

PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL  
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE  
(I. N. É. A. C.)

---

# Introduction à l'Étude Minéralogique des Sols du Congo Belge

PAR

**L. DE LEENHEER**

*Docteur en Sciences,  
Professeur ordinaire à l'Institut Agronomique de Gand.*

---

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 25

1944

---

---

PRIX : 15 fr.

---

INSTITUT NATIONAL POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE

I. N. É. A. C.

(A. R. du 22-12-33 et du 21-12-39).

L'INÉAC, créé pour promouvoir le développement scientifique de l'agriculture au Congo belge, exerce les attributions suivantes :

1. Administration de Stations de recherches dont la gestion lui est confiée par le Ministère des Colonies.
2. Organisation de missions d'études agronomiques et formation d'experts et de spécialistes.
3. Études, recherches, expérimentation, et, en général, tous travaux quelconques se rapportant à son objet.

**Administration :**

**A. COMMISSION :**

*Président :*

Le L<sup>r</sup> G<sup>r</sup> TILKENS, A., Chef de la Maison Militaire du Roi. Gouverneur Général Honoraire du Congo Belge.

*Vice-Président :*

M. CLAESSENS, J., Directeur Général Honoraire du Service de l'Agriculture au Ministère des Colonies.

*Membres :*

- MM. ANTOINE, V., Professeur à l'Institut Agronomique de l'Université de Louvain ;  
ASSELBERGHS, E., Membre de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique ;  
BAEYENS, J., Professeur à l'Université de Louvain ;  
BOUILLENNE, R., Professeur à l'Université de Liège ;  
BURGEON, L., Membre du Comité de Direction de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo Belge ;  
CASTILLE, A., Professeur à l'Université de Louvain ;  
DELEVOY, G., Membre de l'Institut Royal Colonial Belge ;  
DE WILDEMAN, É., Professeur à l'Université Coloniale ;  
FALLON (Baron F.), Directeur Honoraire au Ministère des Colonies ;  
GÉRARD, P., Professeur à l'Université de Bruxelles ;  
GEURDEN, L., Professeur à l'École de Médecine Vétérinaire de l'État, à Gand ;  
GOVAERT, R., Chargé de Cours à l'Institut Agronomique de l'État, à Gand ;  
HAUMAN, L., Professeur à l'Université de Bruxelles ;  
† JAUMOTTE, J., Directeur de l'Institut Royal Météorologique d'Uccle ;  
LATHOUWERS, V., Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux ;  
LEYNEN, V., Directeur au Comité Spécial du Katanga ;  
LOUIS, J., Ancien Chef de la Section des Recherches Scientifiques à l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge, Assistant à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux ;  
LOUWERS, O., Membre du Conseil Colonial ;  
MARCHAL, É., Professeur à l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux ;  
MULLIE, G., Vice-Président du Sénat, Membre du Conseil d'Administration du Fonds National de la Recherche Scientifique ;  
OPSOMER, J., Professeur à l'Institut Agronomique de Louvain ;  
ROBYNS, W., Membre de l'Académie Royale Flamande des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique ;  
RODHAIN, J., Directeur de l'Institut de Médecine Tropicale « Prince Léopold », à Anvers ;  
VAN DEN ABBEELE, M., Directeur Général de l'Agriculture, Élevage et Colonisation au Ministère des Colonies ;  
VAN GOIDSENHOVEN, C., Recteur de l'École de Médecine Vétérinaire de l'État, à Cureghem ;  
VAN OYE, P., Professeur à l'Université de Gand ;  
VAN STRAELEN, V., Directeur du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique.



PUBLICATIONS DE L'INSTITUT NATIONAL  
POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO BELGE  
(I. N. É. A. C.)

---

---

Introduction  
à l'Étude Minéralogique  
des Sols du Congo Belge

PAR

**L. DE LEENHEER**

*Docteur en Sciences,  
Professeur ordinaire à l'Institut Agronomique de Gand.*

---

SÉRIE SCIENTIFIQUE N° 25

1944

---

---

PRIX : 15 fr.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	3
PREMIÈRE PARTIE : LA RÉSERVE MINÉRALE DU SOL. ....	4
1. Importance de l'étude de la réserve minérale du sol .....	4
2. Rôle de l'examen minéralogique dans une prospection pé- dologique .....	6
3. La méthode EDELMAN et son application à quelques sols du Congo .....	8
4. Étude minéralogique détaillée de la fraction sableuse .....	11
5. Conclusions .....	15
DEUXIÈME PARTIE : QUELQUES ASPECTS SCIENTIFIQUES DE L'ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES SOLS. ....	18
1. Utilité d'un examen minéralogique pour l'étude de l'alté- ration des sols .....	18
2. Contribution à l'étude du vieillissement et de la latérisation des sols .....	20
3. Examen minéralogique de la fraction argileuse de quelques sols du Bas-Congo .....	26
A. Généralités et méthodes d'analyses .....	26
B. Application à quelques sols du Bas-Congo .....	32
C. Quelques considérations finales.....	39
SAMENVATTING .....	42
BIBLIOGRAPHIE .....	43

---

# INTRODUCTION A L'ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES SÔLS DU CONGO BELGE

---

## AVANT-PROPOS.

Les notes que nous présentons sous ce titre constituent une étude préliminaire dont le but est double. Nous tenons d'abord à attirer l'attention sur l'intérêt de l'examen minéralogique dans l'évaluation de la réserve minérale des sols. Cet intérêt s'accroît lorsque, comme c'est le cas au Congo, la recherche des terres à vocation agricole peut s'effectuer sur une très large échelle. L'étude minéralogique constitue alors un adjuvant utile aux méthodes classiques de la prospection agrologique.

Nous sommes très loin de croire, comme nous le montrerons au cours de ces pages, que l'examen minéralogique d'un sol puisse se substituer à l'étude pédologique pour fournir une base suffisante d'évaluation de la fertilité native des terres, mais nous croyons qu'en bien des cas, nos méthodes de travail permettront de compléter les données habituelles de l'examen agrologique.

Notre exposé vise encore à mettre en lumière l'intérêt de ces recherches minéralogiques pour la solution de nombreux problèmes que soulève l'étude scientifique des sols.

Les essais que nous relatons dans le présent mémoire ont été effectués, soit à l'Institut minéralogique de l'Université de Gand, soit à l'occasion de divers séjours à l'étranger, notamment en Allemagne, en France, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas.

Nous nous devons d'exprimer notre reconnaissance au Professeur BAEYENS, dont les remarquables études sur les sols du Congo constituent le point de départ de nos propres recherches ; notre distingué Collègue a bien voulu mettre à notre disposition un grand nombre d'échantillons de terres, dont certains ont servi à élaborer son ouvrage sur les sols du Bas-Congo, nous permettant ainsi de procéder à d'intéressantes comparaisons.

---

## PREMIÈRE PARTIE.

### LA RESERVE MINÉRALE DU SOL.

#### 1. — IMPORTANCE DE L'ÉTUDE DE LA RÉSERVE MINÉRALE DU SOL.

La valeur agricole d'un sol est déterminée couramment suivant la technique de VAGELER et ALTEN, mise au point vers 1933 au Laboratoire du Syndicat de la Potasse à Berlin-Lichterfelde, et appelée pour cela Méthode de Lichterfelde (voir ALTEN, 1933).

Cette méthode de Lichterfelde a été appliquée, avec de légères modifications, par BAEYENS dans sa remarquable étude sur les sols de l'Afrique Centrale (1938). Dans cette étude, il est tenu compte des facteurs de croissance d'ordre pédologique proprement dit ; ces facteurs sont :

- 1) *mécaniques* : composition physique et structure du sol ;
- 2) *hydrauliques* : l'eau du sol sous ses différentes formes ;
- 3) *chimiques et colloïdaux* : les éléments nutritifs, la réaction et le degré de saturation du sol ;
- 4) *biologiques* : la matière organique, la microflore et la microfaune du sol.

Les résultats ainsi acquis donnent une image généralement assez satisfaisante de la fertilité agricole des sols, mais qui demeure néanmoins incomplète. En effet, tous ces facteurs pédologiques sont des agents qui permettent ou favorisent l'assimilation des éléments nutritifs par la végétation. Mais ceci suppose la présence d'éléments nutritifs en quantité suffisante. En effet « Nemo dat quod non habet ». La détermination des cations échangeables et de la saturation du complexe sorbant (1) nous renseigne bien sur les éléments nutritifs disponibles au moment de l'examen du sol, mais ne nous fournit aucun renseignement sur la durabilité de la fertilité actuelle. Ce fait est d'ailleurs reconnu par BAYENS (1938) qui parle, dans ce sens, de

---

(1) *sorbant* : Il est préférable d'employer le mot sorption, au lieu d'adsorption. On sait, en effet, que l'échange de cations se fait non seulement à la surface externe, mais aussi à la surface interne de quelques colloïdes, notamment de l'humus et de la montmorillonite.

« terrains trompeurs ». La connaissance de la durabilité de la fertilité d'un sol, ou fertilité latente, implique l'étude de sa réserve minérale.

Par réserve minérale, nous entendons la « réserve en minéraux altérables, riches en éléments biogènes », au sens de VAGELER (1938) et MOHR (1933). La « réserve » d'un sol est parfois prise par d'autres pédologues, dans un sens quelque peu différent ; c'est ainsi que BAYENS (1938) p. 75, estime que « Réserve et fixation des matières nutritives » dans les sols, sont des notions plus ou moins corrélatives... Aux » stades prononcés d'insaturation, état général des sols du Bas-Congo, » la fixation des matières nutritives du complexe adsorbant est très » intense. Les sols du Bas-Congo, à complexe adsorbant élevé, » présentent le phénomène curieux d'avoir en même temps une teneur » faible absolue, et une réserve relativement grande en matières » nutritives... à cause du degré élevé d'adhérence de celles-ci au com- » plexe adsorbant ».

Parmi les minéraux non-altérés qui constituent la réserve minérale du sol, les plus importants sont des silicates. Ce sont les feldspaths (surtout les feldspaths potassiques), la leucite, les micas, les pyroxènes, les amphiboles et l'olivine.

Le seul minéral important à notre point de vue, qui n'appartienne pas à la catégorie des silicates, est l'apatite, dont l'altération est si aisée qu'il devient très exceptionnel d'en retrouver des traces reconnaissables. On trouvera le plus souvent l'apatite sous forme d'inclusion dans d'autres minéraux. Elle fournira alors au sol de l'acide phosphorique dans la mesure où ces minéraux sont eux-mêmes altérables.

Plus le nombre d'espèces minérales est grand, en d'autres termes, plus l'association minéralogique est variée, plus grande paraît être la fertilité du sol.

Dans les pays à climat humide, les feldspaths paraissent être moins importants pour la fertilité que les minéraux du groupe des micas, des amphiboles et des pyroxènes ; dans les pays à climat aride, la fertilité semble être déterminée par l'abondance des feldspaths dans la fraction sableuse du sol. Ceci pourrait s'expliquer par l'altération différente des minéraux et, pour une même espèce minérale, par l'influence prédominante du degré d'acidité du milieu ambiant. (COFFEY, 1912).

On peut admettre, en général, que les minéraux les plus riches en silice (les minéraux clairs comme les feldspaths) s'altèrent plus lentement que les minéraux pauvres en silice (les minéraux foncés).

Parmi les minéraux clairs, le quartz est pratiquement inaltérable ; dans le groupe des feldspaths, l'orthose s'altère beaucoup plus difficile-



ment que les plagioclases, et ces derniers d'autant plus vite qu'ils sont plus riches en calcium

Parmi les micas, les muscovites s'altèrent moins vite que les biotites, de sorte que ces dernières, qui contiennent en moyenne 6 à 9% de potasse, constituent une réserve en potasse plus accessible mais plus rapidement épuisée que les muscovites, dont la teneur en potasse est de 8 à 11%.

Les minéraux suivants forment une série à altérabilité croissante : hornblende, augite, hypersthène, olivine.

Quand on se trouve en présence d'un sol riche en minéraux facilement altérables, l'altération dans les régions tropicales et subtropicales mettra plus de bases en liberté que la lixiviation n'en pourra enlever du sol ; si, par contre, la réserve minérale est constituée de minéraux difficilement altérables, l'altération demeurera insuffisante à compenser la perte de bases par lixiviation.

Un sol du premier type, ne sera jamais un « terrain trompeur », c'est-à-dire à fertilité superficielle et temporaire.

L'importance de l'étude minéralogique pour reconnaître les terrains trompeurs est soulignée par EDELMAN et VAN BEERS (1939), qui écrivent : « The tracing and identifying of the « Misleading soils » is » one of the principal tasks of soil science in those areas where land » is still available and it must be considered as the principal contribution of the mineralogical soil-work, on land that is still to be cleared ».

L'examen minéralogique de la fraction sableuse d'un sol tropical, dans le but d'estimer sa réserve en minéraux altérables, doit donc être double ; il faut :

1° déterminer le degré d'altération, afin d'évaluer l'importance de la réserve minérale ;

2° identifier les minéraux constituant la réserve, afin d'estimer la facilité avec laquelle les éléments nutritifs pourraient être fournis à la végétation.

## **2. — ROLE DE L'EXAMEN MINÉRALOGIQUE DANS UNE PROSPECTION PÉDOLOGIQUE.**

L'examen minéralogique concomitant à une prospection pédologique est susceptible de nous renseigner sur la teneur et la nature de la réserve minérale. L'étude de la fraction sableuse du sol pourra donc suffire à ce point de vue.

Comme il s'agit d'étudier de vastes régions peu explorées, le choix

s'impose d'une méthode rapide, bien appropriée au travail sur place et en série. La méthode EDELMAN répond bien à ces desiderata.

Il sera nécessaire, au cours de cet examen minéralogique, tout comme dans la prospection pédologique elle-même, de distinguer une phase d'orientation et une phase de prospection complémentaire. On s'adressera toujours pour l'analyse minéralogique, à une fraction des échantillons recueillis pour l'étude pédologique proprement dite. Ceci permettra de suivre l'influence de la composition minéralogique et du degré d'altération sur le comportement physique et chimique du sol.

La prospection pédologique préliminaire nous permettra rapidement, par l'étude des profils, d'identifier, en première approximation, les sols autochtones et les sols allochtones. On admet généralement qu'un profil est autochtone, lorsqu'il est constitué par un sol formé par la désagrégation sur place de la roche mère qu'il recouvre. Ceci est une indication très utile pour le minéralogiste : dans la prospection minéralogique préliminaire et pour un profil autochtone, il pourra souvent se contenter d'examiner un seul échantillon provenant de la couche superficielle. En effet, les couches profondes d'un profil autochtone sont plus riches en minéraux non-altérés que les couches superficielles.

Un sol autochtone qui ne présente, en surface, qu'une faible réserve minérale mérite d'être examiné en profondeur, pour vérifier dans quelle mesure se produit l'augmentation de la réserve minérale. Un accroissement lent ou rapide dépend surtout de l'intensité de l'altération, qui est fonction du pédo-climat et de la nature des minéraux.

S'il s'agit d'un profil allochtone, un seul échantillon peut suffire dans le cas d'un profil d'alluvion homogène ; il faudra plusieurs échantillons, si l'on a affaire à un profil d'alluvion hétérogène : plusieurs couches alluvionnaires reposant sur une couche autochtone. L'épaisseur des couches à examiner guidera également le choix des échantillons à prélever.

En tout cas, la prospection minéralogique préliminaire nous fera connaître les sols à réserve élevée en minéraux non-altérés et ceux à réserve faible ou nulle.

Les premiers ne seront jamais « terrains trompeurs » ; ce seront les terrains les plus fertiles, si l'altération chimique des minéraux est assez importante et si les autres facteurs de croissance n'empêchent pas l'assimilation par la végétation des éléments nutritifs présents dans le sol. Les terrains sans réserve appréciable en minéraux non-altérés pourront être « trompeurs », si les autres facteurs de croissance sont favorables.

Marchant de pair avec le pédologue, le minéralogiste-prospecteur

entreprendra le profilage complémentaire, pour évaluer l'étendue des bons et des mauvais terrains.

### 3. — LA MÉTHODE EDELMAN ET SON APPLICATION A QUELQUES SOLS DU CONGO.

La méthode EDELMAN (1931) étudie la fraction sableuse supérieure à  $50 \mu$ , après un traitement préalable à l'eau oxygénée pour détruire les matières organiques et aux acides chlorhydrique et nitrique concentrés pour enlever les carbonates et l'hydroxyde ferrique.

Comme la présente étude poursuit un but pédologique et non pétrologique, le traitement à l'acide concentré n'a pas été appliqué, afin de ne pas attaquer les feldspaths, les micas et les autres minéraux sensibles à ces acides forts.

La fraction sableuse est alors divisée en une fraction légère et une fraction lourde, au moyen de bromoforme d'une densité 2,9. Une préparation de chaque fraction est examinée au microscope, afin d'y identifier 100 minéraux caractéristiques. Ainsi détermine-t-on d'abord pour la fraction lourde, un total de 100 grains, comprenant, par exemple, 80 grains opaques et seulement 20 grains transparents, ce qui donne le pourcentage de grains opaques. Ensuite, tout en négligeant les minéraux opaques, qui sont ici les minéraux non-caractéristiques, on continue le triage jusqu'à détermination de 100 grains transparents. On connaîtra ainsi le pourcentage des grains transparents ou minéraux caractéristiques de la fraction lourde. L'association minéralogique de la fraction lourde est dès lors déterminée quantitativement ; ces données sont surtout importantes pour l'étude pétrologique de sédiments et de sols allochtones. La fraction légère est étudiée de la même façon ; le quartz joue ici le rôle de minéral non-caractéristique.

Nous avons appliqué cette méthode, dans un but d'orientation, à un certain nombre d'échantillons de sols du Congo, que notre Collègue, le Professeur BAEYENS, a aimablement mis à notre disposition. Nous avons conservé la numérotation originale de ces échantillons.

Les déterminations microscopiques ont été faites sur la partie de la fraction sableuse dont les grains ont un diamètre compris entre 100 et  $500 \mu$ . Cette partie du sol formait en moyenne, 29 % du sol entier, comme le montre le tableau I :

TABLEAU I.

N° des échantillons	Diamètre des grains			
	> 500 $\mu$	100-500 $\mu$	50-100 $\mu$	Total > 50 $\mu$
11	2,1 %	32,6 %	12,0 %	46,7 %
12	1,6 %	29,4 %	12,1 %	43,1 %
13	1,6 %	29,3 %	11,6 %	42,5 %
14	2,6 %	31,8 %	8,8 %	43,2 %
16	4,9 %	23,4 %	9,7 %	38,0 %
17	0,4 %	12,2 %	18,1 %	30,7 %
19	7,0 %	26,9 %	5,9 %	39,8 %
22	4,9 %	43,7 %	9,8 %	58,4 %
23	5,6 %	29,7 %	19,3 %	54,6 %

Voici les résultats de l'examen minéralogique d'après la méthode EDELMAN :

a) *La fraction lourde :*

1<sup>o</sup>. Les sols 11, 12 et 13 appartiennent à un même type, où les minéraux métamorphiques : staurolite, disthène et tourmaline, dominent à côté de grandes quantités de zircon ; le rutile est d'importance secondaire. En moyenne, la fraction lourde, qui ne constitue qu'une partie minime de la fraction sableuse, se compose pour 4/5 de minéraux opaques.

La réserve minérale de la fraction lourde est nulle.

2<sup>o</sup>. Sol 14. — Ici également la fraction lourde est constituée pour 4/5 de minéraux opaques, comprenant la magnétite et l'ilménite. La réserve du sol dans la fraction lourde est formée de biotite et d'amphibole. Cette réserve est extrêmement petite, étant donnée la faible teneur de la fraction sableuse en minéraux lourds.

3<sup>o</sup>. Les sols 16 et 17 sont caractérisés par une faible teneur en minéraux opaques dans la fraction lourde. L'association amphibole vertépidote domine. La fraction lourde représente une portion notable de la fraction sableuse du sol 17, tandis qu'elle n'en constitue qu'une faible partie pour le sol 16. Il en résulte que la réserve en bases, dans cette fraction lourde, est bonne pour l'échantillon 17 et faible pour l'échantillon 16.

4<sup>o</sup>. La fraction lourde du sol 19, qui est d'ailleurs très peu importante, possède une association toute différente. Elle comprend 30 % de minéraux transparents qui sont presque tous des grains de zircon.

5<sup>o</sup>. Les sols 22 et 23 possèdent des fractions lourdes semblables ;

environ le quart des grains sont transparents et présentent les mêmes minéraux, mais dans le sol 23, les micas dominent, alors que dans le sol 22 ce sont les amphiboles qui ont la priorité.

La réserve minérale du sol 23 est meilleure que celle du sol 22.

Voici les résultats détaillés des déterminations minéralogiques relatives à cette fraction (tableau II) :

TABEAU II.

N° des échantillons.	11	12	13	14	16	17	19	22	23
Minéraux opaques.	80%	77%	77%	78%	12%	4%	70%	72%	75%
Le restant présente la composition suivante, exprimée en % :									
Staurolite	27	21	22	—	—	—	—	—	—
Zircon	22	24	27	12	3	—	84	21	22
Tourmaline	29	18	25	5	3	—	—	—	—
Disthène	20	29	22	—	—	—	—	—	—
Rutile	2	8	4	4	1	—	11	8	9
Epidote	—	—	—	35	21	8	—	24	8
Amphibole	—	—	—	20	66	92	—	41	17
Biotite	—	—	—	19	3	—	—	2	17
Muscovite	—	—	—	5	2	—	4	3	27
Grenat	—	—	—	—	1	—	—	1	—
Enstatite	—	—	—	—	—	—	1	—	—

b) *La fraction légère :*

La séparation en une fraction lourde et une fraction légère a été faite avec du bromoforme de densité 2,9, ce qui explique la présence de mica dans les deux fractions.

Comme cette étude a été faite dans un but pédologique, nous n'avons pas fait de distinction entre feldspath orthose et microcline. Les sols 11, 12 et 13 sont constitués exclusivement de quartz ; le sol 19 ne contient pratiquement que du quartz. Ce minéral forme aussi la majeure partie des sols 14, 16 et 22 ; dans le sol 23, sa teneur diminue fortement ; le sol 17 a une teneur en quartz presque négligeable.

Les grains de quartz du sol 19 sont riches en inclusions de zircons idiomorphes. Dans le même sol, les grains d'orthose sont généralement rosâtres.

Dans tous les échantillons, la teneur en muscovite est nulle ou très faible ; la teneur en biotite, est, au contraire, toujours importante, sauf dans les sols uniquement constitués de quartz (les échantillons 11, 12, 13 et 19).

Les résultats des déterminations microscopiques sont exposés dans le tableau III.

TABLEAU III.

N° des échantillons	11	12	13	14	16	17	19	22	23
Quartz	100	100	100	85	83	6	95	72	47
Le restant présente la composition suivante :									
Orthose et microcline	—	—	—	33	23	3	84	62	15
Biotite	—	—	—	40	51	92	5	30	70
Muscovite	—	—	—	26	12	3	11	8	14
Plagioclase	—	—	—	—	—	2	—	—	—
Amphibole	—	—	—	—	10	—	—	—	—
Opaque	—	—	—	1	4	—	—	—	1

*Conclusions* : L'absence complète de minéraux altérables dans les sols 11, 12 et 13, fait que ces sols n'ont aucune réserve minérale ; le sol 19 ne contient qu'une réserve extrêmement petite, constituée presque exclusivement d'orthose.

Comme exemple d'un sol jeune avec réserve énorme, il faut signaler le sol 17, ne contenant pratiquement que de la biotite et de l'amphibole.

Le sol 23 est également riche en réserve, mais dans un degré moindre que le sol 17.

*Cette étude nous permet de faire un premier choix et d'établir une classification provisoire dans les échantillons, en les partageant en sols à réserve minérale nulle, faible, notable et élevée.*

Nous trouvons comme sols à réserve minérale nulle : sols 11, 12 et 13.

sols à réserve faible : le sol 19.

sols à réserve notable : les sols 14, 16 et 22.

sols à réserve élevée : les sols 17 et 23.

#### 4. — ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRACTION SABLEUSE.

*Cette étude plus détaillée, a eu pour but de contrôler les résultats de la méthode EDELMAN et de vérifier son application à l'étude de sols tropicaux.* Nous n'avons plus examiné les sols 11, 12 et 13, dépourvus de toute réserve minérale.

Pour effectuer l'analyse minéralogique quantitative des autres sols, nous sommes partis de la fraction sableuse à éléments de diamètre

supérieur à 50  $\mu$ . Cette fraction sableuse a d'abord été répartie en sous-fractions de densités différentes.

A cet effet, nous avons fait usage de bromoforme, dilué à l'alcool, pour obtenir les densités de 2,63 et 2,67, ou de la liqueur de THOULET, diluée à l'eau, pour obtenir la densité de 3,03.

La densité 2,63 fut choisie pour permettre la séparation des feldspaths potassiques et du quartz ; la densité 2,67, pour séparer le quartz des plagioclases basiques et des micas ; la densité 3,03, pour séparer les micas plus ou moins altérés, des amphiboles, tourmalines et autres minéraux lourds. Comme tous les grains ont un diamètre supérieur à 50  $\mu$ , il n'est pas nécessaire de faire usage de la centrifugeuse, les séparations pouvant être faites dans des entonnoirs à robinet et à angle aigu (entonnoirs EDELMAN).

Les résultats des séparations d'après la densité, sont exprimés en % de la fraction sableuse à diamètre supérieur à 50  $\mu$  et figurent dans le tableau IV.

TABLEAU IV.

Densité	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
< 2,63	8,24%	8,78%	18,79%	24,04%	14,31%	16,07%
> 2,63	84,18%	85,24%	47,46%	73,49%	82,84%	69,97%
< 2,67						
> 2,67	4,02%	2,99%	15,42%	0,79%	1,94%	13,52%
< 3,03						
> 3,03	3,56%	2,99%	18,33%	1,68%	0,91%	0,44%

Les sous-fractions ainsi isolées ne se composent évidemment pas d'une seule espèce minéralogique ; un même minéral peut, en effet, présenter des densités différentes selon son état d'altération ; des minéraux différents peuvent avoir une densité identique ou très voisine. C'est pourquoi, chacune de ces sous-fractions doit faire l'objet d'un examen au microscope, comportant la détermination de 100 grains.

#### EXAMEN MICROSCOPIQUE DES FRACTIONS SÉPARÉES.

##### 1<sup>o</sup>. *Sous-fraction de densité inférieure à 2,63.*

Le sol 22 est très riche en orthose et microcline, tandis, qu'au contraire, le sol 17, qui se compose presque exclusivement de biotite, n'en contient presque pas.

Les autres sols, exception faite du sol 19, contiennent beaucoup de biotite à côté de feldspath potassique ; ce dernier est souvent la variété microcline ; cette variété domine dans le sol 23.

La biotite est évidemment altérée, la densité du minéral le prouve suffisamment. Le plus souvent les biotites sont jaunes et d'aspect poussiéreux, les indices de réfraction sont toujours plus grands que 1,606 et plus petits que 1,634. D'après l'indice de réfraction, l'altération n'est pas encore très avancée, malgré le fait que les lamelles les plus décolorées réagissent déjà comme des corps isotropes. Les résultats des déterminations microscopiques font l'objet du tableau V.

TABLEAU V.

	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Orthose et microcline	61	39	3	6	88	44
Biotite	20	44	95	—	4	52
Muscovite	3	2	—	—	—	—
Leucite	2	—	—	—	—	—
Quartz	11	7	2	94	8	4
Opaque	3	8	—	—	—	—

D'après l'examen microscopique, la sous-fraction à densité inférieure à 2,63 du sol 19, est composée essentiellement de quartz.

Ce résultat, étonnant à première vue, nous a incité à vérifier l'exactitude de cette séparation, en la recommençant avec un liquide fraîchement préparé, ce qui n'a fait que confirmer nos premiers résultats. Tout le quartz isolé a donc bien une densité légèrement inférieure à 2,63.

Ce quartz, examiné au microscope, ne présente aucune particularité. Ceci constitue donc une exception à la règle générale, d'après laquelle le quartz microscopiquement pur a toujours une densité de 2,65.

2°. *Sous-fraction de densité 2,63 à 2,67.*

Le tableau VI fournit les résultats numériques de l'examen microscopique.

TABLEAU VI.

	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Quartz	76	73	8	100	88	76
Orthose et microcline	13	2	—	—	3	1
Biotite	10	22	73	—	9	23
Muscovite	1	3	1	—	—	—
Plagioclase	—	—	18	—	—	—



3°. *Sous-fraction de densité 2,67 à 3,03.*

Les résultats des déterminations microscopiques sont réunis dans le tableau VII.

TABIEAU VII.

	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Biotite	13	35	21	9	43	62
Muscovite	71	50	—	65	27	32
Quartz	12	5	18	9	25	6
Orthose	—	3	—	1	—	—
Amphibole	—	6	4	3	2	—
Opaque	4	1	57	13	3	—

Remarquons que le sol 17 est très riche en minéraux opaques, ce qui s'explique par sa grande teneur en sesquioxydes libres, au point que beaucoup de grains restaient couverts d'une couche d'hydroxyde de fer.

Par ébullition de la sous-fraction dans l'acide chlorhydrique concentré, tous les grains opaques deviennent transparents ; ce sont des amphiboles.

4°. *Sous-fraction de densité supérieure à 3,03.*

Cette sous-fraction n'a plus été examinée. La composition doit être la même que celle de la fraction lourde d'après EDELMAN, mais sans micas peu altérés.

\* \* \*

Les données de ces divers tableaux permettent d'établir la composition quantitative de la fraction sableuse de diamètre supérieur à 50  $\mu$ .

Les résultats trouvés ne sont pas des pourcentages en poids, mais une combinaison de « poids, fréquence et grandeur ».

La plus grande déviation sera due aux micas, à cause de leur forme : ce sont des paillettes à surface relativement grande, mais d'un poids bien inférieur à celui d'un grain de même grandeur et de même densité.

Le tableau VIII donne les résultats synthétiques de la composition minéralogique de cette fraction sableuse.

TABLEAU VIII.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION  
SABLEUSE DE DIAMÈTRE SUPÉRIEUR A 50  $\mu$ .

Sol	11	12	13	14	16	17	19	22	23
Quartz	100	100	100	65,39	62,98	6,95	96,10	74,53	54,63
Orthose et microcline				15,88	5,21	0,65	2,17	15,08	7,77
Biotite altérée				10,07	22,61	52,39	—	8,03	24,46
Biot. peu ou pas altérée (1)				0,52	1,05	3,24	0,01	0,83	8,38
Muscovite				4,04	4,23	0,47	0,51	0,52	4,50
Amphibole				0,20	1,88	24,58	—	0,14	0,03
Plagioclase						8,54			
Opaque				3,15	1,19	0,75	1,66	0,14	0,04
Total	100	100	100	99,25	99,15	97,57	100,45	99,27	99,81

5. — CONCLUSIONS.

Ces données calculées peuvent être utilement comparées aux résultats fournis par la méthode EDELMAN. A cet effet, exprimons l'association minéralogique de la fraction légère (tableau III), en % (minéraux caractéristiques et non-caractéristiques ensemble). Nous aboutissons à la présentation suivante (tableau IX) :

TABLEAU IX.

	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Quartz	85	83	6	95	72	47
Orthose	5	4	3	4	18	8
Biotite	6	9	86	—	8	37
Muscovite	4	2	3	1	2	8
Amphibole	—	2				
Plagioclase	—	—	2	—	—	

On voit que la concordance avec le tableau VIII est suffisante pour pouvoir en déduire que *la méthode EDELMAN se prête très bien à l'examen d'un très grand nombre de sols et permettra une classification qualitative, en terrains à réserve minérale nulle, faible, notable et élevée.*

(1) Nous considérons les biotites de densité supérieure à 2,67 comme peu ou pas altérées, celles de densité inférieure à 2,67 comme altérées.

D'autre part, il est certain que des différences entre les résultats d'une analyse minéralogique rapide d'après EDELMAN, et ceux d'une analyse quantitative sont inévitables. En voici quelques raisons :

1) Dans le cas qui nous occupe, la méthode EDELMAN a été appliquée à des grains de 100 à 500  $\mu$ , l'analyse quantitative fut faite sur toute la fraction supérieure à 50  $\mu$ .

2) La teneur en quartz dans la méthode EDELMAN est obtenue en déterminant un total de 100 grains caractéristiques et non-caractéristiques. Ce nombre est trop petit et devrait être 3 ou 4 fois plus grand.

3) Les séparations en fractions légère et lourde peuvent être incomplètes.

4) Les résultats acquis par la méthode EDELMAN expriment des « fréquences » et non des pourcentages en poids.

Cette remarque revêt une grande importance si le sol est riche en micas.

5) Pour déduire le pourcentage de tous les minéraux dans le sol, il faudrait connaître le poids de la fraction lourde et celui de la fraction légère, et même tenir compte de l'influence du poids spécifique différent des minéraux.

Il s'en suit que la méthode EDELMAN peut donner des résultats différents pour deux sols ayant une même réserve minérale. Elle ne peut donc être considérée comme une méthode quantitative permettant une comparaison absolue de plusieurs sols.

Cette comparaison rigoureuse, au contraire, peut très bien se faire pour des échantillons ayant à peu près les mêmes rapports suivants :

1) fraction lourde : fraction légère et

2) minéraux non caractéristiques : minéraux caractéristiques.

Ces conditions existent souvent pour des sols de même origine et pour des échantillons d'un même profil de sol. La méthode sera donc très indiquée pour étudier des questions purement scientifiques, telles que l'altération et l'origine des sols.

Pour terminer cet aperçu sur la détermination de la réserve minérale, signalons quelques modifications qu'il serait souhaitable d'apporter à la méthode EDELMAN, pour l'appliquer à la prospection de sols tropicaux.

1<sup>o</sup>. La teneur en quartz ne pourra pas être déduite du rapport entre minéraux caractéristiques et non caractéristiques, déterminé sur un total de 100 grains. On ne pourra déduire cette teneur qu'après avoir déterminé un total de 300 à 400 grains.

2<sup>o</sup>. L'emploi d'acide fort, comme l'HCl, dans la préparation des échantillons est à rejeter, étant donné qu'on attaque certains minéraux

caractéristiques. Parmi ces derniers, les carbonates sont parfois importants.

D'autre part, les grains à examiner au microscope, peuvent être devenus opaques par suite de la présence d'une couche superficielle de sesquioxides hydratés.

Le seul procédé qui convient pour enlever cette couche des grains des minéraux, sans attaquer les minéraux eux-mêmes, est le procédé de TRUOG, qui consiste en un traitement au sulfure de sodium, suivi par un traitement à l'acide oxalique.

3°. Les entonnoirs utilisés pour la séparation en une fraction lourde et une fraction légère, offrent divers désavantages. Ces inconvénients sont éliminés avec les entonnoirs fermés de CORRENS (1941-42).

4°. Pour une étude pédologique, il serait préférable d'effectuer la séparation des minéraux avec une liqueur de densité 3,0 (liqueur de THOULET, diluée à l'eau). Ceci présenterait l'avantage de libérer la fraction lourde des micas, qui, avec une liqueur de densité 2,9, se trouveraient en partie dans la fraction légère et en partie dans la fraction lourde. Si l'on emploie la liqueur de THOULET, il faut cependant tenir compte du fait que la densité de ce liquide est influencée par la présence de sesquioxides. Cette liqueur ne peut donc s'employer que pour l'étude d'une fraction de sol, traitée au préalable par le procédé TRUOG.

5°. L'étude des associations minéralogiques se fait le plus souvent avec des préparations au baume de Canada ou à la Kollolithe et ne présente, en général, pas de grandes difficultés, sauf lorsque la fraction lourde contient de l'épidote et de l'olivine. Dans ce dernier cas, il est préférable de choisir la pipérine ( $n = 1,682$ ) comme milieu d'immersion (CORRENS, 1941-42).

La tourmaline, l'apatite, l'hornblende et l'andalousite ont des indices de réfraction inférieurs à celui de la pipérine ; les indices de l'olivine et de l'augite sont à peu près égaux à celui du milieu d'immersion, alors que ceux de l'épidote, de la zcïsite, du disthène et de la staurolite lui sont supérieurs.

Quant à la détermination de la fraction légère, nous croyons le plus commode d'utiliser comme liquide d'immersion, un mélange de 2 cc. de chlorbenzol et 5,25 cc. de nitrobenzol. Ce mélange a un indice de réfraction de 1,544, c'est-à-dire, la valeur  $\omega$  du quartz.

---

## DEUXIÈME PARTIE.

### *QUELQUES ASPECTS SCIENTIFIQUES DE L'ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES SOLS.*

L'étude minéralogique des sols est susceptible de fournir une contribution plus ou moins importante à la solution d'un certain nombre de problèmes proprement pédologiques. Mentionnons notamment, avec EDELMAN et VAN BEERS (1939), les principaux points suivants :

- a) L'étude minéralogique contribue à la classification des types de sols et à l'étude de leur répartition géographique ;
- b) Elle constitue un élément de grande importance pour la connaissance fondamentale de la genèse des divers types de sols ;
- c) Elle constitue un adjuvant précieux pour les investigations relatives au vieillissement des sols.

Dans ces études, il s'agira essentiellement de suivre les variations de l'association minéralogique, soit verticalement (étude des profils), soit horizontalement (étude de l'étendue des associations minéralogiques), soit verticalement et horizontalement.

A côté des études minéralogiques contribuant à la solution du problème « origine, formation et classification » des sols, l'examen minéralogique peut aussi rendre de très grands services dans l'étude de problèmes d'importance régionale, comme, par exemple, l'étude de l'influence d'une irrigation, la recherche de l'extension des dépôts volcaniques, etc...

Dans les pages qui suivent, nous donnerons quelques exemples de l'importance de l'étude minéralogique.

#### **1. — UTILITÉ D'UN EXAMEN MINÉRALOGIQUE POUR L'ÉTUDE DE L'ALTÉRATION DES SOLS.**

Les phénomènes d'altération des sols, s'étudient le plus utilement sur un profil juvénile, pour autant que celui-ci soit absolument autochtone.

On admet généralement qu'un profil est autochtone, lorsqu'il est constitué par les produits de la désagrégation sur place de la roche-mère qu'il recouvre.

La méconnaissance des termes précis de cette définition a entraîné parfois des conclusions contradictoires, en ce qui concerne l'influence de l'altération basée sur des différences de concentration en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , etc... dans les divers horizons manifestement non alluvionnaires. Cela tient, en bien des cas, au fait que le caractère autochtone du profil n'a pas été prouvé.

L'emplacement du profil étudié peut être tel qu'un rajeunissement par érosion, sédimentation ordinaire ou solifluction est impossible mais un profil peut connaître un rajeunissement éolien ou autre, que l'analyse minéralogique seule est capable de bien mettre en évidence,

Sous un pédo-climat comportant, par exemple, un mouvement, généralement descendant de l'eau, l'altération dans un profil autochtone sera de moins en moins prononcée vers la profondeur. L'analyse chimique mettra le fait parfaitement en évidence et l'étude minéralogique ne pourrait que le confirmer.

Il en va tout autrement s'il s'agit d'un sol rajeuni par sédimentation éolienne : dépôt de loess ou de cendres volcaniques, par exemple.

Dans un cas semblable, l'horizon superficiel présentera des teneurs en éléments chimiques divers (Ca, Mg, Fe, etc...) très différentes de celles que l'on trouvera dans les horizons inférieurs. Sans étude minéralogique préalable, des différences semblables ont parfois été interprétées comme résultant de phénomènes d'altération extraordinaire.

Il est logique que dans des régions volcaniques, ce rajeunissement éolien sera bien plus frappant que dans des régions non-volcaniques. Dans les zones de sédimentation de cendres volcaniques, qui se présentent parfois sur une surface ellipsoïdale énorme, étendue dans la direction dominante des vents autour d'un volcan, les cendres ont une association minéralogique caractéristique. L'examen pétrologique de la fraction lourde de ces dépôts, permet généralement de reconnaître l'origine de cette sédimentation éolienne, voire même de l'attribuer à un cône d'émission bien déterminé.

Il est bien plus difficile de prouver une « infection » d'un profil autochtone par des sédimentations éoliennes non-volcaniques. Dans certains cas favorables, cette détermination reste possible, lorsqu'il s'agit de dépôts dont l'association minéralogique est suffisamment variée, ainsi que l'a montré THOULET (1908 a et b ; 1910), à l'occasion d'une étude des poussières éoliennes.

« L'infection » d'un profil autochtone ne peut évidemment être mise en évidence que s'il s'agit d'une association minéralogique différente de celle de la roche-mère.

## 2. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU VIEILLISSEMENT ET DE LA LATÉRISATION DES SOLS.

Le nom de latérite a été employé initialement (BUCHANAN, 1807) pour désigner des formations superficielles à structure cellulaire, concrétionnée, d'une couleur rouge brique, se durcissant par exposition à l'air.

De nombreuses études ultérieures sur les latérites et les sols latéritiques n'ont pas abouti à un accord définitif sur leur nature et leur origine.

BÄUER (1898) avait attiré l'attention sur le point capital que l'altération latéritique doit fournir des quantités importantes d'alumine hydratée libre.

Dès lors, une croûte superficielle d'oxyde de fer plus ou moins hydraté ne peut être considérée comme latéritique, que pour autant qu'elle contient de l'alumine libre. C'est ainsi que beaucoup de concrétions superficielles de fer n'ont rien de commun avec les latérites, comme, par exemple, le minerai de fer des savanes.

Dans ses études sur les latérites de la Guinée, LACROIX (1913) souligne l'importance du profil latéritique, dont l'épaisseur peut atteindre des dizaines de mètres.

Dans un profil latéritique complet, on reconnaît de haut en bas, la croûte de fer, une zone tachetée ou zone de concrétions, une zone de départ (qui est une zone blanchie) et la roche-mère non décomposée.

Deux parties de ce profil peuvent renfermer de l'alumine hydratée libre, notamment la zone de concrétions (zone tachetée) et la zone de départ. Dans cette dernière, cependant, l'alumine hydratée libre peut faire défaut, la formation allitique étant souvent siallitique (kaolin).

D'après LACROIX (1913) et HARRASSOWITZ (1930), le degré de latérisation d'un sol est déterminé par sa teneur en hydrates de Fe et d'Al. Ainsi ils distinguent :

Dénomination	% hydrates de Al + Fe
latérite allitique	100 — 90%
latérite siallitique	90 — 50%
siallite latéritique	50 — 10%
siallite	< 10%

La détermination des hydrates de fer et d'aluminium offrant certaines difficultés, on a essayé de déduire le degré de latérisation des

résultats d'analyses chimiques, en représentant celui-ci par le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  ( $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Ce rapport, auquel on attachait par la suite une grande importance, fut employé pour la première fois par VAN BEMMELEN en 1904 et servit ensuite couramment dans la détermination du degré de latérisation.

HARRASSOWITZ (1926), convaincu de l'importance des observations de BAUER, souligna que le degré de latérisation doit être exprimé uniquement par le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  étant d'importance secondaire.

Le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  est appelé *ki* par cet auteur, et se calcule comme suit :

$$ki = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3} \times 1,7$$

Si *ki* < 2, on peut être certain, dit-il, qu'une certaine quantité d'alumine est présente sous une forme non combinée.

De la valeur de *ki* on déduit le degré de latérisation, d'après le principe : « the lower the value, the more lateritic the soil is » (JOFFE, 1936).

Le calcul de ce rapport présente cependant diverses difficultés, qui ont été mises en évidence par HARRASSOWITZ (1930) et JOFFE (1936).

L'étude de ce rapport *ki* a été très fructueuse, pour autant qu'il s'agissait de véritables latérites. Son usage, toutefois, suppose que la latérisation a effectivement débuté dans ce profil, et, à ce point de vue, l'examen minéralogique est susceptible de rendre de grands services.

Les conditions de la formation des latérites restent encore très discutées (voir ERHART, 1935). Pour les uns, la formation de latérites exige le milieu de la forêt ombrophile, sans saison sèche ; pour les autres, au contraire, l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide est une condition nécessaire à leur formation.

Ces différences d'interprétation sont souvent dues, comme nous l'avons vu, à la méconnaissance de la définition essentielle des latérites et notamment du fait que l'altération latéritique doit fournir des quantités importantes d'alumine hydratée libre.

Il importe également de conserver au mot « latérisation » son sens de « formation d'une vraie latérite ».

La latérisation d'un sol est la concentration des sesquioxydes à sa surface, concentration qui est le résultat du mouvement ascendant de l'eau. Aussi longtemps que cette concentration en surface n'a pas débuté, on ne peut parler de latérisation. Latérisation et altération allitique ne sont pas synonymes !



La latérisation ne peut avoir lieu que dans des conditions bien déterminées :

- 1) mouvement ascendant de l'eau dans le profil ;
- 2) mobilisation des sesquioxydes, qui sont ensuite fixés irréversiblement en surface.

Le problème qui reste le plus discuté est celui de la mobilisation des sesquioxydes.

La seule théorie admise sur les phénomènes d'altération, aussi bien siallitique, qu'allitique ou alferitique, était basée jusqu'à ces derniers temps, sur la formation d'hydroxydes colloïdaux.

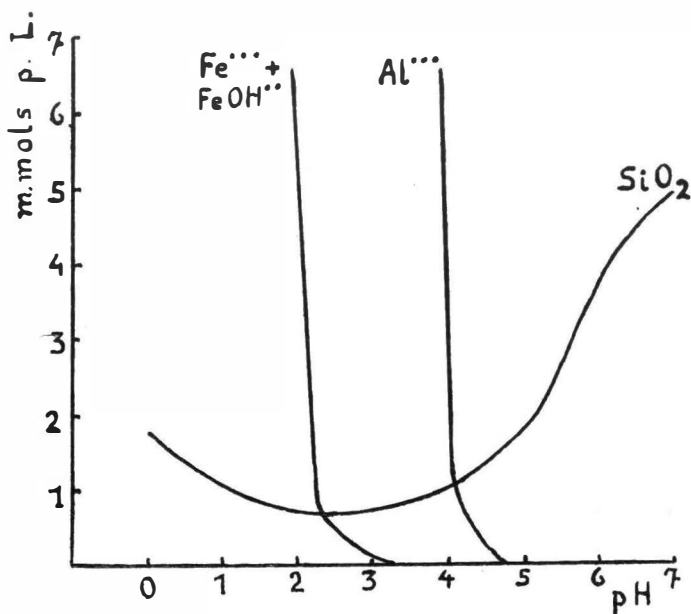


FIG. 1.

Variations de la solubilité de fer, aluminium et silice avec le pH.  
La solubilité est exprimée en millimols par litre.

« Die Silikatverwitterung is wesentlich Hydroxylionenverwitterung » disait RAMANN (1921). Ces hydroxydes colloïdaux, qui, suivant les propriétés du milieu, sont peptisés ou coagulés, peuvent aussi réagir entre eux, et former des gels mixtes, d'où naîtraient les minéraux argileux. Cette théorie, surtout élaborée par MATTSON, se base exclusivement sur des expérimentations au laboratoire avec des solutions colloïdales.

Ces derniers temps cependant, les études de CORRENS et de ses élèves (CORRENS et VON ENGELHARDT, 1938 ; KRUGER, 1939 ; TUNN, 1940) ont montré que tous les constituants des minéraux silicatés alumineux subissant une altération, passent en solution sous une forme

probablement ionique et certainement pas sous la forme d'hydroxydes colloïdaux.

La fig. 1, p. 22, donnant les variations de solubilité des différents constituants en fonction du pH, devient dès lors d'une importance capitale pour l'étude des déplacements des constituants dans un sol.

VON ENGELHARDT (1940) a pu prouver l'exactitude de cette théorie pour quelques profils podsoliques d'Allemagne.

Il s'agira de vérifier, ce que nous avons d'ailleurs commencé à faire, si les changements qui se produisent dans un profil en voie de latérisation, peuvent aussi s'expliquer par cette théorie.

En tous cas, ce qui est d'une extrême importance, c'est que la latérisation ne peut commencer aussi longtemps que le sol est suffisamment riche en bases.

HARRASSOWITZ a même voulu exprimer le degré d'appauvrissement en bases d'un sol latéritique par le rapport

$$ba = \frac{CaO \cdot 1,822 + Na_2O \cdot 1,646 + K_2O \cdot 1,085}{Al_2O_3}$$

La perte en bases doit, en effet, permettre une réaction suffisamment acide pour que les sesquioxydes deviennent mobiles (sans discuter ici s'il s'agit d'une solution ionique ou d'une solution colloïdale). Mais cet appauvrissement ne deviendra marquant que lorsque la réserve minérale sera épuisée.

Nous pouvons donc dire que la latérisation vraie ne débutera qu'après un vieillissement du sol, tel que celui-ci aura perdu tous ses minéraux altérables, ainsi que le dit VAGELER.

Avant toute étude sur la latérisation d'un sol, s'impose l'étude minéralogique de la fraction sableuse, pour voir si la réserve minérale a déjà disparu, c'est-à-dire pour voir si la latérisation a déjà pu commencer.

Ainsi s'impose la notion de vieillissement d'un sol, qui n'est d'ailleurs en aucune façon synonyme de latérisation, si ce n'est qu'un sol doit présenter déjà un certain vieillissement, — notamment la perte de la réserve minérale — avant qu'on puisse parler de latérisation.

Mais, d'autre part, il est vrai que tout degré de latérisation est à fortiori un indice de vieillissement, le terme final de latérisation signifiant la « mort » du sol.

BAEYENS (1938), dans son étude sur les sols du Bas-Congo, distingue entre « le vieillissement pédologique des sols et leur degré de latérisation, couramment exprimé par le rapport pondéral ou moléculaire » entre la silice des silicates et les sesquioxydes de fer et d'aluminium ».

Comme on admet généralement qu'un sol tropical est latérisé à un degré plus ou moins avancé, dès que ce rapport descend en dessous de 2, tous les sols du Bas-Congo seraient fortement latérisés, d'après l'auteur, qui signale cependant avoir observé des profils dont le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  est sensiblement inférieur à 2, et qui, néanmoins, présentent les caractéristiques d'un sol pédologiquement juvénile, et conclut également que le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  n'est pas synonyme de vieillissement du sol.

Ces sols pédologiquement juvéniles se caractérisent : « par un facteur de structure assez bas, une teneur en bases échangeables sensiblement au-dessus de la moyenne (plusieurs milliéquivalents) et une réaction élevée pour les conditions du Bas-Congo (6,5 à 8) ».

BAEYENS explique ces caractères comme suit :

1°. Un facteur de structure élevé (aux environs de 100 %) indique « la présence d'une grande quantité de pseudo-sable, généralement admis comme indice de vieillissement avancé des sols tropicaux ».

2°. Hormis le cas de profils développés sur des roches-mères « acides, il est assez naturel d'admettre qu'un sol autochtone contenant plusieurs milliéquivalents de bases (5-10 M. E.) doit cette richesse chimique à son caractère relativement juvénile, puisque ces bases sont des restes non-lixivés du contenu de la roche-mère primitive ».

3°. Étant donnée la signification de la réaction des sols pour le Bas-Congo « il est assez naturel de penser qu'un profil à pH élevé est marqué d'un caractère juvénile. Un sol sénile a perdu ses bases échangeables, dont la teneur, pour une même catégorie de terrains, se trouve en corrélation assez étroite avec le pH. ».

On voit donc ici l'importance d'un examen minéralogique, puisque ces bases sont des restes non-lixivés du contenu de la roche-mère primitive.

C'est reconnaître indirectement que les caractères de latérisation, donc d'un vieillissement déjà avancé, ne peuvent apparaître que lorsque les minéraux altérables ont disparu complètement.

D'autre part, l'expression du degré de latérisation de la fraction argileuse d'un sol, par le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  n'est pas absolument adéquate ;  $\text{R}_2\text{O}_3$  est, en effet, le total des sesquioxydes libres et des sesquioxydes fixés dans les minéraux phylliteux. Le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  est souvent influencé par des facteurs qui n'ont rien à voir avec l'altération (CORRENS, 1940).

En ce qui concerne les sols du Bas-Congo étudiés par BAEYENS, la détermination du rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  a été effectuée dans la terre finement broyée, pouvant renfermer une réserve minérale notable, tandis qu'elle aurait dû être faite sur la fraction argileuse proprement

dite. Il en résulte que les minéraux non-encore altérés interviennent erronément dans le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  qui sert à déterminer le degré de latérisation. Ainsi s'expliquent de nombreux cas de discordance entre latérisation et vieillissement du sol.

Un exemple le prouvera clairement.

Nous avons fait l'étude minéralogique quantitative de quelques sols du Bas-Congo ; certains d'entre eux sont très riches en minéraux altérables. Un de ces sols possède une fraction sableuse dont la composition minéralogique (tous les grains d'un diamètre supérieur à  $50 \mu$ ) est la suivante :

Quartz	6,95 %
Orthose	0,65
Biotite $\pm$ altérée	55,63
Muscovite	0,47
Amphibole	24,58
Plagioclase	8,54
Opaque	0,75
Total trouvé	<u>97,57 %</u>

Un tel sol est bien un prototype de sol juvénile, disons même ultra-juvénile ; et pourtant, vu la teneur de la biotite (même  $\pm$  altérée) et de l'amphibole verte en sesquioxydes, le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  sera celui d'un sol dit « latérisé ».

Considérons maintenant la composition de la plus petite fraction de ce sol. Nous avons fait l'analyse minéralogique de la fraction inférieure à  $10 \mu$ , et nous avons trouvé :

Groupe de la kaolinite (1)	55,64 %
Quartz	15,32
Silice colloïdale	1,57
Oxyde de fer libre	13,40
Alumine libre	1,59
Eau combinée aux sesquioxydes	2,43
Eau hygroscopique (110-195°)	2,77
Total trouvé	<u>92,72 %</u>

Une telle composition de la fraction argileuse écarte résolument toute idée de latérisation. La teneur en alumine libre est égale à celle de la silice colloïdale, sans parler de la teneur en minéraux phylliteux.

Cette discordance frappante entre le « degré de latérisation » de la fraction sableuse et le « degré de latérisation » de la fraction argileuse du même sol se passe de commentaires.

(1) Le groupe des minéraux phylliteux peut comprendre également une certaine quantité de minéraux du groupe des micas.

En ce qui concerne ces notions de vieillissement et de latérisation, nous concluons de la manière suivante :

1<sup>o</sup>. Avant d'exprimer le degré de latérisation d'un sol, il importe de savoir s'il a pu subir une certaine latérisation, c'est-à-dire, s'il ne contient pratiquement plus de réserve en minéraux altérables.

2<sup>o</sup>. Le rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  doit être déterminé sur la fraction argileuse, c'est-à-dire sur la fraction qui est à considérer comme le produit de l'altération latéritique.

L'expression « fraction argileuse » doit alors être prise dans son sens le plus absolu et devrait comprendre, entre autre, tout le ciment du pseudo-sable.

3<sup>o</sup>. Le rapport utilisé pour la détermination du degré de latérisation doit être déduit de la composition minéralogique ; ainsi  $\text{SiO}_2$  serait déduit de la teneur en minéraux argileux vrais et de la teneur en silice colloïdale,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  serait la teneur en alumine *libre*.

Un tel rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  est à préférer au rapport  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ , dans lequel  $\text{R}_2\text{O}_3$  serait déduit du total en sesquioxydes hydratés libres et en sesquioxydes fixés aux minéraux argileux.

4<sup>o</sup>. La connaissance de la composition minéralogique complète de la fraction argileuse présenterait un intérêt scientifique indéniable : en effet, la teneur en silice colloïdale, la nature du minéral phylliteux et la composition minéralogique des sesquioxydes hydratés libres sont d'une grande importance pour saisir les phénomènes de latérisation.

Une étude minéralogique des différents horizons de latérites, combinée avec une étude des changements de pH et des variations du pouvoir d'oxydation-réduction des solutions dans les profils, nous apportera peut-être la solution du problème tant discuté de la latérisation.

### 3. — EXAMEN MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE DE QUELQUES SOLS DU BAS-CONGO.

#### A. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES D'ANALYSES.

La fraction argileuse est généralement considérée comme le produit de l'altération chimique d'un sol ; son étude est donc de nature à nous renseigner utilement sur la formation du sol.

Normalement la fraction argileuse d'un sol comprend toutes les particules qui ont un diamètre inférieur à  $2 \mu$ . Cette limite correspond, en effet, au diamètre habituel des plus petits grains de minéraux

inaltérés, tandis qu'en dessous, il s'agit de pellicules produites par l'altération chimique.

Ceci, cependant, n'est pas toujours le cas : ainsi, les argiles glaciales des pays fenno-scandinaves sont constituées pour environ 90% de produits de broiement mécanique de gneiss et granits archaïques ; une autre exception se rencontre dans les sols latéritiques, où des concrétions et des grains de pseudo-sable peuvent parfois être tellement stables qu'une analyse mécanique ordinaire ne suffit pas à les détruire.

On a tenté également de prendre comme limite supérieure de la fraction argileuse, le diamètre à partir duquel, apparaissent des grains de vrais minéraux argileux, tels que la kaolinite et la montmorillonite.

Mais alors la limite supérieure est beaucoup trop déplacée vers la fraction limoneuse ou même la fraction sableuse ; en effet, CORRENS et SCHLUNZ (1936) ont constaté au microscope que la montmorillonite peut déjà se retrouver dans un sol avec des dimensions de  $50 \mu$ , alors que de la kaolinite fut observée avec un diamètre de  $20 \mu$ .

SCHACHTSCHABEL (1937) et VON ENGELHARDT (1937) ont fait des constatations analogues.

La solution la plus simple est de s'en tenir à la limite de  $2 \mu$ , généralement admise.

Cependant, pour l'étude que nous nous proposons de faire, nous avons dû choisir une limite supérieure de  $10 \mu$ , à cause de la faible quantité d'échantillons dont nous disposons et de leur teneur fort basse en argile.

Il nous fallait, en effet, une quantité assez élevée de matériel, parce que nous avions besoin de quatre prises de substance :

- une pour l'analyse thermique ;
- une pour dresser la courbe de déshydratation ;
- une pour la détermination du quartz par analyse chimique ;
- une pour la détermination des sesquioxydes libres et de la silice colloïdale par analyse chimique.

Les constituants essentiels des argiles et des fractions argileuses de sols sont de deux sortes :

a) *les vrais minéraux argileux* : minéraux du groupe de la kaolinite, de la montmorillonite et des micas ;

b) *les oxydes ou hydroxydes* : le quartz ; l'oligiste ou la limonite ; l'hydrargillite, le diaspore ou la boehmite.

A ces minéraux peuvent s'ajouter des quantités plus ou moins importantes de substances amorphes, comme la silice colloïdale et autres.

Dans l'analyse minéralogique il y a donc lieu de distinguer deux déterminations différentes :

celle des minéraux argileux vrais ;

celle des oxydes et hydroxydes, y compris la silice colloïdale.

### 1. DÉTERMINATION DES MINÉRAUX ARGILEUX VRAIS.

La détermination de ces minéraux peut se faire par plusieurs méthodes : méthode röntgéno-graphique, méthode physico-chimique, méthode thermique (analyse thermique ou courbe de déshydratation), examen par le microscope électronique.

L'examen des argiles par le microscope électronique ne permet encore qu'une analyse qualitative. Les résultats déjà obtenus par VON ARDENNE et ses collaborateurs (1940), EITEL et ses collaborateurs (1939, 1940), permettent l'espoir d'aborder bientôt l'étude quantitative des minéraux argileux par cette voie particulièrement comode.

La méthode physico-chimique consiste, généralement, à déterminer la capacité de sorption, après destruction de l'humus. On ne peut en déduire que la teneur approximative en minéraux du groupe de la montmorillonite, à la condition même que la capacité de sorption soit assez grande. Signalons ici qu'on admet actuellement que la capacité moyenne de sorption est :

pour les minéraux du groupe de la kaolinite : 6 mval sur 100 gr. de matière ;

pour les minéraux du groupe des micas : 40 mval sur 100 gr. de matière ;

pour les minéraux du groupe de la montmorillonite : 100 mval sur 100 gr. de matière.

Un autre procédé, qui ressort à la méthode physico-chimique, a été établi très récemment par SCHACHTSCHABEL (1940) pour déterminer la teneur en minéraux des groupes des micas, par la sorption sélective pour un ion déterminé. Cette technique n'est applicable qu'aux sols des régions tempérées, ayant une capacité de sorption assez grande.

L'analyse qualitative des argiles par la méthode röntgéno-graphique, est devenue une analyse courante, mais son application quantitative n'est possible que depuis 1939, grâce aux travaux de FAVEJÉE (1939), et ne fournit pas encore des résultats vraiment quantitatifs, puisque le total des minéraux déterminés ne dépasse pas en moyenne 70 %.

Une des grandes difficultés de l'étude röntgéno-graphique de fractions argileuses de sols tropicaux et subtropicaux sera la grande te-

neur en oxydes hydratés de fer, ceux-ci produisant une forte absorption des rayons X.

A notre avis, la meilleure solution pour l'examen röntgénographique de fractions argileuses de sols tropicaux et subtropicaux serait d'éliminer les produits amorphes et les sesquioxides libres hydratés, plus ou moins cristallisés, par un traitement spécial (la méthode TRUOG, voir p. 37) et de faire l'analyse röntgénographique sur le résidu.

Nous avons publié récemment (DE LEEUW, 1941<sup>a</sup>), une analyse détaillée des méthodes röntgénographiques, physico-chimiques et des déterminations au microscope électronique, à laquelle nous renvoyons pour de plus amples renseignements touchant la technique de ces déterminations.

Il reste enfin, la méthode de déshydratation des minéraux argileux, qui comporte trois groupes de déterminations.

*1<sup>er</sup> groupe* : on établit la courbe « teneur en eau — tension de vapeur ». Actuellement on ne dispose pas de données certaines, en nombre suffisant, pour pouvoir appliquer la méthode à l'étude minéralogique des argiles ou des fractions argileuses d'un sol.

*2<sup>me</sup> groupe* : on détermine les vraies courbes de déshydratation, c'est-à-dire les courbes « perte en eau — température ».

Ce procédé permet la détermination qualitative et quantitative de la kaolinite et de la montmorillonite dans les argiles ou fractions argileuses, qui ne contiennent pas de minéraux phylliteux du groupe des micas.

Si des minéraux du groupe des micas sont présents, la courbe de déshydratation ne suffit pas ; il est vrai que l'allure de la courbe permettra de reconnaître la présence de grandes quantités de ces minéraux, mais des interprétations quantitatives ne peuvent être données.

Signalons aussi, que l'on n'a pas encore proposé de mode opératoire standardisé pour l'obtention de courbes de déshydratation, de sorte que la comparaison des courbes obtenues par différents auteurs est très aléatoire.

Malgré les imperfections de ces méthodes, la courbe « perte en eau — température », tracée dans des conditions déterminées, peut très bien servir pour la détermination quantitative de la teneur en kaolinite dans une argile.

*3<sup>me</sup> groupe* : analyse thermique. Elle consiste en un enregistrement photographique des réactions endothermiques et exothermiques, qui ont lieu au sein d'une argile pendant l'échauffement progressif de celle-



ci. Cette analyse thermique peut bien fournir des données qualitatives précieuses, mais est actuellement encore trop grossière pour permettre des interprétations quantitatives.

Pour plus de détails sur la valeur des méthodes de déshydratation, nous renvoyons le lecteur à un article que nous avons publié précédemment (DE LEENHEER, 1941 b).

Nous avons cru préférable de faire l'étude des fractions argileuses des sols congolais, par une méthode de déshydratation, non seulement parce que la courbe « Perte en eau — température » peut être dressée pour tous les échantillons à la fois, mais également, parce que ce procédé permet de déterminer quantitativement la teneur en eau qui est fixée aux sesquioxydes hydratés libres.

A titre de comparaison, nous donnons aussi les courbes d'analyse thermique.

## II. DÉTERMINATION DES OXYDES LIBRES.

Nous avons déjà signalé que l'étude minéralogique d'un sol et surtout d'un sol plus ou moins rouge, est incomplète tant qu'on ne connaît pas sa teneur en sesquioxydes libres.

De plus, nous savons que l'examen minéralogique des minéraux argileux vrais devient beaucoup plus facile, quand on s'adresse à une fraction argileuse libérée de ses sesquioxydes libres.

Un procédé chimique qui permettrait d'enlever quantitativement les produits amorphes et les sesquioxydes hydratés libres, sans attaquer les minéraux argileux vrais, présenterait en outre les avantages suivants :

1<sup>o</sup>. La dispersion pour une analyse mécanique est alors parfaite, même pour les sols latéritiques dont tous les grains de pseudo-sable sont détruits ;

2<sup>o</sup>. L'examen minéralogique de la fraction sableuse n'est pas gêné par un film de sesquioxydes recouvrant les grains des minéraux à déterminer au microscope ;

3<sup>o</sup>. La séparation des minéraux d'après leur densité se fait exactement ; cette séparation peut se faire avec la liqueur de THOULET, sans que la densité soit influencée par des sesquioxydes ;

4<sup>o</sup>. La détermination de la capacité de sorption, avant et après l'élimination des sesquioxydes libres, serait très instructive pour l'étude de l'influence des colloïdes positifs dans le sol ;

5<sup>o</sup>. La détermination de la quantité d'acide phosphorique, soluble dans l'acide citrique à 1 %, avant et après l'élimination des sesquioxy-

des libres, nous donnerait une idée de la quantité d'acide phosphorique devenu non-assimilable, par suite de sa fixation aux sesquioxydes.

Une étude détaillée de ces deux derniers points, nous permettrait peut-être d'approfondir nos connaissances sur l'assimilabilité de l'acide phosphorique dans les sols du Bas-Congo, et d'expliquer, par exemple, l'allure différente des quatre courbes d'assimilabilité de  $P_2O_5$ , reconnues par BAEYENS (1938) ;

6°. Une classification génétique du sol, tenant compte de la teneur en sesquioxydes libres, serait plus scientifique que celle basée sur le rapport  $SiO_2 : R_2O_3$ , dans lequel  $R_2O_3$  représente la totalité des sesquioxydes libres et ceux fixés dans les minéraux phylliteux (voir p. 26).

#### MÉTHODES D'ANALYSE.

Pour déterminer les oxydes libres dans la fraction argileuse d'un sol, il faut distinguer :

a) *la détermination quantitative du quartz*, dans laquelle tous les minéraux, sauf le quartz, sont détruits ; ce dernier se retrouve alors comme résidu ;

b) *la détermination quantitative des sesquioxydes libres et des produits amorphes*, qui s'effectue de manière à laisser le quartz et les minéraux argileux vrais inattaqués.

a) *Détermination quantitative du quartz* :

Trois méthodes peuvent être appliquées, celles de KNOPF (1933), de LINE et ARADINE (1937) et de TROSTEL et WYNNE (1940).

Nous nous sommes adressés à cette dernière, dont le principe consiste à opérer une fusion avec du pyrosulfate de potasse, qui extrait de l'échantillon argileux, les silicates et laisse le quartz comme résidu inaltéré. Cette méthode présente l'avantage de s'appliquer facilement au travail en série (1).

b) *Détermination quantitative des sesquioxydes libres et des produits amorphes* :

De nombreuses méthodes ont été proposées pour l'extraction de la silice colloïdale et des sesquioxydes libres, aussi bien des sesquioxydes cristallisés plus ou moins hydratés, que des sesquioxydes amorphes.

Nous signalerons les méthodes de MATTSON (1931) au chlorure d'aluminium, de TAMM (1932) à l'acide oxalique et l'oxalate d'am-

---

(1) Le temps qui s'est écoulé entre la présentation de ces notes et la correction des épreuves à été employé e. a. pour contrôler la méthode de TROSTEL et WYNNE. Les résultats sont satisfaisants.

monium, de JUNG (1934) à l'acide tartrique et le tartrate de sodium, de TRUOG et DROSDOFF (1935) au carbonate-acide sulfhydrique, de TRUOG, TAYLOR e. a. (1936) au sulfure de sodium et à l'acide oxalique, et, enfin, la méthode de WILLIAMS (1939) pour l'extraction de l'oxyde de fer par l'hydrogène sulfuré ou le sulfure de sodium.

Nous nous sommes adressés à la méthode de TRUOG, TAYLOR, et collaborateurs. Nous avons également appliqué la méthode de WILLIAMS ; celle-ci cependant n'est pas satisfaisante : après des extraction répétées opérées sur des sols du Bas-Congo, la couleur rouge des échantillons a bien pâli, mais n'a pas disparu.

#### B. APPLICATION A QUELQUES SOLS DU BAS-CONGO.

##### I. *Détermination des minéraux argileux vrais :*

La teneur en minéraux argileux proprement dits a été déduite des analyses thermiques et des courbes de déshydratation des fractions argileuses.

Les premières ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie du Professeur P. URBAIN à Paris, en 1939 et nous ont fait connaître la composition qualitative de ces fractions argileuses ; les secondes ont été dressées au Laboratoire de Minéralogie de l'Université de Gand en 1941, et nous ont permis de déduire la teneur en kaolinite dans les fractions argileuses des sols étudiés.

La figure 2 représente les analyses thermiques des fractions argileuses des neuf sols étudiés. Les six premières courbes, et surtout les courbes 3 à 6, illustrent en même temps le fait, que ces analyses thermiques sont influencées par les ions sorbés, même dans le cas d'une sorption minime de quelques milliéquivalents sur 100 gr. de matière argileuse.

Le chiffre reproduit à droite des courbes et suivi de la lettre d, indique que la courbe est obtenue avec la fraction argileuse libérée des cations métalliques par dialyse.

Les courbes obtenues sont toutes caractéristiques pour le groupe de la kaolinite : une inflexion endothermique avec son maximum vers 600°, et un crochet exothermique avec son maximum vers 900°. L'inflexion endothermique qu'on retrouve vers 300° est causée par la présence de sesquioxydes hydratés.

Comme les inflexions endothermiques dans les courbes d'analyse thermique n'ont pas un caractère quantitatif, nous avons dressé des courbes de déshydratation présentant des allures analogues à celles des courbes d'analyse thermique, mais qui ont l'avantage de permettre des interprétations quantitatives.

Nous appelons ces courbes : « courbes de déshydratation différentielles » ; elles donnent, pour chaque température multiple de 50°, la perte en eau vis-à-vis de la température précédente inférieure de 50° (fig. 3).

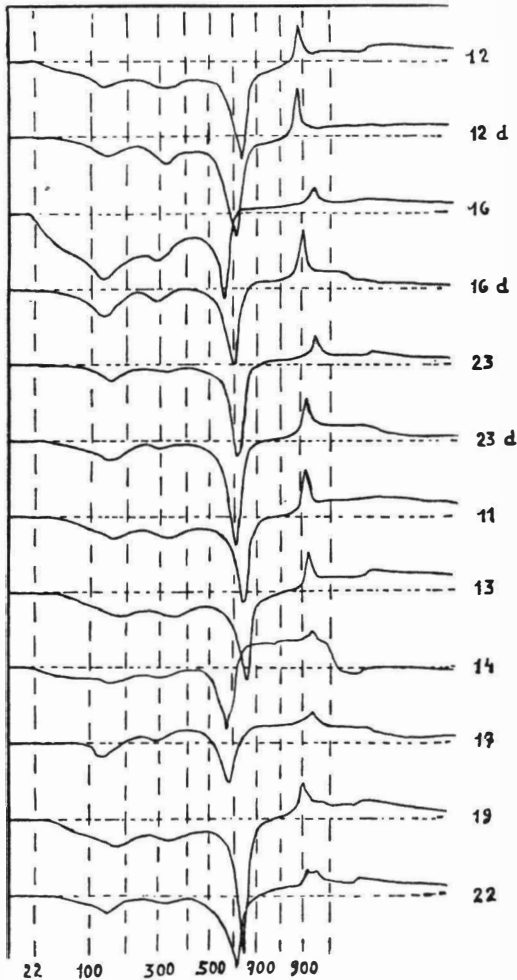


FIG. 2. — Analyses thermiques des fractions argileuses < 10  $\mu$  de quelques sols du Bas-Congo.

A titre de comparaison, nous donnons des courbes obtenues par HARDON (1940), avec des fractions argileuses de composition connue, composition qui a été déterminée par d'autres méthodes (fig. 4).

La conclusion qui s'impose, est que la fraction argileuse ne comprend pratiquement qu'une seule sorte de minéraux argileux, notamment des minéraux du groupe de la kaolinite, très probablement la kaolinite elle-même.

Quant au calcul de la teneur en minéraux du groupe de la kaolinite, il est basé sur les considérations suivantes :

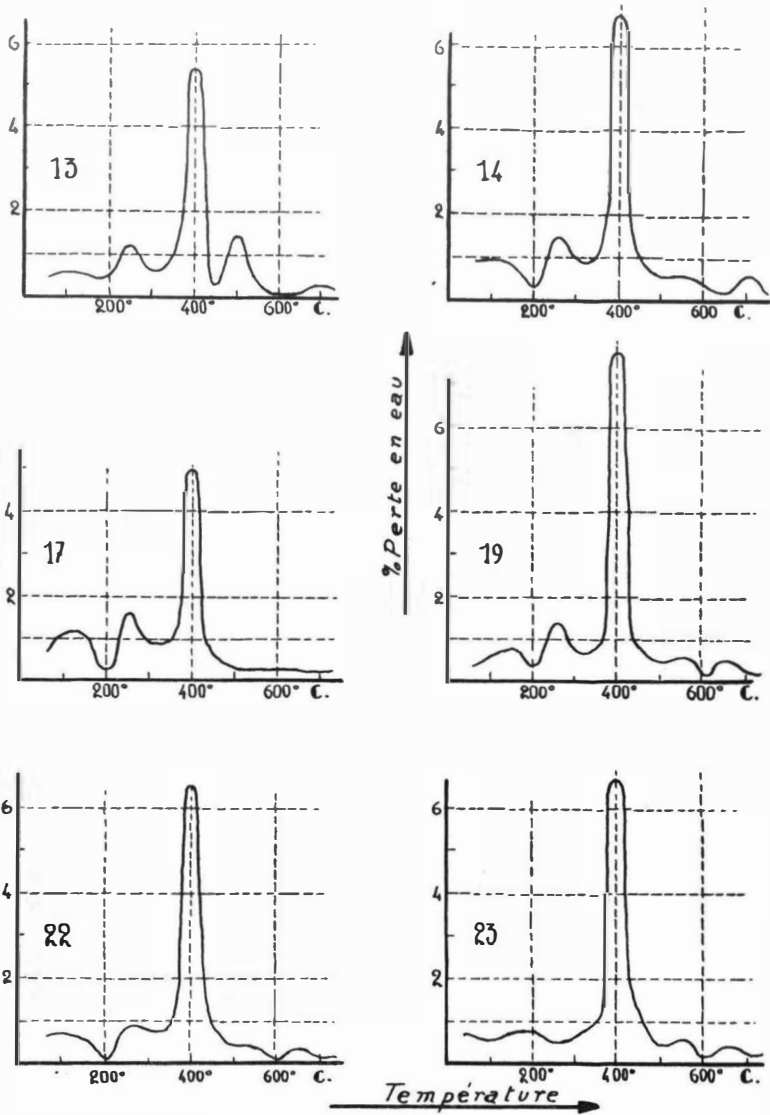


FIG. 3. — Courbes de déshydratation différentielles des fractions argileuses < 10  $\mu$  de quelques sols du Bas-Congo.

On a très souvent constaté que la perte de poids entre 300° et 500° est de 12 % pour la kaolinite (KEPPELER, 1938 ; MEHMEL, 1937 ; ROSS et KERR, 1930 ; BELJANKIN et IWANOWA, 1935).

Le plus souvent même, cette déshydratation se fait, non pas entre 300 et 500°, mais entre 400 et 450°.

C'est pourquoi CALSOW (1926), LINCK et CALSOW (1926) et BÖGE (1928), avaient proposé de calculer la teneur en kaolinite d'une fraction argileuse, en se basant sur la perte en eau entre 400 et 450°. Mais ceci peut être dangereux ; en effet, certaines kaolinites perdent déjà une quantité de leur eau de constitution (eau du réseau cristallin) à une température inférieure à 400°, alors que d'autres en perdent encore à une température supérieure à 450°.

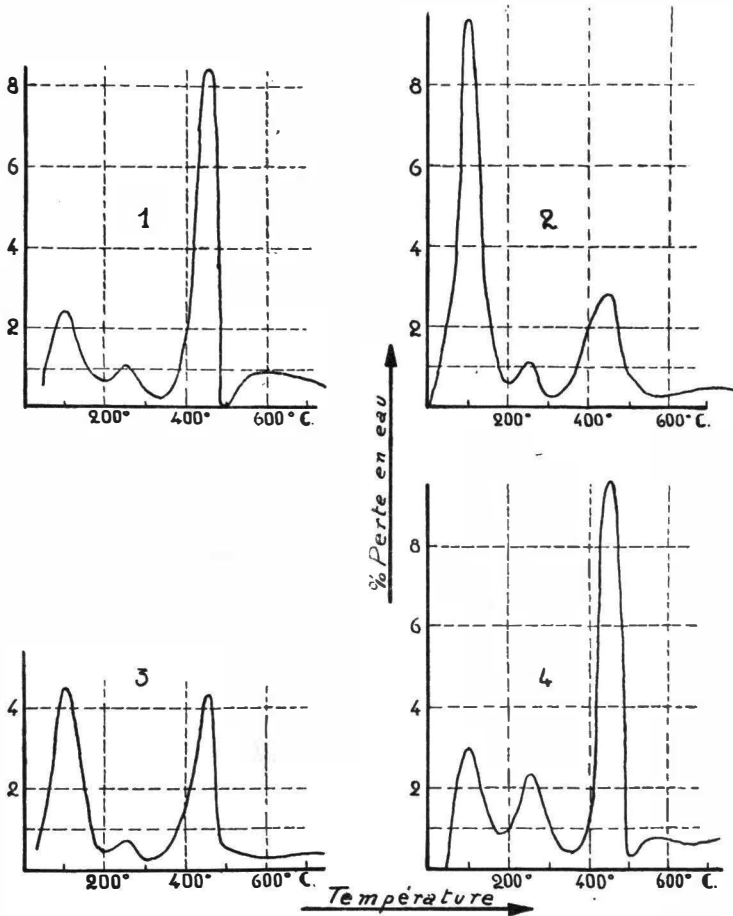


FIG. 4. — Courbes de déshydratation différentielles des fractions argileuses de quelques sols des Indes Néerlandaises (d'après HARDON) :

1. Sol latéritique, kaolinite exclusivement.
2. Sol marneux, montmorillonite exclusivement.
3. Sol marneux, 50% kaolinite, 50% montmorillonite.
4. Sol rouge calcaireux, metakalloysite exclusivement.

Les études de ROSS et KERR (1930) sont particulièrement instructives à ce sujet. Dans les sols étudiés du Bas-Congo, une partie impor-

tante de l'eau de constitution se perd entre 350 et 400°. Pour cela, nous avons pris la valeur de déshydratation entre 300 et 500°, comme base du calcul de la teneur en minéraux du groupe de la kaolinite. Une perte en eau de 12 % correspond à une teneur en minéraux du groupe de la kaolinite de 100 %.

Les interprétations des courbes de déshydratation sont simples dans les cas étudiés : en général, il s'agit, au point de vue de la déshydratation, d'un système binaire ; les courbes de déshydratation différentielles montrent généralement des minima aux températures suivantes : 200°, 300° et 500°.

L'eau dégagée entre 200° et 300° provient de la déshydratation des sesquioxydes hydratés cristallins, l'eau dégagée entre 300 et 500° provient des minéraux phylliteux.

Ces mêmes faits ont été constatés par HARDON (1940) dans d'autres sols tropicaux, notamment à Java.

La quantité d'eau perdue entre 200 et 300° est alors ajoutée à la teneur en sesquioxydes trouvée par analyse chimique, et le total nous donne la teneur en sesquioxydes libres hydratés.

Le tableau X fournit les résultats de la déshydratation des fractions argileuses et le tableau XI la teneur en minéraux du groupe de la kaolinite, qui a été déduite de la perte de poids entre 300 et 500°.

TABLEAU X. — DÉSHYDRATATION DES FRACTIONS ARGILEUSES  
< 10 μ.

	50°	100°	145°	195°	250°	300°	350°	400°	450°	500°
Sol 13	0,50	1,07	1,61	1,91	3,27	3,96	4,66	10,05	10,26	11,74
Sol 14	0,84	1,70	2,44	2,58	4,03	4,88	5,71	12,46	13,34	13,58
Sol 16	0,37	0,90	2,39	2,70	4,35	4,62	4,90	12,42	13,23	13,61
Sol 17	0,56	1,64	2,53	2,77	4,33	5,20	6,08	10,83	11,55	11,88
Sol 19	0,34	0,93	1,71	1,94	3,33	4,05	4,76	12,57	13,32	13,71
Sol 22	0,63	1,35	1,93	1,93	2,78	3,55	4,33	10,94	11,86	12,25
Sol 23	0,63	1,15	1,87	2,56	2,95	3,70	4,45	11,24	12,55	12,95
				550°	600°	645°	705°	735°		
Sol 13				12,10	12,14	12,14	12,42	12,63		
Sol 14				14,13	14,22	14,22	14,82	14,83		
Sol 16				13,95	14,01	14,73	14,85	15,01		
Sol 17				12,11	12,27	12,53	12,75	12,99		
Sol 19				14,19	14,23	14,72	14,81	15,03		
Sol 22				12,70	12,74	13,14	13,27	13,44		
Sol 23				13,43	13,54	13,94	14,14	14,31		

TABLEAU XI.

	Perte en eau entre 300-500°	Teneur en minéraux du groupe de la kaolinite (12% H <sub>2</sub> O = 100% kaolinite)
Sol 13	7,78 %	60,81 %
Sol 14	8,70	72,47
Sol 16	8,99	74,97
Sol 17	6,68	55,64
Sol 19	9,66	80,47
Sol 22	8,70	72,47
Sol 23	9,25	77,05

II. *Détermination des oxydes libres :*

Pour ces déterminations, nous avons employé des méthodes chimiques : notamment la méthode de TROSTEL et WYNNE, pour la détermination du quartz dans les argiles et la méthode de TRUOG, pour la détermination de la silice colloïdale et des sesquioxydes hydratés libres.

La méthode de TRUOG consiste en un traitement de la fraction argileuse par le sulfure de sodium, suivi d'un traitement par l'acide oxalique.

Il faut cependant signaler que ce dernier mode opératoire, tel qu'il a été repris dans l'ouvrage de WRIGHT (1939), ne donne pas de résultats quantitatifs. En effet, une extraction à l'acide oxalique ne suffit pas pour enlever tout le sulfure de fer formé ; le Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, de couleur jaune soufre, reste insoluble et ne peut être enlevé que par une extraction à l'acide oxalique dans un milieu oxydant, c'est-à-dire, après avoir ajouté quelques cm<sup>3</sup> d'eau oxygénée à 10 %.

L'importance de cette deuxième extraction est soulignée par le tableau suivant :

TABLEAU XII.

DÉTERMINATION DES SESQUIOXYDES (TOTAL DE Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ET D'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

	Sol 13	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
1 <sup>e</sup> extract.	6,87%	6,38%	9,49%	7,40%	6,16%	5,94%	5,69%
2 <sup>e</sup> extract.	5,48%	8,19%	3,61%	7,59%	7,61%	3,93%	1,21%

N.B. — la *première extraction* est celle faite à l'acide oxalique ;  
la *seconde extraction* est faite sur le résidu de la première, mais avec de l'eau oxygénée + de l'acide oxalique.



Le résultat des analyses chimiques est donné par le tableau XIII.

TABLEAU XIII.

	Sol 13	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Quartz	17,19	2,05	1,22	15,32	2,92	3,93	2,39
Silice colloïdale	0,30	0,81	1,12	1,57	0,97	2,07	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,07	2,48	3,37	1,59	1,12	1,27	1,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,28	12,09	9,73	13,40	12,65	8,60	5,07

Ces données nous permettent de déduire la composition des sesquioxydes libres hydratés ; en effet, il ne nous reste qu'à ajouter la teneur en eau, trouvée par déshydratation partielle, entre 200 et 300°.

La composition des sesquioxydes hydratés libres s'établit alors comme suit :

TABLEAU XIV.

	Sol 13	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,07	2,48	3,37	1,59	1,12	1,27	1,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,28	12,09	9,73	13,40	12,65	8,60	5,07
H <sub>2</sub> O : 200° — 300°	2,05	2,30	1,92	2,43	2,11	1,62	1,14
TOTAL	14,40	16,87	15,02	17,42	15,08	11,49	8,04

Il est difficile de conclure avec certitude au sujet de la forme minéralogique sous laquelle les sesquioxydes sont présents ; en effet, la quantité d'eau trouvée par déshydratation partielle entre 200 et 300°, n'est pas toujours suffisante pour admettre la présence de tout l'aluminium sous forme d'orthohydroxyde, l'hydrargillite ; d'autre part, la présence sous forme de métahydroxyde, diaspre, est douteuse, parce que ce dernier minéral n'est pas déshydraté à 300°.

La composition minéralogique, telle que nous avons pu la déterminer en combinant des méthodes de déshydratation et des analyses chimiques peut, en fin de compte, être présentée de la façon suivante :

TABLEAU XV.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE < 10  $\mu$ .

	Sol 13	Sol 14	Sol 16	Sol 17	Sol 19	Sol 22	Sol 23
Groupe de la kaolinite	60,81	72,47	74,97	55,64	80,47	72,47	77,05
Quartz	17,19	2,05	1,22	15,32	2,92	3,93	2,39
Sesquioxydes libres hydratés	14,40	16,87	15,02	17,42	15,88	11,49	8,04
Silice colloïdale	0,30	0,81	1,12	1,57	0,97	2,07	0,85
Eau hygroscopique (jusqu'à 195°)	1,91	2,58	2,70	2,77	1,94	1,93	2,56
TOTAL	94,61	94,78	95,03	92,72	102,18	91,89	90,89

En moyenne, le total ainsi trouvé s'élève à 94,6%, ce qui nous semble être un résultat satisfaisant.

C'est, en effet, la première fois que les données de courbes de déshydratation différentielles ont été combinées avec celles d'une analyse chimique, pour en déduire la teneur en sesquioxydes hydratés libres d'une argile.

#### C. QUELQUES CONSIDÉRATIONS FINALES.

On voit, d'après les considérations qui précèdent et les essais que nous avons relatés, qu'une étude minéralogique quantitative de la fraction argileuse des sols ne pourra jamais être faite par une seule méthode. Les constituants, en effet, sont trop nombreux et surtout trop variés.

Il sera toujours nécessaire de recourir à une combinaison de deux ou plusieurs méthodes, comme nous nous sommes efforcés de le faire au cours de cette étude.

Les résultats obtenus, s'ils sont déjà satisfaisants, ne sont pas encore parfaits.

1) Ainsi la méthode chimique pour la détermination du quartz dans les argiles demanderait une vérification expérimentale, que nous nous proposons d'ailleurs de réaliser (1).

2) Une autre difficulté est inhérente à la déshydratation des sesquioxydes.

La quantité d'eau dégagée entre 200 et 300°, doit être attribuée aux sesquioxydes libres. La grande difficulté cependant, est la question de savoir sous quelle forme les sesquioxydes sont présents.

(1) Celle-ci a été faite entretemps. Voir note au bas de la p. 31.

Ainsi l'alumine hydratée peut se présenter sous les formes minéralogiques suivantes :

Diaspore	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$
Boehmite	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$
Hydrargillite	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Alumogel	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Aq.}$

La présence de diaspore est peu probable, étant donnée la température élevée de la déshydratation de ce minéral (vers 500-550°). Le seul échantillon de sol dont la courbe de déshydratation différentielle montre une perte d'eau vers 500°, est le n° 13. C'est également le seul échantillon, où la teneur en alumine libre est élevée, et atteint 5%, alors qu'elle n'est en moyenne que de 2% pour les autres échantillons.

La teneur en eau, dégagée entre 200-300°, par cet échantillon, est très insuffisante pour pouvoir admettre la présence de l'alumine sous forme d'hydrargillite. On serait tenté plutôt d'admettre la présence de diaspore (perte d'eau à 500° = 1,5%).

La présence d'alumine sous forme d'hydrargillite n'est pas plus certaine pour les autres échantillons, car la déshydratation entre 200-300° n'est pas toujours suffisamment élevée. D'autre part, on ne peut pas conclure immédiatement à la présence de boehmite, les conditions de déshydratation de ce minéral étant pratiquement inconnues.

C'est ici qu'apparaît tout l'intérêt d'une étude röntgénographique, avant et après le traitement de la fraction argileuse par le procédé TRUOG, dont les résultats seraient peut-être de nature à fournir la solution des problèmes posés.

3) Une autre question importante, dont la solution nécessitera également la méthode röntgénographique, est celle de la présence de minéraux phylliteux du groupe des micas. Nous avons constaté, au cours des présentes recherches, que le minéral phylliteux caractéristique des fractions argileuses étudiées, était la kaolinite, sans que la présence des micas soit nécessairement exclue.

Il reste néanmoins, que même l'examen röntgénographique rencontrera de sérieuses difficultés pour cette détermination, car un minéral argileux peut avoir le réseau cristallin d'un mica et se comporter vis-à-vis des phénomènes de sorption comme une kaolinite ou une montmorillonite.

Comme les propriétés sorptives sont plus intéressantes au point de vue agrologique que la structure du réseau cristallin, on serait tenté d'attacher plus d'importance à la détermination de la sorption sélective d'une fraction argileuse, qu'à son étude röntgénographique.

La détermination de la sorption sélective cependant, ne peut encore être appliquée qu'à des fractions argileuses très pauvres en sesquioxides hydratés libres. On serait alors obligé de faire la détermination sur des fractions argileuses libérées des sesquioxides par la méthode TRUOG. Mais alors surgit la nouvelle difficulté de savoir si un minéral phylliteux du groupe des micas et entouré par un mince film d'altération à propriétés sorptives de kaolinite, ne perdrait pas ces dernières propriétés sorptives, par une attaque par la méthode TRUOG.

Nous espérons avoir l'occasion de préciser ces questions, à la lumière des résultats obtenus par l'examen röntgénographique de quelques-uns de nos échantillons.

4) Un constituant inorganique, d'une grande importance agrologique, n'a pas été envisagé au cours de cette étude. Il s'agit de l'acide phosphorique.

Une étude de l'acide phosphorique dans un sol congolais doit être faite à différents points de vue : assimilabilité de l'acide phosphorique, fixation définitive sous forme de  $AlPO_4$  ou  $FePO_4$ , influence de l'humus sur la fixation du  $P_2O_5$ , etc...

Tous ces problèmes — et d'autres encore — ne peuvent trouver une solution par des seules études minéralogiques.

Et ceci nous amène à la constatation — qui est en même temps une conclusion à notre étude — qu'un examen minéralogique ne peut, à lui seul, suffire pour l'étude agrologique complète des sols.

Il reste néanmoins que la minéralogie est susceptible d'apporter aux méthodes pédologiques traditionnelles un appoint des plus importants et qu'elle peut fournir, en certains cas, la solution de nombreux problèmes agrologiques.

C'est pourquoi nous souhaitons une collaboration efficace entre le pédologue et le minéralogiste, dans l'étude pleine d'intérêt des sols du Congo Belge, si brillamment entreprise déjà par l'Institut National pour l'Étude agronomique du Congo belge, auquel nous sommes reconnaissant de nous avoir fourni l'occasion d'exposer nos vues à ce propos.

---

### SAMENVATTING

In deze nota bespreekt de schrijver het nut van mineralogisch grondonderzoek, zoowel van een practisch oogpunt, nl. voor de beoordeeling van de minerale reserve in een grond, als van theoretisch oogpunt, nl. in verband met zuiver wetenschappelijk onderzoek, zooals de studie van de verweering, van de laterisatie, e. a.

In het eerste deel bepaalt de schrijver wat hij eigenlijk verstaat door minerale reserve en onderlijnt het belang van dit mineralogisch begrip. Vervolgens wordt aangetoond hoe een mineralogische prospectie een zeer te waardeeren aanvulling kan vormen bij de pedologische grondprospectie, vooral waar het er op aankomt de « bedrieglijke gronden » (terrains trompeurs) te herkennen.

De best geschikte methode om de minerale reserve van een grond te bepalen is de sediment petrologische methode van Edelman, welke op een negental grondmonsters werd toegepast.

Dit laat toe een voorloopige indeeling te maken van gronden met groote, merkelijke, geringe en geen minerale reserve.

Teneinde de betrouwbaarheid dezer methode tot het bepalen van de minerale reserve na te gaan, werden dezelfde grondmonsters aan een gedetailleerd mineralogisch grondonderzoek onderworpen. Uit de vergelijking van de resultaten volgens de methode Edelman en deze verkregen door een tijdroovende nauwkeurige mineralogische analyse blijkt dat de eerste methode voldoende nauwkeurig is om een semi-kwantitatieve beoordeeling van de minerale reserve toe te laten.

De schrijver vermeldt ten slotte nog enkele wijzigingen, die aan de Edelman-methode zouden moeten aangebracht worden om deze met succes bij de prospectie van tropische gronden toe te passen.

In het tweede deel van deze studie worden enkele wetenschappelijke aspecten van mineralogisch grondonderzoek besproken. Hieruit blijkt dat het mineralogisch onderzoek onontbeerlijk is wil men de verweeringsprocessen in gronden onderzoeken. Zooniet loopt men gevaar een verontreinigd grondprofiel voor autochtoon te nemen.

De studie van het verouderingsproces en de laterisatie van gronden vergt eveneens een mineralogisch grondonderzoek. Dit laatste laat bv. toe aan te toonen dat de z. g. tegenstrijdigheid tusschen verouderingsproces en laterisatie, zooals dit door Professor Baeyens wordt opgevat, slechts schijn is.

Ten slotte geeft schrijver een tamelijk breedvoerige uiteenzetting van het mineralogisch onderzoek van de kleifracties uit gronden; na enkele algemeenheden, waarin de verschillende methoden worden besproken, gaat schrijver over tot de toepassing er van op de kleifractie van enkele Congoleesche gronden.

---

**BIBLIOGRAPHIE.**

1933. ALTEN, F., Die Bestimmung von Wasserhaushalt, Nährstoffzustand und Düngungsbedürfnis der Mineralböden nach den Methoden der Versuchsstation Lichterfelde-Langensalza.
1938. BAEYENS, J., Les sols de l'Afrique centrale, spécialement du Congo Belge. Tome I, Le Bas-Congo. Publications de l'I.N.É.A.C. Hors série.
1898. BAUER, M., Beiträge zur Geologie der Seychellen, insbesondere zur Kenntnis des Laterits. Neues Jahrb. Mineral. 2, p. 163.
1935. BELJANKIN, D., und IWANOWA, W., Drei Kaoline. Zentr. Bl. für Min. A., p. 298.
1928. BÖGE, H., Ueber den Kaolingehalt von Tonen. Chem. d. Erde 3, p. 341.
1807. BUCHANAN, H., Journey from Madras through Mysore, Canara and Malabar, 2, 440, 1807, Memor. geol. Surv. Ind. 1, p. 285.
1926. CALSOW, G., Ueber das Verhältnis zwischen Kaolinen und Tonen. Chem. der Erde, 2, p. 415.
1912. COFFEY, G. N., Study of the soils of the United States. U. S. Bureau of Soils. Bull. 85.
1940. CORRENS, C. W., Mineralogische Untersuchungen an Böden — Bodenkunde und Pflanzenernährung, 21/22, p. 656.
- 1941-1942. CORRENS, C. W., Zur Methodik der Schwermineraluntersuchung. Zeits. f. angew. Mineralogie, 4, p. 1.
1936. CORRENS, C. W. und SCHLUNZ, F. K., Mineral. Untersuch. dreier mecklenburgischer Böden. Z. Pflanzenernährung A, 44, p. 316.
1938. CORRENS, C. W. und von ENGELHARDT, W., Neue Untersuchungen über die Verwitterung des Kalifeldspates. Chemie der Erde, 12, p. 1.
- 1941a. DE LEENHEER, L., Mineralogisch Onderzoek van kleifracties uit gronden. Mededeel. Landb. Hoogesch. Gent, 9, p. 227.
- 1941b. DE LEENHEER, L., Watergehalte, ontwatering en wateropname als kenmerkende eigenschappen van kleimineralen. Mededeel. Landb. Hoogesch. Gent 9, p. 121.
1931. EDELMAN, C. H., Mineralog. Untersuch. v. Sedimentgesteinen. Fortschr. der Mineralog. 15, p. 289.

1939. EDELMAN, C. H. and VAN BEERS, W. F. J., On mineralogical soil investigations. *Soil Research*, 6, p. 339.
1939. EITEL, W., MÜLLER, H. A., und RADZIEWSKI, O. E., Uebermikroskopische Untersuchung an Tonmineralien. *Ber. d. Deuts. Keram. Gesells.* 20, p. 165.
1940. EITEL, W. und RADZIEWSKI, O. E., Zur Kennzeichnung des Tonminerals Montmorillonit im übermikroskopischen Bilde. *Naturwiss.* 28, p. 397.
1935. ERHART, H., *Traité de pédologie*, I, Strasbourg.
1939. FAVEJÉE, J. CH. L., Quantitative röntgenographische Bodenuntersuchung. *Z. Kristall. A*, 101, p. 259.
1940. HARDON, H. J., De deshydratie van de kleifracities van... in Nederlandsch Indië voorkomende grondtypen. *Meded. Algemeen Proefst. vr. Landb. Buitenzorg*, p. 39.
1926. HARRASSOWITZ, H., Laterit. *Fortschritte der Geologie und Paläontologie*, 4, p. 253.
1930. HARRASSOWITZ, H., Böden der tropischen Regionen. *Blanck's Handbuch. der Bodenlehre*, 3, p. 362.
1936. JOFFE, J. S., *Pedology*. New Brunswick.
1934. JUNG, E., *Zeits. für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, 35, A, p. 737.
1938. KEPPELER, G., Neuere Untersuchungen über Tonmineralien. *Ber. d. Deuts. Keram. Ges.* 19, p. 159.
1933. KNOFF, A., U. S. Public Health Rept. 48, p. 183.
1939. KRUGER, G., Verwitterungsversuche am Leuzit. *Chem. d. Erde*, 12, 2, p. 236.
1913. LACROIX, A., Les latérites de la Guinée. *Nouv. Arch. Mus. d'Hist. natur.*, 5, sér. 5, p. 255.
1926. LINCK, G. und CALSOW, G., Bemerkungen zu der Calsowschen Arbeit — *Chem. d. Erde*, 2, p. 442.
1937. LINE, W. R. and ARADINE, P. W., Determination of quartz in presence of silicates. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed*, 9 (2), p. 60.
1940. MAEGDEFRAU, E. und HOFMANN, U., Quantitative Bestimmungen der Mineralien in Tonen auf röntgenogr. Wege. *Ber. d. Deuts. Keram. Gesellsch.* 21, p. 383.
1931. MATTSON, S., Laws of Soil Colloidal Behavior. V, *Soil Sciences*, 31, p. 311.
1937. MEHMEL, M., Beitrag zur Frage des Wassergehaltes der Minerale Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. *Chem. d. Erde*, 11, p. 1.
1933. MOHR, E. C. J., De bodem der tropen in het algemeen, en die van Nederlandsch Indië in het bijzonder. Amsterdam.
1921. RAMANN, E., Kohlensäure und Hydrolyse bei der Verwitterung. *Zentr. bl. f. Mineral. usw.*, p. 233 und 266.
1930. ROSS, C. S. and KERR, P. F., The kaolin minerals. U. S. A. Geol. Survey Prof. Pap. 165, p. 151.
1937. SCHACHTSCHABEL, P., Mikroskopische und röntgenogr. Untersuch. von Böden. *Bodenkunde und Pflanzenernährung* 5 (50), p. 375.

1940. SCHACHTSCHABEL, P., Untersuchungen über die Sorption der Bodenkolloide... Kolloïd-Beihefte 51, p. 199.
1932. TAMM, O., Ueber die Oxalatmethode in der Chem. Bodenanalyse. Meded. fr. Statens Skogförsöksanstalt, 27, p. 1.
- 1908a. THOULET, J., Origine éolienne des minéraux fins contenus dans les fonds marins. C. R. Acad. Sci. Paris, 146, p. 1346.
- 1908b. THOULET, J., De l'influence de la déflation sur la constitution des fonds océaniques. C. R. Acad. Sci. Paris, 147, p. 1363.
1910. THOULET, J., Sédiments marins d'origine éolienne. C. R. Acad. Sci. Paris, 150, p. 947.
1940. TROSTEL, L. J. and WYNNE, D. J., Determination of quartz in refractory clays. Journ. Amer. Ceram. Soc. 23, p. 18.
1935. TRUOG, E. and DROSDOFF, M., Determination of the mineral content of the soil absorbing complex. Trans. 3rd Int. Cong. Soil Sci. 1, p. 92.
1936. TRUOG, E., TAYLOR, J. R., PEARSON, A. W., WEEKS, M. E. and SIMONSON, R. W., Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 1, p. 101.
1940. TUNN, W., Untersuchungen über die Verwitterung des Tremolit. Chem. d. Erde, 12, 3, p. 275.
1904. VAN BEMMELEN, J. M., Beiträge zur Kenntnis der Verwitterungsprodukte der Silikate in Ton, Vulkanischen und Laterit-Böden. Zeitschr. f. Anorgan. und Allgem. Chemie, 42, p. 265.
1938. VAGELER, P., Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde 2<sup>e</sup> Auflage — Berlin.
1940. VON ARDENNE, M., ENDELL, K. und HOFFMANN, U., Untersuchungen feinsten Fraktionen von Bentoniten und Tonböden. Ber. d. Deuts. Keram. Gesells. 24, p. 209.
1937. VON ENGELHARDT, W., Mineralogische Beschreibung eines mecklenburgischen Bodenprofils. Chemie der Erde 11, p. 17.
1940. VON ENGELHARDT, W., Zerfall und Aufbau von Mineralien in norddeutschen Bleicherdewaldböden. Chem. d. Erde, 13, p. 1.
1939. WILLIAMS, E. G., The determination, occurrence and significance of ferric oxide in soils. Travail de fin d'études, Bangor.
-



# PUBLICATIONS DE L'INÉAC

Les publications de l'INÉAC peuvent être échangées contre des publications similaires et des périodiques émanant des Institutions belges ou étrangères. S'adresser, 14, rue aux Laines, Bruxelles. Elles peuvent être obtenues moyennant versement du prix de vente au n° 8737 du compte chèques postaux de l'Institut.

Les études sont publiées sous la responsabilité de leurs auteurs.

## SÉRIE SCIENTIFIQUE

- N° 1. LEBRUN, J. Les essences forestières des régions montagneuses du Congo oriental. 264 pp., 28 fig., 18 pl., 25 fr., 1935.
- N° 2. STEYAERT, R. L. Un parasite naturel du *Stephanoderes*. Le *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILLEMIN. 46 pp., 16 fig., 5 fr., 1935.
- N° 3. GHESQUIÈRE, J. État sanitaire de quelques palmeraies de la province de Coquilhatville. 40 pp., 4 fr., 1935.
- N° 4. D<sup>r</sup> STANER, P. Quelques plantes congolaises à fruits comestibles. 56 pp., 9 fig., 9 fr., 1935.
- N° 5. BEIRNAERT, A. Introduction à la biologie florale du palmier à huile. 42 pp., 28 fig., 12 fr., 1935.
- N° 6. JURION, F. La brûlure des caféiers. 28 pp., 30 fig., 8 fr., 1936.
- N° 7. STEYAERT, R. L. Étude des facteurs météorologiques régissant la pullulation du *Rhizoctonia solani* Kühn sur le cotonnier. 27 pp., 3 fig., 6 fr., 1936.
- N° 8. LEROY, J. V. Observations relatives à quelques insectes attaquant le caféier. 30 pp., 9 fig., 10 fr., 1936.
- N° 9. STEYAERT, R. L. Le port et la pathologie du cotonnier. — Influence des facteurs météorologiques. 32 pp., 11 fig., 17 tabl., 15 fr., 1936.
- N° 10. LEROY, J. V. Observations relatives à quelques hémiptères du cotonnier. 20 pp., 18 pl., 9 fig., 35 fr., 1936.
- N° 11. STOFFELS, E. La sélection du caféier *arabica* à la station de Mulungu (Premières communications). 41 pp., 22 fig., 12 fr., 1936.
- N° 12. OPSOMER, J. E. Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. I. La technique des essais. 25 pp., 2 fig., 15 tabl., 15 fr., 1937.
- N° 13. STEYAERT, R. L. Présence du *Sclerospora Maydis* (Rac.) PALM (*S. javanica* PALM) au Congo belge. 16 pp., 1 pl., 5 fr., 1937.
- N° 14. OPSOMER, J. E. Notes techniques sur la conduite des essais avec plantes annuelles et l'analyse des résultats. 79 pp., 16 fig., 20 fr., 1937.
- N° 15. OPSOMER, J. E. Recherches sur la « Méthodique » de l'amélioration du riz à Yangambi. II. Études de biologie florale. — Essais d'hybridation. 39 pp., 7 fig., 10 fr., 1938.
- N° 16. STEYAERT, R. L. La sélection du cotonnier pour la résistance aux stigmatomycoses. 29 pp., 10 tabl., 8 fig., 9 fr., 1939.
- N° 17. GILBERT, G. Observations préliminaires sur la morphologie des plantules forestières au Congo belge. 28 pp., 7 fig., 10 fr., 1939.
- N° 18. STEYAERT, R. L. Notes sur deux conditions pathologiques de l'*Elaeis guineensis*. 13 pp., 5 fig., 4 fr., 1939.
- N° 19. HENDRICKX, F. Observations sur la maladie verruqueuse des fruits du caféier. 11 pp., 1 fig., 3 fr., 1939.
- N° 20. HENRARD, P. Réaction de la microflore du sol aux feux de brousse. Essai préliminaire exécuté dans la région de Kisantu. 23 pp., 6 fr., 1939.
- N° 21. SOYER, D. La « rosette » de l'arachide. Recherches sur les vecteurs possibles de la maladie. 23 pp., 7 fig., 11 fr., 1939.
- N° 22. FERRAND, M. Observations sur les variations de la concentration du latex in situ par la microméthode de la goutte de latex. 33 pp., 1 fig., 12 fr., 1941.

- N° 23. WOUTERS, W. **Contribution à la biologie florale du maïs. Sa pollinisation libre et sa pollinisation contrôlée en Afrique centrale.** 51 pp., 11 fig., 14 fr., 1941.
- N° 24. OPSOMER, J.-E. **Contribution à l'étude de l'hétérosis chez le riz.** 30 pp., 1 fig., 12 fr., 1942.
- N° 25. DE LEENHEER, L. **Introduction à l'étude minéralogique des sols du Congo belge.** 45 pp., 4 fig., 15 fr., 1944.

### SÉRIE TECHNIQUE

- N° 1. RINGOET, A. **Notes sur la préparation du café.** 52 pp., 13 fig., 5 fr., 1935. (*épuisé*).
- N° 2. SOYER, L. **Les méthodes de mensuration de la longueur des fibres du coton.** 27 pp., 12 fig., 3 fr., 1935.
- N° 3. SOYER, L. **Technique de l'autofécondation et de l'hybridation des fleurs du cotonnier.** 19 pp., 4 fig., 2 fr., 1935.
- N° 4. BEIRNAERT, A. **Germination des graines du palmier *Elaeis*.** 39 pp., 7 fig., 8 fr., 1936.
- N° 5. WAELKENS, M. **Travaux de sélection du coton.** 107 pp., 23 fig., 15 fr., 1936.
- N° 6. FERRAND, M. **La multiplication de l'*Hevea brasiliensis* au Congo belge.** 34 pp., 11 fig., 12 fr., 1936.
- N° 7. REYFENS, J. L. **La production de la banane au Cameroun.** 22 pp., 20 fig., 8 fr., 1936.
- N° 8. PITTEY, R. **Quelques données sur l'expérimentation cotonnière. — Influence de la date des semis sur le rendement. — Essais comparatifs.** 61 pp., 47 tabl., 23 fig., 25 fr., 1936.
- N° 9. WAELKENS, M. **La purification du Triumph Big Boll dans l'Uele.** 44 pp., 22 fig., 15 fr., 1936.
- N° 10. WAELKENS, M. **La campagne cotonnière 1935-1936.** 46 pp., 9 fig., 12 fr., 1936.
- N° 11. WILBAUX, R. **Quelques données sur l'épuration de l'huile de palme.** 16 pp., 6 fig., 5 fr., 1937.
- N° 12. STOFFELS, E. **La taille du caféier *arabica* au Kivu.** 34 pp., 22 fig., 8 photos et 9 planches, 15 fr., 1937.
- N° 13. WILBAUX, R. **Recherches préliminaires sur la préparation du café par voie humide.** 50 pp., 3 fig., 12 fr., 1937.
- N° 14. SOYER, L. **Une méthode d'appréciation du coton-graines.** 30 pp., 7 fig., 9 tabl., 8 fr., 1937.
- N° 15. WILBAUX, R. **Recherches préliminaires sur la préparation du cacao.** 71 pp., 9 fig., 20 fr., 1937.
- N° 16. SOYER, D. **Les caractéristiques du cotonnier au Lomami. Étude comparative de cinq variétés de cotonniers expérimentées à la station de Gandajika.** 60 pp., 14 fig., 3 pl., 24 tabl., 20 fr., 1937.
- N° 17. RINGOET, A. **La culture du quinquina. Possibilités au Congo belge.** 40 pp., 9 fig., 10 fr., 1938.
- N° 18. GILLAIN, J. **Contribution à l'étude des races bovines indigènes au Congo belge.** 33 pp., 16 fig., 10 fr., 1938.
- N° 19. OPSOMER, J. E. et CARNEWAL, J. **Rapport sur les essais comparatifs de décorticage de riz exécutés à Yangambi en 1936 et 1937.** 39 pp., 6 fig., 12 tabl. hors texte, 8 fr., 1938.
- N° 20. LECOMTE, M. **Recherches sur le cotonnier dans les régions de savane de l'Uele.** 38 pp., 4 fig., 8 photos, 12 fr., 1938.
- N° 21. WILBAUX, R. **Recherches sur la préparation du café par voie humide.** 45 pp., 11 fig., 15 fr., 1938.
- N° 22. BANNEUX, L. **Quelques données économiques sur le coton au Congo belge.** 46 pp., 14 fr., 1938.
- N° 23. GILLAIN, J. **« East Coast Fever ». Traitement et immunisation des bovidés.** 32 pp., 14 graphiques, 12 fr., 1939.
- N° 24. STOFFELS, E. H. J. **Le quinquina.** 51 pp., 21 fig., 3 pl., 12 tabl., 18 fr., 1939.
- N° 25a. FERRAND, M. **Directives pour l'établissement d'une plantation d'*Hevea* greffés au Congo belge.** 48 pp., 4 pl., 13 fig., 15 fr., 1941.

- N<sup>o</sup> 25b. FERRAND, M. **Aanwijzingen voor het aanleggen van een geënte *Hevea* aanplanting in Belgisch-Congo.** 51 pp., 4 pl., 13 fig., 15 fr., 1941.
- N<sup>o</sup> 26. BEIRNAERT, A. **La technique culturale sous l'Équateur.** xi-86 pp., 1 portrait héliog., 4 fig., 22 fr., 1941.
- N<sup>o</sup> 27. LIVENS, J. **L'étude du sol et sa nécessité au Congo belge.** 53 pp., 1 fig., 16 fr., 1943.

### HORS SÉRIE

- \* \* \* **Renseignements économiques sur les plantations du secteur central de Yangambi.** 24 pp., 3 fr., 1935.
- \* \* \* **Rapport annuel pour l'Exercice 1936.** 143 pp., 48 fig., 20 fr., 1937.
- \* \* \* **Rapport annuel pour l'Exercice 1937.** 181 pp., 26 fig., 1 carte hors texte, 20 fr., 1938.
- \* \* \* **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (1<sup>re</sup> partie).** 272 pp., 35 fig., 1 carte hors texte, 35 fr., 1939.
- \* \* \* **Rapport annuel pour l'Exercice 1938 (2<sup>e</sup> partie.)** 216 pp., 25 fr., 1939.
- \* \* \* **Rapport annuel pour l'Exercice 1939.** 301 pp., 2 fig., 1 carte hors texte, 35 fr., 1941.
- GOEDERT, P. **Le régime pluvial au Congo belge.** 45 pp., 4 tableaux, 15 planches et 2 graphiques hors texte, 30 fr., 1938.
- BELOT, R. M.  
BAEYENS, J. **La sérériculture au Congo belge.** 148 pp., 65 fig., 15 fr., 1938.
- Les sols de l'Afrique centrale et spécialement du Congo belge.**  
Tome I. Le Bas-Congo. 375 pp., 9 cartes, 31 fig., 40 photos, 50 tableaux, 150 fr., 1938.
- LEBRUN, J. **Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo.** 183 pp., 19 pl., 80 fr., 1941.

### COLLECTION IN-4<sup>o</sup>.

- TOUIS, J., et FOUARGE, J., **Essences forestières et bôis du Congo.**  
Fascicule 1. *Introduction* (en préparation).  
Fascicule 2. *Afzormosia elata*, 22 p., 6 pl., 3 fig., 55 fr., 1943.  
Fascicule 3. *Guarea Thompsoni*, 38 pp., 4 pl., 8 fig., 85 fr., 1944.

### FICHES BIBLIOGRAPHIQUES

Les fiches bibliographiques éditées par l'Institut peuvent être distribuées au public, moyennant un abonnement annuel de 300 francs (Pour l'étranger, port en plus). Cette documentation bibliographique est éditée bimensuellement, en fascicules d'importance variable, et comprend environ 3.000 fiches chaque année. Elle résulte du recensement régulier des acquisitions des bibliothèques de l'Institut qui reçoivent la plupart des publications périodiques et des ouvrages de fonds, intéressant la recherche agronomique en général et plus spécialement la mise en valeur agricole des pays tropicaux et subtropicaux.

Outre les indications bibliographiques habituelles, ces fiches comportent un indice de classification (établi d'après un système empirique calqué sur l'organisation de l'Institut) et un compte rendu sommaire en quelques lignes.

Un fascicule-spécimen peut être obtenu sur demande.

**B. COMITÉ DE DIRECTION.**

*Président :*

- M. CLAESSENS, J.**, Directeur Général Honoraire du Service de l'Agriculture au Ministère des Colonies.

*Membres :*

- MM. ANTOINE, V.**, Professeur à l'Institut Agronomique de l'Université de Louvain ;  
**FALLON (Baron F.)**, Directeur Honoraire au Ministère des Colonies ;  
**HAUMAN, L.**, Professeur à l'Université de Bruxelles ;  
**MARCHAL, É.**, Professeur à l'Institut Agronomique de l'État à Gembloux ;  
**VAN DEN ABEELE, M.**, Directeur Général de l'Agriculture, Élevage et Colonisation au Ministère des Colonies ;  
**VAN STRAELEN, V.**, Directeur du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique

**C. DIRECTEUR GÉNÉRAL.**

- M. CLAESSENS, J.**, Directeur Général Honoraire du Service de l'Agriculture au Ministère des Colonies.
-

