

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER, GRENOBLE I

U.F.R. DE GEOGRAPHIE
Institut de Géographie Alpine
GRENOBLE

ANNEE 1988

L'EROSION DANS LA VALLEE DE
KEITA (ADAR NIGER)
CONTRIBUTION GEOMORPHOLOGIQUE

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER, GRENOBLE I
pour obtenir le grade de
DOCTEUR D'UNIVERSITE

p a r

Monsieur Ibrahim BOUZOU MOUSSA

Thèse soutenue publiquement le 3 octobre 1988 devant

Monsieur M. CHARDON, Président du Jury

Monsieur Y. BRAVARD, Directeur

Monsieur A. MOREL, Co-Directeur

Monsieur E. ROOSE, Examineur

Monsieur J. WINISTORFER, Examineur

INTRODUCTION GENERALE

A tous les paysans du Niger et en particulier à ceux de l'Adar.

A V A N T - P R O P O S

Ce mémoire est le fruit de quatre années d'observation sur l'érosion dans l'Adar, région qui semble être la plus touchée par ce phénomène. Aussi la considère-t-on aujourd'hui comme le "Laboratoire de CES". En effet, dès les années 1960, des études ont été menées en vue de la conservation de l'eau et des sols par la SOGREA, la SOGETA, le C.T.F.T., l'ORSTOM. Mais les "Aradawa" ont aussi très tôt créé des méthodes de lutte antiérosive, entre autres, les alignements de pierres. Notre travail est donc une contribution à l'étude de l'érosion dans cette région, mais en utilisant comme stratégie ce que E.Roose appelle la GCES : la Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols. Cette nouvelle stratégie s'est développée après le constat d'échec des principales interventions faites sans tenir compte de l'avis des populations et des méthodes propres au milieu.

A l'origine de notre orientation vers la CES/DRS il y a les écrits de J.Tricart, notamment sur la géomorphologie applicable et l'utilité de l'application des méthodes simples facilement adoptables par les paysans. C'est ainsi que nous avons eu l'idée d'améliorer les alignements de pierres dans l'Adar. Les résultats obtenus nous permettent de donner raison à tous ceux-là qui, avant nous, ont montré l'utilité de l'application des méthodes facilement adoptables par les paysans.

Quatre années que nous avons passées isolé du milieu de la recherche, mais soutenu ; et c'est à ceux qui nous ont soutenu moralement comme matériellement que va notre gratitude. Car sans eux, ce travail n'aurait pas vu le jour.

Sur le terrain, nos remerciements vont à tous ceux de Kounkouzout pour qui nous sommes le "Maître de l'eau" ou le "Chef de l'agriculture". Et en particulier, aux deux kadri (le Chef du village et le Boutiquier) et à Achou qui, pendant tout mon séjour, m'ont aidé.

Il y a aussi Mahamadou Tambari, Mahamadou Bori, Maàzou Djahadi qui ont sacrifié leurs vacances pour m'aider dans les observations.

Nous adressons aussi nos remerciements à Almostapha Hamadan, Alhassane Hima, alors enseignants à Kounkouzout qui, durant notre absence pendant la saison sèche, s'occupaient des parcelles ; aux Projets GTZ Tahoua et Intégré Keita qui assuraient nos déplacements dans la mesure de leur possibilité.

A Garba Namara, proviseur du lycée de Tahoua et Monsieur BAYERO, inspecteur départemental de l'enseignement de second degré de Tahoua qui nous ont encouragé.

A l'Université de Niamey nos remerciements vont à Issa Ousseini, maître assistant à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines qui n'a jamais cessé de nous encourager et de nous conseiller ; et Ambouta Karimou, maître assistant à la Faculté d'Agronomie.

Nous devons citer ceux qui nous ont fait confiance et amené des critiques dans la préparation de ce travail. Il s'agit des professeurs : Yves BRAVARD, Michel CHARDON, tous deux à l'Institut de Géographie Alpine de Grenoble et Eric ROOSE, pédologue de l'ORSTOM à Montpellier.

Nous ne saurions oublier Mme REDON qui a sacrifié des moments de loisirs pour frapper et finir à temps ce mémoire ; le LAMA (Laboratoire de la Montagne Alpine) et Armand GELAT à l'I.G.A. de Grenoble.

Enfin, nous ne serons jamais assez reconnaissant à l'égard

d'Alain MOREL, notre Professeur depuis la première année d'Université, qui nous a amené à la géomorphologie,

J. WINISTORPHER, Professeur à l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne,

Philippe SCHOENEICH, Assistant à l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne,

pour leur soutien moral et matériel pendant les quatre années d'observation... Nous leur devons tant.....

En nous lançant dans l'étude de l'érosion dans une aussi vaste vallée que celle de Keita, longue de 140 km de l'amont à la confluence avec la vallée de Badaguichiri (Fig. 2), nous n'avons nullement eu la prétention de tout expliquer, d'autant plus qu'une étude complète sur l'érosion ne peut se faire que par une équipe pluridisciplinaire composée de chercheurs des Sciences de la Terre, tels les pédologues, les hydrologues, les géochimistes, les agronomes, les climatologues, les géomorphologues... Le chercheur isolé que nous sommes, qui ne dispose que de moyens rudimentaires, ne peut donc avoir la prétention de présenter une étude complète de l'érosion.

Aussi, compte tenu de ces contraintes, nous avons cependant tenté de contribuer à la connaissance de ce milieu en alliant les observations géomorphologiques à l'expérimentation sur parcelles.

1 - DEFINITION DE L'EROSION ; SES LIENS AVEC LA DESERTIFICATION

L'érosion vient du mot éroder qui signifie ronger. On distingue trois processus : l'ablation des particules solides, leur transport et leur dépôt. On donne aussi différents sens à l'érosion :

- un sens étroit qui est l'enlèvement de tout ou partie du sol par les eaux ou par le vent ;
- un sens large qui comprend l'appauvrissement du sol ou du tapis végétal, dû à l'intervention de l'homme.

C'est distinguer, d'une part l'érosion dite naturelle ou géologique, dont les facteurs sont essentiellement atmosphériques notamment l'eau, le vent, etc... (cette érosion s'observe sous toutes les latitudes), et d'autre part, l'érosion dite accélérée due à l'intervention incontrôlée de l'homme sur le milieu par la destruction de la

végétation qui ne joue plus son rôle protecteur. Le sol est laissé à nu, sous l'influence du ruissellement, du vent, de la température. Ce type d'érosion est aussi qualifié d'érosion anthropique.

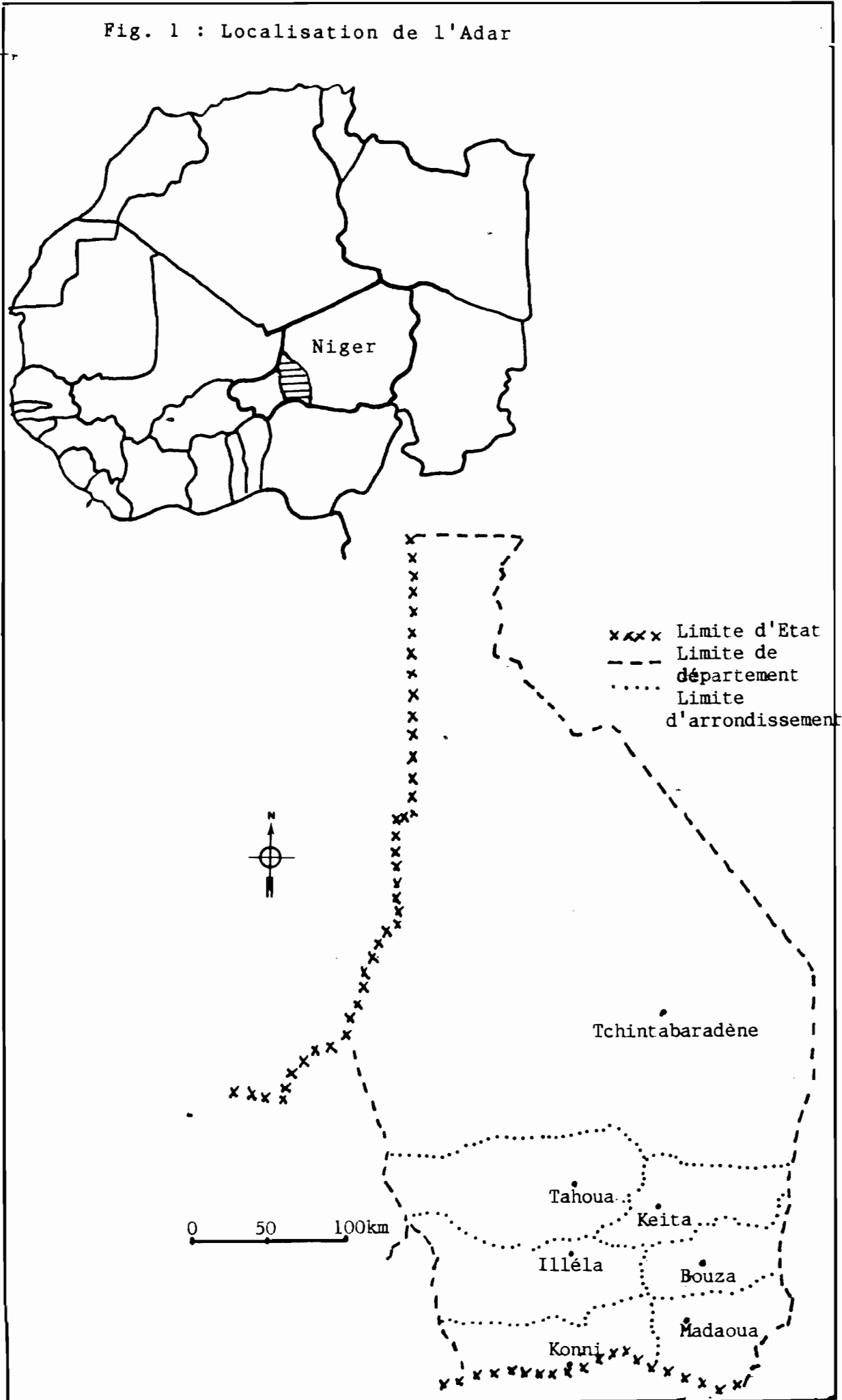
La désertification est le développement de paysage de type désertique dans des endroits qui étaient précédemment couverts d'une certaine végétation. Les facteurs sont, d'une part, d'ordre naturel, en ce sens que l'aridification du climat joue un rôle. D'autre part, la dégradation actuelle est accentuée par l'intervention de l'homme qui, pour satisfaire certes des besoins impérieux, détruit la végétation. Aussi dans certaines situations, le bois constitue la seule source d'énergie mais aussi de revenus.

En définitive, l'érosion et la désertification, phénomènes naturels, sont accentués par les activités humaines. Ainsi liés, ils sont et demeurent deux fléaux qu'il faut combattre à cause des conséquences économiques graves - insécurité alimentaire quasi permanente - qu'ils engendrent. D'autant plus que les pays où sévissent ces fléaux sont des pays sous-développés, à économie marginalisée et dépendante.

Dans notre région d'étude, la désertification ou le désert sont appelés "Hamada", mot emprunté probablement de l'arabe. Il n'existe pas de terme approprié pour désigner l'érosion, malgré les dégâts causés et tout le système de défense mis en place pour en venir à bout. On peut se contenter de quelques processus : "Kuararo" ou "Zururu" qui désignent le processus du ravinement, et "Malala" la mobilité des dunes. Malgré l'absence d'une définition appropriée de l'érosion il n'en demeure pas moins que les populations sont conscientes de la gravité de ce phénomène qui a des conséquences néfastes sur leur vie.

Après avoir défini l'érosion et montré ses liens avec la désertification, nous nous proposons d'étudier cette

Fig. 1 : Localisation de l'Adar



érosion en essayant de voir tous les facteurs : naturels et anthropiques, car nous croyons, avec Tricart (1953) que "toute géomorphologie concrète doit se préoccuper de préciser l'influence de l'homme sur le système d'érosion". Autrement dit, quelles sont les incidences de l'action de l'homme sur l'écosystème.

2 - LE CHOIX DE LA REGION

L'Adar est une région située au contact de la zone saharienne (Fig. 1). Il règne un climat difficile par la nature des précipitations faibles (300 à 400 mm) et capricieuses, des températures élevées, lesquelles se conjuguent aux effets du vent pour provoquer une évaporation intense. Situé en bordure d'un bassin sédimentaire, l'Adar est aussi un plateau recouvert d'une cuirasse ferrugineuse impropre à la culture et entaillé par quatre vallées principales : Majiya, Badaguichiri, Keita, Tadiss (Fig. 2). C'est dans ces vallées que se regroupe la quasi totalité de la population à vocation agro-pastorale. Cette population a un taux de croissance démographique plus élevé (3 %) que le taux moyen de la République du Niger (2,7 %). De ce fait, c'est une région qui, outre les contraintes naturelles, est surchargée, ce qui entraîne un déséquilibre écologique.

Aussi l'importante dégradation du milieu causée par l'homme et le climat nous a poussé à choisir cette région. Nous avons en fait choisi la vallée de Keita pour plusieurs raisons : parce qu'elle est d'un accès facile, mais aussi parce que des travaux de conservation de l'eau et des sols et de défense et restauration des sols (CES/DRS) sont effectués dans la région. A propos de CES/DRS il convient d'en rappeler l'historique.

Depuis des millénaires la dégradation des terres a préoccupé les paysans. Ceux-ci ont développé des méthodes antiérosives : alignements de pierres chez les Adarawa au Niger, les Dogons au Mali et au Burkina Faso ; les terrasses

de culture en Méditerranée... Ce n'est que récemment que le problème a été repris au plan scientifique : Tricart (1978), Roose (1988). Ainsi "plusieurs stratégies modernes de lutte antiérosive se sont développées :

- la RTM (la restauration des terrains en montagne) développée en France à partir de 1850, puis dans les montagnes de l'Europe pour protéger les plaines fertiles.
- La CES (la conservation de l'eau et des sols cultivés) qui s'est organisée aux USA d'Amérique dans les années 1930 sous les effets de la crise économique qui a fait prendre conscience aux américains de la dévastation d'une grande partie de leurs terres.
- La DRS (la défense et restauration des sols) développée en Algérie, et puis dans le Bassin méditerranéen vers les années 1940-60. Il s'agissait de mettre en défens les terres dégradées par le surpâturage et le défrichement et de restaurer leur potentiel d'infiltration par l'arbre, considéré comme le moyen le plus sûr d'améliorer le sol.
- La GCES (la gestion conservatoire des eaux et des sols) nouvelle stratégie qui a vu le jour après le constat d'échec des démarches d'équipement menées trop rapidement sans tenir compte de l'avis des populations", Roose (1988). Notre conception de développement est effectivement de tenir compte des méthodes traditionnelles, alors que jusque là les différents intervenants en ont fait table rase. La conséquence est trop souvent l'échec. Rappelons à cet effet les réseaux de banquettes dégradées de Badaguichiri (région de Tahoua). Aussi tenir compte des avis et des méthodes des populations, c'est faire d'elles non plus d'éternelles assistées mais des responsables, Bouzou (1988).

Aussi notre étude porte non seulement sur l'érosion et sur l'amélioration des méthodes traditionnelles, mais aussi sur l'efficacité des méthodes mécaniques modernes.

Nous avons donc installé une station d'observations à Kounkouzout, village situé à 40 km à l'Est de Tahoua (Fig. 2), et qui a donné son nom à une branche de la vallée de Keita. Kounkouzout est déjà connu du milieu scientifique par les travaux effectués par les hydrologues de l'ORSTOM de 1965 à 1968 et de 1986 à 1987.

3 - LE CHOIX DE LA METHODE

Notre étude vise à connaître et à comprendre les phénomènes d'érosion hydrique et à réfléchir sur les remèdes à apporter. Le choix de la méthode est fonction de ce but.

Il s'agit de mesures - directes et indirectes - effectuées quatre années durant. Les mesures directes concernent la quantification de l'érosion hydrique. Nous avons choisi deux méthodes : celle des repères en vue de suivre l'évolution des ravines (étude globale) et celle des parcelles expérimentales qui nous a permis de quantifier les pertes en terre de ces parcelles. Enfin, mesure indirecte, l'érosion anthropique étant difficilement quantifiable, nous avons mené des enquêtes afin de retracer l'histoire de l'occupation des sols et des méthodes culturales.

Les résultats que nous présentons sont le fruit des quatre années d'observations ! Nous l'avons présenté en deux grandes parties.

La première partie, divisée en deux chapitres, traite des facteurs de l'érosion. Dans le premier chapitre il est question des caractéristiques physiques de la région. Il s'agit de l'étude du matériel géologique, des formes et du modelé. Le deuxième chapitre traite des conditions climatiques. Nous avons défini dans ce chapitre le climat à partir des caractéristiques de ses principaux éléments. Ce chapitre traite aussi des facteurs humains, des animaux, de la végétation et de sa dynamique.

PREMIERE PARTIE

LES FACTEURS DE L'EROSION

La deuxième partie présente les phénomènes d'érosion. Le premier chapitre étudie les différents processus et leurs interactions. Dans le deuxième chapitre, l'étude quantitative nous a permis de comprendre et de quantifier cette érosion. Le troisième chapitre aborde le problème de la lutte anti-érosive dans l'Adar. Nous avons recensé et porté un jugement sur les méthodes traditionnelles et modernes pour pouvoir en définitive proposer une politique d'aménagements des terroirs.

Enfin, en conclusion générale, nous avons dégagé les enseignements tirés de cette étude.

Le but de cette étude est de présenter le milieu physique et humain. Cette partie a été divisée en deux chapitres :

- Chapitre I : Les données du relief et de la structure.

Parce que l'érosion s'attaque au matériel rocheux et aux sols, nous présentons en premier lieu les caractéristiques physiques de la région ; étude de détail qui nous permet d'évoquer l'évolution géologique et des formes de la région, en vue de comprendre les processus qui ont façonné le paysage actuel et partant, comprendre les conditions de l'évolution actuelle. Cette étude s'intéresse plus particulièrement aux versants qui présentent le plus grand intérêt d'étude du fait de leur évolution ancienne et actuelle, et parce que ce sont les plus menacés. Mais aussi, parce que l'étude sur l'érosion n'étant pas uniquement une étude fondamentale, elle doit déboucher sur des applications.

- Chapitre II : Les conditions bioclimatiques.

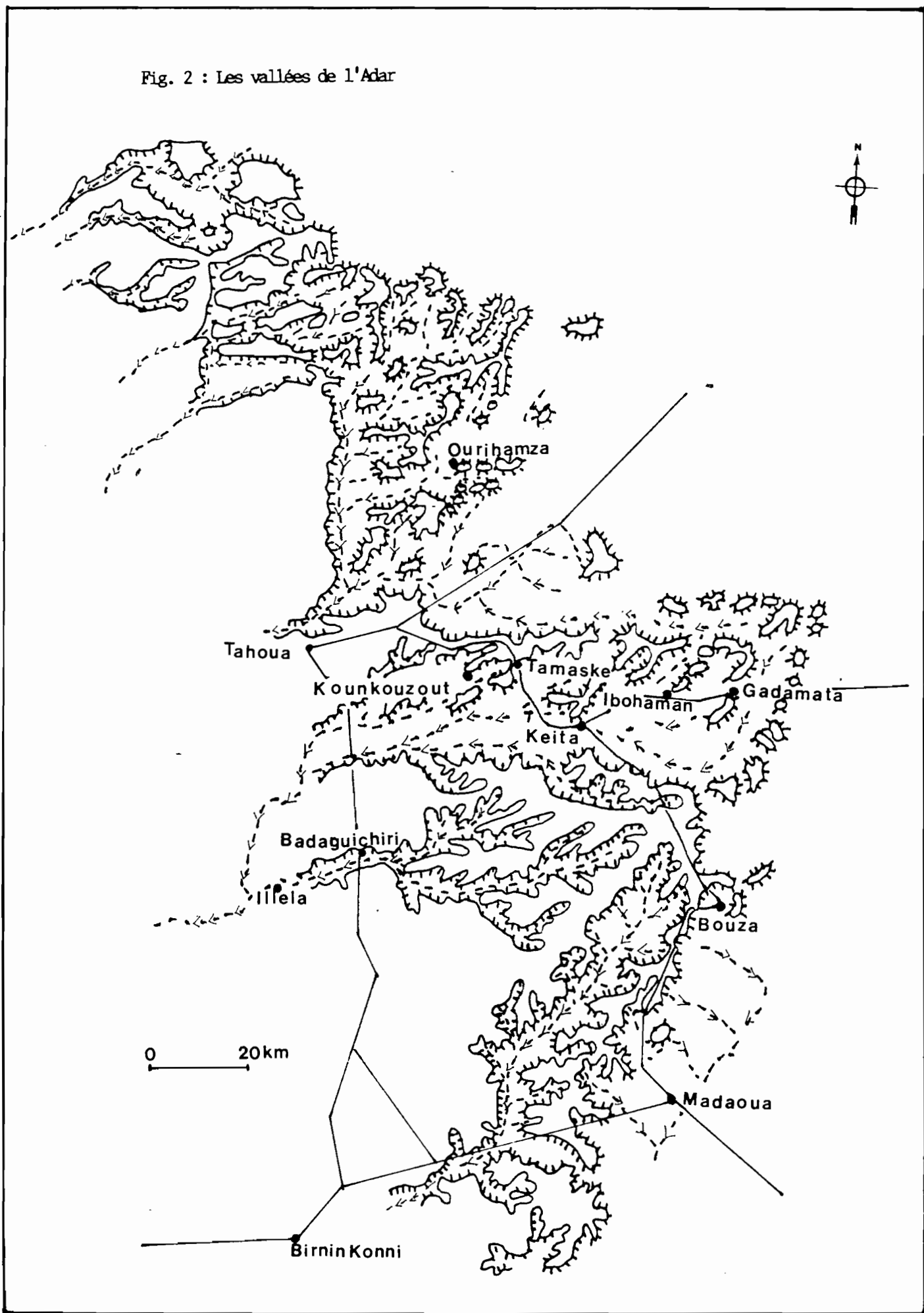
Ce chapitre est composé de quatre grandes parties : le climat, la végétation, les animaux et l'homme.

Une étude détaillée du climat, surtout des précipitations, a été faite afin de mieux appréhender l'érosion hydrique.

L'étude de la végétation est aussi descriptive. Un bref aperçu sur son évolution nous permet de voir son état actuel.

Enfin, la dernière partie traite de l'impact des animaux et de l'homme sur le milieu.

Fig. 2 : Les vallées de l'Adar



CHAPITRE I

LES DONNEES DU RELIEF ET DE LA STRUCTURE

L'Adar est situé au Niger dans le bassin des Iulliminden, "terme créé par Radier en 1931 par référence à une tribu Touareg de ce nom", Dubois (1984).

La vallée que nous étudions (Fig. 2) - vallée de Keita - est située entre les parallèles 14°35' et 14°59' Nord. Son bassin versant, plateau y compris, est de 3021 km², alors que la vallée couvre 2693 km². Elle est délimitée au Nord par le bassin de la vallée de Tadiss, à l'Est par les bassins d'affluents de rive droite du Goulbi (rivière) de Tarka, au Sud par le bassin de la vallée de Badaguichiri et à l'Ouest par la route Tahoua-Illéla. D'une longueur de 140 km de son amont à la confluence avec la vallée de Badaguichiri, elle présente une orientation générale Est-Ouest, quoique la partie amont, notamment la vallée de Gadamata ait une orientation NNE-SSW. L'ensemble du réseau hydrographique est formé de la vallée de Keita proprement dite et de ses affluents. On peut la subdiviser en trois parties principales, Sogetha (1965) :

- la haute vallée, Fararrat-Gadamata, d'une longueur de 57 km et 913 km² de superficie. La largeur du lit varie de 200 m à 2 km. La pente longitudinale est élevée, variant entre 1 à 5 % (la valeur moyenne est de 3 %) ;
- la moyenne vallée, Ibohamane-Jeji-Adouna, d'une longueur de 35 km. La pente longitudinale est de 1,25 % ;
- la basse vallée, Adouna-Mogar, d'une longueur de 35 km.

L'observation de la carte topographique montre la densité du réseau hydrographique, organisé, hiérarchisé, dendritique.

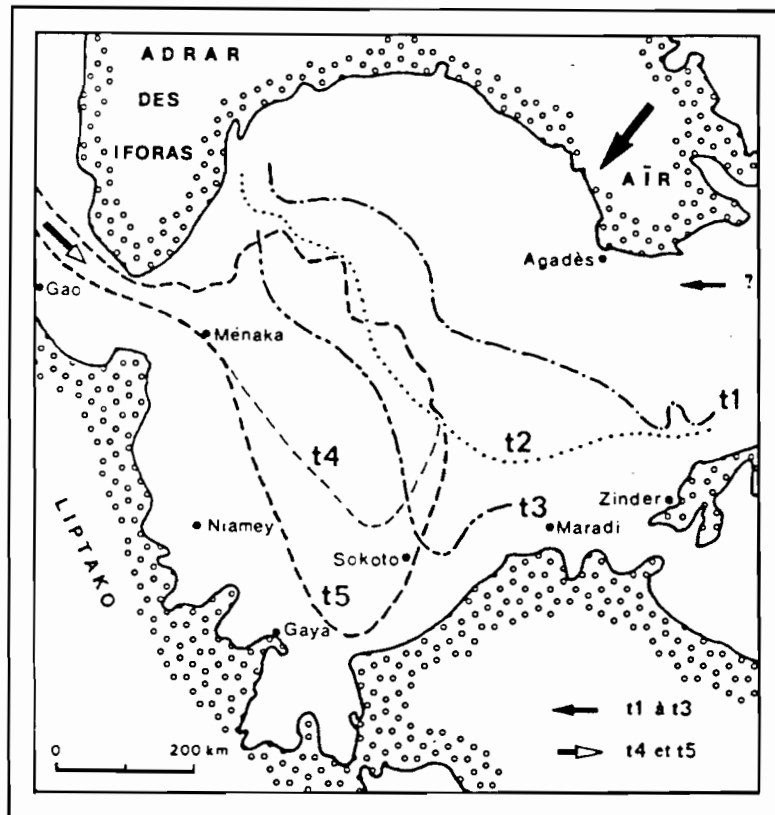


Fig. 3 : Les transgressions marines post-paléozoïques dans le bassin des Iullemeden (d'après Greigert, 1966, et Petters, 1977).

- t1 : transgression du Cénomanién supérieur à Neolobites ;
- t2 : transgression du Turonien inférieur à Neolobites et Nigeceras ;
- t3 : transgression du Maestrichtien à Libycoceras ;
- t4 : transgression du Dano-Montien à Libycoceras ;
- t5 : transgression du Paléocène supérieur.

La géologie de cette région est celle d'un bassin sédimentaire. Plusieurs transgressions marines et des épisodes continentaux ont caractérisé la sédimentation de ce bassin qui s'étale du Paléozoïque jusqu'au Cénozoïque. Cette période a aussi été marquée par de nombreuses surrections et des phases d'érosion qui sont à l'origine du réseau hydrographique. Malgré la diversité des roches, le paysage reste monotone du fait de la forme tabulaire du plateau recouvert par une cuirasse ferrugineuse.

1 - LA MISE EN PLACE DE L'ENSEMBLE

Afin de mieux connaître les caractéristiques physiques de la région étudiée, nous allons faire un rappel de l'histoire géologique du Bassin des Iulliminden et présenter succinctement quelques phénomènes Quaternaires.

1.1. Sédimentation et tectonique

D'après plusieurs auteurs, Kilian (1931), Greigert (1966), Petters (1977), l'histoire géologique du bassin des Iulliminden est marquée par des périodes de transgressions marines et des épisodes continentaux. Ces transgressions marines, cinq au total (Fig. 3), ont débuté au Cénomanién supérieur et se sont poursuivies jusqu'au Paléocène supérieur. La première transgression repose en discordance sur le Continental intercalaire qui est un ensemble détritique, constitué de grés, d'argiles et de grés argileux, car déjà au Paléozoïque, le Golfe Mésogéen existe à l'Est de l'Aïr, ce qui permet les trois premières transgressions marines qui proviennent du Nord-Est et probablement de l'Est. Avec la surrection de l'Aïr tardi-maestrichtienne, cette communication est fermée, mais l'effondrement du détroit de Gao ouvre la voie aux deux dernières transgressions.

La période allant du Cénomanién supérieur au Paléocène inférieur est caractérisée au centre du bassin par une alternance d'épisodes franchement marins et de dépôts sub-

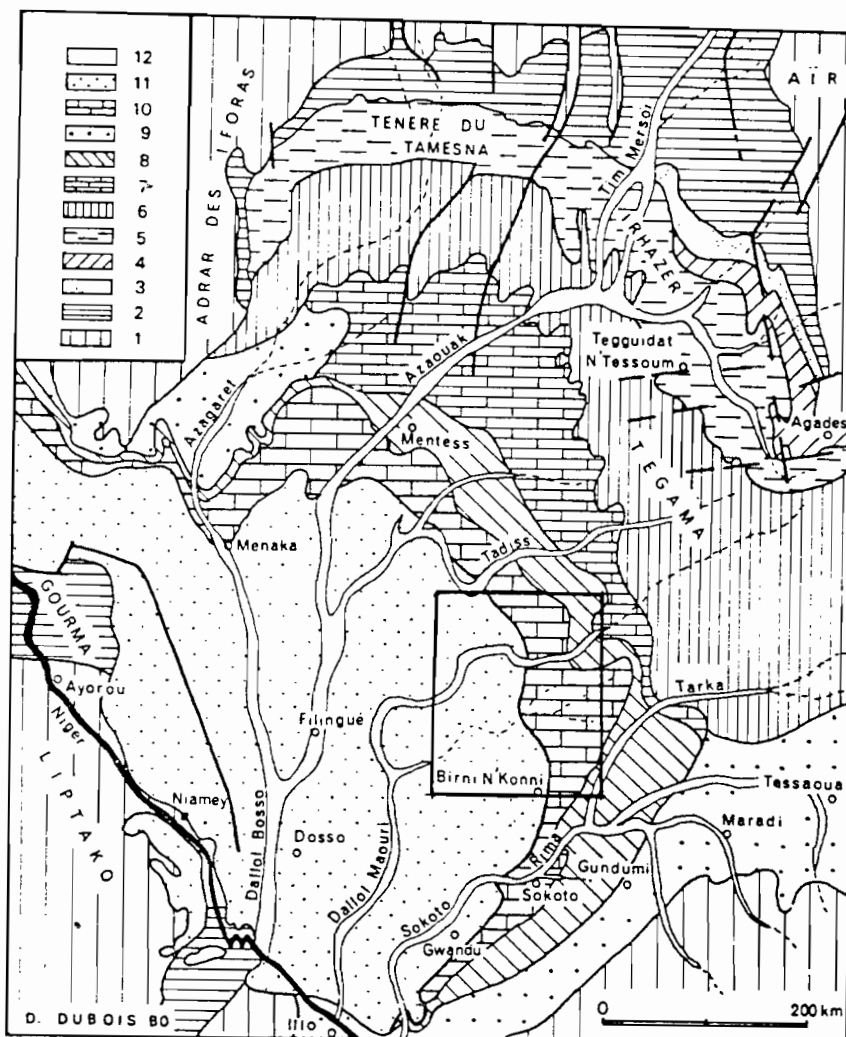


Fig. 4 : Géologie du bassin des Iullemeden (d'après Greigert Pougnet, 1965, et Dubois, 1979).

1 : Précambérien ; 2 : Cambrien-Carbonifère ; 3 : Permien ;
 4 : Trias-Jurassique ; 5 : Wealdien ; 6 : Albien-Cénomaniens
 inférieur ; 7 : Cénomaniens supérieur-Sénonien moyen ;
 8 : Sénonien supérieur ; 9 : Continental hamadien ;
 10 : Paléocène-Eocène ; 11 : Continental terminal ;
 12 : alluvions quaternaires.

En médaillon localisation de l'Adar.

continentaux (prédominance de calcaire et marne) alors que sur les bordures Nord-Ouest et Sud se dépose un faciès constitué de grès que Greigert (1966) identifie au Continental Hamadien, Dubois (1984).

Au Cénozoïque la sédimentation est à dominante chimique. Une forte altération se produit. Du démantèlement du manteau d'altération formé résulte un épandage détritique essentiellement gréseux dans lequel les minéraux de fer oolithiques sont interstratifiés. Sur ces minéraux oolithiques repose le Continental terminal qui lui est Post-éocène, Dubois (1984). Il s'agit de grès fins à grossiers, argileux avec des niveaux oolithiques ferrugineux interstratifiés.

La surrection de l'Air et l'effondrement du détroit de Gao ont permis la pénétration des mers plus au Sud et l'abaissement des couches vers le Sud-Ouest. Les mouvements verticaux se sont poursuivis vers le Sud ce qui a facilité la pénétration des mers plus profondément dans le bassin. Ces surrections débutées au Paléozoïque se sont prolongées jusqu'au Cénozoïque. Elles ont entraîné d'une part les plissements des dépôts secondaires et tertiaires et d'autre part ont déterminé des périodes d'érosion. Celle de la fin du Cénozoïque se poursuit encore aujourd'hui, Greigert (1967).

L'observation de la carte de Hanon (1984) montre une multitude de failles probables, les failles certaines sont rares. Ceci est certainement dû aux rejets qui sont très insignifiants. Cependant la carte de Greigert (1965) pour l'ensemble du bassin des Iulliminden (Fig. 4) montre quelques failles certaines. Les directions principales sont NNE-SSW, mais il existe par ailleurs d'autres directions notamment WSW-ENE à l'Ouest de l'Air et NW-SE à l'Ouest du Bassin des Iulliminden.

Les épisodes de sédimentation et la tectonique expliquent la nature du milieu.

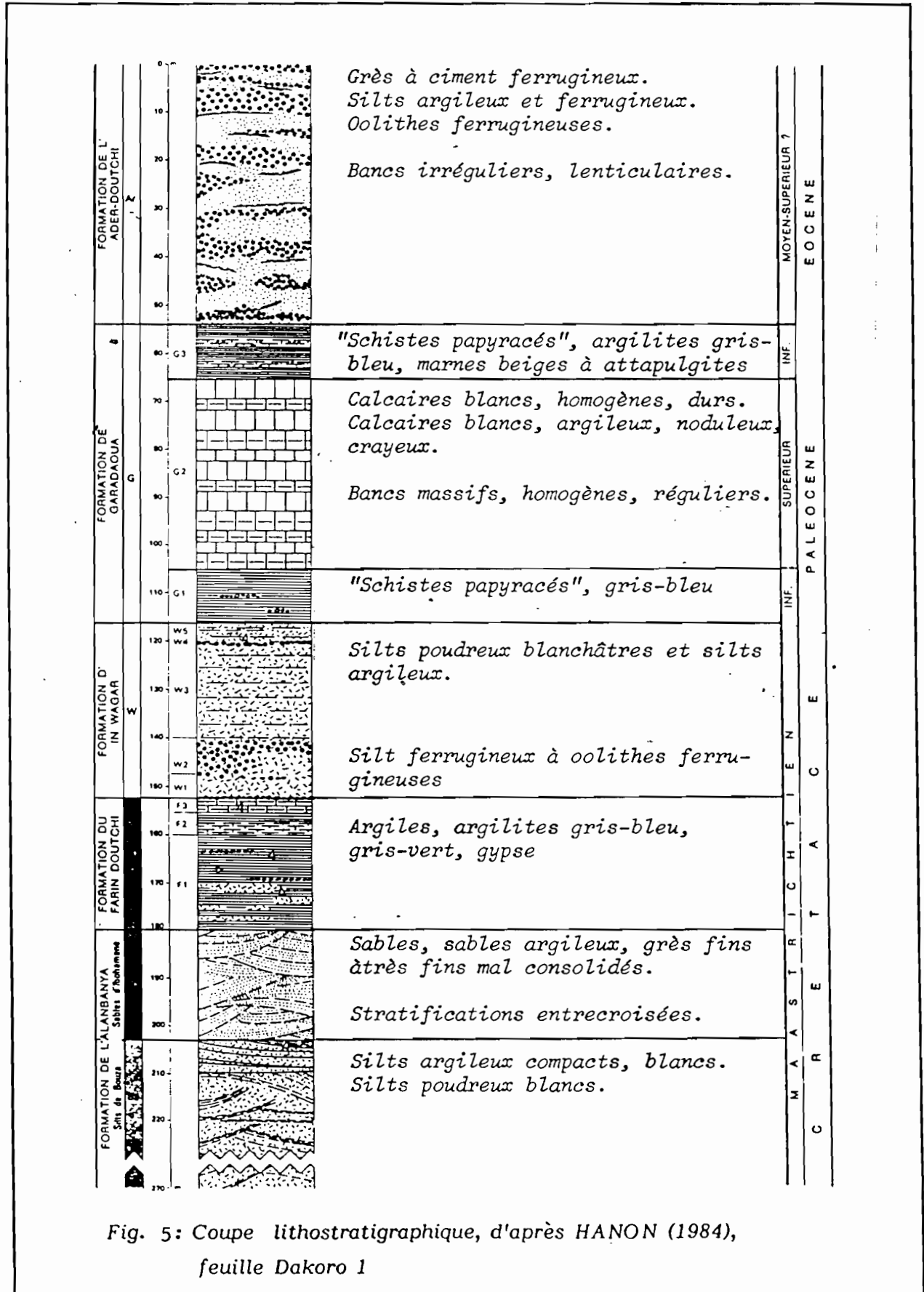


Fig. 5: Coupe lithostratigraphique, d'après HANON (1984),
feuille Dakoro 1

1.2. Le matériel rocheux

Le matériel rocheux est constitué essentiellement de roches non consolidées, dû à la tectonique, aux glissements qui ont affecté les versants, à l'altération. Ceci explique la vulnérabilité de ces roches aux processus d'érosion.

La coupe lithostratigraphique de Hanon (1984) (Fig. 5) montre une diversité de roches qu'on peut classer en deux catégories : les roches cohérentes et les roches meubles. Du sommet (surface du plateau) à la base, on distingue :

- Un ensemble de grés ferrugineux, des argiles kaoliniques ferruginisées, des sables, des amas d'oolithes, de goethite, des niveaux de fer à structure oolithique ou pisolithique. Cet ensemble forme les crêtes des versants, c'est dire donc qu'il est assez résistant.
- Des schistes papyracés, des marnes peu épais d'une dizaine de mètres, qui prennent en "sandwich" des calcaires blancs, massifs, homogènes, durs, dont l'épaisseur peut atteindre 40 m. De cet ensemble, seuls les calcaires sont résistants. Les schistes sont sujets à d'intenses ravine-ments.
- Enfin un ensemble de silts, d'argiles et de sables d'une épaisseur de plus de cent mètres. C'est sur ce matériel que sont formés les "bad-lands".

Au total c'est dire que la nature des matériaux tendres (argiles, argilites, silts, sables) et solubles (calcaires et gypses) a non seulement facilité le creusement et l'enfoncement des vallées, mais aussi favorise actuellement les actions érosives des éléments du climat (eau - vent). Les variations de ces climats au Quaternaire ont engendré des types de morphogénèse particulière dont on retrouve les traces dans le paysage.

1.3. Les phénomènes quaternaires

Nous nous contentons ici d'étudier l'apparition du réseau hydrographique et les formes et formations héritées (cuirasse, glacis, terrasses), les versants rocheux, les sols et formations éoliennes ayant fait l'objet d'une étude à part (Cf. chapitre I : 2.2 et 2.3).

1.3.1. L'apparition du réseau hydrographique

L'examen de la carte géologique du Bassin des Iulliminden de Greigert (1965) montre que le réseau hydrographique présente des directions privilégiées, Nord-Sud et Nord-Est-Sud-Ouest. D'après Greigert (1965) ces directions correspondent aux directions tectoniques de la phase birrimienne du Gourma et à celle du Sugarrien du Hoggar. En fait, dans les détails, notamment en ce qui concerne les vallées de l'Adar, la direction principale est Est-Ouest, exceptée la Majiya qui obéit à cette orientation privilégiée Nord-Est - Sud-Ouest. Si le réseau hydrographique présente ces directions privilégiées c'est parce que dans l'ensemble les couches s'abaissent dans la même direction (SW). En effet "la haute surface est affectée d'une pente voisine de 2 % vers le SW due aux mouvements tectorogéniques intervenant à la fin du Cénozoïque ou au début du Quaternaire", Dubois (1984).

Ainsi l'apparition du réseau hydrographique est due à la combinaison des actions d'un système morphogénétique dynamique, de la tectonique qui a préparé le matériel.

1.3.2. Formes et formations héritées

L'étude des paléofformes a son intérêt dans le fait qu'elle met en évidence des processus qui ne sont plus actuels. Cette étude nous fait connaître les grandes crises climatiques du Quaternaire qui se sont succédées chacune avec ses types de formes appropriées, élaborées par des

modalités d'érosion fort différentes. Ces paléoformes nous renseignent en un mot sur la longue évolution qu'a subie cette région.

Pour expliquer le paysage actuel il faut faire appel aux paléoclimats. Il faut de prime abord faire appel à la tectonique qui, malgré l'inexistence manifeste de son influence sur le relief, a certainement préparé le terrain aux autres facteurs d'érosion.

Les précipitations étaient certainement plus fortes que celles d'aujourd'hui. Elles ont permis une pédogenèse dont le témoin est la cuirasse. Dans le processus du creusement des vallées, le ruissellement a surtout profité de l'altération des roches qui, il faut le rappeler, est très profonde. Les conditions actuelles ne peuvent expliquer une si profonde altération car dans l'ensemble, sur aucun versant, la roche saine n'apparaît.

Les précipitations et les températures ont aussi provoqué la fissuration de la cuirasse. Enfin c'est sous des climats plus humides (saison des pluies plus longue que celle qui prévaut actuellement) que les systèmes morphogénétiques efficaces (altération intense, dissection, transport) ont permis la formation des glacis et des terrasses.

Nous ne retiendrons de cette étude sur les formes et formations héritées que les éléments qui expliquent l'érosion.

a) - La cuirasse ferrugineuse

Les cuirasses sont des couches indurées de matériaux riches en fer. Elles sont liées essentiellement à une topographie horizontale ou subhorizontale : Plateaux et plaines, terrasses alluviales, replats : secteurs favorables à l'accumulation des sesquioxides par migrations verticales et

obliques. Leur origine est surtout liée à l'altération des roches. Le durcissement des oxydes de fer se produit lorsque les matériaux où ils sont concentrés sont exposés et desséchés. Ainsi le climat actuel du Niger ne convient pas à la formation des cuirasses. Mais ce phénomène peut se produire dans des régions très humides à saisons alternées.

Dans l'Adar on observe plusieurs types de cuirasses :

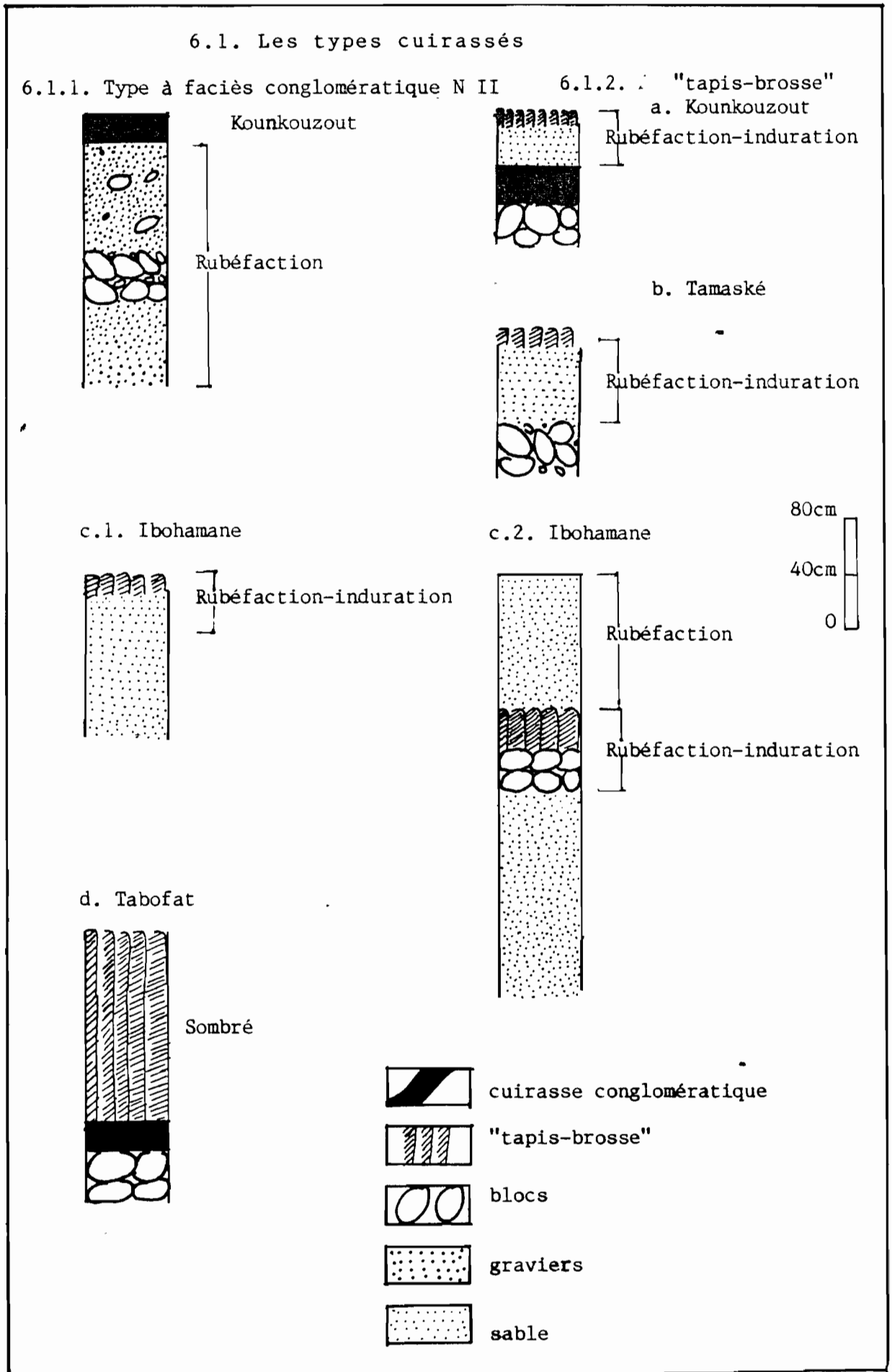
- A la surface du plateau une cuirasse démantelée présentant le plus souvent des bioturbations.
- Les niveaux oolithiques dans les couches rocheuses, exemple du niveau oolithique dans les silts de la Formation d'Inwagar (Fig. 5).
- Un type conglomératique sur les glacis-terrasses.
- Toujours sur les glacis-terrasses on observe le type tapis-brosse.

La cuirasse joue un rôle morphologique important dans cette région car les surfaces qui en sont recouvertes sont sujettes à un ruissellement intense qui provoque la dégradation des sols de culture situés en contrebas.

b) - Les glacis et les terrasses

Les vallées de l'Adar étant assez larges, glacis et terrasses y sont bien développés. Nous adopterons la terminologie niveau I, II (N I, N II...) pour désigner ces formes superposées.

Fig. 6 : Coupes dans les glacis-terrasses



Il est possible de distinguer d'un point de vue topographique, généralement trois ensembles (le troisième est mal conservé) bien distincts. Ces trois ensembles, de par leur position topographique (grandes surfaces inclinées), fonctionnent actuellement comme des glacis. Toutefois ils ont pu être à leur origine des terrasses. Nous distinguons :

- le Niveau I ou Niveau Supérieur : Niveau mal conservé,
- le Niveau II ou Niveau Moyen, cuirassé,
- le Niveau III ou Niveau Inférieur, constitué de deux types : un type cuirassé et un type non cuirassé.

Nous faisons la description morphologique de ces glacis en distinguant : les types cuirassés et les types non cuirassés.

b.1. Les types cuirassés (Fig. 6 : 1)

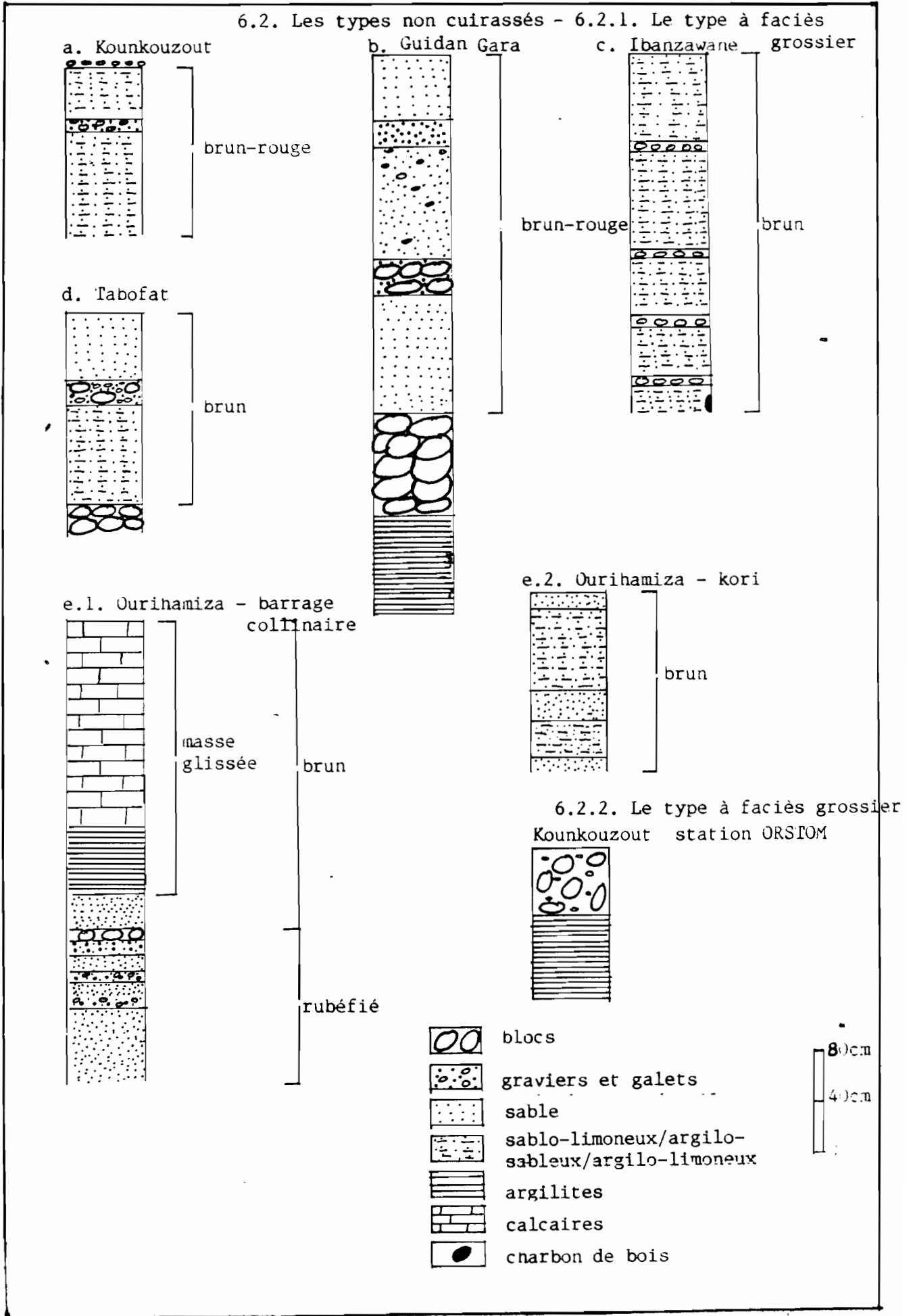
b.1.1. Le type conglomératique : N II

Ce glacis est mieux développé en amont des vallées. D'une grande extension, il peut occuper plusieurs centaines de mètres de long et de large. Compte tenu de l'altitude, ce glacis repose sur différentes roches.

En amont des vallées de Keita (Tabofat, Gadamata, Ibohamane), de la Majiya (Garadoumé), d'Insafari (Karkamat, Labanda) ce glacis repose sur les silts de Bouza.

Vers Ourihamiza - Inadougoum (Nord Tahoua) il repose sur les silts de la Formation d'Inwagar. Il est couvert de matériaux alluviaux constitués essentiellement de gros blocs, de galets et de graviers. Sur ces matériaux repose une cuirasse épaisse de 50 à 60 cm, présentant des nodules en géodes provenant de la destruction des tubulures.

Fig. 6 : Coupes dans les glacis-terrasses



b.1.2. Le type conglomératique : Niveau III

On l'observe le long des koris. Le matériel de ce niveau est essentiellement graveleux ou constitué de bloc (Fig. 6.1.1). L'épaisseur de ce niveau varie de un à un mètre cinquante. Son extension peut aussi varier de quelques mètres carrés quand il est enseveli de placage éolien, à des centaines de mètres carrés. La végétation sur ce niveau est rare.

Les Niveaux cuirassés sont bien conservés. Les ruisselements sur ces niveaux sont en nappe. Les formes d'érosion n'apparaissent ici que sur les parties où s'est développée la cuirasse "tapis-brosse" qui est très fragile.

b.2. Les types non cuirassés (Fig. 6 : 2)

Il faut distinguer deux types : le type à dépôts fins et le type à dépôts grossiers. Des coupes nous montrent les caractéristiques de chaque type. Ce sont des glacis d'épannage dont le matériel provient :

- . pour le type à dépôts fins, des sables éoliens remaniés, probablement des formations meubles (silts et sables) ;
- . pour le type à dépôts grossiers, essentiellement d'éléments des grés ferrugineux qui le protègent du ravinement.

Le type à dépôts fins qui est sujet à une érosion de forte intensité, compte tenu de la topographie, du matériel et de l'utilisation qu'en fait l'homme, c'est en effet ce glacis qui porte les sols de culture.

Après cette étude qui nous permet de comprendre l'importance des processus qui sont à l'origine de ce paysage, nous présentons les grands ensembles morphodynamiques.

2 - LES GRANDS ENSEMBLES MORPHODYNAMIQUES

Nous distinguons trois principales unités : la surface du plateau qui constitue un vaste impluvium, les versants rocheux dont les entailles concentrent les eaux de ruissellement et les formes et formations actuelles (sols et formes liés à l'action du vent).

2.1. La surface du plateau

C'est une surface d'érosion formée par le démantèlement de la cuirasse protectrice. Ainsi apparaissent çà et là des lambeaux de cette cuirasse et les formations gréseuses. En des périodes très humides, actions chimiques et mécaniques se sont combinées et ont entraîné le décapage de la cuirasse.

On observe deux types de formes à la surface du plateau. Les chicots qui peuvent avoir plusieurs mètres de haut et qui sont des formes résiduelles, les dépressions de types différents. Le premier type est formé par décapage de la cuirasse et des grès. L'autre type de dépression qui s'observe le plus souvent en bordure du plateau rappelle des formes karstiques ; mais ce phénomène semble n'affecter que les grès et n'est développé que dans la vallée de Badaguichiri (Tchiguili) et dans la Majiya vers Bouza. Partout ailleurs ne se sont développées que des cuvettes en bordure des versants de glissements. En attendant d'autres investigations et dans la mesure où ces formes ressemblent à des formes karstiques, nous parlerons de pseudo-karst dans les grès - parce qu'apparemment ce sont les grès qui sont seuls affectés. Ces dépressions géantes et profondes se sont probablement formées par soutirage de la matière fine et effondrement des dalles de grès. Ceci est dû à la présence de silts au contact de la formation gréseuse et des argilites recouvrant le calcaire du Paléocène.

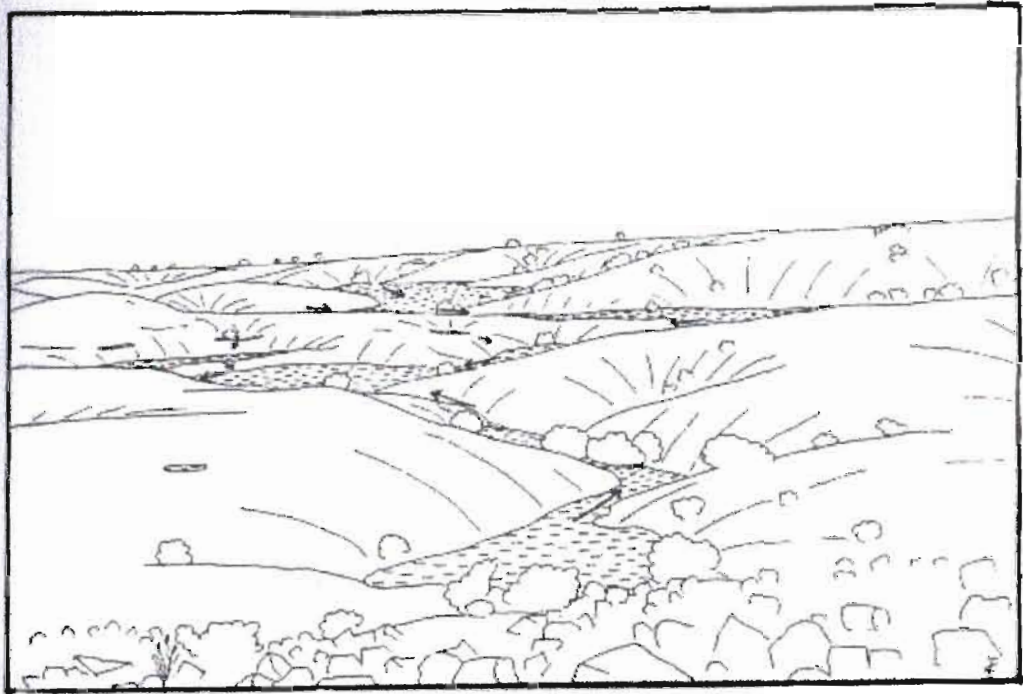


Fig. 7 : Pseudo-dolines ("Kadandamu") étagées à Tchiguili



Planche 1 : Ouvala (Tchiguili- Vallée de Badagnichiri)

L'autre hypothèse est que la présence du calcaire aurait entraîné l'effondrement par dissolution. IBOURAIMA Safiri (1983) a fait les mêmes observations plus au Sud dans la Majiya. A ces formes nous donnerons le nom de "kadandamé" (singulier), "kadandamou" (pluriel) ; c'est ainsi qu'on les qualifie dans la région, dans la langue Haoussa, parce qu'ils sont plus que de simples trous. Dans ces formes type "kadandamé" on distingue :

- . des pseudo-dolines, d'une dizaine à une quarantaine de mètres de diamètre, de formes arrondies, carrées, rectangulaires et de profondeur variant de un à six mètres (fig. 7) ;

- . des ouvalas très larges de plusieurs centaines de mètres.

Ces "kadandamou" sont généralement cultivés. Par ailleurs, des dunes recouvrent çà et là la surface du plateau.

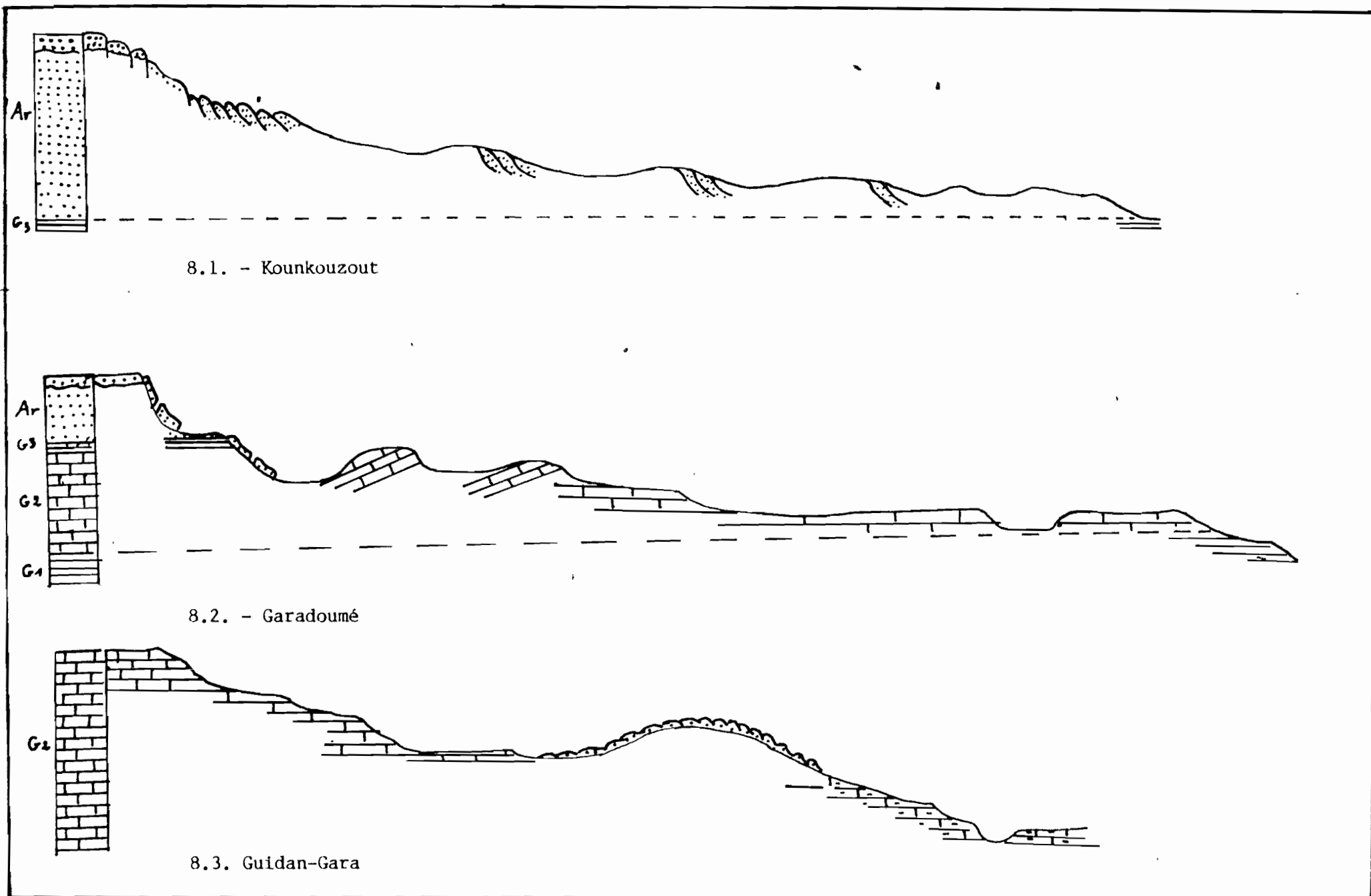
Enfin l'autre caractéristique du plateau est que si en aval des vallées sa surface est plus large, il est par contre démantelé en amont et se limite souvent à de buttes témoins ou avant buttes, preuve d'une paléoérosion d'intensité forte.

Au total, la caractéristique essentielle de la surface du plateau est la présence de la cuirasse et/ou des grès ferrugineux qui, en l'imperméabilisant, le transforment en un vaste impluvium. Cette caractéristique a une grande conséquence (ravinement) sur les versants.

2.2. Les versants et leur modelé

Un des problèmes morphologiques, les plus importants que nous allons évoquer, est celui des versants et de leur modelé. Nous nous pencherons exclusivement sur le cas des versants rocheux, les versants tendus c'est-à-dire les glacis et les terrasses ayant déjà été évoqués.

Fig. 8 : Profils schématiques des versants de l'Adar



Il faut signaler que ces versants n'ont encore jamais été décrits alors que leur morphologie est frappante. Des versants du même type ont été décrits par Grunert et Busche (1980) dans le bassin du Mourzouk et du Mangueni.

D'une manière générale, les versants des buttes et des vallées du Bassin des Iulliminden ont comme caractéristiques communes :

- . une partie rectiligne à pente forte, une concavité basale et une couverture d'éboulis ferrugineux importante.
- . Des gradins d'érosion différentielle.

Les versants de l'Adar attirent l'attention parce que :

- . ils sont bosselés ;
- . ils présentent de larges replats et une convexité basale.
- . L'autre particularité des versants de l'Adar est leur hétérogénéité. Ceci est lié à l'alternance des affleurements des roches : roches rigides sur roches plastiques. Cette disposition a certainement permis en des périodes humides très reculées de grands mouvements de terrain, tels les glissements et les tassements qui expliquent la morphologie particulière des versants de l'Adar, P. Schoeneich et I. Bouzou (1987).

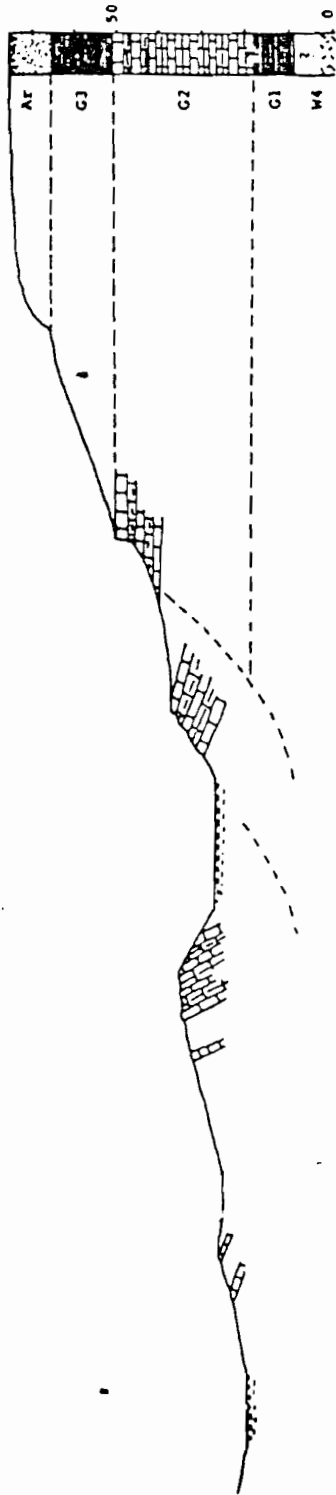
Plusieurs exemples nous permettront de voir les différents types de glissement. Ces exemples ont été pris non seulement dans la région étudiée mais aussi hors de cette région. Par ailleurs nous avons consacré une partie à l'étude du modelé de détail.

2.2.1. Les types de versants

On observe, selon le type de glissement, deux types de versants.

- Les versants de glissement par translation. Exemple du versant de Kounkouzout (Fig. 8:1) qui est entièrement recouvert de colluvions sauf à la base où apparaissent

8.4. - Gadamata



8.5. - Ourihamza



les marnes. Ce versant présente une succession de gradins bien marqués vers le sommet et de bourrelets constitués de blocs du grés de la formation de l'Adar Douthi. Les blocs de ces bourrelets plongent vers l'aval avec un pendage relativement fort. Ce type de glissement est provoqué par la disposition grés ferrugineux sur schistes et marnes, ces dernières formations ayant servi de surface de glissement.

- Les versants de glissement rotationnel : exemple du versant de Garadoumé dans la vallée de la Majiya (Fig. 8:2). Comme tous les autres versants, une corniche d'une dizaine de mètres à pente formée dans les grés de la formation de l'Adar Douthi. Après cette corniche on observe un replat d'une dizaine de mètres. Un second talus à pente très forte d'une quinzaine de mètres de commandement lui fait suite, lequel domine une large cuvette de 50 mètres de large. Les deux talus et le replat sont couverts de blocs de grés de la formation de l'Adar Douthi qui ont soliflué.

Le premier bourrelet calcaire qui vient tout juste après est au même niveau que le calcaire du replat (en-dessous des colluvions). Ce bourrelet calcaire paraît en place malgré une faible contrepente ; il est séparé du second par une cuvette d'une vingtaine de mètres. Seul ce second bourrelet est manifestement une masse glissée. Enfin, sur plus de 40 mètres, le calcaire s'étend, avec çà et là une couverture de blocs de grés et de cuvettes traduisant les "jeux" de l'érosion. Les argilistes - schistes et marnes - plissotées s'étendent elles aussi sur plusieurs centaines de mètres.

Deux types de mouvements expliquent la forme de ce versant. D'abord un tassement a affecté les grés qui reposent sur les argilites de l'Eocène inférieur. Le second mouvement s'est produit dans les calcaires. Les bourrelets à contre-pente de direction parallèle au bord de la falaise déterminent un glissement rotationnel.

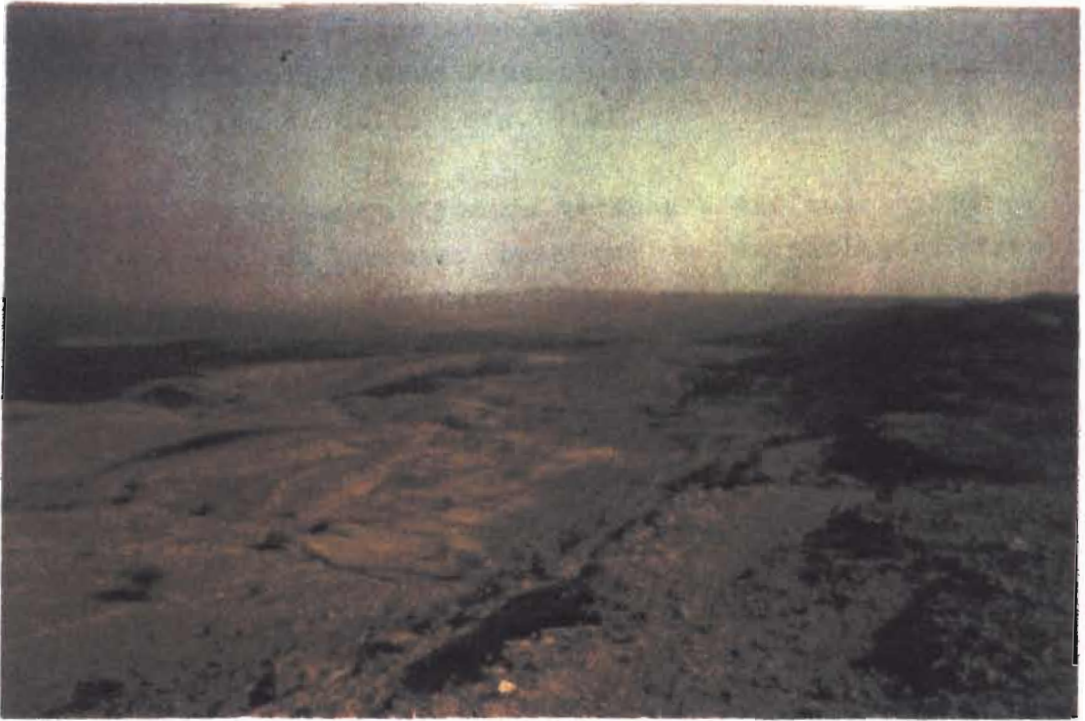


Planche 2 : Versant calcaire.



Planche 3 : Lapiez démantelés

D'autres cas complètent cet exemple choisi : versants de Ourihamiza (Nord Tahoua) (Fig. 8:4) et de Gadamata (Haute Vallée de Keita (Fig. 8:5).

- Un autre type de versant a été aussi observé. Il se démarque du premier type par sa morphologie. Exemple du versant de Guidan Gara (Fig. 8:3) près de la mare d'Adouna du côté Ouest. Ce versant présente une caractéristique particulière. Il est entièrement taillé dans les calcaires, accidenté par de larges replats structuraux d'une centaine de mètres. Ce sont les buttes situées en contrebas, notamment par leur forme bosselée, qui laissent supposer un éventuel mouvement de masse.

2.2.2. Le modelé

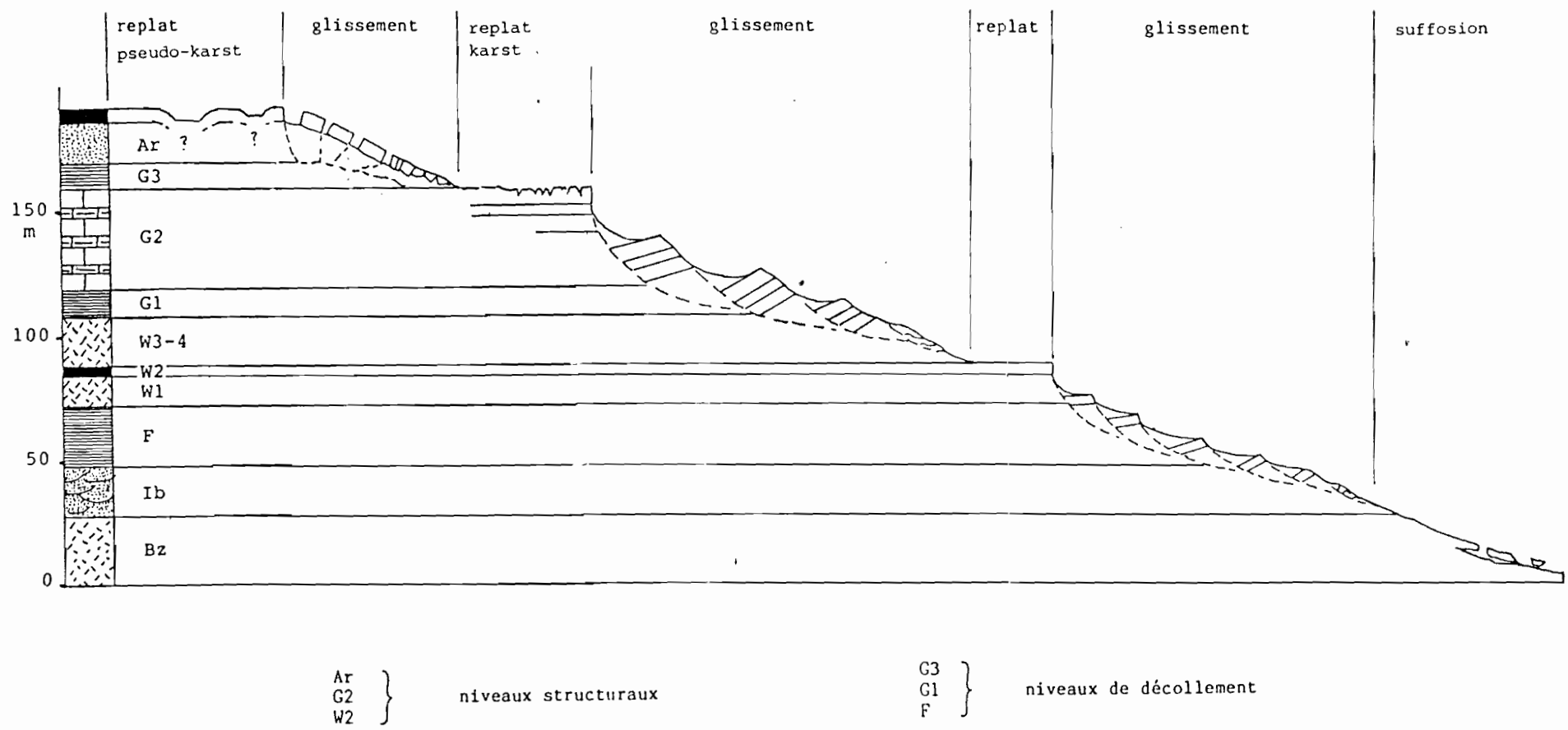
Les formes de détail qu'on observe sur les versants de l'Adar relèvent de l'érosion différentielle. Ce sont les larges replats et les formes de dissection.

a) - Les replats structuraux

Ce qui attire l'attention sur ces versants - sur photos aériennes comme sur le terrain - ce sont les gradins disposés en escalier. Ils sont généralement bien formés au sommet des versants où ils peuvent avoir plusieurs mètres de large sur 20 à 30 mètres de long. Ils sont taillés soit dans les colluvions (masse glissée) soit dans les calcaires. C'est dans ces dernières formations qu'ils sont le mieux développés. D'ailleurs ce qui est frappant dans ces versants de l'Adar c'est la prédominance par endroits des formations calcaires. Ce sont les exemples, entre autres, des versants de Tamaské ou ceux plus au Nord de Tahoua, d'Ourihamiza.

La caractéristique de ces versants calcaires n'est pas seulement le développement des larges replats structuraux, mais aussi celui des formes karstiques observées.

Fig. 9 : Modèle général des versants de l'Adar (d'après I. Bouzou et P. Schoeneich, 1988).



Ces formes se traduisent par un lapiazage intense des replats au sommet des versants.

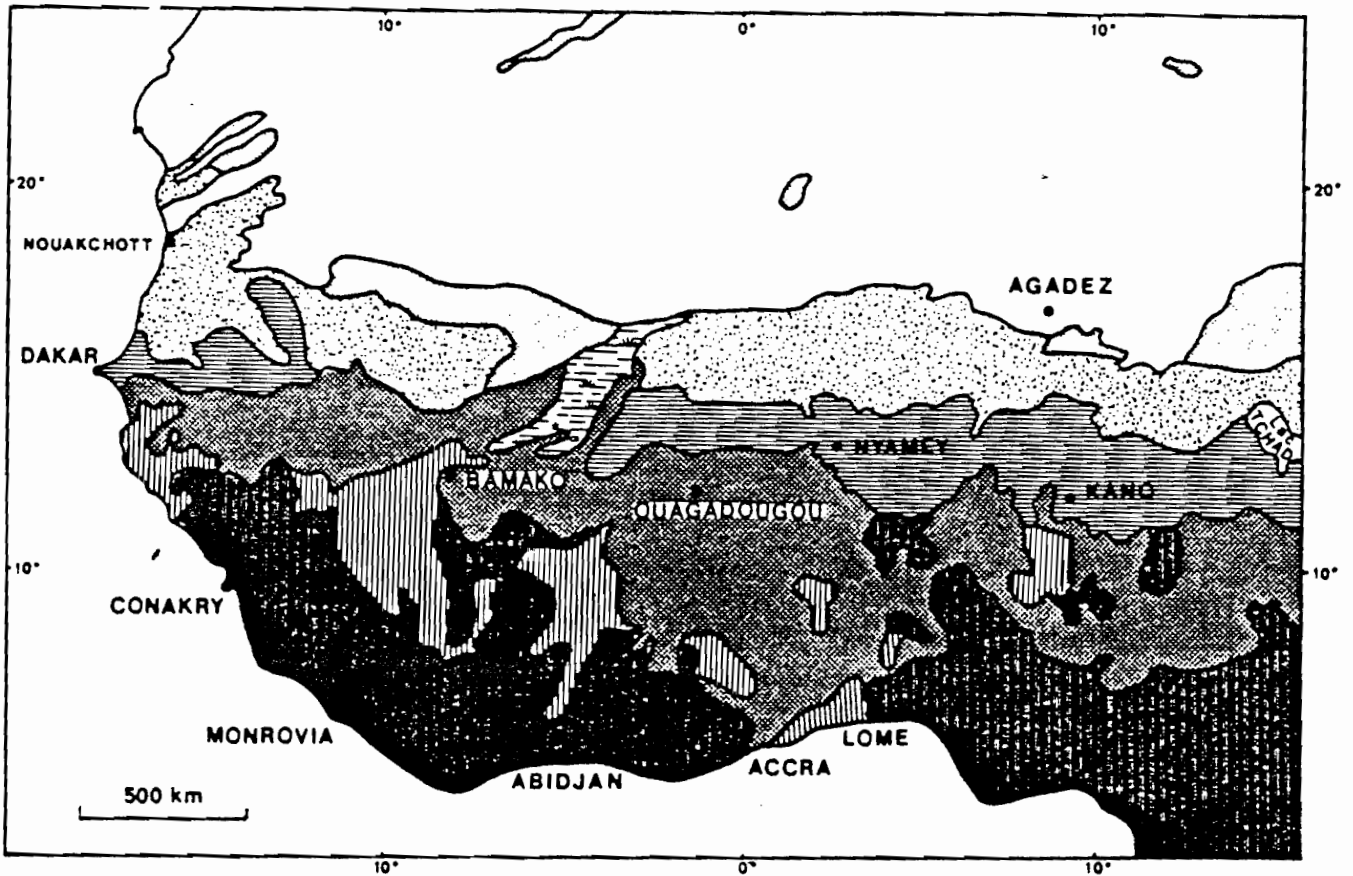
b) - Les formes de dissection









Les formes les plus répandues sont les ravinements. Il faut distinguer : les tunnels, les ravines évoluant en canyon et les torrents. La présence de ces formes est liée à la nature du matériel et à la pente. Par ailleurs les observations sur le terrain nous ont permis de constater que certaines formes, même si on les retrouve partout, semblent pourtant être mieux développées - en fonction de la nature du matériel - dans certaines régions. C'est ainsi qu'on observe partout des ravines ; il suffit qu'il y ait une pente et un matériel non consolidé. Certains ravins taillés dans les calcaires sont de véritables canyons.

Tunnels et torrents se sont plutôt développés dans les formations inférieures non consolidées, constituées de silts et de sables très fins. Ces formes se rencontrent surtout dans la Haute Vallée. Les tunnels se forment par suffosion et se transforment généralement en ravines d'abord puis en ravins. Le stade ultime de cette évolution est le torrent. De beaux exemples de ces torrents ont été observés sur les versants de la Haute Vallée entre Ibohamane et Gadamata.

Au total de l'étude des versants de l'Adar un enseignement fondamental se dégage : il est possible que compte tenu des conditions qui prévalent actuellement, les glissements de l'Adar soient potentiellement actifs. En effet les pluies sont relativement importantes (300 à 400 mm) en 30 ou 40 jours ; les formations inférieures constituées de silts et de sables sont non consolidées, donc fragiles. Aussi, si les glissements du même type décrits par Grunert et Busche (1980), plus au Nord dans le Mourzouk et le Mangueni sont considérés comme fossiles à cause des conditions climatiques actuelles, il semble qu'on ne puisse considérer ceux de l'Adar comme tel.

Fig. 10 : Les sols de l'Afrique de l'Ouest (d'après Casenave et Valentin, 1988)



-  Sols minéraux bruts des déserts
-  Sols peu évolués subdésertiques
-  Sols isohumiques (sols bruns subarides ; sols brun-rouge subarides)
-  Sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés
-  Association de sols ferrugineux tropicaux lessivés et de sols ferrallitiques
-  Sols ferrallitiques faiblement et moyennement désaturés
-  Sols hydromorphes

C'est dire donc la pertinence de cette étude, quand on sait que ces versants sont mis en valeur (construction de petits barrages collinaires , reboisement). Aussi même si les glissements ne sont pas remis en mouvement, ces versants, compte tenu de l'affleurement des formations inférieures (silts et sables) meubles, sont très instables. L'instabilité se traduit par la grande sensibilité au décapage par les eaux de ruissellement ou même par le vent. Ces agents en déposant le matériel transporté donnent naissance à d'autres formes ou formations.

2.3. Formes et formations actuelles

Nous considérons comme formes et formations actuelles les sols et les formes liées à l'action du vent. Car bien que pouvant être héritées, elles sont actuellement en formation.

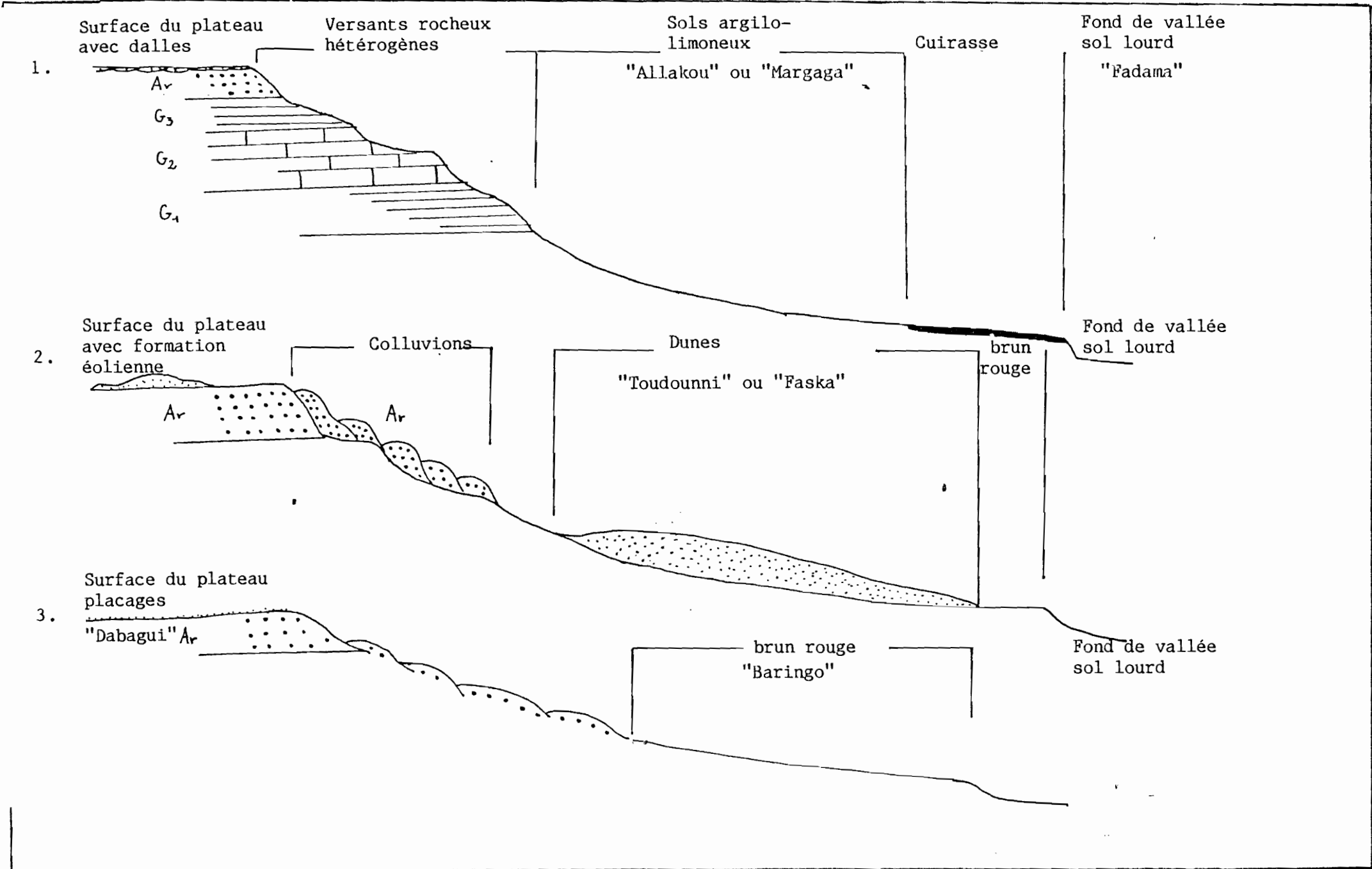
2.3.1. Les sols

Des études détaillées ont été réalisées par la SOGETHA (1966). Nous nous contentons ici de donner les caractéristiques des sols de l'Adar en fonction de nos observations.

D'une manière générale, les sols de l'Adar sont classés parmi les sols bruns subarides et brun-rouges subarides (Fig. 10). De la surface du plateau au fond des koris on observe plusieurs unités (Fig. 11).

A la surface du plateau de l'Adar "Dabagi" en Hausa, on trouve la cuirasse et/ou les grés ferrugineux. Dans les dépressions formées par démantèlement de la cuirasse et des grés se sont développés des sols brun-rouges, avec un matériel graveleux (graviers provenant des grés de la cuirasse). Une matrice de limon et argile enrobe les graviers. Ces sols sont peu épais, de l'ordre de quelques centimètres à plus d'un mètre. C'est le "Burgi" dans la pédologie paysanne. Il reçoit les cultures de mil. A la surface du plateau

Fig. 11 : Toposéquence



se sont aussi formés des sols dunaires ou de simples placages éoliens toujours de couleur brunifiante ou rubéfiante. Sur les versants nommés "Rababa" en Hausa, on trouve des colluvions. Cependant à la surface des gradins de glissements se sont formés des sols brun-rouges peu épais. Ces versants peuvent être aussi recouverts de dunes.

Sur les glacis se sont développés - en fonction des affleurements - plusieurs types de sols.

- Au pied des versants essentiellement gréseux ou recouverts des colluvions des grés ferrugineux se sont développés des sols brun-rouges épais. Ce sont les "Baringo" en Hausa. Ils reçoivent essentiellement le mil. Comme sols brun-rouges nous avons aussi d'anciens modelés dunaires aplanis "Faska", faciles à travailler et qui reçoivent aussi le mil.
- Au pied des versants hétérogènes, où affleurent les calcaires, les marnes, les schistes et les grés, se sont formés des sols bruns subarides qui peuvent être à dominante sableuse ou argilo-limoneuse quand ils se sont formés au pied des versants où affleurent essentiellement schistes ou marnes.
- Certains glacis et terrasses sont essentiellement recouverts de la cuirasse.
- Enfin dans les bas-fonds, les sols lourds argilo-limoneux "Fadama" reçoivent le sorgho où cultures maraîchères.

Au total, ces sols se caractérisent par :

- leur couleur ; d'une part brunifiante due à l'action du fer, à l'association de l'argile et de la matière organique fortement humifiées, cette brunification est liée aux caractéristiques climatiques actuelles ; d'autre part, la rubéfaction due à la présence du fer.



Planche 4 : Dune (Vallée de Keita).

- Ils se distinguent par leur structure. Les sols bruns sub-arides - issus de la désagrégation de plusieurs roches - et certains sols brun-rouges comme la "Faska" ont une structure grumeleuse, très poreuse ; ils sont perméables. Par contre les sols brun-rouges type "Baringo" sont très indurés et sont sujets aux ravinements. Tous ces sols ont comme caractéristique commune la présence d'éléments fins qui à chaque pluie précipitent et en se desséchant forment une pellicule de battance qui glace le sol et bloque l'infiltration.

Aussi induration et pellicule de battance constituent-elles les problèmes fondamentaux des sols de l'Adar. Elles provoquent une perte en eau et en terre considérable. De surcroît elles rendent les sols très difficiles à travailler. Il convient alors de chercher les voies et moyens qui permettront de conserver terre et eau pour une bonne production agricole. Nous l'envisagerons dans la deuxième partie du mémoire.

2.3.2. Les formes topographiques liées à l'action du vent

L'Adar étant situé dans la zone semi-aride où le couvert végétal est rare ou discontinu, il se caractérise par l'importance des formes éoliennes.

Ces formes éoliennes sont nombreuses dans la vallée de Keita. En effet le long de toute cette vallée, et en particulier sur la rive gauche, s'est formé un cordon dunaire, en raison de l'orientation même de la vallée qui est un couloir préférentiel pour le vent de sable. On observe trois types de formations dunaires : les nebkas, les dunes d'obstacles et les dunes de couloirs.

Il faut aussi souligner la différence entre les dunes fixées et les dunes vives. Les premières ne bougent généralement plus ; de couleur ocre ou rubéfiée, indurées, colonisées par la végétation ou mises en culture. Toutefois

leur matériel peut être partiellement pris en charge. Ces dunes sont anciennes. Les secondes, actuelles et récentes, sont comme leur nom l'indique mobiles ; généralement nues ou incultes, elles ont une couleur blanche ou jaune.

Les nebkas sont de petites dunes qui se forment à la faveur d'un obstacle, généralement de petits arbustes ou une touffe de végétation. Cette forme de dune est la plus répandue, à la surface du plateau comme dans les vallées. Des zones déprimées comme les ravines favorisent aussi la formation de ces nebkas. Ces dunes jouent un rôle morphologique très important, surtout les nebkas qui se forment à la faveur des ravines. Elles permettent en effet, dès les premières pluies, la pousse de la strate herbacée. En saison sèche, cette végétation provoque la formation d'une nebka et de ce fait le comblement du ravin, quand le sable atteint une certaine épaisseur. Lors des premières pluies, lorsque la végétation arrive à recoloniser la nebka, le ravin peut être stabilisé. Néanmoins, pour qu'on arrive à ce stade, il faut des ravines peu importantes. Dans le cas contraire, la pente étant forte et le ravin très profond, il faudrait un volume important de sable pour favoriser cette stabilisation ; or dans ces deux cas, un fort ruissellement emporte le sable.

Les dunes d'obstacles se sont formées généralement sur les versants au vent. Elles créent un fort contraste entre deux versants. D'un côté le versant rocheux à forme généralement concave, de l'autre le versant ensablé avec apparition au sommet de la cuirasse. Cet ensablement peut adoucir ou renforcer la pente du versant et permettre aussi, avec l'induration, la stabilisation de la dune et le développement des cultures. Là aussi le contraste est saisissant pendant la saison pluvieuse. On oppose alors ces versants au vent, couverts de végétation, aux versants rocheux sous le vent, en partie dénudés, où les seuls endroits permettant la culture sont des gradins exigus.

Les dunes de couloirs sont dans la vallée de Keita proprement dite plus développées. Elles constituent une sorte d'erg qui donne sa particularité à la vallée. Les dunes de couloirs comme les dunes d'obstacles en envahissant les vallées peuvent désorganiser le réseau hydrographique.

On ne saurait enfin négliger les placages éoliens qui même s'ils ne donnent pas de formes manifestes, n'en demeurent pas moins importants. Ces placages éoliens ont quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur. On les observe sur toutes les unités morphologiques. Ils favorisent l'infiltration et par conséquent les actions chimiques et la colonisation du milieu par la végétation.

3 - CONCLUSION

A travers ce chapitre nous avons montré que cette région présente des unités géomorphologiques relativement simples (surface du plateau, versants et fonds de vallées). On est tenté a priori de considérer comme monotone le paysage qui en découle. Mais de l'étude de détail jaillissent des formes relativement complexes façonnées par une paléo-érosion. Nous avons à cet effet présenté sur croquis les principales formes géomorphologiques observées en choisissant une région de référence. Ce sont les versants qui en particulier attirent l'attention : bosselés, présentant des gradins et homogènes. Nous avons montré que ces formes sont dues à plusieurs facteurs :

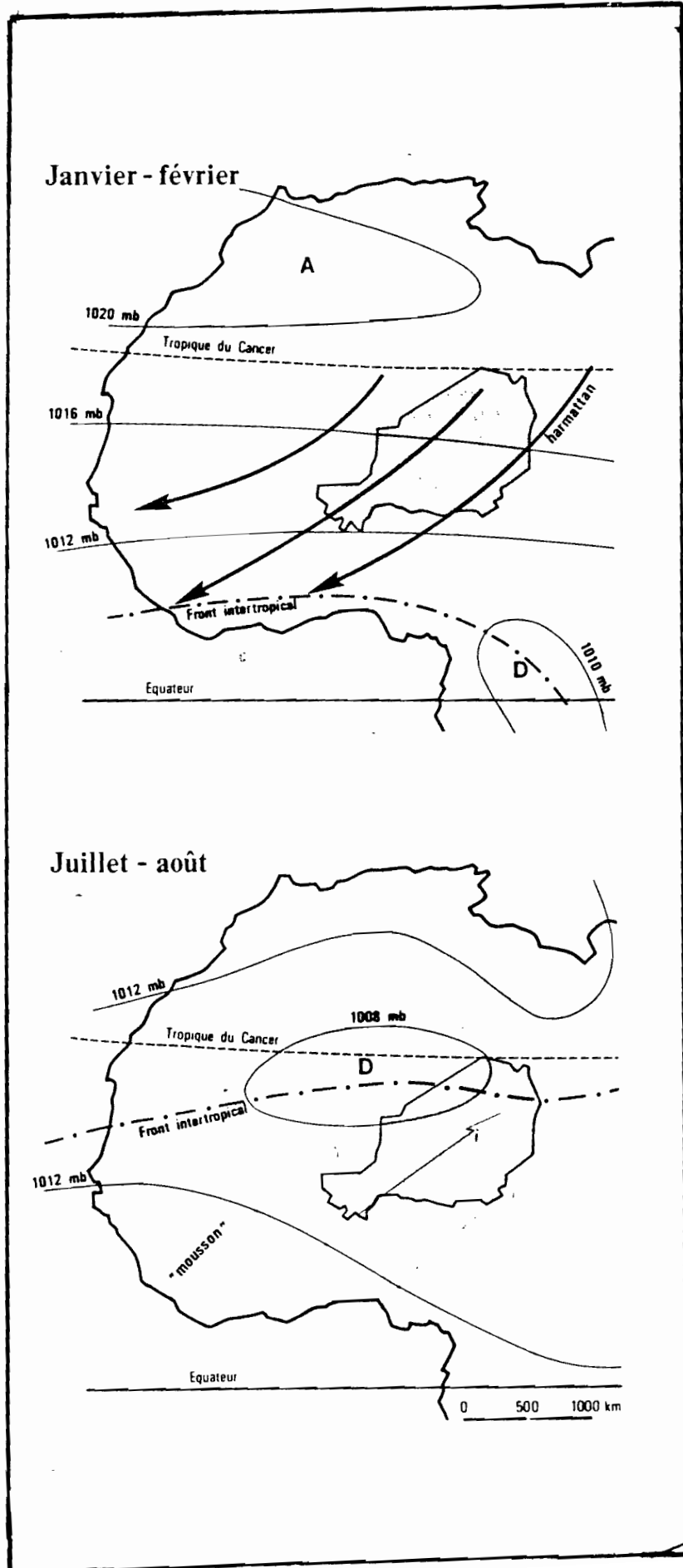
- . la tectonique qui a favorisé le creusement ;
- . la nature du matériel (l'essentiel est mal consolidé).

Chaque roche présente une forme particulière. Dans les grès de la Formation de l'Adar-Doutchi se sont développés les pseudo-dolines types "Kadandamé", les glissements par translation et les "carapaces de tortues". Dans les calcaires on observe des formes karstiques (Lapiez), des glissements

rotationnels, et l'un des deux principaux replats structuraux de la région. Les argilites (schistes et marnes) prenant en "sandwich" les calcaires sont ravinées. Dans les silts de la Formation d'In Wagar se sont formés soit le deuxième replat structural, soit les glissements rotationnels ou par translation. Dans les silts de la Formation de Farin Douchi se sont développés des tunnels dus à la suffosion. Les silts de Bouza, comme les autres argilites sont sujets à d'intenses ravinements. Les paléoclimats ont façonné des glacis et terrasses qui peuvent être cuirassés.

Tous ces ensembles se présentent comme des domaines d'érosion à forte intensité.

Fig. 12 : Position des masses d'air (d'après A. Morel in Atlas du Niger).



<p style="text-align: center;"><u>CHAPITRE II</u></p> <p style="text-align: center;">LES FACTEURS BIOCLIMATIQUES</p>
--

L'Adar est une région où le milieu naturel est contraignant. Le climat y est rude (constance de la chaleur et des vents, irrégularité des précipitations). La végétation est discontinue. Pourtant c'est l'une des régions les plus densément peuplées du Niger.

Aussi l'étude de ces facteurs bioclimatiques a son intérêt dans la mesure où leurs caractéristiques nous permettent d'avoir une idée sur l'intensité de l'érosion.

1 - LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Situé dans la zone semi-aride, l'Adar est soumis aux influences du climat tropical sec, appelé communément climat sahélien du fait de sa situation en bordure du désert du Sahara.

Afin de mieux appréhender les phénomènes d'érosion, nous faisons une étude de détail des éléments du climat.

1.1. La circulation atmosphérique

Au Niger même, l'Adar est influencé par le climat sud et nord sahélien dont la limite est l'isohyète 350 mm. Notre région d'étude est située dans le Sahel septentrional. La caractéristique essentielle est l'opposition nette entre deux saisons bien marquées :

- la saison sèche ou "Rani" en Hausa, très longue, 8 à 9 mois. On peut la subdiviser en deux. De novembre à mars, les températures sont basses. Il souffle un vent régulier du Nord-Est : l'Harmattan. Avril et mai sont des mois

chauds. La chaleur annonce la saison des pluies.

- La saison des pluies ou "Damana" est par contre courte, 3 à 4 mois. Elle se situe en été, avec un maximum en juillet-août. On enregistre un léger fléchissement des températures.

Cette étude porte essentiellement sur les caractéristiques des éléments du climat : températures, vents, pluies - principaux agents d'érosion.

Comme tous les climats intertropicaux, le climat de l'Adar s'explique par une circulation atmosphérique générale (ensemble des grands mouvements horizontaux et verticaux de l'atmosphère sur toute l'étendue de la planète). Elle est caractérisée :

- au sol, par l'influence des vents d'Est ;
- en altitude, le Jet-stream déporté en hiver vers les zones subtropicales, crée une zone de hautes pressions. Ces hautes pressions sont la cause de la longue saison sèche. De ces zones de hautes pressions partent des vents constants et réguliers du Nord-Est : l'harmattan. Ces vents convergents s'écoulent vers l'Equateur. La convergence donne naissance aux basses pressions permanentes équatoriales. Leur décalage au Nord attire les vents de l'anticyclone de Sainte Hélène. C'est la mousson porteuse de pluies qui, au Niger, souffle à partir d'avril-mai.

1.2. Les températures

Le tableau 1 et la figure 13 nous donnent les moyennes pour la station de Tahoua sur 33 ans (1951-1983).

Fig. 13 : Courbes des températures maximales et minimales moyennes (1951-1983)
Station de Tahoua (Bouzou, 1988).

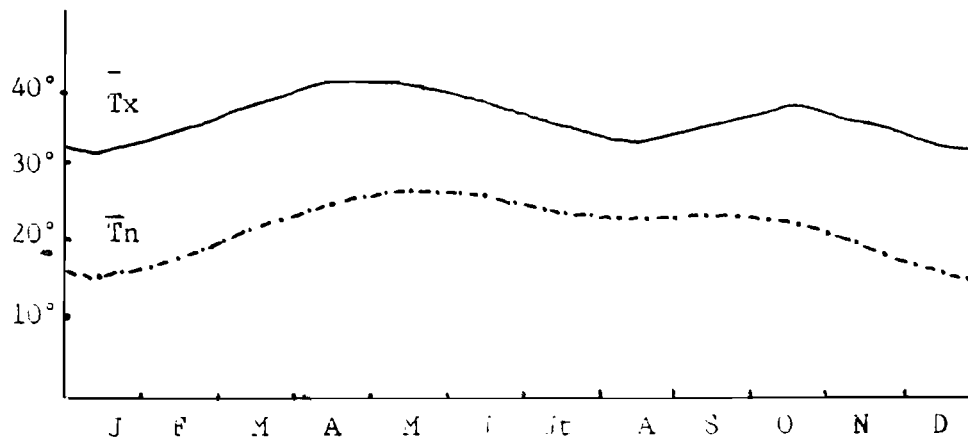


Fig. 14 : Courbe de l'évaporation moyenne mensuelle (évaporomètre Piche)
(1952-1986) - Station de Tahoua

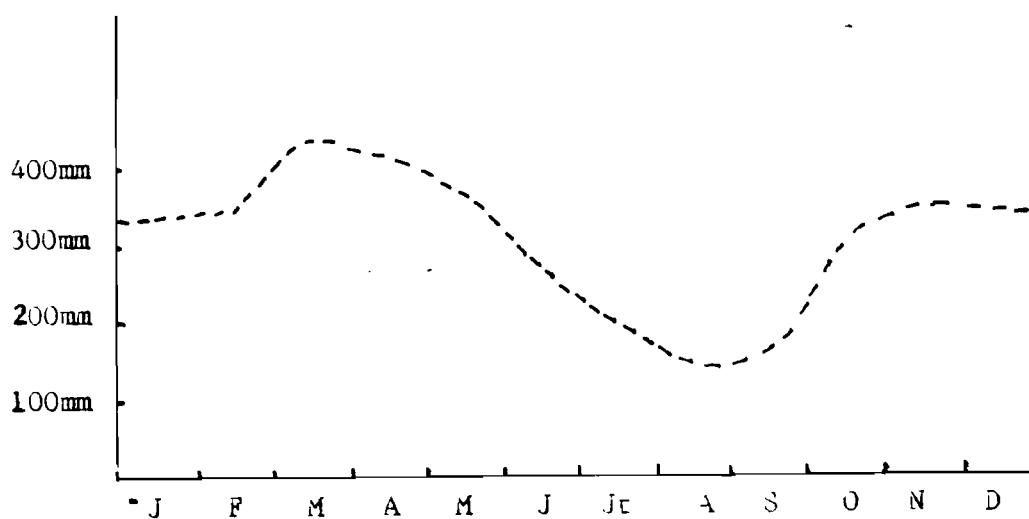


Tableau N° 1 : Températures maximales et minimales moyennes
station de Tahoua (1951-1983)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Temp. maximales	31,5	34,7	38,1	40,8	40,7	38,5	35,1	33	35,4	38	35,3	32,3
Temp. minimales	15	17,7	21,8	25,2	26,7	25,5	23,7	22,9	23,3	22,8	19,1	15,7

De janvier à décembre, les températures moyennes maximales restent élevées. Les mois les plus chauds sont avril (40,8°) et mai (40,7°). Ces fortes températures sont pondérées pendant tout l'été qui correspond à la saison des pluies.

Les températures moyennes minimales sont elles-mêmes remarquables. Les mois les plus frais sont décembre (15,7°) et janvier (15°), températures plus ou moins douces si ce n'est l'influence de vents forts qui rendent le froid plus vif.

L'amplitude annuelle est forte, 10,5° à Tahoua ; elle est moins élevée que celles d'Agadès (12,3°) et d'Iférouane (15,7°), régions situées plus au Nord, moyennes calculées par Morel (1986) sur une moyenne de 10 ans.

Au total, la caractéristique essentielle est la constance de la chaleur, par conséquent du surchauffement qui provoque le dessèchement du sol pendant toute la saison sèche. Par ailleurs, même pendant la saison des pluies, les températures sont assez élevées pour faciliter le dessèchement car il suffit de quelques heures, un maximum de 24 heures, pour que le sol soit sec sur quelques centimètres.

Le surchauffement découle de l'insolation qui est forte. Le tableau 2 donne la moyenne sur 20 ans, de 1963 à 1982.

Tableau N° 2 : Durée moyenne de l'insolation (en heures et dixièmes), station de Tahoua, 1963-1982

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
297,2	274,4	287,8	276,7	274,5	262,2	264,7	241	247,1	284,3	285,3	288,6

Cette insolation étant forte, on comprend aisément l'importance de la sécheresse accentuée par les vents.

1.3. Les vents

Ils sont déterminés par la position des masses d'air (Fig. 12). Cette région est soumise aux influences des alizés, dont la première caractéristique essentielle est la régularité :

- alizé du Nord-Est ou Harmattan pendant toute la saison sèche, jusqu'en avril ;
- alizé du Sud-Ouest ou mousson à partir du mois d'avril jusqu'à la fin de la saison des pluies. Cependant on observe des vents qui soufflent dans toutes les directions, surtout pendant la transition d'une saison à une autre.

L'autre caractéristique, c'est la vitesse qui reste modérée à forte pendant toute l'année. Le Tableau 3 nous donne la moyenne de la vitesse moyenne du vent en m/s (vitesses instantanées relevées trois fois par jour) pour la station de Tahoua sur 36 ans, de 1951 à 1986.

Tableau N° 3 : Vent moyen en m/s, station de Tahoua (1951-1986)

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4

Les conséquences sont l'importante déflation et le dépôt de poussières, mais aussi l'aggravation de l'assèchement du sol.

Les fortes températures, les vents réguliers modérés à forts durant toute l'année provoquent une forte évaporation (fig. 14). Le tableau 4 nous donne la moyenne sur 31 ans, de 1952 à 1982, à Tahoua, de l'évaporation mensuelle (évaporomètre Piche).

Tableau N° 4 : Evaporation moyenne mensuelle en mm (Piche)
Station de Tahoua (1952-1982)

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
338	352	440	422	373	271	198	145	163	298	348	337

Cette évaporation est très importante. Elle est très élevée aux mois de mars (440 mm), avril (422 mm) et mai (373 mm). Elle décroît en été pendant la saison pluvieuse. Le minimum est enregistré en août (145 mm) (Fig.). Cette évaporation est déterminée par l'humidité de l'air qui est faible pendant l'hiver et la saison chaude, par contre très élevée pendant la saison pluvieuse.

1.4. Les précipitations

Ce sont des pluies d'été - de juin à octobre - avec un maximum en août. De juin jusqu'à la fin de la première moitié du mois d'août, les pluies tombent dans l'après-midi. Ce sont généralement des averses violentes, torrentielles, accompagnées de vents violents qui ne durent que quelques minutes. Dans la deuxième moitié du mois d'août, jusqu'en septembre, prédominent des averses fines de longues durées (plusieurs heures, voire 24 heures). Ce sont, d'une manière générale, des pluies de convection dues au surchauffement du sol. Les caractéristiques de ces pluies jouent un rôle fondamental dans la morphogénèse.

Fig. 15 : Variabilité annuelle des précipitations (1936-1986), Station de Tahoua (BOUZOU, 1988).

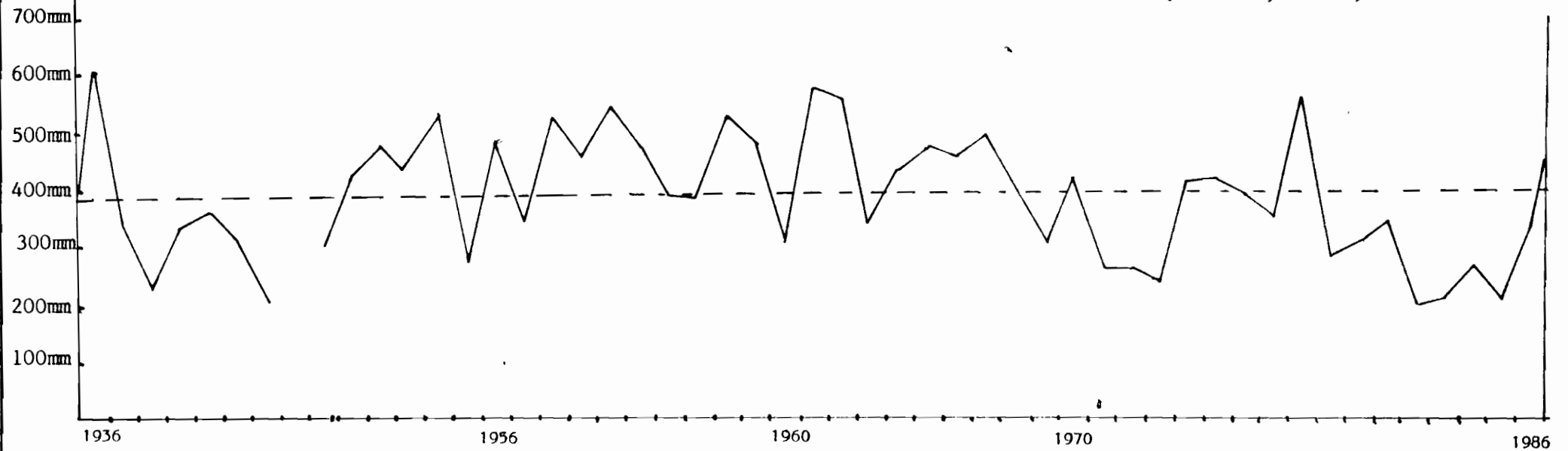
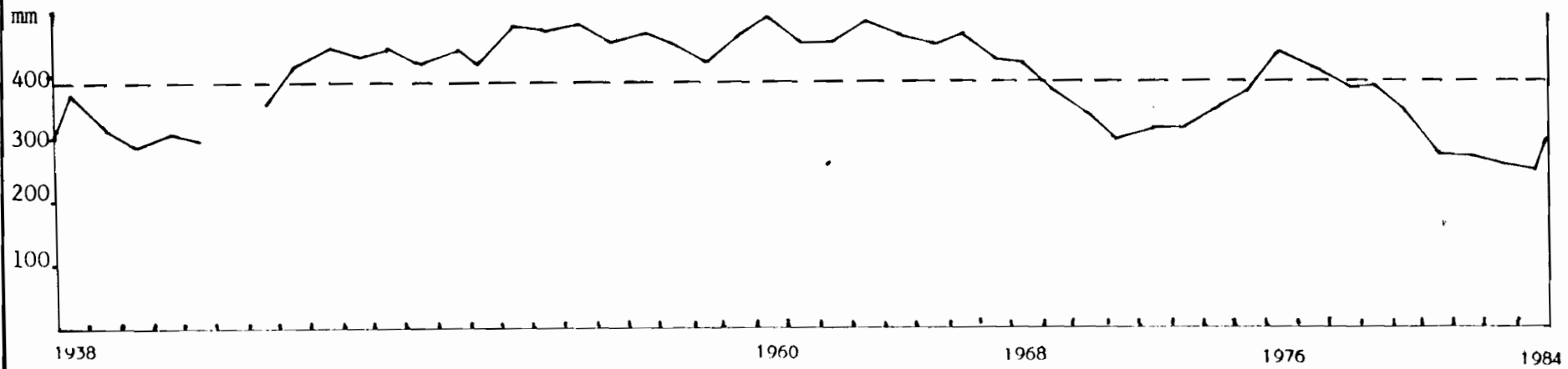


Fig. 16 : Moyennes quinquenales à Tahoua (1938-1984)



Nous étudierons successivement la variabilité dans le temps et dans l'espace, la concentration (groupement), la durée et l'intensité et l'agressivité climatique. Pour cela nous utiliserons les données météorologiques de la station de Tahoua, sur une longue durée en plus des résultats de nos quatre années d'observations.

1.4.1. La variabilité dans le temps et dans l'espace

a) - La variabilité dans le temps

a.1. La variabilité annuelle

La figure 15 nous montre la variabilité annuelle des hauteurs de précipitations. Sur 51 ans d'observations - la moyenne étant de 390,2 mm - 26 années sont supérieures ou égales à la moyenne, soit 52 %. Sur les 24 déficitaires restantes, 10 sont inférieures à 300 mm. La figure 16 est plus expressive car elle montre des tendances déjà définies sur de longues observations, par Illy et Tirat cités par Grégert (1968). On peut donc constater sur cette figure :

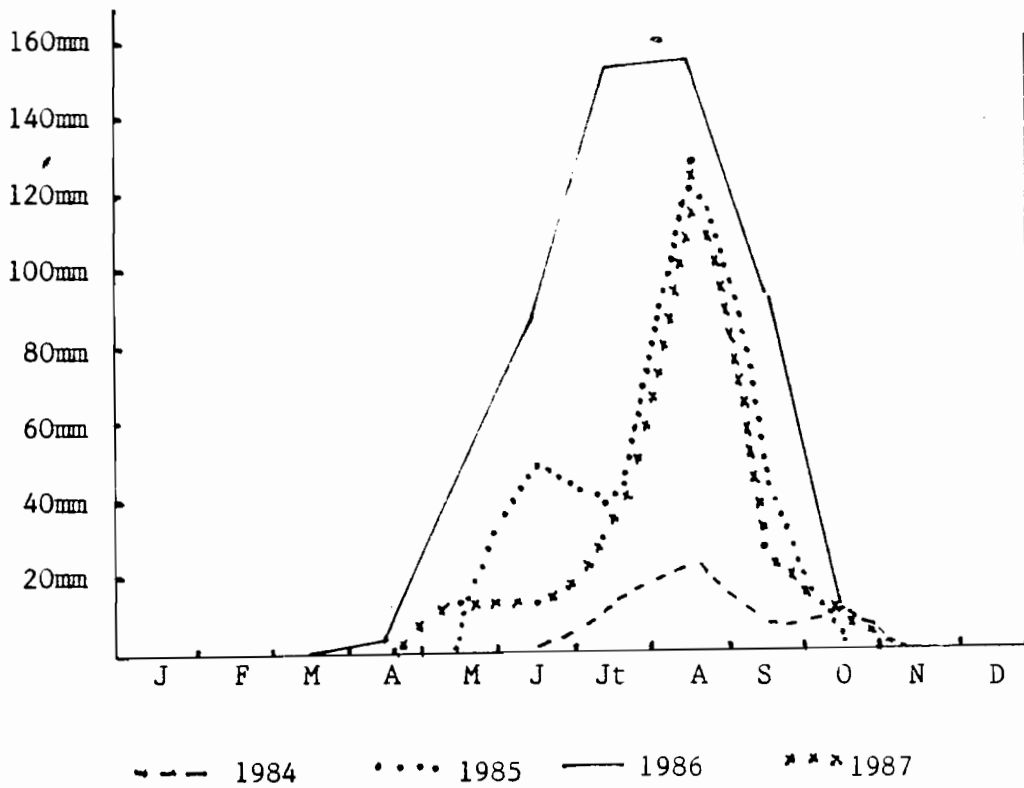
- une période sèche (1938-1944) avec un minimum en 1940,
- une longue période humide (1945-1968) avec un maximum en 1960,
- une période sèche (1969-1984) marquée par un accident (1976 et 1977, années excédentaires).

Le même constat se fait pour la station de Kounkouzout. Des quatre années, une seule a été excédentaire (1986) avec 502,9 mm. Les trois autres années ont toutes été déficitaires, en particulier l'année 1984 où l'on a enregistré 49,1 mm (record de sécheresse).

a.2. La variabilité mensuelle

Les résultats obtenus à Kounkouzout sont vraiment éloquentes. Les mois ne reçoivent pas toujours la même hauteur d'eau. Cependant le maximum est toujours en août

Fig. 17 : Courbes des précipitations. Kounkouzout (1984-1987)



(Fig. 17). Ces variations se ressentent sur l'érosion car, a priori ce sont surtout les mois de juin et juillet qui sont les mois les plus érosifs dans la mesure où les pluies sont violentes et le sol n'est pas entièrement couvert. Cependant il suffit d'un retard des pluies, c'est l'autre caractéristique (l'irrégularité), pour que le mois d'août soit plus érosif car le couvert végétal est très discontinu pour assurer la protection du sol.

b) - La variabilité dans l'espace

Ce qui nous a le plus frappé, c'est l'extrême variabilité des pluies journalières. Nous avons plus d'une fois assisté à des orages qui déversent leur pluie sur le village, alors que nous sommes à la station expérimentale distante de quelques centaines de mètres, il ne tombe que quelques gouttes d'eau. Il arrive aussi que la pluie tombe uniquement sur un versant de la vallée de Kounkouzout. Le tableau 5 montre aussi cette variabilité de la pluviométrie entre deux stations (Kalfou et Kounkouzout) distantes de 8 km (Kalfou 5°31 Est 14°51 Nord ; Kounkouzout 5°40 Est 14°28 Nord).

Tableau N° 5 : Pluviométrie comparée (mm) : Kounkouzout et Kalfou (1984-1987)

		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
KOUNKOU-ZOUT	1984							13,4	22,5	5	8,2		
	1985						48,7	41,7	120	41,8			
	1986				4,2		87,4	153,6	156,2	92,32	9,2		
	1987					15	15,1	34,3	131,7	32	7,5		
KALFOU	1984												
	1985						50,6	51,2	98,3	44,5			
	1986				9,5	16,9	61,2	142,9	135,5	80,8			
	1987					28,1	243	99,2	145,8	51,8			

Au total les variabilités et l'irrégularité ont des conséquences sur l'érosion. A priori une année moyenne ou excédentaire est susceptible de causer une forte érosion ; toutefois, une année, si déficitaire soit-elle, peut être érosive. Tout dépend en fait du caractère des averses (concentration, intensité, durée).

1.4.2. Les épisodes pluvieux

Théoriquement la saison des pluies commence de juin, voire mai, jusqu'à octobre, soit 4 mois de pluies. Dans les faits, ces pluies sont concentrées en un nombre de jours réduits, 30 jours, voire plus ou moins, cela dépend de la saison. Sur 25 ans, de 1961 à 1985, pour Tahoua la moyenne est de 45 jours de pluies (tableau 6).

Tableau N° 6 : Nombre de jours de pluies

		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Totaux
Moyennes (1961-1985) Tahoua				0,3	0,7	3,2	7,2	11,5	12,5	8,2	1,5			45,2
Koukouzout	1984							7	6	1	1			15
	1985						4	6	12	6				28
	1986				1		7	12	11	8	1			40
	1987					2	4	6	11	9	1			33

Les années excédentaires pour la station de Tahoua dépassent largement 50 jours de pluies. La forte concentration s'observe en juillet (11,5 jours de pluies) et août (12,5 jours). Ces mois sont effectivement les plus pluvieux, ils reçoivent plus de 60 % de la hauteur des précipitations (63 % à Koukouzout).

Très importante est la durée des intervalles de temps sans pluie ; relativement faible, elle est en moyenne de 3 jours pour la station de Koukouzout. Elle donne une

idée sur la susceptibilité du sol au ruissellement. A priori plus la durée est faible, plus le ruissellement est important. Au total les pluies étant caractérisées par une forte concentration (la moyenne sur 25 ans étant de 45 jours, le nombre théorique de 122, le pourcentage est seulement de 36,8 %) et la durée entre deux pluies étant relativement faible, ceci devrait conférer aux pluies une grande agressivité. La partie suivante s'efforce de dégager l'agressivité des pluies.

1.4.3. Hauteur - durée - intensité

Outre la concentration, la hauteur, la durée et l'intensité des pluies ont une répercussion sur le ruissellement et sur l'érosion. Bien qu'aucun de ces éléments pris isolément ne puissent suffire à expliquer les phénomènes d'érosion (Roose, 1973), nous avons tenu à dégager les caractéristiques de chacun d'eux.

On retiendra du tableau 7 la prépondérance des petites averses de 0 à 12 mm (85 des 115 pluies, soit 73,9 %), ce qui, a priori, peut signifier une agressivité des pluies moindre et par conséquent des ruissellements et une érosion réduits.

Tableau N° 7 : Classes des hauteurs de pluies en mm(Koukouzout)

classe mm Années	0 - 12	12 - 20	> 20	Totaux
1984	15	-	-	15
1985	21	4	3	28
1986	25	9	7	41
1987	24	4	3	31
Totaux	85	17	13	115
Moyennes	73,9 %	14,78 %	11,30 %	

Trois averses exceptionnelles ont été aussi enregistrées. Pour trouver leurs fréquences, nous avons utilisé l'étude faite par Brunet-Moret sur les averses exceptionnelles du Niger (1963) (voir en annexe les courbes intensités-durées). Il s'agit des pluies du :

- 2.07.1986 de 41,4 mm de fréquence annuelle ;
- 13.09.1986 de 49,1 mm une fois en deux ans ;
- 31.08.1986 de 60,3 mm de fréquence quinquennale.

Ces averses exceptionnelles, comme l'ont montré de nombreux auteurs (Fournier, 1967 ; Greer, 1971 ; Hudson, 1973 ; Roose, 1973 ; Lal, 1975 ; Mietton, 1988) jouent un rôle important sur les phénomènes de ruissellement et d'érosion.

Le tableau 8 de la durée des pluies illustre l'importance des pluies brèves (< 30 mn). On en dénombre 42,2 % de l'ensemble des pluies de durée connue.

Tableau N° 8 : Durée des pluies (Koukouzout)

	T < 30 mn	T > 30 mn	Totaux
1984	8	2	10
1985	8	10	18
1986	11	24	35
1987	11	16	27
Totaux	38	52	90
Moyennes	42,3 %	57,7 %	

Le tableau 9 illustre aussi l'importance des pluies brèves qui ont ruisselé : 36,4 % de l'ensemble des pluies, de durée connue, ont ruisselé.

Tableau N° 9 : Pluies enregistrées de durée connue ayant ruisselé (Koukouzout)

classes des hauteurs Années	T < 30 mn			T > 30 mn		
	0-12	12-20	> 20	0-12	12-20	> 20
1984	3	-	-	-	-	-
1985	4	1	-	4	2	3
1986	1	1	1	1	6	5
1987	5	-	-	4	-	3

A partir des tableaux donnés en annexe (intensités moyennes en 1 heure) on constate que les fortes pointes d'intensité (>60 mm/h) sont rares. Quelques unes ont une intensité moyenne voisine de 50 mm/h ; une seule pluie, celle du 2.7.1987 de 40,6 mm en 22 mn a atteint le chiffre record de 110 mm/h. Aussi plus la durée est courte et la hauteur élevée, plus l'intensité moyenne en 1 heure est élevée.

Le tableau 10 donne la répartition des intensités maximales en 5 minutes par classes.

Tableau N° 10 : Répartition des intensités maximales par classes (Koukouzout)

Intensité max. mm/h.	1984	1985	1986	1987
0 - 30	-	3	6	6
30 - 60	4	9	4	10
60 - 90	-	2	6	3
90 - 120	-	1	-	-
120 - 150	-	1	2	-
150 - 180	-	-	2	-

Ces intensités maximales en 5 minutes sont plus expressives que les intensités moyennes en 1 heure. Cinquante neuf pluies ont été dépouillées, 42 ont ruisselé. Si nous considérons les fortes pointes d'intensité comme étant supérieures ou égales à 60 mm/h, nous en trouvons sur les quatre années, 17 dont 10 en 1986, année excédentaire. Ce nombre illustre le caractère violent de ces pluies. Ces fortes intensités jouent un rôle important dans le ruissellement et l'érosion.

Le dépouillement des enregistrements pluviographiques a permis de classer les types de pluies ayant ruisselé sur la jachère (Fig: annexes 3).

. Le premier type de pluie, par le nombre, est celui qui commence avec une intensité faible, entre 15 et 20 mm/h, le temps que le sol s'humecte et, dans un second temps, une intensité plus élevée de l'ordre de 36 mm/h à plus de 60 mm/h. Ces pluies constituent 54,8 % des pluies ayant ruisselé.

. Le deuxième type de pluie est celui où le ruissellement commence presque instantanément car l'intensité instantanée peut être nettement supérieure à 60 mm/h. Le record a été atteint par la pluie du 2.7.1986 avec une intensité instantanée de 156 mm/h en 10 minutes. Certaines petites pluies brèves qui ont ruisselé sont à classer dans cette catégorie. Ces petites pluies ont généralement une intensité instantanée de l'ordre de 36 mm/h. Aussi pour ces pluies, sur l'ensemble des quatre années, l'intensité des débuts de pluie est toujours supérieure ou égale à 36 mm/h (39,6 %).

. Le troisième type est le cas de deux pluies ayant ruisselé avec une intensité maximale de 25 mm/h (toujours avec dépouillement en tranche d'intensité homogène). C'est la hauteur et la durée qui, ici, ont joué un rôle important. Il s'agit des pluies du 21.8.1985 de 5,8 mm en 20 minutes

et celle du 6.8.1986 de 11,8 mm en 3 h 15 mn. Soulignons ici le rôle de l'état du sol que nous développons dans un chapitre ultérieur. En effet, la première pluie est tombée sur un sol sec qui, en principe, devait tout absorber, mais recouvert de la pellicule de battance, il est susceptible de ruisseler. Quant à la seconde pluie, elle a succédé à une pluie de 12,8 mm du 5.8.1986. Là aussi c'est l'humidité préalable du sol qui a permis le ruissellement.

. Enfin le quatrième type de pluie est aussi le cas de deux autres pluies de très faible intensité - 9 à 13 mm/h - qui ont ruisselé. Ici c'est la hauteur qui a joué un rôle. Il s'agit des pluies du 11.8.1985 de 14,5 mm en 3 h 10 mn et du 27.6.1986 de 13,1 mm en 4 h 5 mn.

Ainsi nous avons remarqué que toutes les pluies ayant ruisselé, excepté le quatrième type de pluie, ont une intensité maximale supérieure ou égale à 25 mm/h.

1.4.4. Les indices d'agressivité

La pluie a une action mécanique sur le sol. Par le phénomène du "splash", les particules du sol sont détachées et ainsi préparées pour le transport par le ruissellement Féodoroff (1965), De Ploey, Servant (1968) cités par Neboit (1983). Cette action mécanique de la pluie est due à son énergie cinétique. L'agressivité de la pluie, fonction de l'énergie et de l'intensité, est la cause première de l'érosion, Roose (1980). Nombre d'auteurs ont en effet montré l'importance de l'action mécanique de la pluie sur le sol. Hudson (1961, 1963, 1973), en couvrant une de ses parcelles nues avec une toile moustiquaire sans diminuer l'intensité, a constaté la réduction de l'érosion et du ruissellement. Dabin et Leneuf (1958), Roose (1973) et Lal (1975) sont arrivés aux mêmes résultats en utilisant une mince couche de paille de deux centimètres.

Afin d'apprécier cette agressivité ou érosivité des pluies, des indices ont été définis par différents auteurs.

a) - L'agressivité des pluies

a.1. Indice de Wischmeier (1959) : $R = \frac{E_g \times I_{30}}{100}$.

C'est l'indice le plus utilisé. Pour une bonne partie des études faites tant au Niger que dans les autres pays de l'Afrique Occidentale, de nombreux auteurs ont utilisé cet indice. C'est le produit de l'énergie de la chute de pluie par l'intensité maximale en 30 mn, divisé par 100. Pour le calculer, il faut sur un enregistrement découper la pluie en tranche d'égale intensité. Chaque tranche est caractérisée par un nombre donné de millimètres (Qmm) tombés avec une intensité homogène donnée (Ih en mm/h). Wischmeier a établi une relation entre l'énergie unitaire en une pluie d'intensité homogène et cette intensité Ih. Pour chaque tranche de pluie en regard de l'intensité, on peut directement lire sur un abaque (énergie unitaire, Eu). L'énergie de chaque tranche est égale au produit de l'énergie unitaire par le nombre de millimètres de la tranche $E_h = E_u \times Q_{mm}$. L'énergie globale est égale à la somme des énergies de chaque tranche. $E_g = \sum E_h$.

Pour déterminer I_{30} il faut disposer d'un enregistrement d'une pluie tombée en 30 mn consécutives. On déplace un papier transparent à la même échelle que sur la bande de l'enregistrement, on délimite alors la portion de la courbe qui correspond à un nombre de millimètres d'eau plus important que toute autre portion de la courbe. Cette portion d'eau est la portion d'eau maximum en 30 mn consécutives. Multipliée par deux, on a l'intensité maximale en 30 mn exprimée en mm/h.

Par ailleurs, les Américains ne tiennent compte que des pluies égales ou supérieures à 12,7 mm.

a.2. Indice de Hudson (1971) : $KE > 25$ mm/h.

C'est la somme de l'énergie cinétique de toutes les pluies ou partie de pluie dont l'intensité est supérieure à 25 mm/h, seuil en-dessous duquel l'érosion reste insignifiante.

a.3. Indice de Lal (1976) : AIm.

C'est le produit de la hauteur de la pluie en centimètres par l'intensité maximale en sept minutes.

-

Le problème du choix d'un indice est celui de son adaptation au milieu étudié car tous ces indices cités, même s'ils ont l'avantage de tenir compte de l'énergie et de l'intensité des pluies, se réfèrent à des conditions locales. L'indice d'Hudson a été défini en Rhodésie (climat tropical à saison alternée), celui de Lal au Centre Nigéria (Ibadan, climat tropical) et celui de Wischmeier aux Etats-Unis, à l'Est des rocheuses. Ces indices traduisent les caractéristiques des milieux géographiques où ils ont été établis. Aussi ne peuvent-ils s'appliquer convenablement pour tous les milieux sans qu'on y apporte quelques corrections. Actuellement l'indice de Wischmeier est le plus utilisé parce qu'il caractérise sans doute réellement l'érosivité de chaque pluie. Mais cet indice, bien que largement utilisé, ne nous satisfait pas entièrement. Voici nos observations et nos remarques qui justifient cela :

- Les auteurs américains ne retiennent que la pluie au moins égale à 12,7 mm. Des 53 pluies qui ont ruisselé, nous en avons 21 qui sont inférieures ou égales à 12 mm, dont 5 en 1984, 8 en 1985, 3 en 1986 et 5 en 1987. Nous donnons dans le tableau 11 l'impact de ces pluies sur la jachère.

Tableau N° 11 : Impact des pluies < 12,7 mm sur la jachère.

	Ruissellement		Erosion
	1984	4,6 %	- 38,2 %
1985	8,9 %	- 37,2 %	0,828 t/ha
1986	21,6 %	- 31,8 %	0,488 t/ha
1987	9,4 %	- 31,5 %	0,305 t/ha

- Le calcul de Rusa fait intervenir l'intensité maximale en 30 mn. On a critiqué le choix de cette durée de référence car pouvant être plus brève, 15 à 5 mn en Rhodésie, Stocking et Elwell (1976) cités par Neboit (1983). Pour Kounkouzout, des 53 pluies qui ont ruisselé, 43 ont été dépouillées : 15 de ces 43 sont inférieures à trente minutes. Cette durée de référence ne tiendrait pas compte du fait que les pluies tropicales des zones semi-arides peuvent être brèves et occasionner une érosion.

Nous ne pouvons non plus utiliser l'indice de Lal sans le modifier, car ne pouvant calculer les intensités maximales en 6 ou 7 mn, mais plutôt en 5 mn.

Afin de mieux appréhender l'agressivité des pluies nous avons mis en relation le ruissellement et l'érosion sur les quatre parcelles, avec l'intensité maximale en 5 mn, 10 mn, 15 mn, 25 mn, 30 mn, 60 mn. Les résultats sont les suivants :

- Parcelle P₁

Tableau N° 12 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I_{max})

	I ₅	I ₁₀	I ₁₅	I ₂₅	I ₃₀	I ₆₀
Ruissellement	0,529	0,586	0,590	0,577	0,445	0,295
Erosion	0,377	0,434	0,414	0,414	0,444	0,338

Pour le ruissellement, les meilleurs coefficients s'obtiennent avec les courtes durées de référence (<30 mn). La plus significative est I_{10} .

Alors que pour l'érosion c'est plutôt I_{30} . Il faut souligner ici qu'il n'y a pas de bonne relation entre les pertes en terre et les différentes intensités maximales car tous les coefficients sont inférieurs à 0,50.

- Parcelle P_2

Tableau N° 13 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I_{max})

	I_5	I_{10}	I_{15}	I_{25}	I_{30}	I_{60}
Ruissellement	0,676	0,161	0,694	0,701	0,511	0,254
Erosion	0,480	0,087	0,472	0,489	0,410	0,268

I_{25} est la plus significative pour le ruissellement comme pour l'érosion.

- Parcelle P_3

Tableau N° 14 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I_{max})

	I_5	I_{10}	I_{15}	I_{25}	I_{30}	I_{60}
Ruissellement	0,597	0,605	0,618	0,633	0,418	0,129
Erosion	0,443	0,497	0,485	0,508	0,386	0,205

Les courtes durées de référence sont ici aussi les plus significatives, notamment I_{25} .

- Parcelle P₄

Tableau N° 15 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I_{max})

	I ₅	I ₁₀	I ₁₅	I ₂₅	I ₃₀	I ₆₀
Ruissellement	0,680	0,661	0,659	0,666	0,447	0,405
Erosion	0,441	0,386	0,413	0,428	0,087	0,098

Sur cette parcelle, c'est aussi les courtes durées de référence qui sont plus significatives, notamment I₅.

Enfin, il faut souligner que quatre années de mesures du ruissellement et d'érosion ne nous permettent pas de mieux commenter nos résultats, d'autant plus que nous n'avons qu'une seule station, et trois des quatre années de pluies ont été déficitaires. Aussi l'enseignement principal qu'on peut tirer, en comparant les coefficients de corrélations, c'est la différence entre les parcelles, différence certainement due aux traitements reçus. Mais, dans l'ensemble, on constate que I₂₅ est bien indiquée comme durée de référence.

Nous avons calculé les indices d'agressivité de Wischweier et d'Hudson (pour calculer les valeurs de l'indice d'Hudson, nous nous sommes servis de l'abaque établi par les Américains afin de calculer l'énergie des pluies).

Tableau N° 16 : Indices de Wischweier et d'Hudson (1984-1987)

		1984	1985	1986	1987
R. Wischmeier	Mai	-	-	-	-
	Juin	-	19,50	13,8	4,20
	Juil.	-	11,2	94,2	4,40
	Août	4	54	94,7	37
	Sept.	1,80	6,8	39,20	10,40
	Oct.	-	-	-	5,30
	Total	5,80	91,50	241,90	61,30
Hudson	Mai	-	-	-	27096,3
	Juin	-	63628,2	67335,4	-
	Juil.	-	70332,8	176230,4	11104,5
	Août	22160	159300	237037,1	126553,5
	Sept.	8791	42732	134564,3	34212,5
	Oct.	-	-	-	15581,5
	Total	30951	-	-	-

Il ressort de ce tableau que les valeurs des indices calculés sont plus élevés pour le mois d'août, mois le plus pluvieux. R. Wischmeier est faible pour les années 1984-1985-1987 (années déficitaires) alors qu'il est très fort en 1986 avec 241,9 points : ceci dénote bien que l'agressivité des pluies est moindre par rapport à la zone subéquatoriale où la valeur de cet indice est comprise entre 500 et 1400, Roose (1981). Cet indice n'est élevé que pour les averses assez remarquables (cas des pluies du 2.07.1986 de 41,4 mm avec $R = 78,7$; du 31.08.1986 de 60,3mm avec $R = 71$). Par contre, la valeur de l'indice d'Hudson peut être assez forte même pour les petites pluies, mais dans l'ensemble elle l'est plus pour les averses remarquables.

b) - L'agressivité climatique

L'indice utilisé afin d'apprécier l'agressivité climatique est celui de Fournier (1960-1962). Cet indice est le rapport du carré de la pluviométrie du mois le plus pluvieux à l'ensemble de la pluviométrie annuelle : $\frac{P^2}{P}$. Cet indice a été modifié par Arnoldus (1977) en vue d'estimer l'indice sélectionné par Wischmeier. $\frac{P^2}{P}$ devient la somme des douze indices mensuels (P représente les précipitations moyennes mensuelles de chaque mois et "P" la précipitation moyenne annuelle). Il tient ainsi mieux compte de l'importance de toutes les averses, Roose (1981).

Nous avons calculé la valeur de l'indice d'Arnoldus qui tient compte de toutes les précipitations, pour la station de Tahoua, sur 32 ans de 1951 à 1982. Cette moyenne est égale à 99,34 points.

Tableau N° 17 : Indice d'Arnoldus - Station de Tahoua
(1951-1982)

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	sept.	Oct.
P^2/P	0,002	0,04	0,85	8,33	34,10	46,56	9,27	0,19

Les mois de juillet et d'août sont les plus agressifs. En vue de voir la répartition dans le temps et dans l'espace de cet indice, nous avons calculé sa valeur pour six stations installées le long de la vallée de Keita, depuis Gadamata (amont de la vallée) jusqu'à Kalfou (dans la basse vallée) sur environ 70 km.

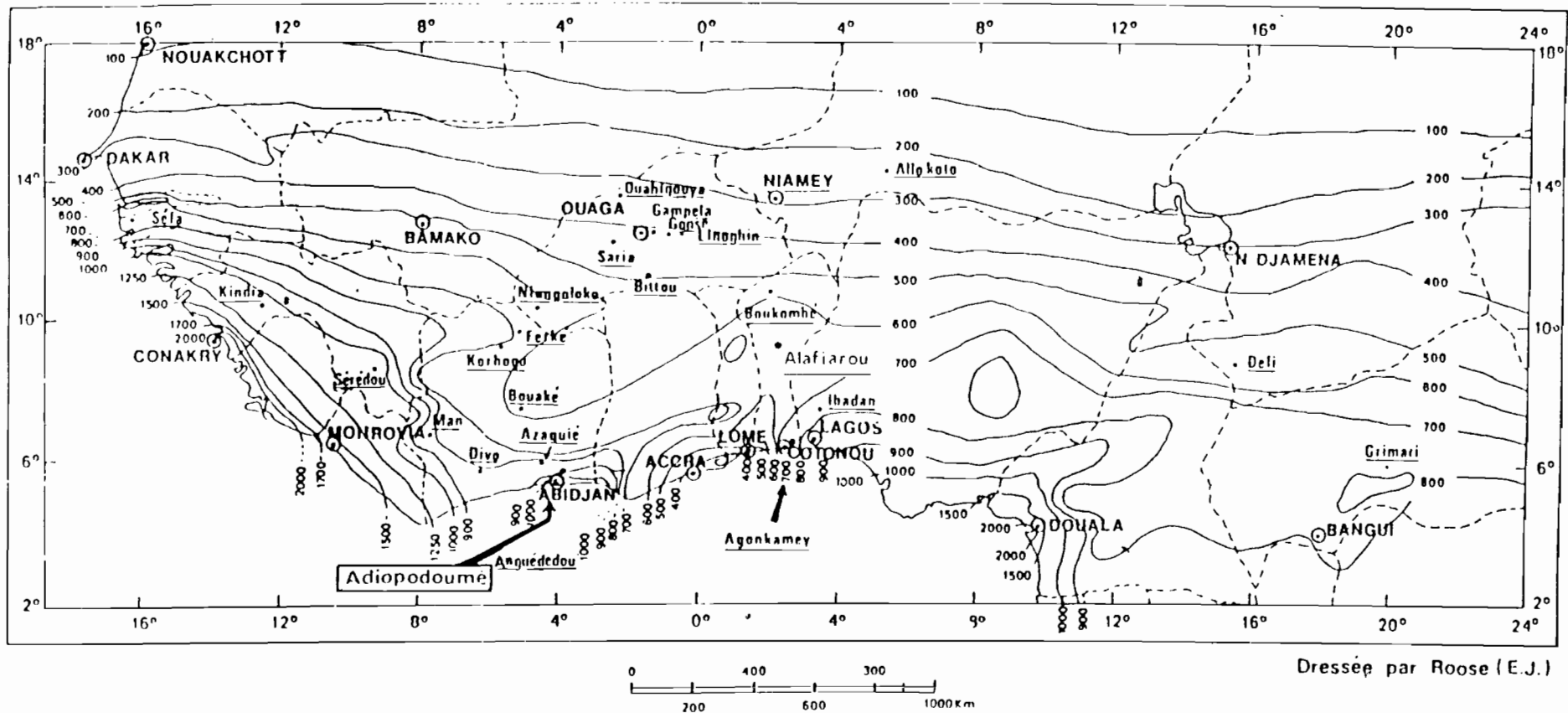


Fig. 18 - Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (Rusa de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du Centre - Situation des parcelles d'érosion - D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Tableau N° 18 : Indice d'Arnoldus, vallée de Keita
(1984-1987)

	Kalfou	Koukouzout	Tamaské	Keita	Ibohamane	Gadamata
1984		15,82				
1985	68,76	80,3				
1986	110,61	127,74	90,37	108,45	97,05	
1987	100,68	85,09	99,38	95,39	93,72	119,43

Ce tableau illustre la variabilité de l'agressivité dans le temps et dans l'espace. Pour Koukouzout, l'année 1986, année excédentaire, a été très agressive. La valeur de l'indice dépasse nettement la moyenne (calculée pour la station de Tahoua). Cette année correspond à l'année la plus érosive sur la jachère.

Au total, bien que dans cette zone semi-aride le climat soit moins agressif que le climat équatorial (Fig. 18) les conditions sont tout de même remplies pour que l'érosion soit très active, d'autant plus que le couvert végétal est discontinu et le terrain très érodible.

2 - LE COUVERT VEGETAL

Il est le principal protecteur du sol. Il permet, du fait de ses caractéristiques, de comprendre le comportement du sol sous l'influence des éléments du climat, notamment l'eau, le vent et la température.

La végétation est elle-même déterminée par :

- la pluviosité qui est le facteur climatique principal, car c'est à partir d'elle que l'on définit les zones de végétation ;

- le substrat (par le stockage de l'eau) et la topographie auxquels est étroitement liée la répartition de la végétation ;
- l'exploitation qui conditionne l'évolution de la végétation.

La pluviosité est un des facteurs importants dans la répartition de la végétation en Adar car cette région est encadrée approximativement par les isohyètes 200 mm au Nord et 600 mm au Sud. De ce fait, même si dans l'ensemble la végétation a été décrite comme une steppe, le Sud demeure le domaine de grands arbres comme le baobab (*Andausonia digitata*) etc..., moins clairsemés qu'au Nord où la végétation, très discontinue, est composée essentiellement d'épineux et d'euphorbes, parce que la réserve d'eau facilement utilisable par les plantes est faible, la surface du plateau cuirassée et les versants rocheux sont moins couverts que les dunes fixées et les fonds de vallées.

Quelles sont les caractéristiques et la dynamique de la végétation de notre région d'étude ?

2.1. Les caractéristiques : description, répartition

La végétation du Sahel et, d'une manière générale, de la zone aride et semi-aride - Sahara et Sahel - a été largement décrite par des auteurs de disciplines variées Quezel (1962), Peyre de Fabregues (1976)...

L'essentiel de cette végétation est xérophile, compte tenu des conditions naturelles très contraignantes. Le type de végétation est la steppe arborée et arbustive, c'est-à-dire une formation végétale parsemée d'arbres et d'arbustes. En fait, il faut distinguer deux types de plantes. Les plantes éphémères ou plantes annuelles qui poussent et croissent à la faveur des pluies. Ce sont, d'une manière générale, des graminées - cram-cram - qui sèchent dès que cessent les pluies. Il faut mentionner parmi ces

graminées celles qui sont semées par l'homme. Ce sont des céréales comme le mil, le sorgho, le maïs qui couvrent bien le sol pendant la saison pluvieuse.

Certaines plantes s'adaptent et vivent en permanence. Cette adaptation s'observe au niveau de la taille des arbres qui sont petits, ou alors les feuilles sont remplacées par des épines. Les racines occupent aussi une grande surface, ce qui accroît la distance entre les arbres. Les principales espèces sont des épineux : *Acacia albida*, *Seyal*, *Senegalensis* ; *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritania*. La répartition spatiale est fonction de la nature des sols, de la topographie et de la capacité d'adaptation très marquée. Du point de vue de la topographie, nous distinguons : le plateau, les versants, les fonds de vallée, car la végétation se diversifie en fonction de ces unités géomorphologiques.

Sur le plateau, notamment sur la cuirasse, ce sont de petits bosquets épars constitués surtout de petits arbustes comme *Boscia senegalensis*, *Macrura crassifolia*, *Combretum micranthum*. Par contre, à la faveur des placages éoliens ou de véritables dunes, on rencontre de grands arbres comme le *Sclerocarya birea*.

Sur les versants, on observe des fourrés assez denses notamment dans les endroits inaccessibles aux hommes et aux animaux, comme les gorges. Dans les champs, la végétation est plus rare. Dans les vallées et particulièrement les bas-fonds, la densité est plus grande du fait de la faible profondeur de la nappe. Les espèces sont essentiellement des épineux.

Les dunes fixées peuvent être colonisées essentiellement par le "*Calotropis procera*".

Cette répartition est non seulement due aux sols, mais aussi à une évolution à grande et petite échelle.

2.2. La dynamique

La végétation subit des variations très importantes à petite échelle c'est-à-dire en un temps relativement court, de l'ordre d'une année, comme à grande échelle en un temps relativement long (10, 20 ans...). Nous avons tenté de montrer cette évolution sur une courte période (août 1986 - mars 1987) et une période relativement longue (1956-1975).

2.2.1. Evolution de la végétation août 1986 - mars 1987

A Kounkouzout où nous nous sommes installés, nous avons tenté de décrire la physionomie de la végétation le long d'un transect, en prenant soin de figurer toutes les unités géomorphologiques : surface du plateau, versants (rocheux et tendus), fonds de vallée. La largeur du transect est de 10 m. Dans les rectangles ainsi obtenus, nous avons mentionné les espèces végétales et compté le nombre d'arbres.

Sur la surface du plateau, à la première opération menée en août 1986, sur une superficie de 830,50 m², nous n'avons compté que 3 arbustes, dont 1 mort, tous distants de plusieurs dizaines de mètres. L'herbe n'a poussé qu'en bordure du plateau.

Sur les versants rocheux, le comptage a donné 52 arbres et arbustes sur une superficie de 2900 m², concentrés surtout à la surface des gradins. Les arbres s'observent surtout au pied du versant. De même, la strate herbacée est concentrée sur les gradins ou au pied du versant. Cette strate peut avoir un pourcentage de recouvrement égal à 50 % ou 70 %.

Sur le glacis, sur une superficie de 2500 m², nous avons compté 13 arbres. En amont, sur les 600 premiers m², la surface est couverte à environ 100 % par le mil et le sorgho. La surface devient nue à l'aval.

Sur la terrasse, sur une superficie de 3400 m², nous avons compté 13 arbres, ce, près du kori. La strate herbacée est rase. Le long du kori, nous avons compté 61 arbres sur 3800 m². Les racines occupant une grande surface, ces arbres sont espacés.

L'opération, reprise en mars 1987, a permis de constater que seuls les arbres résistent ; la strate herbacée n'existe plus.

Au total, l'enseignement est - en considérant le transect - l'espacement des arbres et leur rareté sur les parties rocheuses. La strate herbacée ne pousse aussi qu'à la faveur d'un sol, si maigre soit-il (petites ravines, sol de glaciais, gradins des versants de glissement, partie meuble des colluvions). Enfin, cette strate herbacée, essentiellement composée de pennisetum, peut être utilisée pour la stabilisation de petites ravines.

2.2.2. Evolution de la végétation 1956-1975 (Fig. 19)

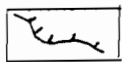
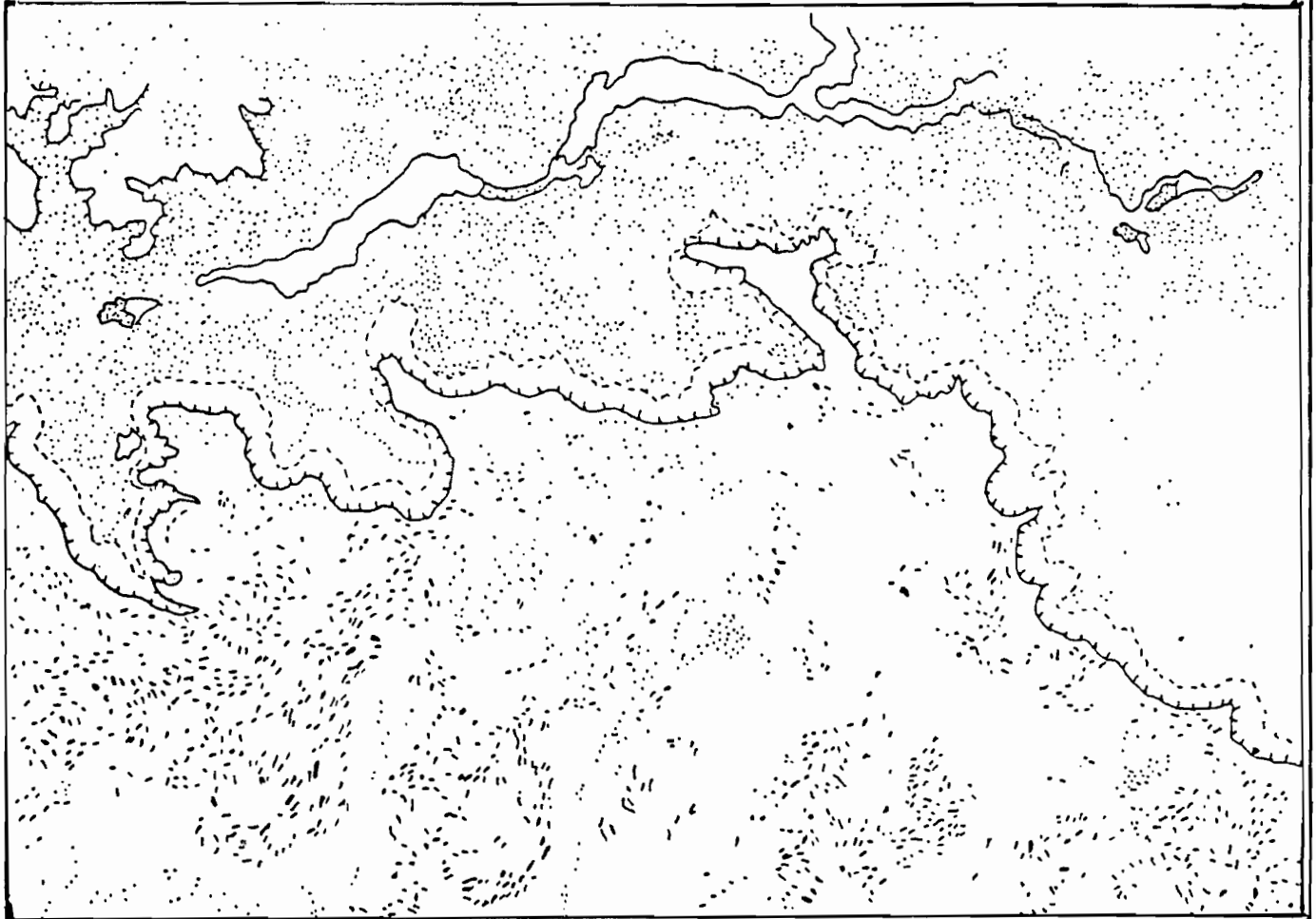
Déjà en 1984 nous avons mené des enquêtes dans le cadre de notre mémoire de DEA intitulé "Les sources écrites et orales relatives à l'érosion dans l'Adar" en vue de voir l'évolution du couvert végétal.

Les rapports coloniaux consultés ne traitaient pas de la question, quoiqu'un de ces rapports mentionnait l'existence de forêts, mises en défense. Il s'agissait des forêts d'Adouna et de Jeji dans l'arrondissement de Keita.

Les enquêtes auprès des paysans nous ont permis de savoir qu'il y a 15 ou 20 ans - selon les paysans et les lieux - le tapis végétal était tellement dense qu'il abritait des fauves comme la hyène. Les photos aériennes de 1956 montrent effectivement la densité du couvert végétal, tant sur le plateau que dans les vallées.

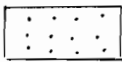
Fig. 19 : Evolution de la végétation (1956-1975) d'après photos aériennes
(Région de Baga)

a. 1956

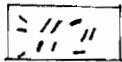


rebord du plateau

1/50.000

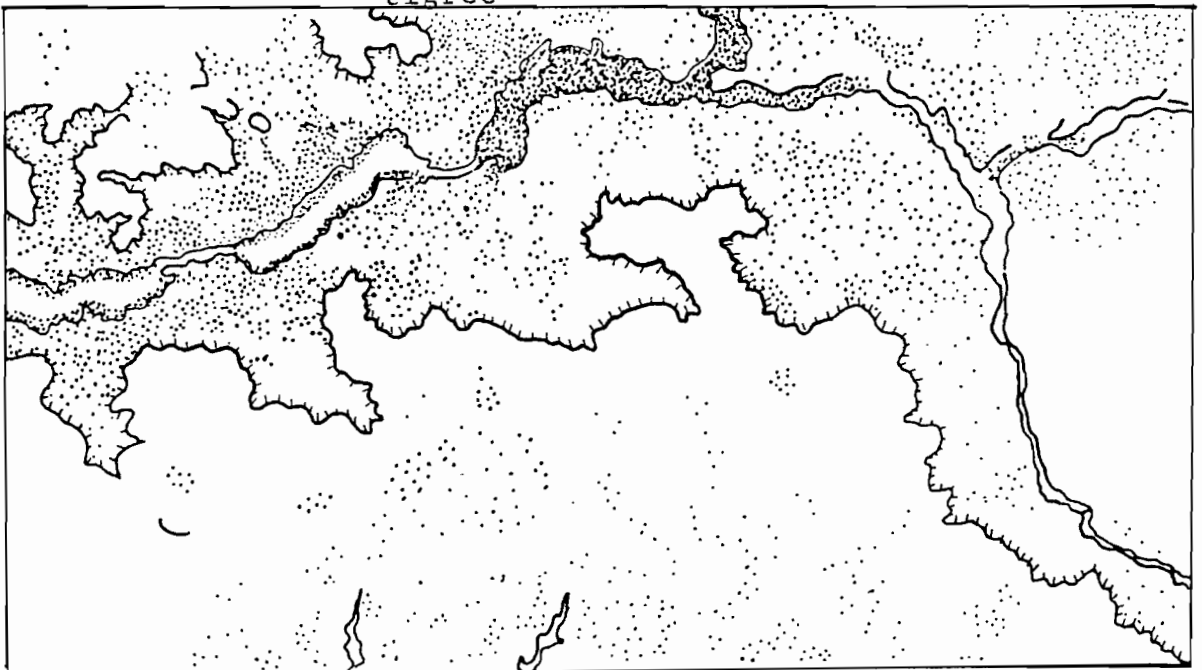


végétation



végétation : brousse
tigree

1975



1/60.000

Sur le plateau généralement s'est développée la "brousse tigrée". C'est une succession de bandes dénudées alternant avec des bandes de végétation.

Pour mettre en évidence l'évolution du tapis végétal, nous nous sommes servis des photos aériennes de 1956 et 1975. Ces photos ne sont pas à la même échelle. Celles de 1956 sont au 1/50.000 et celles de 1975 au 1/60.000. Ceci nous donne malgré tout une idée de l'importante modification de la végétation. Nous avons choisi la région de Baga-Toudouni parce que nous avons une grande partie du plateau couvert par la brousse tigrée, mais aussi des fonds de vallée densément couverte de végétation à cause de la présence des mares.

Le contraste entre les deux clichés - 1956 et 1975 - est saisissant. On peut estimer le recouvrement de la surface du plateau, en 1956, entre 25 % et 40 %, alors qu'en 1975 ce recouvrement n'est plus que de 2 % à 5 %. Dans la vallée, en 1956, le recouvrement peut être estimé à 10 % - 15 %. En 1975, il n'est plus que de 2 % à 5 %. Seule la végétation des fonds de vallée, notamment des mares, est restée presque intacte (35 % - 40 %).

Au total, il faut souligner la dégradation manifeste du couvert végétal, entre 1956 et 1975, mais aussi en 1984. La brousse tigrée n'existe pratiquement plus. Les causes sont surtout d'ordre anthropique car l'accroissement de la population s'accompagne de l'occupation de l'espace et par conséquent de la destruction de la végétation. L'influence du climat entre 1956 et 1975, et jusqu'en 1984 d'ailleurs, s'est fait très peu sentir, car, des moyennes quinquennales établies pour Tahoua de 1938 à 1984, nous avons dégagé plusieurs tendances. La période 1956-1968 est particulièrement humide. La période 1969-1984 est sèche, la moyenne sur 51 ans étant de 390 mm. Cependant cette période

est suffisamment humide - le minimum étant en 1984 de 253,9 mm - pour assurer la survie des arbres, déjà adaptés aux contraintes du milieu. Néanmoins, prises isolément, certaines saisons peuvent être, effectivement, très rudes surtout pour les arbustes : exemple de l'année 1984 où à Kounkouzout nous n'avons enregistré que 49,5 mm de pluie. De ce fait, pour imputer certains effets au climat, il y a lieu de considérer chaque saison, mais aussi chaque région.

Actuellement, compte tenu de la vigilance des agents des forêts et faune, on observe une recolonisation des espèces naturelles sur les champs.

2.3. Conclusion

De cette étude, un enseignement essentiel se dégage : la végétation naturelle n'assure plus la protection des sols, parce que dégradée du fait de la mauvaise exploitation.

Il existe cependant des espèces pouvant être utilisées, tant sur les banquettes que pour la protection des berges ou la stabilisation des dunes et des ravines. Il s'agit naturellement des acacias, mais aussi, d'une part, de l'andropogon, du mil et du sorgho pour la stabilisation des ravines, des dunes et, d'autre part, d'une espèce appelée indigo fera qu'on ne trouve que dans l'Adar. Elle pousse naturellement le long des koris, sur les berges et atténue le décapage par l'eau de ruissellement. Sa caractéristique est qu'elle pousse en bosquets qui couvrent bien le sol.

Les caractéristiques de cette végétation (rareté et discontinuité) laissent supposer des actions violentes des éléments du climat sur les sols.

Végétation et sols subissent l'influence des animaux et de l'homme.

3 - LES ACTIONS DES ANIMAUX

Nous avons retenu les actions des fouisseurs et des animaux domestiques.

3.1. Le double rôle des fouisseurs

Les fouisseurs, dont nous avons essentiellement retenu le rôle, sont les souris, les gerboises et les rats. S'ils ont attiré notre attention, c'est parce que leurs terriers parsèment tous les champs. Certaines ravines et surtout les tunnels ont comme cause les terriers de ces fouisseurs qui causent également des dégâts aux ouvrages antiérosifs (banquette, demi-lunes, seuils d'épandage). Les terriers favorisent l'infiltration, mais l'eau en passant à travers les principaux "labyrinthes" ressort plus loin, provoquant ainsi par suffosion un affaissement et la formation de ravines.

A cela, il faut ajouter l'action des animaux domestiques.

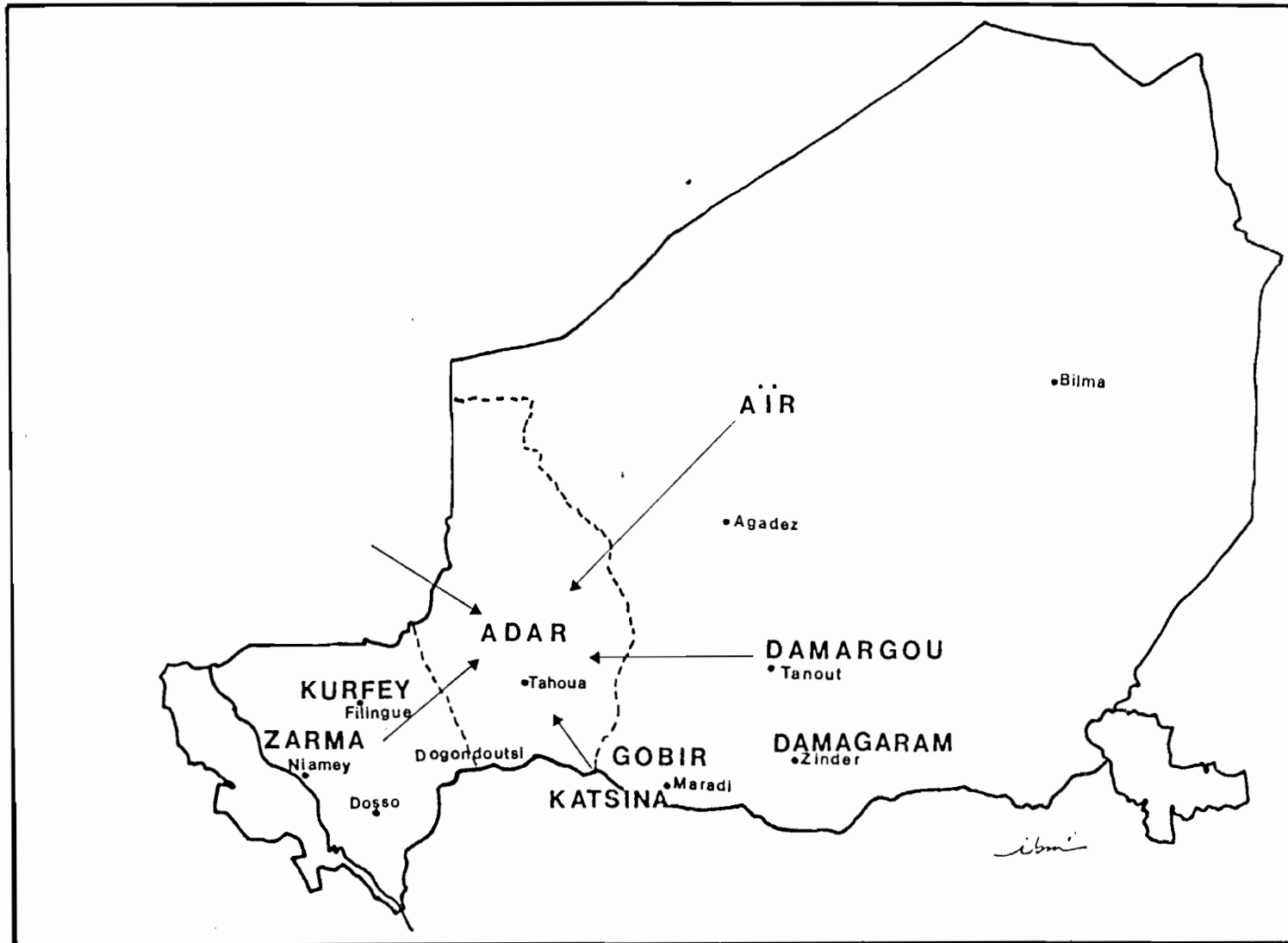
3.2. L'action des animaux domestiques

C'est à travers l'élevage que l'on peut déceler l'action des animaux domestiques. L'élevage constitue, autant que l'agriculture, une activité humaine qui a un impact sur le milieu. En effet, le milieu réagit en fonction du nombre de têtes de bétail, des espèces élevées, du type d'élevage pratiqué. Un élevage rationnel maintient l'équilibre naturel, alors qu'une mauvaise pratique entraîne la dégradation du milieu.

Nous nous proposons d'étudier le cheptel, sa composition, le type d'élevage pratiqué et ses conséquences.

De toutes les espèces élevées (ovins, bovins, camélins, caprins, asins...), c'est le petit bétail qui prédo-

Fig. 20 : Origine des populations de l'Adar (Bouzou, 1988)



1/14.000.000

mine, ce qui n'est pas sans conséquence sur le milieu. En effet, beaucoup s'accordent pour reconnaître l'action néfaste du petit bétail sur la végétation car caprins et ovins broutent l'herbe jusqu'aux racines, empêchant sa régénération. Le sol, ainsi dénudé, est vulnérable à l'érosion.

Par ailleurs, il faut opposer deux types d'élevage extensif : l'élevage nomade, pratiqué par les Peul et les Tuareg et celui pratiqué par les sédentaires. Il n'existe pratiquement pas d'aires réservées pour le pâturage. La saison sèche étant longue, les animaux peuvent paître dans les champs. Il arrive que pasteurs et agriculteurs s'accordent pour que les animaux paissent en vue de fertiliser les champs avec leurs excréments. Néanmoins, malgré l'utilité de la fertilisation, une telle pratique - dans la mesure où les tiges qui, en principe, devaient protéger le sol contre l'érosion sont consommées par les animaux - est nocive. De plus, le passage constant des animaux casse la croûte de battance du sol qui se prête alors à l'érosion. Une telle pratique est destructrice parce qu'ici, comme partout ailleurs au Sahel, l'élevage utilise essentiellement le pâturage naturel. Qui plus est, la densité de ce pâturage est faible dans le temps et dans l'espace. Cette pratique ne tient pas compte de la capacité limite du milieu. La conséquence est l'élimination pure et simple de certaines espèces par le broutage, la dénudation progressive du sol et la marche vers la désertification, phénomène accentué par la pression démographique.

4 - LA PRESSION DEMOGRAPHIQUE

La population de l'Adar a des origines diverses (Fig. 20). De toutes les contrées du Niger, des peuples ont immigré vers l'Adar. D'après Nicole Echard (1975), le peuplement s'est fait progressivement à partir d'éléments de deux types :

- les populations autochtones appelées ASNA, venues elles-mêmes de l'Aïr, vers le XII^e siècle ;
- les autres groupes de migrants venus dans le courant du XII^e jusqu'au XIX^e siècle.

Ces origines diverses montrent le caractère hétérogène de la population de l'Adar qui est composée des ethnies suivantes :

- les Haoussa, numériquement les plus nombreux. Ce sont des agriculteurs sédentaires ;
 - les Tuareg et les Peul qui sont des éleveurs nomades.
- Aussi, deux types d'activités se pratiquent : l'agriculture et l'élevage.

Nous allons montrer à travers cette étude, l'influence de l'homme sur le milieu.

4.1. Evolution de la population

Nous nous proposons dans ce paragraphe d'étudier la croissance de la population et les densités qui en découlent.

4.1.1. L'accroissement de la population

Tableau N° 19 : Evolution de la population par arrondissement

Arrondissement	1952	1963	Ac	1973	1983	Ac	Estimation 1987	Estimation 2000
BOUZA	51 774	74 070	3,30 %	94 818	116 596	2,08 %	126 649	165 616
ILLELA	68 136	88 256	2,3 %	112 976	145 777	2,5 %	161 420	224 816
KEITA	55 452	89 104	4,40 %	114 862	141 478	2,10 %	153 778	201 633
KONNI	62 103	115 528	5,80 %	147 888	179 386	1,9 %	193 785	248 543
MADAOUA	77 976	117 327	2,9 %	150 190	165 625	0,9 %	172 234	195 590
TAHOUA	80 780	122 589	3,8 %	160 197	171 729	0,6 %	176 567	193 252
TCHINTABARADEN	63 820	72 925	1,2 %	93 350	117 541	2,3 %	120 281	162 289
TOTAL	460 041	679 799		873 481	1 082 360		1 104 714	1 391 739

Nous avons calculé pour chaque arrondissement le taux de croissance des périodes 1952 - 1963 et 1973 - 1983. Les populations de 1987 et 2000 ont été estimées. Pour tous les arrondissements, en 35 ans, c'est-à-dire de 1952 à 1987, la population a plus que doublé. Seul l'arrondissement de Tchintabaraden fait exception. Cependant, même pour cet arrondissement à vocation essentiellement pastorale, la population en 1987 tend vers le doublement.

- Pour l'ensemble du département en l'an 2000, la population va tripler celle de 1952. Il faut souligner qu'en 1950, la population totale du Niger était estimée à 2 400 000 habitants. La population du département de Tahoua représentait alors 19,16 % de cette population répartis sur 8,4 % du territoire nigérien. En 1986, la population du Niger était estimée à 6 500 000. La population du département de Tahoua représente 17 % de cette population.

Trois arrondissements intéressent notre secteur : ceux de Keita, de Tahoua et d'Illéla. L'évolution de leur population est sensiblement la même que celle des autres arrondissements.

Les conséquences de cette croissance sont doubles. D'abord, l'occupation des terres est très poussée. Déjà en 1979, 82 % des superficies cultivables pour tout le département ont été cultivées. Ainsi, pour l'arrondissement de Keita, sur une superficie de 87 700 ha, 63 500 ha ont été cultivés, soit 72 %. Pour Tahoua, sur une superficie de 114 465 ha, 103 500 ha ont été cultivés soit 90 %. Enfin, pour l'arrondissement d'Illéla, sur 115 350 ha, 85 000 ha ont été cultivés soit 74 %.

Tableau N° 20 : Les superficies des différents arrondissements cultivables et cultivées

Arrondissement	Superficies totales	Superficies cultivables	Superficies cultivées (2)	(2) (1) en %
BOUZA	3 589 km ²	89 600 ha	85 000 ha	95 %
ILLELA	6 719 km ²	115 350 ha	85 000 ha	74 %
KEITA	4 860 km ²	87 700 ha	63 500 ha	72 %
KONNI	4 661 km ²	90 750 ha	85 000 ha	94 %
TAHOUA	8 805 km ²	114 465 ha	103 500 ha	90 %
TCHINTABARADEN	73 540 km ²	-	-	-
TOTAL DEPARTEMENT		618 215 ha	509 000 ha	82 %

(1) et (2) sont des chiffres de 1979.

En considérant l'ensemble des superficies cultivables de la République du Niger dont 12 % seulement sont utilisés, on se rend compte que le département de Tahoua est surchargé. L'autre conséquence est l'augmentation des densités rurales comme nous allons le montrer dans la partie qui suit.

Dans tous les cas, ce qui ressort de cette étude, c'est la surcharge du milieu, liée à la pression démographique.

4.1.2. Les densités de population (Fig. 21 et 22)

La densité permet de connaître la charge humaine. C'est un terme relatif qui dépend de la productivité du système. Dans le cas de l'Adar, les potentialités naturelles sont probablement atteintes, voire dépassées.

Nous avons calculé les densités pour l'ensemble du département, par arrondissement et pour un certain nombre

de cantons qui nous intéressent. Pour étudier l'évolution de ces densités, nous avons réalisé des cartes d'illustration.

La tableau 21 nous montre l'évolution des densités pour le département, de 1952 à l'an 2000. Pour cette dernière année comme pour l'année 1987, nous avons estimé la population et partant nous avons calculé les densités. D'ores et déjà nous pouvons dire que la moyenne départementale n'est pas très expressive. Toutefois, comme la croissance démographique est accélérée, la densité suit cette évolution.

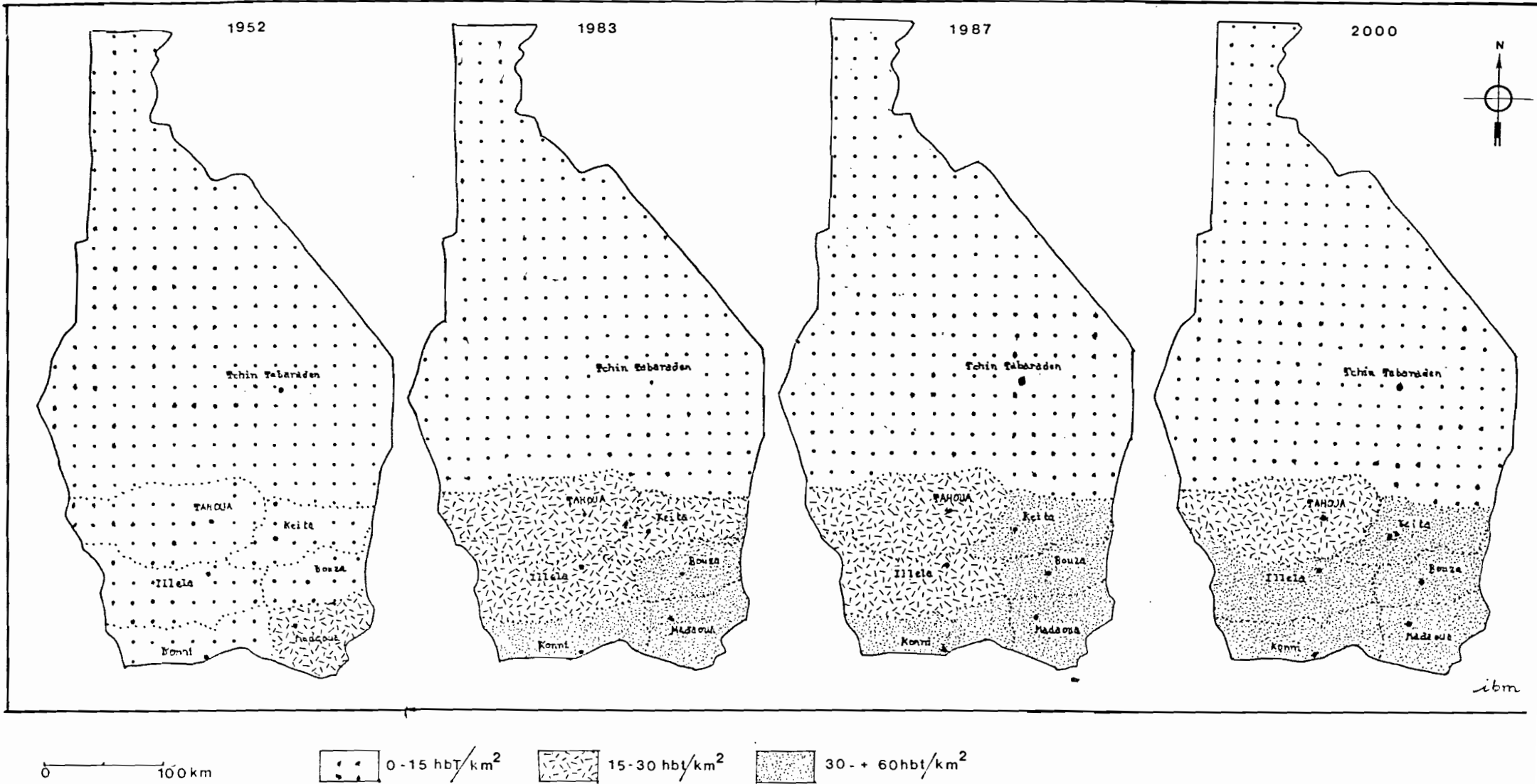
Tableau N° 21 : Densités de population (habitants au km²)

Arrondissements	1946-1952	1963	1973	1983	1987	2000
BOUZA	14,4	20,6	26,4	32,4	35,2	46,1
ILLELA	10,1	13,1	16,8	21,6	24,02	62,6
KEITA	11,40	18,3	23,6	29,1	31,6	41,4
KONNI	13,3	24,7	31,7	38,4	41,5	53,3
MADAOUA	17,3	26	33,3	36,7	38,2	43,4
TAHOUA	9,1	13,9	18,1	19,50	20,05	21,9
TCHINTABARADEN	0,8	0,9	1,2	1,5	1,6	2,20
MOYENNE DEPARTEMENT	4,3	6,3	8,1	10,1	10,3	13,04

Ainsi, de 1952 à 1987, les densités ont plus que doublé et en l'an 2000, elles auront plus que triplé.

Même si ces moyennes départementales ne sont pas expressives, il faut dire déjà qu'en 1952, comparativement à la moyenne nationale qui était de 1,90 hab/km², la moyenne du département de Tahoua était 4 fois plus élevée que cette moyenne nationale avec 4,31 hab/km².

FIG 2-1 EVOLUTION DES DENSITES DE POPULATION
DU DEPARTEMENT DE TAHOUA



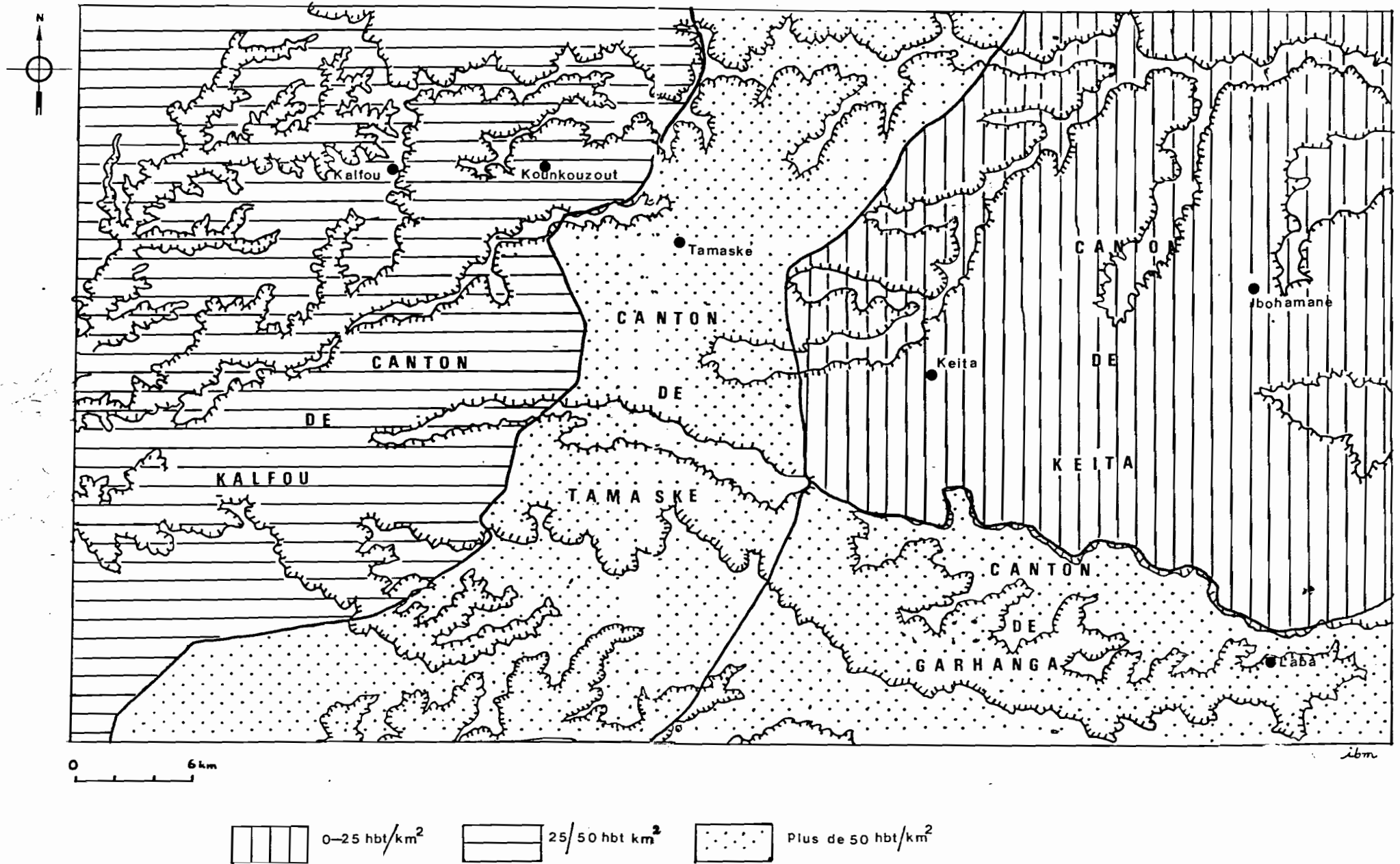
Par contre, les moyennes des arrondissements sont expressives. De tous les arrondissements, seul celui de Tchintabaraden ne sera jamais très peuplé, même en l'an 2000. Les raisons en sont : d'une part, sa grande superficie, car il est le plus vaste arrondissement avec 73 540 km² et, d'autre part, son climat difficile qui ne permet que la pratique de l'élevage nomade extensif. En l'an 2000, pour tous les arrondissements, les densités iront de 2 à plus de 60 hab/km², c'est-à-dire que les densités de 1952 seront multipliées par 2 et même par 6. Nous avons donc essayé de faire ressortir ces caractéristiques sur 4 cartes (Fig 21). Les trois arrondissements qui nous intéressent sont parmi les plus densément peuplés. Il s'agit d'Illéla qui passe de 1952 à 2000 de 10,4 hab/km² à 62,6 hab/km² sur une superficie de 6 719 km² ; l'arrondissement de Keita qui passe de 11,40 hab/km² à 41,4 hab/km² sur une superficie de 4 860 km² ; l'arrondissement de Tahoua avec une superficie de 8 805 km² passe de 9,1 hab/km² à 21,9 hab/km². Ces fortes densités sont fonction de la superficie des régions et de la fertilité des sols. En effet, dans l'arrondissement d'Illéla par exemple, les sols sont sablonneux alors que la région de Tahoua est recouverte pour l'essentiel par la cuirasse ferrugineuse.

Encore plus expressives sont les moyennes cantonales (tableau 22). En effet, pour établir la carte des densités rurales de notre région d'étude, nous avons calculé les moyennes cantonales. Cette carte (Fig. 22) nous montre des régions densément peuplées comme les cantons de Garhanga qui a 51 hab/km² et celui de Tamaské qui a jusqu'à 82 hab/km², alors que la moyenne du département pour cette année 1987 est de 10 hab/km². Les moyennes cantonales sont donc 2 à 8 fois plus fortes que la moyenne départementale ce qui est considérable.

Cette surcharge, doublée d'une utilisation incontrôlée de l'espace, conduit à la dégradation des terres.

Fig 22 VALLEE DE KEITA : DENSITES DE POPULATION

(1987)



ibm

Tableau N° 22 : Population et densité par canton

Cantons	1975	1980	1981	1982	Ac (%)	1987	Densités rurales	Superficiés (km ²)
KEITA	44 153		55 315		3,82	69 296	19,82	3 495
GARHANGA	21 418		27 556		4,28	35 453	51,38	690
TAMASKE	37 617	44 144			3,25	55 225	81,81	675
KALFOU	47 803			66 122	4,74	83 363	39,22	2 125
BAMBAYE	50 439			67 383	4,22	82 869	20,56	4 030
ILLELA	100 328			125 860	3,29	147 979	41,68	3 550

4.2. Les méthodes culturales

C'est par les techniques culturales que l'homme transforme le milieu. Certaines de ces techniques sont néfastes, d'autres positives du point de vue de la conservation des sols.

Il convient d'abord de dire un mot sur les instruments de culture qui, pour la plupart, sont traditionnels et rudimentaires. Les principaux instruments de labour sont la daba (un type de houe) et l'hilaire (instrument à long manche en bois qui permet le travail en station debout). Ces outils ne présentent aucun danger dans leur utilisation ; c'est plutôt certaines façons culturales qui sont néfastes.

Parmi les façons culturales, il faudrait distinguer d'anciennes pratiques aujourd'hui abandonnées et celles qui ont persisté.

Les anciennes pratiques positives, mais aujourd'hui abandonnées, résident dans la restauration de la fertilité du sol. Il s'agit de la jachère, de la fumure (utilisation des excréments d'animaux comme fertilisants) et du paillage qui consiste à laisser les tiges après moisson pour lutter contre l'action éolienne. La croissance démographique a

conduit à l'abandon de ces pratiques. Il faut aussi souligner l'inexistence de haies vives qui pourtant existaient (probablement introduites pendant la colonisation). Les champs sont donc ouverts et étant nus, les sols sont plus vulnérables à l'action du vent.

Les anciennes pratiques positives qui persistent de nos jours constituent la lutte antiérosive. Ces pratiques ont pour but de réduire le ruissellement. Il s'agit d'une part, de lignes de pierres perpendiculairement à la pente, renforcées de branchages. Ces lignes ne sont pas assez efficaces, mais témoignent d'une tradition de lutte anti-érosive. D'autre part, des labours perpendiculaires à la pente sont aussi pratiqués. Cependant ces labours présentent de gros inconvénients car ils sont superficiels. C'est un simple grattage du sol. Les pluies et le vent transportent facilement la terre remuée laissant ainsi à nu une surface dure qu'il faudra encore remuer. Ce type de labour a attiré notre attention au cours de nos observations sur le terrain. Ceci nous a conduit à faire des labours profonds avec la houe, sur nos parcelles expérimentales, avec des résultats satisfaisants (voir ci-après, chapitre IV). Cependant le labour profond, s'il permet de stocker plus d'eau pour les plantes, est aussi dangereux sur pente forte car le sol est alors plus érodible.

Les autres méthodes sensibles (à cause de la dégradation du milieu qu'elles engendrent) sont le défrichement et le feu de brousse. Cependant, pour le paysan elles sont nécessaires car trop de végétation dans un champ empêche la croissance des plantes. Par ailleurs, les cendres de la végétation brûlée fertilisent le sol. "

4.3. Conclusion

Ainsi, cette région connaît une croissance démographique poussée qui a comme conséquence le surpeuplement. Quand on sait qu'à l'heure actuelle la quasi totalité des

superficies cultivables sont cultivées, on comprend que le problème des terres se pose avec acuité, de telle sorte que même la surface du plateau recouverte des grés ferrugineux est mise en valeur.

Ces terres sont très mal entretenues, surtout après la saison des pluies. Elles restent ainsi vulnérables aux actions destructrices du vent et du ruissellement. C'est la raison pour laquelle, malgré le manque de terre, certaines sont abandonnées parce que profondément ravinées ou indurées sur une grande profondeur.

5 - CONCLUSION

L'étude des conditions bioclimatiques nous a permis de comprendre l'influence :

- d'une part, du climat qui, par ses caractéristiques (opposition nette entre deux saisons sèche et humide), a des conséquences morphogénétiques importantes.
- D'autre part, de la végétation qui, rare et discontinue (cet état étant le fait du climat et de l'homme), ne protège pas le sol de l'érosion.
- Enfin, de la population qui, par sa densité due à un fort accroissement, crée une surcharge sur le milieu, surcharge qui se traduit par l'utilisation intensive du sol qui provoque sa dégradation.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Nous avons mis en évidence dans cette première partie la fragilité du milieu étudié. Ceci est dû à :

- la nature des roches sédimentaires qui sont pour l'essentiel mal consolidées. Ce matériel rocheux se prête ainsi aux actions érosives des eaux, du vent.
- Les formes du relief façonnées par une paléo-érosion, mais qui évoluent encore sous l'influence du climat aride actuel. Ces formes variées de dissection et d'accumulation traduisent le dynamisme du système morphogénétique.
- Les sols qui, bien que tout juste décrits, ont comme dénominateur commun leur mauvaise structure car couverts d'une pellicule de battance et/ou indurés et qui, de ce fait, sont sujets au ruissellement et au ravinement.
- Le climat qui, comme tous les climats des zones semi-arides, est caractérisé par son agressivité.
- La végétation qui est celle des régions semi-arides, donc discontinue et protégeant mal le sol. Elle évolue en fonction de la croissance de la population et des changements climatiques.
- Enfin l'homme et les animaux qui, comme nous l'avons vu, interviennent pour transformer le milieu.

Aussi les interactions, les interrelations entre les facteurs naturels (géologie - climat - sol - végétation) et l'homme ont fait de ce milieu un milieu dégradé, hostile. Dégradation et hostilité qui se traduisent par la désertification et l'érosion.

La deuxième partie s'efforce de faire sortir l'intensité de l'érosion dans la vallée de Keita.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DE L'EROSION ET

LUTTE ANTI-EROSIVE DANS L'ADAR

Après l'étude des principaux caractères du milieu, nous nous proposons dans cette deuxième partie d'étudier l'érosion en tant que telle. Ceci se fera en trois étapes :

- Chapitre III : Les processus actuels d'érosion.

Cette étude générale nous permet de comprendre l'évolution des formes actuelles. Nous y avons inclus l'étude des processus d'érosion éolienne que nous n'avons pu quantifier faute de moyens adéquats.

- Chapitre IV : Etude quantitative de l'érosion hydrique.

Grâce à des parcelles et des repères, nous avons cherché à quantifier et à apprécier l'érosion hydrique.

- Chapitre V : Lutte antiérosive dans l'Adar

Nous avons décrit et porté un jugement sur les méthodes antiérosives pratiquées dans l'Adar : méthodes traditionnelles et modernes. Nous nous sommes servis de nos observations morphologiques, de nos expériences et de celles des autres (paysans et technocrates) pour proposer une intervention efficace, rationnelle, sur le milieu en tenant compte des conditions de ce milieu et de l'homme.

CHAPITRE III

LES PROCESSUS ACTUELS DE L'EROSION

Etudier les processus d'érosion, c'est montrer la manière dont travaillent les principaux agents : l'eau, le vent. Il faut distinguer les processus chimiques et les processus mécaniques.

Dans l'Adar toutes les conditions sont réunies pour favoriser, d'une part l'érosion météorique ou naturelle et d'autre part, l'érosion anthropique dite accélérée. En effet nous avons montré dans la première partie que :

- l'ensemble des formations rocheuses sont pour une grande partie non consolidées, par conséquent très facilement érodables ;
- le climat de type semi-aride est agressif ;
- la végétation est discontinue, l'homme ayant contribué à la dégradation du milieu par le déboisement.

Nous examinons : processus chimiques et processus mécaniques.

1 - LES PROCESSUS CHIMIQUES

Les processus chimiques modifient la nature physico-chimique de la roche. Il faut distinguer la dissolution, l'altération chimique, le cuirassement, l'encroûtement...

Compte tenu de l'aridité du climat, l'altération chimique et le cuirassement ne s'observent pas. Par contre la dissolution y est présente. Par exemple, dans les formations riches en fer la libération de ce dernier et par lessivage, ce fer est entraîné dans les horizons sous-jacents.

La présence des formes karstiques constituées essentiellement de Lapiez démantelés dans l'Adar amène à se poser la question de savoir si le processus de dissolution qui les engendre est encore actif. Il est vrai qu'il existe des karsts tropicaux, mais les caractéristiques de notre climat - irrégularité des pluies, faible écoulement, forte évaporation - favorisent très peu l'évolution de ces formes.

La dissolution contribue sans aucun doute à l'appauvrissement des sols par le transport des éléments fertilisants. Malheureusement nous n'avons mis au point aucune méthode qui nous aurait permis d'étudier le lessivage par exemple, afin d'avoir une meilleure idée de l'importance de ce phénomène. Néanmoins, pour avoir une idée de ce que peuvent transporter les eaux de ruissellement, trois échantillons de fin de saison ont été analysés. Le tableau compare les charges des eaux et du sol. On constate que le sol comme les eaux ont un pH basique. Le sol est surtout pourvu en Ca^{++} , cependant pauvre en K^+ et Na^+ . Quant aux eaux elles sont très peu chargées en éléments minéraux. On constate cependant que Na^+ et K^+ sont les éléments les plus mobilisables.

Tableau N° 23 : Comparaison des charges des eaux et du sol
(me/L)

		pH	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{++}	K^+
Sol		7,5	17,4	2,6	0,12	0,10
eaux	1	7,18	1,0	0,4	0,19	0,11
	2	7,35	1,2	0,3	0,17	0,15
	3	7,35	1,0	0,4	0,19	0,10

De cette dernière constatation, on peut tirer comme enseignement - le seul d'ailleurs que nous permettent ces résultats - le risque de salinisation en cas de concentration de ces eaux. Enfin, si le fer n'apparaît pas dans



Planche 5 : Ruissellement sur le plateau (Kalfou).

ces résultats - ce qui peut paraître étonnant pour ces sols ferrugineux tropicaux - c'est qu'il n'a pas été dosé.

Actuellement ce sont les processus mécaniques qui sont plus manifestes dans notre région d'étude.

2 - LES PROCESSUS MECANIQUES

L'érosion mécanique est plus violente et plus spectaculaire que l'érosion chimique, notamment par les formes qu'elle engendre. Ces formes dépendent de l'attaque mécanique et de la nature de la roche. Les principales forces sont : la pesanteur sans laquelle il n'y aurait pas de déplacement de matériel, la température, les eaux courantes, le vent, mais aussi l'homme qui, par le labour ou le défrichage, prépare le matériel à l'action des eaux courantes et du vent.

2.1. L'action des eaux courantes

L'action des eaux courantes se traduit par l'arrachement du matériel. Le principal processus est le ruissellement : ruissellement diffus et ruissellement concentré. La pente joue un rôle important dans l'action de ces deux types de ruissellement. Elle facilite selon la nature de la roche, le décapage.

Nous avons observé ce phénomène dans quatre milieux différents : la surface du plateau, les versants rocheux et tendus, les dunes et les bas-fonds.

2.1.1. La dynamique sur le plateau

La surface du plateau est caractérisée par sa forme tabulaire, une pente faible pourtant suffisante pour permettre l'écoulement des eaux - et son imperméabilité que lui confère sa couverture de grès ferrugineux ou de cuirasse. Cette imperméabilité est telle que des pluies de 5 mm avec une forte intensité suffisent à provoquer un ruissellement.

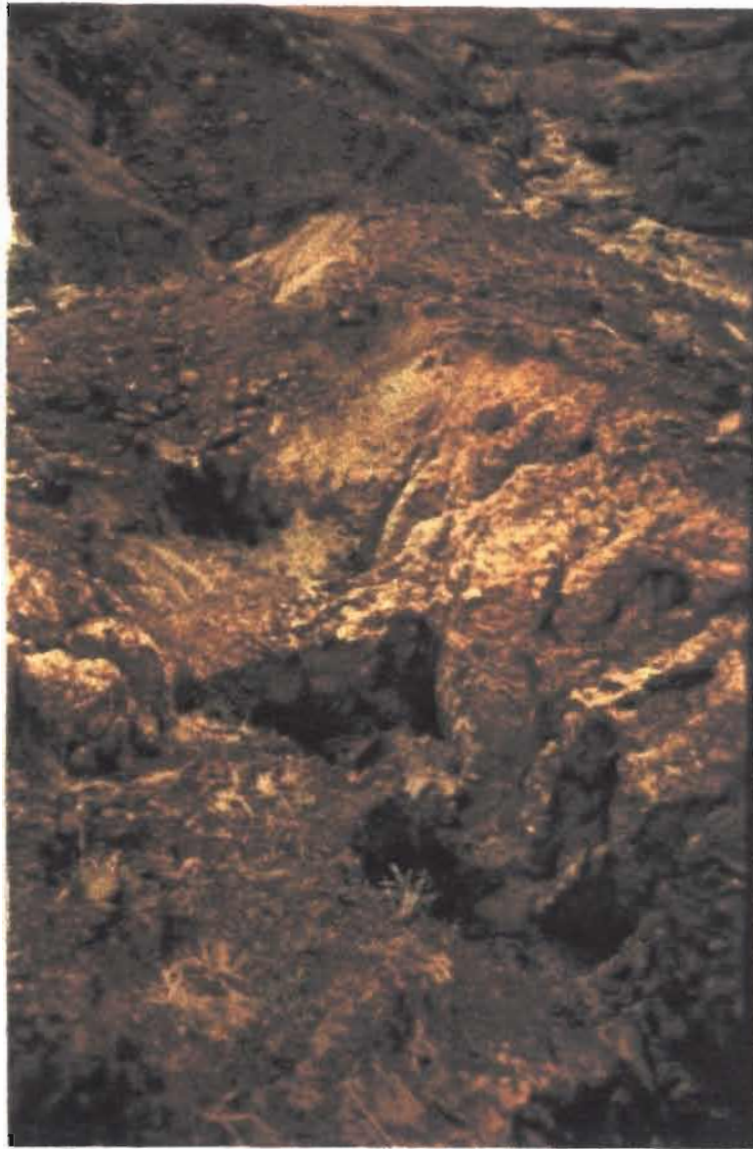


Planche 6 : Formation de tunnels par suffosion et évolution vers le ravinement (Gadamata).

A la surface du plateau prédomine essentiellement le ruissellement diffus. Cette surface n'est pas pourtant uniforme. Il existe des zones de concentration des eaux, parfois de petites cuvettes sans exutoire. Par endroit d'importantes pentes de retrait favorisent l'infiltration de l'eau.

Au total, à la surface du plateau, exceptées les zones non couvertes par le grés ou la cuirasse ferrugineuse, l'action de l'eau se traduit par le transport de matériel fin. L'érosion dans ces conditions n'est pas spectaculaire comme sur les versants ou dans les bas-fonds.

2.1.2. La dynamique sur les versants

Il faut distinguer deux types de versant : les parties rocheuses à pente forte et les parties tendues notamment les glacis et les terrasses.

a) - La dynamique sur les versants rocheux

Les versants rocheux sont sujets au ruissellement concentré. Les résultats de la dynamique sont essentiellement les formes de dissection : tunnels, ravines et ravins, torrents. Ces formes se développent en fonction de la nature du matériel et de la pente.

Sur l'abrupt des versants généralement formés par des roches massives - grés, calcaires - on n'observe pas de formes de ravinement mais on assiste plutôt à un lent démantèlement des blocs de grés. La corniche recule alors parallèlement à elle-même. Ce démantèlement est essentiellement dû au soutirage du matériel fin sous-jacent par l'eau qui s'infiltré à travers les fissurations du grés.

Les gradins et les dépressions étagées formées dans les grés, recouverts de matériel argilo-limoneux - leur pente étant faible - sont sujets à un ruissellement diffus.

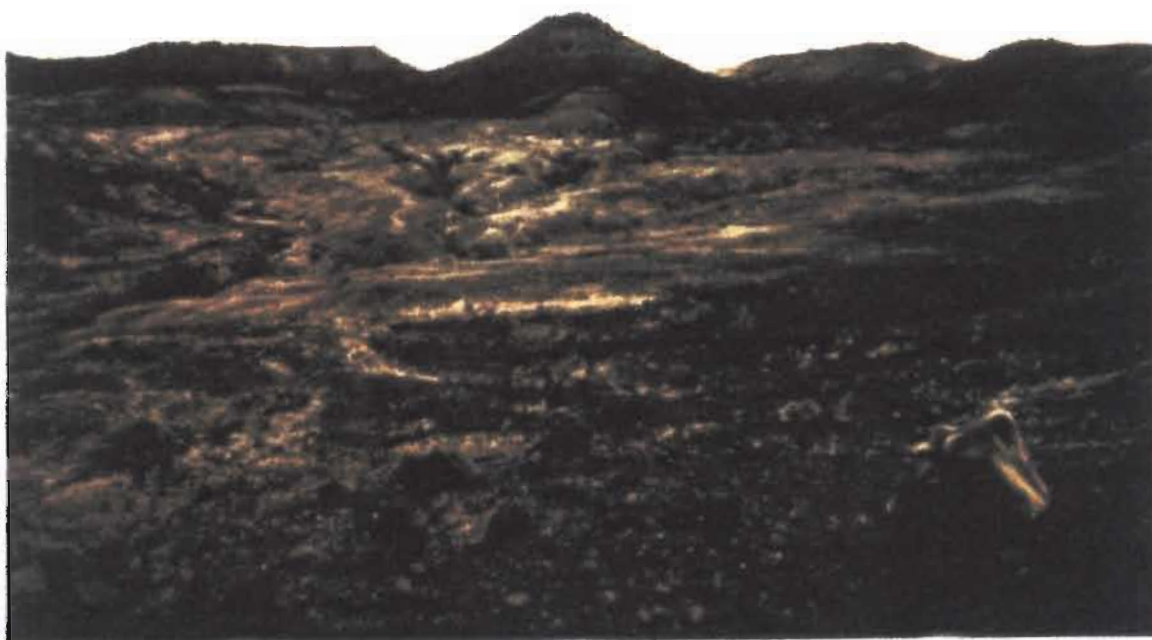


Planche 7 : Torrent de Gadamata.

Néanmoins une accentuation de la pente et un resserrement de la surface suffisent pour permettre la concentration des eaux et le ravinement. Cette topographie est, le plus souvent, le point de départ des ravins entaillant le versant.

Les bourrelets de glissement, pourtant recouverts de colluvions servant de couche protectrice, sont profondément entaillés par des ravins qui prennent l'allure de véritables canyons.

Le processus est facilité par la pente. Les eaux concentrées empruntent le même passage. Par soutirage progressif, les blocs sont roulés en contrebas mais cela prend un temps relativement long.

Enfin la base convexe de ces versants, elle-même recouverte de colluvions, est la partie la plus sujette au ravinement, malgré la protection des colluvions. C'est l'érosion régressive des glacis qui atteint généralement cette partie des versants.

Tel est le schéma classique de la dynamique sur ces parties rocheuses recouvertes de colluvions.

Cependant, là où apparaît la roche à nu, on observe une autre dynamique. En fonction de la nature des formations dans lesquelles ils sont taillés, ces versants sont très peu ou pas sujets au ravinement.

C'est ainsi que les versants calcaires sont plus sujets à la dissolution qu'au ravinement. Par contre, les versants formés dans les silts et sables très fins sont des versants de "bad-lands". Ils sont sujets à la suffosion et au ravinement. Ces versants s'observent surtout en amont dans la Haute Vallée. C'est le cas typique des versants d'Ibohamane et d'une manière générale en amont de toutes les vallées de l'Adar où les formations meubles sont très développées.



Planche 8 : Ravinements sur glaciis et berges (Kounkouzout).

b) - La dynamique sur les glacis

Nous avons distingué glacis cuirassés et glacis non cuirassés.

Sur les glacis cuirassés, on observe essentiellement le ruissellement diffus. Sa cuirasse protectrice empêche tout décapage.

Les glacis non cuirassés sont sensibles aux deux types de ruissellement : diffus sur les glacis fonctionnels et concentrés sur ceux ne l'étant plus. Les glacis fonctionnels sont ceux qui sont très ravinés. En considérant la topographie générale des glacis - surface plane, pente régulière - la question que l'on peut se poser est la suivante : Quand et pourquoi le ruissellement cesse d'être diffus pour devenir concentré et être ainsi le principal agent du ravinement ?

Trois causes peuvent être retenues : des causes climatiques, la caractéristique du sol de glacis et la modification de la topographie ou même de la structure du sol.

b.1. Les causes climatiques

Elles se résument aux caractéristiques des pluies actuelles qui sont brèves, avec des ruissellements qui ont tendance à se concentrer provoquant ainsi les ravine-
ments.

b.2. La modification de la topographie et de la structure du sol

Les glacis portent généralement des sols de culture. Certains labours mal faits - labours parallèles à la pente - favorisent le ruissellement entre deux billons et par conséquent, la naissance d'une multitude de ravines. Si celles-ci ne sont pas corrigées, elle peuvent évoluer rapidement.

Les passages répétés des hommes et des animaux détruisent la croûte du sol et par voie de conséquence facilitent le ravinement.

Par ailleurs c'est toujours au niveau des berges que s'observe le début du ravinement des glacis. C'est parce qu'à ce niveau, les eaux qui jusque là coulaient en nappe, se concentrent, ceci étant dû à un changement brusque de la pente au bord de la berge. Des griffes se forment alors et par érosion régressive, ces formes évoluent et ce jusqu'à ce qu'il y ait stabilisation. Cette stabilisation peut se faire à des niveaux différents : à quelques mètres de la berge ou jusqu'au pied des versants, voire jusqu'au sommet. Certains ravins se stabilisent quand il n'y a plus d'apport d'eau - l'apport se faisant au profit d'autres par capture - mais aussi parce que la pente ne permet plus une concentration des eaux. Ceux qui remontent jusqu'au sommet du versant trouvent l'explication de leur développement dans la pente qui devient très forte sur le versant et surtout par la nature des roches qui peut s'y prêter.

b.3. Les caractéristiques des sols des glacis

La nature des sols mais surtout leur structure ont une grande importance dans le ravinement. C'est ainsi que nous avons remarqué que généralement les sols bruns subarides formés au pied des versants hétérogènes ne sont pas sensibles à ce processus. Par contre, certains sols brun-rouges sont profondément ravinés. Ceci est dû au fait que les premiers ont une bonne structure car, grumuleux et bien poreux, ils facilitent l'infiltration. Par contre, les sols bruns subarides sont très indurés et sujets à la dissection.



Planche 9 : Ravines sur dune labourée dans le sens de la
pente (Guidan Gara - Vallée de Tamaské).

2.1.3. La dynamique sur les dunes

Il faut distinguer les dunes mobiles et les dunes fixées indurées.

La grande porosité du sable des dunes vives facilite l'infiltration de l'eau de pluie.

Par contre nebkas et dunes fixées sont sensibles au décapage par le ruissellement concentré. Sur les dunes fixées se développent toutes les formes de ravinements : ravines et ravins. Les ravines se développent surtout sur les dunes à pente raide. Lorsque la pente permet la collecte d'un volume d'eau plus important, les ravines évoluent en ravins. Sur ces dunes fixées, le processus est facilité par l'induration du matériel. Le faible volume de sable facilite le décapage des nebkas.

2.1.4. La dynamique dans les bas-fonds

C'est la zone de rencontre et d'organisation des eaux descendues des versants. Elle constitue avec les glacis la zone où se manifeste une érosion de forte intensité. C'est le "talon d'Achille" en matière de CES. Car les ouvrages construits jusqu'à présent afin de maîtriser l'écoulement, résistent peu ou pas. L'exemple le plus frappant est celui de la vallée de Kalfou où, depuis le début de la construction des seuils d'épandage - 1984-1986 -, il a fallu chaque année reprendre certains ouvrages.

Deux facteurs déterminent ici la dynamique :

- Les lits des Koris - de 3 à 5 m de large, dépassant rarement la dizaine de mètres - sont taillés dans des formations meubles.
- L'écoulement s'organise comme suit : écoulement dans le fond des Koris et apport des glacis. Cet écoulement est généralement fort pendant les crues.

Il faut distinguer par ailleurs :

- une érosion verticale provoquée par l'eau coulant dans le lit ;
- une érosion latérale provoquée par les eaux d'apport des glacis.

La plus spectaculaire est cependant l'érosion latérale qui affecte les berges. Toutefois les deux types d'érosion se combinent : l'érosion latérale entraîne le recul de tête et l'agrandissement des ravines créées, alors que l'érosion verticale les approfondit.

Outre la formation des ravins, l'autre processus observé sur les berges est le sapement.

Le type d'écoulement n'explique pas à lui seul un tel phénomène ; il faut faire ainsi intervenir la nature du matériel. En effet les berges cuirassées sont intactes. Les berges ravinées ou sujettes au sapement sont celles dont le matériel est meuble. Elles sont généralement parsemées de fentes qui facilitent l'infiltration de l'eau qui sape les berges après imbibition. Les terriers sont aussi la cause des ravinements et de sapement des berges. Il faut aussi souligner l'évolution des méandres comme cause de ce processus.

Le phénomène s'amplifie d'autant plus que les méandres sont rapprochés et que le sol est couvert de fentes de retrait.

De l'étude de l'action des eaux courantes, deux enseignements se dégagent :

- A priori l'on pourrait considérer au vue des actions du ruissellement concentré - ravinement, sapement et formation de tunnels et de torrents - que le ruissellement en nappe n'est pas important. Toutefois, s'il n'est pas spectaculaire, il est pourtant la cause de l'appauvrissement des sols.

- Trois facteurs principaux déterminent le ruissellement : les caractéristiques de la pluie, notamment son intensité (cf. Chapitre II, première partie), la pente et la nature du matériel. Ce dernier facteur, dans la mesure où la végétation est discontinue, conditionne d'importantes activités éoliennes.

2.2. L'action du vent

L'influence du vent dans les régions semi-arides tropicales n'est plus à démontrer. Le vent est en effet l'un des agents principaux de l'érosion dans ces régions. Les conditions qui permettent et activent son action sont :

- La présence de certains matériaux, notamment le sable. Or, l'une des caractéristiques de la géologie de l'Adar est la présence des formations sableuses et silteuses, notamment les formations sableuses et silteuses du Crétacé - sables d'Ibohamane, silts de Bouza - et de l'Eocène, ensemble de grés et argiles sableux. Dresch et al (1960) ont démontré l'importance de la présence du sable éolien dans le Continental intercalaire et le Continental terminal. Preuves d'une paléoaction éolienne.
- Le couvert végétal rare et discontinu. C'est cette discontinuité qui explique la facilité de l'arrachage du matériel et de son transport.
- L'homme intervient aussi par ses activités - labour, défrichage, etc... - facilitant ainsi le décapage du matériel ou son accumulation.

Deux actions principales caractérisent l'érosion éolienne : la déflation et la corrasion. Chacune de ces actions a des conséquences bien déterminées.

La déflation entraîne l'appauvrissement du sol avec le départ des particules fines qui provoque le durcissement du sol et la formation de reg. Le matériel transporté en s'accumulant forme des dunes.

La corrasion favorise le dégagement des fissures et des plans de schistosités des roches, ce qui facilite l'infiltration de l'eau et par imbibition provoque soit le départ par paquet, soit le ravinement.

Au terme de l'étude sur les processus d'érosion éolienne, on est tenté de dire que s'il est vrai que le vent est un danger pour les sols, il n'en demeure pas moins qu'on peut en tirer profit afin de lutter contre le ravinement. Il est possible en effet, en utilisant des haies qui serviront d'obstacles, de combler de petits ravins.

3 - CONCLUSION

Il ressort de l'étude des processus d'érosion plusieurs enseignements.

- Il y a la combinaison des processus, autrement dit, l'importance d'un système morphogénétique dynamique. Car on constate qu'il y a relai entre les actions :

1) des processus entre eux : les processus chimiques préparent le matériel aux processus mécaniques ;

2) des agents entre eux : la déshydratation de par ses actions, notamment la dessiccation qui facilite la dissociation des éléments du sol, prépare l'infiltration et le décapage. L'eau et le vent se relaient dans les actions de transport et d'accumulation. D'ailleurs on peut se demander qu'est-ce qui l'emporte entre le décapage et l'accumulation. N'ayant pas spécialement étudié la question - étude quantitative - nous ne pouvons que faire quelques remarques. Dans la mesure où il y a un obstacle, le vent et l'eau déposent. Aussi avons-nous remarqué avec quelle vitesse se comblent certains seuils d'épandage (2 m en un seul hivernage à Ourihamiza au Nord de Tahoua pendant l'hivernage 1986). Un autre exemple est celui des barrages collinaires : la retenue d'Ibohamane vallée de Keita avait à sa création

en 1969 une capacité de 6 millions de m³, actuellement elle n'a plus que 3 millions de m³ (communication personnelle de Mamane Sani, Office National des Aménagements hydro agricoles de Tahoua). Nous avons aussi observé le creusement et le comblement de chenaux des koris au cours d'une seule crue. Décapage et accumulation sont en fait fonction de la puissance de l'agent d'érosion.

Les actions de ces agents sont accentuées par les interventions humaines et l'absence ou la rareté du couvert végétal.

- En outre, les observations sur l'ensemble de la vallée de Keita nous ont permis de faire une régionalisation de l'intensité de l'érosion (carte HT.), ceci afin de voir à moyenne et à grande échelle les milieux les plus touchés et comment intervenir efficacement.

A moyenne échelle, la Haute Vallée est le domaine d'une érosion d'intensité forte : les actions de l'eau - suffosion, ravinements - se font en effet beaucoup plus sentir dans cette partie de la vallée dans la mesure où le matériel s'y prête. Ici affleurent surtout les formations à grains non cimentés, donc peu cohérentes et "pourries" (ce sont les silts de Bouza, les sables d'Ibohamane). Ceci est vrai pour l'ensemble de l'Adar, car partout où apparaissent ces formations l'érosion hydrique est plus spectaculaire.

La Basse et la Moyenne Vallée sont le domaine d'une érosion d'intensité moyenne car les roches sont ici plus cohérentes.

Néanmoins, d'une manière générale, sur l'ensemble de la vallée les glacis sont plus vulnérables.

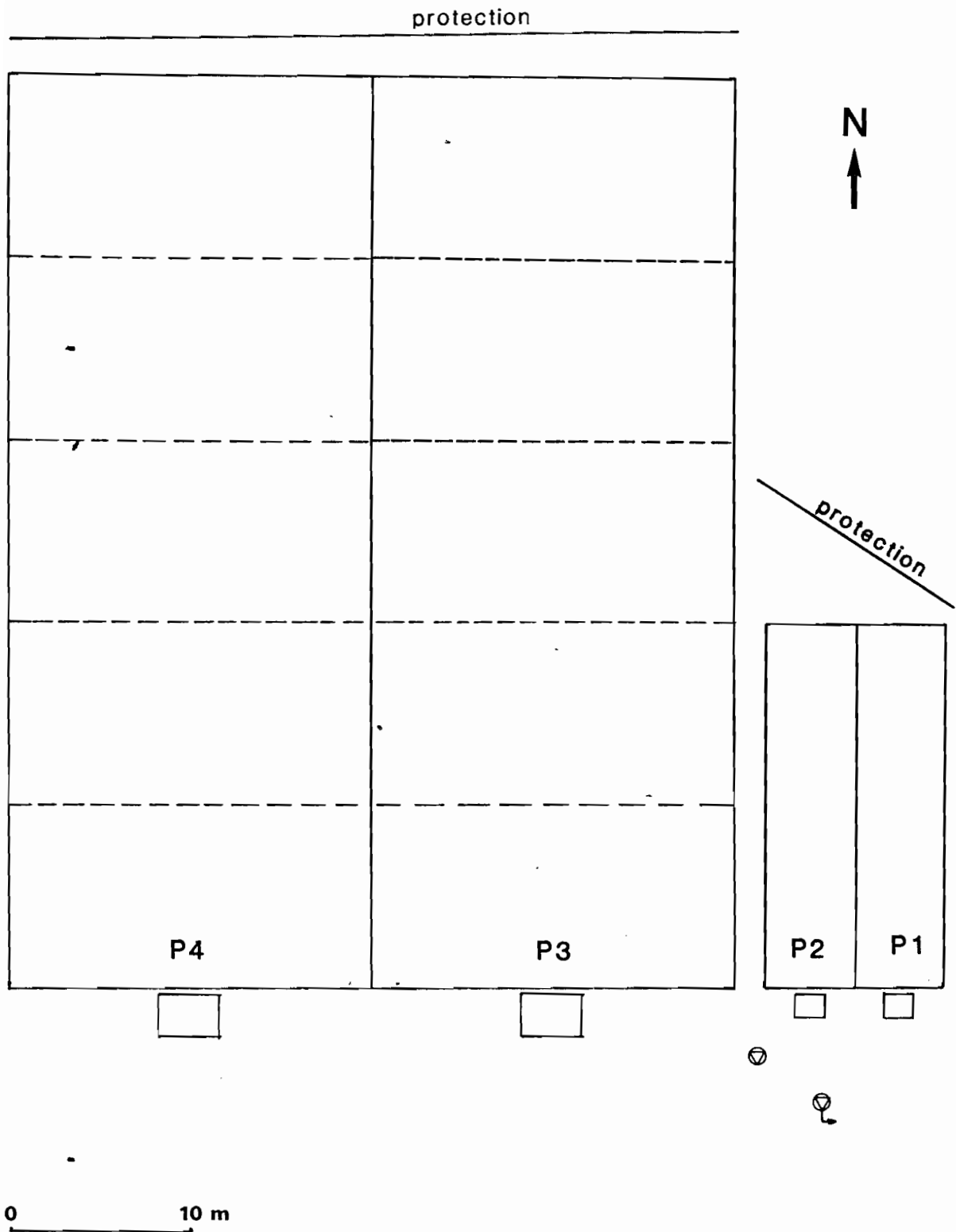
Quant à l'érosion éolienne, elle est plus intense dans la vallée de Keita proprement dite et vers Baga, à cause de l'orientation, E-W, dans le sens du vent.

A grande échelle, il est important de connaître le degré de stabilité des écotopes, pour une intervention rationnelle.

- La haute surface - surface du plateau - à cause de la cuirasse protectrice, peut être considérée comme un écotope stable.
- Les versants rocheux calcaires ou entièrement couverts de colluvions sont pénestables, mais avec risque majeur d'instabilité, surtout quand les colluvions recouvrent des roches peu cohérentes comme les silts et les sables.
- Les versants rocheux nus taillés dans les silts, les argilites et les sables, surtout dans la Haute Vallée, les glacis et les berges des koris sont des écotopes instables.

En somme l'utilité de l'étude des processus d'érosion permet, pour des aménagements ultérieurs, de mieux appréhender ces processus et par conséquent d'intervenir plus efficacement.

Fig. 23 : Dispositif expérimental de Koukouzout



CHAPITRE IVETUDE QUANTITATIVE DE L'EROSION HYDRIQUE

Pour saisir le concept d'érosion dans sa dimension quantifiable nous nous sommes fixés comme but d'étudier :

- le ruissellement,
- l'érosion notamment la charge solide enlevée,
- les facteurs expliquant le comportement du sol, en différenciant sol nu et sol cultivé.

Ce but que nous nous sommes fixés nous a poussé à utiliser les deux méthodes suivantes :

- l'évolution des ravines d'érosion sur les versants,
- la mise en place de parcelles expérimentales où nous avons implanté un pluviomètre et un pluviographe à sujets basculeurs.

Aussi le plan suivi est le suivant :

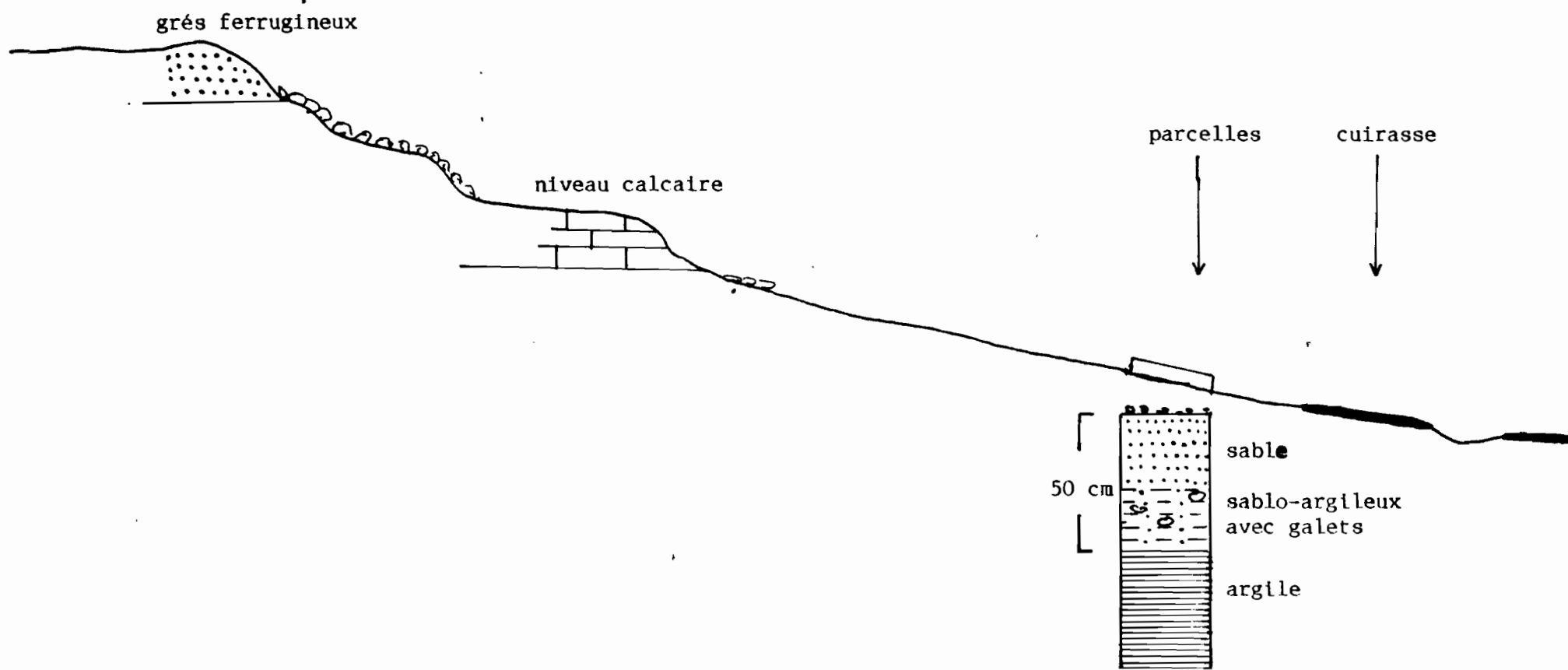
- le dispositif expérimental ;
- les résultats de l'étude quantitative et leurs interprétations ;
- la conclusion.

1 - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nous donnons dans cette partie la description du dispositif expérimental relatif à l'étude de l'érosion hydrique.

1.1. Les parcelles expérimentales de ruissellement et d'érosion en nappe

Fig. 24 : Schéma de l'emplacement des parcelles expérimentales



1.1.1. Le choix de l'emplacement

Le choix s'est porté sur un glacis d'une pente moyenne de 4 %, après des négociations avec un des paysans du village de Kounkouzout. Ce glacis est représentatif de l'ensemble des glacis de la vallée de Kounkouzout. Le sol qui s'y est développé est le produit de désagrégation de plusieurs roches (grés, marnes, schistes, calcaires). Sa surface est couverte de plaquettes de schistes et de marne, des graviers et enfin d'une pellicule de battance très fragile. Les vingt premiers centimètres sont constitués essentiellement de sable fin meuble avec présence de graviers (Fig. 24).

1.1.2. Les parcelles : description et fonctionnement

Les parcelles ont été installées en aval du glacis cultivé dans la mesure où le paysan, compte tenu du manque de terre, ne pouvait nous permettre la partie située plus en amont.

Quatre parcelles ont donc été installées, d'une pente moyenne de 1 %, dont deux petites de 100 m² chacune (5 m de large sur 20 m de long) et deux grandes de 1000 m² chacune (20 m de large sur 50 m de long). Les petites parcelles ont fonctionné pendant quatre ans (1984-1987) et les deux grandes pendant deux ans (1985 et 1986). Les parcelles, délimitées par des murets faits de pierres et de banco, sont dénommées : P₁, P₂, P₃, P₄. En aval de chacune de ces parcelles a été placé un tuyau qui canalisait l'eau dans les cuves. La première année (1984), 3 fûts de 200 litres chacun ont été placés en aval de chaque parcelle ; de 1985 à 1987, ces fûts ont été remplacés par des cuves métalliques de 1,9 m³ ; en aval des parcelles P₃ et P₄ ce sont des cuves de 2,5 m³ qui ont été placées.

Un pluviographe à augets basculeurs à rotation journalière et un pluviomètre ont été placés afin de calculer la hauteur et l'intensité des pluies.

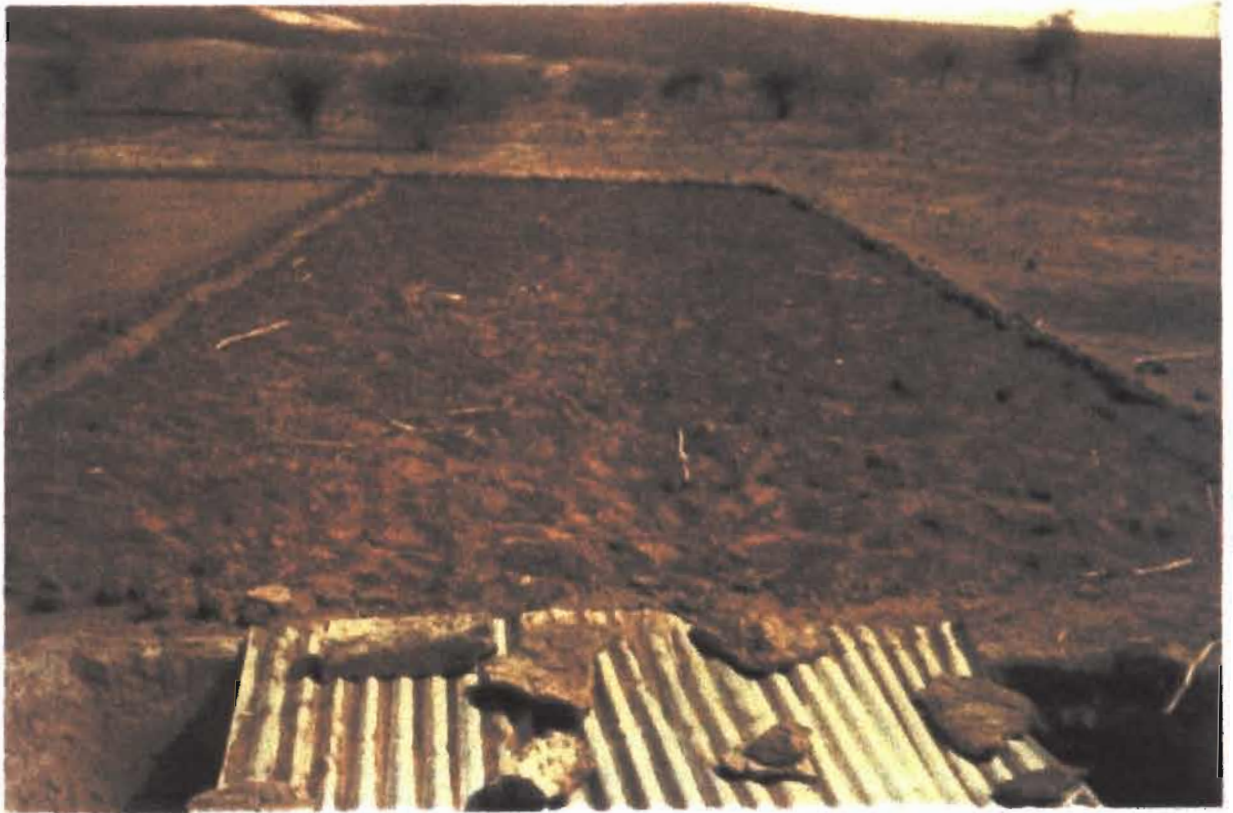


Planche 10 : Parcelle P₁.

1.1.3. Les modes de travail du sol

Les parcelles P_1 et P_2 sont des parcelles témoins. Pour l'entretien de P_1 nous avons utilisé la méthode CTFT qui consiste à maintenir la parcelle constamment travaillée et sans aucun apport de matière organique ni d'engrais. Pour cela :

- 1) après chaque pluie (et au moins une fois par mois et dès que le sol est ressuyé, on travaille à nouveau la parcelle au rateau sur toute sa surface de façon à lui redonner sa pulvérulence ;
- 2) toute pousse de végétation est arrachée dès son apparition et jetée en dehors de la parcelle.

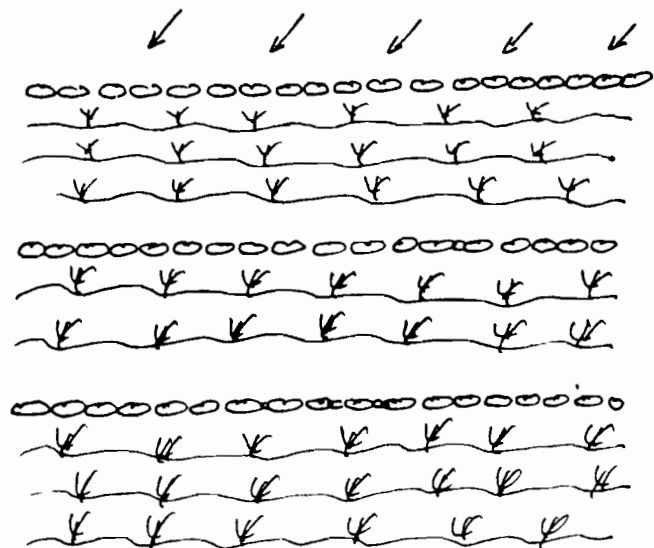
Cette méthode est différente de celle que préconise Roose pour qui l'entretien de la parcelle nue standard doit être le suivant :

- "Sol complètement nu, dépouillé de tous débris végétaux ou animaux et sans engrais depuis trois ans ;
- labour à la houe sur 15 cm, au moins, une fois l'an, avant chaque saison des pluies à l'époque des labours. Réduire les mottes à moins de 7 cm de diamètre ;
- planage soigné après chaque labour pour éviter la formation d'une concavité au centre de la parcelle ;
- binages à la houe sur 5 cm de profondeur (au maximum, une fois par mois pluvieux) en vue de casser la croûte superficielle (pas de travail de sol en période sèche pour éviter l'érosion éolienne ;
- désherbage total aux herbicides (ex. Atrazine) dès l'apparition des premières adventices ou lorsque le couvert végétal atteint 5 % de la surface. Estimation du couvert végétal par la méthode du pointage tous les 5 cm le long d'une diagonale ;
- étendre le traitement sur 1 mètre autour de la parcelle pour limiter les effets de bordure". Roose (1988).

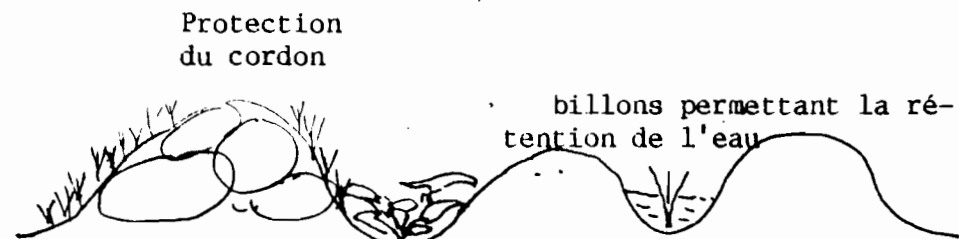
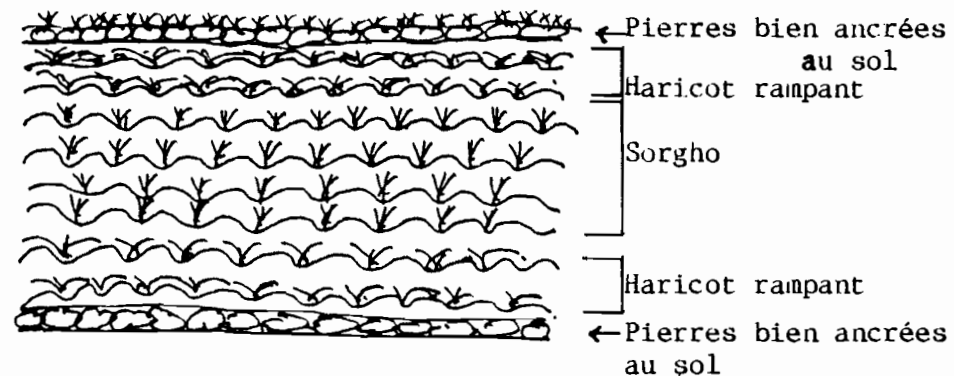
En 1984, la parcelle P_1 a reçu un travail superficiel au rateau à une profondeur moyenne de 3 cm. En 1985 et 1986,

Fig. 25 : Les méthodes culturales

25.1. Les méthodes traditionnelles



Grande perméabilité des alignements de pierres ; sol assez mal protégé ; transport de la partie labourée par le ruissellement.



un labour profond avec la houe à une profondeur moyenne de 20 cm a été fait. En 1987, nous avons repris le travail superficiel au rateau. Les buts de ces labours étaient de voir le comportement du sol traité différemment. Les labours se faisaient après chaque pluie et systématiquement toutes les deux semaines.

La parcelle P_2 est une jachère, de ce fait elle ne reçoit aucun traitement.

Les parcelles P_3 et P_4 ont été installées après avoir observé le comportement du sol sur P_1 et P_2 .

La parcelle P_3 a reçu comme traitement une méthode traditionnelle améliorée. Elle consiste en :

- l'installation de cordons de pierres perpendiculaires à la pente (comme le font les paysans) et distants de dix mètres. Les pierres sont bien ancrées au sol et bien serrées les unes contre les autres. Les bords amont et aval sont recouverts de terre et ensemencés avec du sorgho dont les souches renforcent les cordons.
- Nous avons adopté la culture en bandes alternées (haricot-sorgho), association culturale différente de celle utilisée traditionnellement. De part et d'autre des cordons de pierres de 5 m de large (en fonction de la superficie de notre parcelle) est semé le haricot local rampant, le but recherché étant de casser la vitesse de l'eau au niveau des cordons. Le sorgho est semé sur les parties restantes. Les piquets ne sont espacés que de 50 cm en moyenne, ce dans le but de bien couvrir le sol.
- Pendant toute la saison, trois labours ont été faits. Cependant, contrairement à la pratique paysanne, de hauts billons ont été faits dans le but de stocker de l'eau qui profiterait mieux aux plantes et de casser une fois de plus la vitesse du ruissellement.

Quant à la parcelle P₄, elle a reçu un traitement traditionnel qui consiste en :

- un alignement de pierres perpendiculaires à la pente ; les pierres sont à même le sol.
- Pour les semis, les piquets sont espacés d'un grand pas, ceci permet l'association mil-haricot ou sorgho-haricot..
- Les labours, trois au total, consistent aussi en un désherbage. Ils se font le plus souvent perpendiculairement à la pente, mais ne sont pas profonds à cause de l'induration du sol. Aussi n'est-ce qu'un simple grattage du sol.

A la fin de chaque saison des pluies il était prévu de laisser les tiges au sol (paillage) avec comme but de protéger le sol de l'action du vent. Malheureusement les paysans n'ont jamais laissé ces tiges.

1.1.4. Les manipulations

Dans le but de rechercher la relation éventuelle entre la hauteur d'eau et la charge évacuée, nous avons opéré de la manière suivante.

Après chaque pluie, on relève la hauteur d'eau tombée au pluviomètre et au pluviographe. On mesure également la hauteur d'eau dans chaque cuve, ce qui permet de calculer le volume ruisselé. Dans chaque cuve on prélève un échantillon d'un litre qui servira à calculer après décantation et dessiccation la charge en suspension : après avoir jeté l'eau, la hauteur de la boue est calculée ; on échantillonne alors dans un bocal d'un litre. Le poids de terre par litre est calculé après décantation et dessiccation. Le volume de la boue sert à calculer le poids de terre total. Cependant quand nous nous sommes aperçus qu'il n'y avait pas trop de charge solide, toute la boue était recueillie et après séchage, nous avons obtenu directement le poids total de terre transportée.

A partir de la pluviométrie et du calcul des intensités, établir l'énergie cinétique de la pluie, les indices d'agressivité, et la relation qui pourrait exister avec le ruissellement et l'érosion. Ce calcul a été effectué à partir des enregistrements pluviographiques.

1.2. Les ravines

Le choix a été fait en fonction de la nature du matériel et de la pente.

Dans la vallée de Kounkouzout, versant Sud-Ouest, cinq ravines latérales ont été choisies en fonction de leur ampleur : en effet, elles entaillent l'ensemble du versant, depuis sa base jusqu'au sommet. On passe ainsi d'un matériel fin aux gros blocs en passant par des graviers. Le sol du glacis est du type brun rouge. A Foulatchi (amont de la vallée de Kalfou) quatre ravines entaillant une berge ont été suivies. Le sol est du type brun rouge.

Les relevés n'ont été faits qu'à la fin de chaque saison pluvieuse. Aussi les résultats sont-ils globaux.

1.3. Critiques

Il s'agit de l'évaluation des résultats et limite de la méthode.

Si nous n'avons considéré que la méthode CTFT, c'est qu'au départ nous n'avons pas eu connaissance du "protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe et rigole" de Roose (1988).

Le mode de travail du sol sur P_1 (travail superficiel au rateau en 1984, repris en 1987, et labour profond en 1985 et 1986) ne nous permet pas de calculer l'indice K d'érodibilité du sol de Wischmeier. Il nous a permis de

voir le comportement de ce sol avec en permanence la pellicule de battance (P_2) et sans cette dernière.

Nous ne pouvons que donner globalement le rôle des traitements sur P_3 et P_4 . Il aurait fallu pour indiquer le rôle de chaque traitement avoir plusieurs parcelles. La taille des parcelles étant différente, la comparaison ne peut se faire que deux à deux : P_1 et P_2 ; P_3 et P_4 .

Parmi les sols de la région, le sol brun subaride est le second en superficie. Cependant il est bien représentatif des surfaces cultivées.

Le système d'isolement (levées de terre) peut, d'après Roose (1981), entraîner une augmentation artificielle de l'érosion de 1 à 2 t/ha/an. Toutefois nous n'avons pas constaté ce phénomène au cours de nos observations sous les pluies.

Les cuves utilisées sont des cuves simples, sans partiteurs, qui recueillent directement le ruissellement et les pertes en terre. Il a fallu pour cela la présence permanente d'un observateur.

Nous avons aussi sous-estimé la puissance du chassable accompagnant les orages. Aussi, étant mal fermées, les cuves recevaient pour un certain nombre de pluies, plutôt le sable éolien que celui transporté par le ruissellement. Nous n'y avons réellement remédié qu'en 1987 en utilisant des bâches. Les pertes en terre mixtes (eau et vent) seront dans les tableaux mais ne seront pas prises en considération.

Malgré l'isolement des parcelles en amont quelques pluies ont causé des dégâts. Ces pluies ont été considérées comme "perdues". Les pluies ayant été sous-estimées, nous avons dû procéder à des estimations pour les volumes ruisselés de plusieurs grosses pluies. Les estimations ont été faites en calculant le volume de l'eau dans la cuve et celle se trouvant dans la fosse.

Les fosses étant faites à côté des parcelles ont vu leurs bords peu à peu effondrés sans pour autant perturber le bon fonctionnement des parcelles. Mais ce sont des difficultés qu'il faut mentionner.

Malgré ces insuffisances (moyens techniques rudimentaires, manque de limnigraphes...) les résultats peuvent être considérés comme fiables.

2 - LES RESULTATS DE L'ETUDE QUANTITATIVE

Nous allons dans cette partie donner et expliquer les résultats obtenus de l'étude quantitative pendant les quatre années d'observations.

2.1. L'évolution des ravines

Des ravines ont été suivies pendant deux ans (1986-1987) afin de voir la dynamique sur les glacis et les berges à Kounkouzout (Vallée Nord-Est du village) et à Foulatchi (amont de la Vallée de Kalfou). La méthode utilisée est celle des repères (piquets) placés à la tête de chaque ravine.

2.1.1. Foulatchi

Quatre ravines ont été choisies en aval d'un seuil d'épandage construit en vue de combler le kori. Ce sont des ravines latérales entaillant un glacis portant des sols de culture (sol brun-rouge, argilo-limoneux). Le choix a été fait afin de voir comment se comportent le sol de glacis traité avec des banquettes.

Le tableau 24 donne la vitesse du ravinement pour chaque année, du début à la fin de chaque saison pluvieuse.

Tableau N° 24 : Evolution des ravines, Foulatchi, 1986-1987
(en mètres)

		1986				1987			
		R* ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
Distance tête de ravine	D.H.*	11,82	9,46	12,005	24,31	9,80	8,45	11,21	20,07
	F.H.*	9,80	8,45	11,21	20,07	9,57	8,30	6,12	14,45
Vitesse m/an		2,02	1,01	0,795	4,24	0,23	0,15	5,09	5,42

R* : Ravine - D.H.* : début d'hivernage - F.H.* : Fin d'hivernage.

En 1986 R₁ et R₄ ont plus reculé que les autres. Même en 1987 cette dernière a plus reculé ; le recul en deux ans est de 9 m 66. Il faut dire qu'elle est bien orientée dans le sens de la pente, mais un recul de 10 m en deux ans est négligeable comparé aux valeurs observées au Nord de Tahoua vers Ourihamiza où les ravines reculent de plusieurs dizaines de mètres par an (communications personnelles de D. Deriaz, responsable SWISSAID NIGER TAHOUA).

Il faut trouver l'explication d'un tel phénomène dans la nature du sol qui sec, paraît dur, compact, mais imbibé d'eau il se liquéfie, I. Bouzou et P. Schoeneich (1987).

2.1.2. Koukouzout (Vallée Nord-Est du village)

Cinq ravines ont été suivies en amont de la vallée en fonction de la nature du matériel et de la pente.

Les trois premières se trouvaient sur un glacis au pied du versant dans un matériel graveleux : R₁ à 5 m 16 du pied du versant, R₂ à 13 m 77, R₃ à 3 m 20.

Les deux dernières sont sur le versant. R₅ est tout au sommet du versant.

Le tableau 25 donne la vitesse (m/an) du ravinement pour les deux années (1986-1987).

Tableau N° 25 : Evolution des ravines, Kounkouzout, 1986-1987
(mètres/an)

		1986					1987				
		R* ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
Distance tête de ravine Repère	D.H.*	5,16	4,96	3,25	7,37	4,26	4,50	4,30	2,89	7,21	4,10
	F.H.*	4,50	4,30	2,89	7,21	4,10	4,50	4,30	2,75	7,00	4,10
Vitesse m/an		0,66	0,66	0,36	0,16	0,16	0	0	0,14	0,21	0

R* : Ravine - D.H.* : Début d'hivernage - F.H.* : Fin d'hivernage.

En 1986, les trois premières ravines situées sur le glacier ont plus reculé que les deux dernières. Mais pour l'ensemble ce recul est négligeable. Il faut souligner que ce sont les pluies de mai - juin - juillet qui ont provoqué le recul de tête des ravines. Par exemple, la première pluie du 5.5.1986 de 26,5 mm a fait reculer R₁ de 40 cm. En 1987, seules R₃ et R₄ ont reculé respectivement de 0 m 14 et 0 m 21.

Au total, au vu des résultats des deux années, on peut dire que le recul de ces têtes de ravines est insignifiant. Plusieurs facteurs l'expliquent :

- Vu la différence frappante entre les deux années on peut émettre l'hypothèse selon laquelle plusieurs années moyennes ou excédentaires pourraient être plus favorables. L'année 1986, année excédentaire, a été plus érosive.
- La nature du matériel a certainement joué un rôle car l'horizon de surface de ce sol de glacier est graveleux, par conséquent plus ou moins résistant à ce type de dynamique.
- Vu la convexité de la partie du versant au pied duquel sont situées les trois premières ravines, on peut considérer que ces dernières tendent vers la stabilisation car les eaux qui ruissellent sur cette partie du glacier ne

proviennent pas du versant, mais du glacis même. Par contre si R_4 et R_5 reculent malgré la nature du matériel (gros blocs) c'est parce que la pente est forte.

L'idée de départ était, compte tenu de l'aspect de cette partie amont transformée en "bad-lands", de voir la vitesse du ravinement. Mais il semble, au vu de nos résultats, que le ravinement soit lié à la combinaison de deux processus : le recul de tête des ravines et en même temps l'effondrement des versants séparant plusieurs ravines par sapement de leur base ou par imbibition.

En comparant les deux sites (Foulatchi et Kounkouzout) on remarque l'important rôle joué par la nature du matériel. A Kounkouzout sur un sol graveleux, aucune ravine n'a atteint un recul d'un mètre, alors qu'à Foulatchi ce recul a atteint plusieurs mètres pour certaines ravines. Il est difficile de dégager l'influence de la hauteur pluviométrique annuelle car à Kounkouzout, 1986, année excédentaire (502,9 mm) a été plus érosive que 1987; année déficitaire (235,6 mm). Par contre, à Foulatchi, dans l'ensemble, c'est l'année 1987 qui a été plus érosive. Il faut donc voir surtout la prépondérance de la nature du sol et la topographie.

Enfin, en considérant l'évolution des ravines de Foulatchi, 10 mètres en 2 ans, sur sol de culture, on comprend aisément à quelle vitesse se sont dégradées les terres des vallées de l'Adar, transformées à certains endroits en "bad-lands". Pour les paysans de l'Adar l'origine d'aussi intenses ravinements est à lier à la baisse de la pluviométrie. Les pluies étant moins abondantes ont tendance à se concentrer et par conséquent à creuser.



Planche 11 : Ruissellement sur P_1 et P_2 .

Tableau N° 26 : Ruissellement et érosion, Kounkouzout
a : 1984

Dates	Pmm	Temps	Ruissellement (%)		Erosion t/ha	
			P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
12.08	6,9	15 mn	1,8	13,05	(0,830)	(0,605)
17.08	4	12 mn	0	4,6	-	(0,141)
26.08	6	?	1,8	38,2	(0,135)	(0,303)
7.09	5	12 mn	0	20,7	-	(0,319)
10.10	8,2	?	27,9	28,2	(0,305)	(0,57)

b : 1985

Dates	Pmm	Temps	Ruissellement (%)				Erosion t/ha			
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
9.07	6,5	20mn	0	37,8	0	0	0	(0,484)	0	0
19.07	17,4	27mn30s	3,1	18	13,6	13,1	(0,3008)	(0,0854)	(0,0260)	(0,026)
21.07	13,7	1h10mn	0	?	17,4	17,4	0		0,027	0,027
5.08	9	25mn	0	30	2,6	11,1	0	(0,064)	(0,014)	(0,022)
7.08	9,6	2h 2mn30s	0	23,4	2,1	14,7	0	(0,080)	(0,006)	(0,016)
11.08	16,5	3h10mn	0	31,3	0	0	0	0,06	0	0
15.08	25,5	4h10mn	0	56,4	4,6	8,2	0	0,314	0,025	0,024
21.08	5,8	20mn	0	15,5	0	0	0	0,045	0	0
26.08	5,3	1h30mn	0	8,9	0	0	0	(0,053)	0	0
30.08	40	42mn30s	8,9	75	16,8	22,5	0,378	0,500	0,038	0,183
6.09	11,7	2h55mn	0	11,5	0	0	0	0,019	0	0
16.09	10,7	2h35mn	0	27,3	0	0	0	0,036	0	0
26.09	11,3	20mn	0	35,8	0	0	0	0,047	0	0

c : 1986

Dates	Pmm	Temps	Ruissellement (%)				Erosion t/ha			
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
5.06	26,5	1h	15,2	29,7	?	?	(0,2106)	(0,2407)	?	?
13.06	5,2	-	0	21,6	0	0	0	0,0203	-	-
18.06	16,7	55mn	0	45,1	0	14,1	0	0,2544	-	0,0532
24.06	21,5	2h40mn	0	?	?	?	0	?	?	?
27.06	15,3	4h 3mn	0	14,7	0	0	0	0,1235	0	0
2.07	41,4	22mn	10,8	43,4	?	?	0,2849	0,4597	?	?
14.07	41,5		?	?	?	?	?	?	?	?
16.07	6,4	7mn30s	0	17,5-	0	0	0	0,0558	0	0
15.07	17,3		0	23,4	0,7	11,7	0	0,600	0,0157	0,2491
23.07	26,5	2h45mn	0	36,4	0,4	6,3	0	0,250		0,0070
27.07	11,3	50mn	0	31,8	0,6	8,9	0	0,4027	0	0,006
1.08	16,7	3h10mn	0	30,5	0,8	12,6	0	0,179	0	0,005
5.08	12,9	2h18mn	0	38,8	0	35,1	0	0,1591	0	0,1026
6.08	13,5	3h15mn	-	13,3	0,7	14,2	0	0,027	0	0,04915
21.08	13,7	15mn	0	32,8	0	34,7	0	0,075	0	0,08292
22.08	18,2	30mn	2,4	32,1	0,6	13,3	0	0,2765	0	0,0294
31.08	60,3	5h 4mn30s	7,4	66,3	24,8	33,1	?	0,5168	0,1534	1,8162
4.09	12,12	-	0	31,5	1,4	23,6	0	0,0902	0,0043	0,06482
7.09	13,3	-	0	13,5	0,8	6,2	0	0,044	0	0,01398
13.09	49,1	5h10mn	4,5	71,2	27,2	30,5	0,538	0,5136	0,4104	0,16036

d : 1987

Dates	Pmm	Temps	Ruissellement (%)		Erosion t/ha	
			P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
31.05	15	2h 5mn	9,8	11,8		
26.07	71	3h17mn	0	11,2		
2.08	14,5	43mn	0	24,4	-	0,2165
13.08	11,4	17mn	0	23	-	0,0691
14.08	14,9	1h37mn	0,2	42,6	0,0045	0,2443
19.08	27,2	4h32mn	0,1	16,2	0,0146	0,1462
25.08	33,6	4h12mn	4,3	10,5	0,2655	0,1760
26.08	17,6	3h 5mn	3,4	13,8	0,1872	0,1402
18.09	7,8	52mn	0	9,4	-	0,0723
20.09	7,5	17mn	0	31,5	-	0,0833
21.09	6,7	5mn	0	17,6	-	0,0435
4.10	7,5	10mn	0	11,8	-	0,0368

2.2. Le ruissellement

Le ruissellement sur parcelle est la fraction de pluies qui ne s'infiltré pas et qui est recueillie dans les cuves. Il est exprimé par le rapport entre la lame d'eau ruisselée et la lame d'eau précipitée. Nous définissons ainsi :

- le coefficient de ruissellement par averse (KR %),
- le coefficient de ruissellement annuel moyen en pourcentage des précipitations (KRAM %).

Nous donnerons les résultats année par année et nous tenterons d'en faire la synthèse.

2.2.1. Année 1984 (Tableau 26)

Elle a été extrêmement sèche (49,1 mm). Des 15 pluies enregistrées, aucune n'a atteint 9 mm, 5 ont ruisselé. Sur P₁, parcelle témoin nue, 3 pluies ont ruisselé : celles du 12.8, du 26.8 et du 10.10. Les deux premières ont un coefficient de ruissellement très négligeable (1,8 %). Par contre la pluie du 10.10 a un coefficient de ruissellement assez fort (27,9 %). Coefficient qu'on retrouve sensiblement égal, pour la même pluie, à celui de P₂. C'est qu'en notre absence le sol n'a pas été labouré. Le ruissellement moyen annuel a été égal à 5,1 %.

Quant à P₂, 5 pluies y ont ruisselé. Pour chaque pluie, le coefficient de ruissellement dépasse largement ceux de P₁. Ces coefficients de ruissellement sont moyens, excepté celui de la pluie du 17.8 (4,6 %). Le coefficient moyen annuel est de 13,7 % soit plus du double enregistré sur P₁.

De l'étude du ruissellement au cours de l'année 1984 se dégagent trois enseignements fondamentaux :

- une faible hauteur de pluie comprise entre 4 et 9 mm peut ruisseler malgré la faible pente ;

- il a ruisselé sur nos parcelles pour des pluies égales à 5 mm alors que sur les autres surfaces non isolées, il n'y a eu que la formation de flaques d'eau. Les pluies tombant avec violence, le ruissellement commence instantanément sur nos parcelles. Pour la pluie du 12.8, au début du ruissellement, le pluviographe marquait 5 mm.
- P_1 et P_2 se sont comportées différemment à cause du travail du sol.

2.2.2. Année 1985 (Tableau 26) -

Cette année a, elle aussi, été déficitaire (252,5 mm). Elle est de loin meilleure que 1984. Des 28 pluies enregistrées, 16 ont ruisselé.

4 pluies ont ruisselé sur P_1 . Pour les 2 pluies de juin nous n'avons pas d'enregistrement. Les deux pluies pour lesquelles nous avons des résultats sont celles du 19.7.85 (17,4 mm) et du 30.8.85 (40 mm). Pour ces pluies nous avons respectivement 3,1 % et 8,9 %, coefficients faibles. Le coefficient moyen annuel a été faible : 1,6 %.

Sur P_2 les 16 pluies ont ruisselé, avec des coefficients de ruissellement moyens à forts. Exemple des pluies du 15.8.85 avec 25,5 mm (56,4 %) et du 30.8.85 de 40 mm et un coefficient de ruissellement de 75 % contre 8,9 % sur P_1 le même jour. Le coefficient annuel est moyen.

8 pluies ont ruisselé sur P_3 . Ce sont des pluies supérieures ou égales à 9 mm. Pour chacune de ces pluies, le coefficient est faible ; même la pluie du 30.8.85 de 40 mm n'a qu'un coefficient de 16,8 %. Certaines pluies n'ont ruisselé qu'en aval de la parcelle. Le coefficient moyen annuel a été faible (5,2 %).

8 pluies ont aussi ruisselé sur P_4 . Il s'agit des mêmes pluies qui ont ruisselé sur P_3 . Dans l'ensemble, les coefficients de ruissellement sont faibles. Seule la pluie

du 30.8.85 a un coefficient de 22,8 %. Le coefficient moyen annuel est lui aussi faible (7,2 %).

En conclusion on peut dire que :

- aucune pluie inférieure à 5 mm n'a ruisselé même sur P₂.
- Pour P₁ le changement de traitement a entraîné le changement de la hauteur à partir de laquelle s'est déclenché le ruissellement.
- Il n'y a pas eu de grande différence dans le comportement des parcelles P₃ et P₄. Ceci s'explique par la caractéristique même de la saison. Les plantes n'ont pas bien poussé tant sur P₃ que sur P₄. Sur P₃ seuls les cordons ont été bien couverts.
- P₂ a plus ruisselé que toutes les autres.

2.2.3. Année 1986 (Tableau 26)

Cette année a été excédentaire (502,9 mm). 20 pluies ont ruisselé sur 41 enregistrées.

Sur P₁, même les grosses pluies n'ont pas un coefficient de ruissellement élevé. Le coefficient moyen annuel est faible (3,1 %).

Les 20 pluies ont toutes ruisselé sur P₂, avec des coefficients moyens à forts : 66,3 % pour la pluie du 31.8.86 de 60,3 mm et 71,2 % pour celle du 13.9.86 de 49,1 mm. Le coefficient moyen annuel est moyen (31,4 %).

Sur P₃, 14 pluies ont ruisselé. Mais ce ruissellement a été faible. Il n'a été moyen que pour les grosses pluies (24,8 % pour la pluie du 31.8.86 et 27 % pour celle du 13.9.86).

Sur P₄, 17 pluies ont ruisselé. Le ruissellement est moyen pour l'ensemble des pluies.

Au total on peut tirer comme enseignement qu'aucune pluie inférieure à 6 mm n'a ruisselé ; que P₂ et P₄ ont plus été soumises au ruissellement : ruissellement moyen à fort pour P₂ et moyen pour P₄ ; enfin que les traitements reçus par P₁ et P₃ ont nettement modifié le comportement du sol.

2.2.4. Année 1987 (tableau 26)

Cette année a été déficitaire (235,6 mm). 12 pluies ont ruisselé sur 33 enregistrées. Deux parcelles (P₁ et P₂) ont fonctionné.

Sur P₁, malgré le changement de traitement - retour à un travail superficiel du sol au rateau - le ruissellement est resté faible (1,5 %). Il faut dire que le sol était perturbé après deux ans de labours profonds.

Même sur P₂ le ruissellement a été faible dans l'ensemble. 12 pluies ont ruisselé contre 5 sur P₁. Sur ces 12 pluies, 2 ont un coefficient de ruissellement moyen ; il s'agit de celle du 2.8.87 de 14,5 mm en 43 mn qui a eu un coefficient de ruissellement de 24,4 % et celle du 13.8.87 de 11,4 mm en 17 mn avec un coefficient de ruissellement de 23 %. Deux autres pluies ont eu un coefficient de ruissellement assez fort ; il s'agit de celle du 14.8.87 de 14,9 mm avec un coefficient de ruissellement de 42,6 % et celle du 20.9.87 de 7,5 mm (coefficient de ruissellement de 31,5 %). Le coefficient annuel moyen de P₂ est de 11,8 %.

2.2.5. Conclusion

Au total en considérant les coefficients moyens annuels des 4 années on peut dire que dans l'ensemble le ruissellement n'a pas été important. Sur P₁, P₃ et P₄ il est resté faible. Par contre sur P₂ nous avons enregistré des coefficients moyens annuels moyens à forts en 1985 et 1986. Les deux autres années on peut les considérer comme

faibles. La moyenne sur les quatre années, calculée à partir des volumes ruisselés et précipités sur chaque parcelle confirme ce constat. Seule la jachère a un coefficient moyen : P_1 : 2,49 % ; P_2 : 25,59 % ; P_3 : 5,40 % ; P_4 : 9,74%.

Tableau N° 27 : Coefficient moyen annuel de ruissellement (%)

	1984	1985	1986	1987
P_1	5,1	1,6	3,1	1,5
P_2	13,7	27,6	31,4	11,8
P_3		5,2	5,6	
P_4		7,2	12,2	

Il faut retenir que des quatre années, une seule, 1986, avec 502,9 mm a été excédentaire. Ceci s'est remarqué par le comportement de la jachère. A propos de comportement, dans ces premiers commentaires, même si les coefficients annuels moyens de ruissellement ont été faibles, on constate la différence entre les parcelles en fonction des traitements reçus et des objectifs visés. En effet, en vue de quantifier l'érosion et d'améliorer la méthode anti-érosive traditionnelle, la parcelle P_1 a été labourée constamment, la parcelle P_2 a été laissée sous jachère, P_3 a été traitée à la manière traditionnelle améliorée et P_4 a été traitée à la manière traditionnelle. La parcelle P_1 a moins ruisselé que P_2 . Comme on pouvait s'y attendre, les parcelles P_3 et P_4 se sont comportées différemment et ont ainsi répondu à notre attente.

Nous donnons après l'étude de l'érosion les facteurs expliquant de tels résultats.

2.3. L'érosion

Nous donnons ici aussi les résultats année après année et la synthèse.

2.3.1. Les résultats

L'érosion a été appréciée à partir du poids total de terre recueillie dans les cuves. Ces pertes sont constituées par des dépôts de cuve (charge de fonds) et les matières en suspension. Pour chaque année nous donnons les résultats obtenus, avant de faire une synthèse et de donner les facteurs qui peuvent les expliquer dans le cas de Kounkouzout. Il faut souligner que nombre de résultats ne sont pas totalement fiables à cause de l'apport éolien. Cependant nous les donnons - entre parenthèses - pour information. Nous donnons aussi pour chaque année deux totaux : d'une part les résultats "suspects", d'autre part, en ne les considérant pas.

a) - Année 1984 (tableau 26)

Les 5 pluies qui ont ruisselé ont causé chacune une érosion. Cependant les fûts étant mal fermés, les pluies accompagnées de vents violents, l'essentiel du poids de terre est constitué par les apports éoliens.

Sur P_1 comme sur P_2 , les résultats sont faussés par les apports éoliens. Il nous est impossible de faire la part du vent. Les résultats sont les suivants : P_1 , 1,283 t/ha dont plus de 50 % sont le fait d'une pluie, celle du 12.8.84 ; P_2 , 2,1 t/ha dont plus de 50 % causés par deux pluies, celles du 12.8.1984 et du 10.10.1984.

b) - Année 1985 (tableau 26)

Quatre pluies ont ruisselé sur la P_1 . Deux pluies ont été étudiées. Les résultats d'une de ces pluies sont sus-

pects à cause de l'apport éolien. Aussi, pour les deux pluies, nous avons une érosion totale de 0,6788 t/ha ; pour la seule pluie fiable, 0,378 t/ha.

Sur P_2 , 12 pluies ont transporté 1,782 t/ha. Trois résultats sont suspects (voir tableau).

Six pluies ont transporté sur P_3 0,14 t/ha. Deux résultats sont suspects (voir tableau).

Six pluies ont causé sur P_4 une érosion de 0,30 t/ha. Deux résultats sont également suspects (voir tableau).

Au total, compte tenu du travail du sol, la parcelle P_1 - malgré la perte de certaines pluies - a subi une faible érosion. Sur P_4 il a été transporté deux fois plus de terre que P_3 . P_2 et P_4 ont été plus érodées.

c) - Année 1986 (Tableau 26)

Les pertes enregistrées ont été les suivantes :

P_1 : 1,04 t/ha avec un résultat suspect, celui de la pluie du 5.6.1986.

P_2 : 4,289 t/ha avec comme résultat suspect, celui de la pluie du 5.6.1986.

P_3 : 0,59 t/ha et P_4 : 2,64 t/ha.

Comme premières conclusions, on peut dire que l'année 1986, année excédentaire, comparée aux autres années a été très érosive. Très importante est la différence entre P_3 et P_4 . Cette dernière a été en effet la plus érodée. L'érosion a été réduite sur P_3 de 4 fois. Le rendement est aussi différent : 3 480 épis de sorgho sur P_3 contre 1 591 épis sur P_4 .

d) - Année 1987 (Tableau 26)

Cette saison a été déficitaire. Deux parcelles seulement (P_1 et P_2) ont fonctionné.

Sur P_1 le labour a été changé. Dans la mesure où le sol s'est induré, nous avons repris le labour superficiel avec un rateau. Des 6 pluies qui ont ruisselé, 4 ont été étudiées. Ces pluies ont causé une érosion de 0,48 t/ha, 50 % des pertes en terre ont été causées par la pluie du 25.08 de 33,6 mm. Cette érosion reste malgré tout faible.

Sur P_2 , les 10 pluies pour lesquelles nous avons des résultats ont provoqué une érosion de 1,3 t/ha. P_2 a donc été plus érodée.

2.3.2. Analyse des eaux et de leurs charges

Nous donnons dans cette partie la composition des pertes en terre, à savoir les suspensions (particules fines qui restent en suspension) et les charges de fond (charges solides qui se déposent au fond des cuves). Par ailleurs quelques échantillons ont été prélevés en vue de l'analyse granulométrique des charges de fond.

a) - Suspensions et charges de fond (Tableau 28)

De ce tableau qui donne pour chaque année et pour chaque pluie ayant occasionné une érosion le poids des suspensions et des charges de fond, se dégagent quelques enseignements.

Pour ce qui est des suspensions, le poids par litre reste faible. Il n'est élevé que pour les grosses pluies et cela essentiellement sur la parcelle 1 pour laquelle on a enregistré des poids atteignant 38 g/l pour la pluie du 31.8.1986 de 60,3 mm et 30 g/l pour celle du 26.8.1986 de

Tableau N° 28 : Suspensions et charges de fond, Kounkouzout

a : 1984

Dates	Pmm	Suspensions				Charges de fond	
		P 1		P 2		P 1	P 2
		g/l	Total kg	g/l	Total kg	Total kg	Total kg
12.08.84	6,9	9,5	1,25	5	0,45	7,18	5,6
17.08.84	4	-	-	9,5	1,48	-	1,23
26.08.84	6	?	?	5	1,15	1,35	1,88
7.09.84	5	-	-	10,5	1,09	-	2,1
10.10.84	8,2	4,5	1,03	13,5	3,13	2,02	2,57

b : 1985

Dates	Pmm	Suspensions								Charges de fond			
		P 1		P 2		P 3		P 4		P 1	P 2	P 3	P 4
		g/l	Total kg	g/l	Total kg	g/l	Total kg	g/l	Total kg	Total kg	Total kg	Total kg	Total kg
9.07.85	6,5	-	-	3	0,737	-	-	-	-	-	4,1	-	-
19.07.85	17,4	2	0,108	1	0,314	1	2,367	1	2,280	2,9	0,54	0,24	0,23
21.07.85	13,7	-	-	?	?	1	2,384	1	2,384	-	?	0,25	0,24
5.08.85	9	-	-	2	0,540	5	1,170	2	1,998	-	0,1	0,17	0,18
7.08.85	9,6	-	-	3	0,683	2	0,404	1	1,412	-	0,11	0,19	0,15
11.08.85	16,5	-	-	1	0,517	-	-	-	-	-	0,05	-	-
15.08.85	25,5	-	-	1	1,439	2	2,346	1	2,091	-	1,7	0,14	0,25
21.08.85	5,8	-	-	4	0,360	-	-	-	-	-	0,09	-	-
26.08.85	5,3	-	-	1	0,48	-	-	-	-	-	0,05	-	-
30.08.85	40	5	1,780	1	3,000	2	3,44	2	18,000	2	2	0,27	0,28
6.09.85	11,7	-	-	1	0,135	-	-	-	-	-	0,05	-	-
16.09.85	10,7	-	-	1	0,293	-	-	-	-	-	0,07	-	-
26.09.85	11,3	-	-	1	0,405	-	-	-	-	-	0,06	-	-

c : 1986

Dates	Pmm	S u s p e n s i o n s								Charges de fond			
		P 1		P 2		P 3		P 4		P 1	P 2	P 3	P 4
		g/l	Total kg	g/l	Total kg	g/l	Total kg	g/l	Total kg	Total kg	Total kg	Total kg	Total kg
5.06.86	26,5	2	0,806	1	0,787	?	?	?	?	1,3	1,62	?	?
13.06.86	5,2	-	-	1	0,113	-	-	-	-	-	0,09	-	-
18.06.86	16,7	-	-	1	0,754	-	-	2	4,710	-	1,79	-	0,61
27.06.86	15,3	-	-	1	0,225	-	-	-	-	-	1,01	-	-
2.07.86	41,4	4	1,789	1	1,797	?	?	?	?	1,06	2,8	?	?
16.07.86	6,4	-	-	4	0,448	-	-	-	-	-	0,11	-	-
19.07.86	17,3	-	-	(23)		8	0,485	12	12,145	-	6,000	0,3	0,31
23.07.86	26,5	-	-	(21)		(23)		(18)		-	2,5	-	0,35
27.07.86	11,3	-	-	5	1,797	(15)		(22)		-	2,23	-	0,3
1.08.86	16,7	-	-	(30)		(31)		(23)		-	1,79	-	0,25
5.08.86	12,9	-	-	1	0,501	-	-	2	4,528	-	1,09	-	0,6
6.08.86	13,5	?	?	1	0,180	-	-	2	1,917	-	0,09	-	0,54
21.08.86	13,7	-	-	1	0,450	-	-	1,5	3,566	-	0,3	-	0,58
22.08.86	18,2	-	-	1	0,585	-	-	1	1,210	-	2,18	-	0,26
31.08.86	60,3	38	16,957	1	3,998	1	7,478	9	89,817	?	1,17	0,19	0,99
04.09.86	12,12	-	-	1	0,382	2,5	0,213	2	2,861	-	0,52	-	0,38
07.09.86	13,3	-	-	1	0,180	-	-	1,5	0,619	-	0,26	-	0,08
13.09.86	49,1	10	2,210	1	3,496	3	20,04	1	7,488	3,17	1,64	0,48	0,53

d : 1987

Dates	Pmm	Suspensions				Charges de fond	
		P 1		P 2		P 1	P 2
		g/l	Total kg	g/l	Total kg	Total kg	Total kg
2.08.87	14,5	-	-	2	0,710	-	1,455
13.08.87	11,4	-	-	2	0,526	-	0,165
14.08.87	14,9	6	0,018	2	1,271	0,027	1,172
19.08.87	27,2	4	0,018	1,5	0,665	0,128	0,797
25.08.87	33,6	7	1,035	2	0,710	1,62	1,05
26.08.87	17,6	30	1,773	4	0,946	0,099	0,457
18.09.87	7,8	-	-	1	0,074	-	0,649
20.09.87	7,5	-	-	1	0,237	-	0,597
21.09.87	6,7	-	-	1	0,119	-	0,317
4.10.87	7,5	-	-	1	0,084	-	0,284

17,6 mm, cette dernière pluie ayant succédé à une autre en un jour d'intervalle.

Pour chaque année nous avons les résultats suivants :

En 1984 sur P_1 pour toutes les pluies, les charges de fond sont nettement supérieures aux suspensions. Sur P_2 , pour une seule pluie, celle du 10.10.1984, nous avons la prédominance des suspensions.

En 1985, sur P_1 pour toutes les pluies, prédominance des charges de fond, alors que sur les autres parcelles ce sont les suspensions qui prédominent.

En 1986 sur P_1 comme sur P_2 il y a une prédominance des charges de fond, alors que sur P_3 et P_4 les suspensions prédominent pour toutes les pluies.

En 1987, sur P_1 comme sur P_2 ce sont les charges de fond qui prédominent.

Le tableau 29 donne pour chaque année et par parcelle la proportion en pourcentage des suspensions par rapport aux pertes en terre totales.

Tableau N° 29 : Pourcentage des suspensions / Pertes en terre totales

	1984	1985	1986	1987
P_1	17,54	27,8	79,71	59,25
P_2	36,29	49,97	36,59	53,40
P_3		99,02	96,70	
P_4		95,47	95,7	

Sur les parcelles P₃ et P₄ les suspensions sont nettement plus importantes que sur les autres parcelles, en particulier sur P₁ qui pourtant est constamment labourée, quoique cela ne soit pas seulement fonction de l'état du sol mais aussi du volume d'eau ruisselée. La taille de la parcelle a-t-elle une influence ?

- . Les deux parcelles sont grandes, donc les volumes ruisselés pour les grosses pluies sont importants.
- . La pente étant faible atténuée l'érosion : aussi les eaux de ruissellement ne transportent-elles essentiellement que les particules fines facilement transportables.

b) - Analyse granulométrique des charges de fond

Elle a porté sur 4 échantillons seulement pris en fin de saison. Le tableau 30 donne la comparaison entre le sol de la parcelle et les terres érodées.

	Pmm	Poids sec après tamisage	Poids très fin 0,05	% graviers	% sables grossiers 2 à 0,2	% sables fins 1,60 à 0,05
Sol parcelle		109,35g	12,5 g	5,02	45,2	49,8
Perte en terre 18.9.1987	7,2	90 g	8,13g	0	36,58	63,41
Perte en terre 20.9.1987	7,5	89,45g	7,72g	0	45,70	54,28
Perte en terre 21.9.1987	6,7	86,76g	11 g	0	43,88	56,11
Perte en terre 4.10.1987	7,5	51,26g	6,67g	0	45,79	54,19

Tableau N°30 : Comparaison sol parcelle - terres érodées.

De ces résultats on peut dire tout simplement que l'essentiel des éléments transportés sont constitués de sables. Aucun des ruissellements n'a entraîné des graviers.

Ceci est valable pour toutes les pluies même si elles n'ont pas toutes été étudiées. On peut expliquer cela par le fait que la pente faible ne permet pas le transport de matériel plus grossier. Par ailleurs, même si la différence des proportions des différents types de sables n'est pas grande, on constate tout de même une légère prédominance de sables fins.

2.3.3. Conclusion

Les premiers enseignements que l'on peut tirer des résultats obtenus sont les suivants :

Tableau N° 31 : Evaluation des pertes en terre annuelles 1984-1987

1984	1985	1986	1987
P ₁ (1,3 t/ha)	P ₁ (0,7 t/ha) 0,4 t/ha	P ₁ (1,040 t/ha) 0,8 t/ha	P ₁ 0,5 t/ha
P ₂ (2,1 t/ha)	P ₂ (1,8 t/ha) 1,2 t/ha	P ₂ (4,3 t/ha) 4,08 t/ha	P ₂ 1,3 t/ha
	P ₃ (0,14 t/ha) 0,094 t/ha	P ₃ 0,6 t/ha	
	P ₄ (0,30 t/ha) 0,236 t/ha	P ₄ 2,64 t/ha	

Le contraste est net entre l'année 1986, année excédentaire et les autres années déficitaires. Cette année 1986 a été la plus érosive.

Comme on pouvait s'y attendre les deux parcelles P₃ et P₄ ont réagi différemment. Cependant les résultats de 1985 sont étonnants (érosion très faible) pour de si grandes parcelles. Par contre, les pertes en terre enregistrées sur P₂ correspondent à l'importante hauteur d'eau ruisselée. Ainsi, au vu des résultats obtenus, on peut tirer profit de l'amélioration des méthodes traditionnelles.

2.4. Les interprétations des résultats

Il s'agit des facteurs expliquant les résultats obtenus des mesures du ruissellement et de l'érosion.

2.4.1. La pluie : hauteur - intensité - agressivité

De petites pluies ont ruisselé - 5 mm en 1984 - sur de faibles pentes. Cependant cette hauteur a changé au fil des années : 6 mm les trois dernières années. Cette hauteur est la moitié de la hauteur de la pluie considérée par les auteurs américains. Le tableau 32 donne l'impact de ces petites pluies.

Tableau N° 32: Impact des petites pluies (pertes en terre en %) 1985-1987

	1985	1986	1987
P ₁	0	0	0
P ₂	46,5	13,3	23,36
P ₃	14,3	0,7	
P ₄	12,6	2,7	

A Allokoto, toujours dans l'Adar dans la vallée de la Majiya, le CTFT (1973), après 6 ans d'observations sur de grandes parcelles de dimension d'un champ traditionnel (0,5 ha) et de 3 % de pente, a obtenu comme hauteur à partir de laquelle se déclenche le ruissellement, 12 mm. Pour nos grandes parcelles de 0,1 ha, le seuil est de 9 mm.

Le ruissellement n'est manifestement pas influencé par la hauteur des pluies. Le coefficient est variable pour telle ou telle hauteur. Cependant les coefficients des grosses averses exceptionnelles sont plus élevés que ceux des autres averses. Mais le coefficient de ruissellement

moyen annuel semble être nettement influencé par la hauteur des précipitations annuelles. Exemple de la parcelle P₂ (jachère).

Si dans l'ensemble les grosses averses provoquent une forte érosion, il en est de même pour les pluies moyennes. Ces dernières peuvent d'ailleurs causer des pertes en terre supérieure à celles des grosses averses. C'est le cas de quelques pluies de 1986. Sur P₂ :

celle du 1.8.1986, 16,7 mm avec 0,179 t/ha ;
 " 31.8.1986, 60,3 mm avec 0,5168 t/ha ;
 " 13.9.1986, 49,1 mm avec 0,5136 t/ha.

A propos des hauteurs de pluies, il faut souligner que certaines pluies n'ont pas été étudiées et surtout qu'une seule année a été excédentaire. Néanmoins, en considérant cette année excédentaire - 1986 - on se rend compte que les mois de juillet et août sont les plus érosifs avec respectivement 1,7682 t/ha, 1,2334 t/ha sur P₂ alors que pour les mois de juin et septembre on a enregistré respectivement 0,64 et 0,65 t/ha. Ceci s'explique par le fait que les pluies ne s'installent réellement dans cette région qu'en juillet. La couverture végétale étant absente, les sols sont plus sujets à l'érosion.

Les intensités instantanées sont déterminantes pour le ruissellement et l'érosion. Comme nous l'avons dit plus haut le deuxième type de pluie constitue 39,6 % des pluies ayant ruisselé. Mais aussi leur hauteur correspond à 43,73 % de la hauteur totale des pluies ayant ruisselé. Par année, nous avons :

- en 1984 : 3 pluies sur 5 avec 55,40 % de la hauteur totale des pluies ayant ruisselé ;
 - 1985 : 4 pluies sur 15 avec 20,87 % de la hauteur ;
 - 1986 : 9 pluies sur 20 avec 53,27 % de la hauteur totale ;
 - 1987 : 5 pluies sur 12 avec 41,85 % de la hauteur totale.
- La moyenne annuelle - 43,73 % - a été calculée à partir de la hauteur totale de ces pluies et la hauteur de toutes les

pluies ayant ruisselé. Ces pluies ont eu l'impact suivant (Tableau 33)

Tableau N° 33 : Effets des pluies à intensités instantanées fortes (≥ 36 mm/h).

	Ruissellement	Erosion
1984	31,6 %	58,4 %
1985	17,70 %	59 %
1986	72,7 %	52,08 %
1987	32,6 %	36,4 %

A propos du ruissellement on constate que c'est seulement en 1986 que ces pluies prédominent nettement. Toutefois la moyenne sur les 4 ans, calculée à partir du volume total ruisselé et du volume de ces pluies, est égale à 52,50 %. Quant à l'érosion on remarque une nette prédominance sur 3 années, sauf en 1987 où néanmoins les effets ne sont pas négligeables. La moyenne calculée à partir des pertes en terre totales et celles causées par ces pluies est égale à 63,10 %.

C'est dire l'importance de ces pluies. Nous comparons à cet effet leur impact et celui des averses exceptionnelles. Le tableau 34 donne l'impact des averses exceptionnelles sur la jachère.

Tableau N° 34 : Effets des averses exceptionnelles sur la jachère

Dates	Pmm	Ruissellement		Erosion
		dm ³	%	
2.7.1986	41,4 mm	1 800	43,4	0,45 t/ha
31.8.1986	60,3 mm	4 000	66,3	0,51 t/ha
13.9.1986	49,1 mm	3 500	71,2	0,51 t/ha

Deux de ces averses, celles du 31.08.1986 et du 13.09.1986 font partie des pluies à intensités instantanées fortes c'est-à-dire qui ont une intensité de début au moins égale à 36 mm/h. C'est dire l'importance de ces averses sur les phénomènes de ruissellement et d'érosion.

2.4.2. L'état du sol

Nombre d'auteurs ont montré que plus le sol est sec, plus grande est la quantité d'eau qui s'infiltré. Mais ceci est fonction du sol. En effet, à Kounkouzout nous avons constaté que sur ces sols secs compacts, indurés, l'eau ruisselle abondamment, non seulement sur nos parcelles installées sur sol brun sableux argilo-limoneux, mais aussi sur les autres sols. Les premières pluies de juin sont généralement perdues. Ceci s'explique par la structure du sol. Le sol brun subaride sur lequel nous avons fait nos mesures, malgré l'ameublissement de l'horizon de surface, est recouvert d'une pellicule de battance formée par précipitation du matériel argilo-limoneux qui sèche quelques heures après la pluie et imperméabilise de nouveau le sol. Sur le sol brun rouge c'est non seulement la pellicule de battance qui explique le ruissellement mais aussi l'induration profonde. La parcelle P_1 s'est comportée de la même manière tant qu'elle n'a pas reçu de labour, cela en début d'hivernage, mais le ruissellement est devenu faible, voire nul après le labour.

Le ruissellement est tout aussi important quand le sol est saturé, notamment quand deux pluies se succèdent de près. C'est le cas des pluies du 13.8.1987 de 11,4 mm avec des coefficients de ruissellement de 0 % sur P_1 et 23% sur P_2 ; du 14.8.1987 de 14,9 mm avec 0,2 % sur P_1 et 42,6% sur P_2 .

L'état du sol a été lui aussi déterminant pour son comportement vis-à-vis de l'érosion. Sa texture est essentiellement sableuse ce qui entraîne une bonne perméabilité.

Les labours sur P_1 ont montré cependant qu'il faut un tel travail pour que l'eau s'infilte abondamment. Autrement dit la pellicule de battance qui se forme après chaque pluie favorise le ruissellement et par voie de conséquence l'érosion. La couverture de surface explique pour beaucoup la relative faiblesse des pertes en terre. En effet ce sol est recouvert de graviers, plaquettes et galets qui diminuent les effets du "splash". Compte tenu de cet état mais aussi de la pente, les ruissellements n'arrivent à transporter seulement que beaucoup de matières en suspension. Il faut souligner que pour beaucoup de pluies, les pertes en terre sur la jachère sont en fait essentiellement constituées du sable déposé par le vent avant le ruissellement.

2.4.3. La pente

Malgré la pente faible le ruissellement, en considérant les coefficients par pluie, est élevé surtout sur la parcelle P_2 . Cependant le ruissellement n'augmente pas avec la longueur de la pente. D'ailleurs il est plus fort sur la parcelle P_2 de 100 m² de 20 m de long que sur la parcelle P_4 de 50 m de long qui lui est comparable en considérant l'état de surface en début d'hivernage.

Lal (1975) cité par Roose (1981) à Ibadan a observé le même phénomène sur des parcelles de 12 m et de 37 m de long sur des pentes de 10 à 15 %.

Wischmeier (1966) et Woodburn (1942) cités par Roose (1981) n'ont pas trouvé de relations entre le ruissellement et la longueur des parcelles.

Ainsi, la relative faiblesse des pertes en terre (si on considère les valeurs unitaires qui n'atteignent pas 600 kg/ha même pour les averses exceptionnelles) peut s'expliquer par la faiblesse de la pente. Les auteurs s'accordent en effet pour reconnaître que plus la pente est incli-



Planche 12 : Végétation sur P₂.



Planche 13 : Végétation le long des cordons de pierres
(P₃ - année 1985).

née plus l'érosion devient importante, quoiqu'à Gampela et Saria (Burkina) plusieurs auteurs (CTFT, 1974 - Roose et al 1974-1979) aient enregistré une érosion de 8 à 20 t/ha sur des pentes de 0,5 %.

Sur P₁ les labours profonds des années 1985 et 1986 ont dû jouer un grand rôle dans la diminution des pertes en terre en adoucissant la pente qui déjà est faible. Sur P₂ au fil des années, la partie aval est devenue concave, ce qui a provoqué dans un premiers temps la rétention des eaux et par conséquent des charges. Nous avons toutefois refusé de réajuster la pente afin de ne pas perturber la structure du sol, notamment la pellicule de battance.

L'influence de la forme de la pente a été démontrée par plusieurs auteurs. D'après Wischmeier (1974) cité par Roose (1981), à pente moyenne égale une pente concave diminue l'érosion, alors qu'une pente convexe l'augmente. En obtenant un ruissellement et une érosion plus forts sur parcelles de 12 m de long que sur celles de 37 m de long sur pente de 10 à 15 %, Lal (1975) cité par Roose (1981) a conclu que c'est la forme de la pente qui explique cet état de fait.

2.4.4. Le couvert végétal

Son rôle protecteur s'est manifesté surtout sur la parcelle P₃ où le sol est entièrement couvert. Les résultats de 1986 l'atteste. Toutes les parcelles, exceptée P₁, se comportent de la même manière - ruissellement et érosion forts - en début de saison. Mais avec la croissance des plantes, ruissellement et érosion s'atténuent sur P₃. Sur P₂ malgré la présence d'une strate herbacée (couverture 25 %) en aval de la parcelle vers fin juillet, l'érosion n'est pas atténuée.

2.4.5. Les traitements

Ils modifient la pente et la structure du sol. Aussi chaque parcelle s'est comportée en fonction du traitement reçu. Ruissellement et érosion sont nettement réduits :

- sur P₁ (parcelle nue constamment labourée) par rapport à P₂ (parcelle en jachère) ;
- sur P₃ (méthode traditionnelle améliorée) par rapport à P₄ (méthode traditionnelle).

Toutefois, il faut souligner que les traitements n'ont pas été efficaces sur P₃ pour les averses exceptionnelles en ce sens qu'elle ruisselle aussi abondamment que la P₄ même si les pertes en terre sont nettement inférieures à celles de cette dernière. Exemple de deux averses exceptionnelles : celle du 30.08.1985 de 40 mm a eu comme impact sur P₃ (KR % 16,8 et érosion 0,038 t/ha) et sur P₄ (KR % 22,5 et érosion 0,2 t/ha) ; et celle du 31.08.1986 de 60,3 mm qui a eu comme effets sur P₃ (KR % 24,8 et érosion 0,15 t/ha) et sur P₄ (KR % 33 et érosion 1,8 t/ha). Or il ne suffit pas de réduire que les pertes en terre, il faut aussi permettre aux plantes de profiter au maximum de l'eau.

Cependant on peut tirer profit de l'amélioration des méthodes traditionnelles. Il est possible qu'en faisant des cordons de pierres en courbes de niveau on puisse encore réduire le ruissellement et l'érosion. Le labour profond sur une aussi faible pente est bénéfique mais exténuant car devant être fait plusieurs fois. La solution serait de transformer la structure du sol.

D'autres facteurs autres que ceux cités ci-dessus expliquent les résultats obtenus.

- Toutes les parcelles ont été affectées de fentes de retrait qui ont certainement influé sur le ruissellement.

Cependant nous avons observé le même phénomène sur toutes les autres surfaces non isolées.

- La parcelle P_2 a connu une modification. Dès la deuxième année de mesures, il s'est formé en aval une cuvette qui a retardé, surtout lors de petites pluies, le passage de l'eau de ruissellement par le canal. Dans ce cas il est en principe préconisé de réajuster la pente. Nous avons choisi de laisser intacte la parcelle car réajuster la pente équivalait à perturber l'état de surface de cette parcelle.
- Toujours sur la parcelle P_2 , le couvert végétal était discontinu (25 %) car il poussait à la faveur d'un placage éolien. Il s'était surtout développé dans la partie aval. Dans la mesure où sur ces sols la jachère se présente de la même manière, nous avons préféré ne pas toucher à ce couvert végétal.
- Enfin si la P_2 a été plus érodée que les autres parcelles, ceci s'explique en partie par le dépôt de sable éolien transporté soit de la parcelle P_1 où le sol est constamment remué, soit des surfaces environnantes, chaque fois qu'il y a un orage accompagné du chasse-sable (vent). Une partie des charges de fond est d'ailleurs constituée de débris végétaux transportés par les chasse-sable.

Bien que ces facteurs, expliquant les résultats obtenus à l'issue des quatre années d'observations, forment un tout, nous essayons de les hiérarchiser.

- Les premiers facteurs : pluie - sol - pente.

La pluie apparaît comme la cause première de l'érosion. En effet le croûtage de la surface du sol qu'elle a provoqué par son impact a conditionné le ruissellement et l'érosion. C'est par son impact que la pluie contribue à modifier la surface du sol et conditionner les stades érosifs ultérieurs, Féodoroff (1965). Aussi la pente serait

plus forte et la texture du sol mauvaise, l'érosion serait alors plus importante.

- Les facteurs secondaires : les traitements.

Nous incluons dans les traitements et le mode de travail du sol et le couvert végétal, car l'aspect de la végétation tel qu'il s'est présenté a été voulu (jachère, semis...). Ce sont ces traitements qui ont conditionné le comportement du sol soit en modifiant la pente, soit en atténuant les effets de la pluie.

3 - CONCLUSION

A travers ce chapitre sur l'étude quantitative de l'érosion hydrique nous avons fait la synthèse des résultats obtenus à l'issue des quatre années d'observations. Il nous reste à dégager les enseignements pour Kounkouzout à l'échelle de nos parcelles et à comparer nos résultats avec ceux obtenus ailleurs.

3.1. Le ruissellement

Une perte en eau assez importante s'effectue sur la parcelle P₂ à chaque pluie capable de ruisseler. Les causes en sont : la structure du sol (pellicule de battance et induration) et l'intensité et l'agressivité des pluies brèves mais violentes.

Aussi lutter contre le ruissellement c'est d'une part, favoriser l'infiltration et permettre aux plantes de profiter au maximum de l'eau et, d'autre part, lutter contre l'érosion des terres.

3.2. L'érosion

A propos de l'érosion, il faut déjà souligner que nos seuls résultats ne suffisent pour apprécier l'ensemble de

la région. Nos parcelles ont été installées en aval d'un glacis où la pente est faible. De plus, les études ont été faites sur un seul type de sol - le sol brun subaride - qui n'est pas le plus représentatif, même s'il occupe de vastes superficies.

Aussi ne pouvons nous tirer dans un premier temps que des conclusions pour nos parcelles proprement dites. Le tableau 35 donne les moyennes sur l'ensemble des années d'observations : les moyennes sur 3 ans en excluant l'année 1984 pour laquelle tous les résultats sont suspects à cause de l'apport éolien important ; les moyennes sur 4 ans en considérant les résultats de 1984 ; pour les parcelles P₃ et P₄, la moyenne a été faite sur 2 ans, durée de leur fonctionnement. Pour tous les résultats, exceptés ceux de 1984, ce sont ceux qui sont fiables qui ont été considérés.

Tableau N° 35 : Evaluation des pertes en terre moyennes
Kounkouzout, 1984-1987.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Moyennes sur 2 ans			0,835 t/ha	2,723 t/ha
Moyennes sur 3 ans	0,563 t/ha	2,18 t/ha		
Moyennes sur 4 ans	0,747 t/ha	2,16 t/ha		

Il ressort de ce tableau un enseignement fondamental. La jachère et la parcelle traditionnelle sont très érodibles alors que P₁ et P₃ ont enregistré des pertes en terre relativement faibles. Ceci est fonction, nous l'avons dit plus haut, des traitements reçus par les parcelles. On peut donc tirer profit d'une part, du labour profond et de l'autre, de l'amélioration des méthodes traditionnelles. Mais, vu la difficulté d'appréciation de l'érosion à l'échelle du bassin-versant, nous croyons en premier lieu qu'il n'est pas légitime d'extrapoler des résultats obtenus sur parcelle, à l'échelle de tout le bassin. La parcelle

n'est qu'une portion de surface ne présentant pas toutes les caractéristiques du bassin versant (topographie, nature du matériel). Elle est cependant homogène et à ce titre donne une idée de la dynamique de la portion de surface sur laquelle elle est implantée. Mais, là aussi, l'isolement ne crée-t-il pas certaines conditions ? Nous avons en effet observé sur parcelles des ruissellements de certaines pluies de 5 mm qui ne forment que de petites flaques d'eau sur les surfaces non isolées. Par ailleurs le temps de réponse pour toutes les pluies est plus rapide pour les parcelles que pour les surfaces non isolées. La petite parcelle est-elle alors génératrice de ruissellement et d'érosion ?

En second lieu nous nous demandons si elle est adaptée pour l'appréciation de l'érosion dans le cadre d'une intervention genre DRS/CES ? Il est plutôt avantageux de prendre de grandes surfaces de la taille d'un champ ou plus qui peuvent recevoir certains types de traitements. Ceci permet d'une part, d'extrapoler aisément les résultats et de l'autre, de bien tester l'efficacité ou la défaillance d'un ouvrage ou d'une méthode culturale.

Enfin, des résultats obtenus et des observations de l'étude des ravines, on peut dire que l'érosion en rigole est spectaculaire et catastrophique car, en un bref laps de temps, elle détruit les terres et les fait abandonner.

3.3. Comparaison de nos résultats avec ceux obtenus ailleurs

Plusieurs études sur le ruissellement et l'érosion ont été faites au Niger. Nous donnons ici les résultats de celles dont nous disposons et nous les comparons aux nôtres.

3.3.1. Calcul des dégradations spécifiques

Vuillaume (1968) a observé à Kounkouzout sur de petits bassins versants de l'ordre de 3,5 à 10 ha et de 1 à 11 % de pente sous culture (0 à 100 %) des KRAM de 11 à 62 % et des dégradations spécifiques de 0,6 à 20 t/ha.

Tableau N° 36 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Kounkouzout (Niger).

- Vuillaume (1965-67) tiré de Roose (1980).

Pluies - 460 mm - 553 mm - 391 mm	Parcelles				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₅	F ₆
Surface en ha	3,5	4,7	2,6	10,6	9,1
Pente moyenne en %	4	11	3	5	1
Pourcentage de culture	70	25	0	5	100
Sol dominant	rendzine argileuse	brun vertique	brun hydromorphe	brun argilo-lumineux	brun-rouge sableux
KRAM %	53 à 62	45 à 47	42 à 49	24 à 34	11 à 13
Perte en terre totale t/km ²	1200-1320	1400-2000	580-710	750-1240	60-220

Heusch (1975) a estimé en se fondant sur les mesures d'envasement de la retenue d'Ibohman des pertes en terre de l'ordre de 30 t/ha/an pour la période 1969-1974, que l'érosion géologique de la vallée d'Ibohman est de 1,3 t/ha/an et les pertes en terre du bassin de Keita de l'ordre de 1,3 t/ha/an pour la période 1952-1974.

3.3.2. Observations sur parcelles

Toujours dans l'Adar à Allokoto (Madaoua) le CTFT a observé de 1966 à 1971 sur parcelles de dimensions d'un champ traditionnel (3000 à 5000 m²) sur glacis de pente générale de 3 % des KRAM de 1 à 23 % et des pertes en terre de 1 à 38 t/ha.

Tableau N° 37 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Allokoto (Niger).
CTFT (1966-1971).

Pluies 487 mm 515,3 mm 354,3 mm 506,8 mm 169,5 mm 289,6 mm	P a r c e l l e s			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Surfaces en m ²	4 228	3 443	4 788	4 407
Pente générale 3 %				
Erosion totale t/ha	2,7	38,0	5,5	1,0
KRAM %	1 à 6	17 à 23	1 à 9	0 à 3
Traitements	murets de pierre isohypse	méthode traditionnelle	végétation isohypse	bourrelets armés isohypse

Nous reportons sur le tableau n°38 les résultats que nous avons obtenu.

Tableau N° 38 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Kounkouzout (Niger).
I. BOUZOU (1984-1987).

Pluies 49,1 mm 252,5 mm 502,9 mm 235,6 mm	P a r c e l l e s			
	P ₁	P ₂	P ₃ *	P ₄ *
Surfaces en m ²	100	100	1 000	1 000
Pente générale du glacis 4 %. Parcelles 1 %				
Erosion totale moyenne t/ha	0,747	2,16	0,835	2,723
KRAM %	1,5 à 5,1	13,7 à 31,4	4,2 à 5,2	7,2 à 9,3
Traitements	Nue constamment labourée	Jachère	Cordons de pierres billons hauts bandes alternées	lignes de pierres labour superficiel

* Les P₃ et P₄ avaient 1000 m² de 1985 à juillet 1986 et 500 m² jusqu'à la fin de la campagne 1986.

Toujours à Kounkouzout, Gathelier et Gioda (1986) ont fait des mesures sous pluies simulées afin de comparer le ruissellement de ces pluies à celui des pluies naturelles, mais aussi de pouvoir prédéterminer des crues de fréquence rare, surtout décennale. Pour ce faire, huit parcelles sur sols différents (affleurements de blocs, gravillonnaire, brun, sableux éolien) ont été étudiées. Il ressort de cette étude que les coefficients de ruissellement globaux sont élevés pour toutes les parcelles (74,4 % à 82,9 %) sauf pour la parcelle installée sur sol sableux éolien (31,9 %).

De ces résultats on peut faire quelques remarques :

- Les résultats obtenus (coefficient de ruissellement annuel moyen et pertes en terre) sont nettement différents. Mais en fait, les conditions d'étude changent totalement. On passe :

1. d'une petite parcelle de un mètre carré à un bassin versant de dix hectares et
2. de l'homogénéité de la petite parcelle aux discontinuités topographiques des bassins versants.

Il y a aussi l'influence des sols de la végétation, de la pente et de la pluviométrie. Roose (1983), en comparant des mesures de ruissellement et d'érosion effectuées sur parcelles et bassins versants dans différents milieux, indique qu'il est difficile "de montrer l'influence de la taille du bassin versant sur les phénomènes : tout dépend des conditions locales de géomorphologie, de climat, de végétation et de sols". En reprenant Neboit (1983), nous pouvons dire qu'on ne peut comparer que ce qui est comparable. Néanmoins, en considérant les chiffres, quelle que soit l'échelle prise, on se rend compte de l'importance du ruissellement et des pertes en terre.

- Les observations du CTFT et les nôtres montrent que les méthodes traditionnelles ne sont pas assez efficaces. On peut tirer de meilleurs résultats par l'amélioration :

1. de la structure
2. du couvert végétal
3. de l'infiltration par un labour au départ, un sarclage binage ensuite, et enfin le billonnage qui peut être cloisonné.

CHAPITRE V

LUTTE ANTIÉROSIVE DANS L'ADAR

Nous avons montré dans la première partie que toutes les conditions naturelles sont remplies pour donner à l'érosion, dans cette région d'étude, un caractère spectaculaire par l'intense ravinement. Dans les deux premiers chapitres de la deuxième partie nous avons étudié les processus et quantifié l'érosion. En guise de conclusion, nous avons montré que si le climat a une grande influence, l'homme, de par son intervention incontrôlée, est le principal responsable.

Pourtant le paysan de l'Adar a une tradition de conservation de l'eau et du sol. Au cours de ces dernières années, des méthodes modernes ont été introduites par les européens. Les buts de la lutte antiérosive sont les suivants :

1. reconquérir des surfaces abandonnées dans le but d'atteindre l'autosuffisance alimentaire par l'augmentation de la production agricole ;
2. infiltrer un maximum d'eau ;
3. casser l'érosion mécanique ;
4. sédimenter le maximum de matériel sur place.

Nous étudierons successivement les méthodes traditionnelles et modernes et nous ferons des propositions dans la lutte contre l'érosion.



Planche 14 : Alignements de pierres sur le plateau (plateau de Laba).



Planche 15 : Alignements de pierres sur un glacis.

I - METHODES ET RESULTATS DE LA LUTTE ANTIEROSIVE

1.1. Les méthodes traditionnelles

Nous évoquons d'abord les méthodes communes au monde rural nigérien : il s'agit essentiellement du paillage qui consiste à laisser à même le sol les tiges de mil ou de sorgho après la moisson ou d'autres branches de buissons.

Des enquêtes que nous avons menées dans quelques villages du Sud de l'Adar, Bouzou (1984), nous avons tiré comme enseignement que cette pratique existait encore il y a 10 ou 15 ans. Le paillage avait pour but de lutter plus ou moins contre l'érosion éolienne. Une double pression explique l'abandon de cette pratique : démographique et animale. Mais les autorités administratives, conscientes des conséquences que cet abandon engendre, imposent maintenant la reprise systématique de cette pratique.

L'absence d'une méthode pour lutter contre l'ensablement s'explique probablement par la faible incidence que la mobilisation éolienne avait par le passé, alors que ces phénomènes constituent un risque actuel prononcé qui tend à s'accélérer. Compte tenu de la topographie du milieu, le labour perpendiculaire à la pente est aussi pratiqué. Ce qui est particulier aux paysans de l'Adar, qu'on ne retrouve nulle part ailleurs au Niger, ce sont les alignements de pierres sèches et même de cordons de pierres (planches 14-15) sur les glacis mais aussi sur les pentes fortes des versants rocheux. On retrouve le même type de cordons de pierres chez les Dogons au Mali et les Mossi du Burkina. Ces alignements de pierres à ras du sol perpendiculairement à la pente constituent des obstacles au ruissellement. Après une ou plusieurs années, quand s'est accumulé suffisamment de sable - accumulation due au ruissellement et au vent - le paysan déplace les pierres plus loin vers l'aval. La logique est la suivante : le dépôt de sable peut être utilisé pour les cultures, car il est formé d'éléments meubles.

Si au tout début, les résultats étaient concluants, aujourd'hui le simple alignement de pierres n'est pas assez efficace à cause de la puissance des eaux qui dévalent les pentes. Aussi bien que traité, le sol reste induré et difficile à travailler.

Par ailleurs, très intéressante est la méthode traditionnelle de stabilisation des petits ravins ou de petits koris qui parsèment les champs.

Pour qu'un ravin ou un petit kori soit stabilisé il faudrait qu'il ne soit pas profond - 20 à 50 cm - et qu'il présente un certain profil en U ou en V, de préférence une sorte d'ensellement. Comme les alignements de pierres, la technique de stabilisation de ces ravins est fort simple. Il s'agit tout simplement de rompre la pente en plaçant le long du ravin ou du kori des branchages, des pierres ou alors des sacs remplis de sable (planches

C'est parce que ces méthodes actuellement ne sont pas assez efficaces que sont introduites les méthodes modernes.

1.2. Les traitements antiérosifs modernes

Dès les années 1960, l'Adar-Doutchi-Majiya, communément appelé ADM, a fait l'objet d'études sur les problèmes d'érosion, études menées surtout par la SOGREAH, la SOGETHA et l'ORSTOM, ceci parce que la dégradation des terroirs a atteint un stade préoccupant, qu'il y a eu une série d'appels à l'aide de la part des communautés villageoises et du gouvernement.

De 1966 à 1971, le CTFT a expérimenté dans le cadre de la lutte antiérosive à Allokoto dans l'arrondissement de Madaoua, des techniques simples qui ne nécessitaient pas des moyens mécaniques (bulldozers ou niveleuses), mais un investissement humain. Il s'agissait de murets de pierres

isohypses de 30 à 40 cm de haut - hauteur calculée selon la formule de Ramser* - et des lignes de végétation isohypses (*Andropogon gayanus*). Ces techniques avaient donné des résultats satisfaisants.

Cependant, la technique la plus appliquée sur les glaciers reste aujourd'hui les banquettes. Il faut citer aussi - implantées récemment - les demi-lunes.

Pour la protection des berges, se sont des barrages en pierres sèches ou en gabion qui sont construits. La stabilisation des dunes est assurée soit par le clayonnage, soit par le reboisement qui est pratiqué parallèlement aux autres techniques.

Nous essaierons succinctement de présenter ces techniques et compte tenu des observations faites, nous ferons part de nos observations.

1.2.1. Les banquettes de culture

La banquette est une bande de terre de largeur réduite et constante, avec fossé très évasé et bourrelet, installée sur le versant et délimitant une bande de culture, Heusch (1986). Elle rompt à intervalles réguliers la pente avec comme but d'arrêter le ruissellement et par conséquent de favoriser l'infiltration. Généralement les opérations sont suivies de plantation de végétation dans les fossés de garde. Pour plus de précision nous renvoyons le lecteur à des ouvrages spécialisés tel : CTFT (1979) : Conservation des sols au Sud du Sahara, CTFT, Nogent-sur-Marne.

Nous faisons ici la synthèse des observations faites sur quelques sites de construction de banquettes : Badaguirchiri (arrondissement d'Illéla), Foulatchi et Kalfou (arrondissement de Tahoua), Tégélégel (arrondissement de Keita). Il s'agissait pour nous de voir l'évolution des banquettes

* La formule de Ramser donne la dénivelée des ouvrages en fonction de la pente : $H = 0,305 (2 + P/4)$.

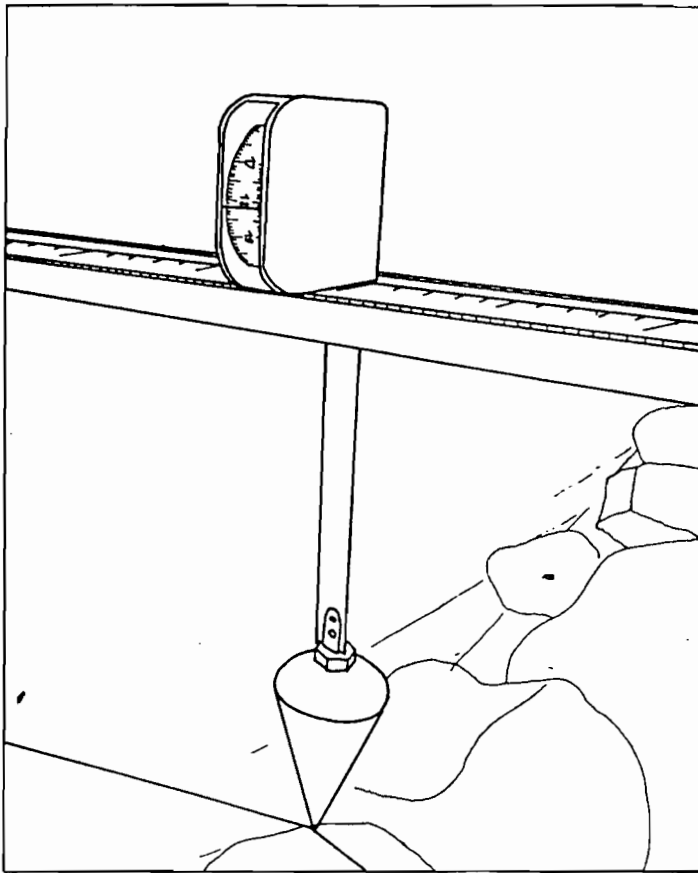
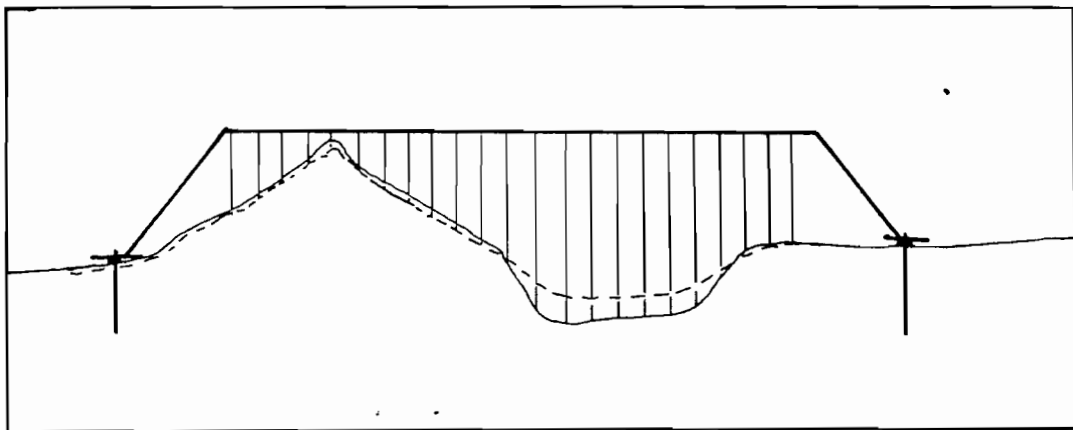
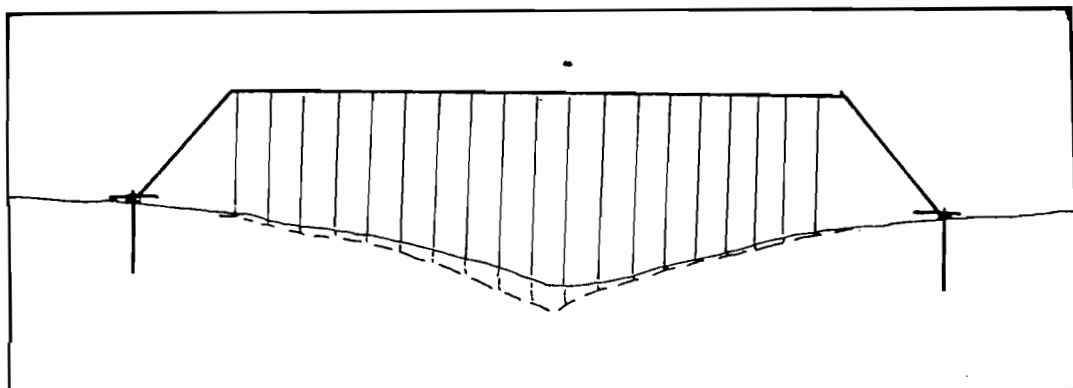


Fig.26 : Dispositif de mesure



26.1. : Application aux banquettes antiérosives



26.2. : Application au ravinement en rigoles

après la saison des pluies et après plusieurs années de construction. La méthode de suivi des banquettes est la suivante :

- Utilisation d'un "peigne" de mesure du profil des banquettes (figure 26) avant et après la saison pluvieuse.
- Comptage des banquettes intactes et endommagées pendant et après la saison des pluies.
- Observation des types de dégâts.

Pour l'ensemble des secteurs étudiés, voici les types de dégâts observés :

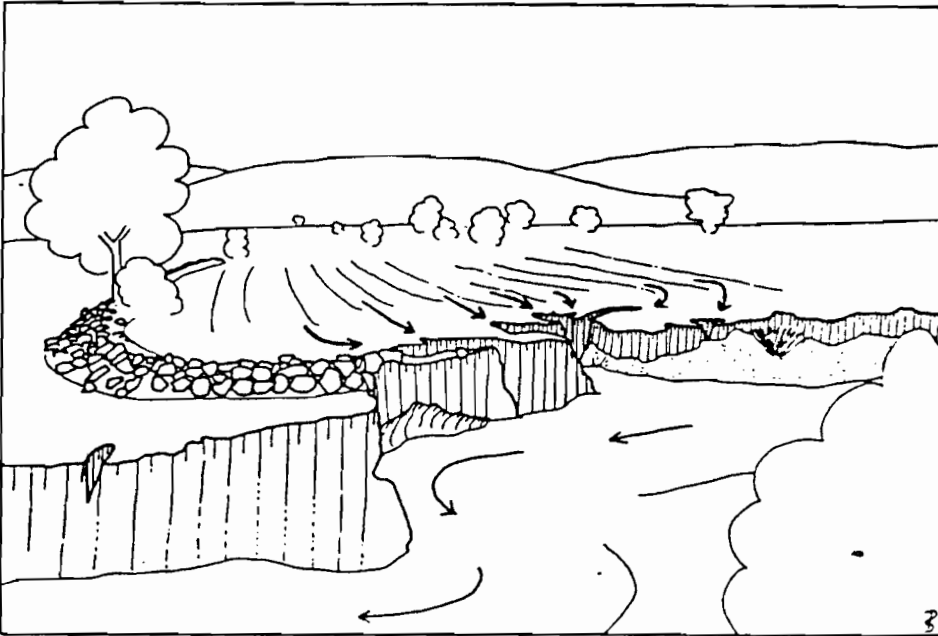
- des brèches dues aux eaux de l'amont, provoquant le débordement des banquettes ;
- des ravinements latéraux partant des grands ravins qui traversent le réseau de banquettes. Les eaux retenues par la diguette se déversent latéralement dans le kori, d'où l'apparition de ravinements sur les berges, remontant le fossé de garde.
- La mise en porte à faux des pierres sommitales due à l'érosion laminaire de la face amont.

Les dégâts sont plus développés à Badaguichiri et à Foulatchi. Deux causes principales expliquent cet état de fait : la nature du sol et le problème de l'entretien.

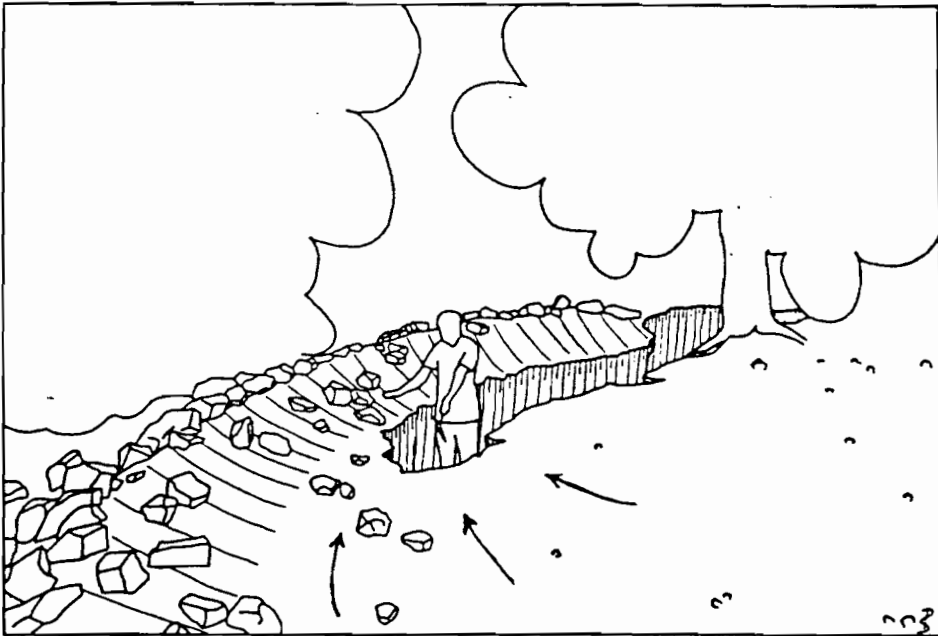
A Badaguichiri, secteur remis aux paysans depuis 5 à 6 ans, la dégradation est telle que les banquettes paraissent inexistantes à certains endroits ; cela est imputable au manque d'entretien. Les banquettes n'étant pas entretenues et installées sur un sol très induré, ceci a favorisé le ravinement.

A Foulatchi par contre, c'est essentiellement le sol qui est impropre à la construction des banquettes. Ce sol sablo-limoneux est sujet à la liquéfaction. Il semble partir en paquets et s'étaler en amont de la diguette (fig.27).

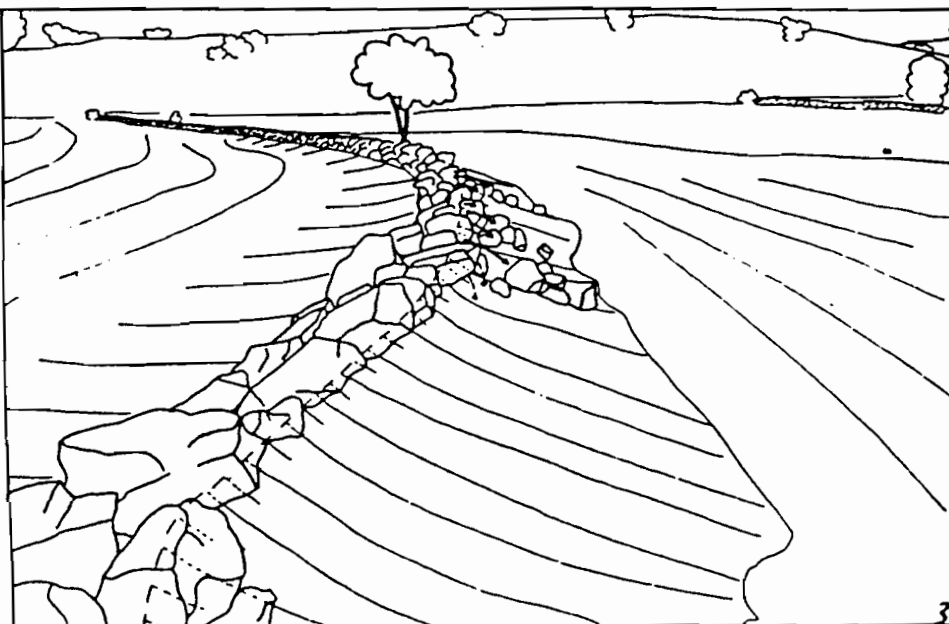
Fig. 27 : Types de dégâts affectant les banquettes



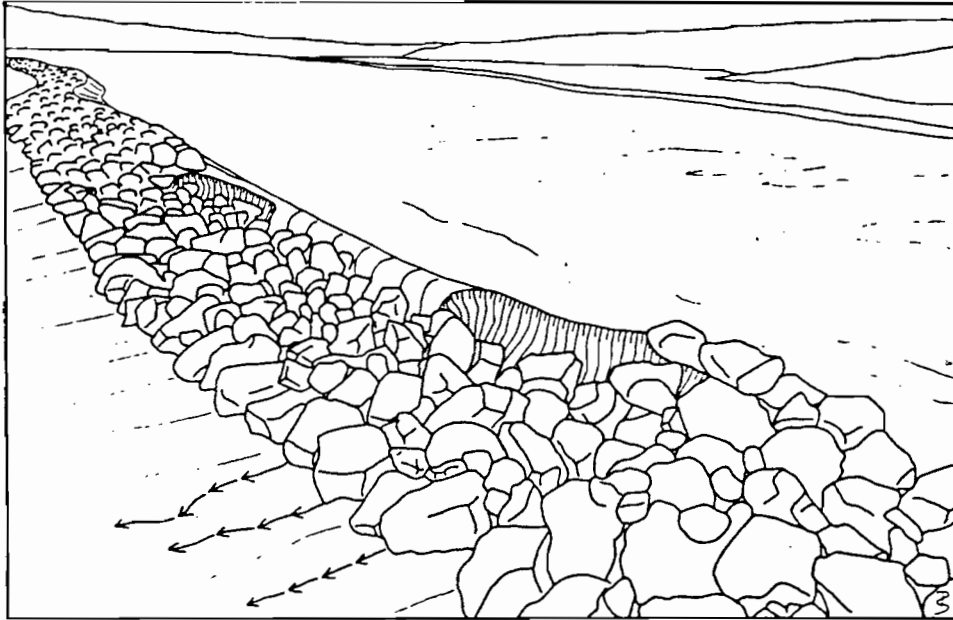
27.1. Ravinements latéraux à partir des grands ravins



27.2. Ravinement du fossé de garde

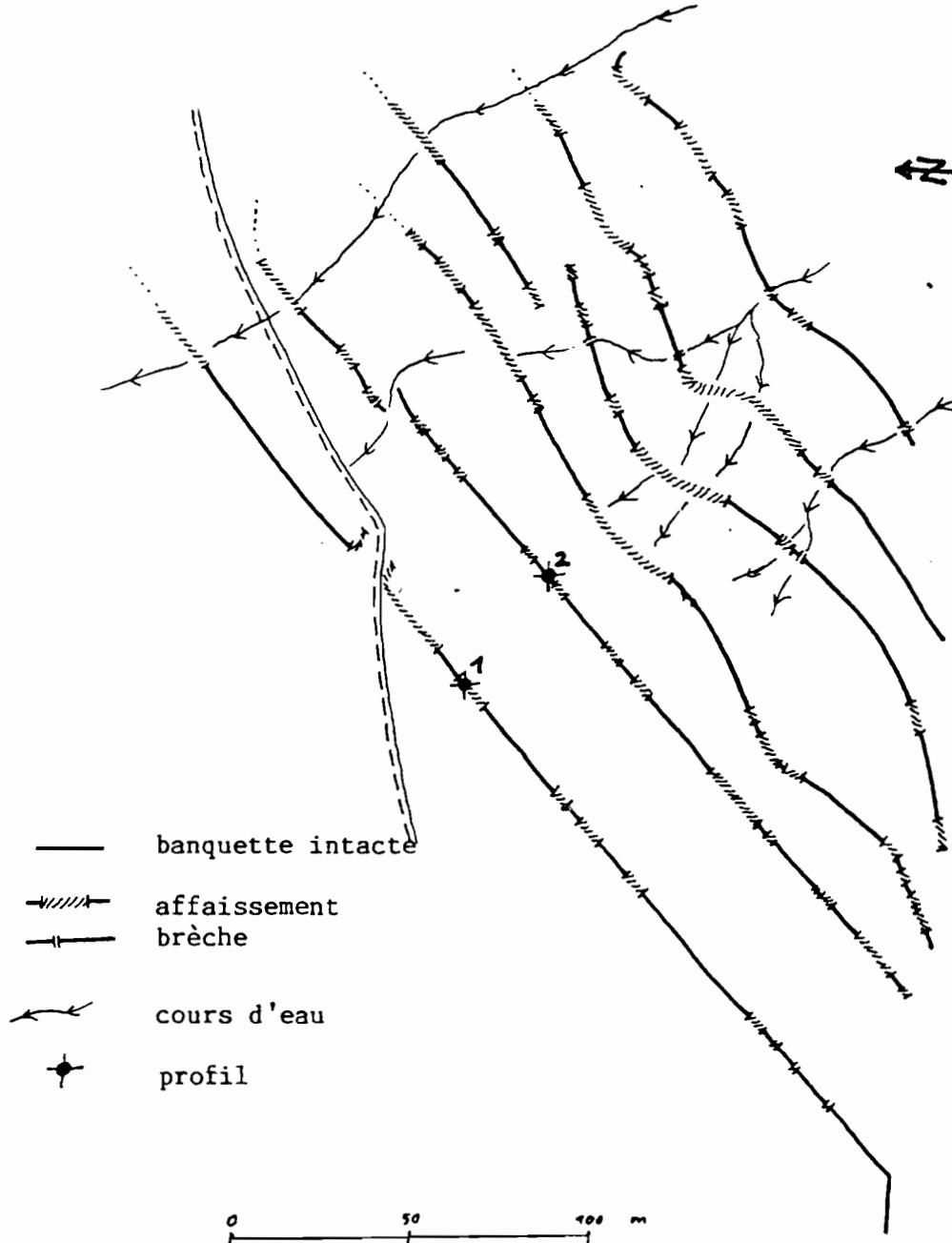


27.3. : Mise en porte-à-faux des pierres sommitales



27.4. : Affaissement d'une banquette par liquéfaction du sol, Foulatchi (dessin d'après photo)

Fig. 28 : Réseau de banquettes (Foulatchi, vallée de Kalfou)



Nous avons étudié 6 rangées de banquettes construites à la fin de l'année 1985. En début de saison de pluie (1986), déjà 30 % du secteur est endommagé, la plupart des banquettes ne sont plus fonctionnelles. En fin de saison des pluies, l'étendue des dégâts a passé à 40 % (fig. 28).

Le projet Keita, après un début difficile - mêmes dégâts cités ci-dessus) semble avoir trouvé une solution en tronçonnant les banquettes (la banquette classique étant la banquette continue), chaque tronçon de 50 m étant fermé par des crochets latéraux remontant de plusieurs mètres. Les crochets sont en outre arrondis pour supprimer les points de faiblesse que constituent les angles (communication personnelle de M. Carruci, Conseiller technique principal au projet Keita). Cependant, à Foulatchi, la même méthode est appliquée mais en vain. La dernière amélioration du projet Keita est d'empierrier les deux faces de la diguette afin d'enrayer la mise en porte à faux des pierres sommitales par l'érosion laminaire. La diguette prend l'allure d'un barrage.

Il convient de souligner que le projet Keita utilise de gros moyens pour la construction des banquettes. C'est ainsi que pour le creusement du fossé de garde, l'élévation et le compactage de la levée de terre, ce sont les bulldozers et les niveleuses qui sont utilisés. Les femmes n'interviennent que pour l'empierrement.

En conclusion de cette brève description des types d'attaques observées sur les banquettes dans l'Adar, quelques idées se dégagent :

- L'exemple de Badaguichiri montre un problème clé : celui de l'entretien. Sa solution passe essentiellement par la sensibilisation des paysans concernés : Badaguichiri n'est pas le seul village concerné, mais on peut citer tous les lieux où se construisent ces banquettes.

- Foulatchi dénote bien la routine dans l'application des méthodes de lutte antiérosive : cas des banquettes construites en ne tenant compte que du seul facteur pente.

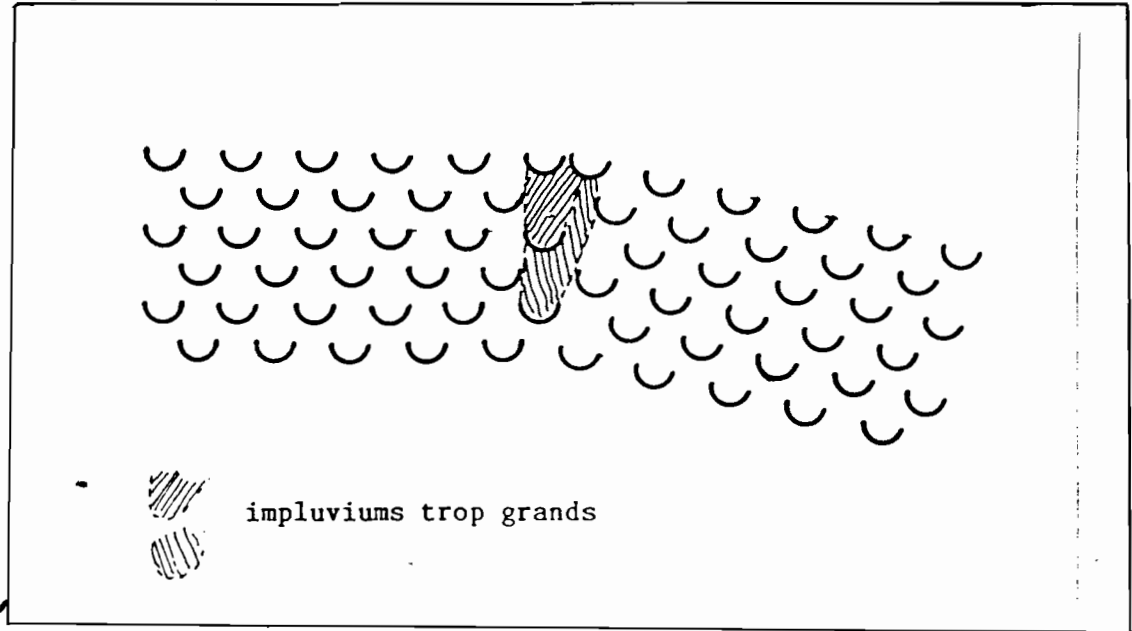
- Compte tenu des gros moyens financiers, le projet Keita arrive à améliorer la méthode. En 1985 les résultats obtenus sur les glacis récupérés à Sakarawa (Keita) étaient "de 12 à 17 quintaux selon les parcelles et les variétés, au lieu de 12 quintaux dans les secteurs mieux arrosés" (Le Monde du 02.06.1986), ce qui est appréciable. Cependant, d'après les propos du Conseiller technique du projet Keita (tirés du même journal) il a fallu reprendre les anciennes banquettes, ce qui suppose que, comme à Badaguichiri où les paysans ont pourtant participé massivement, le problème de l'entretien va se poser après le Projet, ceci parce que les banquettes étant difficiles à construire le sont aussi pour l'entretien.

En Afrique du Nord par contre, l'échec des banquettes, Benchetrit (1972), Heusch (1986), est dû à l'indifférence des paysans à qui on a imposé ces techniques.

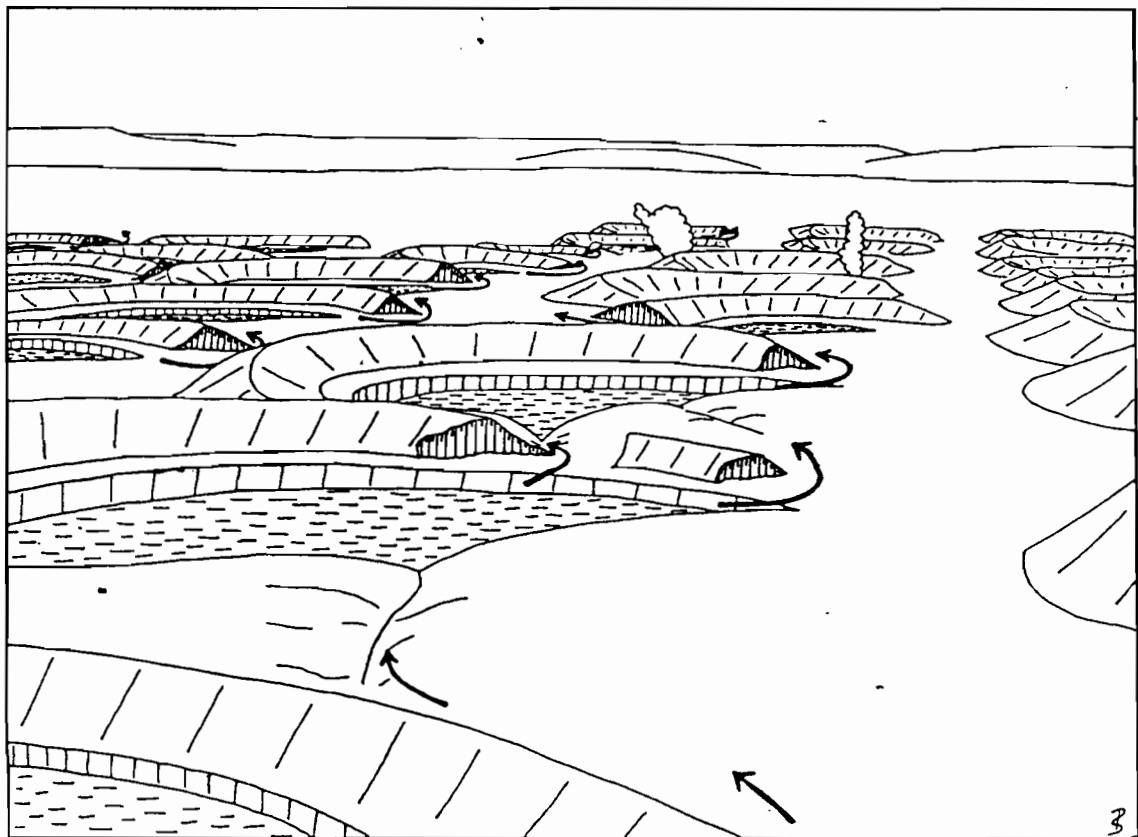
1.2.2. Les murets de pierres

Il s'agit de simples murets isohypses construits en pierres. Les premiers à être construits ont été ceux d'Allokoto par le CTFT, dans le cadre de l'étude sur l'érosion. Ces murets ne nécessitent pas de machines mais un investissement humain. Ils sont construits généralement en amont des versants afin de casser la force de l'eau. Ce sont ces seuls ouvrages qui résistent et qui, jusque là, ne nécessitent aucun entretien. Après 15 ans dans la haute vallée de Badaguichiri, ces murets tiennent toujours, alors que les banquettes sont totalement dégradées. D'ailleurs les paysans construisent à la place des parties de banquettes dégradées des murets : preuve que les paysans les préfèrent car ils sont semblables aux leurs.

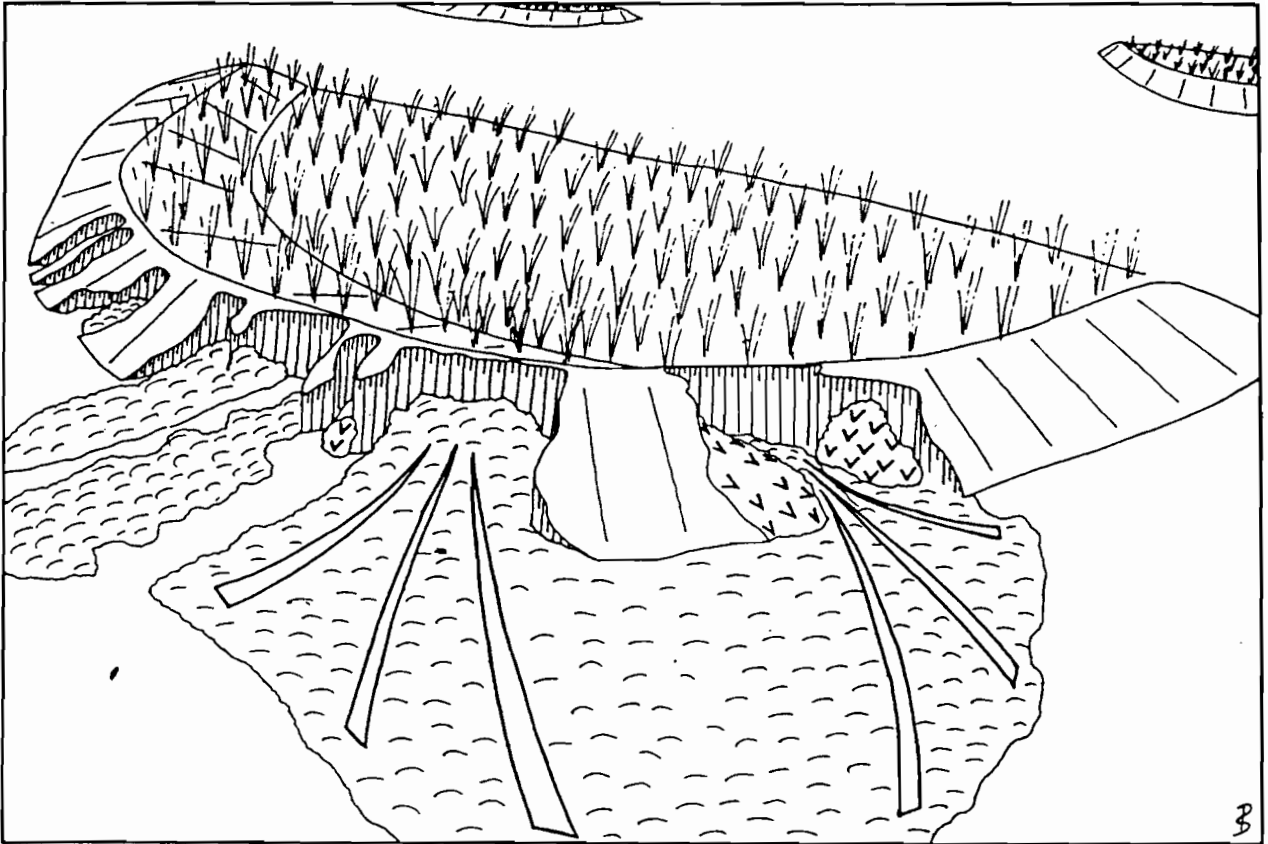
Fig. 29 : Types de dégâts affectant les demi-lunes



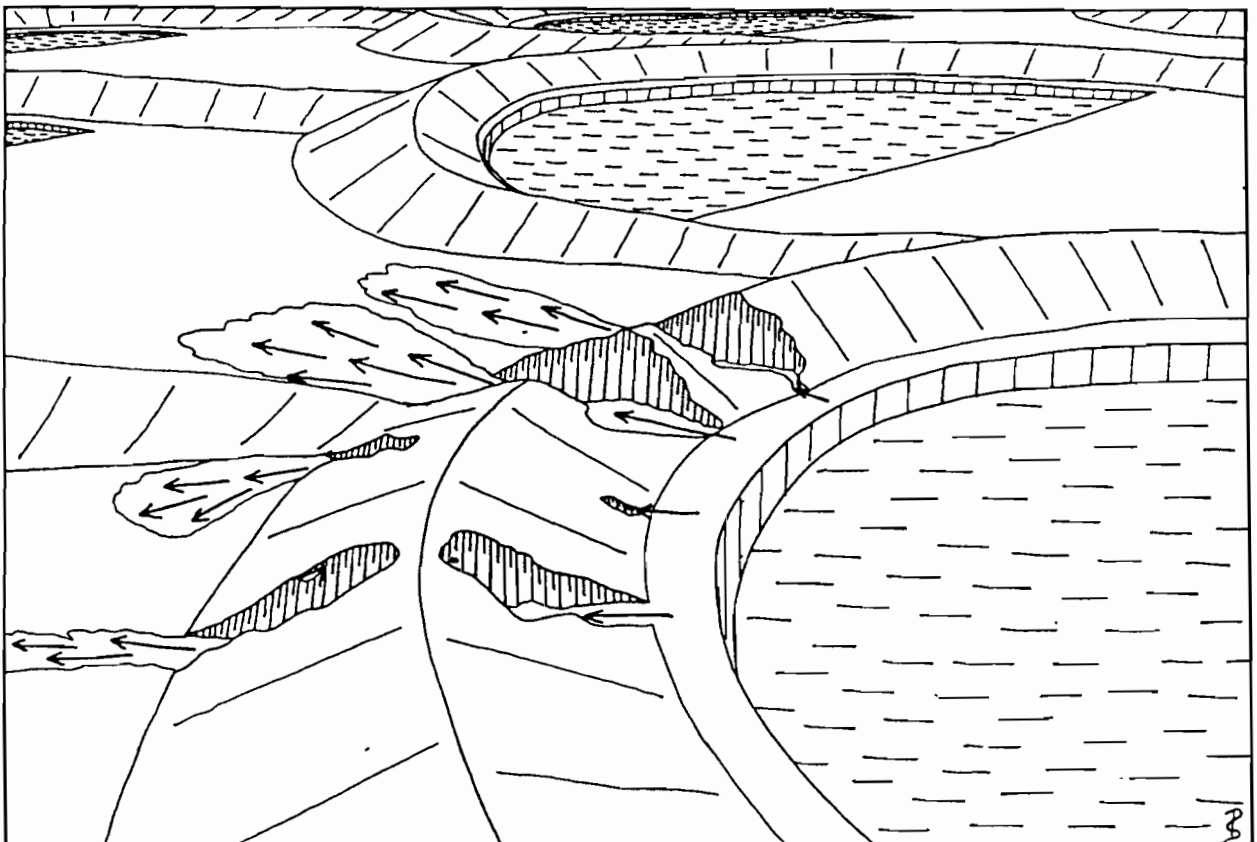
29.1. : Problèmes de raccord entre secteurs d'orientation différente



29.2. : Débordements latéraux en cascade, Inadougoum (dessin d'après photo)



29.3. Liquéfaction de la levée de terre, Ourihamiza, secteur 1984 (dessin d'après photo)



29.4. : Brèches dues à des terriers de rongeurs (dessin d'après photo)

1.2.3. Les demi-lunes

Elles ont été introduites par le projet Swissaid et construites au Nord de Tahoua. Elles ont pour but de retenir et de faire infiltrer l'eau. Il existe des demi-lunes de cultures et des demi-lunes de reboisement.

Elles sont constituées de fossés de forme de demi-lunes de 2 m de rayon, entourés à l'aval par un remblai de terre. Les fossés sont espacés de 8 m sur les rangées perpendiculaires à la pente générale, et les rangées sont disposées en quinconce, avec un écart de 4 m. La surface non touchée en amont de chaque demi-lune sert d'impluvium, et l'eau ruisselée s'accumule dans le fossé où on y cultive du mil ou du sorgho, ou alors on y plante des arbres (I. Bouzou et P. Schoeneich, 1987). Cette méthode est surtout appliquée par le projet Swissaid au Nord de Tahoua où la pluviométrie est plus faible. Dans cette région, des banquettes ont été expérimentées mais sans résultats. Seules les demi-lunes donnent de bons résultats. Des terres ont été ainsi récupérées grâce à cette méthode. Elles sont aisément adoptables par les paysans car elles ne nécessitent aucun gros moyen (bull ou niveleuse). Le matériel utilisé est simple : un piquet, une ficelle servant à délimiter l'espace et une pioche pour creuser.

Nous avons fait des observations sur trois secteurs à Ourihamiza et à Inadougoum (I. Bouzou et P. Schoeneich, 1987). Les dégâts observés sont les suivants : (fig. 29)

- des brèches dues à des apports latéraux provoquant la destruction des ailes ;
- la destruction totale de la levée de terre par affaissement, cela étant dû au problème de la liquéfaction des sols.

Les principaux problèmes de ces demi-lunes résident d'une part, dans des problèmes géométriques qui se posent au niveau des raccords entre secteurs d'orientation diffé-

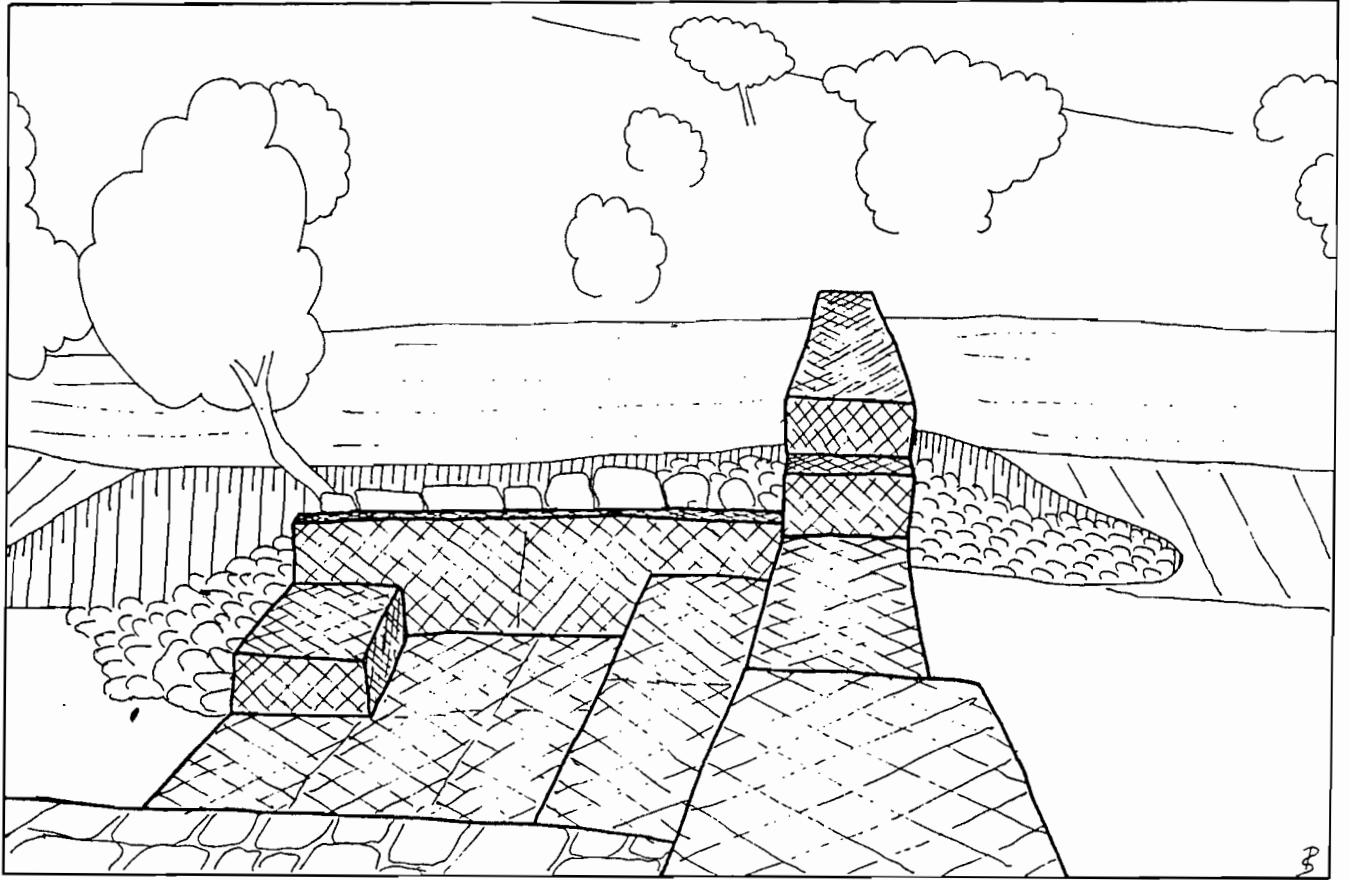
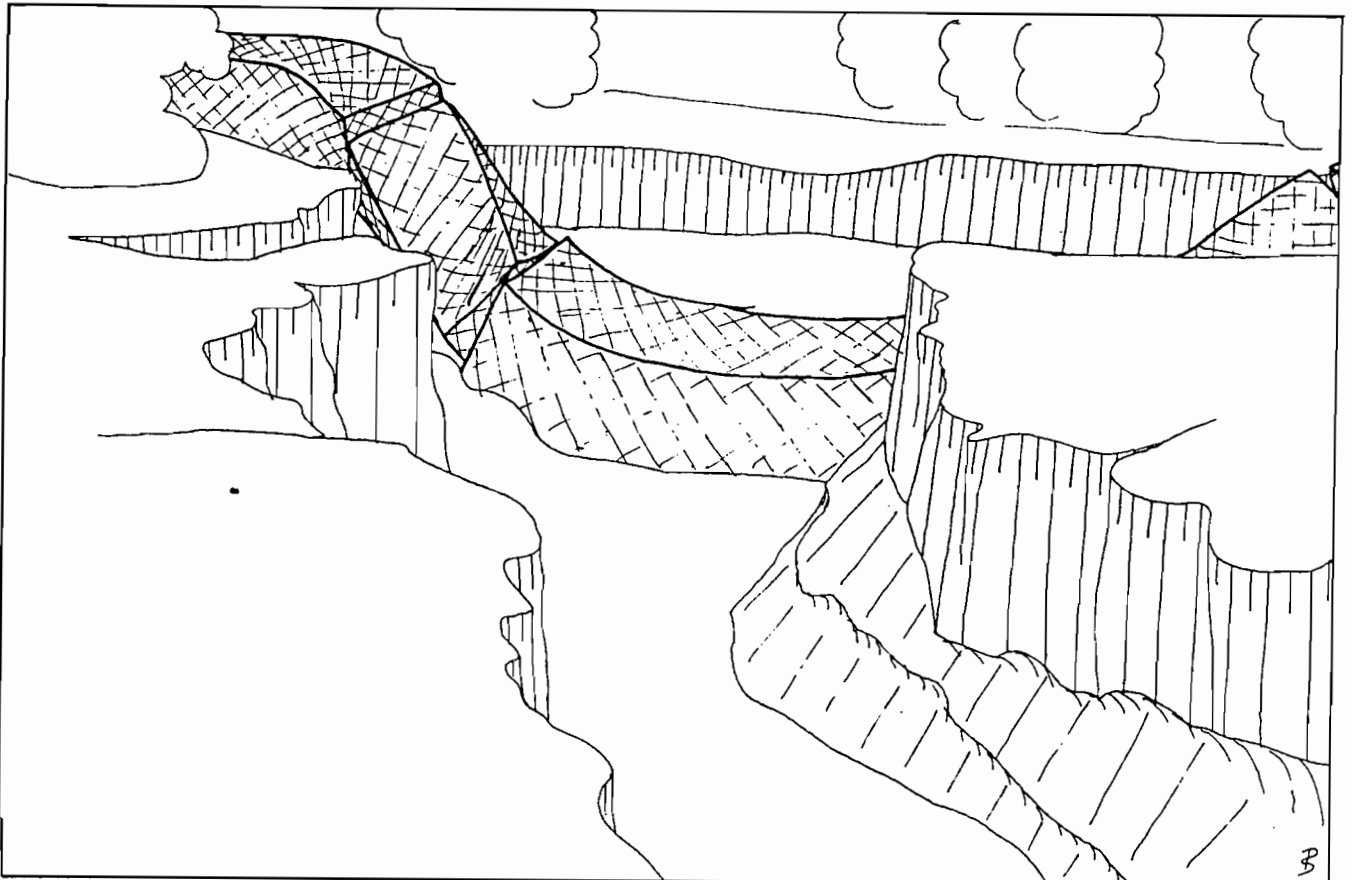


Fig. 30 : Formation de renards, affouillement et destruction des ailes des seuils d'épandage (Foulatchi, vallée de Kalfou)



rente. Ceci conduit à des impluviums plus grands, d'où quelques débordements et dégâts. D'autre part, dans la grande proportion d'argile et de limon, cause de sa liquéfaction. On pourrait envisager pour en venir à bout, un compactage à la pelle de la levée de terre et un meilleur "ancrage" du remblai sur le sol par un remuage du sol sous le remblai avant la constitution de celui-ci. Quant aux problèmes de terriers, il n'y a qu'une solution : la dératification. Enfin, il se forme progressivement une couche empêchant l'infiltration.

1.2.4. La protection des berges des koris

Afin d'empêcher le sapement des berges et le développement des ravins latéraux, des seuils d'épandage, en pierres sèches, voire les deux, sont construits. Théoriquement ils doivent faciliter le comblement des koris et, de ce fait, l'étalement des eaux. En outre ils ont pour rôle de favoriser la remontée de la nappe et permettre sur les lieux appropriés les cultures maraîchères.

Dans les faits, la protection des berges demeure le "talon d'Achille" de la conservation des eaux et des sols. Cela tient à plusieurs facteurs :

- la nature du sol. Certains sols de mauvaise cohésion sont facilement sujets aux affouillements.
- La puissance des crues qui emportent les barrages.
- La compétence des techniciens et des ouvriers (ouvrages mal faits).
- Il faut signaler aussi - cela peut être le cas - la mauvaise qualité des pierres trop fiables.

Les observations faites à Foulatchi (vallée de Kalfou, arrondissement de Tahoua), à Ourihamiza et Inadougoum (Nord Tahoua) nous ont permis de recenser quelques dégâts types : (fig. 30)

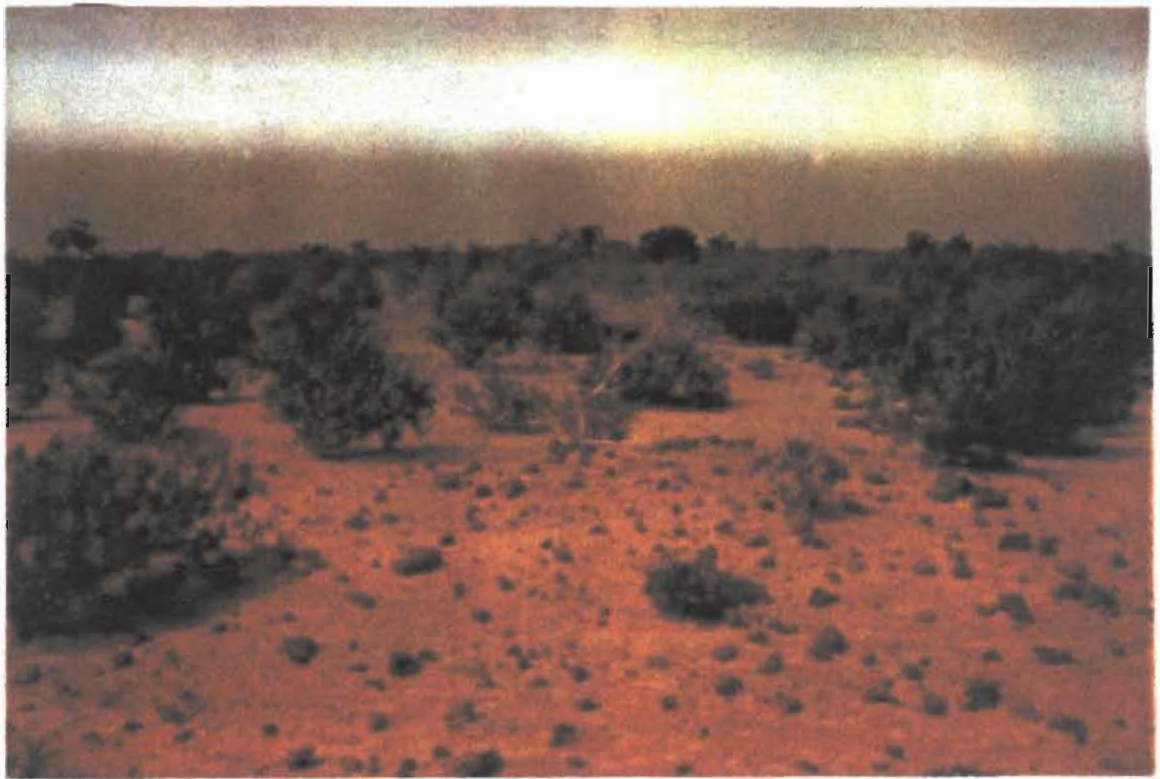


Planche 16 : Reboisement (Euphorbes) sur dune Tahoua.

- le contournement des ailes et l'apparition de renards à leur niveau favorisant leur affouillement. Ce type de dégât est dû à la mauvaise cohésion du sol et à la faible profondeur d'une fondation ;
- la destruction de l'ouvrage.

En définitive, malgré ces difficultés, cette protection des berges est indispensable car elle permet d'arrêter le ravinement de celles-ci .

1.2.5. La stabilisation des dunes

Trois méthodes sont utilisées :

- le clayonnage en ligne et en carré qui consiste en l'emplacement de tiges de mil ou de sorgho afin d'arrêter le mouvement du sable ;
- le reboisement qui se pratique aussi le long des banquettes et des berges des koris ;
- la mise en défens qui consiste à protéger les dunes traitées de la dent animale et de l'exploitation par l'homme.

Si au moment où s'installait le projet Badaguichiri, en vue de la récupération des sols, la population comprenait assez mal l'intérêt et la nécessité du reboisement (rapport final Projet Badaguichiri, 1982), aujourd'hui les choses ont changé. Rien qu'à Kounkouzout nous avons vu des paysans qui ont planté dans leurs jardins 500 à 1000 pieds d'arbres (essentiellement des prosopis) dans le but de les exploiter plus tard. Cet exemple isolé n'exclut pas l'existence d'irréductibles. Cependant, cela illustre bien un changement progressif de la mentalité des gens pour qui jusque là, seul Dieu pouvait transformer le milieu.

De bons résultats sont enregistrés dans le cadre de la stabilisation des dunes. Toutefois, si du fait de la méthode appliquée cette opération est relativement simple, il n'en demeure pas moins qu'elle est lente. Elle demande autant que les banquettes ou les barrages un suivi.

Au total, cette étude sur les méthodes de lutte anti-érosive montre que la CES est une lutte continuelle dont les résultats, bons ou mauvais, dépendent entièrement de la manière dont elle est menée. Les exemples choisis des demi-lunes et des banquettes sur des sites différents, illustrent bien cela. La routine conduit généralement à l'échec. Dans cette lutte, qui pour nos pays pauvres est une lutte de survie, le mot-clé est le discernement.

2 - LES PROPOSITIONS : POUR UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DES TERROIRS DE L'ADAR

Nous ne prétendons pas dans cette partie détenir la panacée tout en sachant bien que la CES est difficile. Néanmoins il y a des approches satisfaisantes qui donnent de bons résultats parce qu'on tient compte de toutes les composantes du milieu et leurs interactions et des leçons du passé. Il est indispensable de connaître l'essentiel des contraintes qui se posent au milieu de l'Adar. Ces contraintes sont exclusivement liées à la nature du milieu.

- La mauvaise structure des sols. Quelle que soit l'unité prise parmi ces sols de culture, on observe, d'une part une pellicule de battance due à une proportion importante de limon et, d'autre part une induration qui imperméabilise les sols, facilitant ainsi le ruissellement et par conséquent le ravinement. Cette imperméabilité affecte aussi et surtout la surface du plateau et les versants couverte de la cuirasse et/ou de dalles de grés ferrugineux.
- La pente forte des versants, et dans une moindre mesure des glacis, constitue aussi l'une des principales contraintes.
- La végétation discontinue ne joue pas son rôle protecteur.

Les conséquences dues à ces contraintes sont l'important ruissellement d'où une perte d'eau ne profitant pas

aux cultures et l'importante érosion provoquant une perte de terres. Certaines sont d'ailleurs abandonnées.

En dépit des résultats différents obtenus sur les stations expérimentales installées dans l'Adar, il n'en demeure pas moins que ceux-ci doivent attirer l'attention sur le danger que constitue l'érosion.

Dans la vallée de Keita, Heusch a évalué la perte en terre d'un affluent appelé le Zourourou au cours du Quaternaire à 90 t/km^2 , soit une érosion géologique moyenne de $200 \text{ t/km}^2/\text{an}$. Actuellement, d'après le même auteur, la dégradation spécifique de ce bassin versant est de $800 \text{ t/km}^2/\text{an}$.

A Allokoto dans la vallée de la Majiya, d'après le CTFT (1973), les pertes en terre sur parcelle témoin cultivée à la manière traditionnelle varient de 3,5 à 18,5 t/ha.

Pour notre part, nous avons montré que sur les sols bruns subarides, produits de désagrégation des formations des versants (calcaire, schiste, marne, grès), les pertes en terre ne sont pas importantes ; le ruissellement, par contre, ne profite nullement à ces sols.

Aussi nous proposons d'une part, quelques améliorations sur les sites déjà traités et, d'autre part un schéma d'aménagement sur les sites non traités.

2.1. Les sites déjà traités

Nous avons déjà vu dans leur ensemble les défaillances des ouvrages construits, défaillances dues au fait que l'on n'arrive pas à maîtriser l'eau de l'amont. Aussi les zones vulnérables sont généralement les banquettes situées à l'aval ou les berges. En fait, c'est parce que peu de choses sont faites pour dissiper la force de l'eau dévalant les versants rocheux. Généralement on n'observe que de petits

barrages dans les ravins collecteurs. Les fossés d'évacuation sont mal faits, ils constituent des koris potentiels. En ne songeant qu'aux banquettes comme moyen de dissipation des forces des eaux, les techniciens ont trop surestimé leur efficacité et mésestimé ainsi les principales contraintes liées à la nature du terrain.

Nous proposons pour améliorer cette situation :

- Le traitement du plateau.

Le projet Keita et les autorités administratives de Tahoua y ont déjà songé. Ainsi les autorités de Tahoua ont procédé au sous-solage de la surface du plateau dans le but unique de récupérer les sols et de fournir ainsi des terrains aux paysans, mais aussi au reboisement. En fait le sous-solage peut favoriser une infiltration aussi minime soit-elle et ainsi diminuer la quantité des eaux de ruissellement.

Toujours dans le souci de récupérer les sols de plateau, le projet Keita a procédé à la construction de banquettes avec sous-solage. Ce traitement sans danger notable peut faciliter une importante infiltration des eaux et réduire ainsi l'écoulement vers les glacis.

- Le traitement des versants rocheux.

Ce sont des écotopes pénestables. Par conséquent une petite "erreur" peut les transformer en écotopes instables. Pour traiter ces versants, il faut tenir compte de la nature des formations rocheuses.

Déjà le projet Keita a entrepris le reboisement des versants en faisant des tranchées du sommet jusqu'au pied des versants, alors que dans la haute vallée de Keita apparaissent les formations inférieures - silts, sables, argilites - du Crétacé, meubles, peu cohérentes et sujettes à la suffosion et/ou au ravinement.

A Sakarawa et à Tinkirana nous avons observé les phénomènes de suffosion dans ces tranchées et des débuts de ravinement. Par conséquent, cette pratique peut se révéler dangereuse à plus ou moins brève échéance.

Nous conseillons donc de ne pas toucher aux parties des versants où affleurent ces formations inférieures. Par contre, dans la moyenne et basse vallée, cette méthode ne constitue aucun danger.

Outre ce traitement, la création de fossés d'évacuation des eaux arrivant directement du versant s'impose. On prendra soin de diriger cette eau vers un chenal qui l'évacuera à son tour dans le kori principal. Le fossé et le chenal doivent être bien faits afin d'éviter tout débordement et par conséquent des ravinements. De préférence le fond et les bordures doivent être pavés. Chenal et fossé, autant que les banquettes, doivent faire l'objet d'un suivi.

- Le traitement des koris.

Théoriquement les versants ainsi traités, l'écoulement est organisé et les koris ne reçoivent alors que les eaux des principaux chenaux collecteurs. Le sapement des berges est alors moins important. Néanmoins les crues étant toujours puissantes, un seuil bien fait pourra mieux résister.

A la limite, sur certains sols de mauvaise cohésion, la construction de seuils peut être bannie. Il faut se limiter à de simples épis et tout le long des berges, planter des arbres.

2.2. Les sites non aménagés

Nous insistons sur le fait que le problème des sols de l'Adar est leur mauvaise structure : induration et pellicule de battance.

Les observations faites sur nos parcelles expérimentales pendant 4 ans nous ont montré le comportement d'un type de sol - le sol brun subaride - travaillé différemment: labour superficiel et labour profond. Nous avons montré qu'il suffisait de casser cette pellicule de battance pour provoquer une infiltration, mais que cette infiltration n'est maximale que si le labour est profond. Aussi, le labour superficiel - simple grattage du sol - observé dans les champs travaillés de manière traditionnelle ne favorise pas l'infiltration, au contraire, il facilite le transport de la partie remuée. Nous avons par conséquent essayé d'améliorer ce labour en faisant des billons assez haut, capables de retenir l'eau de ruissellement. Parallèlement nous avons amélioré les cordons de pierres traditionnels en "ancrant" mieux les pierres, en renforçant avec du sable et en semant tout le long et de part et d'autre des cordons. L'utilisation de bandes alternées a été de plus nécessaire dans le but de rendre plus efficace le système.

Néanmoins, si ces cordons améliorés ont tenu - nous n'avons procédé qu'à des réparations sommaires - c'est parce que la parcelle était isolée des apports extérieurs. Pour que le système soit réellement efficace, il convient d'aménager tout le versant. Aussi nous proposons un aménagement des versants non traités, en tenant compte des deux types d'érosion qui sévissent : l'érosion hydrique et l'érosion éolienne.

2.2.1. Lutte contre l'érosion hydrique

Il convient dans une étude sommaire de recenser les principales unités des sols et de comprendre leurs caractéristiques. Le problème de ces sols se résume à la mauvaise structure. C'est en fonction de ces critères que l'on peut adopter une méthode.

- Il est important de reprendre les mêmes traitements que nous avons préconisés pour le plateau et les versants rocheux afin de mieux contrôler l'écoulement des eaux.

- Installer les cordons de pierres améliorés sur les sols bruns subarides des pieds des versants car ils sont meubles sous la pellicule de battance, ne nécessitant pas, par conséquent, un traitement lourd. L'infiltration se fait facilement et ce sol est rarement sujet aux ravine-ments.

- Sur les autres sols indurés, difficiles à travailler, une autre méthode s'avère nécessaire. Comme nous préconisons des méthodes facilement adoptables par les paysans, nous conseillons la construction de simples murets pour lesquels le problème de l'entretien ne se pose pas. Le CTFT a fait l'expérience à Allokoto dans la Majiya ; à Badaguichiri, 15 ans après leur construction, les murets de pierres tiennent toujours.

- L'association des cultures en bandes alternées, exemple : mil-haricot ou sorgho-haricot. Le haricot doit être toujours semé de part et d'autre des ouvrages car, en croissant plus rapidement que le mil ou sorgho - espèce rampante - il protège efficacement les ouvrages le long desquels sont semés soit le mil et sorgho, soit est planté l'*Andropogon gayanus*, l'objectif étant de protéger au maximum les ouvrages et éviter ainsi une perte de terre. Le stade ultime c'est d'aboutir à des terrassettes.

- Il est conseillé de labourer avant les premières pluies afin de favoriser l'infiltration. En fait nous avons constaté que, malgré tous les labours, la pellicule de battance se forme assez rapidement. Aussi, tant que la structure du sol ne sera pas améliorée par l'enfouissement des tiges ou des excréments d'animaux, les labours seront fréquents. Ceci suppose inéluctablement une dépense d'énergie. C'est aux Projets de vulgariser alors des charrues qui

seront tirées par des ânes. En effet, si tous ne possèdent pas des boeufs, chaque famille a au moins un âne.

- Dans le cadre de la stabilisation des ravines, utiliser la méthode traditionnelle mais en l'améliorant notamment en "ancrant" bien au sol les branchages, les sacs de sable ou les pierres.

Nous croyons que pour intéresser les paysans, il faut cet alliage : tradition - modernisme. Partout où il est possible d'utiliser la méthode traditionnelle, le faire tout en l'améliorant, si besoin est. Ceci permettra aux paysans de comprendre que leurs méthodes aussi sont bonnes. L'utilisation de certaines techniques, type seuils d'épannage pour maîtriser un cours d'eau, leur permettra de voir l'insuffisance de leur méthode. Ceci est un long et difficile travail de démonstration, d'éducation, avec comme objectif de faire naître chez le paysan un esprit de créativité spontanée.

Nous avons observé le cas dans la vallée de Badaguiri, en amont, où les banquettes ne sont pas toutes dégradées. Car indubitablement certains paysans ont compris l'insuffisance de ces banquettes et installé entre deux banquettes des cordons de pierres bien faits pour mieux faciliter l'infiltration. Le plus souvent, les parties des banquettes cassées ne sont remplacées que par des murets, pour la simple raison que les murets sont simples et ressemblent aux cordons de pierres.

En combien de temps ce changement s'opérera-t-il ? Ce que nous savons, comme nous l'avons dit plus haut, c'est que la CES est une lutte de survie continue, dans laquelle il faut... s'accrocher. En fait, notre souci majeur c'est de préserver des méthodes traditionnelles qui, améliorées, donneront de meilleurs résultats.

2.2.2. Lutte contre l'érosion éolienne

Le seul moyen est le reboisement. Actuellement, le reboisement se fait sur les versants rocheux, le long des banquettes et des berges. Des bois de villages sont aussi créés.

Pour rendre plus efficace la lutte contre l'érosion éolienne, il est nécessaire de clôturer tous les champs, car dans l'Adar, comme partout ailleurs au Niger, les champs sont ouverts. Les haies vives se feront parallèlement à la construction des ouvrages. On aboutira ainsi à la formation de "bocage". Il faut rappeler qu'autrefois - probablement avant la colonisation - les champs situés aux alentours des villages sur sols sableux étaient clôturés d'euphorbes dont certaines sont encore visibles. Ce système permettra de réduire la déflation.

2.2.3. Les pâturages

Il n'existe pas au Niger, en zone sédentaire, des aires réservées aux pâturages. Il est alors indispensable d'en créer afin d'atténuer la dégradation du milieu par la plantation d'arbustes fourragers comme les acacias ou certaines graminées. Pour ce faire, nous proposons pour l'Adar d'utiliser les unités de sols pour lesquelles les paysans ne tirent pas grand profit. Ce sont particulièrement les sols peu évolués d'apport sur matériaux issus de grés ferrugineux, ou alors les terrasses des koris.

Nous savons que même avec la création des aires de pâturage, le problème de la dégradation du milieu par le bétail se posera toujours, dans la mesure où l'essentiel de ce bétail est constitué d'espèces, comme la chèvre qui broutte l'herbe jusqu'aux racines.

La solution serait de donner priorité au gros et non au petit bétail. Cependant, seul le petit bétail est à la

portée de tous. Il constitue en période de soudure - du début à la fin de la saison des pluies - la principale source de revenus. L'alternative est la longue et difficile tâche de sensibilisation dans le cadre de la mise en défens de la végétation.

2.2.4. La mise en défens

"... tu ne détruiras pas les arbres en y brandissant la hache, tu t'en nourriras et tu ne les abattras pas,..."
Deutéronome 20 : 19 a.

Au stade actuel de la dégradation du milieu, l'interdiction de la coupe des arbres doit être ressentie comme un ordre divin. L'arbre ne doit être abattu qu'en cas d'extrême nécessité. Néanmoins, vu le niveau de vie des paysans, le bois reste l'une des principales sources de revenus (par la vente) surtout en saison sèche ou lors d'une famine. D'aucuns qualifient ainsi le bois de "pétrole des pauvres".

Actuellement, en attendant la vulgarisation de l'utilisation du gaz, on essaie de limiter la consommation du bois par l'introduction de ce qu'on appelle communément le "foyer amélioré" dont on a effectivement démontré l'efficacité, une efficacité d'ailleurs limitée car l'économie n'est que de plus ou moins 20 %.

3 - CONCLUSION

Nous avons montré à travers cette étude l'importance du maintien et de la vulgarisation des méthodes traditionnelles qui ont fait leurs preuves. Méthodes qui, pour nous, peuvent être améliorées afin qu'elles donnent de meilleurs résultats. En outre, avec l'utilisation de méthodes traditionnelles, on met fin à la pratique routinière, sans discernement aucun, de certaines méthodes types banquettes.

A propos des banquettes, malgré leur amélioration par les techniciens du Projet Keita et les résultats acquis, elles sont chères, difficiles à construire et à entretenir. Et là réside le problème car si avec la présence des Projets on a su mobiliser les populations, cette mobilisation sera difficile sans les Projets. En tout cas, tant que les paysans ne se seront pas organisés dans ce sens. La solution, pour nos pays pauvres et en outre dans le cadre de l'éducation de nos paysans, est d'utiliser des méthodes simples. Nous avons parlé plus haut d'alliage de tradition et de modernisme afin de faire naître chez le paysan un esprit de créativité spontanée. C'est du coup lutter contre l'attitude négative qu'est l'"assistantisme" qui consiste à attendre toujours une aide extérieure. En agissant de la sorte, on permet au paysan d'être moins assisté.

En résumé, il s'agit de donner priorité, hormis les murets et les cordons de pierres, aux méthodes culturales et biologiques, car le problème des sols de l'Adar est avant tout un problème de mauvaise structure, seules ces méthodes pourront en venir à bout. Nous avons observé sur tous les chantiers, des réseaux de banquettes qui ne jouent pas leur rôle, car le véritable mal - mauvaise structure du sol engendrant la formation de la pellicule de battance et l'induration - n'est pas attaqué.

Pour atteindre ces objectifs, l'éducation des techniciens est aussi indispensable car c'est leur méconnaissance des rapports du paysan avec son milieu qui engendre l'inadaptation de l'approche technique, principal facteur de certaines attitudes paysannes négatives comme le refus, le laisser-aller. Une meilleure connaissance du monde paysan peut permettre d'établir un dialogue franc entre paysans et techniciens, et au-delà la réussite de l'intervention en milieu rural.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

De cette étude sur l'érosion et la lutte antiérosive dans l'Adar, nous tirons plusieurs enseignements.

- En reprenant les résultats de toutes les études faites dans l'Adar, on peut qualifier l'érosion d'accélérée. Les causes sont naturelles (climat semi-aride, roches sédimentaires peu cohérentes) mais aussi anthropique, car l'homme en défrichant contribue à accentuer l'érosion qui plus est, la végétation rare et discontinue protège très mal les sols.

- Très important est le rôle de la pellicule de bat-tance et de l'induration dans le ruissellement et l'érosion.

- On enregistre un appauvrissement progressif des sols en particules fines.

- Compte tenu de la rareté et de la discontinuité du couvert végétal, les méthodes mécaniques de CES s'imposent, mais elles doivent être faites avec discernement en tenant compte des sols, simples et doublées de méthodes biologiques (reboisement et méthodes culturales). L'objectif est non seulement de rétablir l'équilibre écologique rompu mais aussi de responsabiliser les paysans dans le maintien de cet équilibre, car de lui dépend la sécurité alimentaire.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude sur l'érosion, après quatre années d'observation, il convient de rappeler les principaux résultats et d'en tirer les principaux enseignements.

1 - RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS

1.1. La méthode

Pour apprécier l'érosion hydrique dans le milieu étudié, nous avons allié les observations géomorphologiques à l'expérimentation sur les parcelles. Ainsi nous avons pu comprendre la dynamique sur les principales unités géomorphologiques (surface du plateau, versants rocheux et tendus, dunes, bas-fonds). Afin d'apprécier la dissection des versants, quelques ravines ont été suivies. Une station expérimentale constituée de quatre parcelles a été établie en vue de quantifier l'érosion en nappe. Cette étude avait deux objectifs :

- la compréhension du comportement du sol traité différemment (P_1 : labour fréquent ; P_2 : jachère ; P_3 : cordons de pierres, bandes alternées haricot-sorgho, billons ; P_4 : alignements de pierres, sorgho);
- l'amélioration de la méthode traditionnelle avec un double objectif :
 1. voir si elle était possible et jeter ainsi les bases d'une meilleure intégration des paysans dans la gestion de leurs terroirs,
 2. au-delà, obtenir de meilleurs rendements de la production agricole (la lutte dans nos pays pauvres visant la recherche de l'autosuffisance alimentaire).

1.2. Les facteurs de l'érosion

Dans l'Adar les conditions sont remplies pour rendre agressives les actions des agents d'érosion :

- le terrain par sa constitution (roches non consolidées) est d'autant plus érodible qu'il est mal protégé par la végétation ;
- l'opposition entre deux saisons contrastées (saison sèche-saison humide) accentue les phénomènes d'érosion. Cependant la période au cours de laquelle nous avons fait nos recherches a été déficitaire (1984 : 49,1 mm ; 1985 : 352,5 mm ; 1986 : 502,9 mm , la seule année excédentaire; 1987 : 235,6 mm) ; la moyenne sur 51 ans pour Tahoua est de 390,2 mm. Ceci a limité nos interprétations. Malgré cette indigence, nous avons pu constater le caractère agressif des pluies : beaucoup sont brèves mais avec une intensité instantanée généralement élevée de 36 mm/h à plus de 60 mm/h ; elles sont aussi concentrées sur un nombre de jours assez réduit compris entre 15 à 40 jours.

1.3. Le ruissellement

Sur sol glacé, le ruissellement est assez important (coefficient de ruissellement par pluie de 4 à 75 % et annuel moyen de 2 à 27 % sur la jachère). Dans ces conditions une perte en eau intolérable s'opère au cours de chaque pluie qui ruisselle. Or, en milieu semi-aride où, comme nous l'avons dit, les pluies sont extrêmement concentrées, il est indispensable de conserver un maximum d'eau qui puisse profiter aux plantes. Les traitements (cordons de pierres, billons, bandes alternées...) améliorent sensiblement l'infiltration.

1.4. L'érosion

Les résultats obtenus sur parcelles ne reflètent pas la réalité car, comparativement à ce que l'on peut observer dans le paysage (intenses ravinements), les pertes en terre paraissent faibles. Or la dégradation a atteint un tel stade que communautés villageoises et autorités se sont mobilisées pour récupérer des terres. Les raisons de la

relative faiblesse des pertes en terre sur parcelles (moyennes annuelles comprises entre 0,75 et 2,8 t/ha) sont que celles-ci ont une faible pente et que le sol a une bonne texture. Mais dans l'ensemble, l'essentiel est composé de suspensions (17 à 99 %) ; même pour les charges de fond, ce sont les sables fins qui prédominent, ce qui dénote l'appauvrissement progressif des sols.

2 - LES ENSEIGNEMENTS

- Il serait coupable qu'à la fin nous ne fassions cas des grandes difficultés rencontrées pendant la préparation de ce travail. Ces difficultés se résument à l'isolement qui nous a lourdement handicapé. Ceci nous a fait comprendre la nécessité d'une étude pluridisciplinaire. Cependant, malgré cet isolement, nous espérons avoir contribué modestement d'une part, à la connaissance de l'érosion dans l'Adar en général et, d'autre part, aux possibilités qu'offrent les méthodes traditionnelles.

- La petite parcelle nous a permis de comprendre la dynamique de la portion de surface sur laquelle elle a été installée. Par là-même, nous avons vu ses limites. Pour mieux tester des traitements antiérosifs (ouvrages mécaniques, méthodes biologiques), de grandes surfaces (> 0,5 ha) sont nécessaires.

- Dans la dégradation actuelle du milieu, il faut souligner l'influence de l'homme : causée par la pression démographique, le déboisement a accentué la désertification et l'érosion dans l'Adar. En effet, c'est de par ses actions que l'homme facilite la tâche aux éléments du climat, comme l'eau et le vent. Ses marques peuvent être dans un premier temps discrètes. Il faut attendre un temps plus ou moins long pour qu'elles se manifestent, notamment par l'accentuation des formes d'érosion comme les ravinements et les dunes.

Ainsi il a fallu beaucoup d'années - depuis le peuplement de l'Adar, vers le XII^e siècle, jusqu'à nos jours, soit plusieurs siècles - pour que l'on se rende compte de la transformation du milieu, des effets néfastes de l'érosion accélérée et du rôle de l'homme dans cet état de fait. Mais rôle de l'homme reconnu surtout par les techniciens, car beaucoup de paysans ne reconnaissent pas encore leur responsabilité dans la dégradation du milieu. C'est dire toute la difficulté qui se pose aux techniciens pour convaincre certains paysans de la nécessité de planter et d'entretenir les arbres.

- Compte tenu des bons résultats que l'on peut tirer de l'amélioration des pratiques traditionnelles, il est indispensable, pour une intervention efficace en milieu rural, que l'on revalorise celles-ci. Et nous croyons avec Mao que "nous devons nous fonder sur les principes suivants: partir des masses pour retourner aux masses. Cela signifie qu'il faut recueillir les idées des masses (qui sont dispersées, non systématiques), les concentrer (en idées généralisées et systématisées après étude), puis aller de nouveau dans les masses pour les diffuser et les appliquer, faire en sorte que les masses les assimilent, y adhèrent fermement et les traduisent en action, et vérifier dans l'action même des masses la justesse de ces idées. Puis il faut encore une fois, concentrer les idées des masses et les leur transmettre pour qu'elles soient mises résolument en pratique... Et le même processus se poursuivra indéfiniment, ces idées devenant toujours plus justes, plus vivantes et plus riches". (Mao Tsé-Toung, "A propos des méthodes de direction" (Oeuvres Choisies, tome III, p. 153). Ceci permet, dans le cadre du développement auto-centré, de responsabiliser les masses paysannes et de les soustraire à "l'assistantisme", et ce d'autant plus qu'à l'heure actuelle, la crise qui frappe les principaux pays donateurs annihile de plus en plus les élans de solidarité.

- Enfin il convient de souligner à la fin, la suite qu'il est possible de donner à ce travail. Il s'agit de tester l'efficacité de chacun des traitements que la parcelle traditionnelle améliorée a reçus (cordons de pierres, billons, bandes alternées) ; suivre (observations sur bassins versants) les opérations de conservation des eaux et du sol qui se font dans l'Adar.

B I B L I O G R A P H I E

- Al DURRAH M and BRADFORD JM., 1982 : The mechanism of Rain-drop Splash on soil surfaces in the Soil Science Society of America Journal V.46, n° 5, sept.-oct. 1982.
- ALBERGEL J., VALENTIN C. : Sahélilisation d'un petit bassin versant soudanien, Kognere-Boulsa au Burkina Faso, ORSTOM.
- ARNOLDUS H.M.J., 1980 : An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation in Assessment of erosion 1980. Edited by. M. de Boedt D. Gabriels, John Wiley and Sons.
- AUBERVILLE A., 1949 : Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. Société d'Editions géographiques maritimes et coloniales, Paris.
- AUBERT G., 1985 : Observations sur les "banquettes de défense des sols" en Algérie in Réseau Erosion, Bulletin 5, Nov. 1985.
- AMBOUTA K., 1984 : Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigérien. Thèse Doct. Ing. Université de Nancy I.
- BAILLY Cl., 1984 : Bref exposé sur quelques expérimentations concernant la lutte contre l'érosion par l'aménagement des bassins versants. Commu. Réunion Technique 55° SIMA, jeudi 8 mars 1984.
- BEAUDET G., 1976 : Essai sur la zonation et la signification géomorphologique des cuirasses ferrugineuses en Afrique Occidentale in Travaux et doc. de Géo. Trop. n° 33, Géom. des reliefs cuirassés dans les pays trop., Ch et hum. p. 35-52, Table ronde CEGET.

- BENCHETRIT M., 1971 : Géographie zonale des régions chaudes
Fac. Nathan.
- BENCHETRIT M., 1972 : L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Public. Uni. Poitiers, Lettres et Sciences Humaines, P.U.F., 217 p. Fig.
- BENDER H, 1985 : Erosion : un problème de résistance au cisaillement en fonction du chemin des contraintes pendant l'infiltration in Tropicals'85. First international Conference on Geomechanics in tropical Lateritic and saprolitic soils, Brazil, February 11 to 14, 1985, volume 2, Technical sessions.
- BIBLE (1a) : Deutéronome 20:19.
- BIROT P., 1960 : Le cycle de l'érosion sous les différents climats. Rio de Janeiro, Brasil, 137 p.
- BIROT P., 1981 : Les processus d'érosion à la surface des continents.
- BIROT Y. et GALABERT J., 1967 : L'amélioration des rendements en agriculture par aménagements antiérosifs et techniques culturales visant à la conservation de l'eau et du sol dans la région de l'Adar-Doutchi-Majiya (Rép. du Niger), Station d'Allokoto. Prem. observ. en 1966. Rapport multigr. CTFT Niger-Haute Volta.
- BIROT Y., GALABERT J., CHAPPART J.P., 1968 : Troisième campagne d'observations sur la station de mesure d'Allokoto (Adar-Doutchi-Majiya), CTFT Niger-Haute Volta.
- BIROT Y., GALABERT J., ROOSE E., ARRIVETS J., 1968 :
Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de Gampela, 1968. Rapport multigr. CTFT, 40 p.

- BOCAQUIER G., GAVAUD M. : Etude pédologique de l'Adar Douchi. Rapport général ORSTOM.
- BOGNETTEAU-VERLINDEN ELS, 1980 : Végétation spontanée et stabilisation des dunes : Etude de la ré-installation de la végétation spontanée dans la zone de stabilisation des dunes à Yegalalane (Adar Niger), CARE (Niamey-Niger), Université de l'Agriculture AH Wageningen (Pays-Bas), 63 p.
- BOUDOURESQUE, DUBOIS, LANG, TRICHET (1982) : Contribution à la stratigraphie et à la paléogéographie de la bordure occidentale du bassin des Iulliminden au Crétacé supérieur et au Cénozoïque (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest). Bull. Soc. Géol. Fr. (7) XXIV, 4, p. 685-695.
- BOUCART J., 1955 : Les mécanismes de l'érosion, 1ère et 2ème partie. C.D.U. Paris.
- BOUCART J., 1957 : L'érosion des continents, A. Colin.
- BOUGERIE J., 1978 : Saison sèche, saison humide : approche méthodologique pour les régions à longue saison sèche. Saison-Bulletin Ecologie T,9,4, pp. 301-305.
- BOULET R., 1966 : Etude pédologique du Niger central. Rapport général, Centre ORSTOM de Dakar, 211 p.
- BOUZOU I., 1984 : Les sources écrites et orales locales relatives à l'érosion dans la région de Tahoua (Adar-Niger). Mémoire de DEA Géographie, I.G.A. Grenoble I, 51 p.
- BOUZOU I., 1987 : Mesures d'érosion à Kounkouzout, vallée de Keita, Adar-Niger. Campagne 1984. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.

- BOUZOU I., 1987 : Mesures d'érosion à Kounkouzout, vallée de Keita, Adar-Niger. Campagne 1985. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.
- BOUZOU I., 1987 : Mesures d'érosion à Kounkouzout, vallée de Keita, Adar-Niger. Campagne 1986. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.
- BOUZOU I., SCHOENEICH P., 1987 : Observations sur les demi-dunes, région de Tahoua. Hivernage 1986. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.
- BOUZOU I., SCHOENEICH P., 1987 : Observations sur les banquettes de culture, région de Tahoua. Hivernage 1986. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.
- BOUZOU I., SCHOENEICH P., 1987 : "Peigne" pour mesures de profils. Univ. de Niamey, FLSH, Dép. de Géo., Rap. Géo. Phys.
- BOUZOU I., 1988 : Conservation des sols : mentalité paysanne et approche technique. Cas de l'Adar Niger. R.G.A. Grenoble (à paraître).
- BRUNET-MORET Y., 1963 : Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du Niger. ORSTOM CIEH.
- CASENAVE A. et VALENTIN C., 1988 : Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration. ORSTOM.
- CATINOT R., 1973 : Contribution du forestier à la lutte contre la désertification en zones sèches. Techniques et développement.

- CHARRE J., 1973 : La variabilité du rythme annuel des pluies au Niger. R.G.A. Grenoble, LXI, 3, pp. 411-426.
- CHARRE J., 1974 : Le climat du Niger. I.G.A., Université Grenoble.
- CHORLEY R.J., 1969 : Introduction to fluvial processes. M. London.
- C.I.E.H.-USAID, 1979 : L'utilisation des ressources en eau et des terres des régions de savanes, rapport, 1979, vol. 1.
- COLLINET J., VALENTIN C., ASSELINE J., HOEPFFNER M., HARANG P., PEPIN Y., 1980 : Etude LAT/03 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Rapport de terrain sur la 2^e opération Niger, Galmi et cuvette d'Agadez. Rapport DGRST/ORSTOM, Adiopodoumé, 38 p.
- CONSTANTINESCO I., 1976 : La conservation des sols dans les pays en développement. Bulletin pédologique de la FAO, N° 30, Rome.
- CORBEL J., 1964 : L'érosion terrestre, étude quantitative. Annales de géographie.
- CORMARY Y. et MASSON J., 1964 : Etude de conservation des eaux et des sols au Centre de Recherches du Génie Rural de Tunisie. Cahiers ORSTOM 403, série pédologie.
- CRUCHAUD F., 1986 : Etude des phénomènes éoliens dans la région de Tahoua au Niger. Mémoire de maîtrise, IGUL, Lausanne.
- C.T.F.T. : L'équation universelle de perte de sols de Wischmeier. Application à Madagascar.

- C.T.F.T. Niger-Haute Volta, 1970 : Etude sur le facteur de l'équation universelle de perte de sols de Wischmeier.
- C.T.F.T., 1972 : Défense et restauration des sols, Gampela 1972. République de Haute Volta. Min. de l'Agri., de l'élev. et des Eaux et Forêts. Direction des Eaux et Forêts et de la conservation des sols.
- C.T.F.T. Niger-Haute Volta, 1972. Note sur la désertification de l'Afrique au Sud du Sahara.
- C.T.F.T., 1979 : Conservation des sols au sud du Sahara. C.T.F.T., Nogent-sur-Marne, 296 p.
- DABIN B., LENEUF N., 1958 : Etude de l'érosion et du ruissellement en basse Côte d'Ivoire, mai 1956-1958, ORSTOM, Abidjan, 20 p.
- DAVEAU S., 1959 : Recherches géomorphologiques sur la région de Bandiagara, IFAN DAKAR.
- DELEHANTY J., HOSKINS M., THOMSON J., 1984 : Etude d'évaluation de la vallée de la Majiya. Rapport sociologique.
- DELWAULLE J.C., 1973 : "Résultats de six ans d'observations sur l'érosion au Niger". Bois et Forêts des Tropiques N° 150.
- DEMANGEOT J., 1976 : Les espaces naturels tropicaux. Masson, Coll. géographie.
- DEPLANHOL X. et ROGNON P., 1970 : Les zones tropicales arides et subtropicales. Collection U, Armand Colin, Paris.

- DERRUAU M., 1974 : Précis de géomorphologie.
Masson, 468 p., 171 fig., 62 planches, hors texte.
- DE PLOEY J., 1967 : "Erosion pluviale au Congo Occidental"
Isotopes in hydrology, p. 291-301.
- DE PLOEY J., 1975 : "The evaluation of soil erosion and
man's impact in Africa". An. Acad., Brasil. Ciénc.
47, Suppl., p. 165-172.
- DE WISPELACRÉ G., TOUTAIN B., 1976 : Estimation de l'évolu-
tion du couvert végétal en vingt ans consécutivement
à la sécheresse dans le Sahel Voltaïque,
Rev. Photo-interprétation, 1976/3/1-3/2.
- DE WISPELACRE G., 1980 : Les photographies aériennes, té-
moins de la dégradation du couvert ligneux dans
un système sahélien, Sénégal. Influence de la
proximité d'un forage. Cahiers ORSTOM, série Sc.
Hum., vol. XVII, n° 3-4, p. 155-156.
- DE WISPELACRE G., 1981 : Application d'une méthode d'analyse
de données Landsat à la cartographie des zones
désertifiées d'un écosystème Sahélien Sénégalais.
Comm. présentée au 4° Coll. int. du G.D.T.A. Tou-
louse.
- DRESCH J., ROUGERIE (G.), 1970 : Observations morphologi-
ques dans le Sahel du Niger in Revue de géomorpho-
logie dynamique, XI° année, n° 5.5.6.
- DUCHAUFFOUR P., 1970 : Précis de pédologie, Masson, 3°
édition, Paris, 481 p.
- DUBOIS D., ICOLE M. et TRICHET J., 1978 : Les formations
ferrugineuses du Continental terminal du bassin
des Iulliminden, Niger Occidental : sédiments,
transformations post-sédimentaires et cuirassements.
Travaux et Doc. de Géog. Trop. CEGET, CNRS, n°33,
p. 361-379.

- DUBOIS D. et LANG J., 1984 : Etude lithostratigraphique et géomorphologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iulliminden (Niger). Bulletin de l'IFAN, tome 43, série A, Nos L 2, janvier-avril 1981. Paru le 30 juin 1984, Dakar-IFAN.
- DUBOIS D., 1979 : Etude géologique des formations oolithiques ferrugineuses du bassin des Iulliminden (Rép. du Niger). Thèse Doct. Univ. Orléans et Niamey, 123 p.
- DUGUE P., 1984 : Quelques observations sur l'utilisation des résidus de récolte au centre Yatenga. "Enquête au niveau de 5 exploitations du village de Sabouna durant la saison sèche 1982-1983".
IVRAS-IRAT/HV-IPD/AOS. ORD du Yatenga-Ouahigouya.
- DUGUE P., 1986 : Appropriation des techniques de lutte contre l'érosion et le ruissellement par les paysans du Yatenga (Burkina Faso).
CIRAD/DSA in III^e Séminaire du 16 au 19 déc. 1986. Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production.
- DUMAS J., 1965 : Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers ORSTOM, Pédologie 3, p. 307-334.
- ECHARD N., 1975 : L'expérience du passé : histoire de la société paysanne Hausa de l'Adar in Etudes Nigériennes, N° 36, Institut de Recherche en Sciences Humaines, Niamey, 235 p.
- EL SWAIFY (S.A.), DANGLER E.W. and ARMSTRONG CC., 1982 : Soil erosion by water in the tropics HITAR. College of Tropical Agriculture and Human resources. University of Hawaii.

- FEODOROFF A., 1965 : Mécanismes de l'érosion par la pluie.
Revue Géogr. Phys. Géol. Dyn., 7, 2 : 149-163.
- FOSTER G.R., MOLDENHAUER W.C., WISCHMEIER W.H., 1982 :
Transferability of U.S. Technology for prediction
and control of erosion in the Tropics in American
Society of Agronomie and Soil Science of America,
1982.
- FOURNIER F., 1959 : La parcelle expérimentale : méthode
d'étude expérimentale de la conservation du sol,
de l'érosion et du ruissellement. Ext. Rapp. Mis-
sion D.E.C.E. "Etude des sols" aux Etats-Unis
(T.A. 30-63) ORSTOM Bondy.
- FOURNIER F., 1960 : Climat et érosion, P.U.F. Paris, 201 p.
- FOURNIER F., 1962 : Carte du danger d'érosion en Afrique au
Sud du Sahara fondé sur l'agressivité climatique
et la topographie. C.E.P. Bruxelles, Commission
Coop. Techn. en Afrique. Carte 100 x 88 cm, 11 p.
texte, échelle 1/10.000.000.
- FOURNIER F., 1967 : La recherche en érosion et conservation
des sols sur le continent africain. Sols africains,
vol. 12, 10-1, p. 5-53.
- GALABERT J., 1970 : Station de Gampela. Défense et restau-
ration des sols en Plateau Mossi. Année 1969-70.
République de Haute-Volta, C.T.F.T.
- GALABERT K., MILLOGO E., 1973 : Indice d'érosion de la
pluie en Haute-Volta. C.T.F.T., Ouagadougou, 34 p.
+ annexes.
- GALLAIS J., 1967 : Le delta intérieur du Niger et ses bor-
dures. Etude morphologique. Edit. du CNRS, vol. 3,
155 p., 28 PH., 5 cartes hors-texte.

- GATHELIER A., GIODA A., 1986 : Etude des relations pluies-débits à l'aide d'un simulateur de pluie sur un petit bassin sahélien (Kounkouzout, Rép. du Niger) ORSTOM.
- GHADIRY H., PAYNE D., 1980 : A study of soil splash Using cine-photography in Assessment of erosion, 1980. Edited by M de Boodt, D. Gabriels, John Wiley and Sons.
- GRECO J., 1978 : La défense des sols contre l'érosion. Techniques d'avenir (agriculture). La Maison Rustique, Paris.
- GREIGERT J., 1966 : Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iulliminden (Af. Oc.). Min. des Tr. Pub. des Transp., des Mines et de l'Urbanisme. Direction des mines et de la Géologie (Rép. du Niger), 236 p., 1 carte géologique hors texte.
- GREIGERT J., 1967 : Atlas hydrogéologique de l'Adar Douchi (Rép. du Niger). BRGM Paris, 140 p., 6 cartes hors texte.
- GROUZIS M., ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., 1986 : Péjoration climatique au Burkina Faso. Effets sur les ressources en eau et les productions végétales. Colloque Nordeste - Sahel, 16-18 janvier 1986, IHEAL, Paris.
- GRUNERT J. et BUSCHE D., 1980 : Large-scale fossil Landslides at the Msak Mállat and Hamadat Manghîni escarpment - in the Geology of Lybia, ed, by salem and Busrewil, Academic Press, p. 849-860.
- HAGEDORN H., GIEBNER K., WEISE O., BUSCHE D., GRUNERT G., 1977 : Dune stabilization a survey of literature on dune formation and stabilization. Geographisches Institut Universitat Würzburg.

- HANON M., 1984 : Carte géologique de l'Adar Doutchi au 1:100.000 - 26 feuillets - Niamey, Rép. du Niger, Min. des Mines.
- HECQ J., 1985 : Désertification et développement : évolution, perspectives, remèdes in Bull. Rech. Agron. Gembloux (1985), 20 (3/4), p. 323-337.
- HERVIEU J., 1975 : Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar. L'interprétation paléoclimatique du Quaternaire. Essai de synthèse. Initiation doc. Techn. ORSTOM, 26, 170 p.
- HERVIEU J., 1977 : Témoins paléoclimatiques et environnement préhistorique dans le massif de Termit (Niger Oriental). Cah. ORSTOM, Sér. Géol., vol. IX, n° 1-2, p. 3-14.
- HEUSCH B., 1969 : "L'érosion dans le bassin du Sebou : une approche quantitative". Revue de Géogr. du Maroc, n° 15, p. 109-128.
- HEUSCH B., 1970 : L'érosion hydraulique au Maroc : son calcul et son contrôle. Rapport multigr. Q2, Eaux et Forêts du Maroc, 16 p.
- HEUSCH B., 1970 : L'érosion du pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du pré-Rif Occidental in Annales de la Recherche Forestière au Maroc, numéro spécial, Etudes sur l'érosion, 1970, t. 12, Rabat, p. 9-176.
- HEUSCH B., 1975 : La conservation des eaux et des sols dans la haute vallée de Keita. Sogreah Grenoble/Niger, Minist. Economie Rurale, 24 p.

- HEUSCH B., 1980 : Erosion in the Adar Douchi-Massif (Niger)
Colloque de Silsoe, p. 521-529.
- HEUSCH B., 1987 : Cinquante ans de banquettes de D.R.S.-
C.E.S. en Afrique du Nord : un bilan.
- HOOGMOED W., 1986 : Analysis of rain fall characteristics
relating to soil Management from some selected
Locations in Niger and India. Soil Tillage sub-
program. Tillage Laboratory, Agricultural Univer-
sity, Wageningen ; Resource Management Program,
ICRISAT Sahelian Center. Wageningen Agricultural
University, ICRISAT, report 86-3.
- HUDSON N.W., 1961 : An introduction to the mechanics of
soil erosion under conditions of subtropical rain-
fall. Proceedings and transactions of the Rhodesia
Scientific association, XLIX,1 : 15-25.
- HUDSON N.W., 1963 : Rainfall intensity and erosivity. Advi-
sory notes. Dept. of Cons. and Ext. Rhodesia, 5 p.
- HUDSON N.W., 1964 : Field measurements of accelerated soil
erosion in localized areas. Rhodesian Agricultural
Journal, 2249, : 3.
- HUDSON N.W., 1973 : Soil conservation. B.T. Batsford Ltd.
London, 320 p.
- HUDSON N.W., 1980 : Erosion prediction with insufficient
data in Assessment of erosion 1980, edited by
M de Boodt, D. Gabriels, John Wiley and Sons.
- IBOURAIMA S., 1983 : Etude cartographique de la dynamique
actuelle dans l'Adar, de Kawara à Galmi (Rép.
du Niger). TER. IGA, Grenoble I.

- INRAN, 1975 : Défense et restauration des sols : résultats des essais effectués à la station de l'aviation de 1972 à 1974.
- INSTITUT PANAFRICAIN POUR LE DEVELOPPEMENT. DIRECTION REGIONALE AFRIQUE DE L'OUEST SAHEL-OUAGADOUGOU, 1983 : Recherche et développement ORD du Yatenga. Principaux résultats. Première phase d'intervention, 1980-1981.
- IPD/AOS - Ouagadougou - Hte-Volta - CIEPAC - Dakar - Sénégal Déc. 1982 : Séminaire sur la lutte contre l'érosion et le ruissellement. 2ème phase, rapport de synthèse.
- JARRE P., CHAPERON P., TRAVAGIO M., 1967 : Etude hydrologique des vallées de l'Adar Doutchi. Résultat de la campagne 1967. Rapport terminal, ORSTOM.
- JARRE P., GUIGEN N., 1972 : Etude hydrologique de la vallée de Badaguichiri. Résultats de la campagne 1971. Rapport terminal, ORSTOM.
- JATON J.F. et CHAABOUNI Z., 1984 : Etude du système hydrologique "Meskat" d'utilisation des eaux de ruissellement du Sahel Nord de Sousse (Tunisie). Rapport de synthèse, EPF Lausanne, I.G.R.
- KALMAN R., 1976 : Etude expérimentale de l'érosion par griffes. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2). Vol. XVIII, fasc. 5, p. 395-406, Paris, 1976.
- KALOGA B., PEREIRA-BARRETO S. et KHOUMA M., 1985 : L'inventaire et l'évaluation des ressources en sols comme éléments de base dans toute stratégie de développement agricole et de lutte contre la désertification in Bull. Rech. Agron. Gembloux (1985), 20, (3/4), p. 429-436.

- KILIAN J., 1984 : La détection de l'érosion à l'échelle du paysage. Commu. réunion technique 55° SIMA, jeudi 8 mars 1984.
- KOECHLIN J., 1962 : Les problèmes pastoraux en zone sahé-lienne. Programme d'étude des pâturages en République du Niger.
- KOHLER J.M., 1971 : Activités agricoles et changements sociaux dans l'Ouest-Mossi (Haute-Volta). Mémoires ORSTOM, Paris.
- KOWAL J., 1972 : Effect of an exceptional storm on soil conservation at samaru Nigeria in Samaru Research Bulletin 141, Institute for Agricultural Research, Samaru Admadu Bello University PMB 1044, Zavia, Nigéria.
- LAL R., 1975 : Soil management systems and erosion control. IITA, Ibadan, 7 P. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les Tropiques humides). IITA, Ibadan, juin-juillet 1975.
- LAL R., 1975 : Role of mulching technics in tropical soil and water management. Technical Bull. N° 1, IITA, Ibadan, 38 p.
- LAL R., 1976 : Soil erosion problems on an alfisol in western Nigeria and their control. I.T.T.A. Monograph n° 1, Ibadan, 126 p.
- LAL R., 1977 : Erosivity in tropical countries. FAO/UNEP. Consultation on methodology for assessing soil degradation. Rome, 18-20, janvier 1977, 12 p.
- LAL R., LAWSON T.L., ANASTASE A.H., 1980 : Erosivity of tropical rains in Assessment of erosion, 1980, Edited by M. de Boodt, D. Gabriels, John Wiley and Sons.

- LAL R., 1985 : Soil erosion and its relation to productivity in Tropical soils in soil erosion and conservation. Edited by S.A. El Swaify. W.C. Moldenhauer and Andrew Lo.
- LAL R., 1987 : Tropical ecology and physical Edaphology. John Wiley and Sons.
- LEPRUN J.C. : Etude comparée des facteurs et des effets de l'érosion dans le NE du Brésil et en Afrique de l'Ouest.
- MAIGNIEN R., 1958 : Le cuirassement des sols en Guinée. Thèse de Sciences, Strasbourg.
- MAINGUET M., CANON L., CHEMIN M.C., 1970 : Dégradation dans les régions centrales de la République du Niger, degré de responsabilité de la nature du milieu, de la dynamique externe et de la mise en valeur par l'homme. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, N° 39, 40 p., 61-63.
- MAINGUET M., 1972 : Le modelé des grés T I et II. 7 cartes hors texte, I.G.N., Paris.
- MAINGUET M., 1977 : Analyse quantitative de l'extrémité sahélienne de courant éolien transporteur du sable au Sahara nigérien. C.R. Acad. Sc., série D, 285 : 1029-1032.
- MAINGUET M., CANON L., CHAPELLE A.M., CHEMIN M.C., 1974 : Compte-rendu de la seconde mission de reconnaissance morphodynamique de l'unité expérimentale de Serkin Hausa. ACC. Lutte contre les effets de l'aridité, "Localisation d'une unité écologique expérimentale dans la région de Maradi (Niger)". D.G.R.S.T. GERDAT, 300 p. + 3 cartes hors texte.

- MARCHAL J.Y., 1986 : Vingt ans de lutte antiérosive au nord du Burkina Faso. Cahiers ORSTOM, série pédol., vol. XXII, n° 2, 1986.
- MARTINELLI B., SERPANTIE G., 1986 : La confrontation paysans-aménageurs au Yatenga. Analyses d'un agronome et d'un ethnologue. Burkina-Faso. III° Séminaire du 16 au 19 décembre 1986. Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Aménagements visant le contrôle et la valorisation des eaux de surface.
- MIETTON M., 1980 : Recherches géomorphologiques au Sud de la Haute-Volta. La dynamique actuelle dans la région de Po-Tiélébé. Thèse de 3° cycle, Grenoble I, U.E.R. de Géographie, 275 p.
- MIETTON M., 1986 : Ruissellement et érosion sur petits bassins-versants au Burkina-Faso (résultats préliminaires). Z. Geom. N.F. Suppl. Bd. 60, 187-204, Berlin-Stuttgart, sept. 1986.
- MIETTON M., 1986 : Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. Cahiers ORSTOM, Sér. Pédologie, vol. XXII, n° 2, 1986.
- MIETTON M., 1988 : Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère au Burkina Faso. Contribution géomorphologique à l'étude de l'érosion en zone tropicale de Savane. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Grenoble I, J. Fourier.
- MOEYERSONS J., 1975 : L'érosion pluviale sur les sols caillouteux du N.E. Nigéria in Géom. dyn. des rég. intertrop., p. 67-80, Presses Universitaires du Zaïre.

- MOLDENHAUER W.C., 1979 : Erosion control obtainable under conservation practices SSSA, 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin 53711, U.S.A. Universal Soil Loss Equation : Past, Present, and Future.
- MOLDENHAUER W.C., 1980 : Developing erosion research programs in areas where limited data are available in Assessment of erosion 1980. Edited by M. de Boodt, D. Gabriels, John Wiley and Sons.
- MONDE (Le) du mardi 10 juin 1986, p. 41.
- MOORE T.R., 1979 : Rainfall erosivity in east Africa. Geogr. Ann. 61 A (3-4) : 147-156.
- MOREL A., 1985 : Les hauts massifs de l'Air (Niger) et leurs piémonts. Etude géomorphologique. Thèse d'Etat, USMG Grenoble I, I.G.A., 404 p.
- NAHAL I., 1975 : Principes de conservation du sol. Masson, Paris, 144 p., 40 fig.
- NEBOIT R., 1983 : L'homme et l'érosion. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Clermont-Ferrand II. Nouvelle série, fascicule 17.
- OUSSEINI I., 1983 : Origine et évolution du matériel sableux dans le Liptako Oriental (Rép. du Niger). Muséum National d'Histoire Naturelle, Université de Paris VI, Mémoire de D.E.A.
- OUSSEINI I., 1986 : Etude de la répartition des formations sableuses et interprétations des dépôts éoliens dans le Liptako Oriental (Rép. du Niger). Thèse de 3^e cycle, Mém. Sci. de la terre. Univ. P. et M. Curie, Paris, 235 p.

- OUSSEINI I., 1988 : Morphostratigraphie et interprétation des dépôts éoliens entre Sirba et Dargol dans le Moyen Niger (Rép. du Niger) in Würzb. Geogr. Arb. 69, 211-231, Würzburg., 1988.
- OZENDA P., 1977 : Flore du Sahara.
Editions du C.N.R.S., Paris, 622 p.
- PARE J., 1984 : La lutte contre l'érosion. Commu. réunion technique 55° SIMA, jeudi 8 mars 1984.
- PEYRE DE FABREGUES B. et LEBRUN J.P., 1976 : Catalogue des plantes vasculaires du Niger. Maisons Alfort France IEMVT, Minéogr., 433 p.
- PEYRE DE FABREGUES B., 1985 : Conséquence de la sécheresse dans le domaine pastoral de la République du Niger in Bull. Rech. Agron. Gembloux (1985), 20 (3/4), 345-355.
- PIERI C., 1984 : L'érosion : conséquences sur le potentiel de production des terres. Techniques de contrôle et leur application. Comm. Réunion technique 55° SIMA, jeudi 8 mars 1984.
- PITOT A., 1953 : Feux sauvages, végétation et sols en AOF. IFAN, série A, tome XV, n° 4, oct. 1953.
- POUQUET J., 1956 : Le plateau du Labé (Guinée Française, A.O.F.). Remarques sur le caractère dramatique des phénomènes d'érosion des sols et sur les remèdes proposés. IFAN, série A, tome XVIII, n° 1, janvier 1956.
- POUQUET J., 1967 : L'érosion des sols. Que sais-je ?
- PUTOD R., 1956 : La protection des vignes contre l'érosion. Rev. Afr. du Nord 1992 : 567-576.

- QUEZEL P., MARTINEZ Cl., 1962 : Premiers résultats de l'analyse pollinique de sédiments recueillis au Sahara méridional à l'occasion de la mission Berliet-Tchad in Hugot H. (éd.). Missions Berliet Ténéré-Tchad, Documents scientifiques, p. 313-327.
- RAULIN H., 1963 : Techniques et bases socio-économiques des sociétés rurales nigériennes. Etudes nigériennes, IFAN.
- REIZER C., 1985 : Sahel-Désespérance. Sahel-Espérance in Bull. Rech. Agron. Gembloux (1985) 20 (3/4), 475-498.
- ROGNON P., 1975 : Paléoclimatologie et sécheresse actuelle (1969-1974) au Sahel, in Revues "géologues" n° 32, p. 55-69.
- ROOGERIE G., 1978 : Erosion du sol et couverts végétaux hérodote n° 12, p. 52-64.
- ROOSE E., 1967 : Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal in Agron. Trop. 22,2 : 51-92.
- ROOSE E. et BERTRAND R., 1971 : Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain, in Agron. Trop., vol. XXVI, n° 4, nov. 1971.
- ROOSE E., 1972 : Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Estratto da "Atti Delle Giornate Di Studio Della 1^a sezione CIGR". Firenze, 12-16 settembre 1972. Arti Grafiche "Il Torchio", Firenze.

- ROOSE E., 1974 : Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs in Société hydrotechnique de France. XIIIèmes journées de l'hydraulique, Paris, 1974.
- ROOSE E., LELONG F., 1975 : Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale. Etudes sur petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Laboratoire de Pédologie.
- ROOSE E., 1976 : Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio-économiques de l'Afrique de l'Ouest in Agron. Trop. XXXII-2, avril-juin 1977.
- ROOSE E., 1980 : Dynamique actuelle de quelques types de sols en Afrique de l'Ouest
1. Méthodes d'approche sur le terrain. Z. geomorph. N.F. Suppl. Bd. 35. 32-39, Berlin Stuttgart, August 1980.
- ROOSE E., 1980 : Dynamique actuelle de quelques types de sols en Afrique de l'Ouest
2. Comparaison de l'évolution actuelle du sol en deux stations, l'une sous une forêt dense subéquatoriale (Azaguié, basse Côte d'Ivoire), l'autre sous une savane soudano-sahélienne (Gouse, centre Haute-Volta). Z. geomorph. N.F. Suppl. Bd. 35. 32-39, Berlin Stuttgart, August 1980.
- ROOSE E., 1980 : Approach to the definition of rain erosivity and soil erodibility in west Africa, in Assessment of erosion 1980. Edited by M. de Boodt, D. Gabriels, John Wiley and Sons.
- ROOSE E., 1981 : Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées.

- ROOSE E., PIOT J., 1984 : Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau (Central Upper Volta). Challenges in African hydrology and Water Resources (Proceedings of the Harare Symposium, july 1984). IAHS Publ. n° 144.
- ROOSE E., 1985 : Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. Bull. Agron. Gembloux (1985) 20 (3/4).
- ROOSE E., 1986 : Problèmes posés par l'aménagement des terroirs en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale in Documents Systèmes Agraires N° 6. Actes du III° Séminaire, Montpellier, 16-19 déc. 1986, tome I.
- ROOSE E., 1986 : Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan Ouest-Africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne in Cahiers ORSTOM, série Pédol., vol. XXII, n° 2, 1986.
- ROOSE E., 1987 : Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique Occidentale : Stratégies anciennes et nouvelles. Comm. au Séminaire "Gestion des eaux, des sols et des plantes", (Niamey 11-16/1/1987).
- ROOSE E., 1988 : Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe et rigole. En accord avec le modèle empirique de prévision des pertes en terre (Usle de Wischmeier).
- ROOSE E., 1988 : Nouvelle stratégie de gestion conservatoire des eaux et des sols : GCES. Application en France et en Afrique Occidentale. Commu. Conférence intern. ISCOS : Bangkok 18-29/01/1988.

- ROOSE E., 1988 : Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols en milieu soudano-sahélien d'Afrique Occidentale. Influence du milieu physique et humain. ORSTOM.
- SAMRETH L., 1985 : Technique de lutte antiérosive des versants du plateau central du Burkina Faso. Cah. Rech. Dév. n° 6, 1985.
- SCHOENEICH P., BOUZOU I., 1988 : Glissements de terrain dans l'Adar (Niger). Würzb. Arb. 69, 149-165, Würzburg., 1988.
- SOGETAH, 1963 : Bassin versant de la Maggia (Rép. du Niger) Hydrologie Paris.
- SOGETAH, 1965 : Aménagement régional de l'AdarDoutchi Majiya (Rép. du Niger). Deuxième, troisième, cinquième parties. Grenoble, France.
- SOGETAH, 1966 : Aménagement hydro-agricole de la plaine de Birni N'Koniri (Rép. du Niger). Etude agro-pédologique. Grenoble, France.
- SOGETAH, 1970 : Etude agro-économique du périmètre d'Ibohamane (Adar-Doutchi-Majiya).
- SOGETAH : Vallée de Badaguichiri (Rép. du Niger). Etude de base. Grenoble, France.
- SOGREAH, 1975 : La conservation des eaux et des sols dans la Haute Vallée de Keita, par B. Heusch.
- TRICART J., 1953 : Erosion naturelle et érosion anthropogène à Madagascar. Rev. de Géom. Dyn., 4 (5).

- TRICART J., 1953 : Climat, végétation, sols et morphologie in volume jubilaire du Laboratoire de Géographie de Rennes.
- TRICART J., 1962 : L'épiderme de la terre. Collection Evolution des Sciences, n° 21, Masson, Paris.
- TRICART J., MICHEL P., 1965 : Morphogenèse pédogenèse. Rapports entre le modelé et la pédogenèse : exemples d'Afrique Occidentale. Science du sol, 1965, 2, p. 149-171.
- TRICART J., CAILLEUX A., 1970 : Le modelé des régions sèches. SEDES, Paris.
- TRICART J., 1971 : Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux. Option Méditerranée, p. 94-99.
- TRICART J., 1972 : La terre planète vivante. P.U.F. Paris, Coll. SUP., 183 p.
- TRICART J., 1973 : La géomorphologie dans les études intégrées d'aménagement du milieu naturel. Ann. de Géo. LXXXII, p. 421-453.
- TRICART J., 1976 : Écodynamique et aménagement. Rev. de Géom. Dyn., XXI, p. 19-32.
- TRICART J., 1978 : Géomorphologie applicable. Masson, 205 p.
- TWIDALE CR., 1986 : Sinkholes (Dolines) in Lateritised sediments, Western sturt plateau, Northern territory, Australia in Geom. 1 (1987) 33-52.
- VALENTIN C., 1985 : Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez, Rép. du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. ORSTOM, Coll. Etudes et thèses, Paris, 1985.

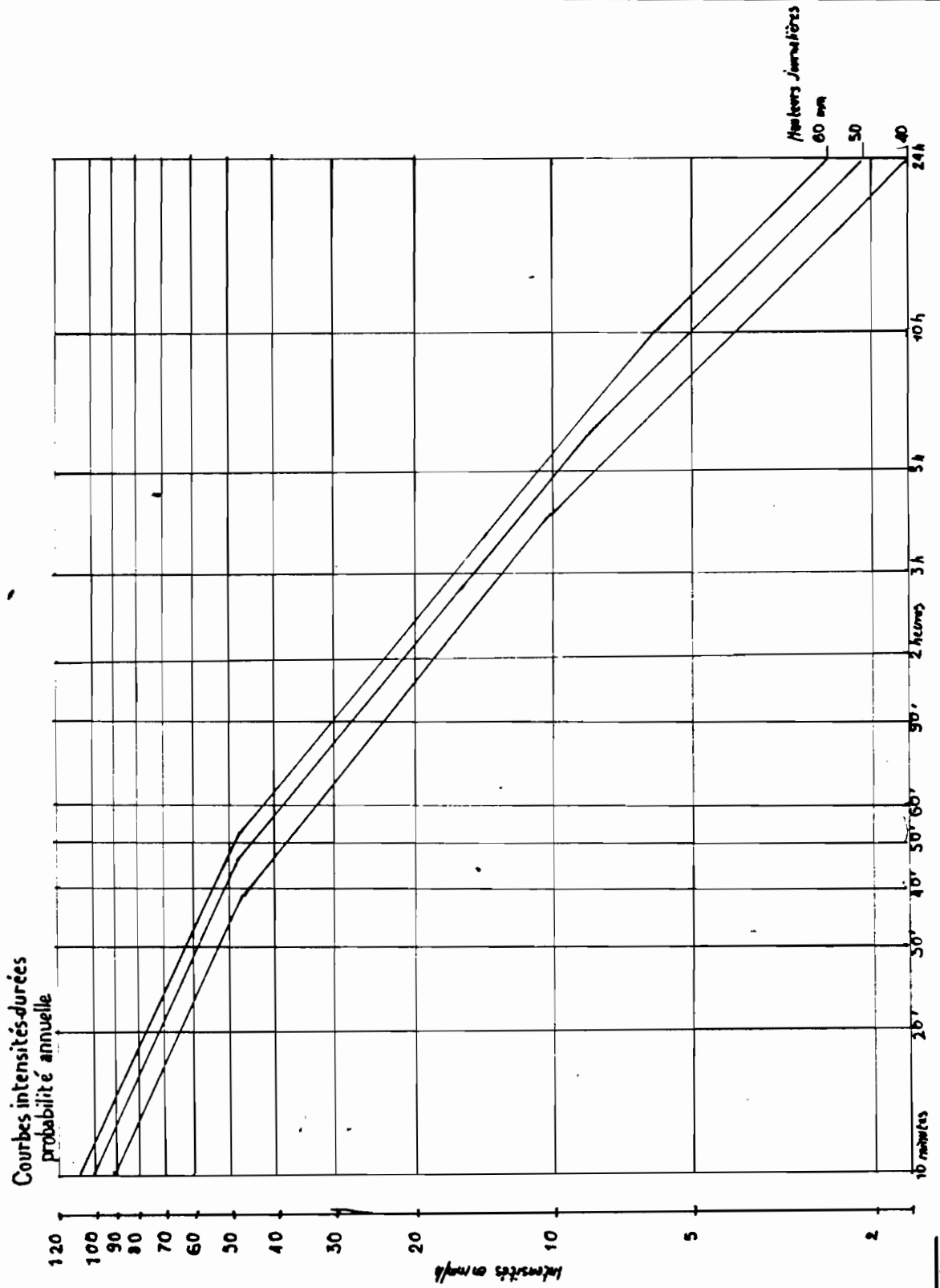
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1958 : Rainfall energy and its relation slup to Soil Loss, Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 39, p. 285-291.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1960 : an Universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning 7 th. intern. Congr. Soil Sci. Vol. 1 p. 418-425.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B., and CROSS B.U., 1971 :
A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation, 26,5, : 189-192.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., 1978 : Predicting rainfall erosion Losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N. 537.
- WILKINSON G.E., 1975 : Rainfall characteristics and soil erosion in the rain forest area of western Nigeria. Experimental Agriculture, 11, 4, pages 247-297 Univ. of Ifé, Nigeria.
- WOODBURN R., BORST H.L., 1942 : The effect of mulching and methods of cultivation on runoff and erosion grom Muskingum Silt Loam. Agricultural Engineering, 1942, janv., : 19-22.

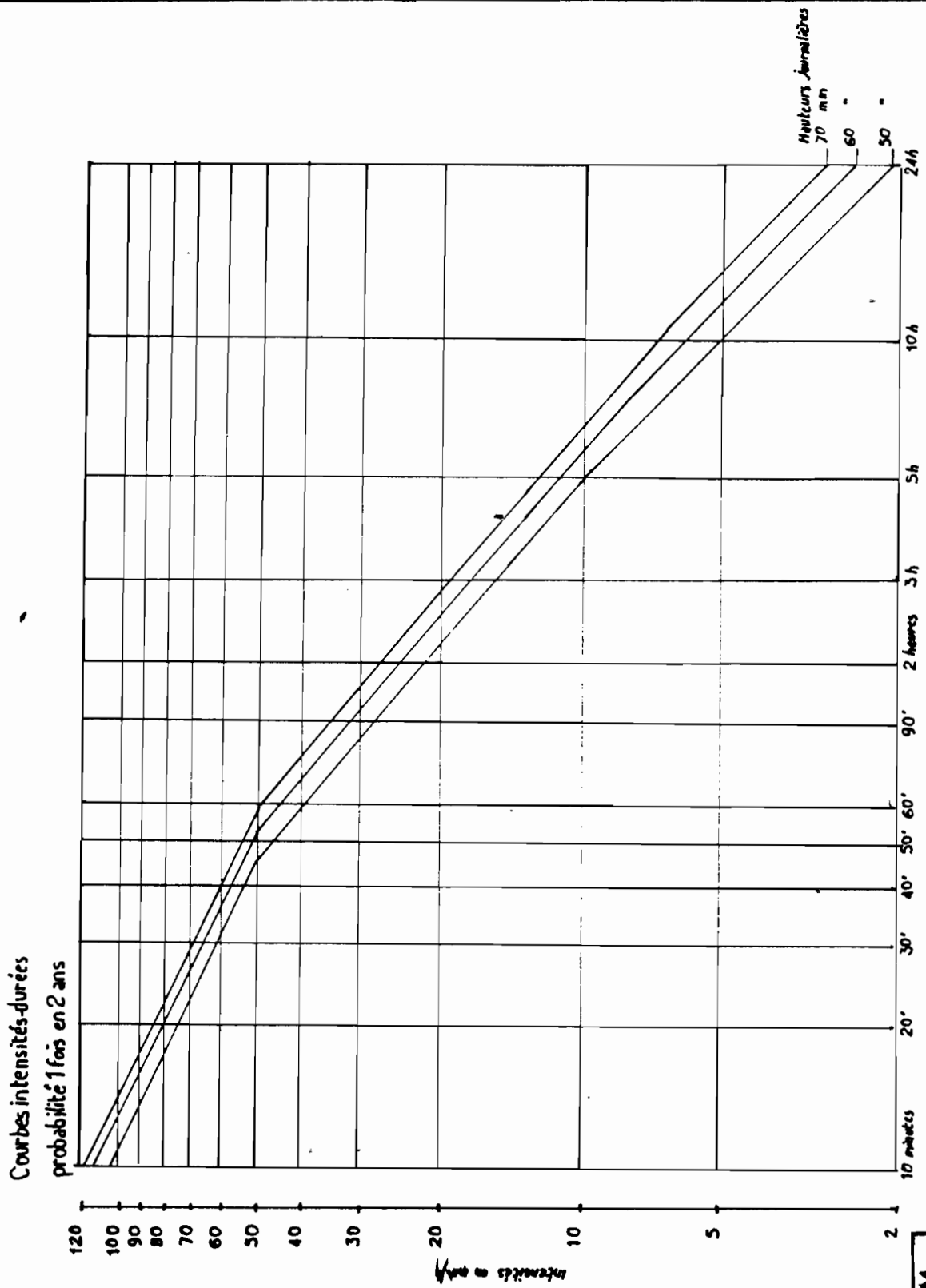
A N N E X E S

1 - Courbes - intensités - durées de fréquence connue pour le Niger (tirées de Brunet Moret, 1963).

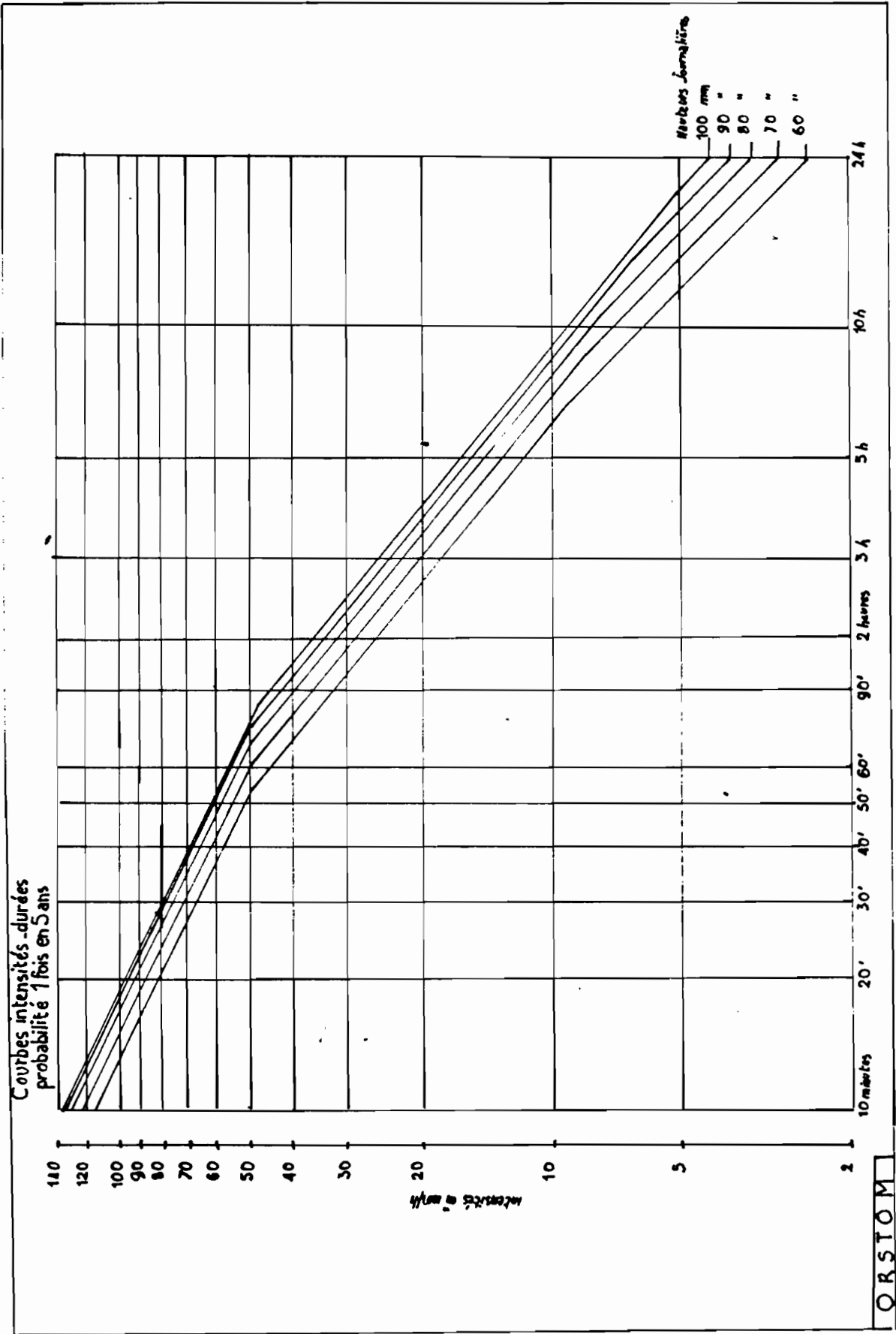
2 - Intensités moyennes (mm/h).

3 - Hyétogrammes et enregistrements pluviométriques des types d'averses ayant ruisselé.

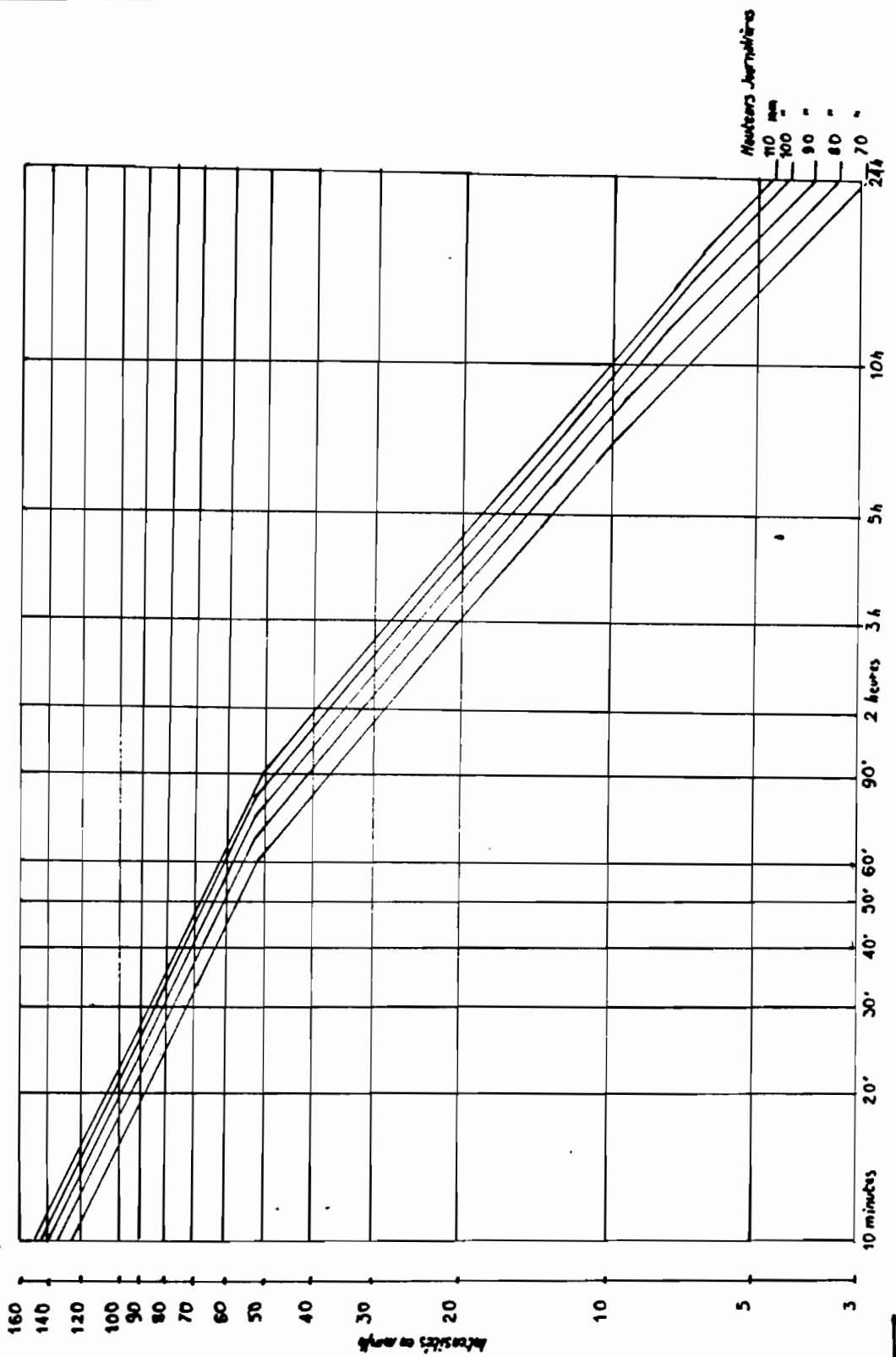




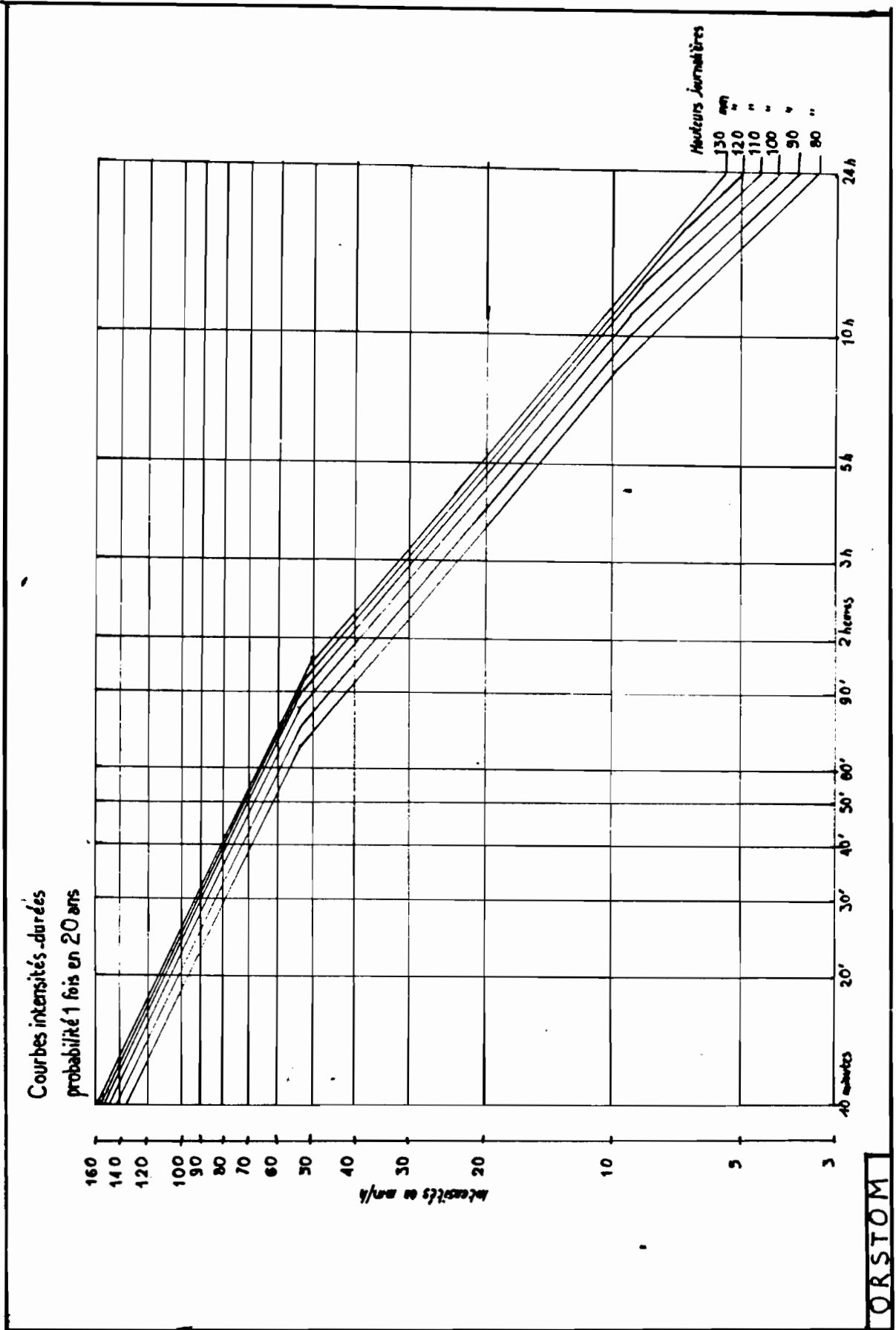
ORSTOM



Courbes intensités -durées
probabilité 1 fois en 10 ans



ORSTOM



Intensités moyennes, mm/h

Dates	Pmm (pluviographe)	Durée	Intensité moyenne mm/h
16.07.1984	1,5	1 h 10 mn	1,3
18.07.1984	5,9	15 mn	23,6
21.07.1984	1,9	15 mn	7,6
31.07.1984	2,8	2 h	1,4
1.08.1984	3	5 mn	36
5.08.1984	1,2	8 mn	9
12.08.1984	6,9	15 mn	27,6
14.08.1984	1,4	5 mn	16,8
17.08.1984	4	12 mn	20
7.09.1984	5	12 mn	25

Intensités moyennes, mm/h

Dates	Pmm (pluviographe)	Durée	I. moyenne mm/h
25.06.1985	3,2	12 mn	16
26.06.1985	26,4	48 mn	33
9.07.1985	4,6	20 mn	13,8
19.07.1985	14,5	28 mn	31
21.07.1985	12	1 h 10 mn	10,3
2.08.1985	2,1	5 mn	25,2
3.08.1985	0,9	-	-
5.08.1985	8,4	25 mn	20,2
7.08.1985	8,2	2 h	4,1
11.08.1985	14,5	3 h 10 mn	4,6
15.08.1985	0,9	5 mn	10,8
15.08.1985	22,2	4 h 39 mn	4,8
21.08.1985	4,2	20 mn	12,6
26.08.1985	4,1	1 h 30 mn	2,8
30.08.1985	37,3	43 mn	52
6.09.1985	10,6	2 h 55 mn	3,7
16.09.1985	9,2	2 h 35 mn	3,6
26.09.1985	11	25 mn	26,4

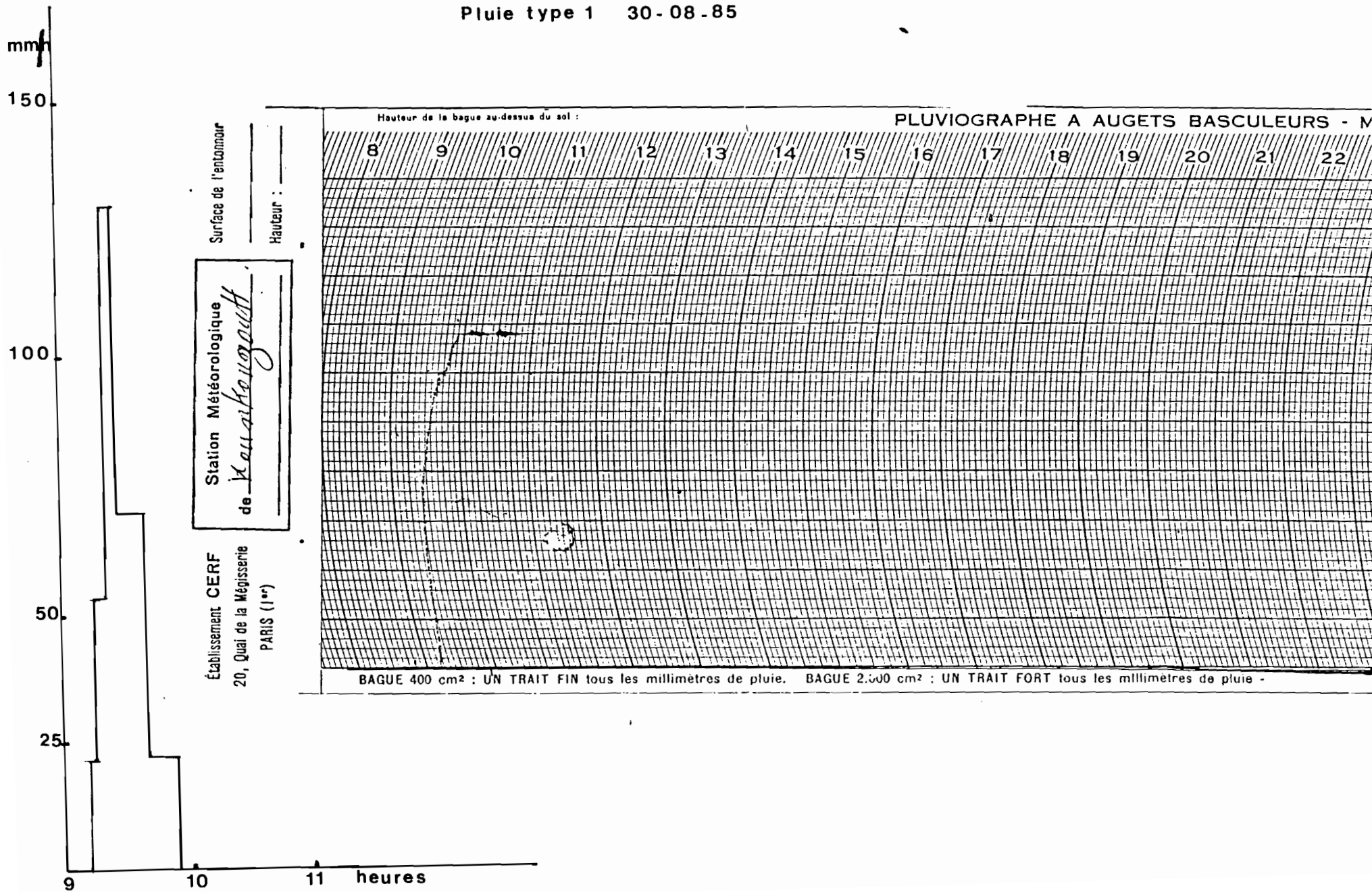
Intensités moyennes, mm/h

Dates	Pmm (Pluviographe)	Durée	I. moyenne mm/h
5.06.1986	26,5	1 h	26,5
7.06.1986	20,0	10 mn	12
13.06.1986	4,1	34 mn	7,3
15.06.1986	0,2	8 mn	1,5
18.06.1986	15,3	55 mn	16,7
24.06.1986	18,5	2 h 40 mn	7
27.06.1986	13,1	4 h 3 mn	3,3
2.07.1986	40,6	22 mn	110,8
6.07.1986	0,2	1 h 17 mn	0,15
7.07.1986	2	5 mn	24
13.07.1986	3,8	5 mn	45,6
14.07.1986	39,9	1 h 47 mn	22,4
16.07.1986	6,1	7mn 30s	48,8
19.07.1986	16,2	1 h 3 mn	15,5
23.07.1986	25,5	2 h 45 mn	5,9
26.07.1986	0,6	5 mn	7,2
27.07.1986	10,4	50 mn	12,5
1.08.1986	18,3	3 h 10 mn	5,8
4.08.1986	2,5	6 mn	25
5.08.1986	12,9	2 h 18 mn	5,6
6.08.1986	11,8	3 h 15 mn	3,6
11.08.1986	1,6	38 mn	2,6
15.08.1986	8,1	2 h 18 mn	3,8
18.08.1986	0,5	1 h 28 mn	0,4
18.08.1986	4,7	1 h 43 mn	2,8
21.08.1986	13,1	15 mn	52,4
22.08.1986	14,2	30 mn	28,4
31.08.1986	60,3	5 h 4mn 30s	11,9
4.09.1986	11,60	5 h 4 mn	2,3
5.09.1986	0,7	35 mn	1,2
9.09.1986	6,9	18 mn	23
11.09.1986	1,7	5 mn	20,4
13.09.1986	47,4	5 h 10 mn	9,2
? .08.1986	2	45 mn	2,7
26.10.1986	9,2	2 h 20 mn	4

Intensités moyennes, mm/h

Dates	Pmm (Pluviographe)	Durée	I. moyenne mm/h
31.05.1987	15	2 h 5 mn	7,2
8.06.1987	2,5	55 mn	2,8
28.06.1987	1,4	19 mn	4,4
14.07.1987	1	1 h 19 mn	0,75
16.07.1987	8,2	8 h 30 mn	0,9
26.07.1987	21	3 h 17 mn	6,4
31.07.1987	1,4	1 h 2 mn	1,4
2.08.1987	14,5	43 mn	20,3
3.08.1987	1,6	12 mn	8
9.08.1987	5,5	25 mn	13,2
13.08.1987	11,4	17 mn	40,3
14.08.1987	14,9	1 h 37 mn	9,3
19.08.1987	27,2	4 h 32 mn	6
22.08.1987	0,4	37 mn	0,7
25.08.1987	33,6	4 h 12 mn	8
26.08.1987	17,6	3 h 5 mn	5,7
30.08.1987	4,8	40 mn	7,2
1.09.1987	0,6	19 mn	1,9
3.09.1987	2,5	7 mn	21,5
6.09.1987	0,1	8 mn	0,75
9.09.1987	3,3	5 mn	39,6
14.09.1987	1	1 h 19 mn	0,75
18.09.1987	7,8	52 mn	9
20.09.1987	7,5	17 mn	26,5
21.09.1987	6,7	5 mn	80,4
22.09.1987	2,5	7 mn	21,5
4.10.1987	7,5	10 mn	45

Pluie type 1 30-08-85



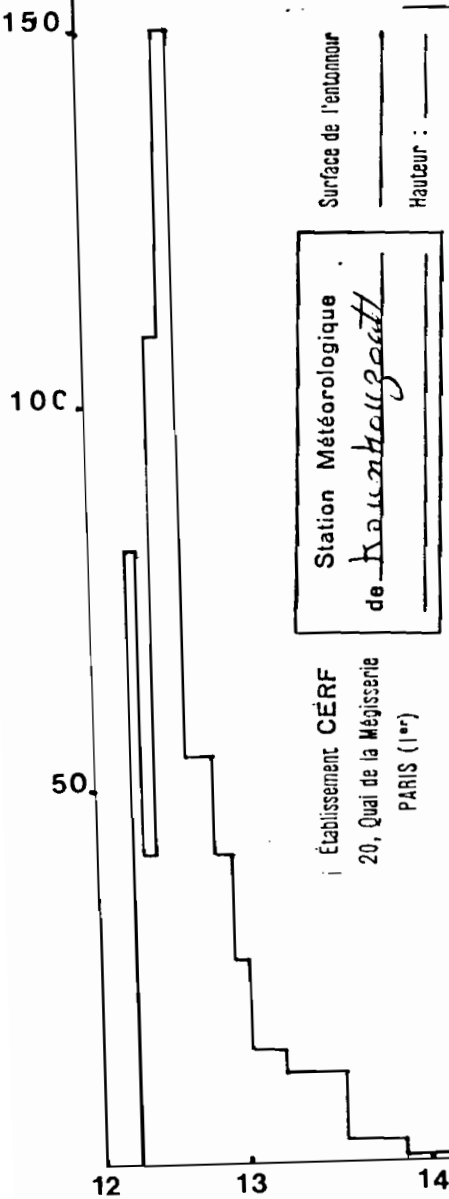
mm/h

Pluie type 2 31-08-86

PLUVIOGRAPHE A AUGETS BASCULEURS - MODÉ

Hauteur de la bague au-dessus du sol :

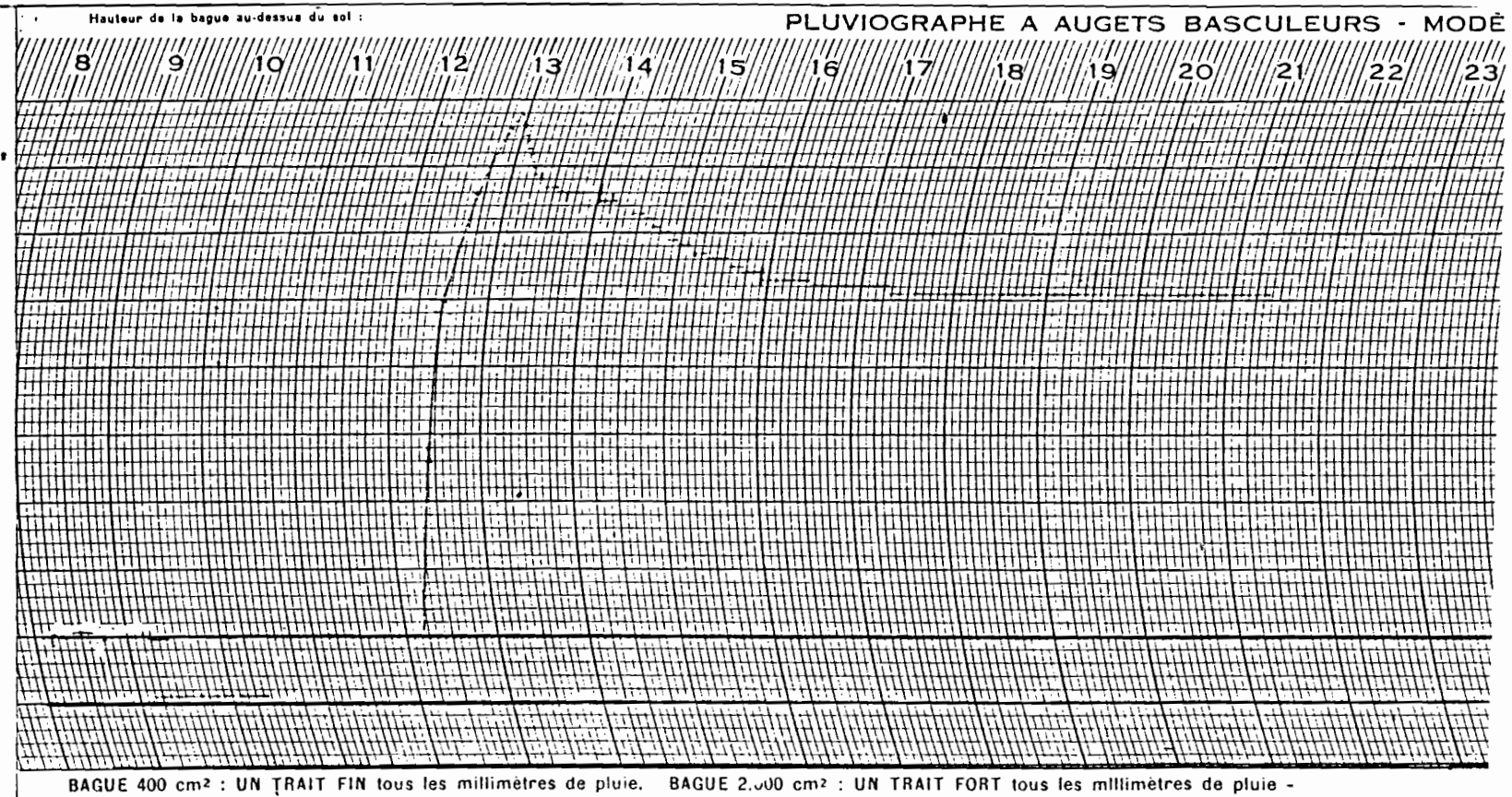
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23



Station Météorologique
de *Kanaberg*

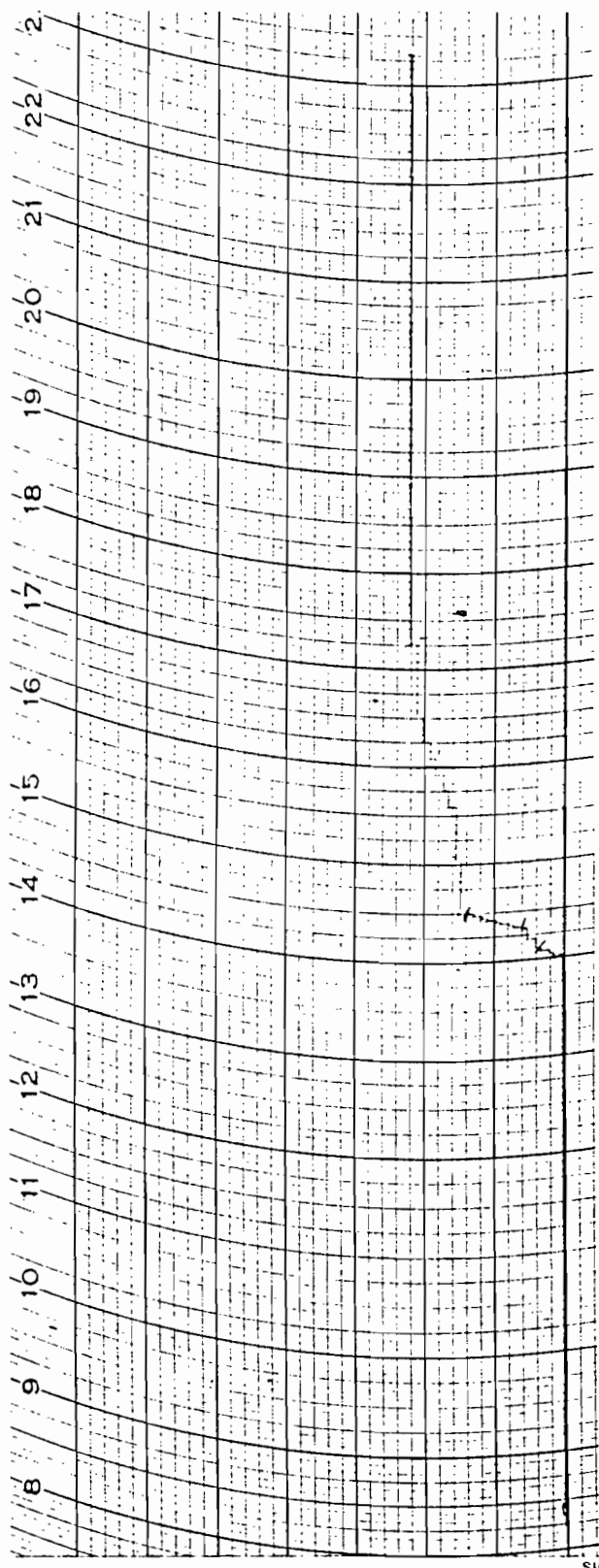
Établissement CÉRÉ
20, Quai de la Mégisserie
PARIS (1^{er})

Surface de l'entonnoir : _____
Hauteur : _____

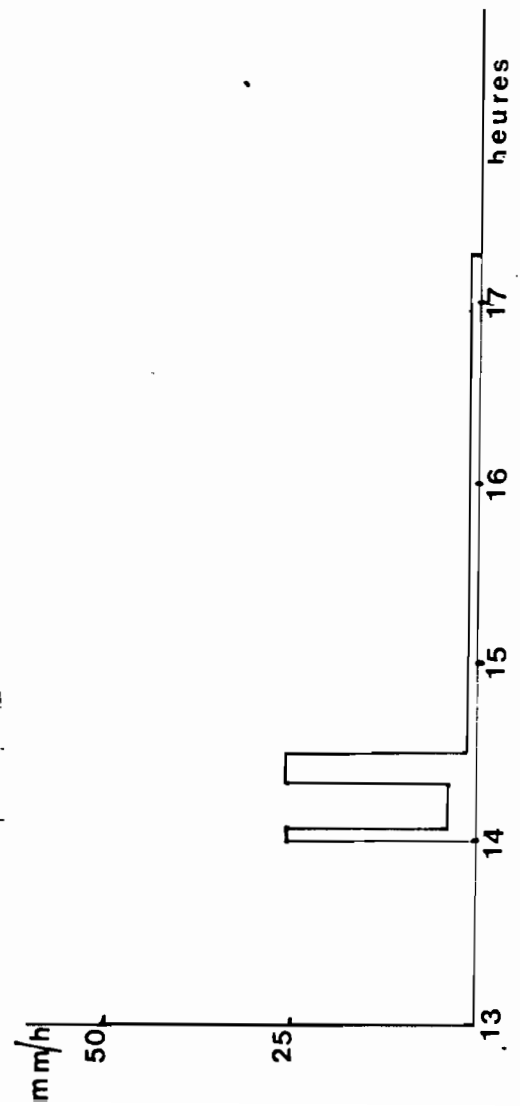


BAGUE 400 cm² : UN TRAIT FIN tous les millimètres de pluie. BAGUE 2.000 cm² : UN TRAIT FORT tous les millimètres de pluie -

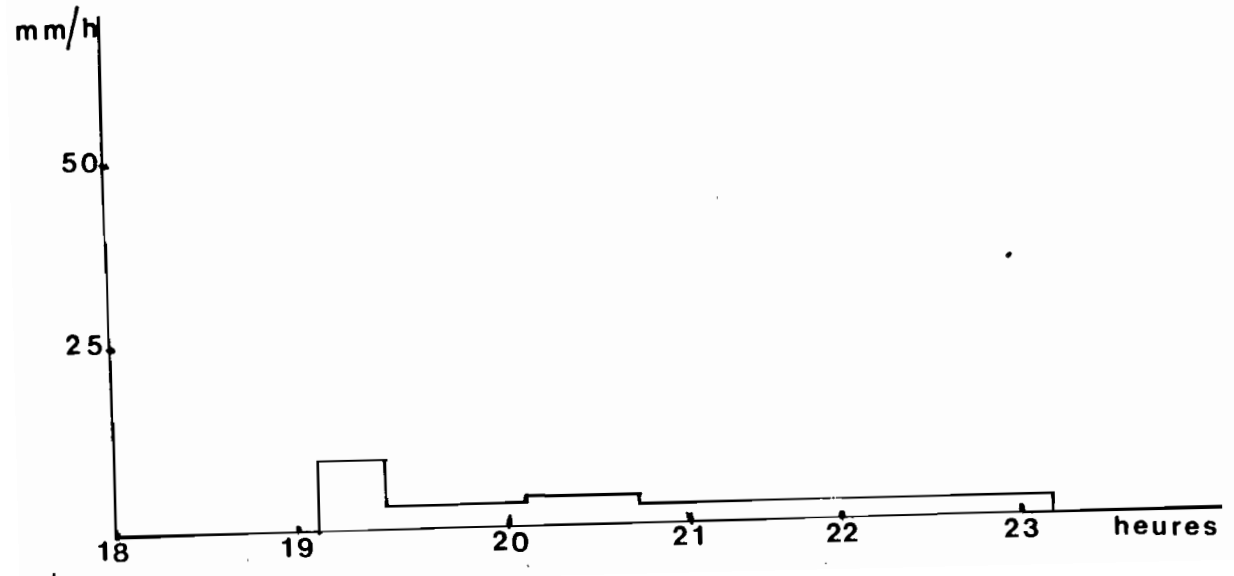
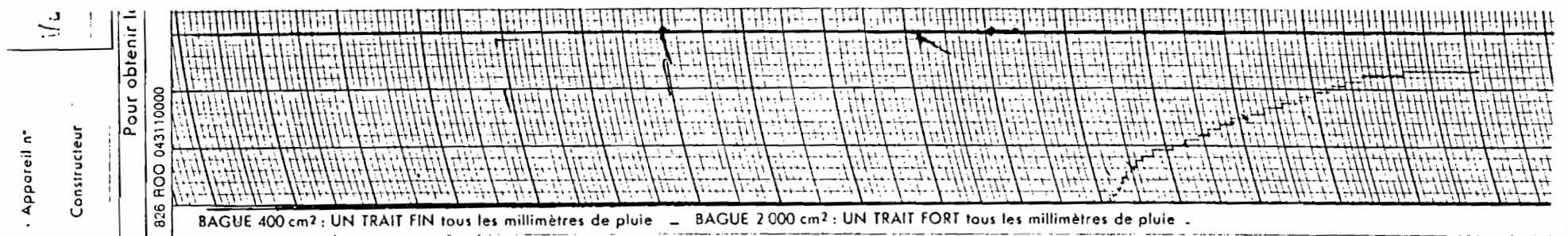
Pluie type 3 06-08-86



Station Météorologique
 de
 Hauteur :
 Surface de l'enlèvement



Pluie type 4 27-06-86



LISTE DES FIGURES

	Pages
<u>CHAPITRE I :</u>	
Fig. 1 : Localisation de l'Adar	8
Fig. 2 : Les vallées de l'Adar	14
Fig. 3 : Les transgressions marines post-paléozoïques dans le bassin des Iulliminden	16
Fig. 4 : Géologie du bassin des Iulliminden	18
Fig. 5 : Coupe lithostratigique	20
Fig. 6 : Coupes dans les glacis-terrasses	25
6.1. Les types cuirassés	25
6.2. Les types non cuirassés	27
Fig. 7 : Pseudo dolines ("Kadandamu") étagées à Tchigili	30
Fig. 8 : Profils schématiques des versants de l'Adar	32
8.1. Kounkouzout	32
8.2. Garadoumé	32
8.3. Guidan Gara	32
8.4. Ourihamiza	34
8.5. Gadamata	34
Fig. 9 : Modèle général des versants de l'Adar	38
Fig. 10 : Les sols de l'Afrique de l'Ouest	40
Fig. 11 : Toposéquence	42
<u>CHAPITRE II :</u>	
Fig. 12 : Position des masses d'air	49
Fig. 13 : Courbes des températures maximales et mini- males moyennes (1951-1983), Station de Tahoua	52
Fig. 14 : Courbe de l'évaporation moyenne mensuelle (évaporomètre Piche) (1951-1986), Station de Tahoua	52

	Pages
Fig. 15 : Variabilité annuelle des précipitations (1936-1986), Station de Tahoua	56
Fig. 16 : Moyennes quinquenales à Tahoua, 1938-1984	56
Fig. 17 : Courbes des précipitations. Kounkouzout 1984-1987	58
Fig. 18 : Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (Rusa de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du centre. Situation des parcelles d'érosion	73
Fig. 19 : Evolution de la végétation, 1956-1975	79
Fig. 20 : Origine des populations de l'Adar	83
Fig. 21 : Evolution des densités de population du département de Tahoua	89
Fig. 22 : Vallée de Keita : densités de population (1987)	91
 <u>CHAPITRE III</u> : Néant	
 <u>CHAPITRE IV</u> :	
Fig. 23 : Dispositif expérimental de Kounkouzout	115
Fig. 24 : Schéma de l'emplacement des parcelles	117
Fig. 25 : Les méthodes culturales	121
25.1. Les méthodes traditionnelles (P ₄)	121
25.2. Les méthodes traditionnelles améliorées (P ₃)	121
 <u>CHAPITRE V</u> :	
Fig. 26 : Dispositif de mesure	168
26.1. Application aux banquettes antiérosives	168
26.2. Application au ravinement en rigoles	168

	Pages
Fig. 27 : Types de dégâts affectant les banquettes	170
27.1. Ravinements latéraux à partir des grands ravins	170
27.2. Ravinements du fossé de garde	170
27.3. Mise en porte-à-faux des pierres sommitales	170
27.4. Affaissement d'une banquette par liquéfaction du sol, Foulatchi	171
Fig. 28 : Réseau de banquettes (Foulatchi, vallée de Kalfou)	171
Fig. 29 : Types de dégâts affectant les demi-lunes	174
29.1. Problèmes de raccord entre secteurs d'orientation différente	174
29.2. Débordements latéraux en cascades, Inadougoum	174
29.3. Liquéfaction de la levée de terre, Ourihamiza, secteur 1984	175
29.4. Brèches dues à des terriers rongeurs	175
Fig. 30 : Formation de renards, affouillement et destruction des ailes des seuils d'épandage (Foulatchi, vallée de Keita)	177

LISTE DES PLANCHES

	Pages
Planche 1 : Ouvala (Tchiguili - Vallée de Badaguichiri)	30
Planche 2 : Versant calcaire	36
Planche 3 : Lapiez démantelés	36
Planche 4 : Dune (vallée de Keita)	44
Planche 5 : Ruissellement sur le plateau (Kalfou)	99
Planche 6 : Formation de tunnels par suffosion et évolution vers le ravinement (Gadamata)	101
Planche 7 : Torrent de Gadamata	103
Planche 8 : Ravinements sur glacis et berges (Kounkouzout)	105
Planche 9 : Ravines sur dune labourée dans le sens de la pente (Guidan Gara - Vallée de Tamaské)	108
Planche 10 : Parcelle P_1	119
Planche 11 : Ruissellement sur P_1 et P_2	130
Planche 12 : Végétation sur P_2	152
Planche 13 : Végétation le long des cordons de pierres (P_3 - année 1985)	152
Planche 14 : Alignements de pierres sur le plateau (plateau de Laba)	164
Planche 15 : Alignements de pierres sur un glacis	164
Planche 16 : Reboisement (Euphorbes) sur dunes Tahoua	179

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
<u>CHAPITRE I</u> : Néant	
<u>CHAPITRE II</u> :	
Tableau 1 : Températures maximales et minimales moyennes, station de Tahoua, 1951-1983	53
Tableau 2 : Durée moyenne de l'insolation (en heures), station de Tahoua, 1963-1982	54
Tableau 3 : Vent moyen en m/s, station de Tahoua, 1951-1986	54
Tableau 4 : Evaporation moyenne mensuelle en mm (Piche), station de Tahoua, 1952-1982	55
Tableau 5 : Pluviométrie comparée (mm) Kounkouzout et Kalfou, 1984-1987.	59
Tableau 6 : Nombre de jours de pluies	60
Tableau 7 : Classes des hauteurs de pluies en mm	61
Tableau 8 : Durée des pluies	62
Tableau 9 : Pluies enregistrées de durée comme ayant ruisselé	63
Tableau 10 : Répartition des intensités maximales par classes	63
Tableau 11 : Impact des pluies <12,7 mm sur la jachère	68
Tableau 12 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I _{max}) P ₁	68
Tableau 13 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I _{max}) P ₂	69
Tableau 14 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I _{max}) P ₃	69
Tableau 15 : Coefficients de corrélations (ruissellement, érosion et I _{max}) P ₄	70

	Pages
Tableau 16 : Indices de Wischmeier et Hudson, 1984-1987	71
Tableau 17 : Indice d'Arnoldus, Station de Tahoua 1951-1982	72
Tableau 18 : Indice d'Arnoldus, Vallée de Keita 1984-1987	74
- Tableau 19 : Evolution de la population par arron- dissement	85
, Tableau 20 : Les superficies des différents arron- dissements cultivables et cultivés	87
Tableau 21 : Densités de population	88
Tableau 22 : Population et densités par canton	92
 <u>CHAPITRE III :</u>	
Tableau 23 : Comparaison des charges des eaux et du sol	98
 <u>CHAPITRE IV :</u>	
Tableau 24 : Evolution des ravines, Foulatchi, 1986-1987	127
Tableau 25 : Evolution des ravines, Kounkouzout, 1986-1987	128
Tableau 26 : Ruissellement et érosion, Kounkouzout	131
26.1. 1984	131
26.2. 1985	131
26.3. 1986	132
26.4. 1987	132
Tableau 27 : Coefficient moyen annuel de ruissel- lement	137

	Pages
Tableau 28 : Suspensions et charges de fond	141
28.1. 1984	141
28.2. 1985	141
28.3. 1986	142
28.4. 1987	143
Tableau 29 : Pourcentage des suspensions Pertes en terre totales	144
Tableau 30 : Comparaison sol parcelle - terres érodées	145
Tableau 31 : Evaluation des pertes en terre annuelles 1984-1987	146
Tableau 32 : Impact des petites pluies (pertes en terre en %) 1985-1987	147
Tableau 33 : Effets des pluies à intensités instantanées fortes (≥ 36 mm/h)	149
Tableau 34 : Effets des averses exceptionnelles sur la jachère	149
Tableau 35 : Evaluation des pertes en terre moyennes, Kounkouzout, 1984-1987	157
Tableau 36 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Kounkouzout (Niger) Vuillaume (1965-1967)	159
Tableau 37 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Allokoto (Niger) CTFT (1966-1971)	160
Tableau 38 : Résultats des mesures de ruissellement et d'érosion à Kounkouzout (Niger) I. Bouzou (1984-1987)	160

TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT-PROPOS	3
INTRODUCTION GENERALE	6
1. Définition de l'érosion, ses liens avec la désertification	6
2. Le choix de la région	9
3. Le choix de la méthode	11

PREMIERE PARTIE : LES FACTEURS DE L'EROSIONCHAPITRE I :

LES DONNEES DU RELIEF ET DE LA STRUCTURE

1. LA MISE EN PLACE DE L'ENSEMBLE	17
1.1. Sédimentation et tectonique	17
1.2. Le matériel rocheux	21
1.3. Les phénomènes quaternaires	22
1.3.1. L'apparition du réseau hydrographique	22
1.3.2. Formes et formations héritées	22
a. La cuirasse ferrugineuse	23
b. Les glacis et les terrasses	24
b.1. Les types cuirassés	26
b.1.1. Le type à faciès conglomératique. Niveau II	26
b.1.2. Le type à faciès conglomératique. Niveau III	28
b.2. Les types non cuirassés	28

	Pages
2. LES GRANDS ENSEMBLES MORPHODYNAMIQUES	29
2.1. La surface du plateau	29
2.2. Les versants et leur modelé	31
2.2.1. Les types de versants	33
2.2.2. Le modelé	37
a. Les replats structuraux	37
b. Les formes de dissection	39
2.3. Formes et formations actuelles	41
2.3.1. Les sols	41
2.3.2. Les formes topographiques liées à l'action du vent	45
3. CONCLUSION	47

CHAPITRE II :

LES FACTEURS BIOCLIMATIQUES

1. LES CONDITIONS CLIMATIQUES	50
1.1. La circulation atmosphérique	50
1.2. Les températures	51
1.3. Les vents	54
1.4. Les précipitations	55
1.4.1. La variabilité dans le temps et dans l'espace	57
a. La variabilité dans le temps	57
a.1. La variabilité annuelle	57
a.2. La variabilité mensuelle	57
b. La variabilité dans l'espace	59
1.4.2. Les épisodes pluvieux	60
1.4.3. Hauteur - Durée - Intensité	61
1.4.4. Les indices d'agressivité	65

	Pages
a. L'agressivité des pluies	66
a.1. Indice de Wischmeier	66
a.2. Indice de Hudson	67
a.3. Indice de Lal	67
b. L'agressivité climatique	72
2. LE COUVERT VEGETAL	74
2.1. Les caractéristiques : description, répartition	75
2.2. La dynamique	77
2.2.1. Evolution de la végétation Août 1986 - Mars 1987	77
2.2.2. Evolution de la végétation 1956-1975	78
2.3. Conclusion	81
3. L'ACTION DES ANIMAUX	82
3.1. Le double rôle des fouisseurs	82
3.2. L'action des animaux domestiques	82
4. LA PRESSION DEMOGRAPHIQUE	84
4.1. Evolution de la population	85
4.1.1. L'accroissement de la population	85
4.1.2. Les densités de population	87
4.2. Les méthodes culturelles	92
4.3. Conclusion	93
5. CONCLUSION	94
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	95

DEUXIEME PARTIE :ETUDE DE L'EROSION ET LUTTE ANTIEROSIVE DANS L'ADARCHAPITRE III :

LES PROCESSUS DE L'EROSION

1. LES PROCESSUS CHIMIQUES	97
2. LES PROCESSUS MECANIQUES	100
2.1. L'action des eaux courantes	100
2.1.1. La dynamique sur le plateau	100
2.1.2. La dynamique sur les versants	102
a. La dynamique sur les versants rocheux	102
b. La dynamique sur les glacis	106
b.1. Les causes climatiques	106
b.2. La modification de la topographie et de la structure du sol	106
b.3. Les caractéristiques des sols des glacis	107
2.1.3. La dynamique sur les dunes	109
2.1.4. La dynamique dans les bas-fonds	109
2.2. L'action du vent	111
3. CONCLUSION	112

CHAPITRE IV

ETUDE QUANTITATIVE DE L'EROSION HYDRIQUE

1. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL	116
1.1. Les parcelles expérimentales de ruissellement et d'érosion en nappe	116

	Pages
1.1.1. Le choix de l'emplacement	118
1.1.2. Les parcelles : description et fonctionnement	118
1.1.3. Les modes de travail du sol	120
1.1.4. Les manipulations	123
1.2. Les ravines	124
1.3. Critiques	124
2. LES RESULTATS DE L'ETUDE QUANTITATIVE	126
2.1. L'évolution des ravines	126
2.1.1. Foulatchi	126
2.1.2. Kounkouzout (Vallée Nord-Est du village)	127
2.2. Le ruissellement	133
2.2.1. Année 1984	133
2.2.2. Année 1985	134
2.2.3. Année 1986	135
2.2.4. Année 1987	136
2.2.5. Conclusion	136
2.3. L'érosion	138
2.3.1. Les résultats	138
a. Année 1984	138
b. Année 1985	138
c. Année 1986	139
d. Année 1987	140
2.3.2. Analyse des eaux et de leurs charges	140
a. Suspensions et charges de fond	140
b. Analyse granulométrique des charges de fond	145
2.3.3. Conclusion	146
2.4. Les interprétations des résultats	147
2.4.1. La pluie : hauteur - intensité - agressivité	147
2.4.2. L'état du sol	150
2.4.3. La pente	151
2.4.4. Le couvert végétal	153
2.4.5. Les traitements	154

	Pages
3. CONCLUSION	156
3.1. Le ruissellement	156
3.2. L'érosion	156
3.3. Comparaison de nos résultats avec ceux obtenus ailleurs	158
3.3.1. Calcul des dégradations spécifiques	159
3.3.2. Observations sur parcelles	159

CHAPITRE V :

LUTTE ANTIEROSIVE DANS L'ADAR

1. METHODES ET RESULTATS DE LA LUTTE ANTIEROSIVE	165
1.1. Les méthodes traditionnelles	165
1.2. Les traitements antiérosifs modernes	166
1.2.1. Les banquettes de culture	167
1.2.2. Les murets de pierres	173
1.2.3. Les demi-lunes	176
1.2.4. La protection des berges des koris	178
1.2.5. La stabilisation des dunes	180
2. LES PROPOSITIONS : POUR UNE POLITIQUE D'AMENAGEMENT DES TERROIRS DE L'ADAR	181
2.1. Les sites déjà traités	182
2.2. Les sites non aménagés	184
2.2.1. Lutte contre l'érosion hydrique	185
2.2.2. Lutte contre l'érosion éolienne	188
2.2.3. Les pâturages	188
2.2.4. La mise en défens	189
3. CONCLUSION	189
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	191

	Pages
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	192
1. RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS	192
1.1. La méthode	192
1.2. Les facteurs de l'érosion	192
1.3. Le ruissellement	193
1.4. L'érosion	193
2. LES ENSEIGNEMENTS	194
 BIBLIOGRAPHIE	 197
 ANNEXES	 221
 LISTE DES FIGURES	 235
 LISTE DES PLANCHES	 238
 LISTE DES TABLEAUX	 239
 TABLE DES MATIERES	 242