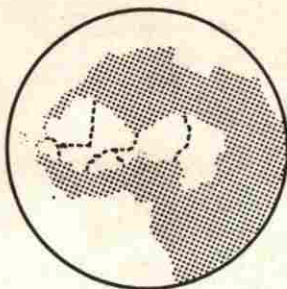


00416

OCDE

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET
DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES



CILSS

COMITÉ PERMANENT INTER-ÉTATS DE LUTTE
CONTRE LA SÉCHERESSE DANS LE SAHEL

CLUB DU SAHEL

SAHEL D(84)248
Septembre 1984

DIFFUSION GÉNÉRALE

TRANSFORMATION DE L'ENVIRONNEMENT
DANS LE SAHEL OUEST AFRICAÎN

Advisory Committee on the Sahel
Board on Science and Technology
for International Development
Office of International Affairs
National Research Council
United States of America

SAHEL D(84)248
Septembre 1984



TRANSFORMATION DE L'ENVIRONNEMENT
DANS LE SAHEL OUEST AFRICAIN

Club du Sahel
OCDE - OECD
2 rue André Pascal
75775 PARIS CEDEX 16

CILSS
B.P. 7049
Ouagadougou
BURKINA FASO

21903
Copyright OCDE, 1984

REMARQUE

Le projet sur lequel porte cet ouvrage a été approuvé par le Conseil Directeur du National Research Council, dont les membres proviennent des Conseils de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering, et du Institute of Medicine. Les membres du Comité responsable de ce rapport ont été choisis en raison de leurs compétences spécifiques, et en vue d'obtenir une composition équilibrée.

Ce rapport a été révisé par un groupe de personnes différentes des auteurs, conformément aux procédures approuvées par un comité de réexamen du projet, composé de membres de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering, et du Medicine Institute.

Le National Research Council a été établi en 1916 par la National Academy of Sciences, afin d'associer les milieux scientifiques aux objectifs qu'elles poursuit : approfondir les connaissances et conseiller le gouvernement fédéral. Le Conseil agit en fonction des principes généraux définis par l'Academy, dans le cadre de la Charte de 1863, qui lui confère le statut de société indépendante à but non lucratif. Le Conseil est devenu l'agence principale de la National Academy of Sciences et de la National Academy of Engineering pour exécuter les services que ces dernières rendent au gouvernement, au public et aux milieux scientifiques et d'ingénierie. Le Conseil est administré par ces deux Académies et par le Medicine Institute, qui, avec la National Academy of Engineering, a été créé dans le cadre de la Charte de la National Academy of Sciences, en 1960 et en 1970 respectivement.

Le présent ouvrage a été préparé par le Comité Consultatif sur le Sahel, le Conseil Scientifique et Technique pour le Développement International, le Bureau des Affaires Internationales, le Conseil National de la Recherche, pour le Bureau des Affaires Sahéliennes et d'Afrique Occidentale, le Bureau pour l'Afrique, l'Agence pour le Développement International, Washington D.C., autorisation N°AFR-0929-G-SS-1104-00.

Des exemplaires de ce rapport en anglais peuvent être obtenus auprès du :

Board on Science and Technology
for International Development
National Research Council
2101 Constitution Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20418 USA

Des exemplaires en français peuvent être obtenus auprès du :

Club du Sahel
OCDE
2, rue André Pascal
75016 Paris

ADVISORY COMMITTEE ON THE SAHEL

LEONARD BERRY, Graduate School of Geography, Clark University,
Worcester, Massachusetts, USA, Chairman
EDWARD AYENSU, Office of Biological Conservation, Smithsonian
Institution, Washington, D.C., USA, Vice Chairman
MOUNKEILA GOUMANDAKOYE, Assistant Director, Forest Service, Ministry
of Rural Development, Niger
FRANCIS LeBEAU, Agricultural Consultant, Crystal Springs, Mississippi,
USA
FRED WEBER, International Resources Development and Conservation
Services, Boise, Idaho, USA

STUDY STAFF, BOARD ON SCIENCE AND TECHNOLOGY
FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT

CAROL CORILLON, Writer/Research Associate
JEFFREY A. GRITZNER, Professional Associate

CONTRIBUTORS

EDMOND BERNUS, Office de la Recherche Scientifique et Technique
Outre-Mer (ORSTOM), Paris, France
KARL BUTZER, Departments of Geography and Anthropology, University of
Chicago, Chicago, Illinois, USA
ROBERT FISHWICK, Western Africa Regional Office, World Bank,
Washington, D.C., USA
SHARON NICHOLSON, Graduate School of Geography, Clark University,
Worcester, Massachusetts, USA
WOLF RODER, Department of Geography, University of Cincinnati,
Cincinnati, Ohio, USA

PREFACE

En 1968, la région sahélienne d'Afrique occidentale a été durement frappée par une très forte sécheresse. Dès le début des années 70, le monde entier s'est ému des tragédies qu'elle provoquait : la maladie et la famine pour 25 millions d'habitants, ainsi que le bouleversement de l'ordre économique et social dans la région. En dépit d'ambitieux programmes d'aide, les taux de mortalité n'ont cessé de s'aggraver. L'élevage, notamment des bovins, qui s'adaptent moins facilement aux conditions climatiques, a subi de fortes pertes. Les ressources fondamentales de la région se sont ainsi gravement détériorées.

Cette sécheresse était-elle un trait typique du climat sahélien ? Quelle est la nature des régimes climatiques du Sahel ? Comment les écosystèmes sahéliens fonctionnent-ils, et quelle est la cause des déséquilibres écologiques marquant la région ? Dans quelle mesure l'activité humaine - plutôt que les fluctuations climatiques - est-elle responsable de la détérioration générale des écosystèmes sahéliens ? Comment peut-on restaurer le plus efficacement possible les principaux processus écologiques et la diversité génétique dans le Sahel ?

Pour pouvoir planifier correctement le développement du Sahel, ces questions doivent faire l'objet d'un examen minutieux. Le double objectif visé par les gouvernements de la région et les programmes d'aide technique et économique - un développement soutenu et un environnement stable - implique que les décisions concernant les projets à entreprendre se basent sur une analyse scientifique appropriée. Il est également évident qu'il faut concilier les projets de développement avec les réalités sociales et de l'environnement, afin d'exercer les efforts sur les points forts des systèmes existants et d'obtenir des résultats écologiques et socio-économiques positifs.

En 1978, le Conseil scientifique et technique pour le Développement International a créé le Comité Consultatif sur le Sahel (ACOS) pour répondre à la demande de l'Agence pour le Développement International, qui souhaitait élaborer une stratégie à long terme visant l'amélioration de l'environnement et le développement du Sahel. Cette étude a donc été entreprise par l'ACOS à la demande du Bureau des Affaires Sahéliennes et de l'Afrique Occidentale de l'AID, pour mieux comprendre l'évolution de l'environnement dans le Sahel Ouest africain, et pour contribuer à identifier les mesures qui permettront de restaurer les processus écologiques, en améliorant ainsi la production de

l'arido-culture, de l'agriculture irriguée, de la sylviculture et du bois de feu, et de l'élevage.

Pour interpréter les données concernant l'évolution de l'environnement sahélien, le Comité a fait appel à des experts réputés connaissant plus particulièrement les aspects sociaux et l'histoire de l'environnement de la région sahélienne. Ces experts ont été invités à mener des études indépendantes ou à rédiger des rapports sur des sujets spécifiques présentant une importance cruciale pour le Comité. Ils ont ainsi apporté à cette étude, à titre individuel ou collectif, les contributions suivantes :

- Karl Butzer, de l'Université de Chicago, a rédigé une note figurant dans le chapitre 1 de cet ouvrage portant sur l'Evolution de l'Environnement Sahélien à la fin du Quaternaire.
- L'étude de Sharon Nicholson, de Clark University, a servi de base à la fois au chapitre 2, concernant le Climat et l'Homme dans le Sahel pendant la Période Historique, et à l'Annexe B, portant sur la Climatologie de l'Afrique Sub-Saharienne.
- Edmond Bernus (ORSTOM) et Jeffrey Gritzner (BOSTID), ont écrit en collaboration le chapitre 3, intitulé : L'Impact de l'Activité Humaine sur les Ecosystèmes Sahéliens.
- Les commentaires figurant dans le chapitre 4 reflètent l'expérience des membres du Comité, ainsi que la compétence de Robert Fishwick, de la Banque Mondiale, et de Wolf Roder, de l'Université de Cincinnati, qui ont été invités à participer aux réunions finales du Comité.
- L'Annexe A, concernant la plantation de rideaux boisés de protection dans les Terres Arides d'Afrique Occidentale, se fonde sur l'étude menée conjointement par Robert Fishwick et Fred Weber. Cet ouvrage a été intégralement revu et corrigé par l'ensemble des membres du Comité.

Le Comité a également porté un vif intérêt aux autres contributions reçues. Ainsi, les commentaires formulés par George Taylor II et Dayton Maxwell, du Bureau de l'AID sur les Affaires Sahéliennes et d'Afrique Occidentale ont permis d'établir une correspondance entre le contenu de ce rapport et les besoins de l'AID. Des représentants de l'AID, du Ministère américain de l'Agriculture, du Bureau sur l'Evaluation de la Technologie, du Ministère des Affaires Etrangères, de la Banque Mondiale et d'autres organisations intéressées, ont assisté aux réunions du Comité et ont fourni des informations et des commentaires qui l'ont aidé considérablement dans la rédaction de ce rapport. Jean Maley, du Bureau Français de la Recherche

Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Michael Watts, de l'Université de Californie à Berkeley, F. Kenneth Hare, de l'Université de Toronto, et William Clark, de l'Institut d'Analyse Energétique, ont formulé des critiques et des suggestions très valables sur les différentes versions préliminaires de ce rapport.

Outre le soutien inestimable de nos collaborateurs, Carol Corillon et Jeffrey Gritzner, nous avons également bénéficié du Concours de Michael G.C. McDonald Dow, qui a pris part à nos réunions en nous apportant l'expérience acquise au fil des années passées dans le Sahel. Alverda Naylor s'est acquitté avec diligence et compétence des nombreuses tâches administratives nécessaires à la mise au point de cet ouvrage, qui a été révisé par Sherry Snyder. Cheryl Hailey s'est chargée de la conception et de l'illustration du rapport et Irène Martinez, après avoir dactylographié les différents projets de texte, a préparé la version définitive à imprimer.

Etant donné l'extrême importance des systèmes agro-sylvopastoraux pour l'économie des pays du Sahel, et l'intérêt de disposer de meilleurs systèmes de production intégrée pour élaborer des politiques d'amélioration, le Comité a préparé un rapport parallèle concernant l'Agroforesterie dans le Sahel Ouest Africain. Ce document étudie en profondeur de nombreux problèmes exposés dans le chapitre 4, ainsi que les solutions proposées.

Leonard Berry
Président du Comité Consultatif
sur le Sahel

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Description de l'environnement	3
1. Evolution de l'environnement sahélien à la fin du Quaternaire	9
2. Le climat et l'homme dans le Sahel durant la période historique	19
3. L'impact de l'activité humaine sur les écosystèmes sahéliens	29
4. Amélioration de l'environnement : Commentaires et recommandations	51
Bibliographie	69
ANNEXES	
A. Création de rideaux boisés de protection dans les régions arides d'Afrique occidentale	77
B. Climatologie de l'Afrique sub-saharienne	85

INTRODUCTION

Faute d'une compréhension suffisante de la climatologie, de l'évolution de l'environnement et du fonctionnement de l'écosystème sahéliens, on n'a pu réussir jusqu'à présent à concevoir et à mettre en oeuvre des projets visant à l'amélioration de l'agriculture et de l'environnement dans le Sahel. Des millions de dollars apportés par les donateurs ont ainsi été gaspillés, tandis que les populations des pays du Sahel deviennent de plus en plus vulnérables aux problèmes économiques et aux catastrophes naturelles. Dans le cadre de cette étude, le Comité Consultatif sur le Sahel s'est efforcé de clarifier l'histoire de l'environnement de cette région et de fournir les données de base nécessaires à la conception de projets destinés à restaurer les écosystèmes et à promouvoir l'élevage et la production agricole.

L'analyse des modifications ayant affecté l'environnement sahélien se fonde sur l'examen de l'environnement préhistorique et historique de cette région, dont les caractéristiques à long terme ont pu être ainsi définies, en étudiant les témoignages laissés par les alluvions, les sables fossiles, le fond des lacs et leurs anciennes rives. Selon ces témoignages, exposés dans le chapitre 1, le climat sahélien n'aurait subi, à long terme, que de légères modifications au cours des 2 500 dernières années, tout en étant affecté à court terme par de brusques changements. Le chapitre 2 aborde la nature des régimes climatiques du Sahel, qui sont traités plus en détail dans l'Annexe B.

Par ailleurs, le chapitre 2 commente l'interaction de l'homme et de l'environnement, en étudiant les caractéristiques pluviométriques auxquelles les activités humaines doivent s'adapter. Les chroniques de géographes et d'historiens de l'époque médiévale, les récits des premiers voyageurs européens, les documents archéologiques ainsi que d'autres sources, ont mis en évidence la faiblesse des précipitations sahéliennes, leur répartition inégale et leur variabilité, tandis que la sécheresse semble inhérente à la région. Selon cette documentation, des sécheresses importantes ayant persisté douze à quinze années, sont intervenues vers 1680, 1750, 1820, 1830, 1910, et depuis 1968. La période 1790-1850 a été dominée par une aridité générale tandis que des sécheresses relativement moins importantes sont apparues vers 1640, 1710, 1810, le début du 20ème siècle, et dans les années 1940. Du 9ème au 13ème siècle, du 16ème au 18ème, de 1870 à 1895, et pendant les années 1950, la région a bénéficié d'épisodes relativement pluvieux. Ainsi tout projet

de développement doit tenir compte de la forte variabilité du climat sahélien et de l'apparition de sécheresses inévitables, caractéristiques de cette région.

L'étude de l'impact de l'activité humaine sur les écosystèmes sahéliens indique nettement que le rôle joué par l'homme dans la modification de l'environnement a été largement sous-estimé. Comme le démontre le chapitre 3, l'influence des sociétés primitives et médiévales s'est exercée par l'intermédiaire des feux de brousse, de la production du charbon de bois pour répondre aux besoins locaux, du commerce trans-saharien, de la fonte du minerai de fer, et de l'établissement de peuplements sur des régions facilement déstabilisées. A l'époque moderne, de nombreuses activités similaires, souvent pratiquées à une plus grande échelle, ainsi que les travaux liés au développement et à la modernisation, ont encore aggravé la détérioration de l'environnement.

Grâce à une connaissance plus approfondie de l'environnement sahélien et de l'influence exercée au fil du temps par l'activité de l'homme sur les écosystèmes, les responsables de la planification du développement peuvent évaluer plus précisément la nature, les causes et l'étendue géographique de la détérioration de l'environnement. Ces responsables peuvent ainsi mieux analyser le potentiel biologique du Sahel et identifier les mesures spécifiques susceptibles de restaurer les processus écologiques fondamentaux et de contribuer au développement de systèmes agro-sylvo-pastoraux plus stables et plus productifs. Ces connaissances leur permettent également de distinguer les activités ayant sur l'environnement un impact négatif de celles qui s'avèrent positives, et de combiner l'analyse historique et l'expertise écologique moderne, pour esquisser les grandes lignes devant servir de cadre aux projets. Le chapitre 4 définit les programmes de recherche et d'autres mesures permettant d'améliorer la compréhension actuelle des écosystèmes sahéliens et de promouvoir des activités de développement ayant un effet positif sur l'environnement.

Les rideaux boisés de protection ont efficacement contribué à augmenter les rendements des cultures et la production de bois de feu, de matériaux de construction et d'autres produits importants pour les populations sahéliennes. Ils abritent également les animaux sauvages, permettant ainsi aux chasseurs de s'approvisionner, tout en redonnant à cette faune la possibilité de disperser les graines et les semences. L'Annexe A expose brièvement la façon dont ces rideaux boisés de protection ont été plantés sur les terres arides d'Afrique Occidentale. L'Annexe B donne davantage de détails sur les informations présentées dans le chapitre 2, en précisant notamment, de façon plus technique, les régimes climatiques sub-sahariens.

DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

En arabe, le terme "sahel" (ou sahil) signifie le rivage ou la bordure. Le présent ouvrage concerne une zone s'étendant sur une largeur de 200 à 400 kms environ, située à 15° de latitude nord, en Afrique sub-saharienne. Bien que cet ouvrage se réfère à titre d'exemple à la modification de l'environnement intervenue dans différentes zones de cette vaste région, il porte essentiellement sur le Sahel ouest-africain (Figure 1). Il existe, cependant, au-delà des limites précises de cette région, certaines enclaves sahéliennes en Afrique occidentale, comme dans l'Adrar des Iforas, l'Aïr, et les plateaux sud-ouest du Tibesti. Dans le Sahel même, le delta du Niger et le lac Tchad ne sont pas représentatifs de l'ensemble de la région.

Depuis le début des efforts entrepris au niveau international dans les années 1970 pour lutter contre les effets de la sécheresse dans les zones arides et semi-arides d'Afrique occidentale, le terme "Sahel" a désigné de plus en plus fréquemment des régions non-sahéliennes des pays membres du Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS). Ces pays sont : l'archipel du Cap Vert, le Sénégal, la Gambie, la Mauritanie, le Mali, la Haute-Volta, le Niger et le Tchad. Dans ces pays, le Sahel proprement dit couvre une superficie d'environ 2 millions de Kms², répartis comme suit : Sénégal : 27 pour cent ; Mauritanie : 39 pour cent ; Mali : 40 pour cent ; Haute Volta : 7 pour cent ; Niger : 50 pour cent, et Tchad 32 pour cent.

L'étude récente des caractéristiques climatiques à long terme du Sahel révèle que cette région a été soumise à de fréquents changements vers la fin du Quaternaire (1). Ainsi, les sables poussés par le vent ont empiété largement sur les zones du Soudan et de la Guinée actuelles jusque vers le sud du

(1) L'époque Quaternaire représente la subdivision majeure la plus récente du temps géologique. Elle équivaut à un épisode relativement bref de 2 ou 3 millions d'années dans l'histoire de la terre, qui couvre environ 5 milliards d'années.

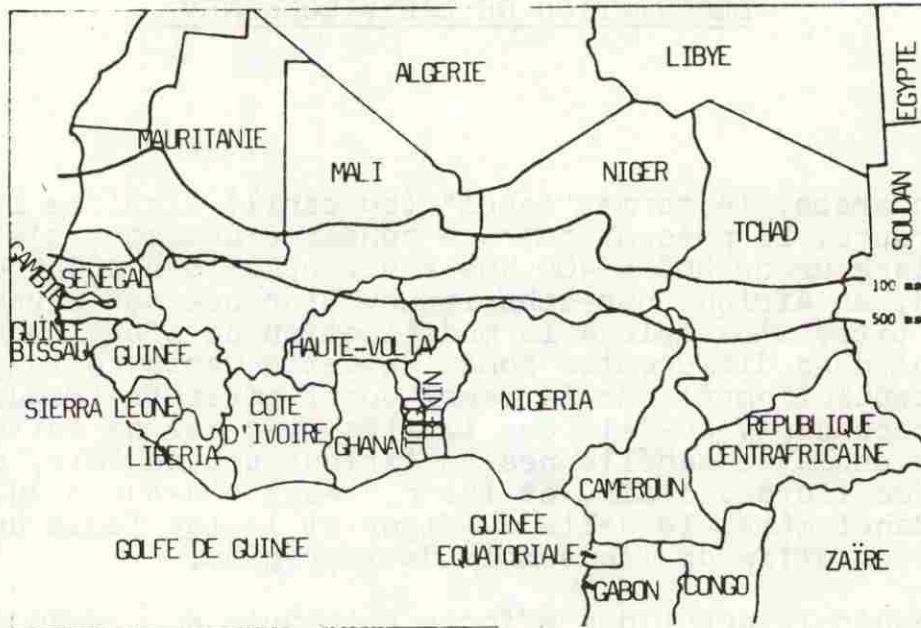


Illustration 1 : Le Sahel Ouest Africain

Sahel, entre 20 000 et 12 000 ans "B.P." (2). De plus, de 9 000 à 5 000 B.P., les fleuves de la région avaient un débit plus important, tandis que les lacs étaient beaucoup plus vastes. Pendant les derniers 2 500 ans, le climat du Sahel est resté relativement stable, marqué par des modifications à court ou à moyen terme correspondant à l'apparition de conditions plus sèches ou plus humides (Figure 2). Des variations climatiques soudaines et très diverses viennent s'ajouter à ces fluctuations relativement plus prévisibles. La variabilité des précipitations, qui se modifient d'une année sur l'autre, caractérise également la région sahélienne. Il est fréquent de voir des pluies torrentielles à la suite de plusieurs années de sécheresse ininterrompue. La sécheresse qui a débuté au Sahel en 1968 a été précédée d'au moins six épisodes marqués par la faiblesse des précipitations, observés depuis 1 400 après J.C. Outre les sécheresses brèves et périodiques, certains chercheurs estiment que des sécheresses importantes apparaissent de façon cyclique dans le Sahel, tous les 30 ans environ.

La saison des pluies ne dure que trois à cinq mois, et les précipitations varient en fonction de la latitude et des conditions locales. Les orages sont souvent violents, tandis que les pluies se répartissent inégalement, cette variabilité dans le temps et l'espace s'accroissant du sud au nord de la région. La saison des pluies est suivie d'une longue saison sèche.

Dans certaines régions sahéliennes, la variabilité des précipitations se trouve partiellement compensée par des réserves d'eau souterraine. Les couches aquifères les plus importantes au niveau de la région sont le "Continental Intercalaire, au Niger et au nord du Mali, et le Continental Terminal post-Eocène, qui est largement lié à l'Adrar des Iforas au Mali, à la région sud-ouest du Niger, à différentes zones au nord du fleuve Niger et au Sénégal. Des couches aquifères similaires existent apparemment au sud-est de la Mauritanie ; elles sont cependant trop profondes pour qu'on puisse les explorer. De même, les précipitations inégales tombant dans la zone sahélienne du Tchad occidental sont compensées par le débit souterrain du lac Tchad orienté vers le nord, qui constitue une réserve d'eau fondamentale, largement alimentée par les fleuves Chari et Logone provenant des plateaux d'Afrique centrale. En outre, le Sahel est traversé par deux fleuves importants, le Sénégal et le Niger, qui prennent leur source dans les plateaux guinéens.

Le Sahel se situe en majeure partie à une altitude inférieure à 400 mètres. Sa surface est recouverte de roches précambriennes striées et plissées. L'alignement typique de ces formations s'oriente du nord-est au sud-est, et se reflète dans

- (2) La plupart des dates isotopes se calculent par rapport au système "B.P." (Before Present : avant l'époque actuelle) plutôt que "B.C." (avant J.C.). Selon un accord international, la date "zéro" de ce système a été fixée à 1950 après J.C.

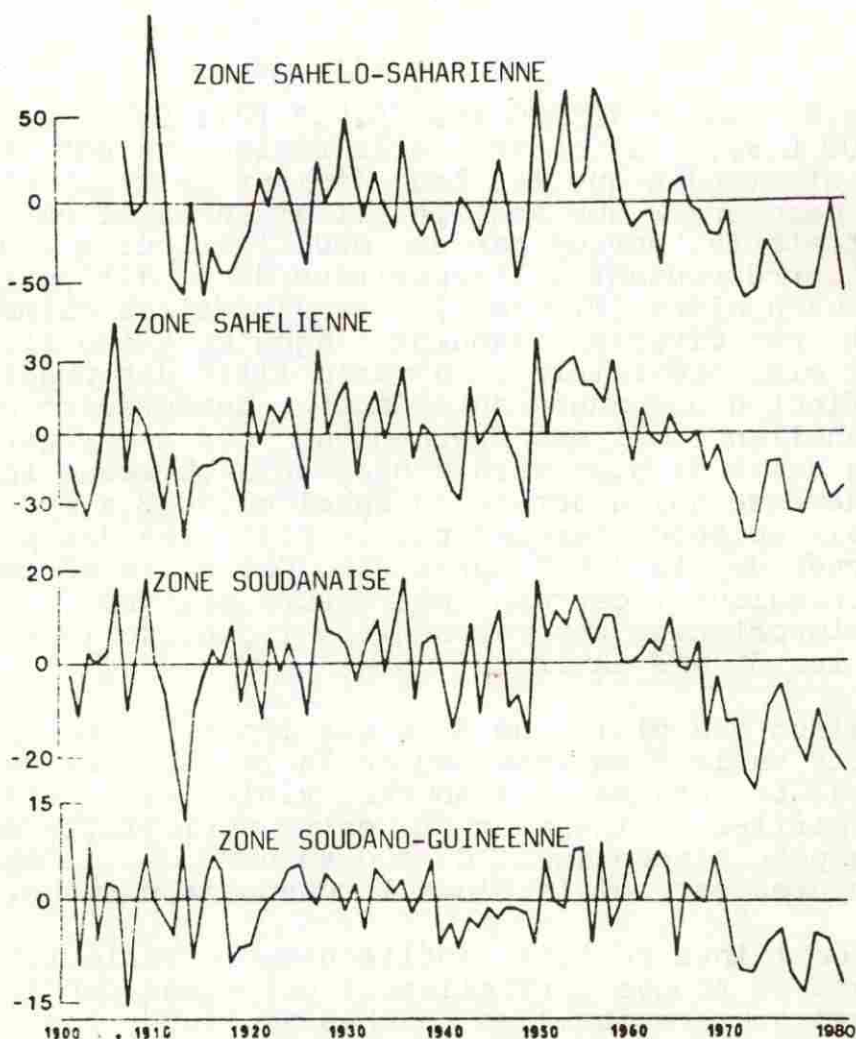


Illustration 2 : Les fluctuations des précipitations (1901-1980) dans les zones sahélo-saharienne, sahélienne, soudanaise et soudano-guinéenne. (pourcentage supérieur/inférieur à la normale).

(Source : Nicholson, 1982)

le relief peu important de la région. La nature des sols varie : tropicaux et ferrugineux au sud, ils deviennent arides et bruns, puis sableux et peu cultivables au nord, où ils reposent sur des dunes vives ou stabilisées.

On considère souvent le Sahel actuel comme une zone de transition, dans laquelle le Sahara fertilisé et le Soudan appauvri se rencontrent dans une sorte de "No man's land" dépourvu de caractéristiques propres. Cependant, ce point de vue est rejeté par Théodore Monod et Edmond Bernus entre autres, qui ont eux-mêmes étudié la région. Ils considèrent en effet que le Sahel constitue une région "écoclimatiquement" autonome, largement caractérisée par l'extrême variabilité de ses précipitations, et par ses communautés végétales thérophytes saisonnières ou "prairie d'été".

Il n'existe ni critère, ni terme universellement accepté pour définir les différents régimes climatiques et les zones de végétation d'Afrique occidentale. Dans cet ouvrage, nous avons défini le Sahel comme une zone se situant grosso modo entre les isohyètes 100 mm et 500 mm. Cette région comprend trois divisions phytogéographiques ; la zone sahélo-saharienne au nord (steppe herbacée) (isohyètes 100-200 mm) ; le Sahel proprement dit (steppe boisée) (isohyètes 200-400 mm), et les zones frontalières soudano-sahéliennes au sud (savane arbustive), s'étendant jusqu'à l'isohyète 500 mm. Au nord, le Sahel est limité par le désert du Sahara, et au sud par la zone soudanaise (savane boisée). En dernier lieu, la zone guinéenne (boisée) s'étend de la zone soudanaise au Golfe de Guinée. La plupart de ces zones comprennent des subdivisions côtières (comme le Sahel de la côte sénégalaise). Il est souvent fait référence à ces zones combinées (la zone soudano-guinéenne par exemple), pour décrire une région intermédiaire entre des zones, ou, plus fréquemment, pour regrouper des zones, ce qui est plus commode.

La zone sahélo-saharienne est relativement peu boisée. Parmi les essences qui poussent dans cette région, on peut citer : Acacia ehrenbergiana, A. tortilis et Balanites aegyptiaca. Les dunes sont recouvertes d'herbes clairsemées, du type Panicum turgidum. Le couvert végétal dans le Sahel même est plus dense et se caractérise par des espèces telles que : Acacia ehrenbergiana, A. laeta, A. nilotica, A. senegal, A. tortilis, Balanites aegyptiaca, Maerua crassifolia, Salvadora persica, Zizyphus mauritiana. Sur les dépôts de limon végètent des plantes annuelles comme : Aristida adscensionis, A. funiculata, Panicum laetum et Schnefeldia gracilis, tandis que Aristida mutabilis, Cenchrus biflorus et Tribulus terrestris poussent sur des sols sableux. La couverture végétale s'intensifie dans la zone soudano-sahélienne ; elle s'élève à 10-12 pour cent sur les sols sableux et à plus de 60 pour cent sur les dépôts de limon. Parmi les herbes et les arbres représentatifs de la zone soudano-sahélienne, on peut citer respectivement : Andropogon gayanus et Zornia glochidiata ; Acacia albida, A. seyal, Adansonia digitata et Combretum glutinosum.

Chapitre 1

EVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT SAHELIEU A LA FIN DU QUATERNAIRE

La sécheresse qui a affecté la bordure méridionale du Sahara en 1968 a provoqué l'une des famines récentes les plus catastrophiques, mais aussi l'une des mieux documentées. Cette sécheresse possédait-elle un caractère unique, et s'était-elle aggravée en raison de l'évolution récente des systèmes agraires et de la croissance démographique, ou bien s'agissait-il d'un épisode grave et récurrent suscité par la sollicitation abusive de l'environnement dans cette région ? Ces questions n'ont pas été réellement abordées. En situant la sécheresse dans un contexte historique, l'examen paléo-environnemental permet d'y répondre.

Aucune autre région d'Afrique n'a évolué de façon aussi marquante. L'environnement de la zone aride et sub-aride de la bordure méridionale du Sahara entre le fleuve Sénégal et le Nil a subi les modifications les plus profondes que l'on puisse observer en Afrique. Cette transformation se reflète notamment dans les grandes étendues de dunes de sable, fixes ou mobiles, et dans les lits asséchés des lacs. Ces témoignages d'anciens régimes climatiques ne se trouvent pas uniquement dans le Sahel ; toutefois, ils ne s'étendent nulle part par ailleurs en Afrique sur une telle superficie.

On peut étudier à ce sujet trois types d'indications ou "témoignages" fournis par : 1) les dépôts d'alluvions se trouvant dans des vallées fluviales et dans les cônes sédimentaires des principaux fleuves (témoignage des fleuves), 2) les sables fossiles que l'on trouve dans les dunes couvertes de végétation, ou que l'on rencontre agglomérés sous forme de nodules au-dessous du lac Tchad ou en haute mer (témoignage des dunes) et 3) les bassins des lacs ainsi que les rives fossiles découvertes dans les principales failles tectoniques et dans les dépressions marécageuses entre les dunes fixes ou mobiles (témoignage des lacs).

Ces témoignages sont complétés par de nombreux paléosols, du pollen fossilisé, et des micro-organismes tels que les diatomées. On a réussi à retrouver assez précisément le calendrier des principaux événements grâce à la datation par radiocarbone, qui a permis d'obtenir de très nombreux résultats. En fait, le

débat porte sur l'amplitude et les caractéristiques de l'évolution de l'environnement et non sur la reconstitution ou l'interprétation paléo-climatique. L'Annexe B commente de façon détaillée les régimes climatiques du Sahel.

LE TEMOIGNAGE DES FLEUVES

Dans la vallée du Sénégal, la datation de l'évolution intervenue à la fin du quaternaire est révélée par les alluvions caillouteuses situées à 2 mètres au-dessus du lit majeur actuel du fleuve, ce qui correspond au niveau global de la mer, qui était relativement élevé vers 31 000 B.P. (Michel 1973, Beaudet 1976). Le niveau de la mer s'est abaissé ultérieurement, ce qui a permis au fleuve de rejeter la majeure partie de ces gravillons, et d'entailler le fond de son lit rocheux, en provoquant probablement ainsi de sévères inondations périodiques. Toutefois, la vallée inférieure a fini par être recouverte par les dunes progressant vers le sud-ouest à partir de la bordure saharienne, formant un relief sur une hauteur de 30 m et s'étendant jusqu'au bord du bouclier continental. A cette époque, le fleuve Sénégal ne pouvait atteindre la côte. Plus tard, une couche profonde de terre rouge, symptomatique d'un tapis végétal complet et d'un processus intensif de désagrégation biochimique a recouvert ces dunes, tandis que le Sénégal et d'autres fleuves se frayaient à nouveau un chemin à travers elles pour atteindre la mer. De 5 000 à 4 000 B.P., le niveau de la mer s'est élevé, inondant ainsi le nouveau delta du Sénégal, dont la plus faible déclivité a favorisé la formation d'alluvions sablonneuses, qui se sont étendues sur près de 250 kms en amont. Après s'être légèrement abaissé, le niveau de la mer s'est élevé à nouveau de 3.000 à 1 650 B.P., provoquant ainsi la formation d'une série de bancs de sable le long du delta, tandis que le régime du fleuve s'apparentait à celui que nous connaissons aujourd'hui. Cette succession de conditions sèches et humides se retrouve plus au sud, vers le centre de la Sierra Leone (Latitude 8° Nord); dans laquelle la datation peut se faire encore plus précisée (Thomas et Thorp, 1980). Dans cet environnement plus humide, les larges vallées marécageuses aux contours imprécis étaient inondées par le ruissellement des pluies de mousson denses et prolongées, de 36 000 à environ 20 500 B.P.. Par la suite, l'absence de sédiments et de matière organique révèle des conditions climatiques plus sèches, sans forêts. Vers 12 500 B.P., le débit du fleuve a augmenté, érodant tout d'abord le fond rocheux, puis déposant des alluvions en couches s'intercalant progressivement avec la terre glaise, jusqu'à vers 9 000 B.P.. Le fleuve s'est ensuite stabilisé vers 6 000 B.P., permettant ainsi la formation d'un sol sur les hautes terres. De 3 300 à 1.750 B.P., puis de nouveau pendant les neuf derniers siècles, des alluvions argileuses se sont encore accumulées.

Ce schéma est confirmé par le noyau des fonds maritimes M-12345, au large du delta du Sénégal, où l'on retrouve des sables et de la poussière mêlés à du pollen provenant du Sahara, qui ont été poussés par le vent entre 16 300 et 12 500 B.P.. Le courant du fleuve a ensuite déposé d'abondants sédiments avec du pollen tropical, surtout après 8 600 B.P. et pendant les millénaires qui ont suivi (Sarthein, 1982). Le noyau KW-31 révèle un schéma similaire, au large du delta du Niger, dont le débit très faible entre 20 000 et 15 000 B.P. a augmenté considérablement et s'est maintenu à un niveau assez élevé jusqu'en 4 000 B.P., avec quelques brèves fluctuations (Pastouret 1978).

Approximativement à la même latitude (8° Nord), le Nil Blanc semble avoir été privé de l'apport de l'Ouganda de 25 000 à 12 500 B.P., ce qui a provoqué une accumulation d'eaux salines dans la partie inférieure de sa plaine d'inondation. (Williams et Adamson 1980). Ultérieurement, de fortes crues ont apporté d'énormes dépôts de limon pouvant dépasser de 4 m le lit actuel, jusque vers 11 400 B.P.. A cette date, le débit du fleuve s'étant affaibli, les dunes, traversant la vallée, se sont dirigées vers la rive orientale. Vers 8 400 B.P., les inondations ont repris tandis que les rivières locales se gonflaient. On a pu déterminer que le débit des eaux était relativement élevé pendant la dernière époque du "témoignage", vers 7 000, 5 500, 3 000, 2 700, et de 2 000 à 1 500 B.P.. Le témoignage du Nil Bleu et celui du bassin combiné du Nil au-dessous de la jonction avec son affluent l'Atbara (William et Adamson 1980, Butzer 1980a) reflètent essentiellement les tendances prévalant dans les hautes terres d'Ethiopie et ne concernent pas directement notre sujet.

L'analyse liminaire des indications fournies par les fleuves qui est faite ici révèle qu'un climat exceptionnellement sec prévalait dans le Sahel de 20 000 à 12 500 B.P. environ. A cette époque, cette région était manifestement un prolongement du Sahara. Ultérieurement, les conditions climatiques sont devenues relativement plus humides, tout en restant soumises à des grandes fluctuations. Le témoignage des fleuves ne parvient pas à expliquer tous les aspects de cette variabilité.

LE TEMOIGNAGE DES DUNES

Dans leur ensemble, les sables poussés par le vent et les fluctuations de la force des courants contribuent à dater l'expansion des dunes fixes et couvertes de végétations ou des nappes de sable qui sont si fréquentes au Sahel (Grove et Warren 1968, Mabbutt 1977, Mainguet 1980, Talbot 1980). A l'heure actuelle, ces dunes sont bien établies au nord du Nigéria, dans des régions recevant jusqu'à 750 mm de pluie ; toutefois, il existe actuellement certaines dunes vives dans des zones dont la pluviométrie excède 150 mm. Ceci permet de penser que les conditions désertiques s'étendaient en moyenne à 3° de latitude plus au sud par rapport à la situation actuelle. Cette extrême aridité n'a pas cependant été ressentie au cours des derniers 12.500 ans.

Il y a environ 7,5 et 5,5 millions d'années, et pendant deux épisodes prolongés, (Sarthein 1982), la poussière d'origine saharienne a commencé à abonder au large de la côte du 2,5 millions d'années plus tard, la poussière apportée par le vent est restée généralement très abondante, en dépit d'importantes fluctuations. Ceci laisse supposer que le Sahara connaissait à l'époque une aridité comparable à celle qui y règne aujourd'hui. Les nodules situés en profondeur sous le bassin du Tchad témoignent de la prédominance d'argile, de diatomées lacustres, et de sables alluviaux de la fin de l'Oligocène ou du début du Miocène jusqu'à la fin du Pliocène (Servant et Servant-Vildary 1980). Par la suite, les sables portés par le vent restent abondants mais se mêlent fréquemment aux lentilles des dépôts lacustres.

Ainsi, les sables des dunes et la poussière apportée par le vent fournissent des documents concernant la création du désert du Sahara tout au début du quaternaire, il y a environ 2 millions d'années. En combinaison avec les dépôts maritimes, lacustres ou fluviaux, ils reflètent un climat relativement sec, dans la mesure où la détérioration du couvert végétal a permis à plusieurs reprises aux sables sahariens poussés par le vent de progresser à l'intérieur d'un environnement qui est aujourd'hui une savane. La dernière progression importante des dunes et des sables qui s'est faite à travers une zone pouvant atteindre 500 kms de large, a eu lieu avant 12 500 B.P.. Les glissements latitudinaux qui se sont effectués depuis 7 000 B.P. ont eu une portée relativement limitée.

LE TEMOIGNAGE DES LACS

La répartition des Bassins asséchés dans le Sahel et même dans certaines parties du Sahara est extrêmement intéressante et fournit les indications les plus détaillées sur les variations climatiques au cours des 12 derniers millénaires. Les informations les mieux connues, permettant d'expliquer le climat sahélien sont celles que fournit le Bassin du Tchad (Servant 1973, Servant-Vildary 1978, Servant et Servant-Vildary 1980, Maley 1981, 1982).

Au cours du dernier millénaire, la superficie du lac Tchad a varié de 10 000 à 20 000 km² en fonction des saisons, sa profondeur moyenne étant de 3 à 7 mètres. A environ 500 kms au nord-est du lac actuel se situent deux dépressions inférieures, Bodélé et Djourab, séparées du lac par une ligne de partage des eaux assez basse. Le trop plein du lac Tchad se déverse parfois dans ces dépressions, lorsque son niveau s'élève au-dessus de la rive (+ 4m) (c'est-à-dire environ 286 m au-dessus du niveau de la mer). Les rives les plus élevées sont à + 40 m, ce qui indique l'existence antérieure d'une grande étendue d'eau couvrant près de 350.000 km², soit à peu près la dimension actuelle de la mer Caspienne. A l'origine, cet immense "Paléo-Tchad" était alimenté

par les fleuves Chari et Logone, qui remontent dans les régions montagneuses boisées d'Afrique Centrale, entre 6° et 10° latitude nord, ainsi que par les précipitations tombant dans son Bassin. En dépit de sa vaste surface d'évaporation, le paléo-Tchad s'est maintenu à un niveau élevé de 7 500 à 5 000 B.P. environ. En outre, non seulement le bassin du lac contenait un volume d'eau beaucoup plus important, mais il alimentait probablement aussi indirectement d'innombrables lacs par infiltration entre les dunes vers l'ouest et le nord, ainsi que d'importantes couches aquifères s'étendant au-delà du bassin.

L'histoire des différents épisodes de formation du Tchad se précise tout d'abord par les niveaux intermédiaires et supérieurs de 30 000 à 20 000 B.P.. Au cours de la première phase lacustre - de 30 000 à 26 000 B.P. - les diatomées associées provenaient d'environnements montagneux ou de hautes latitudes. Cependant, les indications recueillies grâce au pollen révèlent une végétation désertique comprenant de très rares taxa tropicales. A une époque ultérieure - vers 25 000-20 000 B.P. - les diatomées "froides" ont persisté, s'associant cependant à plusieurs espèces tropicales. Le pollen indique une forte augmentation des éléments tropicaux ainsi qu'une diminution correspondante des espèces désertiques.

Entre 20 000 et 13 000 B.P., c'est-à-dire pendant l'épisode le plus aride, les affluents du Tchad méridional sont caractérisés par un débit permanent, et après 17 000, par une large extension des plaines marécageuses. Au nord du lac, les dépôts lacustres, essentiellement salins, réapparaissent entre 13 000 et 12 500 B.P., en reflétant probablement une augmentation du volume d'eau alimenté par une source au sud. De 12 400 à 9 400 B.P., des épisodes de sécheresse ont interrompu à plusieurs reprises des phases lacustres modestes intervenues entre 12 500 et 9 200 B.P.. Vers 9 200 B.P., le lac a augmenté rapidement pour atteindre un niveau intermédiaire jusque vers 8 500 B.P. De 12 500 à 7 000 B.P., la faune de diatomées indique les eaux froides et des conditions oligotrophes. Après la baisse des eaux du lac, qui se sont stabilisées à un niveau comparable à celui du lac actuel vers 7 400-7 000 B.P., le Paléo-Tchad a atteint son maximum à +40 m, en variant au-dessous de ce point culminant jusque vers 5 200-5 000 B.P.. La combinaison des diatomées révèle des températures similaires à celles d'aujourd'hui, et des eaux eutrophiques. Après une baisse lente et importante, se situant aux environs de 4 000 B.P., le lac a encore connu un niveau élevé entre 3 500 et 3 000 B.P.. Les niveaux ultérieurs étaient assez proches de ceux du dernier millénaire.

Selon l'étude palynologique de divers épisodes sédimentaires lacustres (Maley 1981), les formes sahéliennes ont commencé à se substituer lentement à la steppe désertique après 12.500 B.P.. A cette époque, les 12 échantillons sahéliens examinés comprenaient 5 essences différentes. Toutefois, jusqu'en 7.000 B.P., le pollen des arbres ne représente que 7 pour cent du spectre disponible. Le pollen des arbres augmente ensuite considérablement

et dépasse celui des formations non boisées, ce qui prouve incontestablement l'existence d'une savane boisée. Ceci correspond au témoignage des sédiments qui indique un niveau maximum des précipitations et du débit Chari-Logone pendant cette même période.

On peut évaluer les niveaux des précipitations et le degré d'humidité pour les peuplements poussant au bord du lac supérieur vers 7 500-5 200 B.P., en supposant des conditions climatiques (ensoleillement, température, vent) identiques à celles d'aujourd'hui. Kutzbach (1980) a suggéré que la moyenne des précipitations dépassait légèrement 650 mm par an dans tout le bassin alors qu'elle n'atteint actuellement que 350 mm. Toutefois, il évalue en théorie l'évaporation des eaux du lac à 1 297 mm par an, alors qu'en réalité ce chiffre est supérieur à 2 200 mm. (communiqué personnellement par J. Maley).

La périodicité très nette des fluctuations du niveau du lac, démontrée à plusieurs reprises, est encore plus significative que cette prudente estimation. Selon Servant et Servant-Vildary (1980), cette variabilité correspond à quatre types d'échelle : variations (1) de plusieurs dizaines de mètres au cours de plusieurs millénaires ; (2) de un à cinq mètres au cours de plusieurs siècles ; (3) ne dépassant pas trois mètres au cours de plusieurs décennies et (4) d'environ 50 cms entre les saisons. Cette échelle de variabilité se retrouve grosso modo dans d'autres lacs plus petits du Bassin Tchadien alimentés par des eaux souterraines ou par la combinaison des eaux de ruissellement et des nappes phréatiques. Cette caractéristique, qui concerne une large zone climatique entourant le continent africain d'Ouest en Est, est mise en évidence si l'on compare le tracé du lac Turkana (auparavant lac Rudolf), dont l'histoire est identique à celle du Tchad depuis 10 000 B.P., et marquée par des fluctuations soudaines similaires. (Butzer 1980b).

Il est incontestable que, d'après la comparaison de la courbe du débit et des modifications du niveau piézométrique depuis 1900 (Faure et Gac 1981, Maley 1981), l'histoire du lac Tchad illustre parfaitement l'évolution hydrologique intervenue dans le Sahel. Talbot (1980) et Maley (1981) ont étudié les données de base concernant la région à l'ouest du lac. On a pu dater -- avec moins de précision -- une série de modifications locales de la caldera de Gebel Marra (latitude 13 ° N) dans le Soudan occidental (Williams 1980). Dans cette région, un lac très ancien d'un niveau supérieur à 25 mètres a diminué vers 19 000 B.P., pour s'élever ensuite à + 5m - + 8 m entre 19 000 et 16 000 B.P.. Après une nouvelle baisse des eaux, le niveau est remonté à + 9 m vers 14 000 B.P., et s'est maintenu à un niveau intermédiaire jusque vers 3 000 B.P.. Depuis lors, le niveau a varié de - 2 à + 2.5 m. Bien que, reflétant certaines conditions spécifiques, cette succession d'événements est cependant intéressante car elle démontre que l'époque allant de 20 000 à 12 500 n'était pas uniformément aride, ce qui confirme l'existence de bassins lacustres locaux dans les montagnes du Tibesti et indique que le climat en altitude et à des latitudes élevées était fondamentalement plus humide dès 16 000 B.P.

(Jäkel 1979), alors même que les plaines du Sahara et du Sahel étaient désertiques.

Maley (1981) a pu reconstituer en détail l'histoire du lac Tchad pendant les 800 dernières années. En se servant des indications fournies par les dunes, le pollen, les variations du niveau piézométrique, les crues du Niger et du Nil, et les déplacements de population, il a défini dans leurs grandes lignes les anomalies climatiques synchrones du Sahel (Figure 3). Après une baisse de 5 m, en quelques décennies avant 1 450 avant J.C., le niveau du lac s'est élevé de 3 m vers 1 500, pour s'abaisser à nouveau en 1550. Le niveau s'est maintenu à + 5 m pendant tout le 17ème siècle. Ultérieurement, les niveaux ont varié de 0 à + 3 m, s'abaissant à deux reprises au 18ème siècle, puis vers 1850, après 1913, et pendant les années 1970. Ce rythme de fluctuation est plus rapide que ne le laisseraient supposer les vestiges de l'ancien lac, mais il correspond mieux aux principales variations des témoignages parallèles du pollen, souvent condensées en 1 à 3 siècles (Maley 1981). Le débit plus faible des fleuves sahéliens fournit des données encore plus détaillées, en indiquant d'importants épisodes secs constituant des anomalies climatiques tous les trente ans environ depuis le début du siècle (Faure et Gac 1981). Associées aux preuves historiques et à la tradition orale (Nicholson 1979), ces données hydrologiques mettent en évidence certaines différences importantes, qui sont les suivantes :

- Les sécheresses intenses, mais de courte durée, semblables à celle qui a sévi en 1968, disparaissent en général en moins d'une décennie. Elles semblent trop brèves pour laisser des traces sédimentologiques ou biotiques.
- Les épisodes secs anormaux à moyen terme, qui se prolongent sur plusieurs décennies, seront davantage révélés par des études géologiques ou biologiques détaillées. Toutefois, en dépit de leurs effets sur la productivité, la biomasse et le pâturage, ces épisodes ne représentent généralement que des oscillations temporaires dans le cadre du régime climatique extrêmement variable de l'Afrique des moussons (voir Butzer 1971b).
- Les tendances à la sécheresse à long terme s'étalant sur plusieurs siècles ou millénaires sont essentiellement responsables du tracé simplifié des cours d'eau, des dunes et des lacs qui font l'objet de notre étude. Ces tendances incluent de nombreuses oscillations positives et négatives à moyen terme qui, en se cumulant, modifient de manière fondamentale l'hydrologie, la distribution biotique, et les seuils géomorphologiques régionaux. On mesure ainsi l'ampleur de la transformation du lac Tchad au cours des douze derniers millénaires.

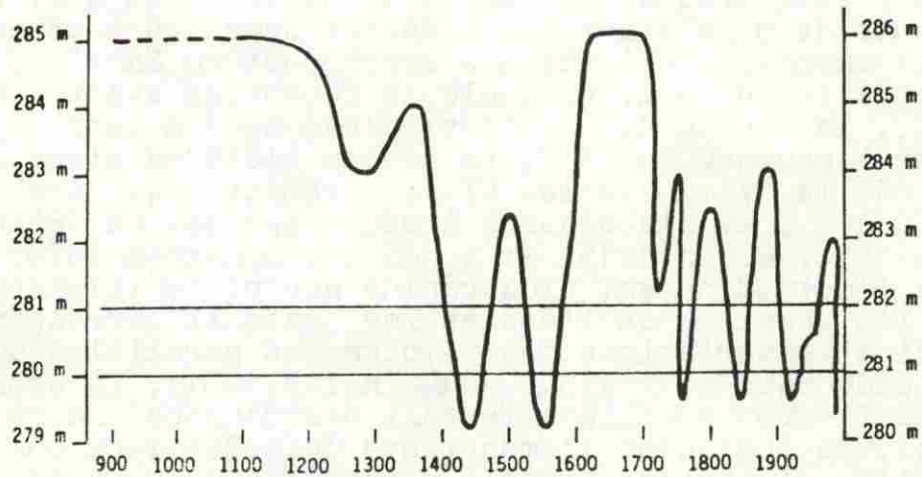


Illustration 3 : Graphique des variations du niveau du lac Tchad pendant le dernier millénaire. L'écart de 1 mètre entre la rive actuelle et celle existant en 900 ap. J.C. reflète l'accumulation de sédiments dans le bassin méridional du lac pendant les 1000 dernières années.

Les informations fournies par les lacs que nous exposons dans cet ouvrage sont parmi les plus détaillées que l'on puisse obtenir sur la fin du Quaternaire en Afrique. Elles prouvent que le climat dominant la majeure partie de la période 9 000-5 000 B.P. était beaucoup plus humide qu'aujourd'hui, ce qui prouve d'autant plus l'existence d'un climat sahélien plus sec avant 12 500 B.P. Ces preuves permettent de situer les fluctuations climatiques récentes dans leur contexte : en effet, on a pu vérifier que des anomalies comparables à la sécheresse qui a débuté en 1968, se sont produites à six reprises au moins depuis 1400 après J.C. et qu'elles sont susceptibles de se reproduire trois fois par siècle.

EN CONCLUSION :

En termes paléo-climatiques, la sécheresse intervenue au Sahel en 1968 correspond tout à fait à la gamme des variations climatiques à court et à moyen termes dont l'existence a pu être directement vérifiée pendant les derniers siècles et indirectement démontrée au cours des douze derniers millénaires. Kates (1981) estime en fait qu'une sécheresse semblable ayant sévi entre 1911-1914 a eu des conséquences humaines au moins aussi graves. Selon d'autres auteurs, l'évolution du régime foncier pendant et après la période de colonisation, ainsi que la forte croissance démographique depuis le début du siècle ont augmenté considérablement les pressions qui s'exercent sur l'écosystème de la région, ce qui le rend anormalement vulnérable aux tensions périodiques. (Glantz 1976, Dalby 1977). Sans chercher à savoir si les transformations technologiques et sociales définies par le terme de "développement" aggravent encore la fragilité du système, il semble opportun de déterminer dans quelle mesure la récente "désertification" a eu un impact géomorphique tangible. Le surpâturage, la détérioration du couvert végétal, l'érosion des sols et même un changement mésoclimatique secondaire, feront probablement suite au déséquilibre écologique accentué par des années d'extrême sécheresse. Toutefois, le contexte "historique" (c'est-à-dire géomorphologique) propice à la désertification demeure irrémédiablement détritique. Jusqu'à présent, nous ne disposons que de rares analyses à ce sujet.

Talbot et Williams (1979) ont étudié près de Niamey (Niger) les cycles de l'érosion et de sédimentation qui provoquent périodiquement la création de petits cônes au-dessous des ravines qui recoupent les dunes fixes. Durant le dernier cycle, il y a plus de trois cents ans, la stabilité géomorphique s'est substituée à la phase d'accumulation des cônes. Toutefois, l'entaille faite par le courant est vive actuellement, et les ravines recoupent les dunes partiellement dénudées. Pendant deux cycles, ce creusement semble s'être poursuivi au même rythme, ce qui impliquerait que la restauration de l'écologie n'est qu'une question de temps.

Pour l'étude du plateau d'Adamawa, au nord de la partie centrale du Cameroun, Hurault (1975) s'est basé sur l'interprétation des photographies aériennes, des examens du sol, et des

informations données par les résidents locaux, pour démontrer que les cours d'eau de taille moyenne étaient permanents vers 1900 ap. J.C., avec de faibles crues, et des alluvions en suspension. Le surpâturage et la détérioration du couvert végétal pendant le 20ème siècle ont entaillé le sol de ravines, tapissées désormais de pierres et de gravillons. Elles fonctionnent par intermittence, essentiellement pendant des crues soudaines à la suite des pluies. Cet ensemble de processus se retrouve dans d'autres contextes, contemporains ou historiques, comme au sud-ouest de l'Amérique, dans le Bassin Méditerranéen, et dans les hauts plateaux d'Ethiopie (Butzer 1981). Ces processus ne sont donc pas spécifiques à la sécheresse de 1968.

Au centre de la Sierra Leone, Thomas et Thorp (1980) ont déterminé plusieurs épisodes alluvionnaires se déroulant pendant les 12 500 dernières années. Bien que les activités agricoles, évidentes depuis 4 000 B.P., impliquent un certain déboisement, il n'y a aucune différence qualitative dans l'évolution des couches d'alluvions sédimentaires successives, qu'elles soient plus anciennes ou plus récentes.

Ces exemples n'illustrent pas parfaitement l'ampleur et la gravité de la détérioration écologique causée par la forte croissance démographique intervenant depuis cinquante ans en Afrique occidentale. Toutefois, ils rappellent que les tendances de l'environnement depuis l'apparition de l'agriculture et de l'élevage au Sahel ne peuvent être automatiquement imputées à l'activité humaine sans un examen préalable se fondant sur des études locales minutieuses. Ces exemples soulignent également la nécessité urgente de faire l'examen géomorphologique systématique des processus contemporains de désertification dans un contexte historique, afin de déterminer dans quelle mesure ces événements sont exceptionnels ou simplement cycliques.

Chapitre 2

LE CLIMAT ET L'HOMME DANS LE SAHEL DURANT LA PERIODE HISTORIQUE

Les chroniques laissées par les géographes et les historiens de l'époque médiévale, les récits des premiers voyageurs européens, les documents archéologiques et d'autres archives, font état de la faiblesse générale des précipitations dans le Sahel, de leur répartition inégale, et de leur extrême variabilité. Ces documents indiquent que des sécheresses importantes se prolongant sur 12 à 15 années, sont certainement apparues vers 1680, 1750, 1820 et 1830, 1910 et depuis 1968. La période 1790-1850 s'est caractérisée par une aridité généralisée, tandis que des sécheresses relativement peu importantes sont apparues dans les années 1640, 1710, 1810, au début du 20ème siècle, et vers 1940. Par contre, des épisodes assez pluvieux sont intervenus entre le 9ème et le 13ème siècle, le 16ème et le 18ème, de 1870 à 1895, et pendant les années 1950.

Ce chapitre étudie l'interaction de l'homme et du climat sahélien en analysant les caractéristiques pluviométriques auxquelles les habitants doivent adapter leurs activités. (L'Annexe B décrit plus en détail les régimes climatiques sub-sahariens). Nous souhaitons souligner ici plusieurs points fréquemment négligés dans les études sur le Sahel. En premier lieu, cette région fait partie d'un système climatique global, et ce point est essentiel à la bonne compréhension du problème sahélien. En second lieu, l'environnement de la région est rendu plus fragile par la faiblesse, l'inégalité et la variabilité des précipitations qu'elle reçoit (Vermeer 1981), et les sécheresses récurrentes sont inhérentes au climat sahélien, marqué par la prédominance des années sèches par rapport aux années pluvieuses. En dernier lieu, l'effet combiné de divers paramètres du régime climatique joue un rôle dans la variabilité des précipitations. En conséquence, il est généralement inutile de tenter de comprendre et de prévoir le climat de la région, et d'appréhender ses rapports avec l'homme et l'environnement, sans en avoir une vision globale. Les commentaires figurant dans ce chapitre concernant le Sahel proprement dit peuvent s'appliquer également à toute la région sub-saharienne située entre 10° et 20° de latitude nord environ.

LA PERIODE HISTORIQUE : DE 850 A 1900 APRES J.C.

Les documents météorologiques modernes indiquent sans conteste que la répartition des pluies dans le Sahel varie considérablement d'une décennie à l'autre. Par ailleurs, d'autres types de données confirment cette variabilité, considérée comme un trait inhérent à la région, tout en démontrant que les conditions assez éloignées de la "normale" peuvent s'avérer plus durables. Bien entendu, il est plus difficile de reconstituer les conditions climatiques existant aux siècles précédents. Cette tâche est cependant possible grâce aux chroniques historiques et aux documents géographiques, ainsi qu'à diverses catégories d'informations sur l'environnement, qui permettent d'obtenir une image assez précise et fiable des climats avant l'utilisation des instruments d'observation.

Le tableau 1 indique les divers types d'informations utiles pour reconstituer l'histoire des régimes climatiques sahéliens. En identifiant des indicateurs indépendants du même événement ou de la même tendance, en comparant les preuves recueillies dans de nombreuses régions et en enregistrant les anomalies, on peut déterminer l'apparition d'un certain nombre d'épisodes secs ou pluvieux au cours des trois derniers siècles, et décrire en termes généraux les conditions climatiques dominant le dernier millénaire.

Il existe relativement peu d'informations concernant le climat sahélien avant le 16ème siècle. Les matériaux disponibles sont de caractère assez général et spéculatif. Toutefois, le niveau des eaux souterraines, l'étendue des lacs, les études archéologiques, les descriptions des paysages et des expéditions commerciales laissées par les auteurs arabes à l'époque médiévale, et les indications climatiques fournies par les récits des premiers voyageurs européens apportent tous des informations sur les anciennes conditions climatiques (Nicholson 1979). Selon les conclusions qui se dégagent provisoirement de ces matériaux, le climat sahélien était probablement plus humide du 9ème au 13ème siècle. Ce régime a sans doute commencé dès le 8ème siècle, pour se dégrader vers le 14ème siècle.

Selon certaines informations, le climat aurait été généralement plus humide du 16ème au 18ème siècle qu'au cours des siècles ultérieurs (Nicholson 1979). Ces informations concernent le niveau et la superficie de nombreux lacs, des récits historiques, et des descriptions du paysage et du climat. Comme l'indique le chapitre 1, le meilleur point de référence est probablement le niveau du lac Tchad (Maley 1981), qui s'élevait fréquemment à 4 ou 5 m. au-dessus de son niveau actuel, bien que les fluctuations enregistrées au 20ème siècle aient été de 1 à 2 mètres. En outre, les chroniques provenant de la Mauritanie, du Mali, du Nigeria et du Tchad, révèlent une absence relative de sécheresse pendant cette période (Nicholson 1979). Les anciennes descriptions géographiques qui soulignent la verdure

Tableau 1

DONNEES PERMETTANT DE RECONSTITUER LES ANCIENS CLIMATS

I. Description des paysages

- (1) Les forêts et la végétation. Ressemblaient-elles à celles d'aujourd'hui ?
- (2) Etat des lacs et des fleuves
 - (a) hauteur de la crue annuelle, mois du débit maximum du fleuve
 - (b) villages directement établis sur les rives des lacs
 - (c) dimensions des lacs (telles qu'indiquées sur les cartes, par exemple)
 - (d) navigabilité des fleuves
 - (e) assèchement des lacs actuels ou tracé des lacs disparus
 - (f) inondations
 - (g) rythme saisonnier du débit (saison sèche et saison des pluies)
- (3) Puits, oasis, marécages existant dans les zones actuellement arides -- assèchement des puits
- (4) Débit des Oueds
- (5) Niveau des lacs (souvent indiqué dans les récits des voyageurs. De préférence, ces indications seront corroborées par les mesures prises à l'aide d'un instrument étalonné)

II. Sécheresse et informations connexes

- (1) Renseignements sur la famine ou la sécheresse, accompagnés de préférence des informations suivantes :
 - (a) région affectée, indiquée le plus précisément possible
 - (b) époque de l'apparition du phénomène, la plus exacte possible
 - (c) personnes ayant rapporté ce phénomène -- l'information est-elle de deuxième main ?
 - (d) degré de gravité du phénomène
 - (e) cause de la famine
 - (f) le phénomène est-il localisé ou généralisé ?

(Remarque : certains documents mentionnant une "sécheresse très importante" se réfèrent parfois à la saison sèche normale)
- (2) Prospérité de l'agriculture
 - (a) état des récoltes
 - (b) ce qui a provoqué cet état
 - (c) mois des récoltes -- dans les bonnes ou les mauvaises années
 - (d) types de cultures
- (3) Agriculture pluviale dans les régions actuellement trop arides

III. Climat et météorologie

- (1) Températures, pluviométrie, etc.
- (2) Rapports météorologiques
- (3) description du climat et de la saison des pluies. A quelle époque tombent les précipitations, quels sont les vents les plus importants ?
- (4) Données concernant l'apparition des pluies, des tornades, des orages
- (5) Rythme saisonnier et fréquence des tornades et des orages
- (6) Chutes de neige. La personne communiquant les informations se réfère-t-elle réellement à de la neige, ou fait-elle confusion avec des gelées, etc.
- (7) Températures glaciales, gel, grêle
- (8) Durée de l'enneigement en montagne (ou absence de neige)
- (9) Renseignements sur les années sèches ou pluvieuses, et les hivers froids ou doux
- (10) Renseignements sur les vents. La prédominance de l'"harmattan" ou d'un vent de nord-est stable au sud du Sahara (en Afrique occidentale) est particulièrement importante, car elle indique manifestement un épisode sec. Inversement, des vents de sud-ouest stables (associés à la saison des pluies) constituent également des indications importantes dans cette région. Remarque importante : le rapporteur des informations estime-t-il qu'il s'agit d'un phénomène fréquent ou inhabituel ?

(Note : même très isolées, les références peuvent être très importantes. Par ailleurs, le terme "tornade" se réfère en général aux orages ou aux rafales, qui sont fréquents en Afrique occidentale).

caractérisant de nombreuses régions sahéliennes impliquent des précipitations plus abondantes et des niveaux piézométriques plus élevés. Si l'on analyse séparément chacune de ces indications, leur interprétation individuelle peut alors se trouver fréquemment remise en question. Toutefois, ces indications esquissent collectivement une image exacte du passé dominé en grande partie aux 16ème, 17ème et 18ème siècles par un climat plus humide.

Pourtant, la sécheresse a également sévi à cette époque (Cissoko 1968). En effet, une sécheresse importante semble avoir affecté les années 1680, et des sécheresses au moins aussi graves que celle de 1968 sont apparues entre les années 1735 et 1755, puis vers 1820-1830, en persistant 12 à 15 ans dans de nombreuses régions. Cette dernière sécheresse s'étendait à l'échelle du continent. Le lac Tchad s'est partiellement asséché, tandis qu'une aridité croissante se manifestait au sud de l'Afrique. En général, un climat sec a dominé la majeure partie de la période 1790-1850. Les années 1640, 1710 et 1810 ont été affectées par des sécheresses moins importantes (Nicholson 1980).

Les indicateurs climatiques tels que les niveaux des lacs, les débits des fleuves, les précipitations et les récoltes (Figure 4) révèlent de très grandes fluctuations vers la fin du 19ème siècle et au début du 20ème siècle. La période 1870-1895 a bénéficié d'un épisode pluvieux (Nicholson 1978, 1981) comparable à celui des années 1950 -- ou même plus important (Kimble 1962). Les récoltes des agriculteurs, associés aux nomades Kel Tamacheq (Touareg) ont été abondantes pendant cette période et les sécheresses, localisées, ont été de brève durée. Cette abondance a fait qualifier de "grenier" de l'Afrique occidentale la région de la Boucle du Niger, près de Tombouctou, alors que la moyenne des précipitations annuelles dans cette zone s'élève actuellement à 228 mm. Le débit du Niger et du Sénégal était plus important pendant cette période (1870-1895) qu'au 20ème siècle. Les plaines du Sénégal, du Mali, et du sud de l'Afrique, désormais arides, étaient parsemées de lacs et de mares. Le Tchad dépassait de plusieurs mètres son niveau actuel. Cette description s'applique également à d'autres régions d'Afrique. A l'est, les lacs de la Rift Valley s'élevaient à plusieurs mètres au-dessus de leurs niveaux actuels, tandis que le débit du Nil était beaucoup plus important qu'aujourd'hui. Au sud, le lac Ngami, maintenant un immense marais, formait à cette époque une étendue d'eau très profonde. Les récoltes étaient toujours abondantes dans les régions semi-arides de la Namibie, du sud de l'Angola, et dans certaines zones au sud de l'Afrique.

LE XXème SIECLE

Vers 1895, le climat des tropiques est devenu beaucoup plus aride tandis qu'une sécheresse intense marquait la fin du siècle, en affectant tout particulièrement le Sénégal, le Mali,

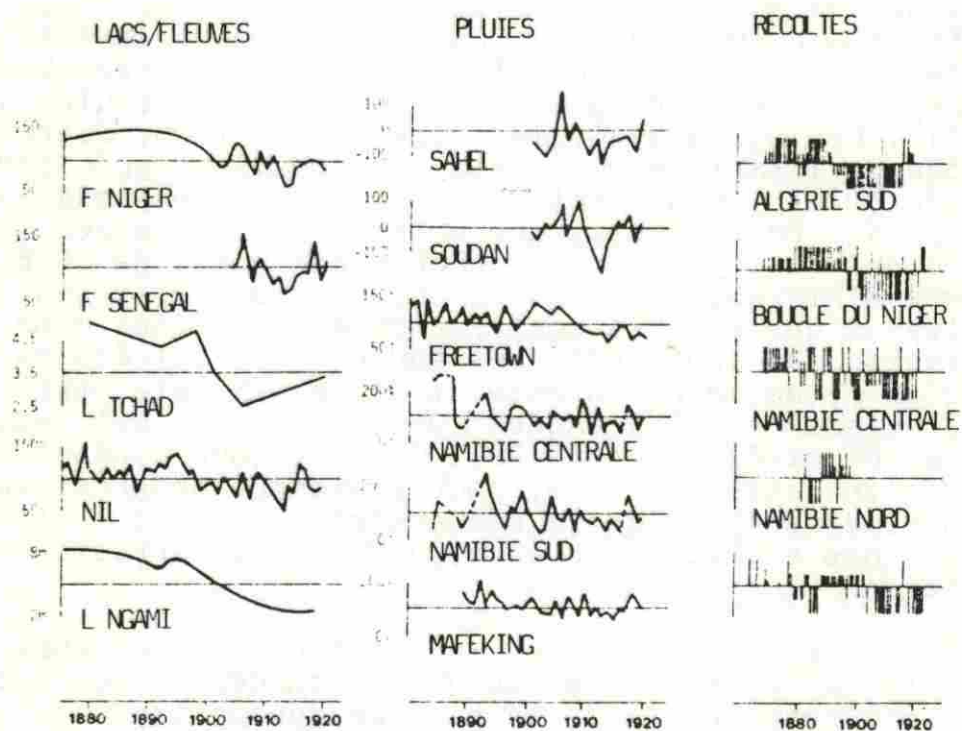
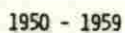


Illustration 4 : Tendances des indicateurs du climat africain (lacs, fleuves, pluies, récoltes) 1880-1920. Les niveaux des lacs, le débit des fleuves et les précipitations sont indiqués comme des écarts "standards" de la normale. Qualité des récoltes : au-dessus de l'axe : bonne ; au-dessous de l'axe : mauvaise. Source : Nicholson 1981.

et le Niger (Sidikou 1973), et, dans une moindre mesure, la région saharienne du Hoggar. A cette époque, le lac Tchad a baissé considérablement (Alexander 1907), les lacs, les fleuves et les précipitations ont progressivement diminué, et les récoltes sont devenues de moins en moins abondantes. Le processus de "dessiccation" a culminé pendant la phase la plus intense de la sécheresse, en 1911-1914, qui s'est ensuite prolongée pendant près d'une décennie (Bernus et Savonnet 1973, Sircoulon 1976, Kates 1981). De 1910 à 1940, la ville de Freetown, Sierra Leone, sur la côte de l'Afrique occidentale, a reçu des précipitations réduites de 30 à 35 pour cent par rapport à la période 1880-1895. Le débit du Nil enregistrait une baisse de 35 pour cent tandis que la profondeur moyenne du lac Tchad diminuait de 50 pour cent. Les fleuves d'Afrique occidentale ont vu leur débit se réduire, et les niveaux des lacs se sont rapidement abaissés dans de nombreuses régions du continent. Les années 1940 ont été marquées par une sécheresse moins intense et moins générale. Après un épisode pluvieux vers les années 1950, le climat est redevenu plus sec au début des années 1960. Ce processus a débuté en 1960 dans la région septentrionale, pour s'étendre progressivement vers le Sud. Vers 1968, cette sécheresse affectait toute la région. Après une amélioration en 1974-75, la sécheresse s'est poursuivie dans les années 1980.

Entre les années 1950 et la sécheresse ultérieure, le contraste est extrême. Il semble que la succession de ces deux épisodes soit responsable de la plus grande partie de la tragédie liée à cette sécheresse, dans la mesure où le climat humide régnant dans les années 1950 a encouragé l'utilisation des terres plus marginales. Les années 1950 ont en effet bénéficié d'un niveau pluviométrique constamment élevé (Figure 2), de 50 à 60 pour cent supérieur à la moyenne dans la zone sahélo-saharienne, de 20 à 30 pour cent dans le Sahel proprement dit, et de 10 à 20 pour cent dans la zone soudanaise vers le Sud.

Vers 1960, ces conditions se sont brusquement modifiées. Les chutes de pluies se sont raréfiées constamment jusqu'en 1973. Cette année-là, la pluviométrie annuelle était respectivement inférieure de 60, 40 et 30 pour cent à la moyenne de la zone sahélo-saharienne, du Sahel proprement dit et de la zone soudanaise. Ainsi, dans certaines zones marginales, les pluies tropicales des années 1950 étaient deux fois plus importantes que les précipitations des années 1968-73. Au Sahel proprement dit, la moyenne des pluies a atteint près de 350 mm par an vers 1950, pour tomber à 200 mm de 1968 à 1973. Pendant cette dernière période, la sécheresse a progressé tout en s'intensifiant. L'année 1969, qui semblerait avoir reçu des pluies relativement abondantes, s'est pourtant avérée anormalement sèche dans toutes les zones à l'exception de la partie la plus occidentale du Sahel. Dans les années 1950, la pluviométrie au nord de l'Afrique était inférieure à la moyenne dans 7 régions seulement sur 37, tandis qu'elle n'était supérieure à la normale que dans 5 régions pendant la période 1968-73. (Figure 5). La sécheresse s'était donc étendue bien au-delà du Sahel.



Source : Nicholson 1982

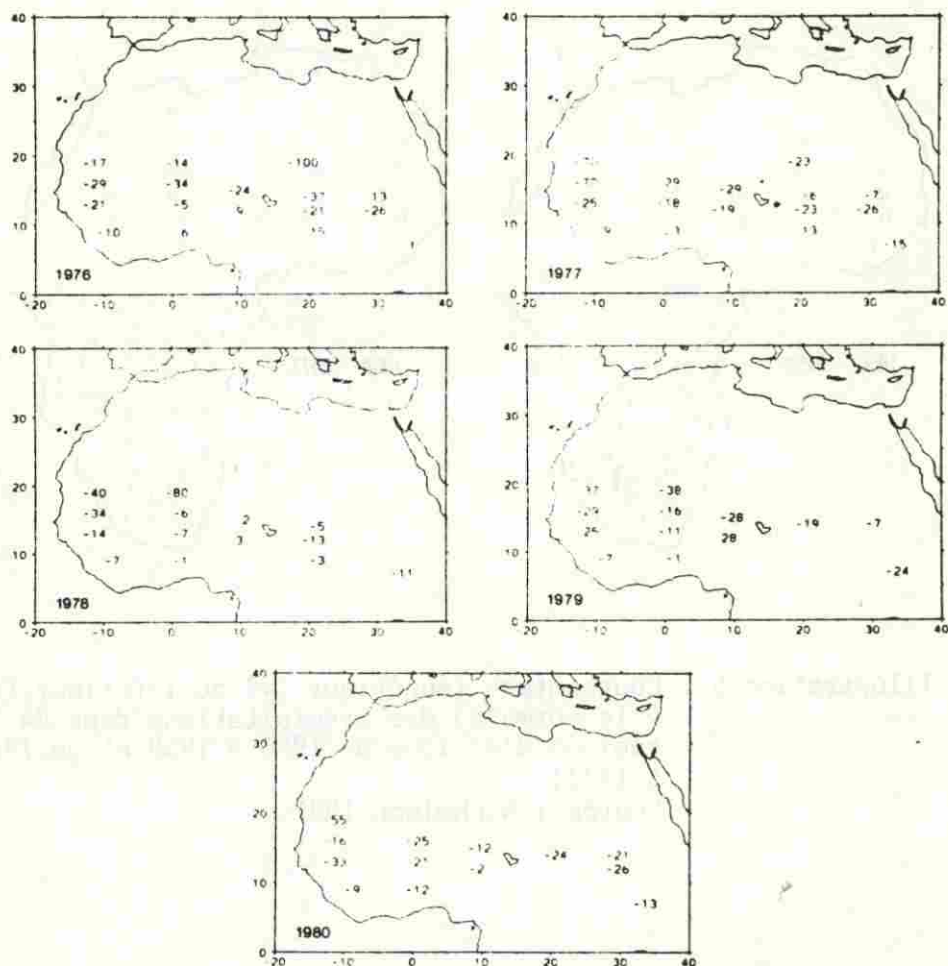


Illustration 6 : Pluviométrie de l'Afrique sub-saharienne pendant les années 1976-1980 (exprimée en pourcentage traduisant un écart par rapport à la moyenne pluviométrique annuelle)
Source : Nicholson 1982

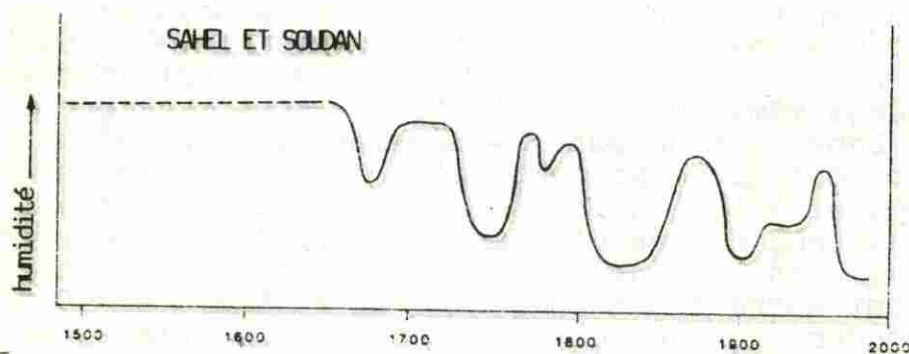


Illustration 7 : Tendances probables à long terme des précipitations dans le Sahel et au Soudan. (cette courbe ne doit pas être interprétée quantitativement).
Source : Nicholson 1982

On estime généralement que la sécheresse s'est terminée vers 1975. Toutefois, cette affirmation est contredite par une étude qui vient d'être effectuée sur les données les plus récentes. En dépit de précipitations plus abondantes, le total des pluies est demeuré inférieur à la normale en 1974-75. La sécheresse est restée constante de 1976 à 1980, certaines années correspondant même aux épisodes les plus secs du début de la décennie. Dans la zone sahélo-saharienne, la pluviométrie était de 50 pour cent au moins au-dessous de la normale en 1977, 1978, et en 1980, et à 40 pour cent en-dessous de la normale en 1976 (Figure 6). Pendant les cinq années 1976-1980, une extrême aridité a sévi dans le Sahel et dans la zone soudanaise. Les déficits se situaient entre 15 et 35 pour cent au Sahel et 10 à 25 pour cent au Soudan. Des déficits encore plus importants ont été enregistrés dans des stations individuelles. Ces conditions relativement sèches ont persisté pendant environ deux décennies, et il semble que le siècle actuel soit le plus sec qu'ait vécu le Sahel et ses zones limitrophes depuis plus d'un millénaire. (Figure 7).

FEEDBACK BIOGEOPHYSIQUE

L'explication la plus satisfaisante de la persistance de la sécheresse de 1968 est peut-être l'hypothèse émise par J.G. Charney (1975), selon laquelle la pluviométrie sahélienne est fortement influencée par un "feedback biogéophysique". Cette hypothèse suppose en effet que la sécheresse se trouve renforcée soit par les modifications qu'elle provoque à la surface des sols sahéliens, par exemple la détérioration du couvert végétal, soit par des altérations similaires suscitées par l'impact de l'activité humaine sur les écosystèmes du Sahel. Les commentaires de Nicholson sur l'hypothèse de Charney figurent dans l'Annexe B.

Chapitre 3

L'IMPACT DE L'ACTIVITE HUMAINE SUR LES ECOSYSTEMES SAHELIENS

On estime généralement que la détérioration de l'environnement sahélien est causé par les sécheresses récentes, la pression démographique, ou le surpâturage, sans évaluer réellement la durée et l'étendue de l'impact exercé par l'homme sur les écosystèmes sahéliens. On a prouvé l'existence humaine dans le Sahel dès 600 000 ans avant l'époque actuelle. Depuis ces temps reculés, la chasse et la cueillette des meilleurs produits, les feux de brousse, l'agriculture, l'élevage, la production de charbon de bois, l'exploitation destructrice des produits de la forêt, et d'autres activités, ont largement contribué à la modification des écosystèmes sahéliens. Cette influence s'est exercée dans toute la région, et jusque dans les zones les plus éloignées des habitations. Ces activités ont progressivement réduit la diversité et la productivité biologiques, et ont provoqué ces dernières années de graves ruptures dans les processus écologiques essentiels. La restauration, l'amélioration et la saine gestion des écosystèmes sahéliens sont les paramètres fondamentaux permettant le développement économique de cette région.

Dans la mesure où la modification et la variabilité des régimes climatiques constituent des traits inhérents au Sahel, les communautés végétales et les animaux de cette région sont généralement bien adaptés à toute la gamme des fluctuations climatiques. Les déséquilibres écologiques mis en évidence par les récentes sécheresses deviennent plus compréhensibles lorsque l'on observe le comportement des populations, de leurs troupeaux et de leurs méthodes culturelles. Bien qu'ils soient les premières victimes de la sécheresse, les Sahéliens sont largement responsables de leur vulnérabilité croissante. En outre, de nombreux travaux de "développement" ou de modernisation ont également contribué à cette situation. Il est fondamental d'évaluer l'impact humain sur les écosystèmes sahéliens pour comprendre la dégradation du potentiel de cette région et de sa capacité à subvenir aux besoins de ses habitants, et pour définir les politiques susceptibles de rectifier cette tendance.

Pour permettre de mieux comprendre le rôle joué par l'homme dans la transformation des écosystèmes sahéliens, ce chapitre étudie brièvement neuf agents de modification anthropogène : les feux de brousse, le commerce trans-saharien, le choix des terres de peuplement, le commerce de la gomme arabique, l'expansion de l'agriculture, la prolifération du bétail, l'introduction d'armes perfectionnées, le développement de réseaux de transports modernes, et l'urbanisation. Ces facteurs illustrent l'ampleur et la diversité de l'impact de l'homme sur son environnement.

LES FEUX DE BROUSSE

Les modifications du couvert végétal qui ont coïncidé avec des phases de peuplement du Sahel à l'époque préhistorique ont probablement été causées par l'utilisation du feu pour la chasse. En effet, le feu a longtemps servi à la chasse, à l'amélioration des pâtures, et au défrichement du sol avant sa mise en culture. Parmi les archives concernant les feux de brousse dans cette région, le "Périple" d'Hannon est peut-être le document le plus ancien. Il décrit entre autres comment les Carthaginois ont tenté d'établir des comptoirs commerciaux en Afrique, le long de la côte occidentale, au 5ème siècle avant J.C. Ce document se réfère en effet à "de grands feux et de petits feux flamboyant de temps à autre un peu partout" (Harden 1963), prouvant ainsi l'existence de feux de brousse à l'intérieur des terres.

Les premiers chasseurs se servaient souvent du feu pour accélérer la croissance des pousses tendres et vertes préférées par les animaux sauvages dans les zones qu'ils débarrassaient de toute végétation grossière et peu comestible restant de la saison précédente. Aujourd'hui encore, ce raisonnement est fréquemment suivi par les éleveurs. Malheureusement, si le feu peut effectivement servir comme moyen de nettoyage, l'incendie détruit les composés d'azote organique, et le lessivage excessif des sols tropicaux pendant la saison des pluies provoque la déperdition des sels contenus dans les cendres de l'herbe brûlée et dans le fumier (Bartlett 1956). Selon H.N. Le Houérou (1977), on estime que les feux de brousse allumés dans les prairies africaines ont brûlé plus de 80 millions de tonnes de fourrage chaque année -- cette quantité suffirait à nourrir 25 millions de têtes de bétail pendant neuf mois.

Indépendamment de l'époque à laquelle la technique de la mise à feu a commencé à être utilisée dans le Sahel, son emploi a modifié incontestablement l'histoire du couvert végétal de la région. En effet, les arbres et les arbustes à croissance rapide recherchant la lumière du soleil, ont cédé progressivement le terrain à d'autres essences se propageant moins rapidement. Lorsque la mise à feu est effectuée à intervalles réguliers, les successions écologiques normales font place à une prairie

permanente, parsemée de quelques arbres et arbustes provenant de zones floristiques limitrophes plus arides. Ces essences sont appelées "pyrophytes", et sont enfouies en majeure partie dans le sol (Kuhnholz-Lordat 1939). De même, les feux favorisent les plantes vivaces dont les tiges souterraines se régénèrent rapidement pour produire de jeunes pousses vertes.

En général, les feux de brousse provoquent la diminution et la simplification de la végétation, un appauvrissement du sol, qui perd de l'azote, une réduction du cycle nutritif pour les arbres et les arbustes profondément enracinés, et de graves ruptures de l'écologie des sols. Dans les zones de pacage, ce processus provoque le surpâturage des plantes vivaces, la diminution encore plus importante de la productivité biologique, et du pâturage potentiel. Les bovins sont généralement remplacés par des chèvres et des moutons, puis, lorsque les prairies sont devenues désertiques, par des chameaux (ce passage de la savane boisée au désert a eu lieu de mémoire d'homme dans de nombreuses régions d'Afrique) (Cloudsley-Thompson 1977).

LE COMMERCE TRANS-SAHARIEN

Hérodote, vers 450 av. J.C., le géographe Strabon, 400 ans plus tard, ainsi que d'autres auteurs classiques, font état d'un commerce trans-saharien actif, fondé sur les pierres précieuses appelées "escarboucles", sur l'or massif, et sur le trafic d'esclaves. Bien que les produits échangés ne soient plus les mêmes, ce commerce s'est poursuivi jusqu'à nos jours. (Figure 8).

Du point de vue de l'environnement, ces échanges ont eu sur la zone sahélo-saharienne et sur le Sahel proprement dit une influence surprenante dont le résultat le plus marquant a peut-être été la destruction généralisée de l'Acacia tortilis, causée par la production de charbon de bois. Cette activité, effectuée en bordure du désert, a été décrite par Sidi Hamet, un marchand marocain ayant participé au commerce trans-saharien vers la fin du 18ème siècle. Décrivant une caravane "comprenant environ 3 000 chameaux et 800 hommes", Sidi Hamet poursuit ainsi : "nous nous arrêtons une dizaine de jours pour laisser nos chameaux brouter les buissons tandis que la moitié des hommes allaient chercher du bois dans les montagnes pour en faire du charbon de bois, que nous entassions ensuite dans des sacs dont le poids léger était réparti sur les autres marchandises déjà chargées sur nos chameaux". Le charbon de bois servait apparemment à la cuisson de la chair des antilopes du désert et des chameaux, au commerce, et à la nourriture des chameaux en cas d'urgence. Décrivant un voyage ultérieur, auquel participaient "environ 4 000 chameaux et plus d'un millier d'hommes", Sidi Hamet indique à nouveau que "la caravane a fait halte en bordure du désert... pour couper du bois et fabriquer du charbon pour les chameaux, car les caravanes ne tentaient jamais la traversée du 'désert' (sic) sans ce produit" (Riley 1817).

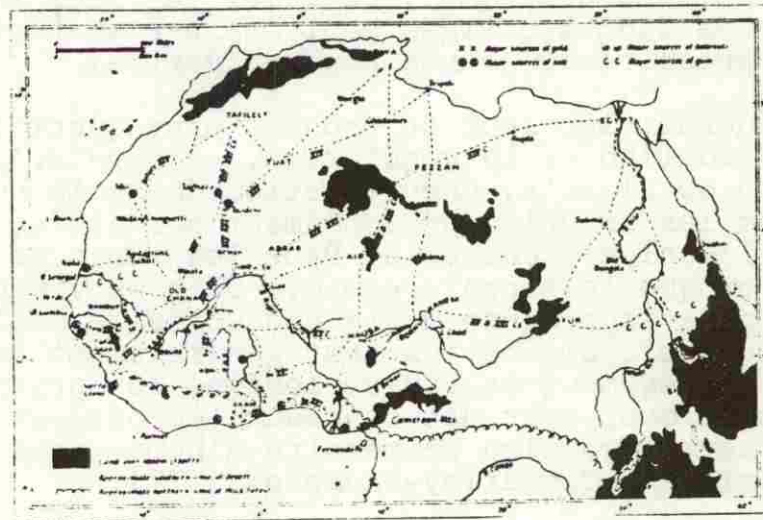


Illustration 8 : Les routes commerciales
au Nord de l'Afrique du
10ème au 18ème siècle.
(Source : Fage et Verity,
1978).

Il convient de souligner que, selon différentes sources, les haches faisaient partie de l'équipement habituel des chame-liers participant au commerce trans-saharien. Les écrits laissés par Marsh, Bobek, Jorgensen, Darby, Mikesell, et d'autres encore ayant étudié le problème du déboisement dans l'antiquité, sont persuadés que la production de charbon de bois liée au commerce trans-saharien a pu avoir un impact réellement considérable sur l'écologie de la région sahélienne. En outre, en raison de la détérioration de la bordure désertique, les mécanismes de la dispersion des semences en saison sèche fonctionnant dans les écosystèmes sahéliens -- vents nord-est, déplacement des animaux au sud, etc. -- favorisent un glissement progressif vers le sud de la végétation de la steppe aride, aboutissant ainsi à une diminution de la zone. A son tour, ce processus altère les relations écologiques essentielles, diminue la diversité génétique, et, en dernier lieu, amplifie l'impact d'aléas tels que la sécheresse (National Research Council, 1981)

CHOIX DES LIEUX DE PEUPLEMENT

Historiquement, les populations arabes et berbères du Sahel ont constamment préféré s'établir sur des hauteurs sablonneuses (Figure 9). Ces choix semblent avoir été dictés par les motifs suivants : la santé, la pureté rituelle du sable "élevé", dans le contexte de l'Islam (Sourate du Coran IV-46), la sécurité apportée par les endroits élevés (communication personnelle de A. Andrawis), et le potentiel de rétention d'eau des dunes de sable. Parmi toutes ces raisons, on invoque le plus généralement la question de santé, car les peuples arabes et berbères ne sont pas immunisés par le drépanocyte contre la malaria (*falciparum*), qu'ils peuvent donc contracter beaucoup plus facilement que les peuples négroïdes voisins. Leur établissement sur des terres élevées et bien irriguées diminue donc le risque d'exposition aux parasites qui transmettent la malaria (National Research Council 1981).

De même, de nombreux postes militaires coloniaux se sont ainsi établis au sommet de dunes autrefois fixes, faisant subir à l'environnement une profonde détérioration. Malgré leur diversité, il semble bien que les principales causes de cette détérioration aient été le défrichement des terres alentour, l'utilisation des troncs d'arbre pour établir les fondations et construire des installations, la récolte du bois comme combustible, et la dégradation du couvert végétal provoquée par le bétail, les chameaux, les chèvres et les moutons appartenant aux garnisons (Toupet 1976).

Ces choix géographiques ont provoqué la déstabilisation généralisée des dunes autrefois fixes, à cause de la raréfaction de la végétation et des perturbations physiques créées par les transports (pédestres), le bétail, et plus récemment, par la circulation des véhicules. Bien entendu, ce problème se renforce à mesure que s'accroissent les peuplements. L'évolution des traditions architecturales a encore aggravé ce problème. Il y a moins de vingt ans, on décrivait encore Boutilimit, en Mauritanie, comme "une ville de tentes" (Gerteiny 1967). Cette description contraste vivement avec les constructions de briques et de torchis de la ville actuelle. Les constructions permanentes exigent beaucoup plus de bois de charpente que les tentes et les huttes traditionnelles. En outre, la construction de structures permanentes dans des paysages changeants a rendu la situation encore plus complexe dans de nombreuses régions du Sahel, dans la mesure où les constructions elles-mêmes sont responsables de l'accumulation de sable qui finit d'ailleurs par les détruire (National Research Council 1981).



Illustration 9 :

Tamchaket, Mauritanie.

L'installation de la population sur des dunes fixes a déstabilisé ces dernières après avoir raréfié la végétation et provoqué des perturbations physiques (J. Rowland Illick).

La réactivation des dunes sahéliennes causées par les perturbations physiques et le défrichement, en vue de fournir les matériaux de construction, le combustible et le fourrage nécessaires aux populations locales, entraîne encore d'autres conséquences pour l'environnement. Ce processus affecte en effet le potentiel de reproduction végétale dans la mesure où les apports de sable engendrés par les dunes provoquent des pertes de semences et de jeunes plants par abrasion, ensevelissement et dessèchement.

LE COMMERCE DE LA GOMME ARABIQUE

Les Néerlandais ont été incontestablement les premiers européens à reconnaître le potentiel commercial de la gomme arabique produite par les forêts d'Acacia senegal du Sahel occidental. La gomme était largement utilisée dans l'industrie textile néerlandaise, très importante à l'époque. Exportée vers les Pays-Bas, cette gomme passait par Arguin, centre commercial établi par les Portugais au sud de Cap Blanc (Cape Blanco) en 1448. Conquise par les Espagnols à la fin du 16ème siècle, Arguin était ensuite passée aux mains des Néerlandais en 1638, qui la cédèrent, après la Paix de Nimègue en 1677, aux Français, intéressés par le commerce de la gomme arabique. Treize ans plus tard, les Néerlandais récupéraient Arguin, qu'ils gardèrent 31 ans avant de reperdre la ville au profit des Français. Pendant tout ce temps, les Néerlandais avaient établi des relations commerciales avec Ali Shandora, dans la région de Trarza, aboutissant à la fondation de Marsa (nommée plus tard Portendik), comptoir commercial situé sur la côte à 40 kms au nord de Nouakchott, capitale actuelle de la Mauritanie.

En 1723, les Français s'emparèrent de Portendik, qui fut ensuite reprise par les Néerlandais, puis reconquise par les Français en 1724, pour passer finalement sous la domination britannique en 1762. En 1763, les Anglais contrôlaient totalement le commerce de la gomme arabique en Mauritanie. Vingt ans plus tard, le Traité de Versailles qui mettait un terme aux rivalités anglo-françaises en Amérique, redonnait aux Français le contrôle de la côte de Mauritanie au sud du Cap Blanc. La reprise des hostilités entre la France et l'Angleterre aboutit au retour des Anglais dans cette région, qui y restèrent jusqu'à ce que la paix signée à la suite de la défaite de Napoléon Bonaparte à Waterloo redonne cette région à la France en 1816. En dépit du caractère apparemment définitif de ce transfert, des témoignages prouvent que les Maures, bravant les Français, vendaient de la gomme arabique aux Anglais jusque vers 1834. En 1857, en échange du renoncement officiel des Anglais au commerce de la gomme à Portendik, les Français cédèrent les droits qui leur restaient à Albreda, sur la Gambie (Crone 1937, Blake 1941-42, Fage 1969, Church 1980).

Ce tour d'horizon historique permet de démontrer l'importance qu'attachaient les puissances européennes à la gomme arabique. La très forte demande de ce produit excitait la concurrence tout en augmentant les prix. A mesure que l'exploitation de gomme arabique devenait rentable, le rythme de la production s'accélérait, entraînant des conséquences certainement très importantes pour l'environnement.

La gomme arabique est produite par l'Acacia senegal et peut être stockée. Plus on incise l'arbre, plus sa production de gomme est importante. Les techniques d'incision suivies actuellement dans les régions de Trarza et de Brakna pour

exploiter les arbres et en accroître le rendement diminuent également leur résistance à la maladie et à la sécheresse. Des méthodes identiques ont probablement été utilisées dans le passé. Trarza a subi de fortes sécheresses dans les années 1680, de 1738 à 1756, et vers 1770, 1790, 1820 et 1830 (Nicholson 1979). Etant donné le glissement vers le sud de la production de gomme dans la région de Trarza et le déclin consécutif de l'importance d'Arguin et de Portendik, il semble que les techniques d'incision et les sécheresses des 17ème, 18ème et 19ème siècles aient effectivement détruit les forêts productrices de gomme situées à l'intérieur des terres environnant ces centres commerciaux importants.

Au 20ème siècle, les forêts réputées pour leur production de gomme situées près de Boutilimit, Tobga, et dans d'autres régions de la Mauritanie, ont disparu (National Research Council 1981). Cette perte a eu un effet considérable sur les économies locales et sur la stabilité de l'environnement. Outre la gomme arabique, ces arbres fournissent également du feuillage à brouter, ils contribuent à l'apiculture, et permettent la production de tanin, de bois et de charbon de bois. Le bois dur sert fréquemment à la fabrication des manches d'outils et des navettes de tisserands ; de plus les longues racines souples en surface donnent une fibre solide. Au niveau local, la gomme offre toute une gamme d'utilisations, que ce soit pour préparer l'encre des écoliers ou pour stabiliser les parois intérieures des constructions de briques et de torchis. L'Acacia senegal peut également s'intégrer dans les systèmes agro-sylvicoles en terre aride pour restaurer la fertilité du sol et servir de haie vive tout en fournissant les produits indiqués plus haut (National Research Council 1981). Le système racinaire étendu de l'Acacia senegal (Figure 10) entretient l'écologie du sol et assure sa stabilité dans les vastes étendues sableuses ou très asséchées de Sahel.

EXPANSION DE L'AGRICULTURE

Agriculture pluviale

L'expansion de l'agriculture pluviale dans le Sahel s'est faite sous la pression de circonstances et d'événements divers : l'abolition de l'esclavage a favorisé le déplacement des populations rurales vers le nord dans des régions autrefois hostiles ; la croissance démographique normale, qui, chez les cultivateurs, s'élève au taux annuel de 2.5 à 3 pour cent, par rapport à 1.5 2 pour cent chez les éleveurs (Le Houérou 1980) a permis la mise en culture de terres supplémentaires, souvent aux dépens des jachères ; dans certaines régions, l'appauvrissement des sols oblige les cultivateurs à rechercher constamment des zones plus fertiles ; enfin, les nomades combinent de plus en plus fréquemment les activités agricoles et le déplacement saisonnier des troupeaux. Dans de nombreuses régions, l'expansion a été favorisée par les précipitations anormalement fortes des années 1950.

La République du Mali a vu la production de ses cultures pluviales augmenter de 80 pour cent de 1952 à 1975 (International Livestock Centre for Africa, 1980). Des augmentations similaires ont eu lieu au Niger et dans d'autres pays sahéliens. L'expansion de l'agriculture pluviale accélère le processus d'érosion des sols, directement provoqué par le défrichement et les perturbations physiques. Cette détérioration a encore été aggravée par la coupe des arbres et des arbustes pour fournir aux cultivateurs des matériaux de construction et du combustible.

Selon l'étude des sédiments faite aux Etats-Unis, les pertes annuelles des sols des zones boisées ne s'élèvent qu'à quelques dizaines de kg par hectare, alors que les terres de culture destinées à la production de maïs subissent une perte de 54 tonnes (500 fois plus). Etant donné la quantité importante de terres retirées à la production en raison de l'appauvrissement du sol dans divers systèmes agraires sahéliens, il faut ajouter que la perte de sédiments correspondant aux cultures abandonnées, calculée dans les études mentionnées plus haut, est de 450 tonnes par an (Thacher 1979, cf. Lowdermilk 1948). En outre, l'expansion de l'agriculture dans le Sahel provoque généralement une aggravation indirecte de la détérioration des grandes étendues environnantes puisque la conversion des zones fourragères les plus productives en cultures oblige les éleveurs à pratiquer le "surpâturage" des terres restantes (Thomas 1980). A cet égard, Marchal (1982) a fait observer qu'"après avoir investi l'espace, l'agriculture sahélienne le dévore sur place".

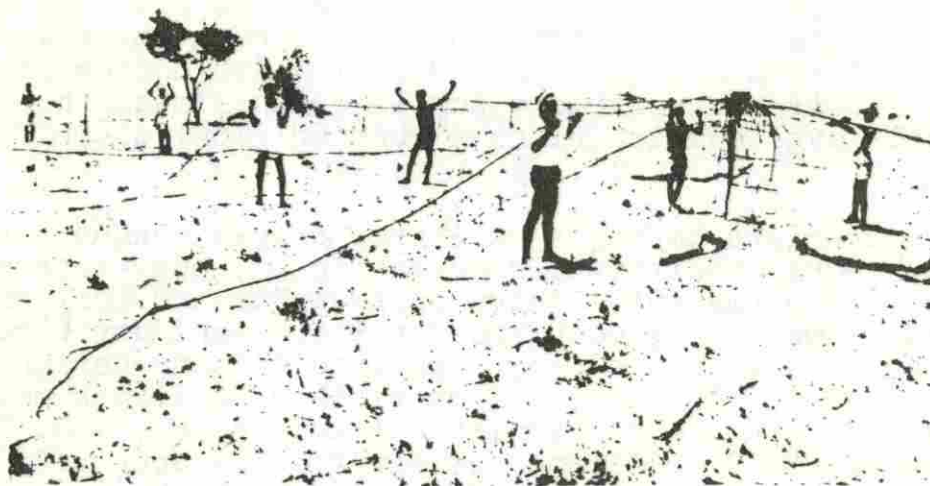


Illustration 10 : Le vaste système radiculaire de l'Acacia senegal contribue largement au maintien de la stabilité de l'environnement sahélien. Les profondes racines pivotantes (que l'on voit coupées sur cette photo) vont jusqu'à la nappe phréatique. Les racines latérales peu profondes tirent parti des moindres averses (G.E. Wickens)

Dans de nombreuses régions, le développement de l'agriculture axé sur les produits destinés à l'exportation, tels que les arachides, ont gravement détérioré la structure et la fertilité des sols, tout en provoquant différents problèmes socio-économiques. L'auto-suffisance des populations rurales est souvent limitée dans la mesure où la terre et la main-d'oeuvre sont consacrées à ce type de produits. La survie des populations rurales est rendue d'autant plus problématique par le déclin de la production, qui oblige les jeunes gens à rechercher un emploi dans des centres urbains pour pouvoir subvenir aux besoins de leurs familles. On remarque fréquemment qu'après le départ des travailleurs agricoles jeunes et vigoureux, ceux qui restent en milieu rural sont physiquement incapables de cultiver des champs suffisamment vastes pour répondre aux besoins locaux (National Academy of Sciences, 1980).

Agriculture irriguée

Outre l'expansion de l'agriculture pluviale, d'ambitieux programmes d'irrigation ont été entrepris dans les principaux bassins du Sahel. Les projets les plus importants dans ce domaine sont les travaux concernant la vallée du Sénégal, le Delta intérieur du Niger, et le Bassin du Tchad.

La Grande Crise de 1934 a abouti à la création de la Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal pour analyser et prévoir de façon globale le développement économique de la Vallée du Sénégal. Ce projet a été remplacé en 1938 par la Mission d'Aménagement du Sénégal, qui s'est axée au début sur la production de coton, jusqu'à ce que la II^{ème} Guerre Mondiale interrompe l'importation des 60 000 tonnes de riz nécessaires à la consommation annuelle du Sénégal. En 1945, il a été décidé de concentrer les efforts exclusivement sur la culture mécanique du riz sur les sols argileux en friche situés en amont du Delta du Sénégal.

Les premiers barrages en terre, érigés chaque année par les cultivateurs traditionnels de la région, ont été remplacés par un barrage permanent, achevé près de Richard Toll en 1948. L'eau a été pompée à grands frais en la puisant derrière le barrage pour l'amener, le long d'environ 100 kms de canaux principaux, dans 5 402 hectares de rizières cultivés mécaniquement et enrichis par des engrais artificiels. En 1968, le rendement s'élevait à 10 200 tonnes de riz "paddy" pour 5 100 hectares environ, ce qui est très faible (Church 1980).

Comme tous les réseaux d'irrigation à grande échelle dans le Sahel, le système d'irrigation Richard Toll -- Delta du Sénégal -- s'est heurté à de graves obstacles physiques et économiques. Les queleas, les canards, et autres oiseaux granivores, ainsi que les insectes et les rongeurs ont dévoré d'énormes quantités de riz cultivé ; la lutte contre le riz sauvage a posé de graves problèmes, les sols sont devenus salins (voir Pillsbury, 1981) ; les vents de la saison sèche ont provoqué l'érosion des berges, enfin, le coût des engrais et du

pompage est devenu très lourd. Les coûts de capital ont été amortis, tandis que les frais courants sont fortement subventionnés. Ce réseau n'a apporté qu'une contribution modeste -- mais très onéreuse -- à l'approvisionnement en riz du Sénégal (Church 1961, 1980 ; cf. Weiler et Tyner 1981).

Les projets élaborés pour le Delta du Niger et le Bassin Tchadien ont connu de semblables difficultés. Il est souhaitable que les efforts actuels d'aménagement des bassins hydrographiques du Sénégal et d'autres régions sahéliennes tiennent compte de l'expérience acquise dans la mise en oeuvre de ces systèmes onéreux et peu efficaces.

PROLIFERATION DU BETAIL

Le Sahel offre une vaste prairie naturelle aux troupeaux qui ont longtemps nourri les populations de cette région. Cette impression se trouve renforcée par les dessins rupestres représentant des troupeaux, que l'on peut voir dans les plateaux sahariens environnants (voir par exemple Brentjes 1965, Lhote 1973).

Les troupeaux ont longtemps fait partie du paysage sahélien et saharien. Les troupeaux sauvages, comprenant le Bos primigenius et Bos ibericus, constituaient la principale source de nourriture des chasseurs primitifs habitant ces régions (Smith 1930). Les documents archéologiques indiquent que le concept de la domestication s'est diffusé dans cette région vers 6 000 B.P., et que cette notion a été largement acceptée et appliquée par les populations de pêcheurs vivant près des nombreux lacs qui existaient au centre et au sud du Sahara à cette époque. Les groupes dits "ténériens", identifiés par les fouilles d'Adrar Bous, Niger, sont représentatifs de ces premiers éleveurs (Smith 1976). L'expansion du bétail dans la région même du Sahel aurait été directement provoquée par le dessèchement de la région saharienne.

Ce processus de "dessication" a eu en effet un impact considérable sur les troupeaux, dont les besoins d'eau sont très importants. Ainsi, les bovins exigent quatre fois plus d'eau, et à intervalles plus fréquents, que les chameaux, dans des conditions similaires. En outre, contrairement à d'autres animaux dont le volume d'urine diminue tandis que sa concentration augmente lorsqu'ils sont exposés à des températures plus élevées, les bovins, en buvant davantage, ont une urine moins concentrée et rejettent beaucoup plus d'eau. Par conséquent, leurs besoins d'eau sont supérieurs à la quantité requise pour compenser simplement les pertes accrues. Il semble que les bovins ne boivent pas uniquement pour éviter la déshydratation, mais aussi pour rafraîchir leurs corps (Schmidt-Neilsen 1964, cf. Nachtingal 1879).

La faiblesse des précipitations, le passage éventuel d'une double saison des pluies à une seule (Toupet 1976), les conséquences des feux de brousse, le déboisement, l'alimentation insuffisante des nappes d'eau souterraines, et l'impact croissant du bétail domestique, ont fini par rendre le Sahel inhospitalier aux animaux sauvages. Les troupeaux des temps préhistoriques se sont donc déplacés vers le sud dans la savane, où se trouvent encore de nos jours les éleveurs "Soninke".

Les premiers documents historiques décrivant la façon dont les populations sahéliennes dénombraient leurs troupeaux ont été laissés par des auteurs médiévaux, tels que Ibn Hawqual et al-Muhallabi. Ils décrivent le Sahel comme une région marquée par le nomadisme des chameaux, pour lesquels les habitants éprouvaient un attachement et un respect quasi religieux. (Levtzion et Hopkins 1981).

Vers 990, les troupeaux ont fait une brève réapparition dans le Sahel, lorsque l'empire du Gana (en arabe : Ghana) dominé par les Soninke s'est étendu jusqu'au Sahel pour s'assurer le contrôle du commerce trans-saharien. Al-Bakri, écrivant au début du 11ème siècle, souligne la dépendance des troupeaux des Soninke vis-à-vis des puits qui avaient été creusés vers le milieu du 8ème siècle pour faciliter le commerce trans-saharien. Les indications qu'il donne sur la pauvreté de la végétation autour des puits et des villages contrastent vivement avec les écrits laissés par al-Muhallabi au 10ème siècle, avant l'expansion du Gana. En 1055, le Gana a été obligé de se retirer au sud dans la savane, et les descriptions du nomadisme des chameliers dans le Sahel ont marqué à nouveau les écrits des auteurs médiévaux.

Bien que Ca' da Mosto (1455) et des auteurs plus tardifs aient indiqué l'existence de troupeaux dans le Sahel occidental, ces derniers étaient peu nombreux et leur élevage était certainement lié à la présence de paysans Soninke, habitant dans les oasis. L'absence du bétail ne reflète pas seulement la capacité de pâturage limitée de la région, mais aussi la vulnérabilité des troupeaux et de leurs bouviers à l'égard des incursions faites par des tribus de pillards. Dans la partie ouest du Sahel, le pillage a posé un problème particulièrement aigu après l'arrivée des Beni Hilal, d'Afrique du Nord, à la fin du 13ème siècle (Trimingham 1962). En fait, ce problème n'a disparu qu'au début du 20ème siècle, avec la colonisation pacifique de la région.

Il est possible que cette période relativement longue (13ème au 19ème siècle) d'instabilité politique dans le Sahel ait permis dans une certaine mesure une restauration écologique. Ainsi, le récit d'une expédition organisée par le Sultan Saboun contre l'Etat de Bagirmi dans la partie centrale du Tchad au début du 19ème siècle indique que "les terres inoccupées situées entre les frontières de Waday et de Bagirmi (étaient) couvertes de forêts adultes et d'un fourré dense et épineux, qui servait de

refuge aux lions, aux éléphants et aux rhinocéros" (Depierre et Gillet, 1971). Cependant, s'il y a eu effectivement restauration écologique, ce processus fut de courte durée.

Au début du 20ème siècle, la pacification du Sahel a permis l'expansion vers le nord des populations rurales, qui emmenèrent avec elles leurs troupeaux, leurs chèvres et leurs moutons. Déchus de leurs droits civiques, les guerriers ne pouvaient avoir que des activités commerciales ou pastorales. En outre, les conditions économiques favorisèrent l'essor assez soudain de l'élevage de bovins au détriment de celui des chameaux, les premiers se prêtant davantage au commerce dans le contexte du nouveau système économique. Par ailleurs, la politique d'association menée en Mauritanie -- impliquant une collaboration avec les chefs traditionnels -- a renforcé la position des chefs religieux, les Marabouts, aux dépens des guerriers. Les Marabouts investirent leurs nouvelles richesses dans l'élevage (Chassey 1978).

Ainsi, après la pacification de la région, le nombre de têtes de bétail a augmenté de façon remarquable. Outre des mesures d'incitations économiques, des programmes d'élevage et de soins vétérinaires ont été institués dans tout le Sahel. Pendant la majeure partie de cette période de développement, l'abondance inhabituelle des précipitations a pu tromper les responsables des programmes et les éleveurs. Gallais (1979) estime que le nombre des troupeaux dans le Sahel occidental a quintuplé au cours des 25 années précédant la sécheresse de 1968. (Voir Tableau 2, Figure 11).

Le manque d'expérience relatif de nombreux peuples sahé-liens dans le domaine de l'élevage, ainsi que la disparition progressive des bouviers compétents, causée par le sédentarisme et l'offre d'emplois engendrée par les programmes de développement, ont fréquemment abouti à un mauvais contrôle des troupeaux. Cette gestion médiocre a largement renforcé à son tour l'impact des troupeaux sur l'environnement. En outre, parallèlement à la croissance rapide du nombre de bovins, on a assisté à la diminution d'autres types de troupeaux pourtant mieux adaptés à la région, plus facilement contrôlables, et moins destructeurs pour l'environnement (National Research Council 1981).

Comme nous l'avons déjà indiqué, les bovins sont mal adaptés aux conditions climatiques du Sahel, leur rendement économique est faible, leurs besoins d'eau sont élevés, et ils se fatiguent rapidement. Face à la diminution des précipitations et à l'augmentation des troupeaux, des programmes de forage de puits furent mis en oeuvre dans tout le Sahel. La végétation autour des puits, des mares et des étendues d'eau saisonnières, ainsi que le couvert végétal d'autres zones très sollicitées, ont été modifiés qualitativement et quantitativement (Bille, 1976). Contrairement aux chameaux et aux chèvres, ainsi qu'à la plupart des herbivores originaires du Sahel qui broutent essentiellement du feuillage, les bovins paissent l'herbe des prairies,

Tableau 2
TROUPEAUX SAHELIENS

Pays	Nombre de têtes de bétail (en milliers)			
	1940	1968-1970	1974	1978
Tchad	n.d.	4 630	3 250	3 600
Mali	1 174	5 300	3 640	3 800
Mauritanie	850	2 100	1 175	1 200
Niger	754	4 200	2 200	2 850
Sénégal	440	2 615	2 318	2 500
Haute Volta	491	2 900	2 300	2 600

Source : D'après Gallais, 1979.

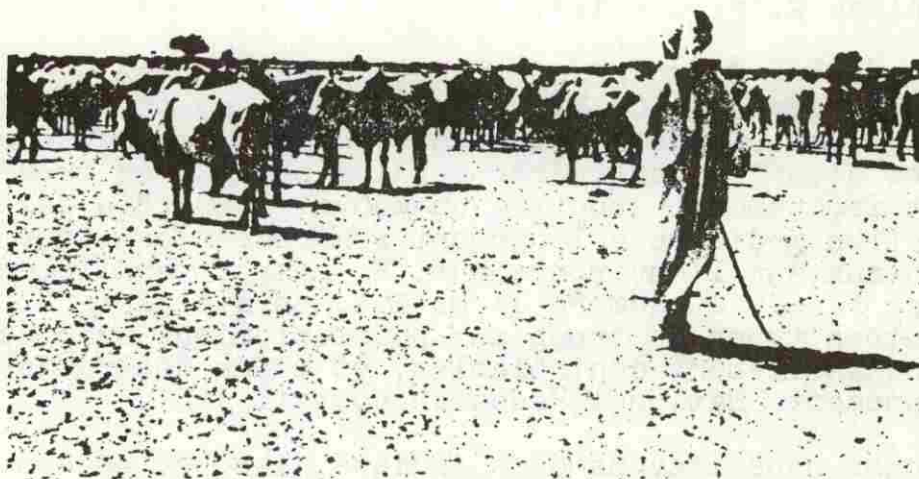


Illustration 11 :

Les troupeaux de bovins sont l'une des causes fondamentales de la détérioration de l'environnement sahélien. Dans le Sahel occidental, leur nombre a quintuplé au cours des 25 années précédant la sécheresse de 1968 (Photo IFC/Banque Mondiale de M.K. Ibrahim).

ce qui accentue la disparition des plantes vivaces, et finit souvent par les éliminer complètement (Gaston et Dulieu 1976).

Les fourrés et les taillis sont également affectés par les troupeaux de bovins, car les bouviers utilisent le bois comme combustible, comme matériau de construction, et comme fourrage en cas de pénurie, tandis que les larges sabots des animaux piétinent les jeunes pousses et tassent le sol.

Trois essences ont été particulièrement affectées par un taux de mortalité élevé : Acacia senegal, Commiphora africana, et Guiera senegalensis (Poupon et Bille 1974). Par conséquent, la détérioration du couvert végétal se reflète qualitativement dans la disparition des plantes vivaces au profit des plantes annuelles, et dans l'augmentation du nombre d'arbres et d'arbustes relativement non productifs, tels que : Calotropis procera, au détriment d'essences plus utiles comme : Acacia ehrenbergiana, A. senegal, et Balanites aegyptiaca (Bernus 1979). Comme nous l'avons mentionné plus haut, la production de la bio-masse a également décliné. Dans la région de Tamesna, au Niger, on estime par exemple que la production brute des pâturages est passée de 1 500/2 000 tonnes par hectare à 360 kgs/ha en raison du surpâturage. Les bonnes plantes fourragères, comme le Schoenefeldia gracilis, ont disparu et sont désormais remplacées par des espèces à cycle bref exigeant moins d'eau, comme le Cenchrus (Granier 1975). Une baisse similaire de la production brute a été observée dans les Ferlo au Sénégal et dans d'autres régions du Sahel.

On a estimé que la superficie utile de la zone pastorale a diminué de près de 25 pour cent depuis le début de la sécheresse de 1968. Toutefois, dans certains cas, ces tendances peuvent se renverser. Le S. gracilis a fait sa réapparition dans la région de Tamesna. L'étude sur les Ferlo tient compte d'une production de semences s'élevant à 30.6 kgs/ha en 1970/71. Les animaux ont consommé 1/3 de cette production, et le reste a été dispersé par le vent, l'eau et les bêtes. Bien qu'elles aient été détruites pour la plupart, 11 pour cent des semences ont conservé leur potentiel de germination pendant deux ans au moins. Ceci signifie que, dans le cadre d'une gestion saine, la restauration de nombreuses zones reste possible. Toutefois, si l'on n'atténue pas la pression excessive exercée par les troupeaux, de nombreuses espèces cesseront de produire des semences, empêchant ainsi le processus de régénération (Boudet 1972).

La diminution ou l'élimination du couvert végétal, fréquemment associée au tassement du sol par le bétail, déclenche d'autres processus de détérioration. Au début de la saison des pluies par exemple, les gouttes en tombant sur le sol humide l'éclaboussent de boue, ce qui l'obture, et mobilisent les particules du sol susceptibles d'être transportées par l'écoulement des eaux en surface. Ceci réduit l'infiltration et par conséquent l'alimentation des nappes d'eau souterraines, et

aggrave l'érosion des sols. Dans certaines régions du Sahel, les niveaux des nappes phréatiques ont baissé de 8 mètres par rapport au Moyen-Age (Toupet 1977). Comme l'indique une autre partie de ce rapport (chapitres 2 et 4, Annexe B), la raréfaction de la végétation peut également réduire les précipitations par le biais des mécanismes de "feedback" biophysique régularisés par ce couvert. En revanche, un tapis végétal intercepte les gouttes de pluie et gêne l'écoulement des eaux, qui doivent passer à travers un enchevêtrement de tiges, de brins d'herbe, de feuilles mortes et de poils radiculaires. Ce parcours favorise l'infiltration, tandis que les systèmes radiculaires servent à stabiliser les sols (Butzer 1976).

L'exposition du sol et l'appauvrissement de ses composés organiques sont également des facteurs de rupture de l'équilibre écologique en raison de la modification des relations sol-eau et des variations thermiques plus importantes au niveau du sol. Il est probable que cette altération de l'écologie des sols nuit à son tour aux micro-organismes essentiels tels que les bactéries rhizobia associées aux acacias sahéliens et à d'autres espèces légumineuses (National Academy of Sciences 1979). Les rhizobia fixent l'azote atmosphérique, accroissent la productivité des plantes, et diminuent l'impact des pressions sur l'environnement. Dans la mesure où l'exploitation abusive des terres, la diminution des nappes phréatiques, et l'altération de l'écologie des sols provoquent directement la disparition de certaines espèces végétales et entravent les processus de reproduction chez d'autres espèces, d'autres pertes se produisent par suite de perturbations dans les relations et les affinités végétales.

INTRODUCTION D'ARMES A FEU PERFECTIONNEES

L'introduction des armes modernes dans le Sahel est liée au commerce des esclaves. En effet, les marchands d'esclaves européens échangeaient des armes contre les esclaves de leurs associés Maures. Au cours d'un voyage en Afrique occidentale, vers 1456, le Portugais Diego Gomes a vu "des caravanes apporter leur chargement d'armes et d'épées aux Maures" en échange d'esclaves (Blake 1941-42). Dans les années 1790, Mungo Park écrit que les Maures obtenaient "leurs armes à feu et leurs munitions des Européens, en échange d'esclaves noirs qu'ils capturaient au cours de leurs pillages. Dans ce type de commerce, leurs premiers clients sont les marchands français, sur le fleuve Sénégal". Ecrivant en 1817, James Riley souligne que "les Arabes sont généralement bien armés, car ils possèdent d'excellents fusils français à double canon". Vers 1882, le Chef africain Samoury Touré avait acheté 4 000 fusils à répétition aux Anglais résidant dans la Sierra Leone, afin de réprimer la progression des Français dans la région du Niger. Vers 1892, son armée possédait 8 000 fusils de ce type (Gramont 1975).

De nombreux auteurs médiévaux ou contemporains ont décrit l'abondance de la faune sahélienne (voir par exemple Blake 1941-42). La littérature des peuples sahéliens, tels que les Maures et Kel Tamacheq, se réfère fréquemment aux chameaux, aux animaux sauvages et au gibier, mais ne fait pratiquement jamais allusion aux troupeaux de bovins, de moutons ou de chèvres. L'attrait présenté par le gibier se reflète dans l'importance commerciale donnée en Mauritanie à la chair d'antilope ou Tishtar (Trotignon 1975). De même, à une époque relativement récente, vers la fin des années 1950, les habitants de la vallée du Sénégal se nourrissaient davantage de gibier d'eau et d'animaux sauvages que de la viande de leurs bovins (Cremous 1963). Il n'est donc pas surprenant, étant donné le goût des peuples sahéliens pour le gibier, de constater que l'introduction d'armes à feu modernes dans la région a provoqué une forte augmentation de la chasse. Les récits des voyageurs font état à ce sujet d'une diminution constante de la faune depuis le 16ème siècle, tandis que Bigourdan et Prunier (1937), écrivant avant la fin de la période de pacification par les Français dans les années 1930, indiquent que les troupeaux d'Addax et d'Oryx vivant dans le Sahel Mauritanien sont déjà menacés d'extinction.

L'élimination des animaux sauvages a largement contribué à la raréfaction de la végétation sahélienne. Auparavant en effet, les oiseaux et les animaux herbivores stimulaient la repousse (McNaughton 1976) et dispersaient les semences des arbres et arbustes, notamment les graines des légumineuses : Acacia, Albizzia, Bauhinia, Cassia, Entada, Parkia, Prosopis, Tetrapleura, et autres essences apparentées (National Research Council, 1981). A son tour, la modification de l'habitat a fait disparaître d'autres espèces animales contribuant autrefois à répandre les semences (Huzayyin 1956), tout en diminuant également les quantités de graines susceptibles d'être disséminées.

En dernier lieu, des modifications sont intervenues dans la vie grégaire des animaux sauvages avec la disparition virtuelle des carnivores de la zone pastorale. Dans le passé, les jeunes bouviers devaient prendre soin d'éviter les forêts et les bosquets afin de conserver le contrôle du troupeau et d'éviter les pertes causées par les prédateurs. Ces craintes se sont progressivement évanouies avec l'élimination des grands carnivores. Les troupeaux peuvent pénétrer désormais dans les zones boisées, ce qui provoque la disparition généralisée du couvert protecteur et des jeunes pousses. Ce processus a éliminé dans une très large mesure les refuges des animaux sauvages, a empêché l'interception des pluies et diminué l'alimentation des nappes phréatiques, a fait disparaître de nombreux animaux et plantes sauvages servant aux populations rurales pendant les périodes de disette, et a perturbé gravement les systèmes écologiques.

La disparition de la faune entraîne également d'autres conséquences : en effet, la biomasse potentielle des troupeaux sauvages est largement supérieure à celle du bétail dans des conditions similaires. Ainsi, les études effectuées en Afrique

orientale révèlent que la savane peuplée d'Acacias, qui supporte 19.6-28 kgs/ha de bovins domestiqués pourrait nourrir 65.5-157.6 kgs/ha d'ongulés sauvages. Contrairement aux bovins domestiques, les animaux sauvages occupent des niches écologiques distinctes et généralement complémentaires : ils mangent la végétation trop grossière pour le bétail, en outre, ils utilisent l'eau de façon plus efficace, et résistent mieux à la fatigue et aux maladies. En conséquence, la faune du Sahel pourrait constituer une importante ressource alimentaire pendant les périodes de disette (Talbot 1963, Knight 1976).

Outre l'impact désastreux des armes à feu modernes, la faune sahélienne a été encore réduite par la concurrence directe que lui a fait le bétail, ainsi que par la modification de l'habitat liée à l'expansion de l'agriculture.

DEVELOPPEMENT DES RESEAUX DE TRANSPORT MODERNES

Les principaux fleuves du Sahel, les chemins de fer et les routes ont permis le peuplement de nouvelles zones et la mise en culture de nouvelles terres, tout en facilitant l'exploitation des produits forestiers.

De même qu'ils longeaient les anciennes routes commerciales, les villes et les villages se sont établis le long des voies de transport modernes, et ce pour des raisons similaires. Comme dans le passé, ces peuplements ont eu des conséquences prévisibles sur l'environnement, dans la mesure où les forêts voisines sont exploitées pour le bois servant à la construction et aux clôtures, pour le fourrage, le combustible, le tannin, le caoutchouc, les plantes médicinales, et d'autres produits répondant aux besoins locaux. Ces réseaux de transport offrent également d'autres opportunités économiques en facilitant le transport des produits locaux vers des marchés éloignés. Ainsi, l'influence exercée par l'homme sur son environnement augmente à mesure que les populations locales réagissent à ces opportunités.

Les principaux fleuves du Sahel ont été pendant longtemps d'importantes voies de transport et des artères commerciales. L'apparition des bateaux à vapeur a considérablement renforcé l'impact de ce trafic sur l'environnement. Sur le Niger, le règne des bateaux à vapeur a débuté avec le Quorrah et l'Alburkah venus d'Angleterre en 1832. Dès 1871, les bateaux de 5 compagnies assuraient un service régulier, tandis que les rives du Niger se parsemaient de petits comptoirs commerciaux et d'exploitations agricoles (Gramont 1976). Outre le déboisement effectué le long des rives des fleuves pour répondre aux besoins constants de combustible des bateaux à vapeur, d'autres prélèvements ont été faits pour construire les installations.

M. de Gironcourt observait, au début du 20ème siècle, que les palmiers doums (*Hyphaene thebaica*) avaient presque disparu des rives de la boucle nord du Niger, car leurs troncs faisaient partie de la charpente des bureaux administratifs et d'autres constructions. A une époque plus récente, les forêts riveraines du Sahel ont été intensément exploitées pour la production de bois de feu et de charbon de bois (Figure 12) (National Academy of Science 1979). Ces produits sont ensuite transportés aisément par bateau vers les centres urbains tels que Saint-Louis sur le Sénégal, et Niamey sur le Niger.

L'importance de la disparition des forêts riveraines dans le Sahel n'a pas encore été évaluée à sa juste valeur. Selon les observations effectuées sur le terrain le long du fleuve Sénégal en 1979 et en 1980 par l'équipe du Comité Consultatif sur le Sahel, le rythme de l'érosion des rives du fleuve s'est fortement accéléré, à mesure que la plaine d'inondation perdait sa couverture végétale protectrice, notamment les vastes peuplements d'*Acacia nilotica*, qui constituent une importante source de charbon de bois (Figure 13) (National Academy of Sciences, 1979). L'érosion accélérée des plaines d'inondation du Sénégal provoquera très probablement des niveaux de sédimentation et de salinisation largement supérieurs aux prévisions des agences concernées par l'aménagement du Bassin du Sénégal (National Academy of Sciences 1979, 1981 a ; cf. Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal, n.d.).

La ligne Dakar-Saint Louis, ouverte en 1885, a inauguré les transports par voie ferrée dans le Sahel. La liaison entre les fleuves Sénégal et Niger a été achevée en 1904, puis d'autres lignes ont relié Dakar et Kaolack (1911), Touba et Diourbel. Lignère et Louga. La ligne directe Dakar - Bamako et Koulikoro sur le Niger a été inaugurée en 1923. La végétation a été directement affectée par le défrichement, la préparation des remblais, et la construction des ponts, ainsi que par les coupes faites pour répondre aux énormes besoins de combustible des moteurs à vapeur utilisés sur ces lignes. L'expansion agricole dans les régions desservies par le train ont également contribué -- indirectement -- au recul de la végétation. Cette expansion de l'agriculture est remarquablement illustrée par le déplacement vers le sud de la production d'arachides, de la vallée du Sénégal vers le "Bassin arachidier" au centre-ouest du Sénégal, qui est devenu l'un des premiers producteurs d'arachides. Toutefois, cette expansion signifie également une économie très vulnérable. L'économie se fonde en effet largement sur la monoculture d'arachides dans une région recevant des précipitations extrêmement variables et le bassin s'est peu à peu dégradé sous la pression de la culture intensive (Church 1980, National Academy of Sciences, 1980).

La construction du réseau routier a également détérioré l'environnement en provoquant des perturbations physiques, notamment sur les sols sableux, et en bouleversant les systèmes d'irrigation. La végétation a été affectée indirectement dans de nombreuses zones par l'utilisation de droits de passage pour

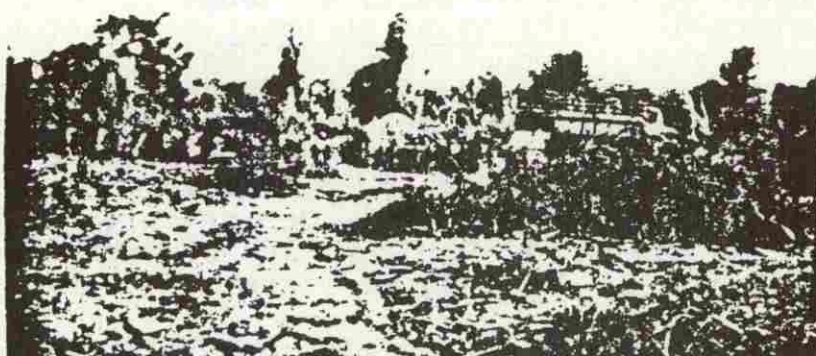


Illustration 12 : Production de charbon de bois dans les forêts d'acacia nilotica, sur la plaine d'inondation du Sénégal, près de Dar al-Barka, Mauritanie.

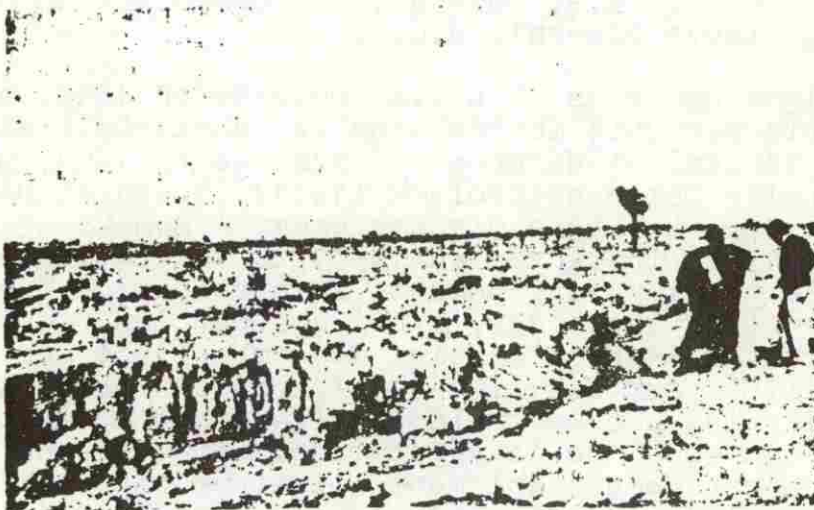


Illustration 13 : Erosion importante de la plaine d'inondation au Sénégal, près de Tekane, Mauritanie. La production de charbon de bois a détruit les vastes peuplements d'acacia nilotica qui protégeaient le sol.

conduire le bétail vers les marchés urbains, et par l'expansion de l'agriculture et l'exploitation plus intensive des ressources forestières dans les zones desservies par le réseau routier. On peut facilement évaluer l'impact des routes rurales sur les boisements en observant les tas de bois de feu et de sacs de charbon de bois accumulés le long de ces routes avant d'être transportés vers les marchés urbains. La consommation annuelle per capita de bois de feu dans le Sahel s'élève à 1,15 stère, soit 0,317 corde. Au vu de la croissance démographique de la région et de la pénurie générale d'autres sources économiquement viables de combustible, on prévoit que les prélèvements continueront à excéder très largement les modestes progrès de la production conventionnelle de bois de feu ainsi que l'apport des projets de reboisement.

URBANISATION

Les centres urbains ont connu un essor sans précédent dans le Sahel depuis le début du 20ème siècle (Tableau 3). Ainsi, Nouakchott, la capitale de la Mauritanie, qui n'était qu'un village de 2 000 habitants en 1957, est devenue une ville de

Tableau 3

CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE DANS LE SAHEL - 1970-1980

	Population urbaine (en milliers)		Croissance urbaine (%)	Population nationale (en milliers)		Croissance démographique nationale (%)
	1970	1980		1970	1980	
Cap Vert	16	19	n.d.	268	332	2.4
Tchad	411	747	6.7	3 640	4 574	2.3
Gambie	53	80	8.0	463	593	2.8
Mali	611	968	5.5	5 047	6 553	2.7
Mauritanie	111	182	8.6	1 162	1 574	2.8
Niger	330	561	6.8	4 016	5 425	2.9
Sénégal	1 024	1 537	4.0	3 925	5 591	2.6
Haute Volta	388	644	4.0	5 384	6 738	2.6

Source : D'après Kurian, 1982.

134 000 habitants en 1977. Niamey, capitale du Niger, comptait 7 000 habitants en 1945, et en abrite 300 000 en 1979. D'autres évolutions aussi rapides sont intervenues ailleurs. Le Tableau 3 illustre le rythme de la croissance urbaine, qui contraste avec celui de la croissance démographique nationale dans le Sahel.

De nombreuses villes ont dû être créées, comme les centres miniers de Zouérate et de Nouadhibou en Mauritanie, et d'Arli au Niger. L'essor de l'urbanisation au Sahel a été encore stimulé par la création des divisions administratives et des services gouvernementaux, ainsi que des écoles, des centres médicaux, des marchés et des aéroports qui y sont liés.

Ces centres ont directement aggravé les pressions qui s'exercent sur les ressources offertes par la campagne environnante, et ont affecté indirectement les régions plus éloignées, qui fournissent aux citadins la nourriture, le combustible, les fibres et les matériaux de construction. Ainsi, Delwaulle et Roederer (1973) ont noté la faiblesse du processus de régénération naturelle de la végétation dans un rayon de 15-20 kms de Niamey, tandis que la "désertification" s'aggrave déjà à une distance de 40-50 kms de la capitale.

Cette détérioration reflète en grande partie l'importance des besoins de matériaux de construction et de combustible. Par ailleurs, elle est également causée par l'intensification des activités agricoles sur des sols déjà appauvris, en vue d'approvisionner les centres urbains en sorgho et autres céréales. En outre, les perturbations physiques liées aux travaux de construction et d'urbanisme, la circulation des véhicules convergeant vers les villes, et les cultures périphériques mobilisent d'énormes quantités de sable et de poussière. Outre les problèmes sanitaires qu'il engendre, ce processus provoque des accidents sur les autoroutes, et interrompt de plus en plus fréquemment le trafic aérien (National Research Council, 1981).

Chapitre 4

AMELIORATION DE L'ENVIRONNEMENT : COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

L'examen paléo-environnemental et l'analyse du contexte historique figurant dans les Chapitres 1 et 2 indiquent que le climat sahélien a très peu évolué pendant 2 500 ans. Le climat, extrêmement variable, est caractérisé par une mauvaise répartition des pluies, et de fréquents épisodes de sécheresse. Il faut tenir compte de ces caractéristiques fondamentales pour élaborer des stratégies capables d'améliorer efficacement l'environnement de la région sahélienne.

Le Chapitre 3 de cet ouvrage passe en revue un large faisceau d'activités humaines qui ont altéré gravement les caractéristiques et les paramètres des écosystèmes sahéliens : feux de brousse, peuplement sur des lieux facilement perturbés, exploitation destructrice des produits forestiers, expansion de l'agriculture, prolifération du bétail, disparition d'un grand nombre d'animaux sauvages, développement des réseaux de transports modernes, urbanisation, et autres phénomènes. Même si l'impact de cette évolution n'affecte pas la région de façon uniforme, il faut admettre cependant, pour établir des prévisions valables, qu'aucune des zones sahéliennes n'a échappé à ces transformations. En comprenant mieux l'évolution de l'environnement sahélien, les responsables des prévisions peuvent appréhender davantage le potentiel biologique de la région, ainsi que le fonctionnement et les modifications des écosystèmes. Il est manifeste que l'étendue de la couverture végétale et sa diversité biologique ont diminué de façon progressive, mais considérable. Les écosystèmes dans les régions tropicales arides et semi-arides se "renouvellent" eux-mêmes tant que le maintien de la diversité des espèces permet d'éviter l'effondrement du système. Au-dessous d'un certain seuil, un "effet de domino" dramatique suscite la perte des espèces au sein d'un écosystème, en aboutissant à son effondrement ou à sa simplification radicale. La raréfaction de la végétation augmente l'érosion du sol, réduit l'alimentation des nappes phréatiques, altère l'écologie des sols et provoque la disparition des espèces animales et végétales, incapables de s'adapter à la modification de l'environnement. On estime en générale que l'appauvrissement du couvert végétal entraîne également la diminution des précipitations, en raison des mécanismes de "feedback biogéophysique"

régularisés par la végétation, et de la plus faible évapotranspiration de l'humidité du sol, liée à la disparition d'un nombre considérable de plantes vasculaires. Certains experts pensent qu'un ou deux tiers du total des précipitations reçues par le Sahel proviennent de l'humidité réévaporée du sol à l'intérieur de la région. (communication personnelle de F.K. Hare).

Les efforts menés pour améliorer l'environnement et soutenir la production doivent s'appuyer sur le rétablissement de la diversité biologique et du fonctionnement de l'écosystème. La notion de l'écosystème offre un cadre scientifiquement acceptable, permettant de prévoir, de coordonner et d'optimiser les travaux d'aménagement.

A moins d'établir un cadre réaliste et écologiquement valable pour intégrer les activités de développement, les donateurs et les institutions sahéliennes se trouveront engagés dans la recherche onéreuse et interminable de données de base de plus en plus nombreuses.

La diminution de la diversité et de la productivité écologiques menace également les capacités d'acclimatation et d'évolution des espèces végétales et animales, ainsi que la viabilité des systèmes agro-sylvo-pastoraux sahéliens, et aboutit généralement à l'instabilité économique, sociale et politique. Il est important que les agences des donateurs et les fonctionnaires des gouvernements sahéliens, ainsi que les populations rurales, comprennent davantage les implications écologiques des modes de vie et des activités de développement pour l'environnement sahélien. Il est aussi essentiel d'amener les peuples sahéliens à prendre davantage conscience des problèmes posés par la détérioration et à s'efforcer de les résoudre. En outre, les systèmes économiques et juridiques en vigueur dans le Sahel devront sans doute être modifiés afin que les secteurs public et privé mènent une action écologiquement positive.

BESOINS DES INSTITUTIONS DE RECHERCHE

Il est essentiel de recueillir, d'évaluer et de diffuser systématiquement les informations concernant les problèmes d'environnement dans le Sahel, ainsi que les efforts faits pour les résoudre. L'Institut du Sahel a été créé à cette fin dans le cadre du CILSS/Club du Sahel. Toutefois, depuis sa création, l'Institut s'est heurté à de nombreuses difficultés pour assumer efficacement cette tâche.

Pour remédier à cette situation, nous formulons les recommandations suivantes :

- Que les gouvernements sahéliens et les donateurs reconnaissent ensemble l'importance de la collecte et de la diffusion des informations ainsi que de la coordination des recherches pour lutter contre la détérioration de l'environnement. Des mesures seront prises pour renforcer le programme et les capacités de l'Institut du Sahel et lui permettre ainsi de remplir son mandat.
- Que les fonctionnaires de l'Institut du Sahel aient la possibilité d'améliorer la formation de leur personnel. Ainsi, les cadres supérieurs pourraient participer à des stages dans d'autres institutions similaires, et l'on pourrait créer un Comité Consultatif d'experts scientifiques de haut niveau pour contribuer à la formulation, l'exécution et l'évaluation des programmes de l'Institut. A un niveau moins élevé, les membres du personnel pourraient tirer profit d'une collaboration avec des universitaires expatriés.

Il faudrait également :

- Encourager et financer les recherches très spécialisées orientées vers le développement, comme les travaux de J.C. Bille et H. Poupon, de l'ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) sur l'écologie au Nord des Ferlo, Sénégal.
- Etablir dans le Sahel un projet régional analogue au Projet Intégré de l'UNESCO dans les Terres Arides (IPAL) au Kenya. Ceci permettrait en effet de poursuivre des recherches pratiques, multidisciplinaires et à long terme sur les problèmes écologiques et socio-économiques liés à la détérioration de l'environnement. Ce projet devrait dépendre administrativement de l'Institut du Sahel.

Par ailleurs, il faudrait considérer les échanges scientifiques et les modifications des programmes d'étude comme d'utiles moyens de stimuler la prise de conscience, de cerner les questions et d'aborder efficacement les problèmes de détérioration de l'environnement.

A cet égard, les recommandations sont les suivantes :

- Etablir un programme d'échanges scientifiques permettant à des experts non-sahéliens de se rendre dans le Sahel pour stimuler et préciser leurs recherches scientifiques, et à des experts sahéliens de visiter -- aux Etats-Unis ou ailleurs -- des centres de recherche sur les sols arides et des projets de mise en valeur des terres, pour y étudier et recueillir les informations qui leur sont nécessaires.

- Etudier les moyens d'offrir une formation complémentaire efficace aux responsables de l'enseignement et de la recherche, de façon à relier ces deux disciplines plus étroitement aux problèmes caractérisant la région sahélienne.

DEFINITION ET EXECUTION DES PROJETS

Les responsables des prévisions et du développement ne suivent pas réellement une approche commune pour définir et mettre en oeuvre les projets.

Recommandations :

- Dans le cadre des futures recherches écologiques dans le Sahel, attribuer une priorité particulièrement élevée à la définition et à l'identification des provinces écologiques dans la mesure où elles constituent les unités physiques de base, sur lesquelles se fonderont les études et les travaux d'amélioration (ces provinces pourront différer légèrement des unités agrophysiques et d'autres catégories foncières existant actuellement dans le Sahel).
- Elaborer et vérifier sur le terrain des modèles de flux énergétiques de l'environnement simples et facilement applicables. Ces modèles permettraient aux responsables de la planification d'identifier les ruptures dans le fonctionnement de l'écosystème et de définir des programmes susceptibles de restaurer les processus écologiques. L'utilisation de ces modèles est commentée dans le rapport du National Research Council, intitulé : "Détérioration de l'Environnement en Mauritanie" (1981) (Environmental Degradation in Mauritania).
- Compiler systématiquement des études de cas pour permettre aux directeurs des projets de retirer les enseignements des expériences ayant déjà réussi à restaurer l'environnement sahélien et d'éviter les échecs commis dans le passé.

RESSOURCES HYDROGRAPHIQUES ET PROTECTION DES SOLS

Comme nous l'avons déjà indiqué, la diminution de la végétation dans le Sahel a réduit considérablement la recharge des nappes phréatiques tout en aggravant l'érosion des sols. Selon de récentes recherches hydrogéologiques, les niveaux des nappes se situent actuellement à 8 mètre au-dessous de leurs

niveaux à l'époque médiévale. Le rétablissement d'un couvert végétal approprié et de la diversité biologique dans les écosystèmes sahéliens dépendront dans une large mesure des efforts qui seront déployés parallèlement pour augmenter l'alimentation et la protection des eaux souterraines.

Recommandations :

- Explorer plus à fond et plus systématiquement les problèmes et les possibilités relatifs à l'hydrologie souterraine. En effet, l'exploitation des nappes phréatiques dont la recharge naturelle est insuffisante s'est avérée fréquemment extrêmement nuisible, comme dans l'Adrar, en Mauritanie. Dans certains cas, par exemple à Bahr al-Ghazal, au Tchad, les eaux souterraines pourraient être exploitées plus intensivement. Les recherches menées en matière d'hydrologie souterraine dans le Sahel devraient se fonder sur les études faites par P. Elouard, J.L. Schneider, et d'autres experts.
- Inclure dans tous les projets d'amélioration de l'environnement entrepris au Sahel des éléments concernant l'alimentation des nappes et la rétention des eaux souterraines. Ces projets pourraient comporter des solutions déjà testées comme la restauration de la végétation ("revegetation") grâce à des techniques de collecte des eaux et de construction de barrages-réservoirs (du type "piège à sable") pour capter et retenir les eaux de ruissellement qui seraient perdues autrement. La brochure intitulée "More Water for Arid Lands", publiée en 1974 par la National Academy of Sciences aborde différentes approches du problème de la rétention des eaux et de la recharge des nappes phréatiques.
- Si possible, puiser l'eau destinée aux besoins domestiques et agricoles par des moyens mécaniques (à faible pression) comme le "Shaduf" traditionnel. Les pompes à moteur ne devraient être installées qu'après s'être dûment assuré que l'alimentation en eau est suffisante pour couvrir les besoins à long terme, et après avoir étudié minutieusement les conséquences négatives éventuelles.

MISE EN VALEUR DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES
ET AGRICULTURE IRRIGUEE

Les principaux bassins hydrographiques du Sahel offrent des ressources en eau relativement fiables, même en cas de sécheresse. Les systèmes agraires traditionnels pratiqués le long des rives des fleuves et des lacs dans tout le Sahel

représentent une approche très sophistiquée de la production agricole soutenue. Malheureusement, ces systèmes seront éliminés dans de nombreuses régions par la régularisation des fluctuations du niveau des fleuves, dans le cadre des programmes modernes de mise en valeur des bassins hydrographiques.

Jusqu'à présent, les programmes d'irrigation financés par les donateurs dans la zone sub-saharienne n'ont que très rarement démontré leur potentiel économique. Les études apparemment très complètes qui ont précédé la plupart de ces projets ne comportent généralement aucune analyse historique, et n'évaluent que très sommairement les relations réciproques existant entre le sol, l'eau, la végétation et d'autres composantes d'un réseau hydrographique. On s'aperçoit, dans le cas du Projet de Mise en Valeur du Bassin du Sénégal par exemple, que l'on a accordé assez peu d'importance aux problèmes auxquels se sont heurtés les projets coloniaux concernant le système d'irrigation dans le Bassin au 19ème siècle, ainsi qu'à l'échec économique du réseau d'irrigation ultérieurement établi dans le delta. De plus, on a mal évalué diverses catégories de données influant directement sur le succès économique potentiel et sur l'aspect positif de ce projet pour l'environnement. Ces données incluent les rythmes et les tendances de l'érosion du sol dans les plateaux du Fouta-Djalon et de Chemama, en Mauritanie, qui, s'ils ne sont pas stoppés, entraîneront une proportion élevée d'envasement et de salinité, tout en diminuant la durée et les avantages du projet.

- Il faut mettre en balance la valeur globale des ressources dont la perte sera provoquée par l'aménagement des Bassins, et les avantages apparemment provisoires des activités coûteuses qui les remplaceront. Economiquement, il serait peut-être plus intéressant de développer les ressources et le potentiel d'adaptation du pays plutôt que de les remplacer par d'autres.

D'autres motifs incitent à la prudence pendant l'élaboration ou l'exécution des projets relatifs à l'aménagement des Bassins hydrographiques. Tout d'abord, l'effet de certaines maladies, comme la schistosomiase ou la malaria, risque de s'aggraver. En second lieu, pendant la saison sèche, les surfaces irriguées, qui attirent un grand nombre de prédateurs et d'ennemis des cultures, doivent être constamment surveillées et protégées. Troisièmement, les cultivateurs doivent apprendre tout un ensemble complexe de pratiques et techniques culturelles nouvelles tout en se familiarisant avec d'autres systèmes d'irrigation et en s'adaptant à d'autres modifications. Quatrièmement, ces projets risquent de provoquer une utilisation excessive des terres autour de la zone couverte par le projet,

notamment pour nourrir le bétail. Finalement, les projets d'irrigation entraînent fréquemment une évolution sociale radicale, en bouleversant la vie familiale, en éliminant des normes traditionnelles, et en augmentant brutalement la criminalité, la délinquance, les troubles nerveux et d'autres indicateurs d'anomie sociale. (Bodley 1975).

En outre, on surestime souvent le niveau des experts occidentaux en matière d'agriculture irriguée (de vastes terres de culture concernées par des projets d'irrigation au sud-ouest de l'Amérique et au sud de l'Australie ont été gâchées pour cause de mauvaise gestion, de salinisation, d'alcalinisation et d'excès d'eau). Il faut être très prudent lorsque l'on se sert de l'expérience occidentale pour cultiver des terres irriguées sous un climat tropical aride ou semi-aride, alors que les paramètres de l'environnement sont moins bien connus, et que l'on trouve difficilement les compétences nécessaires.

GESTION, PROTECTION ET ACCROISSEMENT DES RESSOURCES BIOLOGIQUES EXISTANTES

Les taux de mortalité assez élevés de la flore et de la faune sahéliennes, la dépendance traditionnelle des populations à l'égard des forêts, qui leur fournissent combustible, aliments et autres produits, ainsi que diverses considérations écologiques et économiques, exigent que l'on accorde une attention d'autant plus soutenue à la mise en valeur et à la protection des ressources végétales et animales de la région. De fait, les plantes et les animaux introduits de l'extérieur s'acclimatent généralement moins bien que leurs homologues indigènes ; de plus, les coûts entraînés par ces opérations de remplacement sont fréquemment trop élevés.

TERRES BOISEES ET HERBAGES

Depuis 1972, on a dépensé environ 160 millions de dollars pour des projets sylvicoles dans le Sahel, consacrés pour la plupart à la création de plantations souvent destinées à fournir du bois de feu. Malgré ces efforts, les réserves de bois de feu n'ont pas cessé de diminuer, et on a constaté parallèlement la disparition de nombreuses espèces dont les produits sont très appréciés au niveau local. Les projets n'ont visé que rarement l'amélioration de la gestion et de l'exploitation des forêts naturelles existantes. Les donateurs ont investi des sommes importantes dans des programmes de plantation qui se sont souvent soldés par un échec, alors que l'amélioration et la protection des forêts naturelles procurent de nombreux avantages à moindres frais.

Le taux relativement faible de réussite des programmes de plantation et des activités de foresterie sociale dans le Sahel s'explique par la difficulté pour les populations rurales d'apprécier les bénéfices qu'elles peuvent en retirer. Aux termes de la législation domaniale sahélienne, ces projets sont effectivement considérés comme régis "de facto" par l'Etat, qui en retire par conséquent les avantages, ce qui incite peu les cultivateurs à y participer. En l'absence d'incitations économiques concrètes, les cultivateurs renonceront à planter des arbres pour s'assurer des provisions suffisantes de bois de feu, car ils doutent de leur aptitude à protéger et à entretenir des arbres pendant 10 à 15 années, et ils se décourageront rapidement face aux incertitudes juridiques et aux conflits liés aux régimes fonciers traditionnels. Toutefois, les paysans seront "spontanément" beaucoup plus enclins à planter ou à replanter des arbres si ces derniers peuvent également leur fournir, à plus court terme, des recettes financières, ou du fourrage, des fruits ou d'autres produits. Il est donc urgent de mener des recherches sur les différentes espèces, pour identifier des arbres fournissant plusieurs produits dont les cultivateurs retireront à la fois des bénéfices économiques à court terme et des avantages généraux à plus long terme, et qui contribueront à la restauration de l'environnement au niveau régional.

Recommandations :

- Les gouvernements sahéliens et les donneurs concernés doivent établir ensemble des nouvelles stratégies de gestion des forêts permettant à la fois de protéger et d'exploiter plus efficacement les ressources forestières tout en conservant les multiples usages qu'elles offrent aux populations rurales. Les recherches effectuées sur les espèces devront identifier les arbres possédant un intérêt économique, un rendement élevé, une bonne résistance à la sécheresse et offrant de multiples produits. Ces recherches constituent un facteur essentiel et devront donc disposer de fonds supplémentaires.
- Les efforts menés actuellement pour créer des plantations destinées à produire du bois de feu pour les centres urbains seront poursuivis afin de compléter l'aménagement des forêts naturelles. Outre ce double objectif -- production de bois de feu et allègement des pressions s'exerçant sur les forêts naturelles -- ces plantations abriteront la faune et, en fonction du lieu et des besoins, elles auront toute une gamme de fonctions protectrices. Les recherches doivent également porter sur la sélection des espèces destinées aux plantations urbaines, et, dans certains cas, sur l'utilisation optimale de la terre. En effet,

des plantations urbaines -- existantes ou prévues -- occupent ou risquent d'occuper des terres qu'il serait plus efficace de consacrer à l'agriculture.

- La rapide expansion de nombreuses villes sahéliennes a eu pour corollaire la détérioration progressive des environnements péri-urbains. En conséquence, les gouvernements sahéliens et les organisations des donateurs ont pris conscience des nombreux problèmes liés à la gestion des ressources que posent les zones limitrophes, et qui exigent une action coordonnée au niveau local pour assurer un développement soutenu, notamment pour augmenter l'approvisionnement en bois de feu et en eau. L'intérêt suscité par la réhabilitation de ces zones doit être indiqué à la Commission de Planification de l'Environnement de l'Union Internationale pour la Protection de la Nature et des Ressources Naturelles.
- D'autres recherches devront porter sur l'impact du feu sur les écosystèmes sahéliens et sur son emploi éventuel dans l'aménagement des terres boisées.
- Il faudra également concevoir des travaux d'amélioration de l'environnement à grande échelle, pour faciliter la dispersion des semences et renforcer en général le processus de reproduction naturelle. Ainsi, en plantant en amont des Oueds, les semences entraînées par les eaux permettent d'augmenter le couvert végétal le long des Oueds. Comme le confirment les études effectuées dans le sud-ouest américain, ces plantations peuvent engendrer de vastes réseaux de végétation permettant d'étendre la dispersion des semences à d'autres zones limitrophes. Les projets devront également tenter de tirer un meilleur parti des déplacements des troupeaux et des animaux sauvages, des vents de nord-est saisonniers, et d'autres énergies caractéristiques de l'environnement favorisant la dispersion des semences et la végétation. Selon les normes actuelles des projets, ces mesures présentent un excellent rapport coût/efficacité, tout en venant compléter d'autres approches visant la restauration de l'environnement à grande échelle, comme le semis par avion.
- Entreprendre des recherches pour déterminer les rythmes d'extinction de diverses espèces animales et végétales sahéliennes. De nombreuses espèces, fréquemment négligées, jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes, tandis que d'autres pourraient contribuer efficacement à la médecine, à l'industrie, à l'agriculture et au commerce.

- Créer un Centre de Recherche Botanique Soudano-Sahélien, en vue de protéger et d'étudier la flore des terres arides, indigène ou exotique. On entreprendra également des recherches concernant les techniques de sylviculture. Le programme de recherches du Centre comprendra l'application de techniques nouvelles, comme l'utilisation des cultures de tissus pour multiplier rapidement les espèces végétales menacées, et accélérer les programmes de sélection.

AGROFORESTERIE

L'agroforesterie est un terme nouveau pour désigner l'ancienne coutume qui consistait à cultiver sur une même terre des plantes ligneuses, des cultures agricoles et/ou à élever du bétail. Tout en étant plus stables et en fournissant une plus large gamme de produits ayant une valeur économique, les méthodes d'agroforesterie contribuent largement à restaurer les environnements locaux, et sont généralement préférées par les paysans. Ces méthodes permettent d'exploiter davantage de petites parcelles en y diversifiant les cultures, ce qui compense les problèmes posés par la rareté des terres et de la main-d'oeuvre. Elles offrent une certaine garantie contre les mauvaises récoltes dans la mesure où ces différentes cultures sont plus ou moins vulnérables à la sécheresse, à la maladie, aux prédateurs et à d'autres risques, et où les arbres et les arbustes améliorent le microclimat et favorisent la régénération. Cette question est traitée plus en détail dans un autre rapport du National Research Council intitulé "Agroforesterie dans le Sahel Ouest-Africain" (1983). (Agroforestry in the West African Sahel")

Recommandations :

- Les gouvernements sahéliens et la communauté internationale des donateurs devraient financer le développement des systèmes d'agroforesterie dans le Sahel.
- Il faut encourager dans le Sahel la création de zones de protection, qui procurent de nombreux avantages et ont déjà été adoptées avec succès par les populations sahéliennes. L'Annexe A du présent document, ainsi que le rapport du National Research Council, intitulé "Détérioration de l'Environnement en Mauritanie" (1981) exposent ces projets de façon plus détaillée.
- Il faut établir des réserves de fourrage sur les terres limitrophes pour encourager la protection des animaux. Ces réserves pourraient également servir à nourrir les populations en cas de pénurie alimentaire : en effet, de nombreuses espèces fourragères produisent également des fruits, des feuilles, de la

gomme et des substances comestibles. Certaines espèces procurent des ressources financières aux habitants, qui vendent leur gomme, leur miel et d'autres produits.

- Et s'efforcer de déterminer d'une manière plus complète, la valeur économique des espèces végétales -- originaires de la région ou acclimatées -- qui sont actuellement sous-exploitées dans le Sahel.

En effet, différentes espèces végétales sahéliennes pourraient contribuer largement à l'agriculture, la médecine, et l'industrie. Ainsi, les apports génétiques des espèces sauvages apparentées et des cultivars locaux des cultures sahéliennes, comme le sorgho, peuvent contribuer aux programmes internationaux d'amélioration des cultures. L'Aloe barbadensis peut être exploité commercialement et utilisé dans la préparation des produits pharmaceutiques et des cosmétiques ; le fruit du Balanites aegyptiaca peut détruire les escargots, qui sont porteurs de la schistosomiase, et la puce d'eau, porteuse de la dracunculiose (maladie du ver de Guinée) ; le Cissus quadrangularis a un effet nocif sur les ennemis des cultures ; l'Acacia seyal et le Prosopis juliflora produisent des gommes commercialement exploitables ; Calotropis procera et Euphorbia, qui peuvent pousser sur des terres marginales, fournissent des hydrocarbures liquides ; les Spirulina platensis, originaires du lac Tchad, sont des algues comestibles riches en protéines, enfin, plusieurs espèces produisent des huiles végétales que l'on peut utiliser dans les moteurs diesel. Ces espèces ne sont pratiquement pas exploitées dans le Sahel.

L'intérêt économique des apports génétiques pour les cultures existantes est certainement sous-estimé. Ainsi, aux Etats-Unis, la valeur des apports génétiques réguliers pour accroître la productivité et les facultés d'acclimatation des cultures modernes s'élève à environ 700 millions de dollars par an. La vente mondiale des médicaments obtenus sans ordonnance, fabriqués à partir d'extraits végétaux et animaux dépasse actuellement 40 milliards de dollars (Myers et Ayensu 1983). L'exploitation de ces ressources devra se baser sur des stratégies garantissant leur utilisation à long terme.

RESSOURCES ANIMALES

La disparition progressive de la flore et de la faune au nord du Sahel a provoqué un rétrécissement de la zone et une désorganisation générale du fonctionnement des écosystèmes.

Recommandations :

- Créer ou rétablir des réserves abritant la faune et la flore dans les régions où bon nombre d'espèces

sont menacées, et peuvent être réintroduites et protégées in situ. La priorité sera donnée à la création d'une réserve sur les terres limitrophes de Majabat al-Koubra en Mauritanie, et d'une réserve similaire dans la région de l'Aïr, au Niger, ainsi qu'au rétablissement de la Réserve d'Ouadi Rimé-Ouadi Achim, au Tchad. Ces réserves serviront à atteindre des objectifs multiples, sans nuire au contexte social et économique, ni à l'environnement. Elles serviront également à protéger ou à réintroduire différentes espèces animales qui ont longtemps contribué à nourrir les habitants, ou qui ont attiré de nombreux touristes et chasseurs dans la région, et qui jouent un rôle important dans la régénération de la végétation et la dispersion des semences. Les limites géographiques de ces réserves dépendront du type de refuge nécessaire à ces espèces.

- Entreprendre d'autres recherches pour évaluer la productivité relative et la robustesse des différentes races, ainsi que leur acclimatation aux écosystèmes sahéliens. Ces travaux pourront également comparer les avantages et les inconvénients des bovins par rapport à certains ongulés sauvages comme l'Addax et l'Oryx. Ainsi les recherches ont démontré que la biomasse du bétail pâturant dans les savanes d'acacia en Afrique équivaut à 19,6-28,0 kgs/ha, tandis que celle des ongulés sauvages oscille entre 65,5 et 157,6 kg/ha. De plus, certaines études indiquent que les populations rurales du Sahel préfèrent se nourrir de gibier plutôt que d'animaux domestiques.
- Etudier l'acclimatation du Karbau ou Buffle d'Asie (*Bubalus bubalis*) dans les plaines riveraines du Sahel. A la différence des bovins domestiqués, le buffle peut se nourrir de fourrage grossier et de plantes aquatiques. Les buffles donnent du lait, donc du fromage, ainsi qu'une viande rouge d'excellente qualité ; ils peuvent également servir de bêtes de trait. Le rapport du National Research Council intitulé "le Buffle d'eau : perspectives pour une meilleure utilisation" (*The water Buffalo : New prospects for an underutilized animal*) (1981) donne des informations fondamentales sur cet animal.

LES TERRES MARGINALES

On appelle terres marginales les zones autrefois productives dont la détérioration est telle qu'elles ne pourront plus -- en l'absence des travaux et des investissements nécessaires -- nourrir les espèces végétales et animales, ni les populations locales. Ces terres représentent un pourcentage de plus en plus important de la superficie du Sahel, à mesure que s'éteignent les effets de la détérioration de l'environnement.

L'aménagement de ces terres pose des problèmes spécifiques car des coutumes religieuses ou des traditions historiques peuvent s'opposer aux réalités économiques modernes. Toutefois, ces caractères locaux incitent fréquemment les populations à participer aux projets d'amélioration de l'environnement, et peuvent justifier que l'on emploie les maigres ressources disponibles pour faire revivre ces terres plutôt que pour restaurer des zones relativement moins menacées.

Recommandations :

- Faire la démonstration pratique des travaux de stabilisation et de l'utilisation des dunes de sable dans des zones choisies dans tout le Sahel, afin d'apprendre aux populations locales à contrôler ces dunes. Au cours de ces démonstrations, les paysans apprendront à résoudre le problème des sables poussés par le vent. Ils verront l'utilisation sur le terrain des techniques de stabilisation des dunes, examineront les conséquences sociales liées à la réussite de ces travaux, tout en se familiarisant avec les activités impliquées par ces projets, comme la création et l'entretien de pépinières. Les arbres et les arbustes fournissant des produits secondaires et tertiaires ayant un intérêt économique seront inclus dans ces projets. Il faudra s'occuper tout spécialement de la production de films éducateurs, de manuels sommaires, et d'autres moyens contribuant à démontrer les techniques de stabilisation des dunes.
- Etudier plus à fond la fonction écologique et l'utilisation appropriée des marais sahéliens, comme par exemple les vastes étendues du Delta Intérieur du Niger et le Bassin du Tchad. De nombreux marécages jouent un rôle important, car ils permettent à des oiseaux et à d'autres espèces animales menacées de survivre. Dans certains cas, comme celui du crocodile du Nil, la création d'une industrie villageoise garantirait la survie de l'espèce, tout en permettant, sous contrôle, l'utilisation commerciale très rentable des peaux. La protection et l'utilisation commerciale des crocodiles font l'objet d'un Rapport du National Research Council intitulé "Les crocodiles, richesse des Tropiques" (Crocodiles as a resource for the Tropics) (1983).

Dans leur majorité, les études récemment effectuées sur l'aménagement et l'utilisation des marais salants aux Etats-Unis, en Australie et au Pérou, ainsi que dans d'autres pays, semblent pouvoir s'appliquer directement aux problèmes du Sahel.

- Identifier les mécanismes assurant l'application de ces recherches aux graves problèmes de salinisation affectant la région du Fatik, au Sénégal, ainsi que d'autres régions sahéliennes.

RESSOURCES BIOLOGIQUES SERVANT A L'EXECUTION DES PROJETS

RESSOURCES MICRO-BIOLOGIQUES

La détérioration de plus en plus importante de l'écologie des sols constitue un paramètre fondamental contribuant au déclin de la productivité biologique et de la diminution de la résistance des arbres, des arbustes et des cultures aux agressions extérieures. Cette détérioration est souvent due, entre autres, à l'absence de micro-organismes importants comme les bactéries rhizobiales, mycorhizes, et frankia. En effet, ces organismes jouent un rôle primordial en facilitant la disponibilité et la fixation d'azote, de phosphore et d'autres substances nutritives essentielles pour les végétaux, et leur absence affecte donc directement la réussite de nombreux programmes agricoles et sylvicoles.

Le Comité Consultatif sur le Sahel a créé le Centre Régional des Ressources Microbiologiques (MIRCEN) pour produire un vaccin anti-microbien, à utiliser dans le cadre des programmes d'amélioration de l'agriculture et de l'environnement. Le Centre est directement affilié à l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA), il est associé à l'UNESCO, au Programme des Nations-Unies pour l'Environnement, au réseau international de l'Organisation de recherche sur les Cellules (MIRCEN). Le Centre mène des activités de recherche, de formation, et assure la production et la diffusion des vaccins.

Recommandations :

- Les agences de développement actives dans le Sahel devront se familiariser avec les programmes et les services offerts par le MIRCEN, en écrivant au Directeur :

MIRCEN Afrique Occidentale
ISRA/CNRA B.P. 53, Bambey (Sénégal)

- Les donateurs et les organisations régionales devront financer le développement du programme MIRCEN. En effet, si l'ORSTOM, l'Institut des Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières, le Ministère américain de l'Agriculture, le projet NIFTAL financé par l'AID à l'Université d'Hawai, et le Ministère canadien de l'Agriculture, fournissent actuellement un appui technique, l'ISRA, la Fondation pour la Microbiologie à New-York, et l'UNESCO ont été les seuls jusqu'à présent à apporter une contribution financière directe.

PLASMA GERMINATIF POUR LES ARBRES, ARBUSTES, PLANTES
HERBACEES ET CULTURES RESISTANT A LA SECHERESSE

Le succès des efforts entrepris pour restaurer ou accroître la diversité et la productivité biologiques des systèmes agraires et de l'environnement sahéliens dépendent de la disponibilité de toute une gamme de plasma germinatif végétal de bonne qualité.

Recommandations :

- Financer et étendre les épreuves sélectives systématiques et coordonnées concernant les espèces des diverses provinces écologiques de la région. Ces essais, qui concernent tout particulièrement les arbres, seront également effectués sur les arbustes, les plantes vivaces et les cultures résistant à la sécheresse comme l'amarante* et le maïs à cycle court. Ces essais seront entrepris, si possible, dans les écoles et les centres de recherche se consacrant à l'agriculture et à la sylviculture. Les informations recueillies seront systématiquement évaluées et les résultats seront mis à la disposition des instituts de recherche dans tout le Sahel. L'Institut du Sahel devrait être la première organisation à recueillir et à diffuser les données relatives aux essais.
- Une banque régionale de plasma germinatif pourrait être créée pour le Sahel et l'Afrique occidentale, y compris les Etats côtiers. Cette banque servirait à propager les semences et la documentation appropriée, et fournirait ces germes en quantité suffisante pour être utilisés dans les principaux programmes d'amélioration des forêts et de l'environnement. La banque pourrait s'associer au Centre MIRCEN pour l'Afrique occidentale, de façon à ce que les cargaisons de semences soient accompagnées de rhizobial ou d'autres vaccins si nécessaire.

(*) Il s'agit sans doute d'une espèce d'amarante, cultivée en Inde et qui fournit de petites graines farineuses, qui constituent, dans certaines régions, la principale nourriture des habitants.

CONTEXTE SOCIAL

Il est évident que la réussite d'un projet dépend de la façon dont le perçoivent les populations locales et des avantages directs qu'elles retirent de leur participation à ces travaux. En conséquence, il est essentiel d'obtenir la collaboration étroite des habitants. Comme le démontre l'étude financée par l'AID : "Agriculture Gourmantche" (1979), et d'autres analyses de même type, les cultivateurs et les éleveurs traditionnels ont acquis une très grande connaissance des nombreux facteurs sociaux, économiques, et de l'environnement, qui garantissent le mieux leur bien-être et contribuent directement à la réussite des projets. Les responsables des programmes ne tirent pas tout le parti possible de ce savoir-faire, et ce fréquemment en raison d'un parti pris concernant le développement et le progrès social.

Recommandations :

- Mener des efforts plus concertés afin de concilier les compétences traditionnelles et les données scientifiques modernes. Pour suivre cette démarche, on pourrait établir des centres d'agro-foresterie, ou de ressources rurales. Ceux-ci permettraient en effet d'examiner en terrain neutre les avantages relatifs des approches traditionnelles et modernes concernant l'aménagement de l'environnement et la production alimentaire (Figure 14). Ces centres dispenseraient également aux populations locales l'enseignement complémentaire indispensable pour créer des pépinières et produire des semences, ou pour toute autre activité destinée à améliorer l'environnement et la production agricole.

L'échec de nombreux projets visant l'amélioration de l'environnement sahélien est imputable au manque d'intérêt ou à l'inertie des gouvernements, à la rigidité de la législation forestière, à la faiblesse des organisations locales, au déclin des autorités traditionnelles, à l'insuffisance des crédits, à la mauvaise gestion des ressources ; en outre, les organisations des donateurs ne sont pas assez spécifiques. Certains problèmes pourraient être évités en faisant participer activement à l'élaboration des plans de développement des autorités non-gouvernementales, mais importantes au plan régional, comme les membres des sectes religieuses Quadiriyya ou Tijaniyya, ainsi que les sectes plus récentes Fadiliyya et Muridiyya. Ces personnes exercent une grande influence sur les populations locales, et peuvent apporter un appui considérable aux projets ayant un intérêt pour leurs adeptes.

APPORTS

GESTION PLANIFIÉE
en collaboration avec
les résidents locaux

PRODUITS

(choisis par les habitants)

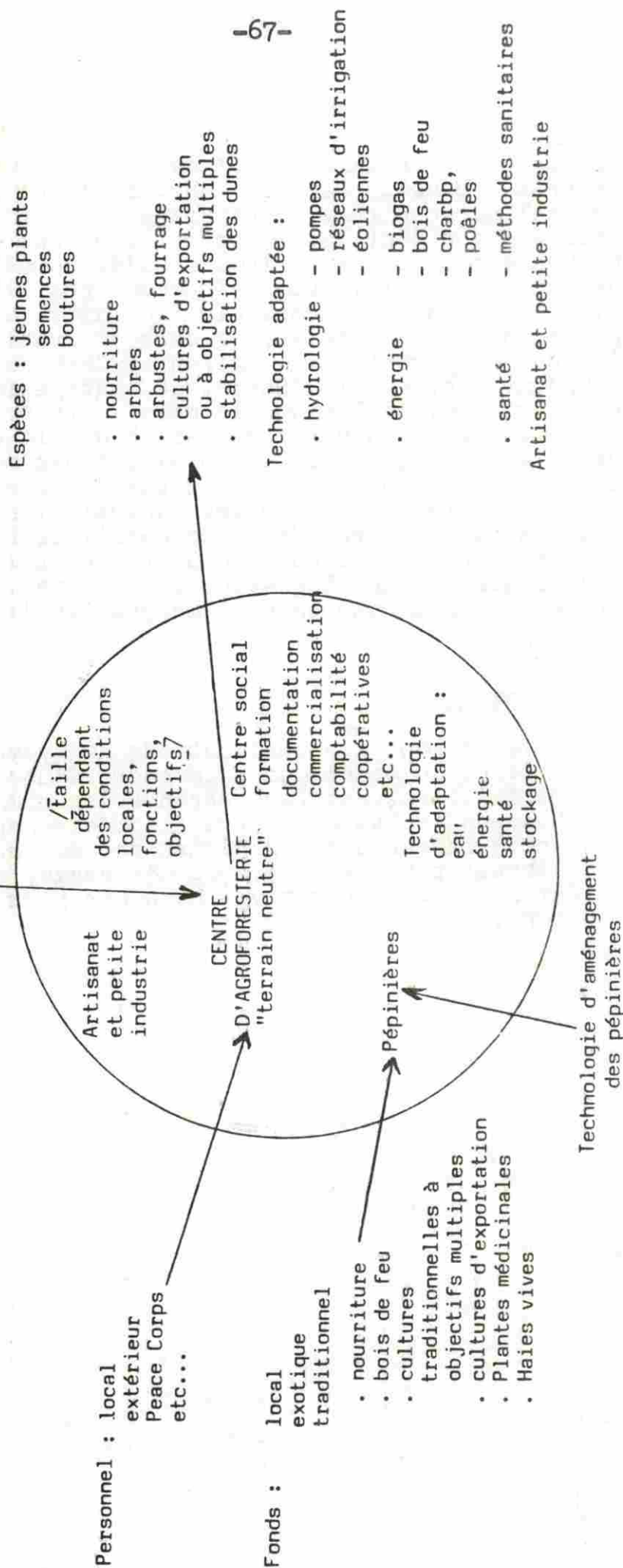


Illustration 14 : Planning d'une coopérative en milieu rural

La réussite des programmes d'amélioration de l'environnement à grande échelle dans le Sahel implique presque toujours un meilleur contrôle du pâturage des animaux. Le manque de coopération dont les éleveurs, les fonctionnaires et les donateurs ont fait preuve lors de l'élaboration de systèmes de pacage à la fois écologiquement positifs et économiquement viables a rendu ce contrôle très difficile. Pourtant, cette coopération s'est faite avec succès en Arabie Saoudite et en Syrie, en s'appuyant sur l'ancien système de mise en réserve des pâturages, appelé "Hema". Ce système implique des mesures de protection, telles que la mise en réserve des prairies et le contrôle du pâturage, ainsi que la création de coopératives d'éleveurs. Ainsi, les prairies des coopératives sont allouées en se basant fréquemment sur les droits coutumiers, et les pâturages sont réservés exclusivement aux troupeaux détenus par les membres de la coopérative. Les coopératives Hema ont permis la régénération du couvert végétal de 7 millions d'hectares de prairies dans les steppes syriennes, prouvant ainsi l'intérêt que présente ce système pour améliorer l'environnement.

Recommandation :

- Etudier à fond les applications du système Hema aux problèmes du Sahel, dans le cadre d'un séminaire régional, incluant les responsables administratifs sahéliens et les Chefs traditionnels appropriés, les fonctionnaires des organismes de développement concernés par les problèmes d'élevage, et des représentants des coopératives Hema des pays du Moyen-Orient.

BIBLIOGRAPHIE

- Bartlett, H.H. 1956. Fire, primitive agriculture and grazing in the tropics. Pp. 692-720 in *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, William L. Thomas, Jr., ed. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Beaudet, G., P. Michel, D. Nahon, P. Oliva, J. Riser, and A. Ruellan. 1976. Formes, formations superficielles, et variations climatiques récentes du Sahara occidental. *Revue de Géographie physique et Géologie dynamique* 18:157-174.
- Bernus, E., et G. Savonnet. 1973. Les problèmes de la sécheresse dans l'Afrique de l'Ouest. *Présence Africaine* 88:113-138.
- Bernus, E. 1979. Exploitation de l'espace et désertification en zone sahélienne. *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims* N°. 39-40:49-59.
- Bigourdan, J., et R. Prunier. 1937. Les mammifères sauvages de l'ouest africain et leur milieu. J. de Rudder, Montrouge, France.
- Bille, J.C. 1976. Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. N° 65. *Travaux et Documents de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer*, Paris, France.
- Blake, J.W., ed. 1941-1942. *Europeans in West Africa, 1450-1560*. Hakluyt Society, Londres, Angleterre.
- Bodley, J.H. 1975. *Victims of Progress*. Cummings Publishing Company, Menlo Park, California, USA.
- Boudet, G. 1972. Désertification de l'Afrique tropicale sèche. *Adansonia*, Ser. 2, 12(4):505-524.
- Brentjes, B. 1965. *Fels- und Höhlenbilder Afrikas*. Koehler et Amelang, Leipzig, R.D.A.
- Butzer, K.W. 1971a. *Environment and Archaeology : an Ecological Approach to Prehistory*, 2nd ed. Aldine Publishing Company, Chicago, Illinois, USA.
- Butzer, K.W. 1971b. Recent History of an Ethiopian Delta. Research Paper 136. Department of Geography, University of Chicago, Chicago, Illinois, USA.

- Butzer, K.W. 1976. *Geomorphology from the Earth*. Harper and Row, New York, New York, USA.
- Butzer, K.W. 1980a. Pleistocene History of the Nile Valley in Egypt and Lower Nubia. Pp. 248-276 in *the Sahara and the Nile*, M.A.J. Williams and H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-bas.
- Butzer, K.W. 1980b. The Holocene Lake Plain of North Rudolf, East Africa. *Physical Geography* 1:44-58.
- Butzer, K.W. 1981. Rise and fall of Axum, Ethiopia : A geo-archaeological perspective. *American Antiquity* 46:471:495.
- Charney, J.G. 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 101:193-202.
- Chasse, F. de. 1978. *La Mauritanie-1900-1975*. Editions Anthropos, Paris, France
- Church, R.J.H. 1961. Problems and development of the dry zone of West Africa. *The Geographical Journal* 77(2):187-204.
- Church, R.J.H. 1980. *West Africa : A Study of the Environment and Man's Use of It*, 8th ed. Longmann, Londres, Angleterre.
- Cissoko, S.M. 1968. Famines et épidémies à Tombouctou et dans la boucle du Niger du XVI^e au XVIII^e siècle. *Institut Fondamental d'Afrique Noire*, Ser. B, 3:806-821.
- Cloudsley-Thompson, J. 1977. *The Desert*. G.P. Putnam's Sons, New York, New York, USA.
- Cremoux, P. 1963. The importance of game-meat consumption in the diet of sedentary and nomadic people of the Senegal River Valley. Pp. 127-129 in *Conservation of Nature and Natural Resources in Modern African States*, International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. IUCN, Morges, Suisse.
- Crone, G.R. 1937. *The Voyages of Cadamosto, and Other Documents on Western Africa in the Second Half of the Fifteenth Century*. Hakluyt Society, Londres, Angleterre.
- Dalby, D., R.J.H. Church, et F. Bezzaz, eds. 1977. *Drought in Africa*, 2nd ed. International African Institute, Londres, Angleterre.
- Delwaulle, J.C., et P. Roederer. 1973. Le bois de feu à Niamey. *Bois et forêts des tropiques* 152: 55-60.
- Depierre, D., et H. Gillet. 1971. Désertification de la zone sahélienne du Tchad. *Bois et forêts des tropiques* 139:3-25.

- Elouard, P. 1976. Oscillations climatiques de l'Holocène à nos jours en Mauritanie atlantique et dans la Vallée du Sénégal. Pp. 27-36 in La désertification au sud du Sahara. Les nouvelles Editions Africaines (Dakar, Sénégal, et Abidjan, Côte d'Ivoire).
- Fage, J.D. 1969. A History of West Africa, 4th ed. Cambridge University Press, Cambridge, Angleterre.
- Fage, J.D., et M. Verity. 1978. An Atlas of African History, 2nd ed. Edward Arnolds, Londres, Angleterre.
- Faure, H., and J.Y. Gac, 1981. Will the Sahelian drought end in 1985 ? Nature 291:475-478 and 293:414.
- Gallais, J. 1979. La situation de l'élevage bovin et le problème des éleveurs en Afrique occidentale et centrale. Les Cahiers d'Outre-Mer 32(126):113-138.
- Gaston, A., et D. Dulieu. 1976. Pâturages du Kanem. Direction de l'Elevage (Tchad), Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, Maisons-Alfort, France.
- Gerteiny, A.B. 1967. Mauritanie. Frederick A. Praeger, New York, New York, USA.
- Glantz, M. H., ed. 1976. The Politics of Natural Disasters : The Case of the Sahel Drought. Praeger, New York, USA.
- Gramont, S. de 1976. The Strong Brown God : The story of the Niger River. Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts, USA.
- Granier, P. 1975. Notes sur l'introduction de technique d'amélioration de la production en zone sahélienne. Laboratoire d'Elevage, Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, Niamey, Niger.
- Grove, A.T., et A. Warren. 1968. Quaternary landforms and climate on the south side of the Sahara. Geographical Journal 134:194-208.
- Harden, D. 1963. The Phoenicians, 2nd ed. Frederick A. Praeger, New York, New York, USA.
- Hurault, J. 1975. Surpâturage et transformation du milieu physique. Formations végétales, hydrologie de surface, géomorphologie. L'exemple des hauts plateaux de l'Adamaoua (Cameroun). Etudes de Photo-Interprétation de l'Institut Géographique National, n° 7. Paris, France.

- Huzayyin, S. 1956. Changes in climate, vegetation, and human adjustment in the Saharo-Arabian belt with special reference to Africa. Pp. 304-323 in *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, William L. Thomas, Jr., ed. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- International Livestock Centre for Africa. 1980. Application to IFAD for Support for ILCA's Arid Zone's System's Research. Unpublished memorandum, International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia.
- Jäkel, D. 1979. Run-off and fluvial formation processes in the Tibesti Mountains as indicators of climatic history in the Central Sahara during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeoecology of Africa* 10-11:13-44.
- Kates, R.W. 1981. Drought Impact in the Sahelian-Sudanic Zone of West Africa : A Comparative Analysis of 1910-15 and 1968-74. Background Paper 2. Center for Technology, Environment and Development, Clark University, Worcester, Massachusetts, USA.
- Kimble, G.H.T. 1962. Land and Livelihood. *Tropical Africa*, vol. 1. Anchor Books, Garden City, New York, USA.
- Knight, C.G. 1976. Wildlife. Pp. 304-323 in *Contemporary Africa : Geography and Change*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Kuhnoltz-Lordat, G. 1939. La terre incendiée : Essai d'agronomie comparée. Edition de la Maison Carrée, Nîmes, France.
- Kurian, G.T. 1982. *Encyclopedia of the Third World*. Facts on File, New York, New York, USA.
- Kutzbach, J.E. 1980. Estimates of past climate at Paleolake Chad, North Africa, based on a hydrological and energy-balance model, *Quaternary Research* 4:210-223.
- Le Houérou, H.N. 1977. The scapegoat. *Ceres* 10 (March-April) : 14-18.
- Le Houérou, H.N. 1980. The rangelands of the Sahel. *Journal of Range Management* 33(1) : 41-46.
- Levtzion, N., et J.F.P. Hopkins, eds. 1981. *Corpus of Early Arabic Sources for West African History*. Cambridge University Press, Cambridge, Angleterre.
- Lhote, H. 1973. *A la découverte des fresques du Tassili*. Arthaud, Paris, France.
- Lowdermilk, W.C. 1948. *Conquest of the Land through Seven Thousand Years*. S.C.S. MP-32, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., USA.



- Mabbutt, J.A. 1977. Desert Landforms. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Mainquet, M., L. Canon, et M.C. Chemin, 1980. Le Sahara : géomorphologie et paléogéomorphologie éoliennes. Pp. 17-35 in the Sahara and the Nile, M.A. J. Williams et H. Faure, eds A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.
- Maley, J. 1981. Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléo-climatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. N° 129. Travaux et Documents de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, France.
- Maley, J. 1982. Dust, clouds, rain types, and climatic variations in tropical North Africa. Quaternary Research 18:1-16.
- Marchal, J.Y. 1982. Facteurs climatiques limitants et calamités agricoles en régions de savane : Yatenga, Pays Mossi, Haute-Volta. Hérodote 24:68-94.
- McNaughton, S.J. 1976. Serengeti migratory wildebeest : Facilitation of energy flow by grazing. Science 191:92-94.
- Michel, P. 1973. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Etude géomorphologique. Mémoire de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (Paris) 63:1-752.
- Myers, N., et E. Ayensu. 1983. Reduction of biological diversity and species loss. AMBIO 12(2):72-74.
- Nachtigal, G. 1879, reprinted 1974. Tripoli and Fezzan, Tibesti or Tu. Vol. 1, Sahara and Sudan. Allan G.B. Fisher and Humphrey J. Fisher, trans. Barnes et Noble, New York, New York, USA.
- National Academy of Sciences. 1979. An Assessment of Agro-Forestry Potential Within the Environmental Framework of Mauritania. Staff Summary Report, Board on Science and Technology for International Development, Washington D.C., USA.
- National Academy of Sciences. 1980. A Preliminary Assessment of Environmental Degradation and Agricultural Productivity in the Senegalese Groundnut Basin. Advisory Committee on the Sahel, Board on Science and Technology for International Development, Washington, D.C., USA.
- National Research Council. 1981. Environmental Degradation in Mauritania. Board on Science and Technology for International Development. National Academy Press, Washington, D.C., USA.

- Nicholson, S.E. 1978. Climatic variations in the Sahel and other African regions during the past five centuries. *J. Arld Envir.* 1:3-34.
- Nicholson, S.E. 1979. The methodology of historical climate reconstruction and its application to Africa. *J. African History* 20(1):31-49. (Published by Cambridge University Press).
- Nicholson, S.E. 1980. Saharan climates in historic times. Pp. 173-200 in the Sahara and the Nile, M.A.J. Williams and H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.
- Nicholson, S.E. 1981. The historical climatology of Africa. Pp. 249-270 in *Climate and History*, P.G. Wigley, M.J. Ingram, and G. Farmer, eds. Cambridge University Press, New York, New York, USA.
- Nicholson, S.E. 1982. *The Sahel : A climatic Perspective*. Club du Sahel, Paris, France.
- Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal, n.d. Assessment of Environmental Effects of Proposed Developments in the Senegal River Basin : Final Report. Gannett Fleming Corddry and Carpenter, Harrisburg, Pennsylvania, USA. ; ORGATEC Société Africaine d'Etudes Techniques, Dakar, Sénégal.
- Park, M. 1799, reprinted 1971. *Travels in the Interior Districts of Africa*. Arno Press et the New York Times, New York, New York, USA.
- Pastouret, L., H. Chamley, G. Delibrias, J.C. Duplessy, et J. Thiede. 1978. Late Quaternary climatic changes in western tropical Africa deduces from deep-sea sedimentation off the Niger Delta. *Oceanologica Acta* 1:217-232.
- Pillsbury, Arthur F. 1981. The Salinity of Rivers. *Scientific American*, July 1981, pp. 55-65.
- Poupon, H., et J.C. Bille. 1974. Recherche écologique sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal. Influence de la sécheresse de l'année 1972-1973 sur la strate ligneuse. *La terre et la vie* 28:49-75.
- Riley, James. 1817, reprinted 1965. *Sufferings in Africa : Captain Riley's Narrative...* Clarkson, N. Potter, New York, USA.
- Sarnthein, M., J. Thiede, U. Pflaumann, H. Erlenkeuser, D. Fütterer, B. Koopmann, H. Lange, et E. Seibold. 1982. Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. Pp. 454-695 in *Geology of the Northwest African*

Continental Margin, U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, et E. Seibold, eds. Springer-Verlag, Berlin, République fédérale d'Allemagne.

Schmidt-Neilsen, K. 1964. Desert Animals. Oxford University Press, Oxford, Angleterre.

Servant, M. 1973. Séquences continentales et variations climatiques : Evolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse d'Etat. Université de Paris VI.

Servant, M., et S. Servant-Vildary. 1980. L'environnement Quaternaire du bassin du Tchad. Pp. 133-162 in the Sahara and the Nile, M.A.J. Williams et H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.

Servant-Vildary, S. 1978. Etudes des diatomées et paléolimnologie du bassin tchadien au Cénozoïque supérieur. N° 84. Travaux et Documents de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Paris, France.

Sidikou, A.H. 1973. Sédentarité et mobilité entre le Niger et Zgaret. Thèse de Troisième Cycle, Université de Rouen, Rouen, France.

Sircoulon, J. 1976. Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses 1913 et 1940. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, 13(2):75-174.

Smith, A.B. 1976. A microlithic industry from Adrar Bous, Ténéré Desert, Niger. Pp. 181-196 in Actes du VIIème Congrès Panafricain de Préhistoire. Addis Ababa, Ethiopie.

Smith, A.B. 1980. Domesticated cattle in the Sahara and their introduction into West Africa. Pp. 489-501 in the Sahara and the Nile, M.A.J. Williams et H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.

Talbot, L.M. 1963. Comparison of the efficiency of wild animals and domestic livestock in utilization of East African rangelands. Pp. 329-335 in Conservation of Nature and Natural Resources in Modern African States. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Morges, Suisse.

Talbot, M.R. 1980. Environmental responses to climatic change in the West African Sahel over the past 20 000 years. Pp. 37-62 in The Sahara and the Nile, M.A.J. Williams et H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.

Talbot, M.R., et M.A.J. Williams. 1979. Cyclic alluvial fan sedimentation on the flanks of fixed dunes, Janjari, Central Niger, Catena 6:43-62.

- Thacher, P.S. 1979. Desertification : The greatest single environmental threat. *Desertification Control* 2(1):7-9.
- Thomas, G.W. 1980. The Sahelian/Sudanian Zones of Africa : Profile of a Fragile Environment. Report to the Rockefeller Foundation, September 1980. Rockefeller Foundation New York, New York, USA.
- Thomas, M.F., et M.B. Thorp. 1980. Some aspects of the geomorphological interpretation of Quaternary alluvial sediments in Sierra Leone. *Zeitschrift für Geomorphologie* (suppl. vol.) 36:140-161.
- Toupet, C. 1976. L'évolution du climat de la Mauritanie du Moyen Age jusqu'à nos jours. Pp. 56-63 in *La désertification au Sud du Sahara*. Les Nouvelles Editions Africaines, Dakar, Sénégal et Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Toupet, C. 1977. La sédentarisation des nomades en Mauritanie centrale sahélienne. Librairie Honoré Champion, Paris, France.
- Trimingham, J.S. 1962. *A History of Islam in West Africa*. Oxford University Press, Oxford, Angleterre.
- Trotignon, J. 1975. Le statut et la conservation de l'Addax, de l'Oryx et de la faune associée en Mauritanie. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*, Morges, Suisse.
- Vermeer, D.E. 1981. Collision of climate, cattle, and culture in Mauritania during the 1970s. *Geographical Review* 71(3):281-297.
- Weiler, E.M., et W.E. Tyner. 1981. Social cost-benefit analysis of the Nianga irrigation pilot project, Senegal. *Journal of Developing Areas* 15(July):655-670.
- Williams, M.A.J., et D.A. Adamson. 1980. Late Quaternary depositional history of the Blue and White Nile rivers in central Sudan. Pp. 282-304 in *The Sahara and the Nile*, M.A.J. Williams et H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.
- Williams, M.A.J., D.A. Adamson, F.M. Williams, W.H. Morton, et D.E. Parry. 1980. Jebel Marra volcano : A link between the Nile Valley, the Sahara and Central Africa. Pp. 305-337 in *The Sahara and the Nile*, M.A.J. Williams et H. Faure, eds. A.A. Balkema, Rotterdam, Pays-Bas.

ANNEXE A

CREATION DE RIDEAUX BOISES DE PROTECTION DANS LES
TERRES ARIDES D'AFRIQUE OCCIDENTALE

(Robert Fishwick et Fred Weber)

La création de rideaux boisés de protection dans le cadre des programmes d'amélioration de l'environnement donne des résultats très encourageants et contribue à stabiliser la production agricole et l'élevage dans le Sahel. Ces rideaux protègent du vent et des sables mobiles et fournissent du combustible, du fourrage, des matériaux de construction, et divers produits tertiaires comme la gomme et les plantes médicinales. De plus, elles servent également de refuge aux animaux sauvages, ce qui augmente la quantité de gibier, et donc les possibilités de chasse, tout en rétablissant le rôle des animaux dans la dispersion des semences. Les exemples suivants illustrent les succès obtenus par la plantation de rideaux pour protéger les terres arides d'Afrique occidentale.

CAMEROUN

Les premiers rideaux de protection ont été plantés dans les districts de Diamare et Mayo-Mahay, au nord du Cameroun. De 1956 à 1960, on a planté des rideaux d'arbres sur environ 300 kms, autour des fermes et le long des routes. L'espèce Cassia siamea a été choisie à cet effet parce que les animaux ne la broutent pas, ce qui évite par conséquent de clôturer. Toutefois, le système racinaire peu profond de cet arbre exige qu'on le plante en mélange avec d'autres espèces dans les rideaux de protection. Le Projet de Développement Rural n° 3031-CM financé par la Banque Mondiale doit prolonger ces zones sur 750 kms en cinq ans environ. L'introduction d'autres espèces dans ce projet est en cours d'examen.

NIGERIA

Les premiers rideaux ont été plantés en 1963-64 dans l'Emirat de Gumel de l'Etat de Kano, par le Ministère de la Forêt, en collaboration avec le Département de l'Agriculture. Ils se composaient de dix rangées d'arbres espacées de trois mètres, plantées en bandes de 1.6 km de long. Ces zones clôturées empêchaient les paysans et les troupeaux de traverser les champs, et il a fallu en modifier la conception en 1965. On a formé alors des bosquets circulaires, de 49 m de diamètre, plantés en ligne brisée. En 1969-70, trois zones distinctes ont ainsi été plantées dans les Emirats de Kazaure, de Gumel et de Hadejia. La conception, encore modifiée, comprenait des rectangles disposés en quinconce, ce qui permettait aux paysans et aux troupeaux de se déplacer sans problème. A son interruption en 1978, due aux coûts élevés des mesures de protection des sols et au manque de fonds correspondants, ce programme avait planté avec succès 1 034 ha de rideaux de protection sur 365 kms.

Les premières plantations, faites en 1963, se composaient de deux rideaux d'Acacia nilotica du côté du vent, puis de six rideaux d'Azadirachta indica, suivis de deux rangs d'Acacia albida. En 1963, les bosquets de forme circulaire comprenaient au centre des Azadirachta indica, des Acacia senegal du côté au vent, et des Acacia albida du côté sous le vent. Les plantations ultérieures, ayant adopté une forme plus traditionnelle, se composaient de six rideaux d'Eucalyptus camaldulensis. La plupart des centres agricoles gouvernementaux sont entourés d'Anacardium occidentale et d'Acacia nilotica.

NIGER

Sans former des rideaux de protection au sens strict du terme, la coutume, instituée en 1964, de laisser des bandes d'une largeur de dix mètres de terre naturellement boisée entre les cultures démontre que les habitants réalisent depuis longtemps l'intérêt de se protéger du vent. De 1975 à 1979, deux rideaux d'Azadirachta indica ont ainsi été plantés sur 250 kms dans la Vallée de la Maggia (District de Bouza). Plus récemment, l'organisation américaine CARE a fait planter des A. nilotica, des A. senegal et des A. tortilis.

SENEGAL

Les rideaux de protection existent depuis longtemps au Sénégal, dont les habitants ont coutume de planter des Casuarina equisetifolia pour protéger les niayes (dépressions entre les

dunes dans lesquelles les légumes sont cultivés pour approvisionner les marchés de Saint-Louis et de Dakar) des terres côtières de Cayor. De nombreux champs sont ceinturés depuis longtemps d'Anacardium occidentale (cajou). Plus récemment, la Mission sylvicole allemande a fait planter des rideaux composés de Balanites aegyptiaca et d'Acacia nilotica, sous-espèce adstringens, autour de Vidau Thingoly dans le Fleuve. Il est prévu de planter d'autres rideaux protecteurs.

COUTS ET AVANTAGES

En 1963, le coût des bosquets plantés et clôturés s'élevait à environ 338 dollars par hectare au nord du Nigeria, où une journée de main-d'oeuvre était payée 0.50 dollar US. Les matériaux nécessaires aux clôtures représentaient 90 pour cent des coûts. Les six rideaux d'Eucalyptus, plantés un peu plus tard revenaient à 1 590 dollars par hectare, dont 1 413 pour les frais de clôture.

Les deux rideaux d'Azadirachta indica s'étendant sur 250 kms, plantés par CARE au Niger, de 1975 à 1979, ont coûté un million de dollars US, ce qui équivaut à 400 dollars par hectare pour des arbres plantés à une densité représentant 1 km de longueur pour une surface de 10 hectares. Ces rideaux n'étaient pas clôturés, et les populations locales employaient des gardiens pour empêcher leur bétail de brouter dans ces zones.

Dans la mesure où les rideaux de protection représentent 8 à 12 pour cent des terres cultivables, et donc une perte de production équivalente, les avantages offerts par leur rôle protecteur doivent permettre une augmentation d'environ 15 ou 20 pour cent du rendement des cultures.

Ainsi, dans la vallée de la Maggia, au Niger, l'étude menée pendant un an sur les effets exercés par les deux rideaux d'Azadirachta indica a prouvé que les cultures de millet dans les champs protégés donnaient un rendement supérieur de 123 pour cent à celui des cultures dans les zones non protégées. Ce chiffre tient compte de la perte de production due à la proximité des plantations. Le rendement des cultures situées à une distance égalant cinq fois la hauteur des plantations d'arbres du côté sous le vent était supérieur de 156 pour cent à celui des cultures non protégées.

A propos des plantations en bosquets rectangulaires faites en 1965 dans l'Emirat de Kazaure, les cultivateurs ont indiqué en 1980 que, durant l'épisode de forte sécheresse intervenue en 1973-74, les villages voisins qui n'étaient pas ceinturés de rideaux protecteurs ont subi de fortes pertes dans leurs récoltes, alors que les champs protégés donnaient des récoltes normales. De plus, pendant les années bénéficiant de précipitations normales, il a suffi d'ensemencer une seule fois les champs situés du

côté protégé du vent par les rideaux de protection. De fait, il est souvent nécessaire de semer deux ou trois fois par saison les champs dans les régions non protégées, car le sable poussé par le vent enterre ou endommage les semis.

En se fondant sur les coûts et les prix des produits en 1973, J.C. Nautiyal, de l'Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) a analysé en 1979 la valeur économique des rideaux de protection pour la production agricole du Nord du Nigeria. Il a ainsi démontré que, si l'on ne compte pas le prix d'achat de la terre sur laquelle les plantations sont effectuées, les bénéfices financiers d'un accroissement de 10 pour cent net du rendement des cultures pendant les années normales s'avèraient positifs, sans même ajouter la valeur du bois de feu provenant des coupes sélectives faites dans les rideaux protecteurs. L'apparition probable d'une sécheresse tous les 5 ou 6 ans, qui provoque une diminution globale des rendements agricoles, tout en augmentant parallèlement les prix, rend la somme totale des avantages largement supérieure aux chiffres cités plus haut.

En 1980, l'Institut de Recherche Forestière du Nigeria a commencé l'évaluation des zones protectrices plantées d'Eucalyptus au début des années 1970. La production des feuilles d'arachides et de haricots dans les champs protégés était double de celle des champs non protégés. Mais, l'augmentation de la production d'arachides ou de haricots était minime.

SCHEMA DES RIDEAUX DE PROTECTION

L'efficacité de ces rideaux dépend de la densité de la barrière végétale*. En effet, l'épaisseur du rideau d'arbres doit s'opposer au passage du vent tout en limitant ses effets aux alentours proches de la zone protectrice. Si le rideau d'arbres ne permet pas de diminuer suffisamment le vent, les effets de celui-ci seront ressentis à une distance beaucoup plus grande. Dans les zones arides, la densité optimale de la barrière végétale semble être de 60 à 80 pour cent.

Le rideau de protection devra comporter le moins possible d'ouvertures. Le vent s'engouffre en effet dans les trouées, et sa force concentrée peut provoquer de réels dommages (voir Figure A-1)

* Ce chapitre s'inspire largement de l'ouvrage de Fred R. Weber, 1977, intitulé "Reboisement des Terres Arides" (Reforestation in Arid Lands). Vita Publications Manual series N° 37E. Volunteers in Technical Assistance, Mt. Rainier, Maryland, USA. Les Figures 1-1, A-2 et A-3 proviennent du même ouvrage.

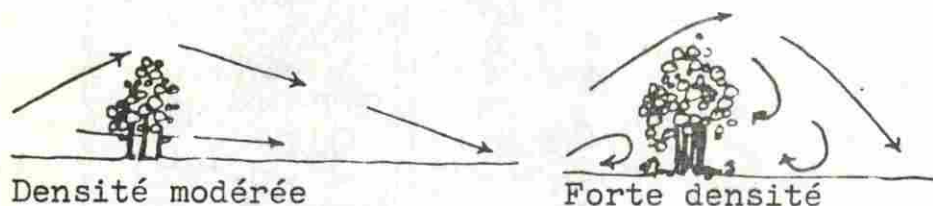
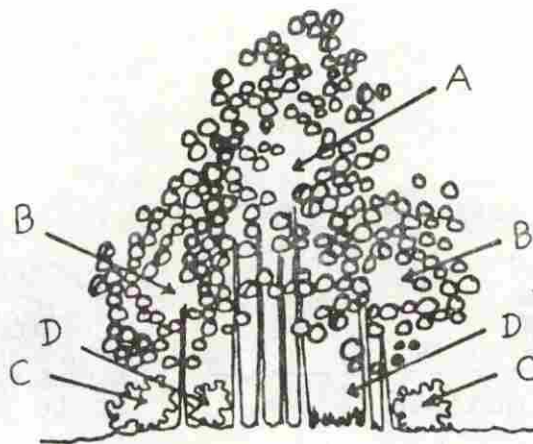


Illustration A-1

Les rideaux de protection sont généralement plus larges et plus denses que les brise-vent. Ils protègent une zone sous le vent dont l'étendue atteint vingt fois leur hauteur, s'ils se composent de plusieurs rangées d'arbres de hauteurs différentes. Comme l'illustre la Figure A-2, le centre devra être formé de grands arbres (A). Les espèces à croissance rapide peuvent se combiner à des essences à croissance plus lente, ce choix s'opérant au niveau local. Les deux rangées suivantes sont plantées d'espèces plus petites (B). Ces arbres doivent être choisis si possible en fonction de leurs produits secondaires. Les rangs C et D sont auxiliaires, et sont plantés d'arbustes plus bas, de taillis et de plantes herbacées. Si la combinaison végétale est bien choisie, le rideau de protection offrira non seulement une garantie contre le vent, mais fournira en plus aux paysans des fruits, des noix, du bois de feu, des écorces, des résines, et éventuellement de l'herbe à brouter pour les animaux.

Les rideaux de protection peuvent être traversés de chemins et de sentiers permettant aux troupeaux de se déplacer. Toutes les ouvertures doivent être soigneusement pratiquées sous un angle oblique, afin de laisser passer sans encombre les gens ou les troupeaux, sans que le vent puisse s'engouffrer. La conception des rideaux de protection doit également tenir compte des points suivants :

1. Le choix des espèces à planter doit se faire en fonction des règles générales concernant les différents régimes des pluies. Les espèces légalement protégées peuvent offrir un bon choix. Il est préférable d'utiliser des espèces choisies et appréciées par les habitants eux-mêmes.



Vue en coupe d'un rideau de protection

Illustration A-2

2. Les rideaux protecteurs les plus efficaces combinent les taillis bas composés de Bauhinia, Combretaceae, Salvadora en bordure, tandis que des arbres plus hauts sont plantés au centre.
3. Il faut souvent employer différentes techniques de plantation. En d'autres termes, on peut se servir de plants repiqués provenant de pépinières, planter des haies vives, des éclats de souches, des boutures (le choix est fait selon la saison).
4. Un rideau de protection un peu plus large, dont la partie médiane sera plantée d'essences choisies avec soin (comme le Tamarindus indica, l'Acacia senegal, des arbres fruitiers ou des espèces médicinales originaires de la région) offrira aux paysans de multiples avantages supplémentaires.
5. La préparation et l'aménagement de la zone choisie pour établir un rideau protecteur sont importants. Il est très difficile et beaucoup plus onéreux de protéger des animaux une longue bande de terrain que de clôturer un champ d'une superficie équivalente, mais de forme rectangulaire.
6. Dans les situations complexes, ou lorsqu'il est souhaitable de renforcer les mesures de protection -- par exemple autour des villes ou des gros villages -- il est plus efficace de disposer en quinconce les rideaux protecteurs, comme l'indique la Figure A-3.

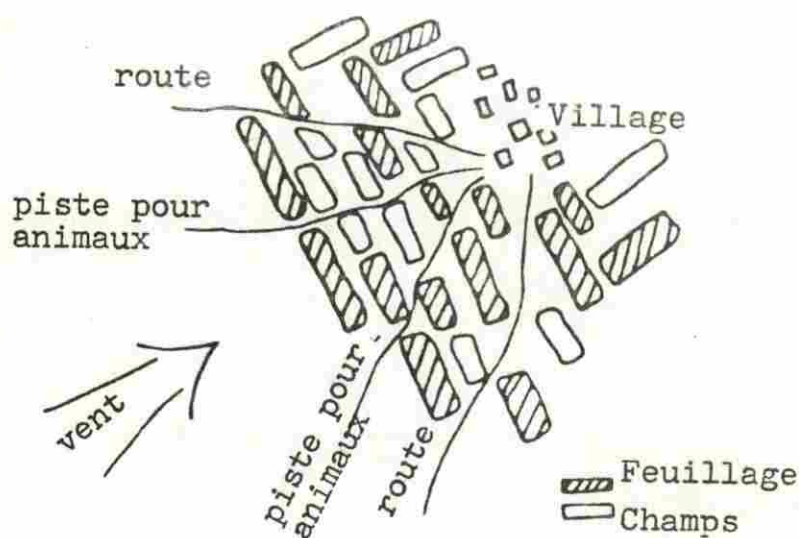


Illustration A-3 : La disposition des rideaux de protection en quinconce offre une protection plus efficace.

7. On peut également concevoir la protection en bordant les champs des cultivateurs de rideaux protecteurs, et en plantant en quadrillage à l'intérieur des champs des espèces du type Acacia albida tous les dix mètres environ.

Le lecteur trouvera d'autres informations sur l'intérêt d'intégrer les arbres et les arbustes dans les systèmes agraires dans une autre publication NRC, intitulée "Agroforesterie dans le Sahel Ouest Africain" (Agroforestry in the West African Sahel. 1983, National Academy Press, Washington DC, USA).

8. Le choix des espèces à planter dans ces rideaux de protection doit tenir compte des habitudes des prédateurs locaux afin de réduire le plus possible les pertes de récoltes.

ANNEXE B

CLIMATOLOGIE EN AFRIQUE SUB-SAHARIENNE

Sharon Nicholson

La région sub-saharienne se caractérise par des précipitations faibles et extrêmement variables, et un paysage qui se modifie profondément au cours de l'année entre la saison sèche et la saison des pluies. A mesure que l'on quitte la bordure saharienne pour se diriger vers le sud, les précipitations augmentent et la saison des pluies se prolonge. Le gradient de pluviométrie est élevé : en Afrique occidentale, les précipitations annuelles varient parfois de 100 mm sur une distance de 100 kms. Ainsi, la hauteur des précipitations passe de 100 mm dans la zone septentrionale de la région sahélo-saharienne à 1 600 mm dans la zone guinéenne. La durée de la saison des pluies est également très variable : 1 mois sur la bordure désertique, mais plus de 8 mois sur la côte guinéenne. Le passage du désert aux tropiques humides est donc très brutal.

Dans ces régions semi-arides, les chutes de pluie sont généralement limitées aux mois d'été (mai à octobre) ; un climat sec règne pendant la saison fraîche, notamment de décembre à février. Pour bien comprendre à la fois le caractère saisonnier et la transition soudaine entre l'aridité subtropicale et l'humidité tropicale, il faut étudier les vents et les systèmes généraux de circulation atmosphérique qui marquent cette région, notamment la zone de haute pression subtropicale, et la zone intertropicale de Convergence (ITCZ). La première est associée à l'aridité, tandis que la seconde est liée aux précipitations. Ces deux éléments font partie d'un phénomène caractérisant la circulation tropicale : la cellule de mouvement d'air vertical, appelée circulation de Hadley. Cette cellule (Figure B-1) consiste en un mouvement d'air ascendant près de l'Equateur (à proximité de l'ITCZ) et en un mouvement de subsidence aux latitudes subtropicales (les aires anti-cycloniques sont à environ 30° de latitude).

La Zone Intertropicale de Convergence (Figures B-2 et B-3) qui représente globalement la convergence des alizés nord est et sud-est, marque en Afrique occidentale la transition entre les vents Harmattan nord-est apportant de l'air sec au-dessus

du Sahara, et le flux sud-ouest, porteur des pluies de mousson, provenant de l'Atlantique tropical, beaucoup plus au sud. Cette convergence, qui s'accompagne d'une forte nébulosité et en général d'importantes chutes de pluie, glisse vers le nord pendant la saison d'été dans l'hémisphère nord, provoquant ainsi une brève saison des pluies le long des bordures désertiques vers l'Equateur aux basses latitudes du globe. La durée de la saison des pluies à une latitude donnée reflète le nombre de mois pendant lesquels l'ITCZ domine la climatologie locale. Par conséquent, plus on se dirige vers le sud en partant de la bordure saharienne, plus la saison des pluies est longue. Plus tard dans l'année, l'ITCZ se déplace vers l'hémisphère sud ; une cellule de haute pression (Figure B-2) et le mouvement de subsidence associé à la branche de la circulation de Hadley dominant le Sahara et les bordures sahariennes, annonçant la saison sèche.

L'alternance sans transition de la saison sèche et de la saison des pluies ne suffit pas à expliquer le climat sahélien, et notamment ses fluctuations. L'ITCZ représente une "moyenne climatologique" ; la zone ne présente pas de continuité dans l'espace et dans le temps, et elle se compose de perturbations météorologiques individuelles se déplaçant vers l'est au-dessus du continent à des intervalles de trois à cinq jours. La perturbation la plus fondamentale est une "masse nébuleuse", une super-cellule s'étendant sur des centaines de kilomètres et comportant de nombreuses cellules plus petites chargées de pluies intenses. Le second type d'orage est provoqué par des rafales ou lignes de grains, formées de masses de nuage rapides, progressant vers l'ouest à des vitesses variables. En général, les masses nébuleuses lentes se déplacent à environ 10 km/heure, tandis que les lignes de grains se propagent parfois cinq fois plus vite. La plupart de ces dispositifs sont liés à des ondes d'est et des perturbations légères dans la zone de pression. Ces ondes semblent se former au-dessus de l'Afrique orientale, et on peut suivre leur parcours jusqu'à l'Atlantique ou aux Caraïbes, où elles peuvent engendrer des ouragans. Les fluctuations climatiques peuvent être associées à tout facteur augmentant l'ampleur, l'intensité ou la fréquence de ces perturbations.

Le mouvement de l'ITCZ n'est pas le seul élément déterminant la pluviométrie sub-saharienne ; de même, son absence et son remplacement par un régime de haute pression pendant la majeure partie de l'année n'est pas la seule cause de l'aridité de cette région. L'aridité générale de la région saharienne est également provoquée par d'autres facteurs, qui seraient notamment la nature de l'équilibre du rayonnement sur le Sahara et l'influence du courant d'est tropical se trouvant à 12 kms d'altitude. Ainsi, ces éléments peuvent également exercer une influence considérable sur les fluctuations climatiques dans le Sahel.

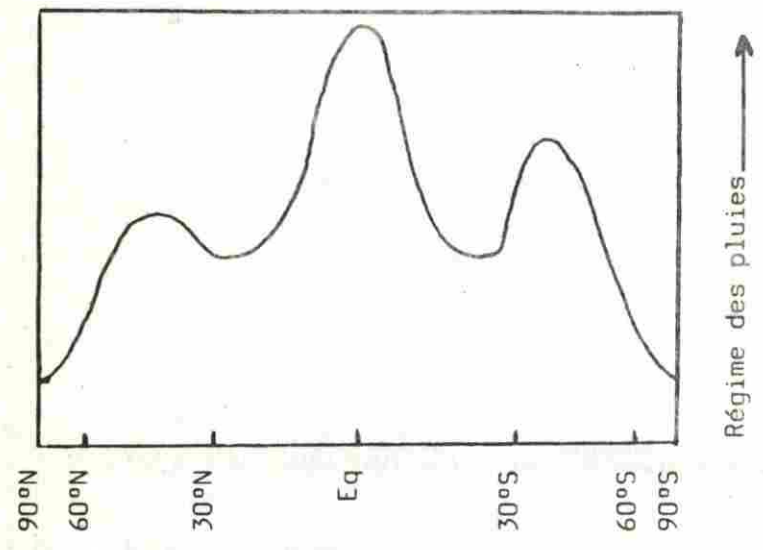
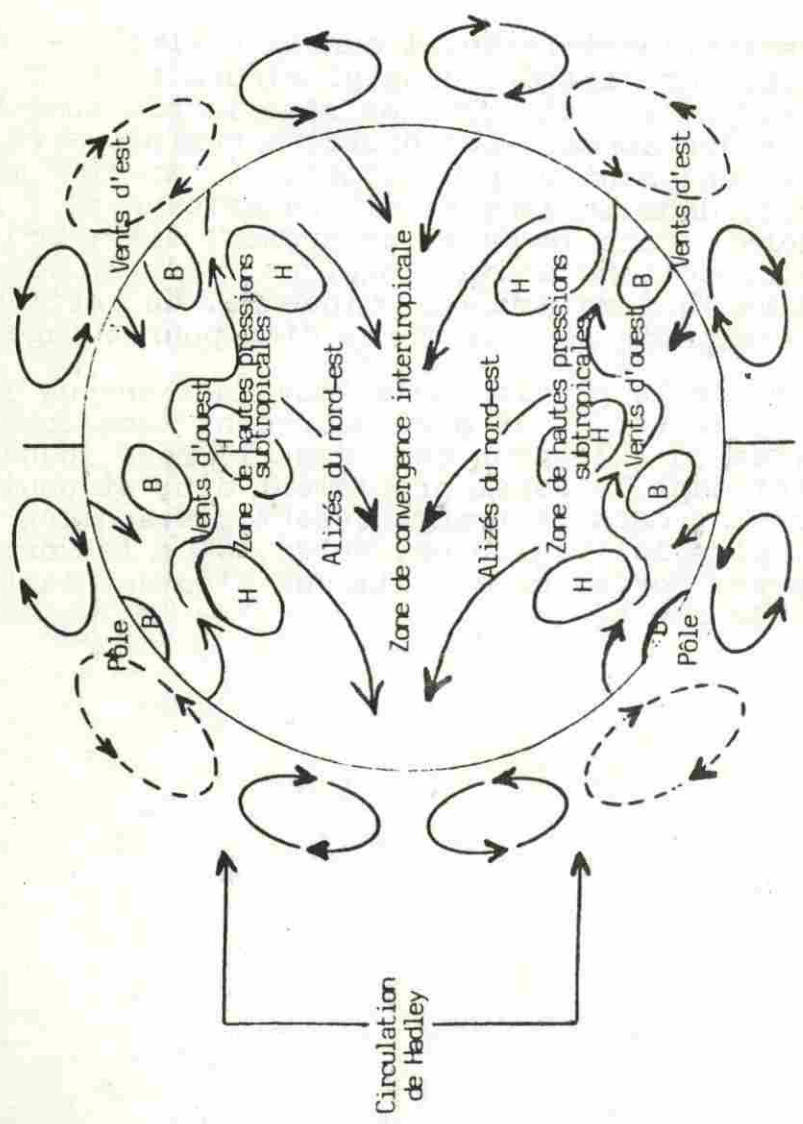


Illustration B-1 : Schéma de la pression globale et des systèmes des vents, des régimes des pluies et circulation de Hadley. (Source : Nicholson 1982)

TRAITS CARACTERISANT LE REGIME DES PLUIES

L'exploitation potentielle des bordures semi-arides sub-sahariennes est limitée non seulement par la faiblesse de la pluviométrie, mais aussi par les aspects caractéristiques des précipitations dans cette région, qui sont souvent négligés. Ces traits spécifiques comportent une extrême variabilité spatio-temporelle, une tendance pour les années de sécheresse anormale à se succéder en plus grand nombre que les années pluvieuses, l'apparition des précipitations pendant la saison chaude alors que l'évaporation est à son maximum, et enfin, la persistance de conditions pluviométriques anormales, telles que les épisodes de sécheresse ou de pluie, pendant plusieurs années.

Les chiffres indiquant le total annuel maximal -- et minimal -- des pluies enregistrées dans plusieurs stations sub-sahariennes montrent à quel degré extrême la pluviométrie peut varier au cours des années. Les hauteurs maximales et minimales des précipitations sont respectivement 219 mm et 7 mm à Akjoujt, (Mauritanie) dans la zone sahélo-saharienne ; 691/141 à Saint-Louis (Sénégal) dans le Sahel proprement dit ; 960/120 à Dakar, dans la zone côtière soudanienne, et 1 844/750 à Bougouni (Mali), dans la zone soudano-guinéenne. Le coefficient de variation (CV) s'exprime sous la forme d'un pourcentage

représentant l'écart de la pluviométrie "moyenne" prévue les deux-tiers du temps. Il est de 15 à 20 pour cent dans la zone soudano-guinéenne, de 20 à 30 pour cent dans la zone soudanienne, de 30 à 50 pour cent dans le Sahel proprement dit, et peut atteindre 100 pour cent dans la frange désertique sahélo-saharienne. Ainsi, plus la région est aride, plus la variabilité des précipitations est forte, ce qui diminue d'autant la "fiabilité" des chutes de pluie.

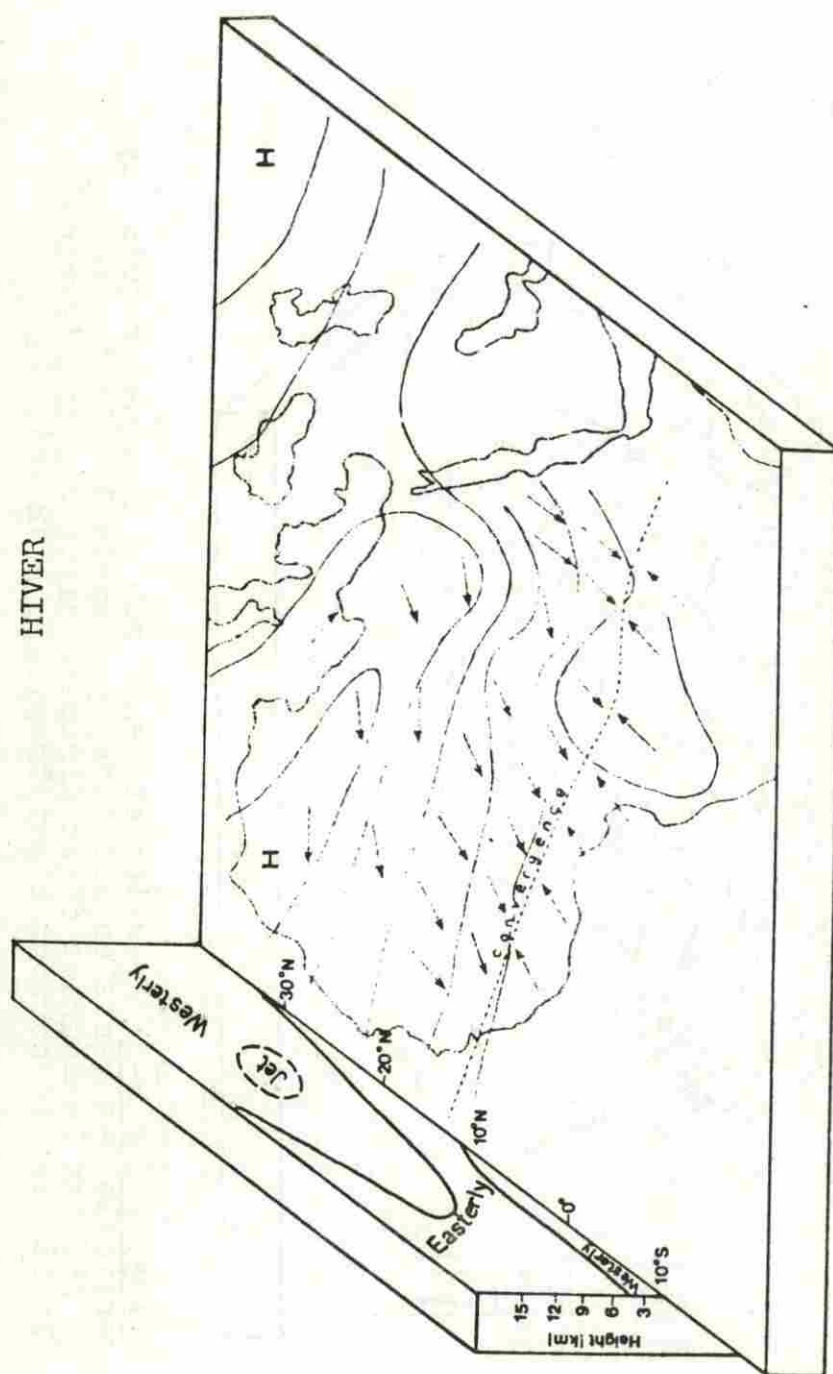


Illustration B-2: Pression et vents sur l'Afrique en janvier; coupe verticale des vents en altitude, y compris les "jet streams" (courants atmosphériques de haute altitude).

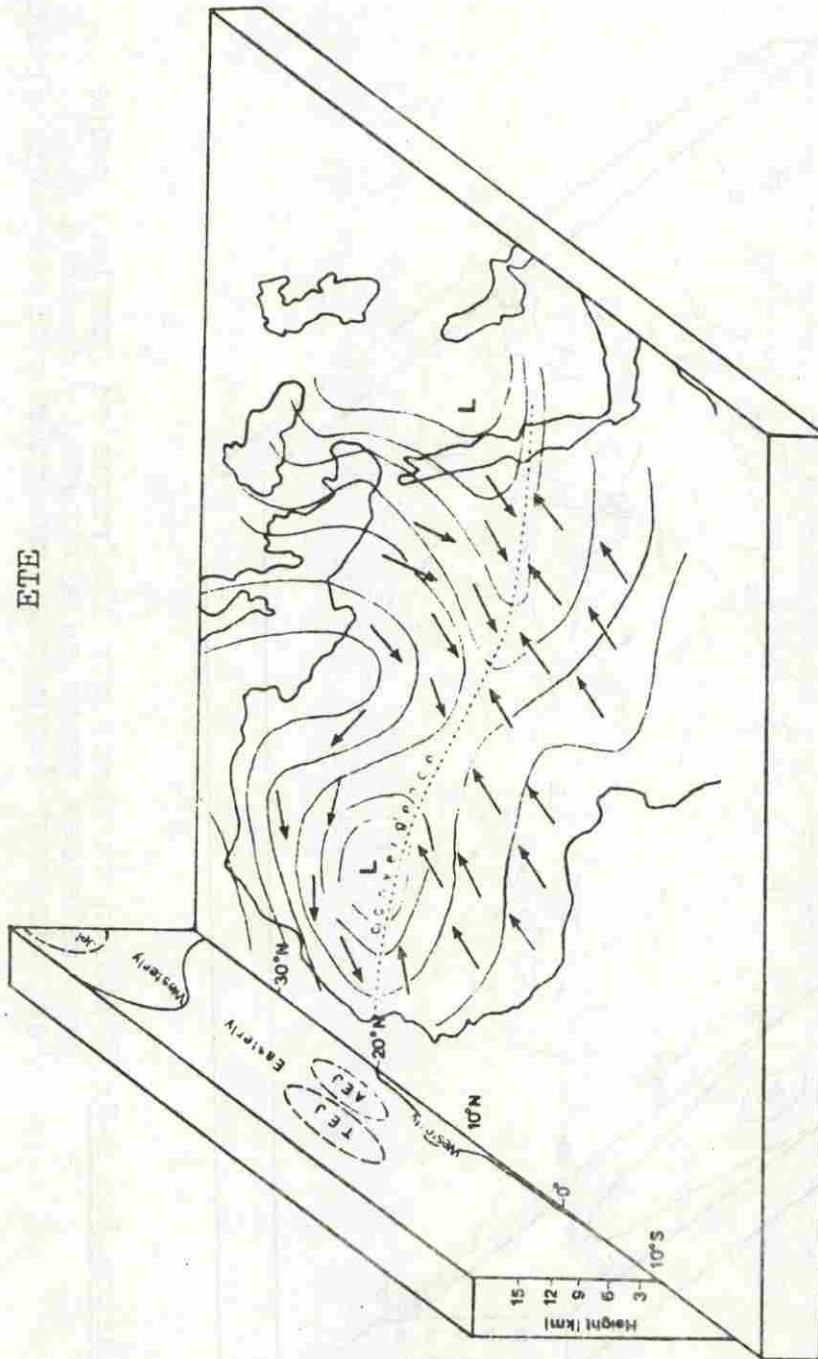


Illustration B-3: Pression et vents sur l'Afrique en juillet; coupe verticale des vents en altitude, y compris les "jet streams". (L'AEJ est le courant d'Est Africain situé à 3 km d'altitude, et le TEJ est le courant d'Est Tropical, à 12 km).

L'une des caractéristiques connexes est la variabilité dans l'espace, ou le degré de corrélation entre la pluviométrie dans un lieu donné et celle des régions environnantes. La variabilité importante dans l'espace est l'une des caractéristiques bien connue des régions semi-arides et arides (Sharon 1972, 1974, 1979 ; Jackson 1977). En Tanzanie par exemple, dans les régions dont la pluviométrie est de l'ordre de 1 000 mm par an, les hauteurs des précipitations annuelles enregistrées dans certaines stations distantes de quelques kilomètres seulement peuvent ne pas correspondre. Des stations proches l'une de l'autre peuvent enregistrer des différences atteignant plusieurs centaines de millimètres. Ces différences ne sont pas causées par des effets locaux (par exemple la topographie), car les moyennes à long terme de la station sont les mêmes ; par contre, cette variabilité dans l'espace est liée aux chutes de pluies de type "convectif" aléatoires qui prévalent dans ces régions. Ce caractère devient de plus en plus marquant lorsque l'on considère des périodes de plus en plus brèves (un mois par exemple ou la durée d'orages individuels) et dans des régions plus arides. Dans le Sahel, ceci signifie qu'au cours de toute année "normale" pendant laquelle la région dans son ensemble n'est ni trop sèche, ni trop humide, 40 ou même 50 pour cent des stations individuelles reçoivent des pluies inférieures à la moyenne. (Figure B-4).

La cause de cette situation est mise en évidence par l'examen de la nature des précipitations. La plupart des chutes de pluie sont associées à des dispositifs météorologiques à grande échelle (comme les masses nébuleuses), mais les pluies abondantes sont limitées à des cellules plus petites comprenant une zone assez réduite du système total. Ainsi, un orage individuel peut ne provoquer aucune chute de pluie. Dans le Sahel, où la plupart des précipitations sont causées par quelques orages, le fait d'être "touché" ou "manqué" au hasard par une chute de pluie importante peut affecter de façon sensible les chiffres globaux des précipitations enregistrés dans un endroit donné.

L'extrême variabilité de la pluviométrie dans le Sahel indique clairement que le concept de "moyenne" pluviométrique a peu d'importance en ce qui concerne les terres arides. Ce point est encore souligné par les fréquences typiques des hauteurs des précipitations annuelles atteintes en un endroit donné. Dans les régions sub-humides, les années recevant des précipitations inférieures à la normale dominent nettement la répartition tandis que quelques années marquées par des précipitations

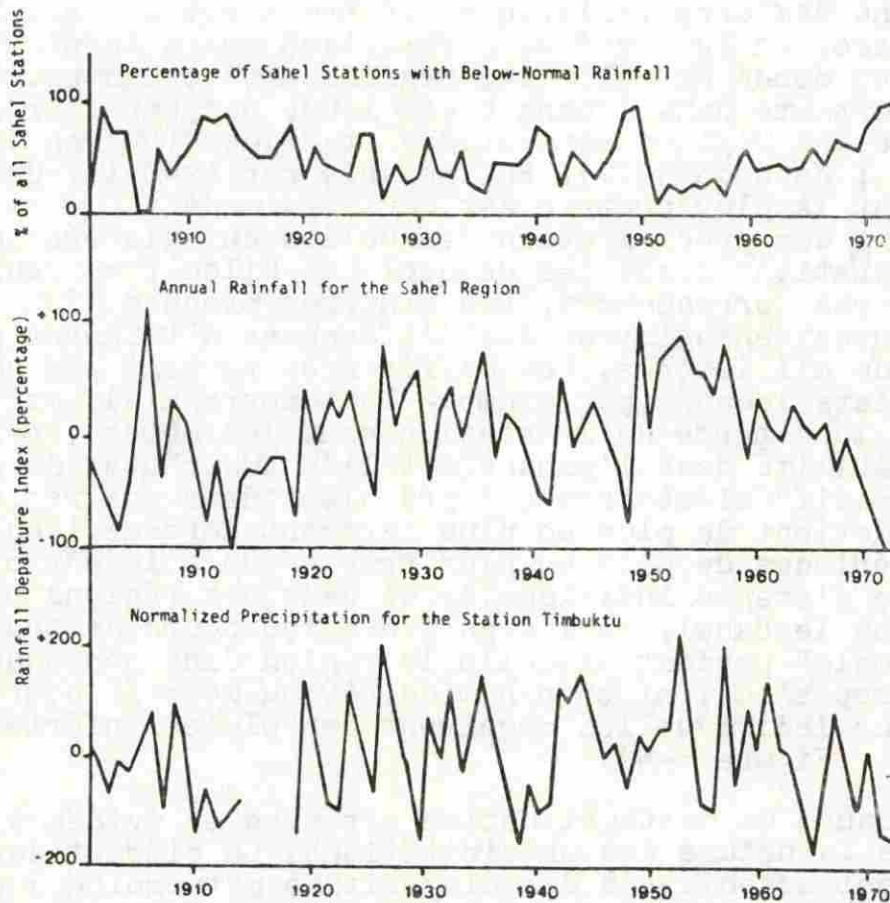


Illustration B-4:

Anomalies de la pluviométrie sahélienne : le pourcentage des stations sahéliennes enregistrant des totaux annuels inférieurs à la moyenne (1901-1973) par rapport à la pluviométrie annuelle dans le Sahel et à la seule station de Tombouctou.

excessives gonflent la moyenne. Plus la région est aride, et plus la période considérée est brève, plus cette répartition est "biaisée" pour se placer au-dessus des années normales. Ainsi à Gao, Mali (moyenne annuelle des pluies : 244 mm), le mois d'août a reçu, de 1941 à 1975, des précipitations inférieures à la moyenne 23 années sur 35, et la pluviométrie se situe dans les 10 pour cent de la moyenne d'août pendant quatre années seulement, tandis que sur les 35 totaux annuels, 19 se situent au-dessous de la moyenne annuelle (Katz et Glantz, 1977). Dans tous les cas, la moyenne a dépassé à la fois la médiane et le module. A Niamey, dans la partie plus humide de la zone soudanienne (moyenne annuelle des pluies : 586 mm), 19 totaux correspondant au mois d'août et 18 totaux annuels sont inférieurs à la moyenne calculée sur 35 ans. Il est manifeste que la moyenne des précipitations ne constitue pas un indicateur fiable des conditions de l'environnement auxquelles doivent s'adapter les modes de vie, les moyens d'existence, et l'agriculture.

Etant donné que les pluies dans la région sub-saharienne surviennent en majorité pendant la saison chaude, et vu la situation sub-tropicale de la région, l'humidité se perd largement par évaporation. En fait, dans la plus grande partie de cette région, le rayonnement net reçu pendant l'année représente 2 à 20 fois les radiations nécessaires pour faire s'évaporer les faibles pluies. La majorité des précipitations tombent dans le Sahel sous forme d'averses, et il est donc très fréquent de voir des pluies intenses et brèves suivies aussitôt d'un ciel clair favorisant l'évaporation. Aussi, en comparaison des pluies fines et de longue durée ou des pluies tombant en saison froide, qui sont fréquentes aux latitudes moyennes, ces pluies sub-tropicales ne pénètrent qu'assez faiblement dans le sol pour jouer un rôle réel dans la croissance de la végétation.

Dans les régions arides, les précipitations sont caractérisées par une forte variabilité. Toutefois, l'élément critique n'est pas seulement la variabilité, mais la combinaison de cette dernière avec la propension des années marquées par une pluviométrie anormale à se succéder. Dans la majorité des régions du globe, les habitants peuvent supporter une ou même deux années dominées par des conditions climatiques défavorables. Dans les régions sub-sahariennes, les anomalies pluviométriques peuvent se répéter durant 8, 10 ou même 15 années. Bien entendu, ceci implique une sécheresse dévastatrice si le manque de pluie persiste. D'autre part, la succession d'années marquées par des précipitations supérieures à la moyenne peut fausser l'image des conditions climatiques réelles. Pendant une décennie pluvieuse, les éleveurs sahéliens risquent en effet de s'aventurer plus au nord dans les fragiles bordures désertiques, tandis que l'on étend l'agriculture au-delà des véritables limites de l'aridoculture. De fait, ceci a peut-être contribué au désastre associé à la récente période de sécheresse, qui a succédé à une décennie (les années 1950) marquée par des pluies extrêmement abondantes.

EXPLICATION DES CAUSES DES FLUCTUATIONS PLUVIOMETRIQUES DANS LE SAHEL ET UTILISATION COMME MOYENS DE PREVISION

Plusieurs experts (Bryson 1973, Lamb 1978a, b ; Newell et Kidson 1979 ; Nicholson 1981b) ont émis diverses hypothèses pour expliquer les fluctuations pluviométriques du Sahel, et de nombreux systèmes de prévision ont été établis sur la base de certains facteurs hypothétiques (Bryson 1973, Winstanley 1973b, Greenhut 1981). Les variables qui semblent influencer sur les chutes de pluie dans le Sahel concernent : la position de la Zone Intertropicale de Convergence, les modifications thermiques des surfaces maritimes, le degré hygrométrique de l'atmosphère au-dessus du Sahel, la force et la position des vents et des "jet streams", et l'intensité de la circulation tropicale de Hadley. Nous ne tenterons pas ici d'expliquer chacune de ces hypothèses, qui sont détaillées dans un autre ouvrage (Nicholson 1982). Par contre, nous aborderons trois points spécifiques : (1) la valeur de l'hypothèse supposant un lien entre les fluctuations pluviométriques sahéliennes et un glissement de l'ITCZ ; (2) la prévision des oscillations climatiques ou pluviométriques dans le Sahel ; et (3) l'influence éventuelle exercée par un "feedback géophysique" sur la région, impliquant que la sécheresse se renforce elle-même par le biais des modifications qu'elle provoque au niveau du sol.

Pour expliquer la période de sécheresse 1968-73, on invoque très fréquemment un phénomène de glissement vers le sud des principaux caractères de la circulation, notamment l'anticyclone sub-tropical et la Zone Intertropicale de Convergence (ITCZ) (par exemple : Bryson 1973, Winstanley 1973a, b, Greenhut 1977, 1981, Kraus 1977, Lamb 1978a, b). On considère généralement ce phénomène comme une réaction à l'expansion de l'anneau des vents d'ouest (tourbillon circumpolaire) qui, à son tour, contraint les aires sub-tropicales et tropicales aux latitudes inférieures. Ainsi, l'influence desséchante exercée dans le Sahel par les anticyclones se renforce, tandis que la prédominance de l'ITCZ et des précipitations corrélatives diminue. Le rôle de l'ITCZ a donc été généralement admis, alors qu'aucune des études citées plus haut ne fournit de preuve concrète qu'un déplacement anormal de cette zone constitue effectivement un paramètre important de la récente sécheresse.

De nombreuses études démontrent cependant l'inexactitude de cette hypothèse (Miles et Fowlard 1974, Tanaka 1975, Krueger et Winston 1975, Bunting 1976, Newell et Kidson 1979, Nicholson 1980a, 1981b, Stoeckenius 1981). Nous présentons ici les principaux arguments invoqués par ces études. En premier lieu, le glissement vers le sud de l'ITCZ impliquerait une saison des pluies plus courte à des latitudes données pendant les années de sécheresse, et un déplacement vers le sud de la zone de précipitations maximales. Le premier mouvement n'intervient dans la région qu'entre 18°N et 20°N, ce qui représente une petite partie de la zone affectée par la sécheresse en Afrique occidentale (Tableau B-1). Deuxièmement, la différence de latitude des

Tableau B-1

COMPARAISON ENTRE LA DUREE DE LA SAISON DES PLUIES ET LE NOMBRE DE MOIS BENEFICIANT DE PRECIPITATIONS INTENSES PENDANT LES ANNEES PLUVIEUSES, NORMALES, ET SECHES

	Latitude (°N)	Nombre de mois recevant 25 mm ou plus	Nombre de mois recevant 100 mm ou plus
Années pluvieuses	20	3	0
	18	4-5	1-2
	15	6-7	3
	13	7	5
	10	8-9	6-7
Années "normales" ou moyennes	20	2	0
	18	3	0
	15	5	2
	13	7	4.5
	10	7	6
Années sèches	20	0-1	0
	18	3-4	0
	15	5	1
	13	7	3.5-4
	10	7	6

Source : Nicholson 1982.

précipitations maximales sur l'ouest africain pendant les années sèches et les années pluvieuses n'est ni constante, ni importante ; dans les années sèches, les pluies culminent plus au nord par rapport à de nombreuses années pluvieuses. En dernier lieu, le simple déplacement de l'ITCZ ne suffit pas à expliquer le principal schéma des pluies pendant les années de sécheresse, qui associe une aridité au nord et au sud du Sahara, et une tendance à la diminution des précipitations sur tout le continent. Ces caractéristiques sont mises en évidence par : (1) les quatre principaux schémas géographiques des anomalies pluviométriques de l'ouest africain (Figure B-5) ; (2) les écarts pluviométriques intervenant ces années-là sur le Sahel et l'ouest africain (Figure B-6) et (3) la similitude importante entre l'époque des écarts des précipitations dans le Sahel et le Kalahari dans l'hémisphère sud (Figure B-7). Il faut opposer un démenti à cette hypothèse, car, dans leur majorité, les ouvrages non-techniques ont tout simplement admis l'argument de l'ITCZ comme un fait, sur lequel se basent par conséquent la plupart des prévisions.

De nombreux modèles prévisionnels (Bryson 1973, Winstanley 1973a, b, Ilesanmi 1971, Kraus 1977, Greenhut 1981, Faure et Gac 1981, Adekokun 1978) ont été mis au point pour évaluer à l'avance la pluviométrie sahélienne. Toutefois, ces modèles fournissent des résultats très spéculatifs, dont certains se fondent sur des arguments très faibles et non vérifiés. Ceci s'applique tout particulièrement aux modèles se basant sur l'hypothèse de l'ITCZ, comme nous l'avons indiqué plus haut. Les autres modèles sont controversés en raison de l'utilisation erronée de méthodes statistiques. De fait, il n'existe à l'heure actuelle aucun modèle prévisionnel acceptable ; il faut donc garder un scepticisme prudent à l'égard de toutes prévisions portant sur plus d'une saison.

Pour améliorer les prévisions, il faut élaborer des modèles en se fondant sur des associations physiques plutôt que statistiques, et en se méfiant de l'usage de plus en plus fréquent de ces dernières (Faure et Gac 1981 par exemple). La plupart des approches statistiques utilisent des cycles ou des tendances. Ces méthodes, qui sont valables pour analyser les événements passés, ne peuvent prévoir l'avenir qu'avec incertitude. En particulier, on ne peut extrapoler les tendances futures, car les variations climatiques sont très soudaines. Il faut également éviter d'utiliser des cycles (ou "méthodes spectrales") pour établir des prévisions. De plus, la recherche et l'interprétation des tendances et des cycles exigent une connaissance très approfondie et sophistiquée des méthodes statistiques. Les approches non techniques adoptées habituellement (suivies par Faure et Gac par exemple) et qui supposent que les effets d'une série chronologique sont "aplanis" par la moyenne établie, et que les cycles peuvent être décelés plus ou moins visuellement, n'ont qu'un faible intérêt prévisionnel. (Figure B-5).

Le manque de valeur prévisionnelle des "cycles" est dû à de multiples raisons. En premier lieu, les cycles spécifiques -- tout comme les tendances -- peuvent apparaître dans une série pendant quelque temps, pour disparaître brutalement. De plus, les périodicités exactes sont rares : un cycle d'environ 15 ans peut impliquer des sécheresses intervenant à des intervalles de 12-18 ans, et il est difficile de prévoir un événement spécifique sur cette base. Dans la plupart des cas, notamment lorsque les cycles sont relativement longs, la série chronologique dans laquelle le cycle est détecté est si brève que ce dernier ne peut se reproduire qu'un petit nombre de fois. Cette répétition peut n'être qu'une coïncidence, ou résulter d'événements aléatoires, et l'on n'en déduira donc pas l'existence d'un cycle particulier dans une série plus longue. Prenons l'hypothèse de l'apparition de sécheresse dans le Sahel tous les 30 ans. Si l'hypothèse de cette fréquence se fonde sur les données pluviométriques de 1900 à nos jours, le "cycle" n'est apparu que deux fois, et cette répétition peut fort bien résulter de fluctuations purement aléatoires.

En dernier lieu, l'utilisation de cycles pour prévoir le climat est souvent liée à une mauvaise compréhension de la nature

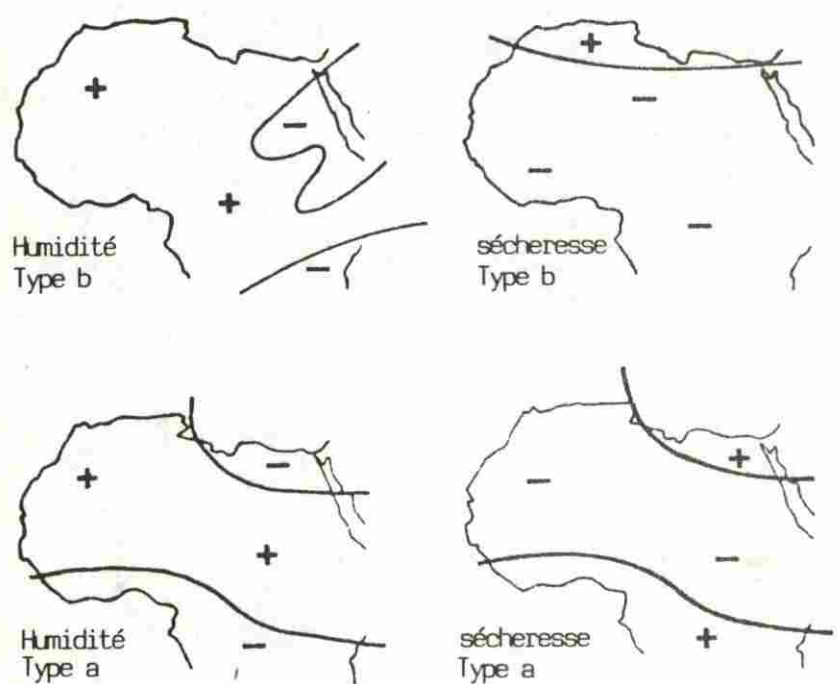


Illustration B-5 : Quatre schémas de variation des pluies se manifestant fréquemment dans l'ouest africain
 ("+" : humidité anormale,
 "-" : sécheresse anormale).

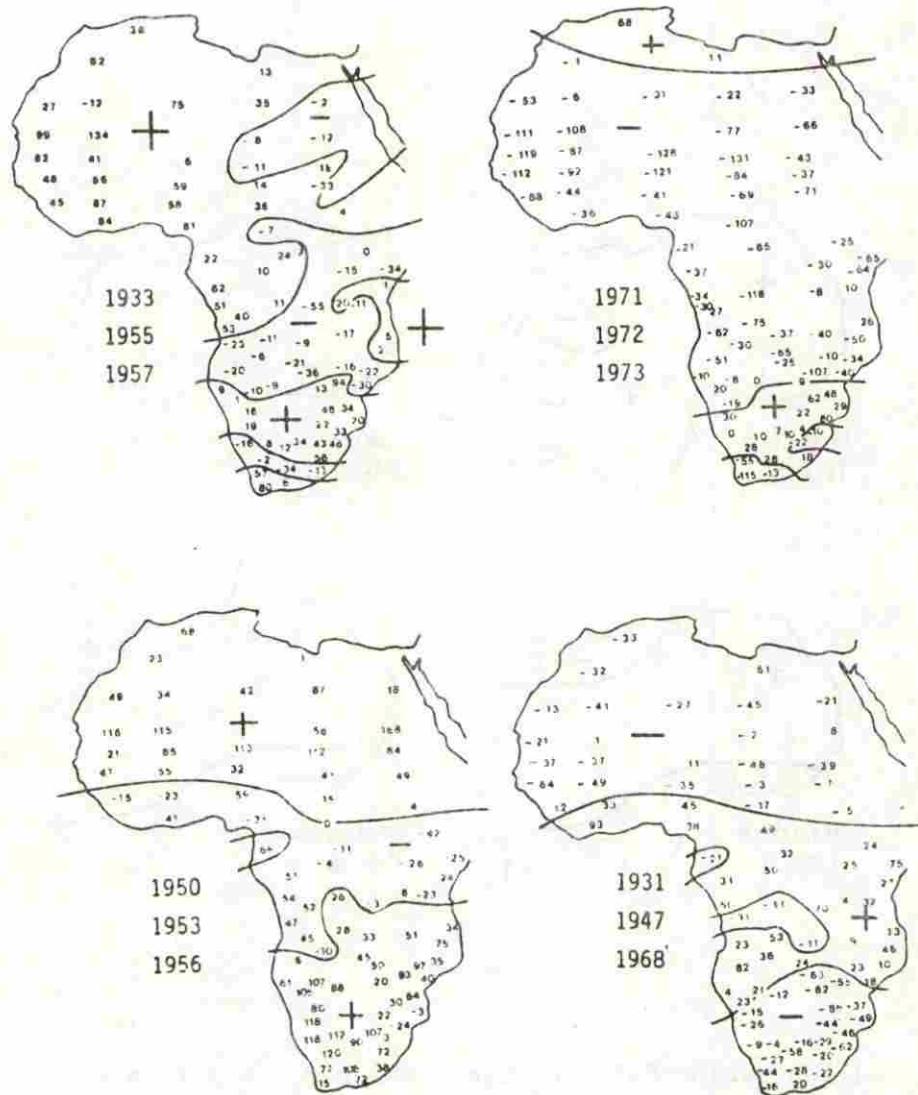


Illustration B-6 : Chiffres indiquant les régimes des pluies au niveau régional sur trois années représentant les schémas de l'illustration B-5.
(signe négatif : au-dessous de la normale, signe positif : au-dessus de la normale).
(Source : Nicholson 1982)

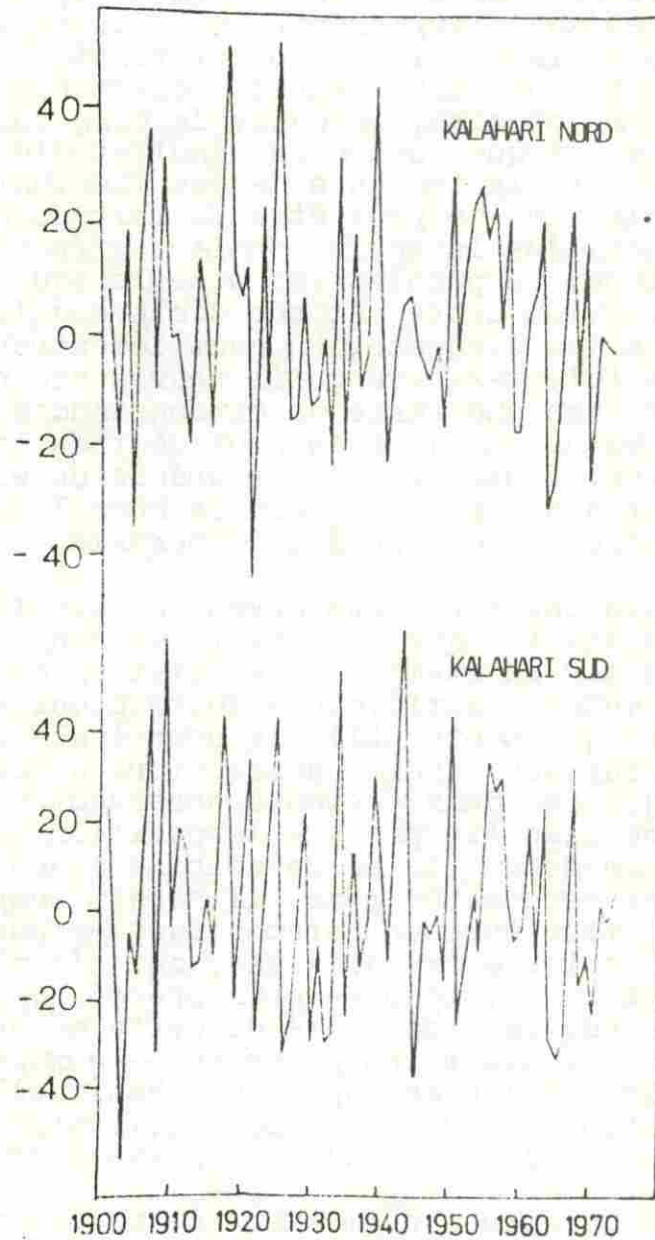


Illustration B-7 : Précipitations dans le Nord et le Sud du Kalahari de 1901 à 1973 (exprimées sous forme de pourcentage supérieur ou inférieur à la normale).

de ces cycles. Même si un cycle particulier semble caractériser réellement une série chronologique d'événements climatiques, il n'explique peut-être que très partiellement les variations marquant cette série. Ceux qui suivent cette méthode oublient trop fréquemment la différence existant entre la signification statistique (absence de hasard, éventuellement symptomatique d'une cause physique) et sa valeur prévisionnelle. Katz (1978) souligne ce fait à propos de la signification statistique de la persistance des précipitations sahéliennes. Admettons que l'on détecte par des méthodes spectrales, un cycle de cinq ans dans la pluviométrie sahélienne, et que, selon le résultat d'un test de signification très strict, la tendance de ces fluctuations à se reproduire tous les cinq ans ne peut être le fait du hasard : le chercheur conclura que la série contient effectivement un cycle de cinq ans environ. Le problème se pose lorsqu'une personne connaissant moins bien cette méthode déclare qu'une sécheresse interviendra tous les cinq ans. On peut démontrer la signification de ce cycle (c'est-à-dire qu'il représente probablement un caractère réel et non une série de circonstances aléatoires) même s'il ne provoque que 10 à 15 pour cent de la variabilité des précipitations. Toutefois, cette précision est généralement insuffisante pour distinguer les années normales de celles qui reçoivent des pluies inférieures à la normale.

Les modèles basés sur les moyennes climatologiques ou sur les corrélations statistiques à long terme sont trompeurs. A ce sujet, on peut citer en exemple l'association découverte par Ilesanmi (1971) entre l'anticyclone subtropical et les précipitations au Niger, qui a été utilisée pour établir des prévisions, et qui se fonde sur les schémas saisonniers de ces deux éléments. Le fait que ces deux éléments observent un cycle saisonnier similaire ne signifie pas que la position anormale de l'anticyclone à un moment donné se combine à une anomalie identique de la pluviométrie. De même, il serait inapproprié d'utiliser une corrélation purement statistique -- une similitude établie existant entre deux variables, qui n'implique ni cause ni effet, ni un lien physique -- pour prévoir une variable plutôt qu'une autre. La simplicité de cette méthode encourage son application -- souvent inappropriée -- aux prévisions météorologiques. Telle qu'elle est appliquée habituellement (citons par exemple Winstanley, 1973a, b) son utilisation revient à consulter l'almanach des paysans pour prévoir le temps.

Certaines approches permettant de mieux prévoir les fluctuations climatiques et météorologiques dans le Sahel comportent le concept des téléconnections et des modèles physiques qui relient les précipitations à d'autres paramètres atmosphériques, sur la base des équations des dynamiques de l'atmosphère. La question des téléconnections -- ou relations à longue distance -- est à la pointe des recherches menées actuellement dans le domaine de la climatologie. Nous reconnaissons que des anomalies climatiques globales peuvent être provoquées par un ou deux phénomènes physiques fondamentaux. On peut citer en exemple le phénomène bien connu d'El Niño (apparition de températures océaniques plus élevées dans certaines zones, associées à des

pluies plus abondantes dans certaines régions plus arides et le long des rivages du Pacifique). On sait désormais que El Niño fait partie d'un schéma de pression global appelé "Oscillation du Sud". Ce dernier phénomène est lié aux anomalies climatiques marquant toutes les régions équatoriales et s'étendant jusqu'aux latitudes plus élevées des deux hémisphères. En situant le Sahel dans ce contexte climatique global, nous pouvons tenter de faire des prévisions à long terme si des rapports séquentiels peuvent être établis. De plus, les études fondées sur les dynamiques du climat -- plutôt que sur des statistiques -- ont déjà donné de bons résultats à plus court terme (Krishnamurti 1980), et permettront probablement d'obtenir de meilleures prévisions saisonnières.

FEEDBACK BIOGEOPHYSIQUE

Selon l'hypothèse, proposée à l'origine par Jule Charney (1975), les précipitations dans le Sahel seraient modifiées par des mécanismes de "feedback biogéophysique". Ainsi, la sécheresse se trouverait renforcée par les altérations qu'elle provoque elle-même à la surface du sol, ou par des modifications similaires engendrées par l'influence de l'homme sur l'écosystème. Selon Charney, la disparition de la végétation augmente l'albedo, ce qui affecte à leur tour les flux énergétiques de l'atmosphère et renforce le mouvement de subsidence qui aggrave l'aridité dans le Sahel ou le Sahara.

De nombreux experts se sont ralliés à cette thèse, tout en proposant d'autres mécanismes de feedback. Otterman (1974) suggère qu'un refroidissement de la surface intervient lorsque les sols dénudés par la disparition de la végétation ont un albedo élevé. Walker et Rowntree (1977) estiment que la diminution de l'humidité de la surface pendant les années de sécheresse renforce les conditions provoquant la sécheresse. Schnell (1975) suppose l'apparition d'un mécanisme de feedback similaire, agissant par la diminution des nuclei de glace lorsque la végétation -- qui est une source importante de ces nuclei -- se raréfie. Quant à l'hypothèse avancée par McLeod (1976), elle se fonde sur l'influence de la poussière, qui aggraverait l'aridité dans le Sahel.

Si les experts n'ont accepté que très progressivement le concept du feedback géophysique, les modèles numériques élaborés au cours des dernières années sont rapidement venus appuyer cette hypothèse. Sur quelles preuves pouvons-nous nous fonder ? En premier lieu, la majorité des mécanismes proposés sont corrects d'un point de vue physique. De plus, bon nombre d'entre eux ont été vérifiés sur la base de modèles mathématiques. En dépit des différentes hypothèses et des divers mécanismes testés, ces modèles aboutissent tous à la même conclusion : les modifications au niveau du sol sahélien peuvent provoquer une diminution

Tableau B-2

FREQUENCE DE SERIES MARQUEES PAR UNE PLUVIOMETRIE SUPERIEURE/INFERIEURE A LA
MEDIANE (ANNEES PLUVIEUSES/SECHES) DANS LES TROIS ZONES SAHELIENNES (1901-1980) ET LE
KALAHARI AU SUD DE L'AFRIQUE (1901-1973)

	Nombre d'années successives										Ratio de persis- tance
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ... 15	
Sahelo-Sahara*	7	4	2	2	2	0	0	0	1	1	1.90
Sahel	9	6	3	3	1	0	0	1	0	1	1.62
Soudan	15	9	3	2	0	2	0	0	0	2	1.23
Kalahari du Nord	27	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0.84
Kalahari du Sud	20	10	2	3	3	0	0	0	0	0	0.97
Prévision											
N = 75 ans	19.2	9.5	4.7	2.0	1.1	0.56	0.28	0.14	0.07	0.03	0.001
N = 80 ans	20.5	10.1	5.0	2.5	1.2	0.60	0.30	0.14	0.07	0.03	0.001

* 1906 à 1980.

des précipitations. En dernier lieu, la sensibilité élevée de l'atmosphère tropicale aux caractères du sol rend ces hypothèses tout à fait plausibles.

Il n'existe à présent aucune preuve formelle confirmant de façon concluante l'existence d'un tel mécanisme de feedback dans le Sahel. Pourtant, plusieurs traits propres à cette région tendent à étayer cette hypothèse : l'extrême persistance observée dans les graphiques des précipitations (durée des épisodes : environ une ou deux décennies) (voir Tableau B-2) ; l'absence de cette persistance dans le Kalahari, qui est l'homologue du Sahel dans l'hémisphère sud ; et l'aggravation et l'expansion constantes de la sécheresse entre 1968 et 1973. Ces observations viennent appuyer l'hypothèse de l'existence d'un mécanisme de feedback positif dont l'action prolongerait et intensifierait les sécheresses au sud du Sahara. En fait, ce feedback est peut-être la seule explication de la persistance décennale caractérisant les événements pluviométriques dans le Sahel. A cet égard, il importe de souligner que toute modification qui serait dans le Sahel un mécanisme de feedback éventuel (albedo de la surface, température du sol, diminution de la production de nuclei de glace, moindre humidité du sol, poussière) peut également avoir été provoquée uniquement par l'activité humaine, ou peut se renforcer lorsque l'exploitation excessive s'associe à un épisode météorologique d'une sécheresse extrême.

LA NATURE DES RECENTES FLUCTUATIONS PLUVIOMETRIQUES SUB-SAHARIENNES

Une simple analyse fait apparaître un certain nombre de traits caractérisant les fluctuations des précipitations en Afrique, et plus particulièrement au Sahel (Nicholson 1980a, 1981b). Certaines de ces caractéristiques ont été décrites plus haut. Cette analyse inclut des séries chronologiques de totaux annuels des pluies, des schémas de la distribution géographique des précipitations anormales pendant les années extrêmement pluvieuses ou extrêmement sèches, et le rythme saisonnier ainsi que l'intensité des pluies ces années-là. Les principales conclusions sont étayées par les données historiques concernant cette région (Tableau B-3).

- La sécheresse récente dans le Sahel n'est pas un phénomène unique ; une sécheresse de cette importance et de cette ampleur constitue en fait un trait récurrent de la climatologie de cette région. Cette dernière conclusion est rendue évidente par les analyses des données tant historiques que modernes, ainsi que nous l'avons indiqué dans les chapitres précédents. En effet, la sécheresse a sévi dans les années 40 sans égaler cependant la gravité et la durée de la récente sécheresse, et la période des années 1910 était très semblable à

l'épisode 1968-73. D'autres sécheresses sont apparues vers le milieu du 18ème siècle et au début du 19ème.

- Les fluctuations de la pluviométrie dans cette région sont également caractérisées par leur extrême persistance, qui peut égaler une ou deux décennies. Dans les zones les plus humides, les années sèches ou pluvieuses se succèdent généralement au hasard. Mais, dans les régions semi-arides, les années anormales ont tendance à se regrouper, ce qui maintient ces conditions de sécheresse (ou de pluie) sur plusieurs années. Au Sahel, cette caractéristique atteint un degré extrême. En effet, les conditions favorables à l'humidité ou à la sécheresse peuvent persister pendant une ou deux décennies (Tableau B-2). Ainsi, les années 1960-1980 ont été marquées par une aridité assez constante, et par une sécheresse d'une extrême sévérité durant la moitié au moins de cette période. Les données historiques relatives à la région font état de sécheresses similaires.
- Les fluctuations des précipitations intervenant dans la zone sub-saharienne sont d'une extrême amplitude. Il est habituel de voir dans les régions les plus arides de longues périodes marquées par des précipitations de 30 à 50 pour cent supérieures ou inférieures à la moyenne. Dans certaines régions, les chutes de pluie ont été deux fois plus importantes pendant les années 50 que durant la période 1968-73.
- Les variations pluviométriques dans le Sahel sont liées aux schémas géographiques les plus courants de la variabilité des précipitations. Quatre d'entre eux donnent une bonne description de cette variabilité (Figure B-5). En général, les années anormalement sèches ou pluvieuses se situent dans le cadre de l'un de ces quatre schémas fondamentaux concernant la pluviométrie dans l'ouest africain (Nicholson 1980a, 1981b):
 - une sécheresse s'étendant uniformément à presque toutes les régions au nord de l'équateur
 - des précipitations supérieures à la moyenne dans presque toute la région
 - des précipitations supérieures à la moyenne dans les régions saharienne et sub-saharienne, mais une aridité anormale dans la région équatoriale au-dessous de 10° N
 - une sécheresse s'étendant aux régions saharienne et sub-saharienne, mais des précipitations supérieures à la moyenne dans la région équatoriale au-dessous de 10° N.

Tableau B-3

ASPECTS CARACTERISANT LES FLUCTUATIONS DES PRECIPITATIONS
DANS LE SAHEL ET DANS D'AUTRES REGIONS DU NORD DE
L'AFRIQUE

FLUCTUATIONS TEMPORELLES

Sécheresses dans les années 1910, 1940, 1968-73, 1976-80
Humidité dans les années 1950
"Conditions sèches" des années 60

PERSISTANCE

Les conditions anormales durent fréquemment 10 à 15 ans
ou plus

EXTREME AMPLITUDE DE LA VARIABILITE

Les épisodes persistants marqués par une pluviométrie
supérieure ou inférieure de 30 à 50 pour cent à la moyenne
régionale sont fréquents

SCHEMAS A GRANDE ECHELLE DES ECARTS PLUVIOMETRIQUES ANNUELS

Les années les plus nombreuses peuvent figurer sur un
petit nombre de schémas géographiques d'une pluviométrie
supérieure ou inférieure à la moyenne

Ces schémas indiquent que les précipitations anormales
s'étendent à presque tout le continent

EXPANSION ET CONTRACTION DE LA ZONE ARIDE

Ce trait caractérise habituellement la variabilité des
précipitations que l'on voit aux échelles de temps
paléo-historiques, correspondant à l'époque moderne

Il indique l'interaction climatique entre les zones
extratropicales et tropicales

DUREE ET INTENSITE DE LA SAISON DES PLUIES

La saison des pluies semble à la fois plus longue et les
précipitations plus abondantes pendant les années plu-
vieuses, alors qu'elle est d'une durée normale mais avec
des précipitations moins abondantes pendant les années
sèches

(Source : D'après Nicholson, 1982, texte révisé).

Les écarts ont tendance à être uniformément négatifs ou positifs dans le Sahel, le Soudan et le Sahara, et sont en général d'une même ampleur au nord et au sud du désert. Il existe un schéma moins fréquent, qui implique une sécheresse dans la partie orientale ou occidentale de la zone soudano-sahélienne, sans toutefois recouvrir la zone entière.

- Ces schémas ont tendance à s'étendre au niveau continental. Les conditions anormales dans le Sahel tendent à apparaître de façon synchrone dans les régions semi-arides analogues au sud de l'Afrique. Ce trait est confirmé par de nombreuses études. Il est illustré par les Figures B-6 et B-7, qui montrent les écarts des précipitations au sud de l'Afrique, correspondant aux années anormales dans le Sahel et aux fluctuations pluviométriques au nord et au sud du Kalahari pendant le 20ème siècle. La portée continentale des anomalies pluviométriques est nettement mise en évidence dans les années 1950 et 1970 (Figure B-8).
- Les fluctuations des précipitations ont fortement tendance à se manifester par des dilatations et des contractions du Sahara, plutôt que par un glissement nord-sud du désert. Ceci s'applique aux quatre schémas majeurs des variations des précipitations (Figure B-5). Dans chaque cas, des écarts de précipitations de même signe affectent simultanément les limites nord et sud du Sahara. Cette caractéristique se manifeste également lorsque les totaux mensuels des pluies sur l'Afrique occidentale se combinent en fonction de la latitude. L'importance des zones qui ne reçoivent pas de pluies se modifie considérablement selon les époques, en augmentant durant les années de sécheresse dans le Sahel.
- Dans les régions sub-sahariennes semi-arides, la durée de la saison des pluies pendant les années de sécheresse ne diffère pas beaucoup de sa durée normale, sauf dans la région située à l'extrême nord du Sahel, où l'intensité des précipitations tend à être plus faible que de coutume. Pendant les années pluvieuses, la saison des pluies semble plus longue et les précipitations plus abondantes. Ce fait est mis en évidence par l'analyse, à des latitudes variées, du nombre de mois marqués par une pluviométrie supérieure à 25 mm, et le nombre de mois recevant un excédent de plus de 100 mm. Ces valeurs sont utilisées respectivement pour définir la durée et l'intensité de la saison des pluies. A 15° N, 0° Ouest, (environ la position de Tombouctou), la saison "normale" dure 5 mois, deux d'entre eux recevant un excédent de 100 mm (Tableau B-1). Au cours des 6 années de sécheresse étudiées, la saison a duré également 5 mois, mais les précipitations supérieures à 100 mm ne s'évaluaient que sur un mois. Au cours des 9 années pluvieuses considérées, la saison s'est étendue sur 6 ou 7 mois, dont 3 recevaient des précipitations excédant 100 mm. Pendant

les années de sécheresse, la saison est plus courte uniquement dans la bande étroite sahélo-saharienne située entre 18° et 20° N, qui ne représente qu'une petite partie de la région affectée par la sécheresse.

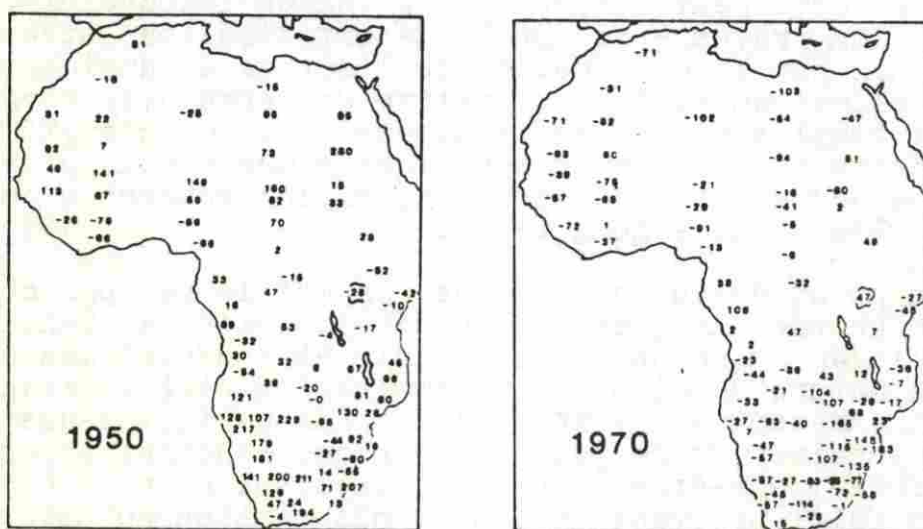


Illustration B-8 :

Hauteur des précipitations régionales en 1950 et 1970 (pourcentage supérieur ou inférieur à la normale). (Source : Nicholson 1982)

EN RESUME :

L'étude de l'environnement sahélien exige que l'on considère le climat comme un paramètre variable, et non comme une constante. En effet, les fluctuations climatiques dans la région sont soudaines et extrêmes, les précipitations peuvent atteindre en une décennie une hauteur presque deux fois plus élevée que celles de la décennie suivante. Les épisodes de pluie ou de sécheresse peuvent persister pendant une ou plusieurs décennies, en créant ainsi l'illusion de conditions "normales". La sécheresse, qui est l'un des traits inhérent et récurrent de l'environnement sahélien, se manifeste à intervalles irréguliers. L'influence de l'homme peut altérer les paysages ; toutefois, les effets les plus graves -- comme la désertification intense -- sont provoqués par la combinaison de l'activité humaine et des variations climatiques. Il faut mettre un terme à la recherche de réponses simplistes, et tenir compte de la complexité du climat de cette région. On ne peut encore prévoir la pluviométrie sur une base annuelle ou saisonnière, ni la sécheresse ou les tendances à l'aridité à long terme.

D'un point de vue climatique, la meilleure approche à suivre pour aborder la question du développement du Sahel doit permettre l'adaptation des modes de vie et des systèmes d'exploitation à la nature du climat de cette région et à la fragilité de son environnement -- et même d'en tirer parti lorsque cela s'avère nécessaire. On ne peut ignorer que l'homme, par son action, affecte peut-être le climat sahélien. Bien au contraire, de nombreux faits prouvent que la transformation du paysage par la sécheresse peut réagir (feedback) sur le système et renforcer la sécheresse. Cette transformation concerne notamment la couverture végétale, la réflectance du sol (due à la disparition de la végétation et à la qualité du terrain), et le maintien de l'humidité dans le sol. Ces modifications peuvent être causées par l'homme, même en l'absence de sécheresse. Mais, lorsque l'agriculture et l'élevage s'étendent jusqu'aux terres marginales pendant les années pluvieuses, la détérioration de l'environnement entraînée par une sécheresse ultérieure est alors plus rapide et plus grave. Les stratégies conservatrices d'exploitation des terres, la protection de la végétation et l'entretien des sols diminuent les risques et réduisent l'effet potentiel que l'utilisation du système par l'homme pourrait exercer sur le climat par le biais des mécanismes de feedback. Toutefois, si la dégradation de l'environnement est assez importante pour avoir un impact réel sur le climat, les conséquences probables en seront la prolongation et l'aggravation des sécheresses les plus intenses. Nous nous efforçons encore de parvenir à une compréhension globale du climat sahélien. Il est donc nécessaire de surveiller constamment le système climatique pour déterminer réellement l'effet éventuel de l'homme et de l'environnement sur le climat de cette région.

BIBLIOGRAPHIE

- Adedokun, J. A. 1978. West African precipitation and dominant atmospheric mechanisms. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. Ser. A., 27:289-310.
- Bryson, R. A. 1973. Drought in Sahelia: Who or what is to blame? Ecologist 3(10):366-371.
- Bunting, A.H., et al. 1976. Rainfall trends in the West African Sahel. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 102:59-64.
- Charney, J. G. 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel/ Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 101:193-202.
- Faure, H., et J. Y. Gac. 1981. Will the Sahelian drought end in 1985? Nature 291:475-478.
- Greenhut, G.K. 1977. A new criterion for locating the subtropical high in West Africa. J. Appl. Meteor. 16:727-734.
- Greenhut, G. K. 1981. Comparison of temperature gradient model predictions with recent rainfall trends in the Sahel. Mon. Wea. Rev. 109:137-147.
- Ilesanmi, O. O. 1971. An empirical formulation of an ITD rainfall model for the tropics: A case study in Nigeria. J. Appl. Meteor. 10:882-891.
- Jackson, I. J. 1977. Climate, Water and Agriculture in the Tropics. Longman, Londres, Angleterre.
- Katz, R. W. 1978. Persistence of subtropical African droughts. Mon. Wea. Rev. 196:1017-1021.
- Katz, R. W., et M. H. Glantz. 1977. Rainfall statistics, droughts and desertification in the Sahel. Pp. 81-102 in Desertification: Environmental Degradation in and Around Arid Lands, M. H. Glantz, ed. Westview Press, Boulder, Colorado, USA.
- Kraus, E. G. 1977. Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. Mon. Wea. Rev. 105:1009-1018.
- Kreuger, A., et J. S. Winston. 1975. Large-scale circulation anomalies over the tropics during 1971-72. Mon. Wea. Rev. 103:465-473.

- Krishnamurti, T. N., et al. 1980. Prediction of African waves and specification of squall lines. *Tellus* 32:215-231.
- Lamb, P. J. 1978a. Case studies of tropical Atlantic surface circulation patterns during recent Subsaharan weather anomalies: 1967 and 1968. *Mon. Wea. Rev.* 106:482-491.
- Lamb, P. J. 1978b. Large-scale tropical Atlantic surface circulation patterns associated with Subsaharan weather anomalies. *Tellus* 30: 240-251.
- Macleod, N. H. 1976. Dust in the Sahel: Cause of drought? Pp. 214-231 in *The Politics of Natural Disaster: The Case of the Sahel*, M. H. Glantz, ed. Praeger, New York, USA.
- Miles, M. K., et C. K. Follard. 1974. Changes in the latitude of the climatic zones of the Northern Hemisphere. *Nature* 252:616.
- Newell, R. E., et J. W. Kidson. 1979. The tropospheric circulation over Africa. Pp. 133-170 in *Saharan Dust* (Scope Report 14), C. Morales, ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Nicholson, S. E. 1980a. The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa. *Mon. Wea. Rev.* 108:473-487.
- Nicholson, 1981a. The historical climatology of Africa. Pp. 249-270 in *Climate and History*, P. G. Wigley, M. J. Ingram, et G. Farmer, eds. Cambridge University Press, New York, New York, USA.
- Nicholson, 1981b. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter periods in West Africa. *Mon. Wea. Rev.* 109(10):
- Nicholson, 1982. *The Sahel: A Climatic Perspective*. Club du Sahel, Paris, France.
- Otterman, J. 1974. Baring High-albedo soils by overgrazing: A hypothesized desertification mechanism. *Science* 186:531-533.
- Schnell, R. C. 1975. Biogenic and Inorganic Sources of Ice Nuclei for the Drought-Stricken Sahel--1974. Report to the Directors of the Rockefeller Foundation, New York, New York, USA.
- Sharon, D. 1972. The spottiness of rainfall in a desert area. *J. Hydrol.* 17:161-175.
- _____. 1974. The spatial pattern of convective rainfall in Sukamaland, Tanzania: A statistical analysis. *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B.*, 22:201-218.



Sharon, D. 1979. Correlation analysis of the Jordan Valley rainfall field. Mon. Wea. Rev. 107:1042-1047.

Stoeckenius, T. 1981. Interannual variations of tropical precipitation patterns. Mon. Wea. Rev. 109/1233-1247.

Tanaka, M., et al. 1975. Recent African rainfall patterns. Nature 255:201-203.

Walker, J., and P. R. Rowntree. 1977. The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 103:29-46.

Winstanley, D. 1973a. Recent rainfall trends in Africa, the Middle East and India. Nature 243:464-465.

_____ 1973b. Rainfall patterns and general atmospheric circulation. Nature 245:190-194.