

**CONTRIBUTION**  
**A LA CONNAISSANCE DES SOLS DU VIET-NAM :**  
**LE MASSIF SUD-ANNAMITIQUE**  
**ET LES REGIONS LIMITROPHES**

---

M. SCHMID

**SOMMAIRE**

INTRODUCTION	17
CHAPITRE I — CONDITIONS DE FORMATION DES SOLS	
A — Les facteurs de la pédogenèse	20
I — La roche-mère	20
II — Le climat	21
III — Le relief	22
B — Processus pédogénétiques fondamentaux	23
I — Principaux modes de décomposition des Basaltes	23
II — Décomposition des Granites	27
III — Décomposition des Dacites	28
IV — Décomposition des Rhyolites	29
V — Décomposition des Schistes	29
CHAPITRE II — PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES SOLS	
A — Les "Argiles"	30
B — Concrétions et cuirasses	31
C — La matière organique	36

### CHAPITRE III — CARACTERES ANALYTIQUES

A — Texture et degré d'agrégation	39
I — Texture	39
II — Les agrégats	40
B — Teneurs en Ca, Mg, K et P.	40
C — Propriétés physico-chimiques	42
I — pH	42
II — Acidité d'hydrolyse et acidité d'échange	43
III — Capacité d'échange de bases	44
IV — Bases échangeables	45

### CHAPITRE IV — PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

A — Sols non évolués à profil (A) C.	50
B — Sols jeunes, peu évolués, à profil AC, sans CO <sub>3</sub> Ca	51
C — Sols calcimorphes	53
D — Sols lessivés à profil A B C	53
E — Sols bruns eutrophes tropicaux	57
F — Sols ferrallitiques	57
G — Sols halomorphes	60
H — Sols hydromorphes à engorgement non permanent en surface	60
I — Sols hydromorphes à engorgement permanent	62
RESUME	70
BIBLIOGRAPHIE	71

## INTRODUCTION

Affecté à la division des sols du Centre de Recherches Agronomiques de Saïgon, j'ai effectué, de 1948 à 1956, plusieurs missions d'étude pédo-agrologique dans les régions situées au Nord-Est du delta du Mékong, de la Cochinchine septentrionale (Haute-Cochinchine) jusqu'au rebord méridional du Massif de Kontum, à 350 kilomètres au Nord.

Pour désigner le territoire prospecté, on utilisait alors l'expression " Pays Montagnards du Sud ". En fait, il comprend une série de plateaux basaltiques, étagés de 100 à 1000 mètres, flanquant au Sud et à l'Ouest un horst de grande étendue constituant la terminaison méridionale de la soi-disant " Chafne Annamitique ". Ce horst dont le plateau de Dalat occupe le centre a été appelé par le géologue E. Saurin " Massif Sud-Annamitique ". Les secteurs les plus élevés (plusieurs sommets de 2.200 m à 2.400 m ) se trouvent au Nord et à l'Est où un abrupt de 800 à 1000 mètres domine les plaines et terrasses étroites qui bordent la mer de Chine.

Le climat est de type tropical humide, tempéré dans la région de Dalat par l'altitude et modifié par le régime des moussons qui accentue le contraste entre la saison sèche et la saison humide, dans certains secteurs tout au moins. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 2.000 mm et la saison sèche dure de 3 à 5 mois. La zone orientale est toutefois beaucoup moins arrosée, les précipitations s'abaissant à 700 mm entre Phan Ri et Phan Rang; les versants directement exposés aux vents de pluies et les secteurs d'altitude élevée sont par contre très humides.

Les terrains ont été étudiés, du point de vue pétrographique par A. Lacroix (1933), du point de vue géologique par E. Saurin (1935). Les Basaltes, qui couvrent environ le tiers du territoire, se sont épanchés à la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire; les plateaux du Haut-Chhlong et de Blao-Djiring sont constitués principalement de laves anciennes, relativement acides; ceux du Darlac, du Pleiku et de Haute-Cochinchine sont constitués en partie de laves récentes, relativement basiques. Les Granites et les Dacites d'âge permotriasique forment les hauts reliefs; les Rhyolites triasiques affleurent au Nord-Est du Massif Sud-Annamitique et du Darlac. Les terrains sédimentaires, Schistes et Grès, permo-triasiques ou plus anciens, s'observent en bordure des Vallées des grands fleuves, Donnaï, Krong No, Krong Hana, et au Darlac occidental. L'extension des alluvions quaternaires anciennes ou actuelles est faible (vallée du Krong Hana et plaine du " Lac ", entre le Massif Sud-Annamitique et le plateau du Darlac, plaine de la Lagna en Haute-Cochinchine, plaines de Phan Rang, de Nha Trang ...). Des terrasses sablonneuses et des dunes existent dans la zone littorale.

Les sols des plateaux basaltiques, sols ferrallitiques plus ou moins typiques, et les alluvions récentes ont été étudiés d'une manière assez approfondie en raison de l'intérêt qu'ils présentent pour l'agriculture. Sur les autres terrains on observe principalement des sols ferrugineux ou ferrallitiques lessivés (" sols rouges et jaunes podzoliques " de la classification américaine), sur lesquels les indigènes pratiquent la culture itinérante mais qui se prêtent mal en général, soit en raison de leurs propriétés, soit du fait du relief, à l'application des techniques modernes de mise en valeur.

De nombreux échantillons ont été prélevés et analysés à Saïgon. L'étude minéralogique de quelques argiles a été faite au laboratoire de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

Certaines observations, certains résultats d'analyses, en particulier ceux qui concernaient les terres basaltiques du Darlac et de la région de Blao, ont été publiés à Saïgon, dans les Archives des Recherches Agronomiques (1952); beaucoup demeuraient inédits.

Pour la rédaction de cette note, je me suis référé aux travaux de Y. Henry (1931), de B. Thatchenko (1935...), de E.M. Castagnol (1952)... ainsi qu'à ceux de F. Moormann (1957-61) qui a étudié les sols du Sud-Viet-Nam postérieurement à moi. La plupart des données présentées sont néanmoins originales.

Après avoir formulé quelques remarques sur les conditions de genèse des sols, en particulier sur l'influence de la roche-mère et sur celle du relief, et indiqué quels sont les principaux modes de décomposition des roches, je dirai ce que nous savons de leurs constituants minéraux et organiques. Je donnerai ensuite un aperçu sur leur structure, sur leur granulométrie et sur leurs propriétés physico-chimiques. Enfin, dans le cadre de la classification proposée par Aubert et Duchaufour (1956), je décrirai les principaux types de sols que j'ai observés. Quelques chiffres ont été réunis dans un tableau placé à la suite de cette classification et destiné à lui servir de support analytique.

#### Remerciements

Monsieur E.M. CASTAGNOL, alors Directeur des Recherches Agronomiques, a orienté mes premières activités de pédologue en Indochine.

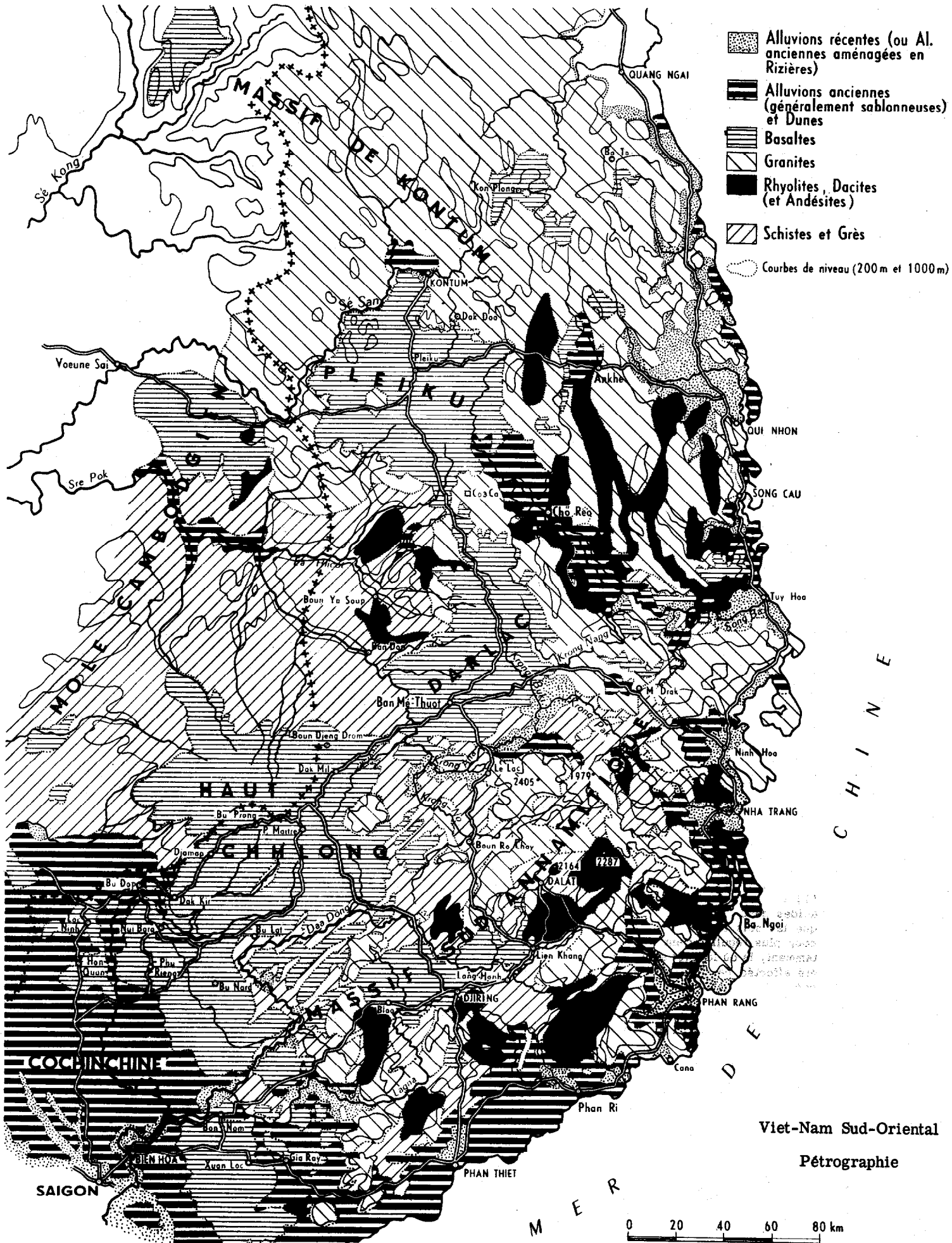
Mes amis P. BONFILS, P. de LA SOUCHERE et D. GODARD, m'ont apporté sur le terrain une aide particulièrement efficace et je leur dois plusieurs des observations présentées dans ce travail. Je dois également beaucoup au Docteur MOORMANN avec lequel j'ai pu m'entretenir plusieurs fois, lors de mon dernier séjour au Viet-Nam, des problèmes de pédologie indo-chinoise.

Messieurs LE DINH MUI, HUYNH THE VAN et TRAN VAN QUI ont effectué les analyses des échantillons adressés à Saïgon.

Mademoiselle DU ROUCHET, du Laboratoire de Bondy, a apporté beaucoup de soins à l'étude minéralogique des échantillons d'argiles que je lui avais confiés et je lui dois l'essentiel des interprétations des résultats des analyses qu'elle a effectuées.

Monsieur le Professeur AUBERT et Monsieur le Professeur LEMEE ont pris connaissance des données dont je disposais et leurs remarques m'ont été précieuses pour la rédaction de cette note.

Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de toute ma reconnaissance.



# CHAPITRE I

## CONDITIONS DE FORMATION DES SOLS

---

### A — LES FACTEURS DE LA PEDOGENESE

#### I — LA ROCHE-MERE

D'une manière générale, il semble, en ce qui concerne les terres formées à partir de roches éruptives, que la profondeur du sol soit d'autant plus grande que la roche-mère est plus basique. Il est vrai que le relief des régions granitiques est toujours beaucoup plus tourmenté que celui des régions basaltiques ; en outre l'extension en profondeur de la zone de départ est plus étendue et ses limites sont moins nettes dans le cas des sols constitués sur roches acides (1).

Même à basse altitude (zone orientale), les lithosols présentent une grande extension dans les régions granitiques et, sur les pentes rhyolitiques (région de Chö Reo), les sols sont souvent squelettiques. Dans les secteurs les plus humides cependant (régions de Blao, de Dalat), sous forêt dense en particulier, on peut observer sur les Granites des sols assez profonds. Il en est de même sur le plateau de Pleiku où se voient par places, en continuité de relief avec les terres rouges basaltiques, des terres grises formées à partir d'émergences du socle granito-gneissique.

Les sols formés sur les pentes dacitiques (2) sont en moyenne plus profonds et, surtout, forment un revêtement plus continu que les sols formés sur les pentes granitiques. Sur les Basaltes qui se présentent généralement en nappes sub-horizontales, là où le drainage est convenable et où l'érosion régressive n'intervient pas, se constituent des sols ferrallitiques typiques ("terres rouges") dont la profondeur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

On peut faire sur les sols formés à partir de roches sédimentaires des remarques analogues. Les Grès donnent des sols de faible profondeur ou, sur pentes, des lithosols (Darlac Occidental). Les Schistes moins siliceux donnent souvent, même sur des pentes assez fortes, des sols relativement profonds (3).

---

(1) D'après F. Moormann, les sols ferrallitiques lessivés, qui se forment normalement à partir des roches acides dans les conditions climatiques prédominant au Viet-Nam, sont beaucoup plus sensibles à l'érosion que les sols ferrallitiques typiques qui se forment à partir des Basaltes. En Malaisie, sous un climat beaucoup plus régulièrement humide que celui du Viet-Nam, les sols formés à partir de Granites présentent constamment, là où la forêt subsiste, une très grande épaisseur (H. Erhart 1954). J'ignore toutefois si la Malaisie a été affectée par les mouvements épigéniques récents qui, au Viet-Nam, ont provoqué l'intensification des phénomènes d'érosion.

(2) Les Dacites, équivalent volcanique des Diorites quartzifères, présentent une grande extension au Sud-Viet-Nam (Massifs du Lang Bian, du Bi Dup, du Tao Dung...)

(3) Bien d'autres facteurs, texture, structure, perméabilité, orientation des plans de stratification... interviennent, pouvant masquer l'influence de la composition minéralogique dont l'importance apparaît moins grande dans le cas des roches sédimentaires que dans celui des roches éruptives. Au Cambodge, sur les Grès de la chaîne de l'Eléphant, l'épaisseur des éluvions atteint souvent plusieurs dizaines de mètres. Sur les Calcaires qui sont très rares, (Région de Chö Reo, bords de la cuvette de la Lagna), les sols sont peu profonds, voire squelettiques.

L'influence de la texture (texture grenue, texture microlithique), celles de la divisibilité et du mode de disjonction (disjonction prismatique des Basaltes) sont également intéressantes à signaler.

Dans le cas des Basaltes, il semble exister un lien entre le mode de disjonction et le processus d'altération "en boules"; en outre, la finesse de leur texture aussi bien que leur composition minéralogique expliquent la prédominance des phénomènes chimiques dans la décomposition de ces roches. Du fait de leur texture grenue et de leur caractère plus siliceux, les Granites se prêtent mieux aux processus de décomposition physique. C'est ainsi que dans les massifs granitiques se trouvent peu à peu dégagés, au gré des cheminements capricieux des diaclases, des monolithes parfois énormes, à la base desquels se constituent des arènes où l'on peut observer des micas et des feldspaths faiblement altérés (région de Krong Pha). (1).

Dans le cas des Schistes, la zone de décomposition s'étend d'autant plus en profondeur que l'inclinaison des plans de schistosité sur la surface topographique est plus accentuée. Là où les plans de schistosité sont parallèles à la surface topographique, on observe des lithosols (Darlac). On notera également que les concrétions ferrallitiques trouvées dans les sols dérivant de Schistes ont généralement une forme aplatie et se présentent en lits parallèles aux plans de fissilité de la roche.

Les relations entre les compositions chimiques et minéralogiques des roches et celles des terres qui en dérivent sont assez étroites en ce qui concerne les teneurs en constituants fondamentaux, Silice, Oxydes de Fer et d'Aluminium. Les terres basaltiques sont plus riches en Phosphore et généralement plus pauvres en Potassium que les terres granitiques; quand elles sont peu évoluées ou quand la pédogenèse s'est réalisée sous climat assez sec, elles sont relativement riches en alcalino-terreux (2).

Les terres basaltiques présentent toujours une texture très fine (50 à 80 % d'"argile", au sens granulométrique du terme); elles sont généralement riches en constituants ferrallitiques. Lorsque les sols sont relativement évolués ou lorsqu'ils se sont formés en milieu alternativement sec et saturé d'humidité, on y trouve à certains niveaux des concrétions plus ou moins volumineuses et plus ou moins riches en Fer; mais la formation de véritables cuirasses apparaît assez exceptionnelle ("cuirasses de nappe" en bordure des marais). Suivant les conditions de drainage ayant prédominé au cours de leur genèse, elles sont de teinte brun-rouge ou gris-bleuté.

Les terres formées à partir de roches acides sont généralement moins riches en constituants ferrallitiques et plus riches en Kaolin que les terres basaltiques; elles renferment plus rarement des concrétions. Leur teinte est le plus souvent gris-beige ou ocre; mais il existe aux alentours de Dalat, sous Forêt, des terres granitiques de couleur brun-rouge, beaucoup moins riches en oxyde ferrique que les terres basaltiques de même teinte (3 à 6 % au lieu de 18 à 22 %).

Les terres qui se sont constituées sur les alluvions anciennes sablo-argileuses à la périphérie des régions étudiées sont grises ou beiges en surface. Les constituants ferrallitiques qu'elles renferment tendent à s'accumuler à certains niveaux donnant lieu à la formation de bancs imperméables ou de cuirasses. L'influence de la topographie apparaît ici prépondérante.

## II — LE CLIMAT

Sur la plus grande partie des régions étudiées règne un climat chaud et humide, mais à hiver sec, éminemment favorable à la latéritisation; mais, bien que les teneurs des sols en constituants ferrallitiques apparaissent généralement élevées, les cuirasses, tout au moins celles pouvant être considérées comme résultant de processus pédogénétiques actuels, ne présentent que rarement une grande extension.

---

(1) Dans les régions les plus humides, là où l'érosion est peu active, on peut observer toutefois des sphéroïdes de granite présentant un mode d'altération analogue à celui que l'on observe communément dans le cas des Basaltes. Les écailles cependant manquent souvent de netteté et le noyau est moins bien individualisé (Col sur la piste de Bö Sar à Mepu, au Sud de Blao).

(2) Ces remarques concernent les teneurs en K et en P "totaux", les teneurs en "éléments assimilables" ou en cations échangeables variant beaucoup d'un type de sol à l'autre et d'un horizon à l'autre, quelle que soit la roche-mère (influence du climat, de la végétation...). D'après Lacroix, les teneurs en  $K_2O$  des Basaltes affleurant dans les régions étudiées varient de 0,57 à 1,36 % pour les Basaltes  $\alpha$ , de 0,99 à 2,11 % pour les Basaltes  $\beta$ ; celle des Granites varie de 3 à 6 %.

Paradoxalement, ce n'est que dans la région de Blao, où la saison sèche est la moins accentuée, que les affleurements de cuirasse de plateau présentent une réelle importance : il semble qu'il s'agisse d'anciennes cuirasses de nappe dont on retrouve ailleurs des lambeaux, dans le Haut-Chhlong oriental en particulier où l'érosion les a toutefois presque complètement démantelées (1). Dans la zone des alluvions anciennes, les cuirasses de nappes semblent être de formation subactuelle.

Dans les secteurs les moins arrosés (zone littorale, dépression de Chö Reo, Darlac occidental), les sols sont dans l'ensemble moins profonds et moins ferrallitisés ; ces secteurs sont aussi ceux où l'érosion est la plus active du fait de l'irrégularité des pluies et de l'insuffisance de la protection assurée par un couvert végétal généralement ouvert et caducifolié, de sorte que dans les régions où les précipitations annuelles sont inférieures à 1500 mm. les lithosols présentent une grande extension.

L'influence du climat actuel sur les teneurs des terres en éléments échangeables dits "fertilisants" est nette. Ainsi les terres basaltiques des secteurs les plus arrosés (Haut-Chhlong, Blao) sont, toutes conditions semblables par ailleurs, particulièrement pauvres, alors que les terres des régions sèches (plaine littorale dans le secteur de Phan Rang, vallée du Song Ba) sont relativement riches. (2)

Les processus de transformation des débris organiques varient avec l'humidité et la température. Les terres des régions relativement humides et froides (Blao, régions montagneuses) sont plus riches en matière organique que celles des régions relativement sèches et chaudes. L'humidité est d'ailleurs un facteur favorable aux espèces sempervirentes (Lauracées, Myrtacées, Conifères) productrices de matières organiques donnant lieu à la formation d'un humus relativement acide.

### III - LE RELIEF

L'influence du relief local qui conditionne les processus d'érosion et de lessivage est fondamentale.

Le lessivage oblique et l'érosion conditionnent l'évolution des sols de pentes.

Au Darlac, dans la zone basaltique, on observe que, vers le bas des pentes, les teneurs en bases échangeables augmentent de manière sensible, cette augmentation s'accompagnant d'un relèvement du pH. On note également que l'indice de structure (3) de l'horizon sous-jacent à l'horizon Al est beaucoup plus élevé dans le cas des sols de piémont que dans celui des sols de plateau, ce phénomène étant lié à l'augmentation du pH et à l'accroissement de l'humidité moyenne. Il arrive aussi cependant que, à un certain niveau, l'acidité d'échange croisse brusquement en raison, selon Castagnol (1952), de la présence d'hydroxydes libres, plus ou moins toxiques, qui dans certaines conditions pourront amener la formation d'une cuirasse d'accumulation absolue.

Dans les secteurs montagneux, les sols colluviaux occupant les fonds des vallées sont beaucoup plus riches que les sols de pentes, les teneurs en N augmentant fortement et les teneurs en bases échangeables et en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable pouvant décupler. De ce fait, la végétation vallicole est beaucoup plus vigoureuse que celle occupant les parties hautes des pentes et les crêtes où érosion et lessivage concourent à appauvrir les terres.

Quoi qu'il en soit, dans les zones de piémont, les caractères des sols peuvent varier considérablement sur de faibles distances ; des affleurements de cuirasses peuvent se présenter en contre-bas de sols rajeunis par l'érosion ou enrichis par lessivage oblique et colluvionnement, ces affleurements faisant place vers l'aval à des terres humifères de bas-fonds ou à des alluvions plus ou moins argilleuses. Il est prévisible qu'à des changements de cette importance correspondent des modifications aisément observables dans le couvert végétal.

---

(1) Les cuirasses de plateau peuvent être considérées comme d'anciennes cuirasses de nappe mises en relief par l'érosion. Compte tenu de leur composition chimique, assez différente de celle des cuirasses de nappe qui se forment actuellement, on devrait admettre qu'elles se sont appauvries en Fer depuis qu'elles ne sont plus en contact avec la nappe phréatique.

(2) De nombreux auteurs ayant travaillé dans les régions tropicales, en particulier en Afrique occidentale (N. LENEUF - 1959), ont fait des observations analogues.

(3) Produit par 100 du rapport de la quantité d'"argile" naturellement peptisée (déterminée par la mise en suspension de l'échantillon dans l'eau distillée) à la quantité d'"argile" réellement présente (déterminée par dispersion en présence d'un agent peptisant convenable).



L'évolution des terres de plateau dépend dans une large mesure de l'importance de la différence de niveau entre la surface topographique et la nappe phréatique ou de la profondeur du réseau de drainage. Le lessivage vertical entraîne un appauvrissement chimique souvent très marqué des horizons supérieurs et une dégradation sensible de leur structure. Dans le cas des terres basaltiques, il ne donne pas lieu à des phénomènes d'entraînement d'argile vraiment accusés.

Si la différence de niveau entre la surface topographique et la nappe phréatique est faible, se constituent des sols hydromorphes comprenant un horizon à gley surmonté d'un horizon à concrétions ou à cuirasse.

Au Darlac, les meilleures terres basaltiques s'observent là où le niveau moyen de la nappe se trouve entre 6 et 20 mètres au-dessous de la surface topographique. Dans les secteurs septentrionaux où le réseau de drainage s'établit parfois à près de 100 mètres de profondeur (Vallée de Ea Tul, au voisinage de Boun Trea Tu), les terres de plateau sont dépourvues de toutes réserves en éléments utiles et leur structure tend à prendre en surface un caractère particulière. Dans les secteurs occidentaux, par contre, dominent des terres grises à concrétions ou à cuirasse, formées en présence d'une nappe phréatique battante dont le niveau moyen se situe à 1 ou 2 mètres de profondeur (1).

Dans les régions où les thalwegs sont profonds, l'érosion peut jouer un rôle utile en rajeunissant les sols séniles ou en concentrant au pied des pentes les matériaux utiles. Ainsi, dans le Haut-Chhlong où les terres de plateau se révèlent presque stériles, les cultures sont pratiquées seulement sur les pentes enrichies de diverses manières en éléments utiles provenant des parties hautes.

L'activité de l'érosion (décapage et colluvionnement) et l'intervention de phénomènes de solifluxion expliquent les dispositions singulières que présentent parfois les lits de concrétions (orientation oblique par rapport à la surface, ondulations, flexures, parfois entrecroisements...), même sur des pentes faibles (Haut Chhlong, Pleiku).

En montagne où, même sur de fortes pentes, des sols profonds se constituent parfois, il arrive que, à la suite de précipitations exceptionnellement abondantes, se produisent des glissements découvrant des horizons abiotiques sur lesquels la végétation ne reprend qu'avec une extrême lenteur. Ainsi le typhon de 1952 a provoqué en forêt climacique, dans le massif du Brah Yang, au dessus de Djiring, un glissement mettant à nu sur 40 hectares une couche de dacite très altérée, blanchâtre qui, 6 ans plus tard, était toujours délaissée par la végétation.

Il convient enfin de souligner la relation qui existe entre l'intensité des phénomènes d'érosion dans certains secteurs et les mouvements verticaux qui ont affecté récemment le Sud de l'Indochine. Les lithosols s'observent principalement dans les secteurs orientaux où les mouvements de surrection ont présenté une grande amplitude et où le travail de l'érosion s'est trouvé favorisé par un climat relativement sec. Vers le Sud-Ouest, du fait de l'humidité du climat et de l'importance des affleurements de Basaltes et de Schistes argileux fort sensibles aux processus d'altération chimique, les sols squelettiques sont peu répandus; mais le démantèlement des cuirasses de plateau pourrait être la conséquence des mouvements quaternaires.

## B — PROCESSUS PEDOGENETIQUES FONDAMENTAUX

### I — PRINCIPAUX MODES DE DECOMPOSITION DES BASALTES

Etant donné l'importance à la fois géographique et économique des terrains basaltiques dans les régions prospectées, l'examen des processus d'altération des Basaltes nous retiendra plus longtemps que celui des processus d'altération des autres roches.

Dans l'étude des principaux modes de décomposition des Basaltes, les distinctions fondamentales à introduire sont relatives aux conditions d'humidité qui régissent les transformations chimiques et minéralogiques s'opérant au cours de l'altération de la roche.

---

(1) L'influence qu'exercent les conditions de drainage sur la pédogenèse ressort nettement de la distribution des terres rouges (sols ferrallitiques) et des terres grises (sols hydromorphes passant par place à des régurgs) basaltiques dans le bassin du Krong Buk (Darlac oriental) où la superposition des coulées en retrait les unes par rapport aux autres confère à la surface topographique une disposition en gradins. Les terres grises s'observent vers les racines des coulées, les terres rouges vers leurs fronts, le drainage se réalisant là plus librement.

a) Altération en "milieu sec"

(Drainage convenable en toutes saisons).

L'étude des sols ferrallitiques faiblement évolués qui, dans la région de Din Kuan (1), se sont constitués sur des coulées de laves récentes montre que, dans certains cas tout au moins, l'altération débute par une sorte de gélification affectant la roche sur une épaisseur réduite (quelques millimètres). Très tôt une partie de la Silice et une grande partie des alcalino-terreux se trouvent éliminées. Les hydroxydes de Fer et d'Aluminium qui se sont formés par absorption de fortes quantités d'eau ne présentent pas d'emblée des compositions bien définies ; mais une partie de la SiO<sub>2</sub> se combine ou demeure liée à une partie de L'Alumine, la Kaolinite étant le seul minéral dont la présence peut être mise en évidence dès le début dans la fraction "argiles". Ultérieurement, les hydroxydes cristallisent partiellement et la teneur en Kaolinite augmente. Ainsi se constitue la terre rouge (2).

Sur les pentes, en particulier là où prédominent les matériaux scoriacés, l'altération conduit à la formation de terres noires, peu profondes, où subsistent de nombreux débris de roches non ou faiblement altérés. Ces sols que l'on peut qualifier de "pseudorendzines" ou, dans le cas où ils présentent un caractère légèrement hydromorphe, de "regurs squelettiques" (d'après Moormann) sont plus riches en alcalino-terreux que les terres rouges mais ne renferment généralement pas de CO<sub>3</sub>Ca. Je ne possède aucune donnée sur les argiles qui se forment dans ces conditions ; la présence de Montmorillonite apparaît assez probable (3).

Dans la partie supérieure des profils de sols ferrallitiques on observe parfois des sphéroides basaltiques recouverts d'une pellicule de teinte ocre ou rouge dont la teneur en Fer est plus élevée que celle du Basalte primitif et que celle du sol. Au-dessous de cette pellicule, la roche est encore dure mais apparaît altérée sur une certaine épaisseur, l'altération affectant en premier lieu les minéraux colorés et libérant du Fer et du Calcium (cordons de limonite, parfois zonules bleutées où on peut mettre en évidence la présence de CO<sub>3</sub>Ca).

L'origine des hydroxydes entrant dans la constitution de la pellicule n'est pas toujours facile à établir. Dans bien des cas, en particulier là où le drainage n'est pas parfait, il semble qu'au contact du Basalte en voie d'altération se produisent, à partir des solutions ou des pseudo-solutions qui imprègnent le sol, des précipitations amenant la formation d'un enduit protecteur grâce auquel la roche se trouve en quelque sorte fossilisée.

Quelques résultats d'analyses par fusion aux carbonates d'échantillons de terres correspondant à différents degrés ou différents types d'évolution donneront une idée sur les transformations chimiques qui s'opèrent au cours des processus pédogénétiques.

(En première ligne, teneurs rapportées à 100 pour un échantillon séché à 110° ; en deuxième ligne et entre parenthèses, teneurs rapportées à 100, déduction faite de la perte au rouge).

	Perte au feu	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe O (*)
Basaltes (composition moyenne)	1	50 (50,5)	15 (15,2)	3	8

(\*) Dans l'analyse des terres, FeO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> n'ont pas été séparés et tout le Fer qui a été dosé est exprimé sous forme d'oxyde ferrique. Les teneurs en FeO des terres rouges sont certainement faibles.

(1) vers le km 125 de la route de Saïgon à Dalat.

(2) Cf. Chap. II, A, la fraction "argiles". Mohr et Van Baren ont consacré au problème de l'altération des roches en zone tropicale humide, un chapitre important de leur ouvrage "Tropical soils" (1954). Ils citent les travaux de nombreux auteurs. Mes remarques s'inspirent de leurs conclusions.

(3) Ces sols présentent quelque ressemblance avec les sols Ando auxquels s'apparenteraient, selon Dudal, certains sols de Java formés à partir de tufs volcaniques.

	Perte au feu	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si O <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si O <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Produits d'altération						
a) Sols ferrallitiques peu évolués						
"Terre brune" T.f. (*) (Din Kuan)	16	38 (45)	26 (31)	18	1,4	2,5
A (*)	28	28 (39)	34 (47)	9	1,2	1,4
"Terre rouge" T.f. (enrichie par lessivage oblique ?) (Phu Rieng)		37	30	14	1,6	2,1
b) Sol ferrallitique "normal"						
"Terre rouge" T.f. (Suzannah) (D'après Agafonoff - 1929)	15	31 (36,5)	28 (33)	22	1,2	1,9
c) Sols ferrallitiques très évolués						
(Blao) T.f.	15	32 (37,6)	31 (36,5)	18	1,2	1,7
A	27	18 (24,6)	43 (59)	10	0,58	0,67
(Haut-Chhlong) T.f.	18	10 (12)	46 (56)	23	0,18	0,37

(\*) T.f. : terre fine (passée au tamis de 2 mm)

A. : argiles, au sens granulométrique du terme.

Ces résultats font ressortir la diminution de la teneur en SiO<sub>2</sub> de la fraction "argile" et l'augmentation corrélatrice de sa teneur en Alumine quand le sol "vieillit" ; ils montrent aussi que, dès le début de sa formation, le sol ("terre brune") renferme une forte proportion de constituants ferrallitiques. La teneur relativement élevée en SiO<sub>2</sub> de l'échantillon provenant de Blao s'explique par la présence dans la terre fine de sables qui sont vraisemblablement d'origine granitique ; une inactivation progressive de la Silice par formation de Quartz est possible mais n'a pas été constatée de manière certaine, les terres les plus évoluées du Haut-Chhlong étant très pauvres en SiO<sub>2</sub> totale (moins de 10 %). Dans le cas de l'échantillon provenant de Phu Rieng, qui a été prélevé en contre-bas d'un front de coulée, il y a pu avoir formation de minéraux argileux riches en SiO<sub>2</sub>, grâce au maintien du pH à un niveau assez élevé par un afflux latéral de solutions alcalines.

Il ne faut pas cependant utiliser sans précautions les termes "jeune", "évolué", "sénile". Les conditions de mobilisation des différents éléments et les quantités de Silice qui se trouvent éliminées dès le début de l'intervention des processus pédogénétiques varient avec les divers facteurs qui entrent en jeu. C'est ainsi que, d'après les travaux de Y. Henry (1931), les terres rouges basaltiques du plateau des Bolovens, formées sur des coulées assez récentes mais sous climat relativement frais et très humide (4 000 mm de précipitations annuelles), présenteraient des teneurs moyennes de 28 % en SiO<sub>2</sub> et de 39 % en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, alors que les terres rouges du Cambodge (région de Kompong Cham), formées également sur des coulées quaternaires mais sous climat relativement chaud et sec (1500 mm de précipitations annuelles), présentent, d'après des analyses que j'ai fait faire, des teneurs de 38 % en SiO<sub>2</sub> et 28 % en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, teneurs très voisines de celles des terres brunes de Din Kuan (1) (2),

(1) Respectivement 43,7 et 32, déduction faite de la perte au rouge (13 %)

(2) D'après Auriol et Tonnerre (in Y. Henry (1931)), les teneurs moyennes des terres rouges basaltiques du Cambodge (Kompong Cham, Chup, Mimot) sont de 42,5 % en SiO<sub>2</sub> et 29 % en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, soit 46,5 et 32, déduction faite de la perte au rouge (12 %). Ces moyennes ont été établies à partir des résultats d'analyses de 34 échantillons.

et que les terres rouges de Cochinchine, formées sur des coulées de même âge et sous climat chaud et moyennement humide (2.400 mm de précipitations annuelles), présentent des teneurs de l'ordre de 30 % en  $\text{SiO}_2$  et de 28 % en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

L'étude minéralogique de la fraction "argile" fait apparaître d'autre part, comme nous le verrons plus loin, entre les terres rouges que l'on peut considérer comme relativement évoluées et les terres que l'on peut considérer comme étant de formation récente des différences assez significatives. Il semble que le processus de vieillissement affecte plus directement la composition minéralogique des "argiles" que la composition chimique de l'ensemble de la matière terrestre.

#### b) Altération en milieu alternativement sec et saturé d'humidité

(Nappe phréatique "battante" à faible profondeur).

La présence à faible profondeur d'une nappe phréatique à niveau variable, temporaire ou permanente, entraîne la formation d'horizons d'accumulation à concrétions ou à cuirasse au voisinage de la surface et celle d'horizons à sphéroïdes écaillés dans la zone alternativement sèche et saturée d'humidité.

On peut expliquer l'altération "en boules" par l'intervention de phénomènes de diffusion en milieu aqueux (1). Les éléments libérés migrent suivant des directions rayonnantes, leurs déplacements étant affectés d'une périodicité déterminée par la structure de la roche. Ainsi se différencient des sphéroïdes constitués par un noyau dur enveloppé d'écaillés concentriques d'épaisseurs et de compositions variables.

Les éléments déplacés par diffusion rayonnante étant repris par les courants de migration verticale (2), les phénomènes d'accumulation ne sont pas très sensibles au niveau des écaillés ; mais en rompant les équilibres qui tendent à s'instaurer au cours des processus de diffusion, les mouvements verticaux préviennent un blocage précoce des phénomènes de décomposition. D'après des observations faites au Darlac, il semble qu'entre les niveaux où les mouvements verticaux de solutions sont importants, les sphéroïdes soient de petite taille et que leurs écaillés présentent des compositions peu variables. Là où prédominent les phénomènes de diffusion rayonnante, les Sphéroïdes apparaissent plus volumineux et leurs écaillés sont mieux différenciées, certaines se révélant à l'analyse nettement plus riches en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que le noyau demeuré peu altéré, d'autres, présentant les caractères d'un grès très tendre, se révélant plus pauvres en  $\text{SiO}_2$  et en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mais plus riches en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , d'autres enfin se réduisant à une pellicule ferrugineuse de couleur noirâtre.

#### c) Altération en milieu saturé d'humidité

Lorsque le milieu est imprégné par une nappe d'eau peu mobile, les déplacements des éléments libérés au cours du processus d'altération sont réduits, les minéraux de la roche étant épigénisés par les argiles néoformées. Les alcalino-terreux conservent cependant une grande mobilité et sont éliminés en fortes proportions (3). Le produit final de l'altération est une "argile" bleutée dont la composition chimique, tout en pouvant varier sensiblement d'une station à l'autre, demeure toujours plus voisine de celle de la roche-mère que la composition de la terre rouge formée en milieu convenablement drainé. Dans le cas des sols formés sur des colluvions ou des alluvions, la composition de cette "argile" se rapproche toutefois de celle des terres les plus répandues dans les régions d'où proviennent les sédiments. Ainsi en est-il des "argiles" tapissant certains bas-fonds dans la région de Blao, "argiles" riches en constituants ferrallitiques comme les terres des plateaux du voisinage.

---

(1) Selon Castagnol (1952) les éléments migreraient sous forme moléculaire ou sous forme ionique ; le Fer se déplacerait à l'état bivalent, les zones de précipitation étant des zones d'oxydation.

(2) Une partie d'entre eux, en particulier les alcalino-terreux en très fortes proportions, est entraînée par les eaux de drainage.

(3) Sous climat relativement sec (cf. dépression de Chö Reo), on observe souvent dans les sols hydromorphes des concrétions de carbonates.

Quelques résultats analytiques justifieront ces remarques.  
(Résultats exprimés en pour cent de la somme  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ).

	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$ (*)
Basalte (type moyen)	65	19	16
Argile bleue sur Basalte (sol autochtone) (Kompong Che - Cambodge)	70	17,5	13,5
Argile bleue sur alluvions provenant d'une région basaltique (Haute-Cochinchine)	43,5	31	25,5
Terre rouge basaltique (Haute-Cochinchine)	44	37	19

(\*)  $FeO$  et  $Fe_2O_3$  n'ont pas été séparés dans nos analyses. Bien entendu, dans les sols de marais, le Fer se trouve en partie sous forme réduite.

d) Concours des différents processus d'altération étudiés à la genèse d'un profil de sol de plateau

L'examen des profils de " terres rouges " dont l'épaisseur atteint parfois plusieurs dizaines de mètres mène à concevoir que différents processus d'altération intervenant simultanément ou successivement ont concouru à leur genèse.

La terre rouge proprement dite, qui constitue la partie supérieure du profil, a pu se former en milieu relativement bien drainé. Sa structure est grumeleuse et sa texture est très fine.

Au-dessous, on observe un horizon où la présence de sphéroïdes écailloux témoigne d'un ralentissement du drainage. Les phénomènes d'accumulation vers la partie supérieure de cet horizon sont peu marqués du fait de l'épaisseur de la couverture de terre rouge créant des conditions peu favorables (évaporation faible, texture argileuse ..) à la pectisation des colloïdes. Toutefois la présence de quelques concrétions indique que les mouvements verticaux de pseudosolutions d'hydroxydes ont joué un rôle dans la genèse de cet horizon. La teinte de la masse terreuse est ici brunâtre et l'on observe vers le bas quelques taches grises ; la structure devient moins stable, moins nettement grumeleuse à mesure que l'on s'éloigne de la surface.

Au-dessous encore, les sphéroïdes sont parfois juxtaposés, la roche profondément altérée présentant les caractères d'un grès très tendre. La présence de " poches " d'argile gris-bleuté indique que le milieu est très humide et pauvre en Oxygène.

Enfin, à la base du profil, on observe un banc d'argile bleutée constituant un horizon imperméable, saturé d'humidité en permanence.

## II - DECOMPOSITION DES GRANITES

Lorsqu'on circule dans les régions granitiques on est frappé par la fréquence des affleurements rocheux, l'altération, quand elle se produit à l'air libre, provoquant la formation de minces écailles qui se détachent avant que les minéraux constitutifs de la roche aient été complètement détruits. Ainsi, en un premier temps, le Granite se désagrège, l'altération des minéraux se poursuivant dans les arènes qui se forment à la base des rochers monolithiques, parfois énormes, dégagés par l'érosion.

Lorsque la décomposition se réalise sous une certaine épaisseur de terre, les limites entre le sol proprement dit et la roche en voie d'altération manquent souvent de netteté, l'épaisseur de la zone de départ (diminution de cohésion, appauvrissement en Fer) pouvant atteindre plusieurs mètres. Parfois on observe des sphéroïdes écailloux ; mais il est exceptionnel que leurs écailles soient aussi nettement différenciées que dans le cas des sphéroïdes basaltiques.

Le Quartz est peu attaqué. Le Fer peut se concentrer d'une manière diffuse dans certains horizons auxquels il confère une teinte plus ou moins rouge suivant son degré d'oxydation ; la formation de concrétions apparaît assez exceptionnelle.

Les résultats d'analyses par fusion aux carbonates présentés ci-dessous donneront un aperçu sur les transformations chimiques qui se réalisent au cours des processus pédogénétiques. Les teneurs relativement élevées en  $SiO_2$  ne doivent pas faire illusion : si l'on

tient compte du fait que le Quartz a pu s'accumuler sur place, on est amené à admettre que les pertes de  $\text{SiO}_2$ , consécutives à la destruction des minéraux silicatés, ont été importantes dans le cas des terres analysées. L'étude de la composition minéralogique de la fraction "argile" y révèle d'ailleurs, comme on le verra plus loin, la présence de constituants ferrallitiques. (Résultats exprimés en pour cent de l'échantillon séché à  $110^\circ$ )

	Perte au feu	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe O
Granite monzonitique (type moyen)	1	66	15,5	1	3
Produits d'altération					
Terre rouge (Dalat - Manlines) (*)	14,5	40,9	35,5	5,8	
Terre rouge lessivée (Dalat - Manlines) (*)	12,4	54,4	27,3	4,2	
Terre ocre (Blao - Daa Lao)	22,2	39,0	28,8	6,2	
Colluvions granitiques T.f. (Blao - Daa Binh) A	3,2 17,0	81,6 37,8	6,3 31,7	3,2 4,3	

(\*) Il s'agit vraisemblablement de l'horizon d'accumulation d'un sol ferrallitique lessivé dont les horizons supérieurs auraient été détruits par l'érosion.

### III - DECOMPOSITION DES DACITES

Le revêtement éluvial est beaucoup plus continu, sinon plus épais en moyenne, dans les régions dacitiques que dans les régions granitiques.

L'extension verticale de la zone de départ est en général assez grande. Je n'ai pas observé de phénomènes de décomposition sphéroïdale bien typique ; mais souvent la roche se débite en prismes qui, lorsqu'on les brise, apparaissent constitués de roche altérée sur une épaisseur variable, parfois seulement sur quelques millimètres. La partie altérée, de teinte blanchâtre, fait corps avec la masse du prisme (observation faite sur les pentes du Da Blo, dominant l'aérodrome de Dalat).

Les résultats d'analyses par fusion transcrits ci-dessous donneront une idée sur les transformations chimiques qui se réalisent au cours des processus de décomposition.

	Perte au feu	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe O
Dacite andésinique (Arbre Broyé) (d'après Lacroix)		61,6	16,0	2,0	3,8
Terre ocre à ocre-beige (sur pente) (Arbre Broyé) (d'après Tkatchenko)		41 à 47	22 à 29	8 à 12	
Terre ocre-beige (sur pente, vers 1 m de profondeur) (Brah Yang) (*)	11,3	47,0	27,0	10,0	
Terre ocre-beige de plateau (Blao) (d'après Tkatchenko)	11	36,0	36,5	12,5	
Alluvions récentes (région de Djiring)	9,6	54,0	23,8	6,9	

(\*) C'est par erreur que le Massif du Brah Yang qui domine Djiring a été porté sur la carte géologique comme étant granitique dans son ensemble.

#### IV - DECOMPOSITION DES RHYOLITES

Les processus de décomposition paraissent analogues à ceux qui interviennent dans le cas des Dacites, le produit final étant toutefois plus silicieux.

D'après Tkatchenko, les sols formés à partir de Rhyolites sont, toutes conditions semblables par ailleurs, moins profonds que les sols formés à partir de Dacites. Dans le secteur de l'Arbre Broyé, leurs teneurs en  $SiO_2$  seraient de l'ordre de 54 %.

#### V - DECOMPOSITION DES SCHISTES

L'altération des Schistes conduit à des transformations moins profondes que celle des roches éruptives.

En profondeur, dans la zone où débute le processus de décomposition, la roche devient friable et une partie du Fer migre. La zone de départ présente souvent un aspect bariolé, les oppositions de teintes résultant davantage de la présence d'oxydes de Fer sous différents états que de différences importantes de teneurs en cet élément. La schistosité se maintient longtemps. La masse terreuse qui constitue le sol proprement dit ne présente pas une composition très éloignée de celle de la roche-mère, tout au moins en ce qui concerne les teneurs en Silice, en Alumine et en oxydes de Fer, les alcalino-terreux étant en grande partie éliminés. Toutes conditions semblables par ailleurs, d'après quelques résultats analytiques, trop peu nombreux cependant pour qu'on puisse en tirer des conclusions certaines, les processus de ferrallitisation semblent intervenir moins activement que dans le cas de l'altération des Granites.

On observe parfois, à la partie supérieure de la zone de départ qui est généralement très épaisse, des concrétions ou des pseudo-concrétions témoignant d'un enrichissement secondaire en Fer.

Les résultats d'analyse par fusion témoignent de l'importance des mouvements du Fer et de la stabilité relative des teneurs en  $SiO_2$  au cours des processus de décomposition.

(Résultats exprimés en pour cent du poids de l'échantillon séché à  $110^\circ$ )

(Schistes gréseux noirs, massifs, provenant de la région de Phi A Tho, au N.O. de Djiring).

	Perte au feu	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$
Roche-mère	1,8	60,5	22,8	7,4
Zone de départ (teinte blanchâtre) (vers - 3 mètres)	6,4	54,7	31,8	2,2
Terre (ocre - beige) (vers - 0,5 m)	10,2	56,8	21,5	6,2

## CHAPITRE II

# PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES SOLS

---

### A — LES ARGILES (1)

Les constituants "argileux" d'une vingtaine d'échantillons représentatifs des types de sols les plus répandus ont été étudiés au Laboratoire de l'O.R.S.T.O.M., à Bondy, par Made-moiselle DUROUCHET (2).

Il ressort des examens effectués que la Kaolinite constitue dans le cas des terres basaltiques la presque totalité des argiles vraies minéralogiquement exprimées. Elle apparaît d'une manière précoce étant déjà abondante dans les sols ferrallitiques juvéniles où les hydroxydes de Fer et d'Aluminium ne se présentent pas encore sous des formes cristallines. C'est dans les terres formées à partir de Schistes que sa proportion est la plus forte par rapport à la masse globale des colloïdes minéraux. Dans les terres d'origine granitique et dans les alluvions d'origine, au moins partiellement, granitique, on trouve, à côté de la Kaolinite, de petites quantités d'Illite, ce dernier minéral paraissant d'autant plus abondant que le sol est moins évolué et le climat plus sec. La présence de la Montmorillonite n'a été mise en évidence que dans un sol sur alluvions riches en alcalino-terreux (apports basaltiques) et sous climat relativement sec (1200 à 1300 mm de précipitations annuelles, saison sèche de 5 à 6 mois). Ces résultats confirment les observations faites par de nombreux auteurs sur les conditions de la genèse des Montmorillonites.

Des hydroxydes de Fe ou d'Al existent dans tous les échantillons étudiés. Dans les sols peu évolués, ils se présentent essentiellement à l'état de gels ; dans les sols formés sous climat sans saison sèche accentuée, les gels sont également très abondants (3). La Goethite a été trouvée dans de nombreux échantillons, en particulier dans des échantillons provenant de sols ferrallitiques sur Basalte et dans l'horizon supérieur d'un sol formé sur Granite et sous climat relativement sec. L'Hématite, assez peu répandue, a été trouvée principalement dans les horizons supérieurs de sols ferrallitiques sur Basalte ; un climat à saison sèche accentuée semble favoriser sa genèse. La Gibbsite n'existe en quantités importantes que dans les sols très évolués : une forte proportion de ce minéral est donc un indice de vieillissement.

La présence de Quartz n'a jamais été constatée dans la fraction "argile" des échantillons provenant de sols autochtones. Il semble donc que la présence de sables siliceux dans les terres basaltiques de Blao et de Pleiku ne puisse s'expliquer par l'intervention d'un processus de néoformation. Le Quartz est par contre assez commun dans les "argiles" des sols formés sur alluvions.

---

(1) "Argile", au sens granulométrique du terme.  
L'étude minéralogique des sables (minéraux résiduels) n'a pas été faite.

(2) Etablissement des radiogrammes de diffraction, analyse thermique différentielle et thermobalance.

(3) Toutes conditions semblables par ailleurs, ces gels, qui renferment vraisemblablement, à côté des hydrates de Fe et d'Al, une certaine proportion de Silice, sont plus abondants en profondeur, où l'humidité est plus forte et où on se rapproche de la roche-mère, qu'au voisinage de la surface.



Quelques courbes d'analyse thermique différentielle ont été reproduites ci-contre et les compositions minéralogiques de la fraction argileuse des principaux types de sols sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

	Pr. (*)	Gels	Go (*)	Hém.	Gi.	Ka.	Il.	Mo.
<b>Sur Basaltes</b>								
- Sol ferrallitique peu évolué (Haute-Cochinchine)		+++				< 45 %		
- Sol ferrallitique "normal" (Haute-Cochinchine) (saison sèche accentuée)	Hor. sup. - 200 cm	++ +++	++	+	+	< 50 % 50 %		
(Djira Mur) (s.s. courte)	Hor. sup. - 50 cm	+++ +++	traces		traces	60 % 60 %		
- Sol ferrallitique très évolué (Pleiku) (s.s. accentuée)	Hor. sup.	+	++	++	15 %	40 %		
(Haut-Chhlong) (s.s. peu accentuée)	Hor. sup. - 200 cm	+ +	++ ++	+	++ 15 %	55 % 40 %		
<b>Sur Granites</b>								
- Sous climat très humide (sol lessivé) (M'drak)	- 50 cm	+++			1,5 %	65 %	+	
- Sous climat relativement sec (Région de Phan Thiet)	Hor. sup.		15 à 20 %		1 à 2 %	55-60 %	20 %	
<b>Sur Schistes (M'drak) (climat très humide)</b>								
	- 50 cm	++				70 %		
<b>Sur Alluvions</b>								
- Climat humide (Haute-Cochinchine)		+++				50 %		
- Climat sec (Chö Reo)			+	+	+	< 40 %	+	++
(Dong Lak : zone orientale)		+	traces		traces	50 %	++	

(\*) Pr. : Niveau de prélèvement

Go. : Goethite, - Hém. : Hématite, - Gi : Gibbsite, - Ka : Kaolinite, - Il : Illite, - Mo : Montmorillonite.

Les chiffres donnés ne le sont qu'à titre indicatif ; ce sont plutôt des ordres de grandeur.

+++ : en forte proportion - + en faible proportion.

## B - CONCRETIONS ET CUIRASSES (1)

Les formations latéritiques, au sens physique du terme, que l'on peut observer dans les régions étudiées, varient beaucoup dans leur morphologie et dans leur composition chimique.

(1) Je m'inspire dans la rédaction de ce paragraphe des travaux de Castagnol (1940) et de Tkatchenko (1937). Castagnol a étudié en particulier les variations de composition chimique de la "latérite" en fonction de ses variations de structure et de couleur. Il a été ainsi conduit à formuler une théorie sur la genèse des cuirasses vacuolaires.

Sol lessivé sur Schistes

Sols lessivés sur Granites

Sous Savane à Gleichenia (M'drak)

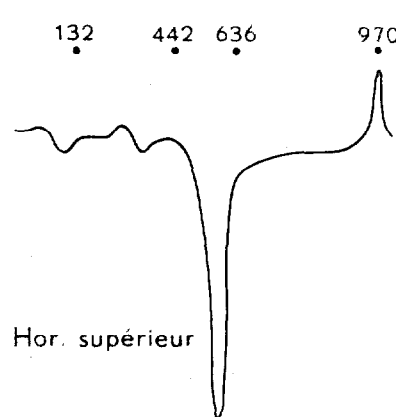
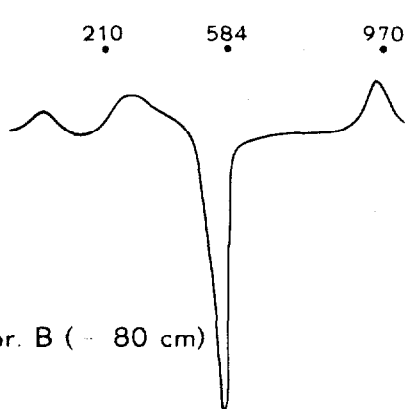
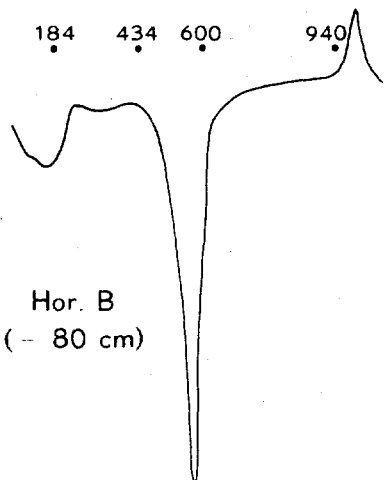
Sous Imperata

Sous Forêt (Hte Cochinchine)

184 434 600 940

210 584 970

132 442 636 970



Hor. B  
(- 80 cm)

Hor. B (- 80 cm)

Hor. supérieur

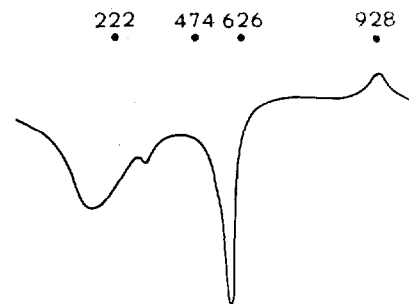
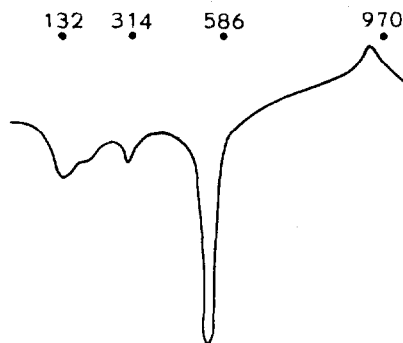
Sols formés sur alluvions récentes

Sous Cultures (Chō Reo)

Sous Prairie (Dong Lak)

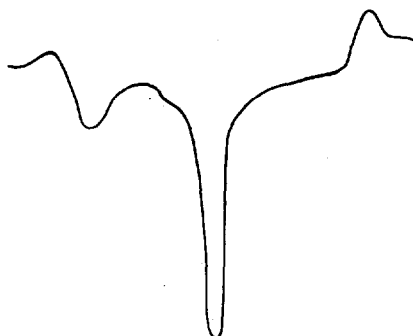
132 314 586 970

222 474 626 928



Sous Prairie (Hte Cochinchine)

280 420



**Courbes d'Analyse Thermique Différentielle**  
**Sols Divers**

**Sol ferrallitique peu évolué**

Horizon supérieur sous Forêt

(Loc Ninh - Hte Cochinchine)

494 686 848

**Sols ferrallitiques moyennement évolués**

Horizon supérieur sous Bambous

(Pleiku occid.)

346 474 656  
584

Horizon supérieur sous Cafés

(Gia Ray - Hte Cochinchine)

102 280 474 616 1016

**Sols ferrallitiques moyennement évolués**

Sous Bambous (Hte Cochinchine)

Horizon supérieur

132 280 450 626 940

**Sols ferrallitiques très évolués**

Sous Prairie-steppe (Haut Chhlong)

Hor. supérieur

314 464 626

(Pleiku.)

Horizon supérieur

336 542 748

vers - 200 cm

116 484 626 920

vers - 200 cm

102 314 494 970  
380 596

**Courbes d'Analyse Thermique Différentielle  
de Terres Rouges Basaltiques**

Certaines cuirasses ou concrétions sont exclusivement ferrugineuses ; d'autres sont plus riches en Alumine qu'en oxydes de Fer ; beaucoup renferment des minéraux résiduels ou incluent des fragments de roches incomplètement altérés (pseudo-concrétions, pseudo-cuirasses).

Dans les zones où prédominent les terres rouges basaltiques, on observe surtout des cuirasses de type scoriacé ou vacuolaire. Les cuirasses pisolithiques, toujours très ferrugineuses, sont assez répandues dans les zones de terres grises hydromorphes. Des cuirasses lamellaires s'observent dans certaines argiles de bas-fonds.

J'étudierai en premier lieu les concrétions et cuirasses constituées de matériaux d'origine basaltique, ensuite les concrétions et cuirasses formées à partir d'autres roches, enfin les formations latéritiques que l'on peut observer dans les zones alluviales.

## I - CONCRETIONS ET CUIRASSES DANS LES REGIONS BASALTIQUES

On peut distinguer d'après leur composition chimique deux types principaux de formations latéritiques :

### a) Cuirasses et concrétions riches en Alumine.

Des bancs épais de cuirasse vacuolaire s'observent parfois sous forêt ou sous pinède associés à des terres rouges de formation ancienne dans le Haut-Chhlong et dans la région de Blao (secteurs de Kôr Dang, de Tör Luny).

L'analyse par fusion d'un échantillon prélevé sous forêt climacique aux environs de Boun Rötting Rölöm (Haut-Chhlong oriental) a donné les résultats suivants :

Perte au rouge : 20 % - SiO<sub>2</sub> : 2,8 % - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 45 % - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 25 % - TiO<sub>2</sub> : 3 %.

Ce type de cuirasse n'a été observé que sur des coulées basaltiques datées du Tertiaire, vers 900 m d'altitude et sous climat très humide. Il s'agit vraisemblablement d'une latérite fossile en voie de démantèlement à la suite de la reprise d'érosion consécutive à la surrection du massif Sud-annamitique. Doit-on la considérer, en s'inspirant des idées de J. d'Hoore (1954), comme une cuirasse d'accumulation relative qui se serait formée en milieu convenablement drainé ? Doit-on admettre plutôt, en se référant aux travaux de R. Maignien (1960), qu'elle est le reliquat d'une cuirasse de nappe qui se serait formée antérieurement au creusement des vallées actuelles et dont la composition chimique et la structure auraient évolué consécutivement à l'approfondissement du réseau de drainage ? Les observations que j'ai pu faire ne me permettent pas de choisir entre ces deux hypothèses.

Les affleurements de cuirasse de plateau ne sont pas très fréquents. Dans le Haut-Chhlong, la présence, au-dessous d'un horizon de terre rouge d'épaisseur variable, d'un banc de concrétions scoriacées est, par contre, presque constante. Ce banc s'étend toujours en profondeur sur une épaisseur de plusieurs mètres, le passage à la roche-mère en voie d'altération pouvant se réaliser d'une manière progressive. Les concrétions, dont le volume total excède à certains niveaux celui de la terre qui les enrobe, sont constituées d'une matière dure, de teinte gris-rosé ; leurs formes sont irrégulières, leurs dimensions variables (de l'ordre de quelques centimètres). Sur la cassure, on ne distingue pas à l'oeil nu de structure remarquable. Leur composition chimique s'apparente à celle des cuirasses de plateau ; les concrétions prélevées vers la base des profils sont toutefois plus riches en Silice. La disposition des bancs de concrétions (obliquité par rapport à la surface, interpénétrations, flexures) montre que, dans bien des cas, les profils ont été modifiés par des phénomènes de solifluxion ayant affecté les couches supérieures ou toute l'épaisseur de la couverture éluviale.

### b) Cuirasses et concrétions dans lesquelles le Fer prédomine.

La genèse de ces formations est liée à des apports de Fer qui peuvent se réaliser par migration verticale ou par lessivage oblique.

Au Darlac, les sols basaltiques hydromorphes que l'on observe communément sous forêt claire, sols qui se sont constitués en présence d'une nappe phréatique située à faible profondeur et battante, pouvant tarir en saison sèche, comprennent, au-dessus d'un horizon de teinte grisâtre constitué de Basalte altéré, devenu friable, des lits de concrétions, de plus en plus fines et de plus en plus ferrugineuses à mesure que l'on se rapproche de la surface. Parfois ces concrétions sont cimentées, constituant alors une cuirasse pisolithique.

L'analyse d'un échantillon de cuirasse pisolithique recueilli à Boun Hdok (Darlac) a donné les résultats suivants :

Perte au rouge : 10 % - SiO<sub>2</sub> : 16 % - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 13 % - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 53 % - TiO<sub>2</sub> : 4 %

Il semble que ces phénomènes d'accumulation per ascensum se poursuivent actuellement.

Le processus toutefois doit être considérablement ralenti dans le cas des sols déjà évolués et relativement profonds.

Les hydroxydes entrant dans la constitution des bancs de cuirasses qui jalonnent les affleurements phréatiques ("cuirasses de vallées", "cuirasses de bas-fonds") peuvent provenir de lieux assez éloignés de celui où ils se sont accumulés.

Les "latérites de vallées" qui se présentent plus souvent en "lentilles" que sous forme de bancs continus sont particulièrement riches en Fer, comme en témoignent ces résultats d'analyse d'un échantillon prélevé aux environs de Kagne (région de Djiring).

Perte au rouge : 12 % -  $\text{SiO}_2$  : 4 % -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 2,5 % -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 76 %

Les "latérites de bas-fonds" se présentent en auréoles autour des dépressions marécageuses. En bordure de la dépression on observe un banc de cuirasse plus ou moins compacte (1). Vers le centre de la dépression, en milieu généralement très argileux, se forment des concrétions oolithiques, de teinte gris-bleuté, très dures et présentant une structure zonée remarquable. Parfois, en profondeur, entre deux lits d'argile bleutée, compacte, on trouve une cuirasse lamellaire de quelques centimètres d'épaisseur.

La précipitation des hydroxydes déplacés par lessivage se réalisant au contact de Basaltes en voie d'altération peut freiner les processus de décomposition ou même les bloquer complètement. Ainsi se constituent des "pseudo-cuirasses", formations particulièrement répandues en bordure des coulées basaltiques où elles se trouvent mêlées d'ailleurs à de véritables cuirasses latéritiques, toutes les formes de transition s'observant communément.

Les hydroxydes protecteurs tapissent des cavités ou combrent des canalicules qui se sont formés consécutivement à un début d'altération ou parfois préexistaient dans la roche, les Basaltes vacuolaires étant très communs dans la zone frontale des coulées.

D'après E. Saurin (1935 - p. 208), les bancs de pseudo-cuirasse qui constituent les berges des ruisseaux dans les zones de forêt claire sont riches en cristaux de Bowlingite, minéral qui est tout à fait exceptionnel dans les terres rouges et dont la présence témoigne d'un arrêt précoce des processus de décomposition.

## II - CUIRASSES ET CONCRETIONS DANS LES REGIONS NON BASALTIQUES

Les cuirasses sont rares dans les régions granitiques. On peut signaler cependant dans certains sols sur Granites de la région de Dalat l'existence de concrétions constituées de fragments de roche altérée mais aux minéraux encore reconnaissables, imprégnés d'une substance noire, dure et brillante.

L'analyse d'une de ces pseudo-concrétions a donné les résultats suivants :

$\text{SiO}_2$  : 51,2 % -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 29,9 % -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 5,5 % -  $\text{TiO}_2$  : 0,6 %

Il s'agit peut-être de débris d'une cuirasse aujourd'hui complètement démantelée.

Les cuirasses que l'on peut observer sur les profils de sols formés à partir de Schistes, le long de la piste de Blao à Ja Bak et dans la pénélaine de Röland Ja, se présentent souvent sous la forme de lames peu épaisses, à structure compacte. Au Darlac, on trouve localement sur Schistes (le long de la piste de Dray Sap) des cuirasses vacuolaires résultant de l'induration progressive d'horizons hydromorphes ("argiles mouchetées"). Enfin des concrétions ou pseudo-concrétions de formes aplaties s'observent fréquemment en limite de la zone de départ et du sol proprement dit.

Sur les Grès du Darlac oriental, là où le relief étant très aplani le drainage se fait mal, se constituent, au-dessous d'un horizon sablonneux peu épais, des cuirasses pisolithiques à ciment ferrugineux.

Il convient enfin de mentionner les "latérites de plaine" dont l'extension est considérable dans les zones occupées par des alluvions anciennes, en particulier en Haute-Cochinchine. Il s'agit d'une latérite de nappe se présentant à une profondeur variable, constituée de matériaux durcissant rapidement lorsqu'ils sont exposés à l'air mais assez tendres lorsqu'ils se trouvent sous une certaine épaisseur de sol.

D'après Tkatchenko (1937), le pH et la teneur en bases échangeables sont plus élevés au voisinage du banc latéritique que dans les horizons sus-jacents. On note également une augmentation de la teneur en Silice soluble dans les acides forts. Le banc latéritique est constitué de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (de 30 à 50 %), de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10 à 15 %) et de  $\text{SiO}_2$  soluble dans les acides forts constituant un ciment enrobant des grains de Quartz (20 à 40 % de  $\text{SiO}_2$  totale).

---

(1) La présence de sables semble faciliter la formation de ces cuirasses qui, au Darlac, s'observent en formations très étendues dans les zones de contact entre coulées basaltiques et alluvions sablonneuses (secteur de Boun Jat).

## CONCLUSIONS

Les formations latéritiques indurées jouent un rôle assez important dans les régions basaltiques.

Sur les Basaltes anciens des plateaux de Blao-Djiring et du Haut-Chhlong, la cuirasse en voie de démantèlement ne constitue pas un obstacle physique sérieux à l'installation de la végétation, sauf dans le secteur occupé par la Pinède, au Nord de Blao. L'abondance des concrétions réduit néanmoins le volume de terre exploitable par les plantes et témoigne de la pauvreté du sol en éléments utiles, conséquence d'une longue évolution.

En bordure du plateau du Darlac, les processus d'accumulation d'hydroxydes aggravent les conséquences d'une humidité excessive en saison des pluies, déficitaire en saison sèche. Partout où ils se manifestent, la forêt dense fait place à la forêt claire.

Dans les régions occupées par des alluvions anciennes, l'existence en profondeur d'un banc de latérite encore tendre ou faiblement indurée assure le maintien d'une humidité favorable aux espèces forestières sempervirentes, à condition que les horizons de terre meuble sus-jacents présentent une épaisseur de l'ordre de quelques mètres.

## C — LA MATIERE ORGANIQUE

Bien que l'étude de la matière organique dans les sols des Hauts-Plateaux ait été assez poussée (1), nous savons encore peu de choses sur ses propriétés et sur les conditions qui régissent son évolution. De l'examen des résultats des nombreuses analyses qui ont été faites, on peut tirer cependant des conclusions qui, malgré leur caractère provisoire, présentent un certain intérêt.

Les résultats relatifs au dosage de la matière organique totale (C et C/N) et les résultats relatifs à l'étude de la matière humique seront présentés et discutés séparément.

### I — LA MATIERE ORGANIQUE TOTALE (2)

#### a) Le carbone

Dans l'ensemble, au moins pour les terres n'ayant pas été cultivées de manière récente, les teneurs en C de l'horizon A<sub>1</sub> sont relativement élevées ; mais il ne semble pas y avoir de rapports très étroits entre l'importance de ces teneurs et la puissance de la couverture végétale.

L'influence du climat est assez nette. Les teneurs en C des terres rouges basaltiques sous forêt qui sont de l'ordre de 6 à 8 % (Horizon A<sub>1</sub>) dans la région de Blao où le climat est relativement frais et où la saison sèche est peu marquée, s'abaissent à 4 à 6 % dans la région de Ban Mé Thuot où le climat est plus chaud et où la saison sèche est assez sévère. Dans la région de Phan Rang qui est chaude et sèche, les teneurs en C de l'horizon A<sub>1</sub> dépassent rarement 3%, alors que, dans les massifs montagneux exposés aux vents humides, il n'est pas exceptionnel de trouver sous forêt des terres où elles atteignent 15 à 20 %.

Les terres basaltiques, à basse ou à moyenne altitude, sont plus riches en C que les terres granitiques et surtout que les terres dérivées de Schistes. Les sols formés sur alluvions anciennes sont relativement pauvres en C (1,5 à 2 % sous forêt en A<sub>1</sub>, à Tran Bom, en Mars, et moins de 1 % dans le cas des terres cultivées).

Les variations dans le mode de distribution verticale de la matière organique ne sont pas moins intéressantes à étudier que celles de la teneur en C au voisinage de la surface. Dans la région de Blao, sous forêt, le rapport entre la teneur en C de l'horizon supérieur et celle du sol au niveau - 50 cm varie de 2 à 5 dans le cas des terres basaltiques, de 6 à 8 dans le cas des terres dérivées de Schistes ; il est encore supérieur dans le cas des terres gra-

---

(1) Cf. Castagnol (1952 - pp. 24-39)

(2) Dosage du C par voie humide (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>K<sub>2</sub>)  
Dosage de N par Kjeldhal.

nitiques. Au Darlac, ce rapport varie de 2 à 6 pour les terres rouges basaltiques. Dans la région de Tran Bom, sur alluvions anciennes, il est de l'ordre de 2 à 4. Enfin, on notera que dans les régions littorales il semble exister une certaine relation entre la distribution de la matière organique et la richesse en bases du complexe absorbant, le rapport précité étant plus faible là où le complexe est mieux pourvu en Calcium.

Dans les zones soumises à des inondations périodiques, la matière organique ne tend à s'accumuler que si les eaux stagnent longtemps et si l'alluvionnement est faible. L'influence du couvert végétal, qui dépend d'ailleurs lui-même étroitement du régime hydraulique, est assez nette.

Au Darlac, les teneurs en C des terres soumises à des inondations de courte durée, sous prairie à Graminées (*Paspalum...*) et Cypéracées (*Fimbristylis...*), sont assez faibles. Là où le sol reste plus longtemps saturé d'humidité, sous prairie à *Echinochloa stagnina*, elles sont de l'ordre de 7 %. Enfin, là où l'humidité demeure toute l'année élevée (zones où la nappe phréatique affleure), les teneurs en C de l'horizon A<sub>1</sub>, sous formations denses à Cypéracées, Cryptogames, Orchidées..., s'élèvent à 12 - 20 %, mais s'abaissent à moins de 1 % dans l'horizon à gley immédiatement sous-jacent. Dans la région de Blao les sols sous forêt de marais à *Podocarpus* présentent généralement un caractère semi-tourbeux, leur teneur en C, sur une épaisseur de l'ordre du mètre, pouvant dépasser 20 %.

#### b) L'Azote et le rapport C/N

En ce qui concerne l'horizon A<sub>1</sub> des sols sous forêt, le rapport C/N, dans les régions de moyenne ou de haute altitude, est relativement élevé : il varie généralement entre 15 et 20, sans qu'apparaissent de ce point de vue des différences significatives entre les terres basaltiques et celles dérivant d'autres roches. Il est moins élevé dans le cas de certains sols colluviaux enrichis en bases par lessivage oblique (1). Au Darlac, dans l'horizon supérieur des "terres rouges", sous forêt, C/N varie de 9 à 15, sa valeur augmentant en saison humide et diminuant en saison sèche. Sous les formations d'*Eupatorium*, il présente des valeurs voisines ; il est plus élevé sous Savane à *Imperata* et surtout sous Savane à *Themeda* où il varie de 13 à 20. Sous prairie-steppe à *Aristida Cumingiana* il est généralement supérieur à 15.

Dans le cas des terres de bas-fonds soumises à des inondations temporaires et enrichies par limonage, le rapport C/N est généralement bas (de 7 à 12) ; dans le cas des sols semi-tourbeux, il est assez variable mais présente souvent des valeurs supérieures à 20.

Pour un sol déterminé, le rapport C/N varie avec la profondeur. En général, il demeure assez constant ou augmente légèrement jusqu'à un certain niveau au-dessous duquel il diminue très sensiblement. Sous forêt, dans la région de Blao, C/N est maximum vers - 15 cm ; dans le cas des terres de Haute-Cochinchine, formées sur alluvions anciennes plus ou moins sablonneuses, ce maximum peut se présenter à un niveau beaucoup plus bas.

La culture provoque une diminution rapide de la teneur en matière organique, diminution particulièrement accentuée dans le cas des sols formés sur Granites ou sur alluvions anciennes, et, simultanément, un très net abaissement du rapport C/N.

## II - LA MATIERE HUMIQUE

Les résultats des analyses effectuées suivant la méthode préconisée par Hennebert et Livens (2) ne sont ni assez nombreux, ni surtout assez sûrs, pour mériter une longue discussion.

Les teneurs en matière humique totale de l'horizon A<sub>1</sub> (fraction précipitable + fraction non précipitable) sont dans l'ensemble élevées, de l'ordre de 12 à 25 % des teneurs en matière organique totale pour la plupart des sols étudiés. Le rapport 100 MHT (matière humique totale) / M.O.T. (matière organique totale) augmente avec la profondeur, passant au Darlac, dans le cas des terres rouges basaltiques sous forêt, de 15 à 25 en A<sub>1</sub> à 35 à -50 cm. Il est particulièrement élevé dans le cas des sols dunaires (de l'ordre de 60).

(1) Cf. Tkatchenko (1937)

(2) In Bulletin I.N.E.A.C. Juin 1953.

Cette méthode, inspirée de celle préconisée par Chaminade dont les Auteurs ont repris les conclusions essentielles, permet, grâce à l'utilisation de NaF comme agent dispersant, de doser séparément la fraction précipitable dans l'extrait par SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> et la fraction non précipitable.

Les teneurs en matière humique précipitable sont pour la plupart des terres rouges basaltiques de l'ordre de 30 % des teneurs en matière humique totale. Le rapport 100 MHP (matière humique précipitable) / M.H.T. (matière humique totale) est généralement plus élevé au voisinage de la surface qu'en profondeur. C'est dans le cas des sols de la zone littorale sèche qu'il présente les valeurs les plus fortes (de 40 à 80), ces valeurs paraissant varier dans le même sens que les teneurs en Ca échangeable.

## CONCLUSIONS

L'examen des résultats des analyses effectuées ne permet pas de mettre en évidence l'existence de relations vraiment significatives entre la richesse du sol en matière organique ou la qualité de cette matière organique et les caractères du couvert végétal. Tout au plus font-ils apparaître que l'accumulation de la matière organique est favorisée par un climat relativement humide et frais, conclusion en soi banale, et que la matière organique des sols de la zone littorale sèche présente des propriétés particulières (proportion plus élevée de matière humique précipitable en milieu acide). On notera également que la matière organique paraît exister dans les terres rouges basaltiques en proportions relativement fortes et y être plus régulièrement distribuée que dans les autres types de sols.

La principale difficulté de l'interprétation réside dans le fait que les teneurs en matière organique et surtout les teneurs en matière humique trouvées pour des échantillons de sols de types très voisins, prélevés sous des formations végétales similaires, varient dans de très larges limites. La cause en est peut-être que les prélèvements n'ont pas tous été effectués en des périodes de l'année équivalentes du point de vue climatique et que beaucoup d'échantillons n'ont été analysés que longtemps après avoir été prélevés. L'importance des apports de matière organique varie en effet beaucoup au cours de l'année et son évolution qui est très rapide doit s'effectuer suivant des processus assez différents en saison sèche et en saison humide.



# CHAPITRE III

## CARACTERES ANALYTIQUES

---

### A - TEXTURE ET DEGRE D'AGREGATION

#### I - TEXTURE (1)

Dans la plupart des terres des régions étudiées, la proportion de particules fines est très importante. Font exception beaucoup de terres granitiques, au moins en  $A_1$ , et certaines alluvions.

##### a) Les terres basaltiques

La texture des terres basaltiques est très fine. Les terres tant soit peu évoluées sont pratiquement dépourvues de sables grossiers. Certaines toutefois renferment des microconcrétions d'hématite et l'on trouve dans les terres rouges de la région de Blao et du secteur de Pleiku un peu de Quartz d'origine vraisemblablement granitique.

Les terres rouges du Darlac et de Haute-Cochinchine renferment en  $A_1$  de 40 à 75 % d' "argile" (en moyenne 55 %) et vers -50 cm, de 60 à 80 % (moyenne supérieure à 70 %); leurs teneurs en sables (sables grossiers + sables fins) sont en moyenne en  $A_1$  de 14 % (valeurs extrêmes 6 et 22 %) et vers -50 cm, de 8 % (valeurs extrêmes 3 et 10 %). Dans la région de Blao, on trouve des terres rouges riches en grains de Quartz, renfermant de 20 à 30 % de sables totaux, et des terres dépourvues de Quartz, de texture analogue à celle des terres du Darlac.

La texture des terres basaltiques de bas-fonds n'est pas aussi fine que celles des terres rouges. La teneur en "argile" des échantillons étudiés varie de 35 % à 70 %. Certaines terres peu évoluées renferment 40 % de sables totaux.

##### b) Les terres granitiques

Les terres granitiques sont toujours riches en sables grossiers (Quartz), souvent très pauvres en limons, parfois assez argileuses.

Dans la région de Blao, sous forêt, les teneurs en "argile", qui sont de l'ordre de 25 % dans l'horizon supérieur, atteignent 45 % dans l'horizon sous-jacent (horizon B). Les teneurs en sables totaux sont de l'ordre de 60 % en A ( $A_1$ ,  $A_2$ ) et de 45 % en B.

Les terres rouges granitiques de Manlines renferment 40 à 50 % d' "argile" et 30 à 45 % de sables grossiers.

---

(1) La texture a été déterminée par application de la méthode densimétrique de Bouyoucos, l'agent dispersant utilisé étant une solution équimoléculaire de  $CO_3Na_2$  et de Na OH. Dans la plupart des cas, aucun traitement préalable n'a été effectué, le lavage sur filtre par HCl N/10 étant sans effet (terres pauvres en bases échangeables) et le traitement par  $H_2O_2$  gênant l'action ultérieure de l'agent dispersant (modification de l'état des hydroxydes). Les teneurs en "argiles" ainsi déterminées, "argiles" comprenant une partie de la matière organique, sont dans le cas des terres basaltiques un peu supérieures à celles que l'on aurait trouvées par application de la méthode internationale.

### c) Les terres formées à partir de Schistes

Les terres formées à partir de Schistes sont presque dépourvues de sables grossiers mais beaucoup plus riches en limons que les autres terres étudiées. Vers 800 m, les sols de pentes renferment de 40 % à 50 % d'"argile" en A<sub>1</sub>, de 60 à 70 % vers -50 cm. Leurs teneurs en limons qui sont de l'ordre de 30 % vers -50 cm, s'élèvent à 60 % dans la zone de départ.

### d) Les terres formées à partir d'alluvions anciennes

La plupart de ces terres, quel que soit le niveau de prélèvement, sont riches en sables grossiers. Leurs teneurs en "argile" sont variables (de 20 à 40 % dans les horizons supérieurs), augmentant assez régulièrement avec la profondeur du niveau de prélèvement dans la partie du profil située au-dessus de l'horizon d'accumulation ferrallitique.

## II — LES AGREGATS

Les terres basaltiques sont constituées pour une très large part d'agrégats résistant à l'action de l'eau agissant par imbibation suivie d'une agitation lente et prolongée.

D'une manière générale, toutes conditions semblables par ailleurs, la matière organique accroît le pourcentage des agrégats grossiers ( $D > 2$  mm). Le pourcentage des agrégats de diamètre supérieur à 0,2 mm augmente quand le pH diminue.

Castagnol (1952 pp. 12-20), étudiant l'influence de la couverture végétale sur les dimensions moyennes des agrégats dans l'horizon A<sub>1</sub> des sols basaltiques, a constaté que les teneurs en agrégats grossiers étaient, au Darlac, particulièrement élevées sous forêt (de l'ordre de 50 % de la masse des échantillons), particulièrement faibles sous prairie-steppe (de l'ordre de 14 %). Dans la région de Blao, les teneurs en agrégats grossiers sont beaucoup plus faibles qu'au Darlac (de l'ordre de 13 % en A<sub>1</sub> sous forêt) et, quelle que soit la couverture végétale, les teneurs en agrégats fins se rapprochent de celles des terres sous prairie-steppe au Darlac.

En profondeur, les taux d'agrégats grossiers diminuent notablement ; mais les teneurs en agrégats de diamètres supérieurs à 0,2 mm demeurent voisines de ce qu'elles sont en A<sub>1</sub>.

Les teneurs en agrégats des sols colluviaux et des sols de bas-fonds sont plus faibles que celles des sols de plateau.

La culture provoquant une destruction massive de la matière organique amène une réduction notable des teneurs en agrégats grossiers.

Les sols granitiques sous forêt dans la région de Blao présentent en A<sub>1</sub> des teneurs en agrégats grossiers supérieures à celles des terres basaltiques.

Les sols sur Schistes de la région de Dalat sont assez riches en gros agrégats.

Les sols sur alluvions anciennes (horizons A) sont pauvres en agrégats de toutes dimensions.

#### Microstructures :

D'après Castagnol (1952 - Fig 6), vues en lames minces sous le microscope, les terres rouges basaltiques de forêts (horizon A<sub>1</sub>) se présentent sous la forme de plages polygonales aux contours nets. Dans le cas des terres de prairies-steppes, on observe des plages de plus petites dimensions, aux contours flous et comme déchiquetés. La microstructure des terres basaltiques de bas-fonds est typiquement compacte. (1)

## B — TENEURS DES TERRES EN Ca, Mg, K et P (2)

Les résultats des analyses effectuées, soit par fusion alcaline ou calcique, soit par attaque fluorhydrique, sont peu nombreux ; certains sont peu sûrs et difficiles à interpréter (3). D'une manière générale, ces résultats font ressortir la pauvreté des terres étudiées en alcalino-

(1) Tous les échantillons étudiés provenaient du Darlac central (Ban Mé Thuot).

(2) Les données sur les teneurs en Sodium sont trop peu nombreuses pour mériter d'être discutées. Des indications sur les teneurs en SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se trouvent dans le chapitre I - B.

(3) Je me suis référé aux travaux de BUSSY (1927), AGAFONOFF (1929), HENRY (1931), TKATCHENKO (1935-37), CASTAGNOL (1952), tout en écartant les résultats aberrants, lorsqu'il n'en a pas été donné une interprétation, à mon sens, satisfaisante.

terreux totaux. Les teneurs en Potassium, faibles dans le cas des éluvions basaltiques, apparaissent moyennes, parfois élevées dans certains échantillons de sols formés à partir de Granites, de Dacites ou de Schistes. Le Phosphore, retenu par les hydroxydes, est parfois abondant (1)

## I — CAS DES TERRES BASALTIQUES

### a) Les alcalino-terreux.

Les teneurs en CaO de l'horizon moyen des sols peu évolués ("terres brunes") varient de 0,5 à 1,5 %. Les teneurs en MgO sont du même ordre, parfois plus fortes.

Les teneurs en CaO des sols ferrallitiques moyennement évolués ("terres rouges") varient de 0,1 à 0,8 % (horizon supérieur au-dessous de A<sub>1</sub>), leur valeur moyenne étant voisine de 0,3 %. Les teneurs en MgO sont du même ordre.

Dans le cas des sols ferrallitiques très évolués du Haut-Chhlong, de la région de Blao ou de la région de Pleiku, les teneurs en CaO peuvent s'abaisser à moins de 0,03 %.

Les terres des bas-fonds périodiquement inondés mais asséchés pendant plusieurs mois présentent des teneurs en CaO et en MgO de l'ordre de 1 % mais pouvant dépasser 2 %. Dans le cas des bas-fonds tapissés d'alluvions, ces teneurs peuvent être toutefois beaucoup moins élevées.

### b) La Potasse.

Les terres rouges présentent généralement des teneurs en K<sub>2</sub>O variant entre 0,15 et 0,30 %. Ces teneurs peuvent s'abaisser à moins de 0,05 % dans des terres très dégradées (0,04 % sous prairie-steppe à Blao, 0,03 % à Djira Mur). Les terres brunes basaltiques les plus riches (terres rouges peu profondes, "regurs"... ) renferment de 0,4 à 0,5 % de K<sub>2</sub>O.

Les teneurs des sols de bas-fonds sont généralement de l'ordre de 0,15 à 0,20 %. Elles peuvent atteindre toutefois des valeurs bien supérieures (apports par lessivage oblique ? influence de la végétation ?).

### c) Le Phosphore

Les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des terres basaltiques sont généralement élevées, les différences de teneurs d'un type de sol à l'autre étant moins significatives que dans le cas des alcalino-terreux. Elles sont souvent voisines de 0,30 % (chiffres extrêmes pour les sols du Haut-Donnai : 0,10 et 0,60 %).

## II — CAS DES TERRES DACITIQUES (2)

Les teneurs en alcalino-terreux des terres dacitiques (0,1 à 0,4 % de CaO) sont en moyenne plus faibles que celles des terres basaltiques. Leurs teneurs en K<sub>2</sub>O sont plus élevées. Les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sont du même ordre ou sensiblement plus faibles.

L'analyse par fusion calcique d'échantillons prélevés à diverses profondeurs sous forêt climacique, sur les pentes du Brah Yang, vers 1 300 m d'altitude, a donné les résultats suivants :

Profondeur	0-10 cm	25-35	70-90	150-180
K <sub>2</sub> O	0,56 %	0,63 %	0,75 %	1 %

Dans la région de Blao et dans celle de Dalat (Arbre Broyé), les teneurs en K<sub>2</sub>O des terres dacitiques sous Savane ou sous forêt dégradée varient de 0,3 à 0,6 % ; les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sont de l'ordre de 0,2 %.

(1) Le Phosphore étant fixé très fortement, la plupart de nos sols se révèlent incapables de subvenir sans apport d'engrais aux besoins des plantes cultivées exigeantes en cet élément. Par extraction à l'aide d'une solution de CO<sub>3</sub> Na H 0,5 M, les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> "assimilable" des sols ferrallitiques sur Basalte apparaissent faibles ou moyennes dans l'horizon A<sub>1</sub>, sous végétation naturelle, (de 15 à 50 p.p.m.) faibles ou très faibles vers - 50 cm. Les sols hydromorphes autochtones de bas-fonds sont nettement plus riches.

(2) Les sols formés à partir d'autres roches que les Basaltes sont en général, mis à part les sols formés sur alluvions, des sols de pentes.

### III - CAS DES TERRES GRANITIQUES

A l'intérieur d'une zone climatique donnée, les teneurs en  $K_2O$  des terres granitiques sont en moyenne plus élevées que celles des terres basaltiques ; leurs teneurs en  $P_2O_5$  sont plus faibles. Les différences sont toutefois moins importantes que l'on pourrait s'y attendre compte tenu des différences de composition des roches. Les alcalino-terreux ne se trouvent généralement dans les horizons supérieurs qu'en très faibles quantités et pratiquement entièrement sous forme échangeable.

Dans la région de Blao, les teneurs en  $K_2O$  des terres granitiques sous forêt varient de 0,15 à 0,30 %, leurs teneurs en  $P_2O_5$  étant de l'ordre de 0,20 %. Les terres rouges de Dalat (piste de Törnum) renferment parfois moins de 0,1 % de  $K_2O$ .

Certaines terres granitiques peu évoluées de Haute-Cochinchine renferment plus de 1 % de  $K_2O$  et environ 0,15 % de  $P_2O_5$ .

### IV - CAS DES TERRES FORMEES A PARTIR DE SCHISTES

Les terres formées à partir de Schistes que j'ai pu faire analyser présentent des teneurs particulièrement élevées en  $K_2O$ , de l'ordre de 1 % au voisinage de la surface, supérieures à 1 % en profondeur. Leurs teneurs en alcalino-terreux sont faibles ou très faibles. Leurs teneurs en  $P_2O_5$  sont inférieures à celles des terres basaltiques trouvées dans les mêmes régions. Les résultats analytiques qui concernent des sols ferrugineux lessivés du Haut-Donnai sont toutefois trop peu nombreux pour que ces indications puissent être considérées comme ayant une portée générale.

Il est possible qu'il y ait une relation entre la richesse en Potassium des terres formées à partir de Schistes ou de Granites et la présence de certains végétaux, gros consommateurs de cet élément. Les Bambous et certaines Graminées (*Thysanolaena*...) jouent en effet un rôle beaucoup plus important dans les formations secondaires sur Schistes ou sur Granites que dans les formations secondaires sur Basaltes. Il faudrait admettre toutefois que ces végétaux sont capables d'utiliser le K présent dans le sol sous une forme difficilement assimilable, les teneurs en K échangeable des terres dérivées de Schistes ou de Granites étant généralement, dans une zone climatique donnée, du même ordre que celles des terres basaltiques.

### V - CAS DES TERRES SUR ALLUVIONS

Les teneurs de ces terres en éléments minéraux utiles varient avec l'origine des alluvions.

Les terres formées sur alluvions récentes provenant de régions relativement sèches où l'érosion est active sont souvent riches en alcalino-terreux et en Potassium (plus de 1 % de  $CaO$ , autant de  $MgO$ , dans le cas de certaines terres de la région de Phan-Rang et de la Vallée du Song-Ba, 1 à 2 % de  $K_2O$ ). Leurs teneurs en  $P_2O_5$  sont moyennes.

Dans les horizons supérieurs des terres formées sur alluvions anciennes, d'après Tkatchenko (1936), les teneurs en  $K_2O$  sont de l'ordre de 0,2 %, les teneurs en  $P_2O_5$  de l'ordre de 0,05 %. Les alcalino-terreux sont très peu abondants et presque totalement sous forme échangeable. Au contact de l'horizon d'accumulation ferrallitique, ces teneurs augmentent légèrement.

## C - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

### I - LE pH

Le pH des terres rouges basaltiques est en général voisin de 5, un peu plus élevé au Darlac où il peut atteindre en  $A_1$ , sous forêt dense, des valeurs proches de la neutralité, un peu plus bas dans la région de Blao où les terres sont plus évoluées et où le climat est plus humide. Au Darlac, il est nettement plus élevé au voisinage de la surface que dans les horizons sous-jacents. Dans la région de Blao il tend au contraire à augmenter légèrement vers la profondeur.

Le pH des sols basaltiques peu évolués ("terres brunes", "regurs squelettiques") est souvent voisin de la neutralité.

Le pH des terres de bas-fonds varie avec les conditions de drainage et l'origine des dépôts si il y en a. Il est en général plus élevé en profondeur qu'en surface. Il peut diminuer beaucoup (de plus de 1 unité dans le cas de certaines terres du Darlac) par exposition de l'échantillon à l'air, alors que pour les terres rouges, dans les mêmes conditions, il tend plutôt à augmenter.

Le pH des terres formées à partir de Granites ou à partir de Schistes est généralement plus bas que celui des terres basaltiques formées dans les mêmes conditions. Dans le cas des terres granitiques de pentes de la région de Blao, l'horizon supérieur est sensiblement plus acide que les horizons sous-jacents.

L'influence du climat sur les variations du pH moyen des sols en A<sub>1</sub> est très nette : Les pH des horizons supérieurs des sols de la région littorale sèche sont voisins de la neutralité, parfois légèrement alcalins. Les pH de certains sols forestiers montagnards dans les massifs granitiques descendent parfois à 3,5 (en A<sub>1</sub>).

## II - ACIDITE D'HYDROLYSE ET ACIDITE D'ECHANGE (1)

Les valeurs de l'acidité d'échange et de l'acidité d'hydrolyse varient beaucoup d'un type de sol à l'autre et, pour un profil déterminé, d'un horizon à l'autre, ces variations étant en relation avec les propriétés du complexe absorbant.

### a) Cas des sols ferrallitiques sur Basaltes ("terres rouges")

Au Darlac, l'acidité d'échange (E) en A<sub>1</sub> des sols sous forêt est très faible, le complexe d'échange étant presque saturé à ce niveau ; elle est notable (de l'ordre de 1 à 3 milliéquivalents pour 100 g de terre) dans le cas des sols sous formations secondaires. Dans la région de Blao, l'acidité d'échange est assez élevée en A<sub>1</sub> (de l'ordre de 3 à 6 milliéquivalents) quel que soit le type de formation. En profondeur, l'acidité d'échange des terres rouges est toujours faible. Il semble donc que les valeurs parfois élevées de l'acidité d'échange en A<sub>1</sub> soient liées essentiellement à la présence de matière organique. L'acidité d'hydrolyse (H) par contre, tout en étant de manière constante plus forte en A<sub>1</sub>, demeure élevée en profondeur. Il semble donc que si la fraction minérale du complexe d'échange se montre peu active en milieu acide (solution de K Cl non tamponnée), elle présente une activité notable en milieu neutre.

Voici des résultats de détermination relatifs à une terre de la région de Blao :

Sol ferrallitique bien drainé

Niveau de prélèvement	Teneurs en argile	C	pH	Bases éch.			H/E
				en milliéqu. pour 100 g			
				E.	H.		
0 - 10	32 %	7,4 %	4,8	4,7	3,5	12,4	3,5
- 10 - 25	44	2,3	4,8	3,0	1,0	6,8	6,8
- 80 - 90	48	1,2	5,0	1,8	0,4	3,9	9,7
- 150 -160	57	0,4	5,3	1,5	0,2	2,4	12,0

### b) Cas des terres formées à partir de Schistes

L'acidité d'hydrolyse diminue plus vite en général vers la profondeur que l'acidité d'échange. Il est vraisemblable que l'argile du groupe du kaolin qui existe en très fortes proportions dans ces sols par ailleurs assez pauvres en hydroxydes présente un pouvoir d'absorption élevé vis-à-vis du K, bien que sa capacité d'échange vis-à-vis des autres cations soit faible.

(1) Déterminées par titrage alcalimétrique des quantités d'ions H<sup>+</sup> libérés par le sol mis en contact avec une solution normale de KCl (acidité d'échange) ou de CH<sub>3</sub> COO Na (acidité hydrolytique). Ces techniques d'étude des sols sont aujourd'hui à peu près complètement abandonnées. Il m'a semblé intéressant néanmoins de présenter un essai d'interprétation des résultats des nombreuses déterminations effectuées à Saïgon (cf. Castagnol - 1952).

Voici des chiffres relatifs à un sol de la région de Djiring.  
Sol beige-ocre sur pentes, sous hallier dominé par quelques Pins (Phi A To)

Niveau de prélèvement	argile	C	pH	bases éch.	E.	H.	H/E
				en milliéqu. pour 100 g			
- 10 - 20	49	4,4	4,4	1,9	6,1	10,4	1,7
- 30 - 50	59		4,0	1,0	4,3	5,3	1,2
vers 300 (zone de départ)	25		5,0	0,6	3,0	0,3	0,1

c) Cas des sols hydromorphes en zone basaltique

Au Darlac, les sols de bas-fonds présentent souvent une acidité d'échange assez élevée sur toute la hauteur du profil, cela même si leurs teneurs en bases échangeables sont importantes. Dans le cas des sols présentant un ou plusieurs horizons à concrétions, on constate à ces niveaux une augmentation de l'acidité d'échange qui peut être nulle ou très faible en surface. L'acidité d'hydrolyse varie moins que l'acidité d'échange.

Voici des chiffres relatifs à un sol gris à concrétions, sous forêt claire :

Niveau de prélèvement	Argile	pH	base éch.	E.	H.	H/E
			en milliéqu. pour 100 g			
- 5 - 15 cm	44	6,0	10,4	0,17	5,4	32
- 45 - 55	73	4,7	2,0	2,1	9,7	4,6
- 80 - 90 (concrétions vers - 80)	75	4,6	1,2	4,7	8,9	1,8

d) Autres types de sols

Dans le cas des sols dacitiques de pentes, à moyenne altitude, on constate que, comme pour les sols sur Schistes, l'acidité d'échange augmente de la surface vers la profondeur, les sols granitiques présentant de ce point de vue des propriétés intermédiaires entre les terres basaltiques et les terres dérivées de Schistes.

Dans le cas des sols des régions littorales (Phan Rang, Ba Ngoi), les acidités d'échange sont faibles ou nulles et les acidités d'hydrolyse, à pH égal, varient dans le même sens que les teneurs en C et en "argile".

### III - CAPACITE D'ECHANGE DE BASES

La capacité d'échange de bases varie beaucoup avec les types de sol et, dans le cas des sols ferrallitiques, elle est faible aux pH qui se trouvent généralement réalisés dans les conditions naturelles.

Voici les valeurs, en milliéquivalents pour 100 grammes, de la C.E.B. pour quelques types de sols. (1)

	En Al		Vers - 50 - 60 cm	
	pH 6	pH 8	pH 6	pH 8
Sols basaltiques				
Terre rouge sous forêt semi-caducifoliée (Darlac)	6-10	25-35	3-4	15-25
Terre rouge sous <i>Imperata</i> (Darlac)		20-30		15-20

(1) Déterminée suivant la méthode de Mehlich (utilisation de l'ion Ba)

	En Al		Vers - 50 - 60 cm	
	pH 6	pH 8	pH 6	pH 8
Terre rouge sous prairie-steppe (Haut-Chhlong) (Pleiku)		15-20	1,5	15
Sol peu évolué sous forêt (Haute-Cochinchine)	20	32		
Sol de bas-fond sous prairie (Darlac)	20-35	30-50	15-20	30-40
Sols granitiques				
Sol gris sous forêt (Haute-Cochinchine)	5	10	3	5
Terre noire sous forêt (Dalat)		35		
Terre rouge sous broussailles (Dalat)		10		5
Alluvions				
Sol beige limoneux (zone orientale semi-aride)	25	30	15	17

Ces chiffres font ressortir, dans le cas des sols basaltiques ferrallitiques, la forte diminution de la C.E.B. quand le pH s'abaisse de 8 à 6, cette diminution étant d'autant plus accentuée que le sol est plus évolué (enrichissement en colloïdes à point isoélectrique relativement élevé dans l'échelle des pH ?)

La diminution de la C.E.B. avec le pH est beaucoup moins rapide dans le cas des sols basaltiques de bas-fonds et surtout dans le cas des terres alluviales de la zone semi-aride qui renferment sans doute des minéraux argileux différents et une proportion bien moindre de constituants ferrallitiques.

#### IV - LES BASES ECHANGEABLES

##### a) Cas des sols basaltiques

###### 1. Sols formés en milieu bien drainé.

Les teneurs en bases échangeables des sols ferrallitiques ("terres rouges") varient beaucoup avec le climat et avec le faciès végétatif. Elles sont plus faibles là où le climat est plus humide et, du moins en ce qui concerne l'horizon Al, là où la végétation est plus dégradée.

Dans les régions à fortes précipitations mais à saison sèche accentuée (Darlac), les différences de teneurs en bases échangeables entre l'horizon Al et les horizons sous-jacents sont particulièrement importantes et d'autant plus importantes que la végétation est plus puissante. Ces différences sont moins marquées dans les régions de climat très humide à saison sèche peu accentuée (région de Blao) où l'influence du faciès végétatif paraît moins nette. La distribution verticale des bases échangeables est également plus uniforme et l'influence du faciès végétatif paraît également plus faible dans les régions de climat relativement sec.

Le  $Ca^{++}$  est le cation dont la distribution verticale est la plus variable et la moins uniforme. Ainsi les valeurs du rapport  $Ca^{++}/Mg^{++}$  qui sont au Darlac de l'ordre de 3 à 6 en Al se rapprochent de l'unité en profondeur. L'influence du climat se fait sentir davantage sur la distribution du  $Ca^{++}$  que sur celles du  $Mg^{++}$  et du  $K^+$ .

Voici quelques chiffres faisant ressortir l'influence du faciès végétatif et celle du climat. On notera que, même à un niveau donné et sous un faciès déterminé, les teneurs en bases échangeables des terres rouges varient beaucoup, malgré leur apparence très uniforme.

(Résultats en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air) (Echantillons prélevés en saison sèche).

	Niveau de prélèvement (en cm)	Somme des Bases éch.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Sol ferrallitique peu évolué ("terre brune")					
Sous forêt en					
Haute Cochinchine (Alt. 200 m, précipitations fortes, saison sèche accentuée)					
	A1		15,5		0,34
	- 20 - 40		2,4		0,24
	- 50 - 60		5,4		0,68
Sol ferrallitique évolué et profond ("terre rouge")					
Darlac					
(Alt. 500 m, préc. fortes, s.s. accentuée)					
Sous forêt dense					
	A1	15 - 25	10 - 20	2 - 4	0,3 - 1
	- 50 - 60	3 - 10	1,5 - 8	1 - 3	0,1 - 0,3
Sous hallier					
	A1	5 - 14	3 - 10	1,5-4,5	0,2 - 0,4
	- 50 - 60	3 - 7	1 - 4	1 - 3	0,1 - 0,3
Sous savane ( <i>Imperata</i> )					
	A1	4 - 9	2 - 6	1 - 3	0,2 - 0,3
	- 50 - 60	1,5 - 6	1 - 4	0,5-1,5	0,1 - 0,2
Sous savane ( <i>Themeda</i> )					
	A1	1,5 - 3	0,7- 2	0,3- 1	0,05- 0,2
	- 50 - 60	1 - 2	0,5- 1	0,2-0,7	0,05- 0,1
Sous <i>Eupatorium</i>					
	A1	4 - 11			
	- 50 - 60	2 - 4			
Pleiku					
(Alt. 400 m, préc. fortes, s.s. très accentuée)					
Sous Bambous					
	A1	7	3	3	0,3
(Alti. 800 m préc. + fortes s.s. très accentuée)					
Sous prairie-steppe					
	A1	< 1	0,15	< 0,4	0,05
Haute-Cochinchine (Nui Bara)					
(alt. 200 m, préc. fortes, s.s. assez accentuée)					
sous forêt					
	A1	9	4,5		
sous Bambous					
	A1	2 - 4,5	1,5 - 3,5		
	- 50 - 60	1 - 3	0,5 - 1,5		
sous <i>Eupatorium</i>					
	A1	4,5	3		
	- 50 - 60	2	1		
Région de Kompong Cham					
(Alt. 50 m, climat relativement sec) (pour comparaison)					
Sous brousse secondaire de plusieurs années					
	A1	17,5			
	- 50 - 60	8,5			
Région de Blao					
(Alt. 850 m, préc. très fortes, s.s. peu accentuée)					
Sous forêt					
	A1	2,5 - 6	1,2 - 3,5	0,7 - 2	0,2 - 0,4
	- 50 - 60	1,5 - 3	0,7 - 1,5	0,5 - 1,5	0,1 - 0,2
Sous savane à <i>Imperata</i>					
	A1	1,5 - 3,5	0,5 - 2	0,5 - 1,5	0,2 - 0,3
	- 50 - 60	1 - 2,5	0,4 - 1,2	0,3 - 1	0,1 - 0,2
Sous prairie-steppe					
	A1	1 - 2			
	- 50 - 60	0,8 - 2			



## 2. Sols hydromorphes (bas-fonds)

La distribution des bases échangeables, tant en surface qu'en profondeur, est assez irrégulière et paraît liée davantage aux conditions de drainage et au processus d'alluvionnement qu'à l'influence du couvert végétal.

Les terres de bas-fonds qui se sont constituées à partir de la roche en place sont assez bien pourvues en éléments échangeables. Les terres alluviales ou colluviales sont également, en général, assez riches en bases (1) ; il n'en est pas ainsi cependant dans la région de Blao, du fait de la pauvreté des sols de plateau dont proviennent les alluvions.

En bordure des dépressions, l'enrichissement en bases échangeables dû au lessivage oblique est souvent très net.

Les "terres grises" de forêt claire et les sols gris subsquelettiques ("regurs squelettiques") présentent un horizon supérieur assez riche en bases échangeables, les teneurs dans les horizons sous-jacents des terres grises à profil bien développé étant plus faibles qu'en A1.

Voici quelques résultats d'analyses (en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air).

Type de sol et faciès végétatif	Niveau de prélèvement cm	Somme des bases éch.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Terre noire de bas-fond périodiquement inondé, sous prairie (Cochinchine-Darlac)	A1	20 - 35	11 - 22	4 - 10	0,2 - 0,6
	- 50 - 60	35 - 40	12 - 25	5 - 12	0,15 - 0,3
Argile grise, alluviale, sous prairie à Cypéracées ou sous forêt basse (Région de Blao)	A1	2			0,2
	- 50 - 60	1,5			0,15
Alluvion basaltique récente, sous culture (vallée de l'Ayun : région de Chō Reo)	- 10 - 20	29,5	18,1	10	0,3
Colluvions brun-rouge reposant à - 75 cm sur une argile grise, sous Bambous (Darlac)	0 - 10	26			
	- 50 - 75	21			
Colluvions gris-brun, sous forêt secondaire (Darlac)	0 - 10	20 - 30			
	- 50 - 60	20			
Sol gris subsquelettique sous <i>Pentacme</i> et <i>Bambusa</i> (Darlac)	0 - 10	14,5			
	- 10 - 25	13,5			

### b) Cas des sols formés à partir d'autres roches que les Basaltes

Ces terres sont en général moins bien pourvues en bases échangeables que les terres basaltiques (2). Les teneurs en alcalino-terreux sont presque toujours faibles. Le Potassium peut être mieux représenté que dans les terres basaltiques.

Les terres granitiques sont les plus pauvres. On trouve cependant dans les régions montagneuses, au pied des pentes, des terres très humifères et relativement riches.

Les terres dacitiques présentent parfois des teneurs en bases assez élevées ; la composition de leur complexe d'échange est mieux équilibrée que celle du complexe d'échange des terres basaltiques.

(1) C'est l'horizon supérieur des sols, horizon relativement riche en bases échangeables, qui est attaqué par l'érosion en nappe.

(2) Les terres basaltiques des plateaux de Pleiku, du Haut-Chhlong et de Blao, très évoluées et soumises à un lessivage intense, sont cependant plus pauvres en bases échangeables que les terres de pentes sur Schistes ou sur Granites que l'on trouve dans les mêmes régions.

Voici quelques résultats d'analyses (en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air)

Roche-Mère	Faciès végétatif et type de sol	Niveau de prélèvement	Somme des bases éch.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Granite	Sol relativement profond sur pente boisée (région de Blao)	A1	1,8-2,5	1 -1,5	0,3-0,6	0,15-0,25
		- 50 - 60	1	0,5	0,3	0,1 -0,20
Granite	Colluvions (sol humifère de bas de pente), sous forêt (Dalat)	A1	6	2,5	2	1
Granite	Colluvions (au pied d'une pente assez douce), sous savane (M'Drak)	A1	2,6	1,8	0,4	0,3
		B (-80-90)	8,5	6,5	1,5	0,25
Dacite	Sol profond sur pente boisée (Djiring)	A1	5-9	4-7	0,5-2	0,2-0,7
Dacite	Alluvions (Rizières) (Djiring)	- 50 - 60	1,5-2	0,8 -1,3	0,2-0,6	0,1-0,2
		A1	3-6	2-4	0,6-1,5	0,2-0,4
Schistes	Sol profond sur pente occupée par des Bambous (région de Djiring)	- 50 - 60	2,5-5	1,5 -3,5	0,5-1,2	0,1-0,2
		A1	1,5-2			0,2-0,3
		- 50 - 60	0,6-1			

### c) Cas des sols formés sur alluvions à basse altitude

#### 1. Sols sur alluvions anciennes (Haute-Cochinchine)

Les terres formées sur alluvions anciennes sont, dans l'ensemble, très pauvres en bases échangeables (1). Les teneurs sous forêt à Tran Bom sont de l'ordre de 1,5 milliéquivalent de Ca<sup>++</sup> pour 100 g de terre en A1 et de 0,5 à 1 milliéquivalent vers -50 -60 cm. Les teneurs en Mg<sup>++</sup> sont voisines des teneurs en Ca. Les teneurs en K<sup>+</sup> sont de l'ordre de 0,2 milliéquivalent en surface, de 0,15 vers -50 -60 cm. En profondeur, au voisinage de l'horizon d'accumulation, les teneurs en bases échangeables augmentent sensiblement (Tkatchenko 1937).

#### 2. Sols des régions orientales sèches (entre Phan Rang et Ninh Hoa).

Dans l'ensemble, les teneurs en bases échangeables de ces terres apparaissent relativement fortes. Sauf dans les terres de Mangrove, le Ca<sup>++</sup> prédomine sur le Mg<sup>++</sup>. Certaines alluvions marines sont riches en K<sup>+</sup>.

Voici quelques résultats d'analyses (en milliéquivalents pour 100 g de terre séchée à l'air)

Type d'alluvion et faciès végétatif	Niveau de prélèvement	Somme des bases éch.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Alluvions limoneuses sous prairie (Phan Rang)	A1	10	6 - 8	2 - 3	0,45
id (Nha Trang)	A1	7	5,5	1,2	0,3
Alluvions limoneuses sous <i>Bambusa arundinacea</i> (Phan Rang)	A1	23	18	4	0,5
Alluvions argileuses sous prairie (Ba Ngoi)	A1	20	15,4	3,4	0,55
	- 40 - 50	18	12	4	

(1) Les teneurs, en A1, varient au cours de l'année. Elles sont supérieures aux valeurs indiquées en fin de saison sèche (ou en début de saison humide), le pH en A1 étant alors parfois supérieur à 6 (d'après des observations faites au Nord de la plaine de la Lagna sous forêt semi-caducifoliée).

Type d'alluvion et faciés végétatif	Niveau de prélèvement	Somme des bases éch.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Terre humifère sablonneuse sous savane à <i>Stereospermum</i> (Ba Ngoi)	Al	8,5	6,6	0,6	0,3
id sous hallier à Euphorbiacées (Hoa Tan)	Al	10,5	7	1	1,5
id sous Cocotiers (Ba Ngoi)	Al	8	5,5	0,9	0,7
Alluvions marines argilo-sableuses (Mangrove à <i>Avicennia</i> ) (Ninh Hoa)	surface	11,5	3,3	6	1,2

# CHAPITRE IV

## LES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

---

Je décrirai les principaux types de sols observés dans les régions étudiées en les présentant dans le cadre de la classification proposée par G. Aubert et P. Duchaufour, au 6<sup>e</sup> Congrès International de la Science du Sol (1956). Je me référerai également à la "Note explicative pour la carte générale des sols du Viet-Nam" de F. Moormann (1961). Un tableau où ont été groupés les résultats des analyses effectuées à Saïgon sur des échantillons vraiment caractéristiques facilitera la comparaison entre les propriétés les plus importantes des sols précédemment décrits.

### A — SOLS NON EVOLUES A PROFIL (A) C (Classe I) (1)

#### I — SUR ROCHES DURES (LITHOSOLS)

##### a) Sur Basaltes

On trouve çà et là, surtout dans les vallées élargies en dépressions et sous climat relativement sec, des coulées basaltiques récentes ("Basaltes de Vallées") dont la surface a été à peine entamée par les processus d'altération. La roche apparaît à l'état brut sous une couche mince et discontinue de terre grise ou brune, plus ou moins sableuse, constituée de matière organique associée à des éléments minéraux.

Les sols squelettiques ou parasquelettiques présentent généralement une surface irrégulière, coupée de crevasses où les dépôts terreux se sont accumulés. Les formations végétales qui leur sont associées sont généralement ligneuses, basses, assez confuses et de densité très variable.

Parfois aussi, sur les coulées à surface unie, d'ailleurs beaucoup plus rares, on observe une steppe à *Tripogon*. Diverses Crassulacées et *Euphorbia antiquorum*, particulièrement à proximité immédiate des rivières, s'observent également sur les lithosols basaltiques.

Localisations : Au Darlac, coulées du Chu Röluk, à l'Ouest de la plaine du Lac, et çà et là. Dans le Massif Sud-Annamitique, vallée de la Daa Döng en aval de Riong Sré (chutes de Röpu).

##### b) Sur Granites

Les lithosols s'observent dans toutes les régions granitiques, par petites plages limitées aux contours de rochers monolithiques de dimensions très variables, parfois énormes.

En surface, on observe par places des dépôts de matière organique, constitués à l'origine par des Mousses et des Lichens, sur lesquels peut se développer une flore rupicole plus ou moins complexe (Fougères, Orchidées, ... arbustes divers... *Peperomia*, *Arundinella birmanica*...). A basse altitude, dans les régions relativement sèches, les lithosols granitiques sont le domaine de la forêt claire. (zones à *Cycas*, à *Selaginella*, à *Notholaena*...)

Localisations : Montagnes (Chu Yang Sinh, environs de Dalat...). Région de Boun Yang Reh au Darlac. Pénéplaine à l'Ouest de Phan Rang.

---

(1) Entre parenthèses, l'indication de la classe correspondante dans la classification de AUBERT et DUCHAUFOUR.

### c) Sur Grès

Les lithosols sur Grès peuvent être constitués d'une mince couche de sable fin plus ou moins ferrugineux et organique ; localement on observe des chaos gréseux d'apparence absolument squelettique, la végétation trouvant néanmoins à s'alimenter dans les dépôts interstitiels que masquent les blocs.

Localisations : Région du Boun Jeng Drom aux confins du Darlac et du Cambodge (chaos de grès durs occupés par une forêt claire à *Pentacme*). Réserve de Lang Hanh (forêt claire sur grès calcaire) dans le Massif Sud-Annamitique.

### d) Sur d'autres roches dures

Les lithosols sont fréquents sur les Rhyolites (région de Chõ Reo, zone orientale) ; ils s'observent plus rarement sur Dacites ou sur Andésites (Chu Ké au Darlac) ; ils sont exceptionnels sur les Schistes typiques (Darlac).

### e) Sur matériaux meubles (régosols)

Ici se placent les sols dunaires de la zone littorale (dunes récentes), sous végétation clairsemée et buissonnante, à enracinement profond, ou sous prairie-steppe.

## B – SOLS JEUNES, PEU EVOLUES, A PROFIL AC, SANS CO<sub>3</sub>Ca (Classe II)

### I – INFLUENCE DU CLIMAT (ET DU RELIEF)

#### Sols humifères d'altitude (Rankers)

Ce type de sol comportant un horizon Al assez épais, très riche en matière organique et très acide (40 % de matière organique, pH 3,5 pour un échantillon prélevé vers 1500 m d'altitude, sous forêt) s'observe parfois, localement, dans les massifs granitiques.

Localisations : Chu Yang Sinh ("Forêt à mousses", vers 1800 m d'altitude)..

### II – INFLUENCE DE LA ROCHE-MERE

a) Sols sur sables dans les régions littorales (Zones où la nappe phréatique est à faible profondeur).

Ces sols, assez répandus dans la région de Ba Ngoi, présentent un horizon Al, épais, brun ou brun-noir, très meuble, à structure grumeleuse ou à tendance monoparticulaire, à teneur faible ou moyenne en matière organique (1,5 à 5 %), à teneur moyenne ou élevée en Ca<sup>++</sup> (5 à 15 milliéquivalents pour 100 g), à teneur moyenne en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable.

Là et au moment où les observations ont été faites, la nappe phréatique (eau douce) se présentait vers 1 mètre de profondeur. La végétation était buissonnante ou arbustive, généralement peu dense.

J'ai également observé dans la zone dunaire un sol très humifère, sous prairie à *Panicum repens*, le niveau de la nappe phréatique étant proche de la surface.

#### b) Sols alluviaux récents

La texture de ces sols varie avec les conditions de l'alluvionnement. Les alluvions de berges sont toujours plus sableuses. Les dépôts en bordure des dépressions sont argileux, s'ils sont uniquement d'origine alluviale ; mais les alluvions sont souvent mêlées de colluvions plus ou moins grossières.

Dans la plaine du Lac, au Darlac, on observe en profondeur, dans les zones où se déposent normalement des alluvions fines, des intercalations de sables grossiers apportés par des crues exceptionnelles et brutales. Aux niveaux de ces lits de sables s'amorcent souvent des processus d'oxydation marqués par l'apparition de taches rouille.

La richesse des alluvions dépend de leur origine. Les alluvions de la vallée de l'Ayun (Chõ Reo), provenant d'une région basaltique, sont plus riches que celles de la région de Nha Trang qui proviennent surtout de régions granitiques. Les alluvions de la rivière de Phan Rang, qui draine un bassin relativement sec, sont plus riches que celles de la rivière de Ninh Hoa, qui draine un bassin très humide ; de même, la pauvreté de certaines alluvions basaltiques au voisinage de Blao est liée à celle des sols ferrallitiques de cette région.

La végétation qui occupe les plaines alluviales récentes est essentiellement graminéenne. Sa composition floristique varie avec la texture du sol. Dans la plaine du Lac (Darlac), les alluvions limono-argileuses sont occupées par des formations de hautes herbes (*Saccharum*, *Sclerostachya*); elles présentent en surface un pH légèrement supérieur à 6, étant un peu plus acides en profondeur (pH 5,2 à 5,5); les alluvions argileuses, beaucoup plus humides, sont le domaine de la prairie (*Echinochloa*); elles sont plus acides en surface (pH 5,2 - 5,4) qu'en profondeur (pH 6 à 6,5); *Vetiveria zizanioides* et certains végétaux ligneux (*Bambusa*, *Hopea*...) occupent les berges limoneuses ou sableuses.

#### Localisations :

Alluvions, au moins partiellement, d'origine basaltique et relativement riches en bases échangeables (10 - 30 milliéquivalents pour 100 g) : Vallée de l'ea Ayun ; vallée du Krong Buk (Darlac) ; petites dépressions en bordure des plateaux du Darlac et du Pleiku et dans la région de Gia Ray (Haute-Cochinchine).

Alluvions provenant de sols ferrallitiques très évolués sur Basaltes : petites dépressions disséminées sur les plateaux du Haut-Chhlong et de Blao (Min Rong).

Alluvions dacitiques : plaine de Kroot (près de Djiring), petites dépressions en bordure du Tao Dung, du Lang Biang... dans le Massif Sud-Annamitique.

Alluvions de diverses origines : vallées du Krong Hana et du Krong No, plaine du Lac (Darlac) (Granites - Basaltes - Schistes) ; plaine de Phan Rang (Dacites - Rhyolites - Granites) ; plaine de la Lagna (Granites - Basaltes - Dacites)...

#### c) Sols colluviaux

Enrichis en profondeur par lessivage oblique, enrichis en surface par des apports de terre relativement fertile enlevée par l'érosion en nappe aux horizons supérieurs des sols de pentes, les sols colluviaux sont occupés généralement, dans les conditions naturelles, par des formations végétales puissantes, comprenant une proportion élevée d'espèces sempervirentes. Dans le Haut-Chhlong, les colluvions basaltiques constituent les seules bonnes terres de culture.

Localisations : C'est dans les régions granitiques que l'extension relative des sols colluviaux est la plus grande. Ils jouent un rôle important du point de vue humain dans certaines régions basaltiques où les terres de plateau sont très pauvres (Haut-Chhlong, Pleiku, Blao..)

#### d) Sols formés à partir de scories basaltiques

Sur les pentes des cônes volcaniques constitués par des matériaux de projection, le sol se réduit souvent à un horizon de teinte noire, de structure grumeleuse, où subsistent des fragments de ponces faiblement altérés qui se substituent presque complètement à la terre fine dès que l'on s'enfoncé de quelques dizaines de centimètres.

Ce type de sol que l'on peut appeler "pseudo-rendzine" est peu répandu. La végétation qui lui est normalement associée est une forêt de faible puissance. Je l'ai observée aussi sous Bambusaie (Chu Kap), sous savane à *Leucomeris* (Fyan ..)

Sa teinte très foncée ne s'explique pas par sa teneur en matière organique qui est simplement moyenne (6 %). Je n'y ai pas trouvé de  $\text{Co}_3\text{Ca}$ .

Localisations : Chu Kap, Chu Mgar (Darlac) ; les Chai, près de Pongur, et région de Fyan (Massif Sud-Annamitique) ; versant N.E du Nui Chua Chan (Haute-Cochinchine)..

#### e) Divers types de sols peu évolués

On trouve des sols juvéniles sur les roches les plus diverses, en particulier dans les régions les plus sèches (zone littorale, vallée du Song Ba..). Leur classification est d'ailleurs assez délicate.

Je ne ferai que citer les "regurs squelettiques" (1), de teinte sombre, de pH voisin de la neutralité, sols de pentes s'observant sur des Basaltes récents ou dégagés par l'érosion régressive, souvent sous forêt claire, et les "terres brunes" sous forêt à *Pterocarpus*, que l'on peut observer aux abords du Chu Röluk, au Darlac. Les regurs squelettiques s'apparentent aux pseudo-rendzines et aux regurs (sols hydromorphes), les terres brunes s'apparentent aux "sols ferrallitiques squelettiques". (1)

---

(1) Terme emprunté à F. Moormann (1961).

## C - SOLS CALCIMORPHES (Classe III)

Les sols calcimorphes hydromorphes, à engorgement temporaire ("Argiles noires tropicales" ou "regurs"), présentent une certaine extension dans la dépression de Chö Reo, en particulier sur la rive droite de Ea Ayun (alluvions d'origine principalement basaltique) où l'on peut observer des profils du type suivant :

- 0 - 5 cm      Limoneux - Gris Brun - Structure grumeleuse (sous fourré)
- 5 - 40 cm      Limono-argileux - Gris foncé moucheté d'ocre - Structure polyédrique, assez compacte (1)
- 40 - 70 cm      Id
- 70 cm      Présence de nodules de  $\text{CO}_3 \text{Ca}$   
Argilo-sableux - Gris beige  
Légèrement humide et relativement meuble.

En fait, les regurs de la plaine de Chö Reo présentent des caractères assez variables : leur texture est plus ou moins fine ; souvent on peut distinguer un horizon supérieur paraissant s'être appauvri légèrement en argile au profit des horizons sous-jacents. L'extension verticale des différents horizons varie beaucoup et la présence d'un horizon à concrétions calcaires n'est pas constante. Le pH est voisin de 7 en surface ; il peut s'élever jusqu'à 8 en profondeur. L'analyse minéralogique révèle la présence de Montmorillonite. Dans 100 g d'un échantillon renfermant 36 % d'"argile" et 3,5 % de matière organique, on a dosé 18 milliéquivalents de  $\text{Ca}^{++}$  et 10 de  $\text{Mg}^{++}$ .

Des "argiles noires tropicales" plus ou moins typiques s'observent également dans les dépressions ou "churs" qui parsèment le Darlac (secteurs occidentaux et méridionaux surtout) ; Il en existe en Haute-Cochinchine (secteur de Gia Ray)... Ces terres présentent des teneurs élevées en alcalino-terreux échangeables ; mais il est rare d'y trouver des concrétions calcaires.

Dans la région de Chö Reo, les regurs sont occupés actuellement par une savane assez lâche à strate arbustive ou arborée comprenant des Légumineuses (*Bauhinia*), des Rubiacées (*Randia*) et quelques essences de forêt claire. Dans le tapis graminéen, on note la présence de *Heteropogon contortus*. Parmi les Graminées que l'on peut observer sur les argiles noires tropicales, je citerai encore *Dichanthium* sp. et *Brachiaria mutica*.

## D - SOLS LESSIVES A PROFILS A B C (Classe V - VI - VII)

L'extension des sols à évolution marquée par des phénomènes d'entraînement d'"argiles" est considérable dans les régions étudiées. C'est ainsi que F. Moormann a été amené à classer la presque totalité des sols formés sur roches éruptives acides, sur Schistes ou sur alluvions anciennes, là où les précipitations estivales sont fortes, dans le groupe des "sols rouges et jaunes podzoliques" ou dans le groupe des "sols gris podzoliques".

La classification de F. Moormann présente l'avantage de faire ressortir la parenté morphologique des différents types de sols lessivés. Cependant, l'examen des données analytiques, encore peu nombreuses, que l'on possède, pourrait conduire à adopter une classification différente. On serait amené alors à distinguer le groupe des sols podzoliques vrais, le groupe des sols ferrugineux lessivés et le groupe des sols ferrallitiques lessivés, se rattachant respectivement aux classes V, VI et VII de la classification de Aubert et Duchaufour.

Je me bornerai à décrire les principaux types de sols lessivés en mentionnant les grands groupes de sols auxquels F. Moormann les rattache et en indiquant, mais seulement à titre provisoire, quelle pourrait être leur place dans la classification française.

---

(1) La structure des horizons supérieurs varie beaucoup. Parfois elle demeure grumeleuse sur une assez forte épaisseur ; parfois elle est compacte dès la surface (terres occupées par une steppe arbustive). En outre, la région étant très peuplée, elle est souvent modifiée par le travail de l'homme.

## I - SOLS LESSIVES D'ALTITUDE (Classe V)

A haute altitude, en particulier dans les régions granitiques et sous forêt où prédominent des Conifères, on peut observer localement (sommets, replats..) des sols podzoliques à profil bien développé. L'horizon A<sub>1</sub> renferme une forte proportion d'humus brut, il est très acide (pH < 4).

Localisations : Chu Yang Sinh ; Kon Klang, Bönöm Yang La...

## II - SOLS LESSIVES SUR ROCHES ERUPTIVES ACIDES

(Granites, Rhyolites, Dacites..)

(Sols rouges et jaunes podzoliques)

(Classes VI ou VII)

Dans les régions montagneuses, sous forêt climacique, les sols présentent, au-dessous d'un horizon A<sub>1</sub> A<sub>2</sub> souvent épais, de teinte beige (en A<sub>2</sub>), un horizon d'accumulation de teinte rouge-ocre, bien différencié (1).

Voici le relevé d'un profil assez caractéristique observé sur les pentes du Brah Yang (Dacites), vers 1400 mètres d'altitude, sous défrichement récent en forêt.

A <sub>1</sub>	0 - 15 cm	Teinte gris-noir. Structure grumeleuse Texture limono-argileuse pH 5,8. Bases éch. : 10 milliéqu. pour 100 g
A <sub>2</sub>	15 - 60	Teinte beige-gris, passant au beige-ocre. Structure polyédrique. Texture limono-argileuse. pH 4,8
B	60 - 110	Teinte rouge-ocre. Structure Polyédrique. Léger enrichissement en éléments fins (2) pH 5

La composition chimique globale d'un échantillon prélevé en B (vers - 70 cm) témoigne d'un appauvrissement sensible en Si O<sub>2</sub> par rapport à la roche-mère (de l'ordre de 16 %) et surtout d'un enrichissement très net en Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> (29 % de Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> dans la terre fine supposée anhydre, contre 18 % dans la roche-mère). Le rapport Si O<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> étant cependant voisin de 2 et aucune analyse minéralogique n'ayant été faite, la position de ce type de sol dans la classification française demeure problématique.

Les profils des sols présentent un caractère moins uniforme sur les pentes granitiques que sur les pentes dacitiques. Lorsque la pédogenèse n'a pas été modifiée trop profondément sous l'effet de l'érosion ou du colluvionnement, la différenciation des horizons est particulièrement nette, la structure en A<sub>2</sub> tendant à prendre un caractère particulière et l'enrichissement en argile de l'horizon B par rapport à l'horizon A étant très important. D'après quelques résultats d'analyse minéralogique et quelques données sur la composition chimique globale, il semble que les teneurs en hydroxydes de Fer et d'Aluminium de la fraction " argile " soient d'autant plus élevées que la pédogenèse s'est réalisée à une altitude plus basse. La place à attribuer aux sols de ce groupe dans la classification française est en liaison avec l'altitude à laquelle ils se sont formés. On peut considérer provisoirement qu'au-dessous de 500 mètres d'altitude prédominent les sols ferrallitiques ; au-dessus on peut trouver des sols ferrugineux lessivés et même, dans les zones les plus hautes et les plus humides, de véritables sols podzoliques.

(1) Les glissements de terrain consécutifs au typhon de 1952 ont eu généralement pour point de départ un décrochage entre l'horizon A et l'horizon B, ce dernier, saturé d'eau dans sa partie supérieure, faisant office de plan de glissement. Ainsi, on pouvait observer sur les pentes granitiques comme sur les pentes dacitiques de longues traînées rouges.

(2) L'" argile " en se déposant, à la suite de ses migrations, constitue à la surface des agrégats un enduit plus ou moins brillant (" Clay skin ").



### III - SOLS LESSIVES SUR SCHISTES

(Sols rouges et jaunes podzoliques)

(Classe VI ou VII)

Les Schistes, dont les affleurements entre 200 et 1000 mètres d'altitude ont une superficie considérable, ont été soumis à une érosion active. Les sols que l'on peut observer sur des pentes souvent très fortes sont en général profonds mais à horizons moins bien différenciés que ceux des sols lessivés sur Granites. Lorsque le relief s'adoucit, les limites de l'horizon B se précisent et parfois se différencie un horizon à concrétions ou à cuirasse (plateau de Röland Ja, à l'ouest de Dalat).

Les caractères essentiels des sols lessivés sur Schistes sont les suivants (sous Bambous ou sous Hallier).

A<sub>1</sub> (sur 10 à 20 cm)

Teinte gris foncé à gris-beige.

Structure grumeleuse.

Texture limoneuse à limono-argileuse

(très peu de sables grossiers, 15 à 30 % de sables fins, 15 à 35 % de limons, 30 à 50 % d'"argile").

pH : vers 4,5 sous végétation secondaire.

A<sub>2</sub>

Teinte gris-beige ou beige.

Structure polyédrique.

Souvent peu différencié, voire absent.

B (parfois sur plusieurs mètres)

Teinte beige-ocre à ocre (parfois deux sous-horizons, le supérieur de teinte plus claire à rapprocher de A<sub>2</sub>).

Structure polyédrique (parfois structure prismatique, compacte, témoignant d'un degré d'évolution plus poussée).

Texture plus fine qu'en A<sub>1</sub> (50 à 70 % d'"argile")

pH : vers 4,5 (souvent plus bas qu'en A<sub>1</sub>)

Souvent présence de pseudo-concrétions à la base de l'horizon ; parfois présence de concrétions à sa partie supérieure.

C (souvent plusieurs mètres)

Teinte générale d'un blanc parfois assez pur ou, plus souvent, au moins à certains niveaux, juxtaposition de plages rouges, blanches et noires, conférant à l'ensemble un aspect bigarré.

Plans de schistosité encore apparents mais matériau friable.

Texture limoneuse ou limono-sableuse.

pH un peu plus élevé qu'en B.

Une évolution plus poussée de ces sols sur Schistes mène à une différenciation nette de l'horizon A<sub>2</sub> et à l'apparition de concrétions nombreuses ou d'éléments de cuirasse scoriacée dans l'horizon B. Des sols de ce type s'observent au Cambodge, sous forêt climacique, sur des grès, à altitude moyenne ou assez basse. Ils paraissent peu communs dans les régions qui font l'objet de cette étude (Röland Ja).

L'analyse minéralogique de la fraction "argile" d'un échantillon de sol du type décrit, prélevé en B, a montré qu'elle renfermait du Kaolin en très forte proportion mais peu d'hydroxydes. On peut admettre que dans le domaine étudié les sols formés à partir de Schistes sont dans l'ensemble moins ferrallitisés que les sols formés à partir de Granites. Les sols de pentes formés à moyenne altitude sur Schistes pourraient donc être rattachés au groupe des sols ferrugineux lessivés (classe VI).

Localisations :

Bassin de la Daa Römgang, à l'est de Bösré (Vers 500 - 900 mètres). Zone charnière entre la Cochinchine et le Massif Sud-Annamitique à l'ouest de Blao (Vers 200 - 500 mètres)... Les terres sur Schistes, largement utilisées par les autochtones pour la culture du riz sur ray, sont occupées le plus souvent dans les conditions naturelles par des formations secondaires (Bambous, halliers).

#### IV — SOLS LESSIVES FORMES A PARTIR DE GRES OU DE ROCHES ERUPTIVES ACIDES (Granites, Rhyolites) A ALTITUDE RELATIVEMENT BASSE

(au-dessous de 500 mètres)  
(Sols podzoliques sableux sur roches acides)  
(Classe VI)

Les sols de ce type, signalés par F. Moormann au Darlac occidental (région de Ban Don), constituent une variante des sols podzoliques rouges et jaunes sur roche-mère riche en Quartz et (compte tenu de leur localisation actuelle) sous climat à saison sèche très accentuée mais à précipitations estivales assez fortes.

Les horizons A sont bien développés et de texture grossière. La végétation est souvent une forêt claire et les teneurs en matières organiques en A1 sont assez faibles.

#### V — SOLS LESSIVES SUR ALLUVIONS ANCIENNES

(Sols podzoliques gris)  
(Classe VII)

Ces sols comprennent un horizon A<sub>1</sub>, à teneur en matière organique moyenne, un horizon A<sub>2</sub>-B, souvent épais de plusieurs mètres (1), et un horizon B, riche en hydroxydes, apparaissant à une profondeur variable avec les conditions topographiques.

Voici la description d'un profil typique.

A <sub>1</sub> (10 à 20 cm)	Teinte grise à gris-foncé. Structure grumeleuse (sous forêt). Texture sableuse (70 à 80 % de sables totaux) pH : 4,5 à 5 (parfois plus élevé, en fin de saison sèche ou en début de saison humide, sous grosse forêt).
A <sub>2</sub> -B	Teinte beige clair. Apparition en profondeur de plages ocre ou rougeâtres sur fond bleuté. Structure polyédrique mais très friable. Texture sablo-argileuse (50 à 70 % de sables, 15 à 30 % d' "argile"). pH : vers 4,5 (plus faible qu'en A <sub>1</sub> sous forêt).
B-(latérite de nappe)	Teinte ocre Structure compacte (matériau durcissant à l'air). Légère augmentation du pH Enrichissement très marqué en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (teneurs passant de 3 % à 30 %). Enrichissement marqué en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (parfois, d'après Tkatchenko (1936), différenciation d'un sous-horizon où prédomine l'accumulation de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et d'un sous-horizon où prédomine l'accumulation de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).

La richesse en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de l'horizon B conduit à rattacher ce type de sol au groupe des sols ferrallitiques lessivés (classe VII).

L'extension de ce type de sol est considérable sur les alluvions anciennes qui auréolent le delta du Mékong - Donnai (Haute-Cochinchine, Cambodge).

La végétation naturelle, quand A n'est pas trop sablonneux et quand B se situe à une profondeur suffisante, est la forêt dense ; mais c'est un climax fragile qui fait place facilement à la forêt claire.

On peut trouver des sols de ce type sur les plateaux gréseux à l'ouest du Darlac. L'extension verticale des profils est alors plus faible. La formation végétale qui leur est le plus souvent associée est la forêt claire.

---

(1) La teneur en "argile" augmente vers la profondeur, cette augmentation étant toutefois assez progressive et peu importante. Parfois on observe à faible profondeur, un niveau en voie d'induration ; ce phénomène serait dû, selon MOORMANN, à un enrichissement secondaire en Silice.

## VI - AUTRES TYPES DE SOLS LESSIVES

On trouve çà et là, dans les régions côtières, des sols constitués sur des sables, qui comportent en profondeur, sous un horizon A<sub>2</sub> très nettement différencié, un horizon d'accumulation de matière organique. De tels sols ont été également signalés par Castagnol dans la région de Ben Cat, sur alluvions anciennes. Dans les régions littorales, la présence de *Melaleuca leucadendron* paraît favoriser la différenciation de ce type de sol (1).

On observe dans la région de Dalat, sous forêt dense (piste de Törnnum), des terres rouges granitiques sans horizons nettement différenciés, qui s'apparentent aux sols ferrallitiques typiques mais pourraient représenter l'horizon B de sols lessivés dont les horizons A auraient été enlevés par l'érosion. Leur structure est polyédrique par places, parfois aussi franchement grumeleuse. Du point de vue chimique, ces terres se révèlent fortement ferrallitisées.

Dans les régions littorales sèches, on trouve des sols comprenant un horizon de teinte gris-beige, de texture limono-sableuse, faisant place d'une manière assez progressive ou assez brusque, vers - 30 ou - 50 cm, à un horizon brunâtre, à concrétions ou à cuirasse ferrugineuse. Le pH dans l'horizon supérieur dépasse 5. Ce type de sol (sol ferrugineux lessivé) a été observé sous savane à *Heteropogon*, *Randia* et *Zizyphus*.

## E - SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX (2) ("Non calcic brown soils")

Ces sols à horizons peu différenciés, de texture limoneuse ou sableuse suivant les roches-mères (roches éruptives, schistes, alluvions) dont ils dérivent, de teinte brune, de pH voisin de 6, s'observent assez communément dans les régions littorales sèches (Phan Rang, Ba Ngoi...). Chimiquement assez riches, mais à faible capacité en eau, ils supportent généralement des formations s'apparentant au maquis ou des prairies plus ou moins steppiques. (3)

## F - SOLS FERRALLITIQUES (Classe VII) ("Latosols")

Les sols ferrallitiques comprennent dans les régions étudiées la presque totalité des terres basaltiques formées en milieu convenablement drainé. Leur extension sur les affleurements de roches éruptives acides, sur les Schistes et sur les alluvions est également considérable; mais il s'agit alors le plus souvent de sols ferrallitiques lessivés dont la description a été donnée plus haut.

## I - SOLS FERRALLITIQUES SUR BASALTES

Ces sols, qualifiés en Indochine de "terres rouges", se distinguent par l'absence d'un horizon A nettement différencié, l'ensemble du profil au-dessus de la zone de départ se réduisant à un horizon B de teinte brun-rouge, de structure grumeleuse, de texture très fine, épais généralement de plusieurs mètres.

Des variations de teinte et de structure plus ou moins importantes, la présence à certains niveaux de lits de concrétions ou de débris rocheux, conduisent à en distinguer plusieurs types, les résultats des analyses chimiques et physico-chimiques effectuées sur des échantillons représentatifs de ces différents types confirmant en général les distinctions basées sur des critères morphologiques.

---

(1) Au Cambodge, ce type de sol s'observe sur des Grès, vers 100 mètres d'altitude, sous savane arbustive à *Melaleuca* ou sous prairie-steppe. A<sub>1</sub> est peu humifère et peu épais. A<sub>2</sub> est constitué de sable blanc, grossier. Au-dessous de B, épais de 30 cm, riche en matière organique et en Fer, on trouve un horizon B d'un sol ferrallitique lessivé.

(2) Dans une classification récente (1962), Aubert place ce type de sols dans la classe des sols bruns, le séparant nettement des sols ferrugineux.

(3) On trouve aussi dans les régions littorales des sols ferrugineux tropicaux et même, selon Moormann, des sols rouges méditerranéens.

a) "Terres brunes basaltiques"

Cette expression est utilisée localement pour désigner des sols de faible profondeur et constitués par des matériaux assez hétérogènes, terre fine, fragments de roche plus ou moins altérés, concrétions... Qu'elles se soient formées sur coulées basaltiques récentes ou dans des conditions particulières de drainage propres à ralentir la pédogenèse, ou encore qu'il s'agisse de sols de pentes rajeunies par l'érosion, les "terres brunes" représentent dans le groupe des sols ferrallitiques sur Basaltes les termes les moins évolués.

Les terres brunes sensu stricto ("latosols squelettiques") sont des sols juvéniles qui se sont constitués sur coulées basaltiques récentes. Leur extension sous forêt tropophile est grande dans la région de Din Kuan (entre la basse Lagna et la boucle du Donnai), en Haute-Cochinchine. Au Darlac, on peut en observer dans le secteur du Chu Röluk, également sous forêt (Légumineuses, Combrétacées, *Lagerstroemia*...). Leur structure n'est pas franchement grumeleuse, sauf en surface, quand la matière organique est abondante. Elles sont assez riches chimiquement; mais la présence de fragments de basalte ou de pseudo-concrétions, qui gênent la pénétration des racines, et la faible capacité en eau, conséquence de la faible extension verticale du profil, sont des facteurs défavorables à l'installation de beaucoup d'espèces végétales.

Les terres brunes s'observant sur les parties basses des pentes au Darlac sont remarquables par la présence de nombreux sphéroïdes à écailles dont la formation s'explique par les conditions particulières d'humidité régnant à ce niveau. Elles sont occupées par des forêts galeries à Légumineuses, *Lagerstroemia*, *Dipterocarpus turbinatus*...

Les terres brunes à concrétions ou à cuirasse que l'on peut observer en bordure des zones de terres rouges sont des sols hydromorphes constituant un terme de passage vers les "terres grises basaltiques" (cf plus loin sols hydromorphes). Elles sont occupées en général par des forêts de type intermédiaire entre la forêt dense tropophile et la forêt claire ou par des halliers à Euphorbiacées...

b) "Terres rouges" sensu stricto ("Latosols brun-rouge")

Ce type de sol est caractérisé par l'homogénéité presque parfaite, souvent sur plusieurs mètres d'épaisseur, de l'horizon B qui présente une structure grumeleuse et une texture très fine (de 60 à 80 % d'"argile").

A la partie supérieure du profil on peut distinguer cependant, en général, un horizon A<sub>1</sub>, épais de 10 à 25 cm, de texture un peu moins fine, de structure souvent plus compacte, parfois polyédrique, sous forêt, en saison sèche.

Le pH en B est généralement acide (de l'ordre de 5 - 5,5 au Darlac, de l'ordre de 4,5 - 5 dans le Massif Sud-Annamitique). Il est plus élevé en A<sub>1</sub> où, au Darlac, sous forêt dense, il peut se rapprocher de 6,5 - 7. Les teneurs en bases échangeables varient comme le pH, l'influence du couvert végétal étant de ce point de vue très sensible en A<sub>1</sub> (1). Au Darlac, sous forêt, les teneurs en bases échangeables en A<sub>1</sub> peuvent être cinq fois supérieures à ce qu'elles sont en B; sous savanes à *Imperata* ou sous formations à *Eupatorium*, les caractères de l'horizon A<sub>1</sub> sont assez différents de ceux qu'il présente sous forêt (structure plus franchement grumeleuse, teneurs en bases plus faibles).

Sur pente, généralement sous hallier, on observe des sols à horizon A<sub>1</sub> peu différencié, à structure intermédiaire entre la structure grumeleuse et la structure nuciforme, constituant un type de transition entre "terres rouges" et "terres brunes".

Les teneurs globales des terres rouges en Ca, en Mg et en K sont généralement faibles.

Localisations: Darlac, Haute-Cochinchine, Massif Sud-Annamitique vers 1000 m (région de Djiring - Fim Non). Au Darlac et en Haute-Cochinchine, la végétation climacique sur terres rouges est la forêt dense semi-caducifoliée; mais ces terres ont été très largement utilisées pour l'hévéaculture ou pour la riziculture sur ray et les formations secondaires (halliers, bambousaies, savanes, brousses à *Eupatorium*) en occupent de vastes superficies.

c) Terres rouges lessivées à structure particulière ("Latosols rouges terreux")

Ces terres se distinguent des terres rouges proprement dites par l'existence d'un horizon A<sub>1</sub>, de teinte généralement assez claire, à structure à la fois compacte et très fragile, et par la structure de l'horizon B formé d'agrégats très fins constituant une masse peu cohérente

(1) Cf paragraphe relatif aux propriétés chimiques des sols.

(structure "cendreuse" ou "farineuse"). Le pH est inférieur à 5 aussi bien en surface qu'en profondeur. Les teneurs en bases échangeables en A<sub>1</sub> sont souvent inférieures à 1 milliéquivalent pour 100 grammes de sol.

L'analyse minéralogique révèle que la proportion de minéraux ferrallitiques est plus élevée dans ce type de sols que dans les terres rouges.

Localisations : Plateau de Pleiku, vers 800 mètres d'altitude (sous prairie-steppe à *Aristida* ou sous forêt basse ou hallier sempervirent), Darlac septentrional et çà et là dans la partie méridionale du Darlac (prairie-steppe) et dans le Haut-Chhlong (hallier à *Vaccinium*). Les profils les plus typiques s'observent sur des aires strictement horizontales, de niveau assez élevé par rapport à celui des thalwegs les plus proches.

d) Terres rouges à concrétions ("Latosols rouges" et "latosols bruns compacts")

J'appellerai "terres rouges à concrétions" les sols ferrallitiques comportant vers 1 mètre de profondeur un horizon souvent de grande épaisseur constitué d'un mélange de terre fine et de concrétions scoriacées, de dimensions variables, dont la genèse ne paraît pas être en relation avec l'influence de la nappe phréatique actuelle. Ces sols s'observent sur des Basaltes tertiaires, sous climat relativement humide, entre 600 et 1 000 m d'altitude.

La distinction établie par F. Moormann entre les "latosols rouges" du Haut-Chhlong, constitués sur des coulées très épaisses et actuellement bien drainés, et les "latosols bruns compacts" de Blao, constitués sur des coulées de faible épaisseur et tendant davantage à se saturer d'eau en saison humide, présente un intérêt certain du point de vue phytogéographique ; mais l'extension des sols ferrallitiques bruns compacts vraiment typiques est faible et il existe d'indéniables affinités entre les sols du Haut-Chhlong et ceux de la région de Blao.

Du point de vue chimique, les terres rouges à concrétions se caractérisent par leur pauvreté en éléments minéraux utiles, en A<sub>1</sub> aussi bien qu'en B, quelle que soit la couverture végétale. Leur pH est voisin de 4,5. Leurs teneurs en matière organique en A<sub>1</sub> sont élevées, au moins sous forêt. Les agrégats au-dessus des horizons à concrétions sont plus fins que dans les terres rouges normales et le sol manque de cohésion. Dans l'horizon à concrétions, la structure devient plus compacte et peut même prendre un caractère polyédrique.

La profondeur à laquelle se présente l'horizon à concrétions est très variable, le rôle de l'érosion dans le Haut-Chhlong apparaissant de ce point de vue très important alors que dans la région de Blao il existe souvent une relation entre le niveau auquel apparaissent les concrétions et celui de la nappe phréatique.

Les concrétions scoriacées, de dimensions très variables, s'observent souvent sur plusieurs mètres d'épaisseur. Elles peuvent constituer plus de la moitié de la masse du sol ou faire place à un banc de cuirasse.

Les "terres rouges à concrétions" sont plus riches en constituants ferrallitiques que les "terres rouges normales". On trouve dans le Haut-Chhlong des sols renfermant moins de 10 % de SiO<sub>2</sub> à certains niveaux. Les concrétions sont en général riches en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Voici deux profils :

L'un observé dans le Haut-Chhlong, au centre d'une surface horizontale, épargné par l'érosion et pouvant être considéré comme un profil témoin (sous prairie-steppe). Il s'apparente aux sols ferrallitiques terreux.

A <sub>1</sub>	(0 - 20 cm)	Teinte gris-brun, assez pâle Structure particulaire, de nombreuses radicelles conférant à la masse terreuse une certaine cohésion.
B	(- 20 - 200) (-200 - 550 +)	Teinte brun-rouge. Structure grumeleuse, fine (1) Concrétions scoriacées, très nombreuses, incluses dans une terre grumeleuse, brun-pourpre. Vers la profondeur, les concrétions demeurent nombreuses mais paraissent moins riches en Fer, prenant l'aspect de débris de Basalte très altéré.

(1) L'épaisseur de la masse de terre sans concrétions est ici considérable ; mais, du fait sans doute de l'intervention de l'érosion, l'horizon à concrétions apparaît en général dans le Haut-Chhlong à une profondeur bien moindre.

L'autre observé dans la région de Blao, également en un point où l'érosion s'est montrée peu active (sous forêt).

- A<sub>1</sub> ( 0 - 30 cm) Brun-noir passant à brun-gris.  
Structure grumeleuse.  
Texture argilo-sableuse (présence de fines concrétions d'Hématite et d'un peu de Quartz). 10 % de matière organique.
- B ( - 30 - 70) Brun passant à beige-ocre.  
Structure grumeleuse, plus fine qu'en A<sub>1</sub>.  
Terre dépourvue de cohésion.
- ( - 70 - 160 +) Présence de nombreuses concrétions de teinte rouge-brun sur la cassure vers le haut, de teinte brun pâle vers la profondeur.  
pH légèrement plus élevé que dans les horizons supérieurs.

Les terres rouges à concrétions sont occupées, soit par des forêts sempervirentes de moyenne puissance, soit par des prairies-steppes. Dans le Haut-Chhlong, sur les sols les plus profonds (cf profil décrit) on observe parfois un hallier peu dense à *Vaccinium*. Dans le secteur de Blao, *Pinus Merkusii* associé à *Dipterocarpus obtusifolius* occupe les sols à cuirasse.

## II - SOLS FERRALITIQUES SUR ROCHES DIVERSES

On trouve des "terres rouges" sur Micaschistes (région de Kontum), sur Dacites (col de Blao), sur Granites (région de Dalat), sur Schistes (région de Dalat)... On trouve également, en particulier sur Granites, des terres ocre sans horizon A<sub>2</sub>, s'apparentant aux sols ferrallitiques. Il s'agit en général de sols de pentes.

Un aperçu sur les caractères des terres rouges sur Granites a été donné dans le paragraphe réservé à l'étude des sols lessivés. On peut supposer en effet que beaucoup de ces terres rouges ou ocre observées sur roches acides représentent l'horizon d'accumulation plus ou moins modifié de sols lessivés dont les horizons A ont été enlevés par l'érosion.

Tous ces sols sont pauvres en éléments minéraux utiles. Leur structure n'est pas franchement grumeleuse. Leur degré de ferrallitisation est souvent élevé. Dans le cas des terres granitiques, le Quartz paraît peu attaqué.

## G - SOLS HALOMORPHES (Classe VIII)

Des sols à alcali (CO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub>) existent dans les régions littorales, au voisinage de Phan Rang.

## H - SOLS HYDROMORPHES A GLEY OU A PSEUDOGLEY, A ENGORGEMENT NON PERMANENT EN SURFACE (Classe IX)

Les sols à pseudogley (influence d'une nappe phréatique "perchée", temporaire, ou d'une nappe se retirant à une profondeur assez grande en saison sèche) et les sols à gley (influence d'une nappe phréatique se maintenant en toutes saisons à une profondeur assez faible) sont bien représentés dans les dépressions ("churs") qui parsèment les plateaux basaltiques. Les terres grises basaltiques de forêt claire, remarquables par la différenciation très accentuée de leurs horizons, s'apparentent aux sols à pseudogley.

## I - LES "TERRES GRISES BASALTIQUES"

Les terres grises s'observent sur des coulées de lave subhorizontales, faiblement en relief par rapport au réseau de drainage, sous climat à précipitations estivales assez fortes mais à saison sèche très accentuée.



C.S.T.

Aspect de la surface d'une "terre grise basaltique" sous forêt claire à Pentacme. (L'érosion en nappe a dégagé des concrétions pisolithiques.)

Voici la description d'un profil typique. (observé en fin de saison sèche).

0 - 10 cm	Teinte gris-noir. Structure nuciforme. Teneur assez forte en matière organique (6 %). pH voisin de la neutralité.
- 10 - 30	Gris-beige Structure nuciforme ou grumeleuse Présence de concrétions arrondies, de petite taille, de teinte pourpre ou ocre-rouge sur la cassure. pH : entre 5 et 6.
- 30 - 50	Lit de concrétions ferrallitiques, en "plombs de chasse" et plus ferrugineuses vers le haut, de formes moins régulières et plus alumineuses vers le bas.
- 50 - 150	Sphéroïdes écailleux, friables, de dimensions variables, plus ou moins étroitement juxtaposés — teinte grise.
150 +	Sphéroïdes à écailles minces, à noyaux encore durs, enrobés dans une argile bleutée, compacte. Niveau de la nappe phréatique vers - 160.

Mais les terres grises basaltiques sont des sols particulièrement hétéromorphes : souvent, probablement du fait de l'érosion, A<sub>1</sub> se trouve confondu avec l'horizon à concrétions. Parfois les concrétions se soudent les unes aux autres, constituant une cuirasse pisolithique. Les sphéroïdes peuvent faire place à des lits d'argile compacte, bleutée, veinée ou tachée de pourpre (présence de concrétions ferrugineuses assez molles). Des blocs de Basalte peu altéré s'observent fréquemment à différents niveaux et particulièrement au voisinage de la surface.

Les terres grises passent latéralement à des "regurs squelettiques" quand la pente s'accroît.

Les terres grises basaltiques dont les propriétés physiques sont très défavorables à la végétation sont des sols de forêt claire.

## II — SOLS HYDROMORPHES DANS LES DEPRESSIONS MARECAGEUSES

Lorsque la différence de niveau entre le centre de la dépression et le pays environnant est faible (zones occupées par la forêt claire), on observe, de la périphérie vers la partie la plus déprimée, la chaîne de sols suivante :

- 1) Sols à cuirasse (sous forêt claire arbustive).
- 2) Gleys à concrétions. Structure prismatique, compacte (sous prairie).
- 3) Gleys sans concrétions (sous prairie).

Les concrétions sont assez petites, à texture très fine ; sur la cassure, de teinte gris-bleuté, les zones concentriques d'accroissement sont souvent nettement visibles. La roche-mère apparaît à une profondeur assez faible (de l'ordre du mètre) sous la forme de sphéroïdes encore très durs enrobés d'argile gris-bleuté.

La modification des processus pédogénétiques par des apports solides (alluvions ou colluvions) peut entraîner dans les zones qui ne sont que temporairement inondées, la formation de "sols marmorisés" (taches de diverses teintes correspondant à des concrétions molles aux contours mal définis).

Dans le cas des dépressions partiellement drainées, l'extension des sols à cuirasses est plus faible et les concrétions sont moins nombreuses.

Au Darlac, les sols de marais sur Basaltes ont un pH voisin de la neutralité ou faiblement acide.

Les sols hydromorphes à gley peuvent passer latéralement à des régurs. (Darlac, Haute-Cochinchine...)

Il existe dans le Haut-Chhlong (secteur des Boun Rötting) des dépressions marécageuses sur Schistes. Les sols hydromorphes qui tapissent ces dépressions présentent une teinte presque blanche et une structure moins compacte que celle de leurs homologues sur Basalte. Des traces des plans de schistosité subsistent jusqu'au voisinage de la surface. Les concrétions sont peu nombreuses.

## III — SOLS HYDROMORPHES AU PIED DES PENTES

Au pied des pentes on observe souvent la différenciation dans les dépôts colluviaux d'horizons à gley ou à concrétions. Parfois les colluvions se sont déposées sur un sol de bas-fond à gley compact ou à cuirasse ; la fusion entre les deux profils superposés est alors lente à se réaliser.

## I — SOLS HYDROMORPHES A ENGORGEMENT PERMANENT (Classes IX et X)

### I — A L'INTERIEUR DES TERRES (SOLS TOURBEUX)

Les sols hydromorphes tourbeux présentent une assez grande extension dans le Haut-Chhlong, tapissant des dépressions étroites, longues souvent de plusieurs kilomètres, où l'humidité est entretenue en permanence par des affleurements de la nappe phréatique. Au Darlac, où l'on n'observe guère, en dehors des zones de terre rouge, que des marais à humidité temporaire, leur superficie est beaucoup plus limitée (marais de Boun Aring). Des dépressions tourbeuses frangent les lits des ruisseaux qui drainent la pénélaine de Dalat. Dans le secteur de Blao enfin, on observe parfois des sols tourbeux sur fond sableux, des affleurements de la nappe phréatique se produisant suivant l'intersection de la surface topographique et de la surface de contact entre les Basaltes et le socle granitique.

Ces sols comprennent un horizon supérieur de teinte noire, de structure grumeleuse, renfermant de 20 à plus de 40 % de matière organique, passant brusquement en profondeur à un gley le plus souvent argileux et compact, rarement sablonneux (région de Blao). Le pH de l'horizon organique est au Darlac et dans la région de Blao voisin de 5.

Les sols hydromorphes à engorgement permanent sont souvent occupés par des forêts plus ou moins denses, composées d'essences à systèmes radiculaires pourvus de pneumatophores. Dans le Haut-Chhlong, les Palmacées (*Livistona*) jouent sur ces sols un rôle important ;



dans la région de Blao (sols tourbeux sur fond sableux), on observe des Gymnospermes (*Podocarpus*). Lorsque la dépression s'élargit, la forêt fait place vers la partie médiane à des prairies hautes à Cypéracées, Cryptogames, *Nepenthes*, ... Des tourbières à Cryptogames (Fougères) existent dans la région de Dalat; mais les Sphaignes qui sont assez répandues dans les régions montagneuses ne paraissent jamais jouer qu'un rôle épisodique.

## II -- SOLS DE MANGROVE

Les sols de Mangrove à *Avicennia* que j'ai examinés entre Nha Trang et Ninh Hoa comprenaient un horizon d'argile bleutée, riche en  $\text{Na}^+$  et en  $\text{Mg}^{++}$  (6 milliéquivalents de  $\text{Mg}^{++}$  pour 100 g de sol), reposant sur un lit de sable grossier renfermant un peu d'argile très dispersée.

## PROPRIETES ANALYTIQUES DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

Type de sol (situation et description)	Niveau de prélèvement (en cm)	Analyse granulairé (pour cent de terre fine séchée à l'air)			Matière organique (pour cent de terre fine séchée à l'air)	
		S	L	A	C	C/N
Sol peu évolué sur sables littoraux (Classe II) Terre noire, sablonneuse, sur 60 à 80 cm. Nappe phréatique vers - 80 cm - Sous cocotiers (Cordon littoral, près de Thuy Trieu)	vers - 50	89	2	8	1,2	
Sol sur alluvions récentes (Classe II) Structure grumeleuse, texture limoneuse, teinte gris-noir en surface. Au-dessous de 30 cm, caractère plus sableux, teinte plus claire. <i>sous Bambusa arundinacea</i> (région de Tour Cham)	surface	29	30	38	3,2	12
	- 40 - 50	48	20	30	1,2	11
Sol sur alluvions récentes (Classe II) Structure polyédrique. Teinte brune assez claire Sous culture (Vallée de l'AYun, près de Chö Reo)	surface	2,5	55	38	1,95	11
Argile noire tropicale (Classe III) Sous prairie graminéenne (sur Basaltes) (Darlac)	Surface	12	25	55	2,6	11
	- 50 - 60	8	16	66		
Argile noire tropicale (Classe III) Terre noire à structure grumeleuse en surface, gris-beige et assez compacte au-dessous de - 25 cm, Sous prairie graminéenne (sur alluvions) (région littorale, près de Ba Ngoi)	surface	32	15	50	2,2	13
	- 40 - 50	22	28	46	1,4	12
Sol beige-ocre, lessivé, sur Granite (Classes VI ou VII)	surface	60	15	21	8,5	20
Terre noire grumeleuse en surface. Entre - 20 et - 80, horizon d'accumulation, ocre, assez compact. Au-dessous, zone de départ de teinte plus claire. Sous forêt, vers 900 m (Blaö).	- 50 - 60	40	11	45	0,3	15
	-120 -130	62	12	23		

	Propriétés physico-chimiques (en milliéquivalents pour 100 g de terre fine séchée à l'air)						Composition chimique globale (pour cent de la terre fine séchée à l'air)					
	pH	C. E. B. (à pH 8)	Somme des B. E.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Perte au rouge	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Sol peu évolué sur sables littoraux (Classe II) Terre noire, sablonneuse, sur 60 à 80 cm. Nappe phréatique vers - 80 cm - Sous cocotiers (Cordon littoral, près de Thuy Trieu)	8		7	5	0,9	0,7						
Sol sur alluvions récentes (Classe II) Structure grumeleuse, texture limoneuse, teinte gris-noir en surface. Au-dessous de 30 cm, caractère plus sableux, teinte plus claire. sous <i>Bambusa arundinacea</i> (région de Tour Cham)	6,2	31	23	18	4	0,45	11	59	17	6	2	0,4
	6,5	17,5	14,5	10,5	3	0,2	5,5	65	17	5,5		
Sol sur alluvions récentes (Classe II) Structure polyédrique. Teinte brune assez claire Sous culture (Vallée de l'Ayun, près de Chõ Reo)	7	34,5	30	18	10	0,3						
Argile noire tropicale (Classe III) Sous prairie graminéenne (sur Basaltes) (Darlac)	6	49	28	20	6	0,4	18	48	19	11	0,25	0,4
	6,5	40	29	22	5	0,2	15	45	22	13		
Argile noire tropicale (Classe III) Terre noire à structure grumeleuse en surface, gris-beige et assez compacte au-dessous de - 25 cm, Sous prairie graminéenne (sur alluvions) (région littorale, près de Ba Ngoi)	6	29	19	15	3	0,5		40	25	9,5	1,4	
	6	25	17	12	4							
Sol beige-ocre, lessivé, sur Granite (Classes VI ou VII)	4,2		2	0,7	0,1	0,25						0,12
Terre noire grumeleuse en surface. Entre - 20 et - 80, horizon d'accumulation, ocre, assez compact. Au-dessous, zone de départ de teinte plus claire. Sous forêt, vers 900 m (Blao).	5,1		1,2									0,18
	5,0		0,9	0,6								

Type de sol (situation et description)	Niveau de prélèvement (en cm)	Analyse granulaire (pour cent de terre fine séchée à l'air)			Matière organique (pour cent de terre fine séchée à l'air)	
		S	L	A	C	C/N
Sol beige-ocre lessivé sur Schistes (Classe VI). Horizon B ocre-beige, de structure nuciforme, entre - 20 et - 100 cm. Zone de départ bigarrée. Pente sous <i>Bambusa</i> et <i>Pinus</i> (Région de Djiring, vers 800 m)	surface	38	15	43	4,4	19
	- 40 - 50	30	11	55		
	zoné de départ	30	50	17		
Sol lessivé sur alluvions anciennes (Classe VII) Teinte d'un gris plus ou moins foncé et structure grumeleuse assez fragile en surface. Teinte gris-clair passant à beige avec plages ocreuses en profondeur. Vers - 450 cm, horizon d'accumulation de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ocre assez pâle, rougissant par exposition à l'air (Données analytiques d'après Tkatchenko, sauf pour la matière organique et les éléments échangeables déterminés sur des échantillons d'un sol de même type, mais prélevés en un point différent).	surface	76	4	17	(2)	(20)
	- 200	74	3	20		
	- 300	66	6	25		
	- 400	59	7	31		
	- 550					
Sol ferrugineux, peu lessivé, sur Schistes (Classe VI) Terre brune grumeleuse en surface, ocre et de structure nuciforme au-dessous de 30 cm. Sous hallier à Anacardiacees et Rhamnacees (Région de Ninh Hoa)	surface	40	20	35	1,8	12
	vers - 50	35	15	46	0,6	7
Sol non lessivé sur alluvions anciennes (Classe VI ou IV) Terre brun-noir, grumeleuse, en surface, gris-beige, sablonneuse, vers - 30 cm Sous hallier à Euphorbiacees (Région de Nha Trang)	surface	60	12	25	3,2	
	vers - 50	65	11	22	1	
Sol ferrallitique de faible profondeur ("terre brune") sur Basalte (Classe VII) Teinte brun-rouge. Structure polyédrique en surface, grumeleuse à nuciforme entre - 20 et - 50 cm. Présence dès la surface de fragments de Basalte, ces fragments devenant très nombreux au-dessous de - 50 où leur volume excède celui de la terre fine. Sous forêt caducifoliée (Haute-Cochinchine, vers 200 m)	surface	18	14	62	5,4	11
	- 20 - 40	19	11	65		
	- 40 - 50	19	11	65		

	Propriétés physico-chimiques (en milliéquiv. pour 100 g de terre fine séchée à l'air)						Composition chimique globale (pour cent de la terre fine séchée à l'air)						
	pH	C.E.B. (à pH 8)	Somme B.E.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Perte au rouge	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Si O <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> soluble
Sol beige-ocre lessivé sur Schistes (Classe VI). Horizon B ocre-beige, de structure nuciforme, entre - 20 et - 100 cm. Zone de départ bigarrée. Pente sous <i>Bambusa</i> et <i>Pinus</i> (Région de Djiring, vers 800 m)	4,4	12,5	2								0,6		
	4,0	6,5	1				10,5	57	21,5	6	0,9		
	5,0	1,5					6,5	56	29	3	1,5		
Sol lessivé sur alluvions anciennes (Classe VII) Teinte d'un gris plus ou moins foncé et structure grumeleuse assez fragile en surface. Teinte gris-clair passant à beige avec plages ocreuses en profondeur. Vers - 450 cm, horizon d'accumulation de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ocre assez pâle, rougissant par exposition à l'air (Données analytiques d'après Tkatchenko, sauf pour la matière organique et les éléments échangeables déterminés sur des échantillons d'un sol de même type, mais prélevés en un point différent).	4,8	5 à 8	(2)	(0,8)		(0,2)	86	7,5	1	0,25	0,08	1,4	
	4,5	4 à 6	(1,7)	(0,7)		(0,15)	86	8	0,9	0,2	0,08	1,3	
	4,6	4 à 7					80	11	1,6	0,2	0,08	0,7	
	4,8	5 à 8					73	17	1,4	0,2	0,08	1,4	
	5	4 à 6					45	12	34	0,13	0,13		
Sol ferrugineux, peu lessivé, sur Schistes (Classe VI) Terre brune grumeleuse en surface, ocre et de structure nuciforme au-dessous de 30 cm. Sous hallier à Anacardiacees et Rhamnacees (Région de Ninh Hoa)	5,5		8	5,5	1,7								
	6		7	5,4	1,2	0,3					0,3		
Sol non lessivé sur alluvions anciennes (Classe VI ou IV) Terre brun-noir, grumeleuse, en surface, gris-beige, sablonneuse, vers - 30 cm. Sous hallier à Euphorbiacees (Région de Nha Trang)	7		11	8	1,5	0,8							
	6		5	2	0,7								
Sol ferrallitique de faible profondeur ("terre brune") sur Basalte (Classe VII) Teinte brun-rouge. Structure polyédrique en surface, grumeleuse à nuciforme entre - 20 et - 50 cm. Présence dès la surface de fragments de Basalte, ces fragments devenant très nombreux au-dessous de - 50 où leur volume excède celui de la terre fine. Sous forêt caducifoliée (Haute-Cochinchine, vers 200 m)	6,5	31,5	22	15,5		0,35	15	33	27	18,5	0,45	0,4	
	5,5			2,5		0,25	13	35	31	18		0,3	
	6			5,4		0,65	16	32	26	18,2		0,25	

Type de sol (situation et description)	Niveau de prélèvement (en cm)	Analyse granulair (pour cent de terre fine séchée à l'air)			Matière organique (pour cent de terre fine séchée à l'air)	
		S	L	A	C	C/N
Terre rouge basaltique formée sous climat rela- tivement sec (Classe VII) Horizons morphologiquement peu différenciés. Structure nuciforme en surface, grumeleuse au- dessous de - 20 cm, les agrégats étant plus fins au-dessous de - 80 cm. Sous brousse secondaire vers 50 m. (Cambodge)	- 10 - 20	16	17	62	2,2	10
	- 30 - 40	17	19	59	0,9	11
	-140 -150	10	14	72		
Terre rouge basaltique "normale" (Classe VII) Horizons morphologiquement peu différenciés. Structure grumeleuse. Sous hallier, vers 500 m. (Darlac)	surface	15	6	72	5,2	15
	- 50 - 60	10	6	77		
Terre rouge basaltique "normale" (Classe VII) Structure nuciforme en surface, grumeleuse au-dessous de - 20 cm. Sous forêt, vers 500 m. (Darlac)	surface	10	10	75	5	14
	- 50 - 60	7	12	75	1	9
Terre rouge basaltique très ferrallitisée et lessivée (Classe VII). Structure grumeleuse. Présence de concrétions en profondeur (vers - 200 cm). Sous prairie-steppe, vers 900 m. (Haut-Chhlong)	surface	25	15	55	2,8	12
	- 90 - 100	18	5	72		
	-180 - 200	18	5	72		
Terre rouge basaltique lessivée. Présence de sable quartzeux. Concrétions au-dessous de - 25 cm. (Classe VII) Sous forêt, vers 850 m. (Blao)	surface	32	12	50	6	18
	- 40 - 50	10	15	70		
	- 90 -100	16	15	65		
Terre rouge basaltique lessivée à structure particulière (Classe VII). Sous prairie-steppe, vers 750 m. (Pleiku)	surface	15	25	55	5,4	18
Terre grise basaltique (sol ferrallitique hydromorphe)(Classe IX). Teinte gris-beige, structure grumeleuse. Concrétions nombreuses au-dessous de - 40 cm : cuirasse tendant à se constituer. Sous forêt ouverte à <i>Sindora</i> et <i>Irvingia</i> (en limite de forêt claire) (Cambodge, vers 50 m)	surface	28	19	46	2,2	13
	- 25 - 35	20	11	64	0,8	10
	- 80 - 90	17	14	65		

Type de sol (situation et description)	Propriétés physico-chimiques (en milliéquiv. pour 100 g de terre fine séchée à l'air)					Composition chimique globale (pour cent de la terre fine séchée à l'air)						
	pH	C. E. B. (à pH 8)	Somme B. E.	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Perte au rouge	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Terre rouge basaltique formée sous climat relativement sec (Classe VII) Horizons morphologiquement peu différenciés. Structure nuciforme en surface, grumeleuse au-dessous de - 20 cm, les agrégats étant plus fins au-dessous de - 80 cm. Sous brousse secondaire vers 50 m. (Cambodge)	6,5 7,4 5,1		18 17 3					38 39 37	25 27 28	13 13 13,5	0,18 0,2 0,2	0,45
Terre rouge basaltique "normale" (Classe VII) Horizons morphologiquement peu différenciés. Structure grumeleuse. Sous hallier, vers 500 m. (Darlac)	5,5 5	29 16	5 2	3 1	1,5 0,4	0,2 0,2	22 17	28 31	24 25	20 21	0,2 0,15	0,4 0,4
Terre rouge basaltique "normale" (Classe VII) Structure nuciforme en surface, grumeleuse au-dessous de - 20 cm. Sous forêt, vers 500 m. (Darlac)	6 5	33 17	14 2	9 0,8	4 0,7	0,9 0,2	18	29	32	18	0,15	0,5
Terre rouge basaltique très ferrallitisée et lessivée (Classe VII). Structure grumeleuse. Présence de concrétions en profondeur (vers - 200 cm). Sous prairie-steppe, vers 900 m. (Haut-Chhlong)	5 5	15 3	2,5 0,5 0,6	1,8			18,5 18 16	10 12	45 38	22 28	0,25	
Terre rouge basaltique lessivée. Présence de sable quartzeux. Concrétions au-dessous de - 25 cm. (Classe VII) Sous forêt, vers 850 m. (Blao)	4,5 5 5,5		2,5 1 1,5	0,9 0,4	0,8	0,2	24 15	36 32	22 31	15 19	0,15	0,1 0,1
Terre rouge basaltique lessivée à structure particulière (Classe VII). Sous prairie-steppe, vers 750 m. (Pleiku)	4,5	26	0,8	0,15								
Terre grise basaltique (sol ferrallitique hydromorphe)(Classe IX). Teinte gris-beige, structure grumeleuse. Concrétions nombreuses au-dessous de - 40 cm : cuirasse tendant à se constituer. Sous forêt ouverte à <i>Sindora</i> et <i>Irvingia</i> (en limite de forêt claire) (Cambodge, vers 50 m)	5,6 5 5,1		9 3 3				14 12	47 41	27 36	6 5		

## RESUME

On trouve dans la partie méridionale du Viet-Nam, au Nord-Est du delta du Mékong, des types de sols très variés.

L'influence du climat et celle du relief sur la pédogenèse sont nettes; le rôle de la roche-mère se révèle très important. Ce sont les sols basaltiques qui ont été les plus étudiés, en raison de leur intérêt du point de vue économique.

Les teneurs des terres en Ca, Mg et K sont faibles comme dans la plupart des terres tropicales; les teneurs en P des terres basaltiques sont relativement élevées.

La Kaolinite est le plus abondant des constituants argileux, dans tous les types de sols. La Goethite existe dans beaucoup de sols basaltiques ou granitiques; la Gibbsite se trouve moins fréquemment (sols basaltiques très évolués).

Les sols formés sous climat très humide et les sols juvéniles renferment des gels en fortes proportions.

Les sols à cuirasse sont peu répandus (sols hydromorphes); des horizons à concrétions s'observent souvent dans les sols basaltiques, assez rarement dans les sols formés à partir de Schistes, de Granites ou de Dacites.

La teneur en matière organique augmente avec l'altitude et avec l'humidité.

Il existe une relation entre les caractères de la couverture végétale et la richesse en bases échangeables de l'horizon supérieur.

Les sols de beaucoup les mieux représentés sont les sols ferrallitiques et les sols ferrallitiques ou ferrugineux lessivés. Les premiers s'observent surtout sur Basaltes; il en existe plusieurs types dont la distribution paraît dépendre du climat actuel et de l'âge des coulées. Les seconds se trouvent sur roches éruptives acides et sur Schistes. La séparation entre sols ferrallitiques lessivés et sols ferrugineux lessivés n'a pu être faite d'une manière certaine: il semble que les premiers prédominent à base altitude, au moins sur les Granites. Les sols hydromorphes à horizon d'accumulation ferrugineux sont très répandus dans les régions basaltiques. Des regurs typiques sur Basaltes ou sur alluvions ont été observés dans les régions les plus sèches.



## BIBLIOGRAPHIE

- M.V. AGAFONOFF Sur quelques sols rouges et Bien Hoa de l'Indochine.  
Revue Bot. App. 1929 - pp. 16-23 et 121-126.
- G. AUBERT Les sols latéritiques.  
Conf. gén. 5e Congrès Intern. Sol. 1954
- G. AUBERT Et Ph. DUCHAUFORU Projet de classification des sols.  
6e Congrès Intern. Sol. 1956
- F. BLONDEL Sur les terres rouges et les phénomènes d'altération des roches en Indochine Française.  
C.R. Ac. Sc. Paris - T.185 - Juil. 1927.  
L'érosion en Indochine.  
Congrès Intern. Géogr. Paris 1931
- P. BUSSY Les terres de Cochinchine.  
"La Cochinchine agricole" 1927 (5) pp. 7-15
- S. CAILLERE et S. HENIN Application de l'analyse thermique différentielle à l'étude des argiles des sols.  
Ann. Agron. 1947 (17) pp. 23-72
- P. CARTON, E. BRUZON, A. ROMER Le climat de l'Indochine et les typhons de la mer de Chine.  
I.D.E.O. Hanoi - 1940.
- E.M. CASTAGNOL Problèmes de sols et l'utilisation des terres en Indochine.  
Arch. Rech. Agr. Saïgon - 1950  
Contribution à l'étude des terres rouges basaltiques des Hauts-Plateaux du Sud de l'Indochine.  
Arch. Rech. Agr. Saïgon - 1952.
- E. CASTAGNOL et P.G. TU Etude des principaux types de latérites d'Indochine  
Bull. Econ. Indochine - 1940.
- A. DEMOLON La Dynamique du sol  
Paris - 1952
- J. D'HOORE L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux.  
I.N.E.A.C. Série scient. n° 62 - 1954
- J.J. DUPLAY Les terres rouges du plateau des Bolovens.  
Saïgon - 1929
- H. EHRART Sur les phénomènes d'altération pédogénétiques des roches silicatées aluminées en Malaisie britannique et à Sumatra.  
C.R.Ac. Sc. Paris - Mai 1954  
La genèse des sols en tant que phénomène géologique.  
Paris (Masson) - 1956
- P. GOUROU L'utilisation du sol en Indochine française.  
Paris (Hartmann) - 1940
- J.B. HARRISON The Katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions.  
Imp. Bur. Soil Sc. (Harpenden) 1934.
- Y. HENRY Terres rouges et terres noires basaltiques d'Indochine.  
I.D.E.O. (Hanoi) - 1931
- A. LACROIX Contribution à la connaissance de la composition chimique et minéralogique des roches éruptives de l'Indochine.  
Bull. Serv. Géol. Ind. (XX-3) Hanoi - 1933
- H. LAUDELOUT et J. MEYER Les cycles d'éléments minéraux et de matière organique en forêt équatoriale congolaise.  
C.R. 4e Congrès Int. Sol. 1950
- N. LENEUF L'altération des Granites calco-alcalins et des Granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés.  
O.R.S.T.O.M. Paris - 1959

- R. MAIGNIEN Le cuirassement des sols en Guinée.  
Mémoires Serv. Cart. Géol. Alsace Lor. - 1958 n° 16
- E.C.J. MOHR et F.A.VAN BAREN Tropical soils.  
The Hague - 1954.
- F. MOORMANN Note sur la prospection de deux sites dans la province de Phuoc Long.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1958.  
Report on reconnaissance mission in the Pleiku - Kontum area.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1958  
Sur la mission de reconnaissance des régions de M'Drak et de Cung Son.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1958  
Sur les régions de développement agricole au Viet-Nam hors du Delta du Mékong.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1959  
Sur le gisement de calcaire du Chu Tsé.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1960  
Les formations latéritiques au Viet-Nam.  
Dir. Rech. Agr. (Saïgon) - 1961  
Note explicative de la carte générale des sols du Viet-Nam (carte au 1/1 000 000).  
Secrétariat d'Etat à l'Agric. (Saïgon) - 1961-62
- F. RINNE La science des roches.  
Paris (Lamarre) - 1949
- E. SAURIN Etudes géologiques sur l'Indochine du Sud-Est.  
Bull. Serv. Géol. Ind. (XXII-1), Hanoi - 1935.
- M. SCHMID, P. de LA SOUCHERE, D. GODARD Les sols et la végétation au Darlac et sur le plateau des Trois Frontières (cartes au 1/50 000 de la région de Ban Me Thuot).  
Arch. Rech. Agr. (Saïgon) - 1951-55
- P. SEGALEN Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar.  
Mém. Inst. Scient. Mad. série D - VIII - 1957.
- S. SINGH A study of the black cotton soils with special reference to their coloration.  
The Journ. nat. of Soil Sc. 5 - 2 (1954)
- B. TKATCHENKO Etude agrologique préliminaire des sols des régions Moïs (Nui Bara, Bu Nard, Bu Coh, Phu Rieng, Bu Dop).  
C.R. Inst. Rech. Agr. et For. Ind. 1935.  
Sols de la plantation Pothin (région de Blao).  
Inst. Rech. Agr. (Saïgon) - 1935 (inédit)  
Remarques sur les processus de latéritisation des terres grises.  
Bull. Ec. Indochine - 1936 - pp. 167-182  
Prospection agrologique du Mont Brah Yang.  
B.E.I. - 1937 - pp. 713-22  
Contribution à l'étude pédologique de quelques sols dacitiques du Haut-Donnai  
B.E.I. - 1941 - pp. 25-52  
Cendres de Bambous comme engrais potassique  
B.E.I. - 1941
- NGUYEN CONG VIEN Contribution à l'étude biologique des taches stériles en terre rouge.  
Arch. Rech. Agr. (Saïgon) - 1953.