



HAL
open science

Utilisation de techniques mineralogiques pour l'examen des profils de sols

R. Guennelon

► **To cite this version:**

R. Guennelon. Utilisation de techniques mineralogiques pour l'examen des profils de sols. no. 5;n.p., 1958. hal-02859017

HAL Id: hal-02859017

<https://hal.inrae.fr/hal-02859017>

Submitted on 8 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

R. Peres

ANC 43

UTILISATION DE TECHNIQUES MINÉRALOGIQUES
POUR L'EXAMEN DES PROFILS DE SOLS

par

R. GUENNELON

(Avignon)

UTILISATION DE TECHNIQUES MINÉRALOGIQUES

POUR L'EXAMEN DES PROFILS DE SOLS (1)

par R. GUENNELON (Avignon)

- I - Introduction
- II - Granulométrie et répartition des minéraux rares.
- III - Examen minéralogiques des sables
 - 1 - Examen morphoscopique des quartz
 - 2 - Détermination des minéraux légers
 - 3 - Détermination des minéraux lourds
- IV - Nature de la fraction argileuse
- V - Propriétés des sols en rapport avec leurs caractéristiques minéralogiques.
- VI - Conclusions générales
- VII - Bibliographie

I - Introduction -

L'analyse minéralogique d'un sol présente l'avantage de donner un certain nombre de renseignements très précis sur la nature des minéraux qui y figurent, renseignements à partir desquels il est possible d'obtenir des données intéressant l'origine du sol, son mode d'évolution, sa richesse en éléments minéraux, et les probabilités de carence.

De nombreux auteurs, en particulier WEYL (8) en Allemagne, BRAJNIKOV (1) (2) et DUCHAUFOR (3) en France, DURAND (4) en Algérie, TAMM (7), de LEENHER (5) en Belgique, MARSHALL et JEFFRIES (6) aux États-Unis, etc... ont abordé l'étude des techniques à utiliser, et l'interprétation des résultats obtenus.

Cette note ne prétend pas résoudre tous les problèmes posés par la composition minéralogique d'un sol, ni donner des méthodes

(1) Participation technique de M. R. BLANC, Agent Technique.

absolues, mais elle peut contribuer à montrer tout l'intérêt que l'on peut attendre de telles déterminations.

On envisagera successivement la séparation des éléments sableux et leur traitement en vue de leur examen, l'examen proprement dit des différents lots de sables, l'intérêt de la nature minéralogique de la fraction argileuse ; on précisera ensuite les notions pratiques auxquelles peuvent se rattacher les résultats de ces examens. On traitera au long de cette note de quelques exemples pouvant illustrer les techniques proposées.

II - GRANULOMETRIE ET REPARTITION DES MINERAUX RARES -

La première opération à effectuer, va être la séparation des différentes phases granulométriques d'un échantillon, permettant d'isoler une quantité suffisante de matériel que l'on comparera au matériel équivalent d'autres échantillons.

1° - Préparation des échantillons.

On partira d'un échantillon de sol non broyé en quantité telle que l'on pourra obtenir après les traitements 80 à 100 grammes de sables siliceux supérieurs à 0,050 mm. Ce poids pourra être facilement fixé si l'on a procédé à l'analyse mécanique classique, au préalable. L'échantillon est d'abord traité au HCl au 1/2 pour détruire les carbonates ; le liquide surnageant est décanté 2 ou 3 fois, puis on traite à l'ébullition par HCl au 1/2 pendant un quart d'heure environ. On lave par siphonage jusqu'à réaction neutre, à une profondeur de 10 cm au bout d'une minute. On élimine ainsi l'argile et une partie des limons et sables très fins. On effectue ensuite une attaque à NO_3H concentré en vue de détruire les matières organiques, à l'ébullition, pendant 15 minutes. On décante ensuite jusqu'à la neutralité et on sèche à 100 - 105°. Ce traitement a le désavantage d'éliminer certaines espèces minérales, d'en attaquer d'autres, mais il permet d'obtenir des grains très propres se prêtant bien aux déterminations. Si l'on tient par exemple à conserver l'apatite, la glauconie, l'olivine, la serpentine, il est préférable d'utiliser des réactifs moins énergiques (acide oxalique), (acide oxalique et SNa_2 , acide oxalique et Al, HCl dilué). (II)

2° - Tamisage

Cette opération répond à un double but. Tout d'abord, elle permet d'obtenir des lots où tous les éléments sont de dimensions comparables, donc observables tous avec le même grossissement ; d'autre

part, elle permet d'établir la courbe représentative du sable extrait de l'horizon du sol.

A cet effet, on pourra utiliser différents types de fractionnement, mais si l'on dispose d'une quantité importante de sables, il est possible d'utiliser pour le tamisage, en plus des dimensions de l'échelle internationale (2 mm, 0,200 mm et 0,020 mm), des tamis de dimensions intermédiaires pour obtenir de nombreux points de la courbe.

On doit se servir, dans la mesure du possible, de tamis régulièrement espacés quant aux vides des mailles.

Toutefois, pour des raisons de rapidité d'exécution, il n'y a pas intérêt à multiplier le nombre des tamis et, compte tenu des résultats obtenus sur différents matériaux d'origines variées, on peut se limiter, comme dans l'exemple donné plus loin, à une douzaine de dimensions.

On peut construire à partir des résultats pondéraux obtenus soit une courbe cumulative par paliers, soit un diagramme des fréquences. RIVIERE (12) indique un procédé géométrique permettant d'obtenir un histogramme très satisfaisant : à partir de la courbe cumulative par paliers, on trace par interpolation, une courbe cumulative continue ; on en déduit (figure 1) l'histogramme continu en le construisant par points de la manière suivante :

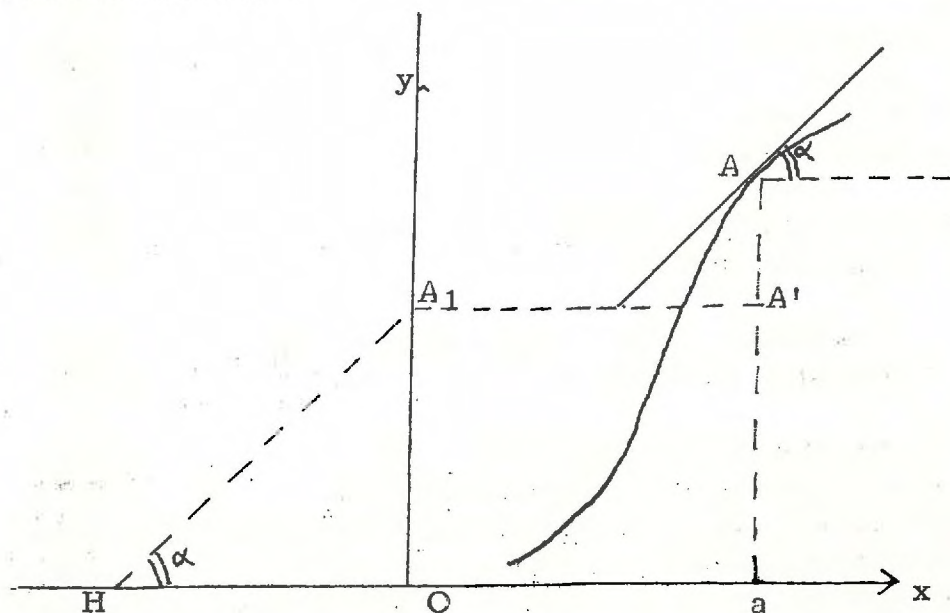


Fig. 1 - Construction de l'histogramme par points.

Soit $y = f(x)$ la courbe cumulative. On mène la tangente en un point A de cette courbe. D'un point H pris sur $o x$ (ou sur son prolongement), on mène la parallèle à cette tangente qui coupe $o y$ en A_1 . On a $t_{\alpha} = \frac{dy}{dx} = \frac{OA_1}{HO}$, donc $OA_1 = k \cdot \text{tg} \alpha$

Si on mène la parallèle A_1A' à $o x$, on a :

$$a A' = OA_1 = k \cdot \text{tg} \alpha$$

Donc $a A'$ est proportionnel à $\frac{dy}{dx}$ et A' est le point de l'histogramme qui correspond à A, à une réduction d'ordonnées près.

Cette méthode a été appliquée à un sol sableux reposant sur des grès cénomaniens, dont les caractères sont les suivants :

- de 0 à 10 cm : Horizon poudreux gris rose, avec des lichens et quelques touffes de graminées (n° 86)
- de 10 à 25 cm : Horizon jaune et ocre jaune sableux compact (n° 87)
- de 23 à 38 cm : Horizon lié de vin, sableux très compact (n° 88)
- de 38 à 44 cm : Horizon jaune et rouge devenant argilo-limoneux, très compact (n° 89)
- de 44 à 80 cm : Horizon jaune et blanc, argilo-limoneux très compact (n° 90)
- au-dessous : Sables gréseux roses agglomérés entourant des noyaux de grès blancs et roses très durs (échantillon "g")

Ce profil sableux semble dériver directement des grès sous-jacents et une analyse physico-chimique sommaire laisserait croire qu'il s'agit d'un sol lessivé avec accumulation d'argile et de sesquioxides hydratés en profondeur. Néanmoins, un premier indice d'hétérogénéité apparaît si l'on tient compte de la répartition des 3 catégories de sables (gros de 2 mm à 0,20 mm, fins de 0,20 mm à 0,050 mm, très fins de 0,050 mm à 0,020 mm).

	<u>86.</u>	<u>87</u>	<u>88</u>	<u>89</u>	<u>90</u>
Eléments sup. à 2 mm	0	0	0	0	0
Argile	10,7	15,9	15	17,9	21
Limon	8,6	12,9	17	25,7	33,3
Sables très fins	23	29,3	34,4	29,4	26,4
Sables fins	42,6	37,4	31,4	23,4	15,8
Sables grossiers	14	4,2	1,9	3,9	2,6
Sables Totaux	79,6	70,9	67,7	56,3	44,8
Sables très fins) %	28,9	41,4	50,8	52,2	58,9
Sables fins (de	53,5	52,8	46,4	41,5	35,2
Sables grossiers) S.T.	17,6	5,8	2,8	6,3	5,9
Calcaire total	0	0	0	0	0
Fer libre o/oo	13,45	18,3	21,7	33,2	28,4
Capacité d'échange pour 100 gr d'argile en meq.	3,5	6,47	5,56	6,15	5,88

Tableau I - Résultats analytiques

Par contre l'analyse granulométrique complète, menée selon la technique décrite, donne les résultats consignés dans le tableau II, et on en déduit les courbes cumulatives et les histogrammes représentés plus loin. (Fig.2, Fig. 3)

On voit de suite que les différents horizons n'ont pas la même composition granulométrique et qu'ils diffèrent également du grès sous-jacent. Par contre, l'horizon supérieur (86) est particulièrement différent des autres horizons ; la courbe du grès présente une forte homométrie avec médiane vers 0,300 mm (médiane des plages marines actuelles : 0,300 mm). On retrouve ce maximum dans l'échantillon 86, avec diminution de l'intensité, dans tous les autres échantillons.

3° - Séparation des minéraux lourds.

La grande majorité des sables étant constituée d'éléments quartzeux, tous identiques à première vue lorsque les pigments qui les colorent ont été enlevés, un examen plus poussé nécessite l'élimination de ce quartz.

FIGURE 2

COURBES CUMULATIVES REPRESENTATIVES

DES RESULTATS DU TABLEAU II

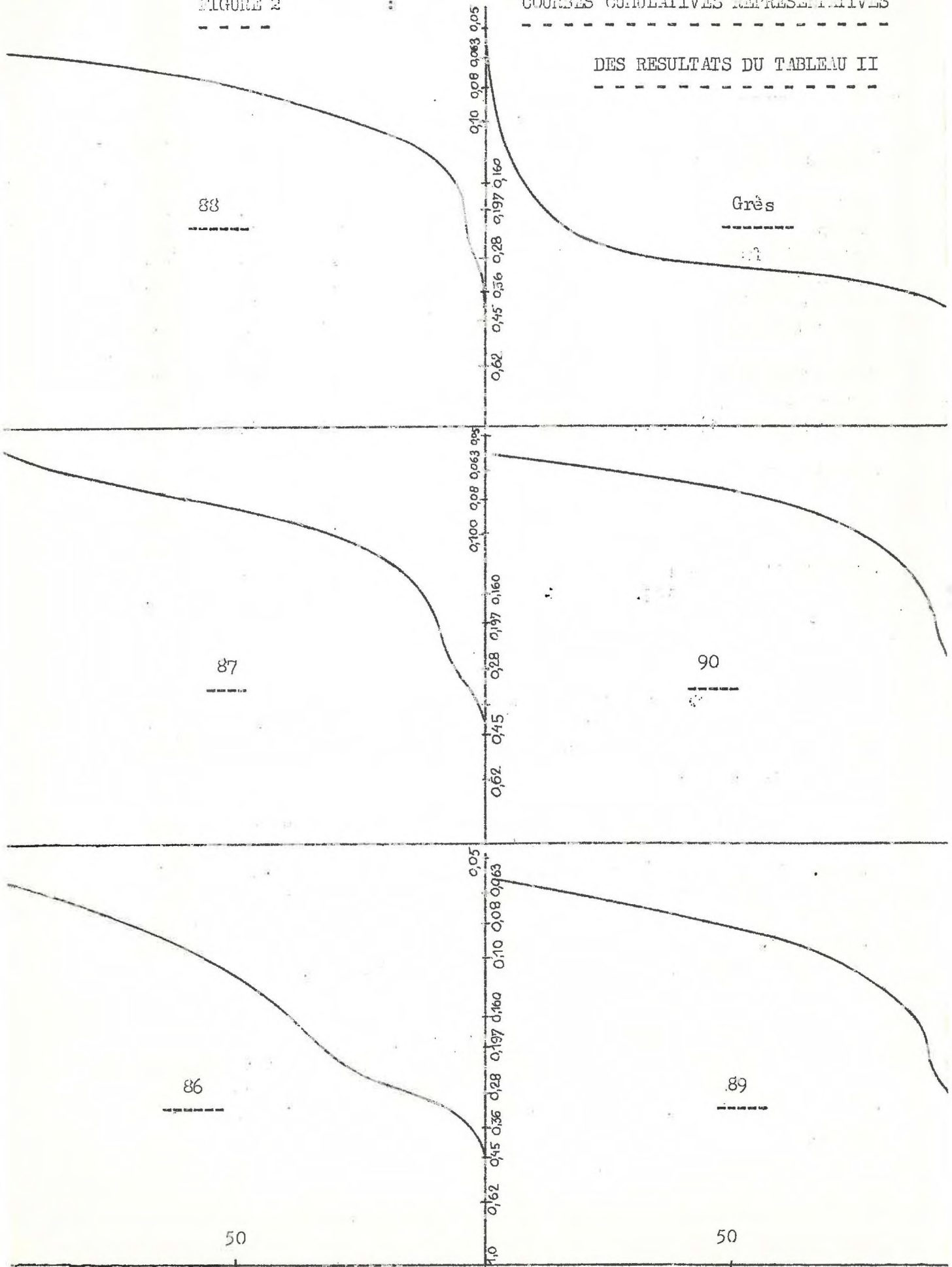


FIGURE 3



89

HISTOGRAMMES DERIVES DES COURBES

DE LA FIGURE 2

0,62 0,45 0,28 0,197 0,160 0,100 0,08 0,05



86

90

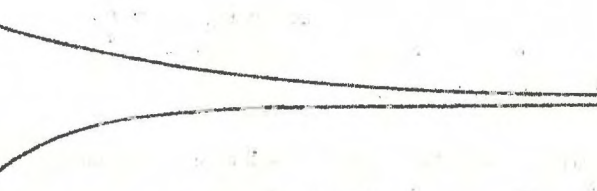


0,62 0,45 0,28 0,197 0,160 0,100 0,08 0,05



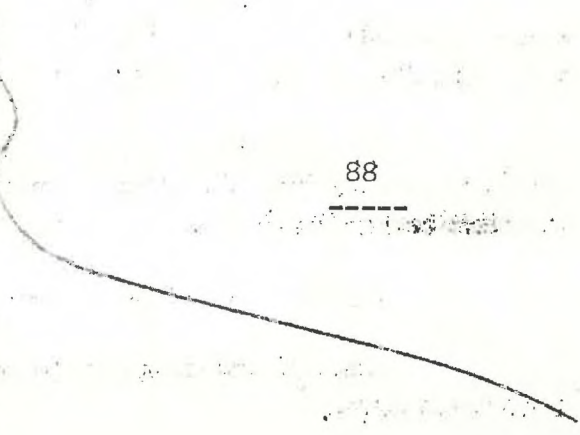
87

grès



88

0,62 0,45 0,28 0,197 0,160 0,100 0,08 0,05



Mailles utilisées	<u>86</u>	<u>87</u>	<u>88</u>	<u>89</u>	<u>90</u>	<u>grès g.</u>
2 mm	0	0	0	0	0	0,6
0,99	0	0	0	0	0	0,7
0,62	0	0	0	0	0	0,77
0,45	0,02	0	0	0	0	0,93
0,36	0,69	0,29	0,12	0,22	0,21	8,46
0,28	6,73	3,21	1,35	3,28	3,0	37,66
0,197	27,27	8,74	4,39	9,85	8,6	71,74
0,160	36,18	10,31	5,10	11,60	10,1	90,26
0,100	48,02	20,26	12,85	20,40	17,87	96,14
0,080	63,91	41,94	36,96	41,93	32,57	98,13
0,063	81,61	72,46	63,23	69,46	59,57	99,05
	99,98	99,98	99,99	99,66	99,9	100

TABLEAU II - Pourcentages cumulés des diverses tailles de sables supérieurs à 0,050 mm.

On s'adressera alors à une séparation par densité qui permettra de recueillir une fraction d'éléments sableux constituée par des minéraux plus rares que le quartz et de densité supérieure.

La technique la plus généralement utilisée est celle qui consiste à faire tomber dans du Bromoforme de densité 2,9 le sable réuni en 2 lots de dimensions limites :

0,360 - 0,160 et 0,160 - 0,050 mm

On obtient ainsi un lot grossier et un lot fin de minéraux plus lourds que 2,9.

Les détails opératoires sont décrits dans des ouvrages spécialisés, avec maintes variantes possibles, (13) (14) au point de vue matériel à utiliser et manipulations.

Il peut être intéressant, dans certains cas, de faire varier les limites définies ci-dessus et de faire autant de lots que les courbes de fréquence comportent de classes définies par leur maximum. C'est pourquoi, dans l'exemple cité, il était logique de séparer les sables compris entre 0,360 et 0,160 de ceux compris entre 0,160 et 0,050 mm puisque les courbes granulométriques semblent révéler une hétérogénéité du 2^{ème} ordre. On peut dès lors comparer pour chaque échantillon la fréquence des minéraux lourds et avoir ainsi un premier indice par le pourcentage de ceux-ci, par rapport au poids total du lot considéré.

	1er lot (0,360 - 0,160 mm)			2° lot (0,160 - 0,050 mm)		
	Poids de Sables	Poids de minéraux lourds	o/oo	Poids de Sables	Poids de minéraux lourds	o/oo
86	34,93	0,228	6,5	75,62	0,556	7,3
87	7,55	0,062	8,2	96,01	0,086	0,9
88	4,30	0,038	8,2	119,25	0,028	0,23
89	6,59	0,050	7,6	70,46	0,060	0,85
90	3,33	0,020	6	42,47	0,037	0,88
grès	50,15	0,308	6	9,01	0,329	36,5

Tableau III - Répartition pondérale des minéraux lourds.

On peut voir sur le tableau III et la figure 4 que l'on retrouve des indications comparables à celles données par la granulométrie ; il s'y ajoute une précision complémentaire concernant la fraction grossière des 6 échantillons qui présente toujours ; à très peu près, le même pourcentage de minéraux lourds. La fraction fine, par contre, est beaucoup moins riche pour les échantillons 87 à 90 que pour le grès et l'horizon supérieur du profil (n) 86).

III - Examens minéralogiques des sables -

Après cette première série d'examens, on pourra procéder à certaines déterminations concernant la nature des grains, leurs formes, leur répartition par espèces minérales. Ces indications permettent alors de préciser l'origine des matériaux, leur altération et les actions mécaniques qu'ils ont pu subir.

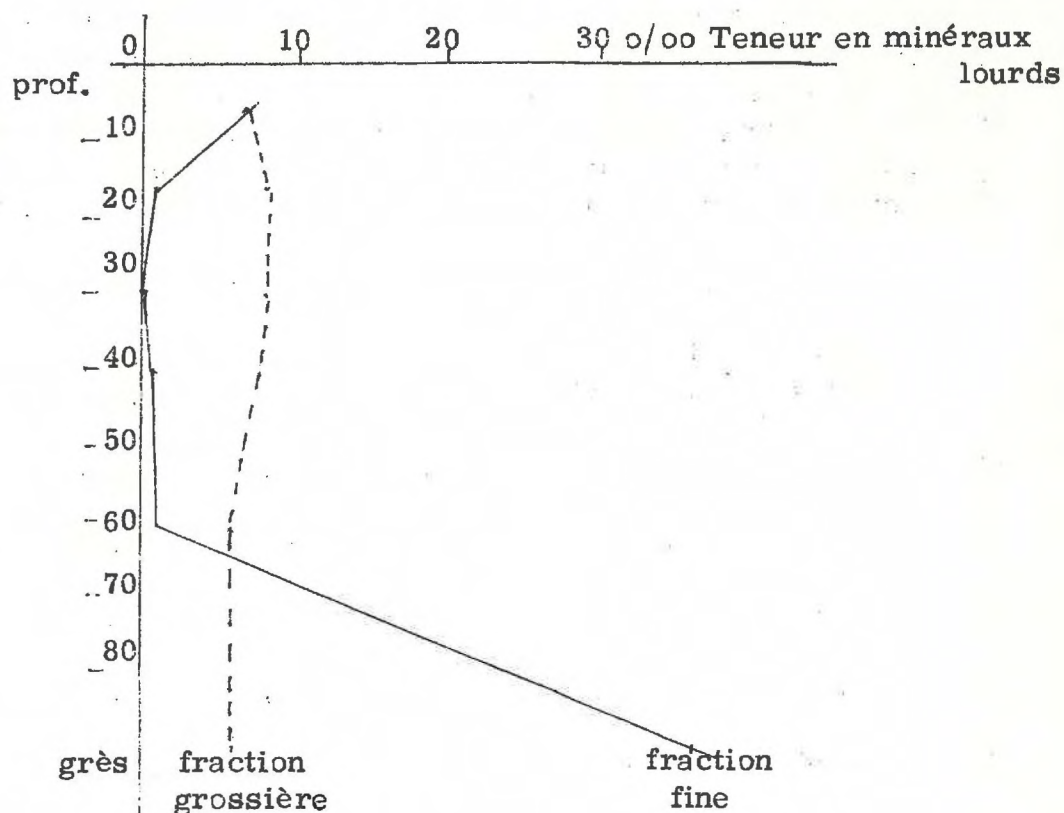


Figure 4 : Variations de la teneur en minéraux lourds dans le profil

1° - Examen morphoscopique des quartz .

Dans la fraction sableuse d'un sol, on a donc un pourcentage de minéraux légers généralement supérieur à 95 %, dont le quartz représente toujours la majeure partie. La forte résistance de ce minéral à l'altération permet d'y trouver enregistrées certaines actions mécaniques, physiques ou chimiques, auxquelles a été soumis le matériel. En particulier, on peut distinguer parmi les quartz, des grains ayant subi l'action du vent (ils sont alors arrondis et de surface mate), des

grains ayant été roulés par les eaux (ils sont émoussés et de surface très luisante), enfin des grains ne présentant pas de traces d'usure, soit parce qu'ils ont été soumis à peu d'actions mécaniques, soit parce qu'ils sont de néoformation. Ces distinctions ont été mises en évidence par de SORBY vers 1880, (16), et après lui, CAILLEUX a exposé et développé les techniques d'examen (15). Il s'agit de distinguer parmi les grains de même taille et de préférence, au voisinage de 0,7 mm, les ronds-mats, les émoussés-luisants et les non-usés, en faisant un dénombrement sur une centaine de grains environ.

Les grains sont examinés à la loupe binoculaire, sur fond noir, avec un éclairage à 45° provenant d'une lampe à filament vertical, sans interposition de dépoli (Cailleux).

a) Grains non-usés - Les arêtes sont encore vives, les faces planes et formant miroir (N.U.)

b) Grains émoussés-luisants - La forme générale du cristal n'est plus apparente ; sommets et arêtes sont remplacés par des bosses. Le filament de la lampe donne deux images nettes, l'une par réflexion sur la face supérieure du grain l'autre par réflexion sur la face intérieure et après réfractions internes (E.L.)

c) Grains ronds-mats - Les grains sont arrondis, ou même franchement sphériques et toute la surface réfléchit la lumière ; il s'ensuit que les deux images précédentes sont floues, que le grain réfléchit par toute sa surface et que le fond noir est invisible (R.M.)

L'action des rivières ainsi que des grands lacs est de produire lentement des émoussés-luisants ; la mer et les marmites karstiques produisent des émoussés-luisants ; le gel, les petits lacs donnent des grains non-usés, et le vent des grains ronds-mats, (Cailleux).

On peut, bien entendu, comparer des tailles de grains de sables, variées mais il n'est pas utile de descendre au-delà de 0,300 mm, car les grains sont plus petits, enregistrant moins les actions mécaniques, et en général non usés. Cette technique permet donc de comparer deux échantillons pour voir s'ils ont eu des histoires analogues ou de déceler dans un même échantillon des phases diverses de son évolution ou des

mélanges de matériaux .

A titre d'exemple, le grès étudié et l'échantillon n° 89 ont donné les résultats suivants :

Taille en mm	E. L.		R. M.		N. U.	
	89	grès	89	grès	89	grès
0,990 à 0,620	-	agg:	-	-	-	-
0,620 à 0,450	60 %	60 %	20 %	10 %	20 %	30 %
0,450 à 0,360	77 %	78 %	23 %	20 %	0 %	1-2 %
0,360 à 0,280	83 %	86 %	17 %	12 %	0 %	2 %

Tableau IV - Morphoscopie des quartz.

On remarque une analogie étroite entre les deux types de matériaux avec prédominance marquée des émoussés-luisants qui exclut l'origine éolienne des sables, tout au moins pour la fraction grossière de l'échantillon 89.

2° - Détermination des minéraux légers.

Un autre type de détermination intéressant la fraction des minéraux légers de densité $< 2,9$ est la connaissance de la nature de ses composants ; il est fréquent que le quartz en constitue la majeure partie, mais on peut y trouver des micas, des feldspaths ou des feldspathoïdes. Après une attaque du type de celle décrite plus haut, on trouvera dans cette fraction, les minéraux suivants :

- a) Feldspaths potassiques, et potassodiques :
- Orthose (K⁺)
 - Microcline (K⁺)
 - Anorthose (K⁺, Na⁺)

b) Feldspaths calciques et calcosodiques :

Albite	(Na ⁺)
Oligoclase	(Na ⁺ , Ca ⁺⁺)
Andésine	(Na ⁺ , Ca ⁺⁺)
Labrador	(Ca ⁺⁺ , Na ⁺)
Bitownite	(Ca ⁺⁺ , Na ⁺)
Anorthite	(Ca ⁺⁺)

c) Micas noirs :

Biotite	(K ⁺ , Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺)
Phlogopite	(K ⁺ , Mo ⁺⁺)

d) Micas blancs :

Muscovite	(K ⁺)
-----------	-------------------

Dans le cas, d'une attaque modérée, on pourra rechercher le gypse, la leucite, la glauconie, et si l'on a pas opéré en milieu acide, la calcite.

Les divers micas se distinguent aisément par leur forme et le dénombrement est facile. De même, par l'examen minéralogique le quartz, uniaxe négatif, est aisément différencié des feldspaths (B⁻ ou B⁺) Leur dénombrement peut être basé soit sur des propriétés optiques, soit sur leur composition chimique.

DUCHAUFOR (3) sépare mécaniquement les micas, qui, en plaque, restent collés sur une lame inclinée, alors que les autres minéraux roulent. Il plonge ensuite ses minéraux légers (d 2,68) dans un liquide d'indice 1,544 et il compte ainsi les feldspaths potassiques dont les indices sont voisins de 1,52-1,53. Les feldspaths calcosodiques sont séparés dans un lot de densité 2,68 - 2,9. On peut utiliser une technique différente dont le mérite est de permettre d'obtenir des préparations que l'on peut conserver pour des comparaisons ultérieures. La méthode a été précisée par GRAHAM (17) et consiste en une coloration des éléments. On l'utilise de la façon suivante :

On fixe les grains de sable sur une lame enduite de brai. On peut utiliser, à cet effet, du goudron de batterie électrique dissout dans le benzène. On dépose quelques gouttes de cette solution visqueuse sur une lame de verre et on laisse sécher. Pour l'emploi, on réchauffe doucement le goudron pour le rendre un peu mou et on dépose le sable à étudier en l'enfonçant à demi avec une spatule.

On expose ensuite cette préparation aux vapeurs d'HF pendant 5 à 10 minutes. On la plonge ensuite dans le cobaltnitrite en solution saturée (5 minutes). On rince et on plonge 5 minutes dans le vert Malachite à 1 o/oo ; on rince, on laisse sécher et on observe.

Le quartz reste incolore et translucide. Les feldspaths potassiques (Orthose, Microcline, Anorthose) sont colorés en jaune après le 1er traitement, puis, définitivement, en vert jaune. Les micas sont également verts ou verts jaunes. Les feldspaths sodiques (Albite, Oligoclase) sont colorés en vert bleu, les feldspaths calciques ou calcosodiques (Labrador, Anorthite) sont moins attaqués et colorés en vert bleu pâle.

Cette technique a été appliquée à l'étude des relations minéralogiques entre une terre rouge et sa roche calcaire encaissante (18) et l'on verra par la suite d'autres exemples d'utilisation et leur interprétation.

3° - Détermination des minéraux lourds.

A côté de la détermination quantitative globale des minéraux de densité supérieure à 2,9, on peut également se poser le problème de la connaissance des espèces minérales présentes, de leur nature, de leur pourcentage respectif.

On aura ainsi la possibilité de préciser l'homogénéité complète d'un profil (ou éventuellement son hétérogénéité) si les associations minéralogiques sont les mêmes. Certains auteurs (19) (20) ont même utilisé la méthode pour résoudre des problèmes relatifs à des carences en oligoéléments ; DUCHAUFOR (3) affirme qu'elle peut remplacer dans le cas de K_2O et CaO par exemple, des analyses chimiques globales, en ce qui concerne les feldspaths et que la fraction de densité supérieure à 2,9 est significative pour la teneur en Fe, Mg et Ca. Pour des recherches pédologiques de détail, il est nécessaire d'identifier, avec précision, les minéraux rencontrés à l'intérieur de chaque fraction, en précisant même les différences de faciès, les figures d'altération ou de corrosion que l'on peut rencontrer sur chacun d'eux.

Des méthodes très précises de fractionnement, d'identification ont fait l'objet de traités ou de notes, mais certaines par leur complexité rendent très longues les manipulations. Si l'on considère que, au point de vue pédologique ou agronomique, il s'agit surtout d'obtenir des renseignements nombreux et variés, il faut que la méthode permette des déterminations rapides, pouvant, si le besoin s'en fait sentir, être complétées ou précisées d'une façon plus approfondie.

C'est pourquoi, la technique décrite ci-dessous a été retenue.

Chaque lot grossier et fin sera traité de la même façon et les pourcentages de chaque espèce seront calculés pour chacun de ces lots séparément. On pourra par la suite, en tenant compte des proportions relatives des lots grossiers et fins, donner une composition minéralogique globale.

Les lots des minéraux de densité $> 2,9$ sont repassés une seconde fois dans le bromoforme pour parfaire la séparation ; après lavage à l'éther et séchage, on monte entre lame et lamelle dans le Baume du Canada 200 à 300 grains, en notant le poids de minéraux montés, si l'on veut ultérieurement établir, la composition globale de tout l'échantillon ; on les sépare ensuite en deux lots par précipitation dans l'iodure de méthylène ($d = 3,33$) ; la fraction la plus lourde est lavée à l'éther, séchée et projetée dans NO_3Ag fondu. Pour cette dernière séparation, on peut placer des tubes en verre épais contenant NO_3Ag et les sables dans les pots en acier d'une centrifugeuse en remplissant ces pots, de sable dans lesquels est enfoncé le tube de verre.

On porte les pots ainsi préparés dans un grand récipient contenant du sable grossier et l'on chauffe pour maintenir les pots au voisinage de $210^\circ - 220^\circ$. On centrifuge ensuite légèrement pour parfaire la séparation. On peut alors soit sacrifier le tube et faire deux parts de la carotte de NO_3Ag resolidifié, soit dissoudre à l'eau chaude la couche supérieure de NO_3Ag pour recueillir par filtration les minéraux de densité $< 4,1$ et dissoudre ensuite le culot pour obtenir les minéraux les plus lourds.

On obtient ainsi 3 fractions de densités différentes :

- de 2,9 à 3,33
- de 3,33 à 4,1
- supérieur à 4,1.

L'identification des espèces étant facilitée par leur isolement préalable, on a alors à déterminer les propriétés optiques de minéraux déjà classés ; mais certains minéraux très voisins du point de vue optique peuvent se trouver dans la même fraction tels le zircon et la monazite, faiblement biaxe.

Aussi vaut-il mieux multiplier les lots pour n'avoir pratiquement qu'une espèce à déterminer dans chacun d'eux. Il est bien évident que, sauf cas exceptionnel, un minéral difficile à déterminer et présent dans un lot d'une façon insignifiante, pourra être négligé si le nombre des lots

est élevé ; et cela à plus forte raison, si ce lot paraît quantitativement plus faible que la moyenne des autres lots. En effet, si le nombre de lots est de 12, supposés à peu près de même poids, et si le minéral inconnu figure dans un lot avec un pourcentage inférieur à 10 %, sa fréquence ne dépassera pas 0,8 % dans la fraction considérée (dont un échantillon a été monté avant toute opération).

On a donc préféré, avant essai d'identification, diviser chacune des 3 fractions obtenues par les liqueurs lourdes, au moyen de l'électroaimant à champ progressivement variable (de 0 à 14.000 gauss par exemple).

En soumettant la poudre au champ magnétique progressivement croissant, on note assez facilement la valeur de l'intensité du courant d'alimentation pour laquelle une partie importante des grains monte au pôle supérieur ; on fixe alors le champ à la valeur adéquate et on épuise l'échantillon jusqu'à ce qu'aucun minéral ne se fixe plus.

On augmente alors ensuite le champ et on obtient ainsi des lots où ne figurent avec un fort pourcentage, qu'une ou deux espèces minérales. Il est bien évident qu'un minéral donné peut exister dans plusieurs lots car sa perméabilité magnétique peut varier ; mais alors il peut, soit présenter plusieurs faciès (degré d'altération par exemple), soit dominer nettement dans un seul ou deux des lots réalisés.

Cet ultime fractionnement étant effectué, on examinera d'abord à la loupe binoculaire chaque lot ; on notera la présence de quelques espèces dominantes en se basant sur la forme, la couleur, l'éclat, la corrosion, etc... et on cherchera, d'après l'examen des formes cristallines et des macles, à réaliser une première identification. On montera ensuite entre lame et lamelle des minéraux triés à la pince à dissection, puis des minéraux écrasés (frottis) et l'on cherchera à déterminer les caractères optiques (réfringence, pléochroïsme, clivage, angles d'extinction, signe d'allongement, uniaxie positive ou négative, biaxie positive ou négative etc...)

Cette détermination spécifique étant achevée, on reprendra la lame représentative de la fraction étudiée (fine ou grossière) et on procédera au comptage. Les grains opaques ou semi-opaques sont comptés sans différenciation ou, si cela est possible, rapporter à des espèces réellement opaques (magnétite, ilménite, pyrite, etc..) ou à des espèces normalement transparentes mais altérées ou bourrées d'inclusions.

Exemple d'application de la méthode :

Cette technique a été utilisée pour examiner la fraction lourde des sables des échantillons précédemment cités.

Pour le grès cénomaniens par exemple, la fraction grossière a été passée à l'iodure de méthylène.

On a ainsi obtenu 2 lots, le plus léger contenant des minéraux opaques, des minéraux transparents bruns foncés à noirs et incolores, le plus lourd, des minéraux opaques noirs, des minéraux jaunes d'or, et des minéraux incolores.

Par fractionnement de ces deux lots à l'électro-aimant en trois lots (très magnétiques, magnétiques et très peu magnétiques ou non magnétiques), on a pu examiner aisément et déterminer les minéraux suivants :

1° - Fraction de densité inférieure à 3,33

a) Lot très magnétique

- minéraux opaques : non identifiés.
- minéraux bruns ou vert foncé : Tourmaline.
(caractérisée par ses formes, son uniaxie négative, son pléochroïsme très intense, (foncé à incolore) - Les tourmalines doivent constituer également la majeure partie des opaques.

b) Lot moyennement magnétique

- minéraux d'autres lots

c) Lot peu ou non magnétique.

- minéral incolore, parfois rose : Andalousite
(caractérisée par son pléochroïsme (rose à incolore ou bleu pâle), sa réfringence et biréfringences faibles ses inclusions charbonneuses).

2° - Fraction de densité supérieure à 3,33.

a) Lot très magnétique.

- minéraux opaques de poussière brune : Ilménite
(caractérisée par voie microchimique : réaction du titane).

d : 2,9 - 3,33	d : 3,33 - 4,1	d 4,1		
Hornblende verte	Grenat grossulaire Siderose	Pyrrhotine Cligiste pyrite Mispickel Grenat Almandin Ilménite	TRES MAGNET.	↑
Scorodite	Ilvaite Hyperstène Spinelle Staurotide	Rutile Chromite	MAGNET. ↑	MAGNETISME CROISSANT
Epidote Tourmaline (d 2,9) Glauconie	epidote Anatase	Ematite Monazite	← MAGNET. ↓	
Axinite Actinote Augite	Augite	Chalcopyrite	← MAGNET. →	
Olivine	Idocrase Olivine			
(d 2,9) Beryl		Zircon		
	Disthène Sphène Blende	Blende	← FAIBLEMENT MAGNET. →	
Andalousite				
(d 2,9) Stéatite	Blende miellée Topaze	Galène	NON MAGNET.	

Tableau V : Classification des minéraux par magnétisme

- Minéraux jaune d'or à jaune brun : Staurotide (caractérisée par ses formes, son pléochroïsme jaune pâle à rose saumon, sa réfringence et sa biréfringence faibles).

b) Lot moyennement magnétique.

- Rutile : très rare.
- Minéraux opaques d'altération.
Ce lot représentant moins de 1 % en poids du total, il n'est pas nécessaire de pousser la détermination.

c) Lot peu magnétique.

- Minéral incolore parfois taché de bleu : Disthène (caractérisé par sa faible biréfringence, ses clivages, ses formes, sa biaxie avec angle des axes très grand et surtout son allongement positif, et son extinction oblique à 30°).

Il résulte de la pesée des lots que les minéraux très magnétiques (Ilménite, Tourmaline, Staurotide) représentant 89,2 % du poids de la fraction grossière. On doit donc s'attendre à une prédominance marquée de ces 3 espèces ; or par comptage, on a obtenu (cf tableau VI) :

Opaques . : 20,7 %

Tourmaline : 57,8 %

Staurotide : 11,9 %

TOTAL 90,4 %

Ce qui authentifie l'identification .

En définitive, on obtient les résultats suivants, pour la fraction grossière :

	86	87	88	89	90	grès
OPAQUES	22.8	25.7	24.8	28.1	22.5	20.7
TOURMALINE	57.8	53.2	55.8	52.7	62	57.8
STAUROTIDE	9.7	12.7	9.3	8.4	7.8	11.9
ANDALOUSITE	3.9	6.4	6.9	5.4	5.5	5
DISTHENE	4.4	1	3.1	4	1	4.8
DIVERS	1.4	1	-	1.5	1	-

Tableau VI

La même technique utilisée pour la fraction fine, avec, en plus séparation à NO_3Ag fondu, a donné :

	86	87	88	89	90	grès
OPAQUES	37.2	56.3	48.2	41.9	57	26.9
TOURMALINE	5.8	6.4	4.5	3.8	3.8	41.5
STAUROTIDE	3.4	1.6	1.3	2.3	0.8	12.8
ANDALOUSITE	0.1	0	0	0.2	-	4.5
DISTHENE	0.8	0.5	0.4	0.6	0	2.3
BROOKITE	0.3	0	-	0.2	-	-
RUTILE	6.9	6.1	5.9	6.5	5.1	2.1
ZIRCON	32.2	10.1	15.4	17.4	11.6	7.1
ANATASE	12.8	18.9	22.4	27.2	21.8	2.3

Tableau VII

On peut en déduire facilement que tous les sables de dimensions supérieures au moins à 0,160 mm sont influencés par les grès cénomaniens, tandis que les fractions fines sont nettement différentes. On a donc une dissemblance marquée des horizons 86 à 90 vis-à-vis du grès sous-jacent qui peut indiquer une prigine allochtone pour les matériaux de ce sol.

Si l'on remarque que les échantillons 86 à 90 sont riches en mica blanc, très abondant dans le 89 et 90, on peut conclure à un apport provenant des collines miocènes situées à 4 - 5 km à l'Ouest, dont la mollasse est très riche en muscovite. Le remaniement par le ruissellement ou l'érosion éolienne ont contribué, par la suite, à diminuer le pourcentage de sables très fins (Tableau I) et de sables fins (de 0,050 à 0,080 mm) dans l'horizon superficiel. On verra au paragraphe suivant, que le type d'argile étant le même dans tout le profil et dans le grès en voie d'altération, il est probable de penser que la pollution du profil s'est faite surtout pour la catégorie des sables fins et très fins, et sans doute, par voie éolienne.

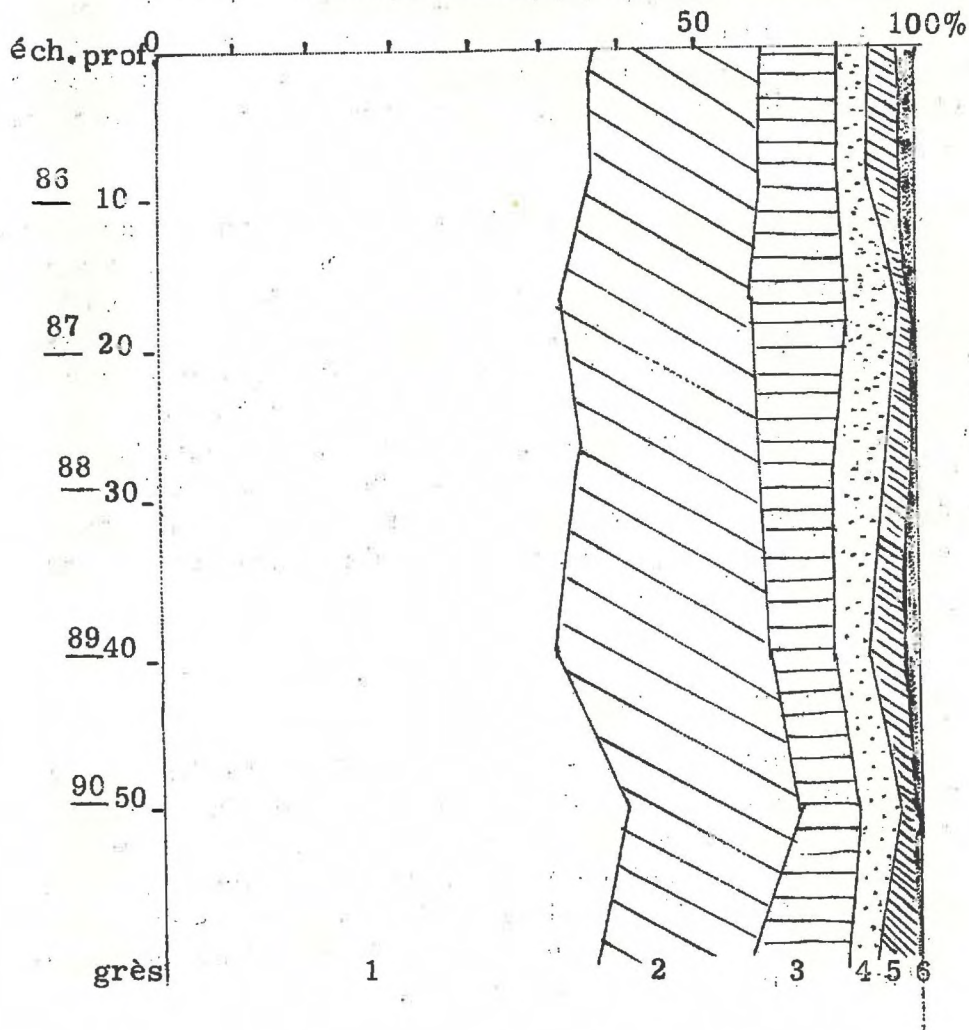
IV - Nature de la fraction argileuse -

A côté de la fraction sableuse d'un sol qui, par suite de son moindre degré d'altération, permet de le comparer à certains matériaux géologiques voisins, on peut considérer du point de vue minéralogique, la fraction argileuse qui doit également être, dans la plupart des cas, l'héritage direct des roches-mères. Les méthodes d'études ont fait l'objet de nombreux travaux et publications parmi lesquels certains titres sont cités dans la bibliographie (23 et suiv.)

L'extraction par sédimentation étant réalisée, lorsque l'on a obtenu un échantillon assez important pour permettre diverses manipulations, on a donc à sa disposition un certain nombre de techniques que l'on peut réunir en deux groupes :

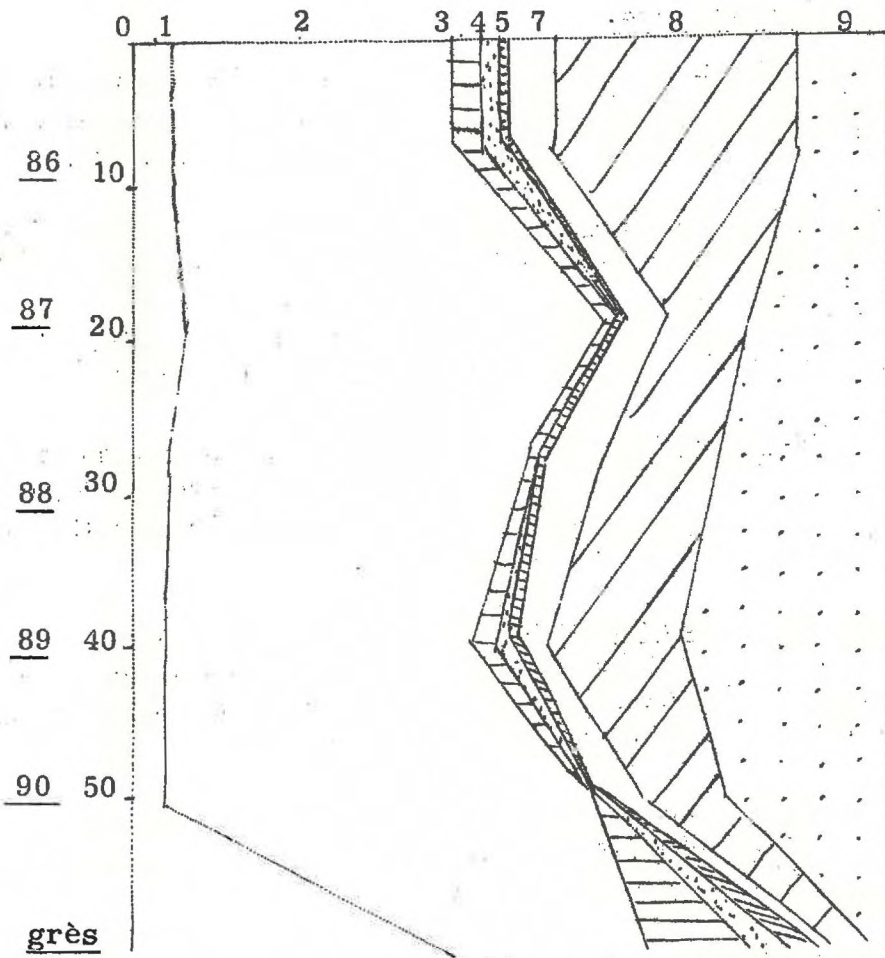
- a) Certaines techniques nécessitent un appareillage particulier, mais donnent des résultats qui, considérés dans leur ensemble, permettent une détermination précise, voire même une estimation quantitative.
- b) D'autres méthodes réalisables dans des laboratoires, non spécialement outillés, utilisant surtout des techniques chimiques, amènent à des déterminations approchées, qui peuvent servir à faire un choix parmi les échantillons, pour des

Fig. 5 - Minéraux lourds de la fraction grossière



- | | |
|-----------------|-------------------------|
| 1 - Tourmaline | 6 - Divers |
| 2 - Opaques | 7 - Rutile (+ Brookite) |
| 3 - Staurotide | 8 - Zircon |
| 4 - Andalousite | 9 - Anatase |
| 5 - Disthene | |

Fig. 1 - Minéraux lourds de la fraction fine.



- 1 - Tourmaline
- 2 - Opagues
- 3 - Staurotide
- 4 - Andalousite
- 5 - Disthène

- 6 - Divers
- 7 - Rutile (+ Broolite)
- 8 - Zircon
- 9 - Anatase

déterminations ultérieures plus précises.

Il est évident que les secondes, si elles^{ne} peuvent pas lever totalement une indétermination qualitative; peuvent cependant servir à comparer entre eux certains échantillons.

1° - Méthodes précises.

Ce sont celles qui sont basées sur des propriétés bien définies des colloïdes argileux comme par exemple, la forme micro-cristalline, la structure de l'édifice cristallin, sa composition chimique, etc..

- ! - Microscope électronique - Son utilisation permet de distinguer la forme des cristaux, leurs dimensions, les divers constituants d'un mélange; l'observation au microscope électronique est décisive dans le cas de produits comme le Kaolin, l'Anauxite, l'Halloysite, les Attapulgites et Sépiolites (23).
- Diffraction des Rayons X - Cette méthode, extrêmement intéressante, vise à préciser l'arrangement des atomes à l'intérieur des feuillets argileux, en déterminant l'intervalle entre les différents plans réticulaires (23).
- Analyse thermique différentielle - Par cette technique, on détermine, pour certains phénomènes se produisant au cours du chauffage de l'argile, la température à laquelle ils ont lieu et l'amplitude de ces phénomènes (23) (24).

Des variantes utilisent des prétraitements chimiques (24) qui modifient dans un sens déterminé, l'aspect des courbes obtenues (traitement à la piperidine) (27)

- Thermogravimétrie - On enregistre à l'aide d'une balance les variations de poids que subit l'argile au cours du chauffage (pertes d'eau sous différents états, dissociation de CO_3Ca , oxydation de composés ferreux, etc...) (25)
- On peut encore citer l'étude aux rayons infra-rouges la dilatométrie, etc...

2° - Méthodes approchées.

Elles utilisent surtout le comportement chimique des colloïdes argileux et chacune d'elle présente une marge d'indétermination plus importante que pour les méthodes précédentes.

- Analyse chimique - On peut déterminer, après attaque, la teneur en SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , en bases totales, et eau de constitution. Mais diverses argiles présentent des compositions globales analogues. C'est le cas, par exemple, de la Kaolinite, de l'Halloysite qui diffèrent, par ailleurs, pour d'autres caractères.

On peut plus simplement déterminer le rapport molaire $\frac{(\text{SiO}_2)}{(\text{R}_2\text{O}_3)}$ qui est par exemple voisin de 2 pour la famille de la Kaolinite, de 3 à 5 pour les montmorillonites (23) (25) (33).

- Capacité d'échange de cations - Cette valeur varie pour chaque famille de minéraux argileux, dans d'assez larges limites et les résultats obtenus ne sont comparables que si la méthode employée est la même et si le matériel utilisé a subi les mêmes prétraitements.

Quoiqu'il en soit, l'obtention de valeurs faibles exclut par exemple la présence de montmorillonite et, inversement, les fortes capacités ne peuvent pas être dues à des kaolins.

Le tableau ci-dessous, d'après GRIM, indique l'ordre de grandeur des capacités d'échange en milléquivalents pour 100 grammes d'argile (23).

Kaolinite	3 - 15
Halloysite	5 - 10
Halloysite hydratée	40 - 50
Montmorillonite	20 - 150
Illite	10 - 40
Vermiculite	100 - 150
Chlorite	10 - 40
Sepiolite, Attapulgite, Palygorskite	20 - 30

- Colorations - L'adsorption de substances organiques par les argiles se traduit pour certaines d'entre elles, par des colorations variées. On a utilisé dans ce but la benzidine, la safranine Y, le vert Malachite, l'aniline, le p-aminophénol, etc

En général, les minéraux du groupe montmorillonite sont bien caractérisés par ces tests ; les techniques utilisant le p-aminophénol donneraient de bons résultats même dans le cas des kaolins ou des mélanges à teneurs faibles en montmo-

rillonites et Illites (34) (35) (36).

- Réactions d'adsorption - La rétention de molécules polaires comme par exemple, l'éthylène-glycol permet de déterminer la surface externe, la surface totale et par différence, la surface interne (37) (38).

On trouve les indications suivantes d'après Nelson et Hendricks (cités dans GRIM) :

Argile	Température de traitement	Perte de poids en %	Surf. spécifique en m ² /gr.
Kaolin (< 0,3 μ)	30°	15.5
	200°	0.2	15.3
	500°	12.7	18.1
	700°	14.3	16.5
	900°	14.6	1.5
Illite (< 0,3 μ)	30°	97.1
	200°	0.4	92.2
	500°	5.8	91.6
	700°	7.7	88.4
Montmorillonite	30°	15.5
Halloysite	30°	43.2

Quelque soit l'interprétation exacte des résultats, les valeurs obtenues peuvent, en liaison avec d'autres méthodes, permettre une identification approchée et des comparaisons.

On peut envisager également l'étude des propriétés optiques (23) la solubilité dans les acides, les alcalis, etc....

L'application de certains de ces méthodes au profil précédemment étudié montre que les 5 horizon différenciés contiennent essentiellement du Kaolin (ainsi d'ailleurs que l'argile extraite du grès en voie d'altération). On obtient en effet par diverses méthodes les résultats du tableau. :

	Analyse thermique différentielle		Thermogravimétrie	Capacité d'échange en méq/100g
	Crochet endo-therm.	Exothermique		
86	550°	980°-1000°	13,2 % de 500 à 600°	8,5
87	550°	980°-1000°	12,4 % de 500 à 600°	6,47
88	550°	990°	11,2 % de 500 à 600°	5,56
89	550°	1000°	12,15% de 500 à 620°	6,15
90	530°	990°-1000°	12,1 % de 500 à 620°	5,88
grès 50	550-550°	990°-1000°		-

Tableau IX : Caractéristiques de la fraction argileuse.

Ces indications jointes aux résultats de l'étude des sables permettront de reconstituer l'histoire du profil en évitant les erreurs d'interprétation dues à une analyse globale sommaire.

Un autre exemple d'application a déjà été donné dans la note déjà citée à propos de l'étude des minéraux légers (18).

---:---:---:---

L'examen des colloïdes minéraux d'un sol sur graviers et cailloutis fluviatiles situé dans le bassin de Mormoiron (Vaucluse) fait ressortir également tout l'intérêt de ces déterminations.

Il s'agit d'un sol situé sur un cône d'alluvions terminant une vallée issue des plateaux calcaires crétacés du Sud du Ventoux. Cette vallée ravine ensuite les formations aptienne, albienne et cénomanienne, pour s'épandre sur les sables bigarrés de l'Eocène, les argiles du Lutétien et du Ludien.

C'est un sol brun-rouge calcaire lessivé à sables fins et grossiers dominants.

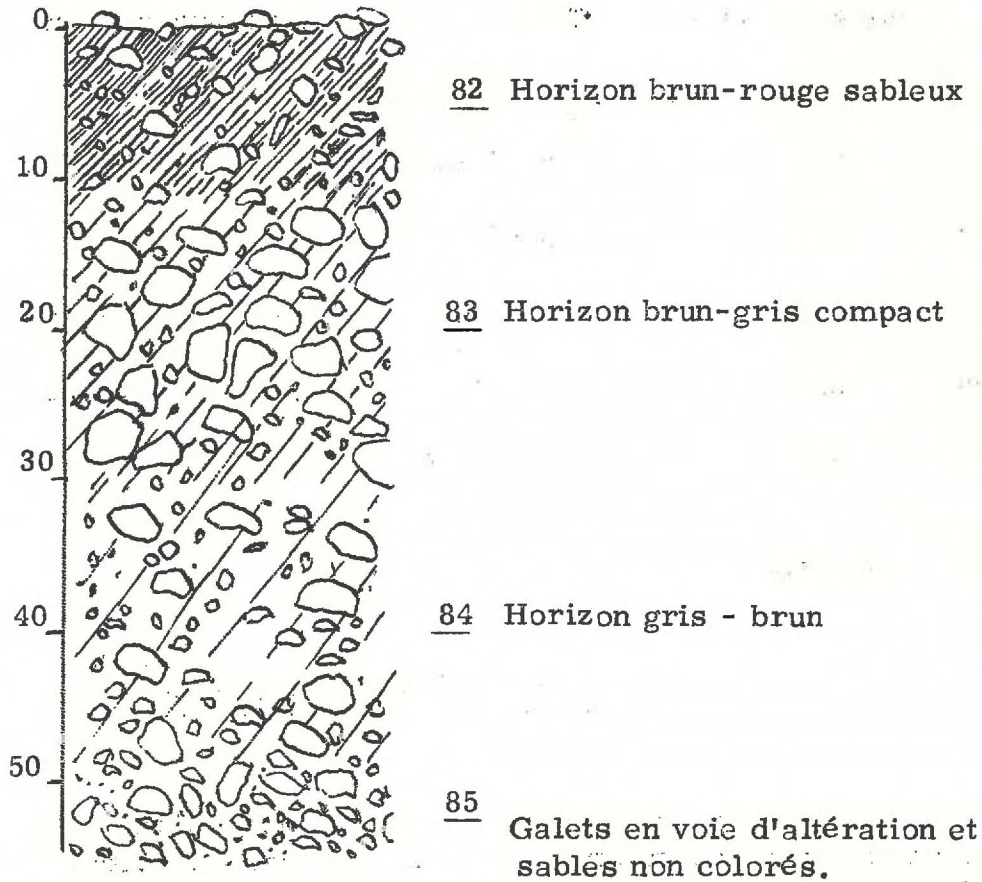


Fig. 7 - Solsur cailloutis fluviaux (Vaison-La-Romaine) -

n° 6. - 1 : 20.000 - Coordonnées Lambert X = 3 G, 179
Y = 49 G, 003

L'analyse physique ne fait ressortir aucune hétérogénéité notable susceptible de révéler une origine complexe. On peut penser qu'il s'agit d'un sol lessivé au carbonate de chaux, avec légère augmentation du taux d'argile et d'oxydes libres dans un horizon (B). Par contre, si l'on effectue sur la fraction argileuse certaines déterminations, on obtient les résultats reproduits sur les figures 8 et 9.

La fraction colloïdale varie, dans sa nature, pour les 4 horizons et se comporte comme un mélange d'une argile de la famille du Kaolin et d'une Illite (par suite de la capacité d'échange nettement supérieure à 40 méq/100 gr, il est possible qu'il y ait un peu de montmorillonite).

	82	83	84	85
Eléments supérieurs à 2 cm	25 %	31.8	10.1	29.7
- de 2 cm à 2 mm	42.4	49.5	65.3	50.3
- inférieurs à 2 mm	32.6	18.8	24.3	19.8
Argile	14.2	16.3	14.7	11.9
Limons	3.5	11.1	19.4	25.8
Sables très fins (< 50 μ)	5.1	7.9	8.7	11.8
Sables fins	35.5	35.3	20.5	21.9
Sables grossiers	39.8	28	35.4	29.1
Sables très fins)	6.3	11	13.5	18.8
Sables fins (en % de	43.9	49.3	31.7	34.8
Sables grossiers) sables	49.8	39.7	54.8	46.4
Sables grossiers) totaux				
Calcaire en % de sables T.F.	14.3	54	75.4	86.6
" " " F.	2.8	14.5	35.1	60.3
" " " G.	9.7	21.4	74.2	72.2
Calcaire total	7.5	23.8	60.3	69.1
Calc. des S.G.	3.9	6	26.2	21
Calc. des S.F.	0.98	5.1	7.2	13.1
Calc. des S.T.F.	0.7	4.2	6.5	10.2
Calc. du limon	0.71	5.4	7.1	11.3
Calc. de l'argiel (environ)	1.21	3.1	13.3	13.5
Calcaire actif	0.8	4.2	11.3	12.5
Mn total en p.p.m	21.9	61.8	53.8	33.1
Mn échang. en p.p.m	2	3	1.9	-
K ₂ O totale en o/oo	2.37	1.34	1.94	0.16
K ₂ O échang. en o/oo	0.12	0.07	0.06	0.04
Fer libre o/oo	6.4	7.4	5.4	3.3

Tableau X : Analyse du sol brun sur cailloutis.

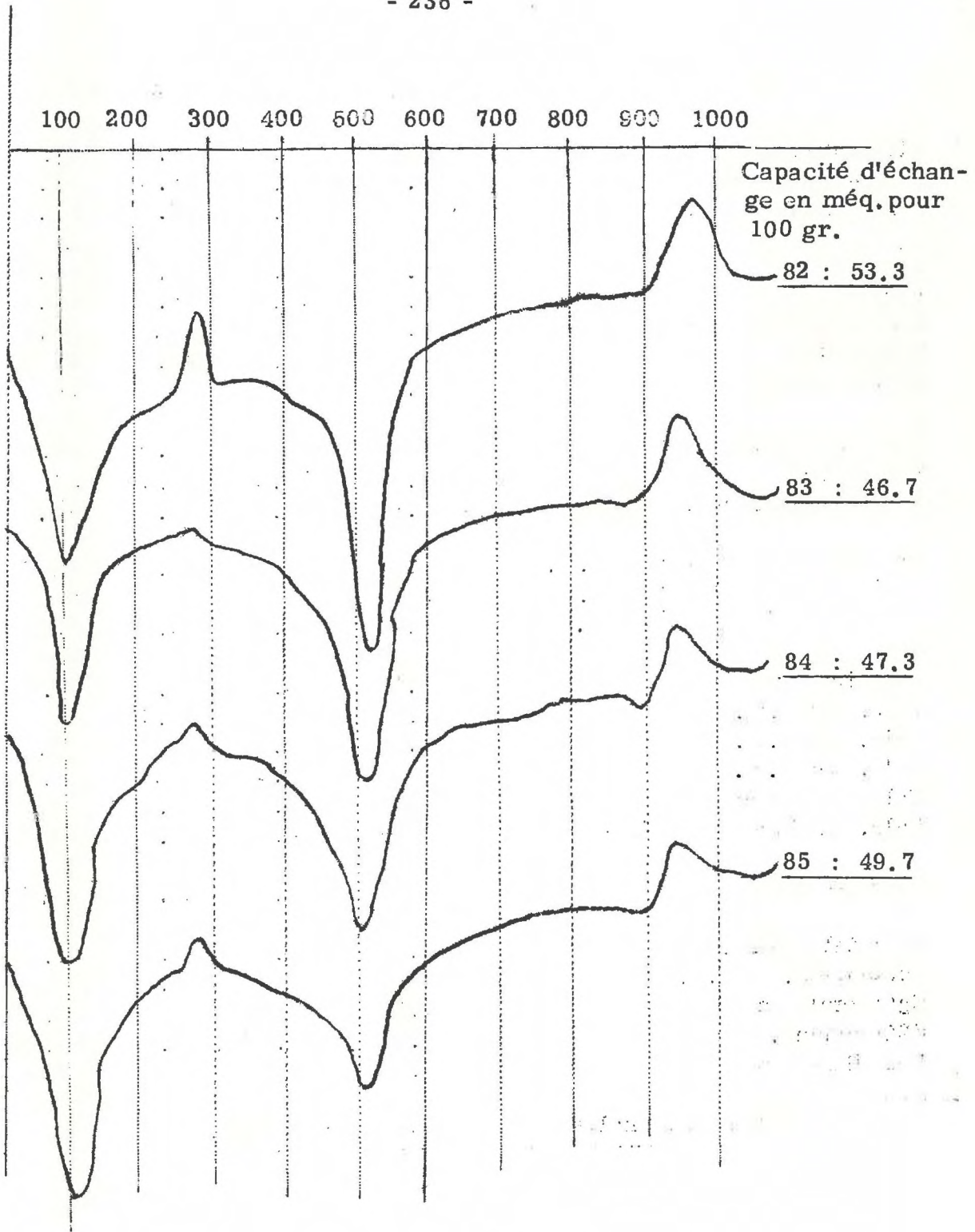
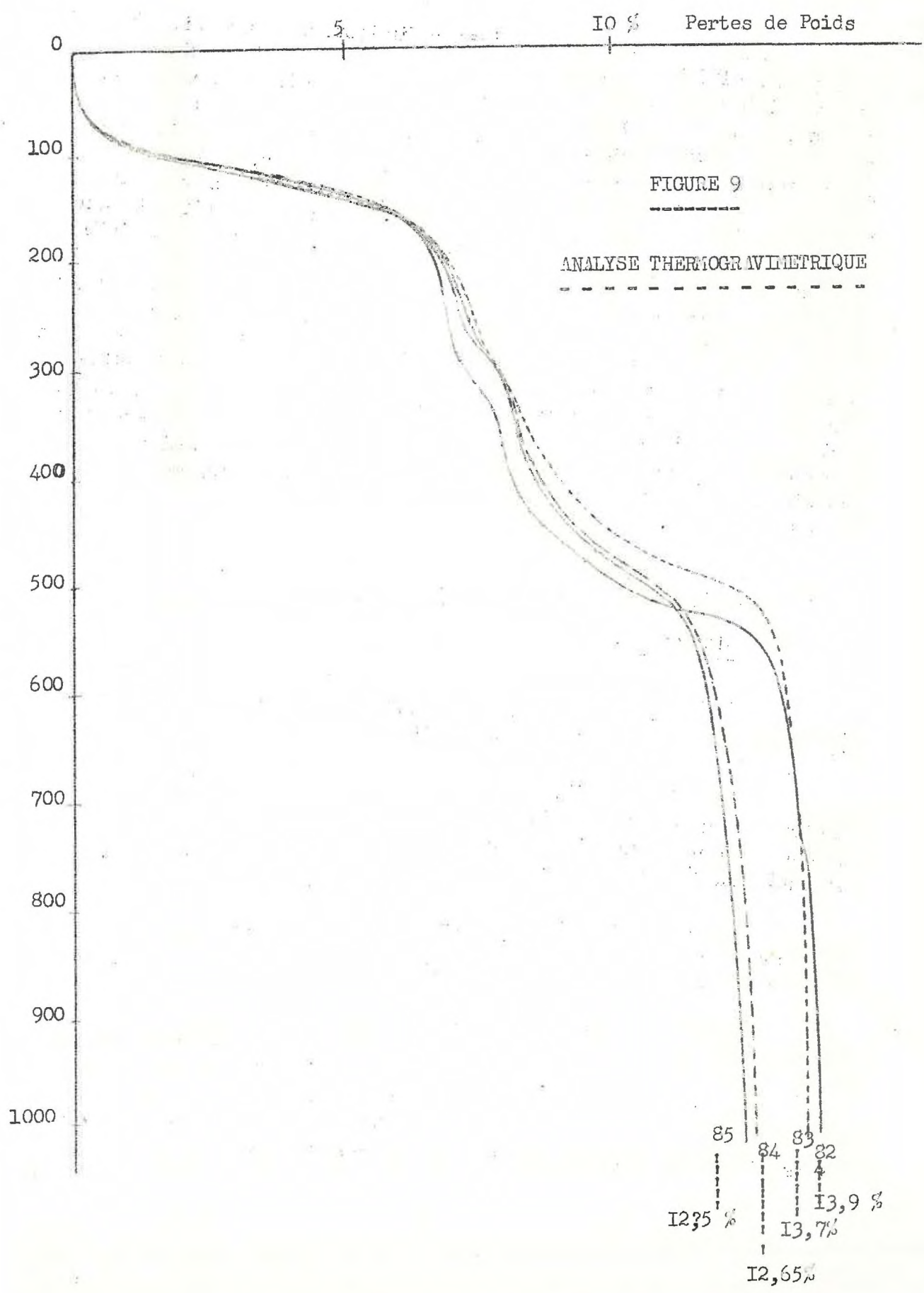


Fig. 8 : Analyse thermique différentielle et capacité d'échange.



Ce qui importe le plus, c'est la diminution progressive du kaolin par rapport à l'illite à partir de l'horizon supérieur, diminution qui va de pair avec la disparition de la couleur rouge du profil, en profondeur. Il est donc, à priori, logique de penser à une hétérogénéité dans la mise en place du sédiment qui aurait d'abord provoqué le dépôt d'alluvions de type illitiques ou susceptibles de donner, par altération, de l'illite ; puis une autre phase moins énergique aurait permis la pollution du profil par des sédiments plus fins du type kaolinique, provenant du ruissellement sur les sols rouges des massifs crétacés voisins. Quelque soit d'ailleurs l'origine de ce kaolin, ce que l'on sait actuellement des conditions de formation des argiles, montre qu'il y a au moins pour les matériaux du profil deux provenances différentes, non simultanées, car les deux types d'argile ne sont pas mélangés uniformément dans tous les horizons. Cet exemple montre qu'il faut donc reposer le problème de la rubéfaction réelle des sols sur cailloutis fluviatiles pour lesquels la coloration rouge peut n'être que l'héritage de l'érosion de véritables sols rouges anciens et distinguer, parmi ces types de sols, ceux dont la rubéfaction s'est produite réellement "in situ" et ceux qui ont bénéficié d'un apport plus ou moins lointain.

V - Propriétés des sols en rapport avec leurs caractéristiques minéralogiques .

En conclusion de cette étude, on peut mettre en évidence diverses propriétés physico-chimiques influencées par la composition minéralogique quantitative ou qualitative.

Il est inutile d'insister sur le fait que la répartition granulométrique joue un grand rôle dans les qualités physiques d'un sol et la tendance actuelle est d'augmenter le nombre de fractionnement dans la catégorie "sables" pour lever certaines indéterminations (40).

On a vu (paragraphe II) que les courbes granulométriques évitaient certaines erreurs d'interprétations dans l'étude de profils dont les matériaux semblaient identiques à ceux du substratum.

Mais c'est la détermination qualitative et le dénombrement des espèces minérales qui représentent une opération rentable lorsqu'on l'interprète au maximum. Il s'agit en effet d'une technique conduisant à une connaissance analytique exacte du matériel et, sans nul doute, aussi intéressante qu'une analyse chimique totale globale. En effet, lorsqu'il s'agit de "boucler une analyse chimique", on ne peut tenir

compte des éléments existants à des teneurs inférieures à 0,5 % puisque la marge d'erreur des dosages des éléments principaux est de cet ordre. On est donc amené à rechercher, selon les besoins, si tel ou tel élément est présent et avec quel pourcentage. Lors d'une analyse minéralogique, au contraire, on peut prélever sur le concentré minéral (lots de densité $\geq 2,9$), un certain poids de sables et procéder à l'analyse. Les éléments (métalloïdes ou métaux) y étant concentrés par rapport à l'ensemble du sédiment, il sera plus aisé d'y déterminer ceux qui ne figureraient dans la masse totale qu'à l'état de traces. On pourra ensuite les rechercher dans le sable sous leurs formes minéralogiques et juger du degré d'altération donc de leur libération plus ou moins facile.

Sans passer par le canal de l'analyse chimique, d'autres renseignements peuvent être tirés de l'examen minéralogique (3) (41) (42). C'est ainsi que la présence de minéraux potassiques ou magnésiens permet de juger de la teneur plus ou moins forte en K_2O et MgO , et leur nature minéralogique renseigne sur leur altérabilité et la possibilité de céder des bases échangeables.

On trouvera dans le tableau XII quelques minéraux intéressants par les éléments qu'ils contiennent et par leur facilité d'altération. A titre d'exemple, le tableau XI donne les résultats d'observations de quatre sols et les résultats de l'analyse chimique obtenus par ailleurs en ce qui concerne K_2O .

K_2O totale	K_2O échang	Dimensions	Feldsp. potass.	Feldsp. calcosod.	Muscov.	Quartz
7.78 o/oo	1.62 o/oo	2-1mm	25 %	50 %		25 %
		1-0,47mm	20,4 %	43,2 %		36,4 %
		0,47-0,29mm	13,1 %	29,2 %		57,7 %
4.78 o/oo	0.76 o/oo	2-1mm	0	55 %		45 %
		1-0,47mm	8.8 %	59 %		32 %
		0,47-0,29 "	8 %	19 %		73 %
8.97 o/oo	0.65 o/oo	2 - 0,62mm	12,5 %	37,5 %	37,5 %	12,5 %
		0,62-0,46 "	14 %	28 %	22 %	36 %
		0,46-0,27 "	8,7 %	11,6 %	61 %	18,4 %
4.19 o/oo	-	2 - 0,62mm	0	93 %		7 %
		0,62-0,46 "	3,6 %	60 %		37 %
		0,46-0,27 "	9,2 %	23 %		65 %

Tableau XI : Minéraux légers et teneurs en K_2O

On peut trouver de nombreux exemples d'utilisation de ces méthodes qui furent, par exemple, employées en Australie pour rechercher la cause d'une maladie du bétail attribuée à une carence en Co (19).

Plus répandu encore est l'usage qui a été fait de la détermination des minéraux lourds pour étudier les relations du profil avec le substratum ; en particulier, on a pu montrer par cette méthode que les bauxites de la Jamaïque recelaient les mêmes minéraux que la formation sous-jacente calcaire (White Limestone) (43).

VAN BAREN et KIEL (47) ont pu, par cette méthode également, montrer qu'il n'existait aucune relation entre le substratum (marne à dolomie) et un sol apparemment autochtone, la surmontant les grenats représentent 75 % des minéraux lourds de la marne et sont à peine existants dans le sol. Le grenat étant considéré comme stable, ce n'est pas l'altération chimique qui fait baisser sa teneur dans le profil. La présence de la tourmaline, du zircon, du Rutile, entre autres, permet de préciser l'origine du matériel mis en place après mise à nu des marnes.

Les exemples précédemment cités montrent également l'intérêt de la détermination de la détermination de l'argile dans les profils.

De nombreuses propriétés physiques et chimiques dépendent du taux d'argile dans les sols, mais sont aussi parfois en relation avec la nature de celles-ci.

La présence du kaolin expliquerait, par exemple, selon ABRUNA et SMITH (52) la faible capacité de rétention et la nécessité de l'irrigation pour certains sols de Porto-Rico.

Le type minéralogique conditionne également la capacité d'échange des cations et des anions, (53) (55), le besoin en chaux (48), l'état structural du sol (54), la fixation du K^+ (50), de P_2O_5 (56) etc... L'exploitation des résultats donnés par l'étude des colloïdes argileux permet de plus, lors de l'examen des formations superficielles, de recueillir des renseignements d'ordre paléo-géographique ou paléo-climatique, en se basant sur ce que l'on sait au sujet des conditions de formation des minéraux argileux (57).

Minéraux potass.	Minéraux magnésiens	Minéraux calciques	Minéraux phosphat.	Oligo-éléments
K ₂ O % env.	MgO % env.		P ₂ O ₅ %	
anorthose 16.9 (a)	giobertite 47 (a)	Feldspaths (a)	Apatite	
orthose 16.9 (a)	dolomie 21.6(ta)	gypse (a)	41 (a)	rutile Ti(pa)
microcline 16.9 (a)	spinnelle 40max(pa)	calcaire (ta)		anatase Ti(pa)
Muscovite 11.8(pa)	forsterite 50 (a)	pyroxènes (a)		sphène Ti Ca(a)
phlogopite 11.3	olivine 30 à 40 (ta)	amphiboles (a)		tourmaline B (pa)
biotite 8 à 11.2 (a)	pyroxènes 0 à 40 (a)	etc. Etc.		fluorapatite F (a)
illite 10.8	phlogopite 29			epidote Mn(pa)
	actinote 28 (a)			grenat Mn(a)
	hornblende variable(a)			phlogopite F
	biotite 0 à 17 (a)			
	diopside 18.5(a)			etc..
	augite 18.5(a)			
	grenat variable (a)			
	glauconie 5 max(ta)			

ta : très altérable - a : altérable - pa : peu altérable - i : inaltérable

Tableau XII : Eléments fournis par certains minéraux (d'après divers auteurs)

(Les degrés d'altérabilité concernent le minéral présent dans un fragment de roche et non à l'état de sable dans un sol : l'altération est, évidemment plus facile dans un milieu soumis à des actions mécaniques, chimiques, ou biologiques intenses).

VI - Conclusions générales -

Il y a donc un très grand intérêt à étudier d'une façon analytique, chaque fraction d'un sol. Les caractères de celui-ci sont en effet la somme des caractères de chacun de ses composants. Mais la connaissance exacte de la minéralogie du profil permet par exemple une meilleure interprétation des propriétés chimiques, déterminées sur l'échantillon total.

L'examen d'un sol "in situ" comportant principalement la mise en évidence et le dénombrement des horizons pédogénétiques, il importe que la base même de cet examen ne soit pas faussée par la confusion entre horizon et niveau différent. Dans les sols d'alluvions à peine évolués, des horizons à peine marqués et, pour cela, qualifiés d'embryonnaires, peuvent dans certains cas, être dûs à des accidents dans l'alluvionnement. L'analyse minéralogique permettra de les différencier du reste du profil.

L'étude minéralogique n'est donc pas seulement une technique supplémentaire n'apportant que des résultats peu interprétables, mais c'est aussi souvent un instrument nécessaire pour résoudre certains problèmes, dont l'analyse de sol, classique, ne révèle même pas parfois l'existence.

On ne saurait assez conseiller de l'utiliser, même sous une forme élémentaire, chaque fois que diverses hypothèses sont envisagées pour la genèse d'un profil. C'est pourquoi on trouvera dans la bibliographie, des titres d'ouvrages où sont exposées les principales méthodes que l'on pourra adapter aux besoins de la recherche entreprise.

---:---:---:---:---

BIBLIOGRAPHIE

--

I - Introduction -

- (1) BRAJNIKOV - Application de l'analyse minéralogique quantitative dans la génétique des formations superficielles et des sols en particulier.
Bull. Soc. Geol. Fr. (1942) n° 5-6 p.287-288
n° 7-9 p.289-294

- (2) BRAJNIKOV - Sur l'importance de la granulométrie pour l'étude quantitative des minéraux lourds dans un sédiment.
Bull. Soc. Géol. Gr. t. XIV, p.381-389, 1944
- (3) DUCHAUFOUR - Note sur l'analyse minéralogique des sables en pédologie.
Bull. AF.E.S. 70, p.318-323.
- (4) DURAND - Les sols d'Algérie.
Birmandreis, Alger. 1954
- (5) de LEENHEER - Mineralogical characterisation of the sand fraction in soil profiles.
IV° Congrès A.I.S.S. Amsterdam 1950, vol.II, p.84
- (6) MARSHALL & JEFFRIES - Applications des méthodes minéralogiques à l'étude des sols : I - Relation entre les types de sols et la nature de la roche-mère, en considérant en outre les processus d'altération.
(titre traduit de l'anglais.)
Proc. Soil Sc. Soc. Americ. 1945, 10, 387-405
- (7) TAMM - En snabbmethod for mineralogisk jordarts granshning.
Svenska Skogw tidskr. H. I. III. (1934) p.231(250
- (8) WEYL (R.) - Schwer mineral untersuchung an Boden Profilen
Pfl. Ernährung Düng. 57 (1952) p.135-141
- ø) JEFFRIES & JACKSON - Analyse minéralogique des sols (titre traduit)
Soil Sci. U.S.A. (1949) n° 1, p.57-73
- (10) WIKLANDER - Quelques réflexions sur des points de vue anciens et nouveaux concernant le complexe sol (titre traduit)
Kgl. Lantbrukshogsk Ann. SUEDE (1946) 13. p.87-103.

II - Granulométrie et répartition des minéraux rares.

1° - Préparation des échantillons

- (11) Jeffries - Procédé rapide d'élimination des oxydes de fer libres du sol en vue de l'analyse pétrographique (trad. de l'anglais).
Proc. Soil Sci. Soc. Americ. (1946) °°, p.211

2° - Tamissage.

- (12) RIVIERE - Sur la représentation graphique de la granulométrie.
Bull. Soc. Geol. Fr. 1952

3° - Séparation des minéraux lourds.

- (13) BRAJNIKOV, FRANCIS BOEUF ROMANOVSKY - Techniques d'études des sédiments, etc...
Hermann et Cie, Edit. Paris, (1943)
- (14) DUPLAIX (S.) - Détermination microscopique des minéraux des sables.
Lib. Béranger Paris (1948)

III - Examens minéralogiques des sables.

1° - Examen morphoscopique des quartz.

- (15) CAILLEUX - Les actions éoliennes périglaciaires en Europe.
Mém. Soc. Géol. Fr. Nlle Sér. t. X X I n° 46 (1942)
- (16) De SORBY - On the structure and origin of non calcareous stratified rocks (cité par CAILLEUX)
Quat. Journ. Geol. Soc. 33, p.46-92, London 1880

2° - Détermination des minéraux légers.

- (17) GRAHAM - Rapid détermination of quartz, potash minerals and plagioclase feldspars (in soils a.s.o...)
Chem. Anal. 44, n°2 - p.37-38
- (18) GUENNELON - Etude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire.
Bull. de l'A.F.E.S. Oct. 1957

3° - Détermination des minéraux lourds.

- (19) CAROLL - Examen minéralogique de quelques sols de la région du Denmark, Australie occidentale (trad. de l'anglais).
Soil Science, (1945) 60, p.413-426.
- (20) GRAHAM - Soil mineralogy as an index to the trace status of some Australian Soils.
Soil Sci. U.S.A. (1953), 75, n° 5, p.333-343
- (21) FISCHESSE (R) - Données des principales espèces minérales.
J.R. Sennac Edit. Paris (1953)
- (22) BERTRAND & ROUBAUD - L'emploi du microscope polarisant.
Lamarre Edit. Paris (1936)

IV - Nature de la fraction argileuse.

- (23) GRIM - Clay Mineralogy
Mac. Graw Hill Brooks Cy. (1953)
- (24) CAILLERG & HENIN - Application de l'analyse thermique différentielle à l'étude des argiles des sols.
Ann. Agron. 1947
- (25) BASTISSE - Contribution à la détermination du type minéralogique des argiles des sédiments (1er mém.)
Ann. Agron. 1947
- (26) MACKENZIE - Standardisation of D. T. A.
PARQUHARSON Congr. Geol. Intern. CIPEA 1952 - 3. (19) n° 18 - p.183-200
- (27) CARTHEW - Use of piperidine saturation in the identification of clay minerals
Soil Science 80. 337-347
- (28) CARTHEW - The quantitative estimation of Kaolinite par D. T. A.
Americ. Mineralogist. (1955) 40 nat.2 107-17

- (29) PARSK & WARNER - Méthodes et techniques de l'analyse thermique différentielle (trad. De l'anglais)
Amer. Ceram. Soc. Bull. (1954) 33. n° 6 -
p.168-175
- (30) BRAMAO, CADY - The détermination of halloysite and its use in
& HENDRICKS the study of red soils.
Trans. Int. Congress. Soil Science. Amsterdam
(1950) - vol. I - p.313
- (31) De BRUIJN, - Mineralogical analysis of soil clays.
Van der MAREL Geol. Mijnbouw. Nederl. (1954) 16 n° 3 - 69-83
- (32) FRIPIAT & - Estimation quantitative du contenu en kaolinite
MARCOUR illite et montmorillonite dans les sols
Conf^{ce} Interafric. des Sols. Leopoldville. 1954
- (33) DEMOLON - Dynamique du Sol
Dunod Edit. Paris.
- (34) HAMBLETON- - A qualitative color test for rapid identification of
DODD the clay minerals groups.
Econ. Geol. U.S.A. 1953 48 n° 2 - p.139-146
- (35) SCHROEDER - Nouvelles méthodes pour la détermination des mi-
néraux de l'argile dans les sols.
Z Pflanz. Ernähr Düng. Dtsch. (1954) 64 - n° 3 -
209-216
- (36) SIEGL - Sur la caractérisation de la montmorillonite par
la benzine (titra traduit)
Newes Jahrb. Miner. Geol. Paläont Monatsch Dtsch
(1945-48) n° 1-4, 40-3.
- (37) DYAL S & - La surface totale des argiles dans les liquides po-
HENDRICKS laires comme index caractéristique (titra trad.
de l'anglais)
Soil Science (1950) vol 69., p.421-443
- (38) BOWER & - Ethylen-glycol retention by soil as a measure of
GSCHWEND surface area and interlayer swelling.
Soil Sci. Soc. Amer. Proceed. 16, 342-345 (1952)

- (39) HENIN & DUPUIS - Nouvelles considérations sur la spectrographie des colloïdes des sols etc....
Ann. Agron. III, 3, (1952)

V - Propriétés des sols en rapport avec leurs caractéristiques minéralogiques.

- (40) DUPUIS & SOIGNET - Intérêt de certaines déterminations complémentaires dans l'analyse agronomique
Bull. de l'A.F.E.S (86) Avril 1957
- (41) KIEL - The mineralogical investigation of sands a a method to determine ther mineral reserve of soils.
IV° Congrès A.I.S.S. Amsterdam 1950 - vol.II, p.193
- (42) De LEENHEER - Practical importance of a medium reserve of alterable minerals (orthoc lase) under temperate climate (Belgium)
IV° Congrès AISS Amsterdam 1950, vol.II , p.89
- (43) HARTMAN - Origine of heavy minerals in Jamaïcan bauxite
Econ. Geol. U.S.A. 1954 - So - n° 7 - p. 738-47
- (44) JEFFRIES - Quelques problèmes du sol envisagés d'un point de vue monéralogique (titre traduit de l'anglais)
Soil Science U.S.A. (Avril 1947) 63, p.315-20 -
- (45) SMITHSON - The micromineralogy of North Wales Soils
I. Soil Sci. G.B. (1953). 4 n° 2 - p.194-210 -
- (46) MATELSKI & TURK - Les minéraux lourds de quelques profils de sols podzoliques du Michigan (titre tarduit)
Soil Sc. U.S.A. (Déc.1947) 64. p.469
- (47) Van BAREN - The mineralogy of apparently autochtonous soil profil in French Equatorial Africa.
V° Congrès AISS Vol.II, p.353
- (48) MEHLICH - Relation entre le degré de non(saturation, le pH et le type de sol.(titre traduit)
Proc. Soil Sc. Soc. Amer. (1941) 6 p. 150

- (49) PETERSON - Le rôle des minéraux argileux sur l'état structural du sol (titre traduit)
Soil Science (1946). 61, 247-256
- (50) RANEY & HOOVER - Libération du K^+ fixé artificiellement par des sols kaoliniques et montmorillonitiques (titre traduit).
Z. Pflanz. Ernähr Düng. Dtsch. (1954) 65, n) 1, 1-3-1-9-
- (52) ABRUNA & SMITH - Claymineral types and relat. soils properties in Porto-Rico.
Soil Science vol. 75 Juin 1953 - n° 6, p. 411-420
- (53) KELLEY - Recherches modernes sur les argiles en rapport avec l'agriculture . (titre traduit)
Journ. Géol. (1942) 50, 307-19.
- (54) PETERSON - Le rôle des minéraux de l'argile sur l'état structural du sol (titre traduit)
Soil Science (1946) 61, 247-56.
- (55) SIELING - Rôle du kaolin dans la fixation et l'échange d'anions (titre traduit)
Proc. Soil Sc. Soc. Americ. (1946) 11, p. 161
- (56) WEY - Sur l'adsorption de l'anion phosphorique par la montmorillonite.
C.R. Ac. Sciences, Fr. t. 236, n° 12, p. 1298
- (57) MILLUT, RADIER & BONIFAS - Sur la sédimentation argileuse à attapulgite et montmorillonite.
Bull. Soc. Geol. Fr. VII (n° 4-5) (1957) p. 425 -55
