

SEMINAIRE REGIONAL AFRICAIN
SUR LES STATISTIQUES DES RESSOURCES NATURELLES
ET DE L'ENVIRONNEMENT
ABIDJAN - 21 au 26 novembre 1983

ESSAI D'ETABLISSEMENT D'UN COMPTE DES SOLS
EN COTE D'IVOIRE

Christophe A. DRAVIE
Université d'Abidjan

Guy HAINNAUX
ORSTOM-Adiopodoumé (Abidjan)

Jean-Louis WEBER
INSEE - Paris

S O M M A I R E

INTRODUCTION

CHAPITRE I : UN SCHEMA COMPTABLE POUR LES SOLS

- 1 - Le compte central
- 2 - La réaffectation des surfaces
- 3 - Les transferts internes entre les modes d'exploitation des sols
- 4 - Passage à la statistique agricole
- 5 - Modes de mise en valeur et cultures

LES TABLEAUX

CHAPITRE II : ETABLISSEMENT D'UNE GRILLE D'EVALUATION DES SOLS

1 - Préambule

1.1. Les objectifs, le cadre du travail

1.2. La nomenclature : rappel concernant quelques concepts ;
symboles utilisés

2 - La démarche

2.1. Les principes de la démarche adoptée

2.2. Mise en oeuvre de la grille d'évaluation

A - Au niveau de l'Unité d'observation

a) Le traitement des paramètres morphologiques

b) Le traitement des paramètres physiques

c) Le comportement hydrique

d) Le traitement des paramètres chimiques

e) La synthèse : la constitution des classes de qualité des sols

B - Au niveau de l'unité d'analyse : les problèmes d'agrégation

CONCLUSION

ANNEXES

INTRODUCTION

Le développement récent des statistiques sur l'environnement naturel, lié à la prise de conscience du caractère limité des ressources que la Nature peut offrir à l'homme, correspond à une double préoccupation :

- rassembler et systématiser les informations déjà existantes produites par les différentes disciplines scientifiques sur les différents éléments de l'environnement ainsi que les données utilisées par les gestionnaires et les producteurs ;

- rechercher des informations nouvelles, mesurer des phénomènes dont les conséquences sont visibles ou devinables.

La Nature est un ensemble d'objets en interrelation, obéissant à des lois spécifiques et évoluant selon des cycles temporels divers. La statistique de l'environnement doit en rendre compte et pouvoir situer ses descriptions dans un cadre cohérent, permettant une approche globale et la définition d'indicateurs synthétiques coordonnés.

Le projet d'établissement de comptes du patrimoine naturel est une tentative pour présenter l'information sur l'environnement naturel (la faune, la flore, les milieux physiques -eaux, sols, air ...-, les écosystèmes, les espaces et leur utilisation ...) dans un cadre global incluant l'homme et ses institutions.

Un tel cadre articulé permet une représentation des objets constituant le patrimoine naturel et de leurs relations multiples traduites en termes d'équilibres comptables. Le caractère élémentaire, et donc réducteur, d'un tel modèle au regard de chaque élément vu séparément est largement contrebalancé par la description exhaustive du champ, qu'il permet en termes quantitatifs. Dans le système de comptes du patrimoine naturel, la variation d'une case quelconque implique logiquement une mo-

dification d'autres cases dans d'autres comptes. Ainsi, la comptabilisation de la variation d'un paramètre sur la forêt conduit, par le jeu des comptes de relations, à en enregistrer les contreparties -les conséquences- dans les comptes de l'eau, du sol, de l'air, de la faune, etc...

Par ailleurs, cette structuration logique de l'information permet l'élaboration d'agrégats résumant les divers mouvements ayant affecté le patrimoine naturel.

Incluant l'homme et ses institutions, le système de comptes du patrimoine naturel est d'autre part articulé avec la comptabilité économique nationale. Celle-ci enregistre les aspects monétaires des actions humaines, donc les coûts de la gestion de l'environnement, mais aussi la valeur des prélèvements de ressources naturelles. Cette coordination avec l'information économique ne se limite d'ailleurs pas aux données monétaires ; elle concerne tout autant l'information économique en quantités physiques sur l'exploitation des ressources naturelles, sur les consommations et pollutions des différentes activités, filières, procédés techniques.

A côté de l'économie, les comptes du patrimoine naturel peuvent enfin être reliés à la statistique socio-culturelle, qu'il s'agisse des données relatives à la démographie et à la santé des populations, à leur cadre de vie, à leurs loisirs, etc ...

Une telle coordination statistique facilite à l'évidence la prise en compte de l'environnement naturel par les décideurs, à côté des prévisions économiques -déjà structurées par la comptabilité nationale-. C'est une meilleure prise en compte des effets à moyen et long terme de l'activité humaine qu'ils autorisent.

Les premiers travaux visant à l'élaboration de Comptes de patrimoine naturel ont été entrepris en Côte d'Ivoire à partir de 1981.

Menés d'abord à l'Université nationale de Côte d'Ivoire, ils ont rapidement bénéficié du concours de plusieurs organismes de recherche, notamment de l'ORSTOM ainsi que de l'appui du Ministère de l'Environnement. En juillet 1982, deux journées d'études organisées dans ce ministère permirent d'informer les responsables des différents secteurs concernés. Par ailleurs, le projet a bénéficié de l'apport méthodologique de l'INSEE-Paris et de la commission française des comptes de patrimoine naturel. Une collaboration étroite s'est instaurée entre ces deux organismes et le groupe ivoirien porteur du projet.

La coopération dans la recherche entre Abidjan et Paris et les concordances de vues qui en résultent font que le présent article se limitera à la présentation du compte des sols, qui constitue un apport original du groupe de recherche d'Abidjan. Les principes généraux des comptes du patrimoine naturel sont donc renvoyés à un article de Jean-Louis WEBER, présenté en annexe de ce document.

Le présent article comprend deux chapitres.

Le premier expose le schéma comptable établi a priori pour les sols de Côte d'Ivoire. Il en présente la logique et les objectifs.

Le second chapitre propose une méthode pratique d'évaluation de la valeur patrimoniale d'un sol. Cette méthode qui fait actuellement l'objet d'un test pratique dans la région de Katiola, permet non seulement de définir des classes de qualité des sols mais suggère l'élaboration d'un agrégat synthétique de l'évolution des sols de l'ensemble du pays.

CHAPITRE I - UN SCHEMA COMPTABLE POUR LES SOLS

Un schéma comptable pour les sols doit rendre "compte" de deux types de phénomènes :

- la "consommation" ou le "prélèvement" de terrains utilisables par la végétation, par des activités humaines qui les stérilisent. C'est alors sa valeur en tant que superficie qui est prise en considération (par exemple, une surface constructible, ou l'emprise d'une route) ;

- la "consommation" ou l'"usure" d'un sol du fait d'une utilisation "in situ" trop intensive qui en diminue les potentialités. En fait, pour être juste, cette seconde approche doit également rendre compte des améliorations apportées aux sols par l'activité humaine, qu'elles soient durables (drainage, nivellement, terrasses ...) ou de durée plus courte (irrigation, fertilisation).

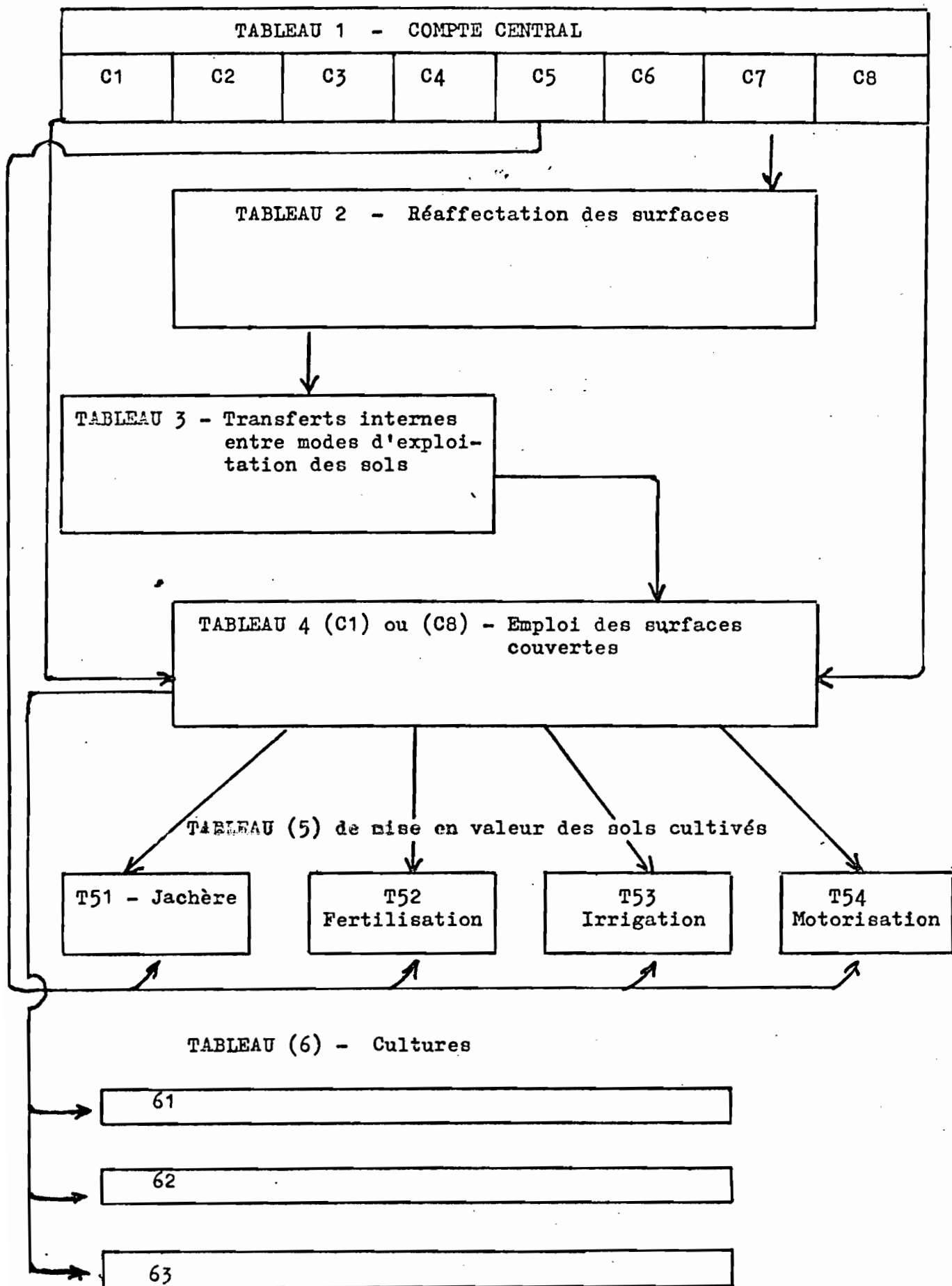
Bien que l'activité agricole ne soit pas la seule qui concerne les terrains, celle-ci occupe néanmoins une place telle qu'elle fonde l'articulation du schéma comptable autour de la surface disponible pour l'agriculture. L'aptitude des terres agricoles dépend de deux types de facteurs :

- les premiers sont liés aux "qualités" morpho-pédologiques et chimiques des sols ;

- les seconds dépendent des modes de mise en valeur (irrigation, motorisation, fertilisation), y compris du rythme de leur exploitation, et donc des possibilités de leur régénération naturelle (jachère).

L'optique patrimoniale privilégie le point de vue à long terme sur les considérations à court terme (production, productivité). Le compte central des sols comprend donc principalement une décomposition de ceux-ci selon leurs caractéristiques physiques et chimiques. Celles-ci sont fonction d'un certain type de paysage, au sens où cette notion renvoie à des considérations géo-morphologiques. L'établissement d'un compte se fait d'abord pour une zone "homogène". Les comptes de diverses zones sont ensuite agrégés.

ORGANIGRAMME DES RELATIONS ENTRE LES TABLEAUX DU
COMPTE DES SOLS



Dans l'exemple présenté ici, on considère que la zone d'étude comprend deux "paysages". Chacun de ceux-ci peut être subdivisé selon diverses classes de sols dont la détermination est exposée en détail au chapitre II.

1. - Le compte central

Il peut être établi pour une année ou pour une période pluri-annuelle. Il met en lumière l'évolution de la qualité des sols selon trois types d'éléments :

- les évolutions durables liées à des modes de traitements des sols (drainage) ou à leur évolution spontanée (érosion, désertification). Dans ce premier cas, on comprendra dans "spontané" les conséquences indirectes de certaines activités humaines ;

- les évolutions nées de pratiques courantes de mise en valeur (jachère, fertilisation, ...)

- enfin, l'utilisation du sol dont l'évolution se fait le plus souvent au détriment de la végétation.

2. - La réaffectation de surfaces

Le tableau 2 donne une représentation assez "classique" des changements de l'utilisation du sol. Il se raccorde (par le solde de ses variations) au sous-compte C7 du compte central. La notion d'utilisation renvoie donc à la superficie du sol. Elle est plus large que celle d'exploitation qui prend en considération les productions biologiques.

3. - Les transferts internes entre les modes d'exploitation des sols

Le compte central et le tableau 2 établissent de fait une distinction entre "prélèvement" de sol (pour une utilisation non productive pour la végétation) et utilisation "in situ". De fait, le développement

économique s'accompagne de changements du rapport entre les superficies occupées pour les divers modes de production agricoles ainsi que du rapport entre agriculture et forêt. C'est ce dont rend compte le tableau 3.

4. - Passage à la statistique agricole

Il est maintenant logiquement possible de passer à la statistique agricole en indiquant quelles sont les classes de terres occupées par les différents modes d'exploitation. Le compte est établi pour le stock initial (C1) et le stock (C8).

5. - Modes de mise en valeur et culture

Il est proposé de compléter le schéma par des tableaux mettant en relief les techniques de mise en valeur des sols pratiqués par les différents modes d'exploitation.

Ces tableaux C51 et C54 retracent des actions à caractère répétitif, dont les effets sont de "courte" durée, par opposition aux aménagements durables dont les conséquences sur la qualité des sols sont permanentes ou de longue durée. Ces tableaux peuvent se raccorder à des comptes économiques faisant apparaître les coûts d'investissement et de fonctionnement des techniques employées pour maintenir ou améliorer les sols. Il conviendra alors d'adjoindre les dépenses correspondant au compte C3, à celles des comptes C5.

Si pour chaque unité de compte on combine la grille des classes de qualité avec les techniques de mise en valeur, il devient possible de classer les sols selon leur rendement escompté. Le tableau obtenu peut alors être confronté aux différents modes d'exploitation ventilés selon les productions agricoles correspondantes.

Dans l'exercice en cours, une telle classification n'a pas encore été effectuée. Il est provisoirement proposé de simplement croiser la nomenclature des productions agricoles avec les modes d'exploitations (Tableau 6) dont les rapports aux sols ont été décrits précédemment.

	C1 Stock initial	C2 Evolu- tions spon- tanées	C3 Aménagements durables		C4 Stock théori- que C4 = C1+C2 +C3	Effets C51 jachère
			drai- nage	autres		
<u>SURFACES COUVERTES</u>						
S11 Paysage X						
S111 Classe	x_1					
S112	x_2					
.	.					
.	.					
.	.					
.	x_n					
.	sols hydromorphes					
S12 Paysage Y						
S121 classe	y_1					
S122	y_2					
.	.					
.	.					
.	.					
.	y_n					
.	sols hydromorphes					
SOUS TOTAL						
2 SURFACES NATURELLES NON UTILISABLES POUR LA VEGETATION						
3 AUTRES TERRITOIRES						
T O T A L						

TABLEAU 2 - Réaffectation des surfaces

	Stock disponible avant réaffectation (a)	Agriculture et élevage (b)	Forêt (c)	Surfaces naturelles non utilisables par la végétation (d)	Emprises urbaines et industrielles (e)	Voies et réseaux de communication (f)
a						
b						
c						
d						
e						
f						
Stock après réaffectation						

↑
C71

↑
C72

↑
C73

↑
C74

↑
C75

	Stock disponible avant réaffectation -	Cultures secteur moderne (b1)	Cultures secteur intermédiaire (b2)	Cultures secteur traditionnel (b3)	Elevage (b4)	Forêt (c)
b1						
b2						
b3						
b4						
c						
Stock après transfert interne						
Solde des autres utilisations du sol						
Stock après réaffectation						

	Cultures Secteur modernes	Cultures Secteur intermé- diaire	Cultures du secteur tradition- nel	Elevage	Forêt	Autres emplois	TOTAL
S_{11} Paysage X							
S_{111} Classes x_1							
S_{112} x_2							
x_m							
Sols hydromorphes							
S_{12} Paysage Y							
S_{121} Classes y_1							
S_{122} y_2							
y_n							
Sols hydromorphes							
TOTAL S_1							

		T ₅₁ : Jachère	T ₅₁ Fertilisation	T ₅₃ irrigation	T ₅₄ Motorisation
11	S ₁₁₁				
	S ₁₁₂				
12	S ₁₂₁				
	S ₁₂₂				
TOTAL S ₁					

↑
C₅₁

↑
C₅₂

↓ C₅₃
↑
Vers le compte de l'eau

↑
C₅₄

	Cultures de rente					Total	Cultures vivrières					Total	TOTAL
Secteur moderne													
Secteur intermédiaire													
Secteur traditionnel													
Ensemble													

Unités 6.3 monnaie
6.2 quintaux

Secteur moderne													
Secteur intermédiaire													
Secteur traditionnel													
Ensemble													

CHAPITRE II : GRILLE D'EVALUATION DES SOLS

1 - Le Préambule

1.1. Les objectifs, le cadre du travail

1.2. La nomenclature : rappel concernant quelques concepts ; symboles utilisés

1.1. - Les objectifs, le cadre du travail

Les objectifs

Le travail s'inscrit dans le cadre global d'une tentative de mise au point d'une méthodologie relative à l'élaboration de comptes d'Eléments du Patrimoine Naturel.

Nous nous sommes consacrés, dans un premier temps, à l'élément "Sols", composante essentielle de ce patrimoine.

En effet :

- D'une part, au plan strictement économique, il constitue, en général, la principale ressource des "Pays en développement".

- D'autre part, au plan socio-culturel, il représente un facteur important, dans la mesure où il règle de multiples rapports sociaux, et où les transformations qui l'affectent se répercutent sur ces rapports.

Enfin, il faut ajouter à cela, que c'est un élément pour lequel on dispose de données suffisantes, scientifiquement élaborées, qui rendent le travail possible.

Dans l'optique ainsi évoquée, notre but sera de caractériser l'état de la ressource puis son évolution en fonction des modalités d'utilisation. cela exige, à partir des données de base disponibles, essentiellement descriptives, de définir des indicateurs synthétiques constituant une source d'information susceptible :

- 1°) - d'enrichir la perception des problèmes
- 2°) - d'aider à la prise de décision
- 3°) - de rendre compte de l'impact des différentes interventions.

Le cadre du travail

Il était nécessaire de disposer pour ce travail d'une information pédologique de base, fiable, qui soit :

- assez générale au niveau spatial de façon à conférer une dimension régionale au travail (il ne s'agit pas d'un travail ponctuel),

- suffisamment précise et complète au niveau des paramètres mesurés pour permettre des agrégations successives selon différents critères sans perdre de sens.

Les cartes pédologiques au 1/200.000 dressées par l'ORSTOM et leur notice explicative ont constitué le document de base, car elles fournissent sur le plan du découpage spatial aussi bien que sur celui de la description du contenu sol les niveaux d'appréhension nécessaires. Les documents disponibles concernent essentiellement le quart Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.

La feuille de Katiola (Degré carré de Katiola), la dernière réalisée, présente l'étape la plus élaborée de cette cartographie (1).

.../...

(1) R. POSS : "Etude Morpho-Pédologique de la Région de Katiola (Côte d'Ivoire)", ORSTOM, 1982.

Elle rend possible une évaluation des ressources en sol (inventaire) et, en explicitant les contraintes morpho-pédologiques, une évaluation des aptitudes en fonction de critères choisis par rapport aux besoins de l'utilisateur.

Par ailleurs, la situation de cette zone permet de couvrir un champ de situations assez vaste lui conférant une représentativité suffisante et offrant la possibilité de tester la cohérence de notre démarche.

Rappelons brièvement les principales caractéristiques géographiques de la zone (2)

. Du point de vue climatique, c'est une zone de transition montrant une assez grande variabilité inter-annuelle allant du climat à une saison des pluies à celui caractérisé par l'alternance de 2 saisons sèches et de 2 saisons des pluies, en fonction des mouvements de la zone de convergence intertropicale.

Globalement, cette zone bénéficie d'une insolation importante avec une pluviométrie abondante (1173 mm) permettant une période de végétation de 250 à 300 jours par an.

Cependant l'intensité des averses est parfois élevée et leur effet érosif peut-être d'autant plus marqué qu'elles affectent un sol dénudé par les feux de brousse.

Du point de vue de la végétation, l'essentiel de la zone appartient au secteur subsoudanais. Elle est du type savane qui d'arborée à boisée sur les hauts de forme devient arbustive à herbeuse à proximité des marigots.

Vers le Sud la végétation devient progressivement de type mésophile et individualise une frange appartenant au domaine guinéen. La forêt dense humide semie décidive envahit les versants et son extension vers le Nord est stoppée par les feux de brousse et la mise en valeur.

Dans cette frange les défrichements mécaniques sont coûteux et le recrû après exploitation est très dense.

(2) Pour de plus amples détails, on peut se référer à :
"Le Milieu Naturel de Côte d'Ivoire" (ORSTOM) - 1971 -

. Du point de vue hydrologique, les ressources en eau sont abondantes mais irrégulières et nécessitent pour être exploitées la mise en place d'un plan d'aménagement régional.

. Du point de vue géologique, le substratum comporte 3 types de roches-mères : un ensemble granitique, un ensemble schisteux et un ensemble de roches vertes. Ce dernier différant considérablement des précédents par sa richesse en "ferromagnésiens".

La nature de la roche-mère transparaît souvent dans l'organisation des sols, dont les caractéristiques varient suivant leur position sur le versant.

. Du point de vue de l'occupation humaine, la densité de population est de l'ordre de 8 habitants au km², mais ce chiffre ne rend pas compte de l'hétérogénéité du peuplement. En effet, alors que la partie centrale proche du Bandama est pratiquement déserte, ailleurs on peut trouver une densité supérieure à 20, et l'on atteint parfois la valeur 60.

1.2. - Nomenclature

Nous proposons ici une liste brève des concepts utilisés. Nous en donnons une définition sommaire dans la perspective de notre travail, et nous précisons les symboles utilisés.

La profondeur du sol (D)

C'est la profondeur moyenne de l'apexol, c'est-à-dire la profondeur à laquelle apparaît le premier horizon pouvant constituer un obstacle au développement d'un enracinement normal. Elle est un indicateur de l'importance de la réserve en eau accessible aux plantes.

La pente (S)

C'est une valeur moyenne calculée à partir des déterminations clysimétriques. Elle conditionne les possibilités d'utilisation agricole.

Les éléments grossiers (G)

Ils sont constitués des éléments compris entre 2mm et 2cm et sont exprimés en pourcentage volumiques du sol total. Ils peuvent traduire l'importance de la fraction peu exploitable du sol.

Le drainage (W)

C'est un indicateur de comportement relatif à la circulation de l'eau. Il est estimé d'après les caractères morphologiques de l'apexol (principalement la porosité)

Ces quatre paramètres constituent des caractéristiques intrinsèques du sol dans la mesure où elles sont difficilement modifiables.

La matière organique (MO)

Son taux est déduit de la teneur totale en carbone. L'appréciation de cette teneur est faite d'après les normes de DABIN, 1968 (voir bibliographie en annexe).

Elle peut être, prise comme indicateur d'évolution du fait de sa sensibilité et de son importance agronomique.

Le pH

Il s'agit du pH eau, qui peut être choisi aussi comme un indicateur d'évolution car il intègre les processus affectant le complexe organo-minéral.

La fertilité azotée (N)

C'est la teneur totale en azote, appréciée en fonction du pH (DABIN, 1968).

La richesse en bases (S)

C'est la somme des bases échangeables (K, Ca, Mg) appréciée en fonction de la texture, à partir des normes de FORESTIER (1959) - voir bibliographie en annexe.

On peut, le cas échéant, lui substituer la seule appréciation du potassium échangeable selon les normes de BOYER (1978) quand c'est l'élément déterminant.

La fertilité phosphatée (P)

C'est la teneur totale en phosphore appréciée en fonction de la richesse en azote (DABIN, 1968).

Les quatre derniers paramètres sont des caractéristiques extrinsèques dans la mesure où elles sont plus aisément modifiables par la fertilisation.

2.- LA DEMARCHE

Notre but, tel que nous l'avons défini, est, au sens propre, de définir une méthode qui permette d'agrèger les mesures relatives aux différents groupes de paramètres retenus afin d'aboutir à la constitution des classes de qualités souhaitées.

Pour atteindre ce but, il y a des objectifs. Chacun des objectifs consiste à prendre le problème successivement au niveau de chaque groupe de paramètres, et à construire des classes que l'on sera amené, par la suite, à croiser entre elles, pour produire les classifications finales au niveau de l'unité d'observation.

Nous allons donc, après avoir dégagé les principes sur lesquels va reposer la démarche générale, exposer chacune des étapes évoquées en analysant les principaux problèmes qui se présentent à chaque niveau.

2.1 - Principes de la démarche adoptée

2.1.1. - Conditions et critères d'observation et de mesure des paramètres

L'information pédologique de base et ses modalités d'obtention sont présentées en détail dans la notice explicative de la carte pédologique de Katiola (R. POSS - 1982 - ORSTOM). Nous en reprenons les points essentiels à la compréhension de notre démarche.

La méthodologie retenue dans l'élaboration de la carte morpho-pédologique repose sur la notion de segment pédologique qui constitue l'unité d'observation. Il s'agit d'un volume de sol élémentaire caractérisable par un ensemble de faits pédologiques dominants. La répartition spatiale dans chaque interflèuve des segments pédologiques traduit l'organisation topo-séquentielle des sols.

Ces segments pédologiques peuvent être regroupés selon des critères morphologiques facilement indentifiables (en particulier par photo-interprétation), en ensembles plus vastes pour constituer les unités cartographiques dont on connaît les surfaces et l'importance relatives des segments qui les composent.

Pour chaque segment, les caractères pédologiques sont décrits d'après l'observation de 25 profils par un ensemble de paramètres dont l'évolution peut-être soit quantitative soit qualitative. Les évaluations sont donc de nature statistique : ce sont en général des moyennes ou des fréquences.

2.1.2. - Les niveaux d'agrégation

La connaissance des paramètres au seul niveau du segment pédologique n'est utilisable que par un spécialiste et n'est donc pas opérationnelle. Pour la rendre plus accessible et exploitable au niveau du terrain il est nécessaire d'agréger l'information au niveau d'unités spatiales aisément identifiables et définies par l'utilisateur en fonction de ses objectifs : étude de terroir, étude régionale, périmètre de développement.

Pour les besoins de l'étude deux niveaux seront retenus : celui de l'unité cartographique et celui du terroir ; ces deux niveaux pouvant être confrontés avec pertinence à l'occupation du territoire. Toutefois l'utilisation ultérieure des statistiques agricoles nécessitera de remonter au niveau du découpage administratif.

2.1.3. - Choix et utilisation des paramètres

Les critères à retenir pour classer les sols nécessite d'abord l'inventaire et la hiérarchisation des contraintes qui conditionnent les objectifs poursuivis. Certaines de ces contraintes sont peu ou pas modifiables : dans notre cas contraintes d'ordre morphologique ou physique ; d'autres peuvent l'être plus aisément : contraintes d'ordre chimique.

La procédure retenue a consisté :

1°) - à établir une notation analytique. En effet, il est possible de répartir la gamme des valeurs observées pour chacun des paramètres, évalués à un niveau donné d'agrégation, en un ensemble de classes auquel on fait correspondre une échelle de notation.

La construction de cette échelle est pour partie empirique, mais doit cependant permettre, dans tous les cas, de discriminer des groupes cohérents dont la pertinence est susceptible de vérification à postériori.

2°) - à faire une synthèse en procédant à des regroupements de paramètres permettant de constituer des groupes hiérarchisés par rapport aux objectifs : modalités d'utilisation du sol, appréciation globale de la fertilité actuelle.

L'échelle de notation choisie traduit une pondération implicite d'une part entre les classes pour un paramètre donné, d'autre part entre les paramètres pour la constitution de groupes significatifs.

Ainsi, en premier lieu, le croisement de la profondeur (D) de la pente (S) et du taux d'éléments grossiers (G) permet un regroupement par rapport aux modalités possibles d'utilisations : pastorales, sylvicoles, ou agricoles, et, dans ce dernier cas, mécanisables ou non.

En second lieu, interviendront les paramètres de la fertilité actuelle, laquelle sera appréciée sur deux plans : physique et chimique.

Au plan physique la combinaison de la texture (T), de la structure (R) et de la cohésion (C) croisée avec la porosité (P) et la contrainte représentée par la profondeur, la nature et le taux des éléments grossiers (G), permet une évaluation de la qualité physique du milieu, celle-ci étant un caractère peu modifiable ou n'évoluant qu'à long terme.

Au plan chimique la combinaison des paramètres de la fertilité azotée (Nf(pH)), phosphatée (Pf(N)) et potassique (K), croisée avec la mesure d'acidité (pH) et le taux de matières organiques donne une évaluation des réserves organo-minérales, plus aisément modifiables à court ou moyen terme.

La synthèse entre qualités physiques et aptitudes chimiques aboutit alors à une appréciation globale de la fertilité actuelle du milieu, susceptible d'évoluer sous l'impact des systèmes techniques d'exploitation plus ou moins intensifs, propres à chacune des diverses modalités d'utilisation.

2.2. - Mise en oeuvre de la grille d'évaluation

Deux niveaux ont été retenus comme significatifs aux échelles de travail retenues (segments pédologiques, unités cartographiques et terroirs)

Le premier a pour objectif la définition des groupes de sols utilisables selon diverses modalités.

On distinguera :

- les sols impropres à toute utilisation (terres incultes)
- les sols à vocation sylvo-pastorales car incultivables
- les sols cultivables où on identifiera des sous-groupes en fonction de l'intensité des moyens de mise en valeur :
 - . utilisable en culture mécanisée avec ou sans aménagements
 - . utilisable en culture attelée avec ou sans aménagements
 - . utilisable en culture manuelle traditionnelle avec ou sans aménagements.

Il utilise les paramètres morphologiques qui ne sont pas susceptibles d'être synthétisés.

Le second est destiné à apprécier d'abord la qualité physique des sols, puis leur qualité chimique. C'est pour les paramètres pris en compte à ce niveau que seront tentées les évaluations synthétiques ou globales.

.../...

A.- AU NIVEAU DE L'UNITE D'OBSERVATION

Il n'y a pas d'agrégation des paramètres au sens spatial, mais il peut y avoir des combinaisons destinées à juger globalement d'un comportement ou d'une qualité.

a) Traitements des paramètres morphologiques

Il s'agit ici des paramètres macromorphologiques par opposition aux paramètres micromorphologiques qui seront appelés paramètres physiques.

Le traitement de ces paramètres, micro et macromorphologiques, reprend le plus souvent celui adopté par R. POSS et R. SABATHE (1983).

La discrimination a été faite, d'une part en fonction des classes de pente qui sont un indicateur des risques érosifs, d'autre part en fonction des classes de profondeur traduisant le volume de sol disponible et enfin des classes de pierrosité, indicatrices des obstacles à la mécanisation.

Les classes de pente

Six classes ont été retenues :

S1 < 3 %	pentcs favorables à toutes modalités de cultures (mécanisée, attelée...)
3 % < S2 < 5 %	pentcs convenant à la culture attelée et mécanisée sous réserve d'aménagement (billons - courbes de niveau)
5 % < S3 < 7 %	pentcs utilisables en culture attelée avec aménagement
7 % < S4 < 10 %	pentcs utilisables seulement en culture manuelle sans aménagement
10 % < S5 < 15 %	pentcs utilisables seulement en culture manuelle avec aménagements
15 % < S6	zones incultivables

.../...

Les classes de profondeur

Elles délimitent le volume disponible pour l'exploitation racinaire.

Du point de vue qui nous concerne, nous distinguerons six classes :

D1 > 80	mécanisables
80 > D2 > 60	mécanisables
60 > D3 > 40	mécanisables
40 < D4 < 25	utilisation possible de la culture attelée
25 < D5 < 10	cultivable manuellement avec aménagement
D6 < 10	non cultivable

Les classes de pierrosité de surface

Elles expriment le pourcentage de recouvrement de la surface du sol pour les éléments supérieurs à 2 cm. En prenant en compte la présence de blocs (éléments de plus de 20 cm), on a pu distinguer 4 classes :

P1 < 5 %	sans blocs	Toutes les modalités d'utilisation sont possibles
P2 < 5 %	avec blocs	Encore mécanisable mais non utilisable en culture attelée
5 ≤ P3 < 10 %	sans blocs	difficilement mécanisable
5 ≤ P4 < 10 %	avec blocs	utilisable uniquement en manuel
10 ≤ P5 < 20 %		utilisable au mieux manuellement
P6 ≥ 20		peu ou pas utilisable

La confrontation des valeurs de ces trois paramètres définit l'appartenance à une classe de modalité d'utilisation.

En effet, c'est la classe correspondant au paramètre le moins bien classé et qui constitue le facteur limitant.

Ceci est valable au niveau du segment pédologique ; le passage aux unités supérieures implique l'attribution à chaque classe de chaque paramètre d'une note qui sera ensuite pondérée.

Les paramètres étant ainsi répartis en 6 classes chacun, l'indice de classement (1 à 6) pourra constituer la note dans la mesure où on accorde le même poids à chacun de ces paramètres.

b) Le traitement des paramètres physiques

La qualité physique des sols est évaluée en deux temps :

- D'abord, en estimant les caractéristiques de la terre fine,
- puis, en prenant en compte les contraintes liées au taux et à la profondeur d'apparition des éléments grossiers.

. Appréciation de la terre fine

Appréciation	Texture	Structure	Cohésion
Favorable	Sablo-argileuse à argileuse	fragmentaire nette	faible à moyenne
Moyenne	sableuse	fragmentaire peu développée	forte
Médiocre	Sableuse ou argileuse lourde	Particulaire ou ou massive	Très faible ou très forte

Ces classes seront combinées avec le taux et le profondeur d'apparition des éléments grossiers pour lesquels 4 classes ont été retenues :

.../...

G1 < 30 %

30% ≤ G₂ < 50%

50% ≤ G₃

avec des éléments grossiers gravoliti-
ques ont une réserve en eau et sont arrondis

50% ≤ G₄

avec des éléments grossiers sont graveloni-
ques, c'est-à-dire de type quartzeux et ne
stockent pas d'eau

On aboutit ainsi à définir six classes de sol numé-
rotées de 1 à 6, dans le sens des qualités décroissantes :

Caractère de la sable fine	Profondeur d'apparition des éléments grossiers															
	0 - 20 cm				20 - 40 cm				40 - 60 cm				60 - 80 cm			
	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
Sables	3	4	5	6	2	3	4	5	1	2	3	3	1	1	1	1
ns	4	4	5	6	3	3	4	5	2	2	3	4	1	1	1	2
ocres	5	5	6	6	4	4	5	6	3	3	4	4	1	1	2	3

c) Le traitement des paramètres hydriques

Ils concernent l'aptitude de l'eau à circuler dans le
milieu sol. Cette circulation est caractérisée par un indice

.../...

Caractères de la terre fine	Profondeur d'apparition des éléments grossiers															
	0 - 20 cm				20 - 40 cm				40 - 60 cm				60 - 80 cm			
	G 1	G 2	G 3	G 4	G 1	G 2	G 3	G 4	G 1	G 2	G 3	G 4	G 1	G 2	G 3	G 4
Favorable	3	4	5	6	2	3	4	5	1	2	3	3	1	1	1	2
Moyen	4	4	5	6	3	3	4	5	2	2	3	4	1	1	1	2
Médiocre	5	5	6	6	4	4	5	6	3	3	4	4	1	1	2	3
Favorable	4	5	6	7	3	4	5	6	2	3	4	4	2	2	2	2
Moyen	5	5	6	7	4	4	5	6	3	3	4	5	2	2	2	3
Médiocre	6	6	7	7	5	5	6	7	4	4	5	5	2	2	3	4
Favorable	5	6	7	8	4	5	6	7	3	4	5	5	3	3	3	3
Moyen	6	6	7	8	5	5	6	7	4	4	5	6	3	3	3	4
Médiocre	7	7	8	8	6	6	7	8	5	5	6	6	3	3	4	5

de drainage. Elle se traduit, quand elle est ralentie, par des caractères d'hydromorphie.

Toutefois, ces deux aspects étant souvent corrélés, on ne retiendra que trois classes de drainage :

- W_1 = drainage très rapide
- W_2 = drainage moyen
- W_3 = drainage ralenti impliquant des risques d'hydromorphie

Ce paramètre peut alors être adjoint aux paramètres physiques.

d) Le traitement des paramètres chimiques

Cette évolution se fait également en deux temps :

D'abord, en appréciant l'importance des trois principaux éléments de la fertilité chimique M, P et K évalués selon les aboques de DABIM (pour M et P) et de BOYER (pour K) et classés chacun en trois classes : bon, moyen ou mauvais. La combinaison des trois appréciations permet de distinguer cinq catégories de sols :

- Ceux ayant 3 facteurs limitants stricts
- Ceux ayant 2 facteurs limitants stricts
- Ceux ayant 1 facteur limitant strict
- Ceux n'ayant aucun facteur limitant mais au moins un élément moyen qui devient limitant
- Ceux étant bien pourvus pour les trois éléments.

Ces regroupements sont justifiés par le concept de facteur limitant.

A un second niveau, ces catégories seront croisées avec

.../...

des classes d'acidité et des classes de richesse en matière organique. On distinguera :

4 classes d'acidité :

$PH_1 > 6$	sous sols
$6 > PH_2 > 5$	sols moyens
$5 \leq PH_3 < 4,5$	sols acides présentant des risques d'intoxication manganique et aluminique
$PH_4 \leq 4,5$	sols très acides toxiques

et 2 classes de richesse en matière organiques, celle-ci étant liée à la texture. Les normes de DABIM permettent la distinction entre une teneur considérée comme faible et une teneur considérée comme bonne si elle est dans ce dernier cas :

- supérieure à 2 % pour les sols sableux
- supérieure à 3 % pour les sols limoneux
- supérieure à 1,5 % pour les sols argileux
- supérieure à 4 % pour les sols hydromorphes.

e) La synthèse : la constitution des classes de qualité de sol

Les classes de qualité de sol seront donc définies à partir d'une notation des qualités physiques et des qualités chimiques.

L'estimation de la qualité physique est obtenue en attribuant aux 6 classes physiques définies précédemment une note à laquelle s'ajoutera une note de drainage.

Les indices des classes constitueront la "note physique". Les notes de drainage sont choisies égales :

- à 0 pour W_1
- à 1 pour W_2
- à 2 pour W_3

On obtient ainsi un tableau où les notes s'étalent de 1 à 8.

Un regroupement de ces notes permet alors de définir 5 groupes de sols :

- note 1 (G1) sols bons
- note 2 (G2) sols moyens
- notes 3 et 4 (G3) sols passables
- notes 5 et 6 (G4) sols médiocres
- notes 7 et 8 (G5) sols mauvais

L'estimation de la qualité chimique est obtenue en attribuant aux classes définies en fonction des facteurs limitants (N,P,K) une note à laquelle s'ajoutera d'abord une note "d'acidité" puis une note de "matière organique".

Les indices des classes des facteurs limitants constitueront la première note.

Les notes d'acidité sont choisies égales :

- à 0 pour pH1
- à 1 pour pH2
- à 3 pour pH3
- à 5 pour pH4

Cette échelle pondérée résulte du fait que le pH est plus difficilement modifiable que les facteurs N, P et K et ce, d'autant plus qu'il est bas.

Les notes de "matières organiques" ont été fixées :

- à 0 pour les fortes teneurs
- à 4 pour les faibles teneurs, le taux des matières organiques étant difficile à accroître.

.../...

On obtient ainsi un tableau où les notes s'étagent de 1 à 14 et dont le regroupement permet de définir 5 groupes de fertilité chimique :

- notes 1 à 2 sols bons
- notes 3 à 4 sols moyens
- notes 5 à 6 sols passables
- notes 7 à 10 sols médiocres
- notes 11 à 14 sols mauvais

Ayant obtenu une cotation physique et une cotation chimique, il devient possible de définir une aptitude globale du sol dans l'optique de l'établissement d'un compte de patrimoine.

Les caractéristiques physiques, difficilement modifiables devront avoir un poids supérieur à celui des caractéristiques chimiques plus aisément maîtrisables par le biais de la fertilisation.

Nous avons fixé arbitrairement le rapport de pondération de 1 à 3. Les notes extrêmes étant choisies de façon à avoir une note synthétique variant entre 0 et 100. On peut ainsi définir 4 classes d'aptitudes :

- classe 1 note > 75 aptitudes bonnes
- classe 2 note > 55 aptitudes moyennes
- classe 3 note > 25 aptitudes médiocres
- classe 4 note < 25 aptitudes mauvaises

Ainsi, au terme de la démarche il est possible d'attribuer à chaque unité d'observation (segment pédologique) une affectation d'utilisabilité déduite de ses caractères macro morphologiques et une notation qualitative résultant de la combinaison pondérée de ses caractères micro morphologiques, physiques et chimiques.

		Classes des facteurs limitants (WPK)				
		5	4	3	2	1
	PH ₁	5	4	3	2	1
	PH ₂	6	5	4	3	2
	PH ₃	8	7	6	5	4
	PH ₄	10	9	8	7	6
	PH ₁	9	8	7	6	5
	PH ₂	10	9	8	7	6
	PH ₃	12	11	10	9	8
	PH ₄	14	13	12	11	10

		Classement Physique				
		G 5	G 4	G 3	G 2	G 1
		0	30	45	60	75
G 1	25	25	55	70	85	100
G 2	20	20	50	65	80	95
G 3	15	15	45	60	75	90
G 4	10	10	40	55	70	85
G 5	0	0	30	45	60	75

Ces données peuvent être représentées dans un tableau dont la lecture peut être horizontale ou verticale.

Cette démarche classificatoire ascendante, pratiquant par regroupements catégoriels successifs est aisément informatisable. Elle permet le traitement automatique des banques de données pour définir un "contenu sol" utilisable pour l'établissement d'un "compte de patrimoine".

Par ailleurs, le découpage spatial pouvant également faire l'objet d'une mise en image informatisée il devient possible de traiter l'inventaire des sols par cartographie automatique.

Il sera alors possible d'une part de juger l'impact des évolutions engendrées par les systèmes techniques d'utilisation du milieu et d'autre part de simuler l'incidence des modifications pouvant l'effectuer.

Le compte de patrimoine peut ainsi devenir un outil d'étude opérationnel du déterminisme de l'occupation des sols.

B.- AU NIVEAU DE L'UNITE D'ANALYSE

La première étape dans notre démarche a été d'explicitier les principes qui fondent notre méthodologie. Ces principes ont généré des "procédures opératoires" que nous avons appliquées au niveau de l'unité statistique constituée par le segment pédologique en dégagant les notions de facteur limitant, de classe de qualité physique et de classe de qualité chimique. Le croisement de ces classes a fourni les classes de fertilité actuelle des sols.

.../...

Il s'agit maintenant de passer au niveau d'analyse : celui qui permettra de mettre à l'épreuve les procédures opératoires en testant leur utilité dans l'analyse des problèmes concrets. Nous retrouverons ainsi la dimension réelle de notre travail : celle où se recoupent les divers aspects du problème, et où l'analyse pourra s'enrichir de l'apport de toutes les disciplines concernées, chacune en fixant les limites par rapport à ses préoccupations propres.

Il importe d'abord de voir comment se transforment les diverses mesures lorsque l'on passe du segment pédologique à l'unité d'analyse : c'est la question du système de pondération.

Pour déterminer la valeur d'un paramètre (la pente, la profondeur etc...) au niveau d'une unité cartographique, qui est l'unité d'analyse élémentaire, il faut trouver un système de pondération adéquat.

Il est possible d'envisager les différents cas suivants :

1°) - un système de pondération fondé sur l'indice de biomasse

L'écueil, ici, viendrait du fait que nous obtiendrons des coefficients de pondération peu stables dans la mesure où la productivité biologique est trop "conjoncturelle"

2°) - un système de pondération lié au nombre d'espèces végétales susceptibles de pousser sur la surface considérée. Ce système serait trop dépendant des conditions locales essentiellement d'ordre bio-climatique

3°) - un système de pondération prenant comme base d'évaluation le concept de surface. Les coefficients de pondération affectés aux différents segments de l'unité cartographique seraient alors les pourcentages de ces segments par rapport à l'unité cartographique considérée ; ces pourcentages étant évalués sur la base de la surface.

Nous retenons ce dernier système de pondération, facilement accessible, de signification générale et fournissant des coefficients ayant une stabilité suffisante du fait de leur caractère objectif et invariant.

Par ailleurs, les unités d'observation ont été traitées indépendamment des conditions de leur environnement. Certes, nous ne nous intéressons pas à cet environnement en tant que tel, mais il faut, néanmoins, que nous ne perdions pas de vue le cadre dans lequel s'inscrivent les effets subis par le sol. Il faut, en particulier, pouvoir délimiter dans ces effets, la part imputable à la pression des contraintes d'environnement (climatiques, géomorphologiques, humaines), contraintes qui, en engendrant des transformations, modifient la répartition des classes de qualité dans le temps et dans l'espace.

La classification des paramètres en sous-ensembles macromorphologiques, micromorphologiques ou physiques, chimiques - prend implicitement en compte le degré de réversibilité des transformations éventuelles, subies ou provoquées. Les transformations difficilement ou moyennement réversibles affecteraient les paramètres morphologiques, tandis que les transformations réversibles concerneraient les paramètres chimiques.

ANNEXES : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAUDOU (A.G.), CHATELIN (Y.), 1977.- Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques. Typologie et cartographie en milieu ferrallitique. Cah. ORSTOM (Paris), sér. Pédol., vol. XV, n° 1, pp. 3-18.
- BOYER (J.), 1970.- Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique intertropicale francophone. ORSTOM (Paris), 175 p., multigr.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.), 1972.- Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM (Paris), sér. Pédol., Vol. X, n° 2, pp. 25-43.
- DABIN (B.), 1968.- Etude des facteurs de la fertilité des sols tropicaux. Facteurs chimiques. in "Techniques Rurales en Afrique". Pédologie et Développement. ORSTOM BDPA, Secr. d'Etat aux Aff. Etrangères, Paris, Chap. 10, pp. 211-259.
- ELDIN (M.) et al., 1971.- Le climat. in "le milieu naturel de la Côte d'Ivoire". Mém. ORSTOM (Paris) n° 50, pp. 77-108.
- FORESTIER (J.), 1959.- La matière organique dans les sols en Oubangui-Chari. Agronomie Tropicale, vol. XIV, n° 3, pp. 323-348.
- POSS (R.), 1979.- Traitement de l'information et spatialisation en pédologie : l'exemple de la coupure Katiola. Informatique et Biosphère, Actes du Colloque d'Abidjan, pp. 179-195.
- POSS (R.), 1982.- Etude morpho-pédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire). Notice Explicative n° 94, ORSTOM (Paris), pp.
- POSS (R.) et SABATHE (R.), 1983.- Etude des aptitudes culturales de la région de Katiola pour les cultures pluviales annuelles, mécanisées, en assolement intensif. Les Presses de COPEDITH (Paris), n° 5421, pp. 1-30.
- SABATHE (R.), 1977.- Etude des aptitudes culturales des sols de la région d'Odienné. BNETD, Min. de l'Economie des Finances et du Plan (RCI), 69 p., multigr.