

applications de la pédologie à la géotechnique routière exemple du sénégal

par y. atlan - c. feller

56

documents du BRGM



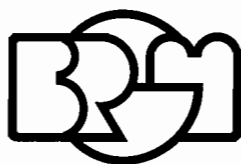
APPLICATIONS DE LA PÉDOLOGIE A LA GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE EXEMPLE DU SÉNÉGAL

par

Y. ATLAN* - C. FELLER**

*** Bureau de Recherches Géologiques et Minières**

**** ORSTOM**



RESUME

1 - OBJET ET PROGRAMME DE L'ETUDE

Le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV) a confié au BRGM (*) et à l'ORSTOM (*) une mission de recherche sur les possibilités d'application de la pédologie aux problèmes géotechniques dans les régions tropicales d'Afrique. Les buts visés étaient d'améliorer les méthodes de prospection de matériaux routiers et les études de plateformes en pays tropicaux.

L'étude a été menée en deux phases :

- étude bibliographique
- campagne d'échantillonnage sur le terrain, le pays choisi étant le Sénégal. Le CEREEQ, Centre d'Etude et de Recherche de l'Equipement, organisme national sénégalais dépendant du ministère sénégalais des TP, a été associé à cette partie de l'étude et son concours bénévole a été un élément déterminant du bon déroulement de la mission tant au plan logistique qu'au plan scientifique.

2 - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

L'étude bibliographique fait apparaître que pour l'ensemble des auteurs une approche pédologique dans les études de géotechnique routière peut présenter un intérêt aussi bien pour la compréhension du comportement des matériaux (recherche de corrélations entre données strictement géotechniques et données pédologiques : minéralogie des argiles, teneurs en sesquioxydes etc...) que pour une meilleure utilisation des données pédologiques existantes (recherche de caractérisation géotechnique d'unités pédologiques supérieures).

(*) BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières

ORSTOM Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Les conditions de genèse des sols sont considérées comme intervenant de façon fondamentale dans les propriétés géotechniques de leurs matériaux. Toutefois, l'application pratique de ces constatations est rendue difficile par :

- les différences de conception et de méthode entre pédologie et géotechnique,
- les problèmes de vocabulaire liés à l'existence de plusieurs types de classifications pédologiques et à l'utilisation de vocables (ex. : latérites, sols latéritiques) ayant pris des sens différents au cours de l'histoire.

Dans la presque quasi-totalité des études, on remarque que les relations pédologie-géotechnique ont été recherchées à partir des unités supérieures des classifications pédologiques (classes ou sous-classes, sols ferrugineux, ferrallitiques, ferrisols, vertisols). Les distinctions pédologiques à l'intérieur de ces grandes unités sont rarement pris en compte. Ces résultats de caractérisation globale des unités supérieures sont souvent décevants : la dispersion des mesures à l'intérieur d'une même unité apparaît importante ainsi que le recouvrement d'une unité à l'autre.

Cette approche suppose, a priori, que les unités pédologiques supérieures caractérisent non seulement des processus de pédogénèse mais aussi des matériaux. Ces cas existent mais sont plutôt rares. Citons les "vertisols" qui correspondent effectivement à des matériaux argileux gonflants et à l'opposé les "psamments" (cl. américaine, 7th Approximation) caractérisés par des matériaux sableux. En général, à une unité supérieure de classification pédologique correspond de nombreux types de matériaux. Inversement, un même matériau peut être rattaché à diverses unités supérieures de la classification.

Or la caractérisation géotechnique d'un matériau se fait essentiellement à partir de granulométries (taille des particules), de limites d'Atterberg (test de plasticité lié à l'"activité" des argiles) et de test de portance (lié aussi à la granulométrie et à l'"activité" des argiles). Les données pédologiques

correspondantes sont les granulométries et la minéralogie des argiles. Dans les cartographies pédologiques utilisant la classification française, ces informations apparaissent essentiellement au niveau de la famille (unité inférieure).

On peut donc espérer qu'une "lecture" des documents pédologiques, et en particulier des cartes, à ce niveau d'identification des sols (famille) permette un regroupement ou une division des unités pédologiques supérieures pour l'obtention d'unités géotechniques homogènes.

3 - RESULTATS DES CAMPAGNES D'ECHANTILLONNAGE

A partir des idées résumées plus haut, le programme de travail suivant a été décidé :

- étudier en laboratoire les caractéristiques physico-chimiques des principaux types de sols fins (sélectionnés en fonction de leur classification pédologique, leur texture, la nature de leurs minéraux argileux, de façon à être représentatif de la majorité des sols rencontrés au Sénégal) et réaliser parallèlement des essais géotechniques classiques d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg) et de portance (CBR) ;
- présenter et ordonner ces résultats expérimentaux en établissant les corrélations éventuelles entre données physico-chimiques et données géotechniques ;
- définir alors comment doivent être groupées ou divisées les unités de la classification pédologique pour obtenir des catégories de matériaux ayant des propriétés géotechniques semblables.

C'est à partir de résultats obtenus sur 76 échantillons que sont présentées les corrélations entre

- indice de portance (CBR) et pourcentage en argile plus limon fin (passant à 0,02 mm A + LF)
- indice de portance (CBR) et indice de plasticité (IP)
- indice de plasticité (IP) et pourcentage en argile plus limon fin (A + LF)
- capacité d'échange cationique (CEC) et teneur en argile (A)
- teneur en eau à pF 4,2 et indice de plasticité (IP) (population testée : environ 100 échantillons).

Les résultats obtenus sont les suivants :

3.1. Les corrélations montrent que la minéralogie des argiles, et, singulièrement la présence ou l'absence de montmorillonite, est un paramètre décisif quant au comportement géotechnique du matériau. C'est ainsi que la corrélation $IP / (A + LF)$ met en évidence qu'à pourcentage égal en $(A + LF)$, un sol où la montmorillonite est l'argile dominante, est plus plastique qu'un sol où elle ne l'est pas.

Par ailleurs, les corrélations CBR / IP et $CBR / A + LF$ indiquent qu'à valeurs identiques en IP ou $A + LF$, un sol contenant de la montmorillonite possède un CBR nettement plus faible qu'un sol n'en contenant pas.

On a donc ici les éléments d'un système de classement de sols qui utilise des paramètres pédologiques (présence ou absence de montmorillonite, teneur en argile plus limon fin) pour aboutir à des catégories géotechniques.

Les sols seront d'abord divisés en deux grandes classes : ceux à montmorillonite et ceux sans montmorillonite. Ensuite dans chacune des classes la teneur en $A + LF$ permettra d'obtenir une fourchette de valeur de IP et CBR .

L'existence d'une corrélation significative $IP / pF_{4,2}$, conduit à proposer la généralisation de la mesure de $pF_{4,2}$, (mesure simple, rapide et peu coûteuse) en géotechnique.

4 - APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE GEOTECHNIQUE ROUTIERE

L'examen des corrélations entre caractéristiques pédologiques et géotechniques fait ressortir l'importance de la connaissance des teneurs en argile + limon fin $(A + LF)$ et de la minéralogie des argiles (présence ou non de smectites) pour prévoir le comportement géotechnique des matériaux fins.

Les documents pédologiques contiennent toujours pour chaque unité cartographique les caractéristiques granulométriques soit sous forme chiffrée (A %, LF %, etc...) soit sous forme texturale (matériau sablo-argileux...) dans la légende des cartes au niveau de la famille.

La minéralogie des argiles, par contre, si elle est évidente pour certaines unités cartographiques (sols vertique, sols ferrugineux...) n'est pas toujours immédiatement disponible pour d'autres unités (sols peu évolués, sols hydromorphes...) Mais la corrélation entre la capacité d'échange cationique CEC et la teneur en argile du sol A % ($\frac{CEC}{A} \times 100$) permet de classer avec une forte probabilité un échantillon dans les séries minéralogiques 1 (sans argile gonflante) ou 2 et 3 (présence d'argiles gonflantes). Ces données CEC et A % sont systématiquement présentées dans les rapports pédologiques.

Il est donc possible sous réserve d'une lecture des légendes cartographiques au niveau de la famille de sols de transposer, soit directement, soit en les regroupant, les unités pédologiques en unités géotechniques.

A titre d'illustration il est présenté ici une carte géotechnique routière de reconnaissance établie à partir de la carte pédologique au 1/1 000 000 du Sénégal (MAIGNIEN, 1965). Cette carte pourra être utilisée pour les études d'avant-projet sommaire. Elle permet en effet de distinguer immédiatement les zones riches en matériaux grossiers (graves) des zones qui en sont dépourvues. Elle permet également de situer les zones à "problème" où des sols gonflants et/ou de portance routière médiocre seront très probablement rencontrés.

Il est sans doute utile que ce travail et son expression pratique, c'est-à-dire la carte géotechnique, soit complété, en particulier en prenant un pays présentant des types de sols tropicaux différents de ceux du Sénégal.

S O M M A I R E

AVANT-PROPOS		1 à 6
CHAPITRE I	Revue bibliographique	7 à 30
CHAPITRE II	Résultats des campagnes d'échantillonnages et discussion	31 à 42
CHAPITRE III	Application des données pédologiques à une cartographie géotechnique routière	43 à 53
BIBLIOGRAPHIE		54 à 57

ANNEXE N° 1	Monographies des études liant caractéristiques pédologiques et propriétés géotechniques en Afrique tropicale	1 à 12
ANNEXE N° 2	Fiches descriptives et analytiques des profils de sols	13 à 81
ANNEXE N° 3	Résultats analytiques - Campagnes 1978-1981 et 1979	82 à 88

FIGURES DANS LE TEXTE

- Figure 1 - Sites de prélèvement des échantillons
- Figure 2 - Corrélation γ_{op} - (A + LF)
- Figure 3 - Corrélation W_{op} - (A + LF)
- Figure 4 - Corrélation IP - (A + LF)
- Figure 5 - Corrélation CBR - (A + LF)
- Figure 6 - Corrélation CBR - IP
- Figure 7 - Corrélation IP - pF 4,2
- Figure 8 - Corrélation IP - C E C
- Figure 9 - Relation C E C - Argile %
- Figure 10 - $\frac{C E C}{A}$ en fonction de la minéralogie des argiles du sol.

TABLEAUX DANS LE TEXTE

- Tableau 1 - Capacité d'échange cationique C E C de divers constituants minéraux et organiques des sols
- Tableau 2 - Activité de quelques minéraux du sol
- Tableau 3 - Classification des sols étudiés
- Tableau 4 - Classification pédologique des sols du Sénégal et correspondance des unités pédologiques et géotechniques routières.

AVANT - PROPOS

- 1 - Objet et programme de l'étude
- 2 - Déroulement des travaux
- 3 - Plan du rapport

1 - OBJET ET PROGRAMME DE L'ETUDE

La Convention passée entre le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) en septembre 1980 donne, article 1, l'objet et le programme de l'étude présentée ici.

Objet

Cette recherche a pour objet d'améliorer les méthodes de prospection des matériaux routiers et les études de plateformes routières en pays tropicaux. Ce projet, en assurant une présence française dans un domaine de recherche déjà développé aux U.S.A., doit contribuer à fournir une aide aux bureaux d'études français dans leur recherche de matériaux routiers et à une diminution éventuelle des coûts des essais de caractérisation géotechnique des matériaux routiers.

Programme

La pédologie et la géotechnique ont un même objet d'étude : les sols. En Afrique Equatoriale et Tropicale du fait des processus d'altération, les études pédologiques, bien que portant sur la tranche superficielle, fournissent des données représentatives des couches sous-jacentes intéressant le niveau de plate-forme routière. Ainsi malgré la différence entre les objectifs des deux techniques, la confrontation des données géotechniques et pédologiques devrait permettre :

- l'utilisation à des fins de géotechnique routière des cartes et données pédologiques qui sont souvent plus abondantes que les mêmes documents en géotechnique,*
- la mise en oeuvre d'essais de caractérisation pédologique à des fins géotechniques , ces essais pouvant se révéler moins onéreux que les essais géotechniques.*

Le programme de recherche suivant sera mis en oeuvre :

- Recherche bibliographique exhaustive

Cette analyse bibliographique portera sur les recherches effectuées dans ce domaine et sur l'évaluation des données disponibles en AFRIQUE se prêtant à une confrontation des deux types de données.

- Détermination d'une zone d'étude

En fonction de l'analyse bibliographique et des lacunes ou points à approfondir mis en évidence, il sera procédé à la sélection d'une zone d'étude à l'échelle d'une région naturelle ou plus probablement d'un état (par exemple le NIGER ou le SENEGAL).

- Caractérisation géotechnique et pédologique des matériaux sols

Ce travail comprendra :

- . une définition pour la zone d'étude des types de genèse des sols,
- . pour chaque type de sol la caractérisation géotechnique et pédologique des "matériaux sols" à partir de prélèvements d'échantillons et l'exécution d'essais en laboratoire pour identifications pédologiques et géotechniques.

- Synthèse des données

Il sera établi les corrélations éventuelles entre les caractérisations géotechniques et pédologiques (essais, classement).

Une exploitation des corrélations qui auront pu être obtenues sera effectuée en vue d'améliorer les méthodes de prospection des matériaux routiers (utilisation des cartes pédologiques et essais pédologiques), d'améliorer éventuellement les études de plate-formes routières (ceci dépendant de la sensibilité des nouveaux paramètres vis-à-vis du comportement des sols.)

Il était précisé par ailleurs que pour la partie pédologique des travaux, le BRGM devait s'assurer de la collaboration de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) et que BRGM et ORSTOM prenaient à leur charge les essais de laboratoire nécessaires, le financement de l'étude étant donc d'une origine triple : MECV, BRGM et ORSTOM.

2 - DEROULEMENT DES TRAVAUX

2.1 Etude bibliographique

Un rapport d'étude bibliographique, le rapport BRGM n° 81 SGN 322 GEG intitulé "Corrélation entre les classifications pédologiques et les classifications géotechniques des sols tropicaux", dont les auteurs étaient Y. ATLAN (BRGM), C. FELLER (ORSTOM) et M. VIARGUES (BRGM) a été édité en mai 1981.

2.2 Campagnes d'échantillonnage

Le Sénégal a été choisi comme région d'application des idées dégagées au cours de l'étude bibliographique car, d'une part, de nombreux résultats pédologiques (ORSTOM) et géotechniques routières (CEREEQ^(*)) étaient déjà disponibles, d'autre part, que les travaux sur ce sujet avaient déjà été publiés par Y. ATLAN et C. FELLER.

La campagne de reconnaissance et d'échantillonnage effectuée en février 1981 dans le cadre spécifique de la convention entre MECV et BRGM s'est donc fixée comme objectif de compléter les résultats déjà acquis par des essais sur les types de sols non représentés (ou peu représentés) dans les études antérieures pour :

(*) CEREEQ = Centre d'Etude et de Recherche pour l'Equipement. Cet établissement est un organisme national sénégalais dépendant du Ministère des Travaux Publics du Sénégal.

- confirmer les corrélations mises en évidence par ATLAN et FELLER (1980),
- donner, à partir des cartes pédologiques, une expression cartographique de ces résultats qui réponde au besoin des ingénieurs routiers (recherche de gisement de matériau de viabilité, étude de la portance routière des sols).

L'ensemble des résultats présentés ici provient en définitive de trois campagnes, dont la chronologie est la suivante :

- 1977-1978 : échantillonnages et essais par CEREEQ et ORSTOM, ayant abouti à la communication de ATLAN et FELLER (1980)
- 1979: deuxième série d'essais sur des échantillons prélevés par le CEREEQ dans le cadre des études routières menées par cet organisme pour le compte de l'administration sénégalaise. Cette deuxième série d'essais n'avait pas encore jusqu'ici fait l'objet d'une interprétation.
- 1981 : derniers échantillonnages et essais, sur financement du MECV, BRGM et ORSTOM, pour compléter les campagnes précédentes.

3 - PLAN DU DOCUMENT

Le document ci-dessous reprend l'ensemble des études citées au § 2, de façon à constituer un document de synthèse et un dossier suffisamment exhaustif pour pouvoir s'y reporter sans avoir à consulter les rapports intermédiaires.

Cette étude a été financée en partie par un crédit de la Direction des Affaires Economiques et Internationales du Ministère des Transports.

M. GUERIN de la D.A.E.I. et M. AUTRET du L.P.C. étaient responsables au titre de l'Administration de son suivi.

Le plan adopté est le suivant

Chap. 1 - Etude bibliographique

Chap. 2 - Résultats des campagnes d'échantillonnages et exploitation de ces résultats

Chap. 3 - Application des données pédologiques à une cartographie géotechnique routière

Chap. 4 - Conclusions

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

- 1 - Présentation du projet : possibilité et intérêt des corrélations pédologie-géotechnique
- 2 - Classifications géotechniques des sols
- 3 - Classifications pédologiques des unités supérieures
- 4 - Comparaison entre les classifications géotechniques et pédologiques
- 5 - Corrélations entre propriétés physico-chimiques et géotechniques des sols
- 6 - Monographies des études liant caractéristiques pédologiques et propriétés géotechniques en Afrique tropicale
- 7 - Conclusion à l'étude bibliographique

1 - PRESENTATION DU PROJET : POSSIBILITE ET INTERET DES CORRELATIONS PEDOLOGIE GEOTECHNIQUE

L'idée d'utiliser les résultats obtenus par les pédologues et en particulier les cartes pédologiques pour faciliter les reconnaissances géotechniques relatives aux ouvrages de génie civil (surtout projet de routes, de voies ferrées, d'aéroports et de grands ensembles d'habitation) n'est pas récente. LEONARDS (1962) cite des recherches, datant de 1940, 1943, 1954, effectuées par le Michigan State Highway Department et ayant précisément pour objet de montrer la possibilité d'application des résultats de la pédologie aux grands travaux de génie civil.

Il faut néanmoins constater que ces tentatives n'ont pas été poursuivies à la seule exception du cas des sols tropicaux. Une raison évidente de cet état de fait est que, en réalité, le domaine physique étudié par la pédologie ne coïncide pas totalement avec celui abordé par la géotechnique.

Pour la géotechnique la notion de sol est avant tout mécanique. Un sol est une roche meuble (ARNOULD, 1968) composée d'eau, d'air, de grains solides minéraux qui peuvent être séparés par des moyens mécaniques peu puissants comme l'agitation dans l'eau (TERZAGHI, 1965). D'autres définitions du matériau sol au sens géotechnique ont été données, qui reviennent toutes à la notion de "roche meuble".

Citons parmi les plus expérimentales et les plus empiriques celle de WINTERKORN et CHANDRASHEKARAN (1951) : "Le sol, au sens géotechnique, comprend tous les matériaux de la croûte terrestre qui peuvent être extraits à la pelle " et parmi les plus soucieuses de rigueur celle de LAMB et MARTIN (1955) pour qui un sol est composé de particules non fortement liées entre elles et dont le comportement relève de la "mécanique particulaire", mécanique à placer entre la mécanique des solides et la mécanique des fluides.

Pour la pédologie la notion de sol est à la fois plus complexe et plus limitée dans l'espace. MATTSON (cité par DUCHAUFOR 1970) a pu dire que le sol se formait au point d'intersection de l'atmosphère, de

l'hydrosphère et de la biosphère. Le sol, pour la pédologie, est donc le résultat sous l'action combinée des facteurs du milieu de la transformation de la roche mère. Selon DUCHAUFOR (1970) le substratum géologique, la "roche mère", fournit, par sa décomposition, les éléments minéraux du profil, alors que la végétation donne naissance à la matière organique : les facteurs climatiques et biologiques provoquent une transformation et un mélange plus ou moins complet de ces éléments ; en outre, les substances solubles ou colloïdales peuvent migrer d'un horizon à un autre : ainsi certains sont appauvris, d'autres enrichis. L'ensemble de ces processus conduit à la différenciation des horizons et au développement du profil.

La désignation correcte du profil de sol devra comprendre quatre termes fondamentaux :

- un terme d'évolution pédologique ;
- un terme de texture (complétée par la structure) ;
- un terme de profondeur : superficiel, peu profond, profond... ;
- un terme précisant la nature de la roche-mère.

On note donc :

a) qu'une même formation peut être considérée comme un sol par le géotechnicien et comme une roche (meuble) par le pédologue ;

b) que le pédologue ne s'intéresse qu'à la frange superficielle de la croûte terrestre constituée par l'altération de la roche-mère et, cela surtout du point de vue de son évolution.

Or, dans les pays tempérés l'épaisseur du sol au sens pédologique est souvent faible (inférieur à 1 à 2 m) ; l'apport des données pédologiques est donc assez peu utile à l'ingénieur en génie civil qui le plus souvent doit prendre en compte dans ses projets les caractéristiques de couches de terrain de plus de 10 m de puissance.

Par contre dans les pays tropicaux, la profondeur d'un profil

pédologique est le plus souvent suffisamment importante, pour que les matériaux constitutifs du profil pédologique soient le support des fondations de bâtiment ou de route, ou les matériaux de viabilité des chaussées. Cette opposition entre l'utilisation de la pédologie en régions tempérées et tropicales est encore renforcée par l'état différent de développement économique qui existe entre ces zones.

Concernant les travaux routiers, on constate en effet que dans les pays développés tempérés, où la technique routière a pour objet la construction de routes à fort trafic, l'application des études pédologiques est réduite puisque :

- les terrassements (déblais, remblais) sont suffisamment importants pour que le plus souvent le niveau de la plate-forme de la route ne soit pas, géométriquement, dans la frange des matériaux superficiels qui sont le domaine de la pédologie ;
- le corps de chaussée est fait à partir de concassés souvent stabilisés au ciment, au bitume ou au laitier ;
- l'épaisseur du corps de chaussée, couche anti-gélive éventuellement comprise, est assez grande pour absorber la majeure partie des contraintes (normales et de cisaillement) engendrées par le trafic et réduire ainsi l'influence sur la pérennité de la route de la nature du sol de fondation.

Dans les pays tropicaux en voie de développement, la situation est totalement différente. Le plus souvent pour des raisons économiques et d'adaptation des structures de chaussée à un trafic relativement faible, on a :

- une route qui colle au terrain ;
- un corps de chaussée fait à partir de matériaux naturels ; sable, graveleux argileux etc. ;
- une épaisseur de chaussée inférieure à 40 cm.

En outre, même si des terrassements sont nécessaires, le niveau de la plate-forme reste en général dans le domaine étudié par la pédologie, car le développement des profils peut atteindre plusieurs mètres du fait du processus d'altération de la roche-mère en régions tropicales et équatoriales.

Enfin, sur un plan matériel, les documents existants les plus nombreux concernant le matériau sol sont bien souvent les documents pédologiques^(*) (cartes et études diverses), les cartes géotechniques étant peu nombreuses et les documents géologiques peu utilisables.

Il paraît donc intéressant pour les régions tropicales de tenter d'utiliser les données pédologiques pour aider à une meilleure classification géotechnique des sols bien que les méthodes et les concepts de la pédologie et de la géotechnique soient très différents.

Nous avons examiné les possibilités d'utilisation des résultats pédologiques en géotechnique. La question inverse peut-être posée : existe-t'il des techniques géotechniques susceptibles d'intéresser les pédologues ? Le propos de ce papier n'est pas de traiter cette question mais signalons cependant les études récentes sur le compactage des sols sous l'effet du trafic agricole menées par les agro-pédologues (GUERIF et FAURE 1979).

2 - CLASSIFICATIONS GEOTECHNIQUES DES SOLS

2-1- Classifications "générales"

Les classifications géotechniques ont pour but de placer un sol dans une catégorie présentant des propriétés mécaniques ou hydrauliques analogues et cela au moyen d'observations simples et d'essais peu coûteux.

(*) c'est le cas de nombreux pays de l'Afrique de l'Ouest.

En fait, plusieurs classifications à objectifs thématiques différents ont été proposés. Aux USA le "Corps of Engineers" a mis au point une classification des sols à partir de leur granulométrie qui permet uniquement de juger de leur susceptibilité au gel. Le "Bureau of Public Roads" a établi une autre classification utilisable pour les problèmes routiers. Le "Corps of Engineers" a établi une troisième classification relative à la construction des pistes d'aéroports.

En 1952, le "Bureau of Reclamation" et le "Corps of Engineers" mirent au point un "système unifié", le "Unified Classification System" (UCS) ayant pour objet de prendre en compte tous les problèmes de comportement des sols dans leur utilisation par l'ingénieur (WAGNER, 1957). Les paramètres ou "index" utilisés sont la granulométrie et les limites d'Atterberg.

En France, la classification UCS a été adoptée après de légères modifications par le laboratoire des Ponts et Chaussées.

Plus récemment (1976-1977) le SETRA(*) et le LPC(*) ont publié une classification spécialement adaptée à l'utilisation des sols en remblais et en couche de forme dans "Recommandations pour les terrassements routiers". Granulométrie et limites d'Atterberg sont aussi les paramètres essentiels mais la cohérence de l'ensemble est faible : 2 des 6 classes (E et F) sont définies d'abord par des considérations sur la nature géologique du sol qu'à ses propriétés chimiques ou hydriques.

Les exemples donnés ci-dessus révèlent que le problème de la cartographie géotechnique n'a pas été pris en compte dans la conception de ces classifications. Les cartes géotechniques sont presque toujours des cartes de contraintes (cartes "thématiques") dessinées à partir d'un recueil de données géologiques (lithologie, hydrologie, relief, ...) en fonction d'un problème particulier : par exemple ressource en matériaux, risques naturels, ou bien système de fondation à mettre en oeuvre. Il s'agit là, comme on le verra au paragraphe suivant, d'une différence fondamentale avec la conception des systèmes de classifications pédologiques pour lesquels on a posé dès l'origine le principe qu'elles devaient permettre une expression cartographique.

(*) SETRA Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
LPC Laboratoire des Ponts et Chaussées.

2.2 - Classifications tropicales

La plupart des auteurs s'accordent à déclarer que les sols tropicaux méritent, de par leurs propriétés particulières, une classification spécifique justifiée par les remarques suivantes :

- certains sols tropicaux présentent des caractéristiques mécaniques qui ne sont pas comprises dans l'intervalle de valeurs que permettrait de prévoir la seule considération des paramètres de classification UCS (granulométrie et limites d'Atterberg),
- il est parfois possible à partir de considérations pédologiques simples et peu coûteuses de prévoir la classe UCS et/ou de séparer en deux ou trois sous classes une classe UCS.

Cependant, malgré cette nécessité ressentie, très peu de systèmes complets de classifications géotechniques des sols tropicaux ont été proposés.

La proposition probablement la plus récente et la plus appuyée par des résultats expérimentaux est celle de LYON Ass. (1976), qui concerne essentiellement les sols dit "latéritiques", pour lesquels les auteurs proposent une classification en sols ferrugineux, sols ferralitiques et ferrisols.

LITTLE (1969) a mis au point une classification fondée sur le degré d'altération. Toutefois, le caractère extrêmement qualitatif, l'absence de critère mesurable et le fait que des paramètres importants soient ignorés (roche mère, type d'altération) sont les principales critiques que l'on peut porter à ce travail.

CLARE (1957) a proposé un des rares systèmes englobant tous les sols tropicaux. Ce système est basé sur la nature de la roche mère et le degré d'altération. Très intéressant au plan scientifique, ce système l'est moins pratiquement car il ne permet pas de définir pour chaque classe, l'ordre de grandeur des propriétés géotechniques (ou bien les relations entre propriétés géotechniques à l'intérieur d'une classe) ni les méthodes permettant de classer simplement un sol. Il semble cependant que les principes posés soient parmi les plus fructueux.

3 - CLASSIFICATIONS PEDOLOGIQUES DES UNITES SUPERIEURES

Les principes selon lesquels sont construites les classifications pédologiques modernes font l'objet de présentations synthétiques dans les ouvrages de AUBERT et BOULAIN (1967) et DUCHAUFOUR (1970). La plupart des développements qui suivent en sont directement inspirés.

3.1. - But de la classification pédologique

La systématique des sols doit résoudre un double problème :

- classer les unités supérieures, grouper les grands types de sols mondiaux, en fonction de leur genèse, de leurs propriétés fondamentales, fournir un cadre, en quelque sorte, qui serve de base à la science pédologique ;

- donner aux cartographes un outil commode, pour dresser des cartes à grande échelle, utilisables à des fins pratiques (par exemple en agronomie). Il faut alors classer les sols, souvent d'après des caractères de détail, n'ayant qu'une importance occasionnelle ou locale ; il faut aussi les définir et les désigner ; cette classification des unités inférieures pose un problème entièrement différent de celui des unités supérieures et ne sera pas envisagé ici.

En ce qui concerne la classification des unités supérieures, les classes, tous les auteurs s'accordent à estimer que celle-ci doit faire abstraction des propriétés de détail des sols, et se baser exclusivement sur les processus d'évolution fondamentaux des profils, la pédogenèse, d'où le terme communément employé de classification génétique. Les premières classifications génétiques étaient basées, d'une manière exclusive, soit sur un facteur déterminant du milieu (par exemple le climat), soit sur un processus

physico-chimique conditionnant l'évolution. Les classifications les plus récentes se basent sur l'ensemble des caractères du profil : morphologiques, biologiques, physico-chimiques, minéralogiques, dans la mesure où cet ensemble de caractères intègre le processus évolutif. Il s'agit des classifications génétiques à caractère synthétique.

3.2 - Choix des critères de base

Les classifications les plus récentes s'appuient sur une base génétique, mais donnent la priorité aux "caractères" des sols traduisant le processus évolutif, plutôt qu'aux circonstances, aux causes extérieures de l'évolution : celles-ci n'interviennent qu'au niveau des sous-classes.

Les critères fondamentaux sont alors les suivants :

a) le développement du profil en liaison avec le degré d'évolution :

On distingue ainsi quatre types de profils : (*)

- profil (A)C : sols minéraux bruts ;
- profil AC : sols peu différenciés, contenant de la matière organique dans l'horizon A ;
- profil A (B)C : sols évolués par altération : horizon (B) d'altération ;
- profil ABC : sols évolués par altération et offrant en outre un processus d'entraînement, générateur d'un horizon B d'accumulation.

(*) Voir annexe 2 pour la définition des horizons A, B, C....

b) le mode d'altération climatique

Une "progression" très nette s'observe depuis les types les moins évolués s'observant en climat de steppe, jusqu'aux types les plus évolués, caractéristiques des climats équatoriaux humides.

c) le type de matière organique et son influence sur l'évolution des sols

Ce critère est considéré comme capital par la plupart des classifications européennes. Il passe au second plan dans la classification américaine (sauf pour un des ordres fondamentaux, les Mollisols).

d) l'hydromorphie

Dans la plupart des classifications, l'hydromorphie est considérée comme un critère fondamental, si elle est suffisamment accentuée pour modifier et masquer toute autre action du milieu sur l'évolution des sols. L'hydromorphie permet alors de définir une ou deux classes hydromorphes. Si, au contraire, l'hydromorphie n'exerce qu'une action modérée et localisée sur l'évolution du profil, elle n'intervient que dans les subdivisions secondaires de la classification.

3.3 - Hiérarchie des caractères

A partir des 4 types de caractéristiques définis plus haut (et qui ne sont pas indépendants entre eux) la plupart des classifications distinguent un nombre de classes allant de 10 à 15.

Signalons cependant que plusieurs d'entre elles conservent certaines particularités par lesquelles elles s'écartent des principes précédents ; ces particularités sont les suivantes :

- importance donnée aux conditions de roche mère (de préférence au processus évolutif, donc pédogénétique) lorsque la roche mère, en raison de propriétés physico-chimiques très particulières, influence de manière immédiate et accentuée les propriétés du sol : c'est le cas des Sols calcimorphes et halomorphes de la plupart des classifications, des Vertisols de la classification américaine, des Pélosols de la classification allemande. Les classificateurs français se sont ralliés à ce point de vue en ce qui concerne les Vertisols.

- importance donnée par certaines classifications aux conditions de "pédoclimat" ou climat interne du sol. C'est le cas de la classification américaine qui définit l'ordre des Aridisols, sols à pédo-climat très sec. Cette même classification utilise les caractères de micro-climat pour définir de nombreux sous-ordres. Ce critère est parfois pris en considération mais de façon moins systématique par la classification française.

- place différente donnée à l'"hydromorphie" dans la hiérarchie des caractères. Certaines classifications considèrent l'hydromorphie comme fondamentale et la place au niveau le plus élevé de la classification (C.P.C.S., 1967). Inversement, d'autres classifications, (cl. américaine, 1960) considèrent l'hydromorphie comme un phénomène secondaire qui se superpose au processus évolutif de base, sans le modifier : elles n'utilisent ce critère qu'au niveau des sous-classes.

- importance secondaire accordée au "type d'humus". Ce caractère de la classification américaine de 1960 l'oppose nettement à la plupart des classifications européennes. Les classificateurs américains remplacent la notion de "type d'humus" par celle moins précise d'épipédon comprenant non seulement les horizons proprement humiques (A_0 ou A_1), mais l'ensemble des horizons A : les épipédons, moins variés que les types d'humus, sont aussi plus stables et

reconnaissables même si le sol est mis en culture ; l'identification des types de sols est basée sur celle des horizons dit permanents : horizons minéraux, horizons B et le cas échéant "épipédon".

4 - COMPARAISON ENTRE LES CLASSIFICATIONS GEOTECHNIQUES ET PEDOLOGIQUES

Une différence fondamentale entre pédologie et géotechnique concerne le domaine géométrique étudié par chacune de ces disciplines. Ces domaines ne se recouvrent que partiellement (voir § 1.) Un exemple particulièrement évident est celui de la place primordiale accordée aux caractéristiques de l'horizon A humifère dans la classification pédologique d'un profil alors que cet horizon n'a aucun intérêt pour le géotechnicien car généralement peu épais et souvent excavé avant toute construction de route ou de bâtiment.

L'examen des classifications géotechniques et pédologiques (voir § 2. et 3.) montre qu'une autre différence existe même s'il y a identité du domaine physique étudié (par exemple couche superficielle meuble d'une dizaine de mètres qui serait un sol au sens pédologique) : les questions que se posent les pédologues (en gros genèse des sols et caractéristiques physico-chimiques et cela sans avoir en vue une application précise) les amènent à étudier de manière approfondie (et à utiliser dans leurs classifications) des caractéristiques sans intérêt immédiat pour la connaissance des caractéristiques mécaniques (comportement sous l'effet de contraintes) du matériau sol.

Il n'y a donc pas en général correspondance entre une classe pédologique et une classe géotechnique.

Comme on le verra plus loin il ne semble pas que cette difficulté ait été correctement analysée par tous les auteurs. Ceci a conduit

à des confusions dans le vocabulaire (les géotechniciens ne se sont pas toujours rendu compte que le mot "latérite" pouvait avoir des définitions différentes selon les auteurs) et surtout à finalement fait aboutir à des avis très variables quant à l'existence d'un lien entre caractérisation pédologique et caractérisation géotechnique.

5 - CORRELATIONS ENTRE PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES DES SOLS

Les propriétés physico-chimiques caractérisant un sol sont d'un point de vue pédologique très nombreuses. Nous ne nous intéresserons ici qu'aux propriétés relatives à un matériau remanié (par opposition à un matériau non remanié pour lequel on définit la structure, on mesure la porosité etc...) de façon à avoir des relations possibles avec les propriétés géotechniques (limites d'Atterberg, essai Proctor, CBR, granulométrie) mesurées elles aussi sur des échantillons remaniés. L'énumération donnée ci-dessous se limite aux mesures les plus classiques et aux paramètres minéralogiques et chimiques présentant des particularités dans le cas des sols tropicaux.

5.1.- Texture du sol et granulométrie

La texture du sol est une classification du matériau selon sa granulométrie. Les classes habituellement retenues diffèrent légèrement de celles de la géotechnique. On distingue pour les matériaux fins :

SG sables grossiers	0,2 - 2 mm
SF sables fins	0,05 - 0,2 mm
LG limons grossiers	0,02 - 0,05 mm
LF limons fins	0,002 - 0,02 mm
A argiles	0 - 0,002 mm

Dans les études de corrélations, la fraction 0-0,02 mm (A + LF) est souvent préférée à la seule fraction argileuse A.

On note donc, entre pédologie et géotechnique, que :

- la coupure à 2 μ m (argile) est bien la même pour les deux disciplines tandis que,
- la coupure à 80 μ m ("fines"), importante en géotechnique n'est pas retenue en analyse pédologique de routine. Dans les travaux pédologiques, la coupure à 50 μ m permet de séparer les limons grossiers (LG) des sables fins. Il est probable que les différences entre 80 et 50 μ m pour les deux approches ne modifient pas fortement les diverses interprétations analytiques.

5.2 - Potentiel capillaire (pF) en indice de plasticité (IP)

Le potentiel capillaire représente l'énergie de rétention de l'eau par le sol (HALLAIRE, 1953). Il se mesure par des teneurs en eau d'échantillons de sols soumis à diverses pressions (voir DUCHAUFOR, 1970) et s'exprime par le symbole pF (*).

La teneur en eau à un pF donné (* *) dépend de la granulométrie du sol, en particulier de la teneur en argile (A) ou argile + limon fin (A + LF) (HALLAIRE, 1956).

L'indice de plasticité IP défini comme une différence des teneurs en eau aux limites de liquidité et plasticité exprime un état de l'eau dans le sol. Cet indice est fonction aussi de la quantité et de la nature des minéraux argileux (SKEMPTON, 1953).

Il est donc logique de chercher des corrélations entre différents pF et les limites d'Atterberg ou IP, corrélations mises en évidence par COMBEAU (1964) pour quelques sols tropicaux.

(*) pF = $\log P$ où P = pression appliquée au sol et exprimée en cm de hauteur d'eau. Les pF sont déterminés au laboratoire à l'aide d'une presse à membrane sur échantillons de sol remanié. Ainsi, les teneurs en eau d'un sol à pF 2,5 et pF 4,2 représentent respectivement l'humidité conservée par l'échantillon préalablement saturé en eau et soumis à des pressions d'environ 0,3 et 16 atmosphères.

La capacité au champ est la capacité de rétention du sol en place pour l'eau et se mesure après inondation et ressuyage du sol. Cette détermination qui se fait sur le terrain, demande beaucoup de temps et de nombreuses répétitions. Aussi, pour les études de routine, lui préfère-t-on la détermination d'un pF, préalablement défini en fonction du type de sol (en général pF 2,5).

Le point de flétrissement permanent est défini statiquement comme la teneur en eau du sol à pF 4,2 (16 atmosphères). Il représente la limite inférieure de l'eau utilisable par les plantes.

(* *) Dans la suite de ce rapport, on utilisera de façon simplifiée, le terme "pF" pour désigner les teneurs en eau à un pF donné ex. : pF 4,2 signifie teneur en eau à pF 4,2.

5.3 - Propriétés chimiques du sol

5.3.1 - Matière organique ou humus

La détermination de la matière organique (MO%) se fait par la mesure de carbone organique corrigé par un coefficient multiplicatif égal à 1,72. La matière organique est un élément très important pour les classifications pédologiques, les études de fertilité et de pédogenèse.

En géotechnique cette détermination n'a d'intérêt que pour éliminer les matériaux présentant des teneurs en matière organique supérieures à un taux qui dépend de l'utilisation du matériau.

On notera tout de même (voir § . 5.3.3.) que la matière organique est caractérisée par une capacité d'échange cationique (CEC) élevée dont il faudra tenir compte dans les études de corrélation entre CEC du sol et diverses déterminations géotechniques. En général les corrélations sont faibles entre MO% et IP ou Wop (DE LA ROSA, 1979).

5.3.2.- pH ou acidité du sol

Le pH mesure l'acidité d'un sol dans des conditions standards de rapport sol/eau (1/2,5).

Le pH peut varier de 2,0 (sols sulfatés acides de mangroves) à 10,0 (sols à alcalis : solonetz).

Les traitements géotechniques des matériaux devront donc tenir compte de cette donnée dans les cas particuliers de forte acidité ou basicité.

La littérature sur les sols tropicaux ne donne pas d'exemple de corrélation entre acidité et caractéristiques géotechniques .

La raison en est que de nombreux facteurs du milieu influent sur le pH du sol : végétation, pratiques culturales, taux de saturation etc...

5.3.3.- Phénomènes d'échanges cationiques dans le sol

Les colloïdes organiques et minéraux électronégatifs du sol retiennent autour de leurs molécules un "essaim" de cations. Ces cations sont H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} ... Tous ces ions sont dits échangeables parce qu'ils peuvent participer à des échanges réversibles avec les ions positifs existants dans la solution du sol.

On définit un certain nombre de constantes qui permettent de caractériser l'état du complexe absorbant du sol :

- la capacité d'échange cationique, CEC, (exprimée en meq/100g) qui représente le potentiel maximum du complexe absorbant à fixer des cations échangeables. La CEC varie selon la nature et la quantité des colloïdes minéraux (essentiellement des argiles) et organiques (humus). Le tableau 1 donne quelques valeurs caractéristiques de CEC pour divers types de minéraux et de matière organique ;

Tableau 1 - Capacité d'échange cationique CEC de divers constituants minéraux et organiques des sols (exprimée en milliéquivalents meq/100 g sol)

(1) selon DUCHAUFOR (1970)

(2) selon LYON Ass. (1976) citant GRIM (1968) et BIRKELAND (1974)

	selon (1)	selon (2)
Kaolinite	10	3 - 15
métahalloysite ($2 H_2O$)		5 - 15
halloysite hydratée ($4 H_2O$)		40 - 50
Illite	30 - 60	10 - 40
Montmorillonite	100	80 - 150
chlorite		10 - 40
vermiculite	120 - 150	100 - 150
allophane	100	25 - 70
oxyde de Fe ou d'Al		4
matière organique	100 - 500	150 - 500

- le taux de saturation $V = \frac{S}{CEC} \times 100$ où S représente la somme des cations échangeables : $Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}$

La littérature ne donne pas de relation simple entre V et des paramètres géotechniques (mêmes observations que pour le pH).

Par contre en absence de matière organique (ou en présence de faibles teneurs) CEC dépend essentiellement pour un sol donné de la quantité et de la nature des minéraux argileux.

Comme nous l'avons vu au paragraphe 5.2., il en est de même de l'indice de plasticité IP.

Ainsi la mise en évidence de corrélations entre CEC, IP et A% peuvent être utiles à rechercher pour l'interprétation à des fins géotechniques des documents pédologiques où la détermination de la CEC pour chaque type de sol est presque systématiquement effectuée.

GIDIGASU (1971), DE LA ROSA (1979) ont tenté de mettre en évidence des relations entre CEC, A%, IP et Wop (teneur en eau à Optimum Proctor). Les corrélations A% - IP et A% - Wop sont hautement significatives mais celles entre IP et CEC n'apparaissent pas nettement.

Remarquons que dans cette étude les analyses statistiques portent sur des échantillons ayant des teneurs en matière organique (Mo%) différentes, ce qui pourrait, en partie, expliquer l'absence de corrélation nette entre CEC et IP.

5.4. - Minéralogie, "activité" des argiles

La composition minéralogique des éléments inférieurs à 0,002mm (argiles granulométriques) est un paramètre essentiel parmi ceux qui déterminent le comportement mécanique d'un sol.

En géotechnique les index utilisés pour apprécier les matériaux fins et leur "activité" sont le "passant à $80\mu\text{m}$, m, et l'indice de plasticité IP : m donne la proportion de matériaux fins, et IP permet de juger si ces matériaux fins sont inertés (quartz,...) ou actifs : (argiles minéralogiques).

IP et m sont des paramètres globaux dont l'intérêt réside dans la simplicité de détermination ce qui permet de fixer des normes d'acceptation ou de refus des matériaux sur les chantiers.

Dans le tableau 2 sont présentés les activités de quelques minéraux.

Tableau 2 Activités de quelques minéraux du sol (d'après SKEMPTON, 1953)

Minéral	Activité
Quartz.....	0
Calcite.....	0,18
Kaolinite.....	de 0,33 à 0,46
Illite.....	0,90
Montmorillonite Ca.....	1,5
Montmorillonite Na.....	7,2

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques des principaux minéraux argileux des sols et les relations éventuellement établies avec les propriétés géotechniques des matériaux.

5.4.1.- Kaolinite (2SiO_2 , Al_2O_3 , $2\text{H}_2\text{O}$)

C'est l'argile la plus pauvre en silice. Elle est dominante dans les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques.

La faible activité de cette argile explique les bonnes propriétés géotechniques de ces sols.

5.4.2. Montmorillonite ($4\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$) ou smeclites

Les smectites sont présentes dans de nombreux sols et sont caractéristiques des vertisols (*) ou des sols apparentés. Elles se forment en général à partir de roches-mères basiques et d'environnements confinés et alcalins (HOSKING 1940, HARDON et FAVEJEE 1939).

Cet argile de par sa structure et l'arrangement de ses particules possède des propriétés de gonflement particulières. Son activité est très élevée. Elle confère au sol de mauvaises qualités géotechniques (LYON Ass., 1976).

5.4.3. - Halloysite

L'halloysite souvent trouvé dans les sols volcaniques (* *) existe sous deux formes : l'halloysite hydratée $\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 4\text{H}_2\text{O}$, et la métahalloysite $\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$. La présence d'halloysite hydratée pose un problème spécifique. La mesure des limites d'Atterberg, les mesures Proctor et CBR exigent un séchage du sol. Celui-ci peut, dans certaines conditions de température, entraîner une déshydratation, donc une transformation de l'halloysite hydratée en métahalloysite. Les propriétés géotechniques mesurées en laboratoire ne sont alors pas celles du matériau in situ. Des techniques particulières doivent donc être mises en oeuvre. Cette argile très active a fait l'objet d'une mise au point bibliographique par LYON Ass. (1976) et MICHALSKY et TEYSSONNIERE (1977).

(*)selon les pays ces sols portent des noms particuliers : "tirs", "argiles noires tropicales", "black cotton soils" etc...

(* *) Ces sols ne sont pas étudiés dans ce travail. Halloysite et métahalloysite peuvent apparaître aussi parfois dans les horizons altération d'autres types de sols, par exemple, altérations ferralitiques sur granites.

5.4.4.- Allophane

Allophane est un terme utilisé pour décrire un matériau amorphe dont la composition varie de SiO_2 , Al_2O_3 , H_2O à SiO_2 , Al_2O_3 , $3\text{H}_2\text{O}$. La présence d'allophane hydratée dans un sol pose les mêmes problèmes que la présence d'halloysite hydratée : la dessiccation transforme complètement ses propriétés physiques et mécaniques.

Les allophanes sont caractéristiques des andosols et des sols peu évolués sur matériaux volcaniques.

5.4.5.- Gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$

La gibbsite est présente dans divers types de sols, en particulier les sols ferrallitiques, les ferrisols (bauxites) et certains sols volcaniques. FROST (1967) a attribué à la présence de la gibbsite des variations de propriétés au séchage observées sur des sols de Nouvelle-Zélande. Les variations ont également été notées par LYON Ass. (1976) sur des sols ferrallitiques provenant de régions où les précipitations sont supérieures à 1500 mm/an. Cependant LYON Ass. signale que les différences entre les limites d'Atterberg selon les méthodes de séchage sont le plus souvent non significatives.

A ce propos, il est important de noter que la présence ou non d'allophane, d'halloysite et de gibbsite (suivant les cas) est la seule cause mise en évidence expérimentalement de la susceptibilité de certains sols tropicaux au séchage. Malheureusement il se trouve que beaucoup d'auteurs ont englobé sous le terme "latérite" une grande variété de sol, certains développés sur cendres volcaniques et contenant des allophanes, d'autres n'en contenant pas. Il s'en est suivi une grande confusion dans les conclusions. Pour les uns les "sols latéritiques" ont des propriétés inférieures à ce que permettrait de prévoir leur paramètres d'identification (LOHNES, 1971). Pour les autres les sols ont des comportements identiques à ceux des sols tempérés. (MEYER, 1967).

A notre sens la principale raison de ces avis divergents est liée à la signification donnée aux termes latérite et sol latéritique. Les matériaux de ces sols présentant souvent de grandes différences tant du point de vue granulométrique que minéralogique. Par exemple, MICHALSKI et TEYSSONNIERE (1977) ont publié une étude bibliographique intitulée "étude géotechnique des sols tropicaux" qui ne concerne que les sols développés sur roches volcaniques en climat tropical humide. On est loin de la généralité du titre. Signalons que, cette intéressante étude rassemble de nombreux résultats expérimentaux sur les sols à allophanes et/ou halloysite hydratée.

5.4.6. Sesquioxydes

Les sols à sesquioxydes (R_2O_3) très individualisés forment une classe de la classification pédologique qui correspond à peu près aux sols latéritiques des divers auteurs. Ces sols sont formés en climat tropical.

De nombreux auteurs pensent que la présence de sesquioxydes dans les sols ferrallitiques et ferrugineux leur confère des propriétés géotechniques meilleures que celles que l'on pourrait leur attribuer par la seule considération de leur classification géotechnique.

En d'autres termes un sol classé Ap dans la classification LPC présenterait en général, s'il s'agit d'un sol contenant des sesquioxydes, des propriétés géotechniques meilleures que celles d'un sol tempéré.

L'explication donnée est la suivante : les sesquioxydes recouvrent les particules d'argile d'une couche qui les agglomère en agrégats moins actifs. Cette structure est partiellement détruite lors des remaniements importants qui ont lieu au cours des mesures de granulométrie et de limites d'Atterberg, et les paramètres mesurés sont alors plus mauvais que ceux du sol in situ. Une confirmation indirecte de l'action des sesquioxydes est donnée par le fait que la cohésion tend à décroître quand la teneur en sesquioxydes augmente (WINTERKORN et CHANDRASHEKHAREN 1951, TERZAGHI 1958, TOWNSEND et al. 1971, LOHNES et TUNLER 1976).

Selon MADU (1977) le poids volumique des grains (densité réelle) croît avec la teneur en sesquioxydes. Cependant les résultats présentés ne paraissent pas significatifs.

6 - MONOGRAPHIES DES ETUDES LIANT CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES ET PROPRIETES GEOTECHNIQUES EN AFRIQUE TROPICALE

Ces monographies sont présentées en Annexe 1.

7 - CONCLUSION A L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

De cette revue bibliographique, il apparaît pour l'ensemble des auteurs qu'une approche pédologique dans les études de géotechnique routière peut présenter un intérêt aussi bien pour la compréhension du comportement des matériaux (recherche de corrélations entre données strictement géotechniques et données pédologiques : minéralogie des argiles, teneurs en sesquioxydes etc...) que pour une meilleure utilisation des données pédologiques supérieures).

Les conditions de genèse des sols sont considérées comme intervenant de façon fondamentale dans les propriétés géotechniques de leurs matériaux.

Toutefois, l'application pratique de ces constatations est rendue difficile par :

- les différences de conception et de méthode entre pédologie et géotechnique,
- les problèmes de vocabulaire liés à l'existence de plusieurs types de classifications pédologiques et à l'utilisation de vocables (ex : latérites, sols latéritiques) ayant pris des sens différents au cours de l'histoire.

Dans la presque quasi-totalité des études, on remarquera que les relations pédologie-géotechnique ont été recherchées à partir des unités supérieures des classifications pédologiques (classes ou sous-classes : sols ferrugineux, ferrallitiques, ferrisols, vertisols). Les distinctions pédologiques à l'intérieur de ces grandes unités sont rarement prises en compte. Ces résultats de caractérisation globale des unités supérieures sont souvent décevants : la dispersion des mesures à l'intérieur d'une même unité apparaît importante ainsi que le recouvrement d'une unité à l'autre.

Cette approche suppose, à priori, que les unités pédologiques supérieures caractérisent non seulement des processus de pédogenèse mais aussi des matériaux. Ces cas existent mais sont plutôt rares. Citons les "vertisols" qui correspondent effectivement à des matériaux argileux gonflants et à l'opposé les "psamments" (cl. américaine, 7th Approximation) caractérisés par des matériaux sableux. En général, à une unité supérieure de classification pédologique correspondent de nombreux types de matériaux. Inversement, un même matériau peut être rattaché à diverses unités supérieures de la classification.

Or la caractérisation géotechnique d'un matériau se fait essentiellement à partir de granulométries (taille des particules) de limites d'atterberg (test de plasticité lié à l'"activité" des argiles). et de test de portance (lié aussi à la granulométrie et à l'"activité" des argiles). Les données pédologiques correspondantes sont les granulométries et la minéralogie des argiles. Dans les cartographies pédologiques utilisant la classification française, ces informations apparaissent essentiellement au niveau de la famille (unité inférieure).

On peut donc espérer qu'une "lecture" des documents pédologiques, et en particulier des cartes, à ce niveau d'identification des sols (famille) permette un regroupement ou une division des unités pédologiques supérieures pour l'obtention d'unités géotechniques homogènes.

Cette approche a guidé le travail expérimental que nous présentons aux chapitres II et III pour les sols du Sénégal.

La méthode utilisée consiste à :

- étudier en laboratoire les caractéristiques physico-chimiques des principaux types de sols fins (sélectionnés en fonction de leur classification pédologique, leur texture, la nature de leurs minéraux argileux, de façon à être représentatif de la majorité des sols rencontrés au Sénégal) et réaliser parallèlement des essais géotechniques classiques d'identification (granulométrie, limites d'atterberg) et de portance (CBR) ;

- présenter et ordonner ces résultats expérimentaux en établissant les corrélations éventuelles entre données physico-chimiques et données géotechniques ;
- définir alors comment doivent être groupées ou divisées les unités de la classification pédologique pour obtenir des catégories de matériaux ayant des propriétés géotechniques semblables.

CHAPITRE II

RESULTATS DES CAMPAGNES D'ECHANTILLONAGE ET DISCUSSION

- 1 - Présentation des résultats
- 2 - Discussion des résultats. Corrélations entre paramètres géotechniques et pédologiques
- 3 - Conclusions

I - PRESENTATION DES RESULTATS

1.1 - Classification des sols et matériaux

Le tableau 3 donne les classifications pédologiques et géotechniques des sols étudiés et la figure 1 donne les sites de prélèvement.

La classification pédologique utilisée est la classification française (CPCS 1967) qui est celle de la carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000 (MAIGNIEN 1965). Les règles et les méthodes de la classification pédologique française sont données en particulier par AUBERT et BOULAIN (1972), DUCHAUFOUR (1970).

La classification géotechnique employée est celle du LPC (France) directement inspirée du système USCS. Les méthodes d'essais sont décrites dans les modes opératoires du LPC.

1.2 - Description des profils pédologiques

L'annexe 2 donne pour chacun des puits exécutés au cours des campagnes 1978 et 1981 le profil pédologique et les caractéristiques des échantillons prélevés.

1.3 - Résultats analytiques

L'annexe 3 donne les résultats des essais sur les échantillons prélevés au cours des campagnes 1978, 1979 et 1981.

Tableau_3 : Classifications pédologiques et géotechniques des sols et matériaux étudiés

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
S2 MYO 23	SOLS PEU EVOLUES	Non Climatiques	D'érosion	régosolique	gravillonnaire (sur cuirasse ferrugineuse)	SL SL
MYO 26				régosolique intergrade ferrugineux tropical	gravillonnaire (sur cuirasse ferrugineuse)	SL
M1 M3			D'apport alluvial	modal hydromorphe	argilo-limoneux argilo-sableux	Ap -
Z6 DAG 4 FKM 43				hydromorphe salé alcalisé	sableux sableux argilo-limoneux	Sm Lp Ap
TP 10 TP 11			D'apport colluvio- alluvial	modal	sablo-argileux	SA SA
OS 11			D'apport anthropique	hydromorphe	sablo-argileux	SA
M2	VERTISOLS	A drainage externe nul ou réduit	A structure anguleuse	modal.	argileux(sur alluvion)	At
DAG 3				halomorphe (gypseux)	argileux(sur alluvion)	At
TP 2		A drainage externe possible	A structure anguleuse	modal	argileux(sur dolérite)	Ap
FKM 12 FKM 33				modal modal	argileux(sur calcaire) argileux(sur schiste)	At Ap
BAM 2				intergrade ferrugineux tropical	sablo-argileux (sur marne calcaire)	SL
TP 5	SOLS CALCIMAGNESIQUES	Carbonatés	Brun calcaire	vertique	argileux(sur calcaire marneux)	At

Tableau 3 (suite)

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
FKM 89	SOLS ISOHUMIQUES	Sous pédo-climat à tem- pérature élevée en période pluvieuse	Brun sub-aride	modal	sablo-argileux (sur sable siliceux alluvial)	Lp
DAG 1				modal	sablo-argileux (sur sable siliceux éolien)	SL
FKM 123				modal	sablo-argileux (à argi- lo-sableux (sur schiste))	Ap
FKM 200				modal	argileux (sur argiles "formation jaune")	Ap
POD 1				brun rouge faiblement évolué	sableux (sur sable siliceux éolien)	SL
TP1				brun rouge intergrade ferrugineux tropical	sableux (sur sable) siliceux éolien)	SL
FKM 9				vertique	sablo-argileux (sur marne)	Lp
TP6				vertique	argilo-sableux (sur marne)	Ap
FKM 122				faiblement alcalisé	sablo-argileux (sur schiste)	Ap
LOU 1				faiblement calcaire	sablo-argileux (sur sable colluvial calcaire)	SL
FKM 30	SOLS BRUNIFIES	des pays tropicaux	Brun eutrophe	hydromorphe	(argileux sur schistes)	Ap

Tableau 3 (suite)

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
DN HP BAM 1 FO	SOLS A SESQUIOXYDES DE FER	Sols ferrugineux tropicaux	Peu lessivé	modal	sablo-faiblement argileux (sur sable siliceux éolien)	SA AL -
NS 1 TP 14 K1			Lessivé	modal sans tache	sablo-argileux à argilo-sableux (présence de cuirasse à faible profondeur sur grès)	SA Lp Lp
PMF 12 TP 15 TP 9 TP 16 NGT K2				modal sans tache	sablo-argileux à argilo-sableux (ab- sence de cuirasse à faible profondeur sur grès)	SA SA Ap Ap Lp SL
TP 17 S1 Z2 TP 13 PMF 9 Z7				à taches et concrétions	sablo-argileux à argilo-sableux (sur grès)	Lp Ap Lp Ap Ap Ap
MYO 24 MKYO 110				à taches et concrétions	argileux (sur grès)	Ap Lp
PMF 1				hydromorphe à pseudo- gley	argileux (sur grès)	Ap
Z1	SOLS FERRALLITIQUES	Faiblement désaturés en (B)	Typique	modal	argileux (sur grès)	Ap

Tableau 3 (suite)

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
FKM 91 Z3 DAG 2 FKM 142 FKM 92 OS 10 Z4 RB2 RB3 FKM 37	SOLS HYDROMORPHES	Minéraux	A pseudogley	à nappe perchée à nappe perchée à nappe perchée à nappe perchée vertique, faiblement salé à nappe perchée, faiblement alcalisé	sableux (dépot alluvial) sablo-limoneux (sur dépot alluvial) argilo-sableux (dépot alluvial) argileux (dépot alluvial) argileux (dépot alluvial) argilo-sableux (sur pelites)	SA SL Ap Ap Ap SL Ap
RB4 DAG 3 BAS TH Z 5 Z8 FKM 36	SOLS SODIQUES	A structure non dégradée A structure dégradée	Sols salins Sols sodiques à hori- zon B (Solonetz)	à efflorescences salines à efflorescences salines, vertique acidifié acidifié acidifié à structure en colo- nettes de l'horizon B	argileux (dépot alluvial) argileux (dépot alluvial) sableux (sable alluvial) argilo-sableux (dépot alluvial) argileux (dépot alluvial) argilo-sableux	Ap At - SA At Ap

Les déterminations effectuées sont les suivantes :

Caractéristiques physiques

- . passant à 0,02 mm correspondant au pourcentage d'argile et limon fin (A + LF)
- . teneur en eau à pF 4,2

Caractéristiques minéralogiques de la fraction argileuse

- . pourcentage en kaolinite (K), illite (I), montmorillonite (M), divers (argiles "interstratifiées", vermiculite et attapulgite).

Caractéristiques chimiques

- . pourcentage en matière organique (MO)
- . pH
- . pourcentage en calcaire (Ca CO_3)
- . capacité d'échange cationique (CEC) en meq/100 g sol

Caractéristiques mécaniques

- . indice de plasticité (IP)
- . caractéristiques PROCTOR modifié : γ_{op} densité optimum et W_{op} teneur en eau optimum
- . indice portant CBR

Pour des raisons financières, tous les échantillons n'ont pas été soumis à la série complète des essais. Cependant, les résultats obtenus sont suffisamment nombreux et la gamme d'échantillons assez large pour permettre la recherche des relations entre les paramètres mesurés.

2 - DISCUSSION DES RESULTATS. CORRELATIONS ENTRE PARAMETRES GEOTECHNIQUES ET PEDOLOGIQUES

Les matériaux analysés ont été classés en trois séries selon la minéralogie de la fraction argileuse.

Série 1 : présence uniquement de kaolinite (K) et éventuellement d'illite (I).

Série 2 : présence simultanée de kaolinite (K), illite (I) et de montmorillonite (M), avec dominance de (K + I)

$(K + I)\% > (M + \text{divers})\%$

Série 3 : présence simultanée de kaolinite (K), illite (I) et de montmorillonite (M), avec dominance de (M)

$(K + I)\% < (M + \text{divers})\%$

A l'intérieur de chaque série, les échantillons sont classés selon leur granulométrie (teneurs croissantes en A + LF du début à la fin de la série).

Nous étudierons, en fonction de la texture, pour les trois séries, les variations de teneur en eau à l'optimum Proctor Wop, de la densité à l'optimum Proctor γ_{op} , de l'indice de plasticité IP, et de l'essai CBR.

2.1 - Corrélations entre teneur en eau à l'optimum Proctor Wop, densité optimale Proctor γ_{op} et le pourcentage de particules de taille inférieure à 0,02 mm (Fig. 2 et 3).

Les liaisons entre les différents paramètres ne sont pas très fortes mais on observe les tendances suivantes :

- pour une valeur A + LF comprise entre 15 et 35 % Wop semble présenter un minimum

- pour une valeur A + LF d'environ 15 % γ_{op} semble présenter un maximum.

Une interprétation possible du maximum de compacité est la suivante : si le matériau comporte peu d'argile (donc de fines particules) elles ne suffisent pas à remplir les interstices que laissent entre eux les grains de diamètre plus gros, même quand ils sont jointifs. Si le matériau comporte beaucoup de fines, les grains de diamètre supérieur ne sont plus tous jointifs et sont emballés en partie dans les fines. Dans les deux extrêmes on aura une compacité faible, et entre les deux un pourcentage A et LF correspondant à un maximum.

Il ne semble pas y avoir d'effet de la nature des argiles sur γ_{op} et Wop.

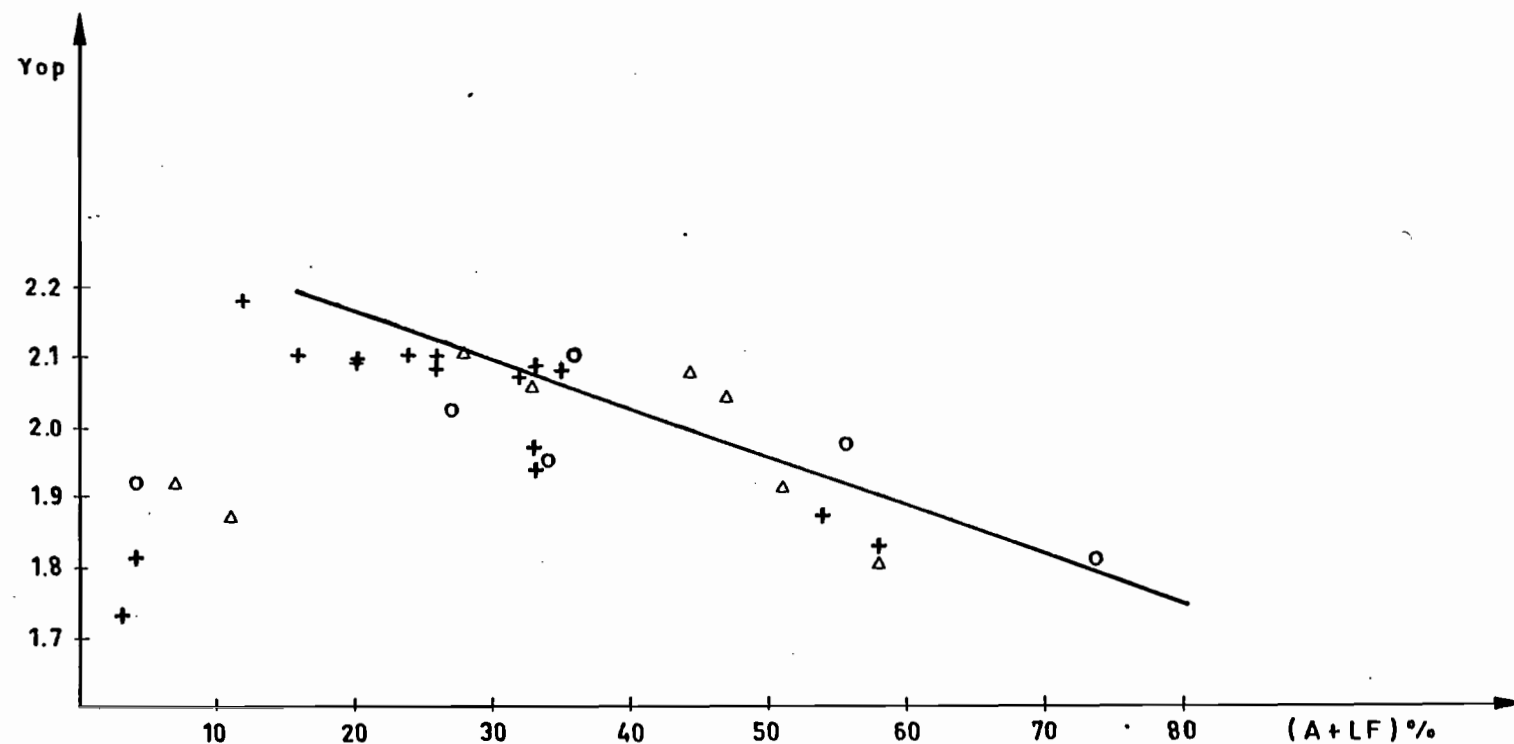


FIGURE 2 POIDS VOLUMIQUE OPTIMUM PROCTOR MODIFIÉ (Y_{op}) EN FONCTION
DU PASSANT A 20 μ m ($A+LF$)

Régression linéaire pour $A + LF \geq 15 \%$

$$Y_{op} = 2,24 - 0,0064 (A + LF) ; r = 0,87$$

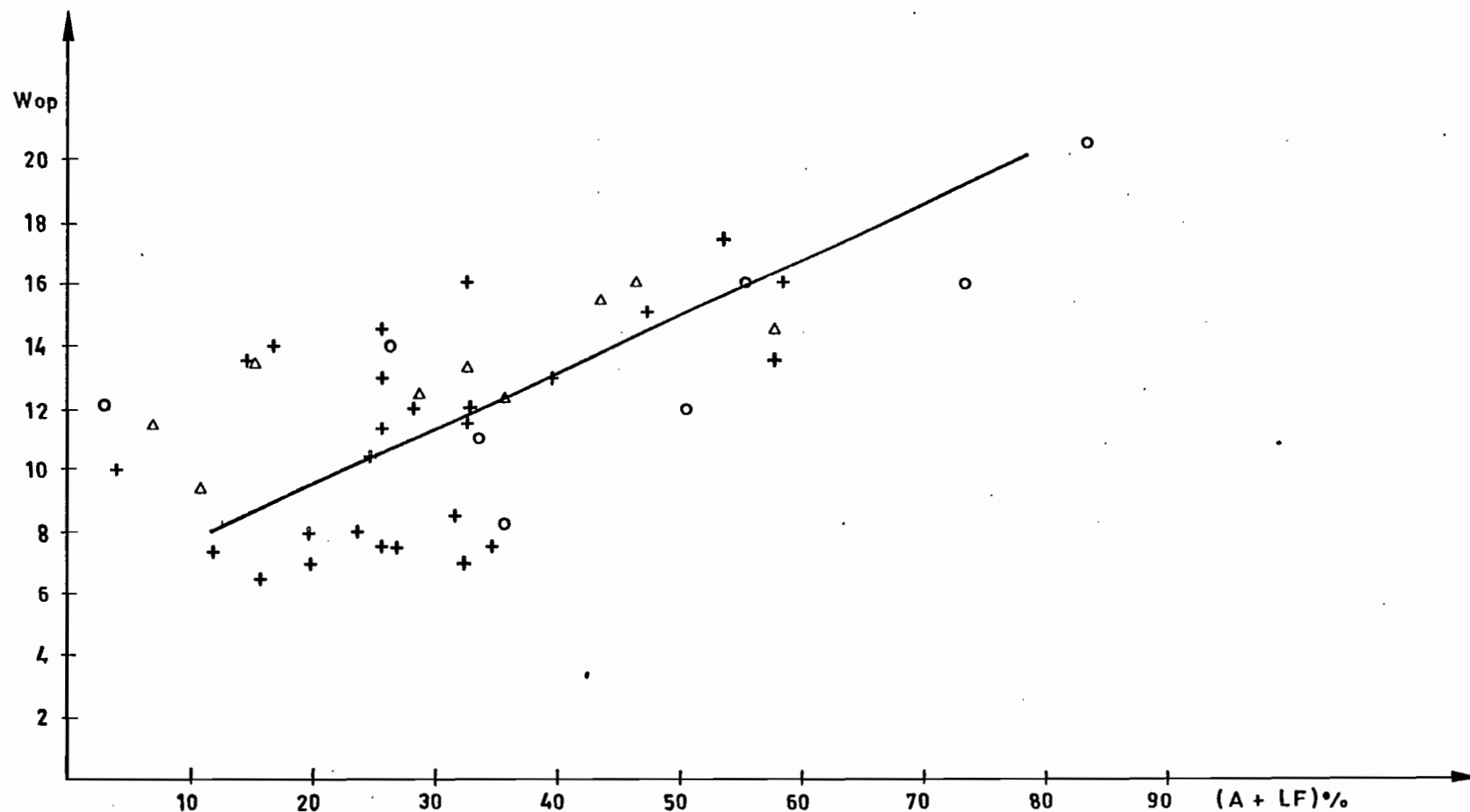


FIGURE 3 : TENEUR EN EAU OPTIMUM PROCTOR MODIFIÉ (W_{op}) EN FONCTION
DU PASSANT A 20 μm ($A + LF$)

Régression pour $A + LF \geq 15 \%$

Coefficient de corrélation de la régression linéaire $r = 0,66$

2.2 - Corrélation entre IP et A + LF (Fig. 4)

On note une augmentation de l'indice de plasticité IP avec celle des éléments fins (A + LF). Qui plus est, les valeurs d'IP sont d'autant plus fortes que le matériau est riche en montmorillonite, comme l'indique la position des points de la série 3, les séries 1 et 2 restant à peu près confondues.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux obtenus par SKEMPTON (1953) qui définit l'activité d'une argile comme le rapport de l'indice de plasticité à la teneur en argile exprimée en pourcentage (rapport du poids des grains de dimensions inférieures à 0,002 mm au poids des grains inférieurs à 0,4 mm).

Ici, puisqu'il s'agit uniquement de matériaux fins et pour rendre plus facile l'utilisation des résultats, la corrélation a été faite avec (A + LF). On trouve alors, très approximativement, que pour une même teneur en argile, l'indice de plasticité est multiplié par 2, quand on passe d'un matériau où la montmorillonite n'est pas l'argile dominante (séries 1 et 2) à un matériau où la montmorillonite est l'argile dominante.

2.3. Corrélation entre CBR et A + Lf (Fig. 5)

Il apparaît sur la figure 5 que :

- pour les sols de la série 1, la corrélation CBR - A + LF est faible. Cependant, dès que A + LF est supérieur à 10 %, les sols ont des CBR compris entre 20 et 50, ce qui les classe dans la catégorie des sols pouvant être utilisés en plate-forme, ou même, pour les meilleurs, en couche de forme ou de fondation ;
- pour les sols des séries 2 et 3, il n'y a pas de corrélation CBR - A + LF. La présence de montmorillonite, même en faible quantité ($A + LF < 10 \%$) amène uniformément le CBR à être inférieur à 10 (et inférieur à 5 dès que A + LF est supérieur à 20 %).

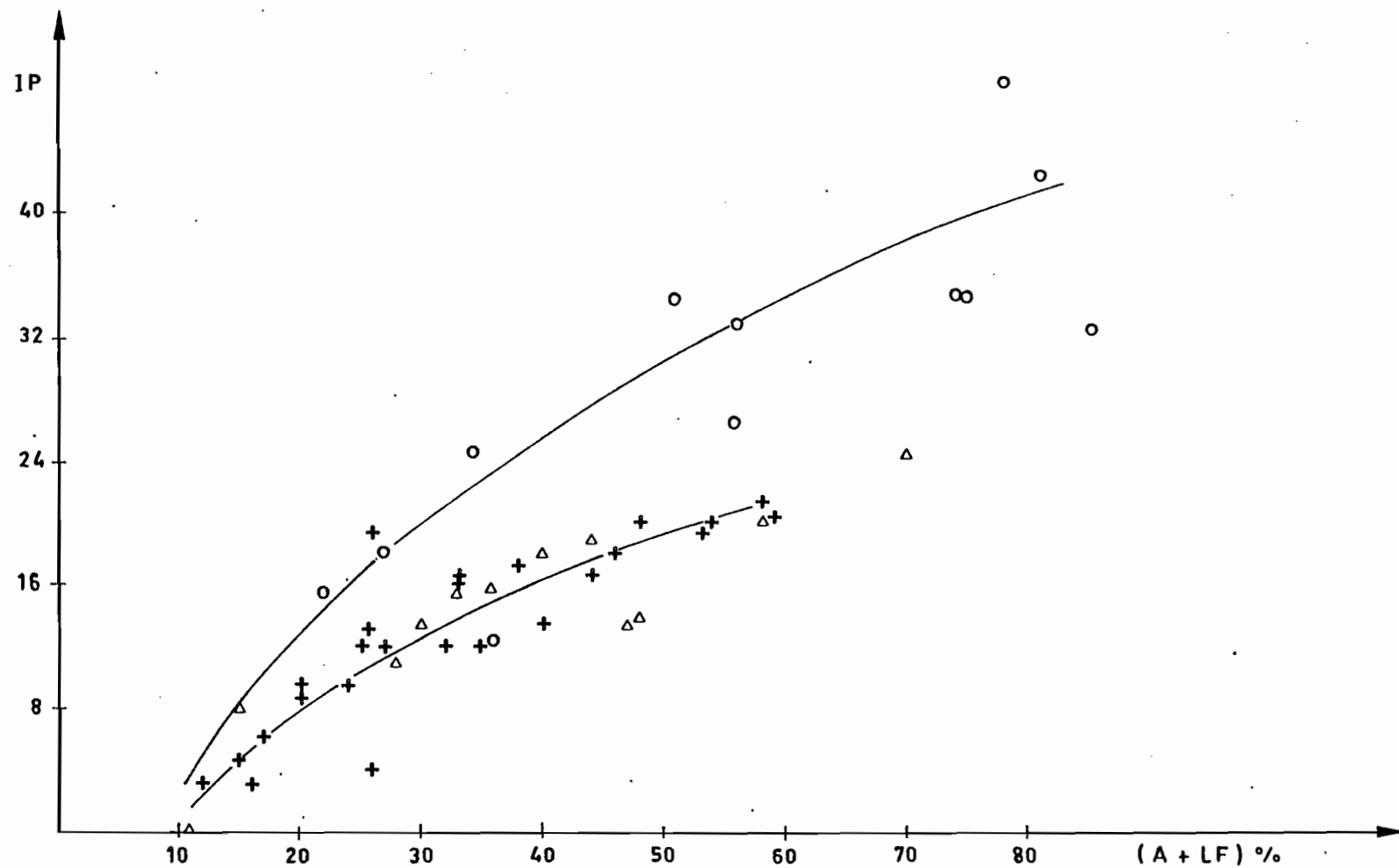


FIGURE 4 : INDICE DE PLASTICITÉ (IP) EN FONCTION DU PASSANT A 20µm (A + LF)

Les courbes tracées visualisent la tendance, mais elles ne résultent pas d'une analyse statistique.

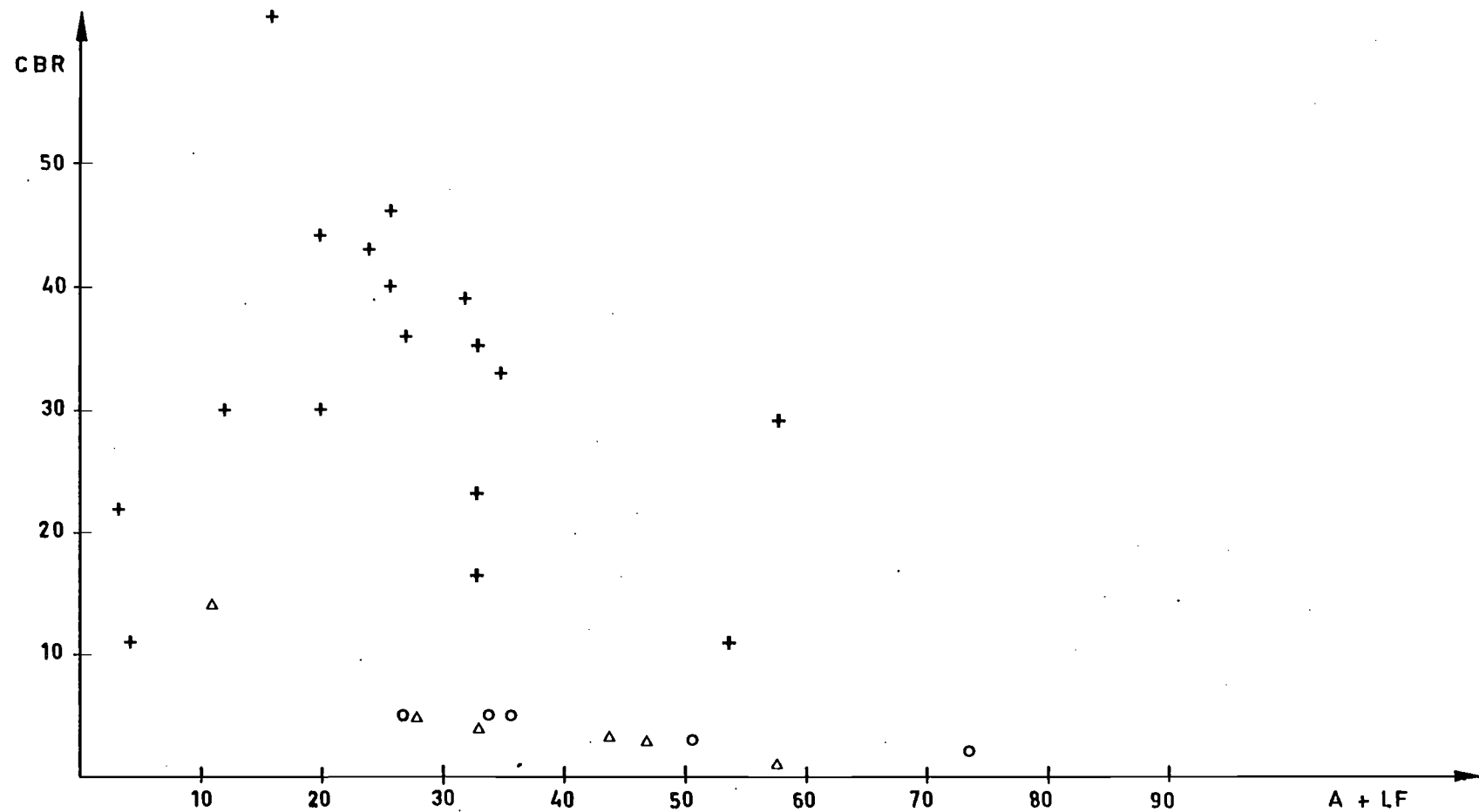


FIGURE 5 : INDICE DE PORTANCE (CBR) EN FONCTION
DU PASSANT A 20 µm (A + LF)

Ces résultats permettent de prévoir le comportement d'un sol à partir de la minéralogie des argiles qu'il contient, mieux que ne le permet la corrélation classique en géotechnique (pour des sols fins) entre IP et CBR. En effet, quand IP croît, CBR décroît (Fig. 6) mais la corrélation est mauvaise et ne permet pas de faire une différence décisive entre sol à rejeter ($CBR < 5$) et sol acceptable ($CBR > 10$) ; par contre, la figure 5 montre bien la nette différence de comportement due à la présence de montmorillonite (ou d'argile interstratifiée et attapulgite).

2.4 - Corrélation entre IP et pF 4,2 (Fig. 7)

Une corrélation significative entre IP et pF 2,5 avait été présentée par ATLAN et FELLER (1980). Les résultats plus nombreux rassemblés ici montrent que la corrélation est meilleure entre IP et pF 4,2.

Ces résultats ont une application technologique immédiate. En effet, la détermination de la teneur en eau à pF 4,2 est une opération simple, peu coûteuse, ne nécessitant que quelques grammes de sol et surtout très rapide (60 analyses par jour). Par contre, la détermination des limites d'Atterberg est assez complexe, lente (un laborantin ne peut guère réaliser plus de quatre essais par jour) et donc coûteuse. Par ailleurs, le mode opératoire des limites d'Atterberg laisse une place importante au "coup de main" de l'opérateur, ce qui peut induire des erreurs systématiques.

En outre, il est tout aussi facile de mesurer les pF 4,2 de sols faiblement argileux que celui de sols argileux, ce qui n'est pas le cas de la mesure de IP pour laquelle on utilise alors l'essai d'Equivalent de Sable ES.

Toutes ces raisons nous incitent à proposer la détermination de la teneur en eau à pF 4,2 dans les caractérisations géotechniques, où elle viendrait en complément et peut-être en remplacement à moyen terme de la mesure de IP.

2.5 - Relation entre IP et CEC (Fig. 8)

La figure 8 présente les résultats obtenus. On constate qu'il existe une corrélation positive entre IP et CEC (coefficient de corrélation de $r = 0,87$, pour échantillons testés). IP et CEC sont une expression des propriétés minéralogiques des argiles. Il ne semble pas que le pourcentage de matière organique compris ici entre 0 et 1 % puissent servir à différencier à l'intérieur du groupe testé, des sous-groupes plus homogènes.

2.6 - Relations entre CEC et A% (Fig. 9)

Il a paru intéressant de calculer le rapport $r = \frac{CEC}{A} \times 100$. A étant le pourcentage d'argile dans l'échantillon. Sous réserve de faibles teneurs en matière organique, (*) les résultats regroupés tableau 1 (chap. 2, par. 5.3.3.) permettent en effet de prévoir que r est un indicateur du type d'argiles contenu dans l'échantillon. On constate, figure 9, que la considération de r permet effectivement, dans certains cas, de préciser la nature de l'échantillon testé. Pour des valeurs de r inférieures à 25 on ne trouve aucun des échantillons des séries 2 et 3, et seulement 15 % des échantillons de la série 1 ont des valeurs de r supérieures à 25, égales au maximum à 40. Ce résultat est utile puisqu'il permet d'interpréter des mesures physico-chimiques disponibles (CEC et A) dans les documents pédologiques en terme de minéralogie des argiles, série 1 ou 2 et 3, (présence ou absence d'argiles actives type montmorillonite) donc de prévoir un comportement géotechnique du matériau, en particulier la portance CBR.

3 - CONCLUSIONS

3.1 - Exploitation des corrélations obtenues pour la classification des sols :

Les corrélations présentées au par. 2 montrent que la minéralogie des argiles, et, singulièrement la présence ou l'absence de montmorillonite, est un paramètre décisif quant au comportement géotechnique du matériau. C'est ainsi que la corrélation $IP / (A + LF)$ met en évidence qu'à pourcentage égal en (A + LF), un sol où la montmorillonite est l'argile dominante, est plus plastique qu'un sol où elle ne l'est pas.

(*) les corrélations doubles $CEC = f(A, MO)$ sont en général meilleures que les corrélations simples $CEC = f(A)$. Nous n'avons toutefois pas fait intervenir ici le terme matière organique (MO) car les horizons A (humifères) ne sont jamais utilisés pour les matériaux routiers.

Ce résultat était prévisible à partir de la notion d'activité.

Par ailleurs, les corrélations CBR / IP et CBR / A + LF indiquent qu'à valeurs identiques en IP ou A + LF, un sol contenant de la montmorillonite possède un CBR nettement plus faible qu'un sol n'en contenant pas.

On a donc ici une possibilité de classement des sols en deux grandes catégories ayant des caractéristiques géotechniques nettement différentes.

Ce classement se fait à partir de données pédologiques, soit quantitatives (mesure de CEC, identification et pourcentage des argiles) soit cartographiques (examen des légendes des cartes pédologiques).

Les deux catégories ainsi définies peuvent être subdivisées selon la texture des sols à partir des déterminations de A + LF et des corrélations IP / A + LF et CBR / A + LF.

3.2 - Intérêt de la corrélation IP - pF 4,2

L'existence d'une corrélation significative IP / pF 4,2, conduit à proposer la généralisation de la mesure de pF 4,2, (mesure simple, rapide et peu coûteuse) en géotechnique.

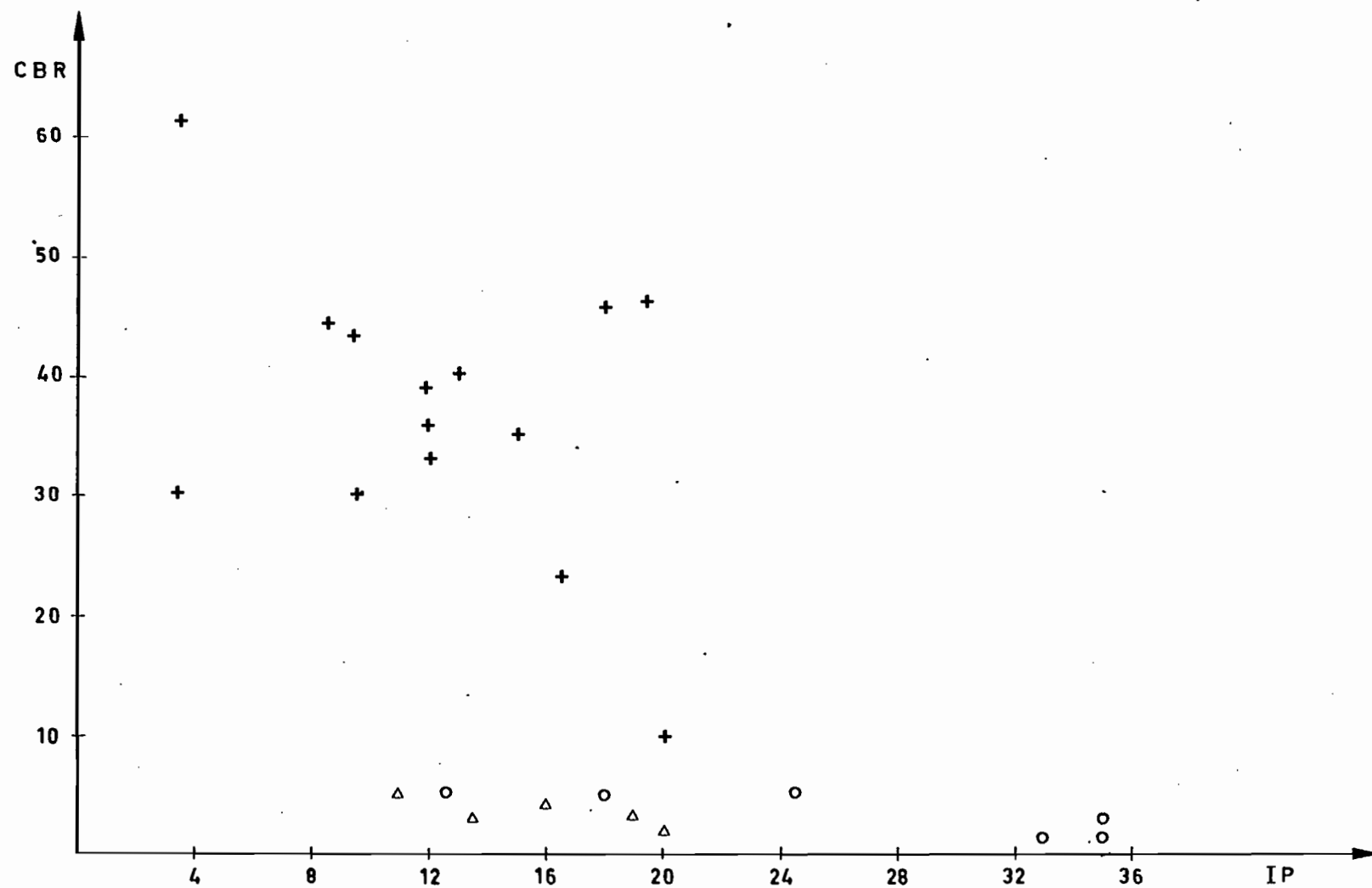
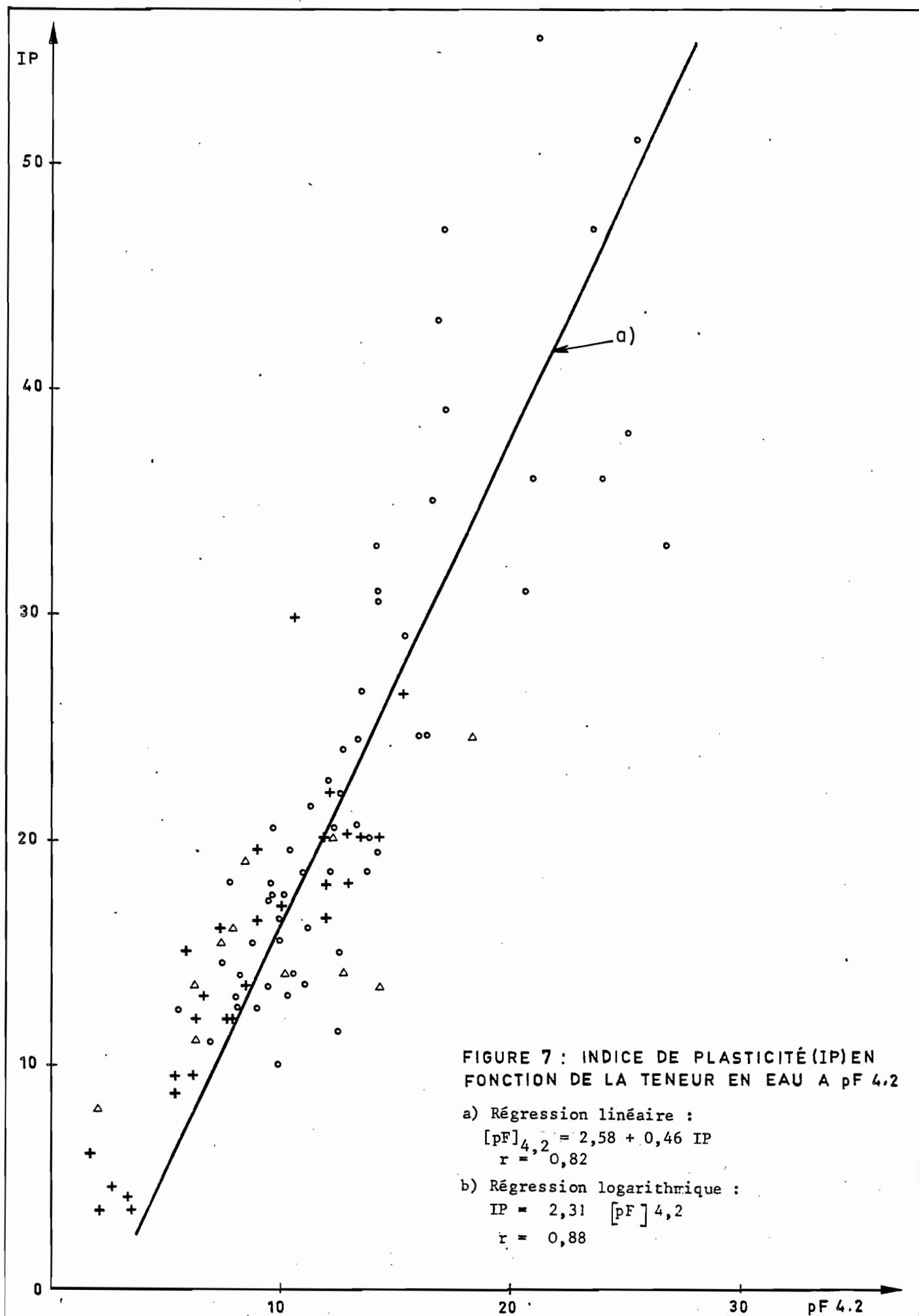
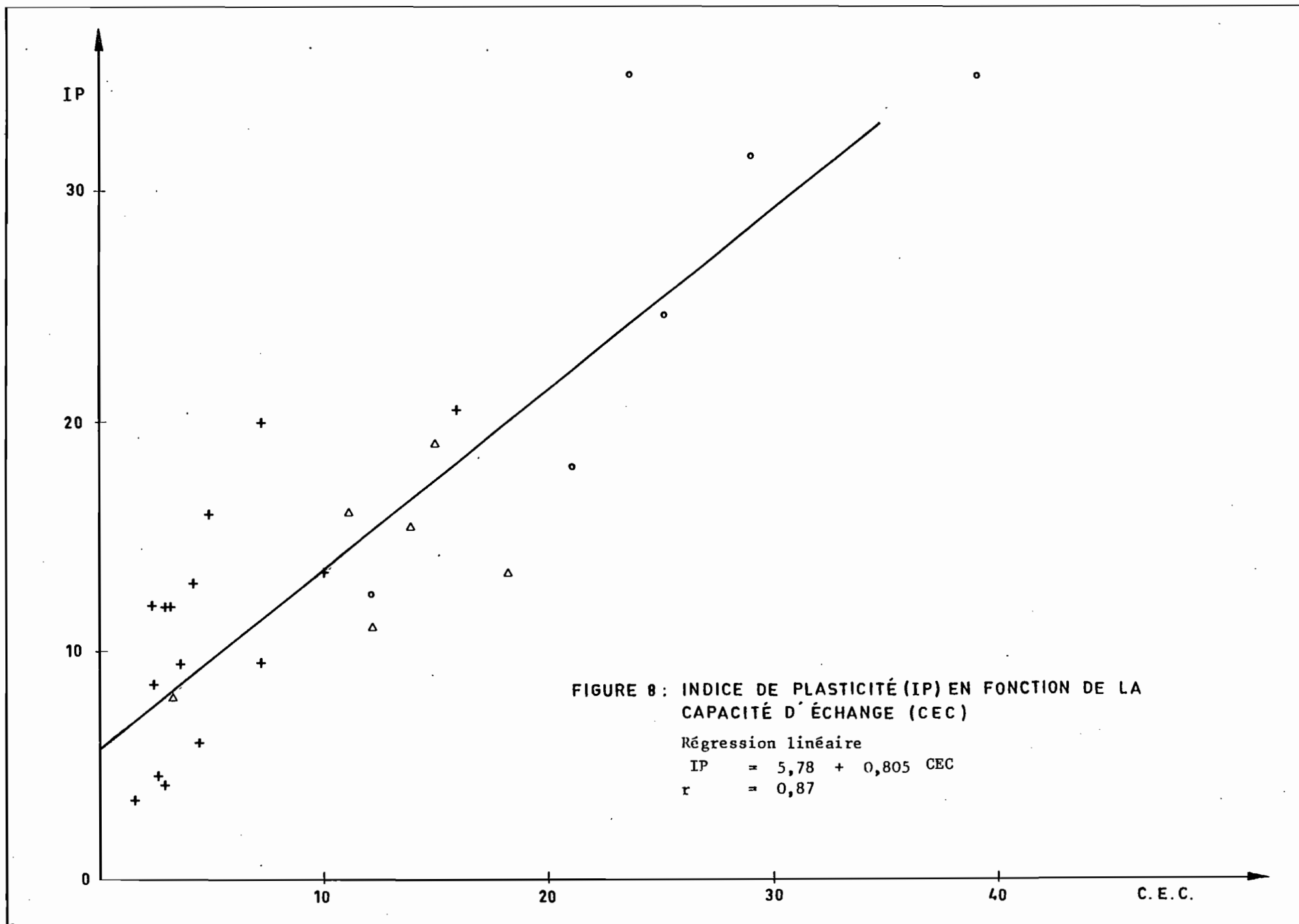


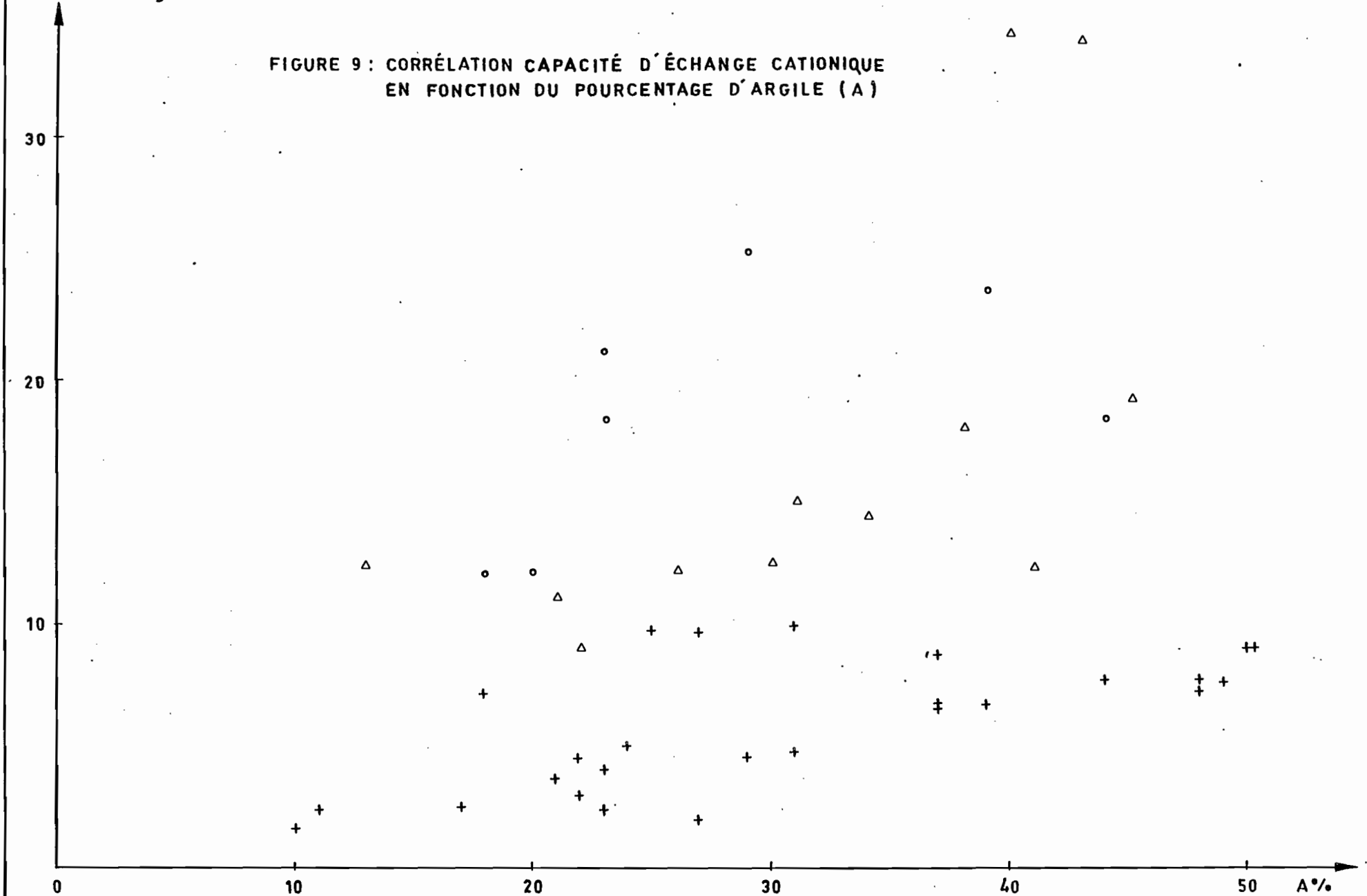
FIGURE 6 : INDICE DE PORTANCE (CBR) EN FONCTION DE L'INDICE DE PLASTICITÉ (IP)





C.E.C. meq/100g

FIGURE 9 : CORRÉLATION CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE
EN FONCTION DU POURCENTAGE D'ARGILE (A)



SÉRIE 3



SÉRIE 2



SÉRIE 1

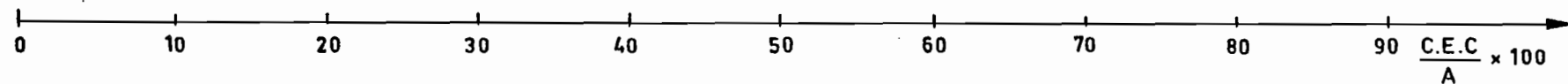
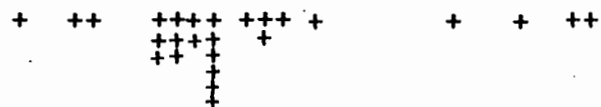


FIGURE 10 : VARIATION DU RAPPORT (CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE /
TENEUR EN ARGILE) EN FONCTION DE LA MINÉRALOGIE DES ARGILES

CHAPITRE III

APPLICATION DES DONNEES PEDOLOGIQUES A UNE CARTOGRAPHIE GEOTECHNIQUE ROUTIERE

L'examen des corrélations entre caractéristiques pédologiques et géotechniques fait ressortir l'importance de la connaissance des teneurs en argile + limon fin (A + LF) et de la minéralogie des argiles (présence ou non de smectites) pour prévoir le comportement géotechnique des matériaux fins.

Les documents pédologiques contiennent toujours pour chaque unité cartographique les caractéristiques granulométriques soit sous forme chiffrée (A%, LF% etc...) soit sous forme texturale (matériau sablo-argileux...) dans la légende des cartes au niveau de la famille.

La minéralogie des argiles, par contre, si elle est évidente pour certaines unités cartographiques (sols vertiques, sols ferrugineux...) n'est pas toujours immédiatement disponible pour d'autres unités (sols peu évolués, sols hydromorphes...). Nous avons vu dans le chapitre II, § 2.6. , que la capacité d'échange cationique CEC et la teneur en argile du sol A% ($\frac{CEC}{A} \times 100$) permettait de classer avec une forte probabilité un échantillon dans les séries minéralogiques 1 (sans argile gonflante) ou 2 et 3 (présence d'argiles gonflantes). Ces données CEC et A% sont systématiquement présentées dans les rapports pédologiques. En fait, bien souvent, une simple discussion avec un pédologue permet de classer les échantillons.

Il est donc possible sous réserve d'une lecture des légendes cartographiques au niveau de la famille de sols de transposer, soit directement, soit en les regroupant, les unités pédologiques en unités géotechniques.

A titre d'illustration nous avons tenté d'établir une carte géotechnique routière de reconnaissance à partir de la carte pédologique au 1/1 000 000 du Sénégal (MAIGNIEN, 1965). Il est bien évident qu'un tel document à cette échelle n'est guère utilisable sur le terrain pour des études de détail, mais la méthode présentée pour l'établissement de cette carte peut être appliquée à des études régionales ou locales à

grande échelle à partir des cartes pédologiques existantes. A notre avis de tels documents représenteraient un grand intérêt pratique.

Les unités de la carte pédologique du Sénégal au niveau de la famille sont présentées dans le tableau 4 ainsi que la correspondance en unités géotechniques routières telles qu'elle sont définies ci-dessous.

Pour la définition des unités géotechniques routières à partir des unités pédologiques, une première subdivision est faite en

- matériaux grossiers (roches, matériaux graveleux et gravillonnaires)
- matériaux fins non gonflants
- matériaux fins gonflants
- matériaux fins salés et/ou humifères

MATERIAUX GROSSIERS

Nous avons distingué par lecture immédiate de la carte pédologique :

Unité I - Affleurements de roches dures diverses : cuirasses ferrugineuses, quartzites, schistes.

Ils correspondent aux "sols lithiques". Ces roches sont très souvent associées à des matériaux graveleux ou gravillonnaires.

Regroupement des unités pédologiques n° 1,2,3,4,5.

Unité II - Affleurements de grès sablo-argileux tendres : grès du Continental terminal, du Boundou, du Maestrichien.

Ils correspondent aux "sols régoliques".

Unité pédologique n° : 6

Unité III - Matériaux gravillonnaires et graveleux divers avec cuirasses ou roches subaffleurantes à moins de 50 cm de profondeur. Ils correspondent aux "sols peu évolués d'érosion".

Caractéristiques géotechniques : CBR 30 à 80

Regroupement des unités pédologiques n^{os} : 9,10.

MATERIAUX FINS NON GONFLANTS

Les unités pédologiques retenues sont caractérisées par des sols ne contenant que peu ou pas d'argiles gonflantes (moins de 5 % de montmorillonite, attapulgite).

Une différenciation est faite selon la granulométrie du matériau.

Unité IV - Sables

Ils correspondent essentiellement aux sols sableux suivants : peu évolués d'apport, isohumiques, ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, hydromorphes à pseudogley.

Caractéristiques géotechniques : A + LF	0 - 10 %
IP	non mesurable
CBR	10 - 20

Regroupement des unités pédologiques n^{os} : 7,8,11,12,20,21, 23,24,25,27,32,40,49,51.

Unité V - Sables argileux non gonflants

Ils correspondent essentiellement aux sols sablo-argileux suivants : ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés.

Caractéristiques géotechniques : A + LF	10 - 30 %
IP	3 - 15
CBR	20 - 50

Regroupement des unités pédologiques n^{os} : 26,28,29,31,34,35, 36.

Unité Vb - Sables argileux non gonflants avec présence fréquente à faible profondeur (moins de 1m) d'un horizon gravillonnaire ou cuirassé

Le matériau de surface est le même que pour l'unité V mais on trouve souvent à moins de 1m de profondeur un horizon gravillonnaire et/ou cuirassé.

Caractéristiques géotechniques : idem à Unité V

Regroupement des unités pédologiques n°^S: 29 et 38

Unité VI - Argiles sableuses et argiles non gonflantes

Ils correspondent essentiellement aux sols argileux et argilo-sableux des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols faiblement ferrallitiques.

Caractéristiques géotechniques	A + LF	30 - 60
	IP	15 - 20
	CBR	20 - 50

Regroupement des unités pédologiques n°^S: 39, 41, 42, 53.

MATERIAUX FINS GONFLANTS

Les unités pédologiques retenues sont caractérisées par des sols contenant des argiles gonflantes (montmorillonite, attapulgite...) même en faibles quantités. A partir de 5 à 10 % d'argiles smectitiques, l'indice CBR prend des valeurs inférieures à 10 (N. fig. 5)

Une différenciation est faite selon la granulométrie du matériau.

Unité VIb - Argiles sableuses et argiles non gonflantes, avec présence fréquente à faible profondeur (moins de 1 m) d'un horizon gravillonnaire ou cuirassé

Le matériau de surface est le même que pour l'unité VI mais on trouve souvent à moins de 1 m de profondeur un horizon gravillonnaire ou cuirassé.

Caractéristiques géotechniques : idem à unité VI

Unité pédologique n° : 37

Unité VII - Sables argileux gonflants

Ils correspondent essentiellement aux vertisols intergrades sols ferrugineux, aux sols isohumiques sur marnes et à certains sols alluviaux peu évolués ou hydromorphes sur matériaux sablo-argileux gonflants

Caractéristiques géotechniques	A + LF	10 à 30 %
	IP	6 à 20
	CBR	5 à 10

Regroupement des unités pédologiques n°^S: 18,22.

Unité VIII - Argiles sableuses et argiles gonflantes

Ils correspondent essentiellement aux vertisols sur roches diverses et aux sols alluviaux peu évolués et/ou hydromorphes non salés de la vallée du Sénégal

Caractéristiques géotechniques	A + LF	30 - 90 %
	IP	20 - 30
	CBR	0 - 5

Regroupement des unités pédologiques n°^S : 14,15,16,17,19, 30,48,50,52

MATERIAUX FINS SALES ET/OU HUMIFERES

Unité IX - Matériaux fins salés et/ou humifères

Cette unité regroupe des matériaux fins alluviaux à granulométrie et minéralogie variables mais salés (Basse vallée du fleuve Sénégal, vallée du Saloum) et/ou humifères (sols de mangroves des fleuves Sénégal, Saloum et Casamance).

La présence de sels et matières organiques en quantités importantes oblige à faire de ces matériaux divers une unité particulière compte-tenu des normes usuelles en géotechnique : prise de ciment, corrosion des armatures etc.

Caractéristiques géotechniques : variables

Regroupement des unités pédologiques n^{os} : 13, 43, 44, 45, 46.

Tableau 4 - Classification pédologique des sols du Sénégal. Correspondance des unités pédologiques et géotechniques routières , 50

	Unité cartographique pédologique n°	Unité géotechnique routière n°
I. Sols Minéraux Bruts (Classe)		
A. Sols d'origine non climatique (Sous-classe)		
a. Sols bruts d'érosion (Groupe)		
- Lithiques (Sous-groupe)		
. cuirasse ferrallitique sur grès (famille)	1	I
. cuirasse ferrallitique sur marno-calcaire	2	I
. cuirasse ferrallitique sur schistes	3	I
. cuirasse ferrugineuse sur grès argileux	4	I
. éboulis gréseux et cuirasses ferrugineuses	5	I
- Régoliques		
. grès argileux	6	II
b. Sols minéraux bruts d'apport		
- Eoliens		
. dunes vives siliceuses	7	IV
- Marins		
. plages marines	8	IV
II. Sols peu évolués		
A. Sols d'origine non climatique		
a. Sols d'érosion		
- Lithiques		
. gravillonnaires sur cuirasse ferrugineuse	9	III
. sur quartzites	10	III
b. Sols peu évolués d'apport		
- faiblement hydromorphes		
. sur colluvions sablo-argileuses	11	IV
. sur levées sableuses	12	IV
- faiblement salés		
. sur levées sableuses marines	13	IX
IV. Vertisols		
A. Vertisols à pédoclimat très humide		
a. Vertisols hydromorphes à surface de structure massive		
- Intergrades sols hydromorphes		
. sur alluvions argileuses	14	VIII

	Unité cartographique pédologique	Unité géotechnique routière
	n°	n°
B. Vertisols à pédoclimat temporairement humide		
a. Vertisols lithomorphes à surface de structure friable		
- Intergrades sols lithiques		
. sur diabases	15	VIII
. sur schistes basiques	16	VIII
b. Vertisols lithomorphes à surface de structure massive		
- Modaux		
. sur marnes	17	VIII
- Intergrades sols ferrugineux		
. sur marnes	18	VIII
- Intergrades sols gravillonnaires		
. sur marnes	19	VIII
V. Sols isohumiques		
A. Sols à climat chaud pendant une courte saison des pluies		
a. Sols bruns subarides		
- Intergrades hydromorphes		
. sur sables colluviaux souvent calcaires en profondeur	20	IV
. sur alluvions sableuses	21	IV
- Modaux		
. sur marnes	22	VII
b. Sols brun-rouges		
- Intergrades sols ferrugineux		
. sur sables siliceux	23	IV
- Faiblement évolués		
. sur sables siliceux	24	IV

	Unité cartographique pédologique n°	Unité géotechnique routière n°
VIII. Sols à sesquioxydes		
A. Sols ferrugineux tropicaux		
a. Sols faiblement lessivés		
- Lessivés en fer		
. sur sables siliceux	25	IV
. sur grès sablo-argileux	26	V
. sur sables argileux remaniés	27	IV
. sur colluvions sablo-argileuses à argilo-sableuses	28	V
. sur grès sablo-argileux souvent concrétionné et cuirassé en profondeur	29	V b
. sur diabases	30	VIII
b. Sols lessives		
- Sans taches ferrugineuses ou très faiblement tachés		
. sur grès sablo-argileux	31	V
. sur sables siliceux	32	IV
. sur levées sableuses	33	IV
- A taches et concrétions ferrugineuses		
. sur grès sablo-argileux	34	V
. sur complexe de grès sablo-argileux et colluvions sableuses	35	V
. sur arènes granitiques (érodés)	36	V
- A concrétions et cuirasses ferrugineuses fréquemment affleurantes		
. sur grès sablo-argileux	37	VI b
. sur schistes gréseux	38	V b
- A pseudo-gley et concrétions ferrugineuses		
. sur schistes	39	VI
. sur grès sablo-argileux	40	IV
B. Sols ferrallitiques		
a. Sols faiblement ferrallitiques		
- Modaux		
. sur grès sablo-argileux	41	VI
. sur colluvions gréseuses	42	VI

	Unité cartographique pédologique n°	Unité géotechnique routière n°
IX. Sols halomorphes		
A. Sols à structure non dégradée		
a. Sols salins		
- intergrades hydromorphes humifères		
. sur alluvions argileuses	43	IX
- intergrades hydromorphes à pseudo-gley		
. sur alluvions argileuses	44	IX
B. Sols à structure modifiée		
a. Sols non lessivés à alcalis		
- Solontchaks		
. sur alluvions argileuses	45	IX
. sur alluvions sableuses	46	IX
X. Sols hydromorphes		
A. Sols moyennement organiques		
a. Sols humiques à gley		
- A gley de surface		
. sur vases marines	47	IX
. sur argiles de décantation	48	VIII
- A gely de profondeur		
. sur colluvions sableuses		
B. Sols minéraux		
a. Sols à pseudo-gley		
- A pseudo-gley de surface		
. sur alluvions diverses, fréquemment lourdes	50	VIII
. sur colluvions sableuses	51	IV
. sur alluvions argileuses	52	VIII
- A taches et concrétions ferrugineuses de profondeur		
. sur colluvions sablo-argileuses	53	VI

- ALEXANDER, L.T. et CADY J.G. (1962) - Genesis and Hardening of laterite in soils - US Dept Agriculture Tech. Bull. 1282 - Washington DC.
- ARNOULD M. (1968) - Origine, formation et distribution des sols en France et en Europe occidentale. Article de l'édition française de l'ouvrage collectif "les Fondations" rédigé sous la direction de G.A. LEONARDS - Dunod Paris.
- ATLAN Y., FELLER C. (1980) - Application de la pédologie à la caractérisation géotechnique de quelques sols fins du Sénégal. Bull. of the Int. Ass. of Eng. Geol. n° 22, pp. 233-240, Krefeld.
- ATLAN Y. (1974) - Classification géotechnique routière des sols latéritiques de Côte d'Ivoire - Revue générale des routes, n° 476, pp. 170-175.
- AUBERT (G); BOULAIN J. (1967) - La pédologie, coll. Que sais-je ? PUF ed. 126 p.
- AUTRET P. (1980) - Contribution à l'étude des graveleux latéritiques traités au ciment - Thèse LCPC - PARIS.
- CLARE K.E. (1975) - Airfield construction on overseas soils. 1. The formation, classification and characteristics of tropical soils. Proc. British Inst. Civ. Eng., vol. 8, pp. 211-231.
- COMBEAU A. (1964) - Remarques sur les facteurs de variation des limites d'Atterberg Cahier ORSTOM, Ser. Pédol., vol. II, fasc 4, pp 29-40.
- DE LA ROSA J. (1979) - Relation of several pedological characteristics to engineering qualities of soil - J; of Soil Sci., pp. 793-799.
- DUCHAUFOR Ph. (1970) - Précis de pédologie, 481 p., Masson Ed., Paris.
- FROST R.J. (1967) - Importance of correct pretesting preparation of some tropical soils. Proc. 1st Southeast Asian Conf. on Soil Eng., Bangkok, pp. 43-53.
- GIDIGASU M.D (1971) - The importance of soil genesis in the engineering classification of GHANA soils. Eng. Geology, n° 5, pp. 117-161.
- GIDIGASU M.D (1972) - Mode of formation and geotechnical characteristics of laterite materials of GHANA in relation to soil forming factors - Eng. Geology, n° 6, pp. 79.
- GIDIGASU M.D (1980) - Variability of geotechnical properties of subgrade soils in a residual profile over phyllite - 7 th Regional Conference for Africa on Soils Mechanics and Foundation Engineering, ACCRA.

GIDIGASU M.D et ANDOH M.B. (1980) - Broad regional evaluation of expansive soil conditions for shallow foundations in GHANA - 7 th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and foundation Engineering, ACCRA.

GUERIF J., FAURE A. (1979), - Role de la matière organique sur le comportement des sols au compactage. Ann. agron., vol. 30, n° 5. pp. 387-399.

HALLAIRE M. (1953) - Diffusion capillaire de l'eau dans le sol. Ann. agron., Mars-Avril, pp. 143-244.

HARDON H.J., FAVEJEE J.C.L. (1939) - Minéralogische onderzoekingen aan klein en kleimineralen - Medediel zandbonwhoogeschool, vol. 43, pp. 35-59.

HOSKING J.S. (1940) - The soil clay mineralogy of some Australia soils developed on granitic and basaltic parent materials -J. Austr. Coun. Sci. and Ind. Res., n° 13, pp. 8. 206- 216

IAEG COMMISSION "ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING" (1979) - Classification of rocks and soils for engineering geological mapping - Bull. Of the Int. Ass. of Eng. Geol., n° 19, pp. 233-240, Krefeld.

KAHL R.W. (1976) - Lateritic soils in environmental management in Nigeria - Bull. of the Ext. Ass. of Eng. Geol., n° 14, pp. 47-53, Krefeld.

LAL (1978) - Physical properties and moisture retention characteristics of some Nigerian soils.

LAMB T.W., MARTIN R.J. (1955) - Composition and engineering properties of soil III Proc. High Res. Board, n° 34, pp. 526-582.

- LEONARDS G.A. (1962) - Foundation Engineering - Mc Graw Hill Ed., New York, 1106 P.
- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentales sèche. Thèse ORSTOM, Inst. Géol; Strasbourg.
- LITTLE A.L. (1969) - The engineering classification of residual tropical soils - 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng. Proc., n° 6 pp. 1-10, Mexico.
- LOHNES R.A., FISH R.O., DEMIREL T. (1975) - Geotechnical properties of selected puerto Rican Soils in relation to climate and parent rock - Geol. Soc. Am. Bull. n° 82, pp. 2617-2624.
- LOHNES R.A. (1971) - Relationship of mineralogy to soil strenght in severely weathered tropical soils - Abst. of Annual Meeting Geol. Soc. of America, vol 7, n° 7, p. 1175, Boulder - Colorado.
- LOHNES R.A. et TUNLER, J. (1976) - Proposed engineering classification of lateritic soils; Abst. of Annual Meeting of Geol. Soc. of America, vol. 8, ,° 6, Boulder, Colorado.
- LYON ASS. (1976) - Laterite and lateritic soils and other problem soils of the tropics - AIS/CSD 3286, Lyon Ass. Inc. Baltimore (USA) et Road Research Inst.; Rio de Janeiro, Brésil.
- MADU R.M. (1977) - An investigation into the geotechnical properties of some laterites of Eastern Nigeria. Eng. Geology, n° 11, pp. 101-125.
- MAIGNIEN R. (1965) - Notice et carte pédologique du Sénégal au 1/1.000.000 - ORSTOM, Dakar-Hann, Sénégal.
- MAIGNIEN R. (1966) Compte-rendu de recherche sur les latérites, UNESCO, Natural Resources Research IV, Paris, 148 p.
- MENIN M. (1981) - Comportement mécanique d'une couche de base en graveleux latéritique améliorés au ciment. Cas des routes de Côte d'Ivoire. Thèse Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.

ANNEXE 1

MONOGRAPHIES DES ETUDES LIANT CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES ET PROPRIETES GEOTECHNIQUES EN AFRIQUE TROPICALE

- Etude générale des sols tropicaux d'Afrique : LYON Ass. (1976)
- Ghana
- Nigeria
- Côte d'Ivoire

Le premier problème qui se pose pour établir ces monographies est de choisir un mode de présentation des résultats. Deux sont possibles : soit rassembler pour un type de sol, par exemple les sols ferrallitiques, les résultats acquis dans divers pays, soit rassembler les résultats obtenus sur les sols d'une région géographique.

Nous avons préféré ici la seconde manière. En effet, compte tenu de la variété du vocabulaire employé pour définir les types de sol, des imprécisions de nombreux auteurs, des différences de conditions climatiques, toute extrapolation nous a paru être une source de confusion possible. LEPRUN (1979) cite sur un sujet voisin LACROIX (1913).

"La lecture des innombrables mémoires consacrées à la latérite m'a amené à la conviction que cette question ne pourra véritablement être élucidée que (...) lorsque les auteurs s'efforceront de ne pas considérer comme générales les conclusions tirées d'un trop petit nombre de faits particuliers".

Le mot latérite est un exemple particulièrement significatif des confusions que peuvent entraîner des généralisations hâtives. Comme ce mot a servi à nommer une grande variété de sols, on a étendu à toutes ces catégories de sol les résultats acquis à partir d'une catégorie particulière. MAIGNEN (1966) a fait l'historique des diverses définitions données à ce mot. La plupart des auteurs actuels écrivant en Anglais citent la définition donnée par ALEXANDER et CADY (1962) qui comprend à la fois des critères morphologiques et des critères chimiques. Ils définissent les latérites comme (a) fortement altérées (b) riches en fer secondaire et/ou oxydes d'aluminium (c) pauvres en bases et silicates primaires (d) contenant éventuellement de fortes proportions de quartz de kaolinite (e) capables de durcir sous l'effet du soleil.

Sans se prononcer sur l'utilité scientifique d'une telle définition, il est clair, à notre avis, qu'elle n'a pas grand intérêt géotechnique. Le but d'une classification appliquée comme doit l'être une classification géotechnique est de permettre, à partir de constatations de terrain et d'essais simples, de prévoir le comportement mécanique d'un matériau. Ce n'est pas, semble-t-il, le cas de cette définition.

En fait, on a appelé latérites dans la littérature géotechnique, les matériaux provenant de divers horizons de sols ferrallitiques, ferrugineux et volcaniques; la plupart des auteurs traitant à l'intérieur de cette catégorie exclusivement d'une sous-classe pédologique, ou d'un horizon mais sans expliciter les limites de leur étude.

Seules, les études consacrées au continent africain seront considérées dans ce paragraphe. Cependant, les résultats acquis sur les sols tropicaux des autres parties du monde ont été utilisés dans le chapitre III traitant des corrélations entre propriétés physico-chimiques et géotechniques.

Par ailleurs on s'est volontairement limité ici aux études présentant des résultats expérimentaux en éliminant celles de synthèse non fondées sur des travaux de terrain et/ou de laboratoire spécifiques.

1 - ETUDE GENERALE DES SOLS TROPICAUX D'AFRIQUE : "LYON Ass." (1976)

Le bureau d'étude LYON Ass. a exécuté en 1970-75 une étude générale des sols tropicaux d'Afrique, qui avait pour objectifs de :

- mettre au point une définition géotechnique des latérites, des sols latéritiques et des autres sols tropicaux posant des problèmes, l'accent étant mis en pratique sur les sols latéritiques et les argiles noires tropicales ;

- proposer une classification des sols latéritiques qui décrive correctement leurs propriétés géotechniques ;
- évaluer les propriétés géotechniques et leurs intervalles de variations pour chaque classe de sols.

1.1. Etude des sols latéritiques

Pour LYON ass., sont considérés comme sols latéritiques, les matériaux rougeâtres provenant de l'altération en place, en région tropicale de la roche mère (reddish tropically weathered materials). Cette définition recouvre pour LYON Ass. les sols ferrugineux, les ferrisols et les sols ferrallitiques de la classification de D'HOORE.

Les sols ferrugineux ont un profil ABC qui montre fréquemment des concrétions ou des tâches provenant du lessivage et de la précipitation d'oxydes de fer. La réserve en minéraux altérables est souvent importante bien que le rapport silt/argile ($20/2\mu\text{m}$) soit généralement au dessous de 0,15. La kaolinite est l'argile dominante mais il peut aussi y avoir de petites quantités d'argiles à réseau 2 : 1. Il n'y a généralement pas de gibbsite. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de la fraction argileuse est proche de 2 ou parfois plus haut, mais le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ est inférieur à 2. Les sols ferrugineux sont trouvés dans les régions où les précipitations sont inférieures à 1830 mm par an et avec une saison sèche prononcée. La profondeur du profil est rarement supérieure à 2,50 m.

Les sols ferrallitiques sont souvent profonds avec des horizons peu différenciés. Le rapport silt/argile est généralement inférieur à 0,25 dans les horizons B et C. Les minéraux argileux sont du type à réseau 1 : 1 et les oxydes hydratés d'alumine sont généralement présents même si la gibbsite n'est pas un constituant essentiel. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est parfois voisin de 2 mais le plus souvent inférieur. Les sols ferrallitiques sont trouvés dans les régions humides (précipitations supérieures à 1500 mm) et couvertes d'une végétation dense.

Les ferrisols ont des profils très semblables à ceux des sols ferrallitiques. La réserve en minéraux altérables est généralement basse mais peut excéder 10 % de la fraction 50 - 250 μ m. Le rapport silt/argile est généralement supérieur à 0,20 pour les roches métamorphiques et volcaniques. La fraction argileuse est presque entièrement constituée de kaolinite, d'oxydes de fer, et de gels amorphes, avec parfois de petites teneurs de gibbsite. Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est voisin de 2, ou légèrement inférieur. Les ferrisols se trouvent dans les zones où les précipitations sont comprises entre 1250 et 2750 mm par an.

Les caractères essentiels des différences entre ces trois classes sont résumés dans le tableau ci-dessous.

- Principales différences entre les trois classes de sols latéritiques (tableau établi d'après les données de LYON Ass.)

Sol	Profondeur	Argile dominante	Argile accessoire	Silt/argile	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	pluie (mm)
Ferrugineux	rarement 2,5 m	Kaolinite		$\leq 0,15$	≈ 2	≤ 1800
Ferrallitiques	souvent profond(6m)	Kaolinite	parfois gibbsite	$\leq 0,25$	≤ 2	≥ 1500
Ferrisols	souvent tronqués érosion	Kaolinite	Sesquioxydes	$\geq 0,2$	≈ 2	≥ 1250 < 2750

Sur un grand nombre d'échantillons de ces trois classes de sols, granulométrie, limites d'Atterberg, CBR et facteur de portance ont été déterminées.

Pour les indices d'Atterberg, on obtient les équations suivantes :

sols ferrugineux : $\text{IP} = 0,71 \times \text{WL} - 8,5$

sols ferrallitiques : $\text{IP} = 0,57 \times \text{WL} - 3,62$

ferrisols : $\text{IP} = 0,50 \times \text{WL} - 1,5$

Les différences entre ces relations ont fait l'objet de test statistiques qui ont montré qu'elles étaient significatives .

Pour CBR et le produit $m \times IP$ les corrélations sont faibles ou nulles.

Critique de ces résultats

Trois critiques principales peuvent être formulées :

a) la classification adoptée est trop sommaire. A l'intérieur de chacune des classes existent des groupements dont l'intérêt au plan géotechnique, dépasse celui de la classe. Par exemple la considération de la roche mère est presque toujours un facteur important de différenciation de la granulométrie des horizons profonds : l'horizon C d'un sol développé sur granite a les mêmes caractéristiques géotechniques que le sol soit ferrallitique ou ferrugineux mais à l'intérieur de la classe sol ferrallitique l'horizon C développé sur schiste et l'horizon C développé sur granite sont géotechniquement très différents (ATLAN, 1974). D'après ces résultats, il semblerait que les cartes pédologiques soient d'un faible intérêt pour une prévision des propriétés géotechniques des matériaux si l'on s'en tient au niveau des unités pédologiques supérieures (classes, sous-classes) ;

b) les faisceaux granulométriques présentés montrent que la grande majorité des sols étudiés comportent environ 20 % de graviers. Ce type de matériau n'est pas, loin s'en faut le plus représenté. En effet la séquence des horizons d'un sol ferrallitique (Côte d'Ivoire) est la suivante :

- humifère, sablo-argileux, puissance 0,20 à 1,70 m
- graveleux argileux, puissance 0 à 0,80 m
- argile, puissance plusieurs mètres.
- arène sablo-argileuse (granite altéré), puissance 2 à 3 m
- roche saine

Il semble donc que les matériaux décrits par LYON Ass. ne soient représentatifs que de la deuxième couche, ceci expliquant d'ailleurs pourquoi le point de vue exprimé en a) n'a pas été pris en compte dans cette étude ;

c) Selon AUTRET (1980) la considération du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ne semble pas être un critère suffisant de classification.

1.2. Etude des argiles noires tropicales

21 échantillons d'argiles noires tropicales provenant d'Afrique ont été analysés. La montmorillonite est toujours l'argile dominante. La teneur en argile+limon varie de 58 à 95 %.

La limite de liquidité varie de 22 à 149 % et l'indice de plasticité de 11 à 93. La densité optimum Proctor modifié varie de 1,4 à 1,9. Les valeurs du CBR sont toutes très basses (< 2), ce qui est à mettre en relation avec le caractère gonflant de la montmorillonite.

La roche mère des vertisols ne semble pas avoir d'influence sur leurs propriétés. Cependant les argiles noires résiduelles sur roches volcaniques ont souvent de plus faibles densités et des optimum Proctor plus élevés. De plus, le gonflement est moins marqué lorsque les argiles ont des cations calcium plutôt que des cations sodium.

2 - GHANA

L'Université de KUMASI au GHANA a participé aux études de LYON Ass. Ces études ont été poursuivies ultérieurement par GIDIGASU. Les matériaux représentatifs des principaux types de sols du GHANA ont été analysés : granulométrie, pH, carbonate de calcium, matière organique, capacité d'échange cationique, eau hygroscopique. Les résultats obtenus sont interprétés à l'aide de cinq facteurs : (1) zone climatique et végétale (2) roche mère (3) type de pédogenèse (4) degré de lessivage et latérisation et (5) teneur en argile.

Les conclusions sont les suivantes :

- pH, teneur en carbonate de Ca et en matière organique dépendent principalement des conditions climatiques et de la végétation ;

- les degrés de lessivage et de latérisation des différents types de sol dans les trois zones climatiques distinguées exercent une influence considérable sur les relations entre teneur en argile, capacité d'échange cationique, et teneur en eau hygroscopique ;

- les sols tropicaux du GHANA ne peuvent être classés à partir seulement de la granulométrie. La genèse des sols doit être aussi considérée ;

- des propriétés géotechniques moyennes peuvent être attribuées à des groupes de sols classés en fonction de leur granulométrie, de la roche mère, du climat et de la végétation des zones où ces sols sont développés (GIDIGASU 1972).

Critique de ces résultats

Les résultats expérimentaux ne concernent pratiquement que les sols dits latéritiques. Il n'y a pas prise en compte des autres types de sols ni tentative d'application systématique des cartes et données pédologiques aux études géotechniques. Ce n'était d'ailleurs pas le propos des auteurs.

Le paramètre profondeur de prélèvement n'est pas explicité dans les publications antérieures à 1980. Une ambiguïté apparaît dans la plupart de ces études, et qui paraît liée à un problème de vocabulaire : il semble que l'expression "laterite" soit réservée pour cet auteur à la partie supérieure de l'horizon B. En effet, sur un schéma d'un article récent (GIDIGASU, 1980) la partie supérieure de l'horizon B est appelée "zone latéritique". Par ailleurs, dans ce même travail, les courbes granulométriques, obtenues pour les différents "horizons" confirment les résultats d'ATLAN (1974) sur les sols de Côte d'Ivoire.

Des résultats sur matériaux gonflants sont aussi présentés dans GIDIGASU (1980) et GIDIGASU et ANDOH (1980) en relation avec la pédogénèse des argiles noires tropicales.

3 - NIGERIA

3.1. Les sols latéritiques du Nigéria

LYON Ass. (1976) a, de même que pour les sols de GHANA, étudié les propriétés des sols du Nigéria en tenant compte de la classification de D'HOORE. Les mêmes critiques et observations sont à formuler.

D'autres études ont été effectuées. Elles font intervenir les facteurs roche mère, degré d'altération. Les études de KAHL (1976) donnent les propriétés géotechniques des sols du Nigéria en relation avec la roche mère.

MADU (1977) distingue les sols latéritiques sur grès et les sols latéritiques sur schistes. Les premiers présentent une teneur en sesquioxides plus élevées que les seconds. Il relie les limites d'Atterberg à la teneur en sesquioxides. La corrélation est bonne selon ces auteurs. En revanche, la densité sèche maximale n'est pas liée à la teneur en sesquioxides. Il faut cependant noter que ces courbes sont obtenues à partir d'essais réalisés sur 6 échantillons ce qui peut paraître insuffisant, quant au calcul du coefficient de corrélation qui n'est d'ailleurs pas précisé ici.

LAL (1978) réalise le même type d'étude en distinguant les sols développés sur roches basiques et sur roches sédimentaires.

On peut constater à ce niveau que les deux paramètres, roche mère et degré d'altération sont pris en compte simultanément. Le facteur roche mère est étudié de façon purement qualitative. Les auteurs ne s'accordent pas toujours sur l'importance de son rôle en particulier sur la granulométrie (comparaison des résultats obtenus par KAHL et MADU).

Le rôle de la teneur en sesquioxides, donc le degré d'altération, est en revanche étudié de façon quantitative et corrélé aux caractéristiques géotechniques.

3.2. Les vertisols

Les vertisols du Nigéria, développés sur des formations sédimentaires récentes, ont un mauvais comportement géotechnique. Les caractéristiques mécaniques sont faibles (cf résultats obtenus par OLA 1978 et 1980, LYON Ass. 1976). Un mélange de chaux et de ciment permet une amélioration de ces caractéristiques. La chaux diminue le gonflement et le ciment permet une augmentation de la résistance. Une combinaison de 6 % de chaux et 8 % de ciment semble la mieux adaptée pour les sols du Nigéria (cf OLA, 1978).

Il faut noter que les résultats proposés par les différents auteurs présentent une grande homogénéité pour ce type de sol.

4 - COTE D'IVOIRE

Les sols ferrallitiques et ferrugineux de Côte d'Ivoire ont fait l'objet d'une classification géotechnique spécifique par ATLAN (1974). Cette classification s'appuie essentiellement sur les travaux pédologiques de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire.

Le système de constitution des groupes est le suivant :

1) Géotechnique. Classer le sol selon la classification L.P.C., en fonction de sa granulométrie.

2) Géologique. Préciser la roche mère.

3) Pédologique. Préciser la place occupée par l'échantillon dans le profil type ABC. Préciser la nature de l'altération (ferrallitique ou ferrugineuse), le faciès de la couche indurée ou non (tache rouille, carapace) tachetée, bariolée.

On peut ainsi définir un échantillon de sol latéritique par 5 qualificatifs :

- sa classification L.P.C. ;
- nature de la roche mère ;
- nature de l'altération ;
- niveau de l'horizon de prélèvement (A, B ou C) ;
- faciès de la couche caractérisé par un ou plusieurs adjectifs pris dans la liste suivante : typique, modal, remanié, induré, appauvri.

Cette classification pour être opérationnelle devrait définir pour chacun des groupes le domaine de variation des principales propriétés géotechniques ainsi que les corrélations existantes entre les paramètres géotechniques. Les résultats présentés ne sont que des moyennes ne permettant pas une analyse statistique. Comme l'a écrit l'auteur, ces travaux ne sont donc qu'une première approche méritant d'être confirmée par un programme expérimental et statistique plus important.

Les graveleux latéritiques, matériaux d'une grande importance économique, puisqu'ils sont utilisés pour la construction des couches de chaussée, ont fait l'objet en 1977 d'une étude portant sur plus de 300 emprunts (MENIN 1981).

Les résultats obtenus confirment la classification de ce matériau en trois classes géotechniques à partir des déterminations de IP, m, WL, Wop, γ_{op} et CBR. Les distinctions selon la roche mère ou la zone climatique n'apparaissent pas.

ANNEXE II

FICHES DESCRIPTIVES ET ANALYTIQUES DES PROFILS DE SOLS

- Tableau de la classification des sols étudiés
- Abréviations utilisées pour la fiche descriptive et analytique
- Fiches descriptives et analytiques des profils

ABREVIATIONS UTILISEES POUR LA FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

1 - DESCRIPTION DU PROFIL

Définition des horizons

A la suite de différents congrès, la nomenclature et la désignation des horizons, adoptées par la plupart des auteurs, sont les suivantes (DUCHAUFOR, 1970, p. 221) :

- (A) : Horizon différant de la roche-mère par une simple désagrégation physique.
- A : Horizon de surface, contenant de la matière organique: souvent appauvri en colloïdes ou en fer par lessivage
- (B) : B "structural" ou d'altération, différant, d'une part de la roche-mère par son degré d'altération plus fort (présence de Fe_2O_3 libre), d'autre part, de l'horizon de surface A par sa structure différente.
- B : Horizon enrichi par illuviation en éléments fins ou colloïdaux : argile, oxydes de fer et d'aluminium, parfois humus.
- C : Matériau originel aux dépens duquel sont formés A et (B) ou B.
- G : Horizon de gley, de couleur gris verdâtre, riche en fer ferreux, à taches rouille se formant au sein ou à la limite supérieure d'une nappe permanente, à dominance de phénomène de réduction.
- g : Horizon de pseudogley de couleur jaune orangé ou rouille à nombreuses taches, riche en fer ferrique et oxydes de manganèse, ou dominant les phénomènes d'oxydation.
- R : Roche brute sous-jacente

Couleur

Selon le "code Munsell - Soil color charts"

bl = blanc, br = brun, be = beige, j = jaune, o = orange,
 ov = olive, r = rouge, n = noir, c = clair, f = foncé,
 v = vif, p = pale, t = très

Texture

S = sableux, A = argileux, L = limoneux, a = faiblement argileux, l = faiblement limoneux

Structure

C = cubique, COL = en colonnettes, Gr = grumeleuse, L = lamellaire, M = massive, P = polyédrique, Pa = particulaire, PL = en plaquettes, PR = prismatique

Taches et concrétions, éléments grossiers

absents	-	inférieur à 2 % de la surface			
peu abondants	+	2 à 15 %	"	"	"
abondants	++	15 à 30 %	"	"	"
très abondants	+++	supérieur à 30 %	"	"	"

Test HCl (CaCO_3) = calcaire actif

effervescence nulle	-
effervescence faible	+
effervescence moyenne	++
effervescence forte	+++

2 - ANALYSES

A + LF : argile + limon fin (0 - 20 μ m), en % du poids total de la terre fine (0 - 2 mm)

pH : en unités pH

MO : matière organique en % du poids de la terre fine

CaCO_3 : calcaire actif, en % du poids de la terre fine

CEC : capacité d'échange cationique, en meq/100 g sol (milliequivalent)

Cond. : conductivité de la pâte saturée en mmhos/cm

pF 4,2: teneur en eau (en %) à pF 4,2

Série minér. : classement dans les séries minéralogiques 1,2 et 3 définies dans cette étude

série 1 : absence de montmorillonite, kaolinite (et/ou illite)seule

série 2 : kaolinite + montmorillonite + divers, dominance de kaolinite

série 3 : kaolinite + montmorillonite + divers, dominance de montmorillonite

LL : teneur eau (%) à la limite de liquidité

LP : teneur en eau (%) à la limite de plasticité

IP : indice de plasticité $IP = LL - LP$

Wop : teneur en eau à l'optimum Proctor

γ_{op} : densité à l'optimum Proctor

CBR : "Charge Bearing Ratio", indice de portance déterminé à l'optimum Proctor

nm : non mesurable

L'absence de symboles ou de chiffres dans une case des tableaux indique que les observations ou les mesures n'ont pas été effectuées.

Classifications pédologiques et géotechniques des sols et matériaux étudiés (a)

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C
S2 MYO 23	SOLS PEU EVOLUES	Non Climatiques	D'érosion	régosolique	gravillonnaire (sur cuirasse ferrugineuse)	SL SL
MYO 26				régosolique intergrade ferrugineux tropical	gravillonnaire (sur cuirasse ferrugineuse)	SL
M1 M3			D'apport alluvial	modal hydromorphe	argilo-limoneux argilo-sableux	Ap -
Z6 DAG 4 FKM 43				hydromorphe salé alcalisé	sableux sableux argilo-limoneux	Sm Lp Ap
TP 10 TP 11			D'apport colluvio- alluvial	modal	sablo-argileux	SA SA
OS 11			D'apport anthropique	hydromorphe	sablo-argileux	SA
M2	VERTISOLS	A drainage externe nul ou réduit	A structure anguleuse	modal.	argileux(sur alluvion)	At
TP 2		A drainage externe possible	A structure anguleuse			At
FKM 12 FKM 33				modal	argileux(sur dolérite)	Ap
BAM 2				modal modal	argileux(sur calcaire) argileux(sur schiste)	At Ap
				intergrade ferrugineux tropical	sablo-argileux (sur marne calcaire)	SL
TP 5	SOLS CALCIMAGNESIQUES	Carbonatés	Brun calcaire	vertique	argileux(sur calcaire marneux)	At

(b)

SOL	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
FKM 89	SOLS ISOHUMIQUES	Sous pédo-climat à température élevée en période pluvieuse	Brun sub-aride	modal	sablo-argileux (sur sable siliceux alluvial)	Lp
DAG 1				modal	sablo-argileux (sur sable siliceux éolien)	SL
FKM 123				modal	sablo-argileux (à argilo-sableux (sur schiste))	Ap
FKM 200				modal	argileux (sur argiles "formation jaune")	Ap
POD 1				brun rouge faiblement évolué	sableux (sur sable siliceux éolien)	SL
TP1				brun rouge intergrade ferrugineux tropical	sableux (sur sable) siliceux éolien)	SL
FKM 9				vertique	sablo-argileux (sur marne)	Lp
TP6				vertique	argilo-sableux (sur marne)	Ap
FKM 122				faiblement alcalisé	sablo-argileux (sur schiste)	Ap
LOU 1				faiblement calcaire	sablo-argileux (sur sable colluvial calcaire)	SL
FKM 30	SOLS BRUNIFIES	des pays tropicaux	Brun eutrophe	hydromorphe	(argileux sur schistes)	Ap

(c)

SOL	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
DN HP BAM 1 FO	SOLS A SESQUIOXYDES DE FER	Sols ferrugineux tropicaux	Peu lessivé	modal	sablo-faiblement argileux (sur sable siliceux éolien)	SA AL -
NS 1 TP 14 K1			Lessivé	modal sans tache	sablo-argileux à argilo-sableux (présence de cuirasse à faible profondeur sur grès)	SA Lp Lp
PMF 12 TP 15 TP 9 TP 16 NGT K2				modal sans tache	sablo-argileux à argilo-sableux (ab- sence de cuirasse à faible profondeur sur grès)	SA SA Ap Ap Lp SL
TP 17 S1 Z2 TP 13 PMF 9 Z7				à taches et concrétions	sablo-argileux à argilo-sableux (sur grès)	Lp Ap Lp Ap Ap Ap
MYO 24 MKYO 110				à taches et concrétions	argileux (sur grès)	Ap Lp
PMF 1				hydromorphe à pseudo- gley	argileux (sur grès)	Ap
Z1	SOLS FERRALLITIQUES	Faiblement désaturés en (B)	Typique	modal	argileux (sur grès)	Ap

(d)

SOL N°	CLASSE	SOUS-CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	FAMILLE (Matériau)	CLASS. L.C.P.C.
FKM 91 Z3 DAG 2	SOLS HYDROMORPHES	Minéraux	A pseudogley	à nappe perchée	sableux (dépot alluvial)	SA SL Ap
FKM 142				à nappe perchée	sablo-limoneux (sur dépot alluvial)	Ap
FKM 92 OS 10				à nappe perchée	argilo-sableux (dépot alluvial)	Ap SL
Z4				à nappe perchée	argileux (dépot alluvial)	Ap
RB2 RB3				à nappe perchée vertique, faiblement salé	argileux (dépot alluvial)	Ap SL
FKM 37				à nappe perchée, faiblement alcalisé	argilo-sableux (sur pelites)	Ap
RB4	SOLS SODIQUES	A structure non dégradée	Sols salins	à efflorescences salines	argileux (dépot alluvial)	Ap
DAG 3				à efflorescences salines, vertique	argileux (dépot alluvial)	At
BAS TH				acidifié	sableux (sable alluvial)	-
Z 5				acidifié	argilo-sableux (dépot alluvial)	SA
Z8				acidifié	argileux (dépot alluvial)	At
FKM 36		A structure dégradée	Sols sodiques à horizon B (Solonetz)	à structure en colonnettes de l'horizon B	argilo-sableux	Ap

N° Profil : S2(Sefa)

Classification Sol peu évolué d'érosion régosolique
sur matériau gravillonnaire

Roche-mère : Grès continental terminal

Géomorphologie : plateau cuirassé

Végétation : forêt

Critères externes de reconnaissance

Epandages gravillonnaires en surface. Densité importante de *Sterculia Setigera*

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12/C	C Gravillons	
profondeur - cm	0-5	5-20	20-50	
couleur	10YR5/2 b g	10YR6/3.5 b j c	10YR6/4 j b c	
texture terre fine	SA	SA	AS	
structure	M	Pm	Pf	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	+	++	+++	
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	

Observations :

Prélè v.		
Prof.	5-20	
A + LF	26	
pH	5,1	
MO	1,3	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	6,4	
Série minér.	1	
LL	20	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : MYO 23 (Moungheul)

Classification Sol peu évolué d'érosion
régosolique sur matériau gravillonnaire

Roche-mère : Grès continental terminal

Géomorphologie : Plateau cuirassé

Végétation : forêt à Sterculia Setigera

Critères externes de reconnaissance

Epanchages gravillonnaires en surface. Densité importante de Sterculia

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	C Gravillons	R Cuirasse
profondeur - cm	0-10	10-20	20-45	45-
couleur	10YR6/2 bgc	10YR6/3 bp	10YR6/4 jbc	
texture terre fine	SA	AS	AS	
structure	Pm	Pf	Pf	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers gravillons	++	++	+++	
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	0-15	
A + LF	31	
pH	4,8	
MO	1,3	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	4,5	
Série minér.	1	
LL	15	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : MYO.26 (KOUNGHEUL)

Classification Sol peu évolué d'érosion régosolique
intergrade ferrugineux tropical lessivé

Roche-mère : Grès Continental terminal

Géomorphologie : plateau cuirassé

Végétation : forêt à Sterculia Setigera

Critères externes de reconnaissance

Epanchages gravillonnaires en surface. Densité importante de Sterculia

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12/B	C gravillons	
profondeur - cm	0-15	15-30	30-45	
couleur	10YR5/2 bg	10YR6/3 bp	10YR/6/4 bjc	
texture terre fine	S	SA	SA	
structure	M	Pm	Pp	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	-	+	+++	
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	15-30	30-45
A + LF	23	25
pH	5,2	5,1
MO	1,2	1,1
Ca CO3	0	0
CEC		
Cond	0	0
pF 4,2	3,5	4,1
Série minér.	1	1
LL	15	16
LP	nm	nm
IP	nm	nm
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

20

N° Profil : M1 (Matam)

Classification Sol peu évolué d'apport alluvial
modél sur matériau argilo-limoneux

Roche-mère : Alluvion fluviale Sénégal

Géomorphologie : levées - haute vallée

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

sur levées, aspect jaunâtre de surface

Horizons	1	2	3	4
nom	A	C		
profondeur -cm	0-5	5-100		
couleur	10YR5,5/3 bip	10YR5/4 bj		
texture terre fine	AL	A		
structure	M	M		
taches et concrétions	-	-		
éléments grossiers	-	-		
test HCL (Ca CO3)	-	-		

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	5-100	
A + LF	58	
pH	6,2	
MO	1,0	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	12,2	
Série minér.	2 ou 3	
LL	38,0	
LP	17,5	
IP	20,5	
Wop	14,6	
Yop	1,60	
CBR	0	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

21

N° Profil : M3 (Matam)

Classification Sol peu évolué d'apport alluvial
hydromorphe sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : Alluvion fluviatile Sénégal

Géomorphologie : bas de levée - Haute vallée

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Partie basse de levées, absence de fentes de retraits en surface

Horizons	1	2	3	4
nom	A	C		
profondeur cm	0-20	20-100		
couleur	10YR6/3 bp	10YR5/6 bj		
texture terre fine	LA	AS		
structure	Gr	M		
taches et concrétions	-	++		
éléments grossiers	-	-		
test HCL (Ca CO3)	-	-		

Observations :

Prélèv.		
Prof.	70-90	
A + LF	40	
pH	7,1	
MO	0,4	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	10,4	
Série minér.	3	
LL	30,0	
LP	12,0	
IP	18,0	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

22

N° Profil : Z6 (ZIGUINCHOR)

Classification Sol peu évolué d'apport alluvial
hydromorphe sur matériau sableuxRoche-mère : Alluvion fluviatile
Casamance

Géomorphologie : vallée

Végétation : palmiers

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A	C1	C2	
profondeur - cm	0-40	40-75	75-130	
couleur	jc	be	be	
texture terre fine	S	S	S	
structure	M	M	M	
taches et concrétions	-	+	+++	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	30-70	
A + LF	4	
pH	4,5	
MO	0,2	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	1,1	
Série minér.	1	
LL	nm	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

23

N° Profil : DAG 4 (Dagana)

Classification Sol peu évolué d'apport alluvial
salé sur matériau sableuxRoche-mère : Alluvions, moyenne vallée
du Sénégal

Géomorphologie : Rebord de cuvette

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	C1g	C2g	
profondeur - cm	0-10	10-60	60-100	
couleur	bj	jb	jb	
texture terre fine	S	SL	SA	
structure	M	M	M	
taches et concrétions	-	+	++	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	

Observations :

Prélèv.		
Prof.	30-60	
A + LF	19	
pH	7,0	
MO	0,2	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	1,1	
pF 4,2	4,0	
Série minér.	2 ou 3	
LL	24	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : FKM 43 (Kidira)

Classification Sol peu évolué d'apport alluvial
alcalisé sur matériau argilo-limoneux

Roche-mère : Alluvion fluviale de la falémé

Géomorphologie : glacis

Végétation : steppe à épineux

Critères externes de reconnaissance
aspect de surface glacé, limoneux, jaune

Horizons	1	2	3	4
nom	A	A/B	B	Cg
profondeur - cm	0-1	1-5	5-17	17-150
couleur	10YR6,5/4 bj	10YR5/4 bj	10YR6/6 jb	10YR6/6 jb
texture terre fine	SL	LA	AL	AL
structure	L	COL	C	M à P
taches et concrétions	-	-	+	++
éléments grossiers	-	-	-	nodules calcaires
test HCL (Ca CO ₃)	+	-	+	++

Observations :

Sol caractérisé par des pH élevés (supérieurs à 8,5)
dus à la présence de sodium sur le complexe absorbant en
absence de sels (cond. = 0)

Prélèv.	2	4
Prof.	1-5	17-50
A + LF	30	47
pH	8,1	9,5
MO	0,8	0,2
Ca CO ₃	0,03	0,32
CEC	12,5	18,2
Cond	0	0
pF 4,2	8,5	14,3
Série minér.	2	2
LL		
LP		
IP		13,5
Wop		16
Yop		2,04
CBR		3

N° Profil : TP 10 (M'Bour)

Classification Sol peu évolué d'apport colluvio-alluvial, modal, sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : Sable colluvio-alluvial

Géomorphologie : glacis, mi-pente

Végétation : herbacée

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	C	
profondeur - cm	0-30	30-50	50-130	
couleur (frais)	10YR3,5/3 bf	10YR4/3 b à bf	10YR4/4 bjf	
texture terre fine	S	S	SA	
structure	M	M	M à Pg	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	

Observations :

Prélè v.		
Prof.	50-130	
A + LF	20	
pH	5,7	
MO	0,3	
Ca CO ₃	0	
CEC	7,2	
Cond	0	
pF 4,2	5,4	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	9,5	
Wop	8,0	
Yop	2,09	
CBR	30	

N° ProfLL : TP11 (M'Bour)

Classification Sol peu évolué d'apport colluvio-alluvial, modal, sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : Sable colluvio-alluvial

Géomorphologie : glacis, bas de pente

Végétation : herbacée

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	C	
profondeur - cm	0-20	20-35	35-200	
couleur	10YR 4/4 bjf	10YR 5,5/6 bj	10YR 5/8 bj	
texture terre fine	S	S	SA	
structure	M	M	M à Pg	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	

Observations :

Prélè v.		
Prof.	50-200	
A + LF	24	
pH	5,7	
MO	0,3	
Ca CO ₃	0	
CEC	3,6	
Cond	0	
pF 4,2	6,2	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	9,5	
Wop	8,0	
Yop	2,10	
CBR	43	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

2:7

N° Profil : OS 11 (Matam)

Classification Sol peu évolué d'apport anthropique
hydromorphe sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : Sable argileux

Géomorphologie : bas de hutte
(site protohistorique)

Végétation : Quelques épineux

Critères externes de reconnaissance

Les sites protohistoriques au Sénégal se présentent sous forme de huttes renfermant de nombreux débris liés à l'activité humaine (poteries, cendres, cailloux rapportés, os etc...). Une densité très importante de ces débris s'observe dès la surface ce qui permet la localisation de ces sites.

Horizons	1	2	3	4
nom	Recouvrement récent	A	C ₁₉	C ₁₉
profondeur - cm	0-5	5-15	15-100	100-170
couleur	rosé	g	jo	j
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	Pa	M	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	++	+++
éléments grossiers	-	Tessons +	-	-
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	3	4
Prof.	15-100	100-120
A + LF	27	25
pH	6,7	7,0
MO	0,4	0,2
Ca CO ₃	0,03	0
CEC		
Cond	0	0
pF 4,2	6,1	6,3
Série minér.		2
LL		25
LP		8,5
IP		16,5
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : M2 (Matam)

Classification Vertisol à drainage externe réduit,
à structure anguleuse, modal, sur matériau argileux

Roche-mère : Alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : Cuvette - Haute vallée

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Position topographique (cuvette), fentes de retraits dès la surface, microrelief
gilgai

Horizons	1	2	3	4
nom	A/C	C		
profondeur - cm	0-20	20-70		
couleur (frais)	7,5YR4/4 b	7,5YR4/4 b		
texture terre fine	A	A		
structure	PR	M à PR		
taches et concrétions	-	-		
éléments grossiers	-	-		
test HCL (Ca CO ₃)	-	-		

Observations :

Prélè v.		
Prof.	0-70	
A + LF	78	
pH	6,9	
MO	0,6	
Ca CO ₃	0	
CEC	26	
Cond	0	
pF 4,2	17,2	
Série minér.	3	
LL	71,5	
LP	22,5	
IP	49,0	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : TP2 (Dakar)

Classification Vertisol à drainage externe possible
à structure angulaire, modal, sur matériau
argileux issu de dolérite

Roche-mère : dolérite

Géomorphologie : côte maritime basse

Végétation : quelques herbacées

Critères externes de reconnaissance

Couleur noire de surface, microrrelief gilgai, fentes de retrait dès la surface,
dolérite en boule sur sol

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12/C	R dolérite	
profondeur - cm	0-25	25-55	55	
couleur	2,5Y4/2 bgf	2,5Y4/4 bov		
texture terre fine	A	A		
structure	PR	PR à C		
taches et concrétions	-	-		
éléments grossiers	-	cailloux	de dolérite	
test HCL (Ca CO ₃)	-	+		

Observations :

Prélèvement		
Prof.	0-55	
A + LF	54	
pH	7,6	
MO	1,0	
Ca CO ₃	0,07	
CEC	23,8	
Cond	0	
pF 4,2	16,7	
Série minér.	3	
LL		
LP		
IP	35,0	
Wop	12,0	
Yop	1,91	
CBR	3	

N° ProfLL : FKM 12 (Matam)

Classification Vertisol à drainage externe possible,
à structure anguleuse, modal sur matériau
argileux issu de calcaire

Roche-mère : calcaire dur

Géomorphologie : glacis d'érosion

Végétation : steppe très clairsemée à épineux (Acacia Seyal dominant)

Critères externes de reconnaissance

Végétation, microrelief gilgai et fentes de retrait dès la surface

Horizons	1	2	3	4	5	Prélè.v.	1	2
						Prof.	0-40	40-80
nom	A	A/(B)	(B)	C	R	A + LF	60	74
profondeur - cm	0-40	40-80	80-170	170-190	190	pH	8,4	8,7
couleur	2,5 Y5/4 b ov c	2,5 Y 4/3 b ov	2,5 Y 4/2 bgf	2,5 Y7/6		MO	1,6	0,9
texture terre fine	A	A	A	A		Ca CO3	5,71	7,4
structure	P	PL	C	L		CEC	39	39,4
taches et concrétions	-		-	-		Cond	0	0
éléments grossiers	+	Modules calcaires +	++	+++		pF 4,2	14,7	17,2
test HCL (Ca CO3)	+	++	+++	+++		Série minér.	3	3
						LL		
						LP		
						IP		35
						Wop		16
						Yop		1,81
						CBR		2

Observations :

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

31

N° Profil : FKM 33 (Bakel)

Classification Vertisol à drainage externe possible,
à structure anguleuse modal sur matériau argileux
issu de schiste

Roche-mère : Sericito-schiste

Géomorphologie : glaciaire pente faible

Végétation : savane arborescente à Acacia Seyal

Critères externes de reconnaissance

Fentes de retrait et micro-relief gleyé en surface

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B/C	C
profondeur	0-14	14-50	50-160	160-195
couleur	2,5Y4/2 bgf	2,5Y4/3 b à bov	2,5 Y 4/4 bov	
texture terre fine	A	A	A	A
structure	C	PR	PR	PR
taches et concrétions	-	-	+	+
éléments grossiers	-	quartz +	quartz et calcaires	modules +
test HCL (Ca CO3)	-	+	+	+++

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-60	
A + LF	56	
pH	8,1	
MO	0,8	
Ca CO3	0,07	
CEC	29	
Cond	0	
pF 4,2	14,2	
Série minér.	3	
LL		
LP		
Ip	33	
Wop	16	
Yop	1,98	
CBR	2	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

32

N° Profil : BAM 2 (Bambey)

Classification Vertisol intergrade ferrugineux
tropical lessivé sur marne calcaire

Roche-mère : Marne calcaire

Géomorphologie : Plateau faiblement ondulé plus ou moins ensablé

Végétation : sol nu (cultures)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B	B/C _{ca}	C _{ca}
profondeur - cm	0-40	40-80	80-110	110-200
couleur	10YR4/3 bf	10YR4/3 bf	10YR5/3 b	2,5Y6,5/2 gc
texture terre fine	S	S	SA	AS
structure	M	M	PR	M
taches et concrétions	-	-	++ (blanchâtres)	-
éléments grossiers	-	modules calcaires	+	marne altérée
test HCL (Ca CO ₃)	-	+	++	+++

Observations :

Prélè v.	1	
Prof.	30-60	150-200
A + LF	12	19
pH	7,5	8,4
MO	0,4	1,9
Ca CO ₃	0,1	16,0
CEC	0,6	1,9
Cond	0	0
pF 4,2	3,0	4,2
Série minér.	2 ou 3	3
LL	20	17
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

33

N° Profil : TP5 (Dakar)

Classification Sol brun calcaire vertique sur
matériau argileux

Roche-mère : calcaire marneux

Géomorphologie : côte maritime basse

Végétation : quelques rares herbacées

Critères externes de reconnaissance

Couleur noire de surface, microrelief gilgai et fentes de retrait, riche en
calcaire actif dès la surface. Blocs de calcaires visibles au sol.

PROFIL NON DECRIE

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélè v.		
Prof.	15-90	
A + LF	84	
pH	8,2	
MO	1,3	
Ca CO ₃	42,2	
CEC	18,4	
Cond	0	
pF 4,2	21,5	
Série minér.	3	
LL		
LP		
IP	59,5	
Wop	20,5	
Yop	1,60	
CBR	0	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

3 4

N° Profil : FKM 89

Classification Sol isohumique brun sub-aride modal
sur matériau sablo-argileuxRoche-mère : sables alluviaux avec
reprise éolienne locale

Géomorphologie : plaine sableuse

Végétation : sol nu (cultures)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	Cg
profondeur - cm	0-25	25-50	50-100	100-160
couleur	10YR5/3 b	10YR5/4 bj	7.5YR5,5/6 b à bv	10YR6/6 jb
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M à Pg
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	1	3
Prof.	0-25	50-100
A + LF	11	25
pH	6,2	6,9
MO	0,4	0,4
Ca CO3	0	0
CEC	3,2	6,1
Cond	0	0
pF 4,2	2,1	3,8
Série minér.	2	2
LL		
LP		
IP	nm	
Wop	9,4	
Yop	1,87	
CBR	14	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

3 5

N° Profil : DAG 1 (Dagana)

Classification Sol isohumique brun subaride
modal sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : Alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : Rebord de glacis-Moyenne vallée

Végétation : savane arbustive à épineux

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	
profondeur - cm	0-20	20-40	40-60	
couleur	bj	bj	bc	
texture terre fine	S	SA	SA à AS	
structure	M	M	M	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-60	
A + LF	24	
pH	7,6	
MO	0,7	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	5,0	
Série minér.	1	
LL	19,0	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

36

N° Profil : FKM 123 (Bakel)

Classification Sol isohumique brun sub-aride modal
sur matériau sablo-argileux à argilo-sableux
issu de schiste

Roche-mère : schiste

Géomorphologie : glacis de dénudation à mi-pente

Végétation : savane arbustive claire

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	C1g
profondeur - cm	0 - 30	30-50	50-80	80-160
couleur	10YR 5/3 b	10YR4/3 bf	10YR4/5 bjf	10YR6/5 bj
texture terre fine	SA	SA	SA	SA
structure	M	C à Pg	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	1	2
Prof.	0-30	30-50
A + LF	23	28
pH	6,1	7,0
MO	0,8	0,6
Ca CO3	0	0
CEC	8,3	12,2
Cond	0	0
pF 4,2	3,5	6,3
Série minér.	2	2
LL		
LP		
IP		11
Wop		12,5
Yop		2,10
CBR		5

N° Profil : FKM 200 (Matam)

Classification Sol isohumique brun sub-aride modal
sur matériau argileuxRoche-mère : Argiles de la "Formation
jaune"

Géomorphologie : glacis d'érosion à pente faible

Végétation : très faible

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B11	B12	C/R
profondeur - cm	0 - 15	15 - 30	30-55	55 - 80
couleur	7,5YR5/6 bv	7,5Y3/8 bv	7,5YR5/8 bvi	7,5YR6/8 jil
texture terre fine	A	A	A	A
structure	L	Pm	AA	Pj
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	+	+++
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	2	3
Prof.	15,30	30,55
A + LF	59	58
pH	6,7	6,7
MO	0,8	0,5
Ca CO3	0	0
CEC	15,8	14,0
Cond	0	0
pF 4,2	11,9	12,8
Série mLnér.	1	1
LL		
LP		
IP	20,5	
Wop	16	
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

38

N° Profil : POD 1 (Podor)

Classification Sol isohumique brun rouge faiblement
évolué sur matériau sableux

Roche-mère : sable éolien siliceux

Géomorphologie : vieilles dunes fixées

Végétation : steppe à épineux

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	C
profondeur cm	0-20	20-50	50-120	120
couleur	b	br	br	jo
texture terre fine	S	S	S	S
structure	Pa	M	M	M
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-60	
A + LF	6	
pH	6	
MO	0,3	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	1,3	
Série minér.	1	
LL	nm	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

39

N° Profil : TP 1 (Dakar)

Classification Sol isohumique brun rouge intergrade
ferrugineux tropical sur matériau sableux

Roche-mère : sable siliceux éolien

Géomorphologie : dune

Végétation : herbacée peu dense (carrière)

Critères externes de reconnaissance
matériau sableux légèrement rougeâtre en profondeur

PROFIL NON DECRIE

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélèv.		
Prof.	70-120	
A + LF	3	
pH	5	
M0	0,2	
Ca CO ₃	0	
CEC	2,9	
Cond	0	
pF 4,2	0,9	
Série minér.		
LL		
LP		
IP	nm	
Wop	12,0	
Yop	1,73	
CBR	22	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

40

N° Profil : FKM 9 (Matam)

Classification Sol isohumique brun sub-aride vertique
sur matériau sablo-argileux issu de marnes

Roche-mère : marne ou calcaire tendre

Géomorphologie : glacis à pente faible

Végétation : quelques épineux (culture)

Critères externes de reconnaissance

couleur noirâtre de surface avec matériau sablo-argileux. Pas de fentes de retrait

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B/C	C
profondeur - cm	0-16	16-60	60-80	80-175
couleur	10YR4/2 bgf	10YR3/1 gtf	10YR3,5/2 bgf	10YR5/25 bg
texture terre fine	SA	SA	SA	SA
structure	C à Pm	C	C	M à C
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	Quelques débris coquillers et grains blancs (phosphates?)		
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè.v.	1	2
Prof.	0-16	16-60
A + LF	23	27
pH	5,9	6,5
MO	1,0	0,9
Ca CO3	0	0
CEC	16,7	21,2
Cond	0	0
pF 4,2	5,8	7,8
Série minér.	3	3
LL		
LP		
IP		18,0
Wop		14,0
Yop		2,03
CBR		5

N° Profil : TP 6 (Dakar)

Classification Sol isohumique brun sub-aride vertique
sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : marne

Géomorphologie : côte maritime basse

Végétation : quelques herbacées

Critères externes de reconnaissance

Sable noir en surface. Absence de fentes de retrait et de microrelief gilgai

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	A/Bg	Cg
profondeur - cm	0-10	10-36	36-70	70-120
couleur	2,5Y2,5/0 n	10YR3/1 gtf	10YR3,5/2 bgf	10YR4/2,5 bg
texture terre fine	SLA	S LA A	SA	AS
structure	C	PR	PR	M à C
taches et concrétions			+	++
éléments grossiers			petits modules calcaires	
test HCL (Ca CO3)		+	+++	+++

Observations :

Prélè v.		
Prof. ---	35-120	
A + LF	34	
pH	7,8	
MO	0,7	
Ca CO3	0	
CEC	25,3	
Cond	0	
pF 4,2	13,3	
Série minér.	3.	
LL		
LP		
IP	24,5	
Wop	11,0	
Yop	1,95	
CBR	5	

N° Profil : FKM 122 (Bakel)

Classification Sol isohumique brun sub-aride faiblement alcalisé sur matériau sablo-argileux issu de schiste

Roche-mère : Sericitoschiste

Géomorphologie : glacis de dénudation à pente faible (mi-pente)

Végétation : steppe à épineux très clairsemée

Critères externes de reconnaissance

aspect brun-jaunâtre avec "glaçages" de surface et érosion en nappe.

Horizons	1	2	3	4
nom	Ag	Blg	Bca	Cca
profondeur - cm	0-4	4-11	11-30	30-155
couleur	10YR6/3 bp	10YR4/3 bf	10YR5/4 bj	2,5Y 6/4 bjc
texture terre fine	SL	SA	AS	AS
structure	M	Pm à CoL	Pg	M
taches et concrétions	+	++	-	-
éléments grossiers	-	-	-	gravillons et modules calcaires
test HCL (Ca CO ₃)	+	+	+	+

Prélèv.	1	3
Prof.	0-4	11-30
A + LF	14	36
pH	7,1	9,6
MO	1,1	1,1
Ca CO ₃	0,20	0,17
CEC	9,6	12,1
Cond	0	0
pF 4,2	4,6	5,6
Série minér.	3	3
LL		
LP		
IP		12,5
Wop		8,3
Yop		2,10
CBR		5

Observations :

Sol caractérisé par des pH très élevés à faible profondeur indiquant la présence de sodium sur le complexe absorbant en absence de sels (cond. = 0)

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

43

N° Profil : LOU 1 (Louga)

Classification Sol isohumique brun sub-aride
faiblement calcaire sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : sables colluviaux calcaires

Géomorphologie : vieilles dunes fixées

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)ca	C _{ca}
profondeur cm	0-30	30-50	50-100	100-120
couleur	b	bj	bjc	j
texture terre fine	S _a	SA	SA	S
structure	M	Pg	Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	+
éléments grossiers	-	quelques +	modules calcaires +	+
test HCL (Ca CO ₃)	-	+	+++	+++

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-70	
A + LF	18	
pH	8,4	
MO	1,7	
Ca CO ₃	5,8	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	2,8	
Série minér.	3	
LL	17,5	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : FKM 30 (Kidira)

Classification Sol brun entrophe hydromorphe sur
matériau argileux issu de schiste

Roche-mère : schiste

Géomorphologie : glacis à pente très faible

Végétation : steppe à épineux

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12g	(B)g/R	R schiste
profondeur - cm	0 - 15	15 - 30	30 - 61	61 - 100
couleur	10 YR 5/4 bg	10 YR 6/4 bjc	7,5YR 5/6 bv	
texture terre fine	SLA	ALS	A	
structure	PR	Pm	Pf	
taches et concrétions	+	++		
éléments grossiers	-	-	gravier de quartz	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-		

Observations :

Prélèv.	2	
Prof.	15-30	
A + LF	44	
pH	7,7	
MO	0,6	
Ca CO ₃	0	
CEC	15,0	
Cond	0	
pF 4,2	8,5	
Série minér.	2	
LL		
LP		
IP	19,0	
Wop	15,5	
Yop	2,08	
CBR	3	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

45

N° Profil : DN-HP (Dahra)

Classification Sol ferrugineux tropical peu lessivé
modal sur matériau sablo-faiblement argileux

Roche-mère : Sable siliceux éolien

Géomorphologie : Dunes fixées (haut de pente)

Végétation : Savane arborée

Critères externes de reconnaissance

PROFIL NON DECRIE

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélèv.		
Prof.	10-30	30-50
A + LF	4	5
pH	5,5	5,5
MO	0,2	0,3
Ca CO ₃	0	0
CEC		
Cond	0	0
pF 4,2	1,0	1,0
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP	nm	nm
Wop	10,0	
Yop	1,81	
CBR	11	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

46

N° Profil : BAM 1 (Bambey)

Classification Sol ferrugineux tropical peu lessivé,
modal, sur matériau sablo-faiblement argileux

Roche-mère : sable siliceux éolien

Géomorphologie : vieilles dunes fixées faiblement ondulées

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	C
profondeur cm	0-20	20-50	50-140	140-180
couleur	10YR6/4 jb	10YR6/5 jb	7,5YR5/6 bv	10YR6,5/6 1
texture terre fine	S	S	S	S
structure	M	M	M	M
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	1	
Prof.	30-60	
A + LF	5	
pH	5	
MO	0,3	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	1,3	
Série minér.	1	
LL	nm	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

47

N° Profil : FO (Richard Toll)

Classification Sol ferrugineux tropical peu lessivé
modal sur matériau sablo-faiblement argileux

Roche-mère : Sable siliceux éolien

Géomorphologie : vieille dune fixée (sommet)

Végétation : savane arbustive

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	(B)	C
profondeur - cm	0-30	30- 60	60 -115	115-170
couleur	7,5YR5/6 bv	5YR5/6 rj	5YR5/8 rj	7,5YR6/8 jr
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M à Pg
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	2	3
Prof.	30- 60	60 -115
A + LF	15	14
pH	7,9	7,1
MO	0,2	
Ca CO3	0	0
CEC	2,7	2,7
Cond	0	0
pF 4,2	2,5	2,3
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP	4,5	
Wop	13,5	
Yop		
CBR		

N° Profil : NS1 (N'Doli)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé
modal, sans tâche, sur matériau sablo-argileux
(cuirasse à faible profondeur)

Roche-mère : Grès Continental terminal

Géomorphologie : Plateau cuirassé

Végétation : Savane arborée

Critères externes de reconnaissance

PROFIL NON DECRIE

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-60	
A + LF	26	
pH	4,9	
MO	0,5	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	9,0	
Série mLnér.	1	
LL		
LP		
IP	19,5	
Wop	11,4	
Yop	1,96	
CBR	46	

N° Profil : TP 14 (Niara)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé
modal, sans tâche, sur matériau sablo-argileux
(cuirasse à faible profondeur)

Roche-mère : Grès Continental terminal

Géomorphologie : Rebord de plateau cuirassé

Végétation : Jachère arbustive

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C gravillons
profondeur - cm	0-15	15-25	25-37	37-45
couleur	10YR3/2 bgtf	10 YR4/3 b+	7,5YR5/6 bv	5YR5/6 nf
texture terre fine	S	S	S	SA
structure	M	M à Pg	M à Pg	
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	+Grav	llons ferrugineux +	+++
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	0-35	
A + LF	16	
pH	5,8	
MO	0,6	
Ca CO3	0	
CEC	1,6	
Cond	0	
pF 4,2	3,4	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	3,5	
Wop	6,5	
Yop	2,10	
CBR	62	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

50

N° Profil : K1 (Koungheul)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé, modal,
sans tâche, sur matériau sablo-argileux (cuirasse
à faible profondeur)

Roche-mère : Grès, Continental terminal

Géomorphologie : Plateau, rebord de glaci

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C R gravillons cuirasse
profondeur cm	0-15	15-30	30-70	70-85 85-100
couleur	7,5YR5/4 b	5YR5/6 rj	5YR5/8 rj	
texture terre fine	Sa	SA	SA à AS	
structure	M	M à P	Pm	
taches et concrétions	-	-	-	
éléments grossiers	-	-	+	+++
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-50	
A + LF	23	
pH	6,2	
MO	0,3	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	4,9	
Série minér.	1	
LL	35,5	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

51

N° Profil : PMF 12 (Koumpentoum)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé modal
sans tâche sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : rebord du plateau (haut de pente)

Végétation : sol nu (cultures)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur - cm	0-17	17-34	34-135	135-180
couleur	7,5YR5/2 b	7,5YR5,5/4 bc	7,5YR5/6 jr	7,5YR7/6 jrc
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	Pa	M	M à Pm	M à Pm
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.		
Prof.		60-80
A + LF		25
pH		7,2
MO		0,5
Ca CO3		0
CEC		
Cond		0
pF 4,2		
Série minér.		1
LL		
LP		
IP		12,0
Wop		10,5
Yop		
CBR		

N° Profil : TP15 (Mioro)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé modal,
sans tâche, sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : Grès Continental terminal

Géomorphologie : Rebord de plateau cuirassé

Végétation : Savane arbustive

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur - cm	0-20	20-35	35-80	80-130
couleur	10YR4/3 b	7,5YR4/4 bv	5YR5/8 rj	7,5YR5/8 bv
texture terre fine	S	SA	SA	AS
structure	M	M à Pg	Pg	Pm
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	40-115	
A + LF	32	
pH	5,2	
MO	0,4	
Ca CO3	0	
CEC	3,1	
Cond	0	
pF 4,2	7,7	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	12,0	
Wop	8,5	
Yop	2,07	
CBR	39	

N° Profil : TP 9 (M'Bour)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé modal
sans tâche sur matériau sable-argileux

Roche-mère : Grès maestrichien

Géomorphologie : plateau cuirassé, rebord de pente

Végétation : savane arbustive (carrière)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur - cm	0-30	30-55	55-90	90-130
couleur	10YR4/4 bjf	10YR4/4 bjf	10YR5/6 bj	10YR5/8 bj
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M à Pg
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof. ---		70-140
A + LF		26
pH		5,6
MO		0,3
Ca CO3		0
CEC		4,1
Cond		0
pF 4,2		6,6
Série minér.		1
LL		
LP		
IP		13,0
Wop		7,5
Yop		2,08
CBR		40

N° Profil : TP 16

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé
modal, sans tâche, sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : grès Continental terminal

Géomorphologie : Plateau, haut de pente

Végétation : jachère

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur	0-20	20-30	30-120	120-200
couleur	7,5YR4/4 bj	5YR4/4 br	2,5YR5/8 r	5YR5/8 ri
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	--	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-200	
A + LF	27	
pH	5,5	
MO	0,4	
Ca CO3	0	
CEC	2,4	
Cond	0	
pF 4,2	6,3	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	12,0	
Wop	7,5	
Yop	2,10	
CBR	36	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

55

N° Profil : NGT (M'Bour)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé
modal sans tâche sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : grès maestrichien

Géomorphologie : glacis pente faible

Végétation : herbacée (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C gravillons
profondeur - cm	0-13	13-30	30-100	100-
couleur	5YR 5/6 ry	5 YR 5/6 ry	2,5 YR6/6 ry	
texture terre fine	SA	SA	AS	A
structure	M	M à Pm	M à Pm	
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	+++
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	20-40	60-80
A + LF	17	27
pH	4,6	4,8
MO	0,4	
Ca CO3	0	0
CEC	4,5	6,4
Cond	0	0
pF 4,2	1,6	2,3
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP	6,0	
Wop	14	
Yop		
CBR		

N° Profil : K2 (Koungheul)

Classification : Sol ferrugineux tropical lessivé, modal
sans tâche, sur matériau sablo-argileux à
argilo-sableux (pas de cuirasse à faible
profondeur)

Roche-mère : grès du Continental terminal

Géomorphologie : plateau ondulé

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur cm	0-20	20-40	40-70	70-130
couleur	10YR5/3 b	7,5a10YR5/4 b	7,5YR6/6 jr	10YR7/6 j
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M	M
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	1	2
Prof.	40-70	70-120
A + LF	18	22
pH	6,6	5,5
MO	0,4	0,6
Ca. CO3	0	0
CEC		
Cond	0	0
pF 4,2	3,6	3,6
Série minér.	1	1
LL	20	33
LP	nm	nm
IP	nm	nm
Wop	12,9	
Yop	1,75	
CBR	10	

N° Profil : TP 17 (Nioro)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau sablo-argileux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : plateau, bas de pente

Végétation : sol nu (carrière)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	Cg
profondeur - cm	0-20	20-35	35-100	100-160
couleur	7,5YR4/4 6	7,5YR5/6 bv	7,5YR5/8 bv	7,5YR5,5/8 jr
texture terre fine	S	S	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	50-160	
A + LF	20	
pH	5,8	
MO	0,3	
Ca CO3	0	
CEC	2,5	
Cond	0	
pF 4,2	5,5	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	8,5	
Wop	7,0	
Yop	2,10	
CBR	44	

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

58

N° Profil : S1 (Sefa)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau sablo-
argileux à argilo-sableux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : plateau

Végétation : forêt

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur cm	0 - 20	20-40	40-100	100-160
couleur	10YR4/2 bgf	7,5YR5/4 b	7,5YR6/4 bc	7,5YR3/4 rosé
texture terre fine	Sa	SA	A	AS
structure	M	M à Pg	M à Pm	M
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	50, 70	
A + LF	46	
pH	5,0	
MO	1,2	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	11,9	
Série minér.	1	
LL	29	
LP	11	
IP	18	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : Z2 (ZIGUINCHOR)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : Grès continental terminal

Géomorphologie : rebord de plateau

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B11	B12
profondeur - cm	0-18	18-37	37-70	70-110
couleur	10YR5/3 b	10YR5.5/4 bjc	10YR7/4 bp	10YR8/6 j
texture terre fine	S	Sa	AS	SA
structure	M	M à Pg	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	+	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.		
Prof.	30-70	
A + LF	38	
pH	6,8	
MO	0,8	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	10,1	
Série minér.	1	
LL	28,5	
LP	11,5	
IP	17,0	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : TP 13 (Nioro)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau argilo-
sableux

Roche-mère : grès Continental terminal

Géomorphologie : plateau, bas de pente

Végétation : herbacée (culture)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	Cg
profondeur - cm	0-18	18-30	30-70	70-200
couleur	10YR4/2 bg	10YR5/4 bj	10YR6/4 bjc	10YR7/4 btp
texture terre fine	S	SA	SA	AS
structure	M	M	M à Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.		
Prof.	35-95	
A + LF	35	
pH	5,2	
MO	0,4	
Ca CO ₃	0	
CEC	2,9	
Cond	0	
pF 4,2	7,9	
Série minér.	1	
LL		
LP		
IP	12,0	
Wop	7,5	
Yop	2,08	
CBR	33	

N° Profil : PMF9 (Koumpentoum)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau sablo-
argileux

Roche-mère : Grès Continental terminal

Géomorphologie : Plateau (mi-pente)

Végétation : Forêt claire

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur - cm	0-20	20-34	34-130	130-190
couleur	10YR4,5/2 bgf	10YR5/3 b	7,5YR7/4 jh	7,5YR7/4 rosé
texture terre fine	S	SA	SA	SA
structure	M	M	M à Pg	M à Pg
taches et concrétions	-	-	-	+
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	2	3
Prof.	20-40	60-80
A + LF	20	33
pH	5,4	5,5
MO	0,3	0,5
Ca CO3	0	0
CEC	4,8	4,8
Cond	0	0
pF 4,2	4,6	7,4
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP		16,0
Wop		11,5
Yop		
CBR		

N° Profil : Z7 (Ziguinchor)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau sablo-argileux
à argilo-sableux (cuirasse en profondeur)

Roche-mère : Grès continental terminal

Géomorphologie : Plateau cuirassé

Végétation : sol nu (carrière)

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B	C	R cuirasse
profondeur - cm	0-10	10-60	60-100	100-250
couleur	b	bv	j	
texture terre fine	SA	AS	AS	
structure	M	M à pm	M	
taches et concrétions	-	+	+++	
éléments grossiers	-	-	+ quelques	gravillons
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.		
Prof.	40-60	
A + LF	33	
pH	3,9	
MO	0,3	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	9,0	
Série minér.	1	
LL	30	
LP	13,5	
IP	16,5	
Wop	12	
Yop	1,94	
CBR	23	

N° Profil : MYO 24 (Koungheul)

Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à
tâches et concrétions sur matériau argileux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : plateau uni

Végétation : forêt

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B	C
profondeur - cm	0-15	15-30	30-90	90-120
couleur	10YR 6/3 bp	8,75YR6/4 bjc	7,5YR7/4 rosé	10 YR 7/3 bp
texture terre fine	S	SA	A	A
structure	M	M à Pg	Pg	M
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	35-55	
A + LF	44	
pH	7,2	
MO	0,7	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	11,9	
Série minér.	1	
LL	28,5	
LP	11	
IP	16,5	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : MKY0 - 110 (Koungheul) Classification Sol ferrugineux tropical lessivé à tâches et concrétions sur matériau argileux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : plateau uni

Végétation : forêt

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	B11	B12
profondeur	0-13	13-30	30-76	76-96
couleur	10YR 5/2 gb	10YR 6/3 bn	10 YR 6/4 bjc	7,5YR 7/4 rosé
texture terre fine	SA	AS	A	A
structure	M	Pg	Pm	Pm
taches et concrétions	-	-	-	++
éléments grossiers	-	-	-	+ gravillons
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè.v.	1	2	3	4
Prof.				
A + LF	28	33	58	53
pH	5,7	5,0	4,6	4,7
MO	1,4			
Ca CO3	0	0	0	0
CEC	6,2	4,8	7,3	8,9
Cond	0	0	0	0
pF 4,2	3,95	5,9	12,7	12,9
Série minér.	1	1	1	1
LL	19,5	24,5	36	33
LP	nm	9,5	14,5	15
IP	nm	15	21,5	18
Wop	7,5	7,0	13,5	13,0
Yop	2,04	2,08	1,83	1,90
CBR	4,5	35	29	45,5

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

65

N° Profil : PMF1 (Koumpentoum) Classification Sol ferrugineux tropical lessivé
 Roche-mère : Grès Continental terminal hydromorphe à pseudogley sur matériau argileux.
 Géomorphologie : Plateau (bas de pente)
 Végétation : Forêt
 Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12	Bg	Cg
profondeur - cm	0-15	15-28	28-63	63-160
couleur	10YR4,5/2 bgf	10YR5/3 b	8,75YR6/4 bic	7,5YR7/4 rosé
texture terre fine	S	SA	A	A
structure	M	M à Pm	M à P _g	M
taches et concrétions	-	+	++	+++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	10-20	60-80
A + LF	27	48
pH	5,6	5,3
MO	0,7	0,5
Ca CO ₃	0	0
CEC	5,0	7,2
Cond	0	0
pF 4,2	5,8	13,5
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP		20,0
Wop		15
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

66

N° Profil : Z1 (Ziguinchor)

Classification Sol ferrallitique faiblement désaturé
en (B), typique, modal, sur matériau argileux

Roche-mère : grès continental terminal

Géomorphologie : plateau ondulé, haut de pente

Végétation : forêt

Critères externes de reconnaissance

sol rouge profond sur plateau en casamance

Horizons	1	2	3	4
nom	A	A/B	B11	B12
profondeur - cm	0 - 18	18 - 40	40 - 100	100-185
couleur	10YR 3/4 bjc	2,5YR 5/6 r	2,5YR5/6 r	2,5YR4/8 r
texture terre fine	Sa	AS	A	A
structure	M	M à Pg	M à Pg	Pg
taches et concrétions	-	-	-	-
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	30-70	
A + LF	54	
pH	5,4	
MO	0,9	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	14,2	
Série minér.	1	
LL	34	
LP	16	
IP	18	
Wop	13,7	
Yop	1,91	
CBR	47,5	

N° Profil : FKM 91 (Matam)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley, à nappe
perchée sur matériau sableuxRoche-mère : sables alluviaux avec reprise
éolienne locale

Géomorphologie : plaine sableuse

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

PROFIL NON DECRIT

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélèv.		
Prof.	0-40	
A + LF	15	
pH	5,9	
MO	0,4	
Ca CO ₃	0	
CEC	3,4	
Cond	0	
pF 4,2	2,0	
Série minér.	2	
LL		
LP		
IP	8,0	
Wop	13,5	
Yop		
CBR		

N° Profil : Z3 (Ziguinchor)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à
nappe perchée sur matériau sableux

Roche-mère : alluvion fluviatile Casamance / nom local : "sol gris"

Géomorphologie : axe alluvial, bas de pente

Végétation : herbacée (culture)

Critères externes de reconnaissance

"sol gris" - position topographique, aspect grisâtre de l'ensemble du profil,
sol non salé.

Horizons	1	2	3	4
nom	A11 g	A12g	go	11 horizon mangrove enterrée
profondeur - cm	0-20	20-30	30-100	100-150
couleur	10YR4/2 bgf	10YR6/3 bp	10YR7/1 gc	10YR4/1 gf
texture terre fine	S	S	S	A
structure	M	M	Pg	M à PR
taches et concrétions	+	+++	++	+
éléments grossiers	+ coquilles	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Prélè v.	1	2
Prof.	30-70	100-150
A + LF	7	46
pH	5,5	5,0
MO	0,7	
Ca CO3	0	0
CEC		
Cond	0	0,2
pF 4,2	1,5	11,7
Série minér.	2	3
LL	19	42
LP		19
IP		23
Wop	11,6	
Yop	1,92	
CBR		

Observations :

Le matériau sableux de surface (horizons 1,2 et 3) repose avec une transition très nette sur un horizon argileux (4) riche en racines , caractéristique d'horizons de mangroves .

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

69

N° Profil : DAG2(Dagana)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à nappe perchée sur matériau sableux

Roche-mère : alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : rebord de cuvette - Moyenne vallée

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Position topographique - Absence de fentes de retrait. Non ou peu salé

Horizons	1	2	3	4
nom	A11g	A12g	go	II go
profondeur - cm	0-20	20-50	50-70	70-90
couleur	bg	gf	jo	bl
texture terre fine	AS	AS	SA	S
structure	Pg	Pm	M	M
taches et concrétions	+	++	+++	+
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Horizons argilo-sableux (1,2 et 3) reposant avec une transition nette sur un niveau sableux (4) à 70 cm

Prélè.v.		
Prof.	30-60	
A + LF	30	
pH	6,1	
MO	1,5	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0,4	
pF 4,2	6,3	
Série minér.	2	
LL	24,7	
LP	11,2	
IP	13,5	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : FKM 142 (Kidira)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à
nappe perchée sur matériau sablo-limoneux

Roche-mère : Colluvions (?)

Géomorphologie : glaciaire à pente faible

Végétation : savane arbustive

Critères externes de reconnaissance

Horizons	1	2	3	4
nom	A11g	A12g	go	II gr
profondeur - cm	0-10	10-30	30-50	50-80
couleur	10YR6/3 bp	10YR5/5 bj	10YR6/6 jb	10YR8/1 bl
texture terre fine	SL	S	S	SL
structure	M	M à Pg	M à Pg	M
taches et concrétions	++	++	+++	-
éléments grossiers	-	quartz	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	2	4
Prof.	10-30	40-60
A + LF	21	26
pH	5,8	6,5
MO	0,4	0,2
Ca CO3	0	0
CEC	3,5	2,9
Cond	0	0
pF 4,2	3,5	3,3
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP		4,0
Wop		14,5
Yop		
CBR		

N° Profil : FKM 92 (Matam)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à nappe
perchée sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : Alluvion fluviale Sénégal

Géomorphologie : zone basse inondable

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Position topographique

PROFIL NON DECRIE

Horizons	1	2	3	4
nom				
profondeur				
couleur				
texture terre fine				
structure				
taches et concrétions				
éléments grossiers				
test HCL (Ca CO ₃)				

Observations :

Prélè v.		
Prof.	2-20	
A + LF	36	
pH	5,1	
MO	0,8	
Ca CO ₃	0	
CEC	13,8	
Cond	0	
pF 4,2	7,4	
Série minér.	2	
LL		
LP		
IP	15,5	
Wop	12,5	
Yop		
CBR		

FICHE DESCRIPTIVE ET ANALYTIQUE

72

N° Profil : OS 10 (Matam)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley, à nappe perchée, sur matériau argilo-sableux

Roche-mère : Colluvion argilo-sableuse

Géomorphologie : mare asséchée

Végétation : Néant

Critères externes de reconnaissance

Topographie

Horizons	1	2	3	4
nom	Ag	g1	g2	g3
profondeur - cm	0 - 15	15-40	40-80	80-100
couleur	gbc	g	g	g
texture terre fine	SLA	SA	SA	AS
structure	M	M	M	M
taches et concrétions	++	+++	+++	+++
éléments grossiers	-	terre cuite	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	1	3
Prof.	0-15	40-80
A + LF	27	23
pH	6,4	7,0
MO	1,0	0,4
Ca CO3	0,17	0,03
CEC		
Cond	0	0
pF 4,2	6,9	6,5
Série minér.	2	2
LL		
LP		
IP		
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : Z4 (Ziguinchor)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à
nappe perchée sur matériau argileux à tendance
vertique.Roche-mère : alluvion fluviatile
casamance

Nom local : "sol gris"

Géomorphologie : bas fond

Végétation : rizière

Critères externes de reconnaissance

Position topographique. Aspect grisâtre de l'ensemble du profil, microrelief "gilgaï"

Horizons	1	2	3	4
nom	Allg	go	gl r	g2 r
profondeur - cm	0-8	8-45	45-65	65-90
couleur	10YR5/1 g	10YR5/1 g	10YR4/1 gf	10YR/5/1 g
texture terre fine	A	A	A	A
structure	PR	PR	Pm	Pm
taches et concrétions	++	++	+	+
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.		
Prof.	0,45	
A + LF	70	
pH	4,5	
MO	9,7	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	0	
pF 4,2	18,3	
Série minér.	1	
LL	45,5	
LP	18	
IP	27,5	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : RB2 et RB3 (Ross-Bethio) Classification Sol hydromorphe à pseudogley, à nappe perchée, verticale, faiblement salé sur matériau argileux

Roche-mère : Alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : cuvette - Basse-Vallée

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Position topographique de bas-fond. Aspect vertical reconnaissable à fentes de retrait et microrelief gilgai.

Horizons	1	2	3	4
nom	A/Cg	II - 1	II - 2	
profondeur - cm	0-40	40-50	50-100	
couleur	gf	gc	be	
texture terre fine	A	S	S	
structure	PR	M	M	
taches et concrétions	++	+	+++	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	-	

Prélè v.	RB2	RB3
Prof.	0-30	40-100
A + LF	56	3
pH	6,5	4,5
MO	1,6	0,2
Ca CO ₃	0	0
CEC		
Cond	0,4	2,0
pF 4,2	13,5	0,9
Série minér.	3	3
LL	42	nm
LP	16	nm
IP	26	nm
Wop		12
Yop		1,92
CBR		10

Observations :

Horizon argileux (0-40) reposant sur horizons sableux (40-100). La nappe est observée à 1,0 m. Les profils RB2 et RB3 sont strictement identiques. Le prélèvement sur RB2 concerne l'horizon argileux (0-40) et sur RB3 l'horizon sableux (40-100)

N° Profil : FKM 37 (Kidira)

Classification Sol hydromorphe à pseudogley à nappe
perchée faiblement alcalisé sur matériau
argilo-sableux

Roche-mère : Pelites

Géomorphologie : glacis à pente de 1%

Végétation : Steppe à épineux

Critères externes de reconnaissance

Aspect de glaçage de la surface du sol, érosion en nappe, végétation à épineux
très clairsemée

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B1g	B2g	Cg
profondeur - cm	0-7	7-15	15-60	60-95
couleur	10YR6/3 bp	10YR5/3 b	10YR5/4 bg	10YR6/6 jb
texture terre fine	S	SA	AS	AS
structure	M à PR	PR à C	M	M
taches et concrétions	+	++	++	+++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélè v.	1	3
Prof.		15-60
A + LF	25	40
pH	6,0	8,0
MO	1,4	0,3
Ca CO3	0	0
CEC	7,4	9,9
Cond	0	0
pF 4,2	13,7	8,5
Série minér.	1	1
LL		
LP		
IP		13,5
Wop		13
Yop		
CBR		

N° Profil : RB4 (Ross-bethio)

Classification : 56] sodique à structure non dégradée,
sol salin, à efflorescences salines sur
matériau argileux

Roche-mère : Alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : levée, basse-vallée

Végétation : quelques rares herbacées

Critères externes de reconnaissance

efflorescences salines en surface, absence de végétation ou présence d'halophytes

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B	C _{ca}	II-sable g
profondeur - cm	0-5	5-15	15-60	60-90
couleur	jb	jb	bo	be
texture terre fine	A	A	A	S
structure	L	PR	C	M
taches et concrétions	+	++	+	+++
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO ₃)	-	-	+	-

Observations :

Prélè.v.		
Prof.	20-50	
A + LF	44	
pH	7,2	
MO	0,4	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	117	
pF 4,2	10,6	
Série minér.	2 ou 3	
LL	39,9	
LP	17,0	
IP	22,9	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : DAG 3 (Dagana)

Classification Sol sodique à structure non dégradée,
salin, à efflorescences salines sur matériau
argileux vertique

Roche-mère : Alluvion fluviatile (Sénégal)

Géomorphologie : Moyenne vallée, cuvette

Végétation : sol nu (culture)

Critères externes de reconnaissance

Topographie, fentes de retrait, micro-relief gilgai

Horizons	1	2	3	4
nom	A / C	C		
profondeur - cm	0-40	40-100		
couleur frais	b	bj		
texture terre fine	A	A		
structure	PR	Pg		
taches et concrétions	+	+++		
éléments grossiers		Petites cristallisations de gypse		
test HCL (Ca CO ₃)	-	+		

Observations :

Prélè v.		
Prof. ---	30-60	
A + LF	81	
pH	5,0	
MO	0,6	
Ca CO ₃	0	
CEC		
Cond	7,9	
pF 4,2	16,8	
Série minér.	3	
LL	49,5	
LP	16,5	
IP	43	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : BASTH (Sokone)

Classification
sableux

Sol salin acidifié sur matériau

Roche-mère : Alluvion sableuse (Saloum)

Géomorphologie : Zone sursalée d'arrière-mangrove

Végétation : quelques plantes halophytes

Critères externes de reconnaissance

Efflorescences salines en surface, formation d'arrière mangrove ("Tannes")

Horizons	1	2	3	4
nom	A11	A12g	g	g farosite
profondeur	0-13	13-19	28-60	60-90
couleur	10YR4/2 bgf	10YR5/2 bg	10YR7/2 ge	7,5YR4/2 b
texture terre fine	S	S	S	A
structure	Pa	Pa	M	M à PR
taches et concrétions	-	+	++	+++
éléments grossiers	-	-	-	cristaux gypse +
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations :

Prélèv.	3	
Prof.	28-60	
A + LF	10	
pH	3,2	
MO	1,1	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	6,4	
pF 4,2		
Série minér.	2	
LL	22	
LP	nm	
IP	nm	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : Z5 (Ziguinchor)

Classification Sol sodique à structure non dégradée,
sol salin acidifié sur matériau argilo-limoneuxRoche-mère : Alluvion fluviatile
(casamance)

Géomorphologie : bas-fond, arrière-mangrove

Végétation : herbacée

Critères externes de reconnaissance

sols de "tannes" : arrières-mangroves

Horizons	1	2	3	4
nom	A11 g	A12 g	g	IIg
profondeur - .cm	0-25	25-30	30-60	60-90
couleur	7,5YR4/2 bf	10YR6,5/1 g	10YR6,5/1 g	10YR 5/1 g
texture terre fine	LA	S	A	SA
structure	Pm	M	M à PR	M
taches et concrétions	+++	++	++	+
éléments grossiers	-	-	-	-
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	-

Observations : Ces sols appelés "sols sulfatés acides" sont caractérisés par des pH très acides et des conductivités qui peuvent être très élevées. Souvent riches en montmorillonite, gonflants, ils présentent de très mauvaises caractéristiques mécaniques (idem à vertisols). Qui plus est, leur forte acidité nécessite des études particulières pour les ouvrages d'art.

Prélè.v.	1	2/3
Prof.	0-25	30-60 60-90
A + LF	48	86 22
pH	4,9	4,4 3,5
MO	3,3	0,3 0,4
Ca CO3	0	0 / 0
CEC		
Cond	4,4	0,9 123
pF 4,2	12,7	21 9
Série minér.	2 ou 3	
LL	38	28
LP	24	18,5
IP	14	15,5
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : Z8 (Ziguinchor)

Classification Sol sodique à structure non dégradée,
sol salin acidifié sur matériau argileux

Roche-mère : alluvion fluviatile casamance

Géomorphologie : bas-fond, zone de mangrove

Végétation : rizière

Critères externes de reconnaissance

idem à Z5

Horizons	1	2	3	4
nom	Ag	g1	G2	
profondeur - cm	0-38	38-110	110-160	
couleur	10YR4/2 bgf	10YR5/2 bg	10YR3/1 gtf	
texture terre fine	A	A	A	
structure	PR	C	M	
taches et concrétions	+++	+++	++	
éléments grossiers	-	-	-	
test HCL (Ca CO3)	-	-	-	

Observations :

Idem à Z5

Prélèv.		
Prof.	0-40	
A + LF	75	
pH	4,9	
MO	1,5	
Ca CO3	0	
CEC		
Cond	48	
pF 4,2	24,9	
Série minér.	3	
LL	61	
LP	26	
IP	35	
Wop		
Yop		
CBR		

N° Profil : FKM 36

Classification Sol sodique à structure dégradée à
horyson B en colonnettes (solonetz) sur ma-
tériau argilo-sableuxRoche-mère : Altérations anciennes de
schistes

Géomorphologie : Glacis de faible pente

Végétation : Savane arbustive claire à épineux

Critères externes de reconnaissance

Aspect marron de surface, érosion en nappe avec "glaçage" du sol

Horizons	1	2	3	4
nom	A	B1	B3 _{Ca}	C _{Ca}
profondeur - cm	0-8	8-17	17-70	70-105
couleur	10YR5/2 bg	10YR 4/3 bf	2,5Y6/4 bgc	
texture terre fine	SL	SLA	SLA	AL
structure	M à PR	COL	Pg	M
taches et concrétions	-	+	+	++
éléments grossiers	-	-	Modules calcaires +	
test HCL (Ca CO3)	-	-	+	+++

Observations :

Sol caractérisé par des pH très élevés (supérieurs à 8,5)
du à la présence de sodium sur le complexe absorbant en
absence de sels (cond.=0)

Prélè.v.	3
Prof.	17-60
A + LF	33
pH	8,9
MO	0,3
Ca CO3	0,13
CEC	11,1
Cond	0
pF 4,2	7,9
Série minér.	2
LL	
LP	
IP	16,0
Wop	13,5
Yop	2,06
CBR	4

ANNEXE III

RESULTATS ANALYTIQUES

CAMPAGNES 1978 - 1981 ET 1979

Abréviation nm = non mesurable

S E R I E 1

N° échantillon Profondeur (cm)	Caractéristiques physiques		Minéralogie fraction argileuse				Caractéristiques chimiques					Caractéristiques mécaniques			
	A + LF %	pF 4,2	K %	I %	M %	Divers %	MO %	pH	CaCO ₃ %	CEC	Cond.	IP	Wop	Yop	CBR
TP 1 (70 - 120)	3	0,9	60	140	0	0	0,2	5	0	2,9	0	nm	12	1,73	22
Z 6 (30 - 70)	4	1,1					0,2	4,5	0		0	nm			
DN HP(10 - 30)	4	1	100	0	0	0	0,2	5,5	0		0	nm	10	1,81	11
DN HP(30 - 50)	5	1	100	0	0	0	0,3	5,5	0		0	nm	nm		nm
BAM 1 (30 -60)	5	1,3					0,3	5	0		0	nm			
POD 1 (30 - 60)	6	1,3					0,3	6	0		0	nm			
NN HP (50 - 90)	12	2,1	100	0	0	0	0,1	5,8	0		0	3,5	7,5	2,18	30
FO (30 - 60)	15	2,5	100	0	0	0	0,2	7,9	0	2,7	0	4,5	13,5		
TP 14 (0 - 35)	16	3,4	100	0	0	0	0,6	5,8	0	1,6	0	3,5	6,5	2,1	62
NGT (20 - 40)	17	1,6	100	0	0	0	0,4	4,6	0	4,5	0	6	14		
K2 (40 - 70)	18	3,6					0,4	6,6	0		0	nm	12,9	1,75	10
TP 10 (50 -130)	20	5,4					0,3	5,7	0	7,2	0	9,5	8	2,09	30
TP 17 (50 -160)	20	5,5	100	0	0	0	0,3	5,8	0	2,5	0	8,5	7,0	2,1	44
K2 (70 -120)	22	3,6						5,5			0	nm			
MYO 26 (15 - 30)	23	3,5					1,2	5,2	0						
K 1 (30 - 50)	23	4,9					0,3	6,2	0		0	nm			
DAG 1 (30 - 60)	24	5					0,7	7,6	0		0	nm			
TP 11 (50 -200)	24	6,2	100	0	0	0	0,3	5,7	0	3,6	0	9,5	8	2,10	43
PMF 12(60 - 80)	25		100	0	0	0	0,5	7,2	0		0	12	10,5		
MYO 26(30 - 45)	25	4,1					1,1	5,1	0		0	nm			
NS1 (30 - 60)	26	9	100	0	0	0	0,5	4,9	0		0	19,5	11,4	1,96	46
TP 9 (70 -140)	26	6,6	100	0	0	0	0,3	5,6	0	4,1	0	13	7,5	2,08	40
S2 (5 - 20)	26	6,4					1,3	5,1	0		0	nm			
FKM 142(40 - 60)	26	3,3	75	25	0	0	0,2	6,5	0	2,9	0	4	14,5		
TP 16 (30 -200)	27	6,3	100	0	0	0	0,4	5,5	0	2,4	0	12	7,5	2,1	36
MKYO 110-1(0-13)	28	3,9					1,4	5,7	0	6,2	0	nm	7,5	2,04	45

Abréviation nm : non mesurable

S E R I E 1 (suite)

N° échantillon	Caractéristiques physiques		Minéralogie fraction argileuse				Caractéristiques chimiques					Caractéristiques mécaniques			
	A + LF %	pF 4,2	K %	I %	M %	Divers %	MO %	pH	CaCO ₃ %	CEC	Cond.	IP	Wop	Yop	CBR
MYO 23 (0 - 15)	31	4,5					1,3	4,8	0		0	nm			
TP 15 (40 - 115)	32	7,7	100	0	0	0	0,4	5,2	0	3,1	0	12	8,5	2,07	39
PMF 9 (60 - 80)	33	7,4	100	0	0	0	0,5	5,5	0	4,8	0	16	11,5		
MKYO 110-2(13-30)	33	5,9						5		4,8	0	15	7	2,08	35
Z7 (40-60)	33	9					0,3	3,9	0		0	16,5	12	1,94	23
TP 13 (35 - 95)	35	7,9	100	0	0	0	0,4	5,2	0	2,9	0	12	7,5	2,08	33
Z 2 (30 - 70)	38	10,1					0,8	6,8	0		0	17			
FKM 37 (15 - 60)	40	8,5	70	30	0	0	0,3	6	0	9,9	0	13,5	13		
MYO 24 (35 - 55)	44	11,9					0,7	7,2	0		0	16,5			
S 1 (50 - 70)	46	11,9					1,2	5	0		0	18			
PMF 1 (60 - 80)	48	13,5	100	0	0	0	0,5	5,3	0	7,2	0	20	15		
MKYO 110-4(76-96)	53	12,9						4,7	0	8,9	0	18	13	1,90	45
Z 1 (30 - 70)	54	14,2					0,9	5,4	0		0	18	13,7	1,91	47
MKYO 110-3(30 - 76)	58	12,7						4,6	0	7,3	0	21,5	13,5	1,83	29
FKM 200(15 - 30)	59	11,9	100	0	0	0	0,8	6,7	0	15,8	0	20,5	16		

Abréviation nm = non mesurable

S E R I E 2

N° échantillon	Caractéristiques physique		Minéralogie fraction argileuse				Caractéristiques chimiques					Caractéristiques mécaniques			
	A + LF %	pF 4,2	K %	I %	M %	Divers %	MO %	pH	CaCO ₃ %	CEC	Cond.	IP	Wop	Yop	CBR
Z 3 (30 - 70)	7	1,5					0,7	5,5	0		0	nm	11,6	1,92	
BAS TH(28 - 60)	10						1,1	3,2	0		6,4	nm			
FKM 89 (0 - 25)	11	2,1	70	10	20	0	0,4	6,2	0	3,2	0	0	9,4	1,87	14
BAMB 2 (30 - 60)	12	3						7,5	0,1		0	nm			
FKM 91 (0 - 40)	15	2	65	10	25	0	0,4	5,9	0	3,4	0	8,0	13,5		
OS 10 (40 - 80)	23	6,5					0,4	7,0	0,03		0	nm			
OS 11 (100-120)	25	6,3					0,2	7,0	0		0	16,5			
FKM 123(30-50)	28	6,3	20	35	45	0	0,6	7	0	12,2	0	11	12,5	2,1	5
DAG 2 (30 - 60)	30	6,3					1,6	6,1	0		0,4	13,5			
FKM 36(15 - 60)	33	7,9	55	5	40	0	0,3	8,9	0,13	11,1	0	16,0	13,5	2,06	4
FKM 92(2 - 20)	36	7,4	60	10	30	0	0,8	5,1	0	13,8	0	15,5	12,5		
M 3 (70 - 90)	40	10,4					0,4	7,1	0		0	18,0			
FKM 30 (15 - 30)	44	8,5	30	50	0	20	0,6	7,7	0	15	0	19	15,5	2,08	3
FKM 43 (17 - 50)	47	14,3	50	10	40	0	0,2	9,5	0,32	18,2	0	13,5	16	2,04	3
Z 5 (0 - 25)	48	12,7					3,3	4,9	0		4,4	14			
M 1 (5 - 100)	58	12,2					1,0	6,2	0		0	20,5	14,6	1,8	1
Z 4 (0 - 45)	70	18,3					9,7	4,5	0	0	0	27,5			

Abréviation nm = non mesurable

S E R I E 3

N° échantillon	caractéristiques physiques		Minéralogie fraction argileuse				Caractéristiques chimiques					Caractéristiques mécaniques			
	A + LF %	pF 4,2	K %	I %	M %	Divers %	MO %	pH	CaCO ₃ %	CEC	Cond.	IP	Wop	Yop	CBR
LOU 1 (30 - 70)	18	2,8					1,7	8,4	5,8		0	n m			
DAG 4 (30 - 60)	19	4,0					0,2	7,0	0		1,1	n m			
BAM 2 (150-200)	19	4,2					1,9	8,4	16,0	1,9	0				
Z5 (60 - 90)	22	8,9					0,4	3,5	0		123	15,5			
FKM 9 (20 - 60)	27	7,8	30	0	70	0	0,9	6,5	0	21,2	0	18	14	2,03	5
TP 6 (35 - 120)	34	13,3	10	10	80	0	0,7	7,8	0	25,3	0	24,5	11	1,95	5
FKM 122 (11-30)	36	5,6	15	20	65	0	1,1	9,6	0,17	12,1	0	12,5	8,3	2,1	5
RB 4 (20 - 50)	44	10,6					0,4	7,2	0		117	22,9			
TP 2 (0 - 55)	51	16,7	10	0	90	0	1	7,6	0,07	23,8	0	35	12	1,91	3
FKM 33 (30 - 60)	56	14,2					0,8	8,1	0,07	29	0	33	16	1,98	2
RB 2 (0 - 30)	56	13,5					1,6	6,5	0		0,4	26,5			
FKM 12 (40 - 80)	74	17,2	40	0	60	0	0,9	8,7	7,4	39,1	0	35	16	1,81	2
Z 8 (0 - 40)	75	24,9					1,5	4,9	0		48	35			
M 2 (0 - 70)	78	17,2						6,9	0		0	49			
DAG 3 (30 - 60)	81	16,8					0,6	5	0		7,9	43			
TP 5 (15 - 90)	84	21,5	5	5	50	40	1,3	8,2	42,2	18,4	0	59,5	20,5	1,60	0
Z 5 (30 - 60)	86	20,7					0,3	4,4	0		0,9	31			

RESULTATS ANALYTIQUES - CAMPAGNE 1979

N° Echantillons	A + LF %	pF 4,2	IP	CaCo ₃ %
TP 20	44	13,90	18,5	0
21	29	9,05	12,5	0,40
22	34	9,40	13,5	0
23	29	10,65	14	0,02
24	30	11,05	13,5	0
25	33	8,30	14	0
26	35	8,20	12,5	0
27	43	11	18,5	0
28	32	7,75	13	0
29	56	10,35	13	0
30	54	12,05	22,5	0
31	55	10	15,5	0
32	64	13,80	20	0
33	49	10,20	17,5	0
34	27	15,50	29,	0
35	41	26,85	33	0,47
36	81	21	36	1,67
37	69	14,25	31	2,50
38	83	23,55	47	0,93
39	38	12,25	18,5	0,30
40	84	9,85	20,5	2,33
41	37	24,95	38	29,32
42	56	10,35	19,5	7,66
43	87	14,25	30,5	52,64
44	91	21,40	61	44,98
45	95	25,70	51	75,80
46	33	34,15	78	71,64
47	89	32,35	110	60,81
48	94	41,65	118,5	46,65
49	27	9,90	10	0,17
50	19	6,95	11	0,07
56	44	11,35	16	0,03
57	74	12,70	24,0	0,03
58	47	9,75	17,5	0,03
59	81	12,45	22,0	0,03
60	66	12,40	20,5	0,03
61	78	15,95	24,6	0,07
62	83	16,40	24,5	0,03
63	56	11,30		0,03
64	31	2,20		0,03
65	32	4,60		0,07
66	51	10	16,5	0,03
67	53	9,70	18	0,03
68	36	13,25	26,5	0,03
69	52	16,15		0,07

RESULTATS ANALYTIQUES - CAMPAGNE 1979 - Suite et fin.

N° Echantillon	A + LF %	pF 4,2	IP	CaCo ₃ %
TP 70	39	12,45	11,5	0,03
71	39	12,60	15	0,03
72	59	7,65	14,5	0,03
73	52	14,15	19,5	0,07
74	64	5,30		0,03
75		3,05		0,02
76	48	13,30	20,5	0,03
77	64	11,20	21,5	0,03
78	58	9,60	17,3	0,03
79	36	5,90		0,03
80	39	6,95		0,03



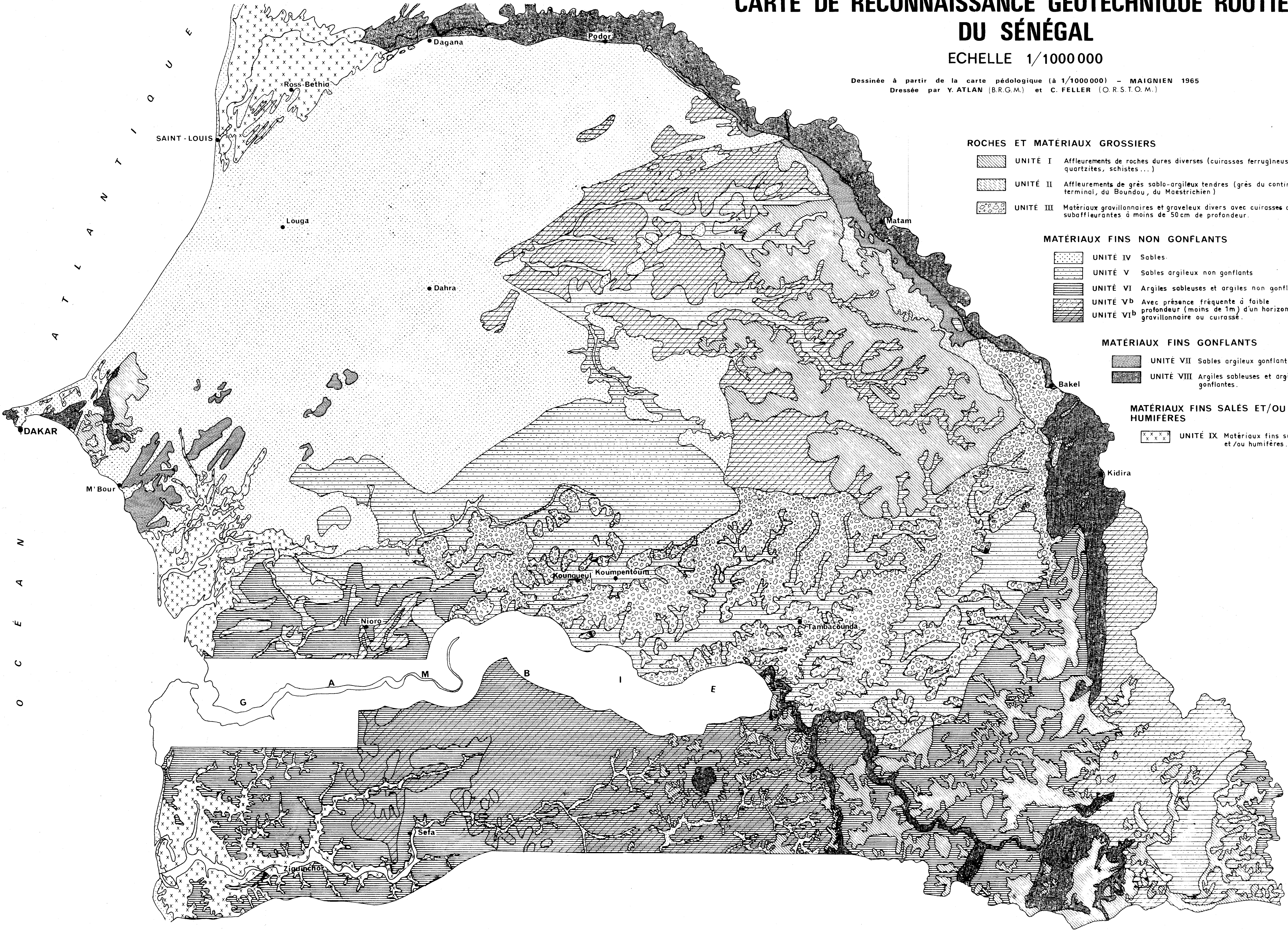
Imprimé au B.R.G.M. - Département des Applications Graphiques

Dépôt légal 3ème trimestre 1983

CARTE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE DU SÉNÉGAL

ECHELLE 1/1000 000

Dessinée à partir de la carte pédologique (à 1/1000 000) - MAIGNIEN 1965
Dressée par Y. ATLAN (B.R.G.M.) et C. FELLER (O.R.S.T.O.M.)



ROCHES ET MATÉRIAUX GROSSIERS

- UNITÉ I Affleurements de roches dures diverses (cuirasses ferrugineuses, quartzites, schistes...)
- UNITÉ II Affleurements de grès sablo-argileux tendres (grès du continental terminal, du Boundou, du Maestrichien)
- UNITÉ III Matériaux gravillonnaires et graveleux divers avec cuirasses ou roches subaffleurantes à moins de 50 cm de profondeur.

MATÉRIAUX FINS NON GONFLANTS

- UNITÉ IV Sables.
- UNITÉ V Sables argileux non gonflants.
- UNITÉ VI Argiles sableuses et argiles non gonflantes.
- UNITÉ VIb Avec présence fréquente à faible profondeur (moins de 1m) d'un horizon gravillonnaire ou cuirassé.

MATÉRIAUX FINS GONFLANTS

- UNITÉ VII Sables argileux gonflants.
- UNITÉ VIII Argiles sableuses et argiles gonflantes.

MATÉRIAUX FINS SALES ET/OU HUMIFÈRES

- UNITÉ IX Matériaux fins salés et/ou humifères.

Soyez informés des travaux du BRGM

Passez un ordre permanent aux :

DOCUMENTS DU BRGM

ATTENTION : Les tirages en général très limités ne nous permettent de garantir la disponibilité de ces documents que durant l'année suivant la parution.

N° 1	Hydrogéologie de la craie du bassin de Paris. Colloque régional Rouen 25-26 mai 1978. Communications. Un vol., 627 p. (1978) (complété par le Document n° 3).	230,00
N° 2	J. BODELLE - Les formations nummulitiques de l'Arc de Castellane. Deux vol., 581 p., 27 pl., 1 carte h.t. (1971).	230,00
N° 3	Hydrogéologie de la craie du bassin de Paris. Colloque régional Rouen 25-26 mai 1978. Rapports généraux, débats, conclusions, 115 p. (1979) (complément du Document n° 1)	150,00
N° 4	J. DUBREUILH - (épuisé).	
N° 5	D. FAUCONNIER - Les Dinoflagellés de l'Albien et du Cénomanien inférieur du bassin de Paris. 150 p., 17 pl. photo (1979).	110,00
N° 6	J.-P. RAGOT - (épuisé).	
N° 7	Séminaire consacré aux ressources minérales sous-marines. Orléans, 23-27 octobre 1978. (épuisé).	
N° 8	Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain. Colloque national Lyon 13-15 mai 1979, 2 tomes, 1093 p., nbs fig. (1979). (complété par le Document n° 29).	300,00
N° 9	J.-J. COLLIN - (épuisé).	
N° 10	P. JEANROT - De l'exploitation du rayonnement X en microscopie électronique à balayage. 122 p., 53 fig. (1979).	100,00
N° 11	J. PERSON - Interventions réglementaires du géologue agréé en vue de la protection des eaux destinées à l'alimentation humaine. 193 p. (1979).	110,00
N° 12	M. TEYGEY - Utilisation de la géochimie majeure pour la cartographie des terrains cristallins. Possibilités de traitement automatique des analyses au BRGM. 126 p., 61 fig. (1979).	100,00
N° 13	M. VILLEY - (épuisé).	
N° 14	J.-Y. SCANVIC, G. WEECKSTEEN - Carte des linéaments de la France à 1/1 000 000. Une carte format 110 x 100 cm et une notice de 14 p. Disponible pliée et à plat (1980).	110,00
N° 15	A. DESPLAN - (épuisé).	
N° 16	C. GOLOUBINOFF - Le Permo-houiller du nord du Bassin de Saint-Affrique (Aveyron). 139 p., 35 fig., 11 planches photos (1979).	110,00
N° 17	F. PARASCANDOLA - Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution : effets d'échelle. 80 p., 5 pl. cartographiques en couleurs (à paraître).	
N° 18	P. ROUBICHOU - Les formations métamorphiques de la région de Leyme près de Saint-Céré (Massif central français). 160 p., 53 fig., 12 planches photos, 4 cartes h.t., 1 carte h.t. couleurs (1980).	140,00
N° 19	B. LAMOUILLE - Géologie structurale et pétrologie de la région d'Uzerche (Corrèze, Massif central français). 233 p., 75 fig., 12 planches photos, 4 cartes h.t. dont 1 en couleurs (1980).	140,00
N° 20	P. PICOT et M. FÉVRIER - Etude minéralogique d'échantillons du golfe de Californie (Campagne CYAMEX). 114 p., 29 planches photos dont 2 en couleurs (1980).	100,00
N° 21	B. CÉCILE - (épuisé).	
N° 22	J. DELAUNAY, M. HUMBERT - Carte provisoire à 1/1 000 000 des mouvements de terrain en France et commentaire explicatif. Une carte format 110 x 110 cm, accompagné d'une notice de 9 p. (1980).	100,00
N° 23	B. CHAUSSIER - (épuisé).	
N° 24	Géologie comparée des gisements de phosphates et de pétrole. Colloque international à la mémoire de M. KIEKEN et J.-P. RAGOT (Orléans, 6-7 novembre 1979). 268 p., 77 fig., 4 tabl., 2 pl., 1 dpl.	170,00
N° 25	E. OUDIN avec la participation de C. FOUILLAC, L. LEBEL - Etudes minéralogique et géochimique des dépôts sulfurés sous-marins actuels de la ride est-pacifique (21° N). Campagne rise. 241 p., 25 fig., 23 pl. noir et blanc, 2 pl. couleur, 16 tabl. (1981).	100,00
N° 26	D. BONIJOLY - Etude structurale et minéralisations d'une plate-forme carbonatée : Le Quercy. 235 p., 4 pl. h.t. photos (1981).	140,00
N° 27	A. GÉRARD, D. WESTERCAMP, P. BOUYASSE, G. DUBREUIL, J. VARET - Etude géophysique préliminaire à une évaluation du potentiel géothermique des Antilles françaises. 42 p. (1981).	50,00
N° 28	P. BLÉRY-OUSTRÉRIE, M. BEURRIER, C. ALSAC - Contribution à l'étude des nodules polymétalliques du Pacifique nord. Zone Clarion, Clipperton. 120 p. (1981).	100,00
N° 29	Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain. Colloque national, Lyon 13-15 mai 1979. Tome 3. Communications 118 p. (1981). (complément du Document n° 8).	60,00
N° 30	Communications du séminaire national "La gestion régionale des sédiments", Propriano (Corse). 27-29 mai 1981, organisé par le Ministère de l'Environnement et du cadre de vie et le BRGM. 361 p., nbs fig. (1981).. les rapports généraux sont publiés dans le bulletin BRGM. Section III, n° 1, 1982.	200,00



EDITIONS DU BRGM - B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX-FRANCE

N° 31	D. MARITON - Le Bassin houiller du Bas-Dauphiné, 46 p., 11 pl. h.t., 8 annexes (1980).	100,00
N° 32	R. WYNS - Contribution à l'étude géologique du Haut-bocage vendéen : le Précambrien et le Paléozoïque dans la région de Chantonnay, 210 p. (à paraître).	
N° 33	J.-P. SAUTY - Du comportement thermique des réservoirs aquifères exploités pour le stockage d'eau chaude ou la géothermie basse enthalpie, 221 p., 11 annexes (1982).	100,00
N° 34	M. BONNET - Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie, 438 p., nbs fig. (1982).	200,00
N° 35	H. BELAYOUNI, D. FAUCONNIER, M. SLANSKY, J. TRICHET - Etude du contenu organique des dépôts phosphatés du bassin de Gafsa (Tunisie), 70 p., 17 fig., 2 pl. photos, 7 tabl. (1982).	30,00
N° 36	J.-L. BLÈS - Etude structurale des schistes et des filons de fluorine de l'albigeois, 58 p., 8 pl. h.t., 11 fig. (1982).	80,00
N° 37	A. PARFENOFF - Un minéral traceur pour la prospection alluvionnaire : l'ilménite. Relations entre ilménites magnésiennes, basaltes alcalins, kimberlites et diamant. 215 p., 29 fig., 51 tabl., 7 pl. ph. (1982).	160,00
N° 38	C. GOUGOUSSIS - Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques. 354 p., 150 fig., 17 pl., 33 tabl. (1982).	170,00
N° 39	Programme de géologie profonde. Colloque national. Paris 15 juin 1982. Communications, 545 p., nbs fig. (1982).	250,00
N° 40	Programme de géologie profonde. Colloque national. Paris 15 juin 1982. Rapports généraux, 124 p. (1982).	70,00
N° 41	P. DUTARTRE - Etude de la fracturation du granite de la margeride. 344 p., 4 dpl. h.t., 91 fig., 10 annexes (1982).	200,00
N° 42	B. CALINE - Le secteur occidental de la Baie du Mont-Saint-Michel. Morphologie, sédimentologie et cartographie de l'Estran, 250 p., 124 fig., 9 pl., 3 cartes h.t. (1982).	180,00
N° 43	4 ^e Conférence internationale sur la planification et la gestion des eaux, Marseille 10-12 mai 1982. Communications. 836 p. (1982).	350,00
N° 44	N.DOERLER - Influence du broyage sur les propriétés massiques et superficielles du quartz et de la biotite. Conséquences sur l'absorption de tensio-actifs ioniques. 268 p., 6 pl. ph., 58 fig., 34 tabl. (1982).	100,00
N° 45	Les milieux discontinus en hydrogéologie. Colloque national en hommage à G. CASTANY. 448 p., 42 communications.	250,00
N° 46	D. BONIJOLY, G. DELPONT - Etude du bassin des Causses et de la bordure cévenole par la télédétection et la géologie structurale. 63 p., 25 fig., 2 tabl., 19 pl. (1982).	40,00
N° 47	Valorisation des ressources du sous-sol. Recueil des communications présentées au séminaire. Bilan annuel de l'action concertée. 284 p., 23 communications (1982).	100,00
N° 48	L. DESCOMBES - Les gisements alluvionnaires de la Seine et de ses principaux affluents. 140 p. (1982).	70,00
N° 49	G. LABLANCHE - Les calcaires lacustres paléogènes de la champagne berrichonne. 138 p. (1982).	90,00
N° 50	F. LEBERT - Applications des techniques de diagraphies dans le domaine de la prospection minière sur deux sites volcanosédimentaires bretons : Bodennec et la Porte-aux-Moines. 176 p., 39 pl. annexes (1983).	120,00
N° 51	P. GUENNOC, Y. THISSE - Genèse de l'ouverture de la mer rouge et des minéralisations des fosses axiales. 112 p., 49 fig., 4 pl. annexes (1982).	100,00
N° 52	G. POUIT, M. BIGOT, J. DELFOUR, J.-P. MILESI, P. PICOT - Les minéralisations actuelles et anciennes : l'exemple de la mer rouge, 90 p., 5 pl. ph. (1983).	70,00
N° 53	R. FLEURY - La formation de Saint-Cosme dans la Bresse du Nord. Ses relations avec les événements du Pléistocène bressan. 150 p., 11 dpl. h.t. (1983).	180,00
N° 54	B. LEMIERRE - L'amas sulfuré de Chizeuil (Saône-et-Loire) : Etude géochimique de son environnement volcanosédimentaire dévonien supérieur et de son auréole d'altération hydrothermale. 156 p. (1983).	100,00
N° 55	Y. MOELO - Contribution à l'étude des conditions naturelles de formation des sulfures complexes d'antimoine et plomb. (Sulfosels de Pb/Sb). Signification métallogénique. 624 p., 27 pl. ph. (1983).	350,00



Éditions du Bureau de Recherches
Géologiques et Minières
Service Géologique National
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél. : (38) 63.80.01

Directeur des publications : Jean-Claude DUMORT
n° ISSN 0221 - 2536
n° ISBN 2 - 7159 - 6038 - 7