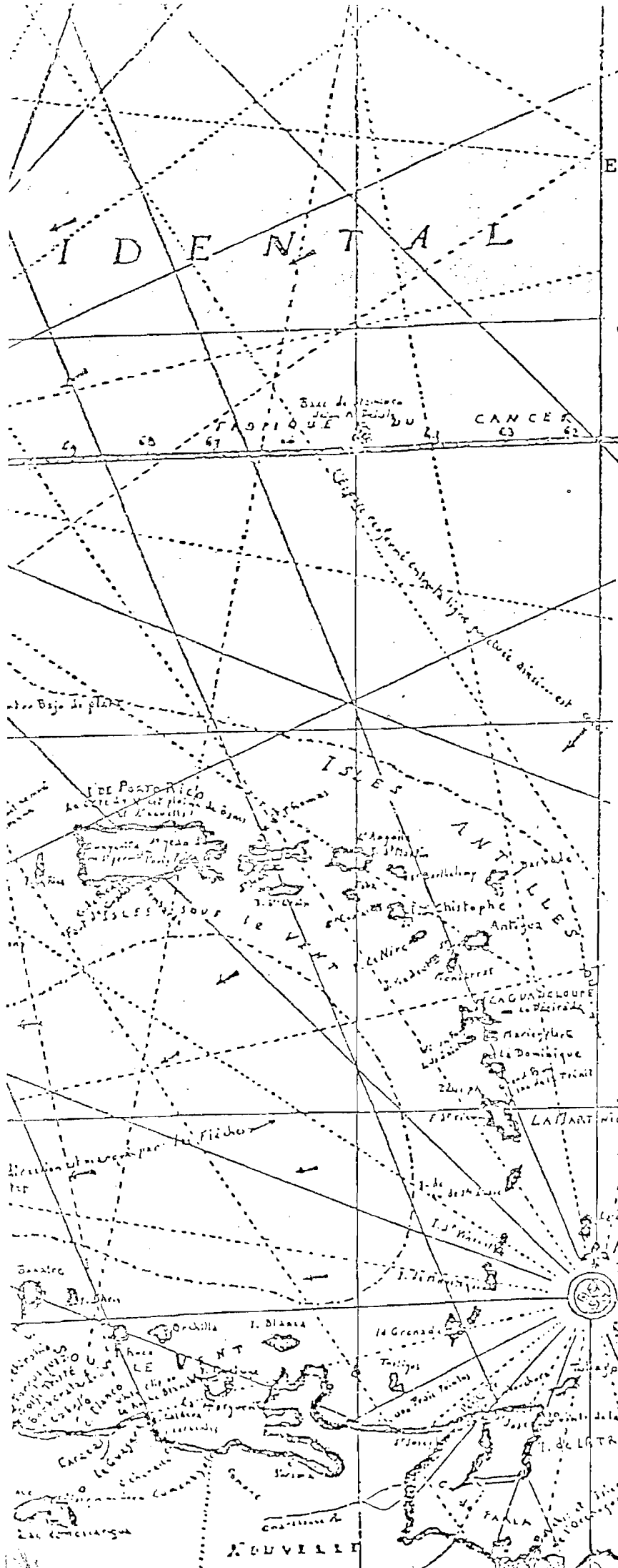


COLMET DAAGE F.

Equipe pédologique franco-brésilienn

Caractéristiques et Classification
des principaux sols du Val JAGUARIB
(Etat du Ceara-Brésil)



CENTRE DES ANTILLES

Caractéristiques et classification des
principaux sols du Val Jaguaribe
(Etat du Ceara-BRESIL)

COLMET DAAGE F.

Equipe pédologique franco-brésilienne

O. R. S. T. O. M.
P A R I S
1965

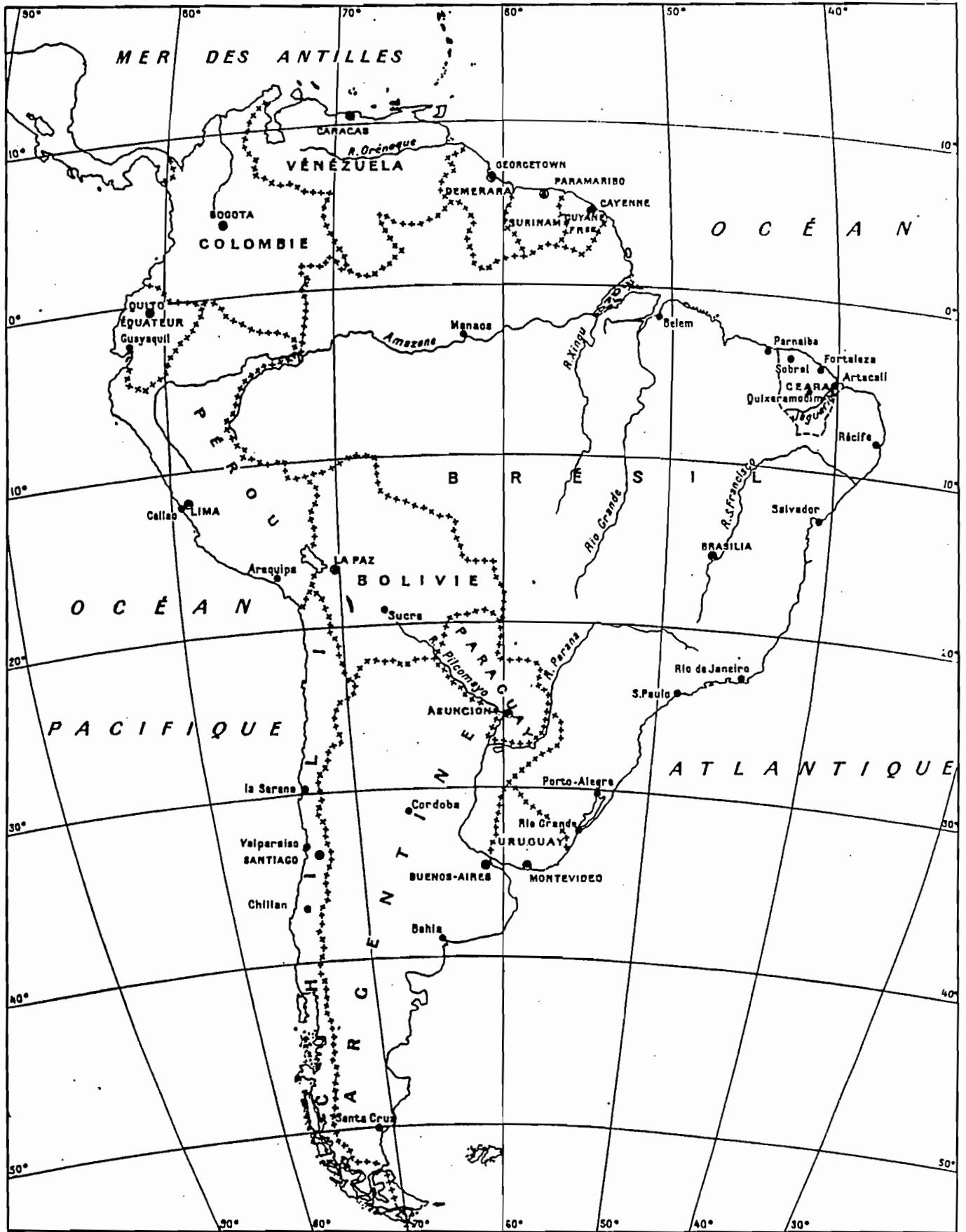
CARACTÉRISTIQUES ET CLASSIFICATION DES PRINCIPAUX SOLS DU VAL JAGUARIBE (Etat du Ceara - Brésil)

par

l'Équipe pédologique Franco-Brésilienne

PLAN

- 1 - Caractéristiques générales du Val Jaguaribe
 - 1.1. - Morphologie et Géologie
 - 1.2. - Climat
 - 1.3. - Végétation et cultures
- 2 - Les Sols
 - 2.1. - Généralités
 - 2.2. - Les sols ferrallitiques sur grès (Latosols)
 - 2.2.1. - Facteurs de formation
 - Roche-mère
 - Climat
 - 2.2.2. - Caractéristiques morphologiques
 - 2.2.3. - Caractéristiques minéralogiques
 - 2.2.4. - Caractéristiques physico-chimiques
 - 2.2.5. - Variantes
 - 2.3. - Les sols ferrugineux-ferrallitiques ou ferrallitiques
 - 2.3.1. - Facteurs de formation
 - Climat
 - Roche-mère
 - Géomorphologie
 - Végétation et érosion
 - 2.3.2. - Caractéristiques morphologiques
 - 2.3.3. - Caractéristiques minéralogiques
 - 2.3.4. - Caractéristiques physico-chimiques
 - 2.3.5. - Variantes
 - 2.3.5.1 - Dans l'orthotype
 - 2.3.5.2 - Les faciès érodés
 - 2.3.5.3 - Les faciès profonds
 - Sur séries gréseuses "Barreira"
 - Sur roches cristallines
 - 2.3.5.4 - Les faciès à horizons B plus fermes
 - 2.3.5.5 - Les sols ferrugineux hydromorphes
 - 2.3.6. - Discussion : Classification et comparaison avec l'Afrique



- 2.4. - Les intergrades ferrallitiques et vertisols
 - 2.4.1. - Facteurs de formation
 - Climat
 - Roche-mère
 - 2.4.2. - Caractéristiques morphologiques
 - 2.4.3. - Caractéristiques minéralogiques
 - 2.4.4. - Caractéristiques physico-chimiques
 - 2.4.5. - Variantes
 - 2.4.5.1 - Les sols à profil AC
 - 2.4.5.2 - Les sols à profils ABC
- 2.5. - Vertisols et para-vertisols
 - 2.5.1. - Vertisols lithomorphes
 - Sur roches volcaniques
 - Sur calcaire cristallin
 - 2.5.2. - Vertisols et para-vertisols lithomorphes d'héritage
 - 2.5.2.1 - Généralités
 - 2.5.2.2 - Caractéristiques minéralogiques
 - 2.5.2.3 - Caractéristiques physico-chimiques
 - 2.5.2.4 - Discussion
 - 2.5.3. - Vertisols et para-vertisols topomorphes d'apport
 - 2.5.3.1 - Généralités
 - 2.5.3.2 - Caractéristiques minéralogiques
 - 2.5.3.3 - Caractéristiques physico-chimiques
 - 2.5.3.4 - Discussion
- 3 - Conclusion générale (aptitudes)
 - Les sols ferrallitiques sur grès
 - Les sols ferrugineux ferrallitiques
 - érodés
 - profonds
 - Les intergrades ferrugineux ferrallitiques vertisols
 - Les vertisols lithomorphes
- 4 - Bibliographie

L'établissement de la carte des sols au 1/250 000 du bassin du Jaguaribe a été confié au groupe d'études Franco-Brazilien S.C.E.T.-S.U.D.E.N.E., avec le concours de l'O.R.S.T.O.M. dans le cadre du G.E.P.A.L.

La section pédologique comprenait du côté français : F. BLANGUERNON, Ing. S.C.E.T., F. COLMET-DAAGE, Consultant, et E. GUICHARD, Chef de la Section, Chercheurs O.R.S.T.O.M. et du côté brésilien, les Ingénieurs de la S.U.D.E.N.E., J. BRAGA SOARES, J.M. GOMES, J.A. MARQUES, C.A. de OLIVEIRA, G.A. da SILVA, J. VANDERLEI ANDRADE da SILVEIRA.

1 - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU VAL JAGUARIBE

Le val Jaguaribe est situé dans le nord-est du Brésil entre 4° et 7° de latitude sud. Sa superficie est de 80 000 km², ce qui représente environ la moitié de l'état du Ceará.

1.1 - Morphologie-Géologie

La plus grande partie du bassin est une vaste pénéplaine ontécambrienne comprise entre 0 et 300 m d'altitude, parfois doucement ondulée, parfois avec un micro-relief très accusé. Les embéchites, traversées ou enrichies de quelques venues volcaniques y sont les roches dominantes. Les schistes sont plus rares.

Quelques chaînes montagneuses pouvant atteindre 800 m d'altitude existent dans plusieurs régions. Au sud du périmètre, un vaste plateau tabulaire de 800 m d'altitude formé de grès crétacés avec quelques intercalations de marnes ou de calcaires sépare le bassin du Jaguaribe de celui de Sao Francisco. D'autres plateaux tabulaires sédimentaires, nommés aussi "chapades", et d'altitude plus faible, bordent également le cours inférieur du Jaguaribe. On retrouve des vestiges sédimentaires dans certains bassins (Iguatu) ou en buttes témoins sur le cristallin parfois difficilement reconnaissables lorsque l'épaisseur est réduite.

La partie proprement alluviale et plate des vallées est étroite sauf dans le cours inférieur du Jaguaribe où la plaine alluviale peut atteindre plusieurs kilomètres de largeur.

1.2 - Climat

Le climat est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 600 à 700 mm pouvant descendre à 500 mm dans certaines régions et atteindre 1 m sur des sommets, des versants bien exposés, ou en bordure de la mer.

Bien que situé dans le palygone de sécheresse du NE du Brésil, le val Jaguaribe a cependant une pluviométrie suffisante pour permettre presque partout des cultures annuelles sans irrigation, à la différence des régions plus sèches situées plus au sud dans l'Etat de Bahia et à l'est dans le Rio Grande do Norte. Toutefois la pluviométrie annuelle est irrégulière ; des années de 200 à 300 mm reviennent périodiquement provoquant de graves famines surtout lorsque les années sèches se suivent. Les pluies tombent surtout en trois ou quatre mois consécutifs entre décembre et mai et chaque année certains mois de la saison dite pluvieuse sont très secs. Toutes les rivières ainsi que le Jaguaribe lui-même tarissent plusieurs mois de l'année.

La température moyenne mensuelle oscille entre 26 et 29° à altitude moyenne, la moyenne des minima est de 22°, celle des maxima de 33°. L'hygroscopicité peut descendre à 50 % en saison sèche.

On ne peut donc parler de climat sub-aride que certaines années.

1.3 - Végétation et cultures

Toutes les régions non cultivées sont couvertes d'une forêt basse de 4 à 6 m de hauteur, la "catinga", dépourvue de feuilles pendant de nombreux mois de l'année. Dans les parties les plus sèches et les plus dégradées, les arbustes sont plus chétifs, écartés, laissant voir davantage d'étendues rocailleuses, à cactus (clerges épineux divers). Dans les zones les plus humides, les arbres sont plus forts et plus denses.

L'élevage est la plus ancienne et encore la principale spéculation agricole. La catinga est utilisée comme pâturage et est presque partout entourée de clôtures de bois enchevêtrés délimitant des parcs dont la dimension est très variable, de quelques hectares à d'immenses surfaces. La construction de ces clôtures et leur entretien étant probablement une des principales occupations des habitants des régions les plus déshéritées, c'est peut-être la raison de l'absence de faux de brousse. L'herbe est souvent bien fournie durant les pluies et les années où celles-ci sont abondantes, la

atingua peut nourrir un important bétail. Pendant la longue sécheresse le bétail transhume vers les zones de cultures où il broute les résidus des récoltes et la végétation adventice sèche. Plusieurs centaines de barrages assurent l'alimentation en eau du bétail et des populations.

Les cultures sont pratiquées sur abattis. Outre le maïs, les haricots, le manioc, ... c'est le coton que l'on rencontre le plus souvent et qui constitue la principale culture d'exportation de cette région. La canne à sucre, le riz, les agrumes, les bananes, ne se rencontrent guère que dans les vallées irriguées. Les cultures de décrues sur les bancs de sables encore humides des rivières avec un peu de fumier, et les peuplements de *Carnauba* (palmiers à cires) constituent un aspect particulier de ces régions.

2 - LES SOLS

2.1 - Généralités

La cartographie a permis d'étudier des groupes de sols dont certains seulement ont été retenus pour faire l'objet de cette note.

Ce sont :

- les sols ferrallitiques sur grès (latosols) ;
 - les sols ferrugineux-ferralsitiques ;
 - les sols intergrades entre ferralsitiques et les vertisols ;
 - les vertisols et para-vertisols lithomorphes et d'apport .
- Les sols érodés peu profonds ou squelettiques qui constituent peut-être la partie la plus importante de ces régions ont fait l'objet de peu de déterminations analytiques. Le déficit en eau dû à leur faible épaisseur prime en effet tous les autres facteurs et est la cause principale de leur intérêt réduit pour la culture.
- Pour certains sols enfin, n'occupant que des faibles surfaces comme les sols salés à alcalis, nous ne disposons que de peu d'analyses.

On indiquera d'abord les caractéristiques des principaux sols, puis, pour certains d'entre eux, on s'efforcera, par comparaison avec des sols analogues d'Afrique, de les intégrer dans un système de classification, pour que des comparaisons fructueuses sur le plan agricole puissent en être tirées.

MÉTHODES D'ANALYSES

La fraction argileuse extraite par dispersion à l'ammoniaque après lavage à l'acide dilué a été examinée par les rayons X (spectre de poudre sur un ou deux échantillons par profils) et par l'analyse thermique différentielle (tous les horizons prélevés). Dans le cas de montmorillonite, de chlorite ou d'interstratifiés, des traitements supplémentaires ont été effectués sur agrégats orientés : traitement au glycérol, chauffage à 500°, saturation du complexe absorbant par le calcium ou le magnésium. Ces déterminations ont été effectuées par Mlle FUSIL et M. KOUKOU au laboratoire de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, que dirige M. PINTA.

Les déterminations physico-chimiques ont été faites au laboratoire de l'Institut Agronomique du N.E. à Recife sous la direction de M. Luiz BEZERRA et au laboratoire de la S.C.E.T. à Lyon.

Les bases échangeables ont été extraites par l'acétate d'ammonium ; la capacité totale d'échange a été déterminée par saturation à l'ammonium ou calculée d'après la détermination du H échangeable, à l'acétate de calcium. La méthode Truog a été utilisée pour la détermination du phosphore assimilable.

2.2 - Les sols ferrallitiques sur grès (Latosols)

2.2.1 - FACTEURS DE FORMATION

Roche-Mère

On ne rencontre les sols ferrallitiques que sur des grès ferrugineux, formations créacées très épaisses formant de vastes plateaux tabulaires horizontaux ou des buttes reliques éparses sur le cristallin. L'altitude de ces plateaux peut atteindre 1 000 m.

Climat

La pluviométrie annuelle oscille entre 800 et 1 000 mm suivant l'altitude. Les précipitations tombent en trois ou quatre mois. La température annuelle mensuelle qui est comprise entre 26 et 29° à altitude moyenne peut s'abaisser à 20-22° vers 800 m d'altitude où se trouvent de vastes étendues des sols étudiés. Il s'agit donc de conditions climatiques anormalement sèches pour des sols ferrallitiques même sur des matériaux aussi perméables.

Il semble donc que la ferrallitisation se soit produite jadis, durant des périodes plus humides. Les vestiges de cuirasses latéritiques que l'on trouve par endroits sur le socle, en particulier en bordure de ces formations, lambeaux épargnés par l'érosion, viennent à l'appui de cette hypothèse.

2.2.2. - CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Ce sont très nettement celles des sols ferrallitiques avec une forte accentuation du caractère stabilité de la structure, attribuable à la force adhérente des colloïdes sur les particules quartzieuses. L'aspect du profil est le suivant :

Horizon A

Bien humifère sur 20 à 30 cm sous forêt classée, il est le plus souvent très dégradé remanié par le travail du sol ou érodé.

Horizon B

Cet horizon est profond (sans sous-horizons différenciés), uniforme sur plusieurs mètres d'épaisseur (souvent plus de 5 m).

La structure d'ensemble est fondue avec une sous-structure particulière, parfois un peu cimenté et dur à l'outil lorsque le sol est sec.

La texture apparente est sableuse grossière.; elle n'apparaît sable-argileuse qu'après pétrissage prolongé. L'estimation de la teneur en argile sur le terrain est très sous-estimée par rapport aux résultats de l'analyse.

La perméabilité est très bonne.

La couleur est orangé à rouge : 2,5 YR 4/6 à 5/8. Les sables quartzieux sont blancs après lavage aux acides chauds.

Horizon C

Il est si profond qu'il est difficile de savoir dans quelle mesure il correspond exactement au matériau original des horizons supérieurs.

2.2.3 - CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

L'argile est de la kaolinite, bien cristallisée (aux rayons X, raie fine et intense à 7,15 Å), associée à de la goéthite également bien cristallisée et nettement plus abondante que dans les sols ferrugineux. La gibbsite généralement présente en petite quantité dans les sols des plateaux peut être absente dans ceux des bas de pente ou des éboulis.

Le rapport $KI = SiO_2/Al_2O_3$ du sol est le plus souvent compris entre 1,3 et 2,1.

2.2.4 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

En forêt classée, la teneur en matière organique de l'horizon A peut atteindre 3 à 5% dans les vingt premiers centimètres et peut être encore supérieure à 1% vers un mètre de profondeur. Dans la plupart des cas, ces taux sont nettement plus faibles.

Les caractéristiques de l'horizon B sont les suivantes :

- la composition granulométrique est caractérisée par les teneurs en argile de l'ordre de 30 à 40%, une très faible proportion de limon (inférieure à 4%) et un rapport limon/argile inférieur à 15%. La proportion de sable grossier atteint souvent 50%.

- la capacité totale d'échange est faible, 3 à 4 méq. p. 100 g de sol. La teneur en bases échangeables étant inférieure à 1 méq., l'état de saturation en bases est compris entre 10 et 40%. Ces faibles valeurs résultent de la présence de kaolinite et d'hydroxydes bien cristallisés. Pour les sols ferrugineux fersiallitiques ayant des teneurs en argile analogues, on trouve des chiffres nettement plus élevés.

- le pH est très bas, 4,2 à 4,5, parfois 5,5, et la différence pH eau - pH KCl atteint rarement une unité.

2.2.5 - VARIANTES

Le lessivage du fer et de l'argile paraît dans l'ensemble sur les plateaux extrêmement faible compte-tenu de la grande perméabilité de ces sols. C'est ce qui permet de les classer dans les fersiallitiques malgré le climat anormalement sec pour ce type de sol. Un certain lessivage peut se produire cependant dans les horizons supérieurs plus organiques et des grains nus apparaissent en proportion plus ou moins importante. La disparition des revêtements colloïdaux se produit souvent pendant les transports de surface et des horizons blanchis de 30 à 50 cm ou davantage sont fréquents en bordure des légers thalwegs. L'épaisseur de l'horizon décoloré augmente progressivement vers les parties basses où elle peut atteindre un mètre.

2.3 - Les sols ferrugineux-fersiallitiques ou fersiallitiques

2.3.1 - FACTEURS DE FORMATION

Climat

La pluviométrie annuelle est en moyenne de 550 à 700 mm. Les précipitations tombent surtout en quatre mois. Le nombre de jours de pluie varie de 60 à 70. La température moyenne mensuelle oscille entre 26 et 29°. La moyenne des minima est de 22° (minima absolu 19°) et celle des maxima de 33° (maximum absolu 36°).

L'évaporation, mesurée en bac colorado, serait de 2600 à 2900 mm par an. Après correction, elle peut être évaluée pour de grandes étendues d'eau à 2000 mm annuellement. L'hygroscopicité peut descendre à 50%.

Il s'agit donc d'un climat chaud et sec à pluies violentes, limitées à trois ou quatre mois, et longue période sèche.

L'influence marine évite les écarts importants de température journaliers et la grande sécheresse de l'air des régions plus continentales.

Roche-Mère

Il s'agit le plus souvent de gneiss, migmatites, migmatites granitiques, embréchites, avec également quelques schistes. Des filons d'amphibolites de dimensions très variables, peuvent provoquer des modifications sensibles dans les sols formés.

Géomorphologie

Le modelé est dans l'ensemble peu accidenté. Il s'agit d'une vaste pénéplaine rabotée par l'érosion entrecoupée de barres montagneuses ne dépassant pas 800 m d'altitude. Peu d'endroits cependant sont plats. Le modelé caractéristique est la croupe ou glacis d'érosion sur lequel l'eau ruisselle rapidement. Les formes sont larges pour le gneiss et les embréchites, très courtes au contraire pour les schistes à pendage oblique.

Végétation

Une forêt basse, relativement dense, avec très peu de sous-bois, occupe la plupart des régions non cultivées. Dans les zones plus rocailleuses, la forêt a fait place à une savane arborée très dégradée. Le surpâturage joint à la forte saison sèche, laisse le sol presque à nu durant de longs mois.

L'érosion

Elle est extrêmement active. De vastes surfaces bosselées ont été décapées et ne portent plus que des sols très peu épais souvent squelettiques et rocheux. Des résidus grossiers, graveleux, caillouteux ou pierreux parsèment la surface de la plupart des sols.

Ils résulteraient d'un remaniement et d'un transport sur de courtes distances des éléments grossiers des horizons de surface, les éléments fins limoneux ou argileux étant principalement entraînés.

L'horizon de surface presque toujours remanié ne peut donc être pris en considération pour caractériser ces sols.

2.3.2 - CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Il s'agit de sols à profil ABC avec B de couleur ou de texture.

Horizon A

Il est généralement remanié par l'érosion et beaucoup plus léger et grossier que les horizons inférieurs. La surface est souvent parsemée de débris caillouteux résiduels ou provenant de faible transport. L'épaisseur peut atteindre 30 cm.

Horizon B

L'épaisseur est de 30 à 80 cm, rarement plus d'un mètre.

La texture est argileuse à argilo-sableuse.

La couleur est brun-rouge à rouge (2,5 YR ou 5 YR de 3/4 à 4/6), avec un léger changement de sec à humide : 1 chroma.

La macroporosité est faible. Il y a peu de pores bien visibles.

La structure est polyédrique à sub-angulaire, parfois assez dure, mais s'effritant relativement bien (plus compact que pour les sols ferrallitiques).

Les revêtements sont fréquents sur la surface des agrégats (parfois luisance).

On note la présence d'éléments grossiers peu altérés et l'absence de concrétions ferrugineuses (lorsqu'il y en a, il s'agit probablement de vestiges d'anciens sols disparus).

Horizon C

Il a une épaisseur de 20 ou 40 cm. Sa couleur est rougeâtre ou blanchâtre. On note beaucoup de débris peu altérés, durs, sableux, graveleux ou caillouteux.

2.3.3. - CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

Le minéral argileux dominant est la kaolinite moyennement cristallisée, toujours associée à de l'illite le plus souvent en faible proportion. On rencontre aussi de faibles quantités d'interstratifié illite-chlorite.

La goethite existe presque toujours mais en faible quantité. La proportion de goethite dans la fraction argileuse est plus élevée en surface (mais les teneurs en argile plus faibles). Certains profils et certains horizons en renferment des quantités notables. Les teneurs en fer libre DEB (1950), du sol, dépassent rarement 2 % en Fe_2O_3 et représentent seulement 30 à 40 % du fer total.

Le rapport $KI = SiO_2/Al_2O_3$ est voisin de 2 et le rapport $Kr = SiO_2/R_2O_3$ de 1,6 à 1,8 sur le sol.

2.3.4 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans l'horizon A, les 20 cm superficiels renferment 0,8 à 1 % de matière organique avec un C/N de 8 à 9. Plus en profondeur vers 40 cm les teneurs ne sont plus que de 0,4 à 0,6 %.

Les teneurs en argile dans l'horizon B sont en moyenne de 30 à 40 % mais peuvent atteindre 50 %. Dans l'horizon A, elles sont beaucoup plus faibles de l'ordre de 5 à 15 %. Sur cristallin les teneurs en limon ne dépassent guère 8 à 12 % mais le rapport limon/argile est supérieur à 20 %.

Le sable grossier est abondant, généralement supérieur à 30 % sauf sur certains schistes où les sables fins dominent.

Le complexe absorbant reflète bien la composition minéralogique du sol. La présence de kaolinite moins bien cristallisée et d'un peu d'illite donne des valeurs nettement plus élevées, à teneurs en argiles voisines, que pour les sols ferrallitiques sur grès. La capacité d'échange de bases du sol varie entre 6 et 12 méq. p. 100 de sol (soit 20 à 26 méq. calculé sur 100 g d'argile), la somme des bases échangeables entre 4 et 8 méq. Le coefficient de saturation en bases, est compris entre 60 et 90 %. Le pH eau (1/1) est voisin de 5,5 et inférieur de 0,8 à 1 unité avec KCl.

2.3.5 - VARIANTES

2.3.5.1 - Dans l'Orthotype

L'horizon B de l'orthotype argilo-sableux sur 30 à 80 cm, peut se subdiviser parfois en deux sous-horizons :

- un sous-horizon B1 sablo-argileux avec des revêtements et une macroporosité importante, et

- un sous-horizon B2 argilo-sableux avec peu de pores visibles. Il peut s'agir d'un lessivage de l'argile, mais on ne saurait l'affirmer.

2.3.5.2 - Les faciès érodés

Ils sont peu profonds et très variés, mais ne présentent pas d'intérêt particulier pour cette étude.

2.3.5.3 - Les faciès profonds

Ils constituent souvent des intergrades vers les sols ferrallitiques.

On peut distinguer des sols formés sur roche cristalline et sur certaines séries gréseuses.

a - Sur séries gréseuses "Barreira".

Les caractéristiques de l'horizon B se rapprochent de celles des sols ferrallitiques. Le sol est profond, 1 à 2 m, assez friable, avec une structure fondue. Les revêtements sont rares, la teneur en limon est nettement plus faible que pour les sols sur cristallin (4 à 6%). Enfin, l'argile kaolinique est mieux cristallisée, assez semblable à celle des sols ferrallitiques.

b - Sur roche cristalline.

L'horizon B peut être uniforme comme dans l'orthotype mais plus épais. Il peut aussi parfois se subdiviser en un sous-horizon B 21 relativement compact avec des revêtements argileux et un sous-horizon B 22 plus profond, friable, sans revêtements bien que souvent plus riche en argile que B 21.

On pourrait penser à un horizon de "red-yellow podzolic", au sens brésilien, surmontant un horizon à tendance latosolique. Aucun critère minéralogique ne permet cependant une différenciation.

2.3.5.4 - Les faciès à horizons B plus fermes, plastiques, un peu collants.

On les rencontre dans les zones à drainage externe modéré. La kaolinite est mal cristallisée (rayons X et Analyse thermique différentielle) avec parfois présence d'interstratifié illite-chlorite ou d'une proportion plus importante d'illite. Il peut y avoir tendance à apparition de marbrures.

2.3.5.5 - Les sols ferrugineux hydromorphes

Ce sont le plus souvent des sols de type AC très peu profonds avec des marbrures grises et rouille très prononcées au-dessus de la dalle granitique.

2.3.6. - DISCUSSION : Classification et comparaison avec l'Afrique

On pourrait classer ces sols parmi les **sols ferrugineux** tropicaux décrits par AUBERT (1962). L'individualisation des hydroxydes de fer, peu poussée et l'absence apparente de mouvements de ces hydroxydes les rapproche davantage des ferrugineux tropicaux non lessivés en fer et en argile. Beaucoup de ces sols sont très érodés, peu profonds, et l'évolution semble aller dans le sens d'une ferruginisation plus intense.

Avec les **sols ferrallitiques** décrits par BOTHELO da COSTA (1959), les ressemblances sont très étroites :

- argile kaolinique associée à de l'illite et des proportions variables d'hydroxydes de fer ;
- consistance plus ferme que les sols ferrallitiques pour une même teneur d'argile ;
- fragments grossiers altérables de minéraux primaires ;
- roche-mère peu altérée à moins de 2 m ;
- proportion de limon relativement élevée (limon/argile supérieur à 20 %) ;
- revêtements argileux visibles parfois ;
- Ki voisin de 2,2 et Kr voisin de 1,8.

La comparaison avec les **sols ferrugineux** tropicaux décrits par MAIGNIEN (1964) dans l'Afrique de l'Ouest fait apparaître des différences assez nettes que nous résumons ci-dessous :

Ceara	Afrique
Couleur plus rouge, 2,5 et 5 YR	7,5 et 10 YR
Variation de couleurs modérée sec et humide	Variation importante
C/N faible, 7 à 9	C/N élevé 14 à 17
Fer libre DEB/Fer total 30 à 45 % rarement 50	Rapport supérieur à 60 %
Revêtements fréquents	Peu de revêtements
pH KCl inférieur de 0,8 à 1 unité au pH eau	Inférieur de 0,3 à 0,6 à 1 unité
Modelé de croupes au montagneux	Modelé subhorizontal
Drainage externe rapide	Drainage externe lent
Forêt basse xérophile	Savanes

Certains caractères sont très semblables ; la texture est plus sableuse en surface. Il y a prédominance d'argile du type kaolinique associée à des illites et même parfois un peu de montmorillonite. La capacité d'échange de bases est faible et le degré de saturation élevé : 50 à 70 %. La pluviométrie est en Afrique, peut-être plus élevée : 500 à 1 400 mm au lieu de 500 à 800 et la saison pluvieuse un peu plus longue. Le modelé de ces régions d'Afrique, subhorizontal permettant une meilleure rétention de l'eau, prolonge son action et occasionne fréquemment des processus dus à une hydromorphie temporaire, responsables probablement de la coloration moins rouge, du C/N plus élevé des variations de couleurs de sec à humide. Le peu de revêtements observés en Afrique et les faibles différences du pH eau/KCl pourraient être liés à l'individualisation des hydroxydes de fer et la kaolinisation plus poussées.

Les **sols brun-rouge subarides** décrits par BOCQUIER et MAIGNIEN (1963) sous climat plus sec (250 à 500 mm en Afrique) présentent quelques caractères analogues : coloration, rapport C/N inférieur à 10, contenu minéralogique (kaolinite, illite, parfois montmorillonite).

Par contre, des horizons humifères de plus de 50 cm d'épaisseur comme l'indiquent les auteurs ont rarement été observés. Les teneurs en matières organiques semblent plus élevées dans le Ceara et l'acidité parfois plus forte. Le rapport fer libre/fer total est enfin très inférieur au chiffre de 80 % qu'indiquent les auteurs.

En conclusion : Ce sont les termes "fersiallitiques" ou "ferrugineux-fersiallitiques" qui semblent les mieux convenir.

2.4 - Les Intergrades fersiallitiques et vertisols

2.4.1 - FACTEURS DE FORMATION

Climat

C'est le même que pour les sols ferrugineux fersiallitiques.

Roche-Mère-Modelé

Ces sols se rencontrent essentiellement sur roches basiques : gabbros diorites-amphibolites, gneiss à filons d'amphibolites riches en épidote, hornblende, etc., en position de bon drainage externe. En position de drainage modéré ou sur roches massives très basiques (filon de dolérites) on passe alors à des vertisols lithomorphes.

On en rencontre aussi, mais plus rarement, sur roches-mères acides (gneiss à grenats) mais en position de drainage externe ralenti sans que, cependant, il puisse y avoir séparation de l'argile et des hydroxydes de fer, auquel cas il s'agirait de sols ferrugineux marbrés à hydromorphie, exclus de ce groupe.

L'érosion est partout très active, mais les horizons de surface, par suite de la structure plus massive, de l'adhérence, de la cohésion plus forte, sont généralement moins remaniés que ceux des sols ferrugineux fersiallitiques.

2.4.2 - CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

L'aspect du profil est le suivant :

Horizon A

Lorsqu'il n'est pas remanié et enrichi en éléments grossiers résiduels ou d'apport il a une structure analogue à celle de l'horizon B, assez dur quoique parfois un peu plus friable. Sa couleur est légèrement plus foncée.

Horizon B

(C'est un B de couleur, parfois de structure, et peu marqué).

L'épaisseur a environ 20 à 40 cm.

Le sol est argileux, paraissant bien argileux sur le terrain.

La structure est polyédrique moyenne à tendance prismatique. Ces sols sont nettement plus compacts que les sols fersiallitiques. Humides, ils sont plastiques, adhérents à très adhérents. Secs, ils présentent fréquemment des fissures.

Il n'y a pas de revêtements.

Pour les couleurs, il faut distinguer :

- a - les roches basiques à bon drainage externe ; la coloration est rouge à brun-rouge foncé : 10 R 2,5 YR ou 5 R ; value 3 à 4, chroma 4 pouvant descendre jusqu'à 2 ;
- b - les roches basiques ou acides à drainage externe modéré ; la coloration est moins rouge et moins vive : 7,5 YR ou 10 YR ; value 3 à 4, chroma rarement supérieur à 2.

Il y a très peu de changement de couleur du sol sec par rapport au sol humide ou du sol en place au sol écrasé.

Horizon B2 - C

L'épaisseur ne dépasse guère 10 à 30 cm. La couleur est beige à beige olive verdâtre. Le sol est dur et riche en débris d'altération. Humide, il est très adhésif.

2.4.3 - CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

L'argile dominante est la montmorillonite associée à une proportion variable de métahalloysite et plus rarement de kaolinite. Il semble que la kaolinite se rencontre surtout sur les matériaux originels acides en position de drainage externe modéré. Elle est généralement mal cristallisée.

La métahalloysite se formerait sur presque tous les matériaux originels volcaniques basiques. Elle est associée à la montmorillonite en proportion très variable. On peut n'en déceler que des traces avec une très forte proportion de montmorillonite ou au contraire en trouver beaucoup. Le cas extrême sans montmorillonite est classé parmi les ferrugineux fersiallitiques bien que certains caractères concernant la capacité d'échange et parfois la structure en feraient un terme de passage vers ces intergrades. La montmorillonite paraît mieux cristallisée dans l'horizon d'altération que dans les horizons supérieurs où la proportion de métahalloysite est plus importante. La montmorillonite, et c'est le caractère de ces sols, représente un stade instable d'évolution. L'illite est presque toujours présente sur les roches acides, comme c'est le cas pour la plupart des sols ferrugineux-fersiallitiques, par contre sur roches basiques on la rencontre très rarement. La chlorite et des interstratifiés montmorillonite-chlorite ont aussi été parfois décelés.

La goéthite est généralement présente en faible quantité, parfois à l'état de traces à peine décelables aux rayons X ou à l'analyse thermique. La proportion de goéthite dans la fraction argileuse est plus importante dans les horizons supérieurs ce qui indique une ferruginisation plus poussée. L'hématite aussi a été décelée sur certains sols. Les teneurs en fer total et en fer libre sont aussi élevées et parfois davantage que dans les sols ferrugineux fersiallitiques. Le rapport fer libre/fer total restant le plus souvent compris entre 30 et 50 %.

2.4.4 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

La teneur en matière organique ne dépasse guère 1 % en surface et le C/N est voisin de 9 à 10.

La teneur en argile de l'horizon B est voisine de 30 à 50 %. Celle de l'horizon A, sauf en cas de remaniement important, est légèrement plus faible. La teneur en limon est assez élevée : 10 à 18 %.

La somme des bases échangeables varie entre 20 et 45 méq. p. 100 de sol, ce qui, calculé sur 100 g d'argile, donne 80 à 100 méq. Le calcium est généralement supérieur au magnésium sauf parfois en profondeur. Le degré de saturation en bases est compris entre 80 et 100 %. Le calcium, le magnésium et le sodium échangeables ainsi que la capacité totale d'échange sont plus élevés en profondeur qu'en surface. Mais la teneur en potassium est plus élevée en surface.

Le pH eau (1/1) est voisin de 7 (6,8 à 8). Le pH KCl est de 1,5 à plus de deux unités inférieur au pH eau. Cette différence, généralement due à une libération d'aluminium semble liée ici à la présence des argiles montmorillonitiques dans un état plus ou moins stable.

2.4.5 - VARIANTES

Les distinctions devraient essentiellement porter sur l'intensité des caractères vertisoliques ou ferrugineux qui sont surtout en relation avec la proportion de montmorillonite ou les conditions de drainage externe. Il sera donc possible d'indiquer la tendance ferrugineuse fersiallitique ou vertisolique des sols de ce groupe qui présenteraient des caractères se rapprochant plus étroitement de l'un ou l'autre de ces groupes.

On peut distinguer :

2.4.5.1 - Les sols à profils A C

Ce sont généralement des sols peu profonds formés sur roches basiques. L'horizon A est brun-rouge foncé, l'horizon d'altération est blanchâtre ou verdâtre.

2.4.5.2 - Les sols à profils ABC

Ils peuvent comprendre :

1 - des sols à horizon B de couleur rouge ou brun-rouge, avec un horizon A plus sombre. Ils sont formés sur roches basiques dans des conditions de bon drainage externe. L'horizon B peut parfois se subdiviser en deux sous-horizons B1 rouge et B2 jaune.

2 - des sols à horizons B beige-brun (7,5 YR à 10 YR) avec un horizon A généralement remanié et plus sableux. Ils sont formés sur roches acides en position de drainage externe ralentie.

2.4.6 - DISCUSSION : Classification

C'est essentiellement l'apparition de certains caractères vertisoliques sous l'influence de la montmorillonite qui conduit au Ceara à séparer les intergrades des ferrugineux. La définition de BOTELHO da COSTA (1959) des sols semi-arides tropicaux leur conviendrait en raison du bas contenu en matière organique, des rapports K_1 et K_r supérieurs à 2, des propriétés physico-chimiques dominées par l'influence des argiles 2/1, du haut degré de saturation en bases, de la roche-mère peu altérée, située vers 0,5 ou 1 m de profondeur et souvent moins de 0,5 m.

En conclusion, les termes sub-arides ou semi-arides conviennent mal pour désigner des sols que l'on rencontre en taches au milieu de sols ferrugineux-fersiallitiques par suite de l'existence de roches plus basiques et parfois de conditions de drainage externe moins rapides, les vertisols représentant un des cas extrêmes. Il est provisoirement préférable de maintenir la désignation intergrade sols fersiallitiques-vertisols qui rend mieux compte des conditions de leur apparition et de la variation graduelle de leurs caractères.

2.5 - Vertisols et paravertisols

Sous cette dénomination ont été rassemblés tous les sols présentant les caractéristiques suivantes en position haute ou basse :

- le profil est de type AC ou A (B) C avec un (B) de couleur souvent peu visible ;
- l'épaisseur est variable (souvent 1 m ou davantage) ;
- le sol est argileux avec généralement plus de 30 % d'argile ;
- la structure est massive à tendance prismatique et présente des faces de glissement (slickenslide) ;
- le sol sec est très dur avec des fentes de retrait souvent importantes, la surface peut se présenter en larges pavés recouverts d'un masque grumeleux ;
- le sol humide est plastique et adhérent, parfois très adhérent ;
- la couleur du sol humide est, soit brun-noir avec des chromas de 0 à 2, dans les gammes 7,5 et 10 YR, 2,5 et 5 Y. Le sol est gris clair lorsqu'il est sec, soit brun-rouge foncé.

La classification française fait état (AUBERT, 1962) de paravertisols qui n'ont pas une aussi forte proportion d'argile gonflante montmorillonitique que les vertisols. La capacité d'échange de base du sol est nettement plus faible ne dépassant pas souvent 15 à 20 méq.

On peut distinguer :

- 1 - Les vertisols lithomorphes, provenant de l'altération de roches dures en place ;
- 2 - les vertisols ou paravertisols lithomorphes d'héritages formés sur des matériaux sédimentaires qui contenaient déjà les principaux minéraux argileux des sols ;
- 3 - les vertisols ou paravertisols topomorphes d'apport formés sur alluvions lourdes.

5.1 - VERTISOLS LITHOMORPHES

Ils proviennent de l'altération de calcaires durs cristallins ou de roches volcaniques basiques : gabbros, dolérites, amphibolites, en position de drainage externe rapide ou modéré.

Sur **roches volcaniques**, la profondeur dépasse rarement 80 cm. La couleur est brun-gris très foncé avec des taux de matière organique de 0,8 à 1,5 %. L'horizon d'altération est mince, blanc verdâtre. La montmorillonite est très largement dominante : la kaolinite ou la métahalloysite ne sont souvent représentées qu'en faible quantité. Les caractères de gonflement, d'adhérence, etc., sont donc très accusés. La capacité d'échange est élevée. Le pH eau est en général supérieur à 7 et des nodules ou des pseudo-mycéliums calcaires sont fréquents. La différence pH eau /KCl peut atteindre 1 à 1,5 unités.

Dans quelques cas les teneurs en magnésium échangeable sont supérieures aux teneurs en calcium. Les teneurs en sodium échangeable augmentent presque toujours en profondeur.

Sur **calcaires cristallins**, la profondeur peut dépasser un mètre. Un masque grumeleux de quelques centimètres recouvre généralement le sol et obstrue en partie les fissures. Le caractère grumosolique est cependant peu accusé dans l'horizon A par suite des faibles teneurs en matière organique.

2.5.2 - VERTISOLS ET PARAVERTISOLS LITHOMORPHES A ARGILES HERITÉES

2.5.2.1 - Généralités

On les rencontre sur des marnes ou des niveaux argileux parfois peu ou pas calcaires intercalés en bancs d'épaisseur variable dans les grès crétacés. Le drainage externe est variable. La pluviométrie comprise entre 600 et 800 mm avec une saison sèche de huit mois.

Il s'agit, en fait, davantage d'une réhumectation et désagrégation des matériaux sédimentaires sur une certaine épaisseur que d'un phénomène d'altération. Ce sont donc des profils A/C. Une certaine dégradation de la montmorillonite semble cependant pouvoir se produire. La couleur resté souvent celle du matériau d'origine, brun-rouge foncé.

2.5.2.2 - CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

La composition minéralogique paraît surtout refléter celle du matériau originel sédimentaire. Elle se différencie essentiellement de celle des vertisols issus de roches cristallines ou volcaniques en place ou transportées, par la présence d'interstratifiés formés de montmorillonite, chlorite, illite, avec une proportion variable de chacun de ces constituants qui peuvent, semble-t-il, être présents également en dehors de l'interstratifié. La proportion de montmorillonite dans l'interstratifié peut être très importante (cas des vertisols) ou très réduite (paravertisols). L'illite (généralement dioctaédrique) est presque toujours présente en petites quantités hors de l'interstratifié. La chlorite plus rarement. La kaolinite n'apparaît que dans les paravertisols en absence de calcaire.

2.5.2.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

La teneur en matière organique des 20 premiers centimètres ne dépasse guère 1 à 1,5 %.

La teneur en argile varie entre 30 et 60 % avec un rapport limon-argile de 30 à 50 %.

La somme des bases échangeables et la capacité d'échange de bases ne peuvent dépasser 30 méq. dans le cas des vertisols ou, au contraire, n'atteindre que 12 à 20 méq. dans le cas de paravertisols ; elles sont en relation avec la proportion de montmorillonite. La proportion de calcium et de magnésium échangeables est variable. Une augmentation dans le profil des teneurs en magnésium échangeable et de la capacité totale d'échange est liée à une proportion plus forte de montmorillonite. Une augmentation de la teneur en magnésium échangeable sans augmentation de la capacité totale d'échange semble liée à une plus forte proportion de chlorite.

Le pH peut être acide et voisin de 5,5 ou bien supérieur à 7, parfois 8.

2.5.2.4 - DISCUSSION

Bien que ces sols présentent des caractéristiques morphologiques voisines, leur composition minéralogique assez variée et analogue à celle des sédiments originels, peut s'expliquer ainsi :

Les sédiments marins crétacés renferment en général toujours de l'illite et souvent une proportion importante de montmorillonite. D'après certains auteurs cités par GRIM (1953), des transformations peuvent se produire en mer, l'illite proviendrait de la montmorillonite et la chlorite de la kaolinite et de la montmorillonite. Les transformations de la kaolinite seraient très lentes ; on en retrouverait donc toujours une certaine quantité. Ces sédiments crétacés, en renfermant très peu, on peut penser qu'ils ont été surtout constitués, à l'origine, de montmorillonite.

Le matériau transporté et l'époque de sédimentation influencent donc ensemble la composition actuelle. Dans le cas de sédiments lacustres la composition reflèterait davantage celle des sols environnants auxquels ils ont été arrachés.

2.5.3 - VERTISOLS ET PARAVERTISOLS TOPOMORPHES D'APPORTS

2.5.3.1 - Généralités

Ce sont les alluvions lourdes que l'on rencontre dans les parties basses de divers bassins sur une épaisseur pouvant, parfois, largement dépasser un mètre. Le sol est de couleur uniforme, très foncé, humide, devenant plus clair en séchant (5 Y 4/1) bien que les teneurs en matière organique en surface dépassent rarement 1 %.

Le sol est parfois recouvert d'une pellicule de limon ou de sable fin masquant plus ou moins les fentes de retrait. Les zones longuement inondées présentent, en fin de saison sèche, une structure de surface cubique en pavés de 10 à 15 cm caractéristiques. Les sols sont parfois salés, rarement gypseux.

2.5.3.2 - CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

C'est un mélange en proportion très variable de montmorillonite, illite (di ou trioctaédrique) et kaolinite. La montmorillonite est largement dominante dans les vertisols, la kaolinite pouvant n'être présente qu'en très faibles quantités.

En passant aux paravertisols, la proportion de montmorillonite diminue et peut disparaître. La proportion d'illite et celle de kaolinite augmentent.

Des traces d'interstratifiés (montmorillonite + illite + chlorite) ont été décelées dans certains sols. Comme il s'agissait de bassins versants où existent en amont des marnes crétacées avec les vertisols lithomorphes d'héritage qui en dérivent, il est donc possible qu'il y ait eu simplement transport.

2.5.3.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

La teneur en argile est comprise entre 30 et 50 % avec un rapport limon/argile pouvant dépasser 50 %.

La capacité d'échange est liée à la proportion de montmorillonite. Elle peut être élevée et atteindre 35 à 45 méq. pour 100 g de sol (c'est-à-dire environ 100 méq. calculé sur 100 g d'argile) ou au contraire rester très faible, voisine de 10 à 15 méq. (c'est-à-dire 20 à 25 méq. calculés sur 100 g d'argile). Ces dernières valeurs sont très voisines de celles des sols ferrugineux fersiallitiques dont les alluvions dérivent :

- la proportion de magnésium et de calcium échangeable est variable ;
- le pH est le plus souvent compris entre 6,5 et 7. Il est rarement inférieur à 5,5, mais ne peut dépasser 8 dans certains sols salés ou calcaires. Le pH KCl est souvent inférieur de 1 à 1,5 unité au pH eau (1/1).

2.5.3.4 - DISCUSSION

La présence de kaolinite et d'illite s'explique aisément puisque tous les sols ferrugineux fersiallitiques environnants en contiennent ou renferment des minéraux qui leur donnent naissance par altération. Une fraction de l'argile pourrait donc provenir d'apports directs et une autre frac-

tion se former sur place par altération. Le rapport illite/kaolinite semble plus élevé que dans les sols ferrugineux ferstallitiques. S'agit-il d'un entraînement plus important des minéraux micacés plus légers ou d'une évolution moins poussée du sol vers la kaolinisation ?

Les sols du Ceara étant très érodés, ce sont souvent les parties jeunes, en voie d'altération, plus riches en illite, peut-être même parfois avec un peu de montmorillonite, qui sont les plus sujettes à entraînement (argiles, limons, sables très fins).

La montmorillonite pourrait provenir d'apports lorsque des intergrades ferrugineux vertisols, ou des vertisols lithomorphes d'héritage, existent en amont. Ces sols sont cependant moins sujets à l'érosion et n'occupent pas des étendues bien importantes. Cette explication peut convenir à certaines plaines alluviales (on y retrouve du gypse provenant de marnes environnantes, des interstratifiés). Mais il semble que dans bien des cas la montmorillonite proviendrait de l'altération en place des fins matériaux primaires transportés. Les conditions d'hydromorphie, liées souvent à une évaporation intense, donc avec concentration des solutions du sol, sont favorables à de telles synthèses.

3 - CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La classification que nous venons de présenter résulte des études effectuées pour la cartographie des sols d'une partie de l'Etat du Ceara. Elle est donc bien adaptée à ces régions et rend plus logiques et plus intelligibles les associations ou les complexes de sols, inévitables à l'échelle du 1/250 000.

On s'est efforcé de montrer qu'elle était aussi susceptible de comparaison avec celles établies dans d'autres régions du monde de climats voisins.

Les critères retenus reflètent bien, puisque c'est là raison d'être de ces études, les aptitudes agricoles des différents sols, aptitudes actuelles et possibilités futures, lorsque l'irrigation, des fumures minérales ou des pratiques agricoles moins primitives permettront d'envisager des rendements bien supérieurs.

Les sols ferrallitiques sur grès, très profondément perméables et à très faible rétention pour l'eau ne conviennent qu'à des cultures strictement limitées à la saison pluvieuse à l'exception de certaines zones de bordure de plateaux qui restent encore humides tardivement en saison sèche.

Les sols ont très peu de réserves minérales et une faible rétention pour les bases. Des fumures potassiques fragmentées seraient à envisager surtout dans les régions où le lessivage du fer et de l'argile est sensible (peut-être aussi apports d'oligoéléments).

La mécanisation est partout très aisée et il n'est pas douteux qu'avec des pratiques agricoles adaptées les possibilités d'extension des cultures dans ces régions soient très importantes.

Les sols ferrugineux ferstallitiques retiennent mieux l'eau et les éléments minéraux. La présence d'argiles micacées et de nombreux éléments altérables sont l'indice de quelques réserves minérales, potassiques en particulier. Il ne semble pas, sauf intensification de la culture par de fortes fumures azotées, que les problèmes de fumures minérales potassiques ou phosphatées soient dans l'immédiat importants.

Les sols très érodés, peu profonds, et sur des surfaces convexes, sèchent très vite et ne peuvent convenir qu'à des pâturages extensifs, le surpâturage de certaines régions sensibles à l'érosion devrait être évité.

Les sols plus profonds (80 à 150 cm) conviennent à la plupart des cultures, au coton en particulier. L'eau est souvent bien retenue au dessus des horizons peu altérés profonds. Les horizons sableux superficiels limitent l'évaporation. Certains sols bien sableux en surface (arènes granitiques ou reliques gréseuses sur le cristallin) avec niveau imperméable profond, topographie plane ou légèrement concave, conservent ainsi bien l'eau et peuvent, lorsqu'ils sont soigneusement sarclés, assurer le maintien durant toute la saison sèche de cultures de manioc.

Bien des sols profonds sont situés en bordure des montagnes et bénéficient des apports d'eau plus importants et plus tardifs par ruissellement superficiel ou profond. Les versants au vent de certaines chaînes montagneuses paraissent aussi plus arrosés.

Les Intergrades sols ferrugineux fersiallitiques-vertisols sur une épaisseur analogue retiennent davantage d'eau que les sols ferrugineux. Ils sont cependant rarement profonds, les horizons superficiels sont moins sableux et la fissuration d'ensemble du profil accentue la dessiccation du sol.

Leur richesse minérale est élevée et l'irrigation, lorsqu'elle est techniquement et économiquement possible, donnerait d'excellents résultats. La fumure potassique serait peut-être nécessaire dans certains sols volcaniques pauvres en minéraux potassiques.

Les vertisols lithomorphes sur roches volcaniques sont rares et ne présentent qu'un faible intérêt économique. Par contre, les **vertisols lithomorphes sur calcaire cristallin** portent généralement de belles cultures de coton. Bien que les sols soient très lourds, l'enracinement profond permet à la plante de puiser les réserves en eau importantes du sol et prolonge sa végétation. Le travail du sol n'est possible qu'à certaines saisons.

Les vertisols lithomorphes d'héritage sont souvent très lourds et fortement fissurés en saison sèche. Le travail du sol est très difficile quand la proportion de montmorillonite est élevée. Les réserves minérales sont importantes, potasse en particulier.

Les vertisols et paravertisols topomorphes d'apport ou sur alluvions lourdes occupent généralement les zones les plus favorables à l'irrigation. Leur importance dans l'économie agricole devrait s'accroître beaucoup dans les prochaines années avec la mise en service des nouveaux barrages de retenue. Actuellement, ils sont souvent peu cultivés, portent des prairies ou des carnaubas (palmiers à cire) et sont fréquemment sujets à des inondations périodiques pendant la période des pluies. La présence d'argiles micacées indique une certaine réserve en potasse.

Le drainage en saison des pluies, l'irrigation en saison sèche, devraient permettre de tirer meilleur profit de ces sols favorisés, sinon par leur structure, du moins par leur situation, leur topographie, leur richesse chimique. La mise en valeur suscitera bien des problèmes qui sont souvent d'autant plus difficiles à résoudre que la proportion de montmorillonite sera plus grande ; adhérence aux outils, micro-relief de gilgai... Le riz qui est un aliment de base des populations de ces régions pourrait cependant être réservé aux zones les plus basses ou aux sols les plus lourds. Deux récoltes annuelles seraient possibles. Cependant la submersion quasi-permanente qui en résulterait peut favoriser l'apparition de certaine toxicité et, sauf expérimentation probante, il est préférable dans un premier temps de prévoir chaque année une certaine aération du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) - Classification pédologique utilisée par les pédologues français. *Cahiers de pédologie de l'O.R.S.T.O.M.*, 1962, 3, 1-8.
- BOCQUIER (G.) et MAIGNIEN (R.) - Les sols bruns subarides tropicaux d'Afrique de l'Ouest. Colloque sur la classification des sols des régions intertropicales, Léopoldville, mai 1963.
- BOTELHO da COSTA (J.) - Ferralitic, tropical fersialitic and tropical semi-arid soils. Angola. *3ème Conférence Inter africaine des sols*, Dalaba, 1959, 1, 317-319.
- DEB (B. C.) - Estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal. *J. Soil Sc.*, 1950, 1, 212-220.
- GRIM (R.) - *Clay Mineralogy*. Mc Graw-Hill, London, 1953, 384 p.
- MAIGNIEN (R.) - Les sols ferrugineux tropicaux. Conférence à Louvain, 1964.
- Etudes diverses sur les sols du Brésil, dont :
- Carte des sols de l'Etat de Sao Paulo ;
 - Carte des sols de l'Etat de Rio de Janeiro.