacis) où il trouve des points d'eau dispersés. Il fréquente durant cette période à peu près chaque semaine la cure située en bordure de la mare d'Oursi.

Après les récoltes le campement se déplace à nouveau pour s'installer sur les champs et les bovins sont conduits jusqu'au 7 mars 1981 à la mare d'Oursi, un jour sur deux, pour s'y abreuver. En raison du relèvement de la température et de la régression de ressources fourragères, l'éleveur décide alors d'abreuver quotidiennement le troupeau, alternativement à Oursi et à Tin Edjar, où des puisards ont été creusés (rythme B', maintenu jusqu'à la fin du mois de mars) : le périple quotidien du troupeau est de 22 kilomètres le premier jour, de 13 kilomètres le lendemain. La mare d'Oursi est ensuite délaissée en raison de la dégradation très poussée des pâturages dunaire environnants et les bovins sont alors abreuvés chaque jour aux puisards de Tin Edjar, pâturant essentiellement sur les piémonts et le massif rocheux, en étant régulièrement gardés jour et nuit.

Une première pluie localisée au début du mois de juin 1981 provoque le départ du troupeau bovin à Zamarkoy, où les flaques qui se sont créées permettent d'exploiter sur place un pâturage de brousse tigrée où subsiste encore une quantité appréciable d'herbe sèche. La pluie du 19 juin déclenche les semis à Totiri, et le troupeau regagne le campement le 30 juin pour s'abreuver dans un marigot voisin et pâturer près du massif de Tin Edjar.

(1) L'eau se trouve, dans ces puisards, située à environ 2,50 m de profondeur. Le puisage s'effectue à l'aide d'une calebasse d'une contenance de 5 à 6 litres suspendue à une corde. Les mesures faites en saison sèche 1981 indiquent des consommations d'eau quotidiennes de 25 à 35 litres par tête (tous âges confondus) suivant la saison (fraîche ou chaude) pour un rythme de type C, c'est-à-dire d'un abreuvement quotidien. Le temps nécessaire à deux hommes pour abreuver le troupeau variait entre 4 et 5 heures.

Comme l'année précédente, les bovins ne seront gardés jusqu'à la fin des sarclages que durant leur petit périple nocturne, ou lorsqu'ils sont conduits à la cure salée d'Oursi. La récolte du mil débute le 12 octobre et les bovins rentrent dans les champs dès le 20 octobre pour y consommer les résidus de culture, pâturant sans gardiennage jour et nuit et continuant à fréquenter épisodiquement la cure salée d'Oursi.

Devant l'état catastrophique des récoltes, trois des cinq chefs de ménages décident de partir avec leurs familles dans la région de Kaya pour subvenir à leurs besoins alimentaires quotidiens en échange de travaux divers (défrichements, pilage du mil...). Après la réinstallation du campement sur les champs, fin novembre, les bovins sont abreuvés tous les jours, alternativement aux mares d'Oursi et de Tin Edjar jusqu'au 20 janvier 1982. Plusieurs voyages que le chef de campement doit entreprendre dans la région d'Aribinda pour acheter du mil interrompent le gardiennage et modifient le rythme d'abreuvement. Devant la disparition quasi totale du pâturage autour de la mare d'Oursi, le campement se déplace le 25 février sur les glacis à quelques kilomètres au S-O de Totiri.

Au cours de deux années consécutives, les déplacements du bétail auront donc été très limités, s'inscrivant presque exclusivement dans le périmètre accessible à partir du point d'eau de Tin Edjar. Les migrations de travail en saison sèche, la priorité accordée à l'entretien des cultures en saison de pluies, font que la main-d'œuvre effectivement disponible pour les activités d'élevage est rare. Le troupeau bovin s'éloigne très rarement du groupe résidentiel et le gardiennage, et donc le choix que peut faire l'éleveur des parcours quotidiens, est irrégulièrement assuré. Les pertes très élevées qu'a subi ce troupeau en 1980 sont directement imputables à cet état de fait, alors qu'en 1981 les bonnes conditions fourragères ont permis au bétail de s'en accommoder sans dommage. Les solutions adoptées en conditions de crise apparaissent comme des palliatifs insuffisants. Le chef de campement, bien que très actif et connaissant parfaitement ses bêtes et leurs besoins, avoue lui-même être accaparé souvent par des tâches plus prioritaires, en particulier l'approvisionnement en vivres du groupe familial.

Alors que le premier exemple illustre la capacité qu'ont encore certains systèmes d'élevage de l'Oudalan de s'adapter, grâce à la mobilité et à la fréquentation d'un vaste espace, à des conditions de milieu diversifiées et changeantes, le second caractérise assez bien la situation qui prévaut aux abords de la mare d'Oursi. Comme le souligne BARRAL, les zones d'endodromie " *amont mare d'Oursi* " et " *Oursi - Bidi - Gorom-Gorom* " traduisent le passage à un système de transhumances étriquées, assorties d'un micro-nomadisme... entraînant une saturation des parcours qui aboutit à des phénomènes de dégradation spectaculaires. La coexistence de l'agriculture et de l'élevage explique en grande partie la nature des déplacements saisonniers. Après l'achèvement des semis, les campements quittent les terres de cultures pour s'installer sur les zones de glacis incultes souvent peu éloignées, le bétail pâturant alors activement dans les bas-fonds voisins ou poursuivant sous la conduite de bergers une transhumance de faible amplitude (de l'ordre de 10 à 20 km) engagée dès les premières pluies, destinée à écarter le troupeau du domaine cultivé et à lui permettre d'accéder, dans les zones dépressionnaires, au pâturage aérien puis aux prairies à *Panicum laetum*. La récolte du mil déclenche le retour généralisé des troupeaux sur les champs. Les résidus de culture constitueront alors durant plusieurs mois un appoint alimentaire non négligeable, tandis que la stabulation du bétail autour du campement favorisera la concentration des déjections sur les parcelles. Lorsque le disponible fourrager est localement suffisant, la plupart des troupeaux maintiennent cet ancrage jusqu'au retour des pluies, adaptant leurs rythmes de déplacement et d'abreuvement durant la saison sèche à la répartition spatiale des pâturages encore exploitables.

Il faut par ailleurs souligner l'attraction qu'exerce la mare d'Oursi pour des troupeaux en provenance du sud de cette zone (environs de Gorom-Gorom, Assinga...) où l'emprise des terres de culture limite fortement les disponibilités fourragères de saison sèche. La mare d'Oursi, tout en permettant l'utilisation d'une nappe d'eau libre très avant dans la saison sèche, " ouvre " au nord sur un vaste complexe dunaire facilement accessible à partir de ce point d'eau. Cet afflux de troupeaux " étrangers " explique les charges démesurées que l'on peut, certaines années, enregistrer en saison sèche sur le pourtour de la mare d'Oursi.

## PRODUCTION LAITIÈRE, CROISSANCE ET SEVRAGE DES VEAUX

La production de lait constitue une fonction essentielle de l'élevage bovin en région sahélienne. Les produits lactés rentrent régulièrement dans la ration en complément du mil, auquel il lui arrive même de se substituer en hivernage, période qui correspond à la fois au pic de production laitière et à la soudure céréalière. Le rôle effectif que joue le troupeau à cet égard, ainsi que le comportement de l'éleveur et les conséquences zootechniques qui en résultent, varient largement, entre autres choses, avec la taille du troupeau. Par ailleurs, les veaux doivent assurer, durant les premiers mois de leur vie, la quasi-totalité de leurs besoins alimentaires grâce au lait de leur mère. Une partie de la production laitière est donc prélevée par l'éleveur et le restant laissé au veaux, si bien qu'il s'établit une compétition entre l'homme et le veau, qui sera arbitrée en fonction de leurs besoins respectifs. Enfin la production laitière, compte tenu du groupement des mises-bas en fin de saison sèche et en début d'hivernage, et surtout d'une amélioration quantitative et qualitative de l'alimentation en saison des pluies, succédant à une période où même les besoins d'entretien des animaux ne sont pas satisfaits, subit de considérables fluctuations saisonnières.

La décision de traire une vache, le rythme de traite ainsi que son intensité, dépendent donc d'éléments multiples que prend en compte l'éleveur :

- les besoins vivriers de la famille : plus ils sont aigus et non satisfaits par d'autres sources et plus le nombre de vaches traites sera proche du nombre de vaches en lactation, plus la traite sera complète et la quantité de lait laissée au veau réduite ;
- les besoins différentiels des veaux : la nécessité d'assurer un début de croissance rapide des jeunes ou de stimuler la croissance de veaux faibles et chétifs peut décider l'éleveur à suspendre ou limiter la traite de leur mère ;
- les performances laitières de la vache et son comportement : l'éleveur s'abstient généralement de traire une vache donnant peu de lait, malade ou refusant la traite ;
- le rythme de conduite du troupeau : il s'agit évidemment d'un facteur déterminant, puisqu'il conditionne la fréquence de retour des animaux au campement. Une scission est d'ailleurs souvent opérée dans le troupeau pour maintenir à proximité du campement une partie des femelles en lactation.

D'une manière générale, de la saison des pluies à la fin de la saison sèche, la fréquence des traites, le nombre de vaches traites et la quantité de lait prélevée par vache décroîtront progressivement, et le disponible quotidien en lait du groupe familial subira par conséquent durant cette période une baisse considérable.

Quant à la production laitière totale d'une vache à un moment donné, elle dépend de facteurs liés à la fois à l'animal et à son alimentation : potentiel génétique, stade et rang de lactation, état sanitaire, couverture des besoins alimentaires (en liaison étroite avec l'état et la nature des pâturages fréquentés), rythme d'abreuvement. Le pic très net de production en milieu de saison des pluies correspond à des conditions alimentaires redevenues favorables ainsi qu'au palier probable de la courbe de lactation des vaches ayant mis bas en fin de saison sèche. Inversement, les très faibles productions de fin de saison sèche se situent à une période d'alimentation déséquilibrée, de marche souvent épuisante des animaux, de mauvaises conditions d'abreuvement et, pour la plupart des femelles, de chute de la courbe de lactation.

Les figures 49 et 50 rassemblent pour le troupeau de Saba Kolangal, et pour la période allant de mars 1981 à mars 1982, les principaux paramètres quantitatifs relatifs à la traite :

- Nombre de vaches traites : jusqu'au mois de juin, seules les vaches ayant mis bas en 1980 sont traites, les premiers vêlages ne débutant en 1981 qu'au milieu du mois de mai. Le taux de traite (rapport du nombre de vaches traites au nombre total de vaches en lactation) était de 45 % en

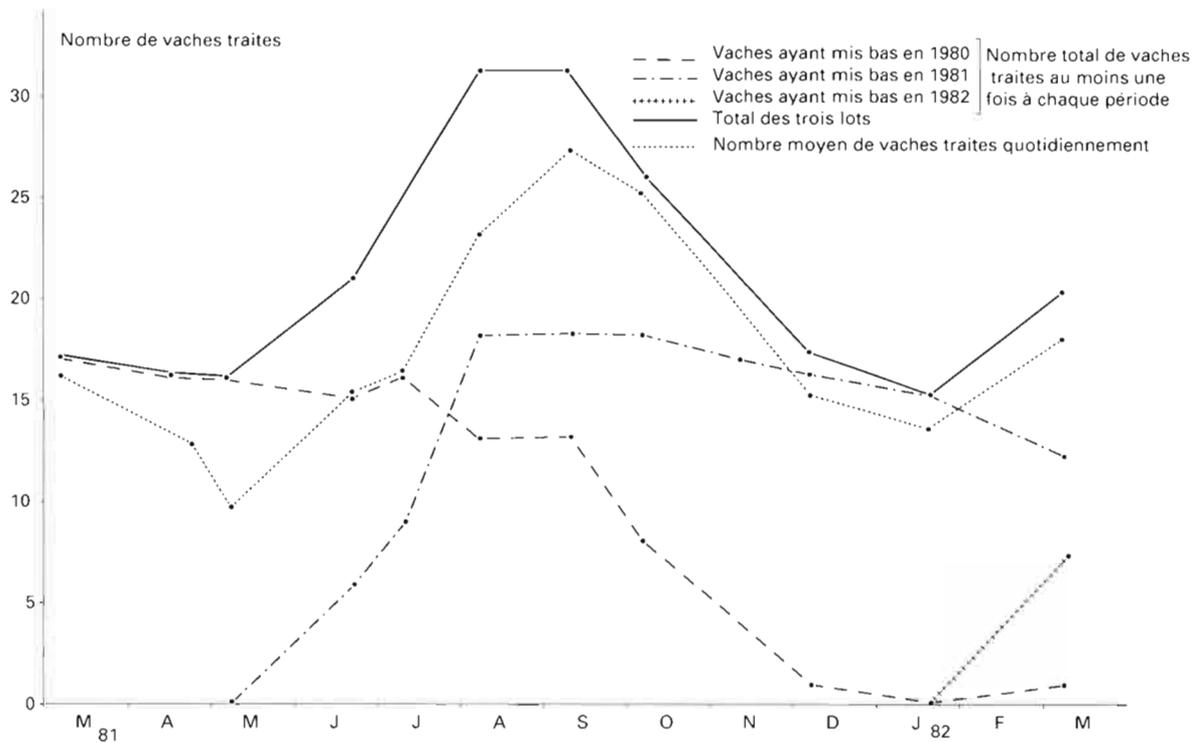


Figure 49 - Variations saisonnières du nombre de vaches traites à Saba Kolangal de mars 1980 à mars 1981.

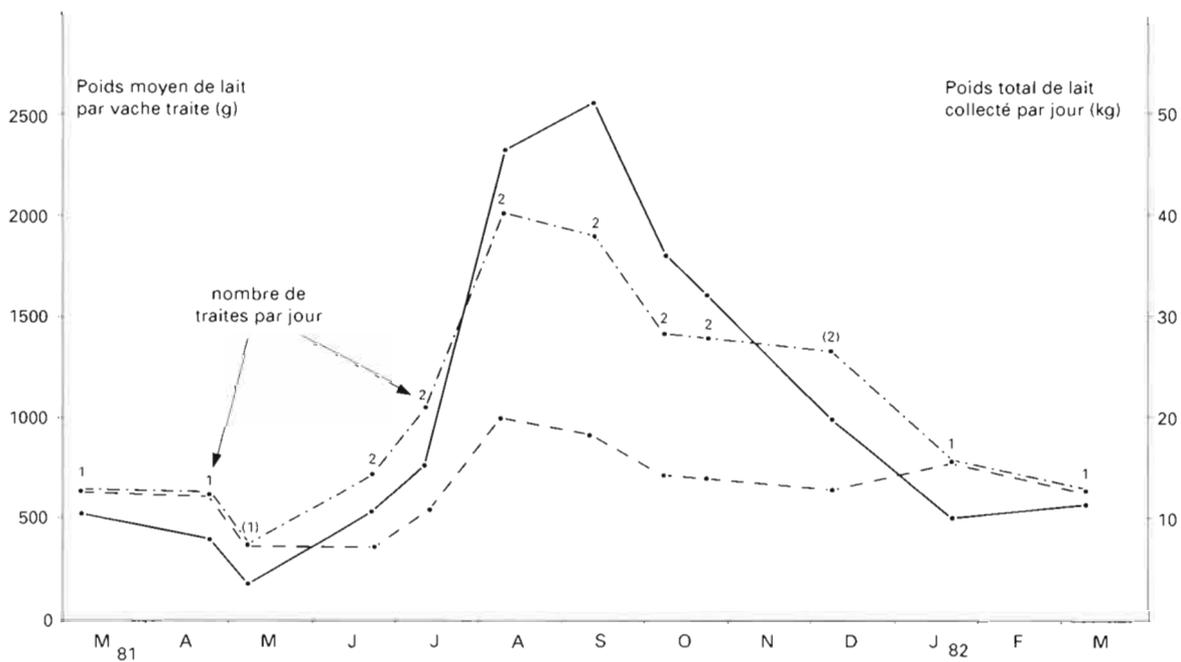


Figure 50 - Poids moyen de lait par vache traite, par traite (- - -) et par jour (- · - ·). Poids total de lait collecté par jour pour l'ensemble des vaches traites (—) à Saba Kolangal de mars 1980 à mars 1981.

mars 1981. À partir de juin, les vaches venant de mettre bas sont traites à leur tour, leur nombre passant par un maximum en août, septembre et octobre, tandis que le nombre de vaches traites ayant mis bas en 1980 se maintient à un niveau élevé jusqu'en septembre pour décroître ensuite rapidement. Il existe donc une période de recouvrement de la traite des deux lots en pleine saison des pluies, qui correspond pour le premier à une durée de lactation supérieure à 12 mois. La courbe cumulée indique un maximum de 31 vaches traites en août et septembre et un minimum de 15 à 16 pendant la saison sèche, soit une variation de un à deux au cours de l'année.

- Rythme de traite et quantité de lait collectée par vache : le rythme d'une traite quotidienne (le matin) est le cas le plus général pendant la majeure partie de la saison sèche. Ce rythme passe à deux traites par jour dès le début de la saison des pluies, et s'y maintient jusqu'en décembre. La quantité de lait par traite et par vache (compte non tenu du prélèvement du veau) accuse un minimum en fin de saison sèche (360 g) et un maximum au cœur de l'hivernage (1 000 g). La quantité de lait prélevée quotidiennement par vache traite subit donc une variation deux fois plus accusée (360 à 2 000 g). Il faut noter une forte dispersion individuelle de la quantité de lait prélevée à chaque traite : les coefficients de variation sont élevés, de l'ordre de 30 à 40 %, parfois plus, reflétant à la fois des performances laitières différenciées et les modulations de comportement du trayeur en fonction des cas individuels.
- Quantité de lait prélevée quotidiennement sur l'ensemble du troupeau : elle fait intervenir le nombre de vaches traites, le rythme de traite et le poids de lait trait par vache. Ces trois paramètres variant dans le même sens au cours du temps, leur produit aboutit à une courbe de disponibilité en lait pour la famille affectée d'une extrême variation saisonnière (minimum de 4 kg en mai, maximum de 50 kg en septembre). Durant la saison des pluies, une grande partie des besoins alimentaires du groupe familial est satisfait par le lait, et le surplus est transformé en beurre, qui peut être conservé pendant plusieurs mois dans des outres en peau. On peut estimer pour ce troupeau la quantité totale de lait collectée au cours de l'année à 7 500 kg ce qui correspond, en la rapportant au nombre moyen de vaches traites, à 440 kg par vache et par an, et à un disponible annuel par habitant de 360 kg.

À Totiri, on observe les mêmes variations saisonnières des quantités de lait prélevées à la traite. Sur 5 vaches ayant mis bas en 1980, 2 sont encore traites durant toute la saison des pluies, l'une jusqu'à la fin du mois d'octobre 1981 (17 mois de lactation), l'autre jusqu'à la fin janvier 1982 (19 mois de lactation). Toutes les vaches ayant mis bas en 1981 sont traites jusqu'en janvier (taux de traite de 100 %). En mars 1982, compte tenu des vaches ayant quitté le troupeau, 6 vaches sur 7 ayant mis bas en 1981 (et présentes) sont encore traites (taux de 86 %). La quantité globale de lait collectée passe par un maximum en septembre, de l'ordre de 17 kg par jour, pour décroître progressivement ensuite (12 kg fin octobre, 8,5 kg début décembre, 3,5 kg fin janvier, 2,8 kg en mars). Compte tenu du nombre de personnes présentes dans la famille, du nombre de femelles allaitantes et de la pénurie sévère de céréales, l'éleveur reconnaît opérer une ponction laitière trop importante, préjudiciable aux veaux.

## CROISSANCE ET SEVRAGE DES VEAUX

La mortalité des bovins affecte davantage les jeunes animaux et, en particulier, ceux de moins de un an, que les classes d'âge supérieur. Le devenir du veau, lorsque les conditions sont difficiles, dépend en grande partie de l'évolution de sa croissance. À Saba Kolangal, les 33 veaux nés de mai à septembre 1981 ont été régulièrement pesés. Il en est de même à Totiri pour les 10 veaux nés de juin à novembre.

La figure 51 présente l'évolution du poids moyen de l'ensemble de ces veaux de 20 à 220 jours ainsi que la courbe du gain moyen de poids quotidien (GMQ) calculé pour chaque période de 20 jours. Le poids moyen est de 28,7 kg à l'âge de 20 jours et atteint 67,3 kg à l'âge de 120 jours, ce qui représente donc un GMQ moyen de 400 g par jour au cours de cette période. La courbe subit une nette inflexion ensuite, la croissance se ralentissant : le poids moyen est de 88,8 kg à 220 jours, et le GMQ moyen égal à 220 g pour la période 120/220 jours, soit 54 % seulement de ce qu'il était pendant la première phase de croissance.

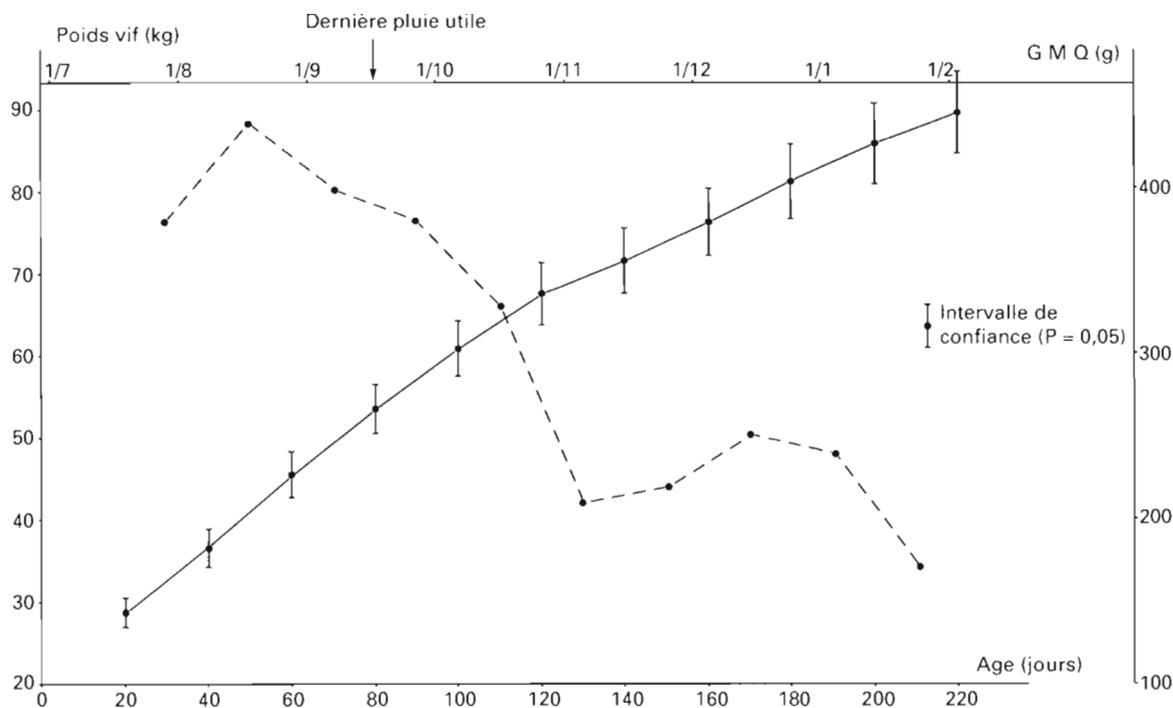


Figure 51- Évolution du poids moyen des veaux (—) et du gain de poids moyen quotidien (---) à Saba et Totiri.

En indexant à ces courbes une échelle des temps ayant pour origine la date moyenne de naissance des veaux suivis (28 juin), on constate que la chute de la vitesse de croissance a lieu dès la fin du mois d'octobre. Elle suit donc d'assez près l'arrêt des pluies (20 septembre) et le dessèchement de la végétation herbacée, qu'accompagne une baisse significative de la production laitière. Celle-ci semble donc induire une diminution quasi immédiate du GMQ.

L'évolution du poids moyen des veaux dans les deux troupeaux fait apparaître que si les poids à 20 jours sont statistiquement identiques, l'écart se creuse rapidement et s'accroît ensuite régulièrement au profit des veaux de Saba Kolangal : à 220 jours ceux-ci pèsent en moyenne 20 kg de plus que ceux de Totiri. Ces différences ne peuvent provenir que de l'alimentation des veaux, et donc en grande partie de la quantité de lait disponible lors de l'allaitement. À Totiri, compte tenu du faible effectif du troupeau et des besoins vivriers de la famille, l'éleveur traite systématiquement toutes les vaches en lactation. À Saba Kolangal, en revanche, la grande taille du troupeau permet d'opérer un choix des vaches traitées, et plus de 50 % des veaux peuvent consommer la totalité du lait de leur mère. On peut de plus supposer que de meilleures conditions alimentaires (liées à un plus fort disponible fourrager et à des modes de conduite du troupeau plus efficaces) ont permis à Saba Kolangal d'assurer une production laitière moyenne par vache supérieure à celle de Totiri.

Le sevrage des veaux a lieu tardivement (si l'on entend par sevrage l'arrêt total et définitif de prélèvement lacté). Sur 27 veaux pour lesquels nous disposons de renseignements précis, 3 seulement étaient sevrés entre 4 et 10 mois, 3 autres entre 11 et 14 mois, 20 (soit les trois quarts) entre 15 et 19 mois, et 1 ne l'était qu'à 22 mois. Le sevrage a eu lieu, en moyenne pour cet échantillon, 16 mois après la naissance, soit beaucoup plus tardivement que ce qui est habituellement admis comme normes en élevage sahélien (6 à 12 mois).

Les veaux sevrés très précocement le sont souvent pour des raisons accidentelles (mort de la mère) ou à cause du refus d'allaitement de la vache dès la naissance du veau. L'éleveur tente alors de faire accepter celui-ci par une autre vache en lactation, ou même par des chèvres.

Le sevrage coïncide le plus souvent avec une nouvelle gestation de la vache qui empêche alors le veau de téter vers le troisième ou le quatrième mois de gestation, parfois avant. L'âge souvent très avancé du veau au sevrage est évidemment en rapport direct avec l'intervalle intervélages qui dans la plupart des cas est de deux ans.

Le sevrage est généralement naturel, l'éleveur ne le provoquant que s'il juge que le veau, en poursuivant son allaitement, met en danger la vache ou son produit futur. L'éleveur recueille bien sûr un bénéfice du sevrage tardif qui lui permet de poursuivre la traite le plus longtemps possible, notamment au cours de l'hivernage suivant l'année de la mise-bas, la production laitière augmentant alors très substantiellement. De fait, on constate en 1981 une concentration des sevrages en octobre, c'est-à-dire dès la chute de la production laitière.

Le veau, tout au moins lorsqu'il naît en début de saison des pluies, commence à consommer du fourrage dès l'âge de un à deux mois, et la part de cette consommation dans l'alimentation doit progressivement s'accroître, induisant la transformation du tube digestif et l'acquisition de la fonction de rumination. Le lait représente un appoint alimentaire quantitativement de plus en plus faible, mais sans aucun doute qualitativement décisif en saison sèche.

## SÉLECTION ET SOINS AU BÉTAIL

### SÉLECTION

L'éleveur ne peut opérer de sélection que sur les mâles, puisque les femelles sont systématiquement conservées jusqu'à l'âge de leur réforme ou de leur mort. Seules quelques vaches qui, vers l'âge de 8 ans, s'avèrent stériles ou avortent de façon répétée, sont éliminées du troupeau.

Les mâles sont considérés comme reproducteurs entre 4 et 5 ans et réformés vers l'âge de 10 ans. Mais seuls quelques-uns sont conservés comme géniteurs : à Saba Kolangal, deux taureaux pour un troupeau comportant 88 femelles reproductrices. Quatre taurillons de 2 à 4 ans ont été choisis pour les remplacer. Les mâles sont donc presque tous castrés entre l'âge de deux ans et l'âge quatre ans environ. En fait, de nombreux troupeaux n'ont conservé aucun mâle reproducteur et les saillies se réalisent alors à l'occasion des rencontres avec d'autres troupeaux, en particulier autour des points d'abreuvement. Il n'y a donc dans ce cas aucun contrôle de l'origine paternelle de la descendance. Lorsque des géniteurs mâles sont maintenus, les critères de choix de ces bêtes tiennent à la fois à leur conformation, aux caractères de leur mère (performances laitières, aptitude à la traite, docilité) et à ceux de leur père lorsqu'il est connu. Le mâle reproducteur n'est d'ailleurs pas toujours choisi dans le troupeau, l'éleveur pouvant acquérir un animal à l'extérieur de manière à injecter du sang neuf dans son cheptel.

### COMPLÉMENTATION MINÉRALE

Traditionnellement, les troupeaux se rendent à des " cures salées " situées soit dans l'Oudalan (Darkoy, Oursi, In Tailale, Karey...), soit au Mali (Amniganda, Tessit), ces dernières cures étant les plus prisées. La fréquentation de ces cures salées a lieu essentiellement durant la saison des pluies et représente un des motifs des transhumances vers le nord. Les cures salées de l'Oudalan sont utilisées également au cours de la saison fraîche, surtout lorsqu'elles se trouvent situées, comme à Oursi et Darkoy, à proximité immédiate du point d'abreuvement. En fait, les analyses chimiques de quelques cures salées (TOUTAIN, 1977) montrent que cette appellation est abusive. Il s'agit de sols enrichis en surface en éléments minéraux et en oligo-éléments, mais dont le lècheage par les animaux est sans doute insuffisant pour compenser de forts déséquilibres minéraux. On assiste depuis une dizaine d'années à un abandon

progressif de la fréquentation des cures salées lointaines. C'est ainsi que les troupeaux de Timbososo, qui se rendaient chaque année à la cure salée d'In Takamaren, l'ont totalement abandonnée. Le troupeau de Saba Kolangal est allé à Anniganda en 1980, n'y est pas retourné l'année suivante, et seule la moitié du troupeau s'y est rendu en 1982. Le recours au sel acheté sur les marchés semble en contrepartie de plus en plus se généraliser : sel en grain essentiellement (vendu en 1981 sur les marchés de la région au prix de 1 750 FCFA le sac de 25 kg), sel en plaque (importé des salines de Taoudenit au Mali) dans une moindre mesure, car beaucoup plus onéreux, et pierres à lécher enfin qui commencent à être diffusées. Le sel est distribué à la fois aux bovins et aux petits ruminants, et mis à la disposition de toutes les catégories d'animaux. Il est donné essentiellement pendant l'hivernage et en début de saison sèche. La plupart des éleveurs insistent sur le fait que le sel ne doit être apporté que lorsque l'alimentation fourragère n'est (au moins quantitativement) pas limitante et établissent un lien de cause à effet entre la consommation de sel d'une part, l'amélioration du taux de fécondité et l'accroissement de la production laitière d'autre part.

## COMPLÉMENTATION ALIMENTAIRE

Des compléments alimentaires peuvent être apportés, notamment en saison sèche, aux animaux les plus faibles du troupeau, vaches en gestation ou en lactation notamment, mais également aux petits ruminants. Le son de mil de la cuisine, mélangé à de l'eau, remplit quotidiennement cette fonction, mais représente de faibles quantités et n'est donc réservé qu'à quelques animaux particuliers. En cas de pénurie fourragère prononcée (fins de saison sèche 1980 et 1982 par exemple), le recours à des quantités plus massives de compléments peut s'avérer nécessaire. Le son de blé et les graines de coton, vendus aux éleveurs dans les magasins du Projet ORD <sup>(1)</sup>, ont ainsi été très demandés en 1982, en particulier dans la région de Markoy. Les campements de Timbososo et de Tin Taroubam en ont fait l'acquisition, et fournissaient par ailleurs aux animaux des bulbes de nénuphar que les femmes allaient déterrer, au fur et à mesure du retrait de l'eau, dans les mares de Darkoy et de Markoy. En revanche, les troupeaux de Saba Kolangal et de Totiri n'ont pas reçu de compléments alimentaires en 1982 : le premier a réussi, grâce à la situation du campement et aux rythmes quotidiens adoptés, à atteindre des pâturages suffisamment productifs pour que la complémentation ne s'impose pas. Quant au second, malgré l'état critique dans lequel se trouvaient les animaux à l'approche des premières pluies, les besoins vivriers de la famille étaient trop mal assurés pour que l'éleveur puisse se permettre de consacrer une quelconque somme d'argent à l'achat d'aliments pour le bétail.

## STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES TROUPEAUX

Les enquêtes conduites en 1976 par PERETTI sur l'ensemble de l'Oudalan et par LHOSTE sur la zone d'endodromie Oursi - Bidi - Gorom-Gorom, aboutissent à des estimations très proches et statistiquement représentatives des principaux paramètres de structure et de dynamique du cheptel bovin.

### STRUCTURE DU TROUPEAU BOVIN

D'après LHOSTE, le troupeau moyen rassemblerait 41 têtes. Le sex-ratio observé (31 % de mâles) apparaît conforme aux normes admises en élevage sahélien. Il résulte bien entendu de la commercialisation préférentielle des mâles et indique que la sécheresse de 1972-73 n'a pas modifié sensiblement le

<sup>(1)</sup> Projet de développement de l'élevage dans l'ORD du Sahel.

rapport entre les sexes dans les troupeaux bovins de l'Oudalan. La proportion de vaches en âge de reproduire (plus de 4 ans), estimée à 43 %, est élevée et traduit probablement une tendance des éleveurs, à la suite des pertes subies, à maintenir dans leurs troupeaux un maximum de vaches, y compris des femelles âgées et de mauvaises reproductrices. La proportion des jeunes de moins de un an (18 %) apparaît en revanche faible, compte tenu de celle des femelles adultes. Il en est de même des fréquences observées pour les jeunes d'élevage : 13 % chez les 1-2 ans, 9 % chez les 2-3 ans et 9 % chez les 3-4 ans. Ces chiffres traduisent en partie l'influence de la sécheresse de 1972-73, responsable d'une réduction des taux de fécondité et d'un accroissement de la mortalité des jeunes veaux. La proportion des mâles adultes (plus de 4 ans) apparaît quant à elle relativement élevée (8 %) et indique que la région présente globalement des réserves appréciables d'animaux exploitables. La structure moyenne du troupeau bovin montre donc qu'il subit encore largement, en 1976, les conséquences des années de sécheresse antérieures. On constate un important déficit de femelles de remplacement et un vieillissement anormal des vaches en reproduction.

Il est intéressant de rapprocher des données précédentes celles relatives aux troupeaux de Saba Kolangal, Totiri et Timbososo, rendant compte de leurs structures en décembre 1981 <sup>(1)</sup>. Par rapport aux données enregistrées en 1976, on peut constater dans ces trois troupeaux suivis une plus forte représentation de génisses aux dépens des vaches adultes. Ce phénomène, sans doute assez général, laisse supposer que les troupeaux sont ou seront prochainement en voie d'expansion.

Le sex-ratio observé à Saba Kolangal et à Totiri est tout à fait comparable à celui constaté lors des enquêtes générales antérieures. Il est, en revanche, déséquilibré dans le petit troupeau de Timbososo, vidé de la quasi-totalité de ses mâles commercialisables. Sur ce plan, se manifeste un effet net et compréhensible de la taille du troupeau : la proportion de mâles adultes est d'autant plus faible que la taille du troupeau est réduite, les mâles tendant alors à être systématiquement vendus dès l'âge de 4 à 5 ans, et bien souvent plus jeunes. Le troupeau de Saba Kolangal, qui apparaît en phase de capitalisation, comporte ainsi un fort contingent de mâles adultes (30 animaux, soit 14 %) alors qu'il n'en reste que deux dans celui de Totiri et aucun à Timbososo. On notera que l'éleveur de Totiri, par le biais d'achats et d'échanges d'animaux, a réalisé un rééquilibrage de la structure de son troupeau, ceci dans un double but : expansion future (acquisition de génisses) et exploitation commerciale (acquisition de jeunes mâles). Globalement, les animaux de ce troupeau acquis à l'extérieur représentent 38 % du total. L'acquisition d'animaux jeunes provient d'ailleurs pour une bonne part de la vente des mâles adultes. La comparaison de ces trois troupeaux fait donc apparaître une assez grande homogénéité quant à la proportion des femelles, et notamment des vaches adultes, en regard de la forte disparité de la proportion de mâles adultes, imputable à des taux de commercialisation très variables.

TABLEAU L  
Répartition des animaux par sexes et classes d'âge (%)

Catégories d'animaux	Saba Kolangal	Totiri	Timbososo	Oursi (LHOSTE, 1977)	Oudalan (PERETTI, 1977)
Vaches (4 ans et plus)	38	35	38	43	44
Génisses (1 à 3 ans)	22	29	23	16	18
Veaux et velles (0-1 an)	14	15	27	18	16
Taurillons (1 à 3 ans)	12	18	12	14	14
Mâles de 4 ans et plus	14	4	-	8	7
Génisses/vaches	0,57	0,82	0,60	0,37	0,40
Mâles/total (%)	32	29	19	31	30

<sup>(1)</sup> Ces troupeaux comportaient respectivement 230, 55 et 26 têtes.

Les pyramides des âges des deux troupeaux de Saba Kolangal et de Totiri témoignent en outre de l'impact d'années difficiles sur la structure observée : déficit prononcé des classes d'âge de 7 à 9 ans correspondant aux mortalités de l'année 1973, et celui de la classe des 2 à 3 ans lié à la mortalité, en fin de saison sèche et en début d'hivernage 1980, d'une fraction élevée des animaux nés au cours de l'année précédente.

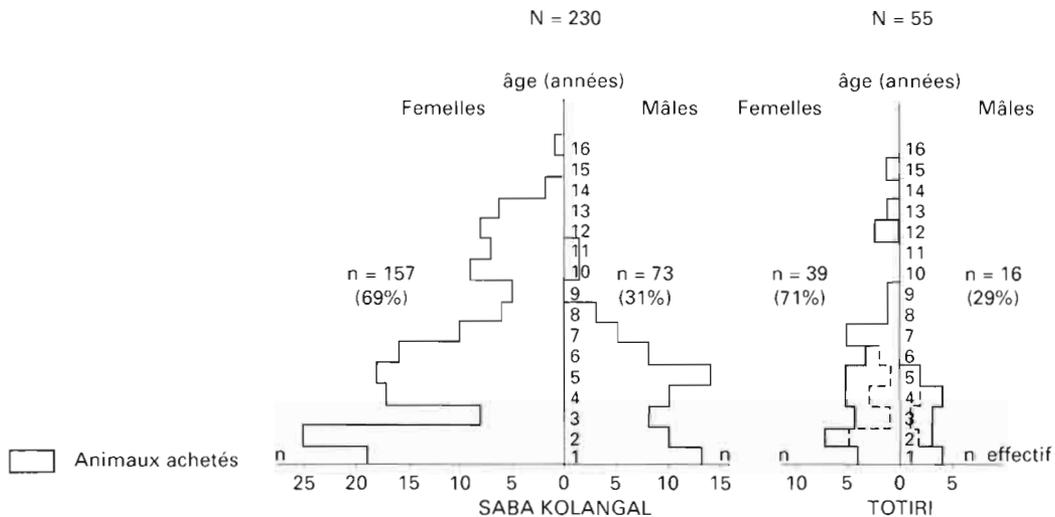


Figure 52 - Structures de deux troupeaux bovins.

## DYNAMIQUE DU TROUPEAU BOVIN

### REPRODUCTION ET FÉCONDITÉ

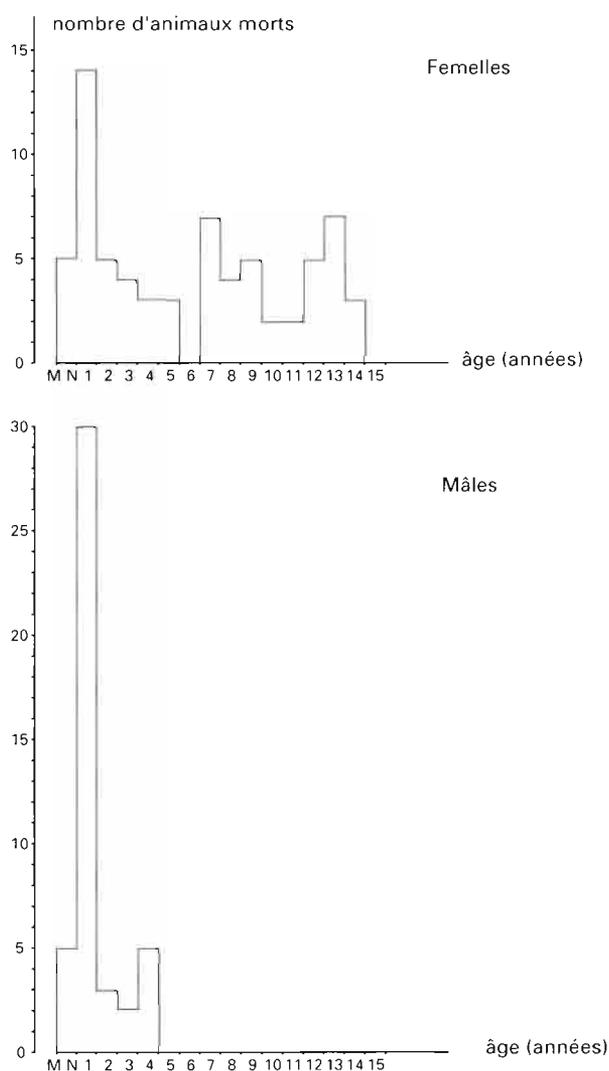
Toutes les enquêtes réalisées font apparaître une époque de vêlages privilégiée, correspondant à la fin de la saison sèche : 70 % environ des naissances de l'année surviennent habituellement de mars à juin. L'élevage sahélien est en effet constamment sous la dépendance du disponible alimentaire qu'offrent les ressources alimentaires, et les phénomènes physiologiques de la reproduction n'apparaissent que lorsque l'alimentation ne constitue pas un facteur trop limitant. La reprise des chaleurs, et donc la plupart des saillies fécondantes, surviennent lorsque les animaux ont retrouvé des conditions alimentaires satisfaisantes, c'est-à-dire au cœur de la saison des pluies. Il en résulte un groupement des naissances en fin de saison sèche suivante. L'amélioration des conditions nutritionnelles durant la saison sèche (grâce à la complémentation alimentaire par exemple) favorise un étalement des mises-bas dans l'année.

L'âge au premier vêlage est estimé à 5 ans, ce qui traduit donc une faible précocité des femelles. LHOSTE souligne qu'une forte proportion de vaches (44 %) n'ont leur premier veau qu'après 6 ans. Le taux de fécondité nette, défini comme le nombre de veaux nés vivants rapporté à l'effectif moyen de reproductrices, apparaît de l'ordre de 50 %, et la plupart des enquêtes confirment cette estimation : 50,6 % pour LHOSTE, 49 % pour PERETTI, 47 % dans le cas du troupeau de Saba Kolangal. La règle générale est donc de une mise-bas tous les deux ans en moyenne, ce qui résulte du phénomène déjà évoqué : les vaches ayant mis bas en fin de saison sèche ou en début d'hivernage allaiteront ensuite leurs veaux et ne retrouveront des conditions d'alimentation favorables à la reprise des chaleurs qu'au cours de la saison des pluies suivante. Seules des ressources fourragères abondantes en saison sèche, ou une mise-bas précoce, permettent une nouvelle saillie fécondante 4 à 6 mois après le vêlage. La plupart des éleveurs reconnaissent d'ailleurs que la complémentation alimentaire permet d'améliorer signifi-

tivement le taux de fécondité. On notera en outre que le taux de fécondité net, calculé pour des troupeaux particuliers et/ou pour des années particulières, est sujet à de fortes variations, traduisant la spécificité des conditions locales. À ce propos, il semblerait (sans que l'on puisse l'expliquer de façon satisfaisante) que le taux de fécondité est assez systématiquement faible pour les troupeaux de grande taille.

## MORTALITÉ

Les taux de mortalité, très dépendants des conditions de milieu (et tout particulièrement des disponibilités fourragères) sont affectés de fortes variations interannuelles. Toute estimation, même globale, doit donc être considérée avec prudence. De grandes disparités se manifestent par ailleurs entre troupeaux, compte tenu des modes de conduite adoptés et des parcours fréquentés, notamment aux périodes les plus critiques. On en a eu une bonne illustration en 1973 : certains éleveurs, partis tôt vers le sud avec leurs troupeaux, n'ont eu à déplorer que des pertes limitées, tandis que d'autres qui s'étaient maintenus sur place ont perdu en fin de saison sèche la quasi-totalité de leur cheptel. Le taux moyen de perte, que l'on peut estimer à 35-40 % cette année-là pour l'Oudalan, masque donc la coexistence de situations particulières extrêmement différenciées.



Pour les troupeaux suivis pendant un an de 1976 à 1977, le taux global de mortalité observé est de 4,4 %, et le taux de mortalité pour les jeunes de moins de un an de 11,4 %, donc bien inférieur aux normes habituellement admises en élevage sahélien (plus de 30 %).

L'examen détaillé du troupeau de Saba Kolangal fait apparaître un taux de mortalité global peu élevé en année normale, de l'ordre de 5 %. Les pertes subies en 1973 ont dû être inférieures à 20 %, et l'année 1980 ressort elle aussi de manière assez discrète (9 % de pertes) comparativement à la plupart des autres troupeaux. La décision de partir vers le sud en début de saison sèche 1972-73 et l'accès à un espace pastoral ouvert et relativement peu chargé en 1980, associés à l'adoption de rythmes de déplacement appropriés, ont sans aucun doute permis de minimiser les pertes en bétail lors de ces années difficiles. La répartition des pertes par sexes et âges (figure 53), obtenue par cumul des mortalités sur 12 ans, ne fait apparaître la mort d'aucun mâle de plus de 4 ans, alors que la classe 0-1 an participe pour les trois quarts à la mortalité globale. Il en va tout autrement pour les femelles, puisque la mortalité concerne, pour 55 %, des vaches adultes qui, lorsqu'elles sont en gestation et/ou âgées, souffrent plus que les mâles adultes de conditions de pénurie alimentaire, et que l'éleveur répugnera à vendre même en cas d'affaiblissement prononcé (décision qu'il prendra, en revanche, pour un mâle). Le troupeau de Totiri

Figure 53 - Répartition par classes d'âge de la mortalité des bovins à Saba Kolangal.

est affecté de taux de mortalité plus élevés, particulièrement lors des années difficiles : globalement, de 1977 à 1981, 45 % des animaux nés y sont morts avant l'âge de deux ans, contre 19 % à Saba Kolangal. En 1980, les pertes de la classe d'âge 0-1 an s'élèvent à 78 % dans le premier cas, à 37 % dans le second.

La forte mortalité qui affecte les animaux entre la naissance et le sevrage est due à deux types de causes. L'animal est, à cet âge, très sensible aux agressions du milieu (intempéries, chaleur excessive, maladies). Il se trouve d'autre part dépendant pour son alimentation de la production laitière de sa mère, qui passe par un minimum en fin de saison sèche. Le veau, suivant l'époque de sa naissance, subira donc une phase de sous-alimentation, soit dans ses premiers mois, soit vers l'âge de 8-10 mois alors que le sevrage dans la plupart des cas n'est pas encore réalisé. Les disparités entre troupeaux relatives à la mortalité des jeunes doivent être attribuées à la fois à des paramètres de conduite et d'exploitation : le troupeau de Totiri, de par les caractéristiques de la zone dans laquelle il évolue (charge excessive) et le mode de conduite adopté (déplacements quasi inexistantes et absence fréquente de gardiennage) souffre beaucoup plus que celui de Saba Kolangal de la pénurie alimentaire de fin de saison sèche. Il peut en résulter, à l'occasion de certaines années particulièrement difficiles telles que 1980, une disparition presque totale des veaux nés l'année précédente. La taille réduite du troupeau y induit par ailleurs une surexploitation laitière particulièrement préjudiciable aux veaux.

### CAS DES PETITS RUMINANTS

En absence de toute enquête à portée représentative, on se bornera ici à titre d'exemple à donner quelques indications sur le troupeau caprin de Saba Kolangal. En fin de saison des mises-bas 1981-82 (soit mi-janvier 1982) le troupeau est constitué de 100 animaux, dont 75 femelles. Les mâles ont, à une seule exception près (le bouc reproducteur), moins de deux ans, alors que 65 % des femelles ont plus de deux ans.

Cette structure témoigne à la fois des pertes importantes subies en 1980 et de l'exploitation systématique des mâles dès l'âge de deux ans, parfois moins : ventes, abattages, dons, dots. Un fort contingent de femelles âgées est maintenu dans le troupeau, ce qui contribue à minimiser les risques résultant certaines années d'une très forte mortalité des jeunes et pouvant réduire quasiment à néant le taux de renouvellement des femelles reproductrices. La plupart des mâles sont castrés et destinés à la vente ou à la consommation familiale. Trois cabris nés en 1980-81 ont été sélectionnés en prévision du remplacement du seul mâle reproducteur du troupeau.

Les mises-bas débutent généralement dès la fin du mois d'octobre pour s'achever en janvier-février. compte tenu d'une durée de gestation de 150 jours, elles correspondent à des saillies fécondantes étalées de fin mai à août-septembre, qui débutent donc plus tôt que chez les bovins. En 1981, les mises-bas s'étaient prolongées très avant dans la saison sèche, conséquence sans doute du très mauvais état dans lequel se trouvaient les animaux au retour des pluies en 1980.

En 1981-82 sont enregistrées pour ce troupeau 33 naissances (tous animaux nés vivants, et absence de naissance gémellaire) et 9 avortements. Le taux de fécondité net est de 67 %. Parmi les chèvres en

TABLEAU L I  
Structure du troupeau caprin de Saba Kolangal

Âges	Nombre d'animaux		
	mâles	femelles	total
0-1 an	15	17	32
1-2 ans	9	11	20
2-5 ans	1	21	22
5-9 ans	-	26	26
Total	25	75	100

âge de mettre bas, 18 % ont avorté et 15 % n'étaient apparemment pas gestantes. Un tel taux d'avortement (21 %) est loin d'être exceptionnel.

La mortalité, comme chez les bovins, affecte particulièrement la première classe d'âge. Mais certaines années elle peut être catastrophique et concerner toutes les catégories d'animaux. Ce fut le cas en 1980, où les animaux très affaiblis en fin de saison sèche ne résistèrent pas dans bien des cas à la pluie prolongée du 17 juillet. L'année 1981 se caractérise au contraire par des taux de mortalité relativement faibles. La saison suivante (début 1982) voit en revanche dans la plus grande partie de la région, au taux élevé des avortements, s'ajouter de fortes pertes d'animaux en bas âge, attribuées aux très faibles productions laitières des mères. Cette mortalité liée plus ou moins directement à l'alimentation ne doit pas faire oublier celle relevant de la pathologie et de causes accidentelles (prédateurs en particulier). Aux animaux morts doivent par ailleurs être ajoutées les bêtes égarées, ce qui est très fréquent compte tenu des conditions de conduite des troupeaux de petits ruminants. À Saba Kolangal, au bout d'une année, le devenir de la génération née en 1980-81 était le suivant : 8 animaux morts, 6 égarés, 2 abattus, 1 donné. Il restait 20 bêtes de cette génération, soit 54 % des animaux nés vivants, et le taux de pertes net s'élevait à 38 %.

L'Oudalan et, plus particulièrement, la zone de la mare d'Oursi illustrent le phénomène de surcharge de l'espace pastoral qui affecte nombre de situations sahéliennes. Lorsque le disponible fourrager local ne permet plus de couvrir les besoins alimentaires des animaux qu'en année climatiquement favorable, les systèmes d'élevage voient leur fragilité s'accroître et leurs performances régresser. D'autant que les mouvements de transhumances tendent à se restreindre. Les déplacements de grande ampleur résultent à présent plus de comportements de fuite que de choix délibérés. La présence de points d'eau pérennes ou sub-pérennes induit une concentration du cheptel qui exacerbe les déséquilibres entre l'offre et la demande fourragères. La production des ressources végétales s'en trouve de plus en plus compromise. Il n'est pas étonnant que, dans un tel contexte, les éleveurs manifestent une réticence, voire une opposition farouche, à toute perspective d'aménagement en matière d'hydraulique pastorale, qui à leurs yeux ne conduirait qu'à accentuer l'incursion incontrôlable de troupeaux extérieurs et donc la pression sur les pâturages (BENOIT, 1984). On ne peut que constater une aggravation des disparités entre systèmes d'élevage au sein de l'espace régional. Si certains (notamment dans la partie ouest de l'Oudalan) sont encore à même de maintenir une efficacité réelle en s'appuyant sur des modes de fonctionnement préservés, d'autres se voient progressivement marginalisés et rendus de plus en plus vulnérables à toute péjoration des conditions de milieu. Comment concevoir de nouvelles formes de gestion de l'espace et des ressources susceptibles de préserver les besoins et la liberté de chacun sans pour autant mettre en péril le patrimoine collectif ?

## LES UNITÉS DOMESTIQUES

Le fonctionnement des sociétés rurales sahéliennes ne peut s'analyser sans faire référence aux relations de parenté : cette référence revient à tous les niveaux et dans différents domaines : non seulement dans les types d'implantation locale de l'habitat, mais aussi dans l'organisation socio-économique du travail et des activités de production, distribution, accumulation et gestion des richesses.

Le contexte généalogique, largement imprégné de l'influence touareg et du mode de filiation utérin, s'oriente via l'islam et les contacts entre populations administrées, vers des systèmes de parenté moins différenciés (voir p. 186). Le mode de résidence très généralement patri-virilocal, avec le domicile conjugal établi près des parents du mari, est à l'origine du regroupement résidentiel communautaire caractéristique en région sahélienne : la **cour** (cf. *infra*).

Malgré de forts courants migratoires attestant de la recherche d'un meilleur niveau de vie et qui pourraient laisser croire à un éclatement des communautés familiales, l'environnement social, devenu assez hétérogène, reste fortement empreint de relations humaines ; chaque personne adulte situe parfaitement bien tous ses ascendants jusqu'au 4<sup>e</sup> degré, à la fois géographiquement et dans le réseau généalogique.

## LES UNITÉS RÉSIDENTIELLES

Le schéma de l'organisation résidentielle se décompose assez simplement en 4 ou 5 niveaux hiérarchisés, du village ou campement jusqu'à la case. À chaque niveau se reconnaissent des liens sociaux privilégiés, sur un fond de parenté classificatoire.

Unité d'habitation, domaine réservé de la mère et des enfants <sup>(1)</sup>, la **case** est le lieu d'accueil multifonctionnel par excellence de la vie sahélienne, particulièrement (et ce n'est pas un paradoxe) pour autoriser et amplifier la mobilité individuelle. Autour d'elle se déroulent la plupart des activités domestiques : préparation des repas, éducation des enfants, vie sociale, etc.

Le **ménage** correspond, par définition, au(x) couple(s) mariés <sup>(2)</sup> ; chaque homme adulte, éventuellement polygyne, forme, avec ses femmes et enfants, un ménage. Ici interfèrent le statut individuel dans la famille et la pratique de la polygamie selon deux formules qui peuvent réunir plusieurs cases par ménage :

- celle du ménage où chaque couple représente une case ;
- celle où des femmes sans époux restent dépendantes d'un parent chef de ménage (une case = une femme).

C'est au niveau de la cour, regroupement de plusieurs chefs de ménage sous l'autorité de l'aîné de la famille, que se manifestent le plus concrètement les liens communautaires économiques et sociaux face aux contraintes de l'environnement. La solidarité familiale y joue beaucoup plus que la seule relation de voisinage : elle répond, dans ce cadre, à la mise en commun des capacités de production inégalement réparties. Les différentes unités économiques, notamment cuisine, unité de production, unité de gestion du bétail, s'appréhendent le plus justement sur ce plan.

La cour correspond à des types variés de regroupement résidentiel selon la nature des liens de parenté :

- le ménage individuel indépendant ;
- " la famille étendue " : le père entouré de ses fils mariés ;
- " l'association utérine " de l'oncle et du neveu maternel, variante du type précédent ;
- " la famille jointe " entre adultes de même génération : frères issus d'un même parent, ou simplement cousins classificatoires.

Ces unités sont étroitement liées les unes aux autres par leur structure et leur évolution démographiques (à commencer par celles de la cellule de base, le ménage), par leur capacités minimales d'efficacité en termes de subsistance et de reproduction, enfin par les affinités interpersonnelles et familiales de leurs membres. Quels que soient les accidents de parcours, le ménage en s'amplifiant évolue vers la famille étendue, puis après le décès du père s'intègre dans une association entre " frères ".

Les **quartiers** et sous-quartiers composant les campements et les villages, issus de l'expansion et de l'éclatement géographique et démographique des tribus et des lignages, incluent quant à eux, à côté des rapports familiaux, des rapports d'alliance et une composante " relation de voisinage ". Ce sont d'importants niveaux de responsabilité puisque les chefs de quartiers, les " aînés ", assurent, en collaboration avec le chef de village, une partie des décisions de gestion des ressources communautaires : terroir cultivé et pâtures villageoises.

À ce niveau et à celui du village se combinent les rapports de pouvoir consultatif et décisionnel et les rapports sociaux issus de la décolonisation, selon des modalités variables dans les villages sédentarisés et dans les campements.

La première opposition, village rimbé/village rimaïbé se retrouve au niveau du pouvoir local entre le chef de village libre (*jooro* ou *jom wuro*) et le *débéré naaba* (le " grand " parmi les captifs). Le premier, longtemps coopté par les habitants mais désigné actuellement par les autorités administratives, exerce

(1) Un homme adulte ne peut revendiquer aucun droit sur la case ; ainsi, en cas de rupture conjugale, il ne pourra que rejoindre la case de ses propres parents.

(2) D'autres termes équivalents sont aussi utilisés : "concession" pour ménage et "famille nucléaire" pour couple.

avec ses pairs (notables aînés de chaque famille étendue) la gestion autonome du village (y compris le quartier-village captif), du terroir et des rapports avec l'extérieur : collecte de l'impôt, participation aux règlements de rivalités ou de différends avec d'autres villages libres. Le second n'est que le représentant des captifs maccubé ou rimaïbé de ce quartier auprès des Rimbé et de leur chef.

L'organisation et la fonction propres au quartier sont semblables quelle que soit l'origine socio-politique du village, à Bossey, village songhaï, comme à Boulel, village mallebé, par exemple. Il s'agit principalement de pouvoir régler des problèmes et des événements courants : baptêmes, mariages, invitations de culture au profit d'un malade ou d'un absent, conflits divers entre chefs de ménage du même quartier. Le chef de quartier, entouré d'un conseil de sages (aînés de chaque concession), assiste avec ses pairs aux réunions provoquées par le chef de village selon les besoins : informations à transmettre aux habitants (demandes de l'administration) ou décisions à prendre dépassant le cadre du quartier et pour lesquelles l'unanimité des anciens et des chefs de quartiers est requise.

Chez les groupes moins sédentarisés, en revanche, se manifeste une grande autonomie géopolitique des chefs de famille qui, liée à la mobilité saisonnière extrême des chefs de ménage, empêche la formation d'unités stables, du type quartier, et *a fortiori* du type campement. De tels groupements résidentiels élargis, lorsqu'ils existent (campement des Bambabé au sud de Gountouré Oursi par exemple), relèvent plutôt d'une cohabitation dictée par des motifs écologiques agricoles ou pastoraux mais sans bases sociales ou familiales homogènes. Dans les groupes d'obédience kel tamachek, longtemps assujettis à une tutelle centralisée forte, religieuse et militaire, l'indépendance des chefs de quartier est encore trop faible pour que les décisions importantes du campement puissent être prises sans en référer au chef de fraction.

Chez les Djelgobé, la chefferie détenue par la fraction " Kitagou " s'étend aux tribus Wollarbé, Tarabé Saabu, Rendibellibé, Bakanankobé, Umorubé, Sadaabé, Tarabé Bubu..., pour ne citer que les principales, chez lesquelles les intermariages sont nombreux. Cela n'empêche pas la contestation de l'autorité du chef traditionnel local dans la mesure où ses attributions sont fortement empreintes des exigences de l'administration centrale et locale : responsabilité de la collecte de l'impôt personnel et de celui sur le bétail.

Chez les Gaobé et les Djelgobé, la crise de pouvoir est d'autant plus vivement ressentie qu'ils n'ont jamais été soumis à aucune tutelle de l'extérieur ; leur responsabilité passée dans la gestion des ressources leur a été retirée et la seule chose qui leur est demandée actuellement est de faire respecter les prescriptions administratives, notamment pour ce qui les touche en tant qu'éleveurs : l'interdiction d'ébranchage des ligneux et de pénétration de leurs vaches dans les terrains agricoles en hivernage.

Cette description simplificatrice en niveaux résidentiels hiérarchisés ne doit pas cacher deux caractères importants.

Le premier est l'imbrication de ces niveaux : tous les échelons de la structure résidentielle ne sont pas nécessairement représentés, par exemple pour des quartiers constitués de ménages individuels autonomes.

Le second concerne la mobilité de groupe par rapport aux pôles saisonniers de résidence de chaque population particulière. Aux déplacements habituels, à l'intérieur de l'" aire résidentielle ", correspondant au fonctionnement des systèmes de production, s'ajoutent des migrations de petite amplitude (10 à 50 km environ), relativement aléatoires, provoquées par les contraintes climatiques, socio-économiques, ou alimentaires, notamment pour la recherche d'aliments de substitution.

Dans les deux cas, les gens bougent " en famille " (partiellement au moins), ce qui implique soit la disponibilité d'un habitat dual, soit le transport de l'habitat. La première condition n'est d'ailleurs pas réservée aux nomades : une partie des habitants du village sédentarisé de Boulel par exemple a pu aller camper à quelque 10 km pendant l'hivernage 1979 pour la récolte du fonio en réutilisant leurs anciennes tentes en nattes conservées apparemment pour faire face à telles éventualités.

## LES UNITÉS DE PRODUCTION ET DE CONSOMMATION

L'essentiel des enquêtes de terrain et des suivis de populations, de 1977 à 1980, a concerné un échantillon <sup>(1)</sup> des groupes représentatifs du double point de vue socio-ethnique et de la stabilité résidentielle avec :

- Les villages sédentarisés de Boulel et de Bossey. Le premier correspond à la sédentarisation définitive (vers 1930) de familles de migrants mallebé, " Peul noirs métissés ", anciens bergers dépendants des Imajaren Oudalan ; le second est habité par une population descendante de captifs raziés ou achetés, arrivés à la fin du siècle dernier dans la mouvance des Kel-es-Souk et des Peul Dogaabé, et d'origine très hétérogène : mossi, kado, gourounsi, warag-warag.
- Les campements " mobilisables " de Tiringel et Bangaonaaje (Yomboli) habités par les Kal Bamba ou Bambabé ; Maliens d'origine mixte peul et songhaï, ils étaient dépendants de protecteurs kes-es-souk au siècle dernier au point d'en devenir tributaires et même captifs.
- Les campements peul " nobles " de parler fulfuldé : Gaobé Tcheudibé et Adabé de Peto, Djelgobé Kitagou d'Oursi et de Windé Kiama. Les premiers, pasteurs établis encore à proximité de leurs propres rimaïbé, seraient descendus du Hombori dans la seconde moitié du siècle dernier. Les seconds, essentiellement éleveurs et très soucieux de sauvegarder leur mode de vie pastoral, ont été chassés du Djelgodji dans les années trente par la raréfaction des pâturages.

Dans la logique d'une meilleure répartition au jour le jour des ressources (terre, main-d'œuvre, bétail) et des produits, les ménages restent rarement durablement livrés à eux-mêmes. Les formes d'association résidentielle rencontrées plus haut se retrouvent aux différents niveaux de la production, de la redistribution, ou de la gestion des ressources. Dans la très grande majorité des cas, en partie du fait des modalités de gestion des réserves alimentaires, l'unité de production et l'unité de consommation se confondent selon l'un des quatre types cités plus haut : ménage unique, famille étendue, association utérine et famille jointe.

Élément essentiel d'investigation permettant enquêtes qualitatives et quantitatives, la **cuisine** (unité de consommation alimentaire ou UCA) repose sur la mise en commun d'un stock de céréale vivrière destiné à la consommation du groupe familial.

Malgré cette contrainte communautaire, une utilisation souple, graduelle et contrôlée des réserves reste possible avec la multiplicité des greniers individuels ; la pièce ou la case faisant office de grenier peut par exemple contenir indépendamment la récolte du père et celle du fils aîné et chacun des produits être mis, tour à tour ou ensemble (par rotation journalière), à contribution dans la préparation des repas pris en commun.

D'ailleurs la prééminence du père ou du frère aîné marié dans la cuisine, qui n'intègre jamais plus de deux générations mariées, repose sur un consensus d'autorité qui peut se trouver normalement remis en cause lors de l'accession à la majorité par le mariage, ou la perte d'indépendance (divorce ou veuvage).

La taille moyenne des unités de production-consommation (UPC) oscille entre six et neuf personnes dans une population où les ménages indépendants restent majoritaires ; la dimension des unités associées est pratiquement supérieure d'un tiers à la moyenne des unités individuelles : cela confirme l'intérêt qu'elles ont eu à mettre ensemble et à partager leurs ressources et leur bras. L'agrégation a lieu de toute évidence entre des familles de taille réduite, et le nombre de personnes s'ajuste bien au type d'unité, quel que soit le groupe considéré, dans l'ordre :

case (u.h.) ≤ famille nucléaire ≤ ménage ≤ cuisine (et UPC).

<sup>(1)</sup> 81 cuisines représentant 103 ménages, soit en tout 555 personnes (cf. tableau LIJ).

TABLEAU LII  
Effectifs par unité selon les cuisines

Groupes types (1)	UPC	ménage	f. nucl.	u. h.	Nombre	Effectifs
Ménage indiv.	6,1	6,1	5,6	4,5	62	381
Fam. étendue (2)	9,1	4,0	3,7	3,7	11	100
Fam. jointe	9,3	4,6	4,6	3,1	8	74
Toutes	6,9	5,4	5,0	4,1	81	555

(1) Abréviations utilisées dans ce tableau et les suivants : famille nucléaire (f. nucl.), unité d'habitat (u. h.), chef de ménage dépendant (Cm), chef de ménage indépendant (CM), épouse (ép.), enfant (enf.).

(2) Dans ce tableau et les suivants, les unités oncle-neveu ont été agrégées aux unités familles étendues.

TABLEAU LIII  
Effectifs moyens selon le groupe

Groupes	UPC	ménage	f. nucl.	u. h.	Nombre
Mallebé (Boulel)	7,7	5,3	5,0	4,0	22
Rimaïbé (Bossey)	6,2	5,0	4,8	3,5	17
Iklan (Tiringel)	7,6	6,1	5,4	4,6	17
Gaobé (Petoy)	5,5	5,2	4,9	4,1	15
Djelgobé (W. Kiama)	6,7	5,2	4,8	4,5	10

L'analyse de l'UPC se doit d'effectuer une double distinction entre les membres du ménage (individus faisant partie ou non de la famille nucléaire) et entre les ménages eux-mêmes (ménage aîné et ménage dépendant).

La place des dépendants (personnes âgées : mère veuve ou sœur divorcée du chef de ménage ; ou encore jeunes enfants : frères cadets, beaux-frères, cousins, etc.) peut être une charge ou au contraire une aide appréciable, chez les villageois en particulier. Le cas d'enfants " pris " ou accueillis en dehors de leur propre famille assure un meilleur équilibre dans la réalisation de tâches diversifiées et nombreuses, domestiques, agricoles ou pastorales. Un manque relatif d'enfants de la famille jointe (32 % au lieu de 54 %) est ainsi comblé par un nombre plus important de dépendants (24 %).

La dépendance des adultes mariés (âge moyen s'échelonnant de 28 à 35 ans contre 40 à 50 pour les chefs d'unité) est manifeste au sein de la famille étendue puisque le champ paternel est cultivé en commun et son produit affecté à l'ensemble de la cuisine. Au décès du père, l'association des frères se poursuivra plus librement dans un contexte de relative disponibilité de terres et permettra une collaboration durable dans le travail et la gestion des récoltes.

TABLEAU LIV  
Statuts individuels et ménages (parts relatives à l'effectif total)

Groupes types	ménage aîné			ménage dépendant			indiv. dép.
	CM	ép.	enf.	Cm	ép.	enf.	
Ménage indiv.	15	16	17	51			
Fam. étendue	10	11	12	22	14	15	16
Fam. jointe	24	11	11	24	11	11	8
Toutes	15,3				18,6	19,6	46,5

Les deux situations extrêmes se rencontrent : celle de Boulel où deux frères sont restés ensemble pour cultiver le champ du père décédé mais préfèrent se répartir la récolte pour garder des consommations indépendantes ; celle de frères djelgobé indépendants dans la production mais faisant cuisine commune en mettant leur récolte dans le même pot.

## MOBILISATION DE LA FORCE DE TRAVAIL

Comme cela a été déjà plusieurs fois souligné, la contrainte fondamentale des systèmes de production sahéliens, après le facteur climatique, est celle de la disponibilité d'une force de travail familiale suffisante. Impossible de prétendre assurer correctement un sarclage du champ de mil, ou de subvenir aux besoins d'un troupeau de bovins sans une main-d'œuvre appropriée et conséquente.

Les différentes activités rurales font l'objet d'une répartition assez tranchée pour chacun des groupes de population, l'apprentissage des enfants conduisant progressivement à une spécialisation sexuelle bien tranchée pour certaines tâches (tableau LV) :

- activités domestiques plutôt féminines (exception : le prélèvement pour les repas des bottes de mil du grenier, rôle typiquement réservé à l'homme, sauf chez les Iklan) ; cultures des jardins (*gombo*) et des bordures de champs (*dab* et oseille de Guinée) ;
- activités champêtres et pastorales masculines ; mais pour plus de la moitié des unités, participation des femmes iklan et rimaihé à la récolte, de la femme djelgobé à la traite des vaches.

Les enfants sont mis au travail très tôt, vers 6-7 ans pour des tâches demandant moins de résistance physique et d'effort, mais importantes car allégeant l'emploi du temps de l'adulte, particulièrement chargé pour la femme <sup>(1)</sup> : quête de l'eau, surveillance des très jeunes enfants, transport du bois de cuisine, protection des champs contre les oiseaux, gardiennage (surveillance) des petits ruminants au pâturage. Une des activités exige, du fait des contraintes sahéliennes particulières (variabilité des conditions agro-climatiques), la participation indifférenciée de tous : le semis après la première pluie efficace qui doit être conduit rapidement pour augmenter les chances de levée des graines et permettre l'ensemencement de grandes surfaces.

La place des femmes dans les activités productives est trop souvent négligée lorsque ne sont pris en considération que les travaux domestiques, pourtant déjà bien lourds. Aux travaux des champs (semis, récolte parfois) s'ajoutent encore les opérations de transformation des produits : boules de *gabou* à partir des tiges d'oignon, du *mari* à partir des graines d'oseille, boules de *ciobal* avec la pâte de mil, beurre, poteries, nattes, etc. Incontournables pour la reproduction de la force de travail, créatrices de valeur ajoutée par leurs activités très diversifiées, les femmes sont, particulièrement en période de crise, le maillon de l'économie de subsistance.

La quantification de la force de travail selon l'âge et le sexe (avec la séparation formelle actifs-inactifs) par unité et selon la saison, à partir des temps de travaux et de la productivité, n'apporterait que peu d'intérêt si elle n'intégrait d'un côté le phénomène de l'entraide collective, et de l'autre l'absentéisme dû aux migrations de travail.

Le blocage patent en termes de surface cultivée (qui limite l'autosuffisance alimentaire familiale) réside dans le temps consacré aux sarclages ; une insuffisance exceptionnelle (la maladie du " ver de Guinée " a touché 20 % des ménages de Boulel pendant l'hivernage 1977) ou permanente en nombre de bras ne trouve de solution locale qu'avec les formules d'invitation de culture ou d'entraide.

<sup>(1)</sup> Pour la seule préparation des repas d'une famille de six à sept personnes, la femme adulte doit dépenser entre six et huit heures de son temps quotidien (RONDOT, 1987, p. 110).

TABLEAU LV

Division du travail par groupe et sexe <sup>(1)</sup>

Groupes <sup>(2)</sup> Activités	HOMMES						FEMMES					
	M	R	I	G	D	%	M	R	I	G	D	%
quête eau			1			1	22	17	16	15	14	99
collecte bois	8	7	7	3	3	33	16	10	13	11	14	75
sortie grenier	22	14	3	13	10	73		4	14	2	4	28
P. r. traite <sup>(3)</sup>	17	13	17	12	9	80		1		1	2	8
garde	15	10	17	11	9	73						0
Bv. traite <sup>(3)</sup>	10	9	14	8	11	61					9	11
garde	6	7	13	6	14	54						0
semis	22	16	17	15	10	94	18	15	15	11	8	79
sarclage	22	16	17	15	11	95			1			1
récolte	22	16	17	15	11	95	2	10	13		1	31

(1) Sont comptabilisées ici les cuisines où une personne d'un des deux sexes, et de six ans au moins, prend part à l'activité considérée.

(2) Cinq groupes ethniques sont représentés avec les initiales M (Mallebé), R (Rimaïbé), I (Iklan), G (Gaobé), D (Djelgobé).

(3) P. r. : petits ruminants, Bv. : bovins.

La première solution, qui consiste à réunir 4 à 20 personnes pour un sarclage collectif, met en jeu un certain pouvoir économique et social ; d'abord par la charge financière qu'elle occasionne pendant la soudure : fourniture obligatoire d'un repas complet avec viande pour tous les participants, d'une rémunération (seulement) aux étrangers (200 à 300 FCFA par personne et par jour, bien inférieure aux 500 F d'un travail salarié journalier) ; ensuite par l'impératif de réciprocité différée dans le temps vis-à-vis d'éventuels parents participants ; rares sont d'ailleurs les unités qui n'envoient pas, à chaque hivernage, quelques-uns de leurs fils participer à un *bogu* au village ou à l'extérieur.

Largement pratiquée entre jeunes ménages parents (frères séparés, cousins, alliés) d'effectifs réduits, l'entraide est de nature beaucoup moins complexe : en tant qu'échange gratuit et réciproque des garçons et des hommes, elle suppose et entretient une cohésion sociale, des rapports de voisinage et des liens familiaux plus importants.

L'absentéisme dû aux déplacements de travail est le second facteur qui serait susceptible de modifier la répartition familiale de la force de travail. Le fait migratoire prend essentiellement la forme d'un exode saisonnier vers les grandes villes du Burkina et des pays limitrophes, phénomène apparu dans les années cinquante vers le Ghana, et qui s'est amplifié après l'Indépendance vers la Côte-d'Ivoire (Abidjan, les nouveaux ports, et la zone forestière).

Totalement absente chez les pasteurs gaobé et djelgobé, cette pratique fait partie intégrante des modes de vie des autres groupes enquêtés : pendant la période 1977-1980 elle a touché les deux tiers des UPC et près de la moitié des adultes hommes, mais avec une durée moyenne d'absence variant de 4 mois et demi (Rimaïbé) à 5 mois (Mallebé) et plus de 6 mois (Iklan) : cela représente peu encore en moyenne annuelle.

Entre l'après-récolte 1977 et le début de l'hivernage 1980 (tableau LVI) l'enregistrement des migrations, qui se déroulent selon une fréquence individuelle annuelle ou avec un départ tous les deux à trois ans par rotation entre adultes de l'UPC, conclut à une plus forte contribution des chefs de ménage dépendants. Parallèlement à l'expansion démographique de leur famille, les chefs d'unité qui ont initié chez eux la pratique des déplacements de travail se désengagent progressivement et passent le relais de

TABLEAU LVI

Statuts individuels et départs en migration  
(en nombres absolus et relatifs)

	Mallebé		Rimaïbé		Iklan		Total
Unités	14	22	12	17	11	17	66 %
Chef d'UPC	7	22	10	17	7	17	43 %
Cm dép.	4	10	4	4	4	4	67 %
Enf. et fils	7	16	2	6	6	16	42 %
Total adultes	38 %		59 %		49 %		46 %

la migration de travail à leurs fils mariés restés dans leur cuisine. Ainsi, dans les 8 unités étendues, un seul père s'est déplacé contre 9 fils mariés et 5 non mariés.

L'absentéisme saisonnier de la population active masculine reste pour le moment assez bien concentré sur la période creuse de l'emploi du temps agricole, et en tout cas n'opère pas de ponction sensible sur la force de travail durant les sarclages : la quasi-totalité des adultes quitte la région au début des récoltes et rentre avant le début de l'hivernage.

La viabilité des systèmes de production ne semble donc pas encore remise en cause dans la mesure où la concurrence entre les activités ne joue pas : le chef de cuisine est gagnant sur les deux tableaux sans avoir à opérer de choix restrictif ou contraignant pour les membres de sa famille. Il n'en est pas de même pour les pasteurs qui ont besoin toute l'année, au moins pour le gardiennage et l'abreuvement des bœufs, d'un minimum de force active et plus particulièrement d'hommes d'expérience ; leur position particulière est dictée par les contraintes pastorales.

Si la migration fait maintenant partie intégrante des modes de vie des sédentaires, elle ne répond pas aux seuls objectifs économiques des familles ; devenue une des bases de la reproduction sociale, elle ne pourra que s'amplifier avec l'intégration progressive des paysans et des éleveurs aux circuits marchands nationaux et internationaux.

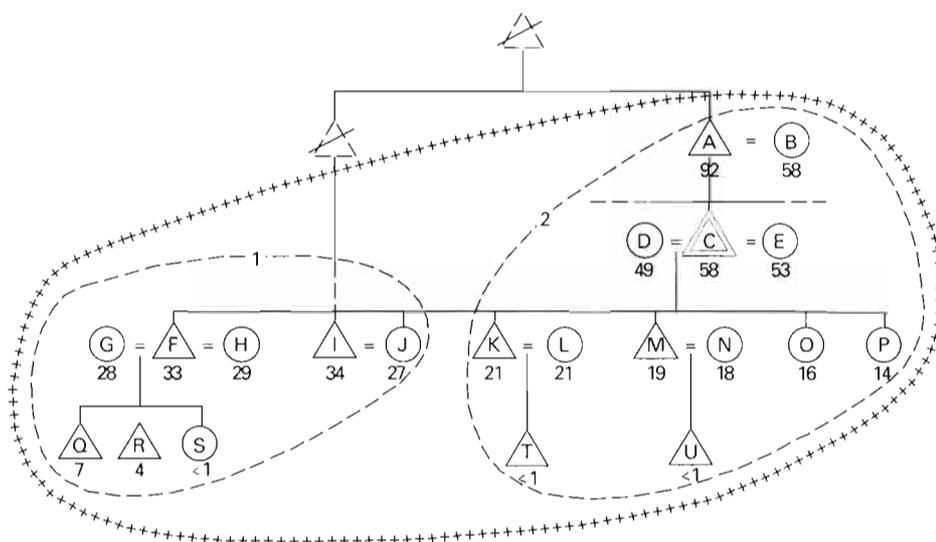
## GESTION DU CHEPTEL ET CIRCULATION SOCIALE DU BÉTAIL

Il n'est pas aisé de considérer, dans ce schéma d'unités résidentielles et d'unités économiques étroitement imbriquées, les places qui reviennent à la possession et à l'exploitation du bétail. Qu'il provienne de transferts gratuits (*cf. infra*) ou qu'il ait été acquis, le bétail d'une famille conjugale correspond à un agrégat de droits individuels et ne peut que très exceptionnellement se confondre avec l'unité biologique et sociologique que représente le troupeau : un exemple significatif est celui de l'appropriation des troupeaux d'un groupe familial djelgobé de Saba Kolangal (figure 54).

La gestion pastorale des animaux est menée indépendamment de l'appropriation : les animaux de chacun des membres d'une cuisine ne sont pas nécessairement co-résidents, et inversement les animaux d'un campement n'appartiennent pas tous aux personnes rattachées à ce campement.

C'est la pratique généralisée du **confiage** qui explique cette situation particulière par rapport à l'appropriation individuelle et à la circulation-transmission du bétail. Le confiage des animaux est un acte délibéré de réponse à des contraintes dont les plus notables sont :

- le trop faible nombre de têtes à entretenir avec la force de travail disponible pour le gardiennage et l'abreuvement, dans la mesure où chaque type de bétail se conduit différemment ;



	Attributaires																	Total				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q		R	S	T	U
Nb de bovins	12	-	43	5	-	60	-	3	12	29	32	-	17	-	2	2	6	1	1	3	2	230
Nb de caprins	2	-	20	4	3	17	-	5	2	-	16	-	11	-	2	10	5	-	-	1	1	99

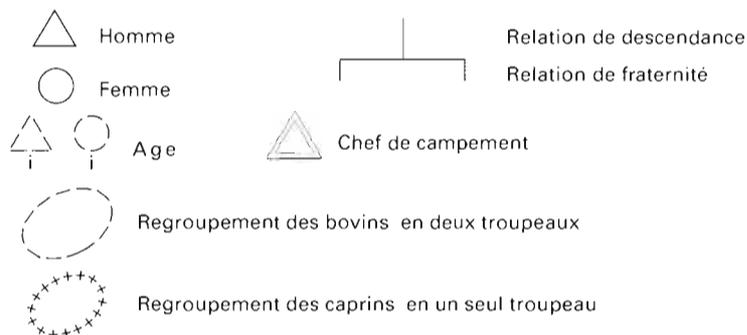


Figure 54 - Constitution du groupe familial et appropriation individuelle du bétail appartenant à une famille peul djelgobé de Saba Kolangal en décembre 1981 (MILLEVILLE *et al.*, 1982).

- l'inquisition sur le lieu de résidence, qu'elle soit sociale (pression familiale), religieuse (la dîme coranique) ou encore administrative : pratiques vétérinaires souvent associées, au moins dans l'esprit des éleveurs, aux prélèvements fiscaux ;
- l'insécurité et le vol de bétail près des frontières malienne et nigérienne ;
- le devoir d'aide, d'assistance ou l'amitié à une personne proche, parente ou simple voisin.

Dans ces différents cas, le confiage conduit nécessairement à l'allocation d'une partie de la production laitière des animaux au profit de leur responsable, souvent même la totalité de cette production lorsque la résidence de leur propriétaire est éloignée.

TABLEAU LVII  
 Autonomie pastorale des UCA  
 (Indicateur de parcentage et de gardiennage <sup>(1)</sup> en %)

	Petits ruminants		Bovins	
Mallébé (Boulel)	43	31	0	12
Rimaïbé (Bossey)	53	53	25	14
Iklan (Tiringel)	82	65	57	43
Gaobé (Petoy)	60	67	31	15
Djelgobé (W. Kiama)	82	82	36	46

(1) L'indicateur du degré d'autonomie par espèce animale et pour les deux activités considérées est le pourcentage d'UCA autonomes sur le total.

Cela se solde aussi, à terme, par un transfert, indirect mais réel, de propriété. Par exemple, une personne bénéficiaire d'un " prêt " en bétail (vache pleine de préférence) devra restituer l'animal à l'issue d'une période fixée à l'avance mais celui-là, au bout de trois vêlages, lui aura tout de même permis de reconstituer partiellement son cheptel. De même dans les contrats de gardiennage, *il arrive que les propriétaires (...) autorisent (le berger) à garder le premier veau des génisses dont on lui a confié la garde* (RONDOT, 1987).

Les différents modes d'élevage se déterminent selon l'utilisation de la force de travail et les formes de collaboration entre les familles. Il est rare que celles-ci restent complètement indépendantes pour gérer leur cheptel. En partant de la définition des unités de gestion pastorale en tant que " groupe familial indépendant dans la conduite des différentes activités liées à l'élevage du cheptel domestique ", un critère double d'autonomie/association permet de caractériser ces unités.

L'unité minimale, lorsqu'elle est confondue avec l'UCA, correspond à la formule d'autonomie maximale. Dans les autres formes, l'association entre cuisines permet de faire théoriquement des économies d'échelle de travail. La réalité est moins simple : toutes les activités pastorales ne requièrent pas le même type d'organisation de sorte qu'autonomie et association peuvent coexister tout en restant complémentaires.

En distinguant selon le type de bétail (vaches, chèvres, moutons) et d'activité (parcentage nocturne et traite, abreuvement et gardiennage sur les lieux de pâture), plusieurs types de contraintes et de causalités apparaissent .

L'indépendance pastorale de la cuisine (avec un indice proche de 100) est plus facilement acquise avec un cheptel composé de moutons ou, encore mieux, de chèvres, dans la mesure où la surveillance moins exigeante de ces animaux est naturellement confiée aux adolescents, et même aux jeunes enfants.

Les contraintes de taille des troupeaux jouent essentiellement pour la conduite des bêtes en brousse, au pâturage, et pour les possibilités d'abreuvement au cœur de la saison sèche ; l'autonomie est importante parmi les groupes qui possèdent relativement plus d'animaux, sans que cela exclue la possibilité de louer si nécessaire les services d'un berger. Le parcentage individuel ne pose pas de problème avec l'installation d'enclos à la demande près des lieux de résidence (figure 55).

La complexité des formules d'association pastorale entre cuisines au sein d'unités multiples et entrecroisées souligne dans le même temps la place relative du bétail et les caractères spécifiques de l'organisation socio-économique de chacun des groupes domestiques. Le passage s'effectue rapidement de l'autonomie individualiste chez les éleveurs semi-nomades (Djelgobé, Gaobé) à la dépendance réciproque des familles dans les communautés villageoises. Dans cette région de l'Oudalan, l'élevage du bétail, plus encore que les pratiques agricoles, réclame des modes de coopération souples et adaptées aux contraintes physiques et humaines.

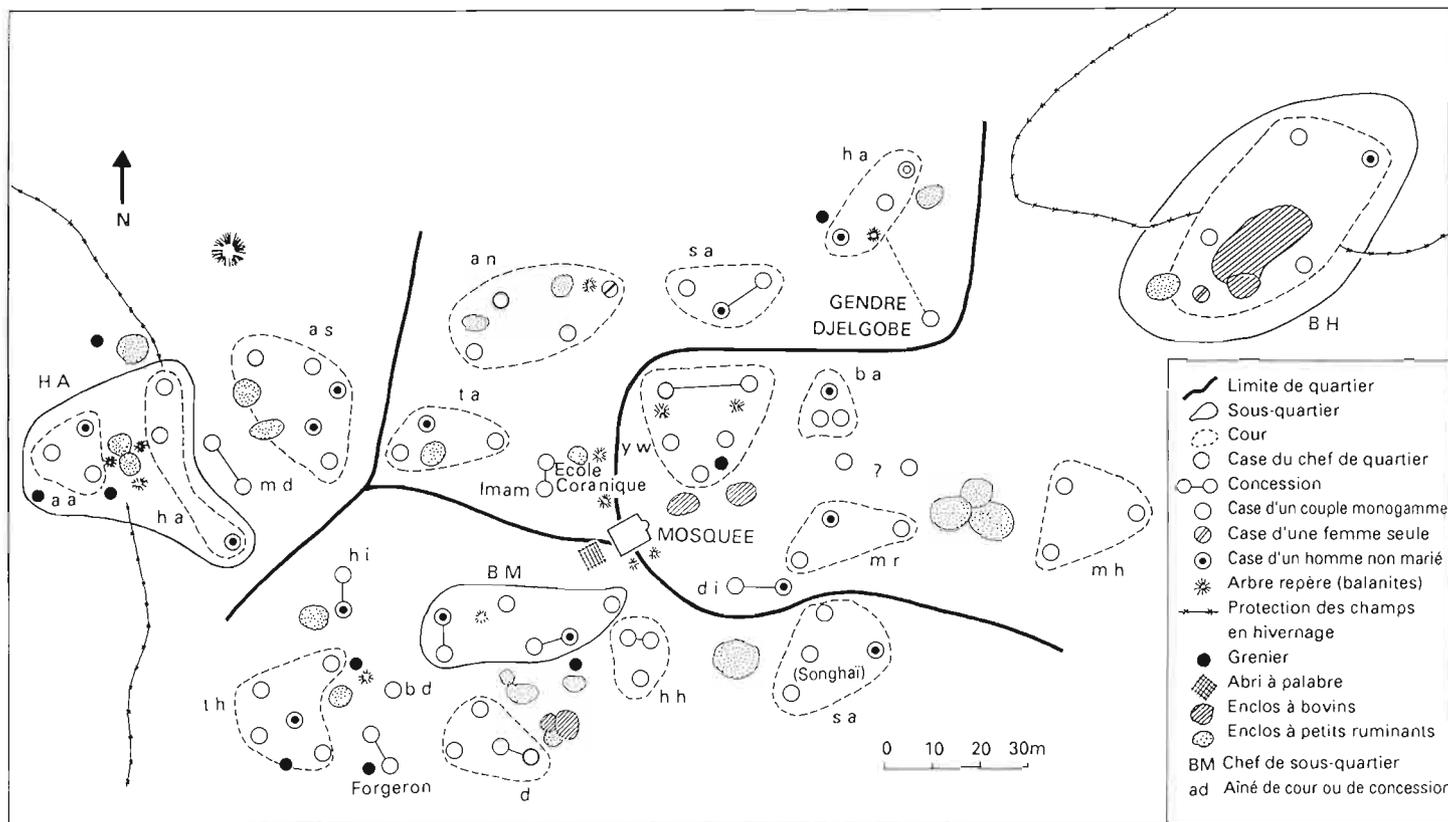


Figure 55 - Répartition des enclos et unités résidentielles des Mallebé à Bouel.

## LA CIRCULATION SOCIALE DU BÉTAIL

Les modalités de gestion pastorale ne peuvent se comprendre sans rappeler la place que revêt le bétail chez les Sahéliens, la valeur multiple attachée aux animaux domestiques : valeur d'usage d'abord en tant que réserve de nourriture (viande, lait sauf interdit alimentaire), valeur d'échange par le troc ou la monnaie contre d'autres biens de consommation ou de production ; moyen de production ensuite (spécifique car reproductible dans certaines conditions écologiques et biologiques) avec notamment une garantie de survie selon la taille et la structure du troupeau.

Mais sans aucun doute c'est la valeur sociale qui est privilégiée : fondement de la reproduction des groupes humains, le bétail représente par excellence le bien des échanges matrimoniaux, celui attaché à la procréation et à l'héritage, donc celui qui préside à la constitution de groupes domestiques autonomes.

Les investigations sur le bétail en milieu sahélien avec des méthodes d'enquête qui exigent une grande prudence et une bonne dose de patience ne permettent pas d'obtenir un inventaire rapide à l'échelle du groupe résidentiel. La connaissance réelle des animaux (chaque animal porte un nom selon sa couleur, sa morphologie ou celle de sa mère) se heurte toujours au regroupement en troupeaux et le propriétaire, quand il le veut bien, ne peut pas toujours indiquer le nom et l'âge des dernières naissances. Quant à l'information auprès des bergers, il est rare de pouvoir reconstituer les parts " individuelles " de troupeaux sous leur responsabilité.

C'est dans ce contexte que l'enquête a tenté de réunir des données sociodémographiques et juridiques : formation et évolution du cheptel personnel, confiage des animaux, mode d'exploitation en vigueur selon les lieux.

Dans cette région de mouvance touareg, la question du mode de dévolution des biens dans la société tamachek est encore controversée aujourd'hui. *On a longtemps pensé (NICOLAISEN, 1963 ; MURPHY, 1967) qu'une organisation matrilineaire primitive, d'origine berbère, aurait été recouverte par un mode patrilinéaire de filiation et de transmission des biens, imposé par l'Islam (...). Or les recherches récentes (...) remettent en question cette interprétation de la structure sociale. L'endogamie constatée au niveau de la tribu (tawshit) suggérerait plutôt (...) un système bilinéaire, une filiation cognatique, ou indifférenciée dont la souplesse d'adaptation pourrait expliquer la diversité des situations rencontrées (BERNUS, 1981, p. 167).*

Un exemple particulier de la complexité des transferts juridiques selon les groupes est illustré par la figure 56 avec le schéma des relations de parenté concernées par la transmission du bétail à l'occasion du baptême.

Le phénomène dominant est celui de la redistribution généralisée des bêtes du vivant de leur propriétaire. En mettant à l'écart l'application de la règle de succession selon le Coran <sup>(1)</sup>, la pratique du préhéritage parents-enfants affermit les liens entre générations et permet un certain contrôle des processus d'éclatement de la famille étendue avec la constitution de groupes autonomes, contrôle confirmé d'ailleurs par l'octroi supplémentaire d'animaux à l'occasion du mariage ; une telle pratique tente d'éviter aussi bien sûr les pertes de bétail au niveau du lignage.

Parmi les femelles reproductrices <sup>(2)</sup> allouées graduellement aux enfants depuis leur naissance, la part offerte la plus importante, en quantité comme en qualité (qui est fonction de l'espèce animale) provient du père devant les frères et sœurs des parents, même si cela oblige parfois assez curieusement à emprunter. Le don à l'occasion du baptême symbolise, en même temps que l'accès à la vie, les chances de prospérité individuelle ; pour le garçon comme pour la fille, c'est la garantie minimale sur l'avenir sous la double sollicitude familiale et divine. Les animaux offerts restent dans l'enclos, et la responsabilité parentale est engagée pour empêcher toute dilapidation de ce capital.

Les dons particuliers hors baptême, outre le renforcement des liens personnels impliqués, expriment la volonté de récompenser, d'encourager l'individu, et de " forcer " sa chance. Dans le même ordre d'idées se pratique aussi le " vol ", sorte d'emprunt forcé coutumier auprès de l'oncle paternel qui ne peut s'y soustraire si ses disponibilités en bétail le permettent.

L'estimation chiffrée de ces transferts montre une hétérogénéité et une dispersion importantes. Chaque groupe privilégie un mode circulatoire particulier de bétail, que ce soit au niveau des relations sociales ou selon le type d'animal : petits ruminants, bovins, équins, dromadaires ; le capital disponible " éligible " par famille est bien sûr aussi le facteur limitant.

À l'occasion des fiançailles et du mariage, la circulation du bétail fonde le nouveau ménage et assure la qualité de la relation d'alliance entre les deux familles. Mis à part le bétail reçu <sup>(3)</sup> et " consommé " par la famille de l'épouse, deux catégories de transferts pourront contribuer à augmenter le cheptel du nouvel enclos, constitué au départ des seuls animaux de l'époux, dans la mesure où le gendre a toute la confiance des beaux-parents :

- le bétail octroyé par le mari à son épouse, sorte de " douaire " dont la femme est en fait dépositaire pour ses futurs enfants ;
- le bétail reçu des parents par la promise, dot proprement dite, et les biens propres de celle-ci avant le mariage.

(1) La loi islamique stipule : deux parts pour les héritiers, une part pour les héritières.

(2) Les animaux mâles, réserves en capital, sont avant tout destinés à la commercialisation.

(3) qui parfois peut, après revente, permettre de constituer la dot !

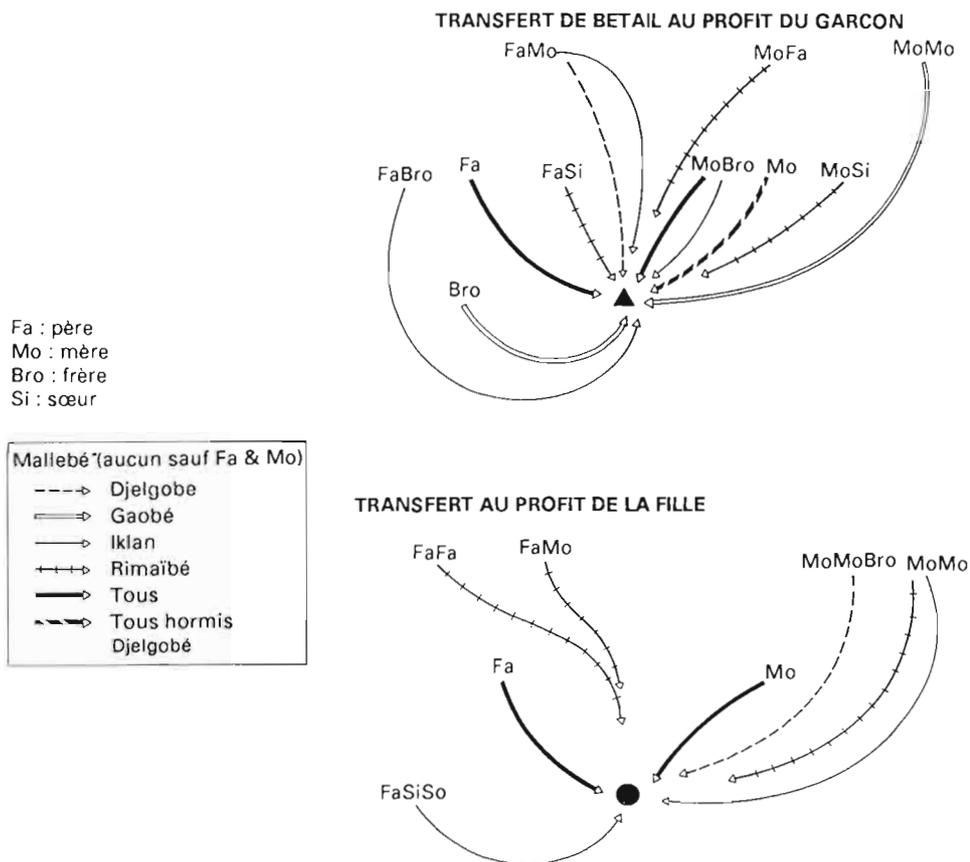


Figure 56 - Circulation du bétail suivant les groupes ethniques.

Les modalités concrètes des transferts peuvent varier selon les lieux et les conditions du moment : nombre et type d'animaux déterminés pour le mariage de la fille chez les Kal Bamba, monétarisation du douaire chez les Dogaabé due à l'impossibilité de gardiennage près de Bossey, etc. Une pratique de plus en plus fréquente, et ceci dans la plupart des villages enquêtés, consiste à différer une part des dons aux enfants ou aux épouses faute de disponible en animaux : le solde devra alors être progressivement libéré tout comme une véritable dette contractée devant les familles concernées. À la relative rigidité des règles sociales de transmission du bétail s'allient ainsi la souplesse et le pragmatisme de son application face aux conditions économiques actuelles.

Les effectifs appropriés (avec la particularité que l'on vient de voir), estimés sur la base de déclarations des chefs de ménage de l'échantillon, sont plus faibles que ceux communément admis : 0,9 UBT en moyenne, 1,3 pour LHOSTE dans la même aire d'étude. Les chiffres du tableau LVIII illustrent surtout le double phénomène d'une bien moindre disponibilité en bétail chez les plus sédentarisés, et l'intéressante complémentarité des trois principales catégories d'animaux (on ne peut parler véritablement d'élevage de dromadaires et encore moins d'ânes comme cela peut se pratiquer dans les régions plus septentrionales).

La comparaison avec les estimations régionales faites par BARRAL (1977) est sujette à caution car les zones d'enquêtes n'ont pas la même représentativité géographique, aussi bien en densité qu'en structure de population. Les comptabilisations datent des années 1970-1972, donc avant l'hécatombe que l'on sait ; elles ne font pas non plus de distinction entre les effectifs d'animaux selon leur appropriation <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> La disponibilité est aussi très variable localement ; les estimations de 1977 étaient comprises entre 1 et 4 bovins par personne.

TABLEAU LVIII

Bétail approprié par cuisine (1)

	Bovins	Petits ruminants	UBT/pers.	H. BARRAL (2)
Rimaïbé	0,5	13,4	0,23	0,8
Mallebé	2,1	11,3	0,40	0,8
Iklan	3,9	7,5	0,55	2,1
Gaobé	10,7	22,3	1,90	4,3
Djelgobé	17,6	28,7	2,40	6,2

(1) L'équivalent bovin tropical (UBT) = 1,17 bovins = 11,7 petits ruminants.

(2) Moyenne d'UBT en bovins.

L'organisation des sociétés est fondamentale car elle est à la base des modes de subsistance et de la reproduction familiale dans un environnement écologique donné. L'appréhension fine de cette organisation, et de ses multiples variantes selon les sociétés en présence, a exigé d'accorder une attention particulière à certaines variables essentielles, plus particulièrement les *unités* pertinentes du point de vue de l'habitat, du travail, de la production et de la consommation, de la gestion du bétail. Ces variables retrouvent le même caractère opératoire dans l'analyse des systèmes de production en fournissant des outils discriminatoires de jugement sur l'adaptation des populations aux contraintes sahéliennes.

# EFFICIENCE ET DIVERSITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Avec l'étude des implantations résidentielles et du fonctionnement des groupes humains, l'accent a porté sur toute la diversité, la palette des formes d'utilisation des ressources du milieu par les populations locales. Apprécier la spécificité et la qualité des modes de vie demande parallèlement une analyse des résultats économiques de chacun des principaux groupes ethniques ; pour cette évaluation sont abordés, au niveau des ménages, les problèmes de subsistance, d'équilibre des ressources et des dépenses, et de la constitution d'une " marge de manœuvre ", essentielle pour pallier l'instabilité et la variabilité de l'environnement.

## SATISFACTION DES BESOINS ALIMENTAIRES

Sans entrer dans le détail des besoins nutritionnels et dans l'analyse de la ration diététique des aliments absorbés au cours des repas par les familles (*cf. infra* : estimation CIDR/ORSTOM ORANA/SDF pour la période 1975-1977 aux environs de Gorom-Gorom), l'étude a effectué une comparaison entre les productions vivrières, estimées sur la base de déclarations de récoltes, et les besoins, exprimés en équivalent poids-céréale.

Abstraction a été faite de la place du lait dans la satisfaction des besoins compte tenu des habitudes locales de consommation : les plats sont élaborés à partir de céréales sous diverses formes, crue, cuite, entière, en farine ou même en son et la graine représente plus de 90 % de la ration moyenne calorique

TABLEAU LIX  
 Consommation trimestrielle moyenne par groupe d'aliments  
 (ration en g/jour)

	Céréales	Lait	Beurre	Viande	Graines et feuilles	Calories
1 <sup>e</sup> trimestre	706	164	0,9	12,4	11,6	2 425
2 <sup>e</sup> trimestre	588	51	2,5	1,1	10,8	1 989
3 <sup>e</sup> trimestre	501	415	1,5	0,7	7,6	1 986
4 <sup>e</sup> trimestre	789	389	1,9	3,8	11,5	2 852
(kg/an)	232	95	-	-	-	-

Source : ORANA 1980 ; échantillon de 342 personnes.

(environ 2 240 cal) suivant la période ; le complément en vitamines et oligo-éléments provient des composants de types légume, fruit, graine, tubercule, etc., cultivés ou sauvages. Il ne faut pas oublier cependant que localement, selon la saison, l'importance du troupeau et la quantité de lait laissée aux veaux, certains groupes pourraient tout à fait se satisfaire d'une substitution lait-céréale s'il n'y avait fabrication de beurre ; ainsi dans un groupe éleveur Djelgobé de Saba Kolangal, la traite procure à chacun près de 1 kg de lait par jour (MILLEVILLE *et al.*, 1982).

Les productions céréalières des années 1978 et 1979 ont été estimées en nombre d'unités traditionnelles récoltées, fagots de mil ou paniers de sorgho. L'équivalent poids de grain a été calculé d'après le volume récolté net, compte tenu de la partie soustraite pour la charité islamique <sup>(1)</sup> qui affecte environ 10 % des fagots à des fins de redistribution extérieure à la cuisine et à l'unité de production.

Le fagot de mil et le panier de sorgho ont été enregistrés pour l'équivalent poids-graine de 11,7 kg et 7,8 kg soit un rendement au battage d'environ 65 % pour des poids-épis de 18 et 12 kg en moyenne. Les récoltes sont donc légèrement surestimées : chiffres déclarés par les paysans, non-prise en compte des fagots réservés à titre de semence pour l'année suivante, part fluctuante de la *diaka*, pas toujours proportionnelle à la quantité.

Afin de rapporter la production aux besoins (tableau LX), il a fallu tenir compte de la pratique fréquente, en fin de soudure, d'une consommation prématurée des épis du champ pendant quelques jours ou semaines avant la récolte <sup>(2)</sup>. À cet effet, la période de consommation servant de base de calcul aux besoins a été minorée d'un mois à Boulel, 15 jours à Bossey, 20 jours à Tiringel, 10 jours à Pétoy.

TABLEAU LX  
 Couverture des besoins céréaliers par production et achats en 1978-79 et 1979-80 (en moyenne/personne)  
 (sur la base d'une ration moyenne de 250 kg/pers./an)

Groupes	Product.	Achats	% Cv	Product.	Achats	% Cv
Mallébé	129	44	69,2	102	45	58,8
Rimaïbé	104	147	100,0	134	103	95,2
Ikkan	170			105	82	74,8
Gaobé	196	71	106,8	132	177	123,6

% Cv : Production et achats en pourcentage des besoins.

<sup>(1)</sup> Ou *diaka* : pratique généralisée en milieu islamique que l'on peut assimiler à un impôt social volontaire, redistribué en nature au profit des plus défavorisés du même village.

<sup>(2)</sup> La consommation d'épis frais, souvent grillés sur place, permet d'attendre que toute la récolte soit arrivée à maturité.

Il est remarquable qu'en moyenne, au niveau des quatre groupes considérés, la production céréalière ne se situe qu'entre 40 et 80 % des besoins théoriques des cuisines, soit 100 à 200 kg par habitant. L'hétérogénéité est importante puisque les coefficients de variation des récoltes nettes des cuisines s'étagent de 50 à 100 % par rapport à la moyenne. Ces coefficients sont plus faibles pour les données en pourcentage des besoins puisque la structure démographique de la cuisine est directement prise en compte.

Le calage de l'estimation des besoins céréaliers s'est fait par mesure directe, sur échantillon, des " rations " journalières des cuisines en fonction de la composition démographique saisonnière <sup>(1)</sup>. Cette mesure aboutit à la mise en évidence d'une importante variabilité temporelle de la ration céréalière qui résulte à la fois de composants démographiques (retour de migrants ou présence d'étrangers participant exceptionnellement aux repas) et de la pratique de la " mesure " <sup>(2)</sup> traditionnelle des volumes de grains : il y a toujours un retard d'adaptation entre le nombre, le remplissage des mesures, donc le poids de grain, et la variation de l'effectif de la cuisine.

Les quantités consommées fluctuent avec les saisons et chutent avec l'amenuisement des réserves stockées en grenier. L'hétérogénéité des consommations des cuisines reflète la multiplicité des solutions individuelles face à des conditions de vie plus ou moins difficiles ; compte tenu des systèmes de production existants, très souvent déséquilibrés, les unités de consommation pratiquent des stratégies reposant sur la diversification des activités et la mobilité, à moindre degré sur la complémentarité élevage-agriculture ; la part des achats céréaliers ne permet d'ailleurs pas, sur une période pluri-annuelle, à elle seule, de compléter la satisfaction des besoins, exception faite chez les Gaobé et les Djelgobé pour lesquels la mise à contribution du cheptel bovin (ventes sur les marchés au bétail) est remarquable.

Si la couverture des besoins, légèrement surestimée, n'est pas assurée par la production ou par les achats, alors d'autres éléments du mode de vie doivent être pris en considération : la redistribution élargie ou, mieux, les pratiques d'épargne, de mobilité qui permettent de trouver ailleurs la subsistance familiale et de limiter les ponctions sur les maigres réserves disponibles.

Depuis une quinzaine d'années se développent ainsi différentes stratégies économiques face à la dégradation générale de l'autosuffisance alimentaire :

- substitution aux céréales cultivées de produits de cueillette : graminées (fonio, *Cenchrus*, *Tribulus*), fruits sauvages (*Boscia*), bulbes (nénuphar) ;
- utilisation de sous-produits habituellement réservés aux animaux (son de mil) et alimentation lactée : presque exclusive pour les pasteurs en hivernage, mais d'apport non négligeable chez les sédentaires avec les prêts de vaches laitières ou de petits ruminants ;
- redistribution des effectifs démographiques entre unités de consommation en particulier par modification de la charge des " inactifs " : pratique du confiage-adoption des jeunes enfants, hébergement de parents âgés ;
- multiplication des transferts gratuits (à caractère social, familial ou religieux) de céréales entre chefs de ménage ;
- enfin, ce qui semble de loin la stratégie la plus efficace, accroissement de la mobilité instantanée des personnes (bon nombre de jeunes gens profitent de l'hospitalité pour se faire nourrir à l'extérieur de leur famille) et déplacements saisonniers des groupes : installation loin du grenier familial permettant de nourrir les siens chez un tiers à la fois logeur et employeur ; déplacements de travail des migrants.

(1) La ration moyenne pesée, 685 g par jour, du même ordre de grandeur que l'estimation de la CIDR, est bien supérieure au standard FAO communément admis.

(2) Les femmes utilisent toutes un instrument de mesure du volume de grain à préparer pour le repas, spécifique de chaque cuisine : louche, boîte de conserve, etc.

## RESSOURCES ET DÉPENSES DES UNITÉS DOMESTIQUES

Dans le contexte d'une incomplète monétarisation des échanges et dans la mesure où la monnaie, loin de jouer son rôle de réserve thésaurisable, apparaît uniquement comme le lien nécessaire entre une recette et la dépense qui lui est récurrente (voir p. 198), il a été nécessaire d'inclure dans les budgets les flux de toute nature entre l'UPC et l'extérieur. Les flux en nature ont été intégrés en les valorisant aux prix des marchés locaux de la même période. L'enquête s'est déroulée pendant deux années consécutives par questionnaires mensuels rétrospectifs auprès des chefs de cuisine.

Les ressources et les dépenses ont été ventilées chacune en cinq rubriques principales :

- D'un côté : revenus nets des migrants, se limitant donc à la part rapportée à la cuisine ; revenus du commerce local de détail (sucre, thé, cola, gâteaux secs...) dans les villages comme aux marchés ; revenus de travaux locaux rétribués souvent en nature, emplois auprès de citadins : collecte de bois de chauffe, confection d'enclos, fabrication de briques, maçonnerie ; vente des produits de l'artisanat féminin ; vente de bétail sur pied correspondant à un déstockage réel et non à une opération spéculative.
- De l'autre : achats céréaliers ; autres dépenses d'entretien alimentaire (condiments végétaux et animaux, viande, riz, tous produits " de luxe " consommés à l'occasion du passage d'invités) et vestimentaire (bijoux, pagnes, décoration de la case) ; frais de santé et impôts, très souvent acquittés en toute dernière extrémité ; investissements en outillage de culture, ustensiles domestiques, matériaux, et animaux de bât (ânes pour le portage de l'eau, des bagages et des personnes) ; acquisitions d'animaux et frais d'élevage (achat de plaques de sel).

Dans une rubrique " divers " figurent les transferts financiers et les transferts en nature : d'un côté les prêts ou emprunts avec leurs charges récurrentes ; de l'autre les multiples cadeaux et dons en nature entre parents, voisins, dépendants socioreligieux (captif/libre, marabout/disciple) et souvent de faible valeur unitaire. Les très rares ventes de céréales ont été négligées à l'échelle de l'échantillon ; sans doute dans la région ouest (Déou et, plus loin encore, Aribinda) auraient-elles pu être correctement appréhendées ; de même le phénomène de troc grenier/animaux a été observé mais en dehors des unités suivies.

Un des biais évident de ce type d'enquête est la sous-estimation des flux de moindre importance (inférieurs à 1 000 FCFA) et une bien meilleure appréciation des flux d'emplois que des flux de ressources. D'autres précautions doivent être avancées pour la lecture des tableaux ci-après : il est impossible d'appliquer aux données des raisonnements économiques et monétaires marginalistes pour la cuisine dans son ensemble car il n'y a pas un revenu collectif mais des revenus individuels autonomes. L'unité budgétaire en tant que telle n'existe pas : elle n'est qu'un agrégat de dépenses et de ressources issues de décisions personnelles des membres de la famille difficilement contrôlées par le chef de cuisine. Selon l'autorité de ce dernier et les rapports de force internes, une part plus ou moins importante des ressources sera affectée aux achats communs de la céréale nécessaire aux repas de la famille.

Avant d'examiner l'image budgétaire de chaque groupe pour les années 1978-1980, il est important de situer la place occupée par les échanges de biens entre les membres de la cuisine et l'extérieur, et dont on peut avoir une bonne idée par le montant des emplois.

La valeur globale des échanges par UPC, assez modeste dans cette région — les moyennes s'échelonnent de 25 000 à 100 000 FCFA sur l'année — ne permet pas de différenciation notable entre unités de production ; c'est au village de Bossey, plus impliqué dans l'économie locale, que les écarts se creusent le plus (variation de 100 à 150 % contre moins de 70 % pour les autres groupes). Sur les 53 cuisines, cinq à six seulement peuvent, grâce à leurs revenus migratoires ou au déstockage de leurs troupeaux, sortir du lot en doublant ou triplant leur niveau de ressources.

La structure budgétaire, à travers la relative diversité ou focalisation des ressources et des dépenses,

TABLEAU LXI

Valeur moyenne des emplois par cuisine (FCFA)  
(chiffres absolus et coefficients de variation)

	Année 1978-79		Année 1979-80	
Mallebé	27 200	59 %	26 100	71 %
Rimaïbé	72 600	96 %	65 750	150 %
Iklan			67 250	36 %
Gaobé	31 750	53 %	70 000	65 %
Djelgobé	70 400	53 %	85 000	64 %

peut révéler l'orientation plus ou moins accusée des systèmes de production, avec cette réserve que les moyennes cachent de fortes disparités individuelles.

Les deux groupes à vocation pastorale (Gaobé et Djelgobé) tirent leurs ressources à plus des trois quarts de leur bétail (et seul un cheptel suffisant peut rendre viable un déstockage régulier), tandis que cela représente rarement plus du tiers chez les autres. La participation à des actions de développement (travail fourni par la CIDR à Bossey) et le recours massif aux migrations procurent deux tiers des revenus aux Rimaïbé. Mallebé et Iklan diversifient mieux leurs activités, en pratiquant notamment le petit commerce sur les marchés avec la revente de produits alimentaires (à Oursi : thé, sucre, cola ...) ; les Iklan se livrent à d'importants transferts, notamment avec les cadeaux envoyés de Côte-d'Ivoire par un proche parent, généralement neveu utérin du chef de cuisine.

Comme on le constate sur ces données d'enquêtes dans un espace de temps limité, et qui, une fois encore, ne sont représentatives que des échantillons retenus de la population régionale, l'économie familiale est fragile avec ses fortes fluctuations de ressources d'une année sur l'autre face à des dépenses céréalières incontournables mais variables selon les résultats agricoles. Pour ceux qui ne peuvent pas obtenir d'importantes rentrées monétaires de l'élevage, la contrepartie ne peut venir que d'une modulation structurelle des ressources, ce qui veut dire adaptation aux contraintes du milieu par diversification des activités.

TABLEAU LXII

Structure des ressources et des dépenses <sup>(1)</sup>  
(postes en % du total en 1978 et 1979)

	MIGRATION		COMMERCE		TRAVAUX		ARTISANAT		BÉTAIL		DIVERS	
Mallebé	-	23	30	14	32	21	8	7	20	29	10	5
Rimaïbé	50	53	-	-	36	26	-	-	12	11	-	6
Iklan	nd	19	nd	5	nd	6	nd	-	nd	36	nd	32
Gaobé	26	-	-	-	-	-	-	-	70	89	-	5
Djelgobé	-	-	-	-	-	9	-	-	93	89	-	-
	CÉRÉALES		ENTRETIEN		FRAIS		INVEST.		ÉLEVAGE		DIVERS	
Mallebé	80	83	5	5	-	-	-	-	-	-	8	7
Rimaïbé	80	55	13	16	-	-	-	-	-	11	-	18
Iklan	nd	64	nd	7	nd	-	nd	12	nd	-	nd	11
Gaobé	72	79	23	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Djelgobé	71	63	12	8	8	12	-	-	-	-	-	16

(1) Les valeurs relatives inférieures à 5 % sont figurées par un tiret ; les données sont absentes pour les Iklan en 1978.

Dans cette diversification, le recours à la migration occupe une place de choix. À la fois parce qu'elle ne remet pas fondamentalement en cause l'allocation du travail agricole, et surtout parce qu'elle permet des gains exceptionnels de nature à renflouer durablement les cuisines en état de déséquilibre. Elle ne peut cependant être mise en œuvre aussi facilement par tous les ménages ; elle suppose des candidats de statut familial et d'âge adéquats ; elle reste aussi sous le contrôle du chef de cuisine et se trouve étroitement dépendante de l'entente sociale entre personnes dans les ménages.

L'absence de disponible et de marge de sécurité, la volonté de gérer au mieux la pénurie, de tenir compte d'éventuels dons à recevoir ou à donner, se traduisent par l'échelonnement toute l'année, au coup par coup et par petites quantités, des achats vivriers. Cela s'observe couramment lors des transactions sur les marchés, lorsque le mil est compté à la " louche " par les vendeurs de céréales.

## ÉCHANGES ET COMMERCIALISATION SUR LES MARCHÉS

La plupart des transactions commerciales effectuées par les populations enquêtées se réalisent sur des marchés locaux, à la fois complémentaires et concurrents : Gorom-Gorom, Déou, Oursi et, plus accessoirement, sur des marchés moins importants ou plus excentrés comme Markoy, Tassamakot, Aribinda. L'attraction concurrentielle de ces marchés, moins forte pour ceux qui ont l'habitude de suivre le gros bétail, s'exerce à partir d'un seuil de 20 à 25 km, soit environ une demi-journée de marche.

Dans le cadre de l'analyse des systèmes de production, ont été étudiés, sur deux marchés, la commercialisation des produits et la place des échanges dans l'économie traditionnelle. Le premier, Déou, est un marché au bétail à vocation régionale où aussi des activités commerciales bien implantées se retrouvent d'une semaine à l'autre ; le second, Oursi, est plutôt un lieu d'échanges " de brousse ", très sommaire dans ses installations et d'assez faible importance en termes de quantités commercialisées.

Des enquêtes régulières sur deux années ont eu essentiellement pour objet de suivre l'évolution saisonnière des prix, de caractériser les origines des intervenants, qu'ils soient professionnels ou non, de préciser les besoins des acheteurs et des vendeurs, de sérier les problèmes administratifs et techniques. Le but était davantage de fournir des éléments sur l'environnement des systèmes de production que de quantifier les réseaux et les flux de biens à l'échelle régionale et avec l'extérieur <sup>(1)</sup> : cela aurait nécessité d'autres moyens d'investigation. L'étroitesse et la variabilité saisonnière conjuguées des échanges interdisait de toute façon une exploitation statistique sophistiquée des données recueillies sur des échantillons fluctuants <sup>(2)</sup>.

La remarque déjà faite plus haut sur la place relative de la monnaie dans les échanges a bien évidemment toute sa place ici, dans ce cadre de la confrontation d'une offre et d'une demande. Cependant les comportements marchands sont de caractéristiques très différentes selon qu'il s'agit d'un commerçant professionnel ayant son étal à demeure chaque semaine, d'un intermédiaire passant des ordres d'achat et de vente pour des exportations de bétail, ou d'un paysan qui doit faire face à la soudure. Avec des modes de production essentiellement autosubsistants (mais non autosuffisants), la faiblesse des disponibilités induit des logiques d'échange immédiat ; les biens n'ont pas de valeur intrinsèque mais une valeur d'échange contre un bien déterminé : vente de bétail pour achat de mil par exemple. La monnaie n'est alors qu'un intermédiaire permettant d'ajuster provisoirement la quantité d'argent disponible après une vente et les liquidités nécessaires aux achats consécutifs.

<sup>(1)</sup> Cf. l'étude plus spécifique de la commercialisation du bétail en Oudalan effectuée par BRASSEUR (1982) dans le cadre de l'ORD du Sahel (1981-82).

<sup>(2)</sup> D'un marché à l'autre, l'effectif de vendeurs d'un même bien peut varier du simple au double ; parfois, certains produits essentiels disparaissent des marchés.

La fréquentation des marchés de l'Oudalan est hebdomadaire ce qui permet, dans une certaine mesure, de proposer plusieurs fois les mêmes biens (produits animaux et végétaux) à quelques jours d'intervalle. C'est particulièrement le cas pour les éleveurs qui tenteront d'obtenir des prix plus élevés pour leur bétail selon l'information dont ils disposent sur chaque marché : prix relatifs, présence de grands commerçants, ambiance particulière, etc.

Les activités commerciales, le volume des transactions suivent, bien entendu, assez fidèlement les fluctuations saisonnières de paramètres tels que : la production agricole, l'état physiologique des animaux, le degré de dénuement alimentaire ou financier des familles, la demande et l'offre extérieures, principalement en bétail d'embouche et en stock de graines. Toute l'activité commerciale doit être replacée dans un contexte global (régional) de déficit céréalier, et dans celui du déstockage relatif des cheptels par des flux vers le Djelgodji, le Liptako, le plateau mossi qui, indirectement par des chaînes de transaction, peut revêtir des allures d'exportation vers les pays limitrophes (Côte-d'Ivoire, et Nigeria *via* Téra au Niger).

Les marchés, par leur couverture régionale, caractérisent une vaste zone d'échanges interethniques et, à travers des étals diversifiés de produits, confirment certaines orientations économiques. C'est en faisant l'inventaire global des différents produits échangés, de leur origine, que l'on mesure le degré de complémentarité des groupes de population. Chaque groupe ethnique avec son artisanat, ses pratiques de cueillette, ses systèmes d'exploitation du milieu a développé une spécialisation fonctionnelle permettant et suscitant le troc et les échanges de biens indispensables au mode de vie :

- vente de céréales excédentaires : par les Iklan (56 %), les Fulsé (15 %) et les Mossi (21 %) ;
- ventes d'animaux plutôt par les éleveurs peul (63 % des bovins et 46 % des petits ruminants) et iklan (36 % de la seconde catégorie) ;
- place particulière des anciens captifs rimaïbé et iklan pour la commercialisation des produits vivriers, la collecte et la vente de produits végétaux et artisanaux ;
- parallèle remarquable entre l'exploitation pastorale et commerciale chez les Djelgobé, Gaobé, Warag-Warag ;
- absence commerciale des Touareg, significative de leur position de retrait mais qui ne les empêche pas d'opérer par intermédiaires ;
- apports bien spécifiques de l'artisanat casté (" forgerons ") pour les éléments de décoration et d'habitat adoptés dans tout l'Oudalan.

L'analyse de deux types de produits omniprésents sur les marchés mérite quelques développements dans la mesure où leur commercialisation soulève des problèmes et où des interventions techniques et administratives pourraient avoir lieu : les céréales et le bétail.

La vente des céréales n'obéit pas à la règle habituelle d'ajustement de l'offre à la demande pour les raisons suivantes :

- les fluctuations inter- et intra-annuelles de prix sont énormes bien qu'il s'agisse d'une denrée de base alimentaire ; 60 à près de 300 FCFA le kilo de mil en 1978 à Déou !
- l'hétérogénéité des pratiques de vente, due particulièrement à la variabilité des unités de mesure (louche, boîte), conduit à la multiplicité des prix de vente du même produit.

Ces contraintes entraînent une impossibilité de choix raisonné pour l'acheteur qui reste soumis à l'arbitraire et à l'ignorance.

La vente des animaux souffre elle aussi d'importants écarts saisonniers de prix, variables sur chaque marché, et du cloisonnement relatif des informations. La conséquence pour l'éleveur cherchant avant tout à s'approvisionner en mil ou en sorgho <sup>(1)</sup> est d'être obligé de différer sa décision et de devoir arpenter les principaux marchés au bétail de sa région dans l'espoir d'obtenir de meilleurs prix. On ne peut cependant s'empêcher d'être étonné par l'organisation complexe et très efficace de la vente du bétail sur les marchés, et cela grâce au pool d'intermédiaires permettant de négocier d'importantes transactions vers l'extérieur.

<sup>(1)</sup> La vente d'animaux est provoquée par les besoins alimentaires de la famille : à 80 % des motivations pour les bovins, à plus de 75 % pour les petits ruminants et même à 60 % pour les animaux de bât.

## DIVERSITÉ ET COMPLÉMENTARITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Depuis le début du siècle, les sociétés, sous la pression de contingences historiques et des contraintes écologiques, évoluent selon plusieurs tendances parallèles, parfois concomitantes, s'entretenant les unes les autres. La diversité interne croissante des systèmes de production entraîne paradoxalement une homogénéisation relative à l'échelle locale et régionale, alors que dans le même temps se multiplient, par segmentation, les unités fonctionnelles avec la parcellisation du pouvoir et des responsabilités. À l'accès démocratisé aux ressources du milieu répond une utilisation anarchique incontrôlée qui ne peut que mettre en péril la reproductibilité des systèmes d'exploitation et la survie, sur place, des populations.

Les rapports tribaux dans la société tamachek, fortement hiérarchisées, liés au mode de fonctionnement guerrier, induisaient une distribution des rôles selon laquelle chaque tribu dépendante était, de droit ou de force et selon son niveau, investie d'une fonction particulière : religieuse, guerrière et politique, productive (agriculture, élevage, chasse, cueillette, etc.). De l'allocation spécifique des ressources à des groupes de producteurs spécialisés résultait une complémentarité des activités humaines interne aux systèmes de production et intrinsèque au mode de fonctionnement social.

Les années vingt et les années trente ont été celles de l'effondrement de l'hégémonie des classes nobles qui, avec l'installation du pouvoir colonial, a conduit à l'affaiblissement des chefferies locales et au bouleversement irréversible des rapports sociaux. Le phénomène de segmentation des groupes est apparu et s'est amplifié. Plusieurs tendances aboutissent à la formation d'unités de production restreintes au ménage, le couple et ses enfants mineurs, avec une individualisation croissante des activités et des responsabilités <sup>(1)</sup>.

Les groupes domestiques élargis associant dans la même unité des frères adultes majeurs, avec ou sans leur père (ce qui par le passé était le mode d'organisation familial dominant) sont à l'heure actuelle peu représentés et en voie de disparition : ils ne sont souvent plus que les formes intermédiaires (provisoires) de la fragmentation des cuisines au cours de leur croissance.

Les phénomènes de complémentarité entre groupes tribaux spécialisés, qui pendant un temps pouvaient se perpétuer par le biais du troc puis des échanges monétarisés, sont désormais mineurs et ont changé de niveau. Rares sont désormais aussi les unités familiales qui peuvent se consacrer exclusivement et durablement à une seule activité sans tenir compte des vicissitudes climatiques. L'agriculture céréalière, à la limite de sa zone écologique, n'est pas capable avec ses trop faibles rendements et la variabilité de ses résultats, de subvenir aux besoins, ne serait-ce qu'alimentaires, des populations. Quant à l'élevage, ses modes de conduite et d'exploitation extensifs ne sont plus compatibles avec la gestion traditionnelle des ressources compte tenu de l'emprise humaine sur le milieu.

Les relations socio-économiques, services entre unités familiales, contrats de fumure, prêt de laitières ou de taureaux, *bogu*, sont devenues épisodiques et ont aussi évolué dans le sens d'une intégration au marché avec sa logique de profit individuel : invitations de culture correspondant de plus en plus à du travail rémunéré.

À la déformation et au changement de nature de certaines pratiques habituelles, s'ajoute aussi l'apparition de nouvelles activités de contre-saison liées aux besoins citadins ; certains paysans de Boulel, fortement touchés par une mauvaise récolte, ont pu ainsi s'employer auprès de commerçants et de fonctionnaires de Déou pour la fabrication de nattes, la construction de maisons... et retrouver les années suivantes de modestes emplois rémunérés.

<sup>(1)</sup> Se constate aussi parallèlement, selon une évolution généralisée en Afrique, une réduction de la polygamie et une diminution de la taille des ménages avec un nombre plus faible d'enfants par couple.

L'exemple significatif est celui des Peul Djelgobé eux-mêmes qui recourent à la mise en culture des bas-fonds et ne peuvent éviter quelques départs individuels saisonniers vers les bourgs. Les professions castées quant à elles, forgerons par exemple, sont durement touchées par la disparition progressive de la civilisation tamachek et de ses objets (armes, parures, mobilier, habitat). Aujourd'hui personne ne peut plus espérer obtenir un niveau de revenu suffisant, encore moins d'importantes plus-values, dans la seule exploitation traditionnelle du milieu, tout particulièrement dans cette région densément peuplée de la mare d'Oursi.

La conjonction de la " pression " démographique (à laquelle a contribué en son temps la liberté économique et la libéralisation de l'accès aux ressources par les captifs) et de la fragilité écologique du milieu (en l'absence de contrôle de son exploitation) fait ressortir un phénomène essentiel : l'amplification de la prise en compte des risques (traditionnelle jusqu'ici mais qui s'opérait à une tout autre échelle) par diversification des activités au sein et en dehors des unités de production avec l'incitation liée à la libéralisation des échanges et des communications.

Les groupes domestiques sont actuellement plutôt en situation de concurrence pour se réserver, utiliser et plus encore pour valoriser les terres agricoles et les pâturages. Les quelques propositions d' " intensifications " techniques possibles — coupe et stockage de foin, fumure et irrigation, maraîchage... — passent par une auto-affectation des meilleurs terres (bas-fonds, pourtours de mare), une fixation des droits individuels d'exploitation, et conduisent inéluctablement à terme à une allocation foncière au profit de quelques-uns parmi les plus sédentarisés.

Dans le même ordre d'idée, on assiste à des changements, qui peuvent être considérés comme significatifs, dans les règles et modes d'accès aux ressources fourragères. Les parcelles de céréales, qui dès la récolte du grain faisaient partie intégrante de l'espace pastoral et l'objet d'un droit de vaine pâture, ont leur production fourragère de plus en plus souvent appropriée par le cultivateur qui coupe et stocke les chaumes afin de les réserver à son propre cheptel. La pratique de fauche de l'herbe sèche sur les pâturages dunaires s'étend, notamment à proximité des centres urbains tels que Gorom-Gorom, Markoy et Déou, où ce fourrage est vendu en bottes. Les signes d'une tendance à l'individualisation des ressources du milieu, dans un contexte de forte réduction du disponible et d'une concurrence qui progressivement s'accroît pour y accéder, sont tout à fait patents.

Globalement, les tendances évolutives se traduisent donc à la fois par le rétrécissement des unités de production-consommation, la monétarisation de l'économie domestique, la diversification des activités au sein de la cellule familiale, l'apparition de nouvelles sources de revenus et par la part décisive que revêt, dans certains groupes tout au moins, la migration lointaine, qui constitue à présent une composante structurelle des stratégies paysannes. De plus en plus rares sont ceux qui peuvent assurer régulièrement leurs besoins essentiels en s'adonnant soit à l'agriculture, soit à l'élevage. Les objectifs de sécurisation imposent à la plupart de diversifier les systèmes de production de manière à disperser les risques. Dans ces conditions, les relations de complémentarité entre secteurs d'activité tendent à se renforcer au sein même de l'unité familiale de production, alors qu'ils s'exprimaient sans doute préférentiellement dans le passé dans les rapports sociaux de production qui s'établissaient entre des unités et des groupes plus spécialisés qu'actuellement. À ce niveau, en revanche, force est de reconnaître que les relations de complémentarité et de réciprocité s'atténuent au profit d'un renforcement des rapports de concurrence et d'antagonisme.

Il nous est difficile à l'heure actuelle, dans une période de crise et de bouleversements, d'envisager la place qui sera réservée dans un proche avenir aux populations du Sahel. Au vu des changements qui se sont produits depuis un demi-siècle et qui sont loin d'être achevés, il nous semble indispensable de garder présent à l'esprit la formidable capacité d'adaptation des groupes humains, certes à un niveau trop faible pour être acceptable, mais qui atteste tout de même d'une prise de conscience des ruptures écologiques, et d'une volonté de s'affranchir le plus possible des contraintes d'un milieu à hauts risques. C'est dans cette mesure qu'il nous semble que les systèmes de production développent une efficacité exemplaire en termes de capacité d'adaptation, de réponse et de changement !



## CONCLUSION

Les caractères sahéliens des systèmes écologiques de la région de la mare d'Oursi peuvent se résumer en quelques traits généraux tels que : environnement aride, apparente homogénéité des paysages, diversité, variabilité et adaptabilité des composantes des phytocénoses, fragilité et dégradation marquée des ressources naturelles, exploitation diversifiée de ces ressources par des systèmes de production exerçant une pression toujours accrue sur les milieux...

S'ils ont l'avantage de la simplicité et de la généralité permettant de faire du cas de la mare d'Oursi une étude représentative d'une grande partie du Sahel ouest-africain, ces concepts doivent cependant être détaillés si l'on veut poser un diagnostic sur l'évolution de ces milieux et agir efficacement sur leur devenir.

### UN ENVIRONNEMENT ARIDE

Les conditions climatiques déterminent en premier lieu une aridité marquée par une longue saison strictement sèche durant laquelle le rayonnement global très élevé (moyenne interannuelle de  $2\,375\text{ J.cm}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ ) et des températures élevées (supérieures à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) provoquent une évapotranspiration intense déséquilibrant défavorablement le bilan hydrique climatique. La saison des pluies, centrée sur juillet et août, amène des précipitations peu abondantes et très inégalement réparties dans le temps et dans l'espace (moyenne interannuelle de  $380\text{ mm}$  en 39 jours de pluie) ; cette variabilité porte non seulement sur les valeurs interannuelles mais aussi sur le déroulement de l'hivernage (date de début et d'arrêt des pluies, nombre et intensité des averses, position et durée des périodes sans pluie...). Même au cours de la saison des pluies, l'évapotranspiration potentielle excède largement la pluviométrie.

Cette aridité climatique s'est trouvée accentuée depuis le début des années 1970 par une sécheresse tout à fait singulière par sa durée, sa sévérité et sa généralisation géographique. À l'encontre de

certaines hypothèses (mécanisme de rétroaction biogéophysique modélisé par CHARNEY, 1975), il semble bien que les causes majeures de cette sécheresse doivent être recherchées dans des perturbations de la circulation atmosphérique générale, mais l'état actuel des observations et des outils de modélisation ne permet pas de prédire, à long ou à moyen termes, l'évolution de cette phase prolongée de sécheresse. Les effets de cette sécheresse climatique sur le Sahel sont mesurables à l'échelle des deux dernières décennies ; ils se traduisent par une réduction nette de la pluviométrie totale, une diminution du nombre de jours de pluie et principalement des jours à forte pluviosité sans que l'on observe pour autant une diminution des phénomènes météorologiques paroxysmiques qui causent souvent plus de dégâts qu'ils ne reconstituent de réserves d'eau utilisables (équivalence de la pluie journalière décennale sur la période 1950-1969 et la période 1970-1983).

On assiste donc à une aridification climatique de la zone sahélienne qui accentue et se trouve aggravée par une aridité édaphique liée essentiellement à la dégradation des états de surface : la réduction du couvert végétal laisse les sols sans protection au moment des premières pluies, souvent violentes, et favorise un ruissellement diffus intense (jusqu'à 50 % sur certains glacis du type de Jalafanka). Ceci donne naissance à des organisations pelliculaires de surface qui limitent la capacité d'infiltration des sols et empêchent l'accumulation en profondeur de réserves hydriques utilisables par la végétation qui, par conséquent, se rétracte de plus en plus, laissant apparaître des plages de sols nus et érodés de plus en plus étendues où les processus de dégradation prennent leur ampleur maximale.

La région de la mare d'Oursi, soumise aux effets d'une sécheresse climatique durable et d'une pression anthropique sans cesse accrue, présente des caractères d'aridité climatique et édaphique et semble évoluer vers une aggravation quasi inéluctable.

## UNE APPARENTE HOMOGENÉITÉ

À un certain niveau d'intégration, les paysages de la mare d'Oursi offrent une apparente homogénéité. L'aridité climatique et édaphique que nous venons de décrire est une constante régionale typiquement sahélienne. Les sols sahéliens présentent également certains traits communs dus à leur pédogénèse qui leur confère assez généralement une bonne stabilité structurale mais de faibles teneurs en matière organique et des carences en azote et en phosphore. De même, observe-t-on une relative monotonie des types de végétation : cette région est le domaine des steppes à épineux, c'est-à-dire d'une formation herbeuse ouverte dominée par les thérophytes et des phanérophytes. Les graminées constituent une grande part des espèces, les peuplements ligneux sont déséquilibrés.

Cette relative homogénéité se retrouve également au plan des mécanismes de fonctionnement où la répartition de la pluviométrie conditionne des écoulements intermittents souvent brefs et violents sans débits de base et avec très peu d'infiltrations profondes vers les nappes. La courte saison des pluies impose également un cycle végétatif court où la germination et la phase d'installation de la végétation dépendent étroitement des premières averses importantes de début de saison et où les rendements énergétiques des unités de végétation sont faibles.

Les genres de vie et l'utilisation de l'espace sont aussi dépendants de ces caractères sahéliens : près de 75 % de la population pratique le nomadisme et la transhumance en exploitant, suivant les saisons, les zones de pâturage et leurs points d'eau ou les terroirs de culture implantés principalement sur les cordons dunaires, tout comme les villages permanents.

## UNE GRANDE DIVERSITÉ ET UNE FORTE VARIABILITÉ

Malgré cette apparente homogénéité, deux caractéristiques fondamentales des systèmes écologiques sahéliens résident dans leur grande diversité et variabilité.

La grande diversité des paysages a déjà été soulignée et conduit à des classifications différenciées des formes de reliefs, des types de sols et des états de surface, des unités de végétation et des combi-

naisons de ces unités à l'échelle de secteurs écologiques que nous avons regroupés en quatre grands types de paysages. La variabilité spatiale et temporelle des phénomènes observés et des mécanismes biophysiques étudiés se retrouve à toutes les échelles d'appréhension. La combinaison de la diversité écologique et de la variabilité des mécanismes détermine une large gamme de situations et engendre des réponses biologiques et humaines très variées.

Ainsi, les diverses formes de relief, héritées d'une variabilité climatique à l'échelle géologique, constituent des éléments de la diversité des paysages qui, associés à la variété de la nature des sols, provoquent une redistribution extrêmement inégale de l'eau dans ces paysages : ruissellement intense sur les glacis, accumulation temporaire en surface dans les bas-fonds et dans la mare d'Oursi, constitution de réserves hydriques utilisables par les plantes dans les meilleures situations.

Sur le plan biologique, la variabilité se situe notamment au niveau de la production grainière des différents peuplements et au niveau de la phénologie et des cycles de production de phytomasse ; ainsi, dans la période d'installation, le temps qui sépare la première levée de la mise en place du peuplement est deux fois plus court dans les bas-fonds que dans les autres unités. La moyenne interannuelle de la productivité des unités de végétation protégées varie de 1,6 à 5  $\text{g}_{\text{MS}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$  et la production annuelle de biomasse de 60 à 140  $\text{g}_{\text{MS}}\cdot\text{m}^{-2}$  (glacis) à 250  $\text{g}_{\text{MS}}\cdot\text{m}^{-2}$  (bas-fonds). Ceci est le résultat d'une forte variabilité de l'efficacité en eau, c'est-à-dire de la quantité de matière sèche élaborée à partir de un millimètre de pluie, qui passe de 1,7  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  sur les glacis à 8  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  dans les bas-fonds.

Il ressort, cependant, que les variations aléatoires des précipitations sont les plus difficiles, d'abord à mesurer (écart de pluie au sol et pluie mesurée à 1 m), puis à analyser et que, en fin de compte, ce sont elles qui transmettent leur caractère aléatoire à l'ensemble des composantes de l'écosystème et des mécanismes biophysiques : redistribution de l'eau par ruissellement, infiltration ou accumulation, phénomènes érosifs et d'évolution des états de surface, germination et installation de la végétation herbacée et des cultures, niveau de production de la phytomasse. De même, elles conditionnent une grande partie des activités humaines : dates des semis et resemis, dates et étalement des récoltes, choix des pâturages de saison des pluies et de saison sèche, des points d'abreuvement, départs en transhumance, etc.

## DES CAPACITÉS D'ADAPTATION AUX FLUCTUATIONS DE L'ENVIRONNEMENT

Les espèces végétales présentent d'indéniables caractères d'adaptation aux conditions sahéliennes définies par l'aridité et par le caractère aléatoire des précipitations.

Ces caractères adaptatifs se retrouvent dans l'hétérogénéité de la structure spatiale de la végétation dont les éléments, c'est-à-dire les unités floristiquement, écologiquement et physiologiquement différentes, présentent un comportement phénologique distinct en relation avec les microvariations des conditions de milieu. Cette structure en mosaïque permet de tirer le meilleur profit des disponibilités des différentes niches écologiques (eau, éléments nutritifs, relations de voisinage), de parvenir à une bonne occupation de l'espace et en conséquence d'assurer la pérennité de la structure.

La forte proportion d'espèces arido-passives (78,5 %) constitue aussi une bonne réponse à la contrainte sécheresse, bien qu'il s'agisse plus d'un phénomène d'évitement. Les arido-actives présentent un ensemble de caractères morphologiques (aphyllie, microphyllie), anatomiques (crassulésence, sclérophyllie) et physiologiques (photosynthèse de type C4, régulation stomatique) favorisant l'économie de l'eau.

Les espèces annuelles qui constituent près des deux tiers des peuplements herbacées développent des adaptations à la sécheresse portant sur les mécanismes de la germination par une abondante production de diaspores, une durée de vie élevée des semences et des mécanismes physiologiques : inhibition tégumentaire ou due aux glumelles chez les graminées, dormance, postmaturation. Ces méca-

nismes permettent d'éviter ou de limiter les levées dans des conditions marginales et d'attendre les meilleures conditions de température et d'humidité pour assurer l'établissement. La tolérance d'un grand nombre d'espèces au déficit hydrique au moment de la germination constitue une bonne adaptation de ces taxons à la sécheresse. Les propriétés germinatives de certaines espèces (*Cenchrus biflorus*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Aeschynomene indica*) varient en fonction du type morphologique des semences. De telles différences de comportement constituent une excellente adaptation à la pluviométrie erratique de ces régions arides.

Plus généralement c'est cette variabilité intra- et interspécifique qui représente la meilleure stratégie d'adaptation aux caractères aléatoires du milieu car elle permet toujours à certains taxons d'assurer la pérennité du peuplement.

Les modes d'exploitation du milieu apparaissent fondés sur une remarquable faculté d'adaptation aux conditions sahéniennes. S'inscrivant dans un contexte dominé par les aléas et par les insuffisances de la pluviosité, les pratiques tentent, par diverses voies, d'atténuer l'impact défavorable des perturbations de l'environnement. Les comportements s'orientent résolument vers la recherche de la sécurité, et non vers celle de performances élevées en terme de productivité. La viabilité des activités agricoles et pastorales est à ce prix.

Les principes techniques sur lesquels reposent les systèmes de culture et d'élevage témoignent de cette forte adaptabilité aux conditions de milieu. Des itinéraires techniques très simples, ne faisant pas appel aux intrants, et peu exigeants en travail, autorisent la mise en culture de surfaces étendues. La technique du semis en particulier, grâce à la rapidité de son exécution et à son coût limité, permet de tirer au mieux parti des premières pluies utiles et d'assurer une implantation précoce de la culture, condition impérative d'obtention d'un niveau de rendement satisfaisant. L'adaptation des pratiques aux conditions de milieu apparaît sans doute encore plus manifeste dans le domaine de l'élevage. La recherche conjointe du fourrage et de l'eau repose sur une mobilité de plus ou moins grande amplitude et sur un ajustement des rythmes de déplacements quotidiens et saisonniers à la distribution spatio-temporelle des disponibilités alimentaires. On ne reviendra pas ici sur ces aspects qui ont été largement traités dans la troisième partie.

Mais, les moyens mis en œuvre pour limiter l'effet, direct ou indirect, des aléas et des insuffisances de la pluviosité, ne relèvent pas que des caractéristiques et du fonctionnement des systèmes de culture et d'élevage, ni du seul domaine technique. La coexistence de différentes activités au sein des systèmes de production joue un rôle de régulation essentiel. La plupart des unités de production combinent, à des degrés divers, l'agriculture et l'élevage, qui concourent à la satisfaction des besoins alimentaires et monétaires. Une mauvaise campagne céréalière ne correspond pas forcément à une mauvaise année fourragère, et la complémentarité entre ces deux activités de production contribue à atténuer les risques de pénurie : consommation préférentielle de produits lactés durant l'hivernage et le début de la saison sèche, commercialisation du bétail pour permettre l'achat de mil et d'autres biens de consommation, ou inversement, vente d'éventuels surplus céréaliers pour rééquilibrer la structure ou accroître la taille des troupeaux (bovins et petits ruminants). La fonction d'épargne, de capital sur pied, qu'assument ceux-ci, s'avère en effet décisive et recherchée par tous à des fins sécuritaires, même si le cheptel contrôlé par les différents groupes sociaux varie de fait dans des proportions très larges, rendant cette fonction plus ou moins bien assurée. La cueillette de végétaux spontanés, pratique habituelle ou plus ou moins exceptionnelle, permet de diversifier les rations alimentaires, aide à franchir les périodes critiques de soudure alimentaire ou limite la ponction dans les greniers. Quant à la migration de saison sèche (migration de travail, à Abidjan notamment), dont l'ampleur varie largement en fonction des conditions de l'année, elle permet l'acquisition de revenus monétaires hors de l'Oudalan tout en réduisant la pression exercée sur les ressources locales. La coexistence, au sein des unités familiales, de plusieurs activités de production représente à l'évidence un facteur d'autonomie et de régulation de systèmes de production inscrits dans un environnement instable et soumis à des fluctuations climatiques fortes et imprévisibles.

À l'échelle de l'ensemble régional, la diversité des unités de production semble enfin jouer dans le même sens, celui de la cohérence d'un système agraire complexe qui, associant des systèmes de production à orientations préférentielles contrastées, introduit des règles de fonctionnement global et des pratiques de complémentarité et de réciprocité susceptibles de limiter les risques. Cela dit, il serait aussi caricatural d'opérer une distinction tranchée entre des " agriculteurs " et des " éleveurs " que de faire référence à un système de production sahélien stéréotypé. La réalité, plus nuancée, témoigne d'une large palette de situations individuelles en interrelation plus ou moins forte.

Les voies empruntées pour atténuer les risques apparaissent donc multiples et le plus souvent d'ailleurs non exclusives les unes des autres. Un premier ensemble de réponses repose sur une complémentarité liée à la diversité. Diversité du milieu biophysique en premier lieu, dont tirent parti les activités agricoles et pastorales, témoignant sur ce plan d'une extrême adaptabilité : exploitation modulée de facettes de paysages à aptitudes et contraintes différenciées, mobilité permettant d'accéder à des ressources très dispersées dans l'espace. Diversité constitutive, produit de l'activité elle-même, d'autre part, et opérant à différents niveaux spatiaux ou organisationnels. Un autre ensemble de réponses réside dans le caractère extensif des systèmes d'exploitation du milieu : la rusticité du " matériel " végétal et animal, la faiblesse des coûts de mise en œuvre des techniques, la rapidité de réponse à l'événement dans un contexte dominé par l'incertitude et la fugacité des phénomènes, confèrent à ces systèmes une grande flexibilité et une capacité indéniable à s'accommoder des aléas et des contraintes climatiques. Comportements qui se traduisent, en revanche, par de médiocres performances en terme de productivité. À ce propos, il convient de souligner que de tels systèmes techniques, qui reposent sur une adaptation extrême aux conditions du milieu, traduisent un haut degré de technicité. Technicité, non pas fondée comme on le suppose généralement sur l'aptitude à maîtriser le milieu par la voie de l'artificialisation, mais sur une connaissance intime de l'écosystème, de sa diversité, de ses possibilités et de ses contraintes.

## UN ÉCOSYSTÈME EN CRISE

L'efficacité des pratiques et des stratégies précédentes suppose que deux types de conditions principales soient remplies.

La première concerne les droits et les règles d'accès à l'espace. Ces droits doivent favoriser la mobilité des hommes et du bétail, permettant ainsi de tirer parti de la dispersion des ressources disponibles. Si l'espace agricole, nécessairement fixé, fait l'objet de droits d'usage individualisés, l'espace pastoral (qui englobe d'ailleurs le précédent durant la saison sèche) est ouvert, d'accès libre, et l'éleveur ne se trouve, en première analyse tout au moins, limité dans ses possibilités de déplacement et de fréquentation des parcours que par les contraintes qu'il accepte de supporter. En fait, cette liberté n'est pas totale, car certains groupes sociaux bénéficient plus ou moins tacitement de droits préférentiels sur des portions d'espace, et l'utilisation des puits et des puisards (qui conditionne directement l'accès à certains pâturages en saison sèche) est dépendante du bon vouloir de ceux qui les contrôlent.

La seconde condition est relative à la pression exercée par l'homme sur le milieu. Compte tenu de la faiblesse des ressources disponibles, de leur variabilité, et de l'extensivité des systèmes d'exploitation, cette pression doit être nécessairement légère. D'abord pour que le niveau des prélèvements ne mette pas en péril le renouvellement de ces ressources, ensuite pour que les besoins essentiels devant être couverts localement puissent l'être, même dans des conditions pluviométriques défavorables, c'est-à-dire de relative pénurie céréalière et/ou fourragère. Autrement dit, la viabilité des systèmes agropastoraux sahéliens repose sur une sous-exploitation des ressources du milieu.

Or, ces conditions sont loin d'être actuellement remplies, et un constat de crise affectant l'écosystème dans son ensemble s'impose. L'accroissement continu de la population aboutit en effet, compte tenu de l'impact des récentes années de sécheresse et de la nature des pratiques de mise en valeur du milieu, à une dégradation de celui-ci qui, dans certains cas, peut être considérée comme irréversible.

Les surfaces cultivées se sont étendues au même rythme que celui de l'accroissement démographique, notamment aux dépens de sols à aptitude agricole souvent marginale (erg récent, situations de piémonts sensibles au ruissellement et à l'érosion) ou de bas-fonds boisés qui constituent traditionnellement le pâturage de choix en saison des pluies. Dans la plupart des anciennes zones de culture sur sol dunaire, la jachère tend à disparaître totalement, et l'espace cultivable est en voie de saturation complète. Globalement, les systèmes de culture perdent de leur efficacité, les rendements décroissent, les sols de piémont se dégradent. Même lorsque les conditions pluviométriques s'avèrent satisfaisantes, l'autosuffisance céréalière n'est plus assurée et l'Oudalan fait chroniquement appel à l'importation de mil ou de sorgho en provenance de régions à dominante plus agricole, ou bénéficie plus ou moins massivement des aides alimentaires extérieures.

Le cheptel s'accroît également, même si les sécheresses prononcées jouent un rôle certain de régulation des effectifs. L'espace pastoral se trouve saturé et la dégradation des parcours s'amplifie, atteignant dans certaines situations sensibles un point de non retour. Comme pour les sols cultivés des piémonts, la disparition progressive de la végétation ligneuse et herbacée sur les glacis s'accompagne de celle du voile sableux et d'un accroissement du ruissellement qui ne peut qu'accentuer les effets d'un déficit pluviométrique éventuel. La réduction des disponibilités fourragères aggrave évidemment le déséquilibre entre la charge et les ressources, et la dégradation du milieu s'accélère. Les pratiques pastorales tendent elles aussi à se détériorer. Hors circonstances exceptionnelles, la mobilité du bétail diminue. La taille réduite de nombreux troupeaux ne justifie plus le recours à des transhumances longues et lointaines et, durant la saison sèche, le bétail se trouve, excepté dans l'extrême ouest de l'Oudalan, bloqué dans des portions d'espace limitées autour des points d'eau, rendant sans objet l'adoption de rythmes de conduite contraignants mais efficaces. Dans certains groupes, l'absence du gardiennage se généralise.

La dégradation conjointe du milieu et des pratiques explique que l'efficacité des systèmes agropastoraux se réduit en même temps que s'accroît leur vulnérabilité à toute agression de l'environnement. Les besoins alimentaires sont de plus en plus mal couverts par les deux activités de production principales et le recours à des palliatifs de survie s'impose tandis que s'amplifie le mouvement de migration lointaine, véritable hémorragie qui, dans certains groupes ethniques, élimine de l'Oudalan près de huit mois par an la quasi-totalité de la force de travail masculine.

La sécheresse joue bien entendu dans un tel contexte un rôle d'amplificateur, agissant en synergie avec les autres phénomènes et révélant, parfois dramatiquement, la situation de crise larvée préexistante. Des seuils de rupture sont atteints, affectant à la fois l'environnement et les systèmes de production les plus fragilisés. L'impact de l'aléa, de l'accident, se révèle tout à fait indépendant de l'état d'ensemble de l'écosystème qu'ils affectent. L'accentuation de certaines contraintes déplace les seuils de vulnérabilité et réduit les capacités de réponse, rendant inefficaces certaines pratiques sécuritaires qui jusque-là avaient pourtant fait leurs preuves.

Le constat de crise qui peut être dressé à l'échelle de la région tend à masquer la grande diversité des situations, témoignant de la coexistence de systèmes plus ou moins vulnérables et ne subissant pas les mêmes contraintes aux mêmes degrés. Certaines portions d'espace sont plus saturées que d'autres, et le stade de dégradation des différents milieux est plus ou moins avancé. Les divers types de systèmes de production ont, quant à eux, subi de façon très contrastée les épisodes de sécheresse de ces vingt dernières années, qui semblent bien avoir accru la diversité et la disparité dans l'ensemble régional. Dans un espace de plus en plus saturé, en voie de dégradation rapide, les relations de concurrence et d'antagonisme tendent par ailleurs à prendre le pas sur les liens de solidarité et de complémentarité (entre cellules de production et entre secteurs d'activité).

Cette évolution régressive globale semble contredire, pour l'Oudalan, la thèse selon laquelle l'accroissement démographique constituerait un moteur de l'innovation et de l'intensification. Loin de se transformer dans un sens de productivité accrue, les pratiques se détériorent, accélérant ainsi les processus de dégradation du milieu. Les stratégies individuelles, bien que rationnelles, s'avèrent en outre de plus en plus contradictoires avec ce qui apparaît souhaitable, sinon prioritaire, à l'échelle régionale.

L'accroissement du cheptel l'illustre bien : l'exploitation d'un troupeau de fort effectif représente pour l'éleveur un gage de satisfaction des besoins et de limitation des risques, mais induit au niveau de l'espace des phénomènes de surcharge et de dégradation du milieu. Les conditions changeant, la stratégie sécuritaire devient contrainte et source de nouveaux risques.

## SORTIR DE LA CRISE ?

L'histoire ne se répète pas, et le retour même prolongé de conditions climatiques satisfaisantes ne suffira pas à régler les problèmes de cette région. Tout au plus, les masquera-t-il à nouveau quelque temps. Les capacités d'accueil et de production du milieu se sont considérablement réduites. Les pratiques elles-mêmes se sont détériorées, les systèmes d'exploitation du milieu ont perdu de leur efficacité. Le champ du possible s'est contracté pour tous les habitants, pour toutes les unités de production. Les réponses apportées à la crise relèvent, dans une large mesure, de tactiques conjoncturelles et de comportements de fuite. La nécessité se fait en effet de plus en plus sentir de rechercher ailleurs ce que l'on ne peut plus trouver en quantités suffisantes dans la région elle-même. D'autant que la monétarisation de l'économie familiale s'accroît, que de nouveaux besoins apparaissent. Les pratiques et les stratégies qui avaient par le passé fait la preuve de leur efficacité ne peuvent plus être le fait que d'une minorité, car, pour la plupart, les situations individuelles et les conditions de l'environnement rendent ces anciens comportements adaptatifs impossibles ou sans objet.

Si l'on écarte l'idée d'un délestage massif de cette zone (et nous pensons qu'il faut l'écartier fermement), les voies à emprunter pour juguler la crise ne peuvent être que multiples et complémentaires. Restaurer une certaine aptitude à faire face à l'aléa suppose, dans l'état actuel des choses, que l'on relève également les niveaux de production, pour les rendre plus en accord avec ceux des besoins exprimés. Tempérer les effets des variations interannuelles du climat et assurer la viabilité dans l'avenir des systèmes d'exploitation exigent par ailleurs de restaurer puis de stabiliser certaines conditions du milieu. Il s'agit donc à la fois de faire évoluer les techniques de production, notamment dans le sens d'une économie et d'une meilleure valorisation des ressources rares (l'eau en particulier) et, en outre, d'agir sur le milieu pour enrayer des processus de dégradation et accroître des capacités productives.

Localement, les travaux de recherche réalisés dans le cadre du projet " Mare d'Oursi ", mais aussi les expérimentations et les actions entreprises par différents projets de développement dans la région (CIDR-FED/ORD du Sahel - ONG diverses) ont montré sans ambiguïté que des possibilités d'intensification des systèmes de production et de réhabilitation des milieux existent. Pour être efficaces à long terme, ces actions doivent s'appuyer sur des principes de base simples qu'il n'est pas inutile de rappeler :

- Il faut bien connaître les contraintes naturelles que l'on veut desserrer mais aussi le milieu humain et socioculturel sur lequel elles s'exercent. On sait que toute action de développement qui ne rencontre pas l'adhésion active des populations bénéficiaires est vouée à l'échec.
- Il faut se placer dans la perspective d'un développement durable, c'est-à-dire d'un développement qui tende à satisfaire les besoins actuels sans pour autant compromettre les capacités de production du milieu qui peuvent évoluer. Ceci implique qu'il faut écartier la notion de stricte sauvegarde de la situation actuelle, intensifier la production là où les potentialités sont fortes et encore mal exprimées, alléger la pression là où les ressources s'épuisent. Cela signifie qu'il faut adapter spécifiquement et spatialement les actions entreprises en fonction des capacités et de la résilience locales.
- Il faut enfin adopter une stratégie d'adaptation optimale à la sécheresse plutôt que de résistance maximale. Celle-ci supposerait, en effet, dans un tel contexte climatique aléatoire (et donc imprévisible), la mobilisation de moyens disproportionnés aux bénéfices attendus...

À chaque type de contraintes peuvent répondre des solutions techniques adaptées.

Ainsi, pour diminuer la précarité des réserves en eau d'abreuvement, on peut procéder au surcreusement de mares naturelles temporaires ; moyennant un terrassement de 5 000 à 10 000 m<sup>3</sup> permettant un

approfondissement d'un mètre d'une mare temporaire, il est possible de prolonger de trois mois en saison sèche la durée de l'abreuvement des troupeaux à cette mare. Cela peut permettre d'exploiter jusqu'en fin de saison sèche des pâturages environnants qui sinon auraient dû être abandonnés dès février alors qu'ils fournissent encore un fourrage sec de qualité. Encore faut-il qu'en créant ce point d'eau, on permette l'établissement de campements temporaires à proximité : pour cela, il faut séparer le point d'abreuvement du bétail du lieu de puisage de l'eau pour l'alimentation humaine. Là où la création d'un forage est techniquement impossible ou trop coûteuse, la construction d'une citerne cimentée couverte alimentée par le ruissellement d'un impluvium dénudé permet de disposer d'une eau de bonne qualité et à l'abri des pollutions. Ces techniques encore fort utilisées au nord du Sahara, peuvent tout à fait être diffusées au Sahel, d'autant que les vestiges d'aménagements semblables sont encore visibles sur le terrain en beaucoup d'endroits ; la mare de Timbososo, aménagée selon ces principes par le projet de développement de l'élevage de l'ORD du Sahel, est de toute évidence un aménagement hydroagricole ancien probablement antérieur à l'occupation tamachek de la région.

Les techniques permettant d'améliorer le bilan hydrique des sols, et donc de lever la contrainte de l'aridité édaphique, sont très variées et s'adaptent à la morphologie et à la topographie du terrain. Leur principe commun est de limiter le ruissellement diffus ou en nappe et de forcer l'infiltration de l'eau dans le sol. Les scarifications ou traits de charrue en courbe de niveau, les cordons pierreux ou diguettes filtrantes, les diguettes cloisonnées contribuent à briser l'énergie cinétique du ruissellement, agent moteur de l'érosion hydrique, et à casser les organisations pelliculaires de surface qui sont les freins hydrauliques à l'infiltration. Expérimentées dans des situations adaptées, ces techniques ont montré qu'elles pouvaient augmenter le stock hydrique dans le premier mètre de sol de 50 à 100 mm au cours d'un cycle de saison des pluies ; cette augmentation de la réserve d'eau utilisable par les plantes est en général suffisante pour assurer le succès d'une récolte, d'autant qu'elle justifierait alors le recours à la fertilisation minérale dans des conditions de sécurité acceptables. Ces techniques, en augmentant la rugosité de la surface du sol et en cloisonnant l'espace offert au ruissellement, offrent l'avantage supplémentaire de piéger les débris végétaux et organiques ainsi qu'un grand nombre de graines et semences, ce qui permet une remontée de l'activité biologique dans l'horizon de surface souvent spectaculaire. Notons encore que des vestiges de tels aménagements anciens sont observables dans la région de la mare d'Oursi ; un quadrillage de cordons pierreux, délimitant des parcelles de 20 m x 20 m environ sur le piémont limono-sableux du massif de Kolel, semble prouver que des techniques culturelles adaptées à un milieu aride étaient pratiquées par les populations rurales anciennes. Nous pensons qu'il n'y a pas de raison pour que ces pratiques ancestrales ne soient pas réintroduites avec succès, en bénéficiant de techniques de mise en œuvre modernes.

Les techniques de restauration et de stabilisation des milieux dépendent de leur niveau de dégradation. Rappelons en effet que si les capacités de stabilisation du système dépassent les seuils trophiques et biologiques autorisant la régénération naturelle, l'évolution vers un état plus favorable nécessite un certain nombre d'aménagements et/ou une amélioration du potentiel biologique.

Lorsque le milieu est modérément dégradé, une simple mise en défens permet de catalyser les processus de régénération. L'annulation ou, le plus souvent, la réduction de l'exploitation des ressources naturelles dans une aire donnée facilite le développement de certaines espèces, renouvelle les stocks de semences et surtout augmente la diversité biologique qui est le principal atout face aux conditions sahéliennes. Cette mise en défens doit être effectuée sur une aire suffisamment grande pour éviter qu'elle ne devienne le refuge de prédateurs trop nombreux, tels que les rongeurs.

Cependant, la protection totale de zones étendues est d'une part fort coûteuse et d'autre part constitue une source de conflit avec les pasteurs, car cela réduit l'espace pastoral. Il est alors plus judicieux d'avoir recours à une mise en défens temporaire, voire à une utilisation différée de l'aire sélectionnée. Un consensus est alors nécessaire pour délimiter l'aire correspondante.

Lorsque le milieu est fortement dégradé, une simple mise en défens ne suffit plus. Il est nécessaire d'améliorer le potentiel biologique du système. Parmi les techniques utilisables citons le reboisement et

la mise en place de végétaux herbacés pérennes. Sans dénigrer les reboisements en régie qui, bien menés dans des conditions climatiques favorables et avec des espèces à croissance rapide, ont donné des résultats parfois significatifs pour la production de bois de service et de chauffe, nous recommandons plutôt les reboisements à l'échelle des terroirs villageois. En effet, l'objectif recherché est ici la régénération des systèmes et leur stabilité. Il est donc souhaitable de recourir prioritairement aux espèces autochtones, ayant des propriétés améliorant la qualité du sol et qui sont par ailleurs mieux adaptées aux conditions du milieu sahélien. Avant donc de reboiser de grands espaces pastoraux dont la pérennité n'est pas évidente, commençons par établir des brise-vent (*Acacia raddiana*, *Acacia adansonii*...), des haies vives (*Bauhinia rufescens*, *Acacia ataxacantha*, *Prosopis*...), par mettre en place des arbres fruitiers rustiques mais utilisés (*Balanites*, *Ziziphus*...). En effet, il est nécessaire que les populations qui les mettent en place et les entretiennent tirent un bénéfice immédiat de leur investissement.

L'implantation de végétaux herbacés pérennes constitue aussi une technique à développer. Citons pour exemples le succès de la régénération des bourgoutières dans le cercle de Tombouctou au Mali (utilisables dans les mares permanentes) et la régénération des *Andropogon gayanus* implantés à partir d'éclats de souches dans des zones favorables (creux interdunaires).

Ces différentes techniques doivent le plus souvent être associées aux actions de défense et de restauration des sols pour augmenter leur efficacité. Mais quelle que soit la technique utilisée la pérennité de l'opération implique nécessairement que la réalisation soit protégée 2 à 3 ans. C'est souvent la condition à laquelle il est difficile de satisfaire.

Un tel ensemble de propositions, on le voit, conduit d'une certaine manière à substituer aux solutions adaptatives anciennes des pratiques fondées sur la recherche d'une maîtrise et d'une artificialisation plus poussée du milieu. Mais cela implique aussi que les droits et les règles relatifs à l'utilisation des ressources et donc de l'espace soient reconsidérés à la lumière des conditions présentes et des nouvelles exigences que l'on se fixe.

L'extension des surfaces cultivées ne peut se poursuivre de manière aussi anarchique, qu'il s'agisse des zones fragiles et à aptitude agricole marginale ou des bas-fonds où l'ouverture de nouveaux champs accélère la disparition du peuplement ligneux le plus dense et porte préjudice aux pâturages les plus productifs fréquentés en saison des pluies. En matière d'utilisation des parcours, on ne peut raisonnablement envisager d'effet bénéfique durable des diverses techniques de restauration que si des mesures d'accompagnement conduisent à des modes de gestion moins individualistes et plus soucieux de la reproduction des ressources du milieu. Il convient donc d'identifier les espaces pertinents et les niveaux de concertation correspondants, car on imagine mal que de nouvelles règles agropastorales puissent ne pas résulter d'un consensus entre les différentes parties en présence. La notion de " zone d'endodromie ", qui rend compte pour l'Oudalan d'une réalité indéniable, pourrait se révéler utile dans cette perspective. La multiplication des groupements de producteurs dans la région montre en outre que de nouvelles instances de réflexion et d'arbitrage peuvent se créer. La prise de conscience du déséquilibre population-ressources (compte tenu des modes actuels de mise en valeur du milieu) est généralisée et devrait aider à la recherche de telles voies.

Il reste que l'ampleur des contraintes sahéliennes ne peut laisser espérer que des actions techniques locales suffiront à régler les problèmes qui se posent localement. Un premier ensemble de mesures est à rechercher dans le sens d'une sécurisation accrue de l'environnement économique du producteur et du consommateur : constitution de stocks céréaliers suffisants pour faire face au déficit chronique de la production locale, approvisionnement en intrants, atténuation des fluctuations saisonnières et interannuelles des cours du mil et du bétail (qui résultent du caractère très spéculatif du marché).

D'autres mesures pourraient s'avérer tout aussi nécessaires, en vue de mieux tirer parti des complémentarités entre zones agroécologiques différentes, à l'échelle de l'État et/ou d'un ensemble régional plus vaste. Problème d'ailleurs largement lié aux précédents, puisqu'il renvoie notamment au fonctionnement des filières de commercialisation des céréales et du bétail. Il convient sans doute de

se départir d'une conception purement endogène du développement. Les flux interrégionaux, déjà anciens, se sont amplifiés au cours des deux dernières décennies. Les stratégies économiques des populations de l'Oudalan apparaissent de plus en plus extraverties et reposent sur des espaces d'activité multiples, souvent éloignés. Les migrations de travail lointaines se sont considérablement accrues. Gardons-nous d'interpréter de tels phénomènes comme l'expression de choix véritables, car ils résultent dans bien des cas de tels niveaux de contraintes que le départ s'impose comme le seul recours possible. S'il ne faut donc pas chercher à encourager systématiquement de telles dynamiques, on ne peut à l'inverse les ignorer.

Certaines formes d'échanges jouent un rôle majeur de régulation pour les systèmes de production de l'Oudalan, et sans doute peut-on envisager une certaine rationalisation de ces échanges, sans pour autant retomber dans des conceptions schématiques anciennes prônant la spécialisation des zones écologiques par types d'activité et de production.

Il est bien évident que le rôle de " la recherche développement " ne peut se substituer à celui des décideurs économiques et politiques. Mais les résultats du projet " Mare d'Oursi " en fournissant des données chiffrées et une connaissance détaillée des réalités du Sahel burkinabé et de leur évolution, devraient surtout aider à orienter des prises de décisions. Nous espérons aussi que les quelques réflexions qui précèdent pourront sensibiliser les responsables du développement à l'importance qu'il faut accorder à la perception des besoins et des désirs réels des populations si diverses qui vivent au Sahel, veulent continuer à y vivre et y vivre mieux grâce à un développement harmonieux et durable.

## RÉFÉRENCES bibliographiques

- ACKERMAN T.L., BAMBERG S.A. - 1974 - Phenological studies in the Mojave desert at Rock Valley (Nevada test site). *In* : " Phenology and seasonality modelling ", H. Lieth Ed., Berlin, Springer-Verlag : 215-226.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. - 1985 - Période pluvieuse au Burkina Faso : incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XXI, 1 : 3-19.
- BARRAL H. - 1974 - Mobilité et cloisonnement chez les éleveurs du nord de la Haute-Volta : les zones dites " d'endodromie pastorale ". *Cab. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XI, n° 2 : 127-135.
- BARRAL H. - 1977 - Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 77, 120 p. + cartes.
- BARRAL H., BENOIT M. - 1976 - Nature et genre de vie au Sahel. L'année 1973 dans le Nord de la Haute-Volta. ORSTOM, Ouagadougou, 17 p. *multigr.* + cartes.
- BARRAL H. *et al.* - 1983 - Système de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo. ACC-LAT, GRIZA, Ministère de la Recherche et de l'Industrie, GERDAT-ORSTOM, 172 p.
- BENOIT M. - 1984 - Le Séno-Mango ne doit pas mourir : pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel. Paris, *Mémoires ORSTOM* n° 103, Paris, 118 p.
- BERNUS E. - 1981 - Touaregs nigériens. Unité culturelle et diversité régionale d'un peuple pasteur. Paris, *Mémoires ORSTOM* n° 94, Paris, 508 p., 30 fig., 8 pl. fotogr., 5 cartes ann.

- BILLE J.C. - 1977 - Étude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 65, 81 p.
- BLANDIN P. - 1980 - Évolution des écosystèmes et stratégies cénotiques. *In* : " Recherches d'Écologie théorique. Les stratégies adaptatives ", R. Barbault, P. Blandin, J.A. Meyer éd. : 221-234.
- BOHM W. - 1979 - Methods of studying root systems. *Ecological studies* 33, Springer-Verlag, Berlin, 188 p.
- BOOTE K.J. - 1976 - Root : Shoot relationships. *Soil and Crop Science Society of Florida*, 36 : 15-23.
- 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. *Cab. ORSTOM., sér. Biol.*, vol XII, (4) : 293-300.
- BOUDET G. - 1978 - Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. IEMVT, Ministère de la Coopération, Paris, 254 p.
- BOUDET G. - 1980 - Systèmes de production et d'élevage au Sénégal : étude du couvert herbacé. ACC - LAT, DGRST-IEMVT, rapport *multigr.*, 48 p.
- BOUDET G. - 1983 - L'agropastoralisme en Mauritanie ; perspectives de recherches. IEMVT, Maisons-Alfort, rapport *mutigr.*, 46 p.
- BOUDET G. - 1984 - Recherche d'un équilibre entre production animale et ressources fourragères au Sahel. *Bull. Soc. languedocienne de Géographie*, 18 (3-4) : 167-177.
- BOUDET G., RIVIÈRE R. - 1968 - Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 21 (2) : 227-266.
- BOUDET G., CARRIÈRE M., CHRISTY P., OULD CHEIKH A. N. - 1987 - Recherches pluridisciplinaires sur les pâturages, leur conservation et l'élevage en République de Mauritanie. IEMVT, Maisons-Alfort, rapport du 4<sup>e</sup> trimestre, 82 p. *multigr.*
- BOULET R. - 1968 - Étude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Nord. ORSTOM, Dakar, 351 p. *multigr.*, 43 tabl., 34 fig. + 1 carte h.-t. au 1/500 000 et ann.
- BOULET R. - 1978 - Notice des cartes de ressources en sol de la Haute-Volta. Ministère de la Coopération-ORSTOM, Paris, 97 p.
- BOURLIÈRE F. - 1978 - La savane Sahélienne de Fété Olé, Sénégal, 187-229. *In* : Problème d'écologie : Structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Masson et Cie éd., Paris.
- BOURLIÈRE F., HADLEY M. - 1970 - The ecology of tropical savannas. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1 : 25-52.
- BRASSEUR G. - 1982 a - Les marchés au bétail en Oudalan, Département du Sahel. Étude préliminaire. ORSTOM, Ouagadougou, 40 p. + ann. et pl. fotogr.
- BRASSEUR G. - 1982 b - Physionomie des marchés au bétail en Oudalan, Département du Sahel en juin-juillet 1982. Étude complémentaire. ORSTOM, Ouagadougou, 22 p. + pl. fotogr..

- BRAY J.R., 1963 - Root production and estimation of net productivity. *Can. J. of Botany*, 41 : 65-72.
- BREMAN H., KRUL J.M. - 1982 - La pluviosité et la production de fourrage sur les pâturages naturels. In : " La productivité des pâturages sahéliens ", Penning De Vries F.W.T. et Djitèye M.A. éd., CABO, Wageningen : 304-322.
- BRUNET-MORET Y., ROCHE M. - 1975 - Persistance dans les suites chronologiques de précipitations annuelles. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XII, n° 3 : 147-165.
- CARBONNEL J.P., HUBERT P. - 1985 - Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex- Haute-Volta). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 301, II, n° 13 : 941-944.
- CARBONNEL J.P., HUBERT P. - 1989 - Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries. À paraître in : " L'aridité, une contrainte au développement ", ORSTOM, Paris, *Didactiques* : 35-49.
- CASENAVE A., VALENTIN C. - 1989 - Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, *Didactiques*, 230 p., 196 photos.
- CÉSAR J. - 1971 - Étude quantitative de la strate herbacée de la savane de Lamto (Moyenne Côte d'Ivoire). Thèse doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Faculté des Sciences de Paris, 95 p. + ann.
- CHARNEY J.G. - 1975 - Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quat. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101 : 193-202.
- CHEVALLIER P. - 1982 - Simulation de pluies sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIX, n° 4 : 253-297.
- CHEVALLIER P. - 1983 - L'indice des précipitations antérieures. Évaluation de l'humectation des sols de bassins versants représentatifs. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XX, n° 3-4 : 179-189.
- CHEVALLIER P. - 1985 a - Analyse et modélisation du ruissellement en région sahélienne (Mare d'Oursi - Burkina Faso). *La Houille Blanche*, n° 6-7.
- CHEVALLIER P. - 1985 b - Analyse et modélisation du ruissellement en région sahélienne (Mare d'Oursi - Burkina Faso). Mémoire pour la Société hydrotechnique de France, ORSTOM, Adiopodoumé. 1 pl. coul., 1 carte h.-t., 73 p., 15 fig.
- CHEVALLIER P. - 1986 - Simulation de pluie, télédétection, modélisation. Exemple de la Mare d'Oursi - Burkina Faso. Journées d'hydrologie de l'ORSTOM-Montpellier (17-18 sept. 1985). ORSTOM, Paris, *Colloques et séminaires* : 90-104.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A. - 1985 - Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 190, 251 p. + 2 cartes h.-t.
- CHEVALLIER P., LOINTIER M., LORTIC B. - 1986 - Water levels of a sahelian lake (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Hydrologic Applications of Space Technology (Proceedings of the Cocoa Beach Workshop, Florida, USA). *IAHS Publ.* n° 160 : 99-107.

- CHEVALLIER P., VALENTIN C. -1985 - Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahélien. *Bull. GFHN* n° 17.
- CISSE M.H. - 1980 - The browse production of some trees of the Sahel : Relationships between maximum foliage biomass and various physical parameters, *In* : " Browse in Africa, the current state of knowledge ", Le Houerou éd., ILCA, Addis-Abéba : 205-210.
- COLLINET J., 1988 - Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'Ouest. Évolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies. Thèse doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 513 p. + ann.
- COLLINET J., VALENTIN C., ASSELINE J., CHEVALLIER P., SICOT M. - 1980 - Étude LAT 03 : ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et sub-désertiques. Rapport de terrain sur la première opération : Mare d'Oursi. DGRST, ORSTOM, Adiopodoumé, *multigr.*, 14 p., 5 tabl., 15 fig.
- CORNET A. - 1981 a - Mesure de la biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 2, 16, n° 3 : 251-266.
- CORNET A. - 1981 b - Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse Doc. Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 353 p.
- CORNET A., POUPON H. - 1978 - Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long d'un gradient climatique en zone sahélienne au Sénégal. *Bull. IFAN*, 39, A, 2 : 241-302.
- COUREL M.F. - 1985 - L'adaptation de la végétation sahélienne à la sécheresse récente : la contraction des ligneux. *Photo interprétation* n° 1, 2 : 9-15.
- COUREL M.F. - 1986 - Variations de l'albedo de surface dans le sahel et sécheresse. *In* : " Les Hommes face aux sécheresses ", B. Bret éd., IHEAL, CREDAL, ORSTOM, Paris, 16-18 janvier 1986, EST-IHEAL, 1989 : 155-163.
- DAHLMAN R.C., KUCERA C.L. - 1965 - Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology*, 6 : 84-89.
- DAVIS S.D., MOONEY H.A. - 1986 - Water use patterns of co-occurring chaparral shrubs. *Oecologia*, 70 : 172-177.
- DELFOUR J., JEANBRUN M. - 1970 - Note explicative de la carte géologique au 1/200 000 (Oudalan). BRGM, Paris, 63 p. + carte h.-t.
- DEWISPELAERE G., NOËL J., PAIN M. - 1983 - Application des données de simulation Spot à l'étude de la végétation sahélienne du Ferlo Sénégalais. Région de Gueye Kadar. *In* : " Méthodes d'intervention et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement. " Acte du colloque de Dakar, 16-18 novembre 1983, Van Praet éd. : 333-350.
- DEWISPELAERE G., TOUTAIN B. - 1976 a - Un exemple de dégradation du couvert végétal sur une dune continentale fixée dans le sahel voltaïque entre 1955 et 1975. *Photo interprétation* n° 3, 2 : 1-7.

- DEWISPELAERE G., TOUTAIN B. - 1976 b - Estimation de l'évolution du couvert en 20 ans consécutivement à la sécheresse dans le sahel voltaïque. *Photo interprétation* n° 3, 2 : 8-18.
- DEWISPELAERE G., TOUTAIN B. - 1981 - Étude diachronique de quelques géosystèmes sahéliens en Haute-Volta septentrionale. *Photo interprétation* n° 1, 3 : 1-7.
- DIARRA L., BREMAN H. - 1975 - Influence de la pluviosité sur la production des pâturages. Actes du colloque de Bamako (Mali). Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains, 3-8 mars 1975 : 171-174.
- DOS SANTOS A. - 1981 - Étude phyto-écologique sur la végétation du Sahel de la Haute-Volta (Bassin versant de la Mare d'Oursi). Thèse 3<sup>e</sup> cycle Écologie générale et appliquée, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 370 p. + ann.
- DOWNTON W.J.S. - 1975 - The occurrence of C4 photosynthetic among plants. A review. *Photosynthetica* 9 (1) : 96-105.
- DUPRÉ G., GUILLAUD D. - 1986 - Archéologie et tradition orale : contribution à l'histoire des espaces du pays d'Aribinda (province de Soum, Burkina Faso). *Cab. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XXII, n° 1 : 5-48.
- EMBERGER L. - 1966 - Réflexion sur le spectre biologique de Raunkiaer. *Mém. Soc. Bot. Fr.* : 149-156.
- EVENARI M. - 1985 - Adaptations of plants and animals to the desert environment, 79-82. *In* : " Hot deserts and arid shrublands, A. ", M. Evenari, I. Noy-Meir, D.W. Goodall Eds, Elsevier Amsterdam, 365 p.
- FLORET Ch. - 1981 - The effects of protection on the steppic vegetation in the Mediterranean arid zone of southern Tunisia. *Vegetatio* 46 : 117- 129.
- FLORET Ch., PONTANIER R. - 1978 - Relation climat-sol-végétation dans quelques formations végétales spontanées du Sud Tunisien. Production végétale et bilan hydrique des sols. PNUD, Ministère Agriculture Tunisie, Doc. technique n° 1, 96 p. + ann.
- FLORET Ch., PONTANIER R. - 1982 - L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 150, 544 p.
- FOURNIER A. - 1982 - Cycle saisonnier de la biomasse herbacée dans les savanes de Ouango-Fitini. *Ann. Univ. Abidjan*, sér. E, 25 : 63-94.
- FRANKIE et al. - 1974 - Tropical plant phenology : application in studies in community ecology. *In* : " Phenology and seasonality modelling ", H. Lieth Ed., Berlin, Springer-Verlag : 287-298.
- GALLAIS J. - 1975 - Pasteurs et paysans du Gourma. La condition sahélienne. Mém. du CEGET, CNRS, Paris, 239 p.
- GASTON A. - 1983 - Le couvert herbacé au Ferlo sénégalais. *In* : " Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement ", L. Van Praet éd. : 201-208.
- GASTON A., BOTTE F. - 1971 - Étude agrostologique de la réserve de Tin Arkachen (République de Haute-Volta). IEMVT, rapport *multigr.*, 146 p. + 1 carte h.-t au 1/100 000.

- GERWITZ A., PAGE E.R. - 1974 - An empirical mathematical model to describe plant root systems. *J. Appl. Ecol.*, 11, 2 : 773-781.
- GILET H. - 1967 - Essai d'évaluation de la biomasse végétale en zone sahélienne. *JATBA*, 14 (4-5) : 125-158.
- GIRARD G. - 1982 - Modélisation des écoulements de surface sur des bassins hydrologiques équipés de réservoirs. Modèle Modlac. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIX, n° 2 : 55-72.
- GODRON M. *et al.* - 1983 - Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et transcription sur cartes perforées. CNRS, Montpellier, 292 p.
- GORNITZ V. - 1985 - A survey of anthropogenic vegetation changes in West Africa during the last century. Climatic implications. *Climatic Change*, 7 : 285-325.
- GOUNOT M. - 1969 - Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie éd., Paris. 314 p.
- GROUZIS M. - 1976 - Transpiration, potentiel hydrique et résistance à la circulation de l'eau chez trois graminées fourragères tropicales. ORSTOM, Dakar, 27 p. *multigr.* + ann.
- GROUZIS M. - 1979 - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. ACC, DRGST-ORSTOM, 59 p., 15 tabl., 17 fig. h-t.
- GROUZIS M. - 1980 - Sur le *Pennisetum violaceum lato sensu* en Afrique de l'Ouest : formes, écologie et distribution géographique. *Bull. IFAN*, sér. A 41, A2 : 1-14.
- GROUZIS M. - 1982 - Restauration des pâturages sahéliens. Mise en défens et reboisement. ORSTOM, Ouagadougou, 37 p.
- GROUZIS M. - 1984 - Pâturages sahéliens du Nord du Burkina Faso. Capacité de charge, production fréquentielle et dynamique de la qualité fourragère. ORSTOM, Ouagadougou, 37 p.
- GROUZIS M. - 1986 - Dynamique et tendances évolutives des phytocénoses sahéliennes du Burkina Faso. Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens. Dakar (3-8 novembre 1986), 15 p.
- GROUZIS M. - 1986 - Régénération des systèmes écologiques sahéliens. Travail du sol et reboisement. Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens. Dakar (3-8 novembre 1986), 10 p.
- GROUZIS M. - 1988 a - Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Thèse de doctorat d'État es-sciences, Université de Paris-Sud. ORSTOM, Paris, *Études et thèses*, 336 p.
- GROUZIS M. - 1988 b - Dynamique et tendances évolutives des phytocénoses sahéliennes du Burkina Faso. *In* : " Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens ", Touré I.A., Maldague M.éd., UNESCO/FAPIS, CIEM, Dakar : 325-340.
- GROUZIS M. , ALBERGEL J. - 1989 - Du risque climatique à la contrainte écologique : incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. *In* : " Le risque en agriculture ", Eldin M. et Milleville P. éd., ORSTOM, Paris, *à travers champs* : 243-254.

- GROUZIS M., ALBERGEL J., CARBONNEL J.-P. - 1989 - Péjoration climatique au Burkina Faso : Effets sur les ressources en eau et les productions végétales. *In* : " Les Hommes face aux sécheresses ", Bret B. éd., EST, IHEAL, Paris : 165-178.
- GROUZIS M., LEGRAND E., PALE F. - 1986 - Aspects écophysologiques de la germination des semences sahéliennes. Adaptation aux conditions d'aridité. Colloque " Les végétaux en milieu aride ", Tunisie (Jerba) : 534-552.
- GROUZIS M., METHY M. - 1983 - Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien. Perspectives et limites. *Acta Œcologica, Œcol. Plant.*, vol. 4 (18), n°3 : 241-257.
- GROUZIS M., NGARSARI M. - 1981 - Herbar du Centre ORSTOM : liste des espèces. ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 25 p. + ann.
- GROUZIS M., SICOT M. - 1980 - A method for the phenological study of browse populations in the Sahel : the influence of some ecological factors. *In* : " Browse in Africa, the current state of knowledge ", Le Houerou éd., ILCA, Addis-Abeba : 233-243.
- GUILLAUMET J.-L., KOEHLIN J. - 1971 - Contribution à la définition des types de végétation dans les régions tropicales (exemple de Madagascar). *Candollea* 26 (2) : 263-277.
- HEDIN L. - 1967 - Recherches écologiques dans la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : la valeur fourragère de la savane. *La Terre et la Vie* 21 : 249-261.
- HIERNAUX P. - 1984 - Distribution et production herbacée au Sahel : une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le Sahel malien. CIPEA, Bamako, rapport *multigr.*, 46 p.
- HIEZ G. - 1977 - L'homogénéité des données pluviométriques. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIV, n°2.
- HUBERT P., CARBONNEL J.P. - 1986 - Approches statistiques de l'étude des séries pluviométriques de longue durée de l'Afrique de l'Ouest. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 197 : 199-202.
- HUBERT P., CARBONNEL J.P. - 1987 - Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology* n° 95 : 165-183.
- JENSEN A. - 1980. - Seasonal changes in near infrared reflectance ratio and standing crop biomass in a salt marsh community dominated by *Halimione portulacoides* (L.) Aellen. *Phytol.*, 86 : 57-67.
- JOLY F., DEWOLF Y., RIOU G. - 1980 - Le bassin de la Mare d'Oursi. Etude géomorphologique et géodynamique. Contraintes naturelles. Université Paris VII, Laboratoire de Géographie physique, 65 p. + 1 carte.
- KAYONGO-MALE H., THOMAS J.W. - 1975 - Mineral composition of some tropical grasses and their relationships to the organic constituents and estimates of digestibility. *E. A. agric. For. J.*, 40 (4) : 428-438.
- KLEIN H.D., KEITA I., MESNIL J.G. - 1981 - Trois années d'activités agropastorales en République du Niger. Production et valorisation des pâturages sahéliens (Ranch d'Efracane) et des fourrages irrigués (Station de Kirkissoye). IEMVT, Maisons-Alfort, *Agro*, 81-5 : 290 p.
- KOEHLIN J. - 1986- Adaptation des systèmes agropastoraux aux milieux du Niger et dans la Paraiba. *In* : " Les Hommes face aux sécheresses ", B. Bret éd., EST-IHEAL, 1989 : 317-322.

- LANGLOIS M. - 1980 - Fonction et organisation de deux marchés en zone sahélienne voltaïque : Oursi et Déou. ORSTOM, Ouagadougou, 31 p. *multigr.* + ann.
- LARCHER W. - 1980 - Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin, 252 p.
- LAUENROTH W.K., WHITMAN W.C - 1977 - Dynamics of dry matter production in a mixed grass prairie in Western North Dakota. *Æcologica*, 27 : 339-351.
- LEE A.F.S., HEGHINIAN S.M. - 1977 - A shift of the mean level in a sequence of independant normal random variables. A Bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4 : 503-506.
- LEGRAND P. - 1979 - Biomasse racinaire de la strate herbacée de formations sahéliennes. Étude préliminaire. ORSTOM, Ouagadougou, 28 p. + 17 tabl. et 19 fig.
- LE HOUEROU H.N. - 1979 - Écologie et désertification en Afrique. Travaux de l'Institut de géographie de Reims : 39-40, 5-26.
- LE HOUEROU H.N. - 1980 - Composition chimique et valeur alimentaire des fourrages ligneux en Afrique tropicale occidentale. Colloque international sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis-Abeba, 8-12 avril 1980, 13 p. + ann.
- LE HOUEROU H.N., HOSTE C.H. - 1977 - Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in African Sahelo-sudanian zone. *Journal of Range Management* 30 (3), 181-189.
- LE MASSON A. - 1980 - Situation de l'élevage bovin dans la sous-préfecture de l'Oudalan (Gorom-Gorom). Rapport d'activités 1977-1979. CIDR, n° 228. 177 p. *multigr.*
- LEGRAND Ph. - 1979 - Biomasse racinaire de la strate herbacée de formations sahéliennes (étude préliminaire). ACC-Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, DGRST-ORSTOM, Ouagadougou, 39 p.
- LEPAGE M. - 1972 - Données préliminaires sur l'écologie des termites. *La Terre et la Vie*, 26 : 383-409.
- LEPRUN J.C. - 1977 - Esquisse pédologique au 1/50 000 des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols. ACC-LAT, DGRST-ORSTOM, 53 p + carte h.-t.
- LEPRUN J.C. - 1977 - Compte rendu de fin d'étude sur les sols et leur susceptibilité à l'érosion. Les terres de cures salées. La formation des brousses tigrées dans le Gourma. ORSTOM/DGRST, Paris, 45 p. *multigr.*, 8 tabl., 13 fig., photos.
- LEVANG P. - 1978 - Biomasse herbacée de formations sahéliennes : étude méthodologique et application au bassin versant de la Mare d'Oursi. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. ACC-LAT, DGRST-ORSTOM, 34 p., fig., tabl. et carte h.-t.
- LEVANG P., GROUZIS M. - 1980 - Méthode d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Acta Æcologica, Æcol.Plant.*, vol. 1, 15, n° 3 : 231-244.
- LHOSTE P. - 1984 - Le diagnostic sur le système d'élevage. *Cab. de la Rech. Dév.*, n° 3-4.
- LOINTIER M., LORTIC B. - 1984 - Mare d'Oursi, traitement numérique de la vue LANDSAT du 4 février 1976. ORSTOM, Cayenne, 13 p., 7 fig., 1 planche.

- LONG G. - 1974 - Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. I. Principes généraux et méthodes. Masson et Cie, Paris, 252 p.
- MANIL G. - 1963 - Niveaux d'écosystèmes et hiérarchie des facteurs écologiques. Un exemple d'analyse dans les hétraies ardennaises de Belgique. *Bull. Chasse des Sc. Académie Royale de Belgique*, 49 : 6, 32 : 603-623.
- MARCHAL J.Y. - 1978 - Reconnaissance du pays kibga : vestiges d'occupation ancienne dans le Yatenga (Haute-Volta). *Cab. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XV, n° 4 : 449-484.
- METHY M. - 1977 - Estimation quantitative de la biomasse aérienne d'un peuplement de graminées par une méthode optique non destructive. *Écol. Plant., Ecology*, 12 : 395-401.
- MICHEL P. - 1984 - Les variations du climat au quaternaire récent dans le Sahel d'Afrique occidentale et leurs conséquences sur les formations superficielles, l'hydrographie et la pédogénèse. *Bull. de la Société languedocienne de Géographie*, 18 (53-4) : 125-146.
- MILLEVILLE P., COMBES J., MARCHAL J. - 1982 - Systèmes d'élevage de l'Oudalan. Étude de cas. ORSTOM Ouagadougou, 129 p. *multigr.*
- MOONEY H.A., PARSONS D.J. - 1974 - Plant development in Mediterranean climates. In : " Phenology and seasonality modeling ", H. Lieth Ed., Berlin, Springer-Verlag : 255-268.
- MURPHY R.F. - 1967 - Tuareg Kindship. *American Anthropologist* n° 69 : 163-170.
- NIAMALY N. - 1981 - Disponibilités fourragères, charge de bétail, et modes de conduite des troupeaux dans un périmètre sahélien : le bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). ORSTOM, Ouagadougou, 27 p. + ann.
- NEBOUT J.P., TOUTAIN B. - 1978 - Étude sur les arbres fourragers dans la zone sahélienne (Oudalan voltaïque). CTFT-IEMVT, Maisons-Alfort, 119 p.
- NICOLAISEN J. - 1963 - Ecology and Culture of the pastoral Tuareg. Copenhagen, National Museum, 548 p.
- NJOKU E. - 1963 - Seasonal periodicity in the growth and development of some forest trees in Nigeria. *J. Ecology* 51 : 617-624.
- OLIVRY J.C. - 1983 - Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégambie et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, XX, n° 1 : 47-69.
- PALE F. - 1982 - Étude expérimentale de la germination des semences sahéliennes. Influence du potentiel hydrique. DEA, Université P. et M. Curie, 33 p.
- PENNING DE VRIES F.W.T., DJITËYE, M.A. - 1982 - La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 525 p.
- PERETTI M. - 1977 - Projet de mise en place de l'ORD du Sahel. Situation actuelle de l'ORD. Ministère du Développement rural, Ouagadougou, 2 tomes, *multigr.*

- PETILLON Y. - 1978 - Quatre années d'expérimentation, de pré vulgarisation et de vulgarisation agricole dans le Sahel voltaïque. CIDR, 82 p., *multigr.*
- PETTITT A. N., 1979 - A non-parametric approach to the changepoint problem. *Appl. Statist.*, vol. 28, n° 2 : 126-135.
- PION J.C. - 1979 - Altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Étude de quelques toposéquences en Haute-Volta. Université Louis-Pasteur, Strasbourg, *Sciences Géologiques* n° 57.
- PIOT J., MILLOGO E. - 1980 - Étude du ruissellement et de l'érosion, Mare d'Oursi. Synthèse de trois années 1977/78/79. CTFT, Ouagadougou, 16 p. + 19 tabl. et fig.
- POULET A.R., POUPON H. - 1978. - L'invasion d'*Arvicantbis niloticus* dans le Sahel sénégalais en 1975-1976 et ses conséquences pour la strate ligneuse. *La Terre et la Vie* 32 : 161-193.
- POUPON H. - 1980 - Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 351 p.
- POUYAUD B. - 1985 - Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec. Exemples du Lac de Bam et de la Mare d'Oursi (Burkina Faso), du Lac Tchad et d'açudes du Nordeste brésilien. ORSTOM, Paris, *Études et Thèses*, 254 p.
- QUEIROZ O. - 1975 - Voies de fixation du CO<sub>2</sub> externe et leur signification adaptative et physiologique. *In* : " Photosynthèse et production de matière organique ", Table ronde CNRS, Gif-sur-Yvette : 1-7.
- QUILFEN J.P., MILLEVILLE P. - 1983 - Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *L'Agron. Trop.*, 38, n° 3 : 206-212.
- RAULIN H. - 1967 - La dynamique des techniques agraires en Afrique tropicale du Nord. CNRS éd., Paris, 202 p.
- RAUNKIAER C. - 1905 - Types biologiques pour la géographie botanique. *Bull. Acad. R. Sci.*, Danemark, 5 : 347-437.
- RIESMAN P. - 1974 - Société et liberté chez les Peul Djelgobé de Haute-Volta. *Cahiers de l'Homme*, Paris, Mouton-La Haye, 261 p.
- RIVIÈRE R. - 1978 - Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. IEMVT, Maisons-Alfort, 521 p.
- RODIER J.A. - 1975 - Évaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 46.
- RONDOT P. - 1987 - Évolution des systèmes productifs agricoles au Sahel Burkinabé. Évaluation de dix années de travail avec les populations de l'Oudalan. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Économie rurale et agro-alimentaire, Université de Montpellier-I, 338 p. + ann.
- ROOSE E. - 1977 - Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Ann. Bot.*, 39, 159 : 21-29.

- SAN JOSÉ J.J., BERRADE F., RAMIREZ J. - 1982 - Seasonal changes of growth, mortality and disappearance of belowground root biomass in the *Trachypogon* savanna grass. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, vol. 3 (17) 4 : 347-358.
- SAN JOSÉ J.J., MÉDINA E. - 1976 - Organic matter production in the *Trachypogon* savana at Calaboro, Venezuela. *Trop. Ecol.*, 17 (2) : 113-124.
- SAUER R.H., URESK D.W. - 1976 - Phenology of steppe plants in wet and dry years. *North West Sci.*, 50, 3 : 133-139
- SICOT M. - 1978 - Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la Mare d'Oursi. Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 : critiques des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien. ACC-LAT, DGRST-ORSTOM, Ouagadougou, 76 p. *multigr.*
- SICOT M. - 1980 - Détermination de la biomasse et des immobilisations minérales de la strate herbacée des parcours naturels sahéliens. *Cab. ORSTOM, sér. Biol.*, 42 : 9-25.
- SICOT M. - 1982 - Projet Mare d'Oursi, rapport de synthèse à l'échelle du bassin : cycle de l'eau et bilan hydrique annuel des sols. ORSTOM, Ouagadougou. 22 p. + ann. et fig. h.-t.
- SICOT M. - 1983 - Variabilité de la teneur en eau et de la réserve hydrique du sol en milieu sahélien. Dispersion spatiale et rationalisation du réseau de mesure. *Bull. GFHN*, 4 : 73-94.
- SICOT M., GROUZIS M. - 1981. - Pluviométrie et production des pâturages naturels sahéliens. Étude méthodologique et application à l'estimation de la production fréquentielle du bassin versant de la Mare d'Oursi, Haute-Volta. ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 33 p.
- SINGH J.S., LAUENROTH W.K., STEINHORST R.K. - 1975 - Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *The Botanical Review*, 41, 2 : 181-232.
- SIRCLOULON J. - 1976 - Les données pluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940". *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIII, n° 2.
- SIRCLOULON J. - 1984 - Quinze années de sécheresse au Sahel. Impact sur les ressources et moyens de lutte. *In* : " Water in the year 2000 ", Proceeding of the 5th International Conférence on Water resources and management, Athènes, 1-4 octobre 1984 : 3-15.
- SNIJEDERS T.A.B. - 1986 - Interstation correlation and non stationarity of Burkina Faso rainfall. *Journal of climate and applied meteorology*, 25 - 3 : 233-239.
- TOUPET C. - 1986 - Comparaison des sécheresses historiques et de la sécheresse actuelle au Sahel . Essai de définition de la sécheresse et de l'aridification. *In* : " Les Hommes face aux sécheresses ", B. Bret éd., IHEAL-CREDAL-ORSTOM, 16-18 janvier, Paris : 77-84.
- TOUTAIN B. - 1976 - Notice de la carte des ressources fourragères au 1/50 000. ACC-LAT, DGRST-IEMVT, Maisons-Alfort, 61 p.
- TOUTAIN B. - 1977 - Essais de régénération mécanique de quelques parcours sahéliens dégradés. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 30 (2) : 191-198.

- TOUTAIN B., DEWISPELAERE G. - 1977 - Pâturages de l'ORD du Sahel et de la zone de délestage du nord-est de Fada N'Gourma. IEMVT, *Étude agrostologique* n° 51, 3 tomes + cartes.
- TOUTAIN B., DEWISPELAERE G. - 1978 - Étude et cartographie des pâturages de l'ORD du sahel et de la zone de délestage au Nord-est de Fada N'Gourma (Haute-Volta). IEMVT, Maisons-Alfort, n° 51, 3 tomes.
- TOUTAIN B., LHOSTE Ph. - 1978 - Méthodes d'estimation du coefficient d'utilisation de la biomasse herbacée par le bétail dans un périmètre sahélien. *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays trop.*, 30 (1) : 95-101.
- TOUTAIN B., PIOT J. - 1980 - Mises en défens et possibilités de régénérations des ressources fourragères sahéliennes. Étude expérimentale dans le bassin de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). IEMVT-CTFT, Maisons-Alfort, 156 p.
- TRIVEDI B.K., MISHRA G.P. - 1979 - Seasonal variations in species composition, plant biomass and net community productivity of two grasslands in Schima-Dichanthium cover type. *Trop. Ecol.*, 20, 1 : 114-125.
- TROCHAIN J.L. - 1957 - Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale. Brazzaville, *Bull. IEC. nouv. sér.*, 13-14 : 55-93.
- TUCKER C.J., VAN PRAET C.L., BOERWINKELE E., GASTON A. - 1983 - Satellite remote sensing of total dry-matter production in the senegalense Sahel. *Remote sensing of Environment*, vol. 13 : 416-474.
- VALENTIN C. - 1979 - Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. In : Actes du colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Vogt H. et Vogt T. éd. : 117-122, 2 tabl., 3 fig.
- VALENTIN C. - 1981 a - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols en région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Université Paris-VII. ORSTOM. ORSTOM, Paris, *Études et Thèses*, 1985, 259 p.
- VALENTIN C. - 1981 b - Esquisse au 1/25 000 des différenciations morphostructurales de la surface du sol d'un petit bassin versant sahélien (Polaka, Oursi, nord de la Haute-Volta). ORSTOM, Abidjan, 11 p.
- VALENTIN C. - 1985 - Le bassin versant de Boulsa Kognéré (Burkina Faso). Organisations superficielles. Interprétation des photographies aériennes entre 1956 et 1980. ORSTOM, Abidjan, 19 p., 3 fig., 4 pl. fotogr.
- VALENTIN C. - 1986 - Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. ORSTOM, *Colloques et séminaires*, Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier : 50-74.
- VAN KEULEN - 1975 - Simulation of water use and herbage growth in arid regions. CABO, Wageningen, 176 p.
- ZIEGLER H., BATANOUNY K.H., SANKLA N., VIAS O.P., STICHLER W. - 1981 - The Photosynthetic pathway types of some desert plants from India, Sandi Arabia, Egypt and Irak. *Ecologia* : 48, 93-99.

## PUBLICATIONS RELATIVES À LA RÉGION DE LA MARE D'OURSİ

Cette liste rassemble tous les documents concernant la région de la mare d'Oursi, élaborés dans le cadre des projets suivants :

- DGRST/LAT 02 : Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. Étude des possibilités d'aménagement agro-sylvo-pastoral de la mare d'Oursi. 1976-1981.
- DGRST/LAT 03 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. 1978-1981.
- Projet FED-ORD du Sahel : Développement de l'élevage. 1980-1984.
- Projet PEPS 149 : Programme d'évaluation préliminaire SPOT. Utilisation d'images SPOT sur le bassin versant de la mare d'Oursi. 1985-1987.

Les publications sont classées en trois rubriques correspondant aux trois parties principales de cet ouvrage.

## MILIEU physique

### GÉOMORPHOLOGIE, PÉDOLOGIE, HYDROLOGIE, CLIMATOLOGIE

- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. - 1984 - Pluies, eaux de surface, productions végétales en Haute-Volta (1920-1983). ORSTOM-DGRST, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 64 p., tabl. et fig. h.-t.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. - 1985 - Péjoration pluviométrique au Burkina Faso : incidences sur les ressources en eaux et les productions végétales. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, XXI, n° 1 : 3-19.
- ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. - 1985 - Sécheresse au Sahel. Incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. Cas du Burkina Faso. *Veille climatique satellitaire*, 7 : 18-30.
- ALBERGEL J., CHEVALLIER P., LORTIC B. - 1987 - D'Oursi à Gagara : transposition d'un modèle de ruissellement dans le Sahel (Burkina Faso). *Hydrologie Continentale*, vol. 2 (2) : 77-86.
- BERNARD A. - 1983 - Observations climatologiques à la station de Jalafanka et suivi de la Mare d'Oursi, année 1982. ORSTOM, Ouagadougou. 59 p., 12 fig.
- BERNARD A. - 1984 - Observations climatologiques à la station de Jalafanka et suivi de la Mare d'Oursi, année 1983. ORSTOM, Ouagadougou, 61 p., 10 fig.
- BERNARD A., CLAUDE J., SAADOUN N. - 1978 - Étude hydrologique de sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi. Rapport des campagnes 1976 et 1977. ORSTOM, Ouagadougou, 76 p. + ann.
- BERNARD A., CLAUDE J., SAADOUN N. - 1978 - Observations climatologiques à la station météorologique de Jalafanka, Mare d'Oursi. Juin 1976-décembre 1977. ORSTOM, Ouagadougou, 19 p. et tabl.
- BU.NA.SOLS. - 1981 - Étude pédologique de reconnaissance de la région de la Mare d'Oursi, échelle 1/50 000. Ministère du Développement rural de Haute-Volta, Service national des Sols, Projet PNUD UPV/74/007, rapport technique n° 25, 69 p. + 34 ann. + 2 cartes.
- CHEVALLIER P. - 1982 - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi - Haute-Volta). *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XIX, n° 4, numéro spécial : " Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs ".
- CHEVALLIER P. - 1983 - L'indice des précipitations antérieures. Évaluation de l'humectation des sols de bassins versants représentatifs. *Cab. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XX, n° 3-4 : 179-189.
- CHEVALLIER P. - 1983 - Infiltration et ruissellement sur parcelles : simulation de pluie. Quelques résultats obtenus sur les bassins versants représentatifs de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). Session de formation sur la conservation des sols et des eaux au sud du Sahara - EIER Ouagadougou (30 mai - 10 juin 1983). ORSTOM, Adiopodoumé, 20 p. *multigr.*, 5 fig.
- CHEVALLIER P. - 1985 - Analyse et modélisation du ruissellement en région sahélienne (Mare d'Oursi - Burkina Faso). *La Houille Blanche* n° 6-7.
- CHEVALLIER P. - 1985 - Analyse et modélisation du ruissellement en région sahélienne (Mare d'Oursi - Burkina Faso). Mémoire pour la Société hydrotechnique de France, ORSTOM, Adiopodoumé, 73 p., 15 fig. + 1 pl. coul., 1 carte h.-t.

- CHEVALLIER P. - 1986 - Simulation de pluie, télédétection, modélisation. Exemple de la Mare d'Oursi - Burkina Faso. Journées d'hydrologie de l'ORSTOM-Montpellier (17-18 sept. 1985). ORSTOM, Paris, *Colloques et séminaires* : 90-104.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J. - 1989 - Exploitation de points d'eau de surface temporaires pour l'amélioration de la gestion des pâturages sahéliens. Séminaire sur l'état de l'art en hydrologie et en hydrogéologie en régions arides et subarides d'Afrique, Ouagadougou (février 1989), IWRA, UNESCO, CIEH : 673-682.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A. - 1985 - Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi, Burkina Faso (1976-1981). Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, n° 190, 251 p., 4 pl. coul., 2 cartes h.-t. coul.
- CHEVALLIER P., LAPETITE J.M. - 1986 - Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. *Hydrologie Continentale*, vol. 1 (2) 1986 : 111-119.
- CHEVALLIER P., LOINTIER M., LORTIC B. - 1986 - Water levels of a sahelian lake (Mare d'Oursi - Burkina Faso). Hydrologic Applications of Space Technology (Cocoa Beach Workshop, Florida, August 1985). *IAHS Publ.* n° 160 : 99-107, 4 fig.
- CHEVALLIER P., VALENTIN C. - 1985 - Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahélien. *Bull. GFHN* n°17.
- CLAUDE J. - 1978 - Le projet de la Mare d'Oursi. Présentation, résultats, perspectives. ORSTOM, Ouagadougou, 10 p.
- CLAUDE J. - 1979 - Opération Mare d'Oursi. Compte rendu de fin d'études. ORSTOM, Ouagadougou, 49 p. + 2 cartes.
- CLAUDE J. - 1983 - Aménagement de mares temporaires comme points d'abreuvement de saison sèche au Sahel voltaïque. Colloque international sur les barrages en terre et le développement des zones rurales en Afrique, Thiès, 11-16 avril 1983, 7 p. + 2 fig.
- CLAUDE J., BERNARD A., LOINTIER M. - 1981 - Propositions d'aménagement de mares temporaires dans l'Oudalan comme points d'abreuvement de saison sèche. ORSTOM, Ouagadougou, 18 p., 3 cartes.
- CLAUDE J., BERNARD A., SAADOUN N. - 1979 - Étude hydrologique de sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi. Rapport de campagne, année 1978. ORSTOM, Ouagadougou, 66 p. + 58 fig. + ann.
- CLAUDE J., BERNARD A., SAADOUN N. - 1979 - Observations climatologiques à la station météorologique de Jalafanka, Mare d'Oursi, année 1978. ORSTOM, Ouagadougou, 73 p. + tabl.
- CLAUDE J., BERNARD A., BARDIN A. - 1980 - Étude hydrologique de sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi. Rapport de campagne 1979. ORSTOM, Ouagadougou.
- CLAUDE J., BERNARD A., BARDIN A. - 1980 - Observations climatologiques de la station météorologique de Jalafanka, Mare d'Oursi, année 1979. ORSTOM, Ouagadougou, 75 p. et tabl. + 2 cartes.

- CLAUDE J., BERNARD A., LOINTIER M. - 1981 - Étude hydrologique de sept bassins versants alimentant la Mare d'Oursi. Rapport de campagne 1980. ORSTOM, Ouagadougou, 97 p. + 44 fig.
- CLAUDE J., BERNARD A., LOINTIER M. - 1981 - Observations climatologiques à la station météorologique de Jalafanka, Mare d'Oursi, année 1980. ORSTOM, Ouagadougou, 80 p. et tabl.
- CLAUDE J., BERNARD A., TOURI H., ALBERGEL J. - 1982 - Observations climatologiques à la Station de Jalafanka et observations hydrologiques à Kolel, Jalafanka et à la Mare d'Oursi, année 1981. ORSTOM, Ouagadougou, 98 p.
- COLLINET J., ASSELINE J. - 1977 - Compte rendu de mission préliminaire pour un projet de mise en œuvre du simulateur de pluies sur la périphérie de la Mare d'Oursi. ACC-LAT, DGRST-ORSTOM, Adiopodoumé, 20 p.
- COLLINET J., VALENTIN C., ASSELINE J., CHEVALLIER P., SICOT M. - 1980 - Étude LAT 03 : ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéennes et sub-désertiques. Rapport de terrain sur la première opération : Mare d'Oursi. DGRST, ORSTOM, Adiopodoumé, 14 p. *multigr.*, 5 tabl., 15 fig.
- CTFT H.V. - 1978 - Première campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi. CTFT, Ouagadougou, 14 p.
- CTFT H.V. - 1979 - Deuxième campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi, 1978. CTFT, Ouagadougou, 16 p., 2 fig., 6 tabl.
- CTFT H.V. - 1979 - Troisième campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi, 1979. CTFT, Ouagadougou, 14 p. dont 8 tabl.
- DEVINEAU J.L., FOURNIER A., LAMACHÈRE J.M. - 1986 - Programme d'évaluation préliminaire Spot. PEPS n° 149, SPOT-OURSIS, rapport intermédiaire, ORSTOM, Ouagadougou, 52 p.
- GROUZIS M., ALBERGEL J., CARBONNEL J-P. - 1989 - Péjoration climatique au Burkina Faso : Effets sur les ressources en eau et les productions végétales. In : " Les Hommes face aux sécheresses ", Bret B. éd., EST, IHEAL, Paris : 165-178.
- JOLY F., DEWOLF Y. - 1976 - Rapport préliminaire sur la mission géomorphologique dans la région d'Oursi. Mars-avril 1976. Université de Paris-VII, 11 p.
- JOLY F., DEWOLF Y., RIOU G. - 1980 - Le bassin de la Mare d'Oursi. Étude géomorphologique et géodynamique. Contraintes naturelles. Université Paris-VII, Laboratoire de Géographie physique, 65 p. + 1 carte.
- LAMACHÈRE J.M. - 1987 - Cartographie des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration des sols d'un bassin versant sahéen par interprétation des images SPOT : le bassin versant de la Mare d'Oursi, Burkina Faso. SPOT 1, utilisation des images, bilan, résultats. Paris, novembre 1987, CNES - CEPADUES éd. : 41-51.
- LAMACHÈRE J.M. - 1988 - Interprétation des images satellitaires SPOT et cartographie des aptitudes au ruissellement et à l'infiltration des sols d'un bassin versant sahéen : le bassin versant de la Mare

- d'Oursi, Burkina Faso. Communication aux 14<sup>e</sup> Journées techniques du CIEH, Ouagadougou, 9-11 février 1988, 18 p.
- LAMACHÈRE J.M. - 1988 - Les états de surface de la région d'Oursi, observations au sol et hydrodynamique. Programme PEPS n° 149, SPOT-OURSIS, ORSTOM, Ouagadougou, 98 p.
- LEPRUN J.C. - 1977 - Rapport de la mission pédologique de mars 1977 à la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 19 p.
- LEPRUN J.C. - 1977 - Esquisse pédologique au 1/50 000 des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols. ORSTOM, Bondy, 53 p. + 1 carte.
- LOINTIER M., LORTIC B. - 1984 - Mare d'Oursi, traitement numérique de la vue LANDSAT du 4 février 1976. ORSTOM, Cayenne, 13 p., 7 fig., 1 planche.
- MALEK C. - 1989 - Diagnostic du paysage à partir des données satellitaires, application au Sahel, Oudalan, Burkina-Faso. Thèse de doctorat en géomorphologie et dynamique des milieux physiques, Université Paris VII, 205 p. et 16 ann.
- PIOT J., MILLOGO E. - 1980 - Étude du ruissellement et de l'érosion, Mare d'Oursi. Synthèse de trois années 1977/78/79. CTFT, Ouagadougou, 16 p. + 19 tabl. et fig.
- POUYAUD B., CHEVALLIER P., VALENTIN C. - 1980 - Notice d'utilisation de l'humidimètre à chocs thermiques construit par R. Fron. ORSTOM, Adiopodoumé, 16 p. *multigr.*, 4 fig.
- SICOT M. - 1976 - Projet de protocole pour l'élaboration d'un référentiel de données écophysologiques pour l'ensemble des bassins versants entourant la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 37 p.
- SICOT M. - 1978 - Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la Mare d'Oursi. Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 : critique des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien. ORSTOM, Ouagadougou, 76 p., tabl. et fig. + ann.
- SICOT M. - 1978 - Note technique sur la nécessité de compléter les mesures de teneur en eau des sols par des mesures tensiométriques pour l'établissement du bilan hydrique. ORSTOM, Ouagadougou, 11 p.
- SICOT M. - 1979 - Étalonnage de l'humidimètre Solo dans les sols sahéliens du bassin versant de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 18 p. + 17 fig.
- SICOT M. - 1982 - Projet Mare d'Oursi, rapport de synthèse à l'échelle du bassin : cycle de l'eau et bilan hydrique annuel des sols. ORSTOM, Ouagadougou, 22 p. + ann. et fig. h.-t.
- SICOT M., ZEGANADIN J.P. - 1977 - La rétention hydrique des sols du bassin versant de la Mare d'Oursi. Considérations sur la capacité au champ de deux sols sableux. ORSTOM, Ouagadougou, 24 p.
- THALVIN V. - 1988 - Possibilité d'utilisation de la télédétection pour la caractérisation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique à l'échelle d'un bassin versant. DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Laboratoire d'Hydrologie mathématique, Montpellier. 40 p. + 30 p. ann.

## VÉGÉTATION

### BOTANIQUE, ÉCOLOGIE, AGROCLIMATOLOGIE, PRODUCTION VÉGÉTALE, AGROSTOLOGIE

- COULOMB J. - 1979 - Étude des conditions physiques, biologiques et humaines de la lutte contre l'aridité dans l'Oudalan. Dynamique et possibilité de régénération d'un écosystème pâturé sahélien. IEMVT, CTFT, 85 p. + 3 fig. + 17 tabl.
- CTFT H.V. - 1979 - Essai d'intensité d'élagage sur *Acacia seyal*, septembre 1976-octobre 1979. CTFT, Ouagadougou, 4 p.
- CTFT H.V. - 1979 - Essai de bouturage d'*Euphorbia balsamifera* et *Commiphora africana* 1977/78/79. CTFT, Ouagadougou, 5 p.
- DELWAULLE J.C. - 1976 - Rapport de mission d'un mois ( juillet- août 1976 ). CTFT (non disponible), 22 p.
- GROUZIS M. - 1976 - Propositions pour une étude de la production et de la dynamique du couvert herbacé au niveau du périmètre de la Mare d'Oursi. Relations entre la composition floristique, la structure de la végétation, la biomasse et les termes du bilan hydrique. ORSTOM, Ouagadougou, 5 p.
- GROUZIS M. - 1976 - Rapport de mission en Haute-Volta. Programme " Mare d'Oursi ". 3 octobre - 1<sup>er</sup> novembre 1976. ORSTOM, 15 p. *multigr.*
- GROUZIS M. - 1979 - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta). ORSTOM, Ouagadougou, 59 p. + 15 tabl., 17 fig.
- GROUZIS M. - 1982 - Méthodes d'études des pâturages naturels. ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 28 p.+ 12 ann.
- GROUZIS M. - 1982 - Restauration des pâturages sahéliens. Mise en défens et reboisement. Rapport de campagne 1981. ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 37 p.
- GROUZIS M. - 1984 - Restauration des pâturages sahéliens ; effet du travail du sol et/ou de la mise en défens sur le recouvrement, la composition floristique et la biomasse herbacée (Markoye). Projet de développement de l'élevage, ORD Sahel, FED, ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 20 p.
- GROUZIS M.- 1984 - Restauration des pâturages sahéliens : synthèse des travaux de reboisement dans la région de Markoy. Projet de développement de l'élevage, ORD Sahel, FED, ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 26 p.
- GROUZIS M. - 1984 - Pâturages sahéliens du Nord du Burkina Faso. Capacité de charge, production fréquentielle et dynamique de la qualité fourragère. Projet de développement de l'élevage, ORD Sahel, FED, ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 35 p.
- GROUZIS M. - 1984 - Problèmes de désertification en Haute-Volta. *Notes et Documents voltaïques*, 15 : 1-2, 1-13.

- GROUZIS M. - 1988 - Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Thèse de doctorat d'État es-sciences, Université de Paris-Sud. ORSTOM, Paris, *Études et thèses*, 336 p.
- GROUZIS M. - 1988 - Effects of grazing of plant productivity and rain use efficiency in sahelian grasslands (Northern Burkina Faso). Third International Rangeland Congress, New Delhi (India), 7-11 november 1988, 10 p.
- GROUZIS M. - 1988 - Dynamique et tendances évolutives des phytocénoses sahéliennes du Burkina Faso. *In* : " Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens ", Touré I.A., Maldague M. éd., UNESCO/FAPIS, CIEM, Dakar : 325-340.
- GROUZIS M. - 1988 - Régénération des systèmes écologiques sahéliens. Travail du sol et reboisement. *In* : " Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux sahéliens ", Touré I.A., Maldague M. éd., UNESCO/FAPIS, CIEM, Dakar : 341-347.
- GROUZIS M. - 1989 - Dynamique des systèmes écologiques sahéliens : le cas de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). Séminaire " Estudio de las relaciones agua-suelo-vegetacion y ganada en la zona arida del norte de Mexico. Orientado a la utilización racional de estos recursos ", Instituto de Ecologia de Mexico/ORSTOM, 23-27 octobre 1989, Gomez-Palacio, 9 p.
- GROUZIS M. - 1990 - Un équilibre compromis ? Oursi, un modèle d'écosystème. *ORSTOM Actualités*, 28 : 4-5.
- GROUZIS M. - 1990 - Phénologie des ligneux sahéliens : Aspects méthodologiques et influence des facteurs du milieu. Séminaire " Physiologie des arbres et des arbustes des zones arides ", Nancy : 27 mars-6 avril 1990, 8 p.
- GROUZIS M., ALBERGEL J. - 1988 - Environnement et productions agricoles : le cas du Burkina Faso. *In* : " La crise agricole en Afrique ", Dakar (2-5 décembre 1988), 8 p.
- GROUZIS M., ALBERGEL J. - 1989 - Du risque climatique à la contrainte écologique : incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. *In* : " Le risque en agriculture ", Eldin M. et Milleville P. éd., ORSTOM, Paris, *à travers champs* : 243-254.
- GROUZIS M., BONKOUNGOU E. - 1989 - Le projet de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). *In* : " Bases écologiques du développement rural intégré et de la lutte contre la désertification en zones arides et semi-arides d'Afrique et d'Amérique latine ", MAB/UNESCO, COQUIMBO, Chili, avril 1989, 28 p.
- GROUZIS M., METHY M. a - 1983 - Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien : perspectives et limites. *Acta Œcologica, Œcol. Plant.*, 4, 18 (3) : 241-257.
- GROUZIS M., METHY M. b - 1983 - Application de la radiométrie à l'estimation des phytomasses des formations herbeuses sahéliennes. *In* : " Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement ", Van Praet L. éd., Dakar, 16-18 novembre 1983, 259-272.

- GROUZIS M., N'GARSARI M. - 1981 - Herbar du Centre ORSTOM : liste des espèces. ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 18 p.
- GROUZIS M., SICOT M. - 1980 - Une méthode d'étude phénologique des populations d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques. ORSTOM, Ouagadougou, 11 p. + 4 fig.
- GROUZIS M., SICOT M. - 1980 - A method for the phenological study of browse populations in the Sahel : the influence of some ecological factors. *In* : " Browse in Africa, the current state of knowledge ", Le Houerou éd., International Symposium, Addis-Abeba, 1980 : 233-240.
- GROUZIS M., SICOT M. - 1983 - Production fréquentielle du bassin versant de la Mare d'Oursi. Application à l'estimation des potentialités pastorales. *In* : " Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens. Application au développement ", Van Praet L. éd., Dakar, 16-18 novembre 1983 : 177-188.
- GROUZIS M., LEGRAND E., PALE F. - 1986 - Aspects écophysologiques de la germination des semences sahéliennes. Adaptation aux conditions d'aridité. Colloque sur les Végétaux en milieu aride, Tunisie (Jerba) : 534-552.
- LEGRAND P. - 1979 - Biomasse racinaire de la strate herbacée de formations sahéliennes. Étude préliminaire. ORSTOM, Ouagadougou, 28 p. + 17 tabl. et 19 fig.
- LEGRAND P. - 1979 - Étude expérimentale des propriétés germinatives de quelques semences sahéliennes. ORSTOM, Ouagadougou, 39 p. + 20 tabl. et 12 fig.
- LEVANG P. - 1978 - Biomasse herbacée de formations sahéliennes. Étude méthodologique et application au bassin versant de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 31 p. + ann.
- LEVANG P., GROUZIS M. - 1980 - Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 1, 15 (3) : 221-244.
- N'GARSARI M. - 1981 - Compte rendu de stage de fin d'études de 3<sup>e</sup> année : classification et liste de l'herbier de référence. Rapport ORSTOM, Institut polytechnique, Ouagadougou, 31 p. *multigr.*
- PALE F. - 1982 - Étude expérimentale de la germination de semences sahéliennes, influence du potentiel hydrique. DEA Biologie et Physiologie végétale, Paris-VI, 33 p.
- SICOT M. - 1976 - Propositions pour l'installation du dispositif expérimental et la conduite du programme " Estimation des potentialités biophysiques en milieu sahélien " en 1976. ORSTOM, Ouagadougou, 7 p.
- SICOT M. - 1977 - Évaluation de la production fourragère herbacée en 1976. ORSTOM, Ouagadougou, 45 p. + ann.
- SICOT M. - 1979 - Déterminisme de la production et des immobilisations minérales de la strate herbacée des parcours sahéliens. ORSTOM, Ouagadougou, 12 p. + 7 tabl. et 7 fig.
- SICOT M., GROUZIS M. - 1981 - Pluviométrie et production des pâturages naturels sahéliens. Étude méthodologique et application à l'estimation de la production fréquentielle du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). ORSTOM, Ouagadougou, rapport *multigr.*, 33 p.

- TOUTAIN B. - 1976 - Carte des ressources fourragères au 1/50 000. Notice de la carte des ressources fourragères au 1/50 000. IEMVT, Paris, 61 p. + 1 carte.
- TOUTAIN B. - 1976 - Étude des effets de la mise en repos temporaire de quelques formations végétales sahéliennes dégradées sur leur évolution. IEMVT, Paris.
- TOUTAIN B. - 1978 - Étude des effets de la mise en repos temporaire de quelques formations végétales sahéliennes dégradées sur leur évolution. IEMVT, Paris, 67 p. + ann.
- TRAORE B. - 1978 - Observations sur la phénologie de quelques espèces herbacées et ligneuses sahéliennes. ORSTOM, ISP, Ouagadougou, 29 p.

## Exploitation du milieu et systèmes de production

### Agronomie, pastoralisme, zootechnie, économie, géographie

- BARRAL H. - 1977 - Les populations nomades de l'Oudalan et leur espace pastoral. Paris, *Trav. et Doc. de l'ORSTOM* n° 7, 120 p. + cartes.
- BENOIT M. - 1980 - Séno-Mango. Réflexions à propos du Forage Christine et de la vie pastorale dans le Nord-Ouest de l'Oudalan. ORSTOM, Ouagadougou, 163 p. + carte et ann. h.-t.
- BENOIT M. - 1984 - Le Séno-Mango ne doit pas mourir : pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel. *Mémoires ORSTOM* n° 103, 143 p.
- BRASSEUR G. - 1982 a - Les marchés au bétail en Oudalan, Département du Sahel. Étude préliminaire. ORSTOM, Ouagadougou, 40 p. + ann. et pl. fotogr.
- BRASSEUR G. - 1982 b - Physionomie des marchés au bétail en Oudalan, Département du Sahel en juin-juillet 1982. Étude complémentaire. ORSTOM, Ouagadougou, 22 p. + pl. fotogr.
- BRASSEUR G. - 1983 - Notes sur les établissements humains en Oudalan, Sahel voltaïque. ORSTOM, Ouagadougou, 59 p. *multigr.*, 5 planches.
- COMBES J. - 1984 - Enquête sur l'élevage et sa place dans les systèmes de production de l'Oudalan. ORSTOM, Ouagadougou, 50 p. + ann.
- KONDABO M. - 1981 - Élaboration du rendement du mil dans un système de culture sahélien de Haute-Volta : étude de situation en parcelles paysannes. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur du développement rural. ISP-ORSTOM, Ouagadougou, 39 p. *multigr.* + fig. h.-t.
- LANGLOIS M. - 1977 - Méthodologie et bilan provisoire préliminaire au projet d'étude socio-économique de communautés sédentaires et nomades de Haute-Volta. ORSTOM, Ouagadougou, 36 p.
- LANGLOIS M. - 1980 - Fonctions et organisation de deux marchés en zone sahélienne voltaïque : Oursi et Déou. ORSTOM, Ouagadougou, 31 p. + 2 cartes et ann. 28 tabl.
- LANGLOIS M. - 1983 - Les sociétés agro-pastorales de la région de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 101 p. + 8 p. de notes, 8 graph. et 25 p. ann. h.-t.

- LANGLOIS M., MILLEVILLE P., SODTER F. - 1979 - Carte toponymique au 1/50 000 de la région de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou.
- LHOSTE P. - 1977 - Étude zootechnique, inventaire du cheptel. IEMVT, 49 p.
- MILLEVILLE P. - 1977 - Étude des rapports entre agriculture et élevage dans les systèmes de production en milieu sahélien. Quelques réflexions concernant la mise en place de l'étude dans la zone de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 14 p.
- MILLEVILLE P. - 1980 - Étude d'un système de production agro-pastoral sahélien de Haute-Volta. 1<sup>re</sup> partie : Le système de culture. ORSTOM, Ouagadougou, 64 p. + 3 tabl. et 8 fig.
- MILLEVILLE P. - 1984 - Sécheresse et évolution des systèmes agraires dans le Sahel voltaïque. Colloque GERDAT-ISRA " Résistance à la sécheresse ", Dakar, 24-27 septembre 1984, 6 p.
- MILLEVILLE P. - 1986 - Une méthode d'approche du rôle social de l'élevage dans un milieu sahélien : l'enquête généalogique sur le bétail. Séminaire ISRA " Méthodes de la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale ", M'Bour (Sénégal), 2-8 février 1986 : 247-268.
- MILLEVILLE P. - 1988 - Conditions sahéliennes et déplacements des troupeaux bovins (Oudalan, Burkina Faso). *In* : " L'aridité, une contrainte au développement ", ORSTOM, Paris, *Didactiques*, à paraître.
- MILLEVILLE P. - 1989 - Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne. *In* : " Le risque en agriculture ", ORSTOM, Paris, *à travers champs* : 179-186.
- MILLEVILLE P. - 1989 - Conditions sahéliennes et systèmes de culture du mil. Séminaire régional FIS " Céréales des régions tropicales semi-arides ", Garoua (Cameroun), 11-16 septembre 1989. 15 p. + fig. *In* : *Revue du Réseau pour l'Amélioration de la Production Agricole en Milieu Aride*, 1989, 1 : 83-106.
- MILLEVILLE P., GROUZIS M. - 1978 - Ressources et exploitations du milieu dans le Sahel voltaïque. *In* : " Construire ensemble ", *Bull. du CESAO* n° 2 : 12-13.
- MILLEVILLE P., MARCHAL J. - 1981 - Enquête sur l'utilisation de quatre mares temporaires de l'Oudalan et l'opportunité de leur aménagement. ORSTOM, Ouagadougou, 13 p.
- MILLEVILLE P., COMBES J. - 1982 - Note sur l'utilisation et le projet de surcreusement de la Mare de Souringou. ORSTOM, Ouagadougou, 6 p. + 1 carte.
- MILLEVILLE P., COMBES J., MARCHAL J. - 1982 - Systèmes d'élevage sahéliens de l'Oudalan. Étude de cas. ORSTOM, Ouagadougou, 127 p. + ann.
- NIAMALY N. - 1981 - Disponibilités fourragères, charge en bétail et mode de conduite des troupeaux dans un périmètre sahélien : Mare d'Oursi (Haute-Volta). ORSTOM, Ouagadougou, 27 p. + ann.
- QUILFEN J.P., MILLEVILLE P. - 1983 - Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 38, 3 : 206-212.
- SODTER F. - 1980 - Enquête démographique sur la zone de la Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, 53 p. + 3 ann.

# ANNEXE

## Liste des participants au programme " MARE d'Oursi "

### ORSTOM

POUYAUD B. : coordonnateur, hydrologue - 1976-77

CLAUDE J. : coordonnateur, hydrologue - 1977-1981

BARDIN E. : hydrologue VSN - 1979

BERNARD A. : hydrologue - 1976-1981

CHEVALIER P. : hydrologue - 1979-81

COMBES J. : Zootechnicien VSN - 1981

GROUZIS M. : écologue - 1977-1981

LALLEMAND Y. : Agronome VSN - 1977

LANGLOIS M. : économiste - 1977-1979

† LE DUC P. : hydrologue - 1976-77

LEGRAND P. : écologue VSN - 1978-79

LEPRUN J.C. : Pédologue - 1977

LEVANG P. : écologue VSN - 1977-78

MALLEBAY Y. : agronome - 1979-80

MARCHAL J. : zootechnicien VSN - 1980-81

MILLEVILLE P. : agronome - 1977-1981

QUILFEN J.P. : agronome VSN - 1980-81

RAPINE Y. : agronome VSN - 1978-79

SAADOUN N. : hydrologue - 1978

SICOT M. : agronome - 1976-1981

SODTER F. : démographe - 1978-79

THIÉBAUX J.P. : hydrologue - 1977

ZÉGANADIN J.P. : agronome VSN - 1977-78

### **Opération LAT-03. Simulateur de pluie**

ASSELINE J. : pédologue du centre d'Adiopodoumé - 1979  
COLLINET J. : pédologue du centre d'Adiopodoumé - 1979  
VALENTIN C. : pédologue du centre d'Adiopodoumé - 1979

### **Simulation SPOT-Oursi**

LAMACHÈRE J.M. : hydrologue 1983-1985  
LOINTIER M. : hydrologue - 1980-81  
LORTIC B. : ingénieur en télédétection - 1980-81

### **IEMVT**

COULOMBS M. : zootechnicien - 1979  
LHOSTE. : zootechnicien - 1976-77  
TOUTAIN B. : agrostologue - 1976-1979

### **CTFT**

DELWAULLE J. : ingénieur forestier - 1976-77  
DENIS L. : technicien forestier VSN - 1977-78  
NANOT J. : technicien forestier V.P. - 1979  
NEBOUT J.C. : technicien forestier VSN - 1978  
PETITJEAN P. : technicien forestier - 1976  
PIOT J. : ingénieur forestier - 1976-1979

### **Université de Paris -VII . Laboratoire de géographie physique**

DEWOLF Y. : géomorphologue - 1977-1979  
JOLY F. : géomorphologue - 1977-1979  
RIOU G. : géomorphologue - 1977-78

### **CNRS - CEPE, Montpellier**

COLLIN : écologue - 1979  
DESCOING B. : écologue - 1976-77  
DOS SANTOS A. : phytosociologue - 1977-1979  
HETTIER J.P. : phytosociologue - 1977  
MENAUT J.C. : phytosociologue - 1977-78  
SCHAEFFER dit Pasch : écologue - 1976

### **Service national des sols de Haute-Volta**

BADO L. : pédologue - 1978-79  
OUATTARA S. : pédologue - 1978-79  
OUEDRAOGO B. : pédologue - 1978-79

# TABLE DES MATIÈRES

Sigles et définitions.....	6
Préface.....	7
	<i>R. Fauck</i>
Avant-propos .....	9
	<i>J. Claude</i>
Introduction .....	13
	<i>J. Claude</i>

## *Première partie*

### La région de la mare d'Oursi : un milieu sahélien

	<b>Le cadre géographique</b>	23
	<i>J. Claude, P. Chevallier</i>	
Les unités de paysage.....		24
Le système dunaire .....		24
Les talwegs et les dépressions .....		25
Les buttes et les reliefs .....		26
Les grandes zones de glacis.....		26
Diversité et emboîtements des unités de paysage.....		27

Le climat .....	28
Le régime climatique .....	28
Les données climatologiques .....	28
Les températures .....	29
L'humidité .....	29
Le vent .....	30
Durée d'insolation et rayonnement global .....	30
Évaporation et évapotranspiration .....	30
La pluviométrie .....	31
<i>Pluies annuelles et mensuelles</i> .....	32
<i>Pluies journalières</i> .....	33
<i>Représentativité des données : pluie au sol</i> .....	36
<i>Comment situer la période de sécheresse actuelle ?</i> .....	36
Les eaux de surface .....	37
Les écoulements : lames écoulées et coefficients d'écoulement .....	39
Le bilan de la mare d'Oursi .....	40

### **La végétation**

*M. Grouzis*

Caractères généraux .....	43
Typologie de la végétation.....	47
Les unités de végétation liées aux dunes et aux ensablements .....	47
Les unités de végétation liées aux cuirasses ferrugineuses .....	47
Les unités de végétation liées aux affleurements rocheux .....	47
Les formations inondables .....	48

### **L'occupation de l'espace**

*M. Langlois*

Mise en place du peuplement .....	50
Populations et évolution démographique .....	53
Implantation de la population et mobilité .....	54
Habitat et unités résidentielles .....	55
Les types d'habitat .....	55
Les campements et les villages .....	59
Effectifs et localisation du cheptel .....	60

*P. Milleville*

### *Deuxième partie*

## La dynamique des systèmes écologiques

### **L'eau et les sols**

Évolution géodynamique et géodynamique actuelle .....	65
<i>F. Joly et Y. Dewolf</i>	
Les incisions linéaires.....	66
Les ruissellement diffus.....	68
La dynamique éolienne.....	69
Mesures d'érosion sur parcelles.....	69

La dynamique de l'eau.....	72
<i>P. Chevallier, J. Claude</i>	
Variabilité du ruissellement.....	72
<i>Pluie d'imbibition</i> .....	72
<i>Analyse des facteurs de ruissellement</i> .....	73
<i>Crues de projet</i> .....	74
Dynamique de l'eau dans les sols.....	74
<i>Bilans hydriques annuels de différents types de sol</i> .....	76
La dynamique actuelle des états de surface.....	79
<i>J. Collinet</i>	
La notion d'état de surface.....	79
Identification et comportements hydrodynamiques des principaux états de surface.....	80
Potentialités et contraintes des surfaces représentatives sur le plan de l'économie de l'eau.....	86
<i>La cuvette de la mare</i> .....	86
<i>Les glacis</i> .....	86

### **La production végétale**

*M. Grouzis*

Méthodologie opérationnelle.....	88
Les niveaux d'étude.....	88
Recouvrement et contribution spécifique.....	89
La phytomasse herbacée.....	89
La phénologie des ligneux.....	91
Approche stationnelle de la production végétale.....	93
La strate herbacée.....	93
<i>Les cycles et leur variabilité</i> .....	95
<i>Fraction épigée : valeurs caractéristiques des différentes phases</i> .....	98
<i>Caractéristiques des parties souterraines</i> .....	101
<i>Dynamique de la qualité fourragère des principaux types de pâturages</i> .....	105
La strate ligneuse.....	111
<i>Les cycles</i> .....	111
<i>Relations allométriques</i> .....	116
Approche régionale et fréquentielle de la production annuelle.....	117
Production herbacée régionale moyenne. Potentiel de charge.....	117
Production foliaire des ligneux.....	118
Estimation de la production herbacée et de la charge fréquentielles.....	122

### **Évolution et seuils de rupture des systèmes écologiques**

*M. Grouzis*

Les conditions de la dégradation.....	127
La sécheresse.....	127
L'emprise humaine.....	127
Les capacités de régénération.....	128
La régénération naturelle.....	129
La régénération artificielle.....	133
Seuils de rupture et nouveaux équilibres.....	135

**Les systèmes de culture**

*P. Milleville*

Localisation des cultures et surfaces cultivées .....	144
Les techniques agricoles .....	149
Préparation du champ.....	149
Fumure.....	149
Semis.....	150
Démariage.....	151
Sarclage.....	151
Gardiennage.....	152
Récolte.....	153
Efficiency des systèmes de culture .....	153
Activités de cueillette .....	154

**Les systèmes d'élevage** 156

*P. Milleville*

Conduite et déplacements des troupeaux : la quête alimentaire.....	157
La spécificité des déplacements saisonniers .....	158
<i>Pré hivernage</i> .....	158
<i>Saison des pluies</i> .....	159
<i>Saison sèche</i> .....	159
La mobilité au quotidien.....	160
Les pratiques de conduite.....	163
Production laitière, croissance et sevrage des veaux.....	168
Croissance et sevrage des veaux.....	170
Sélection et soins au bétail .....	172
Sélection.....	172
Complémentation minérale.....	172
Complémentation alimentaire.....	173
Structure et dynamique des troupeaux.....	173
Structure du troupeau bovin.....	173
Dynamique du troupeau bovin .....	175
<i>Reproduction et fécondité</i> .....	175
<i>Mortalité</i> .....	176
<i>Cas des petits ruminants</i> .....	177

**Les unités domestiques**

*M. Langlois*

Les unités résidentielles .....	179
Les unités de production et de consommation.....	182
Mobilisation de la force de travail.....	184
Gestion du cheptel et circulation sociale du bétail.....	186
La circulation sociale du bétail .....	189

## Efficienc e et diversit é des syst èmes de production

*M. Langlois*

Satisfaction des besoins alimentaires .....	193
Ressources et d épen ses des unit és domestiques .....	196
Échanges et commercialisation sur les march és .....	198
Diversit é et compl émentarit é des syst èmes de production.....	200

### Conclusion

203

*J. Claude, M. Grouzis, P. Milleville*

### Bibliographies

Références bibliographiques .....	213
Publications relatives à la région de la mare d'Oursi .....	225

Annexe : Liste des participants au programme " Mare d'Oursi " .....	235
---	-----

### Illustrations

Planches photographiques.....	162-163
-------------------------------	---------

Carte 1 hors-texte : Bassin versant de la mare d'Oursi (Burkina Faso). Différenciation des états de surface (image Landsat du 4-2-1976). Équipements de mesures par *P. Chevallier, L. Lointier et B. Lortic*

Carte 2 : Lieux de résidence en fin de saison sèche (1978) par *M. Langlois, P. Milleville et F. Sodter*.....57

Carte 3 hors-texte : Carte géomorphologique et géodynamique du bassin de la mare d'Oursi (Burkina Faso) par *F. Joly et Y. Dewolf*

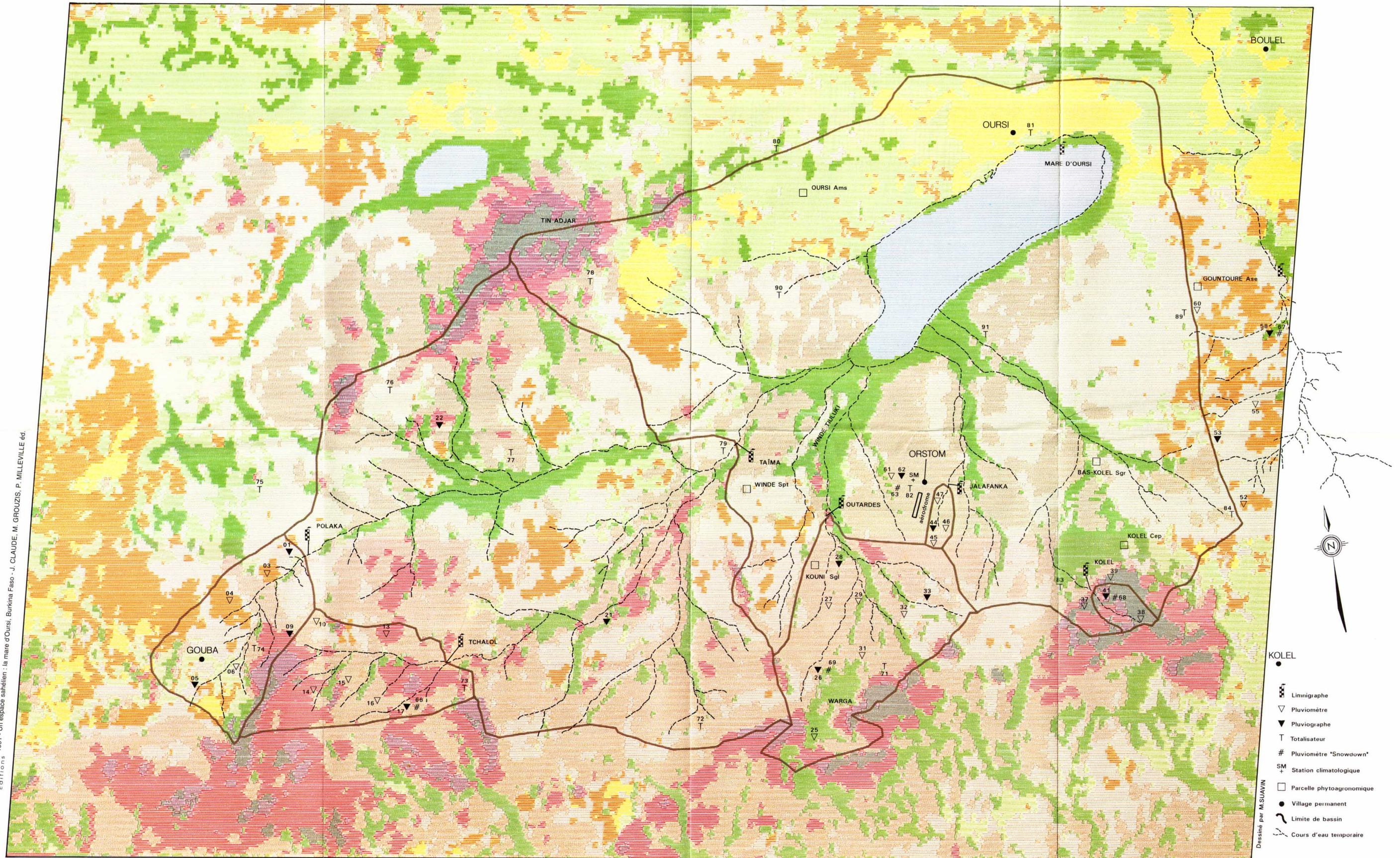
*Photogravure :*  
Traitement Postscript. ▲ **Atelier 3** - Montpellier  
Edition Décembre 1991

*Impression :*  
LOUIS - JEAN  
avenue d'Embrun, 05003 GAP cedex  
Tél. 92 53 17 00  
Dépôt légal : 947 — Décembre 1991  
Imprimé en France

# Carte 1

## Bassin versant de la mare d'Oursi ( Burkina Faso )

Différenciation des états de surface (image Landsat du 4-2-1976). Équipements de mesures P. Chevallier, M. Lointier, B. Lortic



© ORSTOM 1985 © Editions 1991 - Un espace sahélier : la mare d'Oursi, Burkina Faso - J. CLAUDE, M. GROUZIS, P. MILLEVILLE éd.

- |                   |                                |                                |                         |                  |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| - 1 - Sandes vifs | - 3 - Altération de cuirasse   | - 5 - Gravillons               | - 7 - Péllicule indurée | - 9 - Végétation |
| - 2 - Buttes      | - 4 - Blocs de roches diverses | - 6 - Arènes, sables grossiers | - 8 - Sandes fixés      | - 10 - Mare      |

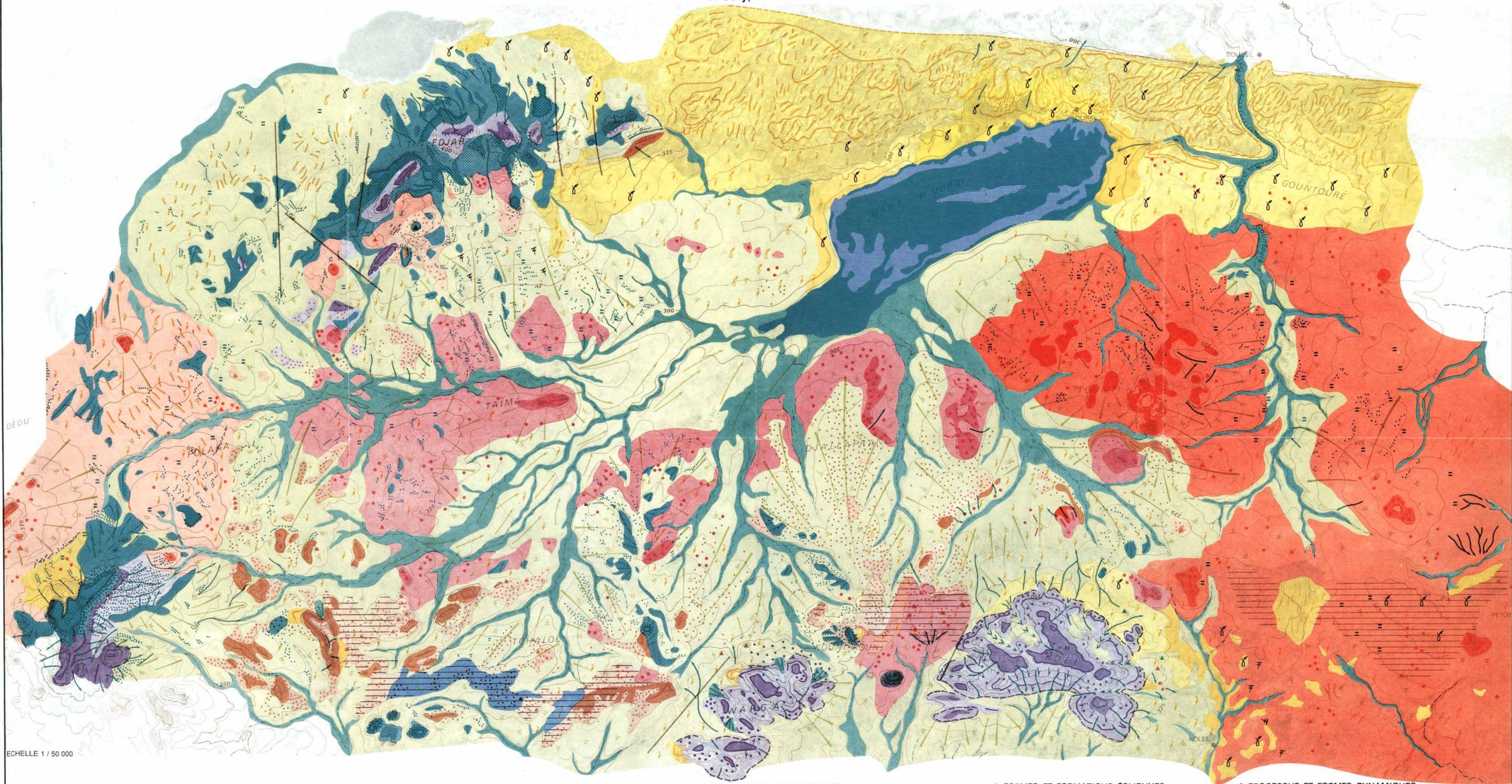
ECHELLE 1 : 50 000  
 0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 km

- Linnigraphe
- Pluviomètre
- Pluviographe
- Totalisateur
- Pluviomètre "Snowdown"
- Station climatologique
- Parcelle phytoagronomique
- Village permanent
- Limite de bassin
- Cours d'eau temporaire

Dessiné par M.SUAVIN

# Carte 3 Carte géomorphologique et géodynamique du bassin de la mare d'Oursi (Burkina Faso)

F. Joly, Y. Dewolf



ÉCHELLE 1 / 50 000

## 1. TOPOGRAPHIE

- Courbes de niveau (équidistance 5m)
- 350 Cote d'altitude (en mètres)

## 2. HYDROGRAPHIE

- Chenal d'écoulement temporaire
- Mare d'Oursi
- Extension maximum (hiver)
- Dépressions résiduelles (saison sèche)

## 3. LITHOLOGIE

- Granites type Taïma
- Granites type Déou
- Granites type Pétou-Goutouré
- Roches métamorphiques diverses
- Gabbros et roches vertes
- Pointement de magnétite

## 4. TECTONIQUE

- Pendages
- Faïlle masquée

## 6. FORMES STRUCTURALES

- Crêtes Inselberge
- Fonds d'alvéoles
- Pointements et chicots
- Boules et chaos de boules
- Corniches cuirassées
- Convexités
- Concavités
- Monoclinal

## 5. VIEILLE SURFACE

- Surface fondamentale

## 7. FORMATIONS SUPERFICIELLES

- Profils pédologiques hérités**
  - Cuirasses sur profil ferrallitique tronqué
  - Profils sur vieille surface
- Altérites autochtones ou parautochtones**
  - Arènes granitiques type Taïma
  - Arènes granitiques type Déou
  - Arènes granitiques type Pétou-Goutouré
  - Altérites sur roches métamorphiques diverses
  - Altérites sur gabbros et roches vertes
- Formations allochtones**
  - Eboulis de cuirasse
  - Cuirasse détritique de versant (Canga)
  - Cuirasse de glaci
  - Gravillons ferrugineux cimentés
  - Blocailles de roches diverses
  - Colluvions
- Formations alluviales**
  - Alluvions des talwegs

## 8. FORMES ET FORMATIONS ÉOLIENNES

- Sables fixes**
  - Cordon dunaire, vieilles dunes
- Sables vifs**
  - Erg d'Oursi
- Formes**
  - Limites du cordon septentrional
  - Crête dunaire

## 9. PROCESSUS ET FORMES DYNAMIQUES

- Ruissellement diffus
- Epannage
- Glacis
- Altération chimique profonde
- Ravinement
- Vallon encaissé
- Cône de déjection
- Rebord de terrasses
- Carapaces ferrugineuses de nappe perchée / d'oued
- Déflation éolienne
- Dépôt éolien
- Versant de gravité
- Déflation
- Ruissellement diffus (Anthropisme)

01432

Le projet " Mare d'Oursi " fut, de 1976 à 1981, la plus importante opération de recherche sur les conséquences de la sécheresse en milieu sahélien, financée par le comité LAT (Lutte contre l'aridité en milieu tropical) de la DGRST.

La région de la mare d'Oursi, au nord du Burkina Faso, caractéristique des espaces sahéliens soumis à une forte aridité, aggravée par la sécheresse qui se prolonge depuis 1970, a constitué un terrain exemplaire où les chercheurs de cinq instituts ont inventorié, étudié, mesuré et modélisé la structure, les mécanismes d'évolution et le potentiel de production des différentes composantes des systèmes écologiques ainsi que les modes d'exploitation de leurs ressources par les populations qui y pratiquent essentiellement l'élevage et la culture pluviale de céréales.

Les résultats de ces recherches sont rassemblés dans cet ouvrage qui, sans prétendre à l'exhaustivité, se propose de mettre à la disposition de la communauté scientifique et des acteurs du développement l'essentiel des acquis de ce projet.

Au-delà de cette simple mais nécessaire restitution, la rédaction de cette synthèse, avec le recul qu'a permis le délai de sa réalisation et l'apport de recherches et actions de développement qui se sont poursuivies dans la région depuis 1981, est l'occasion de transposer le dialogue entre recherche et développement sur un autre plan que celui du transfert technologique. Le constat de crise de cet écosystème, crise révélée et exacerbée par la sécheresse, doit être nuancée grâce à une connaissance détaillée de ses facteurs et de ses acteurs : la grande diversité des biotopes et de leur mode d'exploitation, leur capacité d'adaptation et de régénération, parfois surprenantes, et la possibilité de mobiliser de nouveaux moyens techniques laissent entrevoir l'espoir sinon de restaurer ces écosystèmes dans un état d'équilibre naturel supposé idéal, du moins de sécuriser les conditions de vie dans la région.

Mais les nécessaires concertations et mobilisations pour aider à ce mieux vivre ne sauraient être efficaces que relayées dans l'action par une volonté politique, nationale et régionale, de promouvoir un véritable et durable éco-développement.

*The " Mare d'Oursi " project was from 1976 to 1981 the largest research operation on the consequences of drought in the Sahel; it was financed by the LAT (Lutte contre l'aridité en milieu tropical) Committee of the DGRST.*

*The Mare d'Oursi region in northern Burkina Faso is characteristic of Sahel areas subjected to strong aridity aggravated by drought which lasted since 1970 and formed an excellent area for investigation. Researchers from five institutes inventoried, studied, measured and modelled the structure, the mechanisms of evolution and the production potential of the different components of ecological systems and the way in which their resources are exploited by populations which practice mainly animal husbandry and rainfed cereal crops. The research results are assembled in this book which, without claiming to be exhaustive, aims at providing the scientific community and those involved in development with the main findings of the project.*

*Beyond this simple but necessary restitution, drawing up the synthesis, with the detachment contributed by the time needed and the contribution of research and development operations in the region since 1981, is the opportunity to shift the dialogue between research and development to a plane other than that of transfer of technology. Observation of the crisis of this ecosystem - a crisis revealed and worsened by the draught - must be differentiated by detailed knowledge of the factors and people and groups involved: the great diversity of biotopes and their modes of exploitation, their sometimes surprising capacity of adaptation and regeneration and the possibility of using new technical facilities give a slight hope if not for the restoration of these ecosystems to a state of natural equilibrium assumed to be ideal, at least for making conditions of existence secure.*

*However, the concertation and mobilisation required to help to provide this better life will only be effective if there is a national and regional political will to promote true, sustained ecological development.*

ISBN 2-7099-1067-5

ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10  
Éditions, diffusion : 72, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex, France