

SOLTROP BP 375 LOME

UNIVERSITE DU BENIN - ORSTOM

Premier séminaire Franco-Africain
de Pédologie Tropicale.

6-12 Février 1989 LOME TOGO

La pratique des études de paysages pédologiques;
deux exemples au Vénézuéla et au Sénégal.

M. GAVAUD

pédologue

Centre ORSTOM de HANN
EP 1386 DAKAR

12 janv. 1990
cccl

08 JAN. 1990

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 27.376 ex 1

Cote : B P111

METHODES USUELLES EN GEOGRAPHIE DES SOLS

Premier groupe : représentation globale et cartographie à petite échelle.

Les descriptions les plus simples et les plus spontanées de la couverture se limitent aux caractères corrélables à des données géographiques d'extension connue à petite échelle. La répartition par grands volumes, enveloppant tout ou partie des profils, de désignation immédiate facile, est en effet suffisamment évidente pour être souvent accessible à une simple étude préliminaire. La géographie zonale utilise des critères d'ordre climatique ou biocénotique. Les reconstitutions historiques d'échelle continentale (PEDRO et col., 1984) associent une synthèse pédologique à une chronologie. L'emploi d'une taxonomie de rang élevé ou de références générales est alors indispensable. Le premier cas relève des Classifications génétiques qui y trouvèrent leur origine et y conserve leur meilleur emploi. Le second implique ce que depuis peu on nomme 'ensembles cognats' (AFES, 1988).

L'intérêt didactique de cette procédure, venu d'un accord entre l'échelle et une présentation globale des faits, est renforcé par le flou conceptuel et le manque de données entre les unités de terrain les plus petites et les plus grandes, entre les toposéquences et les surfaces ou les zones. On peut en donner comme exemple l'état de la dégradation des sols du Sénégal (GAVAUD, 1988). Il est documenté par la carte des isohyètes et de leur déplacement pendant la sécheresse (LE BORGNE, 1988), par la carte des dégradations de la végétation estimées sur l'imagerie satellitaire (USAID, 1985), par un ensemble de notices pédologiques (dont MAIGNIEN, 1965), par des observations de terrain récentes sur tout le territoire. Ces dernières montraient qu'une présentation par petites régions était la meilleure parce que l'érosion dépend fortement de conditions locales physiques et humaines. Les références bibliographiques

ne s'y prêtant pas, également pour rester dans une terminologie familière, on a eu en fait recours à la démarche ordinaire consistant à croiser une carte morphopédologique au niveau des surfaces, globalisant les réponses spécifiques des sols, avec les cartes des isohyètes placés entre les zones, déterminant l'intensité de la dégradation. Cet exercice géographique est bien conforme à la définition liminaire puisqu'il revient à généraliser la distribution des caractères physiques et texturaux et à l'associer à celle des pluies et de la végétation. Le modèle verbal associé le plus simple consiste alors à décrire les progrès de la dégradation par un déplacement vers le Sud, au moment de la sécheresse, des zones biocénotiques, modulé par les propriétés des 'ensembles cognats' précités. Aux dépens de la rigueur scientifique on a gagné en force expressive en décrivant l'avance de 180 km vers le Sud du décapage mixte aréolaire hydrique et éolien du domaine Subaride et celle de 100 km de la dégradation propre aux Sols Ferrugineux Peu Lessivés.

La géographie des sols pratiquée à ce niveau vaut mieux qu'une expression commode d'une sorte de thématique à petite échelle. Elle est indispensable à l'étude comparée des caractères ou des compartiments superficiels des sols qui se modifient à peu près au même rythme et à la même échelle que les facteurs et les composantes climatiques et biocénotiques et qui, de ce fait, ne peuvent plus être assignés à toute autre structure plus ancienne, inerte et localisée de la couverture pédologique.. Nombreuses sont les études contenant des indications éparses mais convergentes d'une pédogenèse apicale à déterminisme surtout climatique dont l'autonomie ou même la discordance par rapport au reste du solum ont été progressivement démontrées depuis une vingtaine d'années. Si jusqu'en 1965 on étendait à --- tout le sol la dynamique que suggéraient les concordances avec une végétation encore diversifiée (MAIGNIEN, *ibid.*), en 1985, après les massives destructions de la sécheresse, la totale indépendance des organisations superficielles à l'égard du reste du sol était démontrée (VALENTIN, 1985), en ouvrant un nouveau chapitre de l'étude des redistributions horizontales (BOULAIN, 1986). Entre temps de nombreuses adaptations rapides à la végétation et au climat étaient établies pour les structures

RESUME

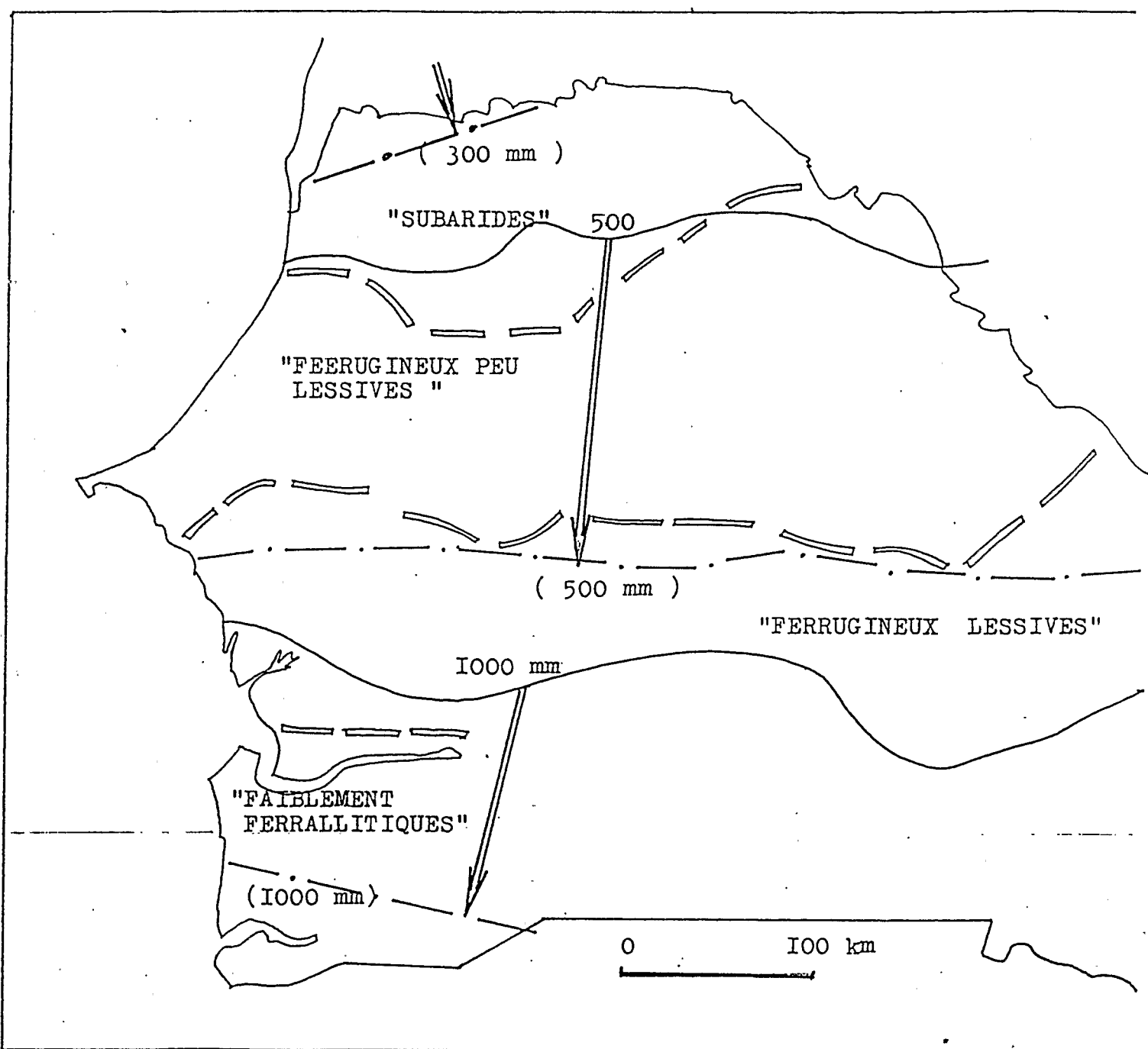
Il existe des relations entre la modélisation pédologique et la perception du paysage dont cette communication présente quelques modalités pratiques illustrées de cas concrets afin d'en préciser l'exercice et la portée.

Un catalogue de solutions au problème de l'inclusion de critères de nature spatiale dans la caractérisation d'une couverture pédologique est proposé en première partie. Il est fondé sur ce que les ensembles principaux de références morpho-analytiques, taxonomiques, géographiques appliqués successivement aux sites, aux collections et aux paysages, organisant les données de l'inventaire et de la cartographie, ne sont pas indépendants. Ils sont en effet construits et associés en fonction de l'état des connaissances et de l'ordre de grandeur des phénomènes. Pour les besoins de la compilation la documentation peut être répartie entre cinq groupes selon la nature, la richesse et l'intégration de l'information.

Le premier groupe privilégie les facteurs et, comme expression géographique, la zonalité. Une présentation de la dégradation des sols au Sénégal montre qu'il garde une valeur didactique. Le second groupe, taxonomique mais assorti d'indications d'ambiance pédogénétique, structure toujours la pédologie ordinaire, la masse cartographique et une grande partie des applications. Le troisième prend les segments du paysage comme éléments de la stratification des observations. Il est en faveur auprès des géographes, des pédologues et des naturalistes parce que, de conception simple, facilitant la multidisciplinarité, il donne une première approximation du maillage paysagique à un coût acceptable. Le quatrième groupe ajoute une restitution à peu près continue des horizons dans une direction privilégiée et celle des voisinages probables partout. Le cinquième est celui de l'analyse structurale proprement dite dont la valeur heuristique tient

Fig 1. VARIATIONS DE LA DEGRADATION DES SOLS DUES A LA SECHERESSE AU SENEGAL.

I.. ZONALITE ET DEPLACEMENTS DES ISOHYETES



DEPLACEMENT DES ISOHYETES

ZONALITE

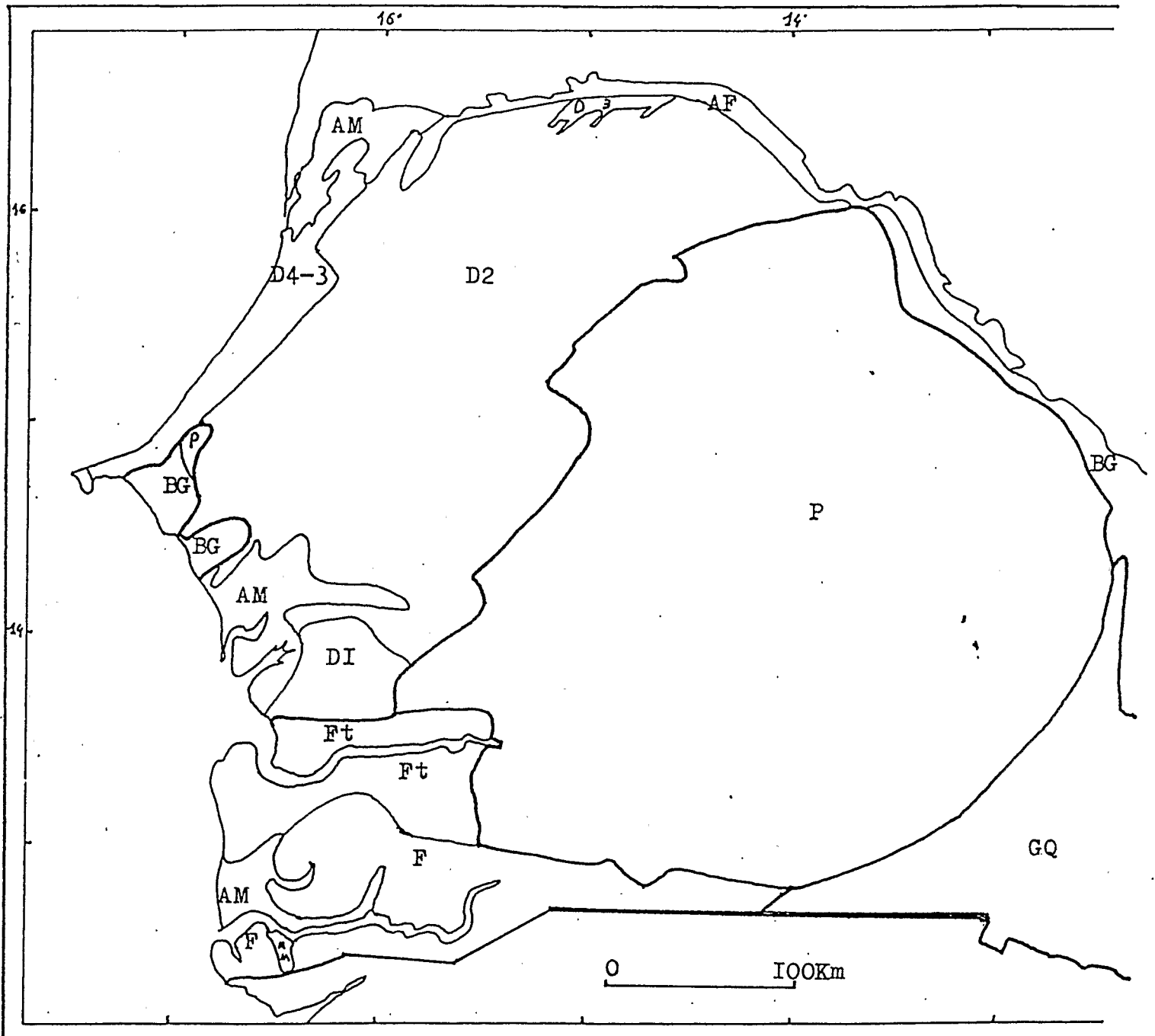
- 1933 - 1963
- - - 1968 - 1984
(Le Borgne, 1988)

— — — Limites Sud de Groupes de sols.

Fig. 2

VARIATIONS DE LA DEGRADATION DES SOLS DUES A LA SECHERESSE
AU SENEGAL.

II. Grandes unités morpho-pédologiques



P - Surface Pliocène polygénique

F - Plateaux ferrallitiques

Ft - id à sols transformés

GQ - Glacis étagés cuirassés

BG - Bas Glacis

DI - Dunes anciennes, inter-grades ferrallitiques

D2 - Dunes anciennes, ferrugineux

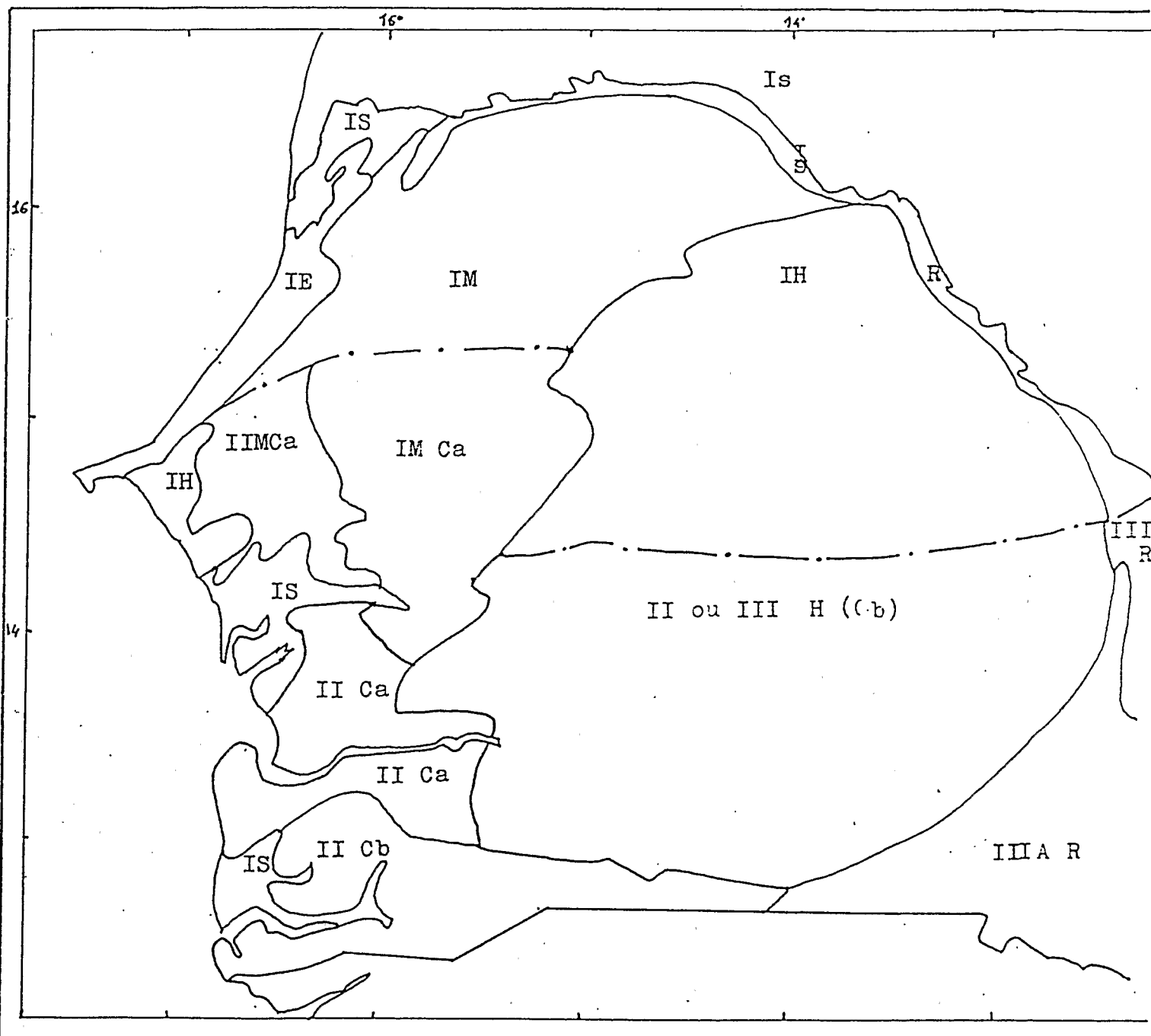
D3-4 - Dunes récentes

AF - alluvions fluviatiles

AM - alluvions marines

VARIATIONS DE LA DEGRADATION DES SOLS DUES A LA SECHERESSE
AU SENEGAL .

III. facteurs zonaux X grandes unités pédo-morphologiques.



VARIATIONS DE LA DEGRADATION
 I. Forte (au moins 40 % du
 couvert détruit)
 II. Moyenne
 III. Faible ou non observée.

MODES DE DEGRADATION
 E. éolien
 M. mixte aréolaire
 H. hydrique aréolaire
 R. ravinement localisé
 Ca. cultural, ancien
 Cb. cultural, en extension
 S. chimique; s: potentiel.

des horizons de surface ferrallitiques (HUMBEL, 1976; CHAUVEL, 1977), pour les matières organiques (FELLER, 1977) et les solutions du sol (ROOSE, 1980). Beaucoup reste à faire pour la prise en compte géographique de ces phénomènes.

Second groupe : représentation taxonomique et cartographie par associations.

La plupart des références, professionnelles ou vulgarisées, est contenue dans ce second groupe documentaire qui inclut la majorité des cartes régulières à petites et moyennes échelles. Elles sont construites selon les règles classiques fondées sur l'existence de surfaces élémentaires à la fois homogènes et correspondant à des volumes de bas niveau taxonomique, polypédons et "soil landscape bodies" (SCHELLING, 1970). La diversité de la couverture est modélisée par la combinaison de telles surfaces. Elle s'exprime toute entière par les variations taxonomiques des contenus et par la géométrie des contours (FRIDLAND, 1974; BOULAINÉ, 1975). Les descriptions étant normalisables et leur interprétation étant indépendante de tout voisinage interne et externe, la méthode par associations taxonomiques possède une grande efficacité qui dès les années 1930 (CONACHER, 1977) la fit s'imposer au détriment de conceptions parfois aussi anciennes mais qui ne purent pas être formalisées, telles la catena de MILNE (1935) qui intégrait le voisinage topographique et la tessera de JENNY (1958, in CRUICKSHANK, 1972) qui accrochait un petit morceau de la biocénose à l'unité de description pédologique. Comme il n'est pas si facile de trouver toujours des surfaces élémentaires homogènes, comme il n'est pas si sûr que le sens des descriptions soit indépendant du site où on les relève, comme on peut préférer, même pour une taxonomie, d'exprimer plutôt des variations que de codifier des standards, les pédologues de terrain, depuis près de 60 ans, sont souvent conduits à outrepasser, pour exprimer des différenciations pédologiques et des régularités géographiques, un langage qui dégrade les premières et ignore les secondes. Les solutions à ce double problème peuvent être classées selon le poids relatif des caractéristiques pédologiques ou paysagiques en une série dont deux extrêmes sont présentés ci-dessous, pris

dans la collection de cartes du Sénégal. En 1966 KALOGA a recours à un "profil-type" pourvu, pour chaque taxon, d'une liste unique d'horizons décrits avec une marge de variations suffisantes pour intégrer les observations de nombreux sites. Le paysage est condensé par les notations indispensables à la définition d'une "ambiance pédogénétique" et à la compréhension de son fonctionnement. En 1986 l'USAID choisit l'alternative. La description pédologique tend à se réduire aux références taxonomiques et elle est croisée, dans la légende, avec une typologie géomorphologique et lithologique indépendante. Dans le cas général, pour ne pas déborder exagérément les capacités d'information de la taxonomie, il faut soit amalgamer les observations pédologiques soit gommer l'organisation du paysage, en prétextant par exemple de l'échelle. De leur côté les spécialistes ont proposé des solutions pour améliorer le rendu de la continuité, soit par des modèles verbaux et géométriques (FRIDLAND, BOULAINÉ, *ibid.*), soit par la statistique des variables pédologiques et des distances d'observations (GIRARD, 1983). De fait les premiers ont été utilisés pour améliorer les légendes du troisième groupe présenté ci-après. Les seconds exigent une densité d'observations qui n'est pas atteinte dans les études courantes où, précisément et paradoxalement, on demande aux corrélations géographiques de réduire les coûts, corrélations qui ne sont exprimées que dans l'approche suivante.

Troisième groupe : segmentation et cartographie géographiques

La forme la plus simple et la plus employée aux échelles moyennes de la cartographie des paysages fait d'une segmentation systématique du modelé sur des critères externes un préalable obligatoire de la stratification des observations pédologiques. Un taxon ou une suite définie de taxons ou de types caractérisent ces unités élémentaires du modelé, facettes ou segments (BEAUDOU, 1980). La juxtaposition ordonnée de ces derniers recompose le paysage (land system). Cette procédure convient à la couverture tropicale, fortement structurée, où des associations spécifiques des sols, des formes, de la végétation

sur des panneaux bien délimités suggèrent une histoire ou un déterminisme propres à chacune. Les cartographies de ce groupe tendent à augmenter mais témoignent, par leur diversité de présentation, d'une doctrine en pleine évolution ou, si l'on préfère, de difficultés nombreuses et mal résolues tenant à la conception du paysage pédologique, à l'intégration des données et à leur expression.

Le premier obstacle est qu'il n'existe pas de doctrine unique qui permette de définir le paysage et ses parties, donc de procédure universelle de découpage. Les plus pessimistes des géographes pensent même que cette opération est parfaitement arbitraire car il n'y aurait pas d'objets naturels spatiaux significatifs (OPENSHAW, 1981). Les optimistes croient au contraire que "taxonomie et chorologie aboutissent au même résultat", que les ressemblances et les proximités ajoutent leur sens (RICHARD, 1974). La cartographie strictement taxonomique s'accommode de la première opinion, celle des paysages implique une adhésion au moins partielle à la seconde. Il n'est pas si facile de la suivre parce que les règles de partition dépendent de trois logiques d'ordonnement. La première, géographique, est celle des unités dynamiques, des hiérarchies de bassins versants. La seconde, pédogénétique et historique, est celle des volumes de sols, correspondant aux surfaces à petite échelle, aux segments à grande échelle. La troisième s'exprime par des variations de complexité ou de niveau de la Classification. La voie choisie le plus souvent est mixte (POSS, 1982), pédologique aux débuts de l'aggrégation (soit la fin de la partition) avec des segments, des séquences, géographique ensuite, en acceptant un morcellement des surfaces entre des paysages distincts. Cette solution est actuellement la meilleure pour les paysages d'entaille, de contact, alors que pour les paysages à vieilles surfaces d'altération réparties par blocs massifs il est possible de conserver une logique plus purement pédologique de bout en bout, comme nous le verrons ci-après pour l'Amazonie Vénézuélienne.

Le second problème est celui de l'intégration des données, de la définition synthétique des parties du paysage. LUCAS (1978) a fait une analyse des procédés et des recherches en ce domaine.

Rappelons la démarche géométrico-taxonomique de FRIDLAND. BEAUDOU (1980), suivant CHATELIN (1977), propose une série d'objets de taille croissante, plutôt vus en volume pour les plus petits (phase, horizon, pédon, segment), en surface pour les plus grands (paysage, région). KILLIAN et TRICART (1974) ne retiennent que les caractères significatifs de la stabilité du paysage pour leurs cartes 'écographiques intégrées'. CONACHER (1977) propose un référentiel de "surfaces unités" fondé sur des processus pédo-morphologiques. Aucune de ces solutions n'est générale et nombreux sont les auteurs à choisir pour leurs cartes et notices d'exposer séparément, en série ou en parallèle, deux ou trois modes d'association des sols dans la taxonomie, dans les unités dynamiques, dans les ensembles géomorphologiques et biocénotiques. Les artifices, divers, vont d'un texte multiple (VALLERIE, 1973), à un colonnage astucieux (LUCAS, *ibid.*). Le procédé est lourd, d'autant plus qu'il s'accompagne parfois d'une manipulation d'échelles graphiques, mais finalement sage et recommandable car il vaut mieux conserver l'information que la perdre dans une synthèse qui n'aurait qu'une valeur locale. Il faut ajouter que certaines réalisations graphiques inspirées ont une grande force expressive et dépassent leurs commentaires, telles les cartes à fin pastillage segmentaire de Centrafrique (BOULVERT, 1976 à 1983).

Le troisième obstacle est lexicographique. Si les données sont malaisément intégrables ce n'est que parcequ'elles sont exprimées dans des langages incomplets et incompatibles, propres surtout à l'analyse dans des domaines techniques séparés, ont pensé un groupe de naturalistes et de géographes. S'appuyant sur une critique en règle (CHATELIN 1979, 1982) ils proposent une solution radicale (BEAUDOU et al., 1978). Ils divisent tout l'espace bio- et lithosphérique en couches successives et les décrivent au moyen d'une nomenclature unifiée, transdisciplinaire et néologique, privilégiant l'expression immédiate et synthétique des données structurales. L'apprentissage lexical fait, cette terminologie offre des possibilités combinatoires étendues dans le champ géographique. On peut par exemple créer des graphes de 'types' morphologiques, pédologiques et phytostructuraux ou des 'modèles verbaux' appropriés à la description de tout ou partie d'un paysage.

Le vocabulaire 'systémique' n'associe qu'un nombre limité de caractères simples pour rester dans les limites d'un volume acceptable. Défaut qu'il partage avec les taxonomies, autres langages synthétiques, il se prête mal aux études détaillées productrices d'un flot considérable d'informations. A l'enthousiasme des géographes répond ainsi la réticence des spécialistes.

En résumé dans cette géographie des sols la division du paysage dépend de la nature de ce dernier. Elle est de type pédologique sur les surfaces d'altération, mixte dans les entailles. La répétition des divers aspects de l'aggrégation paye sa sûreté par son manque d'élégance, afin de pouvoir intégrer toutes les données.

Quatrième groupe : toposéquences et voisinages

Ce groupe de travaux introduit dans la cartographie géographique de troisième type les données plus détaillées d'études de toposéquences ou de périmètres limités. La méthode tend à une reconstitution complète des horizons dans une direction privilégiée pour les unités paysagiques les plus importantes et à celle des voisinages probables de ces mêmes volumes partout. Les procédés ont été explicités pour une cartographie du Nord Cameroun (BRABANT et coL., 1985). A l'origine ils se proposaient de visualiser des anisotropies verticales taxonomiquement inextricables par des dispositions latérales simples d'horizons. Ils se sont développés dès lors que ces structures se sont révélées modélisables.

Les unités de description sont ici des horizons de référence dont il faut dresser un catalogue ad hoc adapté au terrain local. Les unités pédologiques de terrain sont des combinaisons spécifiques de ces horizons conçues en trois dimensions mais échantillonnées et modélisées en deux. Les modèles, ou 'catégories', dont le nombre limité a rendu possible cette méthode, sont définis par un ensemble d'horizons de références et par un schéma conservant les propriétés topologiques de continuité et de voisinage de l'original ainsi qu'une partie des propriétés géométriques de l'homothétie (proportions, sens des pentes et des courbures). Les figures les plus simples correspondent aux unités à organisation verticale, réelles comme des séries, ou fictives lorsque faute de données on adopte le profil-type du

second groupe méthodologique. Les dessins les plus complexes viennent des unités à organisation latérale, catenas ou toposéquences. Elles représentent donc des objets assez grands de l'ordre de grandeur du polypédon à celui d'un nombre limité, souvent un seul, de segments fonctionnels. Les références de la Classification ne sont données que sur des verticales appropriées correspondant à une identification taxonomique certaine. Les espaces intermédiaires situent le champ laissé libre aux identifications intercalaires ou impossibles et aux améliorations éventuelles. Toute la variabilité pédologique n'est donc pas exprimée en termes taxonomiques à la fois par principe et parce que il est difficile d'intégrer les données détaillées et non standardisées des études approfondies.

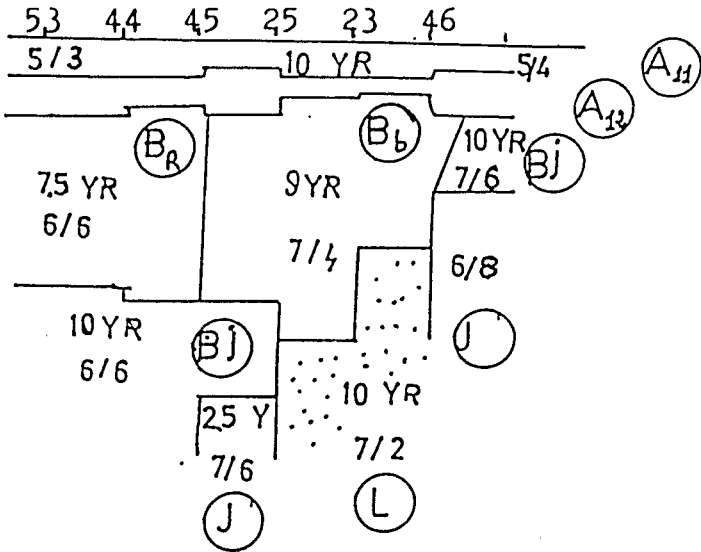
Il faut cependant noter que les catégories prises comme un tout peuvent se situer dans le champ taxonomique comme n'importe quel assemblage ordonnable d'horizons. De ce fait les unités cartographiques ascendantes par rapport à la catégorie peuvent être construites par tous les procédés mentionnés pour le troisième groupe documentaire, la voie pédologique étant toutefois davantage dans l'esprit de la méthode. En particulier le tracé des limites autour d'ensembles modélisés par ces 'catégories' est facilité parce que les changements dans les toposéquences correspondent à des modifications appréciables des facteurs d'état. Les légendes cartographiques peuvent aussi être disposées pour la triple lecture sus-mentionnée. Les unités cartographiques descendantes sont soit subordonnées à une thématique particulière, soit articulées sur ce que HUMBEL (1984) nomme les "points de différenciation", limites des enveloppes des horizons caractéristiques.

On peut aussi concevoir la 'catégorie' comme une suite de pédons dans laquelle les rangements des divers groupes de caractères sont corrélés, par exemple le drainage avec la couleur des Box, la nature et l'épaisseur des épipédons. Si un territoire est organisé de la sorte cette propriété doit apparaître en sériant une collection de ses profils prélevés systématiquement ou au hasard sur toute son étendue. En faisant un pari sur la véracité de la réciproque, à savoir que si une collection est ordonnable de la sorte le terrain correspondant est modélisable,

VOISINAGES PROBABLES DANS UN TYPE DE MODELE DUNAIRE

L'ordre des horizons B restitue celui des positions topographiques

Règle de la succession des couleurs des horizons B



A. Voisinages de la collection de profils.

A_{II1}, A_{II2} : épipédon

B_r : horizon ferrugineux jaune-rougeâtre

B_b : horizon ferrugineux brunâtre

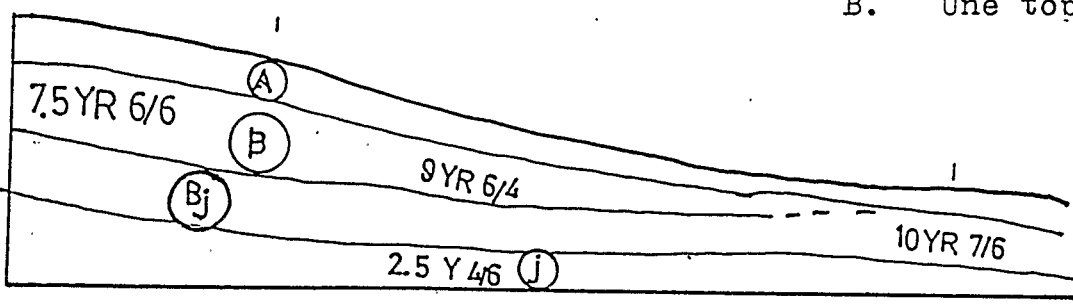
B_j : transition vers J.

J : horizon jaune profond

L : horizon blanc profond.

44

B. Une toposéquence réelle

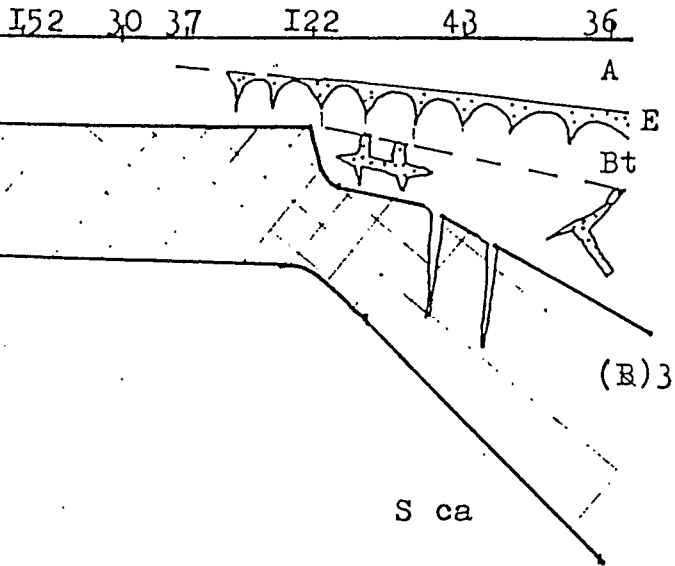


Source : FELLER (C.), 1974. Etude pédologique de la région de Panai. Centre ORSTOM de Hann, Dakar.

VOISINAGES PROBABLES

Regroupement morphologique corrélé avec celui des PH.

Règle des profondeurs croissantes vers l'aval des volumes massifs, polyédriques, prismatico-cubiques



A - non vertiques et/ou à colonnettes

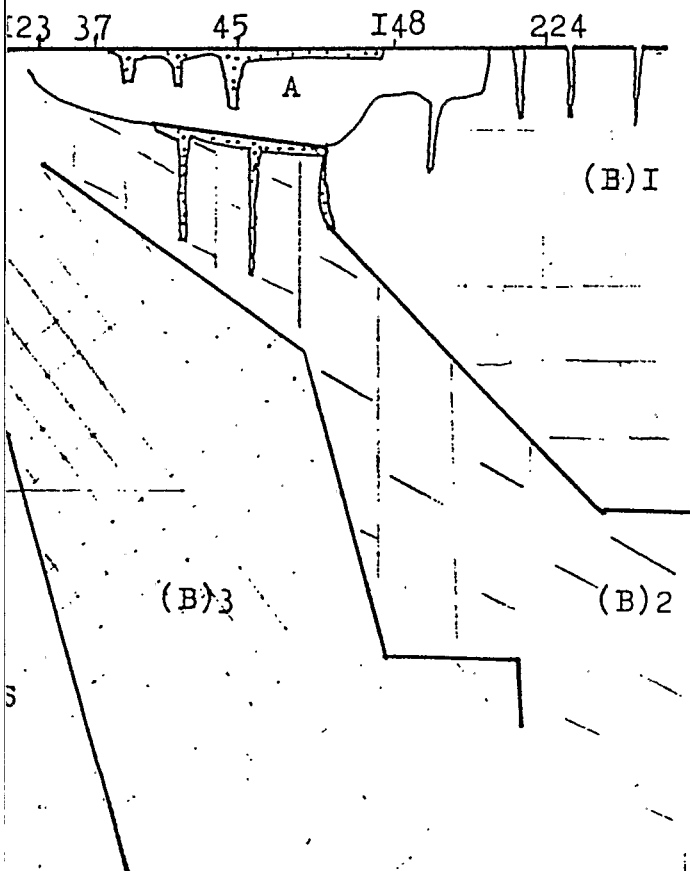
A : PH 6.5-7.4

E : éluvial

Bt : PH 8.1-9.4; colonnettes

(B)3 : PH 7.3-9.4; polyédrique

S ca : PH 9.4-9.9; massif à nodules calcaires.



B - vertiques

A : PH 5.5 à 6

(B) I : PH 5.7-6.3 ; prismatico-cubique

(B) 2 : PH 6.0 à 7.8; vertique

(B) 3 : PH 7.4-8.0; polyédrique

(S) : PH 6.3-7.1; massif, nodules Mn.

FELLER (C.), 1975.

Source : Etude des pâturages naturels du Ferlo-Bondou. Centre ORSTOM de Hann.

il est possible de restituer les 'voisinages probables' des horizons en redistribuant convenablement des ensembles de descriptions pris dans les travaux de cartographie de détail. La méthode est laborieuse et suppose une bonne connaissance du terrain mais le faible volume de la documentation directement utilisable pour les études de paysages vaut tous les efforts pour l'augmenter.

Cinquième groupe : l'analyse structurale complète

Ci-dessous ne seront mentionnés que les avantages pratiques de cette méthode (BOULET, 1982) que ne possèdent pas, ou à un moindre degré, les autres procédures.

Le relevé tri-dimensionnel donne la géométrie exacte des organisations; les sections les plus significatives, supposées dans le sens de la pente ordinairement; sont situées avec certitude.

L'indépendance des observations des caractères est améliorée par la possibilité de les représenter séparément dans des volumes complètement définis. Les corrélations qui fondent les volumes de référence sont établies avec plus de sûreté.

L'indépendance des observations dans le sol et en surface, de la topographie et de la biocénose, est également améliorée par une cartographie complète et séparée. Les concordances ou discordances sont ainsi observées avec plus de certitude car lues sur un réseau de lignes et non plus ponctuellement sur des verticales.

Les inférences dynamiques ou historiques sont mieux déduites et l'agrégation spatiale de type pédologique peut être fondée sur des bases génétiques ou fonctionnelles.

La densité et la pertinence des observations permettent de définir les 'champs géométriques' homogènes au sens de MATHERON (1965) où les calculs géostatistiques sont valides. De même la vérité de terrain des signatures et structures de l'imagerie est plus certaine.

Enfin, comme la masse d'informations produite par cette méthode (FRITSCH et col, 1986) n'est absorbable par aucune taxonomie ou typologie connue, le système de référence est encore plus local que ^{dans} la procédure précédente.

Conclusions

Les procédures descriptives dépendent des propriétés naturelles et de contingences pratiques. Inversement des facilités éprouvées à employer une méthode particulière on peut déduire, aux biais techniques près, les lois d'organisation du milieu correspondantes. Deux exemples, très différents, vont préciser cette relation. Le premier, celui de l'Amazonie Vénézuélienne, se situe près de l'équateur, sur un socle à épéirogenèse positive, avec une végétation indemne, des corps pédologiques très individualisés. Le second, celui du Sénégal, offre des climats tropicaux secs, de grands bassins sédimentaires, des biocénoses dégradées, des volumes pédologiques séparés ou polygéniques..

DEUX EXEMPLES : L ' AMAZONIE VENEZUELIENNE ET LE SENEGAL

L'Amazonie Vénézuélienne

Couvert de forêts et de marais ce territoire ne se prêta jamais à une approche rapide et globale. Plus tard lorsque l'imagerie radar fut disponible (MARNR) la disposition des vastes ensembles qu'elle révélait a paru trop compliquée pour être immédiatement élucidée par une combinaison simple de facteurs. Finalement, l'inventaire terminé, le poids extrême de la composante chronologique dans le déterminisme des sols et de leur végétation réduisit la cartographie à petite échelle au dessin des surfaces

La méthode des associations fut écartée pour donner plus de fidélité et d'ampleur à la présentation des cartes. La lecture des travaux des voisins Brésiliens (RADAMBRASIL, 1976) et Colombiens (CIAF, 1970) révélait des incertitudes dans le maniement de Soil Taxonomy pour les sols les plus fréquents, Oxy-sols et Ultisols. Il paraissait d'autre part indispensable de restituer les structures évidentes de l'imagerie et du terrain. Une liste d'horizons principaux, avec des modifications locales des définitions originales, un étiquetage taxonomique des segments, des profils-types pour la caractérisation globale de grandes unités constituèrent le système de référence, descriptif mais sans portée cartographique.

Ce sont les fortes structures du paysage, admirablement rendues par le radar, faites de multiples ensembles bien cernés possédant leurs propres associations de formes qui imposèrent une procédure de troisième type et inspirèrent les hypothèses de travail suivantes (M. GAVAUD et al., 1986) : " la couverture de sols est modélisable par un nombre fini de volumes regroupés en ensembles distincts, ordonnés par emboîtements et juxtapositions, correspondant à des échelles de différenciation du paysage successives" . Les plus petits volumes étant ici des horizons, ils se groupent sur de faibles distances en une ou en un petit nombre de toposéquences, puis ces dernières se juxtaposent sans grandes variations sur des surfaces beaucoup plus étendues, qui à leur tour se groupent en un ordre défini. La variété varie par sauts en fonction de la distance comme dans le modèle de base utilisé en phytogéographie. Les formes varient de façon parallèle. La forme élémentaire de terrain, colline des modèles polyédriques ou polyconvexes, correspond aussi au motif élémentaire de l'imagerie parcequ'il est le support du petit groupe de toposéquences qui se répète indéfiniment sur la surface. Elle est segmentée selon les coupes topographiques, biocénétiques et autres pour les besoins de l'étiquetage taxonomique. En se reproduisant par juxtaposition répétitive le motif compose dans l'image une mosaïque spécifique d'un "type de relief" (land system). La juxtaposition de mosaïques analogues engendre le "type de paysage" (land region) d'une surface bien définie. Entre la surface et l'unité de modèle il peut exister des regroupements intermédiaires , types de paysages légèrement différents constituant les divers panneaux d'une même surface qui ont acquis quelque individualité le plus souvent géométrique^{ou} quantitative : contours des collines, importance des horizons globulaires, etc.. du fait de différences locales d'ordre lithologique le plus souvent.

L'étagement admettant une telle description est tout entier sur le socle Précambrien , complet sur les granitoïdes, lacunaire mais analogue sur le sédimentaire ou le métamorphique siliceux. Comme il paraît corrélable avec d'autres parties du Gondwanaland (Madagascar, Cameroun) la méthode d'étude ou'il a inspiré pourrait avoir quelque généralité. Il comprend :

- entre 1000 et 1700 m une haute surface rocheuse protégée par de très anciennes silicifications (DUBROEUCQ, 1986).
- entre 1100 et 14000 mm une haute surface bauxitique à modelé polyédrique.
- entre 825 et 500 m puis entre 100 et 500 m deux surfaces ferrallitiques polyconvexes comparables aux surfaces Néogènes de Guyane (BLANCANEUX, 1981).
- une plaine d'altération à sols ferrallitiques jaunes et humifères (Acric Umbriorthox).

- entre 70 et 100 m une plaine d'érosion à podzols et tourbes. Toutes les limites sont fortes, escarpements, lignes de fractures, limites du front de granitisation, fronts d'érosion régressive et de transformation.

Les insuffisances techniques ou de fonds sont apparues pendant et après les travaux. Dans les plaines le recours à des toposéquences détaillées a été nécessaire parce que le repérage topographique disparaît et que le calage des sols par des critères de surface ne peut plus être préjugé. Sur les hautes surfaces ferrallitiques le relevé même systématique des segments au niveau taxonomique ne donne qu'une faible idée de la complexité pédologique (MULLER, 1988).

Le Sénégal

La période pluvieuse de 1945 à 1967 qui permettait de corréler les sols et une végétation alors plus diversifiée fut largement mise à profit pour bâtir une zonalité du Subaride au Ferrugineux (MAGNIEN, 1965). Les études ultérieures, révélant les héritages dans tout le domaine tropical (GAVAUD, 1968), auraient dû restreindre ce déterminisme aux épipédons mais le firent oublier jusqu'à ce que les destructions massives de la sécheresse récente le fassent réintroduire à propos des pellicules sahéliennes.

La cartographie taxonomique fut ensuite pratiquée avec un succès préparé par la classification (AUBERT, 1964) qui était un épitomé de grands paysages pédologiques locaux : dunes des Sols Subarides, glacis des Sols Ferrugineux Lessivés, plateaux des Sols Faiblement Ferrallitiques. En réaction contre les difficultés qu'elle ne résolvait pas elle se prolongea par des travaux de détail.

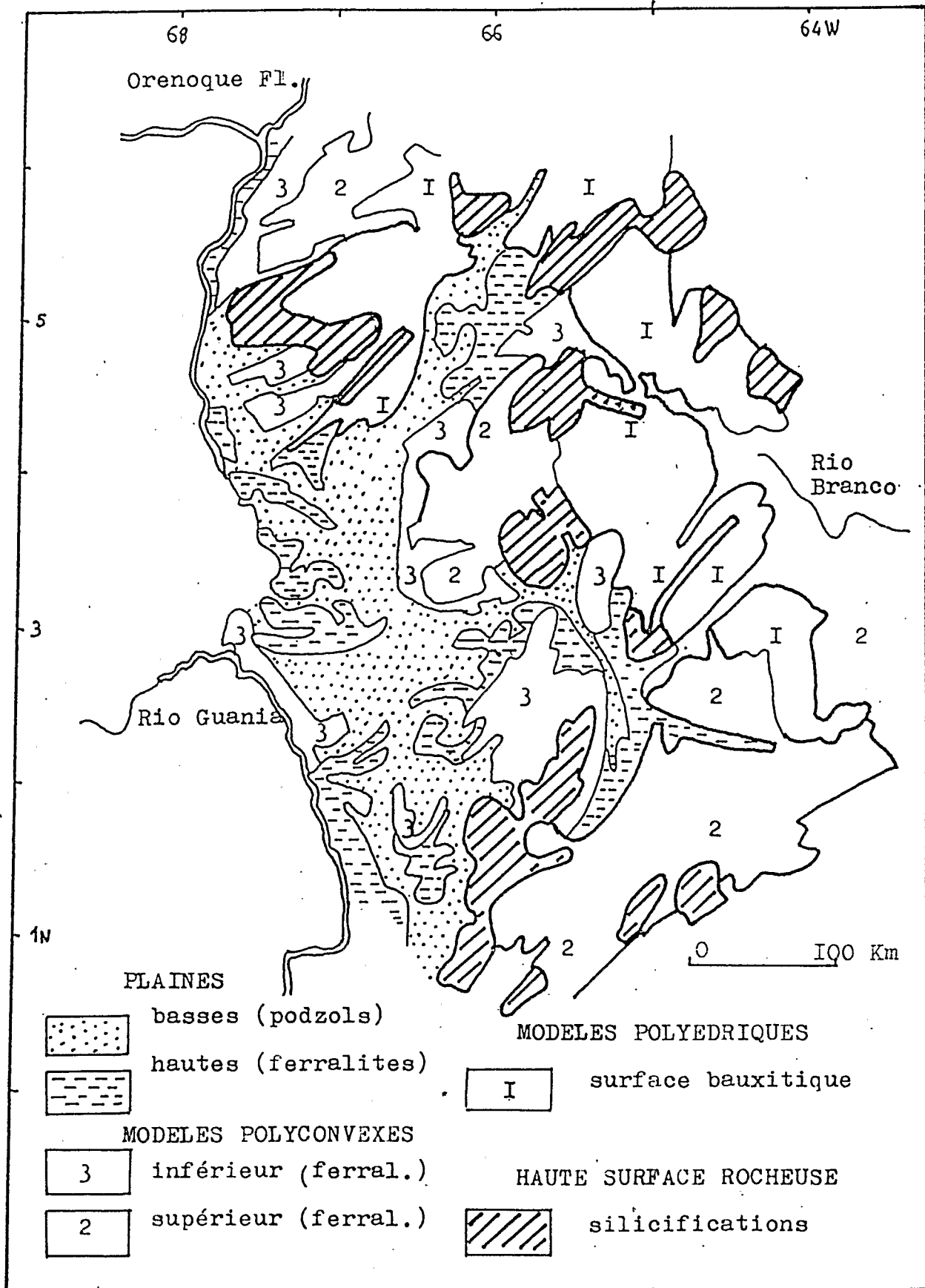
Ce ne fut donc pas la cartographie des paysages qui la remplaça

en dehors de travaux limités de l'école écogéographique (BERTRAND, 1972). Toutefois les grands ensembles pédo-géomorphologiques, dont nous avons déjà noté que leur mise en évidence ne relève pas d'une analyse très fouillée, étaient connus à l'époque (MICHEL, 1972). Il est dès lors intéressant de relever ce qui dans les structures locales a pu contribuer à en différer l'étude systématique.

Les beaux étagements des surfaces Mésozoïques et Néogènes n'existent plus ou sont réduits à des chicots. Les formations les plus anciennes d'importance sont les grands monoclinaux Pliocènes du 'relief intermédiaire', produits de la dernière pédiplanation tropicale généralisée (GRANDIN, 1983) annonçant, par le caractère ferrugineux de leur cuirasse, la pédogenèse Quaternaire. Les glacis cuirassés qui lui succèdent se réduisent essentiellement à l'épisode Moyen Glacis (ESCHENBRENNER, 1970) qui par ailleurs se propage par des chanfreins étendus mais peu décelables sur les plateaux Pliocènes. En aval les sols d'altération du bas glacis, puzzle d'assemblages minéralogiques variés, prennent peu d'extension au Sud entre les cuirasses et disparaissent au Nord sous plusieurs formations de remblais et de dunes. Or le tout tient sur 100 m de dénivelée au plus, en général sur 50 m. Au Sud du pays, dans le bassin subsident de Basse Casamance, on voit même les vieux plateaux ferrallitiques s'enfoncer littéralement sous des terrasses marines Holocènes. En dehors d'une marge du socle au Sud-Est où les étagements Quaternaires ont été décrits, les formes s'étirent interminablement et se simplifient sur la couverture sédimentaire où entre le vieux plateau et le versant remblayé il n'y a guère que d'étroites corniches cuirassées ou éboulées. A l'uniformité topographique s'ajoute paradoxalement une diversité interne de la couverture foisonnante, malaisément taxonomisable et de repérage externe effacé dans les bassins dégradés. Le qualificatif polygénique est venu à propos pour réserver l'étude des petites stratigraphies qui empilent ce qui devrait s'étager, générales sur la couverture sédimentaire et ses marges : conglomérats et cuirasses, dunes et remblais, croûtes calcaires et jusqu'aux lithométéores de la frange Sud-Sahélienne (Mc TAINSH, 1984). Dans les matériaux homogènes la seule différenciation pédologique crée autant de diversité : polysequa dunaires, compartiments apicaux transformés superposant volumes ferrugineux et ferrallitiques (CHAUVEL, 1977), horizons de nappe effondrés. Sur les bas-

Fig. 6

PAYSAGES PEDOLOGIQUES DE L' AMAZONIE VENEZUELIENNE



-glacis des subtiles litho-dépendances (BLOT, 1973) s'ajoutent aux systèmes de transformations (BOULET, 1978). L'agrégation spatiale elle-même n'a pas de solution facile dans les paysages d'entaille qui couvrent les 2/3 de ce qui n'est pas sous les dunes. Les unités dynamiques n'ont pas en effet d'homogénéité pédogénétique puisqu'un petit bassin peut contenir des volumes pris dans toutes les formations Quaternaires.

Les propriétés que ce milieu Ouest-Africain oppose à l'analyse pédologique et géographique ordinaire de troisième type sont donc l'uniformité topographique des bassins et de leurs marges où la tectonique et l'eustatisme jouent petitement, au biseau-tage stratigraphique, à la pédogenèse Quaternaire de climats contrastés, à l'uniformisation par disparition des biocénoses et par "sahélisation" (ALBERGEL, 1988) due aux crises climatiques.

Cependant que ce type de couverture ne se prête pas à une diagnose taxonomique simple ni à un repérage facile ne signifie pas que les études de type géographique ne doivent pas y être entreprises parcequ'elles n'auraient qu'un faible rendement pour la recherche. Relativement bon marché, pouvant prendre en compte toutes les contingences des situations particulières, elle permet d'explorer les échelles intermédiaires mal connues entre les toposéquences, les segments et les surfaces.

CONCLUSIONS

Les sols et les études ont été comparés dans deux régions intertropicales à tectonique lente séparées par l'Atlantique. Les objets de la pédo-géographie y appartiennent à deux ensembles. Le premier est celui des organisations et réorganisations de surface dont l'échelle de temps est celle des variations bioclimatiques actuelles, dont l'échelle d'espace peut être zonale. L'unification des travaux qui leur sont consacrés reste à faire. Le second est celui des couvertures pédologiques successives et de leurs parties, avec une subdivision au niveau de la surface Pliocène. Les études en sont déjà assez nombreuses pour pouvoir souhaiter ou promouvoir une prochaine synthèse.

Les procédures d'études sont des adaptations compliquées, des

compromis entre le niveau de perception, le terrain et les techniques. La fonction d'approximations successives des structures est incomplète. L'analyse structurale, exacte ou adaptée, modélise bien les motifs de base et leurs premiers assemblages mais les ensembles les plus grands, terminaux, relèvent plus d'une appréciation synthétique immédiate que d'une reconstruction. Les études des objets intermédiaires ne sont pas assez nombreuses et ne disposent pas d'une méthode d'intégration des données satisfaisant à la fois les géographes et les spécialistes.

La dégradation récente des régions sèches a proposé de nouveaux objets à la pédologie zonale et redéfini ses objectifs. La procédure par associations, un peu délaissée localement, a par contre enrichi d'autres méthodes par des modèles verbaux et mathématiques complets. Les premiers ont essayé dans les colonnes des cartes pédo-géographiques pour caractériser un des modes d'agrégation. Les seconds paraissent venir à point pour compléter l'étude des champs homogènes dont la réalité, pour un naturaliste, est d'abord établie par l'analyse structurale. L'emploi exclusif de la taxonomie rencontre toujours les inconvénients habituels : elle convient peu à l'étude des variations, elle transmet mal l'information détaillée et/ou nouvelle, elle est délocalisée. Pour un géographe un sol est un petit morceau d'une partie d'une couverture déterminée, pour un taxonomiste c'est une réalisation dans l'espace des caractères pédologiques fondamentaux. Les procédures géographiques de troisième type sont plus faciles dans les vieux paysages et les communautés non dégradées. L'analyse structurale, toujours utile, devient un indispensable préalable dans l'étude de la pédogenèse quaternaire, des systèmes dégradés et des structures fines partout. Elle est aussi une condition pour un emploi efficace de méthodes coûteuses géostatistiques ou de télédétection.

Finalement on ne saurait que souhaiter plus d'ampleur et de suivi aux études des structures de base de la couverture, des organisations intermédiaires et des compartiments apicaux, recommander une synthèse préalable des surfaces comme cadre général de la pédogenèse, encourager les recherches taxonomiques vers davantage de continuité et de complexité génétique et géographique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL (J.), VALENTIN (C.), 1988. Sahélisation d'un petit bassin versant. Colloque Nordeste-Sahel. IHEAL, Paris.
- A.F.E.S., 1988. Référentiel Pédologique Français; deuxième proposition. Novembre 1988. I.N.R.A., prog. II;248 p.
- AUBERT (G.), 1964. La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale aride. African Soils, IX, I, p. 97-105.
- BEAUDOU (A.), CHATELIN (Y.), 1977. Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques. Typologie et cartographie en milieu ferrallitique. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XV, I, p. 3-18.
- BEAUDOU (A.), COLLINET (J.), BLIC (Ph. de), FILLERON (J.C.), GUILLAUMET (J.L.), KAHN (F.), ZUELI (K.), RICHARD (J.F.), 1978. Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides). ORSTOM, Travaux et Documents n° 91.
- BEAUDOU (A.G.), SAYOL (R.), 1980. Etude pédologique de la région de Boundiali-Korhogo; Nord de la Côte d'Ivoire. Méthodologie et typologie détaillée. ORSTOM, Travaux et Documents n° 112, 282 p.
- BERTRAND (R.), 1972. Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Sine Saloum (Sénégal). Agronomie Tropicale, XXVII, II, p. III5-II90.
- BLANCANEAUX (P.), 1981. Essai sur le milieu naturel de la Guyane. ORSTOM, Travaux et Documents n° 137.
- BLOT (A.), LEPRUN (J.C.), 1973. Influence de deux roches-mères de compositions voisines sur les altérations et les sols. Un exemple sur le socle cristallin au Sénégal Oriental. Cah. ORSTOM, sér. Géologie, V, I, p. 45-57.
- BOULAIN (J.), 1975. Géographie des sols. P.U.F., col. "Le Géographe", 197 p., 29 fig.
- BOULAIN (J.), 1986. La dispersion latérale des sols, ou de l'horizontalisme au verticalisme. Essai sur la loxostasie. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXII, 3, p. 319-328.
- BOULET (R.), 1978. Toposéquence de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique. ORSTOM, Mémoires, n° 85, 272 p.
- BOULET (R.), CHAUVEL (A.), HUMBEL (F.X.), LUCAS (Y.), 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XIX, 4, p. 309-341 et 323-339.
- BOULVERT (Y.), 1976. Carte pédologique de la République Centrafricaine. Bangui à 1:200 000. ORSTOM, Notices, n° 64, 116 p.
- BOULVERT (Y.), 1983. Carte pédologique de la République Centrafricaine à 1:1 000 000. ORSTOM, Notices, n° 100, 126 p.
- BAIZE (D.), 1986. Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du sol, XXIV, 3, p. 227-244.

- BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun (Provinces du Nord et de l'extrême Nord). ORSTOM, notices, n° 103.
- CARROLL (D.M.), KLINKENBERG (K.), 1972. The land resources of North East Nigeria. P. Tuley éd. Div. for Commonwealth Off., Overseas Dev. Admin., Tolworth, England.
- CHATELIN (Y.), 1979. Une épistémologie des sciences du sol. ORSTOM, Mémoires, n° 88, 152 p.
- CHATELIN (Y.), RICHARD (J.F.), LENEUF (N.), 1982. Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et des paysages (tropiques humides). Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XIX, I, p. 51-79.
- 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 (Sénégal). ORSTOM, Travaux et Documents, n° 62, 532 p.
- C.I.A.F., 1980. La Amazona Colombiana y sus recursos. Proradam, Bogota 1979 y revista C.I.A.F., V, I, p. 1-226.
- CONACHER (A.J.), DALRYMPLE (J.B.), 1977. The nine unit landsurface model, an approach to pedo-geomorphic research. GEODERMA, 18, 1/2, p. 1-145.
- CRUICKSHANK (J.G.), 1972. Soil Geography. David and Charles ed Newton Abbot, Devon.
- DUBROEUCQ (D.). Note sur la haute surface rocheuse de l'Amazonie Vénézuélienne. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXII, I, p. 3-16.
- DUBUCQ (M.), 1986. Teledetection spatiale et érosion des sols. Etude bibliographique. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXII, 2, p. 247 - 258.
- ESCHENBRENNER (V.), GRANDIN (G.), 1970. La séquence de cuirasses et ses différenciations entre Agnibilekrou (Côte d'Ivoire) et Dieboukou (Haute Volta). Cah. ORSTOM sér. Pédologie, II, 2, 205-245.
- FELLER (C.), 1977. Evolution des sols des défriches récentes dans les régions des Terres Neuves (Sénégal Oriental). Cah. ORSTOM, sér. Biologie, XII, 3; p. 195-207 et sér. Pédologie, XV, 3, 291-302.
- FRIDLAND (V.M.), 1974. Structure of the soil mantle. Geoderma, XII, 1/2, p. 35-41.
- FRITSCH (E.), BOCQUIER (G.), BOULET (R.), DOSSO (M.), HUMBEL (F.X.), 1986. Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane Française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXII, 4, p. 361-396.
- GAVAUD (M.), 1968. Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, VI, 3/4, p. 273-307.
- GAVAUD (M.), BLANCANEUX (Ph.), DUBROEUCQ (D.), POUYLLAU (M.), 1986. Les paysages pédologiques de l'Amazonie Vénézuélienne. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXII, 3, p. 265-284.
- GAVAUD (M.), 1988. La dégradation des sols au Sénégal. Sem. Dégradation des paysages. Univ. Dakar.

- GIRARD (M.C.), 1983. Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Sols, XII, INA, Paris-Grignon.
- GIRARD (M.C.), KING (D.), 1988. Un algorithme interactif pour la classification des horizons de la couverture pédologique. Science du Sol, XXVI, 2, p.81-102.
- GRANDIN (G.), THIRY (M.), 1983. Les grandes surfaces continentales tertiaires des régions chaudes. Succession des types d'altération. Cah. ORSTOM, sér. Géologie, XIII, I.
- HUMBEL (F.X.), 1984. L'analyse structurale des couvertures de sol. Une base pour la cartographie des sols en Guyane. A.F.E.S. Livre jubilaire du cinquantième. 1934-1984. p. 181-194.
- HUMBEL (F.X.), 1976. L'espace poral des sols ferrallitiques du Cameroun. ORSTOM, Travaux et Documents, n° 54, 310p.
- KALOGA (B.), 1966. Carte pédologique du Sénégal au 1/200 000. Feuille Dalafi. Centre ORSTOM de Hann, Dakar.
- KALOGA (B.), 1983. Le manteau kaolinique des plaines du Centre-Sud de la Haute Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectitique. Thèse, Strasbourg. Résumé in cah. ORSTOM, sér. Pédologie, 1983, XX,3, p.255-261.
- KILLIAN (J.), 1974. Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques. L'Agronomie Tropicale, XXIX, 2-3, p. 141-153.
- KING (D.), 1987. Modélisation de l'approche cartographique du comportement des sols. Science du sol, XXV, 2, p. 107-120.
- LE BORGNE (J.), 1983. La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar), lab. Climatologie, 94 p.
- LUCAS (Y.), 1978. Methodologie de la représentation cartographique des sols. Un exemple dans le domaine ferrallitique Région de Mouyondzi, République populaire du Congo. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XVI, 4, p. 348-368.
- MAIGNIEN (R.), 1965. Carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000. ORSTOM, col. Notices.
- Mc TAINSH (G.), 1984. The nature and origin of aeolian mantles of central Northern Nigeria. Geoderma, XXXIII, I, p. 13-38.
- M.A.R.N.R., 1981-1987. Atlas de los suelos del Territorio Federal Amazonas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables. Caracas, Venezuela.
- MICHEL (P.), 1973. Les bassins des fleuves Senegal et Gambie (Etude géomorphologique). ORSTOM, Mémoires, n° 63, 752 p.
- MULLER (J.P.), 1988. Analyse pétrologique d'une formation latéritique meuble du Cameroun. Essai de traçage d'une différenciation supergène par les paragenèses minérales. ORSTOM, Thèse.

- OPENSHAW (S.), 1981. Le problème de l'agrégation spatiale en géographie. In l'Espace Géographique, I, p. 15-24. Doin ed., 8 place de l'Odeon, Paris VI.
- PEDRO (G.); VOLKOF (B.), 1984. Les grandes provinces pédologiques du Brésil. Cadre général de l'évolution pédologique. C.R. sem. lab. géologie. Cah. ORSTOM, sér. géologie, XII, 2, p. 165-169.
- POSS (R.), 1982. Etude morphopédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire). Cartes des paysages et des unités morpho-pédologiques à 1:200 000. ORSTOM, Notices, n° 94.
- RADAMBRAZIL, 1976. Levantamento de recursos naturais, vol. 8, folha NA20 Boa vista. Projeto Radam, Ministerio das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro.
- RICHARD (J.F.), 1974. Paysage, écosystème, environnement. ORSTOM, centre d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), multigr., 26 p.
- ROOSE (E.J.), 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en parcelles expérimentales. ORSTOM, Travaux et Documents, n° 78, 103 p.
- ROOSE (E.J.), 1981. Dynamique actuelle des Sols Ferrallitiques et des Sols Ferrugineux Tropicaux d'Afrique Occidentale. ORSTOM, Travaux et Documents, n° 130, 569 p.
- SCHELLING (J.), 1970. Soil classification and soil survey. Geoderma, IV, 3, p. 165-194.
- SIMONSON (R.W.), 1971. Soil associations maps and proposed nomenclature. Proc. Soil Sci. Soc. Am, XXXV, 6, p. 959-964.
- TRICART (J.), 1974. De la géomorphologie à l'étude cartographique intégrée. L'Agronomie Tropicale, XXIX, 213, 122-132.
- U.S.A.I.D., 1986. Cartographie et teledétection des ressources de la République du Sénégal. Direction de l'Amenagement du Territoire du Sénégal, Dakar.
- VALENTIN (C.), 1985. Organisations pelliculaires de quelques sols des régions subdésertiques (Agadez, République du Sénégal). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. ORSTOM, Etudes et Thèses, 260 p.
- VOLKOFF (B.), 1984. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, XXI, 4, p. 225-236.
- WOROU (S.), SARAGONI (H.), 1988. La culture du maïs de contre saison est elle possible au Togo méridional ? Min. Dev. Rur. Inst. Nat. des Sols et ORSTOM, Lomé (analyse structurale et agronomie).