

La cartographie des sols dans les régions tropicales : une procédure à 5 niveaux coordonnés

P. BRABANT⁽¹⁾

RÉSUMÉ

La première partie de l'article établit un bilan sommaire des travaux de cartographie des sols dans les régions tropicales. Ces travaux ont apporté une contribution importante à la connaissance des sols mondiaux, mais une contribution relativement faible au développement rural des pays tropicaux. La raison principale est due au fait que les cartes de sols et surtout leurs légendes ne sont pas adaptées aux besoins des utilisateurs.

Cette situation peut être améliorée en modifiant les méthodes de cartographie et en valorisant mieux les cartes de sols pour le développement. Cela implique la prise en compte du résultat des recherches récentes sur les sols, intégrés dans le paysage, l'utilisation raisonnée de nouvelles techniques et l'abandon des classifications de sols comme outil privilégié de la cartographie.

La seconde partie de l'article propose un schéma directeur pour cartographier les sols tropicaux. Ce schéma est fondé sur trois idées : (1) le concept de système-sols, (2) la propriété des systèmes-sols — en tant qu'entités géographiques naturelles — d'être identifiables sur les images aérospatiales, (3) une autre propriété qu'ils ont de présenter un motif répétitif, ordonné dans le paysage en fonction de la topographie ; d'où le choix de l'étude de toposéquences, qui fournit d'excellents résultats.

Le schéma proposé comporte cinq niveaux coordonnés. Chacun des niveaux est décrit selon le plan suivant : caractéristiques générales, objectif des travaux, documents de base nécessaires, méthode utilisée, résultats obtenus, relation avec l'évaluation des terres, exemple.

L'article conclut en attirant l'attention sur l'importance du concept de système-sol, sur le rôle relativement mineur qu'il faut réserver à l'usage des classifications de sols et sur l'aspect primordial des études de Niveau 2, considéré comme le NIVEAU-CLÉ de la procédure de cartographie.

MOTS CLES : Cartographie des sols - Méthodologie - Zones tropicales - Système-sol (concept de).

SOIL MAPPING IN THE TROPICAL REGIONS : A PROCEDURE INVOLVING 5 COORDINATED LEVELS

The first part of the article strikes a succinct balance of soil mapping work in the tropical zones. This work has contributed much to our knowledge of world soils, but relatively little to rural development in the tropical countries. The main reason for this is that the soil maps, and soil map keys especially, are ill adapted to user requirements.

This situation can be improved by changing cartographic methods and making better use of soils maps for development. This means incorporating recent research into the distribution of soils in the landscape, making sensible use of new techniques, and no longer using soil classifications as the prime instrument in soil mapping.

The second part of the article proposes a guideline plan for mapping tropical fact that soil-system — as natural geographical entities — are identifiable from soils. This plan is based on three ideas : (1) the concept of soil-system, (2) the aerospace images, (3) the fact that they present an ordered, repetitive pattern in the landscape as reflected in the topography. Whence the decision to take the toposequence as a focus of study, a method that yields excellent results.

The proposed guideline plan consists of a co-ordinated five-level scale. Each level is described in terms of the following : general characteristics, aim of the study, basic documents required, method employed, results obtained, relationship to land evaluation, example.

The article concludes by laying emphasis on the importance of the soil-system concept, the relatively minor role that should be allotted to soil classifications, and the prime importance of the Level 2 studies, considered as the KEY-LEVEL of the mapping guideline plan.

KEY-WORDS : Soil mapping - Methodology - Tropical zones - Soil-system (concept of).

Nous examinerons dans une première partie la situation actuelle de la cartographie des sols dans les régions tropicales, où de vastes étendues ne sont pas encore cultivées et où l'agriculture est généralement de type extensif.

Après avoir analysé cette situation, nous proposerons dans une seconde partie un schéma directeur pour cartographier ces sols tropicaux des plus petites aux plus grandes échelles.

I. BILAN ET SITUATION ACTUELLE

A) ESQUISSE DU BILAN DE 40 ANNÉES DE CARTOGRAPHIE

L'ORSTOM et le CIRAD ont une longue expérience de la cartographie des sols en Afrique, en Amérique et en Asie tropicale, dans les îles du Pacifique et de l'Océan Indien. On évalue au nombre de 2 000 environ les cartes de sols réalisées par ces instituts, entre 1948 et 1988, à des échelles variant de 1/1 000 000 à 1/10 000.

La plupart de ces travaux, en particulier les cartes à moyenne et petite échelles, ont été réalisés sur recommandation de ces instituts ou de celle d'autres instituts, européens et internationaux. Cela répondait à un réel besoin d'inventaire des sols dans les régions tropicales. Dans un grand nombre de cas, le résultat de ces travaux, difficiles et coûteux, a été de produire seulement des cartes de sols, accompagnées de légendes explicatives sommaires, à base taxonomique.

Il est certain que les connaissances sur les sols tropicaux ont fortement progressé par rapport à celles de la période 1930-1950 grâce aux résultats obtenus par la cartographie. Certains pensent que l'inventaire des sols dans ces pays est même terminé et qu'il est préférable d'investir maintenant dans des activités autres que la cartographie.

Cependant, un examen plus attentif révèle que, non seulement de vastes superficies restent à inventorier, mais encore que les résultats cartographiques déjà obtenus n'ont pas été suffisamment valorisés ou exploités par les pédologues et les agronomes à l'intention des utilisateurs.

Nous constatons aussi qu'il est souvent difficile de corréler des cartes de sols réalisées dans des pays différents ou même dans des régions différentes du même pays. La raison principale provient du fait que ces cartes ont des légendes fondées par des classifications de sols diverses, dont les normes sont de plus, interprétées différemment ici et là (J.M. KAUFFMANN, 29).

Rappelons qu'il n'a pas été possible de parvenir à un accord mondial durant ces quarante dernières années pour adopter un système commun de classification des sols.

A cette difficulté vient s'ajouter le fait que l'usage d'une classification, aussi élaborée soit-elle, ne résoud pas les principaux problèmes posés par la cartographie des sols.

Quant à l'utilisation des cartes de sols pour le développement — et pour le développement agricole en particulier — elle pose de nombreux problèmes, surtout si ces cartes ne sont pas accompagnées de documents convenables sur l'évaluation des terres (P.A. WOODS, 43). On imagine aisément la perplexité d'un utilisateur qui, consultant une carte de sols du secteur qu'il doit aménager, doit choisir entre une implantation sur des « sols ferrugineux lessivés » ou sur des « solonetz solodisés ». De plus, les problèmes de corrélation entre les cartes de sols entraînent inévitablement des difficultés pour le transfert des résultats agronomiques d'une région à l'autre.

L'apport de la cartographie des sols tropicaux à la Science du Sol est important, mais le bilan pourrait être plus positif pour le développement des pays tropicaux. Cela est dû au fait que les cartes de sols ont été souvent mal valorisées ou que la nature de ces cartes rendait leur exploitation difficile par les utilisateurs.

B) SITUATION EN 1989

Nous pouvons faire actuellement trois constats :

— 1^{er} : LES METHODES DE CARTOGRAPHIE DES SOLS ONT ASSEZ PEU CHANGÉ DEPUIS 40 ANS

Il existe quelques équipes faisant localement des recherches sur de nouvelles méthodes de cartographie. Mais la méthode, généralement employée et inscrite dans la plupart des contrats de cartographie, est celle du quadrillage systématique du terrain selon la règle de « 1 observation pour 1 cm² de carte ».

Cette méthode est fondée sur l'hypothèse que les différents sols d'une région sont répartis au hasard et qu'un échantillonnage statistique permet d'en faire l'inventaire.

— 2^e : LES TRAVAUX DE CARTOGRAPHIE DES SOLS SONT COUTEUX

Ils coûtent encore plus cher dans les pays moins développés à cause du prix des véhicules, de leur entretien, de l'acquisition des images aérospatiales, des produits et de l'équipement de laboratoire, de l'équipement nécessaire pour faire les travaux d'édition de cartes.

Le budget, dont disposent les Services des Sols de ces pays, est souvent insuffisant pour couvrir toutes ces dépenses.

— 3^e : LA CARTOGRAPHIE DES SOLS EST SOUVENT CONSIDÉRÉE DANS LES PROJETS DE DEVELOPPEMENT COMME UNE ACTIVITE ANNEXE

Bien que le développement de l'agriculture soit affiché comme une priorité nationale dans la plupart des pays tropicaux, la partie réservée aux études de sols représente souvent moins de 5 % du budget d'un projet. Pourtant, nombreux sont les exemples d'échecs de projets agricoles, dus à une implantation sur des terres inadaptées.

De cette situation il résulte, d'une part, que les Services Nationaux des Sols effectuent difficilement ou n'effectuent pas les travaux de cartographie systématique de leur pays à petite et moyenne échelles, ce qui relève normalement de leurs attributions et de leur compétence. D'autre part, les planificateurs ne sont pas encouragés à demander des travaux de cartographie des sols, parce qu'ils ne perçoivent pas l'intérêt des résultats qui leur sont fournis.

Les conséquences sont que les besoins en recrutement de pédologues diminuent, les activités des Services des Sols en faveur du développement stagnent ou régressent. A terme, le développement de la pédologie dans ces pays est entravé, bien que des efforts aient été faits par le PNUD (1) et la FAO (2) au cours de la dernière décennie pour renforcer les Services Nationaux des Sols.

C'est une situation paradoxale dans les pays tropicaux moins développés où les activités et la production agricole sont de plus en plus d'actualité et risquent de devenir un problème vital d'ici à l'an 2000 (R. DUDAL, 22) ; d'autant plus que la dégradation des terres progresse rapidement dans de nombreux pays et que le taux de croissance démographique y est élevé.

C) NÉCESSITÉ D'AMÉLIORER CETTE SITUATION

Il semble nécessaire d'améliorer cette situation. Cela est possible en adaptant les travaux de cartographie aux besoins des utilisateurs et en réduisant le coût des travaux, tout en améliorant la qualité des documents remis à ces utilisateurs.

Cela entraîne un changement dans les méthodes de cartographie et dans la manière de valoriser les cartes de sols. Ainsi, il faudrait :

— Prendre en compte les *résultats des recherches récentes* : études sur les variations tridimensionnelles du sol dans le paysage, mise en application des règles de la sociologie des horizons*, adoption du concept de système-sol*.

— Ne plus utiliser les *classifications* de sols comme *outil privilégié* de la cartographie. Cela ne veut pas dire que ces classifications doivent être délaissées ; il faut les améliorer mais leur réserver le rôle qu'elles doivent normalement tenir (M. GAVAUD, 25).

— Utiliser de manière judicieuse des *nouvelles techniques* en les adaptant aux résultats des recherches récentes : télédétection, numérisation des données, cartographie assistée par ordinateur.

— Inciter le pédologue à *modifier son comportement*. Celui-ci devrait considérer « sa carte des sols », non pas comme le résultat final de son travail, mais comme un document de base permettant de comprendre la répartition des terres dans le paysage puis de faire leur évaluation pour les besoins du développement. Cette évaluation doit être adaptée aux cartes à différentes échelles : carte de reconnaissance à petite échelle ou carte détaillée à grande échelle.

Après avoir examiné la situation actuelle, nous allons faire des propositions dont la mise en œuvre pourrait contribuer à accroître l'intérêt des utilisateurs pour la cartographie des sols dans les zones tropicales.

II. PROPOSITION D'UN SCHEMA DIRECTEUR POUR REALISER LA CARTOGRAPHIE DES SOLS TROPICAUX

Le schéma directeur proposé est fondé sur trois idées principales. L'une concerne la définition de l'objet-sol que nous voulons cartographier et les deux autres exploitent des propriétés, intéressantes pour la cartographie, de cet objet-sol tel qu'il est défini.

• La première idée se rapporte à la nature et la dimension de l'objet-sol. Celui-ci ne correspond pas au concept traditionnel de « Pédon », tel qu'il est

(1) Programme des Nations Unies pour le Développement.

(2) Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture.

* Les termes suivis d'un astérisque sont définis dans l'annexe I.

défini par exemple dans la Soil Taxonomy (1975), mais à celui de « *Système-sol* » dont une définition est proposée dans l'ANNEXE I. Cette définition donne à l'objet-sol une dimension spatiale et temporelle beaucoup plus grande que celle du pédon et elle englobe largement l'environnement du sol.

• La deuxième utilise la propriété des systèmes-sols, qui sont des entités géographiques naturelles, d'être *identifiables sur des images aérospatiales*, où leurs contours et leurs formes peuvent être déterminées.

• La troisième est due au fait que l'organisation de la plupart des sols tropicaux est telle, qu'ils se présentent dans le paysage sous la forme d'un *motif répétitif et ordonné* en fonction de repères topographiques. Aussi, l'étude de toposéquences est une méthode donnant d'excellents résultats.

En tenant compte de ces idées, nous avons examiné de nombreux travaux de cartographie des sols effectués dans des pays tropicaux. Ces activités paraissent se dérouler souvent de manière désordonnée : une région est cartographiée d'abord à petite échelle, puis à grande échelle et enfin à une échelle moyenne ; une région voisine peut être soumise à une procédure inverse.

Nous avons consulté aussi des travaux de recherche effectués sur la répartition des sols tropicaux et sur les différentes manières de les représenter sur des cartes. Citons, entre autres, les travaux de l'ORSTOM (1, 3, 4, 8, 9, 11, 14, 15, 36)*, du CIRAD (2, 30, 37), du CSIRO en Australie (20), du LRDC en Grande-Bretagne (Land Resources Department of the Overseas Development Natural Resources Institute), de l'ITC à Enschede (33), du Kenya (41), du Soil Research Institute en Indonésie (39) de M.C. GIRARD (26), P.A. BURROUGH, (16), A.J. CONACHER et J.B. DALRYMPLE (18) J.C. DIJKERMAN (21), R.J. HUGGET (27), K.M. NORTH-COTE (34).

Cet examen de documents et les résultats de nos propres travaux (12 à 15) nous ont finalement amenés à faire des regroupements entre les diverses activités d'inventaire des sols et à distinguer cinq niveaux de cartographie. Ceux-ci vont du Niveau 1, simple travail exploratoire, au Niveau 5 qui correspond à une cartographie à très grande échelle. Ces cinq niveaux présentent entre eux des relations hiérarchisées, qui sont schématisées dans le tableau ci-dessous, et que nous allons préciser en décrivant successivement chacun des niveaux.

Le Niveau 2 doit faire l'objet d'une attention particulière. Il ne comporte pas de travail d'inventaire cartographique proprement dit, puisqu'il consiste principalement en une étude détaillée de sites représentatifs sur une superficie de quelques hectares. Cependant, il constitue le NIVEAU-CLÉ de tout le schéma directeur proposé. De la qualité des résultats obtenus à ce Niveau 2 vont dépendre la facilité de réaliser les travaux des niveaux 3, 4 et 5 et le coût de ces travaux.

Niveau de cartographie	Type de travaux	Réalisation des travaux
<pre> graph TD 1 --> 2 2 --> 3 2 --> 4 2 --> 5 </pre>	Travaux d'inventaire à l'inventaire cartographique des sols,	Pour les niveaux 1, 2 et 3 : <ul style="list-style-type: none"> • Service National des Sols
	Travaux d'inventaire proprement dits	Pour les niveaux 4 et 5 : <ul style="list-style-type: none"> • Service National des Sols • Bureaux d'études

* Les chiffres entre parenthèses font référence à la numérotation placée dans la bibliographie.

III. LES CINQ NIVEAUX DE CARTOGRAPHIE

Nous allons examiner successivement en quoi consiste chacun des cinq niveaux identifiés et quelles sont ses relations avec les autres niveaux. Nous adopterons pour chaque niveau le plan suivant : caractéristiques générales, objectif des travaux, documents nécessaires, méthode utilisée, résultats obtenus, utilisation pour faire l'évaluation des terres, exemples de cartes ou de travaux.

NIVEAU 1

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Nature des travaux : carte exploratoire	Superficie de prospection	supérieure à 100 000 km ²
Echelon de prospection	pays, région, province	Échelle de la carte 1/100 000 km ² à 1/250 000 km ²

OBJECTIF DES TRAVAUX Il faut identifier les différents systèmes-sols existant dans la zone de prospection, puis repérer approximativement leur localisation et leur extension.

DOCUMENTS NÉCESSAIRES Ce sont les cartes topographiques, géologiques et géomorphologiques, les cartes de végétation, les images satellites et radar.

MÉTHODE UTILISÉE Elle consiste en une analyse des documents précédents, complétée par des contrôles non systématiques sur le terrain. Il est recommandé de confier la responsabilité des travaux à une personne ayant déjà l'expérience des régions tropicales. Celle-ci n'est pas nécessairement un pédologue ; si c'est un géographe ou un géomorphologue, il pourra consulter un pédologue pour effectuer sur le terrain les contrôles sur la nature du sol.

Ce spécialiste doit être capable d'identifier un système-sol et de délimiter sa surface sur une image satellite ou radar, en utilisant les autres documents disponibles. Nous insistons sur le fait que l'utilisation de ces images aérospatiales est primordiale ; en effet, chaque système-sol présente un aspect particulier sur ces images, surtout dans les régions non défrichées ou à utilisation extensive de la terre.

RÉSULTATS OBTENUS Ils sont exprimés sous la forme d'une carte exploratoire, indiquant les limites et la superficie occupée par chaque système-sol. L'échelle de la carte, toujours petite, peut cependant varier en fonction des cartes topographiques disponibles et de la superficie totale du pays concerné.

Rechercher une grande précision dans le tracé des limites des polygones (dénommés aussi « plages cartographiques », cf. définition annexe I, 4), n'est pas nécessaire ; la marge d'erreur sur ces limites peut atteindre un ou deux kilomètres et même plus sans inconvénient.

Chaque système-sol est caractérisé dans la légende par trois variables au moins : *la forme du modelé, la nature du matériau originel et la nature du sol. Celle-ci est indiquée en donnant la liste des principaux horizons qui le constituent, s'ils sont connus, ou en se référant à des unités taxonomiques choisies à un niveau élevé des classifications de sols : les classes ou les*

* Dénommés aussi « plages cartographiques » (cf. définition ANNEXE I, 4)

grands groupes ; par exemple : vertisols, sols fersiallitiques, sols ferrugineux tropicaux.

L'identification des systèmes-sols est facilitée quand ils sont connus localement par un terme vernaculaire et qu'ils correspondent ainsi à des terroirs. Ce sont par exemple les *Karals* du Cameroun, les *Koros* du Tchad, les *Terres de barre* du Togo ; en France, nous pourrions citer les *Terres de Groie* en Charente.

**EVALUATION
DES TERRES**

Les résultats du Niveau 1 sont insuffisants pour effectuer une véritable évaluation des terres. Cependant, ils sont suffisants pour établir une première approximation des ressources en terres d'une région peu connue. On peut distinguer ainsi : les terres pour l'agriculture pluviale, pour la culture irriguée, les terres à pâturage, celles qui conviennent à la foresterie ou à des réserves naturelles et aussi les terres non cultivables ou dégradées.

**EXEMPLES
DE CARTES**

Voici quelques cartes dont les caractéristiques se rapprochent plus ou moins des travaux du Niveau 1, bien que l'échelle ou la méthode utilisée soit parfois différente : carte de reconnaissance du Tchad à 1/1 000 000 (J. PIAS, 1970), cartes de reconnaissance de Haute-Volta à 1/500 000 (R. BOULET, B. KALOGA, J.C. LEPRUN et R. MOREAU, 1968), carte de reconnaissance de la République Centrafricaine à 1/1 000 000 (Y. BOULVERT, 1983), carte de reconnaissance de Kalimantan-Centre (Bornéo) à 1/250 000 (P. BRABANT, D. MULLER, 1981), carte de reconnaissance de l'Amazonie vénézuélienne à 1/250 000 (P. BLANCANNEAUX, D. DUBROEUCQ, M. GAVAUD, 1988), carte mondiale des sols à 1/5 000 000 (FAO, 1975).

NIVEAU 2

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Nature des travaux	étude très détaillée d'un site représentatif d'un système-sol.	Superficie de prospection	moins d'un hectare à 300 hectares environ.
Echelon de prospection	parcelle et petit bassin versant.	Echelle de représentation des travaux	1/5 pour les coupes ; 1/1 000 à 1/2 000 pour les cartes.

**OBJECTIF
DES TRAVAUX**

Obtenir le maximum de données sur l'environnement, les constituants, l'organisation, le fonctionnement hydrique et géochimique d'un système-sol. Il faut aussi rechercher les données pertinentes permettant de prévoir le comportement de ce système-sol et son évolution dans le cas d'une utilisation par l'homme.

**DOCUMENTS
NÉCESSAIRES**

Les résultats des travaux exploratoires du Niveau 1 et les documents utilisés pour les réaliser. Une recherche bibliographique minutieuse concernant le système-sol à étudier est recommandée. Le travail de terrain constitue l'essentiel de l'étude.

**MÉTHODE
UTILISÉE**

L'étude commence par la sélection d'un ou de deux sites dans un système-sol déjà reconnu au cours des travaux du Niveau 1. Une attention extrême doit être portée à la sélection

de ces sites représentatifs, pour que les résultats obtenus puissent être transposés à tout le système-sol concerné.

Pour l'étude des constituants, de l'organisation et du régime hydrique, la superficie d'un site, comportant une ou plusieurs toposéquences, ne dépasse pas quelques milliers de m². Pour l'étude du bilan hydrique et géochimique, elle peut atteindre 200 à 300 hectares, constituant un petit bassin versant.

La durée moyenne des travaux est de trois ans ; cela permet de bénéficier des variations interannuelles et saisonnières des facteurs climatiques.

Toutes les techniques de la Science du Sol sont mises en œuvre au cours d'une étude très approfondie sur le terrain et au laboratoire ; le concours de laboratoires extérieurs doit être sollicité, si cela est nécessaire.

Les travaux peuvent être confiés à de jeunes pédologues dans le cadre d'une thèse, s'ils sont suffisamment encadrés par un pédologue expérimenté.

RÉSULTATS OBTENUS

Il faut distinguer deux groupes de résultats : les données acquises et celles qui proviennent de leur interprétation.

1. *Les données acquises* comportent principalement :

- une description de l'environnement physique et biologique des sites ;
- des précisions concernant l'identification du système-sol sur les images aérospatiales ;
- les clés d'identification de tous les horizons et leurs caractères morphologiques, minéralogiques, physiques, chimiques, hydriques, thermiques, biologiques ;
- l'agencement des horizons dans le paysage par rapport à des repères topographiques, représenté par des blocs-diagrammes ;
- des éléments de base sur le bilan annuel : hydrique, géochimique et biologique.

Une carte à grande échelle du bassin versant peut accompagner ces données ; elle indique l'agencement et l'extension de chaque horizon dans le paysage.

2. *L'interprétation de ces données*

Connaissant l'organisation et le fonctionnement saisonnier de ce système-sol dans sa globalité, le pédologue peut alors le diviser judicieusement en compartiments verticaux ou en compartiments horizontaux, selon les besoins des utilisateurs :

- *En compartiments verticaux** (cf. ANNEXES) : ce type de division concerne surtout l'utilisation du sol pour l'agriculture. Les critères d'identification de chaque compartiment vertical, sur le terrain et sur les images aérospatiales — en particulier sur les photos aériennes — doivent être indiqués. Chaque compartiment vertical doit aussi être situé dans le paysage par rapport à des repères topographiques et à sa position dans une forme du modelé (sommet de versant, rupture de pente, bas-fond, etc.).

Enfin, il est possible, en examinant une coupe verticale creusée dans chaque compartiment, d'établir une corrélation avec des sous-unités taxonomiques de diverses classifications, au niveau du sous-groupe en général.

On cherchera aussi à corréler ces compartiments verticaux avec les dénominations vernaculaires désignant les différents types de terre d'un même paysage. Par exemple : Dior et Dek au Sénégal, Karal et Hardé au Cameroun.

— *En compartiments horizontaux* (cf. ANNEXES I, II) : ce type de division concerne plutôt des activités de génie civil et d'hydrologie. Ces compartiments sont constitués d'un horizon ou d'un groupe d'horizons. Leur épaisseur et leur extension latérale étant connues, cela permet de calculer le volume occupé ou la quantité d'eau retenue à différentes époques de l'année.

ÉVALUATION DES TERRES

Les travaux du Niveau 2 n'ont pas pour objectif immédiat l'évaluation des terres. Cependant, les résultats obtenus seront extrêmement utiles pour effectuer cette évaluation durant les travaux des niveaux 3, 4 et 5.

EXEMPLES

Les études complètes qui associent des travaux détaillés sur les constituants, l'organisation et la dynamique saisonnière dans un site représentatif sont encore peu nombreuses dans les pays tropicaux. Nous pouvons citer celles de R. BOULET, F.X. HUMBEL et Y. LUCAS en Guyane française (8, 9), de P. BRABANT au Cameroun (15), d'une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire (travaux en cours).

D'autres études concernent beaucoup plus les constituants et l'organisation des horizons que la dynamique saisonnière ; par exemple, celles de G. BOCQUIER au Tchad (5), de R. BOULET au Burkina-Faso (ex. Haute-Volta) (7), de A. CHAUVEL au Sénégal (17).

NIVEAU 3

CARACTERISTIQUES GENERALES

Nature des travaux	carte de ressources en sols	Superficie de prospection	de 10 000 à 100 000 km ² ou plus
Echelon de prospection	pays, région, province	Echelle de la carte	1/200 000 à 1/1 000 000

OBJECTIF DES TRAVAUX

Faire l'inventaire des ressources en sols d'un pays, d'une région ou d'une province dans des délais et à un coût raisonnables.

DOCUMENTS NÉCESSAIRES

Ce sont d'abord les résultats des études du Niveau 2, de celles du Niveau 1 et les documents utilisés pour les réaliser. Les images satellite et radar sont les documents les mieux adaptés pour dresser ces cartes de ressources en sols à petite échelle.

MÉTHODE UTILISÉE

L'essentiel des travaux consiste en une analyse des documents précédents. Cette analyse est suivie d'une série de contrôles sur le terrain ; ceux-ci sont effectués, non pas selon un quadrillage systématique de la surface à prospector, mais dans des sites représentatifs déjà repérés sur les images aérospatiales. Les contrôles doivent être simplement plus nombreux dans les zones très cultivées et dégradées où les critères d'identification des système-sols sur les images aérospatiales sont moins visibles.

RÉSULTATS OBTENUS

Ils sont exprimés sous la forme d'une carte, accompagnée d'une légende et d'une notice explicative.

LA CARTE

Chaque polygone de la carte représente, de manière aussi précise que possible, une superficie de terrain couverte par un type de système-sol ; celle-ci peut atteindre plusieurs dizaines de km² d'un seul tenant. Tous les polygones, représentant le même type de système-sol, sont regroupés pour constituer une unité cartographique de la légende.

L'échelle de la carte n'a qu'une importance mineure dans une gamme allant de 1/200 000 à 1/1 000 000. En effet, une superficie de terrain de 100 km² par exemple, occupée par un type de système-sol, peut être représentée sur une carte à 1/200 000 par un polygone de 25 cm² ; cette même superficie ne couvre qu'un polygone de 4 cm² sur une carte à 1/500 000. Cette différence de dimension ne change rien au mode de représentation du terrain sur la carte ; dans les deux cas, le polygone comporte une couleur ou une trame, délimitée par un contour, et il porte le numéro d'identification de l'unité cartographique concernée.

Il est important en revanche de veiller à ce que chaque polygone tracé sur la carte, quelle que soit sa dimension, puisse être identifié sur le terrain par un utilisateur. Ceci va dépendre du nombre et de la nature des repères sur la carte topographique utilisée pour tracer les polygones. En fait, c'est donc la qualité de la carte topographique disponible qui détermine l'échelle de la carte de ressources en sols.

Notons aussi que ce choix de l'échelle est répercuté sur le coût des travaux. Nous venons de constater que la même zone de 100 km² occupe une surface de carte 6 fois plus petite à 1/500 000 (4 cm²) qu'à 1/200 000 (25 cm²). Le coût des travaux de préparation et d'impression des cartes est réduit dans les mêmes proportions.

LA LÉGENDE

Elle constitue la partie la plus importante des résultats et doit être préparée avec un soin particulier.

L'objectif à atteindre est que les utilisateurs des cartes puissent visualiser le paysage constituant chaque système-sol, puis identifier la relation existant entre chaque composante du paysage* (ou forme du modelé) d'un système-sol et la nature du sol sous-jacent. Ils pourront ensuite transposer cette connaissance, en identifiant seulement les composantes du paysage, sur le terrain ou sur les images aérospatiales, sans creuser nécessairement dans le sol.

La légende comporte ainsi :

- des blocs diagrammes qui permettent de visualiser les paysages et de repérer leurs différentes composantes ;
- une description de l'aspect d'un système-sol sur les images aérospatiales que les utilisateurs auront à examiner pour les travaux des niveaux 4 et 5 ;
- des informations sur les critères visuels de terrain et d'images aérospatiales, sur des critères de traitement numérique, permettant de distinguer les composantes d'un paysage et les discontinuités qui les séparent.
- un schéma toposéquentiel de la disposition des horizons dans le paysage ;

- la segmentation des systèmes-sols en compartiments verticaux et la situation de ceux-ci dans le modelé.

La préparation d'une telle légende exige un travail plus important que les légendes à base taxonomique qui figurent sur de nombreuses cartes de sols tropicaux depuis une quarantaine d'années ; citons-en deux exemples : « Association de sols ferrugineux tropicaux lessivés et de sols hydromorphes à pseudo-gley » utilisant la Classification CPCS, « Association de luvisols chromiques et gleyiques » utilisant la légende FAO-1975. Cependant, les avantages qui résultent du type de légende que nous recommandons, sont incomparablement supérieurs pour la suite des travaux de cartographie et d'évaluation des terres.

LA NOTICE EXPLICATIVE

Toutes les données ne figurant pas dans la légende et concernant l'environnement, les caractéristiques des horizons, le régime hydrique et thermique, le bilan hydrique et géochimique, etc. sont présentés dans la notice explicative.

EVALUATION DES TERRES

La carte avec sa légende et la notice sont utilisées pour faire l'évaluation des terres. Cette évaluation est exprimée sous forme d'un document accompagné de cartes thématiques. Le tracé de celles-ci est facilité par la cartographie automatique assistée par ordinateur, après que la carte de ressources en sols ait été numérisée.

Une évaluation des terres doit prendre en compte non seulement les caractéristiques du sol mais aussi la superficie qu'il occupe et les variations de ses propriétés d'un point à un autre du paysage. Un système-sol, tel qu'il est défini dans l'ANNEXE I, et sa segmentation en compartiments facilitent donc cette évaluation.

Celle-ci s'effectue en deux phases si elle concerne une utilisation agricole :

— 1^{re} phase : *Evaluation quantitative des potentialités agricoles des systèmes-sols*

Chaque système-sol, pris dans son ensemble, est évalué en fonction de ses potentialités pour les principaux systèmes d'exploitation, qui sont par exemple : l'agriculture pluviale, l'agriculture irriguée, le pâturage, la foresterie, la mise en réserve naturelle. Les systèmes-sols sont ensuite classés par ordre décroissant de leur aptitude pour chacun de ces systèmes d'exploitation. Cette évaluation est dite quantitative parce que la superficie occupée par chaque système-sol est déterminée sur la carte de ressources en sols, et par conséquent le nombre d'hectares utilisables est connu.

— 2^{me} phase : *Evaluation qualitative de l'aptitude ou de l'inaptitude de chaque compartiment vertical pour une utilisation déterminée*

Chaque compartiment de système-sol, considéré séparément, est évalué en fonction de son aptitude ou de son inaptitude, actuelle et potentielle, pour des types d'utilisation qui sont, dans le cadre de l'agriculture pluviale par exemple : la culture des céréales, des tubercules, du coton, l'arboriculture.

Cette évaluation n'est que qualitative. En effet, la nature et la situation des compartiments verticaux dans un système-sol sont connus mais pas la superficie occupée par chacun ;

celle-ci ne peut figurer sur la carte de ressources en sols parce que l'échelle de cette carte est trop petite.

Nous venons d'examiner les travaux des niveaux 1, 2 et 3, dont il résulte une bonne connaissance des sols, un inventaire des ressources en sols et une évaluation des terres. Ces travaux sont menés de manière systématique pour inventorier toute la superficie d'un pays et ils relèvent normalement des attributions d'un Service National des Sols ou d'un organisme équivalent.

Avec les niveaux 4 et 5, nous abordons maintenant le domaine de la cartographie des sols directement appliquée au développement rural. La cartographie de ce type ne couvre pas systématiquement une région ou un pays. Effectuée à la demande, elle ne couvre que des superficies relativement faibles ; financée dans le cadre d'un projet de développement, elle relève de travaux contractuels.

NIVEAU 4

CARACTERISTIQUES GENERALES

Nature des travaux	carte des sols semi-détaillée	Superficie de prospection	de 10 000 à 100 000 ha
Echelon de prospection	commune ou groupe de communes	Echelle de la carte	1/50 000 à 1/20 000

OBJECTIF DES TRAVAUX Exploiter d'abord la carte des ressources en sols et l'évaluation des terres du niveau 3 pour délimiter approximativement une zone où un projet d'aménagement rural est réalisable. Déterminer ensuite le degré de faisabilité technique de ce projet et fournir des données pour dresser un plan général d'aménagement.

DOCUMENTS NÉCESSAIRES Ce sont d'abord les photographies aériennes dont l'échelle, l'émulsion et la période de prise de vues doivent être adaptées à la nature du terrain. Les résultats des travaux des niveaux 2 et 3 sont les autres documents nécessaires. Des cartes topographiques détaillées et des images satellites ou radar sont utiles.

MÉTHODE UTILISÉE Elle est fondée sur l'interprétation des photographies aériennes examinées en stéréoscopie. Cette interprétation est ensuite contrôlée par des prospections sur le terrain avec une densité variable d'observations selon la nature du terrain et le taux d'occupation par l'homme.

L'examen stéréoscopique a pour but principal d'identifier les composantes du paysage des systèmes-sols déjà repérés dans le périmètre de prospection. Comme la relation entre les composantes du paysage et la nature du sol sous-jacent est déjà connue par les travaux du Niveau 2, une prospection par un quadrillage systématique du terrain n'est pas nécessaire ; d'où une économie importante de temps, de moyens matériels et financiers.

RÉSULTATS OBTENUS Ils sont encore exprimés sous la forme d'une carte avec sa légende et d'une notice explicative.

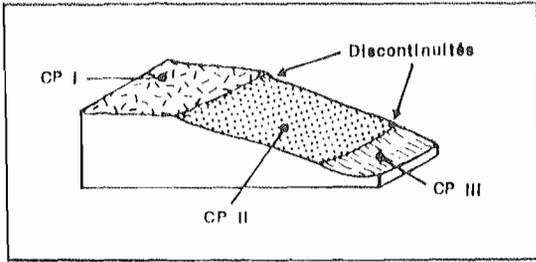
LA CARTE

La question se pose de savoir ce que les polygones de cette carte doivent représenter. S'ils représentaient des superficies

couvertes par des systèmes-sols, cette carte serait semblable à celles du Niveau 3, échelle mise à part. D'autre part, si ces polygones cherchaient à représenter la superficie couverte par chaque compartiment vertical des systèmes-sols, cela ne serait pas possible. En effet, ceux-ci ne sont pas tous identifiables sur les photographies aériennes et l'une de leurs dimensions au moins est trop petite (cf. ANNEXE III) pour figurer sur une carte à moyenne échelle (1/50 000 à 1/20 000).

Reportons nous alors à la méthode utilisée. Le pédologue repère sur les photographies aériennes ou sur le terrain des discontinuités dans la forme du modelé ou dans la structure de la végétation. Ces discontinuités correspondent aux limites entre des composantes du paysage. Ce sont ces limites qui, reportées sur la carte, constituent les polygones. Ceux-ci représentent donc les superficies couvertes par chaque composante du paysage (1) dans un système-sol déterminé (cf. ANNEXE II).

La figure ci-contre montre deux discontinuités séparant trois composantes (CP) d'un paysage : un sommet de versant tabulaire (CP I), un versant rectiligne (CP II), un bas-fond concave (CP III). En fait, cette méthode revient le plus souvent à identifier des formes du modelé, la nature du sol sous-jacent étant déjà connue par les travaux du Niveau 2.



Paysage segmenté en trois composantes : CP I, CP II, CP III

Ce type de carte est généralement dénommée carte « morpho-pédologique » (D. BLAVET, G. BOURDON en Nouvelle-Calédonie (4), R. POSS en Côte d'Ivoire (36), R. BERTRAND et al. (2) ; mais, en toute rigueur, la dénomination de carte « géomorpho-pédologique » lui conviendrait mieux (D. BAIZE, communication personnelle, 1989).

L'ÉCHELLE

Il n'existe pas de règle précise pour le choix de l'échelle dans la gamme s'étendant de 1/20 000 à 1/50 000 environ. L'échelle dépend de celle de la carte topographique disponible, de la nature du terrain et parfois de la superficie à prospector en relation avec le budget disponible. En Afrique et dans les zones sur le socle cristallin, sur les roches effusives et sédimentaires, l'échelle de 1/50 000 convient généralement alors que dans les zones alluviales l'échelle de 1/20 000 est mieux adaptée.

L'essentiel est que toutes les composantes du paysage, même si elles ont une faible superficie, puissent être représentées sur la carte.

LA LÉGENDE

Tous les polygones, qui représentent le même type de composante du paysage dans un système-sol déterminé, constituent une unité cartographique de la légende ; par exemple, tous les sommets tabulaires, notés CP I sur la figure ci-dessus.

(1) Les différentes composantes du paysage d'un système-sol sont notées en chiffres romains, en partant du point le plus haut de ce paysage vers le point le plus bas.

Cependant, il arrive que deux ou plusieurs composantes du paysage soient regroupées pour constituer une seule unité cartographique, si cela convient aux objectifs du projet ou aux termes de référence du contrat. Dans le cas pris comme exemple, une carte de sols, requise pour un projet de culture de riz de bas-fond, se limitera à sélectionner deux unités cartographiques : l'une formée par les bas-fonds (CP III), et l'autre regroupant les sommets tabulaires (CP I) et les versants (CP II).

LA NOTICE EXPLICATIVE

Celle-ci et les schémas qui l'illustrent fournissent aux utilisateurs toutes les indications utiles sur le contenu des unités cartographiques. Le dessin de blocs-diagrammes est encore recommandé.

Nous retiendrons surtout que l'aspect d'une carte de Niveau 4 et la nature de sa légende dépendent de l'objectif du projet ; c'est essentiellement une carte d'interprétation.

ÉVALUATION DES TERRES

Rappelons que celle-ci constitue l'objectif principal des travaux et qu'elle est habituellement prévue dans les termes de référence du contrat.

A partir de la carte des sols et d'autres données sur l'environnement physique et humain, le pédologue effectue alors :

- Une évaluation de l'aptitude actuelle et potentielle de chaque unité cartographique pour chacun des types d'utilisation envisagés ;
- Un classement de ces unités par ordre décroissant d'aptitude pour chaque type d'utilisation.

L'évaluation est dite quantitative parce que la superficie en hectares de chaque composante du paysage dans chacun des systèmes-sols est connue.

Il est préférable de présenter les résultats sous la forme de cartes thématiques, dont le tracé est facilité par la cartographie automatique assistée par ordinateur, si les données de la carte des sols du Niveau 4 ont été numérisées.

Les données fournies aux utilisateurs doivent être suffisantes pour que ceux-ci puissent : sélectionner éventuellement des périmètres à prospector à très grande échelle (travaux du Niveau 5) et dresser un plan général d'aménagement en ce qui concerne au moins les aptitudes physiques des terres. Les aptitudes des terres en fonction des contraintes socio-économiques ne sont pas totalement de la compétence du pédologue.

EXEMPLES

Plusieurs exemples de cartes de sols peuvent être cités mais beaucoup d'entre elles n'ont pas été réalisées selon les normes proposées ci-dessus. Cependant, toutes ces cartes ont été tracées à partir de l'interprétation de photographies aériennes à 1/50 000 ou 1/20 000 ; c'est pourquoi les polygones représentent des composantes du paysage, identifiées par les formes du modelé et les aspects du couvert végétal.

Parmi les exemples les plus typiques, nous pouvons citer les cartes des unités morpho-pédologiques du nord de la Côte d'Ivoire, réalisées de 1975 à 1982 par A. BEAUDOU et R. SAYOL (1), V. ESCHENBRENNER (23), R. POSS (36), celles de RCA

par Y. BOULVERT (11), les travaux de J. KILIAN, M. RAUNET et de l'équipe de pédologues du CIRAD (2).

Les cartes originales de Côte d'Ivoire et de RCA ont été dressées à l'échelle de 1/50 000 puis réduites à 1/200 000 pour la publication. Certaines ne précisent pas suffisamment les relations existant entre les formes du modelé et la nature du sol, par manque de références à des études du Niveau 2 ; d'autres ne sont pas accompagnées de données sur l'évaluation des terres.

Les cartes du CIRAD sont plus proches des normes du Niveau 4 : publiées à l'échelle de 1/50 000, elles sont aussi accompagnées d'une évaluation des terres pour l'agriculture.

NIVEAU 5

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Nature des travaux	carte des sols très détaillée	Superficie de prospection	quelques hectares à 10 000 hectares
Echelon de prospection	parcelle d'essais, champ de culture	Echelle de la carte	égale ou inférieure à 1/5 000

OBJECTIF DES TRAVAUX

Délimiter des parties de terrain ayant des propriétés relativement homogènes pour les utilisations prévues. Pour un projet agricole par exemple, cela revient à délimiter les surfaces occupées par chaque compartiment vertical des systèmes-sols. Pour une étude hydrologique ou des travaux de génie civil, il faut déterminer l'extension et le volume occupés par les compartiments horizontaux.

Les travaux du Niveau 5 ne sont engagés que pour des projets dont la localisation et l'objectif sont déjà déterminés. Dans le domaine de l'agriculture, ce sont par exemple : la cartographie d'une station d'essais agronomiques, d'un secteur à reboiser, d'un périmètre d'une ferme-pilote, d'un secteur pour des cultures industrielles ou pour un projet d'irrigation. Dans le domaine de l'hydrologie, il s'agit par exemple de reconnaître la profondeur du plancher des nappes perchées ou le volume des couches poreuses occupées par les nappes.

DOCUMENTS NÉCESSAIRES

Les résultats d'une étude de Niveau 2 sont les plus utiles ; des cartes topographiques et des photos aériennes à grande échelle facilitent la prospection. Un plan cadastral, s'il existe, est un excellent document de base pour réaliser ces travaux.

METHODE UTILISÉE

La première démarche est d'identifier le ou les systèmes-sols qui occupent le périmètre à prospecter. Il suffit ensuite d'utiliser les clés d'identification sur le terrain des compartiments verticaux, comme cela est indiqué dans les résultats des travaux du Niveau 2.

Il est rare que tous les compartiments verticaux d'un système-sol soient identifiables directement sur des photos aériennes. Par conséquent la méthode utilisée consiste à faire une *prospection systématique par un quadrillage du terrain*. La maille de ce quadrillage est à déterminer sur place en fonction de l'échelle

de la carte, de la nature du terrain et des connaissances déjà acquises sur les systèmes-sols.

Les observations sont souvent simples et rapides et n'exigent pas la présence sur le terrain de personnel très spécialisé. Les agriculteurs eux-mêmes, qui possèdent une bonne connaissance de leur terroir, peuvent apporter une aide appréciable à ce type de prospection.

RESULTATS OBTENUS

Ils sont exprimés sous la forme de cartes et de coupes, accompagnées d'une légende et de documents explicatifs.

LES CARTES ET LES COUPES

Chaque polygone représente la superficie couverte par un compartiment vertical d'un système-sol déterminé. Les limites de ces polygones sont reportées sur le fond topographique avec une précision suffisante pour que les utilisateurs, la carte en mains, puissent se repérer sur le terrain.

Ces compartiments verticaux, tels qu'ils sont définis par les études du Niveau 2, constituent des parties de terrain qui peuvent être considérées comme homogènes sur toute leur superficie (cf. ANNEXES I, II et III). Il est donc prévisible que le comportement des plantes cultivées sur ces zones sera homogène aussi, si elles sont soumises à des pratiques culturelles identiques.

S'il s'agit de compartiments horizontaux, les résultats sont exprimés par des coupes ou des blocs-diagrammes, montrant la situation de ces compartiments dans le modelé et leur épaisseur. Ces coupes sont complétées utilement par des cartes à très grande échelle précisant l'extension de chaque compartiment dans le paysage, même s'il est situé en profondeur dans le sol. M.C. GIRARD (26) dénomme ce type de cartes des « tomo-graphies ».

L'ÉCHELLE

Elle dépend de la nature du terrain et de l'objectif du projet. Dans de nombreuses régions tropicales, l'échelle de 1/2 500 convient pour représenter sur des cartes les compartiments verticaux. Cela correspond à l'échelle du cadastre rural.

LA LÉGENDE

Tous les polygones, qui représentent le même type de compartiment dans un système-sol déterminé, constituent une unité cartographique de la légende.

Chaque compartiment vertical peut être caractérisé par la même succession d'horizons dans une coupe verticale de dimension latérale métrique, semblable à celle d'un pèdon. Cette coupe peut ainsi être corrélée avec des unités taxonomiques de diverses classifications ou avec un quelconque référentiel ; elle peut aussi être corrélée avec les termes vernaculaires désignant localement les différents types de terres reconnus traditionnellement par les agriculteurs.

ÉVALUATION DES TERRES

Elle est relativement simple parce que nous savons déjà, grâce aux travaux du Niveau 4, que le périmètre de prospection convient déjà pour le mode d'exploitation prévu.

L'évaluation consiste donc à :

- Préciser le degré d'aptitude actuelle et potentielle de chaque unité cartographique pour chaque type d'utilisation ;

— Classer éventuellement ces unités par ordre décroissant d'aptitude.

Parfois, deux ou plusieurs unités cartographiques peuvent être regroupées si elles ont des propriétés communes et le même degré d'aptitude pour le type d'utilisation concerné.

Cette évaluation des surfaces est quantitative, parce que la superficie en hectares occupée par chaque unité cartographique et par chaque polygone est connue. L'évaluation physique des terres peut être complétée par une évaluation socio-économique dans le cadre d'activités pluridisciplinaires.

EXEMPLES

Les cartes à grande échelle faites par les bureaux d'étude pour l'implantation de périmètres irrigués ou de cultures industrielles sont plus ou moins comparables aux travaux du Niveau 5. Mais, les études du Niveau 2 étant rarement disponibles, les travaux sont plus longs et plus coûteux qu'ils ne devraient être, et les résultats souvent incomplets.

IV. CONCLUSIONS

Pour conclure, nous attirons l'attention sur les quatre points suivants :

1. IMPORTANCE DU CONCEPT DE SYSTEME-SOL

Ce concept est fondé non seulement sur la nature du sol mais encore sur son environnement, au sens large du terme. Celui-ci inclut : la situation dans le paysage régional, l'aspect du paysage, la forme du modelé et celle du réseau hydrographique, la nature du matériau originel et de la végétation, les conditions climatiques, l'histoire climatique et géomorphologique de la région et l'aspect sur les images aérospatiales.

Ce concept relève donc d'une approche *naturaliste et pluridisciplinaire* dans laquelle le sol n'est qu'une variable parmi d'autres, même si elle est la plus importante.

Les systèmes-sols sont peu nombreux du fait des règles de la compatibilité ou de l'incompatibilité dans l'association des horizons. Ce nombre ne dépasse pas la trentaine en Afrique tropicale sèche, du Sénégal à l'Ethiopie. Ce petit nombre facilite l'identification, l'inventaire des systèmes-sols et la procédure d'évaluation des terres.

Le premier objectif de l'inventaire cartographique des sols tropicaux devrait être l'identification des systèmes-sols et non pas l'examen de coupes verticales dans le sol sur une profondeur de 2 mètres, puis la recherche, parfois laborieuse, d'unités taxonomiques permettant de dénommer ces coupes.

2. ROLE ET USAGE DES CLASSIFICATIONS DE SOLS

Une classification de sols ou un autre système équivalent n'est pas nécessaire pour identifier, caractériser et cartographier les systèmes-sols. En revanche, elle peut être utile pour corrélérer, à l'intérieur d'un pays puis d'un pays à l'autre, les compartiments verticaux des systèmes-sols déjà reconnus.

Cette corrélation se réfère à des unités taxonomiques de rang mineur : les sous-groupes. L'utilisation de ces unités pour effectuer la corrélation entre les compartiments verticaux est

comparable à l'utilisation qui en est faite pour dénommer des pédon à partir de l'observation de coupes verticales.

Des unités taxonomiques de rang majeur (classe, ordre, grand groupe) peuvent servir aussi à corrélérer sommairement les travaux exploratoires de Niveau 1 (cf. Niveau 1 - Résultats obtenus).

3. DOMAINE D'APPLICATION DE LA PROCEDURE CARTOGRAPHIQUE PROPOSEE

On estime, en se fondant sur les connaissances acquises depuis 40 ans, que la procédure de cartographie en 5 niveaux qui vient d'être exposée est applicable à 85 % au moins des régions tropicales. Ce sont celles qui présentent un modèle de glacières d'érosion sur des roches cristallines, effusives et sédimentaires, les dépôts alluviaux et dunaires. Les 15 % restant sont les zones montagneuses, les coulées volcaniques récentes et les sédiments d'un âge inférieur à 5000 BP environ. Dans ces zones, la procédure devra probablement être modifiée et adaptée.

4. PROBLEMES A RESOUDRE CONCERNANT CETTE PROCEDURE DE CARTOGRAPHIE

Il serait exagéré de dire que cette procédure va aplanir toutes les difficultés de l'inventaire cartographique des sols tropicaux. Deux problèmes au moins restent à résoudre : le premier est d'ordre psychologique et le second d'ordre technique.

— le *premier problème* concerne le financement nécessaire pour réaliser les travaux du Niveau 2, c'est-à-dire les études de sites représentatifs de système-sols.

Ce sont des travaux très détaillés qui se déroulent sur une période de trois années environ et ne concernent qu'une superficie de quelques hectares. Les résultats obtenus doivent permettre, non seulement d'acquérir une gamme de données plus complète sur les sols, mais encore de réduire considérablement le coût des travaux ultérieurs de cartographie et enfin de faciliter l'évaluation des terres.

Comment persuader les responsables qui financent la recherche, les organismes de recherche eux-mêmes et les utilisateurs que cela est possible ? En effet, ils savent déjà par expérience que des études de sols, ponctuelles, détaillées et de longue durée, peuvent produire de bons résultats théoriques, mais souvent elles ont peu utilisables pour résoudre sur le terrain des problèmes pratiques de développement. Il s'agit donc de convaincre ces personnes et, dès que possible, valoriser les premiers résultats obtenus auprès des utilisateurs.

La coopération bilatérale et internationale dans le domaine des sols devrait aussi porter une attention particulière à des programmes d'étude concernant les travaux du Niveau 2.

— le *second problème* concerne la coordination entre les Niveaux 1 et 2. En se fondant sur les travaux exploratoires du Niveau 1, il faut choisir, dans un système-sol, un ou deux sites représentatifs pour effectuer les travaux très détaillés du Niveau 2.

Or, à ce stade, les connaissances sur le système-sol concerné sont encore sommaires. Aussi le choix des sites présente une part certaine de subjectivité ; d'où le risque d'une erreur

sur ce choix. Cette erreur ne se révélerait qu'au cours des travaux du Niveau 3, 4 ou 5. Dans ce cas, les travaux du Niveau 2, longs et coûteux, seraient à refaire.

Pour réduire ce risque, la meilleure solution est de choisir les sites avec beaucoup de discernement et d'utiliser les services d'un pédologue ayant déjà des connaissances sur la région tropicale concernée ou sur une autre région semblable.

Le premier problème est, à notre avis, le plus important des deux. En effet, il engage la crédibilité de la pédologie, non seulement au plan scientifique, mais aussi dans sa contribution au développement rural et agricole des pays tropicaux.

Reçu pour publication : Janvier 1989
Accepté pour publication : Nov. 1989

DEFINITIONS*

1 - **COMPARTIMENT HORIZONTAL** (cf. Annexe II)

« Partie d'un système-sol, constituée d'un horizon ou d'un groupe d'horizons juxtaposés et située à une profondeur quelconque entre la surface du terrain et la base du matériau originel ».

2 - **COMPARTIMENT VERTICAL** (cf. Annexes II et III)

« Partie d'un système-sol, constituée par une superposition verticale déterminée d'horizons entre la surface du terrain et la base du matériau originel, et caractérisée par un mode de fonctionnement cyclique saisonnier, en particulier par son cycle hydrique et thermique.

Les variations latérales des propriétés morphologiques, physico-chimiques, minéralogiques, hydriques et thermiques dans ce compartiment sont trop faibles pour exercer une influence édaphique significative sur la croissance des plantes d'un point à un autre de la superficie de terrain couverte par ce compartiment vertical ».

3 - **COMPOSANTE DU PAYSAGE** (cf. Annexe II)

« Partie distincte d'un paysage, dont les limites avec les parties adjacentes peuvent être identifiées sur le terrain de visu et/ou sur des images aérospatiales. »

En général, les paramètres principaux utilisés pour identifier une composante du paysage sont la forme du modelé, le type et la structure de la végétation spontanée.

4 - **POLYGONE OU PLAGE CARTOGRAPHIQUE** (cf. Annexe II)

« Surface d'une carte (de sols) délimitée par un contour. Cette surface représente sur la carte l'aire couverte par un volume identifié sur le terrain ».

Le regroupement de plusieurs polygones ayant le même type de contenant, ou dans des cas exceptionnels un seul polygone, constitue une unité cartographique dans la légende de la carte.

5 - **SOCIOLOGIE DES HORIZONS (OU TOPOLOGIE)**

Dans une zone écologique déterminée, comme la zone tropicale subsaharienne en Afrique par exemple, il existe un certain nombre d'horizons reconnus. On constate que certains parmi ces horizons se combinent entre eux dans un ordre déterminé et toujours semblable pour constituer des systèmes-sols ; d'autres, au contraire, ne s'associent jamais, comme s'il existait entre eux une sorte d'incompatibilité.

Les combinaisons d'horizons semblent donc soumises à des règles que nous dénommons : règles de la *sociologie* des horizons (dans le sens de Bodensoziologie, E. SCHLICHTING — 38 —) ou encore règles de la topologie des horizons.

* D'après l'ouvrage : « Le sol des forêts claires du Cameroun. Exemple d'étude d'un site représentatif en vue de la cartographie et de l'évaluation des terres » (P. BRABANT, sous presse).

6 - SYSTEME-SOL (cf. Annexes II et III)

« Volume déterminé de la couverture pédologique de la Terre. De dimension variable, souvent d'ordre kilométrique, il est constitué d'une combinaison ordonnée d'horizons, exceptionnellement d'un horizon.

Son aire peut être identifiée sur des images aérospatiales et représentée sur une carte.

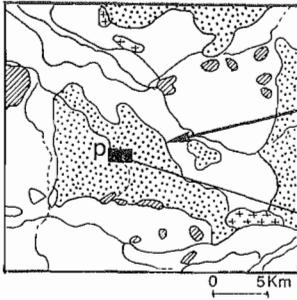
Ses caractéristiques englobent d'une part la forme du modelé et du réseau hydrographique, la nature du matériau originel et de la végétation naturelle, d'autre part le fonctionnement cyclique, journalier et saisonnier, de l'air et de l'eau, des activités humaines, végétales et animales ; elles incluent aussi le fonctionnement cumulatif qui peut transformer ce système-sol en un autre au cours du temps.

Généralement, il se présente dans le paysage comme un motif répétitif de la forme du terrain et du réseau hydrographique, de la végétation, de la combinaison ordonnée des horizons et des autres caractéristiques. »

La manière la plus simple de représenter un système-sol consiste à le modéliser sous la forme de toposéquences (cf. Annexe III) ; mais cela n'indique évidemment pas toutes ses variations tridimensionnelles.

POLYGONE - COMPOSANTE DU PAYSAGE -SYSTÈME -SOL

COMPARTIMENTS, VERTICAL ET HORIZONTAL

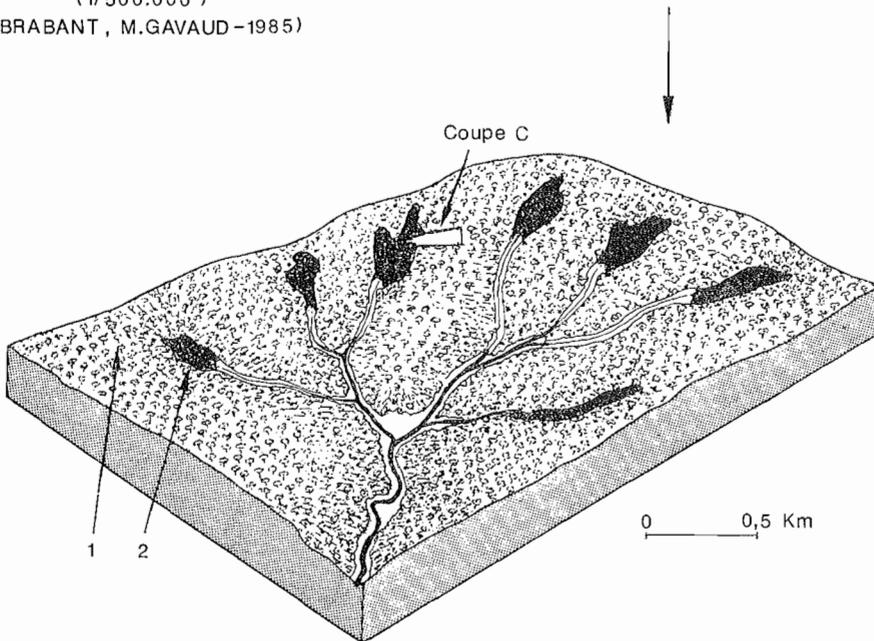


Sur une carte de ressources en sols un polygone (P) représente une superficie de 9740 hectares couverte par un type de système-sol

Un périmètre de ce polygone, couvrant 115 hectares, est agrandi 40 fois

Carte des sols du Nord-Cameroun (1/500.000^e)

(P.BRABANT, M.GAUAUD-1985)

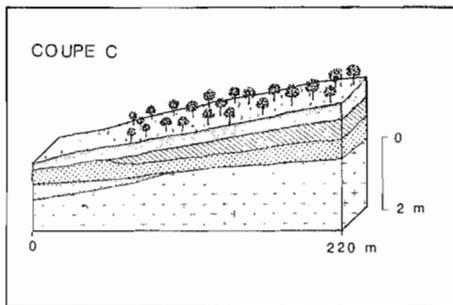
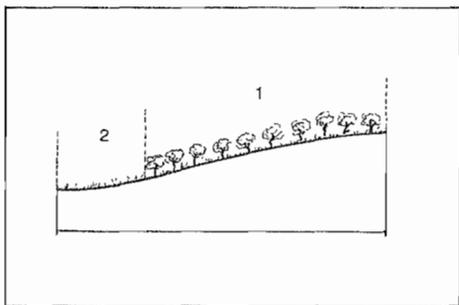


Le paysage de ce système-sol comporte deux composantes :

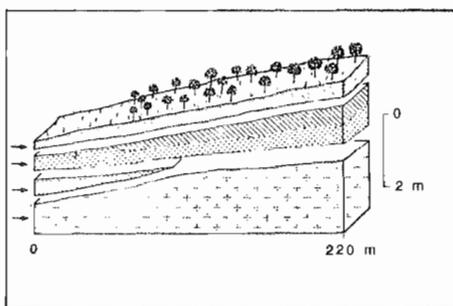
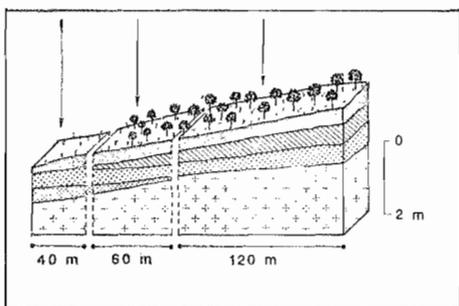
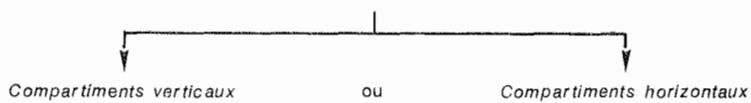
- 1 - Les versants à forêt claire, de forme convexe
- 2 - Les bas-fonds à savane herbéuse, de forme concave

Ce système-sol est modélisé par une coupe schématique C, montrant une association ordonnée de 4 horizons majeurs

Les deux composantes du paysage



Ce système-sol peut être divisé en



Exemple de système-sol observé au Nord-Cameroun
dans le domaine des forêts claires et modélisé sur le schéma ci-dessous

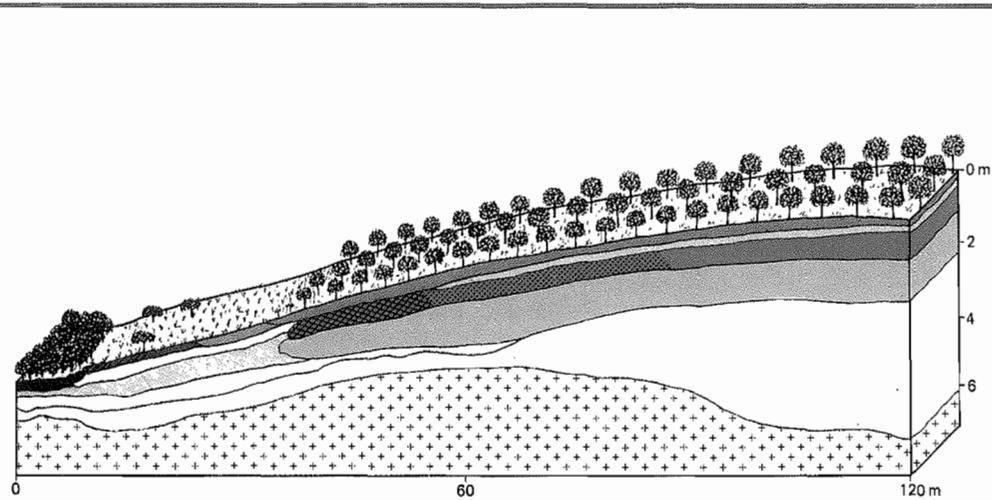


Figure 1 : Ce système-sol est constitué d'une combinaison ordonnée de 8 horizons.

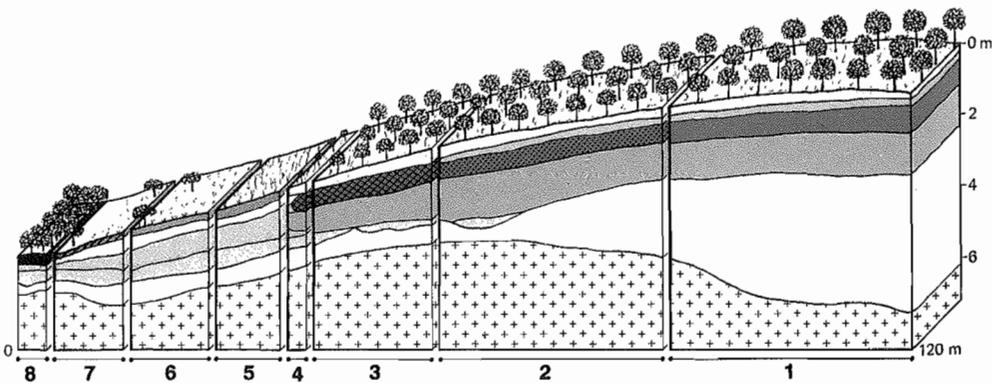


Figure 2 : Ce système-sol peut être divisé en huit compartiments verticaux. Ceux-ci sont numérotés en chiffres arabes, en partant du point le plus haut du paysage vers le point le plus bas. Les compartiments 5 et 6, qui présentent la même succession verticale des horizons, sont distingués par leur régime hydrique.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - **BEAUDOU A.G., SAYOL R.**, 1980. — Etude pédologique de la région de Boundiali-Korhogo. Cartographie et typologie sommaire des sols. Echelle 1/200 000 (Côte d'Ivoire). Notice explicative n° 84, ORSTOM, Paris.
- 2 - **BERTRAND R., KILIAN J., RAUNET M., GUILLOBEZ S., BOURGEON S.**, 1985. — La connaissance des systèmes de paysages naturels, un préalable à la protection du milieu. L'approche morphopédologique. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 20 (3-4), pp. 545-549.
- 3 - **BLANCANNEAUX P., DUBROEUCQ D., GAVAUD M. et al.**, 1988. — Atlas del inventorion de tierras del territorio Federal Amazonas (Caracas, Ministerio del Ambiente y de los recursos naturales renovables).
- 4 - **BLAVET D., BOURDON E.**, 1987. — Carte morphopédologique de la vallée de la FOA en Nouvelle-Calédonie (1/50 000). ORSTOM, Centre de Nouméa. Notice explicative multigr.
- 5 - **BOCQUIER G.**, 1973. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mémoires ORSTOM n° 62, Paris.
- 6 - **BOULET R.**, 1968. — Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Nord. Echelle 1/500 000. Notice multigr. 2 vol. Vol. 1, 351 p., 1 carte. Vol. 2, 14 p., ORSTOM, Centre de Dakar
- 7 - **BOULET R.**, 1978. — Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobio-climatiques. Mémoires ORSTOM n° 85, Paris.
- 8 - **BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X., LUCAS Y.**, 1982. — Analyse structurale et cartographie en Pédologie. I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les études d toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XIX, n° 4, pp. 309-321.
- 9 - **BOULET R., HUMBEL F.X., LUCAS Y.**, 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM Sér. Pédol., vol. XIX, n° 4.
II - Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques, pp. 323-339.
III - Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique pp. 341-351.
- 10 - **BOULVERT Y.**, 1983. — Carte pédologique de la République Centrafricaine. Echelle 1/1 000 000. Notice explicative n° 100. ORSTOM, Paris.
- 11 - **BOULVERT Y.**, 1982. — Quelques réflexions sur les difficultés et les possibilités de la cartographie thématique. L'exemple des cartes de Centrafrique dressées à 1/200 000 et 1/1 000 000. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol. XIX n° 4, pp. 381-387.
- 12 - **BRABANT P.**, 1978. — Carte pédologique du Nord-Cameroun : feuille de Béré (Echelle 1/100 000). Carte des contraintes édaphiques. Notice explicative n° 75, ORSTOM, Paris.
- 13 - **BRABANT P., MULLER D.**, 1981. — Reconnaissance survey in Central Kalimantan (Indonesia). Soil survey and land suitability. (Scale 1/250 000). ORSTOM, Transmigration Project PTA 44, LPT Bogor.
- 14 - **BRABANT P., GAVAUD M.**, 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Notice explicative n° 103, ORSTOM, Paris.
- 15 - **BRABANT P.** (sous presse). — Le sol des forêts claires du Cameroun. Exemple d'étude d'un site représentatif en vue de la cartographie et de l'évaluation des terres. ORSTOM, Paris.
- 16 - **BURROUGH P.A.**, 1986. — Principles of geographical information systems from land resources assessment, Clarendon Press, Oxford.
- 17 - **CHAUVEL A.**, 1977. — Recherche sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saison contrastée, ORSTOM, Travaux et Documents, n° 62, Paris.
- 18 - **CONACHER A.J., DALRYMPLE J.B.**, 1977. — The nine unit landsurface model : an approach to pedogeomorphic research. Geoderma, 18, pp. 1-154.
- 19 - **CPCS**, 1967. — Classification des sols. Multigr. 96 p., Grignon.
- 20 - **CSIRO**, 1960-1968. — Atlas of Australian Soils. Melbourne University press.

- 21 - **DIJKERMAN J.C.**, 1974. — Pedology as a science, the role of data, models and theories in the study of natural soil systems. *Geoderma*, 11, pp. 73-93.
- 22 - **DUDAL R.**, 1986. — The role of pedology in meeting the increasing demands on soils. *Comptes rendus du XIII Congrès de l'Association Internationale de la Science du Sol*, Hambourg, 13-20 août 1986, pp. 80-96.
- 23 - **ESCHENBRENNER V.**, 1975. — Notice explicative de la carte des paysages morpho-pédologiques. Feuille Odienné (Côte d'Ivoire) à 1/200 000. Multigr. 92 p. Centre ORSTOM, Adiopodoumé.
- 24 - **FAO**, 1975. — Carte mondiale des sols, 1/5 000 000, UNESCO, Paris.
- 25 - **GAVAUD M.**, 1977. — Essai sur la classification génétique des sols. *Cah. ORSTOM sér. Pédol.*, vol. XV, n° 1, pp. 63-87.
- 26 - **GIRARD M.C.**, 1983. — Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Application à une région des plateaux jurassiques de Bourgogne. *Sols*, n° 14, 430 p., Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- 27 - **HUGGET R.J.**, 1975. — Soil landscape systems : a model of soil genesis. *Geoderma*, Vol. 13, n° 1, pp. 1-22.
- 28 - **KALOGA B.**, 1968. — Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Centre-Sud. Echelle 1/500 000. Notice explicative multigr. 251 p., Centre ORSTOM, Dakar.
- 29 - **KAUFFMANN J.H.**, 1987. — Comparative classification of some deep, well-drained red clay soils of Mozambique. *ISRIC - DGIS - INIA. Technical paper n° 16*.
- 30 - **KILIAN J.**, 1972. — Les inventaires morphopédologiques. *Agr. Trop. Sept.*, vol. XXVII, n° 9, pp. 930-939.
- 31 - **LEPRUN J.C., MOREAU R.**, 1968. — Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Ouest-Nord. Echelle 1/500 000. Notice explicative multigr. 341 p. Centre ORSTOM, Dakar.
- 32 - **LEVEQUE A.**, 1973. — Les sols du Togo. Cartographie de reconnaissance à 1/200 000. Le socle granito-gneissique. Région au nord du 7° parallèle. Notice explicative multigr. 159 p. Centre ORSTOM, Lomé.
- 33 - **MEIJERINK M.J., VALENZUELA C., STEWART A.**, 1988. — The integrated land and watershed management information system. *ITC Publication*, n° 7.
- 34 - **NORTHCOTE K.M.**, 1984. — Soil-landscapes, taxonomic units and soil profiles : a personal perspective of some unresolved problems of soil survey. *Soil Survey and Land Evaluation* 4 (1), pp. 1-7.
- 35 - **PIAS J.**, 1970. — Notice explicative n° 41. Carte pédologique du Tchad à 1/1 000 000. Deux volumes. Vol. 1 : 168 p., vol. 2 : annexes et cartes. ORSTOM, Paris.
- 36 - **POSS R.**, 1982. — Etude morpho-pédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire). Cartes des paysages pédologiques et des unités morpho-pédologiques. Feuille Katiola, 1/200 000. Notice explicative n° 94, ORSTOM, Paris.
- 37 - **RAUNET M.**, 1985. — Les bas-fonds en Afrique à Madagascar : géomorphologie, pédologie, hydrologie. *Z Geomorph. Suppl.* Bd. 52, pp. 25-62. Berlin-Stuttgart.
- 38 - **SCHLICHTING E.**, 1970. — Bodensystematik und Bodensoziologie. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 127, Band, Heft, pp. 1-9.
- 39 - **SRI BOGOR**, 1976. — Land units map. Cimanuk watershed, West Java. Scale 1/100 000. Lembaga Penelitian Tana, Bogor (Indonesia).
- 40 - **SOMBROEK W.G., VAN DE WEG R.F.**, 1980. — Some considerations on quality and readability of soil maps and their legends. *International Soil Museum, Wageningen*. Reprinted from ISM annual report.
- 41 - **SOMBROEK W.G., BRAUN H.M.H., VAN DER POWW B.J.A.**, 1982. — Exploratory soil map and agro-climatic zone map of Kenya, Scale 1/1 000 000. Kenya Soil Survey Nairobi.
- 42 - **USDA**, 1975. — Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agricultural Handbook n° 436*. Washington D.C.
- 43 - **WOODE P.R.**, 1981. — « We don't want soil maps, just give us land capability. » The role of land capability surveys in Zambia. *Soil survey and Land Evaluation* 1, pp. 1-5.



1989 - Vol. 27 - N° 4

SCIENCE DU SOL



REDACTEUR EN CHEF

M.-C. GIRARD

SECRETARE DE REDACTION

G. BOURRIÉ

COMITE SCIENTIFIQUE

J. BERTHELIN (CNRS, Nancy)
J. BOIFFIN (INRA, Laon)
G. BOURRIÉ (INRA, Rennes)
J. DUFEY (Louvain-la-Neuve, Belgique)
R. DUDAL (Leuven, Belgique)
E. FERNANDEZ-CALDAS (Ténérife, Espagne)
M.-C. GIRARD (INA-PG, Grignon)

B. LESAFFRE (CEMAGREF, Antony)
G. PEDRO (INRA, Versailles)
J. QUEMENEUR (SCPA, Aspasch)
J.-C. RÉMY (INRA, Paris)
A. RUELLAN (ORSTOM, Paris)
A. THOMASSON (Rothamsted, Angleterre)
J.-C. VÉDY (Lausanne, Suisse)
W. VERHEYE (Gand, Belgique)