

COMPT E R E N D U
D E S J O U R N É E S P É D O L O G I Q U E S
D E S E P T E M B R E 1 9 8 1

O.R.S.T.O.M. – PARIS – 1982

S O M M A I R E

	Pages
1. Plan et résumé des discussions.....	3
2. Notes présentées :.....	9
- Opération Simulation SPOT - Ermenonville 1980 Observations sur l'état de surface des sols par A. COMBEAU.	
- Cartographie pédologique en Amazonie Vénézuélienne par Ph. BLANCANEUX et al.	
- Cartographie des sols à petite échelle au Kalimantan (Indonésie) par P. BRABANT.	
- Conception et réalisation des Cartes d'utilisation des sols dans la vallée du fleuve Sénégal. La Carte Factorielle par J.Y. LOYER.	
- Carte morpho-pédologique et planification régionale : un exemple en Côte d'Ivoire par R. POSS.	
- Les études détaillées de l'organisation du sol en Guyane Française et leurs applications par F.X. HUMBEL.	
- Présentation des cartes pédologiques et de ressources en sols au Gabon (1/2.000.000) par D. MARTIN.	

- La cartographie assistée par ordinateur : son utilisation pour l'impression des cartes de sols et l'élaboration de cartes thématiques dérivées (FRANCE)

par A. MORI.

- Présentation des cartes de contraintes édaphiques de République Centrafricaine

par J.P. COINTEPAS.

- Cartes des Sols, cartes d'aptitudes culturales et forestières. Exemple de la Nouvelle Calédonie et des Fidji

par M. LATHAM.

- La cartographie du Milieu Naturel Centrafricain - Méthodologie - Diversification - Finesse de la Représentation

par Y. BOULVERT.

Page

3. *Liste des participants*..... 130

1. RESUME DES DISCUSSIONS.

La journée annuelle des pédologues de l'ORSTOM s'est déroulée le 18 Septembre 1981. Les réunions qui se sont tenues à l'Institut National Agronomique, ont regroupé environ cinquante pédologues de l'ORSTOM, de l'INRA Versailles, de l'INAPG, de l'ENSA Rennes, de l'ENSA Toulouse, du BDPA, de la DRES (Tunisie).

Les séances étaient présidées par N. LENEUF, Président du Comité Technique de Pédologie et animées par R. MAIGNIEN.

Le thème choisi était arrêté depuis 1980. Il avait pour objectif de préciser les finalités de la cartographie des sols, et, pour cette année plus spécialement, de tenter de présenter les différents modèles d'exploitation des cartes à des fins pratiques. En effet, il est apparu depuis plusieurs années que les enseignements des études de terrain n'étaient généralement pas présentés sous des formes facilement accessibles aux demandeurs et qu'il y avait un manque d'adaptation des résultats présentés aux problèmes posés, d'où trop souvent une absence de prise en compte des données pédologiques lors de l'établissement des processus de décision. Il s'est donc agi de dégager les voies et moyens nécessaires pour déboucher sur ces objectifs.

Compte tenu de leur nature, les exposés ont été regroupés sous deux volets :

- le premier traitant de l'établissement des cartes pédologiques à petite échelle avec l'appui des données satellites, compte tenu des contraintes locales et des objectifs arrêtés ;
- le second traitant de l'exploitation des cartes pédologiques à des fins thématiques et des ouvertures nouvelles offertes par l'informatique à ce sujet.

Les notes présentées s'appuyaient sur des cas concrets de moins de cinq ans d'âge, chaque présentation étant suivie d'une discussion, une synthèse générale étant prévue en fin de journée.

Les présentations ont été faites comme suit :

1. Etablissement des cartes pédologiques avec, plus particulièrement, l'aide des méthodes de télédétection.
 - A. COMBEAU - Quelques résultats de l'opération simulation SPOT 1980,
 - Ph. BLANCANEUX - Cartographie en Amazonie Vénézuélienne (données RADAR),
 - P. BRABANT (présenté par R. MAIGNIEN) - Utilisation des données LANDSAT en cartographie pédologique du KALIMANTAN (Indonésie),
 - C. ZEBROWSKI et M. SOURDAT - les cartes d'aptitudes culturelles d'Equateur (photo interprétation surtout).

2. Exploitation des cartes pédologiques et transfert des informations aux demandeurs.
 - Y. LOYER - Conception et réalisation des cartes d'utilisation des sols dans la vallée du fleuve Sénégal : cartes factorielles.
 - R. POSS (présenté par Y. CHATELIN) - un exemple d'utilisation de la carte pédologique : coupure KATIOLA (Côte d'Ivoire) à 1/200.000.
 - F.X. HUMBEL - les études détaillées d'organisations du sol en Guyane et leurs applications.
 - D. MARTIN - présentation des cartes pédologiques et de ressources en sols du Gabon (1/2.000.000).
 - A. MORI - la cartographie assistée par ordinateur : son utilisation pour l'impression des cartes de sols et l'établissement de cartes thématiques dérivées.
 - M. LATHAM (présenté par P. de BOISSEZON) - cartes de sols et cartes d'aptitudes culturelles et forestières. Exemple de la Nouvelle-Calédonie et des Fidji.
 - Y. BOULVERT - présentation des cartes du milieu naturel de R.C.A. au 1/1.000.

DISCUSSIONS.

1. Les discussions faisant suite aux premiers exposés ont essentiellement porté sur les limites d'utilisation des données satellites : SPOT-LANDSAT RADAR, aussi bien par le canal de l'établissement de documents diazoïques que par l'exploitation des données numérisées. L'utilisation de ces documents est d'un intérêt évident dans l'inventaire de vastes territoires, mal connus, sans pratiquement de vérité terrain (absence de bonnes cartes topographiques). Les voies d'accès sont précisées et de nombreux renseignements sur les unités physiographiques et sur les reliefs permettent l'établissement de plans d'intervention planifiés. La cumulation de connaissances pédologiques sur les zones ainsi triées offre des possibilités d'extrapolation automatique rapides et la fourniture de résultats souvent suffisants pour des premiers choix d'utilisation. Les exemples présentés au Vénézuéla, Equateur, Indonésie sont très instructifs à cet égard. Il est certain que sans des documents satellites et parfois aussi des photographies aériennes, il aurait été impossible de mener de tels inventaires dans de si courts délais. Naturellement l'information est grossière, mais elle est simple et s'avère bien souvent suffisante aux demandeurs à ces premiers stades d'inventaires.

Il est rappelé dans ce domaine, les possibilités de stages en télédétection, offertes par les S.S.C. de Bondy.

2. Les interventions sur l'exploitation plus ou moins automatique des données pédologiques ont été nombreuses et passionnées.

Il est certain que le niveau d'information fourni par une carte est d'abord fonction de l'échelle. Mais cette contrainte est beaucoup moins marquée si l'on stocke la totalité de l'information pédologique par le canal de l'informatique. Contrairement à ce que l'on pense trop souvent, le problème essentiel n'est pas un problème de traitement, mais beaucoup plus un problème d'enregistrement. Mais dans ce domaine les progrès vont croissants. Le traitement de toutes les données enregistrées doivent déboucher, par des tris "ad hoc", sur

des tables de décisions. Il doit pouvoir servir à des aménagements variés. C'est dire l'importance d'études pédologiques préalables détaillées, avec conservation de toute l'information. Cette démarche informative évite les regroupements conceptuels auxquels on avait antérieurement recours pour assembler et simplifier l'information à fournir aux utilisateurs. Le traitement numérique permet en particulier de se détacher des niveaux hiérarchiques des diverses classifications des sols.

Une autre question fort débattue a été de préciser les limites de responsabilités du pédologue dans les conseils aux utilisateurs. Il n'est plus question de fournir des documents répondant à toutes les aptitudes possibles, mais de fournir des cartes de contraintes à certaines aptitudes. En numérisant l'information et à l'aide de tris simples, on peut fournir rapidement et automatiquement des documents graphiques, sélectionnant les sols en fonction des besoins pour tel et tel type de plante. La recherche des solutions universelles n'est pas nécessaire et il a été rappelé que les données pédologiques sont des données régionalisées et que les choix doivent être faits à ces niveaux. Le tri des données pédologiques, leur hiérarchisation en vue d'un objectif défini, présentent un aspect géographique certain.

Une question importante qui a longuement été discutée, concerne le rôle du demandeur dans le choix des critères de terrain à retenir. Il est certain que les utilisateurs ne sont pas toujours bien informés des contraintes qui pèsent sur la pédologie et un dialogue est indispensable entre les intéressés à ce sujet. Celui-ci concerne en particulier le choix de l'échelle des documents à fournir, car il peut s'avérer une inadaptation notable entre l'échelle et le problème posé. Il n'y a malheureusement pas de réponse générale en la matière, car c'est l'hétérogénéité du terrain qui définit le niveau scalaire de saisie des données utiles à une solution recherchée. Ainsi, par exemple, pour une même spéculation, une échelle au 1/100.000 est suffisante en Guinée Bissau, alors qu'il faut réaliser une étude au 1/25.000 aux Iles du Cap Vert, pour atteindre les mêmes objectifs (B. LENEUF).

Il est donc nécessaire de former les interlocuteurs à bien analyser leurs problèmes, à définir leurs besoins, et à être conscient des conséquences budgétaires liées à certains choix. A ces conditions, le pédologue peut exploiter ses données jusqu'aux "aptitudes à" et établir en conséquence des cartes de décisions engageant ses responsabilités.

En tout état de cause, le pédologue note le plus souvent des caractères de situations ponctuelles. Il lui est donc nécessaire d'extra ou d'intrapoler pour tirer des limites. Ce passage aux documents cartographiques oblige à bien faire une différence entre contenu et contenant dont les éléments de précisions sur le terrain sont très souvent différents. Les traitements informatiques privilégient le premier, alors que la cartographie traditionnelle s'appuie essentiellement sur le second à travers l'analyse de l'environnement. Il s'agit de concilier les deux approches en rappelant néanmoins l'importance de la logique informatique dans la saisie de traits pédologiques.

J. BOULAIN a tiré les conclusions de cette journée en soulignant les cinq points suivants :

1. Le métier de pédologue mord sur l'agronomie. Le pédologue doit être capable de fournir des informations jusqu'à : aptitudes à ...

2. La carte pédologique n'est plus la recherche de critères concernant n + 1 profils. C'est un découpage de la couverture pédologique en sous-ensembles que l'on essaie d'analyser en tant que volumes-sols.

3. La bureautique transforme actuellement tout le travail du pédologue. Elle transforme l'interprétation thématique en facilitant l'établissement de multiples sorties, à condition que le document de base soit bien alimenté.

4. Inversement, l'inventaire pédologique doit tenir compte de ces sorties qui influent à son tour l'amont. C'est le retour de l'utilisateur vers le pédologue.

5. La pédologie est régionalisée. Dans l'état actuel de nos connaissances, il paraît impossible de faire une pédologie universelle pour

l'utilisateur. Il faut adapter à chaque pays, à chaque région, mais il faut aussi se comprendre, communiquer, d'où l'importance des classifications considérées non comme structures de raisonnement, mais comme référentiels ; elles ne sont que langage.

N. LENEUF remarque en terminant, que la cartographie ORSTOM n'est pas figée ; les cartes ne sont pas immuables ; elles s'améliorent sans cesse, mais en tout état de cause doivent déboucher vers des conseils aux utilisateurs.

2. COMMUNICATIONS PRESENTEES.

OPERATION SIMULATION-SPOT

ERMENONVILLE 1980

par A. COMBEAU

Directeur de Recherche ORSTOM

OBSERVATIONS SUR L'ETAT DE SURFACE DES SOLS

En vue de tester les possibilités d'observation de la terre par le futur satellite français SPOT, dont le lancement est prévu pour 1984, le CNES-GDTA a organisé sur des sites connus, plusieurs opérations de Simulation. Ces opérations consistent à embarquer sur avion un radiomètre Doedalus qui balaie le site-test à 4.000 mètres d'altitude. Les données radiométriques sont ensuite traitées pour restituer la précision géométrique et radiométrique de SPOT lorsqu'il sera opérationnel.

L'opération Simulation SPOT Ermenonville 1980 a comporté le survol d'un secteur de grande culture à la date du 29.9.80. L'occupation des sols de ce secteur était bien connue grâce à la carte des cultures dressée par un agriculteur exploitant, et au calendrier cultural. Les sols de la région sont des sols bruns faiblement lessivés ou des sols lessivés sur loess en position de plateau. Ils ont un caractère battant accusé. Les hétérogénéités visibles en surface sous forme d'un éclaircissement de teinte sont imputables :

- a) aux réductions d'épaisseur du sol sur les bords du plateau, ou lorsque celui-ci a été entaillé par des vallées, généralement peu profondes ;

b) au colluvionnement dans les points bas.

Le labour au contraire se traduit par une teinte plus sombre du sol.

A la date du 29.9, les principaux types d'occupation du sol sont les suivants : betteraves, maïs, engrais verts, prairies, sols nus. Sur ce dernier type, qui correspond aux parcelles précédemment en céréales, il était possible de faire quelques observations sur l'état de la surface des sols.

Diverses situations sont possibles :

- a) parcelles non déchaumées : rares, mais certaines parcelles ont subi un déchaumage léger, laissant des pailles en surface ;
- b) déchaumage ancien : début de repousse de végétation, peu dense ;
- c) déchaumage récent : sol nu émietté ;
- d) labour : sol nu à structure grossière.

L'analyse numérique des résultats, assortie d'une visualisation sur écran a comporté plusieurs phases successives : dégradation par canal des valeurs de la réflectance, définition de la signature spectrale de chaque thème, recherche des canaux efficaces, analyse multicanaux par la procédure Loterie, et traçage des thèmes résultants.

Dans un premier temps, cinq grands thèmes ont été définis (forêts, betteraves, maïs, engrais vert, sols nus). Dans un second temps, tous les types d'occupation autres que sols nus ayant été éliminés, on a procédé à une subdivision du thème sols nus en s'appuyant sur la corrélation observée entre les canaux S X2 et S X3. Il apparaît que la réflectance des sols nus varie dans le même sens sur les deux longueurs d'onde, l'accroissement enregistré sur le canal S X2 lorsque la teinte du sol s'éclaircit étant sensiblement plus rapide que sur S X3 à la différence de ce qui peut être observé pour les sols couverts de végétation.

Les différents états des sols nus ont donc été classés grâce à la procédure Loterie en 6 catégories, des sols les plus foncés aux sols les plus clairs. Les résultats de cette opération ont été traduits sous forme d'une carte du thème sol nu, obtenue

directement sur imprimante, après élimination de tous les autres thèmes. Cette carte est à l'échelle de 1/20.000 approximatif.

Elle appelle les commentaires suivants :

- a) les bas-fonds plus clairs ont des réflectances plus élevées sur S X2 et S X3 ;
- b) les secteurs où l'épaisseur du sol est réduite se traduisent aussi par des réflectances plus élevées : l'exemple de la parcelle 29 est particulièrement typique, les différentes classes de la carte traduisent exactement la configuration observée sur les photos aériennes à 1/30.000.
- c) le labour récent entraîne une baisse de réflectances ;
- d) le labour grossier se traduit par une forte baisse de réflectance ;
- e) le début de développement d'une végétation sur un sol précédemment nu entraîne un accroissement absolu et relatif de la réflectance sur S X3 par rapport à S X2.

Il convient de signaler qu'une rotation d'axes permet d'améliorer la classification des sols nus, et de faciliter la discrimination avec les sols couverts de végétation.

CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE EN AMAZONIE VENEZUELIENNE

*Par le groupe d'étude des sols au sud
du Vénézuéla.*

Ph. BLANCANEUX *
D. BUBROEUCQ **
M. GAVAUD *
R. HIDALGO ***
P. MOYA ***
M. POUYLLAU ****
V. SANCHEZ ***

* Pédologues ORSTOM

*** Ingénieurs agronomes MARNR/
Caracas

**** Géomorphologue CEGET/CNRS-Bordeaux
Conseiller technique de la division
des sols du MARNR.

Caracas Mai 1981.

S O M M A I R E

INTRODUCTION.

I - PEDOLOGUES ET AGRONOMES TRAVAILLANT ACTUELLEMENT AU PROJET.

- 1.1. Pédologues ORSTOM.
- 1.2. Ingénieurs agronomes du MARNR.
- 1.3. Géomorphologue CEGET/CNRS/MARNR.

II - MOTIVATION SCIENTIFIQUE ET UTILITE.

III - LE MILIEU NATUREL.

- III.1 - Situation et extension.
- III.2 - Géomorphologie.
- III.3 - Climat.
- III.4 - Végétation.
- III.5 - Réseau hydrographique.
- III.6 - Infrastructure et conditions de la communauté.

IV - CONDITIONS D'EXECUTION.

- IV.1 - Travaux préparatoires.
- IV.2 - Travaux de terrain.
 - IV2.1 - Conditions matérielles.
 - IV2.2 - Prospections effectuées au cours des années 1978-1981.
- IV.3 - Interprétation des analyses de sols.
- IV.4 - Etat d'avancement des travaux de terrain.
- IV.5 - Présentation des résultats.

V - NORMALISATION ET INFORMATIQUE.

- V.1 - Normalisation.
- V.2 - Informatique.

INTRODUCTION.

Les travaux de cartographie pédologique dans le sud du Vénézuéla (Territoire Fédéral de l'Amazone) ont débutés d'une manière permanente avec un personnel fixe, en 1976 par des études préliminaires au 1/100.000 des secteurs de Manapiare (SIEFFERMANN) à Puerto Ayacucho (BLANCANEAUX). La convention entre l'ORSTOM et le MOP ne prévoyait à l'époque que l'inventaire de certaines régions prioritaires au développement agro-pastoral du sud du Vénézuéla.

L'arrivée de D. DUBROEUCQ en 1977 permet la continuation de ce programme par des études préliminaires au 1/125.000 (pour des raisons de fonds topographiques) de Santa Barbara de l'Orénoque (DUBROEUCQ), Cacuri-Asita-Paru (BLANCANEAUX) et Camani (SIEFFERMANN) entre 1977 et 1978.

L'éclatement du MOP, la création du MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables), les changements politiques, les responsables nommés à la Direction des services Sols, Faune et Flore du nouveau ministère, donnent une nouvelle orientation au programme qui se voit élargit à l'ensemble du T.F. de l'Amazone ; les secteurs cartographiés à une échelle préliminaire devant servir de secteurs témoins.

Une nouvelle méthodologie de cartographie basée sur un appui logistique hélicoptère, due au changement d'échelle dans l'étude des sols (de préliminaire à grande vision, 1/250.000) commence à être appliquée en 1978. GAVAUD s'intègre au groupe d'étude en janvier 1978.

I - PEDOLOGUES ET AGRONOMES TRAVAILLANT ACTUELLEMENT AU PROJET.

1.1. Pédologues ORSTOM.

- Ph. BLANCANEAUX (depuis le 15/11/1975)
- D. DUBROEUCQ (depuis le 7/1/1977)
- M. GAVAUD (depuis le 8/1/1978)

1.2. Ingénieurs agronomes du MARNR.

- R. HIDALGO
- P. MOYA
- V. SANCHEZ

1.3. Géomorphologues CEGET/CNRS/MARNR.

- M. POUYLLAU

II. MOTIVATION SCIENTIFIQUE ET UTILITE.

II.1. Inventaire préliminaire des ressources en sols (1/250.000) du sud du Vénézuéla à des fins essentiellement agronomiques et forestières, basé sur une couverture RADAR et Satellite à 1/250.000.

II.2. Formation technique d'ingénieurs Vénézuéliens en photo-interprétation, en exploitation du RADAR, des photos satellites, dans les domaines de la prospection des sols (préparation et exécution sur le terrain), de la cartographie (dessin, habillage et présentation des cartes), du traitement des données analytiques (statistiques et présentation) et de la rédaction des notices ainsi que de la formation scientifique en pédologie générale et en pédogenèse des sols tropicaux.

II.3. Sur ces activités spécifiques de la convention est venu se greffer un enseignement plus spécialisé sur la pédogenèse des sols tropicaux ; cours de "postgrado" (3ème cycle) dispensés à l'Université des Llanos (Guanare) et au CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras - Merida) BLANCANEUX.

III. LE MILIEU NATUREL.

III.1. Situation et extension.

En accord avec le dernier décret exécutif de la régionalisation administrative du Vénézuéla, le T.F. de l'Amazone est intégré dans la région de la Guyane. Ce territoire est situé dans la région la plus méridionale du Vénézuéla et a pour limites les parallèles 0°40' et 6°15' de latitude nord et les méridiens 63°20' et 67°50' de longitude ouest.

D'après les calculs effectués, la superficie du territoire après rectification de la frontière avec le Brésil est de : 178.095 km².

Le territoire fédéral de l'Amazone est compris entre l'état du Bolivar et les républiques de Colombie et du Brésil (voir figure en annexe).

III.2. Géomorphologie.

La géomorphologie de la bordure occidentale du "Massif Guyanais" est étroitement marquée par les conditions géotectoniques de l'ensemble du Massif et la présence, à peine franchi l'Orénoque, du grand géosynclinal des Llanos. L'ensemble comporte des "Terres Hautes", granito-gréseuses et des "Terres Basses", remblayées par des produits de l'altération granitique et des remblaiements locaux alluviaux. Sur ce cadre géologique et physiographique, la pénétration plus ou moins profonde de l'altération physico-chimique contribue à donner aux différentes unités géomorpho-pédologiques un style caractéristique.

Les principaux massifs sont formés de lambeaux de Riraima qui forment des hauts-plateaux cuirassés et fracturés, en partie affectés par des actions pseudo-karstiques (1.500-2.200 m) ; les paysages de montagnes granitiques sont beaucoup plus entaillés et ne dépassent pas les 1.800 m d'altitude. Dans ces secteurs prédominent des couvertures d'altération importantes et des phénomènes d'induration ainsi que des pseudo-karts.

Ces massifs sont entourés de piémonts et de pénéplaines étagées qui constituent des transitions vers les "Terres Basses". Les secteurs de piémonts sont formés de morceaux de granites et de granito-gneiss fracturés auxquels sont associés des échines de roches volcaniques et métasédimentaires. Les pénéplaines sont composées de grandes étendues de demi-oranges disséquées sur les bords en petites demi-oranges et inselbergs granitiques. Dans ce dernier secteur, une reprise d'érosion est particulièrement nette.

Dans les "Terres Basses", prédominent des mosaïques de produits d'altération (argiles gibbsitiques) et des résidus quartzeux d'érosion. Des ondulations et des petites collines argileuses d'altération granitique principalement, généralement boisées, sont entourées de grands épandages sableux qui atteignent leur plus grande extension dans la dépression semi-endorreique du Caño Casiquiare. Dans ce dernier secteur, la végétation typique est formée par la "caatinga amazonienne".

La région située entre Puerto Ayacucho et Caicara del Orinoco forme un secteur spécifique de contact brutal entre le "Massif Guyanais"

et la dépression des Llanos. L'absence de grandes plaines d'altération et d'érosion y est compensée par la présence de grands glacis sableux, en partie indurés.

Les apports alluviaux sont très limités et localisés en bordure des grands fleuves (Orénoque, Ventuari, Casiquiare, Rio Negro...). Il faut signaler une seule exception dans la région centrale avec la dépression de San Juan de Manapiare. Des conditions tectoniques particulières (effondrement de type Rift) ont favorisé un grand remblaiement alluvial de type "plaine de débordement ou delta interne".

La bordure occidentale du massif guyanais comporte donc une série d'unités géomorpho-pédologiques étroitement conditionnées par une histoire géologique ancienne et une évolution polycyclique très longue.

III.3. Climat et paléoclimats.

Dans la partie occidentale du Bouclier Guyanais, le climat a tendance à être moins pluvieux que dans la partie orientale. On note cependant des noyaux de pluviométrie élevée, en particulier dans la pénéplaine du Casiquiare.

Le territoire Fédéral de l'Amazonie est sous la dépendance des alizés nord-orientaux qui provoquent un balancement saisonnier (saison sèche, novembre à mars) et saison des pluies (avril à octobre) bien marqué dans la partie nord et sous l'influence des flux amazoniens qui provoquent les énormes abats d'eau dans la région sud (San Carlos de Rio Negro).

L'originalité du climat de l'Amazonas est liée à la présence de bassins "secs" (Haut Ventuari) en position d'abri.

Afin d'utiliser au maximum les données climatologiques, on a élaboré, à partir de la méthode des régimes hydriques de la Soil Taxonomy, une carte du Territoire qui présente les différents régimes, Ustic, Udic, Perudic, Aquic, Peraquic, en faisant apparaître leur répartition géographique dans les régions de plaines ou de montagnes.

III.4. Végétation.

Le territoire Fédéral Amazonas, du point de vue de la végéta-

tion, constitue une association entre le type des Llanos (secteur nord-ouest) et le type Amazonien constitué par la grande hylea qui prédomine amplement dans les secteurs sud et sud-est.

La structure compartimentée du territoire, pratiquement séparé des llanos par le massif du Parguaza, permet à la végétation du type Amazonien de connaître un développement certain, tempéré par la présence de savanes anthropo-climatiques et paléoclimatiques jusqu'au 3ème degré de latitude sud. Dans le cadre des recherches géomorpho-pédologiques, on a essayé d'établir un glossaire phyto-géographique adapté aux conditions locales en soulignant plus particulièrement des critères de périodicité (sempervirente, semi-décidue, décidue), d'altitude, d'humidité, d'édaphisme et surtout de structure (strate ligneuse, herbacée, interrelation entre les deux strates...).

Les formations naturelles non forestières forment de grandes étendues jusqu'au parallèle 6°N (Puerto Ayacucho) et dans certains bassins internes (Manapiare, Santa Barbara, Cacuri) ; certaines savanes d'origine anthropo-climatiques sont présentes plus au sud ; La Esmeralda, Sierra Parima. Les formations naturelles forestières forment un manteau continu depuis l'Amazonie Brésilienne jusqu'au 2ème degré de latitude nord avec une mosaïque de caatinga amazonienne dans la dépression du Casiquiare. Les conditions de périodicité varient et s'annulent à mesure que l'on descend vers les zones pluvieuses du Rio Negro ; tandis que les forêts galeries et les galeries de palmiers soulignent les principaux axes fluviaux, formant de véritables forêts marécageuses ou "orillares" le long de l'Orénoque. La végétation des hauts plateaux du Roraima (Tepuyes) revêt des caractères endémiques marqués en particulier dans les grands massifs de la Neblina, du Duida et du Parú.

Le Territoire Fédéral de l'Amazone constitue une vaste réserve naturelle soumise à un équilibre très fragile des écosystèmes. Les secteurs qui ont perdu leur végétation sont très rapidement soumis à des processus d'érosion et d'induration qui rendent problématique l'utilisation des ressources végétales présentes dans la plus grande partie du Territoire.

III.5. Réseau hydrographique.

L'ouest du Massif Guyanais appartient au bassin de l'Orénoque. Etroitement marqué par des conditions géo-structurales, le réseau général est articulé sur le haut Orénoque, le Ventuari et le Caura. La structure générale du réseau est radiale à partir des Terres Hautes et de la Sierra Parima et présente la particularité d'une défluviation fonctionnelle au niveau du caño Casiquiare vers le bassin du Rio Negro et de l'Amazone : ce phénomène est provoqué par la légère inclination du grabben du Casiquiare vers l'Amazonie Colombienne. Dans le détail le réseau est marqué par la présence de forts dénivelés, chutes et rapides au passage des filons de roches dures d'origine volcanique. Ces rapides séparent des biefs plus ou moins remblayés de matériaux alluviaux. Les entailles sont fortes dans les paysages montagneux (failles et fractures) ainsi que dans les pénéplaines à demi-oranges (démantèlement de l'altération). Dans les paysages de plaines, les fleuves ont peu entaillé leurs vallées et, à partir de Puerto Ayacucho et jusqu'à Caicara del Orinoco, l'Orénoque est pratiquement surimposé sur le massif ; les apports andins l'ont repoussé au-delà des premiers inselbergs guyanais.

Le bassin de l'Orénoque constitue avec un module brut de 30.000 m³/s à l'embouchure le 4ème bassin mondial. Cette importance du bassin est surtout liée à la constance des pluies.

III.6. Infrastructure et conditions de la communauté.

Le Territoire Fédéral de l'Amazone a été traditionnellement isolé du reste du pays. La présence de rapides (Atures) dans la région de Puerto Ayacucho ainsi que la barrière formée par le massif du Paragwaza expliquent cet état de fait. Dans le passé les contacts ont été plus prononcés avec le Brésil à travers le bassin du Rio Negro, qu'avec le Vénézuéla. L'utilisation de ce réseau hydrographique en communication avec le nord du Brésil et l'orient Colombien s'est trouvé amélioré depuis les années 30 par l'ouverture de la route Samariopo-Puerto Ayacucho, laquelle au prix d'une rupture de charge permet de franchir les obstacles créés par les rapides. L'infrastructure routière est très insuffisante et raccourcit uniquement certains

itinéraires fluviaux (Casiquiare, Atabapo, Rio Negro) ; elle est actuellement en voie d'amélioration. Le projet de relier le territoire au reste du pays par la route Puerto Ayacucho-Caicara del Orinoco est en voie de réalisation.

L'avion reste cependant le moyen de communication le plus utilisé tant au niveau local que pour relier Puerto Ayacucho à Caracas.

Cet état d'isolement a peu favorisé le développement des structures et des services. La capitale, Puerto Ayacucho possède les services minima et le reste du Territoire est peu développé, exception faite de quelques petits centres comme San Juan de Manapiare, San Fernando de Atabapo, Maroa et San Carlos de rio Negro.

Le territoire est peu peuplé ; 21.600 habitants en 1971, et la densité est par conséquent très faible, $0,12 \text{ hab/km}^2$; le peuplement reste d'autre part très concentré le long de la frontière occidentale, rio-Nègro, Orénoque, surtout dans la région de Puerto Ayacucho. Les conditions socio-économiques du passé ont réduit les grandes communautés indigènes à se réfugier dans les hauts bassins du Caura, du Ventuari et surtout de l'Orénoque. On assiste cependant actuellement à un flux inverse avec l'attrait qu'exerce Puerto Ayacucho sur les communautés les plus proches en voie de désintégration (Guahibos, Piaroas etc...).

IV - CONDITIONS D'EXECUTION.

IV.1. Travaux préparatoires.

L'interprétation préalable de la couverture RADAR (1/250.000) par stéréointerprétation des bandes et le dessin préparatoire des cartes ont été achevés pour la totalité du Territoire. Ce dernier se compose de 21 mosaïques RADAR au 1/250.000 et chaque pédologue est responsable d'un certain nombre de coupures.

Des données empiriques tirées des photographies par satellite (Landsat) au 1/250.000 ont été superposées à ces interprétations. Faute d'équipement local suffisant et opérationnel, également à cause du trop grand éloignement géographique et administratif des centres

de télédétection (Bondy pour l'ORSTOM), il n'a pas été possible de traiter de façon systématique ce dernier type de documents, ce qui n'est pas sans inconvénient pour les zones les plus planes. Actuellement l'élaboration des contours définitifs des unités cartographiques se fait par recoupement des significations des unités homogènes obtenues par le RADAR et par le Satellite. Ces recoupements se font visuellement sur les images photographiques à 1/250.000 des différents documents. Avant chaque mission, à tour de rôle, un pédologue ORSTOM, assisté de plusieurs ingénieurs Vénézuéliens, dessine une carte provisoire, en définit les "textures" (aspects) RADAR et Satellite, en propose une interprétation physiographique et une corrélation pédologique avec des unités antérieurement vérifiées, calcule en fonction du budget et des surfaces le nombre de vérifications à faire sur le terrain et trace un plan de vol qui minimise les déplacements de l'hélicoptère. D'autre part les données topographiques très sommaires de la seule carte en service (1/1.000.000) ont été complétées partout où le relief était suffisamment accentué (30 m et plus) par le dépouillement des profils barométriques associés aux mosaïques RADAR. Enfin un programme de mission a été établi jusqu'à fin 1981.

Ces parties peuvent être considérées comme suffisantes pour l'échelle de travail considérée (1/250.000) au point de vue des normes techniques internationalement en usage.

La partie bibliographique est au contraire déficiente, soit de fait, ce qui est le cas le plus général, de l'absence de documents utilisables (géographie, phyto-géographie, agronomie), soit de leur caractère très local (pédologie et géologie) pour ne pas parler de l'accessibilité médiocre des archives.

Ce sont les pédologues eux-mêmes qui doivent recueillir les observations sur le terrain. Ils ont proposé de se faire aider dans ce but par des spécialistes ad hoc, mais ces tentatives "d'interdisciplinarité" suggérées dans le premier projet de méthodologie à utiliser pour le levé des sols du T.F. Amazonas (BLANCANEUX, 1977) ont été peu fructueuses faute de formation ou de disposition de ce personnel pour les études extensives.

IV.2. Travaux de terrain.

IV2.1. Conditions matérielles.

L'absence de réseau routier, la grande taille de la zone à prospecter et à cartographier (178.095 km²), la brièveté de la prospection (3-4 ans), le petit nombre de personnel (jamais plus de 3 équipes en moyenne au sol) ont imposé l'hélicoptère.

Ainsi l'essentiel des données cartographiques est recueilli sur des transects pédestres tracés à partir des points aménagés ou non, accessibles à l'hélicoptère et répartis sur toute la carte. Cependant l'essentiel des données pédogénétiques est relevé sur des chantiers plus complets, avec fosses et levés topographiques, le long des rares pistes existantes autour des centres habités les plus importants (secteurs "témoins").

IV.2.2. Prospections effectuées au cours des années 1978-1979-1980-1981.

Année 1978 :

- Février - Feuille Cacuri NB20-13 (14.153 km²).
- " Tencua NB20-9 (7.631 km²).
- Avril - Feuille Santa Barbara NA19-4 (17.772 km²).
- " Carmelitas NB19-16 (18.537 km²).
- " San Juan de Manapiare NB19-12
(17.912 km²).
- Octobre - Feuille La Esmeralda NA20-1 (18.384 km²).

Année 1979 :

- Mars - Feuille NA19-7 (1.131 km²). Maroa.
- " NA19-8 (18.648 km²). Casiquiare.

Année 1980 :

- Avril - Feuille San Carlos de Rio Negro NA19-12
(11.378 km²).

Année 1981 :

Février - Ocamo Feuille NA20-5 (18.648 km²).

IV.3. Interprétation des résultats d'analyses.

Les analyses de routine utilisables à des fins surtout agronomiques sont faites sur place à Guanare. Elles ont fait l'objet d'une interprétation statistique globale pour la moitié nord du territoire notamment pour un facteur nocif malheureusement très répandu, "l'aluminium échangeable" (M. GAVAUD). Les résultats d'analyses minéralogiques d'argile nous sont fournis par l'ORSTOM (services du Pr. PINTA) et ont révélé l'extrême abondance de la gibbsite dans ce milieu (BLANCANEUX).

IV.4. Etat d'avancement des travaux de terrain.

Actuellement la phase interprétation est terminée pour tout le territoire de l'Amazonie.

La phase prospection est presque terminée puisqu'il reste à reconnaître les secteurs du Haut Orénoque, à l'Est du Casiquiare et certains "trous" qui n'ont pu être reconnus au cours des missions précédentes soit pour des raisons climatiques, soit pour accidents mécaniques de l'hélicoptère. Il est prévu une mission vers décembre 1981 au cours de laquelle les opérations de terrain devraient être terminées.

Chaque mission hélicoptérée a une durée moyenne de trois semaines.

IV.5. Présentation des résultats.

Il a été proposé au MARNR de présenter les résultats sous la forme d'un atlas comportant les 21 coupures du Territoire Fédéral de l'Amazonie à 1/250.000 de la carte géomorpho-pédologique.

Chaque coupure est accompagnée d'une légende et d'une notice. La légende est la liste des unités cartographiques ; la notice est un condensé des données géomorphologiques, géologiques, de végétation, climatiques et pédologiques particulières à la feuille considérée.

Ces données sont accompagnées chacune d'un carton à 1/1.000.000 visualisant les informations du texte.

L'atlas lui-même est constitué d'une introduction mettant au point la méthode utilisée, les caractéristiques de la classification pédologique utilisée, la classification géomorphologique adoptée et les données climatiques employées.

L'atlas sera terminé par une carte de synthèse des limitations culturelles à 1/1.000.000 ainsi que d'une notice traduisant et chiffrant les limitations survenant lors d'une utilisation des terres dans le cadre particulier du Territoire Fédéral de l'Amazone.

IV - NORMALISATION ET INFORMATIQUE.

Normalisation.

Dans le cadre du groupe de travail réunissant 7 ingénieurs, il s'est rapidement avéré nécessaire de normaliser les méthodes de travail et de langage employées. Dans le cadre de la description des sols et des notes de terrain non normalisées, le travail de synthèse que doit réaliser le responsable de la carte est une tâche ingrate et une méthode peu sûre. Aussi le processus suivant a-t-il été mis au point :

- Utilisation d'un glossaire pédologique permettant la description des sols en vue du traitement informatique. Ce glossaire établi par D. DUBROEUCQ contient les termes adaptés à l'observation de terrain dans le milieu Amazonien ; il fut critiqué par l'ensemble des utilisateurs du groupe d'étude du sud.

- Utilisation d'un glossaire de description de l'environnement du profil adapté au levé des sols du T.F. de l'Amazone ; ce glossaire établi par Ph. BLANCANEUX fut également critiqué par l'ensemble des utilisateurs et est également conçu pour le traitement informatique.

- Condensation des observations de terrain sous forme de feuillets indiquant les observations sur l'unité de terrain observée (géomorphologie, topographie, roche-mère et végétation), la descrip-

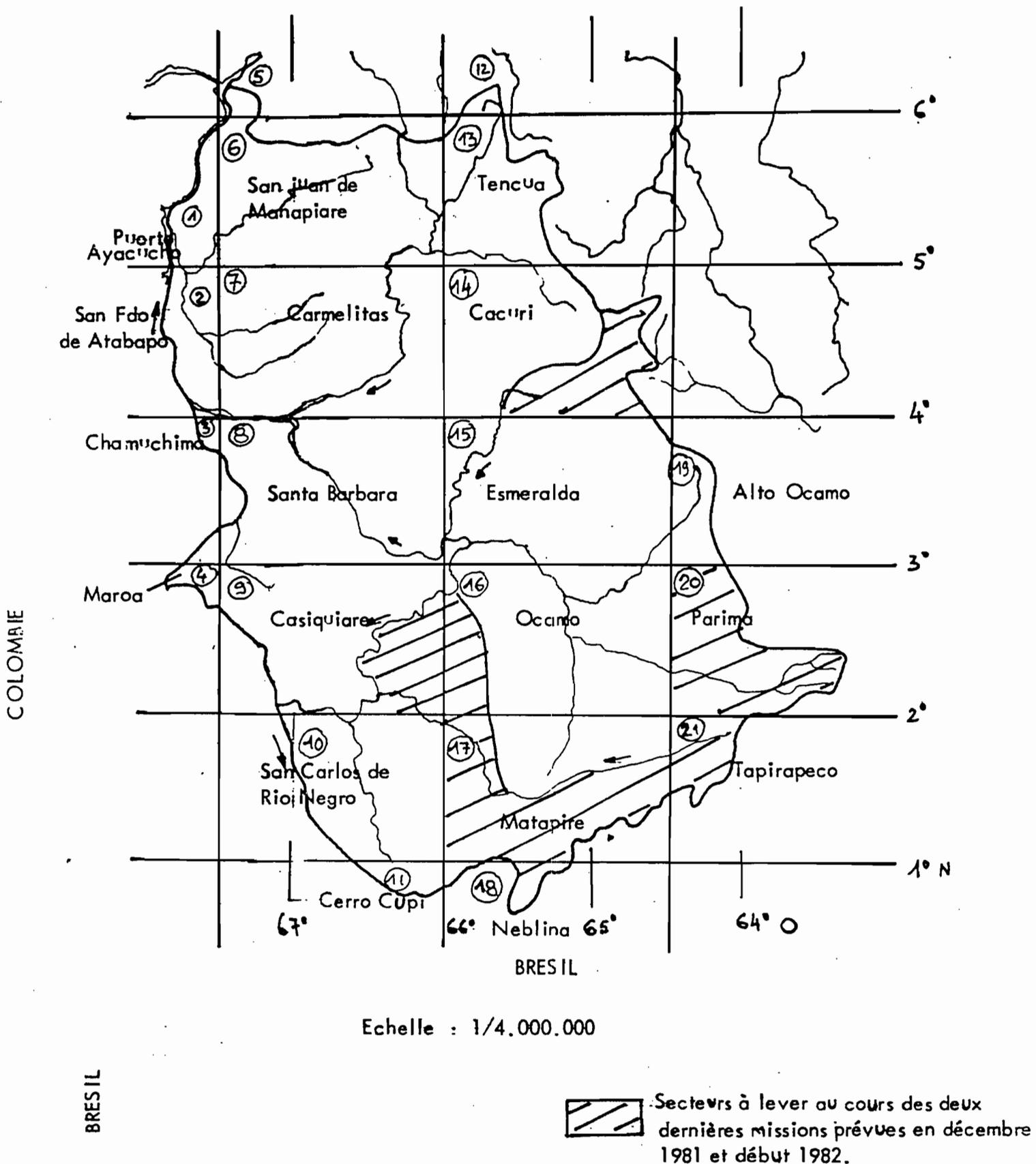
tion des profils et de leur environnement en langages glossaires et le croquis des transects parcourus avec les dénivelés.

Informatique.

Les deux glossaires (Description du profil et description de l'environnement du profil) fonctionnent suivant un programme informatique (programme GLOPEDOR) établi pour l'ORSTOM par Max ORTHLIEB et Françoise PIROT travaillant actuellement au MARNR. Ce programme permet sur l'ordinateur IBM 360 du MARNR de présenter les descriptions de profils de sols, de leur environnement ainsi que de leurs résultats analytiques.

Ces données peuvent être stockées sur bande magnétique ou sur disque.

LES DIFFERENTES MOSAIQUES RADAR DU T.F. de l'AMAZONE DU VENEZUELA.



CARTOGRAPHIE DES SOLS A PETITE ECHELLE EN

KALIMANTAN (Indonésie)

par

P. BRABANT - Maître de Recherche Principal

(résumé R. MAIGNIEN)

1. OBJECTIFS.

Fournir des données de base pour établir un plan de développement. Rechercher des sites favorables à l'implantation de transigrants et des projets régionaux de développement. Pour le pédologue, il s'agit en particulier, d'identifier les principaux ensembles des sols, de les localiser, de les délimiter approximativement et d'en définir l'aptitude culturale.

La surface à cartographier couvre 2.250.000 ha en grande forêt équatoriale. Une superficie de 30 % environ est défrichée et couverte de forêts secondaires peu pénétrables.

2. MOYENS.

Aucune couverture aérienne. Les cartes topographiques sont peu utilisables (il y manque l'orographie) ; les cartes géologiques anciennes comportent des inexactitudes importantes. L'imagerie satellite LANDSAT est utilisable pour la moitié ouest ; elle est de mauvaise qualité pour la moitié est.

3. METHODOLOGIE.

Vérité au sol par deux équipes de pédologues ; l'une suivant le cours des rivières, la seconde prospectant les interfluves en pénétrant les massifs forestiers le long des pistes d'exploitation. Le réseau d'observation du sol a été assez dense. Il s'agissait de rechercher des critères d'identification des sols sur les différentes roches à partir de caractères morphologiques exprimés entre 0 et 2 m, détectable par le creusement d'un profil ou mieux, un sondage à la tarière.

4. RESULTATS.

- une carte des sols au 1/250.000.
- une carte de Land suitability for agriculture au 1/250.000.
- une carte de recommended land suitability for different crops.
- une carte de synthèse 1/750.000 pour la sélection des sites.

On couvre 60 à 65 %, c'est-à-dire la totalité des terres utilisables en laissant la possibilité de toutes les combinaisons. Les recommandations sont clairement exprimées.

5. CONCLUSIONS SUR L'UTILISATION DE L'IMAGERIE SATELLITE.

- l'imagerie au 1/250.000 a permis le repérage sur le terrain par le réseau hydrographique (canal 7) et le réseau de pistes forestières (canal 5).
- l'occupation du sol a été appréhendé immédiatement, visuellement ou par traitement automatique. On a ainsi une bonne connaissance des zones défrichées et des zones sous forêt primaire.
- dans une certaine gamme, la topographie est perceptible sous forêt par une interprétation visuelle. Elle a été vérifiée au sol.
- la limite entre les deux grands domaines pédologiques (ferralsols, acrisols) est discernable sur l'imagerie. Elle correspond à la limite entre la HEAT FOREST et la forêt à dipterocarpacees.

- les sols très hydromorphes comme les tourbes sont identifiables par traitement numérique et visuellement.
- aucun résultat fiable pour identifier directement les différents types de ferrisols sur le socle.

CONCEPTION ET REALISATION DES CARTES D'UTILISATION
DES SOLS DANS LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL : LA CARTE FACTORIELLE

J.V. LOYER - Maître de Recherche

AVANT - PROPOS.

Dans le domaine de la mise en valeur des sols, il est reconnu que la *carte pédologique* ne suffit pas aux utilisateurs qu'elle rebute, sinon par sa complexité, du moins par son inaccessibilité aux non-spécialistes. L'emploi d'une terminologie spécialisée, l'aspect scientifique de la carte elle-même, son souci taxonomique sont autant de raisons qui la rendent hermétique et les exemples sont nombreux dans lesquels on demande au pédologue de transcrire sa carte en un document plus analytique.

Dans le but de pallier cette difficulté, certains se sont orientés vers *les cartes de caractéristiques* des sols. Malgré tout, ce type de carte qui vise à exprimer le maximum de caractères du sol devient vite difficile à lire en raison du nombre de propriétés abordées et de la complexité de la représentation qui en résulte.

Une autre approche a été faite par l'établissement de *cartes d'aptitudes* avec classement des terres, qui définissent pour l'utilisateur les possibilités du sol pour différents types de spéculation ; certaines cartes allant même jusqu'à préconiser des utilisations très spécifiques descendant au niveau de l'espèce. Ce type de réalisation nous a paru d'une part trop engagé d'autant qu'il est tributaire d'aspects politiques ou socio-économiques que méconnaît le pédologue,

d'autre part, trop subjectif et d'autant plus que les exigences éda-
phiques des différentes spéculations proposées ne sont pas toujours
bien connues.

PRESENTATION DE LA DEMARCHE.

Devant ces difficultés, et les impératifs pratiques auxquels nous devons répondre sur la vallée du Fleuve Sénégal nous avons testé une approche cartographique moins engagée, de type analytique mais de portée plus limitée et plus conjoncturelle, que nous avons appelé *cartographie factorielle*.

L'objectif consiste à ne livrer aux praticiens que les seuls facteurs du milieu susceptibles de les intéresser. Cette limitation impose que soit défini à priori l'objectif de la carte, c'est-à-dire de connaître le grand type de mise en valeur envisagé (reboisement, irrigation ...) ; elle suppose ensuite une étroite liaison et un dialogue préalable entre les praticiens (pédologue, agronome, aménagiste ...) qui font en commun la sélection des facteurs à retenir. Ces facteurs peuvent se rapporter à la fois au sol lui-même et à son environnement ; ils peuvent être soit favorables, soit défavorables. La démarche consiste ensuite en une hiérarchisation des facteurs retenus selon leur degré d'influence et en fonction de l'échelle de travail.

Etant donné les variantes possibles de ces facteurs selon les besoins plus ou moins spécifiques des utilisateurs, il n'est pas possible de définir une légende unique pour ce type d'approche, mais seulement une *méthodologie*.

Néanmoins dans tous les cas étudiés il nous est apparu indispensable de considérer la profondeur du sol comme un facteur important au plus haut niveau et donc de découper le sol en unités cartographi-
ques non seulement dans le sens horizontal mais aussi vertical de façon à définir des *espaces volumiques* de sols.

REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE.

Sur le plan de la représentation cartographique un de nos objectifs primordiaux était d'aboutir à des cartes claires et faciles à lire ; nous avons donc opté pour des *cartes en couleur*. D'un autre côté la diffusion restreinte de ce type de carte thématique interdisait l'accès aux moyens de l'imprimerie. La représentation en a donc été étudiée avec les cartographes selon les possibilités locales.

Celle-ci comporte généralement trois niveaux :

- la couleur affectée aux facteurs principaux : elle est passée à la main ce qui limite la gamme des possibilités (5 à 6 couleurs).
- La trame affectée aux facteurs secondaires.
- Les signes pour les facteurs mineurs ou externes.

Le niveau d'apparition de ces différents facteurs en profondeur est exprimé par la présence d'un ou plusieurs cartouches superposés.

CAS DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL.

Ce système est appliqué dans la vallée du Fleuve Sénégal depuis 1977 par divers pédologues (E. BRAUDEAU - A. M'TIMET - J.Y. LE BRUSQ) pour la cartographie des cuvettes destinées à l'irrigation. L'objectif était clairement défini au départ : installation de périmètres hydro-agricoles destinés en priorité à la production de riz irrigué par submersion permanente et secondairement de cultures maraîchères irriguées de façon intermittente à la raie. L'échelle de cartographie retenue à cette phase du projet est le 1/10.000 et la hiérarchie des facteurs choisis en accord avec les demandeurs est la suivante :

- La profondeur par tranche de sol de 30 cm jusqu'à 120 cm.
- La texture représentée par 5 classes définies selon un triangle graphique, chacune étant affectée d'une couleur (très fine : violet - fine : bleu - moyenne : vert - grossière : orange - très grossière : rouge).
- La salinité, d'abord représentée à un niveau général comportant deux classes : non salé Cté ES. < 8 mmhos/cm, (teintes claires)

Cté supérieure à 8 mmhos/cm 25° (teintes foncées). Cette limite à 8 mmhos a été retenue comme étant celle à partir de laquelle la productivité rizicole est affectée. Ces deux classes sont représentées par une intensité de couleur aux 5 niveaux de texture précédents. Un degré plus détaillé de salinité et/ou d'alcalinité est précisé par un signe.

- Les autres facteurs considérés sont l'acidité, la perméabilité Muntz, la réserve utile éventuellement, la présence de gypse, de jarosite, le pH, la présence d'une nappe, d'éléments grossiers, de calcaire, les éléments de fertilité.
- Pour les facteurs externes (permettant à l'utilisateur une estimation des travaux d'aménagement), la pente, la morphologie locale (estimation des quantités de terre à déplacer pour le planage) l'occupation du sol, la présence d'éléments grossiers ou de termitières en surface ... (estimation des travaux de défrichement - choix des engins - estimation des prix).

CONCLUSION.

Les deux principes qui régissent l'établissement de ces cartes factorielles sont donc la limitation du nombre des facteurs représentés en fonction d'un grand type de spéculation défini à priori, et la prise en compte du sol au niveau d'espaces volumiques.

L'accueil qui a été réservé à ces cartes par les utilisateurs est dans l'ensemble favorable en raison à la fois de leur lisibilité et de la réponse à leurs préoccupations directes. Quelques critiques ont été formulées sur les premières éditions qui manquaient de données physiques. La mise au point de la légende n'est pas définitive et d'autres aspects tels que la fertilité seront peut-être pris plus en considération, notre objectif étant d'aboutir à la définition, sinon d'une légende, du moins d'une méthode homogène universellement employée dans tout projet d'aménagement de la vallée du Fleuve.

Deux points restent à préciser : dans tous les cas le document factoriel est accompagné d'une carte pédologique de base qui fait référence à la classification, et parfois d'une carte morpho-pédologique explicitant tous les composants du milieu et précisant les règles

de leur répartition dans le paysage.

Enfin, une cartographie plus engagée de type carte d'aptitude peut toujours être tirée du document factoriel pour répondre à un besoin plus précis entrant dans le cadre du projet, et ce sans retour sur le terrain, mais à condition qu'elle soit faite en commun par le pédologue et l'agronome, ce dernier devant définir les exigences édaphiques de la spéculation envisagée.

CARTE MORPHO-PEDOLOGIQUE ET PLANIFICATION REGIONALE

UN EXEMPLE EN COTE D'IVOIRE

R. POSS - *Chargé de Recherche ORSTOM*

INTRODUCTION.

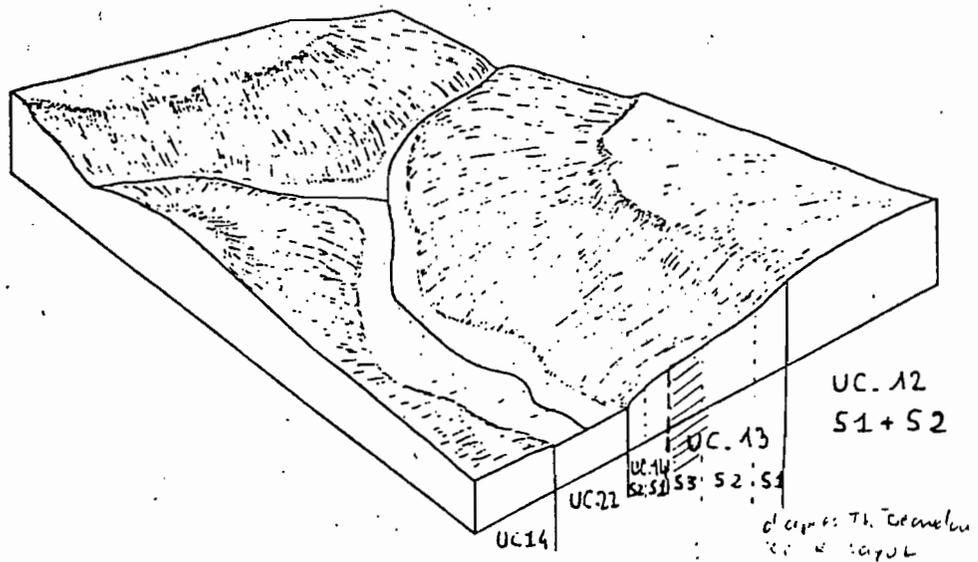
La carte de Katiola a été réalisée entre 77 et 79 dans le cadre de la cartographie au 1/200.000 entreprise par la section dans le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. L'expérience ayant montré à maintes reprises les difficultés que rencontrent les utilisateurs pour interpréter nos documents, il m'est apparu souhaitable de réaliser un travail de synthèse sur l'aptitude à la mise en valeur des sols de la région avant mon départ du pays. Ceci a été rendu possible par la présence sur place de R. SABATHE, agronome habitué à ce type de travail, et qui avait réalisé précédemment l'interprétation de la carte d'ESCHENBRENNER avec qui cette étude a été conduite.

Alors que la tendance générale dans la section est de réaliser des cartes de ressources en sols (LEVEQUE et LE COCQ au TOGO, BARBERY et DELHUMEAU en Tunisie ...), détachées le plus possible d'une utilisation particulière, ce qui se justifie pleinement par la difficulté du travail d'interprétation de la carte pédologique, une démarche inverse a été adoptée ici (plus proche de celle de MULLER et GAVAUD au Cameroun) ; l'interprétation a été effectuée uniquement en vue d'une spéculation particulière, ce qui se justifie :

- par une demande précise des utilisateurs,
- une relative simplicité d'interprétation de la carte morpho-pédologique proposée.

PAYSAGE 2

Paysage de plateaux et de témoins cuirassés partiellement
démantelés



PAYSAGE 2

Paysage de plateaux et de témoins cuirassés partiellement démantelés

Extension km2 et %	Denivelée	Longueur du % interfluve	Unités cartographiques	Extension (longueur ou surface) % paysage	Segments Pédologiques	Modelé	Pentes moy. ext.	Caractères généraux des sols	Profondeur moy.	Eléments grossiers moy.	Drainage interne de l'apexol	Végétatic
3994 km2 33%	35 m (20-50)	1200 m (900 à 2000m)	Sommet d'interfluve (UC 12)	50 ha (5 à 450 ha) 12% (47000 ha)	Plateau (gravillonnaire et induré) (segment 1)	Plan (plus ou moins irrégulier)	0,8 0 2	Sols ferrallitiques rouges, gravillonnaires, indurés à la base	45 (0 à 130)	50	très rapide	Savane arborée ou arbustive
					Plateau (gravillonnaire et profond) (segment 2)	Plan (plus ou moins irrégulier)	0,8 0 2	Sols ferrallitiques rouges, gravillonnaires, parfois altéritiques à la base	105 (25 à >150)	45	très rapide	Savane arborée ou arbustive
			Haut de versant (UC 13)	850 m 63% (25300ha)	Zone de raccord entre les plateaux et les versants (segment 1)	Concave puis rectiligne	7,0 3 20	Sols ferrallitiques pénévulés, meubles, gravillonnaires et altéritiques à faible profondeur	60 (8 à >150)	40	très rapide	Savane arborée
					Amont (segment 2)	Généralement rectiligne, parfois convexe ou rectiligne convexe	2,7 1 6	Sols ferrallitiques gravillonnaires, altéritiques à la base	90 (25 à >150)	35	très rapide à moyen	Savane arborée ou forêt claire
					Aval (segment 3)	Souvent rectiligne plus ou moins convexe ou concave, parfois convexe ou concave	3,0 0 7	Sols ferrallitiques gravillonnaires, hydromorphes et (ou) indurés à la base	65 (0 à >150)	35	rapide à moyen souvent ralenti à la base	Savane arborée ou arbustive
			Bas de versant (UC 14)	200 m (25%) (98000ha)	Amont (segment 1)	Convexe ou rectiligne à l'amont, convexe passant souvent à concave à l'aval	3,1 0 7	Sols sableux en surface, indurés et (ou) hydromorphes en profondeur	50 (0 à 90)	< 5	rapide à moyen souvent ralenti à la base	Savane arbustive
					Aval (segment 2)	Concave ou rectiligne concave sur le versant, passant à rectiligne dans le bas-fond	3,1 1 12	Sols hydromorphes de texture très variable	45 (20 à 130)	< 5	ralenti	Savane herbueuse (forêt galer)
			Plaine Alluviale	<<1%		Plan	0,5 0 1	Sols hydromorphe de texture très variable		< 5	ralenti	Savane herbueuse

1. La demande des utilisateurs.

Elle peut être formulée de la façon suivante : "quelles sont, à l'échelon régional, les zones les plus favorables pour les cultures pluviales annuelles mécanisées en assolement intensif ?" (essentiellement coton, soja, maïs, riz pluvial dans cette région de savanes à 1.200 mm de pluviométrie).

Cette formule appelle plusieurs remarques :

- cette étude n'est valable que pour le type de production envisagé.
- il ne s'agit pas de trouver quelques hectares très favorables mais des zones étendues justifiant des investissements importants.
- les contraintes étant différentes suivant les plantes, il apparaît un problème de choix.
 - + prendre la plante économiquement la plus rentable
 - + pondérer les facteurs en fonction des besoins des différentes plantes ?

Nous avons finalement choisi de classer en fonction des plantes les plus exigeantes (intervention de l'expérience de SABATHE : "c'est le moins mauvais").

2. La carte morpho-pédologique.

2.1. Le découpage spatial -

Succession sur les deux versants de sols caractérisés par de grands processus pédologiques, d'où définition des *segments pédologiques* (biblio abondante). Nécessités de regroupements en fonction des facettes géomorphologiques pour les besoins de la représentation, d'où les *unités cartographiques* (ou unités morpho-pédologiques). Une même succession de segments pédologiques sur certains versants conduit à la notion de *paysage morpho-pédologique*. On est donc conduit à proposer deux cartes différentes :

- carte des unités morpho-pédologiques
- carte des paysages morpho-pédologiques

UC 13 S3

LEPTO-APEXOLS

Apexol	Type d'horizon	Couleur	Éléments grossiers	Texture	Structure	Porosité	Cohésion
	Appunite	brun foncé à brun rougeâtre foncé	0 à 70% EG Gravillons ou graviers	Sa & SA	améro-grumoclode, anguoclode	P	TM & M
Infraso	1er horizon	Gravolite ou gravelon ± structi					
	Evolution en profondeur	Fragistérite ou altérite ± hydromorphe					

BRACHY-APEXOLS PEU DÉVELOPPÉS

Apexol	Appunite	Couleur	Éléments grossiers	Texture	Structure	Porosité	Cohésion
		gris foncé à très foncé, brun foncé, brun rougeâtre foncé, brun grisâtre très foncé, gris, brun	<5% EG (0 à 55%) <5% Go (0 à 55%) <5% Ge (0 à 5%)	Sa (50%) SA (30%) AS (20%)	Grumoclode (50%) amérogrumoclode (35%) améroanguoclode, grumo-psammoclode	TP (45%) P (55%)	TM (45%) M (55%)
	Structichron dyscrophe (parfois taches d'hydromorphie à la base)	brun rougeâtre à brun rougeâtre foncé, brun foncé, brun jaunâtre foncé à clair, brun grisâtre foncé, gris foncé, rouge sombre ou terne, rouge jaunâtre	40% EG (0 à 65%) 40% Go (0 à 65%) <5% Ge (0 à 30%) (parfois cailloux de stérite)	Sa (10%) SA (30%) AS (35%) A (25%)	améro-anguoclode (40%) améro-grumoclode (30%) amérode, psammoclode, anguoclode	TP (15%) P (60%) PP (25%)	TM (10%) M (50%) PM (40%)
Infraso	1er horizon	- Gravolite (60%) en association avec d'autres phases : - structichrome : l'horizon est généralement meuble et colonisé par les racines - retlichrome - Cet horizon est souvent esser cohérent. - Fragi ou petrostérite (25%) de couleur généralement beige - Altérite généralement hydromorphe - Retlichron					
	Evolution en profondeur	- Fragi ou petrostérite (50%) - Duri;reti-altérite (25%) - Retlichron - Structi-altérite					

~~BRACHY-APEXOLS STRICTS~~

Apexol	Appunite	Couleur	Éléments grossiers	Texture	Structure	Porosité	Cohésion
		brun foncé, brun rougeâtre foncé, brun grisâtre à brun grisâtre très foncé, brun très foncé, brun jaunâtre, brun rougeâtre, gris foncé à très foncé, noir	<5% EG (0 à 30%) <5% Go (0 à 30%) <5% Ge (0 à 5%)	Ss (15%) Sa (35%) SA (35%) AS (15%)	améro-grumoclode (60%) parfois à tendance psammoclode, grumoclode souvent très nette (25%) psammo-grumoclode, psammoclode, améro-anguoclode	TP (35%) P (55%)	TM (35%) M (65%)
	Structichron dyscrophe	brun rougeâtre à brun rougeâtre foncé, brun foncé, rouge à rouge foncé ou sombre, brun grisâtre, brun jaunâtre foncé, brun vif, brun sombre, rouge jaunâtre	<5% EG (0 à 60%) <5% Go (0 à 60%) <5% Ge (0 à 10%) (plus de 30% d'EG dans 15% des cas et = de 45% EG dans 5% des cas)	Sa (10%) SA (40%) AS (40%) A (10%)	améro-anguoclode (40%) amérode (25%) améro-grumoclode, grumoclode, améro-psammoclode	TP (10%) P (60%) PP (30%)	TM (10%) M (55%) PM (35%)
	Structichron (dans 20% des cas: taches d'hydromorphie)	rouge à rouge foncé, rouge jaunâtre, brun rougeâtre à brun rougeâtre foncé, brun jaunâtre, brun vif, jaune rougeâtre, jaune brunâtre	30% EG (0 à 55%) 30% Go (0 à 50%) <5% Ge (0 à 40%) (plus de 45% d'EG dans 10% des cas). Parfois cailloux de stérite	AS (50%) A (50%)	améro-anguoclode (75%) améro-grumoclode, amérode, anguoclode	P (55%) PP (45%)	M (20%) PM (80%)
Infraso	1er horizon	- Retlichron (± duri) associé à d'autres phases (60%) : - structichron - gravolite - altérite - Fragi ou petrostérite (30%) - Gravolite - Altérite					
	Evolution en profondeur	- Retlichron (± duri) associé à d'autres phases (60%) - Fragi ou petrostérite (40%)					

ORTHO-APEXOLS

Apexol	Appunite	Couleur	Éléments grossiers	Texture	Structure	Porosité	Cohésion
		brun rougeâtre foncé	0 à 5% EG	SA	grumoclode	TP & P	TM & M
	Structichron dyscrophe	brun rougeâtre foncé, brun foncé	0 à 55% EG (surtout des gravillons)	AS	anguoclode, améro-anguoclode	P	M
	Structichron	rouge à rouge foncé, jaune, brun jaunâtre	0 à 35% EG (surtout des gravillons)	A	améro-anguoclode	P & PP	M & PM

2.2. L'expression des données aux différents niveaux.

Pour chaque niveau (paysage, unité morpho-pédologique, segments, sols constitutifs des segments) une représentation par tableaux a été adoptée, afin de faciliter au maximum l'accès à l'information.

Deux exemples extrêmes : *Paysage 2*

- souligner :
- l'importance des données géomorphologiques
 - la quantité de données chiffrées
 - la ligne de l'UC 13 qui servira d'exemple
- ensuite

UC 13 Segment 3

Brachyapexols stricts : type de sol caractérisé par la succession

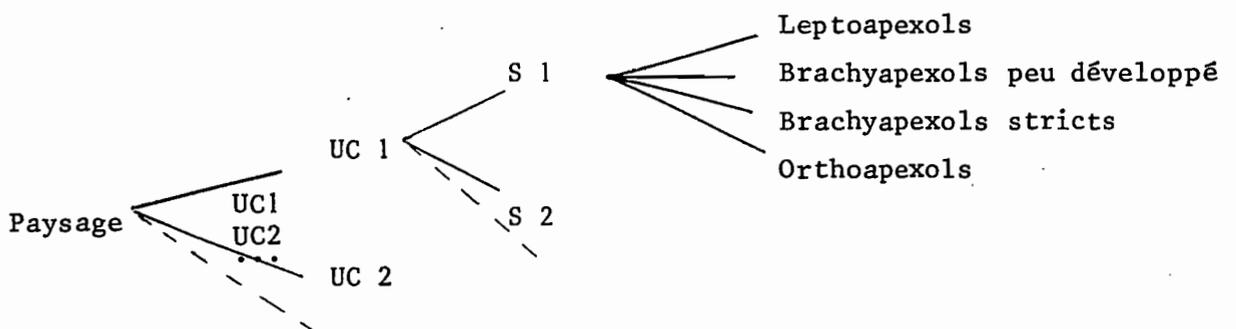
- horizon organique (appumite)
- horizon faiblement organique (structichron dyscrophe)
- structichron dont la profondeur absolue n'excède pas 1,5 mètre.

Ce type de représentation n'est rendu possible que par la grande monotonie de l'organisation des sols ferrallitiques de moyenne Côte d'Ivoire.

- les caractères strictement pédologiques
- l'absence de profil type, les caractères étant exprimés par des moyennes (ou des médianes), des extrêmes, ou des fréquences. Tendance également retenue sur Bassar par LE COCQ et encore étendue par LEVEQUE sur les cartes du Nord C.I. Cette représentation permet de refléter la variabilité des sols.

- la possibilité de lecture verticale permettant de suivre l'évolution d'un caractère en profondeur.

Entre les deux : niveaux intermédiaires explicitant en particulier les caractères chimiques et les critères de répartition spatiale des unités.



3. Le traitement de l'information.

Le traitement débute par la base (types de sols de chaque segment). Chaque type de sol est classé en fonction de son aptitude culturale (6 classes dont seules les trois premières sont aptes à la mise en valeur projetée).

3.1. Détermination des classes d'aptitudes.

3.1.1. Les critères retenus :

Ils sont très classiques :

- *La profondeur du sol*, limitée par un obstacle (roche, cuirasse, carapace, altérite)
- *la texture* : les textures grossières sont d'autant plus pénalisées qu'elles se prolongent en profondeur.
- *la teneur en éléments grossiers*, pondérée par la qualité de matrice (texture, structure, cohésion) et le taux d'éléments quartzeux.
- *l'hydromorphie*.

Par ailleurs sont précisés les critères liés à la mécanisation pierrosité et pente.

3.1.2. La méthode adoptée.

Pour chaque type de sol les différents critères sont successivement étudiés.

Exemple : Brachyapexols stricts du segment 3 de l'UC 13.

Profondeur	Texture	Elements grossiers	Hydromorphie	Classe d'aptitude
II Cu-Al	III t	III S	II H	III t (Cu-Al)

↑
Cuirasse
↑
Altérite

souvent sableux

↖
Contrainte qui provoque le classement en III

↖
Contraintes qui, seules, auraient fait classer le sol dans la classe immédiatement supérieure.

On prend pour classe d'aptitude la plus faible des classes déterminées pour chaque facteur, avec un déclassement si ce minimum se retrouve plusieurs fois.

Aptitude des sols (Paysage de plateaux et de témoins partiellement démantelés)

Unité cartographique	Segment	% du Paysage	C l a s s e s						mécanisation	
			I	II	III	IV	V	VI	Pente	Fertilité
12	1	7,00			1,68 g (Cu)	2,94 g (Cu)		2,38 Cu	m 1	m 2 B
	2	5,00			2,75 g	2,25 g			m 1	m 2 B
13	1	4,00			1,40 g	2,60 g Al			m 4 T	m 4 B
	2	28,00		8,40 g	11,20 g	8,40 g			m 1 - 2	m 2 - 1
	3	31,00		1,50 g	15,50 t (Cu Al g H)	12,50 Cu Al g t H	1,50 Cu g Al		m 1 - 2	m 1 - 2
14	1	9,00			2,70 H (Cu tg)	5,80 Cu (tg)		0,50 Cu	m 1 - 2	m 1
	2	15,00			3,70 H	6,80 H (t)	4,50 H		m 1 - 2	m 1
22	-	1,00					1,00 H			
TOTAL		100,00	-	9,90 g	38,93	41,29	7,00	2,88 Cu		

Cette détermination est la phase la plus délicate du travail. Pour chaque critère il est nécessaire, au vu de la légende, d'acquiescer une vue synthétique de la variabilité du caractère afin de fournir le diagnostic d'aptitude. Là intervient l'expérience de SABATHE. Importance capitale de cette phase du travail car la suite n'est qu'une compilation de ces traitements de base à l'aide des chiffres fournis par la légende de la carte.

3.2. La synthèse aux différents niveaux.

3.2.1. Etablissement des tableaux par paysage.

Exemple : Pour l'UC 13 segment 3, qui représente 31 % du paysage

- 1,5 % des sols sont en classe II avec une contrainte liée aux éléments grossiers.

- 15,5 % des sols sont en classe III avec une contrainte liée à la texture (à laquelle s'ajoute une contrainte plus faible par la présence fréquente d'éléments grossiers, d'hydromorphie ou, en profondeur, de cuirasse ou d'altérite.

- etc...

Deux lectures sont donc possibles :

- une lecture horizontale, qui donne l'aptitude des sols dans un segment et le type de contrainte

- une lecture verticale, qui donne la proportion de sols d'une classe et leur localisation dans le paysage.

Conclusions.

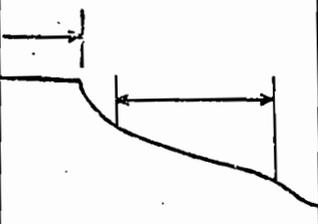
- 49 % des sols sont utilisables pour la mise en valeur projetée (classes I + II + III)

- 41 % des sols sont utilisables en culture traditionnelle (classe IV)

- certains segments doivent être écartés, par exemple l'UC 12 SI qui présente une trop forte proportion de sols cuirassés à faible profondeur.

3.2.2. La synthèse pour un paysage.

Il est maintenant possible de déterminer les zones les plus favorables, dans chaque paysage en intégrant, en plus de l'aptitude agronomique des sols, les critères de mécanisation et de répartition

Segments Favorables	Situation sur l'interfluve	Surface cultivable (en% du paysage)	Proportion des différentes classes d'aptitude dans les zones préconisées (en %)					
			I	II	III	IV	V	VI
UC 12 S2 UC 13 S2 S3		6.7		61		37		2

Surface cultivable dans le paysage 2.

spatiale des unités (succession monotone des unités sur le versant, tache d'une unité dans une autre ...)

On arrive donc à la notion de surface cultivable. Mais dans cette surface existe une certaine proportion de sols défavorables (IV + V + VI) qui seront soit intégrés dans les parcelles, soit éliminés après cartographie détaillée (lorsque leur extension le permet).

Il est bien entendu que nous arrivons à des valeurs moyennes obtenues à partir des observations réalisées sur l'ensemble de la carte et qu'à l'échelle de l'interfluve ces proportions peuvent considérablement varier.

3.2.3. La comparaison entre les paysages.

En vue d'établir un classement, il faut choisir un critère, forcément discutable (on pourrait rechercher les paysages où les sols sont les plus homogènes, ou ceux où se trouvent les sols de meilleure aptitude, même s'ils ne sont pas étendus ...). Le classement établi repose sur le pourcentage de superficie du paysage dont les sols sont mécanisables et dans les classes d'aptitude I, II et III. Etant donné les impuretés de sols classés IV à VI au sein des zones favorables, on appellera *cultivable* la superficie représentée par les segments englobant les sols aptes.

Commentaires - dans le paysage le plus favorable, 75 % des sols sont cultivables dont 90 % I + II + III (essentiellement des sols ferrallitiques rouges gravillonnaires)

- dans le paysage le moins favorable, seuls 20 % des sols sont cultivables, dont 45 % seulement sont en I + II + III.

3.2.4. La synthèse au niveau de la coupure.

Si l'on intègre les données du tableau précédent il apparaît que les sols cultivables représentent environ les 2/3 de la superficie totale. Il faut noter cependant que sur cette superficie les sols mécanisables en I + II + III ne représentent que 48 % (il y a donc 20 % de sols médiocres compris dans les zones utilisables).

Parmi ces sols, certains sont plus facilement utilisables que d'autres et il faut compter que 10 % environ ne pourront pas être

Désignation du Paysage	Numéro	Classement	% cultivable	% mécanisable en I, II & III	Proportion des différentes classes en % de la zone retenue			Superficie km ²
					I + II + III	IV	V + VI	
Paysage de collines convexes en zone de forêt.	12	1	75	73	97	3	0	242
Paysage de collines convexes	7	2	75	52	70	22	8	2 904
Paysage de collines gravillonnaires convexes à plan convexes	3	3	67	50	74	22	4	1 936
Paysage de plateaux et de témoins cuirassés partiellement démantelés.	2	4	67	41	61	37	2	3 994
Paysage de massifs de roches volcaniques	10	5	64	41	65	35	0	302
Paysage de plateaux et de témoins cuirassés	1	6	59	34	58	39	3	605
Paysage de collines convexes à versant riches en affleurements rocheux.	11 a	7	32	26	81	10	9	847
Paysage de plateaux cuirassés à versants riches en affleurements rocheux.	11 b	8	33	25	76	12	13	242
Paysage de collines à sommets riches en affleurements rocheux	5	9	21	10	45	47	8	847
Paysage d'inselbergs	4	10	20	9	45	47	8	181

Classement des paysages en fonction de leur aptitude pour les cultures pluviales annuelles mécanisées en assolement intensif.

mis en valeur car situés dans des environnements défavorables (faible proportion de sols aptes, abondance des affleurements rocheux...). Il faut donc compter, sur l'ensemble de la coupure, trouver environ 58 % de sols utilisables (dont les 2/3 en classes I + II + III).

Ces conclusions peuvent se traduire par un document cartographique : Il apparait clairement que les paysages de cette région sont classés principalement dans les groupes "moyen à passable" avec des sous régions plus défavorables et d'autres présentant une meilleure aptitude, dans lesquelles il y a lieu d'aller prospecter en détail pour implanter les zones d'action.

Quelques Conclusions.

Un exemple d'interprétation a été présenté ici ; il pourrait y en avoir bien d'autres.

Toute étude régionale en Afrique implique une connaissance du modelé (en particulier importance considérable des pentes pour la mécanisation), laquelle doit être intégrée dans nos documents avec une certaine précision. En effet, d'une part nous sommes en mesure de fournir ces renseignements, et d'autre part les utilisateurs sont généralement dans l'impossibilité de réaliser une telle étude. Ce qui pose le problème de nos compétences en géomorphologie.

Il est souhaitable de pouvoir réaliser le travail d'interprétation en liaison avec le planificateur car l'expérience prouve qu'il a souvent du mal à interpréter nos documents. De plus, il y a toujours un certain nombre de renseignements sur le milieu qu'il nous a été impossible de traduire dans la légende et qui se révèlent utiles à la mise en valeur. Je pense donc qu'il est souhaitable que nous proposons au moins une méthode d'analyse de nos documents, en vue de leur utilisation, même si l'on doit s'éloigner de la rigueur scientifique. La carte d'aptitude présentée ici n'est pas "exacte", mais elle reflète une connaissance du milieu que nous sommes seuls à posséder.

L'échelle de la carte est-elle adaptée au but recherché ?
Etant donné l'hétérogénéité des sols, même une carte au 1/50.000

(déjà difficilement réalisable sur de grandes surfaces) ne permet pas de distinguer des unités agronomiques pures. Dans ces conditions, il est raisonnable de rechercher plutôt une vision statistique des sols (facilité d'ailleurs dans le cas présent par une certaine monotonie de l'organisation des profils) aboutissant à des notions de médianes et de fourchettes de variation en liaison avec la position des sols sur le versant ou le type de versant. On ne comprend pas forcément la répartition (est-ce toujours possible au 1/200.000 ?), mais on la décrit au mieux. Plutôt que d'échelle de la carte, il faudrait plutôt parler de densité d'observations (les 1.000 profils retenus en C.I. semblent suffisants), les deux n'étant pas toujours liés ..., puis d'échelle de représentation cartographique, qui devrait être liée essentiellement aux contraintes techniques de la représentation cartographique (échelle et netteté des photographies aériennes, voire des clichés satellites, épaisseur et densité des traits ...).

En fonction de ces remarques et du travail réalisé, il me semble que : pour la planification régionale, la densité d'observations est largement suffisante et que le document cartographique le plus utile est la carte des paysages, (laquelle pourrait être éditée à des échelles comprises entre 1/500.000 et le 1/1.000.000, ce qui n'enlève rien à l'intérêt scientifique de la carte des unités morpho-pédologiques.

LES ETUDES DETAILLEES DE L'ORGANISATION DU SOL
EN GUYANE FRANCAISE ET LEURS APPLICATIONS

par

F.X. HUMBEL

Directeur de Recherche ORSTOM

En Guyane française septentrionale, R. BOULET et ses collaborateurs successifs ont étudié en détail l'organisation en 3 dimensions de la couverture pédologique de petits bassins versants pentus sur schiste (superficie de l'ordre de l'hectare) ou d'unités de modelé de dimensions diverses (petits plateaux d'échelle kilométrique ou ondulations hectométriques correspondant à d'anciennes barres pré-littorales, sur sédiments sablo-argileux).

Il s'agit dans tous les cas de sols où le drainage externe de l'eau est assuré par la pente, mais où la quantité de pluie à évacuer chaque année est considérable (2 à 4 m), et qui s'apparentent par leurs caractères morphologiques et géochimiques soit aux sols ferrallitiques soit aux podzols "tropicaux" (épais horizon sableux blanc bouillant).

Mon intention ici est de dire à quoi servent ces études détaillées, après avoir rappelé comment elles sont menées (se reporter pour une information plus précise aux publications sur le sujet).

Cette utilisation de ces études détaillées peut être schématisée dans le tableau ci-contre.

Pour commencer, un mot sur les différenciations verticales et latérales mises en évidence en Guyane, et sur les catégories de couvertures pédologiques qu'elles amènent à définir.

a) Rappel sur la méthodologie d'étude détaillée de l'organisation.

Les différents volumes ou horizons qui composent les couvertures pédologiques étudiées ont été repérés soigneusement le long de transects. La disposition de ces volumes-horizons n'est généralement pas la même d'un transect à l'autre, même très voisins, et ces courbes tracées sur le plan (appelées courbe d'isodifférenciation par R. BOULET) repèrent l'apparition ou la disparition de certains de ces volumes-horizons (ou des changements de leurs caractères internes). Ce sont ces lignes qui introduisent véritablement la 3^{ème} dimension de l'organisation de la couverture pédologique dans ces représentations détaillées en coupes et plan (ne figure là que le minimum de coupes nécessaires à la reconstitution du volume sol). En effet, l'étude du tracé de ces courbes, qui sont parallèles ou discordantes, permet de discriminer ce qui est réellement lié de ce qui est fortuit dans les relations spatiales observées sur un transect donné. (Figure 1 et 4).

L'étude de ces relations vraies met en évidence un réseau hiérarchisé de relations entre différents caractères d'organisation (ou entre caractères d'organisation et traits de fonctionnement) qui permet de remonter jusqu'à ceux qui déterminent les autres.

Par exemple ici (sur schistes) en allant du sommet vers le versant, il y a toujours coïncidence entre l'amincissement latéral de l'horizon supérieur poreux (micro-agrégé), son jaunissement, la disparition de la structure micropédique, et une répartition verticale différente de l'humidité (à l'appréciation tactile in situ) laquelle traduit un basculement du drainage. Les conséquences morphologiques (rapprochement de l'horizon compact, brutalité du contact, concentration de nodules lithorelictuels etc) et hydrodynamiques (poches d'eau, nappe perchée, ruissellement etc) de ce changement de dynamique actuelle de l'eau apparaissent successivement sur le versant. C'est donc l'amincissement de l'horizon supérieur poreux qui détermine le basculement du drainage, lequel induit la transformation latérale du sol du versant. (Figure 2 et 3).

COURBES D'ISODIFFERENCIATION

- 1) disparition de l'horizon rouge compact (du côté du n°)
- 2) disparition des nodules lithorelictuels "
- 3) hydromorphie dans l'horizon humifère "
- 4) disparition de l'hz.violacé sériciteux "
- 5) disparition du caractère "sec au toucher"
- 6) hz.blanc dès base de l'hz.humifère

HORIZONS OU CARACTERES

Concentration de nodules lithorelictuels
horizon humifère
hz. brun-jaune poreux
hz. rouge compact à lithoreliques ferr.
hz. violacé sériciteux à lithor. friables
hz. à structure du schiste conservée
réseau rouge sur fond jaune
hz. blanc onctueux, tubes, nappe
enveloppe du caractère "sec au toucher"

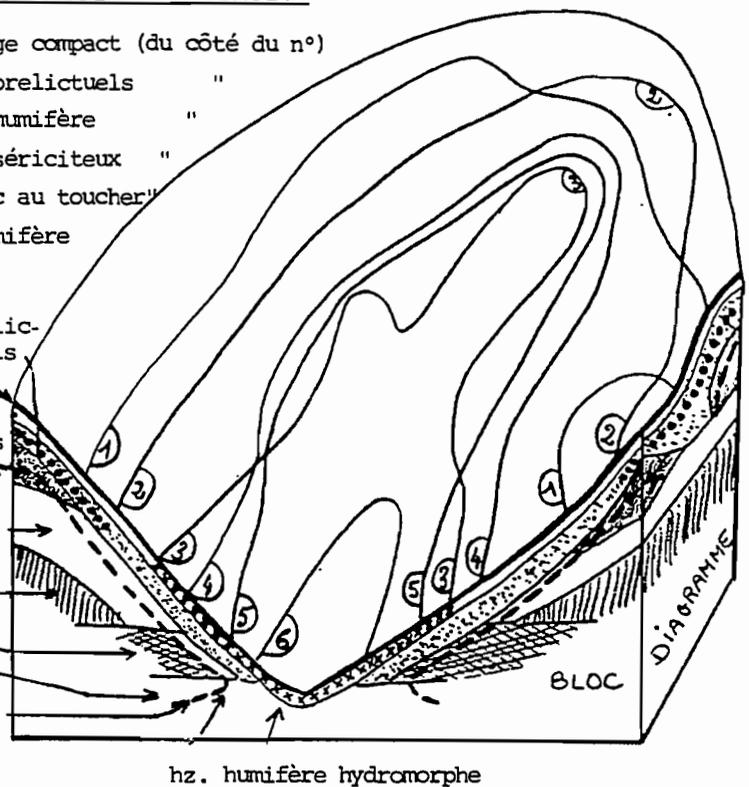


Figure 1 : Bloc-diagramme montrant les horizons et les courbes d'isodifférenciation qui leur correspondent.

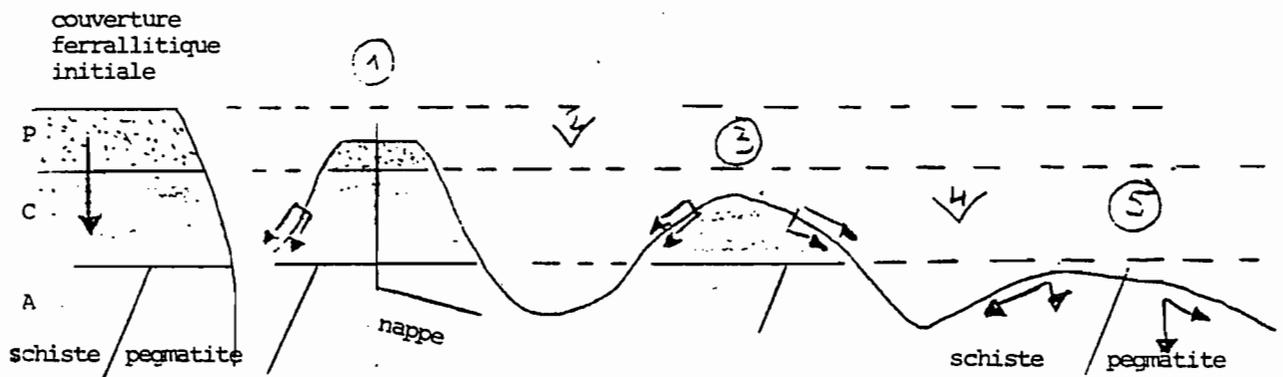
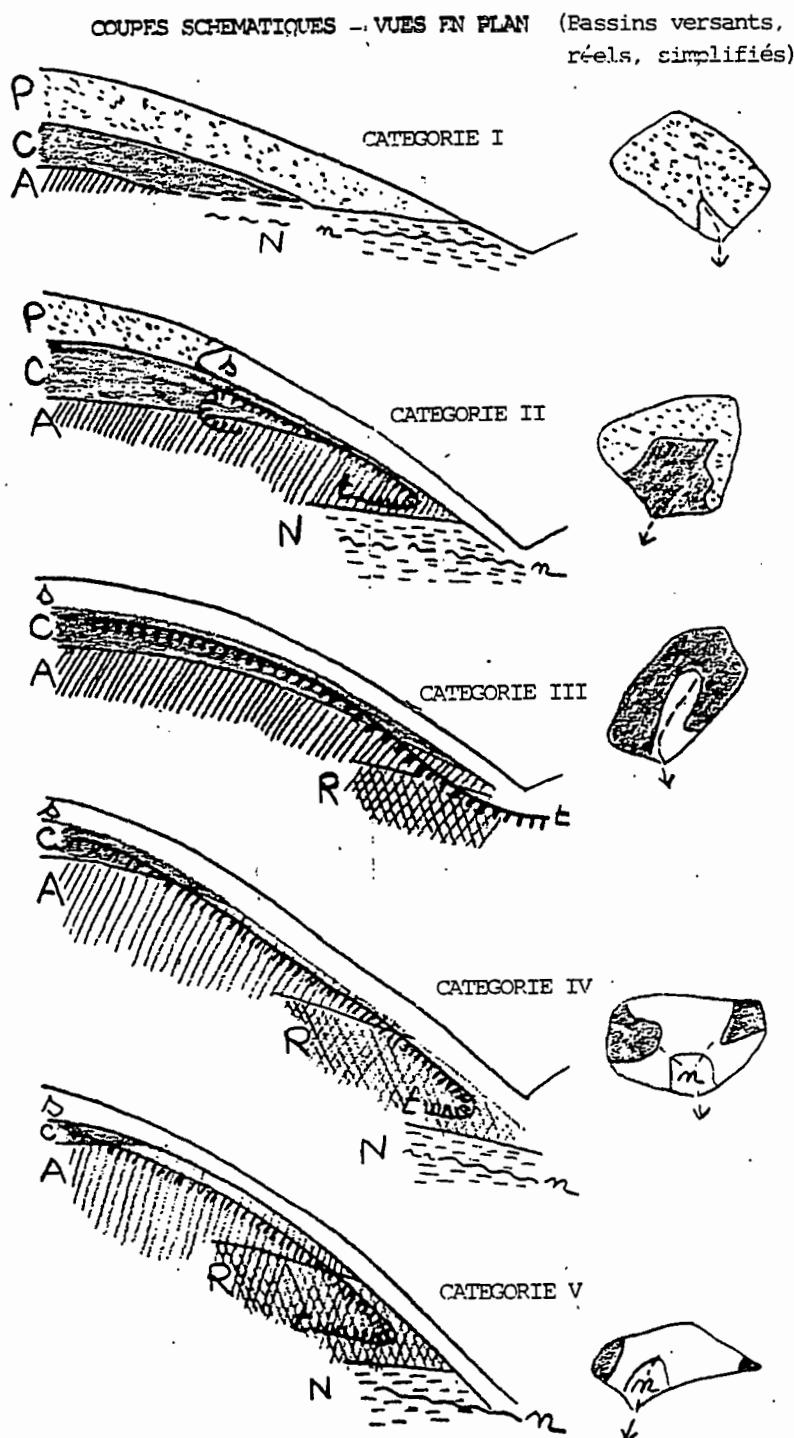
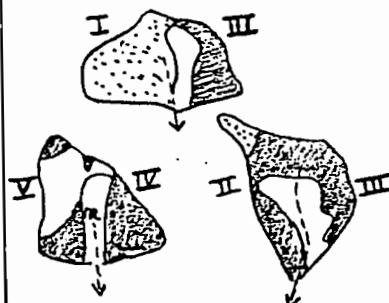


Figure 2 : Sur schiste (intercalé de pegmatite), la différenciation du sol dépend de l'altitude relative des unités de modelé et correspond à un enfoncement plus ou moins profond de la surface topographique dans une puissante couverture subhorizontale composée, de haut en bas des horizons P (poreux, micro-agrégé) C (compact, rouge) et A (altérite de schiste ou pegmatite).



EXEMPLES DE BASSINS MIXTES



	Drainage vertical libre
	Drainage vertical bloqué sur hz rouge ou réticulé
	Hydromorphie de surface
	Battement de nappe jusqu'en surface

Δ	hz à dyn. de l'eau latérale
	enveloppe du caractère "sec au toucher"
m	nappe observée

P	hz poreux filtrant
C	hz compact rouge
A	altération rouge sériciteuse
R	hz réticulé sériciteux
N	hz de magasin de nappe

Figure 3 : Les 5 catégories choisies pour représenter l'organisation sur schistes la dynamique actuelle de l'eau varie latéralement selon le niveau de surimposition et d'enfoncement de la différenciation (concordante) Δ, t, m dans la différenciation P, C, A, R, N subho rizontale, discordante, antérieure.

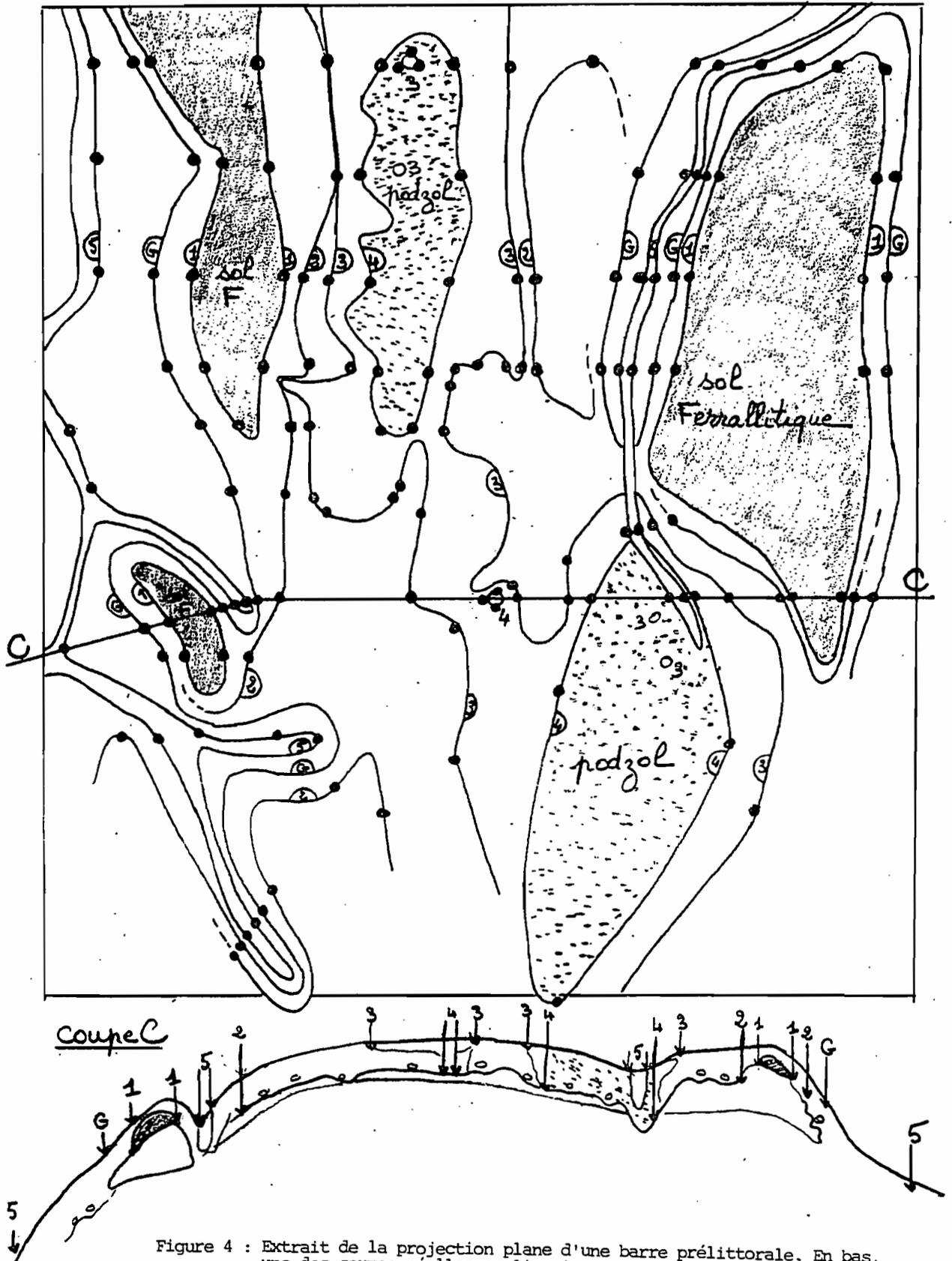


Figure 4 : Extrait de la projection plane d'une barre pré-littorale. En bas, une des coupes réelles explicatives ; • point où la différenciation a été observée.

Dans les couvertures pédologiques étudiées en Guyane, l'étude de cette hiérarchie des relations montre que les couvertures pédologiques réelles correspondent à des stades d'avancement divers d'une transformation latérale continue et irréversible que l'on peut caractériser par quelques "instantanés" en petit nombre, 5 par exemple, et qui sont les catégories de différenciations retenues pour la cartographie.

b) Les catégories de couvertures pédologiques distinguées en Guyane.

Ces catégories sont en petit nombre, numérotées de I à V pour chacun des deux paysages suivants :

1 - Sur les barres pré littorales (plaine côtière ancienne), on passe sur une très courte distance d'un sol sablo-argileux jaune rouge de type ferrallitique, et à dynamique de l'eau verticale, à un sol présentant un horizon sableux blanchi très épais (podzol). Le passage de l'un à l'autre est complexe et a été étudié en détail par J.F. TURENNE. Moyennant certaines précautions les sols du type I, ou les parties jaune-rouge situées en rebord du sommet pour les catégories II et III peuvent porter des cultures sèches. Par contre les podzols, où la nappe bat jusqu'en surface, et où les drains s'effondrent spontanément, posent des problèmes difficiles. On voit donc qu'on a là une différenciation latérale importante du point de vue pédologique, et très contraignante pour la mise en valeur. (fig. 4, 5 et 6).

La distance du passage du sol ferrallitique au podzol est de quelques décamètres sur ces barres pré littorales, elle est hectométrique ou kilométrique sur les plateaux sédimentaires, mais l'organisation y est du même type et peut y être caractérisée aussi par ces cinq catégories.

2 - Dans les terres hautes sur schiste, les études détaillées de petits bassins versants ont amené à distinguer également cinq catégories (fig.3) selon la succession des horizons ou volumes que l'on observe de haut en bas des toposéquences, et les différences de drainage interne qui lui correspondent (et qui sont également très contraignantes pour la mise en valeur).

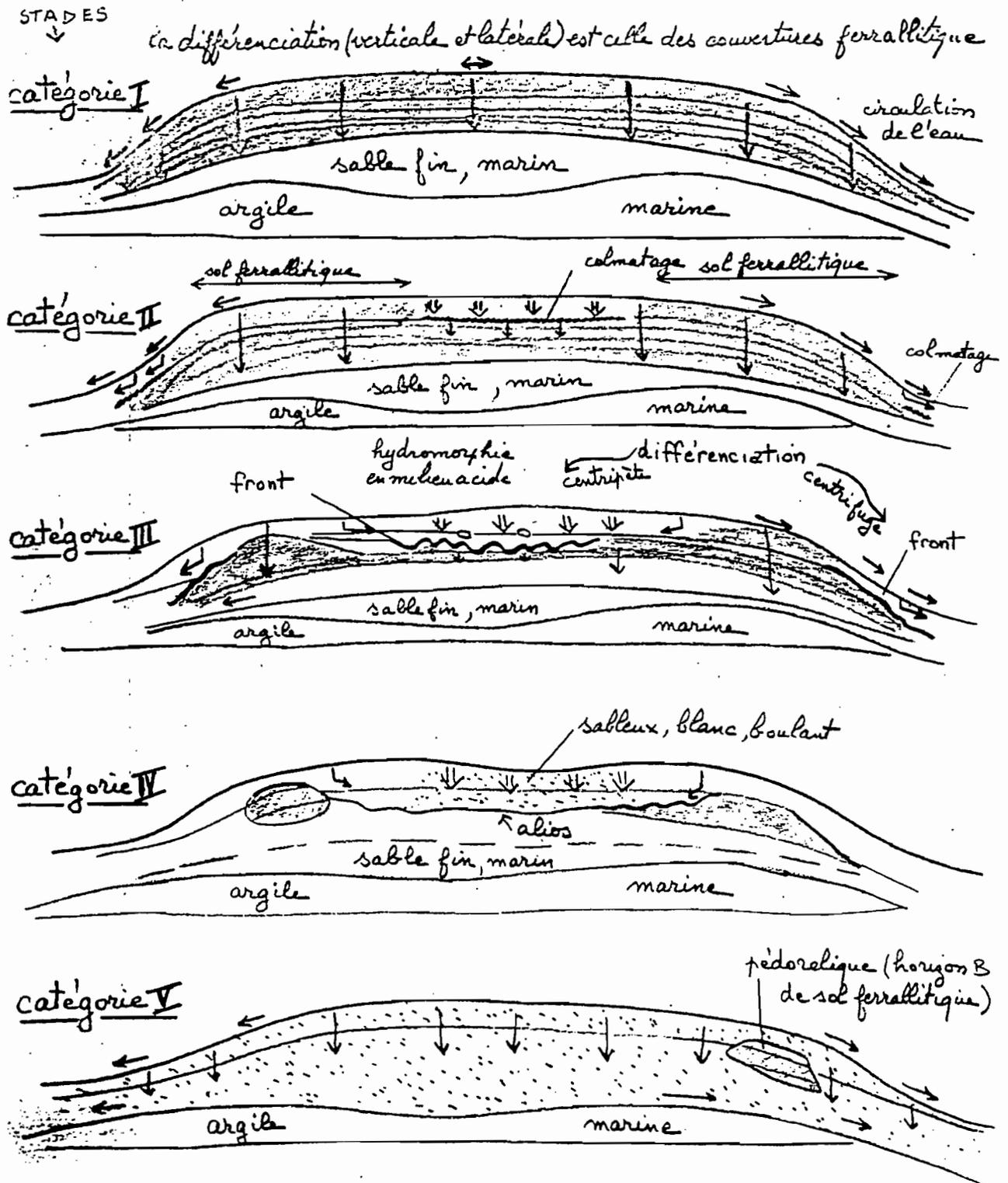


Figure 5 : Les 5 catégories choisies pour représenter l'organisation du sol des barres pré littorales à sommet plat : la différenciation latérale "sol ferrallitique → podzol" s'observe à la fois du centre vers le rebord et de bas en haut du versant.

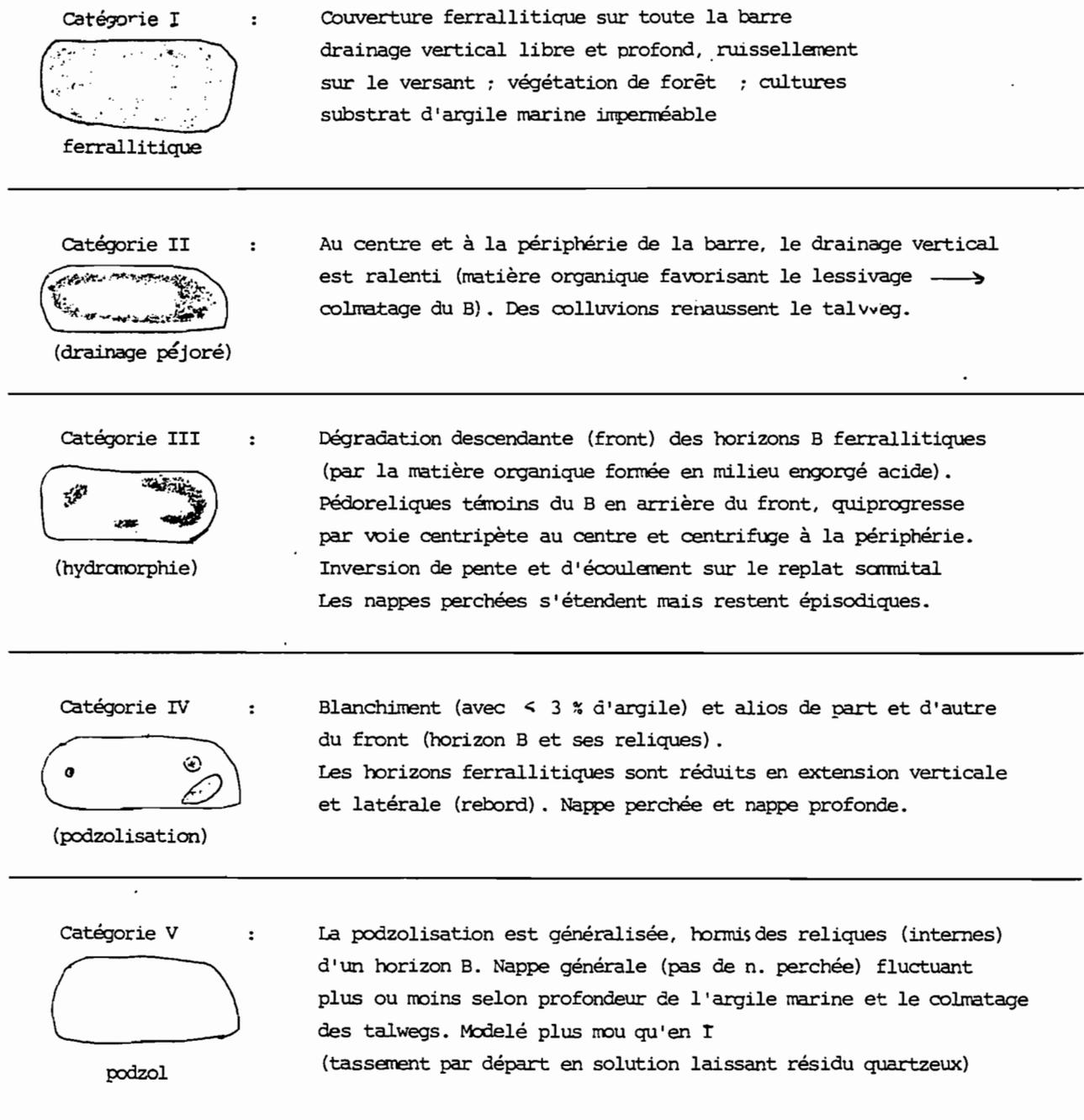


Figure 6 : VUE SCHEMATIQUE EN PLAN des 5 catégories de différenciation

sol ferrallitique → podzol sur barres pré littorales à sommet plat.
Sur barres à sommet arrondi, la différenciation centrifuge n'apparaît pas,
la différenciation centripète va jusqu'au podzol généralisé.

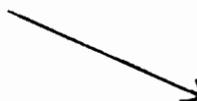
Etude détaillée
de l'organisation du sol
(Guyane septentrionale)



Caractérisation de la différenciation
verticale et latérale de la couverture pédologique
(et si possible de sa dynamique actuelle)



Choix de catégories
de différenciation
pour la cartographie



Cartographie
extensive



Mise en évidence de relations non fortuites
entre caractères d'organisation du sol
et d'autres composantes du milieu
(hydrologie, végétation, modelé,
comportement au défrichement)



En cas de concordance
aide à la cartographie



Calage d'essais agronomiques
de comportement sur la
différenciation (en collaboration
avec agronomes)



Cartes thématiques
(pour une culture
et une pratique donnée)

c) Représentation de ces catégories par une coupe schématique à 2 dimensions.

L'organisation en volume correspondant à chacune de ces catégories peut généralement être caractérisée par une seule coupe schématique, c'est-à-dire par une figure à 2 dimensions.

Ainsi, alors qu'un volume-sol ne peut être correctement restitué par rotation (assortie des translations et déformations nécessaires) autour d'un axe vertical, d'une de ses toposéquences réelles, les traits constants de son organisation, sont représentés valablement dans les cas étudiés par une seule coupe schématique.

Par exemple, une barre pré-littorale au stade III présente en projection horizontale (plan) non pas une couronne continue de sol jaune-rouge comme l'engendrerait la coupe II par rotation, mais des volumes jaune-rouge ilotiques séparés par des zones à caractères podzologique et hydromorphe correspondant à la coupe IV.

Il résulte en outre de cette schématisation que le rattachement d'un bassin versant (ou d'une unité de modelé) à une catégorie donnée ne renseigne que sur la nature, la succession et l'extension relative des transformations latérales, laissant à l'utilisateur le soin de localiser exactement sur chaque terrain les changements annoncés.

d) Transmission des données à l'utilisateur.

Lorsque la catégorie à laquelle appartient une unité de modelé a été déterminée, on peut porter directement le numéro correspondant en surcharge sur la carte topographique ou la photo aérienne et remettre à l'utilisateur ce document, explicité par les schémas et descriptions correspondant aux catégories représentées dans son secteur.

C'est ce qui se fait pour les exploitations sur barres pré-littorales qui englobent chacune plusieurs de ces petites unités de modelé.

Sur les plateaux où la différenciation est d'échelle kilométrique, on localise les stades les plus importants de la différen-

ciation latérale, en délimitant directement sur la carte au 1/50.000 les secteurs à sol jaune-rouge favorable (ou les podzols inutilisables).

Il s'agit là de documents destinés à l'utilisateur, lorsque le pédologue est consulté après le choix de l'implantation.

Mais pour orienter ce choix, il faut des documents à plus petite échelle, du moins dans le cas de ces barres pré littorales de dimensions réduites. Or à partir d'une certaine échelle on ne peut plus annoter chaque unité de modelé et celles-ci ne peuvent plus d'ailleurs être toutes caractérisées. Il faut donc regrouper les catégories et l'on peut caractériser par exemple un secteur par le regroupement III - V de catégories. Mais on est souvent aidé dans ce regroupement par des niveaux d'organisation supérieurs sans lesquels la cartographie à petite échelle perdrait beaucoup de son intérêt.

Par exemple dans une savane longue d'une dizaine de kilomètres où chaque barre pré littorale a été caractérisée, on constate, sans que l'on en ait à ma connaissance décelé la cause, qu'il y a d'ouest en est, une dérive des catégories II - III vers IV - V et l'on pourra caractériser cette savane, par II - V la flèche indiquant le sens de la dérive (celà même à l'échelle 1/1.000.000).

e) Choix des unités de modelé faisant l'objet d'une étude détaillée.

Chacune de ces études détaillées demande plusieurs jours de travail de terrain et il n'est pas question évidemment de les faire partout. Il faut même choisir les emplacements à bon escient.

Pour celà, on ne tape pas au hasard, mais on effectue une étude descendante (*) des caractères physiographiques (topographiques, géomorphologiques, géologiques, végétaux, hydrologiques etc) et l'on sélectionne un ou deux sites pour chacun des ensembles physiographiques. Mais comme les relations entre ces caractères physiographiques *principaux* et caractères d'organisation (et de dynamique actuelle) sont rarement bi-univoques on s'aperçoit parfois, lors de la phase ultérieure de cartographie, qu'il y a des types de différenciation qui n'ont pas été caractérisés (on le fait alors) ou au contraire des doubles emplois (mais chaque site apporte des informations propres, tout est utile et utilisé).

(*) des petites vers les grandes échelles.

f) *Identification de la catégorie à laquelle se rattache une unité de modelé.*

Lorsque les conditions de la prospection permettent ou nécessitent un passage sur chaque unité de modelé, on identifie cette catégorie en effectuant un parcours (observations de surface) et des sondages (différenciation verticale) orientés selon les organisations possibles dans la région.

2ème utilité des études détaillées :

g) *Calage des essais agronomiques de comportement sur un axe de différenciation pédologique.*

La variabilité latérale du sol en Guyane ne permet d'installer des essais agronomiques de type habituel, c'est-à-dire sur des surfaces pédologiquement homogènes de dimensions suffisantes, que pour les catégories I et V de la suite de transformation "sol ferrallitique - podzol". Ce type d'essai ne convient pas pour caractériser les catégories intermédiaires, qui occupent en fait la majeure partie du pays.

C'est pourquoi l'expérimentation se fait par des essais de comportement allongés en bande suivant un axe majeur de différenciation latérale, c'est-à-dire perpendiculairement aux lignes d'isodifférenciation, et là où celles-ci sont parallèles et disjointes.

On repère alors le comportement de chaque culture, ou plutôt de chaque couple culture - protocole cultural, par rapport aux courbes d'isodifférenciation. La courbe la plus proche, ou la plus parallèle, à la limite de développement correct de la plante servira à délimiter les surfaces convenant à cette spéculation.

Par exemple le pin caraïbe va démissionner entre la courbe 3 et la courbe 4, tel eucalyptus persistera au contraire un peu avant la courbe 5.

La cartographie thématique, adaptée à une culture donnée - le pin par exemple - consiste alors à tracer la courbe 4, en repérant les caractères morphologiques correspondants.

On gagne évidemment du temps lorsqu'il est possible à l'expérimentateur de placer les essais de comportement sur un site qui a fait déjà l'objet d'une étude détaillée pour inventaire des types de différenciation. Dans le cas contraire cette étude détaillée doit être faite sur un autre site convenable (présentant toutes les composantes de la différenciation) et convenant à l'expérimentation.

h) Relations entre la différenciation pédologique et d'autres composantes du milieu : appui à la cartographie et à la connaissance des facteurs des pédogènes.

La troisième utilité des études détaillées est la recherche de relations vraies entre la différenciation pédologique et des caractères externes tels que la nature et la distribution de la végétation, l'activité faunique, le type de modelé, la forme des versants, l'aspect et l'organisation de la surface du sol (microrelief), la dynamique superficielle de l'eau, ainsi qu'avec la dynamique interne de l'eau ou même avec des comportements du sol à la mise en valeur (défrichement etc).

Ces relations, surtout s'il y a relation simple de concordance entre des caractères externes directement visibles et l'organisation interne de la couverture pédologique sont extrêmement utiles pour la cartographie : elles fournissent en effet une présomption pour le rattachement à une catégorie donnée chaque fois (problème d'échelle ou de densité d'observation) que les impératifs d'une cartographie extensive ne permettent pas de caractériser séparément chaque unité de modelé.

Mais l'étude de ces relations est aussi extrêmement utile pour apprécier l'influence, sur la formation et l'évolution du sol, des facteurs qui déterminent ces autres composantes du milieu, à savoir le climat, la végétation, la faune, la topographie, la géologie, le temps. C'est à ce stade qu'on met en évidence les traits externes en relation simple avec la différenciation pédologique et qui sont bien souvent des caractères mineurs (léger ressaut dans la pente, mouillères en bas de versant etc) qui étaient passés inaperçus lors de l'analyse préalable du milieu (choix des sites d'études détaillées).

C'est ainsi seulement in fine que l'on comprend l'absence (apparente) de relation biunivoque entre caractères d'organisation de la couverture pédologique et unités physiographiques, du moins lorsque celles-ci sont définies par leurs traits majeurs (ou les plus apparents).

C'est seulement à ce stade également que l'on dispose de tous les éléments d'appréciation qui auraient permis de choisir le plus judicieusement les sites d'études détaillées !

PRESENTATION DES CARTES PEDOLOGIQUES
ET DE RESSOURCES EN SOLS DU GABON (1.200.000)

par

D. MARTIN

Directeur de Recherche ORSTOM

CARTE PEDOLOGIQUE.

La conception de cette carte n'a été exposée que brièvement, car cela n'entrait pas dans le thème de cette Journée.

Il suffit de préciser qu'à l'échelle de 1/2.000.000 la méthode de représentation cartographique traditionnelle par unité de classification ou des combinaisons simples de celles-ci aurait abouti à une grande homogénéité, tout en ne livrant qu'une information réduite. La méthode d'"intégration" utilisée pour la délimitation des unités cartographiques est un compromis entre une classification des formes du terrain (landform classification) très souvent utilisée à petite échelle et l'utilisation de la notion de "volume pédologique" telle qu'exposée par CHATELIN et BEAUDOU (1977).

Les unités cartographiques (U.C.), qui sont au nombre de 55 pour la carte du Gabon, sont donc des volumes pédologiques d'ordre inférieur à la province : à l'échelle de la carte ce sont des régions

ou paysages pédologiques. Ces unités cartographiques sont définies en terme de morphologie, puis leur contenu-sol est précisé de trois manières :

- mode de répartition des volumes d'ordre inférieur, de la "région" ou du "paysage", en utilisant le système de FRIDLAND (1976), (LUCAS, 1978) (1) ;
- description typologique des sols contenus dans l'unité, ce qui est possible ici en utilisant le vocabulaire de CHATELIN (1972), compte-tenu de la dominance des sols ferrallitiques ;
- liste des unités de classification de l'unité, selon la classification CPCS (1967).

CARTE DE RESSOURCES EN SOLS.

La carte pédologique, telle qu'elle a été conçue, donne bien une connaissance générale des sols du Gabon, de leur répartition et des modelés qu'ils occupent, mais elle n'est cependant pas suffisante pour en tirer des conclusions sur les possibilités agricoles, pastorales ou forestières du pays, ce que l'on a tenté de faire dans une Carte de Ressources en sols. Celle-ci a voulu englober deux aspects complémentaires de l'utilisation des sols :

- un tableau des principaux facteurs d'utilisation des sols, en soulignant les principales contraintes ;
- un essai de répartition des unités cartographiques selon leur aptitude décroissante, en privilégiant les possibilités d'emploi de la mécanisation (agriculture ou autre utilisation moderne, opposée à l'agriculture paysannale : carte colorée).

Sauf rares exceptions, les U.C. de la carte pédologique et de la carte de Ressources en sols sont les mêmes.

1. Facteurs d'utilisation des sols.

Facteurs climatiques.

Les facteurs climatiques ne sont pas pris en compte sur la carte et ne sont traités que dans le texte.

Facteurs topographiques.

Ceux-ci sont importants à deux points de vue :

- danger d'érosion sur fortes pentes, selon leur utilisation ;
- facilité d'utilisation du terrain selon la pente, problème important pour l'agriculture moderne (mécanisation, unités de grande surface).

Pour chaque unité cartographique une fourchette des pentes les plus fréquentes est indiquée et l'échelle de notation suivante est utilisée :

< 1 %	0	16-30 %	3
3-8 %	1	30-45 %	4
9-15 %	2	> 45 %	5

Facteurs pédologiques.

Drainage

Le drainage est, dans certains cas, un important facteur limitant, qui n'est d'ailleurs pas purement pédologique, mais également lié à l'environnement. En fait on peut faire assez facilement le partage de U.C. en deux grands groupes :

- U.C. où le drainage ne pose pas ou peu de problèmes : majeure partie du pays ;
- U.C. où le drainage pose d'importants problèmes d'aménagement avant tout projet de mise en valeur : vallées alluviales et zones de sédimentation marine récente.

L'échelle retenue pour le drainage est la suivante :

- 1 Normal : pas d'indice d'hydromorphie avant 2 m ;
- 2 Excessif : très forte pente et/ou texture sableuse facilitant l'infiltration ;
- 3 Moyen : quelques indices d'hydromorphie avant 1 m ;
- 4 Faible : pseudo-gley ou gley à peu près généralisé ;
- 5 Nul et : engorgement total et inondation de fréquence et inondation intensité variable.

Profondeur.

Ce facteur est important pour la plupart des cultures arbustives et pour la mécanisation des cultures annuelles.

Le facteur "profondeur" est important pour certaines U.C. dans les cas suivants :

- faible profondeur de la roche-mère argileuse ou marneuse plus ou moins altérée dans des sols rajeunis ou pénévolués ainsi que localement l'affleurement de granite ou quartzite sur les massifs montagneux ;
- faible profondeur ou affleurement en surface du gravolite, gravopetrosterite ou petrosterite.

Dans ces deux cas le facteur limitant "profondeur" est difficile, sinon impossible à améliorer : trouaison éventuelle pour les cultures arbustives sur sols rajeunis ou pénévolués peu profonds.

- 1 > 1 m Profondeur partout supérieure à 1 m.
- 2 ± 1 m Profondeur variable autour de 1 m.
- 3 < 1 m Profondeur partout inférieure à 1 m.

Texture.

La texture est un important facteur de fertilité, agissant en même temps sur les caractéristiques physiques et chimiques.

Son rôle dans le régime hydrique du sol est prépondérant, bien que les problèmes d'alimentation en eau prennent moins d'importance sous le climat équatorial à pluies assez bien réparties du Gabon : seule une texture très sableuse (< 10-15 % d'argile) est un facteur limitant ou au moins de très faible productivité pour toute utilisation ; certaines textures sableuses à sablo-argileuses de surface peuvent également limiter l'alimentation en eau pendant les périodes sans pluie de la petite saison sèche ; les textures moyennes (argilo-sableuse à argileuse), les plus répandues au Gabon, sont les plus intéressantes, aussi bien pour l'alimentation en eau que pour la structure et les caractéristiques qui lui sont liées (perméabilité, porosité) ; les textures lourdes (très argileuses et argilo-limoneuses) peuvent devenir à nouveau défavorables par leur point de flétrissement

élevé et les difficultés qu'elles peuvent apporter au travail du sol.

La texture joue également un rôle sur la fertilité chimique du sol par l'intermédiaire de la capacité d'échange et du type d'argile minéralogique : la liaison avec la teneur en argile est en général plus stricte.

L'échelle retenue est la suivante :

Argileuse	1
Très argileuse et argilo- limoneuse	2
Argilo-sableuse à sablo-argileuse	3
Sableuse et graveleuse	4

Fertilité.

La notion de fertilité utilisée ici est assez synthétique et n'est pas basée sur des critères analytiques précis : elle englobe en même temps la faculté qu'a le sol de retenir les éléments minéraux par l'intermédiaire de la capacité d'échange, liée elle-même à la texture et au type d'argile et à la faculté qu'il a de fournir des éléments minéraux à partir de réserves ce qui dépend de la richesse chimique de la roche-mère et de son degré d'altération.

Les quatre niveaux de fertilité retenus tiennent compte du niveau de fertilité générale des sols gabonais.

Bonne	1. Sols ferrallitiques pénévolués ou sols non ferrallitiques sur roche-mère riche en minéraux.
Moyenne	2. Altération ferrallitique moyenne de roches-mères assez riches en minéraux.
Faible	3. Altération ferrallitique intense ne laissant que peu de minéraux disponibles sur tout type de roche.
Très faible	4. Matériau très pauvre à cause d'une altération très poussée et/ou très ancienne.

Acidité.

Le pH et le degré de saturation sont deux caractéristiques le plus souvent liées et sont importantes à divers points de vue :

- le pH influe sur l'activité biologique du sol et en particulier sur la faculté qu'il a de fournir l'azote minéral ;
- pH et degré de saturation peuvent caractériser la richesse chimique du sol et la possibilité qu'il a, aussi bien de fournir les cations minéraux, que de fixer ceux qui seraient apportés sous forme d'engrais ;
- le pH peut également traduire la présence d'éléments toxiques comme l'Al échangeable, ce qui nécessite une correction avant la mise en culture.

Trois niveaux de pH de l'horizon de surface ont été retenus pour l'ensemble des sols gabonais.

pH	>	5,5	2
4,5 < pH	<	5,5	3
pH	<	4,5	4

Matière organique.

La matière organique a été retenue comme caractéristique pouvant être éventuellement un facteur limitant. Cependant, la gamme de teneurs observées sur différents types de sols et de végétation ne peut donner lieu à un classement homogène : ce facteur est difficile à utiliser et est d'ailleurs rarement limitant à lui seul.

La gamme suivante est utilisée :

Moins de 3 % de M.O.	4
3 à 6 % de M.O.	3
6 à 10 % de M.O.	2
Plus de 10 % de M.O.	1

2. Carte de Ressources en Sols:

Plusieurs essais ont été effectués pour arriver à un classement d'aptitudes des U.C., dont on connaissait une appréciation chiffrée des principaux facteurs d'utilisation : méthode un peu artificielle utilisée par BLEEKER (1975) et méthode arithmétique préconisée par SYS (1976) par addition ou multiplication des notes de chaque facteur et en faisant varier le nombre de facteurs utilisés. Chaque méthode a donné un classement, qui n'a jamais été entièrement satisfaisant, aussi s'est-on résolu à un classement beaucoup plus subjectif, non homogène dans l'utilisation des facteurs et privilégiant nettement la mécanisation pour divers types d'utilisation: On aboutit ainsi à un partage des U.C. en 4 classes d'aptitude décroissante et une classe nécessitant des aménagements hydrauliques importants.

Classe I : Les U.C. contiennent d'importantes surfaces mécanisables pour tout type d'utilisation : deux sous-classes sont séparées par leur fertilité.

Classe II : Cette classe comprend une gamme variée d'utilisation, de fertilité et de possibilité de mécanisation :

- pour la classe IIa, la mécanisation est localement possible mais en bien moindre proportion que pour la classe I.
- pour la classe IIb, comprend des U.C. pour lesquelles la mécanisation pour des utilisations spéciales permet d'abaisser les contraintes de pente, profondeur, fertilité ;
- la classe IIc, n'a pas d'U.C. mécanisable, mais les sols de bonne fertilité sont utilisables en agriculture paysannale avec de bons rendements.

Classe III : Les sols n'y sont utilisables qu'en agriculture paysannale : des critères de fertilité ou de fortes contraintes supplémentaires permettent de distinguer trois sous-classes.

Classe IV : De nombreuses et fortes contraintes rendent toute utilisation impossible, soit dans l'absolu, soit dans les conditions économiques actuelles.

Classe V : Les sols de cette classe nécessitent des aménagements hydrauliques importants, aussi bien en agriculture paysannale qu'en agriculture moderne ; pour cette dernière, d'importantes études complémentaires sont nécessaires avant tout projet de mise en valeur.

LA CARTOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR

*Son utilisation pour l'impression des cartes de sols et l'élaboration
de cartes thématiques dérivées (FRANCE)*

par

A. MORI

*Maître de Recherches Principal
ORSTOM*

I. OBJECTIFS.

Le travail présenté, réalisé en collaboration avec l'I.G.N., a pour but de montrer comment l'informatique peut faciliter :

- d'une part la réalisation graphique et l'impression de cartes de sols,
- d'autre part la déduction automatisée de documents thématiques.

Il est utile, au préalable, de faire une distinction entre :

- cartographie automatique,
- et cartographie assistée par ordinateur, seule considérée dans cet exposé et susceptible d'intéresser l'ORSTOM, à plus ou moins brève échéance.

II. CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE ET CARTOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR.

- la cartographie automatique introduit l'informatique

(et les mathématiques) au niveau de la conception même de la carte ; alors que,

- *la cartographie assistée par ordinateur* n'utilise l'informatique (numérisation des contours et mémorisation des informations contenues dans chacune des unités de la carte) que pour faciliter l'impression, la réalisation graphique des cartes et la déduction automatisée des documents thématiques ; la conception de la carte reste de type traditionnel.

III. CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE.

Il est possible de définir les principes et les méthodes de la cartographie automatique de la manière suivante.

Pour un ensemble de mesures réalisées (par exemple : l'altitude) en un certain nombre de points quelconques de coordonnées (x, y) , on définit, au moyen des méthodes d'interpolation de la cartographie automatique, une fonction $z = \ell(x, y)$, continue, connue en tous les noeuds d'un réseau régulier.

Une fois cette fonction connue par les méthodes diverses d'interpolation, d'autres méthodes de cartographie automatique permettent de tracer des courbes d'isovaleurs, (dans l'exemple choisi : altitude, ce seront des courbes de niveau).

Il est aussi possible de construire, une fois les courbes tracées, des blocs-diagrammes ou de calculer automatiquement les pentes.

L'ensemble de ces méthodes ont été conçues en France par J.L. MALLET qui les a publiées dans la publication mensuelle de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy (Revue des Sciences de la Terre). La programmathèque CARTOLAB comprend l'ensemble des programmes informatiques relatifs à ces méthodes.

Ces mêmes méthodes sont appliquées par l'I.G.N. qui publie, à présent, des cartes 1/25.000, en courbes de niveau, réalisées automatiquement, ainsi que des cartes de pentes, réalisées pour certaines régions de France ou à la demande.

Les méthodes de cartographie automatiques sont susceptibles d'être aussi utilisées en pédologie ou en cartographie des sols pour la représentation graphique de la variation continue de la teneur du sol en un élément donné. Ce peut être, par exemple, la teneur en sels solubles. C'est sur quoi Dominique KING (INRA) est en train de travailler dans un secteur du marais Poitevin.

IV. CARTOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR. SON UTILISATION POUR L'IMPRESSION DES CARTES DE SOLS ET POUR LA DEDUCTION DE CARTES THEMATIQUES DERIVEES. EXEMPLES.

4.1. Première expérience d'informatisation d'une carte de sols ("numérisation par vecteurs").

- En 1976, compte tenu de l'objectif que nous nous étions fixés, il était décidé d'entreprendre, en collaboration avec l'I.G.N., un essai de numérisation d'un extrait de la carte des sols de l'Oise.

Le but de l'expérience était alors, compte tenu des matériels existants d'une part : numérisation par vecteurs (la numérisation des contours est réalisée point par point) et table à tracer classique, et de la complexité de la carte des sols d'autre part, de voir si la numérisation des contours et la mémorisation des données (caractéristiques des sols + combinaison des couleurs) contenues dans chacune des unités, étaient possibles, tant au plan des délais que des coûts.

- Les résultats de l'expérience sont présentés sur une diapositive sur laquelle figurent d'une part l'extrait de la carte des sols de base et les différentes sorties thématiques réalisées en sélectionnant une partie de l'information reliée à un thème donné (caractéristiques de l'unité, combinaison de couleurs fondamentales) :

- l'ensemble des contours (en noir)
- sélection des unités à hydromorphie (en bleu)
- sélection des unités comportant une certaine pierrosité (en rouge)
- etc...

- Il ressort de ces résultats que si notre objectif était atteint, la méthodologie était néanmoins difficilement généralisable à cause des délais et des coûts qui avaient largement dépassé ce qui avait été initialement prévu, à cause tant de la nature du matériel qui rendait la numérisation longue et problématique, que de la complexité de la carte (le problème de l'enregistrement des noeuds était nouveau, puisqu'il n'apparait pas lors de la numérisation des cartes en courbes de niveau).

Toutefois, des progrès substantiels allaient être réalisés avec l'acquisition, par l'I.G.N., d'un nouveau système de numérisation par micro-maillages.

4.2. Exemples d'informatisation d'une carte de sols par numérisation par micro-maillages.

Au moyen du nouveau système (SEMIO), la numérisation des contours, beaucoup plus performante que les procédés de numérisation par vecteurs est réalisée par balayage optique sur des micro-maillages de l'ensemble des contours de la carte ; et la sortie des données mémorisées (numéro d'unité, caractéristiques de l'unité, combinaison de couleurs et de figurés spécifique de l'unité) est assurée par le déplacement d'un faisceau laser qui impressionne un film sensible. La sélection des couleurs en quadrichromie pour une impression offset est ainsi relativement facilement réalisée.

On gagne beaucoup en rapidité et en précision ; il suffit notamment que le pédologue fournisse un dessin des contours renseigné par des numéros d'unités.

Les deux exemples suivants qui vous sont présentés illustrent ce nouveau type de numérisation,

4.2.1. Cartographie thématique à petite échelle.

- . Cartes des réserves en eau utile des sols de France.*
- . Cartes des sols de France affectés par l'hydromorphie à l'échelle de 1/2.000.000.*

Sur la base de la carte des sols de France, à l'échelle 1/1.000.000 élaborée dans le cadre de la réalisation de la carte des sols des pays de la C.E.E. avec une légende conçue dans le système de la légende FAO/UNESCO, ont été déduites deux cartes thématiques à

l'échelle de 1/2.000.000 sur les thèmes :

- réserve en eau utile des sols (en 3 classes)
- intensité de l'hydromorphie (en 4 classes).

La numérisation des contours par micro-maillages et la sélection des couleurs en trichromie préalable à l'impression offset ont été réalisées automatiquement selon les principes exposés précédemment.

Le travail préalable de dessin du pédologue est réduit : trait perdu, numérisation des unités sont seuls nécessaires, c'est le premier avantage. Les autres avantages résident dans les délais, plus courts et les coûts, moins élevés, par rapport aux procédés traditionnels.

4.2.2. *Cartographie des sols à moyenne échelle et cartographie thématique dérivée.*

Au moment où le nouveau procédé de numérisation par micro-maillages et l'ensemble du système étaient mis en place à l'I.G.N., l'INRA (Station Agronomique de Chateauroux) et la Chambre d'Agriculture de la région "Centre" ressentait l'intérêt de publier, avec des coûts et des délais intéressants, l'ensemble des cartes de sols à l'échelle de 1/50.000, levés dans les départements de la région accompagnés de cartes thématiques susceptibles d'intéresser la profession et les utilisateurs potentiels.

La carte de Léré (France) qui vous est présentée, est la première d'une série à paraître.

- La carte des sols a été réalisée, par cartographie assistée par ordinateur, selon le procédé dont les principes ont été exposés. Sont réalisés en automatique :

- le fond topographique (noir rompu)
- les couleurs (quadrichromie) traduisant la place du sol dans la classification
- les figurés relatifs aux principales caractéristiques des sols : texture, hydromorphie, charge en cailloux.

Les contours des unités de sols, les lettres traduisant la présence d'un substrat à une profondeur donnée et la légende sont

réalisés de façon traditionnelle (l'habillage de la carte : légende + figurés restant identiques pour l'ensemble des cartes à venir, c'est peut-être là un manque de souplesse, une certaine rigidité qui constitue un inconvénient).

- Une fois la carte des sols, numérisée, et l'ensemble des caractéristiques des unités, mémorisées, il était relativement simple de déduire des cartes thématiques. Quatre cartes ont été ainsi élaborées :

. certaines, simples (monofactorielles) sélectionnent préférentiellement un caractère des sols :

- carte des textures superficielles
- carte des excès d'eau. Celle-ci peut servir notamment de zonage préalable à des études plus détaillées relatives à des opérations de drainage.

. D'autres, plus complexes (plurifactorielles) sélectionnent une combinaison de propriétés des sols :

- carte des réserves en eau utile : prenant en compte texture, profondeur, charge en cailloux, nature du substrat.
- cartes des potentialités agricoles. La méthodologie pour l'élaboration de cette carte-ci est déduite de celle de la carte des aptitudes culturales des sols de l'Oise : un certain nombre de facteurs en relation avec la croissance des plantes (réserve utile, texture, profondeur, hydromorphie, état calcique et humique ... etc ...) sont sélectionnés, hiérarchisés et affectés d'une certaine cotation numérique. La valeur de potentialité d'un sol est obtenue en sommant les cotations des différents facteurs (il s'agit de méthodes d'estimation dites "paramétriques"). Un découpage en classes est ensuite opéré.

Cette méthodologie sera susceptible d'évoluer dans l'avenir. Il est en effet utile d'explicitier la valeur potentielle du sol (ou l'aptitude) par les contraintes que les sols présentent, et/ou par les propriétés les plus essentielles. Par ailleurs, la

tendance actuelle est de substituer aux "méthodes paramétriques" d'évaluation des sols, des méthodes "non paramétriques ou catégoriques" qui évitent les phénomènes de compensation apparaissant dans les premières, et qui ont l'avantage de privilégier l'effet des facteurs limitants essentiels.

De plus, il est probable qu'on s'acheminera vers des cartes envisageant l'aptitude, non plus globale à la culture, mais d'aptitude à une culture, intégrant les facteurs du sol et les facteurs climatiques.

Enfin, il est à prévoir des combinaisons cartes des sols avec les cartes de pentes et les données télédétection.

V. CONCLUSIONS.

a) Tous les aspects du problème de la numérisation n'ont pas été abordés; ils pourront l'être lors de la discussion ultérieure.

b) Avec la cartographie assistée par ordinateur, je pense que la carte des sols (contenant, sous forme explicite ou implicite, analytique ou synthétique, une somme de données) sera, de plus en plus, considérée comme une base de données, de laquelle on déduira des cartes thématiques répondant à des questions précises d'utilisateurs (drainage, autre amélioration foncière, adéquation systèmes de cultures aux sols).

c) Compte tenu de cette perspective, se posent, avec encore plus d'acuité, le problème de la fiabilité des documents thématiques, relié à celui de la pertinence des données saisies au départ et contenues dans l'unité-sol.

d) Il importe que l'ORSTOM ait conscience que, tôt ou tard, ces nouvelles méthodes devront être appliquées et qu'il lui est nécessaire d'envisager d'ores et déjà de prendre des initiatives en ce sens.

PRESENTATION DES CARTES DE CONTRAINTES
EDAPHIQUES DE REP. CENTRAFRICAINE

par

J.P. COINTEPAS

Directeur de Recherche ORSTOM

Ces cartes de contraintes édaphiques ont pour but de fournir à des planificateurs ou des projeteurs peu familiarisés avec le langage pédologique un moyen d'apprécier les sols qu'ils sont chargés de mettre en valeur. En effet la République Centrafricaine dispose d'une dizaine de cartes pédologiques au 1/200.000 (Y. BOULVERT, R. JAMET, A. BEAUDOU). Mais ces cartes ne sont accompagnées d'aucune carte d'aptitudes culturales ce qui constituait manifestement un obstacle pour une large utilisation.

Pour réaliser ces cartes de contraintes, nous avons deux difficultés à surmonter :

- il n'était pas question de refaire une prospection sur le terrain. Nous devions travailler à partir des cartes et rapports pédologiques ou géologiques existantes et des essais agronomiques réalisés en collaboration avec l'IRCT.

- les cartes pédologiques sont à une échelle relativement petite de sorte que les unités cartographiques reprennent la classification pédologique jusqu'au groupe, sous-groupe ou faciès. Des

informations telles que texture, profondeur de la cuirasse n'y figurent pas alors qu'elles sont essentielles pour déterminer une aptitude.

Sur chaque carte nous avons donc relevé les principales contraintes édaphiques correspondant aux unités pédologiques, à savoir :

- 1) la différenciation texturale des horizons (apparition brutale d'un horizon argileux à faible profondeur) beaucoup plus importante que la texture elle-même.
- 2) la présence de grandes quantités de gravillons.
- 3) le drainage interne et externe.
- 4) la profondeur de sol disponible pour l'enracinement.

La définition de ces contraintes est très large. Elle serait insuffisante pour attribuer au sol une aptitude culturale. Elle apparaît pourtant suffisante pour délimiter les secteurs favorables aux cultures et déterminer les grandes options pour la mise en valeur. On pourra par la suite au cours d'une prospection de détail fixer des aptitudes culturales plus précises.

Le repérage des unités cartographiques utilise deux procédés graphiques :

- les trames pour indiquer la nature du ou des facteurs limitants s'il y a plusieurs facteurs superposés.

- les couleurs pour mettre en évidence une hiérarchie des facteurs limitants et donc une évaluation de la qualité des sols : le rouge (absence de facteurs limitants), l'orange (facteurs limitants réduits), le jaune (facteurs limitants importants)... jusqu'au vert foncé (non cultivable). Ce procédé (qui s'inspire des cartes d'aptitudes réalisées en Tunisie depuis de nombreuses années) est certes critiquable mais il a le très grand avantage de permettre une visualisation rapide de l'ensemble de la carte. Une couleur particulière (bleu) met en évidence les sols hydromorphes et la nature de l'hydromorphie, ce qui permet d'adapter les techniques de mise en valeur à chaque cas particulier.

Sur la légende de la carte figurent en outre des informations sur la valeur agronomique de chaque unité, donc sur son utilisation possible. On donne des indications sommaires sur les travaux d'amélioration à prévoir, c'est ainsi, par exemple, qu'on insiste sur la

nécessité des travaux anti-érosifs sur les sols appauvris à cause de leur extrême sensibilité à l'érosion, les risques étant moins grands sur les sols ferrallitiques modaux à texture moyenne et structure bien développée. Enfin pour chaque unité édaphique on fait référence à l'unité pédologique correspondante.

La carte des contraintes édaphiques représente une réduction importante du nombre d'unités cartographiques par rapport à la carte pédologique. De nombreuses unités pédologiques (au niveau des faciès notamment) ont été regroupées parce que présentant des contraintes semblables. De plus la finesse de détail de certaines cartes pédologiques (voir par exemple la carte de Bianga) était telle qu'il a fallu utiliser une représentation sous forme d'unités complexes.

En conclusion, nous dirons que, au cours de ce travail, nous avons cherché, avec des moyens réduits et sans refaire une étude complète, à réaliser un document simple, de lecture facile pour un non-pédologue. Ce faisant, nous voulions combler une lacune dans les études réalisées par nos prédécesseurs. Mais nous restons convaincus que, en toute rigueur, la carte d'aptitude culturale doit être conçue et réalisée par le pédologue qui a levé la carte pédologique et en même temps que celle-ci.

CARTES DES SOLS, CARTES D'APTITUDES CULTURALES ET FORESTIERES

EXEMPLE DE LA NOUVELLE-CALEDONIE ET DE FIDJI

par

M. LATHAM

Maître de Recherche ORSTOM

La transmission des données pédologiques aux agronomes et aux forestiers reste l'une des zones d'ombre des sciences du sol. Quand le pédologue parle de profil de sol ou de grands ensembles morpho-génétiques ou pédogénétiques, l'agronome recherche des notions plus pratiques de fertilité potentielle des terres, de possibilité de mécanisation, de rendements etc... Cette incompréhension se traduit le plus souvent par l'intervention d'intermédiaires, bureaux d'étude ou agronomes spécialisés, qui reprennent les informations pédologiques pour les exprimer en langage plus facilement accessible aux utilisateurs. Cette opération en deux temps présente trois inconvénients majeurs :

- il y a certainement une perte d'information entre le pédologue qui connaît bien son terrain et les problèmes qu'il pose, et l'intermédiaire qui dispose essentiellement de documents écrits ;
- les données recueillies par le pédologue ne sont pas nécessairement celles dont aurait besoin l'agronome ou le forestier ;
- en apparaissant comme un sous-traitant de cet intermédiaire, le pédologue perd de sa crédibilité vis-à-vis des utilisateurs et il peut,

à la limite, apparaître comme superflu.

Y a-t-il donc un moyen d'associer les impératifs de la recherche pédologique à la fourniture de données plus facilement exploitables par le non initié ?

1. *Facteurs de l'incompréhension entre pédologue et utilisateur.*

Le principal facteur d'incompréhension entre le pédologue et l'utilisateur est bien souvent une méconnaissance de l'autre. Sorti de projets très précis pour telle ou telle culture ayant des spécifications bien connues, l'agronome demande le plus souvent à la carte pédologique de lui fournir des indications générales sur la nature des terrains et sur leurs possibilités de mise en valeur. Mais là se situe la grande ambiguïté. Le pédologue fournira de nombreux détails sur le sol principalement sur ses horizons B qui forment la partie la plus permanente du profil, quand l'agronome a essentiellement besoin de données concernant la partie supérieure du profil. SOPHER et Mc CRACKEN (1973) rapportent qu'en Caroline du Nord, 70 % de la variabilité des récoltes due au sol peuvent être attribuées à sa partie supérieure. L'agronome sera, par ailleurs, beaucoup plus soucieux que le pédologue de l'hétérogénéité des terrains. Ainsi l'optique retenue dans une prospection pédologique et agrologique sera-t-elle différente.

S'ajoute à cela l'expression des propriétés du sol sur les cartes pédologiques sous forme de légende se rapportant à des classifications qui la plupart du temps ne tiennent pas compte des besoins de l'utilisateur mais groupent les sols en unités naturelles suivant des critères génétiques ou morphologiques. C'est le cas en particulier de la classification C.P.C.S. (1967). D'autres classifications manifestent, dans leurs intentions, un objectif plus appliqué. C'est le cas de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) qui se présente comme "a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys". C'est aussi celui du projet de classification des sols de SEGALIN et al. (1979) dont "le second objectif consiste à proposer diverses possibilités d'utilisation du sol". C'est enfin le cas de la typologie mise au point en milieu ferrallitique par BEAUDOU et CHATELIN (1977). Mais il y a parfois un monde entre l'intention et la réalité.

L'utilisation des cartes réalisées suivant ces taxonomies, classifications ou typologie, pourra éventuellement retrouver les informations dont il a besoin, mais il les trouvera masquées derrière un luxe de détail concernant la genèse et l'organisation du sol dont il n'a pas besoin.

Ces détails seront par ailleurs théoriquement aussi importants. en ce qui concerne chaque catégorie de sol reconnue, qu'elle soit cultivable ou non. Or l'agronome ne sera intéressé que par une partie des informations données, celle relative aux zones cultivables ou plantables.

Face à une étude pédologique, l'utilisateur disposera ainsi d'une foule de détails concernant tous les horizons du sol et toutes les catégories de sol dont il devra extraire quelques données directement applicables. Mais hélas, les données dont il aurait besoin ne sont pas toujours présentes. Beaucoup plus de connaissances ont été accumulées ces dernières années en ce qui concerne la géochimie des sols qu'en ce qui concerne l'assimilabilité des éléments minéraux par les plantes.

2. *Cartes d'aptitudes culturales et forestières.*

Cette difficulté de compréhension entre agronomes et pédologues a depuis longtemps été ressentie et a amené les chercheurs à établir des cartes d'utilisation des terres (AUBERT et FOURNIER, 1955) de "land capabilities" (KLINGEBIE et MONTGOMERY, 1961), d'évaluation des terres (FAO, 1976), de ressources en sols (BOULET, 1976) ou de "Soil fertility capability" (BUOL et al., 1975). Ces cartes ont toutes un objectif agronomique commun mais correspondent à des optiques différentes. Dans les cartes d'utilisation des terres et de "land capabilities" les préoccupations de conservation des sols dominant mais peu de renseignements sont fournis sur les qualités agrologiques. Les cartes de ressources en sol sont plus précises à ce sujet car elles tentent d'évaluer les facteurs de fertilité du sol et donnent des unités agronomiques. Enfin les cartes d'évaluation des terres ou de la fertilité des terres essayent d'approcher de plus près les caractères agronomiques en intégrant la notion de fertilité potentielle, de travaux du sol et du rendement.

En Nouvelle-Calédonie et à Fidji le problème de l'interprétation agrologique des cartes des sols s'est posé avec acuité du fait du faible niveau de perception des données pédologiques par les utilisateurs. Il est donc apparu indispensable de présenter des cartes facilement lisibles par tous et d'aller le plus loin possible dans l'interprétation. Ces cartes sont fondées sur un classement des qualités agrologiques des terres et sur une évaluation de leurs aptitudes culturales et forestières.

La définition des qualités agrologiques des terres reste pour l'instant une notion difficilement quantifiable. Nous nous sommes basés pour l'évaluer sur les facteurs de fertilité définis par BOULET (1976), complétés par un certain nombre d'éléments de contraintes chimiques qui nous ont, localement, semblé importants et par des données sur les risques d'érosion.

Ainsi pour la carte à 1/200.000 des îles Loyauté (LATHAM, MERCKY, 1981) ont été retenus : la profondeur, la texture, le drainage, l'économie de l'eau, le complexe absorbant, les carences, les déséquilibres chimiques, la matière organique, la fragilité de la fertilité liée à l'absence de CEC de la matière minérale et les risques d'érosion. Ces contraintes sont hiérarchisées en niveaux défavorables ou extrêmement défavorables. Par exemple un drainage interne et externe faible est un caractère défavorable quand un aspect rocheux du sol est extrêmement défavorable. Un classement des qualités agrologiques peut ainsi être établi en fonction du nombre et de la nature des contraintes.

A ce classement des terres est comparé un éventail des principales cultures pratiquées ou pouvant l'être, regroupées par leurs exigences culturales et édaphiques. On tente alors suivant les principes du schéma FAO (1976), d'évaluer les chances de succès de tel ou tel groupe de culture sur chaque unité de terrain en fonction des investissements nécessaires à leur mise en place. On arrive ainsi à une légende à double entrée permettant une meilleure appréciation des aptitudes culturales et forestières en fonction des qualités agrologiques des terres.

TABLEAU b - Fertilité naturelle des différentes catégories de sols

Unité pédologique	P	T	D	E	CA	CR	CH	MO	FR	ER	Fertilité des terres
Sols peu évolués d'érosion	<u>1.1</u>	<u>R</u>	1	<u>2</u>	25	2.1	-	3.3	<u>2</u>	-	Très peu fertiles
Renzines modales	2	<u>S</u>	1	<u>2</u>	25	<u>2.1</u>	-	2.1	<u>2</u>	-	Assez fertiles
Rendzines très humifères à faciès andique	2	<u>L.G</u>	1	<u>2</u>	25	2.1	-	3.1	1	-	Fertiles à Moyennement fertiles
Sols bruns calciques humifères à faciès allitisé	<u>1.1</u>	<u>L.G</u>	1	<u>2</u>	25	2.2 et 3	-	3.1	<u>2</u>	-	Peu fertiles
Sols bruns eutrophes sur basalte	2	A	1	<u>2</u>	25	2.1	-	2.1	1	<u>1</u>	Fertiles à moyennement fertiles
Sols ferrallitiques oxydiques allitiques	<u>1 ou 2</u>	L	1	<u>2</u>	25	<u>2.1</u> et <u>2-2 3</u>	-	2.1 3.1	<u>2</u>	-	Moyennement fertiles
Sols hydromorphes humifères	2	L	<u>4</u>	4	25	2.1	-	3.1	1	-	Moyennement fertiles
Sols hydromorphes moyennement humifères	2	L	<u>4</u>	4	25	2.1	-	3.1	1	-	Fertiles à moyennement fertiles
Sols hydromorphes salés	2 ou 1	<u>S</u>	<u>4</u>	4	25	2.1	<u>1</u>	2.1	1	-	Infertiles

Ces cartes, faisant intervenir des données technico-économiques, en plus des facteurs écologiques, risquent d'avoir une validité limitée dans le temps. Les facteurs écologiques définis, elles devraient toutefois pouvoir être reprises à intervalles réguliers en fonction des nouvelles données technico-économiques. Les problèmes d'échelle se posent aussi. Aux petites échelles (carte à 1/1.000.000 de la Nouvelle-Calédonie) on ne pourra donner que des orientations et une tendance générale en ce qui concerne les aptitudes. Mais on pourra être beaucoup plus précis aux échelles moyennes du 1/200.000 (exemples Iles Loyauté) et surtout au 1/50.000 et aux échelles supérieures (exemples Ouaco, Taveuni, Lakeba).

3. Possibilités d'amélioration.

Ces cartes restent malgré tout relativement empiriques. Un grand nombre d'imprécisions demeurent dans le domaine de la représentation de la réalité pédologique, dans celui de l'évaluation des qualités agrologiques et dans celui de la connaissance des caractères éda-
phiques des principales cultures.

Dans le domaine de la représentation cartographique de la réalité pédologique, un effort doit être fait pour ne pas trop la simplifier et aussi la déformer. L'hétérogénéité des sols et donc de leur potential agrologique est trop grande à quelque échelle que ce soit pour être passée sous silence. Des efforts doivent donc être faits pour mieux faire apprécier cette hétérogénéité par l'utilisateur. Lorsque cela paraît nécessaire, des toposéquences ou des "segments fonctionnels" (BEAUDOU et al. 1977) devraient être présentés dans les légendes et une quantification statistique pourrait être envisagée. Un accent devra aussi être porté sur la caractérisation des horizons humifères.

Au niveau de l'interprétation agrologique des données pédologiques, de gros progrès restent à effectuer. D'une façon générale, le grand nombre de critères utilisés par les pédologues ou les agronomes pour estimer telle ou telle carence (BOYER, 1970) montre à quel point il faut rester prudent dans ces interprétations. TERCINIER (1967) avait proposé un mode d'interprétation des analyses des terres spéci-

fiques à la Nouvelle-Calédonie ; mais là aussi des incertitudes demeurent. Jusque il y a peu de temps sur ce territoire, les sols ferritiques et magnésiens étaient considérés comme incultivables, or ces dernières années des maraîchers et des céréaliers ont mis en valeur certains d'entre eux avec succès. La compréhension des relations sol- plante reste donc encore très incomplète et la notion de fertilité naturelle et potentielle des sols est très mal connue. Les Américains, avec le "Benchmark project" (SWINDALE, 1978) cherchent à cerner de plus en plus près cette fertilité potentielle au niveau de la famille de la "Soil Taxonomy". Mais ce projet multilocal est lourd à mener et ne concerne actuellement que trois familles de sols tropicaux sur plusieurs dizaines qu'il faut connaître : les "clayey, kaolinitic, isohyperthermic tropeptic Eustrustox", les "thixotropic isothermic Hydric Dystrandeps" et les "clayey, kaolinitic, isohyperthermic typic Paleudults" (BEINROTH et IKAWA, 1981). On peut donc penser qu'il sera long et difficile d'obtenir des réponses satisfaisantes pour les principaux sols cultivables.

A une moindre échelle, nous avons entrepris en Nouvelle-Calédonie un programme d'étude de la fertilité naturelle et potentielle des sols cultivables du territoire par des recherches sur leurs besoins en éléments majeurs et en amendements calciques. Ce programme, mené en collaboration avec la section d'agronomie et les Services Ruraux Territoriaux, doit nous permettre à échéance de quatre à cinq ans, de mieux apprécier les paramètres chimiques et physiques de la fertilité potentielle des principaux sols cultivables néo-calédoniens.

Dans le domaine des cultures possibles, les progrès de la génétique, l'adaptation d'espèces nouvelles et l'évolution des conditions technico-économiques modifient continuellement les données. Il apparaît donc difficile de présenter quelque chose de trop précis à ce sujet. C'est ce qui nous a conduit à retenir la notion de groupe de culture ayant des exigences culturales et édaphiques voisines. Mais bien peu est encore connu sur ces exigences et de gros progrès sont à attendre dans les années à venir.

CONCLUSION.

Il apparaît donc que toute prospection pédologique devrait se faire avec une préoccupation agrologique sous jacente afin de collecter les données nécessaires à la réalisation d'une carte d'aptitude culturale et forestière. Cette carte doit permettre de traduire en langage clair et facilement utilisable les données agrologiques recueillies au cours de prospections. Ce travail peut justifier l'adjonction d'un agronome à l'équipe devant effectuer la cartographie. Mais de gros efforts restent encore à effectuer pour affiner cette représentation du potentiel agropédologique d'une région.

- Ces efforts sont tout d'abord d'ordre pédologique et doivent permettre de mieux apprécier les qualités des horizons humifères et l'hétérogénéité des sols que dans le passé.

- Ils doivent ensuite concerner l'évaluation de la fertilité naturelle et potentielle des sols les plus utilisables.

- Ils nécessitent enfin des travaux agronomiques portant sur une meilleure connaissance des exigences édaphiques des principales cultures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUBERT (G.), FOURNIER (F.), 1955 - Les cartes d'utilisation des terres. Sols Africains III, 1, p. 96-109.
- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), 1977 - Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques. Typologie et cartographie dans le domaine ferrallitique africain. Cah. ORSTOM sér. Pédol. vol. XV n° 1, p. 3-18.
- BEINROTH (F.H.), IKAWA (H.), 1981 - Overview of the Benchmark soil project and description of its soils. Abstract. Soils with variable charge conference Palmerston North Nouvelle Zelande.
- BOULET (R.), 1976 - Notice des cartes de ressources en sol de la Haute Volta. ORSTOM Paris, 97 p.
- BOYER (J.), 1970 - Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. ORSTOM Paris, 175 p.
- BUOL (S.W.), SANCHEZ (P.A.), CATE (R.B.), GRANGER (M.A.) - Soil fertility capability classification : a technical soil classification system for fertility management in "Soil management in tropical America". North Carolina State University, Raleigh p. 126-145.
- C.P.C.S., 1967 - Commission de pédologie et de cartographie des sols. Classification des sols. ENSA GRIGNON, 87 p. multigr.
- DENIS (B.), 1978 - A descriptive note on the soils of Taveuni. in "Taveuni Land population and production" H.C. BROOKFIELD ed. UNESCO/UNFPA Fiji Island. Report n° 3 Canberra A.N.U. for UNESCO p. 13-19.
- F.A.O., 1976 - A framework for land evaluation F.A.O. Soil Resources. Bull. n° 32 FAO ROME, 72 p.
- KLINGEBIEL (A.A.), MONTGOMERY (P.H.), 1961 - Land capability classification, U.S.D.A. Agriculture Handbook n° 210.
- LATHAM (M.), QUANTIN (P.), AUBERT (G.), 1978 - Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. ORSTOM Paris. Notice n° 78, 138 p. + 2 cartes à 1/1.000.000.

- LATHAM (M.), MERCKY (P.), 1979 - Etude des sols de la région de Ouaco. ORSTOM Nouméa. 37 p. multigr. + 2 cartes à 1/50.000.
- LATHAM (M.), DENIS (B.), 1980 - The study of land potential : an open-ended enquiry. In Population-environment relations in tropical islands : the case of Eastern Fiji. UNESCO Paris MAB Techn. Notes 13 p. 113-123.
- LATHAM (M.), MERCKY (P.), 1981 - Etude des sols des îles Loyauté + 2 cartes à 1/200.000. ORSTOM Paris (sous presse).
- SEGALEN (P.), FAUCK (R.), LAMOUREUX (M.), PERRAUD (A.), QUANTIN (P.), ROEDERER (S.), VEILLON (J.), 1979 - Projet de classification des sols. ORSTOM Paris, 301 p.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975 - Soil Taxonomy : a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. U.S.D.A. Handbook 436. Washington D.C.
- SOPHER (C.D.), MC CRACKEN (R.J.), 1973 - Relationships between soil properties management practices and corn fields on South Atlantic coastal plain soils. Agron. J. 65, p. 595-600.
- SWINDALE (L.D.), 1973 - A soil Research Network through Tropical Soil Families. In Soil-Resources data for Agricultural Development L.D. Swindale ed. Uni. of Hawaii p. 210-218.
- TERCINIER (G.), 1967 - Résultats d'analyses chimiques des terres. Mode d'interprétation spécialement adapté à la Nouvelle-Calédonie. ORSTOM Nouméa, 30 p. multigr.

LA CARTOGRAPHIE DU MILIEU NATUREL CENTRAFRICAÏN
METHODOLOGIE - DIVERSIFICATION - FINESSE DE LA REPRESENTATION

par

Y. BOULVERT

Maître de Recherche Principal

METHODOLOGIE DE LA CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE.

Afin d'établir des cartes pédologiques à petite échelle ($\leq 1/1.000.000$) on s'appuie souvent sur la connaissance des facteurs d'évolution du Milieu Naturel : zonéographie climatique, limites géologiques. En R.C.A., pays resté méconnu, de telles limites sont trop hétérogènes ou rudimentaires. Notre démarche a été inverse : en s'appuyant sur des cartes régulières au 1/200.000 (1), établies par photointerprétation systématique (2) un ensemble de cartes morphologiques, recoupe ces interprétations par des itinéraires au sol et par l'étude de toposéquences réalisées dans des sites caractéristiques.

(1) Cartes dressées par mes collègues ou nous-même.

(2) Pour 50 degrés carrés, ceci représente l'observation de 28.000 couples stéréoscopiques de photographies I.G.N. à 1/50.000.

Après sept années (1964-1971) de cartographie régulière en Ouham et Ambella-Mjoko, puis six ans (1971-1979) de recoupements en alternance (photo-interprétation - itinéraires de terrain - analyses et interprétations), une documentation devenue considérable a permis de passer aux synthèses en établissant courbes, enveloppes, limites, à partir des images LANDSAT. A ce stade, le risque de confusion ou d'interprétations hasardeuses devenait limité.

AUTRES CARTES THEMATIQUES.

Au lieu de s'appuyer sur des cartes thématiques antérieures, la méthode utilisée a permis au contraire de réviser ou d'améliorer largement la documentation cartographique préexistante.

En 1980, il n'y avait pour ce pays de 620.000 km² (France plus Bénélux) aucune carte orohydrographique d'ensemble et encore moins de carte géomorphologique. Pour la végétation, on disposait d'une simple esquisse au 1/5.000.000 des "territoires phytogéographiques de l'Oubangui-Chari" (R. SILLANS, 1958), sur laquelle, faute de mieux, s'appuie encore la carte UNESCO de la végétation d'Afrique (F. WHITE, 1981). Pour la géologie, par contre, la R.C.A. bénéficie de la carte au 1/1.500.000 de J.L. MESTRAUD (1964). Malheureusement cette carte est hétérogène : 1/6 du territoire était cartographié avant que ne soit réalisé la couverture aérienne I.G.N. qui a été utilisée de façon plus ou moins approfondie pour un peu plus de la moitié du pays. En 1962, 1/6 du territoire était en cours de prospection, 1/12 n'a jamais été reconnu au sol.

Sans parler du problème stratigraphique (1), la photo interprétation du modelé (formes de relief, types de cuirassement ...), a permis d'homogénéiser, sinon d'améliorer la représentation lithologique du pays. Ainsi l'étude morphopédologique détaillée du nord de l'Ouham a permis de remettre en question l'importance et l'extension du Continental Terminal en R.C.A.

(1) Les datations absolues remettent en cause la stratigraphie précédemment admise. cf. travaux de J.L. POIDEVIN.

L'étude morphologique d'ensemble a montré que ce pays est constitué d'un ensemble de surfaces d'aplanissements qui peuvent être *simplement déboîtées, déjetées* ou séparées par des escarpements de plusieurs centaines de mètres. De telles barrières influencent les climats et donc les limites phytogéographiques, pédologiques ... Ainsi, la carte géomorphologique comprend à la fois l'étude des formes de relief, du modelé en corrélation avec la lithologie et l'étude des surfaces d'aplanissement et des escarpements qui les sépare.

Ces dernières années, avec les simples esquisses figuratives qui couvrent la moitié du pays, les courbes de niveau de 100 en 100 mètres n'étaient localisées qu'à 100 km près ! Désormais les Atlas pourront donner une représentation de ce pays proche de la réalité en figurant le véritable cours du Chari ou en supprimant l'imaginaire massif des Bongo. La notice de la carte orohydrographique dans la première description du cours des rivières centrafricaines tandis que la comparaison de leur débit confirme l'importance essentielle des placages gréseux de Carnot et d'Ouadda dans l'ensemble du Milieu Naturel centrafricain, qu'il s'agisse du relief, du modelé, de la végétation ou des sols.

La carte phytogéographique a été établie en combinant les réductions des esquisses réalisées au 1/200.000 : limites savanes-forêts (avec contours des témoins de forêts : humides, semi-humides ou sèches), limites savanes arborées, arbustives ou herbeuses, en différenciant pour ces dernières les clairières sur cuirasse (lakéré ou boue qui, en raison du contraste ressortent sur les images LANDSAT), des sols hydromorphes sur alluvions récentes. Les stations xerophytiques correspondent aux escarpements et reliefs rocheux. Leurs limites étant dressées sur les images LANDSAT, la caractérisation des secteurs ou des districts a été établie, après dépouillement des relevés botaniques effectués tout au long des itinéraires au sol (cf. Notes de phytogéographie régionale centrafricaine).

Au terme de cette remise en question d'ensemble, le domaine climatique apparait le plus usuel connu. Les quelques esquisses climatologiques étaient basées sur une vingtaine de stations dont le quart seulement était censé représenter la moitié est du pays. Les limites

que nous proposons tiennent compte des stations proches des pays voisins, du relief et de la situation paysagique des stations de référence. Elles s'avèrent en accord avec les limites phytogéographiques.

Tout se tient dans le Milieu Naturel. Les facteurs du milieu influent les uns sur les autres. Pour les étudier il n'en faut négliger aucun.

FINESSE DE LA REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE.

Certains se demandent s'il était indispensable de représenter ce qui peut apparaître comme des détails à cette échelle. Pour nous, il s'agit toujours d'éléments clefs du paysage. Une carte thématique doit être représentative de la réalité, de la vérité-terrain du thème concerné. D'ailleurs la représentation cartographique apparaît bien comme une synthèse quand on la compare à la complexité du Milieu qui ressort sur les assemblages d'images LANDSAT. Nous avons montré (1), que que dans certains secteurs remarquables, on pouvait déceler sur les images LANDSAT les quatre segments morpho-pédologiques d'une toposéquence d'ordre kilométrique.

A partir de cette apparence en mosaïque, il est aisé de regrouper les ensembles de proche en proche à plus petite échelle en vue d'établir par exemple des synthèses homogènes à l'échelle continentale. La démarche inverse est impossible. D'autre part, comme nous l'écrivait RIQUIER (FAO, 1976) "on peut très bien apprécier l'importance relative d'un type de sols par rapport à un autre et cela est très important pour évaluer les surfaces cultivables. Grâce à sa précision ce 1/1.000.000 représente le même intérêt que des cartes à plus grande échelle".

(1) Y. BOULVERT. Revue Photo-Interprétation 1976-4.

A part les cartes climatiques au 1/5.000.000, ces cartes thématiques : pédologie - géomorphologie - orohydrographie - phytogéographie et géologie (1) ont été réalisées à la même échelle 1/1.000.000. Il ne faut pas oublier que le but essentiel de ce travail est de confronter les influences réciproques des divers facteurs du Milieu Naturel Centrafricain.

Ce travail devrait permettre une meilleure connaissance de ce pays. Nous espérons qu'il sera utile aux planificateurs et donc au Développement, mais aussi aux chercheurs qu'ils travaillent sur la R.C.A. ou, en raison de sa position au coeur de l'Afrique, à des synthèses à l'échelle du Continent.

(1) Avec la collaboration de J.L. POIDEVIN - géologue - stratigraphe et structuraliste.

LA HAUTE AMAZONIE EQUATORIENNE
ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE
PERSPECTIVES D'AMENAGEMENT

par Michel SOURDAT

Directeur de Recherches ORSTOM

RESUME.

Les écosystèmes de la haute Amazonie comptent parmi les plus originaux et les plus vitaux de ce bassin ; leur déstabilisation pourrait entraîner de grands dommages. Or, certaines pratiques de colonisation menacent leurs ressources renouvelables d'une destruction irréversible et tendent à la rupture de leurs équilibres.

L'auteur a réalisé les premières cartes morpho-pédologiques de cette région. Il rend compte de cette intervention en insistant sur sa finalité qui est *l'aménagement régional* ; les contraintes écologiques de cette région doivent être définies en priorité, afin que les projets socio-économiques puissent être distribués dans l'espace disponible à la place exacte qui leur convient. Il signale quelques problèmes pratiques qui n'ont pu être posés et ne pourraient être résolus qu'à la lumière des études morpho-pédologiques. Il évoque les relations entre pédologie et écologie face aux problèmes du développement.

RESUMEN.

Los ecosistemas de la alta Amazonia cuentan entre los mas originales y vitales de esta cuenca. Su inestabilizacion podria acarrear lamentables consecuencias. Ahora bien, algunas praticas de colonizacion amenazan sus recursos renovables de irreversibles daños, y tienden hasta la ruptura de sus equilibrios. El autor realizó las primeras cartas morfo-pedológicas de la region y da cuenta de su intervencion, poniendo énfasis en la finalidad que es *el manejo integral de la region* ; las limitaciones ecológicas de aquella región tienen que ser definidas con prioridad, a fin de que los proyectos socio-económicos estén ubicados dentro del espacio disponible, en el sitio que les conviene exactamente.

Se señalan varios problemas prácticos que no pudieron ser planteados, y no podrían tener solucion sino en base a los estudios realizados. Se evocan las relaciones entre pedologia y ecologia, frente al desarrollo.

I. PROBLEMATIQUE.

L'Amazonie équatorienne subit une crise de "développement". Un rappel de notions générales et historiques permettra d'évoquer les origines de cette crise et les conditions dans lesquelles elle s'est manifestée, avant d'en venir aux données techniques et aux perspectives d'aménagement qu'offre notre intervention.

1. Limites géographiques.

La *Region amazónica ecuatoriana* (R.A.E.) constitue une partie de la haute Amazonie. Elle inclue le versant oriental des Andes, entre les parallèles 5°S et 1°N. La ligne de crêtes d'orientation méridienne qui la limite à l'amont se situe entre 3000 et 6000 mètres d'altitude ; elle coïncide partiellement avec la ligne de partage des eaux Pacifique-Atlantique.

A l'aval, une démarcation conventionnelle (Protocole de Rio de Janeiro) prive l'Equateur de 181.000 km² et d'un accès direct à l'Amazone en dépit de revendications permanentes. Cette contestation frontalière confère à la colonisation de la R.A.E. un aspect géopolitique.

Le territoire effectivement géré par l'Equateur se composerait approximativement des surfaces suivantes (sources non officielles):

Province du NAPO	52.317 km ²
Province du PASTAZA	30.268 km ²
Province du MORONA-SANTIAGO	26.118 km ²
Province du ZAMORA-CHINCHIPE	11.250 km ²
	<hr/>
	119.953 km ²

2. Climat et Végétation.

Les précipitations sont alimentées par un flux est-ouest dominant, abondant et régulier bien que périodique à l'entrée du territoire équatorien.

TIPUNI / 75°32'W - 00°45'S / Alt. 270 m												
Moyennes des précipitations mens. et annuel. sur 9 années d'observations												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	AN
110.8	142.5	212.9	237.3	278.1	283.3	274.5	221.9	222.4	202.1	160.7	156.8	2503.3

Les cordilières freinent et perturbent ce régime. Ainsi les précipitations les plus élevées sont observées sur leur flanc oriental à moyenne altitude, au voisinage de la ligne équinoxiale (REVENTADOR/ 77°33'W - 00°03'S / Alt. 1550 m / 6866 mm en 1974).

Des précipitations plus faibles et plus irrégulières s'observent dans les provinces méridionales : (ZAMORA/78°56'W - 04°04'S/ Alt.970 m/2128 mm dont 2 mois inférieurs à 100 mm en 1977), (ZUMBA/ 79°08'W - 04°51'S/alt. 1300 m/1356 mm dont 6 mois inférieurs à 85 mm en 1978).

Les températures moyennes annuelles sont supérieures à 23° dans la cuvette amazonienne d'altitude inférieure à 600 mètres : (TIPUTINI/Alt. 270 m/25°1/Temp. Max. Abs. sur 9 ans : 37°7). Elles décroissent linéairement en fonction de l'altitude croissante le long du versant andin (5° à 4600 m). Les variations intermensuelles sont négligeables. Le zéro est atteint comme température minimale absolue (sur 10 ans) à PAPPALLACTA à l'altitude de 3100 mètres.

La végétation naturelle est forestière avec des variantes, adaptées notamment à l'altitude et au drainage.

3. Ecologie et développement.

On ne peut évoquer l'écologie amazonienne sans revenir sur des constatations et des estimations qui ont été déjà maintes fois exprimées mais dont on a pratiquement peu tenu compte jusqu'à présent.

Les dimensions impressionnantes et l'aspect exéburant des écosystèmes amazoniens prètent à surévaluer leur stabilité et leur productivité. L'immensité du territoire semble devoir masquer les erreurs commises. Ces illusions motivent à tort une exploitation sans discernement ni mesure.

En vérité, les composants et les mécanismes de ces écosystèmes sont encore insuffisamment inventoriés et explicités, en Equateur notamment car les études qui ont été réalisées en Amazonie Centrale ne sont peut-être pas extrapolables à la Haute Amazonie.

Face aux pressions politico-économiques qui poussent à une exploitation empirique sous le signe du "développement", les objections des écologistes manquent de poids, faute de s'exprimer en chiffres. Il faudrait les doubler de propositions concrètes, économiquement crédibles, ce qui ne semble pas encore possible dans l'état actuel des études et des expérimentations.

4. Les cycles biogéochimiques.

Le carbone. Les écosystèmes amazoniens immobilisent des quantités considérables de cet élément dont une faible partie seulement fait l'objet d'échanges. Dans l'hypothèse d'une exploitation inconsidérée de la forêt et des sols qui libérerait ce carbone de façon généralisée et rapide, compte tenu des quantités qui, à plus long terme, rejoindraient le stock océanique, on peut craindre que la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique n'en soit sensiblement accrue : le régime actuel d'absorption des rayons I.R. et d'échanges thermiques du globe seraient modifiés, non sans répercussions éventuellement graves sur son climat.

L'eau. Les précipitations alimentent un flux liquide par ruissellement ou infiltration et un flux gazeux par évapotranspiration. Les frondaisons, le feutrage racinaire, la litière et les horizons du sol exercent sur ces flux des influences régulatrices à la mesure de leur volume et de leur nature. Or, les défrichements qui sont actuellement pratiqués, la plupart au profit de pâturages, impliquent non seulement l'élimination de la forêt ainsi que de la litière et du réseau racinaire qui lui sont propres, mais encore la dénaturation des horizons superficiels du sol par insolation, érosion, tassement et gleyfication (cf. 5.1.). Si ces pratiques se généralisent, il y a lieu de craindre que l'évapotranspiration de l'écosystème substitué ne soit inférieure à celle de l'écosystème forestier, et plus irrégulière : les régimes pluviométriques amazoniens et ceux des régions voisines en seraient affectés de façon probablement dommageable.

En même temps le ruissellement serait accru aux dépens de l'infiltration, avec des effets d'autant plus prévisibles et néfastes que sa régularisation est déjà insuffisante dans l'état actuel du système forêt-sol*.

L'azote. La biomasse forestière et les sols renferment de grandes quantités d'azote, stable sous ses formes organiques. Cet élément s'échange et peut sortir du circuit sous ses formes minérales transitoires. Dans l'état naturel du système forêt-sol, les pertes dues notamment à la lixiviation sont limitées par le feutrage racinaire, et compensées par des fixations qui s'effectuent à tous les niveaux du système. Le défrichement tend à libérer et minéraliser l'azote de la biomasse qui est alors dissipé ou entraîné, d'autant plus vite que les organes absorbants et les agents fixateurs ont simultanément disparu. L'échauffement du sol active ces processus. L'appauvrissement du système s'accompagne d'une pollution des eaux par excès de concentration en aval.

Les autres éléments nutritifs. Ils se perpétuent normalement en circuit fermé entre la biomasse, la litière et les horizons organiques du sol car les horizons minéraux en sont le plus souvent mal pourvus. Le défrichement rompt le circuit et provoque une déperdition d'éléments qui sont lixiviés et contribuent accessoirement à la pollution des eaux. Quant aux cultures substituées, elles ne sont durables que si l'on pourvoit à la restitution des éléments exportés.

5. Impasses et contraintes de l'exploitation commerciale.

Dans la plupart des cas, les écosystèmes amazoniens se réduisent à un *support pauvre* sur lequel est fixée une *biomasse riche* mais de faible productivité. Il va de soi que toute entreprise qui tend à se débarrasser de la biomasse originelle pour s'approprier le support est un non-sens. De plus, on ne peut exiger une production exportable

* Sur le versant andin, le tampon forêt-sol ne peut compenser la force des pentes ni l'abondance des précipitations ; l'écoulement est torrentiel. Au pied des Andes il reste excessivement irrégulier ; l'alternance de crues et d'étiages entrave la navigation, menace l'infrastructure, les cultures riveraines et la faune aquatique.

soutenue de ces écosystèmes naturels dont la capacité d'autosubsistance repose sur le recyclage et la non-exportation des éléments.

Toute exploitation commerciale, donc exportatrice, implique un changement radical de systèmes. A défaut de maintenir les cycles géochimiques dans leur état de fonctionnement naturel, il faudra les réaménager par diverses pratiques adaptées aux cultures choisies, en particulier par l'apport d'engrais.

6. Intérêt particulier de la R.A.E.

Les écosystèmes de la Haute Amazonie équatorienne constituent un capital bio-écologique original et d'intérêt universel. Leur étude et leur gestion méritent une attention très particulière.

Dans cette région en effet, les variations d'altitude, de climat, de substrat et de morphologie se conjuguent pour créer une multiplicité de biotopes qui ne sont perturbés que depuis peu. L'exceptionnelle diversité spécifique de sa flore et de sa faune constitue une grande richesse potentielle.

Il paraît certain que les flux atmosphériques d'origine orientale influencent vitalement le climat de la région interandine, coeur de l'Equateur. Par ailleurs, toute pollution, toute rupture des équilibres physiques et biologiques de ce haut bassin peuvent être ressenties en aval jusqu'aux rives de l'Atlantique.

7. Dimension humaine du problème écologique.

Les diverses attitudes des hommes vis à vis des écosystèmes présentent des aspects culturels autant que techniques.

Naguère, les autochtones étaient en petits nombres, disséminés sur de vastes territoires et coupés du monde extérieur. Ils vivaient de chasse, de pêche, de cueillette ou de cultures itinérantes et ne disposaient que d'outils rudimentaires (en pierre ou en bois). Ils prélevaient donc peu et n'exportaient rien. Tout autant que leurs techniques, leurs besoins et leurs ambitions étaient ajustés aux limites et aux contraintes de l'univers *sylvestre*.

Bien au contraire, les allochtones importent des exigences et des techniques étrangères au milieu, ce qui les porte à transgresser

les contraintes naturelles, afin de prélever plus de biens que la nature n'en peut normalement régénérer.

Autant le comportement *sylvestre* tend à s'intégrer aux écosystèmes, autant l'attitude *pionnière* tend à les transformer.

L'irruption d'allochtones menace donc simultanément la forêt et ceux qui l'occupe traditionnellement. Les uns méprisent ce que les autres respectent, et détruisent ce dont les autres ont besoin pour vivre : le milieu naturel et cette manière de s'en servir qui constitue une *culture*. Il n'y a d'autres solutions à ce conflit latent qu'une stricte ségrégation ou une synthèse de cultures, selon des modalités éthiques et techniques qu'il est bien délicat de définir.

8. La colonisation.

Les ethnies indigènes ont vécu longtemps repliées sur elles-mêmes. Les entreprises d'aventuriers et de colons qui se sont succédées par vagues depuis le XVIème siècle sont restées relativement marginales. La colonisation n'est vraiment poussée que depuis moins de 20 ans.

C'est le jaillissement du pétrole qui a rappelé à la nation l'importance de ses provinces orientales, et réveillé ses préoccupations géopolitiques. C'est l'infrastructure pétrolière qui a ouvert les voies de la colonisation agricole.

Simultanément, l'inflation démographique et les crises agricoles qui affligeaient d'autres provinces ont déraciné les paysans marginalisés et les ont précipités vers les espaces orientaux.

Cette migration soudaine que le gouvernement a encouragée parce qu'elle offrait une solution apparente aux problèmes du moment, n'avait pu être planifiée et n'a pas été encadrée, faute d'études préalables et d'un appareil administratif adéquat.

9. Faillite et reprise en main de la colonisation.

Les colons se sont répandus partout où l'infrastructure la plus rudimentaire leur donnait accès, sans considération de bons ou de mauvais sols. Dépourvus de moyens financiers et techniques, il leur faut d'abord survivre aux dépens des ressources primaires (notamment du bois) de telle sorte qu'elles sont exploitées à perte de vue et précocement détruites. Faute d'infrastructure commerciale, la produc-

tion stagne au niveau de l'autosubsistance à moins d'être accaparée par quelques privilégiés qui spéculent sur le dénuement des autres. La "vocation pastorale" de la R.A.E. ayant été proclamée par l'opinion publique et soutenue par l'administration, les espoirs et les efforts des colons tendent à l'extension des paturages, sans considération de l'aptitude des sols ni des répercussions écologiques.

Il est bientôt apparu à certains que les ressources naturelles étaient en voie de destruction et les productions décevantes. Les indigènes se voyaient menacés sans que les colons soient satisfaits pour autant. En l'absence toutefois de documents, de doctrines et de références, un constat objectif de l'échec ne pouvait être formulé sans contestations, non plus qu'une solution rationnelle ne pouvait s'imposer.

C'est dans ces conditions que des accords particuliers signés en janvier 1976 ont confié à l'ORSTOM (assesseur du Programme National de Régionalisation agricole - PRONAREG - au sein du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage) la responsabilité d'un diagnostic initialement limité à la Province de Napo. A notre initiative et dans le cadre des accords de 1977, ce diagnostic a été étendu à l'ensemble de la R.A.E.

Pour que notre intervention soit efficace, il manquait un interlocuteur qualifié. Celui-ci fût constitué par la *Loi de Colonisation* de 1978 qui a créé l'*Institut National de Colonisation de la R.A.E.* (INCRAE). L'activité de PRONAREG-ORSTOM tend donc à s'insérer dans celle de l'INCRAE.

10. Les problèmes immédiats de l'aménagement.

Les objectifs d'un aménagement régional sont variés. Ils éveillent des intérêts ou des susceptibilités antagonistes, se font concurrence dans l'espace et se chevauchent dans le temps.

Préserver le capital biologique et la stabilité des écosystèmes. Assurer la survie physique et culturelle des communautés indigènes. Accueillir les colons et élever leur niveau de vie. Concevoir, expérimenter et vulgariser des systèmes de production stables. Garantir la sécurité des frontières. Assurer la soudure entre la "colonisation spontanée" dont il faut gérer les erreurs et "l'aménagement intégral

concerté" dont il faut définir les principes et appliquer les résolutions ... Telles sont les tâches qui incombent à l'INCRAE.

Parmi les documents de base indispensables à l'inventaire des problèmes et à la conception d'un plan, une représentation simple et synthétique de la réalité morpho-pédologique de la R.A.E. s'inscrivait au premier rang. Un critère régissait sa réalisation : l'urgence.

Nous avons défini notre méthodologie en conséquence.

II. METHODOLOGIE DE L'ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE DE LA R.A.E.

1. Principes directeurs.

Pour contrôler une situation éminemment évolutive et répondre au critère d'urgence, une information sommaire mais actuelle est plus utile qu'une information détaillée mais tardive.

Les documents classiques sont indispensables mais non pas suffisants. Leur publication n'est pas une fin en soi ; leur aspect importe moins que leur adéquation aux problèmes de l'heure et la rapidité de leur diffusion. Aucune pratique d'école ne saurait constituer une référence systématique.

Tous les facteurs d'une dégradation ou d'un redressement de la situation sont interdépendants. Aucune observation ne doit être négligée dans une région si mal connue, ce qui exclue les oeillères disciplinaires.

2. La documentation de base.

Le seul fond topographique officiellement disponible fut jusqu'en 1979 la carte à 1/1.000.000 de l'Institut Géographique Militaire récemment agrandie à l'échelle 1/500.000.

La couverture photographique est notre document fondamental. Les photos sont pour la plupart à l'échelle 1/60.000. Il est inévitable qu'elles comportent des distorsions et des manques, surtout en ce qui concerne le versant andin.

L'information LANDSAT n'a pas encore été l'objet d'une exploitation systématique qui ne peut être improvisée. Les "images" exploitables sont d'ailleurs rares et ne couvrent pas l'ensemble de la R.A.E.

en raison de la nébulosité. Elles ne sont utilisées que pour l'amélioration du fond planimétrique.

3. Le travail de bureau.

La photo-interprétation s'effectue au stéréoscope. Des mosaïques sont assemblées, décalquées puis réduites aux échelles adéquates. Une restitution est opérée au moyen d'un pantographe optique sur les fonds planimétriques de l'I.G.M., éventuellement précisés à partir des "images" LANDSAT et des photographies aériennes.

L'échelle retenue pour la diffusion finale est celle de 1/500.000 mais nous disposons de documents plus fins à usage interne.

Nos études visent à distinguer et qualifier le relief, le drainage et les sols. Ceux-ci ne peuvent être connus que sur le terrain mais l'expérience a montré une corrélation fiable avec le relief et le drainage ; les extrapolations sont donc justifiées.

4. Le travail de terrain.

Seules, la marge occidentale de la R.A.E. et la zone pétrolière disposent d'un réseau routier quelques peu ramifié. Le reste ne peut être atteint que par le réseau fluvial (très partiellement ou temporairement navigable), par avion (selon les possibilités des missions religieuses qui ont créé la majorité des pistes et assurent la quasi-exclusivité du trafic), ou à pied.

Nos prospections sont trop dispersées dans l'espace et dans le temps pour justifier la disponibilité permanente des moyens de transports et du personnel adéquats. Ceux-ci doivent donc être sollicités spécialement à chaque occasion.

Les prospections ont pour but de vérifier les données de la photointerprétation, d'identifier les sols et de justifier les extrapolations. Nous avons reconnu au moins une fois chacun des principaux types de paysages.

Il nous est pratiquement impossible de faire creuser des fosses et nous nous contentons d'observations et prélèvements effectués à la tarière. Le nombre de prélèvements est limité par le portage à dos d'homme, l'évacuation en avions légers, ainsi que les coûts d'

expédition et d'analyse en France (1).

5. Classification et légendes.

Nos cartes distinguent les ensembles physiographiques délimités sur photos après vérifications sur le terrain, autrement dit les *paysages*. D'ailleurs, l'aménagement doit prendre en compte l'ensemble relief + drainage + sol et non pas l'un de ces éléments isolément.

A notre échelle, on peut admettre que les unités physiographiques correspondent à des unités pédologiques, étant entendu qu'il ne s'agit pas d'unités taxonomiques pures. La référence à la U.S.D.A. Soils Taxonomy nous est imposée par la convention MAG-ORSTOM. Elle présente l'avantage de conceptualiser brièvement la nature et les potentialités des sols. Elle est la seule connue des pédologues nationaux.

III. LES RESULTATS TECHNIQUES : MORPHOLOGIE ET SOLS DE LA R.A.E.

1. Le versant andin.

Ce versant appartient à l'Amazonie du point de vue hydrologique et administratif mais il est évident que les paysages de haute montagne qui le limitent se rattachent plutôt au domaine de la Sierra, étudié par une autre équipe.

Il s'étage entre 6.000 et 600 mètres d'altitude. La pente moyenne calculée est de 6 %. Les pentes réelles sont infiniment variables, parfois très fortes et coupées d'accidents profonds.

Le substrat est essentiellement formé de schistes et de grès, parfois de granites ou de roches sédimentaires et aussi de produits volcaniques d'âges divers. Deux volcans présentent une activité quotidienne.

(1) Pour nous assurer une fiabilité constante des résultats, nous avons confié toutes nos analyses aux Laboratoires Centraux de l'ORSTOM (Bondy). Les déterminations se limitent aux exigences d'une caractérisation taxonomique et du potentiel de fertilité.

Entre les parallèles 1°N et 3°S, l'ensemble est presque entièrement recouvert d'une couche de un à quelques mètres de cendres sur lesquelles sont développés les sols. Selon l'altitude, les précipitations et la saturation atmosphérique (les plus fortes précipitations se situent entre 1500 et 600 mètres d'altitude, atteignant 6500 mm), on distingue des andosols, des sols sableux, argilo-allophaniques ou allophaniques, très riches en matière organique (*Vitrandepts*, *dystandepts* ou *hydrandepts* de la U.S.D.A. Soils Taxonomy). Les *hydrandepts* sont de beaucoup les plus représentés : ils sont sursaturés d'eau et complètement lixiviés.

Au sud du parallèle 3°S, les sols sont développés directement sur les substrats ; ils sont assez diversifiés et généralement très érodés.

2. Les cordillères secondaires.

Parallèlement à la grande cordillère s'étend une série de reliefs d'altitude inférieure à 2.500 mètres. Ils correspondent à des structures sédimentaires tectonisées (excepté les cônes volcaniques du SUMACO et du PAN DE AZUCAR, proches de 4.000 m). Très accidentées dans l'ensemble, ces cordillères comportent des plans structuraux plus ou moins inclinés et disséqués. On y trouve des zones karztiques.

Elles ne sont que partiellement couvertes de cendres : les sols sont donc soit des (*hydrandepts*) soit des sols peu évolués, généralement très érodés.

3. Cônes de déjection, structures tabulaires et reliefs dérivés.

Un énorme cône de déjection occupe la partie centrale du piémont andin. Il comporte plusieurs générations de dépôts plio-quaternaires dont la continuité a été rompue transversalement par des actions tectoniques et qu'une érosion radiale a profondément disséqués. Ses témoins se déploient en éventail, sous forme de plateaux disséqués puis de reliefs dérivés.

A l'amont, on observe des épaisseurs considérables de conglomérats à galets et sables d'origine volcanique dont l'ensemble conserve un aspect tabulaire. Néanmoins les couches supérieures ont été très profondément météorisées et modelées en petites collines (demi-orange).

Une couche de cendres recouvre le tout ; les sols sont des *hydrandepts*.

A l'aval, des conglomérats analogues se retrouvent au sud du rio PASTAZA, moins météorisés toutefois et sans recouvrement de cendres. Au nord de ce rio, ils font place à des grès verdâtres riches en minéraux volcaniques (grauwackes). Les structures tabulaires sont d'abord très nettes, puis se dégradent en reliefs dérivés qui se raccordent à la "mer de collines".

Tant sur conglomérats que sur grauwackes, l'approfondissement et l'évolution des sols sont très variables. On distingue des *typic eutropepts*, des *oxic dystropepts* et des *umbriorthox*. Leurs traits communs sont la couleur brune et la présence d'argiles halloysitiques.

4. La "mer de collines".

En contrebas des cordillères et des structures tabulaires, soit entre 600 et 240 mètres d'altitude, s'étendent de grands ensembles de collines nivellées entre elles. Chaque ensemble paraît dérivé d'une structure sédimentaire sub-horizontale. La pente générale n'est plus ici que de 0,1 %.

La météorisation de ces sédiments marins d'âge tertiaire est ancienne et parfois très profonde : les galets de couches conglomératiques sont totalement argilifiés. Cependant les sols ont du être rajeunis. Ils sont rouges, peu profonds, compacts et très lixiviés (*oxic dystropepts*).

5. Plaines d'épandage et terrasses alluviales.

Au réseau fluvial actuel sont associées des terrasses dont les matériaux sont potentiellement riches mais dont les dimensions sont limitées et le drainage souvent insuffisant.

Beaucoup plus importants par leur étendue et leur intérêt économique sont les dépôts qui semblent provenir de divagations anciennes du réseau et dont ni l'extension ni l'épaisseur ne sont plus en rapport avec la situation et la compétence des cours d'eau qui les drainent. Ils reposent sur les argiles tertiaires, localement arasées.

Ces dépôts comportent des sables et des limons stratifiés,

d'origine volcanique. Les sols sont généralement profonds, meubles et fertiles (*eutropepts, dystropepts, andic dystropepts, vitrandepts*).

6. Les zones marécageuses.

Les différents aspects des cours d'eau et marécages dont l'extension croît vers l'aval de la R.A.E. s'expliquent par un surcreusement ancien, suivi ou non d'un comblement.

L'apport des rios qui disposent de débits solides importants a colmaté leurs vallées et ennoyé la base des massifs collinaires voisins. Cependant, de vastes dépressions subsistent à l'arrière des bourrelets de berges : elles ne sont remblayées que par décantation d'argiles et accumulations de matières organiques (*tropofibrists*).

Là où le débit solide est limité sont les *aguas negras*, colorées seulement par des matières organiques. Elles occupent des vallées encore profondes, domaines de forêts aquatiques d'une surprenante beauté.

Les matériaux des berges et des dépressions sont potentiellement riches mais difficilement drainables.

7. Fertilité naturelle des sols et aptitudes des divers paysages de la R.A.E.

Les aptitudes des paysages que nous avons cartographiés et qui viennent d'être succinctement décrits résultent des possibilités ou des limitations qui sont offertes par leur modelé, leur drainage et la fertilité naturelle de leurs sols.

Il nous faut signaler que les avantages apparemment liés à un modelé plan ou à un drainage efficient ne sont pas évidents pour tous, non plus que les limitations liées aux fortes pentes ou aux terrains marécageux. Quelques communautés, fidèles à la vie sylvestre, se maintiennent sur des territoires qui conviennent à leur culture bien qu'ils puissent paraître défavorisés. Par ailleurs, les pionniers agissent comme si leur énergie, appuyée sur la mécanisation, ne devait tenir compte d'aucun obstacle. Quant à la fertilité des sols, elle semble le plus ignoré et le plus négligé des trois critères d'aptitude.

Or, prospections et analyses ont montré que les potentiels

de fertilité des divers sols de la R.A.E. sont extrêmement dissemblables, ce qui implique l'extrême disparité d'aptitude des paysages correspondants, sans préjudice des critères de modelé et de drainage.

Les meilleurs sols (ceux des plaines d'épandage en particulier) présentent, en plus de bonnes caractéristiques physiques, des sommes de bases échangeables proches de 20 meq/100 g, avec des taux de saturation compris entre 20 et 80 %.

Les plus mauvais qui sont ceux des collines sont peu profonds et très compacts. Les sommes de bases échangeables y sont inférieures à 0,5 meq/100 g avec des taux de saturation inférieurs à 5 % (1). De plus, leur teneur en aluminium échangeable est toujours excessivement élevée.

On ne saurait trop insister sur ces disparités. Dans les meilleurs cas en effet, les qualités des sols justifient non seulement leur exploitation mais encore la recherche d'un système de production de type intensif. Dans les moins bons cas par contre, il est illusoire d'escompter une production agricole ou pastorale soutenue et rentable. Il n'est donc plus possible de traiter des sols de la R.A.E. ni de leurs prétendues vocations en termes généraux. La définition des objectifs de production, des méthodes et des terrains d'application doit être fondamentalement subordonnée à la réalisation des choses (2).

(1) Ces chiffres concernent les horizons minéraux. On sait que les horizons organiques sont beaucoup mieux pourvus puisqu'ils s'intègrent au circuit de l'écosystème, mais ils sont très peu épais, vulnérables et destinés à disparaître en cas de défrichement mécanisé ou de pâturage.

(2) Dans cet article, les données descriptives et analytiques sont intentionnellement réduites au minimum. Nous voulons insister exclusivement sur les modalités et la finalité de notre intervention en Amazonie (problématique et aménagement). Les résultats techniques ont été publiés en espagnol. Ils pourraient être exposés dans un article ultérieur dont l'orientation serait nettement différente.

IV. LES RESULTATS PRATIQUES : ESQUISSE D'UN AMENAGEMENT DE LA R.A.E.

L'objet d'un aménagement est de distribuer les projets dans l'espace disponible, à la place qui leur convient, en application de quelques idées simples et cohérentes.

- Les zones d'intérêt bio-écologique prioritaire et de potentiel économique faible ou nul doivent être protégées. Il s'agit surtout du versant andin, des cordillères secondaires, de certains marécages et des bassins versants qui leur correspondent.

- Les territoires nécessaires à la survie des groupes indigènes doivent aussi être protégés. Certaines concessions prêtent d'autant moins à contestation de la part des pionniers que leur potentiel agropastoral est faible tandis que leurs ressources sylvestres sont satisfaisantes. Ces territoires constituent par ailleurs des réserves naturelles de flore et de faune.

- Les zones douées de fortes potentialités agricoles doivent être mises à la disposition des cultivateurs, ou d'entreprises agro-industrielles, avec la volonté d'en tirer un parti intensif.

Ces principes sont simplistes, mais il faudra ajuster les décisions aux contingences. Néanmoins, il n'y a pas d'avenir écologique ni socio-économique pour la R.A.E. en dehors d'un tel schéma.

Soulignons qu'aucun aménagement n'a été concevable avant la réalisation de nos premiers documents. En ce qui concerne les Parcs ou Réserves par exemple, d'une part il était impossible de les délimiter tant qu'aucune carte ne définissait leurs contours naturels, d'autre part leur protection pouvait être contestée tant que leur potentiel agropastoral n'avait pas été évalué et que toute convoitise à leur égard n'avait pas été écartée.

La localisation respective des zones à développer et des zones à protéger est également indispensable à la conception d'un réseau routier. Celui-ci a été esquissé sur une carte thématique, expressément dressée par nos soins.

V. RESULTATS CONNEXES : PROBLEMES PARTICULIERS A LA COLONISATION.

Ayant révélé l'extrême disparité de leurs potentialités, l'inventaire des sols a mis en lumière quelques erreurs initiales de la colonisation qui méritent d'être mentionnées.

1. L'occupation inconsidérée des mauvais sols et le dangereux mirage de l'élevage.

Parmi les terres colonisées, certaines sont de nature telle que toute entreprise y est condamnée à l'échec. Il est néfaste de relativiser ce verdict ou de professer qu'à défaut de cultures, on pourrait développer l'élevage. Cette attitude ne mènera qu'à la marginalisation socio-économique des exploitants à travers une destruction irréversible du capital bio-écologique.

Quant à la prétendue vocation pastorale de la R.A.E., elle relève d'une croyance des colons, des indigènes qui s'y laissent gagner et de quelques administrations qui la soutiennent.

Les dégâts causés par l'élevage en Amazonie ont été maintes fois dénoncés : l'établissement des paturages implique la destruction la plus radicale de l'écosystème forestier, sol inclus ; l'introduction du bétail dénature les horizons superficiels du sol par piétinement comme nous l'avons constaté en toutes occasions.

Sur les "mauvais sols", on ne peut maintenir un paturage appétent et nutritif, ce qui entraîne la fuite en avant vers de nouveaux défrichements. Sur les "bons sols" l'élevage est une forme de sous-exploitation. Le rendement financier à l'hectare est très inférieur à celui des cultures et ne saurait justifier ni la destruction du milieu forestier, ni l'occupation même du sol.

2. Le problème capital de la surface des lots de colonisation.

La réhabilitation économique et sociale des migrants constitue l'un des objectifs primordiaux de la colonisation. Pour la mener à bonne fin, il aurait fallu définir préalablement le niveau de vie auquel on souhaitait les élever, puis évaluer les surfaces adéquates en fonction des aptitudes des sols. Or, les bases de cette évaluation faisant initialement défaut, la surface des lots a été fixée uniformé-

ment à 50 hectares. Cette procédure arbitraire, grosse de conséquences, constitue un exemple typique des erreurs qu'on eût évitées si l'inventaire morpho-pédologique de la R.A.E. avait précédé la colonisation au lieu de suivre.

Les zones objectivement aptes au développement agricole sont restreintes (on peut les évaluer à 10 % de la R.A.E.). Le nombre de bénéficiaires sera d'autant plus faible que les surfaces sont grandes, et peu proportionné au nombre de candidats. De plus, le propriétaire d'une grande surface n'étant pas incité à maximaliser ses rendements, les meilleurs sols resteront sous-exploités.

La dimension de ces lots a été justifiée par la nécessité de reconstituer la fertilité des sols par une jachère. Ceci se conçoit dans une perspective extensive dont on ne devrait pas se contenter là où on dispose de sols d'excellente qualité. Seules les méthodes intensives sont génératrices de progrès et répondent aux exigences de la conjoncture.

VI CONCLUSIONS.

La haute Amazonie était restée longtemps l'une des dernières *terrae incognitae* du globe. Si l'on avait pressenti l'imminence et l'importance de la mutation actuelle, il aurait paru nécessaire et passionnant de l'étudier préalablement. On ne peut aujourd'hui que déplorer le retard pris par rapport au développement et tenter de regagner le temps et le terrain perdu.

A une situation d'urgence, nous avons adapté une méthodologie sommaire afin de réaliser en un délai restreint les documents les plus indispensables. Les résultats se traduisent très positivement par les mesures récemment prises, ou envisagées, en vue d'un aménagement régional rationnel.

Dans la mesure où la documentation morpho-pédologique détermine les options de l'aménagement, l'auteur s'y trouve engagé moralement autant que techniquement. L'objectivité scientifique est un retranchement illusoire ; d'une part, les délais et les moyens impartis n'assurent pas cette objectivité ; d'autre part nous décevrons nos partenaires si nous nous refusions à certains choix.

Dans le cas présent, l'option s'est portée sur l'écologie à laquelle s'opposerait spécieusement le développement. L'expérience, la littérature et le conseil de quelques experts semblent ratifier la part de choix que nous avons consentie.

Une question reste posée : est-il justifié de violer ce sanctuaire de la nature qu'est la R.A.E. tandis que d'autres régions équatoriennes pourraient produire plus, à moindres frais et moindres risques ? La question restera suspendue tant qu'une priorité n'aura pas été définie et motivée à l'échelle nationale, pour le développement de l'une ou l'autre des régions dont PRONAREG et l'ORSTOM poursuivent l'inventaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Los recursos naturales renovables y el desarrollo regional amazonico-IICA-TROPICOS, bol. n° 28, Turrialba, Costa-Rica, 1979 - 2 p.

Seminario sobre manejo de sistemas ecologicos y alternativas de producción agro-silvo-pastoril de la region amazónica ecuatoriana - IICA-TROPICOS, Bol. n° 29, Turrialba, Costa-Rica, 1979 - 2 p.

L'Ecologie, vol. 2 : Ecosystemes et biosphère - Min. Ed. Nat. et Culture, Bruxelles, Sér. Documentation n° 23.

DE NONI (G.) et GUEVARA (O.) - 1980 - Reconocimiento cartografico de la Región Amazónica Ecuatoriana, Provincia de Pastaza - MAG-ORSTOM, Quito, multigr. 36 p. et carte 1/500.000 en couleurs.

SASTRE (C.) - 1980 - Fragilité des écosystèmes guyanais : quelques exemples - Adansonia, sér. 2, 19 (4) : pp. 435-449, Paris.

SOURDAT (M.) et CUSTODE (E.) - 1977 - Reconocimiento morfográfico y edafológico de la Amazonia ecuatoriana, zona nor-oriental - MAG-ORSTOM, Quito, multigr. 15 p. et carte 1/500.000.

SOURDAT (M.) et CUSTODE (E.) - 1978 - Suelos del nororiente, características fisico-quimicas y su fertilidad - MAG-ORSTOM, Quito, multigr. 28 p., 3 diagr. et 1 carte 1/500.000.

SOURDAT (M.) et CUSTODE (E.) - 1978 - Datos adicionales, 2 p., 1 diagr.

SOURDAT (M.) et CUSTODE (E.) - 1980 - Problematika del manejo integral y estudio morfo-pedológico de la región amazónica ecuatoriana - MAG-ORSTOM, Quito, multigr. 17 p.

SOURDAT (M.), CUSTODE (E.) et MUNOZ (A.) - 1980 - Provincia de Morona Santiago, parte norte, carta pedo-morfológica, informe provisional - MAG-ORSTOM, Quito, multigr. 12 p. et carte 1/500.000.

TRICART (J.) - Ecologie et développement : l'exemple amazonien - Ann. Géogr. n° 481, pp. 257-291.

3. LISTE DES PARTICIPANTS.

NOM	Prénom	Organisme	Adresse
BOULAINÉ	Jean	I.N.A.	16, rue C. Bernard PARIS
HUMBEL	François-Xavier	ORSTOM	24, rue Bayard PARIS
FROMAGET	Michel	ORSTOM	Nouméa (Nlle Calédonie)
de BOISSEZON	Paul	ORSTOM	Nouméa (Nlle Calédonie)
WILLAIME	Pierre	ORSTOM	Bondy
VIEILLEFON	Jacques	ORSTOM	Tunis (Tunisie)
BOURGEAT	Fernand	ENSAT	Toulouse
LAMOUREUX	Maurice	ORSTOM	Bondy
IRIS	Jean-Marc	ORSTOM	Bondy
SOURDAT	Michel	ORSTOM	Quito (Equateur)
SEGALEN	Pierre	ORSTOM	Bondy
ROOSE	Eric	ORSTOM	Orléans
COMBEAU	André	ORSTOM	Bondy
JAMET	Rémi	ORSTOM	Tahiti
NANSE	Gérard	ORSTOM-UHA	Mulhouse
FOURNIER	Bernard	INA-P.G.	Thiverval-Grignon
PEURE	Yves	INA-P.G.	Paris
BRION	Jean-Claude	ORSTOM	Bondy
AUDRY	Pierre	ORSTOM	Brésil
BLANCANEAUX	Philippe	ORSTOM	Vénézuéla
LAIDET	Danielle	ORSTOM	Bondy
ROEDERER	Patrice	ORSTOM	Paris
MORI	Auguste	INRA-SESCPF	Versailles
GIRARD	Michel-Claude	INA-P.G.	Paris
ENFANT	Alain	B.D.P.A.	202, rue de la Croix Nivert 75015 PARIS
CHEVERRY	Claude	E.N.S.A.	65, rue de St Briec RENNES
CHATELIN	Yvon	ORSTOM	Bondy
BOULVERT	Yves	ORSTOM	Bondy
AUBERT	Georges	ORSTOM	Bondy
BELLIER	Gérard	ORSTOM	Bondy
COLMET-DAAGE	François	ORSTOM	Martinique
ZANTE	Patrick	ORSTOM	Dakar (Sénégal)
FAURE	Paul	ORSTOM	Lomé (Togo)
VIENNOT	Marc	ORSTOM	Adiopodoumé (Côte d'Iv.)

NOM	Prénom	Organisme	Adresse
CALVEZ	Laurent	ENSA-INRA	65, rue de St BrieuC RENNES
FORESTIER	Jean	ORSTOM	PARIS
FAUCK	Roger	ORSTOM	PARIS
PEDRO	Georges	INRA	Versailles
DE LA SOUCHERE		ORSTOM	France
VIZIER	Jean-François	ORSTOM	Lomé (Togo)
MARTIN	Dominique	ORSTOM	Bondy
MOREAU	Roland	ORSTOM	Bondy
VICARIOT	François	ORSTOM	Quito (Equateur)
ZEBROWSKI	Claude	ORSTOM	Quito (Equateur)
GUICHARD	Edmond	ORSTOM	Libreville (Gabon)
MAMI	Abderrahmane	ORSTOM	Tunis (Tunisie)
LENEUF	Noël	ORSTOM	Dijon (Faculté)
MAIGNIEN	Roger	ORSTOM	PARIS
LOYER	Jean-Yves	ORSTOM	Dakar (Sénégal)
MOUGENOT	Bernard	Elève ORSTOM	Dakar
ISMAIL	Hassan	Université	Alexandrie (Egypte)
POUGET	Marcel	ORSTOM	Bondy
OULEBSIR	Snoussi	INRA	Algérie
ESCADAFAL	Richard	ORSTOM	Gabès (Tunisie)
PEREIRA BARRETO		ORSTOM	Dakar (Sénégal)
KALOGA	Bokar	ORSTOM	Bondy
FAIVRE	Paul	Centre Pédologie- Biologie	Vandoeuvre les Nancy