Geo-Eco-Trop, 1982, 6 (4) 249-298

ETUDE ECODYNAMIQUE DE LA REGION DE MARADI (NIGER). UN EXEMPLE D'APPLICATION A LA LUTTE CONTRE LA SECHERESSE.

Ecodynamical study of the Maradi area (Niger).
An example of application to the struggle against drought.

J.P. BLANCK*

ABSTRACT

The ecodynamic study of the "Experimental Ecological Unit" (E.E.U.) of the Maradi region, carried out as part of a program focusing on the problem of aridity in tropical environments, was based on a system approach. The method used is explained through the description of the different steps of the study and by showing the successive integration degrees of the data. The dynamics of the E.E.U. environments are governed by four factors : the climate and particulary by the irregularity and strength of the rains; the settling conditions of the materials; their morphogenic and pedogenic evolution marked by the alternation of arid climates and climates more humid than the present day; the land use marked by a considerable increase of the millet cultivation.

The third part of this article covers the different ecodynamic units, classed according to their degree of sensitivity. In most cases these were subdivided into sub-units in order to emphasize both their common features and the factors responsible for the degradation of the environment. The following were defined for each unit : geomorphological environment, pedogenesis, hydric behaviour, soil use, vegetation, existing dynamics and the degree of sensibility.

RESUME

L'étude écodynamique de l'Unité Ecologique Expérimentale (U.E.E.) de la région de Maradi, effectuée dans le cadre d'un programme de lutte contre l'aridité en milieu tropical, a été menée selon une approche systémique. La méthode utilisée est exposée en décrivant les différentes étapes de l'étude et en montrant les degrés d'intégration successive des données. La dynamique des milieux de l'U.E.E. est commandée par quatre facteurs : le climat, en particulier l'irrégularité et l'intensité des pluies; les conditions de mise en place des matériaux; leur évolution morphogénétique et pédogénétique, marquée par l'alternance de périodes de climat aride et de climat plus humide que l'actuel; l'occupation du sol avec l'extension considérable de la culture du mil.

* Centre de Géographie Appliquée, Université Louis-Pasteur, 3, rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex.

La troisième partie de cet article est consacrée à la présentation des différentes unités écodynamiques, classées en fonction de leur degré de sensibilité. Celles-ci ont été, pour la plupart, subdivisées en sous-unités afin de faire ressortir leurs caractères communs d'une part, et les facteurs responsables de la dégradation du milieu d'autre part. Pour chaque unité ont été précisés : le milieu géomorphologique, la pédogénèse, le comportement hydrique, l'occupation du sol, la végétation, la dynamique actuelle, le degré de sensibilité.

Depuis la sécheresse des années 1968-1973 au Sahel, dont le souvenir est encore présent dans toutes les mémoires, ces régions et d'autres ont à nouveau connu ces mêmes vicissitudes. Ce fut le cas en 1980 et en 1983 où la sécheresse a fait d'autres victimes.

Ce phénomène est un véritable fléau pour toutes les régions situées dans les zones arides ou semi-arides qui couvrent le tiers de la surface des continents.

L'analyse des données climatiques et hydrologiques - à partir des mesures effectuées dans les quelques stations en fonctionnement depuis le début du siècle - montre que la sécheresse sahélienne est un phénomène récurrent, d'une périodicité d'environ 30 ans. D'après SIRCOULON, celle-ci serait de 50 ans pour une période de sécheresse comparable à celle de 1968-1973.

Le problème est là. Les périodes de sécheresse font partie intégrante du climat sahélien. Il est donc nécessaire d'en tenir compte dans toute politique d'aménagement qui doit viser à éviter des effets aussi catastrophiques que ceux dont ont souffert récemment tous les pays du Sahel.

Ces objectifs ne pourront être atteints qu'en s'appuyant sur une bonne connaissance des milieux sahéliens. L'*Ecodynamique*, menée selon une approche systémique, peut contribuer efficacement à y parvenir.

L'étude de la région de Maradi (Niger)[1], conduite dans cette optique, nous fournit un exemple à partir duquel nous examinerons l'aspect

---

(1) Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'Action Complémentaire Coordonnée "Lutte contre l'aridité en milieu tropical" de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.). Dans cette action de caractère pluridisciplinaire ont été associés les organismes suivants : Centre de Géographie Appliquée (C.G.A.) de Strasbourg, le Groupement d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale (G.E.R.D.A.T.), le Laboratoire de Géographie Physique de l'Université de Reims et l'Université de Bordeaux II. L'étude a été réalisée en trois temps : en janvier 1976, la reconnaissance d'un quadrilatère de 100.000 hectares entre Mayabi et Tchadwa. En novembre 1976, une mission a été consacrée à l'étude de la dynamique hydrique et en mars-avril 1977 a été effectuée l'étude détaillée du secteur choisi comme "Unité Ecologique Expérimentale" (U.E.E.) d'une surface de 4500 hectares située à environ 80 km au NE de Maradi et englobant les terroirs des trois villages de Serkin-Haoussa, Guidan-Ango et Azazala (13°50' lat. N, 7°37' long. E). Ont participé à cette étude CLOOTS-HIRSCH, GOBERT & MINAUD.

méthodologique, puis les facteurs déterminants de la dynamique des milieux de cette région. Enfin, les unités écodynamiques ainsi définies et délimitées seront présentées en fonction de leur degré de sensibilité.

METHODOLOGIE

L'objet de l'écodynamique, tel que l'a défini TRICART (1976), est d'étudier "la dynamique de notre habitat telle qu'elle est, donc en y incluant toutes les modifications qu'elle a pu subir directement ou indirectement du fait de l'homme".

Il s'agit donc de déterminer et d'étudier les composantes des différents milieux, considérés comme des systèmes, de dégager les interactions entre elles d'une part et avec d'autres forces (processus morphogéniques, actions de l'homme) d'autre part. Ceci permet de connaître la dynamique de chaque milieu et donc d'en déduire son degré de sensibilité vis-à-vis de la modification de l'une ou de plusieurs composantes.

L'étude de l'Unité Ecologique Expérimentale (U.E.E.) de la région de Maradi se situe au niveau de l'étude détaillée. Elle met donc l'accent sur les phénomènes locaux, tout en prenant soin de les replacer dans leur contexte régional.

1. Documentation de base

Un jeu de photographies aériennes panchromatiques noir et blanc, à l'échelle du 1/10.000e, constituait le principal document de base. Ces photographies ont été prises en décembre 1976 (début de la saison sèche), soit quelques mois avant les levés de terrain. Nous avons ainsi disposé d'un document précis et récent sur le réseau de pistes et de chemins et sur l'occupation du sol.

Une mission plus ancienne (novembre 1957) de photographies aériennes panchromatiques noir et blanc également, mais à l'échelle du 1/50.000e, nous a fourni un état de la situation de la région avant la sécheresse. La comparaison avec la situation actuelle a permis de mettre en évidence l'évolution du milieu dans un laps de temps qui, en prospective, correspond au moyen terme.

2. Travaux sur le terrain

Les travaux sur le terrain à l'intérieur de l'Unité Ecologique Expérimentale (U.E.E.) ont été effectués en deux étapes :

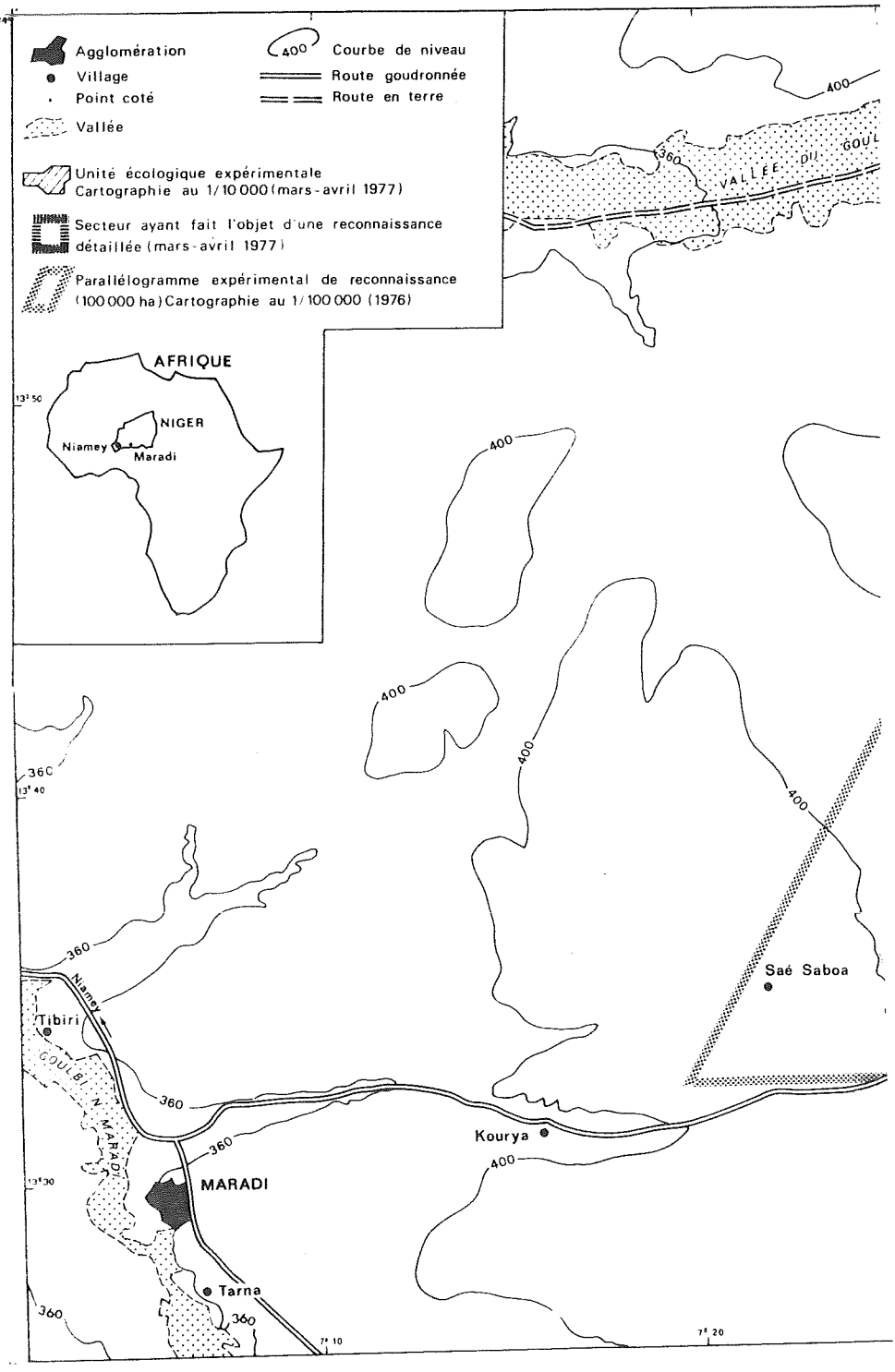
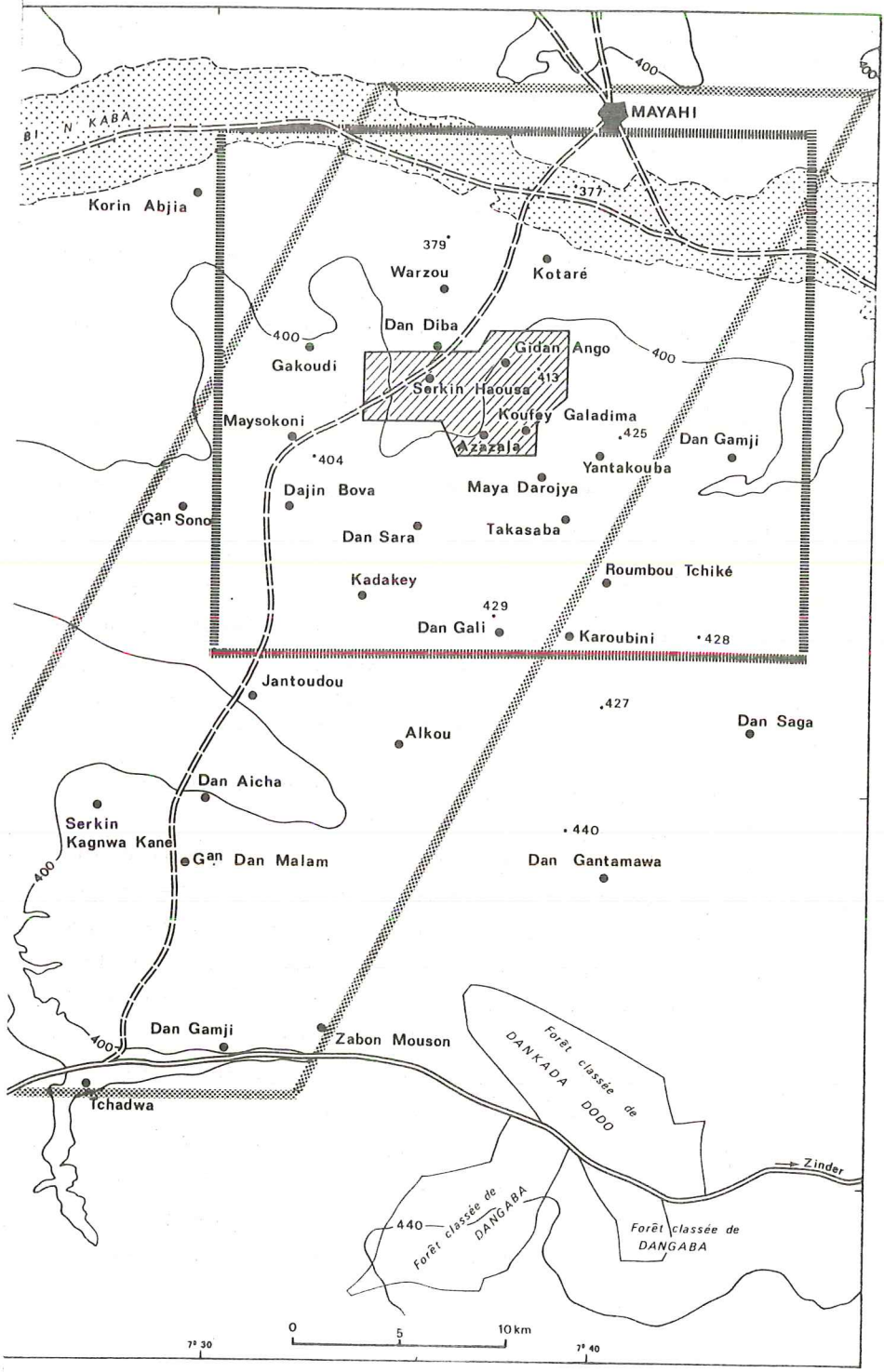


Fig. 1 : Localisation



des secteurs étudiés.

- Une première mission s'est déroulée à la fin de la saison de pluies (novembre 1976) avec pour objectif l'étude de l'action des eaux de surface d'une part, la mesure de la teneur en eau des sols (lato sensu) dans les 50 cm supérieurs d'autre part,
- Une deuxième mission, plus longue (mars-avril 1977), a été consacrée à l'étude écodynamique proprement dite.

Les travaux de terrain ont été menés selon une approche systémique. Notre démarche a donc consisté, selon un cheminement dialectique, à analyser les différentes composantes du milieu, à étudier les interactions entre les différents facteurs et à examiner chaque milieu dans son ensemble, dans sa globalité, y compris les rapports avec les milieux voisins.

Dans cette optique, nous avons procédé en premier lieu à une reconnaissance détaillée du secteur environnant l'U.E.E. (environ 50.000 hectares) (Fig. 1). Cette reconnaissance nous a permis de mettre en place les grandes unités morphopédologiques, les différents dépôts quaternaires ainsi que les étapes principales de l'évolution géomorphologique de ce secteur dans lequel est incluse l'U.E.E. Elle nous a permis également de faire la part des caractères spécifiques à l'U.E.E. et de ceux qui ont un intérêt régional.

Puis, nous avons concentré nos travaux à l'intérieur du périmètre de l'U.E.E. Dans ce milieu dunaire, homogène tant du point de vue granulométrique que pétrographique, nous avons recherché les critères discriminants pour les formations superficielles et les sols. L'étude des sols étant effectuée par l'I.R.A.T.[1], nous nous sommes limités à prendre en considération les différents types de pédogénèse ainsi que les indices pédogénétiques significatifs pour l'évolution géomorphologique et pour l'écodynamique (consistance, bandes ferrugineuses, limites entre les horizons, revêtements d'argiles). Comme l'étude pédologique a précédé notre arrivée sur le terrain, nous avons pu bénéficier des fosses ouvertes à cet effet. Il est cependant regrettable que les études pédologiques et écodynamiques ne se soient pas déroulées simultanément, ce qui aurait permis d'acquérir une connaissance plus approfondie des interactions entre la pédogénèse et les processus morphogéniques. Nous avons donc mis l'accent sur la détermination des conditions de mise en place des matériaux et de leur évolution postérieure, ce qui nous a conduit à

(1) I.R.A.T. : Institut de Recherches en Agronomie Tropicale, regroupé au sein du GERDAT.

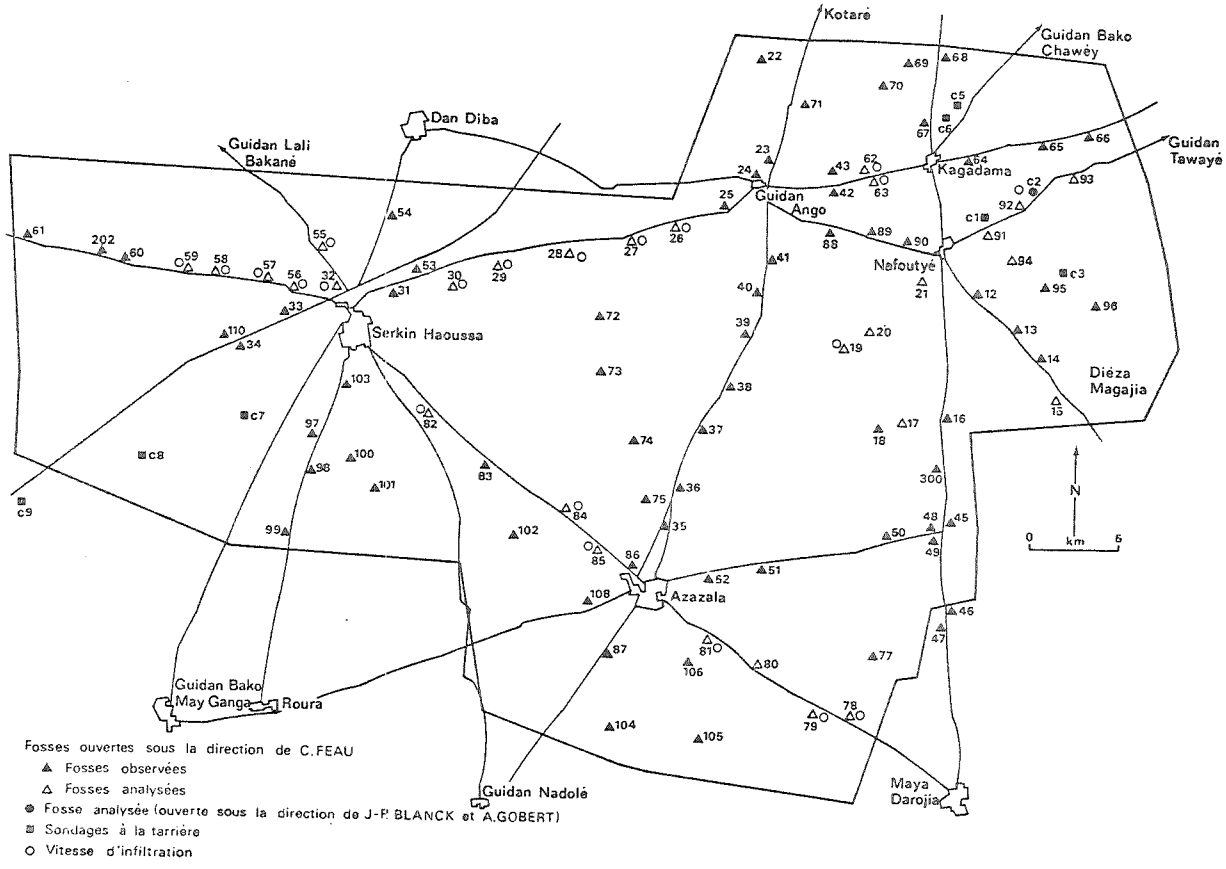


Fig. 2 : Localisation (des sites) de profil et de mesure.

distinguer plusieurs unités morphopédologiques, telles que les a définis KILIAN (1974).

La dynamique actuelle est commandée par l'action combinée des eaux de surface (objet de la première mission) et du vent. Nous nous sommes appuyés sur l'observation minutieuse des microformes pour la détermination des différents types de phénomènes et de leur intensité. Ces observations ont été effectuées systématiquement pour toutes les unités morphopédologiques représentées par une fosse. Elles ont été complétées par des observations comparatives - à l'intérieur d'une même unité - en relation avec l'occupation du sol (champs de mil et jachères). D'autre part, toute modification observée de la dynamique actuelle a été assortie d'une recherche - sur le terrain - de la (ou des) cause(s).

Nous avons également dû constater, au cours de cette mission, l'importance du durcissement de certains matériaux à la fin de la saison sèche. Ceci nous a amené à faire quelques mesures de la vitesse d'infiltration selon la méthode des cylindres de BURGER. Ces mesures ont été effectuées sur 22 sites représentatifs (Fig. 2), chacun étant situé à proximité d'une fosse analysée et échantillonnée. Sur chaque site la vitesse d'infiltration a été mesurée dans trois cylindres, disposés en triangle équilatéral d'environ 1 m de côté, suivant la méthode expérimentée par l'auteur dans les "Llanos centrales" du Vénézuéla.

Ainsi, après avoir examiné chaque composante - individuellement puis replacée dans le système - nous avons établi un diagnostic sur chaque milieu en tenant compte de toutes les informations disponibles, y compris les observations faites à la fin de la saison des pluies sur la dynamique hydrique, la répartition de l'humidité dans les sols, l'aspect de la végétation. Cette même démarche a été suivie pour toutes les observations qui ont été faites, aussi bien à partir des fosses pédologiques (100) que des sondages à la tarière (20).

La méthode des transects a également été utilisée de façon complémentaire afin de déterminer les facteurs responsables des modifications de la dynamique : topographie, contact entre deux unités morphopédologiques, occupation du sol, granulométrie, etc ...

Enfin, une représentation spatiale des milieux et des phénomènes était nécessaire. Pour ce faire, nous avons procédé, au cours de travaux sur le terrain, à une confrontation systématique des photographies aériennes avec le terrain afin d'établir des "clés" d'interprétation à

partir desquelles ont pu être tracées les limites des unités morphopédologiques et a pu être figurée l'extension des processus morphogéniques actuels. Nous avons procédé :

- par détermination de la teinte et de la texture de l'image de chaque élément du paysage[1] afin de pouvoir l'identifier. Il en a été de même pour les processus,
- par détermination des répercussions sur l'image, des modifications ou des variations de l'une ou l'autre composante d'un milieu donné,
- et, réciproquement, l'observation d'une variation de la teinte, par exemple, d'un milieu identifié a donné lieu à une confrontation avec le terrain afin d'en rechercher la (ou les) cause(s).

3. Elaboration de la carte écodynamique

La carte écodynamique "a pour objet de contribuer à définir un degré de sensibilité de notre habitat vis-à-vis des phénomènes spontanés comme vis-à-vis de nos interventions" (TRICART, 1976). Une fois établi le diagnostic du degré de sensibilité, basé sur la connaissance de la dynamique, il est nécessaire de délimiter la portion de territoire à laquelle il s'applique. La représentation spatiale de la dynamique des milieux requiert de recourir à une démarche plus analytique, constituée entre autres par l'établissement de cartes sur lesquelles seront représentées une ou plusieurs composantes - étroitement liées entre elles - de cette dynamique. Le but recherché est d'arriver soit à des regroupements d'unités, soit à subdiviser certaines unités afin d'aboutir à délimiter des aires équiproblématiques. Par exemple, dans la région de Maradi, l'erg ancien est constitué par différents types de dunes plus ou moins remaniées, associées à des cuvettes interdunaires dont certaines sont inondables, et à des glacis. La couverture sableuse est plus épaisse à l'Ouest qu'à l'Est de l'U.E.E., et l'évolution géomorphologique dans ces deux secteurs a été différente. La cartographie de ces faits géomorphologiques a abouti à subdiviser le système de l'erg ancien en plusieurs sous-systèmes, chacun étant constitué par l'association d'un certain nombre de formes et de processus, qui lui confèrent un caractère spécifique.

Les levés de terrain, complétés par une photointerprétation s'appuyant sur les clés d'interprétation, permettaient de réaliser une carte des unités morphopédologiques et une carte de la dynamique actuelle (à

(1) Utilisé dans le même sens que "Landschaft".

l'échelle du 1/10.000e). Ces cartes sont déjà le résultat d'une intégration à un certain niveau de plusieurs facteurs dont les interactions caractérisent un certain type de dynamique.

3.1. *Carte morphopédologique*

L'objectif de la carte morphopédologique, tel que l'a défini KILIAN, est de délimiter des étendues caractérisées par des rapports spécifiques entre la géomorphologie et les sols et appelés unités morphopédologiques. Celles-ci se caractérisent par des matériaux - ou une succession de matériaux - mis en place dans les mêmes conditions et ayant subi une évolution morphogénétique et pédogénétique identique.

Dans cette optique a été établie une maquette au 1/10.000e sur laquelle ont été figurées toutes les unités morphopédologiques de l'U.E.E. Celles-ci peuvent être regroupées en quatre grands ensembles :

a) L'*erg ancien* : constitué par des alignements dunaires orientés généralement E-O ou ENE-OSO, séparés par des dépressions interdunaires, jalonnées par des cuvettes peu profondes. Ce système dunaire est composé de plusieurs unités morphopédologiques :

- des dunes rouges en place avec sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés[1],
- des dunes rouges arasées les formes sont émoussées et les sols sont tronqués,
- des dunes rouges résiduelles, isolées, témoins de l'érosion de l'erg anciens. Les sols sont également tronqués et du type sol ferrugineux tropical appauvri, à pseudo-gley peu intense,
- des dunes rouges arasées remaniées en glacis, avec enrichissement en limons et argiles par le ruissellement. Les sols sont plus compacts et présentent des bandes ferrugineuses dans la partie supérieure du profil,
- des glacis de versant sur dunes rouges, constitués par des sables éoliens remaniés par le ruissellement, qui recouvrent l'horizon d'accumulation des argiles et des oxydes de fer,
- des cuvettes interdunaires dont certaines sont inondées temporairement pendant la saison des pluies. Les sols sont de type ferrugineux tropical hydromorphe, avec une accentuation des caractères hydromorphes dans les cuvettes inondables.

---

(1) D'après la classification de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S.), 1967.

b) *Les épandages sablo-argileux sur cailloutis du Quaternaire ancien* : ils remblaient de vastes dépressions fermées au milieu des dunes parsemées de cuvettes d'inondation saisonnière. Le matériel est constitué par des sables mal triés, mélangés à des limons et argiles (20 à 30 %); il repose sur des cailloutis siliceux. Les sols sont de type ferrugineux tropical hydromorphe à pseudogley, avec accumulation de fer qui se traduit par la phénomène de prise en masse et avec cuirasse ferrugineuse de type nodulaire au contact avec les cailloutis. Nous avons distingué :

- les dépressions à engorgement saisonnier par les eaux de ruissellement,
- les dépressions avec drainage où les eaux de ruissellement sont évacuées par des rigoles et des ravines,
- les glacis qui façonnent les versants des dunes rouges et ont remblayé les dépressions interdunaires. Cette unité se localise dans les secteurs où la couvertures sableuse est peu épaisse,
- les cuvettes inondables dans lesquelles s'étalent les glacis précédents.

c) *Les dunes orangées* : le modelé correspondant est constitué par une succession de dunes de forme et de taille variables, sans orientation prédominante, et séparées par des cuvettes parfois très étendues (photo 1 et 3). Les sols se caractérisent par un horizon orangé de légère accumulation des oxydes de fer. Ils peuvent être classés dans la catégorie des sols ferrugineux tropicaux appauvris avec parfois un pseudogley. Quatre unités morphopédologiques ont été différenciées :

- les dunes orangées sableuses avec des sols ferrugineux tropicaux peu caractéristiques ou appauvris,
- les dunes orangées sablo-limoneuses séparées par des cuvettes interdunaires dont la plupart sont inondées pendant la saison des pluies. Les sols de cette unité présentent des caractères hydromorphes plus ou moins intenses,
- les dunes orangées intergrades qui ont des caractéristiques intermédiaires entre les deux unités précédentes,
- les glacis de versants sur dunes orangées.

d) *La nappe d'épandage dans la vallée fossile* : cette nappe d'épandage a remblayé une ancienne vallée qui actuellement ne fonctionne plus et qui se discerne mal dans le modelé. Cependant, le matériel est très caractéristique; il est constitué par l'association de sables bien triés et de sables plus hétérométriques mélanges à des limons et argiles dont la proportion peut atteindre 11 %. Ces variations de la granulométrie

sont directement liées à la dynamique de mise en place de la nappe d'épandages, dynamique qui est le caractère spécifique déterminant de cette unité et qui a connu des variations aussi bien dans l'espace que dans le temps. Dans ce cas la granulométrie n'est pas un facteur discriminant, elle n'est que le reflet des fluctuations des écoulements qui sont à l'origine de cette accumulation.

Quant aux sols, ils sont homogènes et se caractérisent par une succession de bandes ferrugineuses, sinueuses, souvent entrecroisées, qui semblent souligner la disposition en lits et lentilles du matériel.

Pour ces raisons, la nappe d'épandages dans son ensemble a été considérée comme unité morphopédologique.

3.2. *Carte de la dynamique actuelle*

Cette carte est la représentation spatiale des différents types de dynamique actuelle. Celle-ci est commandée par l'action combinée du vent pendant la saison sèche particulièrement et du ruissellement pendant la saison des pluies. Les travaux sur le terrain nous ont conduit à retenir, pour chaque phénomène, cinq catégories en fonction de l'intensité du processus :

Ruissellement : ruissellement aréolaire (A)
ruissellement embryonnaire (B)
ruissellement diffus (C)
ruissellement concentré (D)
ruissellement organisé en écoulement avec ravinements incipents (E)

Actions éoliennes : nappage sableux mince (1)
façonnement en rides (2)
façonnement en "ripple-marks" (3)
édification de nebkhas (4)
accumulation d'une épaisse couche de sables vils (5)

Nous avons construit un tableau à double entrée où chaque type de ruissellement a été représenté par une lettre (A à E) et chaque type d'action éolienne par un chiffre (1 à 5). Ce tableau permet de faire apparaître les combinaisons d'intensité entre ces deux processus : la dynamique actuelle du type C3, par exemple, se caractérise par l'association du ruissellement diffus et de la formation de trains réguliers de ripple-marks.

Nous avons délimité des secteurs où régnait le même type de dynamique. Celle-ci a été caractérisée en tenant compte non seulement de l'intensité des processus mais également de leur extension, c'est-à-dire de leur "dominance". Un exemple : au sommet de dunes rouges en place, le vent a accumulé une épaisse couche de sables vifs, remis en marche par les vents efficaces (vitesse supérieure à 4 m/s) de la saison sèche et par les tornades du début de la saison des pluies. Sur ce matériel le ruissellement est quasiment inexistant. Sur les versants les actions éoliennes se manifestent par la formation de rides et de ripple-marks, leur intensité est moindre. Par contre, le ruissellement se développe et passe du type aréolaire en haut des versants, au type embryonnaire sur le reste du versant. L'intégration de ces différentes catégories d'intensité des processus, compte tenu de leur extension, aboutit à classer la dynamique actuelle des dunes en place dans le type B 5, caractérisé par l'association du ruissellement embryonnaire (B) et de l'accumulation de sables vifs (5).

Autre élément dont il a été tenu compte : l'importance relative de l'action du vent et du ruissellement. Cette appréciation est nécessaire pour l'établissement du diagnostic de la sensibilité des milieux. Il est en effet important de déterminer si tel ou tel milieu est plus sensible aux processus éoliens ou aux processus de ruissellement. Dans cette optique, nous avons classé l'importance relative des phénomènes dans quatre catégories :

- Prépondérant : lorsque le phénomène est généralisé et qu'il s'exerce sur toutes les surfaces de l'unité. Sur les dunes orangées sableuses, par exemple, le vent exerce une action prépondérante avec édification de nebkhas derrière les plants de mil ou les touffes de graminées, alors que l'on n'observe que quelques rares traces, très localisées de surcroît, de ruissellement aréolaire,
- Dominant : le vent et le ruissellement contribuent au façonnement du modelé actuel, mais l'action de l'un est plus importante, plus étendue, que l'autre. Si l'on considère une surface déterminée, les manifestations du processus dominant s'observent sur environ 75 % de la surface. Si l'on reprend l'exemple des dunes rouges en place, à mi-versant s'exercent à la fois le ruissellement embryonnaire et l'action du vent avec formation de rides, de ripple-marks et de quelques nebkhas. Les plages où s'observent les traces de ruissellement embryonnaire représentent environ 30 % de la surface à mi-versant et près de 40 % au

pied du versant. Il faut tenir compte également de ce qui se passe au sommet de la dune où l'action éolienne est prépondérante. Donc, si l'on considère l'ensemble de la dune, il est clair que la dynamique actuelle est dominée par l'action du vent, celle du ruissellement étant secondaire,

- Importance relative égale : la part des actions éoliennes et celle du ruissellement sont égales. Cette situation se rencontre particulièrement dans les milieux hétérogènes, constitués par l'association de différentes unités morphopédologiques (dunes résiduelles ou arasées, glacis, cuvettes) peu étendues, sur lesquelles s'exerce un type différent de processus,
- Secondaire : ce sont les processus dont les actions sont visibles mais dont l'importance dans la dynamique actuelle est secondaire. Cette notion est étroitement liée à celle de processus dominant.

Ce système a permis également de représenter l'association de deux intensités différentes d'un même processus. Ainsi sur les épandages sablo-argileux qui recouvrent les cailloutis du Quaternaire ancien l'action du ruissellement est prépondérante; cependant celle-ci revêt deux intensités différentes, d'une part sous la forme d'un ruissellement diffus généralisé, associé à un ruissellement concentré, avec incision de rigoles d'autre part.

Bien entendu, l'estimation de l'importance relative des processus a été effectuée en tenant compte des observations faites à la fin de la saison des pluies. Cependant, il s'agit bien d'une estimation car on est en présence de deux dynamiques (éolienne et hydrique) qui fonctionnent par relais et qui peuvent avoir des effets antagonistes. La formation d'une croûte pelliculaire argilo-limoneuse, sous l'action du ruissellement diffus peut - si elle n'est pas détruite par le piétinement - exercer une action protectrice vis-à-vis des processus éoliens.

3.3. *Carte écodynamique*

Cette carte, dessinée au 1/20.000e, a été établie en prenant comme base les deux cartes précédentes, c'est-à-dire d'une part en intégrant les unités morphopédologiques et la dynamique actuelle, d'autre part en tenant compte également d'un certains nombre d'autres facteurs tels que :

- le comportement hydrique, évalué à partir des profils de l'humidité dans les sols à la fin de la saison des pluies, des mesures de la

vitesse d'infiltration et des courbes pF = f (H)[1].

- la végétation : dans un secteur dominé par la culture du mil, la végétation nous a apporté des compléments d'information comme indicateur de ressources en eau (en relation avec le comportement hydrique), comme indicateur de dégradation, ainsi que comme facteur jouant un rôle important dans la dynamique actuelle (déflation autour des arbres, piégeages du sable dans les haies et les buissons).

La délimitation des unités écodynamiques, tout en s'appuyant sur la cartographie d'un certain nombre de composantes du milieu, à un certain niveau d'intégration, doit faire appel à toute l'information disponible, en particulier aux résultats des analyses de laboratoire[2], information dont on ne disposait pas au moment des levés de terrain. L'étude comparative de la dynamique actuelle dans un champ de mil et dans une jachère, situés sur la même unité morphopédologique, ont permis de mettre en évidence l'influence de la culture sur la dégradation des terres. Tous ces éléments rassemblés, confrontés, corrélés les uns avec les autres, ont permis d'affiner le diagnostic établi sur le terrain, de délimiter des unités caractérisées par un type de dynamique, d'établir une classification des unités écodynamiques en fonction de leur degré de sensibilité. Au niveau de la représentation graphique les milieux géomorphologiques, qui coïncident dans la plupart des cas aux unités morphopédologiques, sont représentés par des signes, et la dynamique actuelle par deux types de trame (l'une pour le ruissellement et l'autre pour les actions éoliennes). L'intensité des processus est figurée par des trames de densité différente : claires pour les faibles intensités et de plus en plus foncées pour les processus d'intensité croissante. Pour des raisons de technique cartographique, nous n'avons retenu que quatre classes d'intensité; celle de faible intensité (A pour le ruissellement, 1 pour les actions éoliennes) a été supprimée. L'importance relative des processus est indiquée par des bandes verticales de largeur différente.

---

(1) pF = potentiel matriciel; H = teneur en eau pondérale. La teneur en eau des sols en fonction du potentiel matriciel a été déterminée au laboratoire à l'aide de l'appareil d'extraction de l'humidité pour les pressions inférieures ou égales à 1000 g/cm^2 et de la presse à membrane de Richards pour les pressions supérieures. Ces mesures ont été effectuées à quatre pressions différentes (160, 320, 1000 et 16.000 g/cm^2) caractéristiques de l'état de l'eau dans le sol en relation avec l'alimentation des plantes.

(2) En plus des déterminations du potentiel matriciel, ont été effectuées des analyses granulométriques (135 échantillons), des analyses de la morphométrie des galets du Quaternaire ancien, des mesures de l'indice de stabilité structurale (Hénin), ainsi que la morphoscopie des sables sur quelques échantillons représentatifs.

Avant d'aborder la présentation des différentes unités écodynamiques, il est nécessaire d'étudier les facteurs qui jouent un rôle déterminant dans la dynamique de ces milieux. Ce qui permettra de mieux saisir leur sensibilité à toute modification - naturelle ou anthropique - de cette dynamique et de mettre en évidence les répercussions de la récente sécheresse sur l'équilibre (ou sur l'état stationnaire) de certains milieux.

FACTEURS DETERMINANTS DE LA DYNAMIQUE DES MILIEUX

1. Climat

L'U.E.E. se trouve dans la zone de climat sud-sahélien, caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche et d'une courte saison des pluies, par une forte variabilité des précipitations d'une année à l'autre, et d'un endroit à l'autre et par la récurrence de périodes de sécheresse.

Dans le périmètre de l'U.E.E., il n'y a pas de stations climatologiques. Les plus proches se trouvent à Mayahi (au Nord), Kanan Bakatche (à l'Est) et à Tessaoua (à l'ESE). Cependant les relevés ne sont pas assez nombreux et pas assez suivis pour la détermination du régime climatique. Celui-ci a été caractérisé à partir des données de la station météorologique de Maradi, située à environ 80 km à l'OSO de l'U.E.E.

L'année climatique se divise en deux saisons :

- une longue saison sèche : la courbe ombrothermique (Fig. 3) montre que, en moyenne, la saison sèche commence vers la mi-octobre et se termine vers la fin juin, soit une durée moyenne de huit mois et demi. Pendant cinq mois, de novembre à mars, la sécheresse est totale, accentuée encore par l'"Harmattan", vent du secteur NE, qui souffle sans discontinuité et dessèche l'air : l'humidité relative moyenne mensuelle est inférieure à 30 %, elle atteint son minimum au mois de mars (17 %). C'est aussi pendant la saison sèche que les contrastes de températures sont les plus marqués : décembre et janvier sont les mois les plus "froids" avec des températures minimales moyennes respectivement de 12,8° C et 12,7° C; avril est le mois le plus chaud avec des températures maximales moyennes supérieures à 40° C. Dans ces conditions l'évaporation est forte. La moyenne annuelle, pour la période 1961-1970, est de 2628 mm (2976 mm en 1975), dont 2031 de novembre à

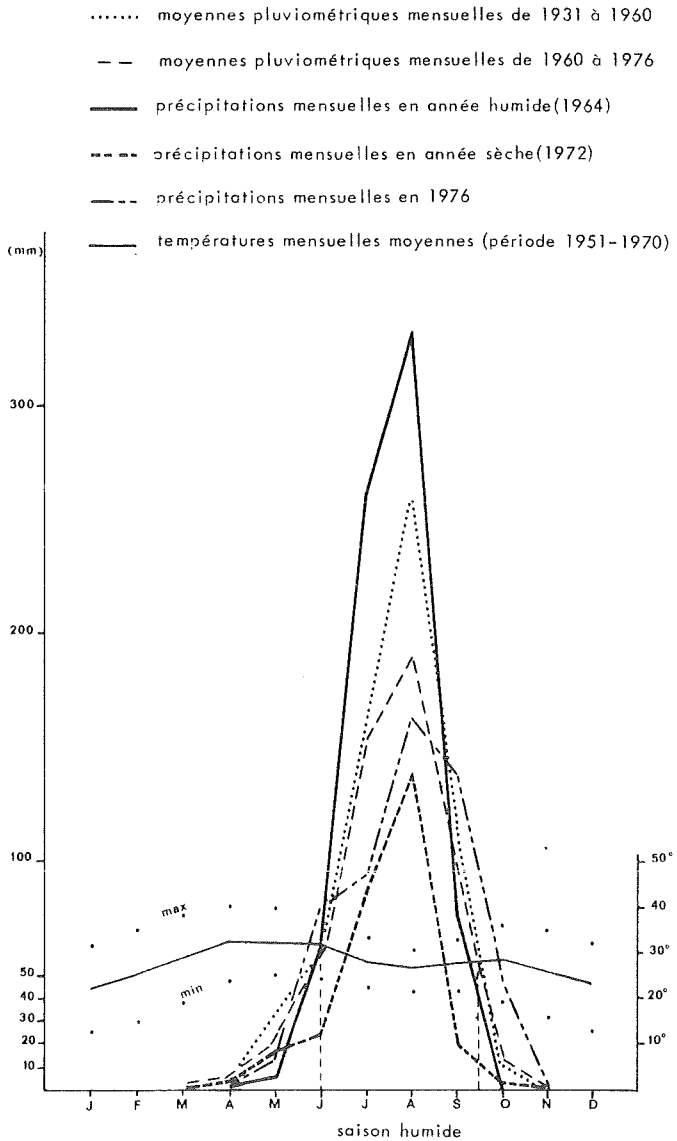


Fig. 3 : Régime mensuel des pluies et des températures à Maradi.

mai. Pendant ces sept mois, l'évaporation moyenne mensuelle est supérieure à 240 mm, avec un maximum en mars (377 mm). La saison sèche est aussi et surtout celle de l'harmattan, ce vent desséchant qui, du matin au soir, sans relâche, balaie tout le territoire du Niger. A Maradi, de novembre à mars, prédominent les vents du secteur NE, et ceux du secteur E en avril et en octobre (mois de transition). Les vents "efficaces"(1), capables de transporter des sables, se produisent quasiment durant toute la saison sèche. Cependant, c'est en novembre-décembre qu'ils sont les plus fréquents. Ces vents exercent une action morphogénétique importante, ils sont responsables des remises à vif des formes dunaires, des phénomènes de déflation et des diverses formes résultant de l'accumulation du sable. Les tornades du début de la saison des pluies, en avril et mai particulièrement, exercent également une action morphogénique importante mais plus localisée : les tourbillons arrachent les sables qu'ils emportent jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de hauteur. C'est donc pendant la saison sèche que la dynamique éolienne est la plus active.

- une courte saison humide : d'après la courbe ombrothermique, celle-ci ne dure que trois mois et demi (juillet à mi-octobre). La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 600 mm. Calculée sur 45 ans (1932 à 1976), la moyenne annuelle des précipitations est de 594 mm, répartis sur 47,4 jours. Généralement les précipitations commencent en mai et se terminent en octobre. Mais l'irrégularité du début de la saison des pluies est plus forte que celle de la fin (CHARRE, 1973). Ainsi le mois d'avril ne reçoit généralement que des traces de précipitations, mais certaines années celles-ci peuvent être supérieures à 30 mm. Il arrive également que le mois de mai ne reçoive que des traces de pluies. Par contre la saison des pluies se termine toujours au courant du mois d'octobre.

D'autre part, il n'y a pas de relation entre la durée de la saison des pluies et le total annuel des précipitations. Par exemple en 1966 et 1968 il a plu d'avril à octobre, les totaux annuels respectifs ont été de 631,7 mm et 362,2 mm.

Les pluies sont donc concentrées sur trois mois, juillet, août et septembre, avec plus de 80 % du total annuel et 35,6 jours pluvieux. L'humidité relative augmente rapidement à partir d'avril; elle atteint

---

(1) On appelle vents efficaces des vents qui soufflent à une vitesse supérieure à 4 m/s, capables d'arracher et de transporter des sables.

ses plus fortes valeurs en août-septembre : humidité maximale moyenne respectivement 95 et 94 %. Pendant ces deux mois l'évaporation est minimale (67 et 79 mm). L'action des eaux de ruissellement dépend davantage de la répartition des chutes de pluies et de leur intensité que du total des précipitations annuelles. Or les précipitations sont de courte durée avec des intensités qui dépassent fréquemment 10 mm/heure. Pendant la saison des pluies de 1976, nous avons relevé une pluie de 37 mm en 2 H 30, le 26 juillet; une de 24 mm en 2 H le 29 juin; 51 mm en 5 H le 14 septembre. De ce fait, le ruissellement exerce son action tout au long de la saison des pluies. Mais c'est au début de celle-ci que ce processus se produit le plus fréquemment. A cette époque de l'année les sols sont durcis par la longue saison sèche, les gouttes de pluie y pénètrent difficilement et la plus grande partie des eaux de pluies ruisselle, quelle que soit l'intensité des averses. L'impact des gouttes de pluie à la surface du sol détruit les agrégats et projette les particules les plus fines qui sont prises en charge par les filets d'eau qui se déplacent le long de la pente. Le ruissellement se développe même sur des pentes très faibles (1 à 2°). Il entraîne les particules argilo-limoneuses qu'il dépose quelques dizaines de centimètres plus loin. Celles-ci obstruent les pores de la surface du sol qu'elles imperméabilisent. Il se forme une croûte pelliculaire, argilo-limoneuse, qui durcit et s'imperméabilise entre les averses, et les eaux de la pluie suivante vont ruisseler sur la croûte ainsi mise en place. Par la suite cette croûte pelliculaire contribue à entretenir le processus de ruissellement pendant toute la saison des pluies et de ce fait diminue la quantité d'eau infiltrée et empêche une bonne humidification des sols.

L'existence d'une couverture de sables mobiles accumulée par le vent joue un rôle tampon au début de la saison des pluies. Les gouttes de pluie pénètrent facilement dans ce matériel sans cohésion et, lorsqu'elle est assez épaisse, la couverture de sables mobiles empêche le déclenchement du ruissellement et peut faciliter l'humidification du matériel sous-jacent, plus consistant.

Le climat de Maradi se caractérise par l'alternance de deux saisons, bien tranchées, qui sont responsables des mécanismes qui commandent la dynamique actuelle. Cependant les effets de la dynamique éolienne d'une part et du ruissellement d'autre part sont différents selon les milieux sur lesquels ils s'exercent. Or la plus ou moins grande sensibilité d'un milieu à l'action de l'une ou de l'autre dépend des conditions de mise

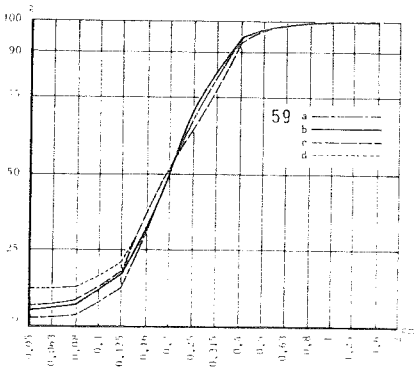
en place du matériau, de son évolution morphogénétique ou pédogénétique postérieure à sa mise en place, ainsi que des activités humaines qui s'y exercent.

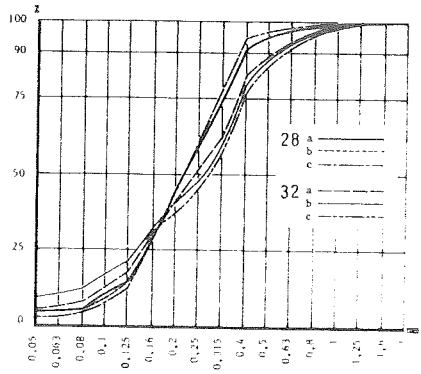
2. Conditions de mise en place

Les processus responsables de la mise en place des matériaux à l'intérieur de l'U.E.E. sont de trois types : éoliens, fluviatiles et colluviaux.

- Matériaux mis en place par le vent : ces matériaux constituent l'erg ancien et les dunes orangées sableuses. Ce sont deux générations de formes éoliennes, d'âge différent. L'erg ancien a été mis en place lors d'une période de climat aride qui, selon la chronologie actuellement admise au Sud du Sahara, correspond à l'Ogolien (20.000-12.000 B.P.). Au cours de cette période le vent a édifié des dunes longitudinales orientées dans le sens de l'alizé, selon une direction ENE-WSW ou E-W. Le matériel des dunes et des dépressions interdunaires est constitué par des sables fins et moyens (Médiane = 200 microns, 9ème décile = 380 microns). La courbe granulométrique (Fig. 4), fortement redressée entre 125 et 400 microns, indique un bon triage des sables de cette dimension. Ce matériel a conservé les caractéristiques granulométriques acquises lors de sa mise en place par le vent. Il constitue donc actuellement un matériel de prédilection pour la dynamique éolienne dès que sa cohésion, due à la pédogenèse (comme nous le verrons ci-dessous), est détruite.

Le matériel des dunes orangées sableuses présente les mêmes caractéristiques granulométriques, sables fins et moyens, bien triés, avec un pourcentage de sables grossiers un peu élevé (Fig. 5). Celles-ci sont dues d'une part au façonnement par le vent lors de la petite phase aride postérieure à l'Ogolien, d'autre part à l'origine du matériau, qui provient de l'érosion des dunes de l'erg ancien et a été accumulé sous forme d'une nappe d'épandages dans l'entaille de la vallée fossile de Serkin-Haoussa. C'est sur ce matériel que, lors de la petite phase aride, s'est exercée l'action du vent qui y a façonné des dunes plus petites, plus irrégulières que celles de l'erg ancien. Pour ces raisons le matériel des dunes orangées sableuses est également très sensible à l'action du vent car, par sa granulométrie et la forme des grains, il se prête à l'action de la déflation éolienne.





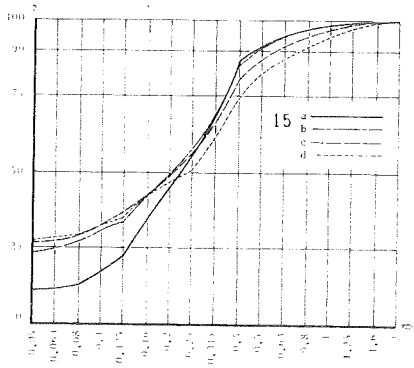


Fig. 4 : Analyse granulométrique.

59 : W de Serkin Haoussa, dune rouge ogolienne en place

59a : sables vifs (7 cm de profondeur)

59b : sables lessivés (30 cm de profondeur)

59c : horizon de transition (55 cm de profondeur)

59d : horizon d'accumulation (125 cm de profondeur)

Fig. 5 : Analyse granulométrique.

28 : Entre Serkin Haoussa et Guidan Ango, dune orangée sableuse

28a : sables brun-foncés (15 cm de profondeur)

28b : sables orangés (80 cm de profondeur)

28c : sables orangés entre les bandes ferrugineuses (145 cm de profondeur)

32 : Serkin Haoussa, nappe d'épandages fluviatiles

32a : sables bruns (20 cm de profondeur)

32b : sables limoneux orangés entre deux bandes ferrugineuses (78 cm de profondeur)

32c : sables limoneux orangés (115 cm de profondeur)

Fig. 6 : Analyse granulométrique.

15 : Dieza Magajia, glacis sur cailloutis du Quaternaire ancien dans dépression fermée

15a : sables éoliens remaniés par le ruissellement (15 cm de profondeur)

15b : matériel sablo-argileux (70 cm de profondeur)

15c : matériel sablo-argileux (120 cm de profondeur)

15d : matériel de remplissage entre les nodules de la cuirasse ferrugineuse (148 cm de profondeur)

- Matériaux mis en place par des processus fluviatiles : il s'agit essentiellement de la nappe d'épandages qui a remblayé une vallée fossile qui rejoint le Goulbi N'Kaba[1] au Nord. Ces épandages sont constitués par deux types de matériel :
  . des sables bien triés : médiane comprise entre 200 et 230 microns, 1er décile compris entre 80 et 100 microns, 9e décile compris entre 400 et 460 microns
    sables grossiers : 6 - 8 %
    granules : 0 %
    argiles + limons : 3 - 8 %
  Cependant le triage des sables est moins sélectif que pour les sables éoliens, avec en particulier une proportion plus élevée de sables grossiers.
  . des sables plus hétérométriques, moins bien triés (Fig. 5) : médiane comprise entre 240 et 290 microns, 1er décile compris entre 50 et 130 microns, 9e décile compris entre 490 et 640 microns
    sables grossiers : 9 - 17 %
    granules : 0 - 1 %
    argiles + limons : 2 - 11 %

L'association de ces deux types de matériel, que l'on trouve souvent dans une même profil vertical, est en liaison étroite avec la dynamique de mise en place de ces épandages. Celle-ci est commandée par l'action conjointe de deux processus :
- un écoulement liquide concentré, capable de transporter des sables, voire même des granules, et d'effectuer un triage des sables fins et moyens, ou tout au moins de conserver le triage du matériau d'origine,
- un écoulement en nappe dans les chenaux à faible débit et/ou le ruissellement. Les courbes granulométriques sont caractéristiques à la fois d'un matériel remanié (rupture dans le tracé de la courbe à la dimension de 400 microns) et d'un matériel transporté par des eaux chargées de particules en suspension et déposés sans sélection granulométriques.

- Matériaux mis en place par ruissellement et/ou colluvionnement : sont constitués par ce type de matériaux : les épandages sablo-argileux sur cailloutis du Quaternaire ancien, les glacis qui tronquent les dunes de l'erg ancien à couverture sableuse épaisse, ainsi que les glacis qui façonnent les versants des dunes sur cailloutis du Quater-

(1) Le Goulbi N'Kaba est un cours d'eau à écoulement épisodique, issu des massifs granitiques du Nord du Nigeria.

naire ancien. Ces matériaux sont plus hétérométriques. Ils sont caractérisés par :

- une fraction argilo-limoneuse plus abondante; les pourcentages varient de 20 à 30 % du sommet vers la base,
- un pourcentage plus élevé de sables grossiers (10 à 15 %),
- une plus grande abondance de granules, croissante également avec la profondeur (1 - 2 %),
- une courbe plus irrégulière, de pente plus faible, caractéristique d'un mauvais triage du matériel (Fig. 6).

Tous ces caractères indiquent que ces matériaux ont été mis en place par le ruissellement qui s'est développé sur les versants des dunes de l'erg ancien et qui a abouti - là où la couverture sableuse était moins épaisse - à déblayer les édifices dunaires. Le matériel provient également du remaniement des sables éoliens de l'erg ancien. Cette origine apparaît nettement sur les courbes granulométriques des glacis : la pente est plus redressée entre 125 et 400 microns et il y a une rupture dans le tracé de la courbe à la dimension de 400 microns. Par contre, l'origine éolienne a été complètement effacée dans la granulométrie des épandages sablo-argileux sur le Quaternaire ancien : les courbes peuvent être rattachées au type sigmoïde étiré, avec des irrégularités dans le tracé.

De par sa granulométrie composée par le mélange de particules de tailles différentes, ce matériel est compact, cohérent; les sables sont soudés entre eux par les limons et argiles. De ce fait, il est peu sensible aux actions éoliennes. Par contre, les eaux de pluie pénètrent difficilement dans ce matériel et ruissellent à sa surface.

Ainsi les processus qui sont responsables de la mise en place des matériaux ont marqué ceux-ci de leur empreinte. Celle-ci leur a donné leurs caractères spécifiques qui rendent ces matériaux plus sensibles à certains processus qu'à d'autres. Certains matériaux ont une double origine et en ont conservé les caractères. C'est le cas par exemple de la nappe d'épandages fluviatiles où actuellement le sous-écoulement - qui se prolonge durant la saison sèche - maintient une certaine humidité qui protège les matériaux des actions éoliennes. Mais que survienne une interruption de ce sous-écoulement, soit par suite d'une recrudescence de la sécheresse ou pour d'autres raisons, le matériel retrouverait sa sensibilité potentielle et serait soumis à la déflation éolienne.

3. Evolution morphogénétique et pédogénétique postérieure à la mise en place des matériaux

Comme toute la bordure Sud du Sahara, la région de Maradi a été soumise au cours du Quaternaire à une alternance de climats arides et humides. Les oscillations paléoclimatiques semblent avoir été particulièrement amples du fait de la continentalité de la région d'une part, de sa position en latitude d'autre part. L'évolution géomorphologique a donc été marquée par l'alternance de périodes de pédogénèse pendant les pluviaux, et de périodes d'intense activité morphogénétique dominée par les actions éoliennes pendant les périodes de climat aride, et par le ruissellement lors des périodes de transition de passage du climat aride à l'humide.

Compte tenu de nos travaux, il semble que cette région a connu trois périodes humides séparées par deux périodes arides.

a) *Quaternaire ancien* : La région a été recouverte par des nappes de cailloutis siliceux, constitués par des graviers et des petits galets émoussés et ferruginisés. Ce matériel a été vraisemblablement[1] transporté par des cours d'eau issus des massifs granitiques du Nord du Nigeria et déposé sous la forme d'épandages fluviatiles. Le dépôt a pu s'effectuer lors d'une période de climat humide, où les précipitations, probablement saisonnières, étaient suffisamment abondantes pour alimenter des écoulements capables de transporter des galets sur de longues distances.

b) *Ogolien* : pendant cette période de climat aride a été édifié l'erg ancien. Les écoulements fluviatiles se sont arrêtés et la région a été soumise à l'action du vent. Dans le secteur de l'U.E.E. cette période a joué un rôle capital car l'erg ancien a recouvert toute la région, fossilisant le modelé antérieur, et a imposé son modelé caractéristique de dunes longitudinales séparées par des dépressions interdunaires, duquel est dérivé le modelé actuel.

Le cuirassement des cailloutis siliceux a pu se produire au cours de cette période, par déshydratation des oxydes de fer accumulés dans ces épandages.

c) *Période de transition : passage du climat aride à l'humide* : au fur et à mesure que le climat est redevenu plus humide, les écoulements

(1) L'état des deux coupes où apparaissent ces dépôts ne nous a pas permis d'étudier la disposition du matériel.

ont repris, dans le Sud d'abord, puis ont été tenté de se frayer un passage à travers les dunes, en direction du Nord. L'entaille du Goulbi N'Kaba, au Nord de l'U.E.E., a créé un niveau de base vers lequel se sont dirigés les sous-écoulements, empruntant plus ou moins le tracé des anciens chenaux d'épandages du Quaternaire ancien. Ceci a abouti au creusement de la vallée de Serkin Haoussa. Cette entaille a déclenché une vague d'érosion régressive sur ses bords, relayée par le soutirage et la suffosion. Ces processus ont été particulièrement actifs dans les secteurs où les cailloutis du Quaternaire ancien se trouvaient à faible profondeur. Dans ces endroits (entre Nafoutyé et Dieza Magajia), la couverture dunaire a été partiellement déblayée et les cailloutis ont été recouverts par les épandages sablo-argileux.

d) *Pluvial* : c'est une période de climat humide, plus humide que le climat actuel. Les dunes ont été fixées par la végétation et des sols s'y sont développés. Cette période est dominée par la pédogénèse, caractérisée par une migration des oxydes de fer et des argiles, avec formation d'un horizon d'accumulation. Sur les épandages sablo-argileux l'accumulation d'argiles et de fer a été plus importante du fait du ruissellement qui a pu se poursuivre, mais avec un bilan morphogénèse/pédogénèse en faveur de la pédogénèse : la végétation empêchant la concentration des filets d'eau, chargés essentiellement de particules en suspension et de matières en solution.

Cette pédogénèse a considérablement modifié la dynamique de ces matériaux . En effet, l'accumulation de fer et d'argiles, même faible, est responsable de la prise en masse par dessication, ce qui se traduit par un durcissement et une imperméabilisation des sols.

e) *Petite phase aride* : la région de Maradi est à nouveau soumise à l'action du vent. Celle-ci s'est exercée particulièrement sur les matériaux qui s'y prêtaient. Ainsi les accumulations sableuses de la nappe d'épandages fluviatiles ont été modelées en dunes, mais les formes sont moins nettes, plus irrégulières. Dans les sables limoneux, à la tête des épandages, la dynamique éolienne s'est manifestée par une importante déflation avec creusement de petites dépressions et édification de dunes basses aux formes molles.

f) *Dernière période humide* : au cours de cette période, l'évolution a été différente selon les milieux. Sur les dunes récentes a prédominé la pédogénèse avec formation d'un horizon ferruginisé de couleur orangée mais sans enrichissement notable en argiles. Dans la nappe d'épandages

fluviatiles, le sous-écoulement (et peut-être un écoulement saisonnier) a repris et a contribué à l'appauvrissement du matériel par l'exportation vers l'aval des matières dissoutes, y compris le fer. Le régime saisonnier de l'écoulement a favorisé l'accumulation du fer le long des surfaces de discontinuité (lits, lentilles) à l'intérieur du dépôt, sous la forme de bandes étroites et sinueuses. Sur les dunes rouges de l'erg ancien, la prise en masse de l'horizon d'accumulation des argiles et du fer constitue un obstacle à la pénétration des eaux infiltrées. Elles s'accumulent au contact de cet horizon et contribuent à alimenter le ruissellement sur les versants des dunes. Ceux-ci ont été façonnés en glacis, les colluvions ont tapissé le pied des dunes et colmaté les dépressions interdunaires. Par endroits, le ruissellement s'est étendu jusqu'au sommet de la dune qui a été arasé. Les sols ont été tronqués, l'horizon A décapé, et l'horizon d'accumulation mis en affleurement.

Au cours de cette période s'est accentuée la différenciation entre les épandages sablo-argileux, avec et sans engorgement saisonnier. Les premiers sont éloignés des chenaux qui assurent l'écoulement des eaux de la vallée fossile pour permettre l'évacuation des eaux de ruissellement. Celles-ci s'accumulent dans les cuvettes qui s'approfondissent et s'étendent par soutirage, au contact avec les cailloutis cuirassés du Quaternaire ancien.

La reconstitution de l'évolution géomorphologique permet, en retraçant les principales étapes de la genèse des différents milieux, de déterminer la tendance actuelle de leur évolution.

4. Occupation du sol

Les terroirs de l'U.E.E. sont entièrement consacrés à la culture du mil. Autour de chaque village le terroir s'organise en trois auréoles successives :

- L'auréole périphérique : autour des villages s'étend une aire de sols noirâtres, dépourvue de végétation herbacée. Cette portion de terroir bénéficie de l'apport de fumure (détritus du village, déjection des animaux) ce qui lui donne sa coloration et elle est cultivée chaque année (mil sur mil ou mil plus sorgho). Pendant la saison sèche cette aire de sols nus, piétinée par les hommes et les animaux, est entièrement remise à vif par la déflation éolienne : la cohésion apportée par la fumure est entièrement détruite par le piétinement.

- Une deuxième auréole : elle est essentiellement consacrée à la culture des céréales, haricot et arachide, avec des jachères de courte durée.
- Une troisième auréole : plus étendue et plus éloignée du village, elle est constituée par les champs de mil qui occupent la plus grande surface et les jachères. Bien que le temps de jachère soit plus long que dans la deuxième auréole, l'espace qu'elles occupent est très réduit.

L'étude comparative des photographies aériennes de 1957 et de 1976 met en évidence l'évolution de l'occupation du sol entre ces deux dates. En 1957 les champs cultivés autour des villages n'étaient pas très étendus et les jachères occupaient près de la moitié du terroir. L'espace ne manquant pas, la durée des jachères était plus longue (7 ans).

Ce n'est plus le cas actuellement. Sous le poids de la pression démographique l'espace utilisé par les champs de cultures augmente de plus en plus et le temps de jachère est de plus en plus court (2 à 3 ans).

De plus, en période humide, les troupeaux des éleveurs ne séjournaient que peu de temps sur les terres du villages, assurant la fumure des champs en échange de la fourniture d'eau. A la suite de la sécheresse,les éleveurs se sont rapprochés des villages équipés de puits. Ils y séjournent plus longtemps et la destruction de la cohésion des sols sous l'effet du piétinement tend à s'étendre à l'ensemble du terroir. Le long des chemins de parcours, larges parfois d'une vingtaine de mètres, une journée d'harmattan suffit pour y façonner des ripple-marks. Pour l'instant cependant cette activité éolienne se limite au chemin, elle n'entraîne pas de modification de la dynamique actuelle des milieux traversés.

UNITES ECODYNAMIQUES

Après avoir défini la dynamique des différents milieux et donc délimité des unités écodynamiques, nous les avons classées en fonction de de leur degré de sensibilité. Notre classification tient compte également des éléments constitutifs de chaque unité, afin de faire apparaître les caractères commun d'une part, ainsi que les modifications extérieures apportées par les unités voisines. Celles-ci contribuent, la plupart du temps, à accroître la sensibilité du milieu. Nous avons ainsi abouti à sept types d'unités écodynamiques.

1. La nappe d'épandages fluviatiles dans la vallée fossile

Cette unité a été subdivisée en trois sous-unités :

1a. Les épandages fluviatiles le long de l'ancien axe de drainage

Cette sous-unité est la plus étendue et la plus représentative.

Milieu géomorphologique.

Il est constitué par les épandages fluviatiles qui ont accompagné l'entaille d'une vallée qui rejoint le Goulbi N'Kaba. Ils ont été mis en place à la fin de la période aride de l'Ogolien et au début du pluvial qui lui a succédé. Le matériel provient essentiellement du remaniement des dunes de l'erg ancien. Il est constitué par la succession de sables homogènes bien triés et de sables hétérométriques, moins bien triés (Fig. 5), mélangés à des argiles et limons. Comme nous l'avons vu précédemment, la granulométrie reflète les fluctuations dans l'espace et dans le temps des écoulements saisonniers, avec des débits variables d'une année à l'autre; donc une dynamique fluviale à chenaux divagants.

Pédogénèse.

Les sols sont très appauvris avec en surface un horizon contenant un peu de matière organique (0,5 %), un horizon de transition de couleur brune et un horizon plus clair caractérisé par une succession de bandes ferrugineuses, sinueuses irrégulières, parfois entrecroisées. L'épaisseur des bandes augmente avec la profondeur jusqu'à atteindre 10 mm vers 150 cm de profondeur.

Ces bandes ferrugineuses sont meubles, mais elles durcissent par exposition à l'air. Cette ferruginisation en bandes est d'ailleurs liée au sous-écoulement le long des anciens chenaux, chargé de matières dissoutes qui précipitent le long des surfaces de discontinuité dues au dépôt du matériel en lits et lentilles. Il s'agit donc de processus morphogénétiques plus que pédogénétiques "stricto sensu".

Comportement hydrique.

La principale caractéristique est le maintien d'une humidité permanente. En effet, à la fin de la saison sèche (avril 1977), l'humidité pondérale en profondeur se trouvait dans la fourchette de la capacité de rétention (plus près de pF 3 que de pF 4,2). Les eaux de pluie s'infiltrent aisément dans cette formation, mais il y a rarement engorgement car l'eau de gravité à écoulement rapide (pF inférieur ou égal à 2,2) est évacuée vers l'aval par sous-écoulement. La nappe d'épandages fluvia-

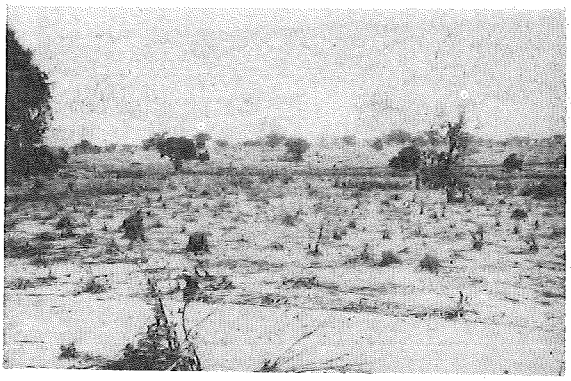


Photo 1 : SE de Serkin Haoussa (1 km). Dunes orangées intergrades (sous-unité 2a) entaillées par un chenal (au 2ème plan) de la nappe d'épandages (sous-unité 1c). Les "Gaos" (Acacia albida) occupent aussi bien le chenal que les dunes voisines.

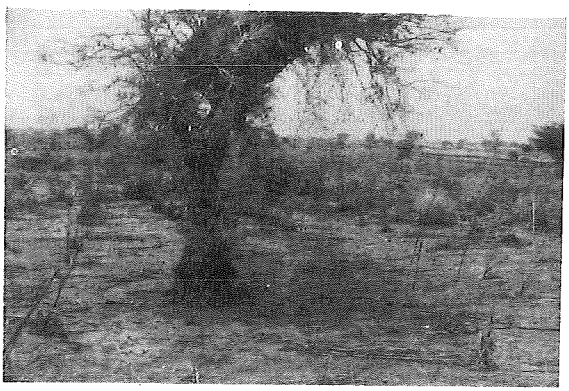


photo 2 : SE de Serkin Haoussa (1 km). "Taramnya" (Kigelia africana) sur dune orangée intergrade. Cet arbre est déchaussé (racines apparentes) sous l'effet de la déflation.

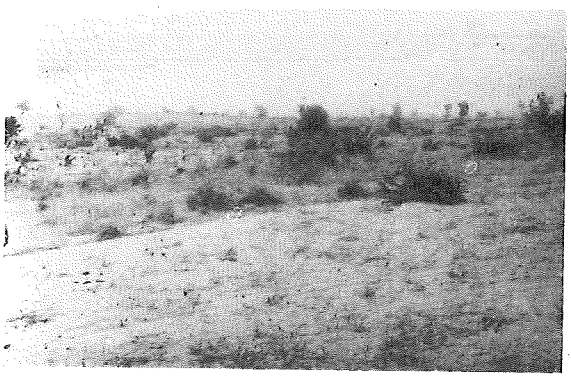


Photo 3 : Sud de Serkin Haoussa. Modelé des dunes orangées intergrades avec grande dépression interdunaire.

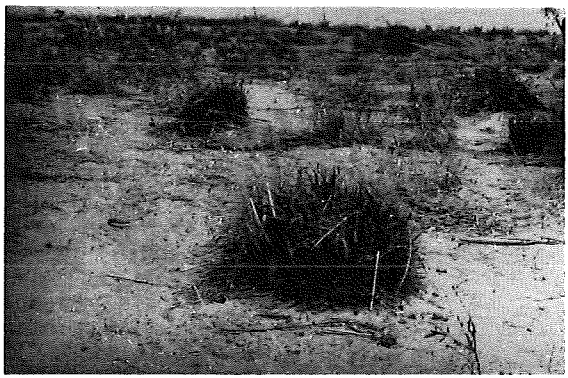


Photo 4 : Nord de Kagadama. Modelé de l'erg ancien avec, à l'arrière-plan, dune rouge arasée (sous-unité 4a). Au premier plan, nappage sableux actuel. Le sable est piégé dans les touffes de "Gamba" (Andropogon gazanus).

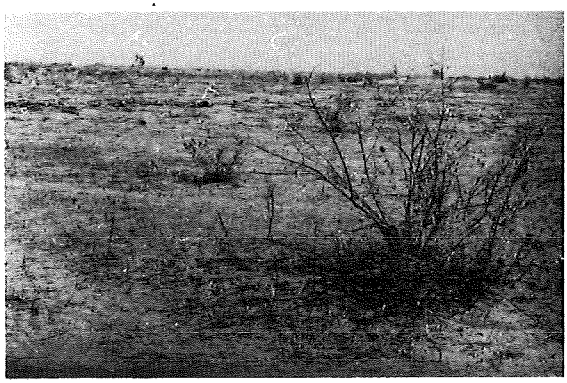


Photo 5 : Quest de Serkin Haoussa. Modelé des glacis qui tronquent les dunes rouges de l'erg ancien (sous-unité 5a).

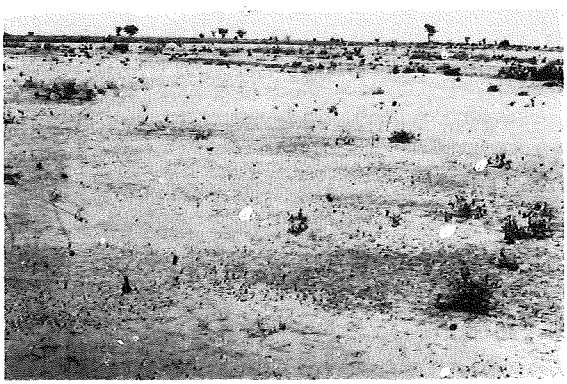


Photo 6 : OSO de Nafoutyé. Epandages sablo-argileux sur cailloutis du Quaternaire ancien (sous-unité 6a). A l'arrière-plan dune rouge arasée de Nafoutyé (sous-unité 4d). Ruissellement diffus généralisé avec croûte pelliculaire (gris foncé).

tiles bénéficie d'un bilan hydrique équilibré, elle est malheureusement seule dans ce cas à l'intérieur du périmètre de l'U.E.E.

Occupation du sol-Végétation.

L'abondance de "Gaos" (*Acacia albida*) de grande taille est une autre particularité de cette sous-unité. La localisation de cette végétation arborée sur la nappe d'épandages est, évidemment, directement liée au régime hydrique. Pour cette même raison, elle est entièrement occupée par les champs de culture du mil et du manioc.

Dynamique actuelle.

L'action des processus actuels est la plus faible de l'U.E.E. : un peu d'érosion pluviale accompagnée de quelques taches de ruissellement aréolaire, absence de croûte de battance, activité éolienne faible (saupoudrage de sables) due essentiellement au piétinement. Ce type de dynamique se trouve uniquement sur cette sous-unité; nous l'avons écarté de nos classes d'intensité pour le représenter par une trame différente, qui a l'avantage de faire ressortir ce milieu où l'équilibre est le moins compromis.

Degré de sensibilité.

Cette sous-unité est actuellement en équilibre, et l'intensification des cultures au cours des dernières années ne l'a pas compromis. Cependant cet équilibre repose sur deux facteurs : le sous-écoulement et l'abondance de "Gaos". Toute modification de l'un ou l'autre compromettrait dangereusement cet équilibre car il n'y a pas de structuration des sols (faible teneur en matière organique) et la granulométrie du matériel le rend particulièrement sensible aux actions éoliennes.

1b. Tête des épandages

Milieu géomorphologique.

La tête orientale de l'épandage est entaillée par un vallon très évasé, tapissé sur les bords par des colluvions. Cette tendance au comblement se poursuit actuellement. Le matériel se différencie du précédent par une plus grande fréquence des sables hétérométriques mal triés et une matrice argilo-limoneuse plus abondante (5 à 10 %).

Pédogénèse.

Les sols sont identiques aux épandages fluviatiles le long de l'ancien axe de drainage, l'horizon supérieur, faiblement organique, est

recouvert par 10 à 20 cm de colluvions provenant des versants des dunes voisines.

Comportement hydrique.

L'humidité y est permanente également; cependant, à la fin de la saison sèche, la teneur en eau se situe plus près de pF 4,2 que de pF 3. Ceci signifie qu'en cas de sécheresse prolongée, le point de flétrissement permanent peut être atteint.

Occupation du sol-Végétation.

Les "Gaos" sont un peu plus dispersés. Les champs de mil et de manioc occupent la plus grande partie de cette sous-unité avec quelques champs en jachère.

Dynamique actuelle.

Le vent et le ruissellement exercent leur action à part égale. L'érosion pluviale et le ruissellement embryonnaire sont responsables du glaçage superficiel du matériel et de la formation d'une croûte pelliculaire mince et discontinue. L'activité éolienne se manifeste par le dépôt de sables mobiles en plages discontinues et par le façonnement en rides.

Degré de sensibilité.

La sensibilité de cette sous-unité provient autant de l'influence des unités voisines que de sa dynamique propre. En effet, le colluvionnement latéral tend à imperméabiliser le matériel superficiel par le dépôt des particules fines et donc à augmenter le ruissellement. L'existence d'une cuvette d'inondation saisonnière est symptomatique de ce phénomène. La déflation éolienne sur les dunes orangées sableuses, situées au Nord, est en grande partie responsable du dépôt d'une couverture discontinue de sables mobiles. La dégradation de cette sous-unité est loin d'être alarmante mais elle est amorcée.

1c. Chenaux pénétrant en doigts de gant entre les dunes (Photo 1)

Milieu géomorphologique.

Du fait de leur situation en bordure de l'axe d'épandages, l'écoulement lors de la dernière période humide n'y a pas été suffisant pour franchir le barrage dunaire. Les eaux ne sont établies de préférence dans les dépressions interdunaires. Comme dans la sous-unité 1b, le matériel est constitué essentiellement par des sables hétérométriques mé-

langés à une matrice argilo-limoneuse.

Pédogénèse.

Les sols ont les mêmes caractères que ceux de la sous-unité 1b.

Comportement hydrique.

Le dessèchement à la fin de la saison sèche y est plus fréquent.

Occupation du sol-Végétation.

Les "Gaos" sont plus rares; les champs de mil occupent toute la surface.

Dynamique actuelle.

Elle est dominée par le ruissellement, avec comme intensité modale le ruissellement diffus avec formation d'une croûte pelliculaire. A l'intérieur des dunes rouges de l'erg ancien, ces chenaux sont incisés par des rigoles à écoulement saisonnier. A proximité de ces rigoles le ruissellement diffus se concentre. Il se forme des petits ravineaux de 10 à 20 cm de largeur qui rejoignent les rigoles. Les eaux de ces rigoles s'étalent à leur débouché et s'infiltrent dans le matériel des chenaux. L'activité éolienne est secondaire, elle façonne des rides dans les sables accumulés au débouché des rigoles.

Degré de sensibilité.

Cette sous-unité est particulièrement sensible aux processus de ruissellement. Elle est influencée de façon notoire par les processus qui se développent sur les dunes rouges arasées et remaniées qui entourent les chenaux. Le ruissellement diffus tend à se généraliser, la croûte pelliculaire s'étend de plus en plus. Ceci modifie profondément le régime hydrique de cette unité où l'alimentation en eau par infiltration diminue chaque année. L'enrichissement en particules fines durcit la surface des sols et les rend moins favorables à la culture du mil. Cette sous-unité se dégrade actuellement sous l'effet de la dégradation des milieux qui l'entourent. Son degré de sensibilité est sensiblement équivalent à celui des unités classées au troisième rang.

2. Dunes orangées

2a. *Dunes orangées sableuses et intergrades avec cuvettes interdunaires*

Milieu géomorphologique.

Dunes récentes irrégulières, sans orientation nette, souvent composées de plusieurs tronçons, séparées par des cuvettes interdunaires (Photo 3)

bien marquées dans la topographie, de tailles et de formes variables, non inondées pendant la saison des pluies. Le matériel est constitué par les sables de l'erg ancien, repris et déposés sous forme d'épandages fluviatiles puis remaniés par le vent (Fig. 5).

Pédogénèse.

Les sols sont composés d'un horizon supérieur faiblement organique, d'un horizon ferruginisé de couleur orangée, et d'un horizon profond caractérisé par des bandes ferrugineuses successives, sinueuses, parfois entrecroisées.

Comportement hydrique.

Les eaux de pluie pénètrent facilement dans ces formations; cependant l'infiltration n'est pas aussi rapide que le laisserait supposer la granulométrie. En effet, à la fin de la saison des pluies, il y a encore de l'eau de gravité à partir de 25 cm de profondeur. Mais à la fin de la saison sèche, il n'y a plus trace d'humidité entre 0 et 160 cm de profondeur. Les courbes pF = f (H) indiquent que dans tout le profil l'humidité peut passer rapidement de la capacité de rétention (1 à 1,5 %) au point de flétrissement permanent (0,5 à 1 %).

Occupation du sol-Végétation.

Les "Gaos" sont encore présents mais ils sont très dispersés. Les champs de mil occupent la plus grande surface, quelques parcelles de manioc sont localisées de préférence dans les cuvettes interdunaires. Les jachères sont rares.

Dynamique actuelle.

L'activité éolienne est prépondérante. Une couverture de sables mobiles d'environ 15 cm d'épaisseur recouvre les dunes et la plupart des cuvettes. Des creux de déflation entourent les "Gaos". Derrière les chaumes de mil, le vent a accumulé des petites nebkhas.

Degré de sensibilité.

La sensibilité de cette sous-unité est liée essentiellement à la granulométrie du matériel d'une part qui, de par son origine éolienne, se prête à une reprise par le vent et à l'absence de cohésion d'autre part. L'extension des cultures n'a fait qu'aggraver sa sensibilité aux actions éoliennes (photo 2).

2b. *Dunes orangées intergrades dégradées, avec cuvettes inondables*

Cette sous-unité est une forme de dégradation de la sous-unité précédente, localisée en bordure des épandages sablo-argileux sur cailloutis du Quaternaire ancien. Les composantes de ces deux sous-unités ont les mêmes caractères, sauf la dynamique actuelle. Le ruissellement et le vent exercent leur action à part égale. Cette modification s'est opérée à partir des cuvettes interdunaires qui ont été inondées par les eaux des rigoles incisées dans les dépressions fermées. Ces cuvettes ont été colmatées, imperméabilisées par le dépôt du matériel fin transporté par les rigoles. Le ruissellement s'est développé sur les bords de la cuvette et il gagne actuellement le pied des dunes. Aussi l'inondation des cuvettes, même si elle est de courte durée, est de plus en plus fréquente, ce qui les rend impropres à la culture.

2c. *Dunes orangées sablo-limoneuses avec cuvettes interdunaires non inondables*

Milieu géomorphologique.

Dunes récentes, façonnées par le vent au cours de la petite phase aride post-ogolienne, dans les épandages de type colluvial à la tête de la vallée de Serkin-Haoussa. Le matériel est constitué par des sables éoliens, provenant du remaniement de l'erg ancien, mélangés à une abondante fraction argilo-limoneuse (20 %).

Pédogénèse.

Elle est caractérisée par la formation d'un horizon faiblement ferruginisé, de couleur orangée. Lorsque les bandes ferrugineuses n'existent pas en profondeur, l'horizon orangé atteint 150 à 200 cm d'épaisseur.

Comportement hydrique.

A la fin de la saison des pluies l'humidité croît de la surface vers la profondeur. En surface les teneurs en eau correspondent à des pF compris entre 3 et 4,2 et en profondeur à des pF compris entre 2,5 et 3. La quantité d'eau capillaire absorbable est plus importante que dans les dunes orangées sableuses.

Occupation du sol-Végétation.

L'occupation du sol est dominée par les champs de mil; les jachères sont un peu plus nombreuses, couvertes par une végétation herbacée et

buissonnante (*Kigelia africana*, *Guiera senegalensis*).

Dynamique actuelle.

L'activité éolienne, sans être prépondérante comme en 2a, reste nettement dominante : accumulation d'une couverture de sables mobiles de 10 à 15 cm d'épaisseur, édification de nebkhas derrière les chaumes de mil. Le ruissellement exerce une action secondaire caractérisée par l'érosion pluviale accompagnée de ruissellement embryonnaire qui provoque le glaçage de la surface du sol en petites plages discontinues.

Degré de sensibilité.

Cette sous-unité est plus sensible que celle des dunes sableuses car le ruissellement, même peu intense, s'ajoute à l'action du vent. C'est l'indice d'une tendance à la dégradation.

2d. *Dunes orangées sablo-limoneuses avec cuvettes interdunaires inondables*

Milieu géomorphologique.

Les dunes, identiques à celles de la sous-unité 2c, sont associées à des cuvettes inondables et leurs versants ont été façonnés en glacis. Sur ces derniers le caractère colluvial du matériel est accentué par suite de sa mise en place par le ruissellement.

Pédogénèse.

Les sols sont identiques à ceux de la sous-unité 2c.

Comportement hydrique.

Dans ces formations, la dessication est plus rapide. Dès 1 m de profondeur, ces formations sont desséchées; à la fin de la saison des pluies il n'y a plus d'eau capillaire absorbable.

Occupation du sol.

Les champs laissés en jachères sont plus nombreux. La culture du mil semble exclue des cuvettes inondables.

Dynamique actuelle.

Le ruissellement accroît encore son emprise et on peut évaluer qu'il exerce son action à part égale avec le vent. Celle-ci se manifeste essentiellement sur les dunes par la déflation éolienne et le façonnement en ripple-marks. Sur les glacis et en bordure des cuvettes inondables domine le ruissellement diffus avec formation d'une croûte pelliculaire plus

ou moins étendue. Pendant la saison sèche, le matériel meuble subit l'action du vannage par le vent.

Degré de sensibilité.

La plus grande sensibilité de ce milieu se traduit par une dégradation plus avancée. Le façonnement en glacis lors de la dernière période humide a considérablement modifié le comportement hydrique de ces matériaux, même si leur granulométrie n'est pas sensiblement différente. Ces formations se durcissent plus rapidement et plus durablement pendant la saison sèche, ce qui provoque le déclenchement du ruissellement diffus qui tend à s'étendre aux versants de dunes.

3. Glacis récents situés au contact d'unités différentes

L'originalité de la dynamique de cette unité est directement liée à sa situation de contact de milieux d'âges et d'origines différents.

Unités morphopédologiques.

Cette unité écodynamique est constituée par quatre types d'unités morphopédologiques :

- glacis récents recouvrant la nappe d'épandages fluviatiles, constitués par un matériel sableux provenant directement ou indirectement du remaniement des dunes de l'erg ancien. La pédogénèse se caractérise par la formation d'un horizon de couleur jaune-rougeâtre,
- glacis de versants sur dunes orangées sableuses ou intergrades. Le façonnement en glacis n'a pas modifié sensiblement la granulométrie des dunes,
- chenal de débordement remblayé par le matériel de la nappe d'épandages avec des sols à bandes ferrugineuses,
- quelques dunes rouges résiduelles arasées; les sols ont été tronqués et l'horizon d'accumulation d'argiles et d'oxydes de fer affleure.

Comportement hydrique.

L'alimentation en eau (sauf sur les dunes rouges) est vraisemblablement assurée, pendant une bonne partie au moins de la saison sèche, par le sous-écoulement.

Occupation du sol-Végétation.

La présence de "Gaos", même très dispersés, tend à appuyer l'existence d'un sous-écoulement. Les champs se partagent entre la culture du mil et du manioc; les jachères sont localisées dans les cuvettes inondables.

Dynamique actuelle.

Elle est dominée par l'action du ruissellement diffus. Des formes de ruissellement concentré, avec entaille de rigoles, ont été observées le long d'anciens axes d'écoulement. L'activité éolienne est faible. La déflation s'exerce surtout sur les dunes, alors que le vannage s'exerce sur les glacis où le matériel déposé par ruissellement est repris; les particules les plus fines sont emportées et il se forme un pavage éolien des particules les plus grossières.

Degré de sensibilité.

La sensibilité de cette sous-unité est due à l'interférence de plusieurs dynamiques de mise en place d'une part, à sa situation au contact avec plusieurs types de milieux d'autre part. Le chenal de débordement de l'épandage fluviatile est entaillé par deux rigoles confluentes, à écoulement saisonnier temporaire, qui débouchent et étalent leurs eaux dans une cuvette. Ces rigoles prennent naissance sur les glacis qui façonnent les dunes rouges arasées le l'erg ancien. Alimentées par le ruissellement sur les dunes et les glacis, elles ont peu à peu colmaté ce chenal et modifié entièrement la dynamique de ce milieu géomorphologique.

4. Erg ancien

Caractéristiques générales

Cette unité regroupe tous les milieux pour lesquels l'origine éolienne des matériaux et l'âge (Ogolien) sont déterminants. Les matériaux sont constitués par des sables éoliens, bien triés, homogènes. Les sols se caractérisent par un horizon d'accumulation des argiles et des oxydes de fer avec prise en masse. Sur les dunes rouges en place cet horizon est recouvert par un horizon faiblement organique lessivé, surmonté par une couche de sables vifs de 40 à 100 cm d'épaisseur. Sur les dunes rouges arasées les sols sont tronqués et l'horizon avec prise de masse affleure. La pédogénèse actuelle se manifeste par un faible lessivage dans les premiers centimètres superficiels.

Le comportement hydrique est également différent sur ces deux types de dunes. A la fin de la saison des pluies les profils d'humidité dans les dunes rouges arasées indiquent un dessèchement entre 0 et 25 cm de profondeur (teneur en eau comprise entre 2 et 4 %) et une humidité constante (4 à 6 %) entre 25 et 60 cm de profondeur. Alors que dans les dunes rouges en place il y a augmentation progressive et continue

de l'humidité qui passe de 2 à 4 % en surface à 5 à 10 % en profondeur. Quel que soit le milieu morphopédologique, la différence de teneur en eau à la capacité de rétention (pF 3) et au point de flétrissement (pF 4,2) est très faible (1 à 2 %). Cette caractéristique est très importante car, par suite de la faible réserve en eau capillaire absorbable, ces sols se dessèchent rapidement y compris pendant la saison des pluies lorsque des intervalles de 10 à 15 jours sans pluie séparent deux épisodes pluvieux.

L'occupation du sol est également dominée par la culture du mil. Dans les quelques champs laissés en jachère, poussent des graminées telles que le "kram-kram" (*Cenchrus biflorus*) et le "Gamba" (*Andropogon gayanus*), ainsi que des césalpinées (*Cassia mimosoïdes*) indicatrices de dégradation des sols.

Malgré ces caractères communs, l'erg ancien est constitué par des types d'association de milieux morphopédologiques qui se différencient par leur dynamique propre. Ainsi ont été distinguées cinq sous-unités écodynamiques dont nous présenterons les caractéristiques spécifiques :

4a. *Dunes rouges en place et arasées séparées par des cuvettes interdunaires sans inondation temporaire* (Photo 4)

La dynamique actuelle est dominée par l'action du vent. Le sommet des dunes est recouvert par une épaisse couche de sables vifs (40 à 100 cm d'épaisseur); derrière chaque pied de mil s'est formée une petite nebkha. C'est la plus forte intensité observée dans le périmètre de l'U.E.E. La dynamique des eaux de surface est secondaire sans pour autant être négligeable. Sur le haut des versants les gouttes de pluie détruisent les agrégats et projettent les particules fines, le ruissellement embryonnaire se déclenche vers le bas du versant et tend à se généraliser à proximité des cuvettes interdunaires.

Degré de sensibilité.

Tous les facteurs convergent pour rendre cette sous-unité particulièrement sensible aux processus éoliens. Cependant la culture du mil a exacerbé cette sensibilité en lui enlevant sa protection végétale. En effet, dans les champs laissés en jachère, l'action du vent est très faible : couchage des herbes, vannage sur les plages de sol nu, quelques rides.

4b. *Dunes rouges en place et arasées, séparées par des cuvettes avec inondation temporaire*

Les sols de ces cuvettes ont une coloration plus foncée par suite d'un enrichissement relatif en matière organique. Elles sont généralement occupées par une végétation arbustive dominée par deux espèces : Kalgo (*Piliostigma reticulatum*) et Sabara (*Guiera senegalensis*).

La dynamique actuelle est également dominée par l'action du vent qui s'exerce avec la même intensité que dans la sous-unité 4a. Mais le ruissellement est plus intense. Le ruissellement embryonnaire façonne les versants des dunes, y compris le haut du versant, sur dunes rouges arasées particulièrement; des plages de croûte pelliculaire apparaissent. A proximité de certaines cuvettes, le processus s'intensifie et passe au ruissellement diffus.

Degré de sensibilité.

Si la dynamique éolienne actuelle reste le principal facteur de déséquilibre de cette sous-unité, l'intensification du ruissellement et l'inondation temporaire des cuvettes interdunaires doivent être considérées avec la plus grande attention car ils sont symptomatiques d'une tendance évolutive. Cette sous-unité est située au contact avec des milieux plus dégradés (4d) ou avec des milieux (5b) où la couverture sableuse de l'erg ancien est moins épaisse et les cailloutis cuirassés du Quaternaire ancien plus proches de la surface. Dans ces milieux le ruissellement occupe une place importante dans la dynamique actuelle et il tend à s'étendre sur les unités voisines. On peut considérer que l'unité 4b représente l'amorce de la dégradation de l'unité 4a et que son évolution tend vers 4d.

4c. *Modelé résiduel de l'erg ancien*

Il est constitué par l'association de dunes rouges isolées, de glacis de versants qui façonnent les versants de celles-ci et de cuvettes interdunaires avec et sans inondation temporaire.

Le ruissellement diffus est le processus dominant de la dynamique actuelle, avec formation d'une croûte pelliculaire, particulièrement sur les glacis. Le vent remanie le sommet des dunes et exerce une action de vannage sur le matériel abandonné par le ruissellement.

Degré de sensibilité.

La sensibilité de cette sous-unité au ruissellement est liée à

l'évolution géomorphologique post-ogolienne. Situées en position d'interfluve entre les vallées de Serkin-Haoussa et de Ga-Koudi, les dunes ont été arasées, tronquées, et le matériel déposé sous forme de glacis de versants. L'horizon de prise en masse affleure sur les versants des dunes, souvent au sommet, il durcit sous l'effet du dessèchement pendant la saison sèche, ce qui facilite le déclenchement du ruissellement lors des premières pluies. Il en est de même du matériel colluvial des glacis.

4d. Dunes rouges en place et arasées, remaniées en glacis

Elles sont séparées par des cuvettes interdunaires avec et sans inondation temporaire. Le modelé de l'erg ancien est mieux conservé que dans la sous-unité précédente. Cependant la dynamique actuelle est plus intense. Le ruissellement diffus reste le processus dominant mais il est fréquemment associé au ruissellement concentré. Des ravineaux sont incisés à proximité des cuvettes inondables. Sur les versants de dunes, une légère rupture de pente suffit parfois à provoquer la concentration du ruissellement. L'activité éolienne se manifeste surtout sur les dunes qu'elle recouvre d'une couverture de sables mobiles et sur les épandages des ravineaux qu'elle façonne en rides.

Degré de sensibilité.

Située en bordure des dépressions fermées, cette sous-unité est soumise à l'action du soutirage par suffosion. Ce phénomène accroît la sensibilité de ce milieu. Il se développe particulièrement entre Nafoutyé et Dieza Magajia où la couverture sableuse est moins épaisse.

4e. Dunes rouges arasées, glacis de versants et cuvettes interdunaires avec ou sans inondation

Le modelé de l'erg ancien est plus estompé que celui de la sous-unité 4d. Le façonnement en glacis est plus généralisé. Les cuvettes interdunaires sont plus étendues, la dynamique actuelle est dominée par le ruissellement qui fonctionne selon deux intensités étroitement associées : le ruissellement diffus et concentré. Contrairement aux sous-unités précédentes, les eaux qui ruissellent ne sont pas recueillies dans les cuvettes interdunaires, mais évacuées par des rigoles en direction de la nappe d'épandages fluviatiles. Ces rigoles se localisent sur d'anciennes entailles interdunaires ou d'anciens chenaux d'inondation qui pénétraient entre les dunes. L'activité éolienne est secondaire et de faible intensité. La croûte pelliculaire, épaisse de quelques mm et

très étendue, joue un rôle protecteur vis-à-vis du vent. Les actions éoliennes se réduisent à la formation de rides et de ripple-marks sur les dunes, dont la couche superficielle est ameublie par la culture et le piétinement.

Degré de sensibilité.

L'accentuation de la sensibilité de cette sous-unité semble liée à l'évacuation géomorphologique locale en relation étroite avec l'entaille de la vallée de Serkin-Haoussa. De nombreux glacis sont orientés vers l'Est; le tracé des rigoles actuelles évoque un ancien réseau hiérarchisé, dont l'écoulement se dirigeait vers cette vallée. Ces anciens axes de drainage permettent actuellement l'évacuation des eaux de ruissellement, mais ils favorisent également leur concentration et, par là même, leur action érosive, qui gagne de l'aval vers l'amont. Cette propagation est d'autant plus dangereuse que les matériaux (colluvion des glacis, affleurement de l'horizon à prise de masse sur les dunes) sont particulièrement sensibles à l'action du ruissellement.

5. Les glacis sur l'erg ancien

Cette unité se caractérise par le modelé de glacis, qui tronquent les dunes. Elle a été subdivisée en deux sous-unités :

5a. *Longs glacis associés à des cuvettes avec ou sans inondation temporaire* (photo 5)

Milieu géomorphologique.

Les glacis ont arasé les dunes dont il ne reste que des témoins sous forme d'îlots qui émergent de la surface des glacis. Le matériel sableux est constitué par le remaniement des sables éoliens de l'erg ancien. En bas de glacis, les sables sont plus hétérométriques et la matrice argilo-limoneuse plus abondante.

Pédogénèse.

En haut de glacis : sols polyphasés; l'horizon d'accumulation des argiles et oxydes de fer formé dans le matériel dunaire est recouvert par des colluvions peu épaisses où s'est formé un horizon lessivé. En bas de glacis,les sols ont les mêmes caractères que sur dunes rouges, mais ils sont plus compacts.

Comportement hydrique.

Dans les colluvions de haut de glacis, la réserve en eau capillaire

absorbable est sensiblement supérieure à celle de l'horizon sous-jacent. En bas de glacis, l'eau pénètre difficilement dans les sols où la capacité d'emmagasinement est faible (1 %).

Occupation du sol.

Malgré ces caractères peu favorables, cette sous-unité est occupée entièrement par la culture du mil.

Dynamique actuelle.

Elle est dominée par l'action conjointe du ruissellement diffus et concentré. La concentration s'effectue vers le bas des glacis avec incision de petits ravineaux. L'activité éolienne est secondaire, elle se manifeste essentiellement à la tête des glacis et sur les îlots de dunes. Les sables en surface sont façonnés en ripple-marks, des petites nebkhas se forment derrière certains plants de mil.

Degré de sensibilité.

Le matériel des glacis, peu perméable, compact, est responsable du déclenchement du ruissellement diffus et la longueur des glacis permet la concentration du ruissellement. La croûte pelliculaire recouvre toute la surface des glacis, elle tend à s'épaissir chaque année, ce qui augmente la quantité d'eau ruisselée au détriment de la partie qui s'infiltre et accélère le durcissement des sols. La culture du mil ne constitue pas un obstacle suffisant au développement du ruissellement, d'autant plus qu'elle laisse les sols à nu au début de la saison des pluies, période où ce processus est le plus actif.

5b. *Glacis, dunes rouges et cuvettes inondables de l'erg ancien sur cailloutis du Quaternaire ancien*

Milieu géomorphologique.

Les dunes ont été en grande partie arasées et tronquées par des glacis. Ceux-ci sont moins étendus que dans la sous-unité précédente. Les dunes qui ont été conservées sont aisément reconnaissables, même si elles sont actuellement orientées suivant des directions variées. Toutes les cuvettes de formes et de dimensions variées sont inondées temporairement. La couverture sableuse de l'erg ancien est moins épaisse et les cailloutis cuirassés du Quaternaire ancien apparaissent à environ 2 m de profondeur.

Pédogénèse.

Les sols de couleur rouge sont compacts dès la surface, particulièrement sur les glacis. La prise en masse du matériel est plus forte. Au contact avec les cailloutis se produit une hydromorphie temporaire, marquée par la formation d'un horizon tacheté avec concrétions de manganèse et de ferro-manganèse.

Comportement hydrique.

Dans ces formation l'eau pénètre difficilement en profondeur: pendant la saison des pluies il peut y avoir saturation dans les 5 cm superficiels alors qu'en profondeur la teneur en eau correspond au potentiel matriciel du point de flétrissement permanent. Les profils d'humidité à la fin de la saison des pluies montrent nettement une humidité constante entre 0 et 50 cm de profondeur.

Occupation du sol.

Champs de mil et manioc sur les glacis et les dunes résiduelles. Les cuvettes sont laissées en jachères, l'inondation temporaire interdit la mise en culture. La végétation naturelle y est relativement dense, composée de graminées et d'arbustes (*Guiera senegalensis*, *Kigelia africana*, *Boscia senegalensis*).

Dynamique actuelle.

Le vent et le ruissellement exercent leur action à part égale. Le ruissellement diffus façonne les versants dunaires et les glacis, il se concentre à proximité des cuvettes inondables. Celles-ci sont parfois reliées entre elles par des rigoles qui canalisent les eaux ruisselées et provoquent la concentration du ruissellement. Le vent accumule des nebkhas sur les dunes, la déflation et le vannage remanient les épandages sableux des ravineaux et des rigoles, le vannage exerce une action de tri sur le matériel remanié et abandonné par le ruissellement diffus.

Degré de sensibilité.

La présence des cailloutis du Quaternaire ancien à faible profondeur joue un rôle déterminant sur la sensibilité de cette sous-unité. Ils forment un niveau imperméable qui arrête l'infiltration. Les eaux qui s'accumulent sont évacuées par sous-écoulement. Ce processus semble avoir fonctionné activement pendant les pluviaux et a largement contribué à la mise en place des glacis. Actuellement ce processus est freiné par le ruissellement qui diminue considérablement la quantité d'eau

infiltrée, mais il continue à fonctionner dans les cuvettes inondées. La dynamique de ce milieu est liée à celle des dépressions fermées, laquelle s'étend au détriment de cette sous-unité.

6. Dépressions fermées à engorgement saisonnier

6a. Epandages sablo-argileux sur cailloutis du Quaternaire ancien avec cuvettes inondables peu étendues (Photo 6)

Milieu géomorphologique.

Cette sous-unité est constituée par les têtes des glacis d'épandages. Le modelé de surface est irrégulier, faiblement bosselé. Les creux sont généralement occupés par des cuvettes peu profondes, les plus grandes sont localisées au contact avec les sous-unités voisines (4d, 5b). Ces cuvettes sont inondées temporairement pendant la saison des pluies. Le matériel est composé :

- en surface, par une couverture de sables éoliens remaniés (10 à 30 cm d'épaisseur) contenant 10 à 15 % de limons et argiles.
- en dessous : un matériel sablo-argileux; les sables sont mal triés et mélangés à une abondante fraction argilo-limoneuse (20 à 30 %).
- à partir de 150 cm de profondeur, les cailloutis siliceux du Quaternaire ancien cuirassés.

Pédogenèse.

Elle est caractérisée par deux processus : l'accumulation d'argiles et d'oxydes de fer avec forte prise en masse et l'hydromorphie qui s'accentue en profondeur.

Comportement hydrique.

A la fin de la saison des pluies les profils hydriques indiquent une humidité constante, faible (2-5 %), entre 0 et 60 cm de profondeur. La teneur en eau en fonction du potentiel matriciel augmente régulièrement de la surface vers la profondeur. Dans les cuvettes le régime hydrique est commandé par l'inondation qui s'effectue par engorgement et par apport des eaux ruisselées.

Occupation du sol.

Peu de cultures, celles-ci se localisent à la tête des glacis où la couverture de sables éoliens remaniés est plus épaisse. Ce sont les jachères qui occupent la plus grande surface. Elles sont utilisées comme pâturages avec un faible taux de couverture.

Dynamique actuelle.

Le ruissellement est prépondérant. Le ruissellement diffus avec glaçage et formation d'une croûte pelliculaire est généralisé à la surface des glacis (photo 6); il se concentre localement sur les bords des cuvettes.

Degré de sensibilité.

La grande sensibilité de ce milieu à la dynamique des eaux de surface est liée aux interactions de plusieurs facteurs : la mise en place des épandages par le ruissellement, la pédogénèse avec accumulation d'argiles et d'oxydes de fer, le confinement dû à la présence à faible profondeur des cailloutis cuirassés, le durcissement actuel pendant la longue saison sèche, la destruction du couvert végétal par surpâturage du fait de la réduction des jachères. L'extension du ruissellement contribue à dessécher les sols, les nombreuses termitières mortes qui jalonnent ces glacis pourraient être un argument, s'il en était besoin, de la dessication de ce milieu.

6b. Bas des glacis d'épandages et cuvettes endoréiques

Milieu géomorphologique.

La dynamique de mise en place est identique. Il se différencie du précédent par la plus grande étendue des cuvettes à engorgement saisonnier. Le matériel est constitué par la superposition des colluvions sablo-argileuses sur les cailloutis du Quaternaire ancien. La couche de sables éoliens remaniés a disparu. Le fond des cuvettes est colmaté par des particules fines.

Pédogénèse.

Les caractères hydromorphiques sont plus marqués, particulièrement au contact avec les cailloutis où se sont formées de grandes concrétions de manganèse.

Comportement hydrique.

Dans les cuvettes étendues (Tapki) l'inondation saisonnière provoquée par engorgement et par apport des eaux ruisselées peut se maintenir plusieurs jours.

Occupation du sol.

Les cultures sont exclues de cette sous-unité du fait de l'engorgement des sols. La végétation naturelle, très dégradée, est composée

d'une strate herbacée très ouverte, laissant de larges plages de sol à nu.

Dynamique actuelle.

Le ruissellement diffus et concentré exerce une action prépondérante. Les incisions de ravineaux et de rigoles sont plus fréquentes.

Degré de sensibilité.

Engorgement, endoréisme et ruissellement sont les trois facteurs limitants essentiels de cette sous-unité. L'inondation plus longue et plus étendue accroît la sensibilité de ce milieu dont la dégradation est plus avancée que dans le précédent.

7. Dépressions fermées avec drainage

Milieu géomorphologique.

Cette unité est constituée par une série de glacis coalescents, en pente faible, qui convergent vers les rigoles et ravines qui assurent l'évacuation des eaux de ruissellement. Dans le haut des glacis, le matériel est constitué par des sables éoliens remaniés, mélangés à une matrice argilo-limoneuse (10 %). Le matériel passe progressivement vers le bas des glacis aux épandages sablo-argileux qui recouvrent les cailloutis du Quaternaire ancien.

Pédogénèse.

Elle est caractérisée par l'accumulation d'argiles et d'oxydes de fer avec prise en masse et par l'hydromorphie au contact avec les cailloutis. Les facteurs suivants diffèrent en haut et en bas de glacis, ce qui a conduit à les distinguer en deux sous-unités écodynamiques :

7a. *Haut de glacis*

Comportement hydrique.

Dans ces formations, les eaux s'infiltrent un peu plus aisément et le durcissement des sols est moins fort à la fin de la saison sèche. La teneur en eau en fonction du potentiel matriciel augmente faiblement de la surface vers la profondeur.

Occupation du sol.

Les champs de mil et les jachères se partagent l'espace de cette unité.

Dynamique actuelle.

Ruissellement diffus généralisé et ruissellement concentré sont associées à part égale. Des rigoles individuelles, plus ou moins longues, sont incisées. Certaines débouchent dans des cuvettes qu'elles inondent temporairement.

Degré de sensibilité.

La dynamique de cette sous-unité est encore influencée par l'entaille de la vallée fossile vers laquelle se dirigeaient les anciens exutoires. L'édification des dunes orangées a obstrué cet écoulement qui, actuellement, tente de se rétablir. Les eaux de ruissellement sont ainsi canalisées le long des anciens axes de drainage. Elles s'y concentrent, ce qui accroît leur pouvoir érosif. Le ruissellement concentré progresse vers l'amont relayé par le ruissellement diffus. Cette dynamique est le principal facteur de déséquilibre et de dégradation de cette sous-unité.

2b. En bas de glacis

Comportement hydrique.

La prise en masse du matériel est plus forte ce qui les rend plus imperméables, particulièrement au début de la saison des pluies.

Occupation du sol.

Cette sous-unité est laissée en jachères. Cependant, la végétation naturelle (graminées essentiellement) est très clairsemée.

Dynamique actuelle.

Le ruissellement se développe avec la plus forte intensité de toute l'U.E.E. A partir de la rigole principale qui sert d'axe de drainage, se forment des ravinements incipients, avec un début d'organisation en réseau hiérarchisé. Ravinements et rigoles emportent des quantités de matériel non négligeables si l'on en juge par les accumulations à leur débouché (quelques dizaines de m² d'étendue sur 20 à 40 cm d'épaisseur).

Degré de sensibilité.

C'est le milieu le plus dégradé et celui où la dégradation progresse le plus rapidement. Les berges le long de la rigole principale sont entaillées par des ravineaux qui progressent dans le glacis. Les eaux de ruissellement se dirigent vers ces entailles qui s'approfondissent, s'étendent, se multiplient. Les "bad-lands" représentent la forme ultime de cette évolution.

CONCLUSION

La sécheresse, comme le montrent les études récentes du climat, fait partie intégrante du climat sahélien. On ne peut donc l'éviter, mais ce qu'il faut éviter c'est qu'elle ait des conséquences désastreuses comme ce fut le cas il y a quelques années seulement. Il faut donc rechercher des remèdes qui permettront d'atténuer les effets de ce mal chronique.

L'étude écodynamique peut apporter une aide efficace dans cette recherche.

A partir de l'étude de l'U.E.E. de la région de Maradi nous avons tenté de montrer l'intérêt de cette démarche, dans une optique de lutte contre les effets de la sécheresse.

La dégradation des milieux entre 1957 et 1976 n'est pas, comme nous l'avons écrit, le seul fait de la succession d'années sèches. L'extension et l'intensification des cultures, sous la pression démographique, ont leur part, importante, de responsabilité. Il n'en reste pas moins que cette sécheresse a eu des incidences indéniables sur la dynamique des milieux. Cette étude a permis de mettre en évidence que, pour la plupart, le durcissement des matériaux par dessication était la cause principale de leur sensibilité. Sur ces milieux le dessèchement provoque des réactions en chaîne : la déshydratation des argiles et des oxydes de fer engendre le phénomène de prise en masse, qui se traduit par un durcissement du matériel. Exemples : les épandages sablo-argileux, qui sont friables à l'état humide, sont transformés en véritable béton à la fin de la saison sèche. Sous l'effet du durcissement le matériel perd sa perméabilité, les premières pluies s'infiltrent difficilement, la plus grande partie alimente le ruissellement. Ce processus est accompagné du glaçage superficiel et de la formation d'une croûte pelliculaire argilo-limoneuse qui imperméabilise la surface du sol. Le ruissellement s'entretient de lui-même et crée des conditions favorables à son développement. Plus le ruissellement augmente, plus l'infiltration diminue et plus le bilan hydrique des sols est déficitaire. Dans de telles conditions la végétation naturelle n'arrive plus à s'implanter. Ainsi ces réactions en chaîne aboutissent à une dégradation irréversible, que les facteurs naturels ne peuvent plus modifier.

L'étude écodynamique de l'U.E.E. a permis de délimiter des unités qui se trouvent à des stades d'évolution différents, et donc qui néces-

sitent des interventions adaptées pour enrayer la dégradation en cours.

BIBLIOGRAPHIE

BLANCK, J.P. & CLOOTS-HIRSCH, A.R., 1977. Etude écodynamique de l'Unité Ecologique expérimentale de Maradi (Niger). Strasbourg, 74 p.

BLANCK, J.P. & CLOOTS-HIRSCH, A.R., 1980. Incidence de la sécheresse sur l'équilibre des milieux naturels du Sahel : étude écodynamique de la région de Maradi (Niger). SEPANRIT, Bull. de liaison, 10, 187-204.

BLANCK, J.P. & GOBERT, A., 1982. Un aspect du milieu naturel : le régime hydrique des sols. L'exemple de la région de Maradi (Niger). *Annales de Géog.*, 505, 305-339.

CHARRE, J., 1973. La variabilité du rythme annuel des pluies au Niger. *Revue de Géographie Alpine*, 61, 3, 441-426.

FEAU, C., 1977. Unité écologique expérimentale de Maradi. Etude morpho-pédologique au 1/20.000e GERDAT-IRAT, 28 p.

KILIAN, J., 1974. Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. *L'Agronomie Tropicale*, 2-3, 141-153.

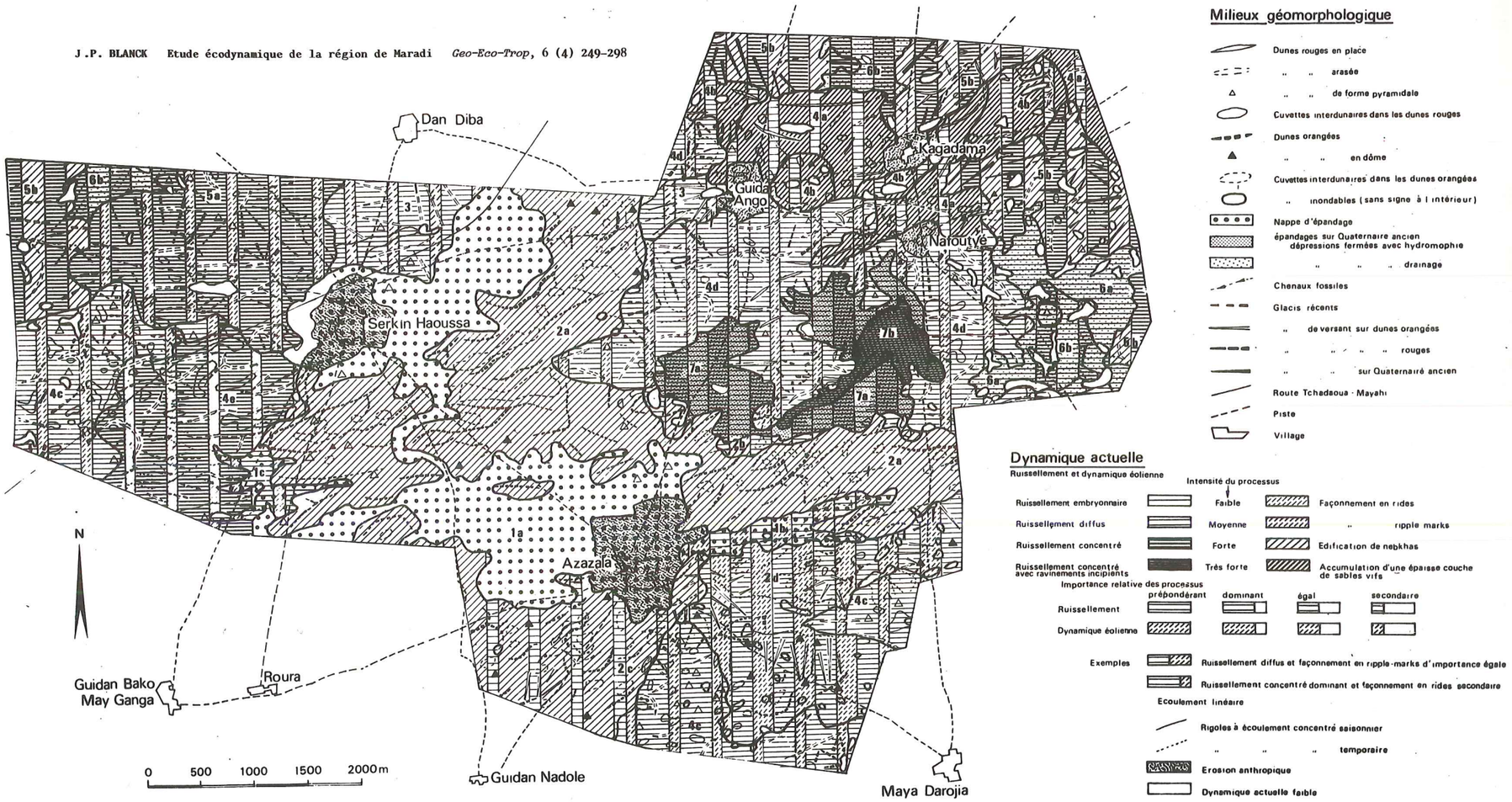
MAINGUET, M. & CLOOTS-HIRSCH, A.R., 1976. Compte-rendu de la mission de reconnaissance morphodynamique des 100.000 ha du périmètre de Tchadwa-Mazahi. Sa localisation dans son unité fonctionnelle. Reims, 52 p.

MAINGUET, M. *et al.*, 1977. Localisation d'une unité écologique expérimentale dans la région de Maradi (Niger). Compte-rendu de la seconde mission de reconnaissance morphodynamique de l'unité expérimentale de Serkin Haoussa. Reims, 300 p.

SIRCOULON, J., 1976. La récente sécheresse des régions sahéliennes. *La Houille Blanche*, 6-7, 537-548.

TRICART, J., 1976. Ecodynamique et aménagement. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 1, 19-32.

TRICART, J. & KILIAN, J., 1979. *L'écogéographie*. Maspero, Paris, 325 p.


Dan Diba
Kagadama
Guida Ango
Nafoutyé
Serkin Haoussa
Azazala
Guidan Bako
May Ganga
Roura
Guidan Nadole
Maya Darojia
N
0 500 1000 1500 2000m
Milieux géomorphologique
Dunes rouges en place
" " arasée
" " de forme pyramidale
Cuvettes interdunaires dans les dunes rouges
Dunes orangées
" " en dôme
Cuvettes interdunaires dans les dunes orangées
" inondables (sans signe à l intérieur)
Nappe d'épandage
épandages sur Quaternaire ancien
dépressions fermées avec hydromorphie
" " " drainage
Chenaux fossiles
Glacis récents
" de versant sur dunes orangées
" " " " rouges
" " sur Quaternaire ancien
Route Tchadaoua - Mayahi
Piste
Village
Dynamique actuelle
Ruissellement et dynamique éolienne
Intensité du processus
Ruissellement embryonnaire
Ruissellement diffus
Ruissellement concentré
Ruissellement concentré avec ravinements incipients
Faible
Moyenne
Forte
Très forte
Façonnement en rides
" ripple marks
Edification de nebkhas
Accumulation d'une épaisse couche de sables vifs
Importance relative des processus
Ruissellement
Dynamique éolienne
prépondérant
dominant
égal
secondaire
Exemples
Ruissellement diffus et façonnement en ripple-marks d'importance égale
Ruissellement concentré dominant et façonnement en rides secondaire
Ecoulement linéaire
Rigoles à écoulement concentré saisonnier
" " " temporaire
Erosion anthropique
Dynamique actuelle faible