

Nature et localisation de la dégradation des sols au Sénégal

Michel GAVAUD

Pédologue ORSTOM, 213 rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10.

RÉSUMÉ

La dégradation des sols passe tous les 30 ans par des crises qui fournissent un thème récurrent à la littérature écologique. La description la plus frappante de la sécheresse de 1965-1985 en fait une migration vers le sud des domaines pédoclimatiques, avec apparition de dunes vives sur le fleuve et migration méridionale de 180 km des organisations subarides de surface.

Le tableau le plus précis doit toutefois s'insérer dans des ensembles pédogéomorphologiques qui fixent les caractéristiques physiques et les modes d'utilisation. Parmi une douzaine de grands ensembles, les plus affectés sont :

- les dunes récentes, éolisées en masse,*
- les dunes anciennes où les pellicules battantes se sont généralisées,*
- les sols lithodépendants des bas glacis où le ravinement a accentué une érosion historiquement ancienne,*
- les sols ferrallitiques, par le contrecoup d'excès cultureux,*
- les sols marins, par sursalure et acidification.*

MOTS-CLÉS : Sénégal — Dégradation des sols — Sécheresse.

ABSTRACT

NATURE AND LOCALIZATION OF SOILS DECAY IN SENEGAL

Soils decay, a recurrent topic in Senegalese environmental literature, had gone through periodic bursts from 1917. Using zonal terminology one gets a striking description of the recent drought (1965-1985). So Subdesertic forms, as siefs and barchans, reached the Senegal River. Subarid features, as textural crusts, advanced as far as 180 km towards southerner savannas. Meanwhile more precise descriptions have to rely on geomorphic areas with definite edaphic and agronomic characteristics. Youngest sandy drifts suffered deep wind mobilization. In older sandy deposits permeability was superficially reduced by so-called sahelization. Rilling increased on old settlements with impervious argilized soils. Subsidence of fresh water table induced oversalinization along shallow marine estuaries. Far south the climatic crisis merges into the agricultural trend towards ecological impoverishment.

KEY WORDS : Senegal — Soils decay — Drought.

LA DÉGRADATION DES SOLS, THÈME PÉDOLOGIQUE RÉCURRENT

Dans la pratique pédologique tout domaine cartographique a pu être qualifié de paysage pour peu qu'il soit

structurable. Sa nature et son étendue sont aussi variées que celles des objets, des facteurs ou des relations figurées. Zones, surfaces ou diverses subdivisions, égales ou inférieures à un bassin, ont successivement été introduites pour décrire à divers niveaux des faits d'ordre de grandeur correspondants. Cette commodité d'expression,

dont il sera fait un large usage ci-dessous, n'est pas la seule légitimation de ces ensembles. La répartition et l'association — selon des modalités précises et sur des aires bien circonscrites — de la couverture superficielle, de la végétation et de formes du modelé expriment une histoire et un fonctionnement spécifiques, susceptibles de vérifications et d'expérimentations régionalisables.

Diversement et fortement structurée, la couverture pédologique tropicale peut ainsi être divisée en panneaux, à signification géodynamique dont les divers stades d'évolution peuvent faire l'objet de description ou de reconstitution. La dégradation vient souvent en conclusion de ces études comparatives comme expression de la péjoration des conditions et de la fragilité du milieu tropical. Il est communément admis ou démontré qu'à partir d'états plus favorables, réputés climatiques ou mieux équilibrés, les paysages se détériorent par altération ou par perte d'éléments biocénétiques ou par des modifications physiques et chimiques allant dans le sens d'une simplification des écosystèmes et d'une baisse de productivité.

Se renforçant à l'occasion de crises économiques et climatiques la dégradation est un leitmotif de la littérature pédologique. Dès 1917, nous rappelle-t-on (A. KANE, 1985, citant H. HUBERT), il est fait mention du « dessèchement des régions sénégalaises » et en 1918 (*ibid.*) le recul des forêts et la fragilisation des sols sont associés. En 1949, AUBREVILLE fait de la désertification le sous-titre de son grand ouvrage. En 1946, AUBERT prédit la dégradation des sols de Louga dès leur première observation. Pendant les 20 années pluvieuses suivantes, on décrit des états climax, et l'érosion hydrique, seule ou associée à la mécanisation, focalise l'intérêt des pédo-agronomes (FAUCK, 1956 ; FOURNIER, 1960). En même temps la reconstitution de l'histoire agitée des grandes dynamiques pédologiques (MAIGNIEN, 1954) et des oscillations climatiques quaternaires (MICHEL, 1974) prépare les esprits à la crise actuelle. Initiée dès 1965 (LE BORGNE, 1988), elle va non seulement remettre au premier plan les considérations classiques sur l'aridification mais en outre renouveler l'expérimentation et la pédologie de terrain (A. CASENAVE & C. VALENTIN, 1987).

LA DÉGRADATION ZONALE (fig. 1)

Lorsque les sols ouest-africains furent systématiquement inventoriés après 1946, on se situait au cours ou en fin d'une période pluvieuse qui permettait encore de mettre en parallèle les sols et une végétation partout présente et diversifiée. La zonation climatique de l'une fut assimilée à ce qu'avait de latitudinale la répartition des autres. Au Sénégal tout particulièrement, véritable épitomé de l'expression zonale de la pédogenèse, les

domaines pédo-climatiques associant des critères édaphiques généraux à des ensembles climatiques et phytogéographiques furent les premiers paysages définis et largement vulgarisés (MAIGNIEN, 1965).

Voici comment on les présentait dans les années 60 :

a - Domaine des sols subdésertiques : profils AC ; moins de 250 mm de pluies ; dunes semi-fixées.

b - Domaine des sols subarides : profils ABC, isohumiques ; pH neutres ; 250 à 500 mm de pluies ; pseudo-steppes et savanes arbustives sahéliennes ; pâturages.

c - Domaine des sols ferrugineux : profils ABC ; pH acides ; matière organique plus mobile ; lessivage et diverses modalités de l'individualisation du fer ; deux subdivisions :

c.1 - Sols ferrugineux peu lessivés ; peu d'individualisation ; 500 à 800 mm de pluies ; savanes arborées soudano-sahéliennes et péniclimax cultivés.

c.2 - Sols ferrugineux lessivés ; forte individualisation, dont le cuirassement ; savanes boisées et forêts claires soudaniennes ; cultures.

d - Domaine des sols ferrallitiques : au Sénégal il n'est représenté, à plus de 1 200 mm de pluies, que par des sols faiblement ferrallitiques sous des savanes et des forêts guinéennes ou sous des agro-systèmes forestiers.

Les surfaces à sols hydromorphes et à sols salés étaient tenues pour azonales.

La représentation la plus sommaire mais aussi la plus simple, la plus expressive et la plus divulguée, du déplacement des isohyètes de la sécheresse est une migration méridionale de ces domaines. Elle apparaît comme une manifestation, à notre échelle de temps, de la péjoration enregistrée par les pédo-climats quaternaires (GAVAUD, 1975), par la protohistoire et par l'histoire sahélienne (UNESCO, 1986), et par la tandance pluviométrique séculaire (LE BORGNE, 1988).

Il est possible de l'illustrer de quelques observations générales et spectaculaires : les barkhanes et les formes semi-fixées du front semi-désertique ont accompagné la venue de l'isohyète 300 mm sur le fleuve Sénégal. La limite subaride de 500 mm s'est déplacée de 180 km vers le sud. Elle enveloppe les sols ferrugineux peu lessivés, l'aire de déflation et de dégradation maximale de la végétation cartographiée par l'USAID (1986) et les surfaces à organisations pelliculaires envahissantes. Le déplacement de 100 km de l'isohyète 1 000 mm coïncide avec un recul des agro-systèmes forestiers et avec l'abaissement des nappes phréatiques. En gros, ce sont les domaines à sols subarides et à sols ferrugineux peu lessivés qui ont surtout été frappés par la disparition de la végétation ligneuse et herbacée vivace, par l'apparition de sables mobiles sur sa frange nord et par la « sahélistation » des caractéristiques de surface (ALBERGEL, 1988). Plus au sud, la crise pluviométrique est amplifiée par l'accroissement et par le déplacement des excès pastoraux et culturaux.

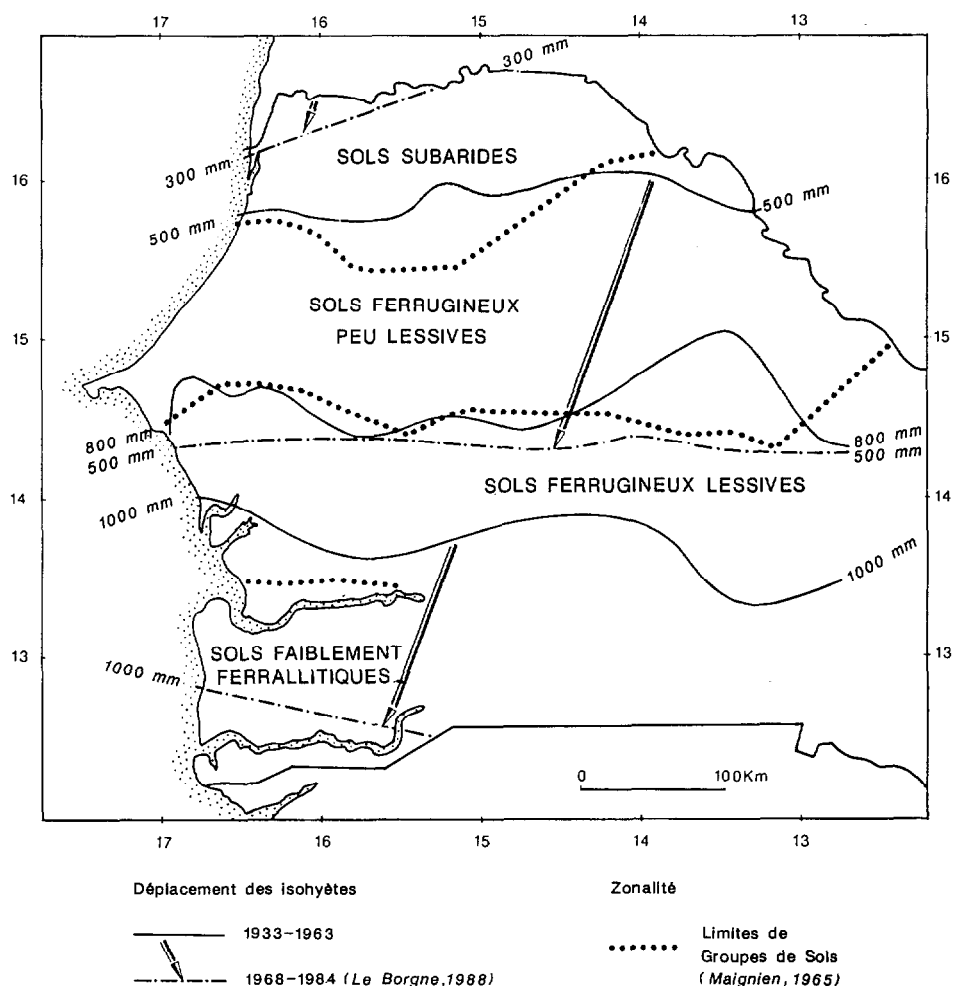


FIG. 1. — Déplacement des isohyètes et zonalité.
Zoning and isohyetal lines shifting.

LE DÉGRADATION PAR ENSEMBLES PÉDOGÉOMORPHOLOGIQUES (fig. 2)

La description zonale est fortement limitée parce que les caractères liés au comportement physique, à l'infiltrabilité et à l'érodibilité — à savoir la granulométrie, l'espace poral ou la minéralogie — sont largement hérités de pédogénèses inactuelles sur le site. Ces caractères s'individualisent à l'intérieur d'ensembles stratigraphiques ou chronologiques définis qui, en Afrique de l'Ouest, se répartissent sur des « paysages » distincts par leur modelé, par leur matériau, par leur type d'altération et par leurs toposéquences. Ils définissent aussi une partition des aires de dégradation parce que les travaux de terrain récents ont montré que la sécheresse n'avait fait qu'amplifier les effets de sensibilité spécifiques aux divers modes d'érosion.

Pour le Sénégal nous proposons le tableau suivant :

A - Dunes et plaines à sols sableux peu différenciés

Côtes et estuaires sont frangés de sables récents d'âge égal ou inférieur au Tafolien (4000 BP). Dans leur état de référence, ils sont fixés avec de beaux horizons A finement structurés mais friables sous lesquels le matériau n'a pas subi de pédo-plasmation, à une faible coloration près, et a conservé la structure granulaire sans consistance du sable éolien marin ou fluviatile originel.

A moins de 800 mm de pluies, chiffre ancien, ils sont remobilisés — d'autant plus qu'ils sont plus au nord ou près des côtes — en champs chaotiques de dunes semi-fixées blanches ou jaunes, en barkhanes et en cordons vifs. Le reboisement par le filao y donne ses meilleurs résultats.

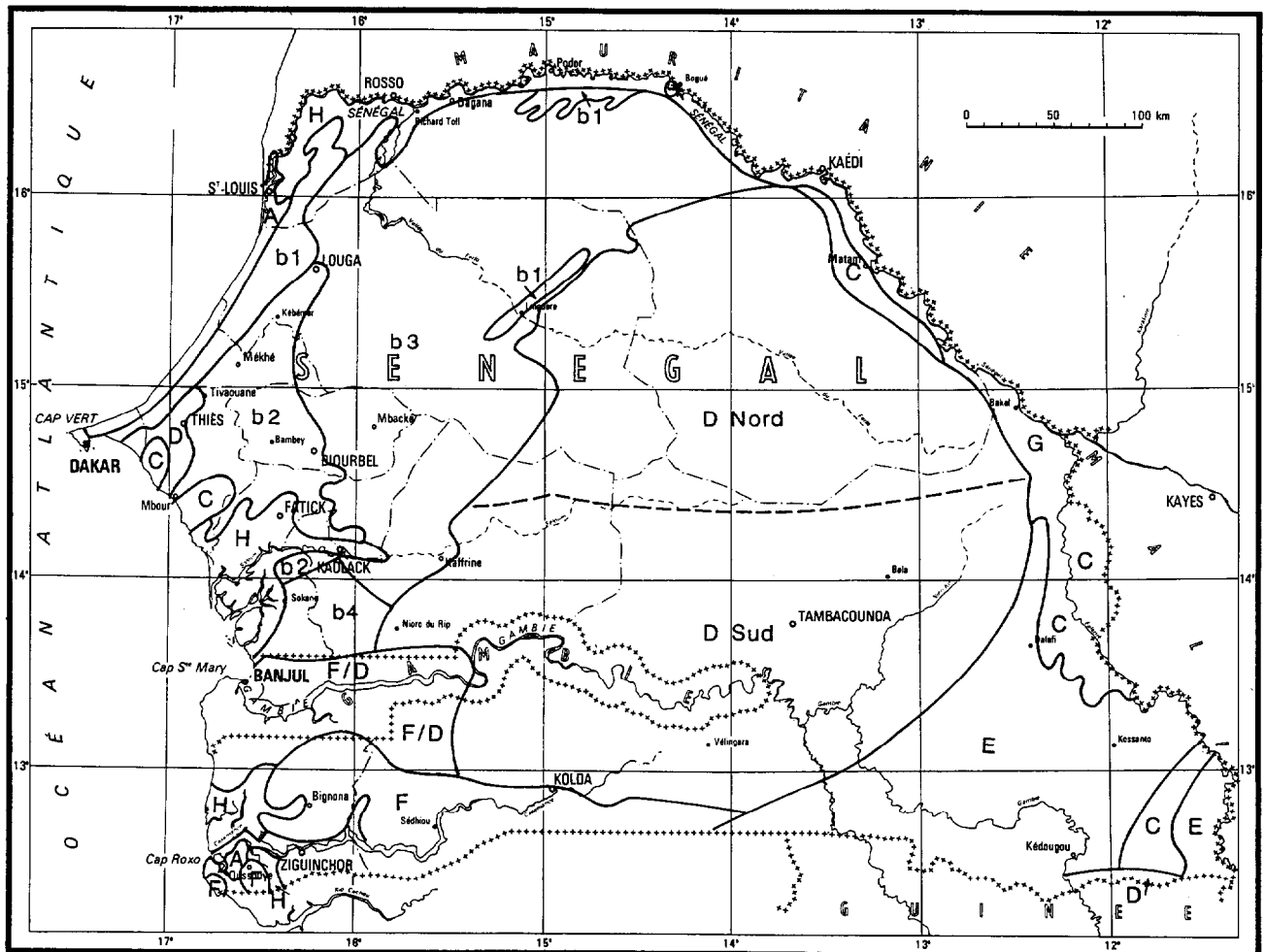


FIG. 2. — Les grandes unités morphopédologiques.

Morphopedological principal units.

A — Dunes et remblais à sols sableux peu différenciés. B — Dunes et remblais avec sols développés ; b1 - Grandes dunes longitudinales ; b2 - Plaines sableuses basses du bassin central ; b3 - Dunes basses et remblais rubéfiés ; b4 - Dunes rutilantes du Sud. C — Sols lithodépendants des bas glacis. D — Plateaux gréseux. E — Glacis cuirassés étagés. F — Sols faiblement ferrallitiques et aires de transition. G — Alluvions et sols hydromorphes. H — Sols salés marins.

A — Dunes and plains with badly developed sandy soils. B — Dunes and filling material with developed soils ; b1 - longitudinal big dunes ; b2 - low sandy plains of central basin ; b3 - low dunes and rusty filling material ; b4 - southern rutilant dunes. C — Lithodepending soils of low foothill fans. D — Sandstone plateau. E — Terraced hardened foothill fans. F — Weakly ferrallitic soils and transitional areas. G — Alluvial deposits and hydromorphic soils. H — Seaside salt affected soils.

Plus au sud, la disparition des langues d'eau douce phréatique est le principal problème.

B - Dunes et remblais à sols différenciés

Les termes amont des toposéquences sont des profils ABC rubéfiés, références des sols ferrugineux peu lessivés. Des horizons éluviaux et illuviaux souvent jaunes caractérisent les termes aval.

Quatre sous-ensembles pédologiques y ont été décrits :

1. LES GRANDES DUNES LONGITUDINALES

Orientées vers le sud-ouest, caractéristiques de l'aride Ogolien (13 000 à 22 000 BP), elles forment un grand massif sur la côte nord et des cordons isolés ailleurs ; elles se caractérisent par des horizons B rubéfiés contenant moins de 5 % de fines environ et par une dureté inférieure à 1,5 kg/cm² bien que la microstructure à plasma pelliculaire soit déjà identifiable. Dans leur état de référence ces dunes portent des formations claires à *Acacia raddiana* (faciès subaride brun rouge) et plus au sud, au Cayor, un péniclimax à *Parinari macrophylla* et à *Acacia albida* rabougri (faciès ferrugineux non ou peu lessivé). Dès les premières observations, on avait constaté, d'une part la présence de reliques de remaniements éoliens récents (profils AC sur B tronqué, nebkas et caoudeyres émoussées), d'autre part la mobilisation facile des épipédons sous culture d'arachide (AUBERT, 1946).

La sécheresse a donc provoqué une reprise éolienne de plus. Sur le fleuve Sénégal, elle va jusqu'à la formation de barkhanes. Près des côtes, les crêtes sont remodelées par des formes mixtes, hydriques et éoliennes, qui autrefois caractérisaient la bordure désertique (DAVEAU, 1965). Quant aux cultures d'arachide, elles s'étaient déjà déplacées vers les terres plus stables et arrosées du sud-est.

2. LES PLAINES SABLEUSES BASSES DU BASSIN CENTRAL

Sises en dessous de la cote 30 m, plates ou à très faible modelé éolien, elles portent des sols physiquement analogues aux précédents, très peu consistants, différant par la présence d'une nappe dans la toposéquence et qualitativement par la réduction des termes rubéfiés au profit des termes affectés par une réduction du drainage. Leur système agropastoral sous le parc à *Acacia albida* a été justement célébré pour sa stabilité (CHARREAU, 1970). De fait, c'est une dégradation diffuse de ce dernier qui a été observée (LERICOLLAIS, 1988). Beaucoup plus sensible au nord de l'isohyète ancien de 800 mm, cette dégradation s'y accompagne de la formation de nebkhas et de voiles éoliens locaux à proximité des grands centres (Mekhe). Une autre nuisance observée a été la disparition fréquente de la nappe accessible par des petits puisards (céanes).

3. LES DUNES BASSES ET LES REMBLAIS RUBÉFIÉS

L'horizon rubéfié de l'amont des toposéquences est plus riche en fines (10 %) et plus consistant (4 kg/cm²). L'aval peut être fortement illuvial et confiné, avec des sols sablo-argileux compacts. Le substratum montre souvent un encroûtement calcaire. Les dunes basses s'étendent sur tout le Sénégal central et nord-occidental et se prolongent par des remblais rubéfiés éolisés dans les vallées orientales pénétrant les plateaux gréseux. Cette extension est suffisante pour que la dégradation suive un gradient latitudinal selon des mécanismes anciennement observés ou pressentis. La consistance des B est suffisante pour que seul l'épipédon soit facilement mobilisable par le vent, surtout dans les champs. Les pellicules de battance (croûtes sableuses structurales), le déficit d'infiltration et l'érosion hydrique aréolaire apparaissent souvent, au moins dans les parties moyennes des toposéquences. De la sorte, les sols ne se détruisent que superficiellement, par déflation et par érosion en nappe — les produits meubles formant de petits champs de nebkhas.

Malheureusement, le déficit hydrique ainsi accru aboutit à la destruction de toute végétation, sauf quelques plantes annuelles naines (*Zornia*). C'est ainsi que dans l'ancien Sahel du Ferlo les steppes arbustives à gommiers, *Commiphora* et *Sclerocaria* ont disparu et sont remplacées par de maigres pelouses où se mêlent des surfaces encroûtées, des bosses éoliennes fixées par le Cenchrus, sous quelques *Balanites* et *Boscia*. Près des villages et des forages, la mobilisation du sable par le piétinement et par le vent est renforcée parfois, paradoxalement avec quelques effets bénéfiques sur le pâturage (VALENTIN, 1983). Vers le sud et vers l'est, aire des sols ferrugineux peu lessivés, cette destruction se prolonge par la dégradation culturale qui mène à une couverture uniforme décimétrique de sables vifs. Partout, les dégâts peuvent être plus graves sur les remblais qui, moins perméables et topographiquement plus exposés, peuvent se raviner profondément. En dépit du fâcheux aspect de ces déserts pastoraux ou arachidiers, la restauration de ces sols est toujours possible.

4. LES DUNES RUTILANTES DU SUD

Décrites par BERTRAND en 1971, elles diffèrent par leur orientation ouest et non plus sud-ouest et par des sols géants, très rouges et contenant jusqu'à 20 % de fines en amont des toposéquences. Encore que bien arrosées et mises en culture depuis une cinquantaine d'années seulement, elles ont été complètement déforestées et cultivées à un rythme d'autant plus rapide que sur ces terrains le contrôle des adventices est beaucoup plus facile que sur sol « vierge ». Comme en milieu faiblement ferrallitique, la fertilité et les capacités de régénération par la jachère décroissent vers l'amont (plus sec et parfois décapé) qui perd plus facilement son épipédon.

C - Les sols lithodépendants des bas glacis

Sur les glacis quaternaires les plus récents, la couverture superficielle est réduite à un sol d'altération mince dont la minéralogie dépend en partie de celle de la roche (LEPRUN, 1973) et en partie de « transformations » latérales (BOULET, 1974). Selon les espèces argileuses, les sols se regroupent autour de pôles ferrugineux, lessivés et hydromorphes planosoliques (kaolinite, illite), eutrophes et vertiques (smectites) ou fersiallitiques (complexes), disposés en toposéquences.

C'étaient déjà des milieux écologiquement très diversifiés, aussi bien localement que pris ensemble, portant toutes les formations végétales depuis la forêt claire jusqu'au bois armé. La présence humaine y est très ancienne avec des témoins de tous âges. Ceci explique que — joint au fait que tous les sols ont au moins un horizon finement texturé potentiellement imperméable — ils ont été décrits dès les premières observations comme fortement affectés par l'érosion aréolaire et même par le ravinement au niveau des remblais qui en recouvrent l'aval.

Depuis lors, cette tendance a été exacerbée vers le nord et singulièrement le long de la vallée du Sénégal à moins de 800 mm de pluies (anciens). Dans cette région la végétation a pu disparaître totalement ; toutes les formes d'incision, de décapage aréolaire et de déflation sont observables ; les sols sont ravinés et tronqués au point de ne pouvoir plus être identifiables. Toutes les difficultés s'additionnent, depuis le manque de pâturages jusqu'à la destruction des infrastructures de génie civil. Une restauration y exige une connaissance fine et détaillée des matériaux des sols et de leur répartition (MOUGENOT, 1984).

D - Les plateaux gréseux

Les plateaux du Continental terminal sont de grandes tables faiblement monoclinales pétrifiées par diverses cuirasses arasées et superposées, masquées par une couverture meuble dont la variation latitudinale peut être schématisée par la description de deux zones (BARRETO, 1964).

Au nord le sol est mince, gravillonnaire, très marqué par le façonnement hydrique superficiel. La végétation a beaucoup souffert, avec la disparition massive de la strate arbustive à *Pterocarpus lucens*. Si les sols n'ont pas été touchés en profondeur, les états de surface liés à la déflation, aux voiles éoliens ou à l'encroûtement hydrique se sont généralisés.

Au sud les sols ferrugineux lessivés et les sols hydromorphes (BARRETO, 1966) des savanes boisées n'ont pas bougé, même si une mortalité sporadique des grandes espèces ligneuses a été constatée. Ce sont les défrichements

qui y sont la cause principale de l'évolution des sols ; celle-ci est actuellement suivie par l'étude des matières organiques (FELLER, 1977 et travaux en cours).

E - Les glacis cuirassés étagés

Ils sont l'aboutissement de paléocycles climatiques successifs avec érosion et cuirassement ferrugineux. La nature généralement lithique ou gravillonnaire de leur surface popularisa naguère l'idée de la « latéritisation » des sols à la suite des défrichements. Bien que la nappe phréatique associée aux grands bowé (KALOGA, 1987) ait baissé, ils ne sont guère modifiés, sans doute pour être hors du domaine fortement affecté par la baisse des pluies.

G - Les alluvions et les sols hydromorphes

Une basse terrasse encadrant des levées et flats subactuels — les deux formations situées de part et d'autre de 4000 BP — constitue tous les paysages alluviaux. Si le bassin n'a fourni que des sables (grès, dunes ou sols ferrugineux) la terrasse domine avec des sols AC peu différenciés, gris et blancs, dont le sort est similaire à celui des sols décrits ci-dessus (en A). Ailleurs, surtout sur le socle, la terrasse forme un étroit liseré de sols compacts, à tendances halomorphes sodiques ou planosoliques (FELLER, 1975), subissant la même dégradation que le bas glacis voisin. Dans les alluvions plus récentes la maturation structurale était le fait le plus saillant : avec deux extrêmes, le vertisol sous la forêt de gonakiers et un sol brun très finement structuré sous la prairie à vétiver, encore décrit en 1967 sur le « Matamien » de la vallée du Sénégal. Plus en aval, le « Podorien » montrait de structures plus massives et des effets anthropiques plus forts et anciens.

Depuis, la végétation naturelle et les horizons associés ont largement disparus. Des organisations pelliculaires battantes et imperméables, des sables éoliens diversément accumulés et des surfaces décapées par le ruissellement et par la déflation les remplacent. Cette extraordinaire uniformisation écologique n'est toutefois que de surface et la mise en valeur reste principalement limitée par l'eau. A terme, en effet, la dégradation la plus irrémédiable serait la sursalure et l'alcalisation par défaut de drainage (LE BRUSQ, 1984), aussi bien près du domaine marin (nappe et réservoirs salés) qu'en milieu continental (cations alcalins).

H - Les sols salés marins

L'étude comparative des terrasses marines a mis en évidence une chronoséquence des alluvions marines par maturation, oxydation, acidification et dessalage (VIELLEFON, 1977 ; MARIUS, 1979). Les vases à pyrites des mangroves se transforment d'abord en sols

sulfatés acides des « tannes » — aires herbeuses puis nues à efflorescences salines — et ensuite en sols hydromorphes lessivés sous savane arbustive, sous l'effet du retrait de la marée et de la nappe salée puis de l'invasion des eaux douces.

Des facteurs hydrologiques et climatiques modifiaient latitudinalement cette suite.

Au nord, l'estuaire du Sénégal montrait surtout des vastes tannes où les remaniements éoliens de la « moquette » salée étaient déjà notables. Au sud, les mangroves et les rizières de Casamance et de Gambie constituaient l'essentiel du paysage. Au centre, le Saloum unissait les deux aspects, en plus de terrasses arbustives étendues. La sécheresse a accéléré brutalement les premières étapes de cette transformation au sud, là où on l'attendait le moins. La sursalure des rias aux eaux mal alimentées en eau douce et mal renouvelées par les marées (Casamance), l'affaissement de la nappe salée sous les tannes et le recul des nappes douces vers les plateaux ont détruit les mangrove, accru l'acidification (MARIUS, 1979 ; LOYER, 1986) et induit la formation et la migration de sels d'aluminium (LE BRUSQ, 1976 ; finalement les rizières ont été intoxiquées, on a dû modifier leur aménagement (LE BRUSQ, 1986) et les techniques d'évaluation des terres (MOUGENOT, 1986 ; MONTOROI, BOIVIN et ZANTE, 1986 et 1987).

Au nord, la séquence déjà plus dégradée, avec des mangroves « relictées », a perdu ce qui lui restait de végétation sur des tannes actuellement impressionnants par leur nudité et par leur façonnage éolien. En même temps, l'invasion saline de saison sèche par le fleuve a atteint des valeurs records (KANE, 1985).

LE PAYSAGE ÉLÉMENTAIRE ET LES ÉTATS DE SURFACE

Pour affiner la description qualitative — préalable nécessaire des mesures — il faut se situer au niveau du paysage élémentaire, surface assez petite pour définir à la fois les particularités du voisinage géographique et de l'utilisation ainsi que la segmentation des caractéristiques physiques associée aux toposéquences. Or les hydrologues, dont les mesures du ruissellement sont aussi celles de la dégradation, rencontrèrent dans cet exercice une difficulté fondamentale à laquelle ils apportèrent une solution originale.

Travaillant sur de petits bassins en milieu aride, ils ne purent en effet utiliser les cartes pédologiques ordinaires pour « régionaliser » les mesures de ruissellement. Ils résolurent leur problème en associant la simulation des pluies à l'étude et à la cartographie des organisations pelliculaires de surface, compartiment des sols

jusqu'alors confidentiellement étudié. Ils découvrirent qu'en milieu sahélien et plus sec, où la croissance de la végétation ne modifie pas l'hydrodynamique de surface, la seule caractéristique pédologique contribuant à déterminer le ruissellement est l'état de surface, lui-même largement indépendant des variables définissant le statut taxonomique du pédon (CASENAVE et VALENTIN, 1988). Comme d'une part ils purent constituer une typologie de ces microhorizons et de leurs assemblages en « surfaces élémentaires » et que d'autre part ces dernières étaient fortement corrélées avec le ruissellement, ils purent en dresser des cartes prévisionnelles.

Ainsi, sur les croupes gravillonnaires, les bas glacis et les remblais, sur les dunes basses, les terrasses et les flats, à la mosaïque primitive ordonnée des sols, de la végétation, des niches écologiques et des modes d'utilisation, se substitue une dénudation uniformisante dont les réactions ne peuvent être prévues que par le relevé de pellicules de sables et de fines aléatoirement disposées.

CONCLUSIONS

La sécheresse a entraîné avec elles vers le sud la dégradation de surface des sols selon des modalités prévues. L'éolisation est forte sur les sols trop jeunes pour que la fabrication de plasma (pédoplasmatation) leur ait donné de la consistance. En revanche, les effets de l'érosion hydrique y sont corrélativement plus faibles. A migré de même la dégradation physico-chimique des sols kaoliniques, à faible activité, lorsqu'ils étaient trop cultivés. Les dégâts sont généralisés, à la fois sur les sols et sur la végétation, à moins de 800 mm. Plus au sud de cet isohyète ancien, ils sont locaux ou diffus, ou limités à un segment de toposéquence.

Toutefois, les destructions dues à l'affaissement ou au retrait des nappes d'eau douce ont révélé des instabilités écologiques, en partie imprévues à cause de la difficulté des études de ce compartiment peu accessible. Si les excessives salures et acidités des sols marins sont un fait naturel à terme, l'alcalisation des alluvions fluviales pourrait être accélérée par une irrigation massive sans drainage suffisant.

Pour produire une carte synthétique à petite échelle de la dégradation, la documentation disponible ne permet guère que de croiser l'ordre zonal et l'ordre géomorphologique. L'étude systématique des paysages, canton après canton en quelque sorte, vient à son heure pour dépasser cet exercice. Elle réunit en effet les contingences des situations particulières et la rigueur des enchaînements dans la couverture superficielle et dans la biocénose associée. Divers exemples développables à ce niveau d'observation ont été suggérés dans le texte : notamment celui du milieu créé par la surpécoration et

par l'éolisation autour des forages, celui du ravinement préférentiel du segment aval du remblai dans certains groupes de vallées et celui de la localisation régionale de la dégradation du segment ferrallitique amont.

La description géographique intégrée est la base des corrélations parce qu'elle associe un maximum de caractères, stables ou non. Sa valeur diagnostique dépend — les pédohydrologues l'ont montré — du degré de conser-

vation du paysage dans la mesure où le nombre de caractères pertinents se réduit et où leur organisation dégénère au fur et à mesure de la destruction de l'environnement.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 30 mai 1990.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL (J.), 1986. — Evolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne. Exemple du Burkina-Faso. C.I.E.H. Colloque international sur la révision des normes hydrologiques, suite aux incidences de la sécheresse, 20-24 mai 1986. Ouagadougou, 19 p. *multigr.*
- ALBERGEL (J.), 1987. — Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m² au km². Etude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse Doc. Univ. Paris VI, 336 p., *multigr.*
- ALBERGEL (J.), VALENTIN (C.), 1988, à paraître. — « Sahéli-sation » d'un petit bassin versant : Boulsa Kognere au centre nord du Burkina Faso. Colloque Nordeste-Sahel. I.H.E.A.L. Paris.
- AUBERT (G.), 1946. — Premières observations sur les sols du Sénégal. Les sols de la région de Louga. ORSTOM, Paris, *multigr.*
- AUBERT (G.), 1948. — L'érosion éolienne dans le nord du Sénégal et du Soudan français. Conférence Africaine des Sols. Goma. *Bull. Agr. Cong. Belg.*, XL, com. N° 103.
- AUBREVILLE (A.), 1949. — Climat, Forêts et Désertification de l'Afrique. Soc. Edit. Geog. Marit. Colon. Paris.
- BARRETO (S. PEREIRA-), 1964. — Reconnaissance pédologique du Ferlo-Sud. Centre ORSTOM de DAKAR, 42 p. *multigr.*, 1 carte pédologique.
- BARRETO (S. PEREIRA-), 1966. — Carte pédologique du Sénégal au 200 000^e. Tambacounda-Bakel. Centre ORSTOM de DAKAR, 53 p., *multigr.*, 1 carte pédologique.
- BERTRAND (R.), 1972. — Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Siné Saloum (Sénégal). *Agronomie Tropicale*, XXVII, n° II.
- BLOT (A.), LEPRUN (J.C.), 1973. — Influence de deux roches-mères sur les altérations et les sols. Un exemple sur le socle cristallin au Sénégal oriental. Paris, *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, V (I) ; 45-47.
- BOULET (R.), 1974. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, n° 85, 1978, 272 p.
- CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1987. — Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, *multigr.*, 151 p.
- CHARREAU (C.), 1970. — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. I.R.A.T. et Min. Dev. Rural Sénégal, Dakar.
- FAUCK (R.), 1956. — Evolution des sols sous culture mécanisée dans les régions tropicales. *VI Congr. Int. Sc. Sol.*, Paris, D, IV : 379-382.
- FAUCK (R.), 1962. — L'utilisation des études de sols pour l'établissement d'un système conservatoire d'utilisation des terres en Casamance. ORSTOM, Dakar, *multigr.*
- FAUCK (R.), 1969. — Bilan de l'évolution des sols de Sefa (Casamance) après 15 ans de culture continue. ORSTOM, Dakar, *multigr.*
- CHAUVEL (A.), 1977. — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de Moyenne Casamance. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 62, 532 p.
- FELLER (C.), 1975. — Etude des pâturages naturels du Ferlo-Bondou. ORSTOM, DAKAR, 122 p., *multigr.*, 1 carte pédologique.
- FELLER (C.), 1977. — Evolution des sols de défriche récente dans la région des terres neuves. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 3, 1977.
- FOURNIER (F.), 1960. — Climat et érosion. P.U.F., Paris.
- GAVAUD (M.), 1975. — Sols et pédogenèse au Niger méridional. ORSTOM, Paris, 4 vol., *multigr.*, 1 252 p. et *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 76, 1977.
- HUBERT (H.), 1977. — Le dessèchement dans les régions sénégalaises. *Ann. Géol.*, XXVI, p. 379. Cité in A. KANE, 1985.
- KALOGA (B.), 1966. — Carte pédologique du Sénégal Oriental à l'échelle du 1/200 000. Dalafi. ORSTOM, Dakar, *multigr.*
- KALOGA (B.), 1987. — Le manteau kaolinique des plaines du Centre-Sud de la Haute-Volta. ORSTOM, Paris, *Etudes et Thèses*, 343 p.

- KANE (A.), 1985. — Le Bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particuliers. Invasions marines dans la vallée du Fleuve. Thèse, Un. Nancy II et ORSTOM Dakar, 205 p. *multigr.*
- LE BORGNE (J.), 1988. — La Pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Un. Cheikh Anta Diop, Dakar, 94 p. *multigr.*
- LE BRUSQ (J.Y.), LOYER (J.Y.), 1984. — Evolution de la salinité et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le delta du fleuve Sénégal. ORSTOM, Dakar, *multigr.*
- LE BRUSQ (J.Y.), LOYER (J.Y.), MOUGENOT (B.), CARN (M.), 1987. — Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium, de fer et de magnésium ; leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. *Science du Sol*, 25 (3) : 173-184.
- LE BRUSQ (J.Y.), 1986. — Remarques à propos du résumé de la thèse de C. Marius. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXII (4) : 441.
- LERICOLLAIS (A.), 1972. — Etude géographique d'un terroir Sérère (Sénégal). ORSTOM, Paris, *ASAS*, 7, 110 p.
- LOYER (J.Y.), BOIVIN (P.), LE BRUSQ (J.Y.), ZANTE (P.), 1986. — Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal). Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. III Congr. Int. Sols Sulfatés Acides. Dakar, 6-11 janv. 1986.
- MAIGNIEN (R.), 1954. — Différents processus de cuirassement en A.O.F. II. Conf. Interafricaine des sols. Léopoldville, doc. 116 : 1469-1486.
- MAIGNIEN (R.), 1965. — Carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000. ORSTOM Paris. *Sér. Notices et cartes*, n° 24, 63 p., 1 carte.
- MARIUS (Cl.), 1976. — Effets de la sécheresse sur l'évolution des sols de mangroves — Casamance — Gambie. ORSTOM, Dakar, 79 p., *multigr.* ; et *Bull. IFAN*, T.41, sér. II, 669-691, 1979.
- MARIUS (Cl.), 1985. — Mangroves du Sénégal et de Gambie. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, 193, 309 p. ; résumé in *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* XXI, I, 1984.
- MICHEL (P.), 1973. — Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie (étude géomorphologique). *Mém. ORSTOM*, 63, 2 vol., 752 p.
- MOUGENOT (B.), ZANTE (P.), 1986. — Study of factor acting on reflectance of salted and acidified soils surfaces in Casamance (Senegal). Symp. on remote sensing for res. dev. and environmental manag., 25-29 august 1986, Enschede, The Netherlands.
- MOUGENOT (B.), DIAW (A.T.), 1987. — Etude des états de surface des sols de la région de Nthiagar/Rono par télédétection. Pseudo delta du Sénégal. Utilisation des données satellitaires SPOT. Premiers résultats (PEPS n° 39, image 4). Coll. Int. SPOT I, 23-27 nov., 1987, Paris.
- MONTOROI (J.P.), PERAUDEAU (M.), ZANTE (P.), 1986. — Essai de mesure de la perméabilité des sols de la séquence de Koubalan. ORSTOM, Dakar. Travaux en cours.
- UNESCO, 1986. — Histoire Générale de l'Afrique. Présence Africaine/Edicef/UNESCO, ISBN 92-3-202433-0.
- USAID, 1986. — Cartographie et télédétection de la République du Sénégal. Etude de la géologie, de l'hydrologie, des sols, de la végétation et des potentiels d'utilisation des sols. Dir. de l'Aménag. du Terr., Dakar et AID, Remote sensing Institute, 653 p., 20 cartes.
- VALENTIN (C.), 1983. — Effets du pâturage et du piétinement sur la dégradation des sols autour des points d'eau artificiels en région sahélienne (Ferlo, Nord Sénégal). A.C.C. Lutte contre l'aridité en milieu tropical. ISRA, GERDAT, IEMVT, ORSTOM (Dakar). 34 p., phot.
- VIEILLEFON (J.). — Les sols des mangroves et des tannes de Basse Casamance (Sénégal). *Mém. ORSTOM*, 83, 292 p., 10 pl. phot.

NOTE par M.A. MISSET

Il nous paraît intéressant de juxtaposer, à titre de comparaison, une carte du Burkina-Faso présentée par ALBERGEL dans son article intitulé *Evolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne, Exemple du Burkina-Faso* paru en 1986 (fig. 3).

L'auteur y déclare notamment :

Ce travail montre (...une) persistance de la sécheresse depuis 1963-1970 (...) ;

- *une descente en latitude des isohyètes interannuelles pour la décennie 1970-1980 de presque deux degrés ;*
- *une concentration d'années exceptionnellement sèches depuis 1970 ;*
- *une très forte diminution des quantités d'eau apportées par les précipitations journalières supérieures à 40 mm.*

La carte de la figure 3 ne le montre pas aussi nettement, mais la comparaison des figures 1 et 3 fait apparaître qu'au Burkina, diachroniquement, la dérive des isohyètes est aussi forte au nord qu'au sud, alors qu'au Sénégal elle semble moins forte au sud ; en outre la dérive des isohyètes semble plus forte au Burkina qu'au Sénégal ; ces deux constatations paraissent s'expliquer par la continentalité du Burkina, laquelle se traduit par ailleurs synchroniquement — c'est-à-dire à un moment donné — par un fléchissement général des isohyètes vers le sud d'au moins un degré lorsqu'on va du Sénégal vers le Burkina.

Il ne faut pas oublier que ces rapprochements ne peuvent qu'ouvrir le débat, car en réalité les isohyètes qui figurent sur la carte du Sénégal ne correspondent pas exactement aux mêmes périodes de mesure et ne permettent pas, par conséquent, de tirer des conclusions péremptoires.

En ce qui concerne les événements pluvieux exceptionnels, dont les effets sont les plus dévastateurs, l'auteur poursuit :

En considérant les valeurs de pluviométries journalières extrêmes (c'est-à-dire les plus fortes) la période 1969-1983 ne se singularise plus du reste des séries. Ces précipitations extrêmes sont indépendantes à la fois de la pluviosité annuelle et du type de pluie (grain isolé, ligne de grains, pluie de mousson).

L'estimation de la pluie journalière de récurrence décennale n'est pas modifiée par les observations faites dans la période actuelle affectée par la sécheresse.

Bien qu'un peu paradoxale cette remarque comme la précédente souligne le fait que les pluies extrêmes sont des phénomènes singuliers, davantage liés au type de climat régnant qu'à ses variations. En revanche, le nombre de ces pluies extrêmes est bien sujet à variation.

En conclusion, la carte des fluctuations montre que le climat de l'Ouest africain continental s'est humidifié de la décennie 1920 à la décennie 1960 (l'isohyète 800 ancienne du Sénégal correspond à la période 1933-1963), puis s'est asséché jusqu'en 1980 au moins. Les isohyètes étaient descendues alors jusqu'à une limite plus méridionale que celle des années 1920.

Le Sénégal décrit par GAVAUD a dû suivre une évolution climatique tout à fait analogue. Les données climatiques correspondantes y existent : OLIVRY a établi des cartes du Sénégal, où figurent les isohyètes normales des années 1930-1960 et 1950-1980 (communication orale de cet auteur) ; il suffirait de les publier.

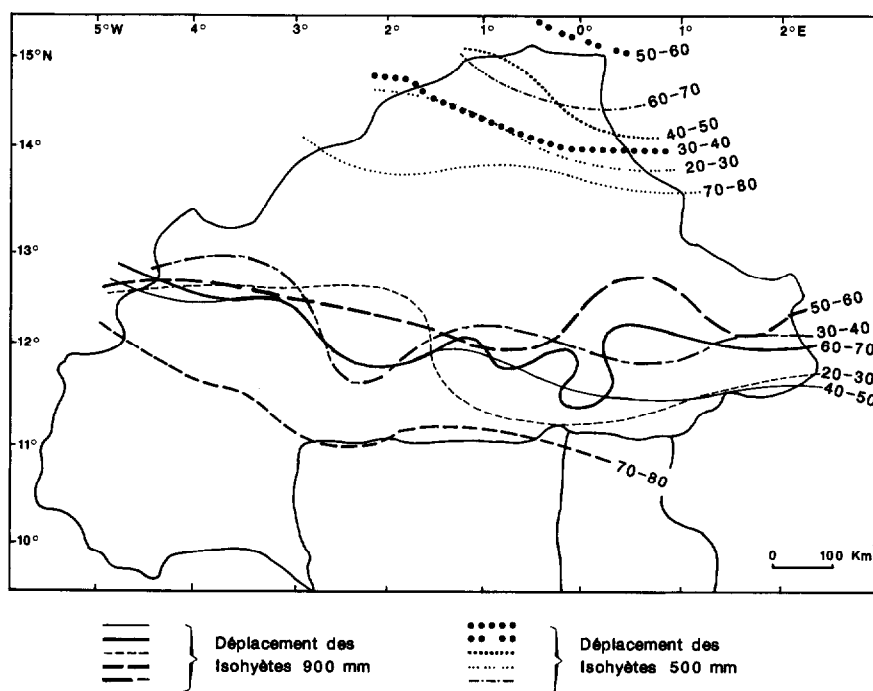


FIG. 3. — Déplacement des isohyètes au Burkina-Faso (ALBERGEL J., 1986).
Isohyetal lines shifting in Burkina-Faso.
900 mm and 500 mm lines shifting.