Etude des andosols d'Olot (Gerona, Espagne)

2e partie : Caractéristiques minéralogiques, conclusion

Jaime BECH BORRAS*
Paul QUANTIN** et Pierre SEGALEN**

* *Catedra de Edafologia, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona, España*

** *Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM, 70-74 route d'Aulnay, Bondy, 93140, France*

SOMMAIRE (1)

4. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES DES SOLS
- 4.1. Méthodes analytiques
- 4.2. Résultats
  - *a.* Test de Fieldes et Perrott
  - *b.* Surface spécifique
  - *c.* Eléments amorphes
  - *d.* Minéralogie du sol et de la fraction < 2μ, d'après la diffraction de rayons X
- 4.3. Interprétation

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

Introduction

La première partie de cette étude a traite des conditions écologiques et des caractéristiques physiques et chimiques des sols d'Olot dérivés de roches volcaniques. Elle a montré des propriétés semblables à celles des andosols, c'est-à-dire de sols riches en allophane. Rappelons notamment que la dispersion de la fraction argileuse a été obtenue à pH = 4 et que la capacité d'échange cationique du sol a une valeur très élevée par rapport à cette fraction argileuse et fortement dépendante du pH. D'autre part, cette étude a fait ressortir une évolution géochimique importante du sol relativement à la roche-mère : une perte d'au moins 50 % en silice et en éléments basiques, qui a permis une concentration relative en sesquioxydes de fer et d'aluminium. Dans cette deuxième partie nous traiterons des caractéristiques minéralogiques et nous tirerons la conclusion de cette étude.

(1) La première partie de cet article est parue *in* Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 1, 1976, pp. 73-87.

4. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES DES SOLS

4.1. Méthodes analytiques

a. *Test de Fieldes et Perrott (1966)*

En suspension dans une solution neutre de fluorure de sodium normal, un sol contenant de l'allophane produit une importante réaction alcaline d'échange, qui élève le pH entre 9,5 et 11 et qui peut-être aisément décelée par le virage au rouge vif de la phénol-phtaléine.

b. *Surface spécifique*

Elle a été déterminée par la méthode de Nelsen et Eggertsen (1958) qui utilise la propriété de l'azote

à être absorbé en une couche monomoléculaire sur les minéraux.

c. *Substances amorphes*

La quantité de substances amorphes a été déterminée par la méthode de Segalen (1968). Nous avons utilisé comparativement le réactif acide, HCl à deux concentrations 8N et 4N, pour mettre éventuellement en évidence une phase cryptocristalline des sesquioxydes de fer et d'alumine (Quantin et Lamouroux, 1974).

d. *Minéralogie*

Les constituants minéraux cristallisés ont été déterminés par diffraction de rayons X (Co/Kα) sur la poudre de sol total et sur la fraction inférieure à 2μ en poudre ou orientée ; l'effet du traitement par divers cations (H^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}), et par le glycérol ou le chauffage à 490° a été utilisé pour déterminer la présence éventuelle d'argile 2:1.

4.2. Résultats

a. *Test de Fieldes et Perrott ; surface spécifique* (tabl. XI)

Le test de Fieldes et Perrott a été positif sur l'ensemble des échantillons des trois profils étudiés. En l'absence, constatée par ailleurs, de sels ou d'hydroxydes d'alumine libres, il signifie la présence notable d'allophane. On constate que cette réaction est la plus forte dans les horizons A_1, A/(B) et (B). Elle est moindre dans les horizons A_0 des deux sols les plus humifères (0.1.2 et 0.2.2.) probablement sous l'effet des acides humiques. Elle est également plus faible dans les horizons (B)/C des trois profils.

La surface spécifique externe, déterminée par la méthode Nelsen-Eggertsen sur le sol total, est généralement faible dans les horizons humifères. L'absorption de l'azote est probablement inhibée par la présence très abondante des acides humiques. Par contre dans les échantillons d'horizons minéraux (0.2.5. et 6, 0.3.6. et 7), peu humifères, des valeurs relativement élevées de 51 à 114 m^2/g, ont été mesurées. Celles-ci, rapportées au taux de fraction inférieure à 2μ, dépassent 200 m^2/g ; des valeurs aussi élevées caractérisent des gels alumino-silicatés ou l'allophane.

TABLEAU XI*

Réaction du sol au test de Fieldes et surface spécifique de la fraction < 2 μ

N° échantillon	Test de Fieldes et Perrott	Surface spécifique m^2/g (2)
0.1 - 2	+ +	9
0.1 - 3	+ + +	6
0.1 - 4	+ + +	15
0.1 - 5	+ +	24
0.2 - 2	+	2
0.2 - 3	+ +	
0.2 - 4	+ + +	14
0.2 - 5	+	114
0.2 - 6	+	90
0.3 - 2	+ + +	
0.3 - 3	+ + +	13
0.3 - 4	+ + +	
0.3 - 5	+ +	33
0.3 - 6	+	63
0.3 - 7	+ + +	51

* Les tableaux I à X sont parus dans la première partie de cet article *in* Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 1, 1976.

(1) Test de Fieldes et Perrott ; virage de la phénolphtaléine due à l'alcalinité d'échange apparue au contact sol et solution NaF (N), en présence d'allophane.

(2) Surface spécifique, mesurée par l'adsorption d'azote (Méthode B.E.T.).

b. *Eléments amorphes* (Tabl. XII, fig. 7 à 17)

La somme des éléments amorphes (Fe_2O_3, Al_2O_3 et SiO_2) déterminés par la méthode SEGALEN est très importante dans l'ensemble des horizons des trois profils étudiés. Cette valeur varie dans chaque profil et d'un profil à l'autre : dans le profil 1, elle est de 12 % en A_0, 29 % en A/(B) et de 15 % en (B)/C. Dans le profil 2, elle atteint 17 % en A_0, 26 % en A_1, 54 % en (B)/C et 47 % en C. Dans le troisième profil, elle est seulement de 14 % en A_0, 19 % en (B) et 18 % en C. D'une manière générale, ces résultats (tabl. 12 et fig. 16) montrent un accroissement sensible des substances amorphes de la partie humifère : A_0 et A_1 du profil, vers la partie minérale : A/(B), (B) et parfois (B)/C, puis une décroissance nette dans les horizons d'altération : (B)C ou C. Ce phénomène est particulièrement marqué pour l'aluminium et la silice, et relativement moins pour le fer. Il peut être interprété dans un sens évolutif, comme l'accroissement de la formation de substances minérales amorphes dans la partie moyenne du profil, puis leur transformation vers des produits cristallisés dans le haut

TABLEAU XII

Produits « amorphes » extraits par la méthode Ségalen

Horizon n° symbole	Concentration HCl	Total (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ mol.
0.1 - 2, A_0	8 N	11,90	2,90	5,00	4,00	1,36
	4 N	15,55	2,30	7,29	5,96	1,39
0.2 - 2, A_0	8 N	17,47	6,27	8,20	3,00	0,62
0.3 - 2, A_0	8 N	14,32	1,74	8,95	3,63	0,69
	4 N	14,02	1,62	8,08	4,32	0,88
0.1 - 3, A_1	8 N	22,86	6,40	12,20	4,26	0,59
0.2 - 3, A_1	8 N	26,55	9,05	13,50	4,00	0,50
	4 N	24,08	7,25	13,25	3,58	0,45
0.3 - 3, A_1	8 N	15,33	1,44	8,46	5,43	1,09
0.1 - 4, A/(B)	8 N	28,83	5,08	16,40	7,35	0,76
	4 N	28,05	4,30	16,40	7,35	0,76
0.2 - 4, A/(B)	8 N	39,98	12,53	18,55	8,90	0,81
	4 N	30,95	9,15	13,60	8,20	1,02
0.3 - 4, A_{12}	8 N	17,29	1,25	10,20	5,84	0,98
0.1 - 5, (B)/C	8 N	14,71	1,44	7,80	5,47	1,21
0.2 - 5, (B)/C	8 N	53,66	12,27	16,89	24,50	2,46
	4 N	47,82	11,20	16,72	19,20	1,95
0.3 - 5, (B)	8 N	18,84	1,29	10,71	6,84	1,09
	4 N	17,93	1,44	10,16	6,33	1,06
0.2 - 6, C	8 N	47,29	11,37	15,77	20,15	2,16
0.3 - 6, (B)/C	8 N	20,35	1,53	10,52	8,30	1,34
0.3 - 7, C	8 N	18,26	0,78	8,96	8,92	1,69
	4 N	17,43	0,76	8,84	7,83	1,50

du profil. La comparaison des courbes d'extraction obtenues avec deux concentrations d'acide chlorhydrique, montrent de faibles variations pour l'alumine et la silice. L'extraction du fer montre une variation plus sensible dans les horizons A_1 et (A)/B des profils 1 et 2 ; cette variation pourrait s'interpréter comme l'apparition d'une phase cryptocristalline des hydroxydes de fer dans le haut de ces deux profils. La différence importante des teneurs en éléments amorphes, entre le profil 2 et les profils 1 et 3 pourra être expliquée ensuite (tabl. 13) par la composition minéralogique sensiblement différente de ces sols.

c. *Minéralogie du sol et de la fraction < 2 μ, d'après la diffraction de rayons X*

Les diffractogrammes de rayons X (fig. 18 à 24) permettent d'identifier des minéraux primaires en quantité abondante, un peu d'argiles et de l'allophane. Pour abréger l'exposé des résultats, nous symboliserons chaque minéral par une lettre :

— Minéraux primaires : plagioclase, F ; pyroxène, P ; quartz, Q ; hématite, H ; magnétite, M ; olivine (forsterite), O.

— Minéraux secondaires : kaolinite, K ; pseudo-vermiculite, V ; allophane (et amorphes), A.

L'hématite est considérée ici, comme un minéral primaire, car on ne l'observe que dans deux profils et parce qu'elle est en plus grande abondance dans le matériau originel, peu altéré, que dans le sol superficiel.

L'argile 1:1, qui donne une petite raie à 7,15 Å, est probablement une kaolinite désordonnée. L'argile 2:1, qui donne une bande entre 10 et 14 Å, et fréquemment une raie vers 14 Å, a un « comportement » de vermiculite ou d'interstratifié irrégulier de type vermiculite-chlorite (fig. 23). Mais il s'agit très probablement d'une argile 2:1 riche en aluminium interfoliaire. Cette argile est relativement plus évidente et mieux cristallisée dans les horizons supérieurs des trois profils étudiés. Par contre, l'allophane

constitue l'essentiel des produits silicatés secondaires dans la partie profonde des profils.

Nous résumons brièvement ci-dessous les résultats de l'analyse diffractométrique pour chaque profil :

Profil 0-1 :

— horizons 2 et 3, (A_0 et A_1) : beaucoup de minéraux primaires (F. P, Q, H et M) un peu d'argile 2 : 1 (V) ; traces de kaolinite ; moyennement d'allophane.

— horizon 4, A/(B) : la présence d'argile 2:1 est beaucoup moins évidente ; il y a moins de quartz.

— horizon 5 : (B)/C, l'allophane est le constituant silicaté secondaire exclusif ; il n'y a que des traces d'argiles indéterminées. Il y a beaucoup plus de feldspath et d'hématite. Le quartz a presque disparu.

Profil 0-2 :

— horizons 2 et 3, (A_0 et A_1) : beaucoup de minéraux primaires (Q, F, P, O et M) ; il y a surtout beaucoup de quartz et pas d'hématite ; un peu d'argile 2:1 (V) ; traces de kaolinite ; moyennement d'allophane.

— horizon 4, A/(B) : il n'y a qu'un peu de quartz ; la présence d'argile 2:1 est beaucoup moins évidente. Il n'y a plus de kaolinite.

— horizons 5 et 6, (B)/C et C : il n'y a plus de quartz ; les quantités de feldspath, pyroxène et surtout d'olivine (forstérite) ont fortement augmenté. Il n'y a plus d'argiles ; mais l'allophane est le constituant silicaté secondaire exclusif et elle est relativement très abondante.

Profil 0-3 :

— horizons 2 et 3, (A_0 et A_1) : beaucoup de minéraux primaires (F, P, Q, H et M) ; un peu d'argile 2:1 (V) ; traces de kaolinite ; moyennement d'allophane.

— horizon 4, A/(B) : la présence d'argile 2:1 est beaucoup moins évidente ; il n'y a plus de kaolinite ; il apparaît des traces d'olivine. Il n'y a plus que des traces de quartz.

— horizons 5 et 6 et 7, (B), (B) C et C : il n'y a plus de minéraux argileux ou tout au plus des traces dans l'horizon 5 ; il y a beaucoup d'allophane ou peut-être d'imogolite (les diffractogrammes sont très voisins de ceux publiés par Yoshinaga et Aomine en 1962 pour l'imogolite) Il n'y a plus de quartz.

Ces observations sont résumées dans le tableau XIII. Deux sous-ensembles de sol ont été distingués : ceux à hématite correspondent aux profils 1 et 3, et ceux à olivine et sans hématite au profil 2. On remarque que le quartz est toujours abondant dans le haut des profils (horizons A_0, A_1), jusque vers

TABLEAU XIII

Minéralogie résumée des 3 profils

Horizons (1)		Amorphes (2)							Minér. primaires (3)				Minér. Second. (4)		
		SiO_2		Al_2O_3		Fe_2O_3		Ki	F+P	O	Q	H+M	A	K	V
		1	2	1	2	1	2								
A_0	1	4,0	21	5,0	44	2,9	34	1,4	+ +	−	+	+ +	+ +	ε	+
		3,6	18	8,9	80	1,7	18	0,7							
	2	3,0	−	8,2	−	6,3	−	0,6	+	+	+	+*	+ +	ε	+
A_1	1	4,3	−	12,2	−	6,4	−	0,6	+ +	−	+	+ +	+ +	ε	+
		5,4	−	8,5	−	1,4	−	1,1							
	2	4,0	22	13,5	76	9,0	75	0,5	+	+	+	+*	+ +	ε	+
(B)	1	7,3	35	16,4	90	5,1	45	0,8	+ + +	−	+	+ + +	+ + +	−	ε
		6,8	27	10,7	77	1,3	11	1,0							
	2	8,9	50	18,5	94	12,5	92	0,8	+	+ +	ε	+*	+ + + +	−	ε
C	1	8,9	30	9,0	80	0,8	7	1,7	+ + +	−	ε	+ + +	+ + +	−	−
	2	20,2	70	16,9	89	12,3	86	2,0	+ +	+ +	−	+*	+ + + +	−	−

N.B. (1) 1, sol à hématite ; 2, sol à olivine et sans hématite (ou en traces).

(2) 1, % sol total ; 2, % élément total ; ki = SiO/Al_2O_3 (amorphes) molaire.

(3) F, plagioclase ; P, pyroxène ; O, olivine ; Q, quartz ; H, hématite ; *, sans hématite ; M, magnétite.

(4) A, allophane + amorphes ; K, kaolinite ; V, Al-vermiculite.
ε = traces, + un peu, + + moyen, + + + fort, + + + + très fort.

20 à 30 cm de profondeur; puis il disparaît assez rapidement en profondeur. Les autres minéraux primaires, notamment : plagioclases, pyroxènes, magnétite et hématite ou olivine, s'accroissent sensiblement à la base des profils. Par contre, les minéraux argileux sont mieux caractérisés dans le haut du profil, tandis que l'allophane, ou éventuellement l'imogolite, domine en profondeur. Il est à noter aussi la relation étroite entre la meilleure caractérisation des argiles, ici constatée dans le haut du profil, et la diminution de la teneur en éléments amorphes alumino-silicatés qui a été précédemment observée.

4.3. Interprétation

De l'ensemble des résultats précédents, il ressort les faits suivants :

Les sols d'Olot issus de roches basaltiques sont encore riches en minéraux primaires, dont certains comme les plagioclases, les pyroxènes et l'olivine sont facilement altérables. On note cependant une certaine évolution vers la diminution des minéraux les plus altérables de la base vers le haut du profil. Ceci signifie qu'il s'agit de sols jeunes (probablement d'âge Quaternaire récent), en cours de transformation minérale. On remarque aussi la présence de quartz en quantité importante dans la seule partie supérieure des profils. Cela suggère un léger rajeunissement superficiel des sols par des produits minéraux allochtones; ce phénomène avait déjà été indiqué par l'analyse chimique totale. On constate enfin que les sols dérivent de deux matériaux originels légèrement différents : les profils 1 et 3 proviennent d'une roche à hématite et le profil 2 d'une roche à olivine. Cette distinction nous a paru importante : on constate une relation étroite entre la présence d'hématite et des teneurs relativement plus faibles en substances amorphes et surtout en hydroxydes de fer facilement solubles; par contre, à la présence d'olivine semble liée aussi une beaucoup plus grande abondance en substances amorphes et surtout en hydroxydes de fer. On comprend facilement que l'hématite ne contribue pas dans un sol à la formation abondante d'hydroxydes de fer amorphes.

La fraction inférieure à deux microns est pour une très large part formée de substances minérales amorphes : il s'agit très probablement d'allophane, éventuellement d'un peu d'imogolite, et d'hydroxydes de fer. Elle contient aussi des minéraux primaires en petite quantité ou en trace. On constate très nettement dans tous les profils une évolution des substances silicatées amorphes ou cryptocristallines (allophane-imogolite) vers la formation d'argiles 2:1 à comportement d'interstratifié vermiculite-chlorite dans la partie supérieure des sols : horizons A_0, A_1 et éventuellement A/(B). Il s'agit très problablement d'une argile 2:1 à alumine interfoliaire, étant donné la richesse relative en alumine de la fraction amorphe (fig. 17). Cette interprétation est confortée par la comparaison des teneurs en substances amorphes dans les profils (fig. 16); celle-ci montre en effet une diminution très sensible de ces substances dans le haut des profils.

Ces diverses caractéristiques minéralogiques et géochimiques, étayées en outre par le test de Fieldes et Perrott et par certaines mesures de surface spécifique, montrent très nettement que les sols d'Olot sont riches en substances allophaniques et qu'il s'agit bien d'andosols. Elles font ressortir aussi que ce sont des sols jeunes en cours d'évolution, dont le type ultérieur de pédogenèse n'est pas évident. Le faible rajeunissement superficiel, sensible par certaines caractéristiques minéralogiques et chimiques, ne semble pas avoir modifié cette évolution dans le haut des profils.

CONCLUSIONS

Par la plupart de leurs caractéristiques, les sols de la Fajeda d'en Jordà sont des andosols. Remarquons notamment :

— Leur formation à partir de basaltes pyroclastiques d'âge récent, en climat régulièrement humide.

— Les caractères morphologiques et physiques suivants : couleur foncée; horizon (B) cambique; texture fine limoneuse et très humifère jusque dans l'horizon (B); très forte porosité et consistance friable et non adhésive (indiquant l'absence d'argile).

— Leurs propriétés chimiques caractéristiques de sols riches en allophane; réaction très forte au test de Fieldes et Perrott; dispersion des colloïdes minéraux à pH acide; phosphore assimilable lié à l'aluminium en forte quantité; capacité d'échange cationique très élevée et fortement dépendante du pH.

— Leur constitution minéralogique : riche en allophane et en minéraux primaires altérables.

Ce sont en outre, des sols désaturés et mésotrophes, Dans la classification pédologique française (1972).

ce sont des andosols différenciés, désaturés, chromiques. Pour la Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1967) il s'agit d'Entic Dystrandepts.

Les produits minéraux des roches-mères des sols étudiés subissent une hydrolyse complète. Mais, dans les conditions qui prévalent depuis la mise en place des volcans d'Olot, les produits allophaniques se sont formés avec une certaine abondance. L'évolution ultérieure qui suivra pour ces constituants, semble être la formation de minéraux argileux 2/1 à aluminium interfoliaire dont on peut constater l'apparition au sommet des profils. Ceci peut-être interprêté comme l'indication d'un passage possible des andosols vers les sols brunifiés.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 11 juin 1976

BIBLIOGRAPHIE

ALLUE ANDRADE (J.L.). 1966, — Subregiones fitoclimaticas de España. Minist. Agric. I.F.I.E. Madrid.

AOMINE (S.), JACKSON (M.L.), 1959. — Allophane determination in Andosoils by cation Exchange Capacity Δ value. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, 210-214.

BECH-BORRAS (J.), 1972. — « Catalunya, materials i sol ». Gran Enciclopedia Catalana.

BECH-BORRAS (J.), 1973. — Andosuelos en Olot (Gerona). *Pub. Inst. Biol. Aplic.*, 55, Barcelona.

BECH-BORRAS (J.), SEGALEN (P.), QUANTIN (P.), 1974. — Sur la présence d'Andosols à Olot (Gerona, Espagne). *C.R.Ac. Sci.*, Paris, 278, Sér. D. 1341-1344.

BOLÓS (M. de), 1948. — La comarca de Olot. Tesis doctoral en Geografia. Inedita.

BOLÓS (O. de), 1948. — Algunos datos sobre las comunidades vegetales de la Fajedá d'En Jordá (Olot). *Collect. Bot. v.* 2, f. 2, n° 16, 251-260.

BOLÓS (A. de), y BOLÓS (O.), 1951. — Sobre el robledal del llano de Olot (Isopyreto-Quercetum roboris). *Collect. Bot.* v. 3, f. 1, n° 9, 137-145.

CARDELUS (J.), 1957. — Productos volcánicos y suelos de Olot. Tesis doctoral. Madrid.

CLOOS (P.), HERBILLON (A.), ECHEVERRIA (J.), 1968. — Allophanelike synthetic silico-alumina, phosphate adsorption and availability. 9th. Int. Soil. Sc. Cong. Vol. II, 733-743.

COLMET-DAAGE (F.), et al., 1967. — Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques : 1ère partie, essai de caractérisation des sols des régions tropicales. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. 5, n° 1, 3-38.

DABIN (B.), 1967. — Application des dosages automatiques à l'analyse des sols, 3e partie, 3 : Analyse du phosphore assimilable dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. V, n° 3, 278-286.

DONVILLE (B.), 1973. — « Géologie Néogène et âges des éruptions volcaniques de la Catalogne Orientale », Thèse, Univ. Paul Sabatier. Toulouse *multigr.*, inédit.

FERNANDEZ-CALDAS (E.) et GUERRA DELGADO (A.), 1971. — Condiciones de formacion y evolution de los suelos de Tenerife. *An. Edaf. y Agrobiol.*, 30, 565-610.

FIELDES (M.), PERROTT (K.W.), 1966. — Rapid field and laboratory test for allophane. *N. Zeal. J. of Sci.*, 9, 623-629.

GAUSSEN (H.), 1926. — Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Doc. pour la carte des Prod. vég. Lechevallier, Paris, pp. 46 et 420.

GLANGEAUD (L.), GUARDIA (P.), 1963. — « Paléomagnétisme et chronologie des éruptions quaternaires du Rio Fluviá (Catalogne) », *C.R. Ac. Sc.*, Paris, Sér. D. t. 256, 240-242.

GROUPE DE TRAVAIL SUR LE THEME ANDOSOLS, 1972. — Proposition de classification des andosols. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. X, n° 3, 303-304.

GUARDIA (P.), 1962. — « Contribution à l'étude des volcans de la province de Gerona et du paléomagnétisme de leurs coulées ». D.E.S. Paris.

GUARDIA (P.), 1964. — « Volcans tertiaires et quaternaires de la Province de Gerona et paléomagnétisme de leurs coulées ». *Revue de Géographie Phys. et de Géol. Dyn.* (2), vol VI, Fasc. 3, 201-210.

HETIER (J.M.), 1971. — Caractérisation et répartition de quelques sols sur roches volcaniques du Massif Central. *Sci. du sol*, 2, 51-82.

HETIER (J.M.), 1973. — Caractères et répartition des sols volcaniques du Massif Central. IIe partie (Comparaison Cantal-Chaîne des Puys). *Sci. Sol.*, 2, 97-114.

MENENDEZ AMOR (J.), AMOROS (J.L.), GALVAN (J.), 1964. — Estudio Palinologico de la turbera del Estany (Olot, Gerona) con la contribución de un estudio mineralogico. Géologie en Mijubouw. 43e Jaargang, 118-122.

HELSEN (F.M.), EGGERTSEN (F.T.), 1958. — Determination of surface area. Adsorption measurement by a continuous flow method. *Chem. Ind.*, 30, 8, 138-198.

QUANTIN (P.), 1972 a. — Les andosols, revue bibliographique des connaissances actuelles. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. X, n° 3, 273-301.

QUANTIN (P.), 1972 b. — Note sur la nature et la fertilité des sols sur cendres volcaniques provenant d'éruptions récentes dans l'Archipel des Nouvelles Hébrides. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. X, n° 2, 123-151 et n° 3, 207-217.

QUANTIN (P.), 1974. — Hypothèses sur le genèse des andosols en climat tropical : Evolution de la « pédogenèse initiale » en milieu bien drainé, sur roches volcaniques. *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1, 13-46.

QUANTIN (P.), LAMOUROUX (M.), 1974. — Adaptation de la méthode cinétique de Ségalen à la détermination des constituants minéraux de sols variés. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1, 13-46.

RIOS (J.M.), MASACHS (V.), 1953. — Mapa Geológico de España 1 : 50 000. Hoja y Memoria n° 295. « Bañolas » : Madrid.

RODRIGUEZ-SANCHIDRIAN (J.), MONTURIOL (F.), 1973. — Andosols de la Provincia de Gerona. *An. Edaf. Y Agrobiol.*, 32, 9-10, 833-863.

SAN MIGUEL DE LA CAMARA (M.), MARCET RIBA (J.), 1926. — Región volcánica de Olot. XIV Congr. Géol. Intern. Exc. C4. Madrid.

SEGALEN (P.), 1968. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie,* vol. VI n° 1, 105-126.

SIEFFERMANN (G.), 1973. — Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. *Mém. ORSTOM,* n° 66, 183 p. Paris.

SOLE SABARIS, 1957. — Empordâ et région volcanique d'Olot. I.N.Q.U.A. Madrid-Barcelona.

SOLE SABARIS, 1962. — Observaciones sobre la edad del volcanismo gerundense. *Mém. R. Ac. C.A.* de Barcelona.

TEJEDOR-SALGUERO (M.L.), QUANTIN (P.), RODRIGUEZ-PASGUAL (C.) et FERNANDEZ-CALDAS (E.). — 1975, Andosuelos Canarios, VI, dystrandepts. *Anal. Edaf. Agrobiol.* t. XXXIV, 5-6, 347-357.

TOURNON (J.), 1968. — « Le volcanisme de la province de Gérone (Espagne). Etudes des basaltes quaternaires et de leurs enclaves ». Thèse 3e cycle. Laboratoire de Pétrographie de la faculté des Sciences de Paris. *multigr.*

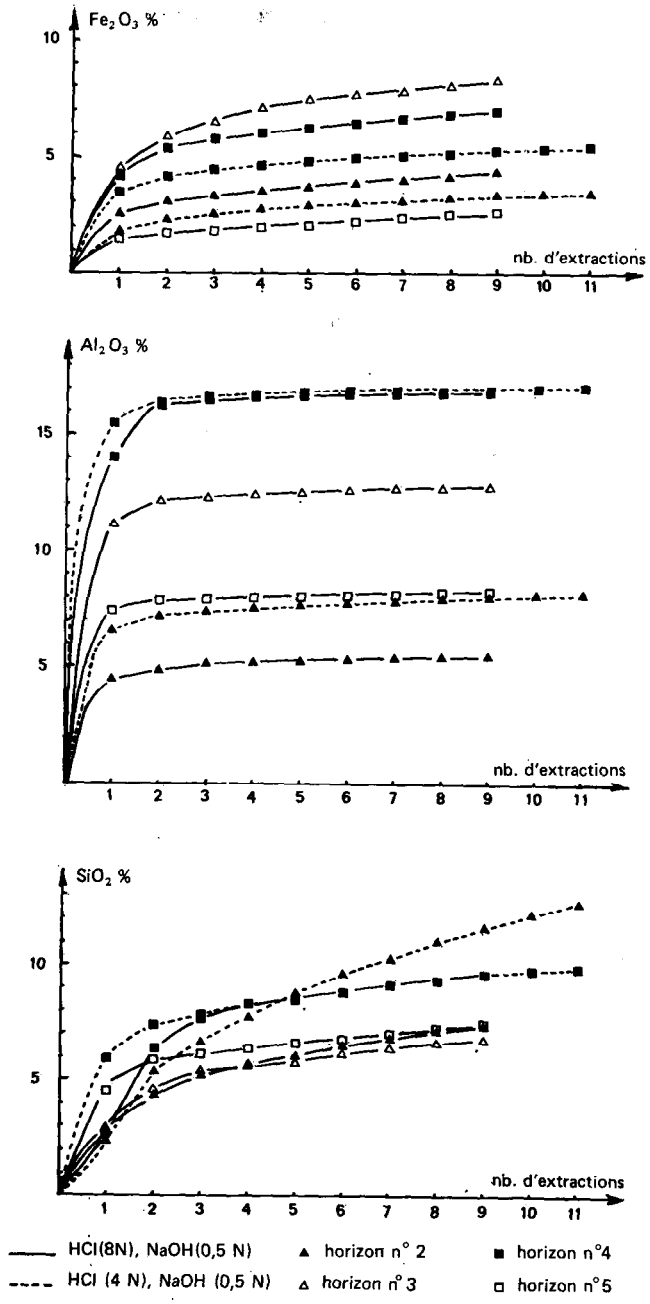
TOURNON (J.), 1969. — « Les roches basaltiques de la province de Gerona (Espagne), basanites à leucite et basanites à analcime ». *Bull. Soc. Fr. Minér. et Cristallogr.* t. 92, 376-382, Paris.

U.S.D.A. Soil Survey Staff, 1967. — Supplement to soil classification system, 7th approximation ; 207 p. ; Washington.

WALTER (H.), LIETH (H.). — 1960, Klimadiagramm Weltatlas. Veb. Gustav. Fischer Verlag, Jena.

YOSHINAGA (N.), AOMINE (S.). — 1962 a, Allophane in some Andosoils. *Soil. Sci. Plant. Nutrit,* 8, 2, 6-13.

YOSHINAGA (N.), AOMINE (S.), 1962 b. — Imogolite in some Andosoils. *Soil. Sci. Plant. Nutrit.* 8, 3, 1, 114-121.



* FIG. 7, 8 et 9. — Eléments « amorphes » du profil 0. 1. Courbes cumulatives d'extraction « Ségalen ».

* Les figures 1 à 6 sont parues dans la première partie de cet article *in* Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, n° 1, 1976, 73-87.

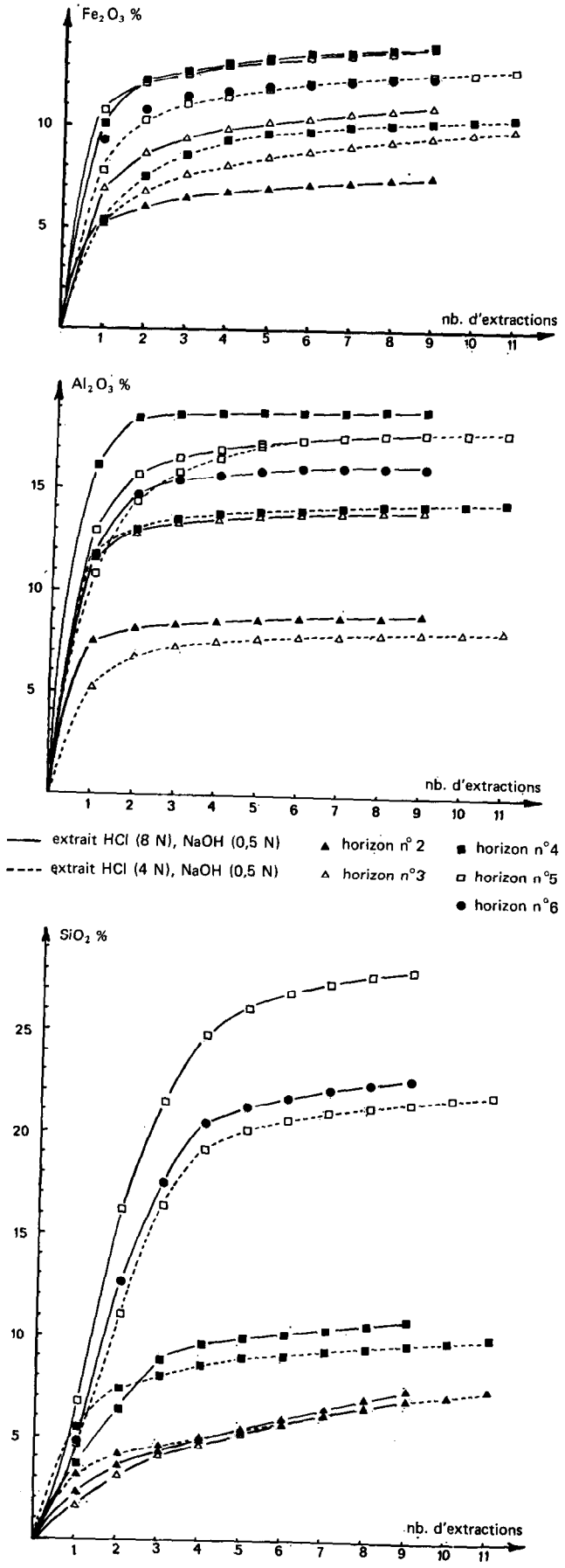


FIG. 10, 11, 12. — Eléments « amorphes » du profil 0. 2. Courbes cumulatives d'extraction « Ségalen ».

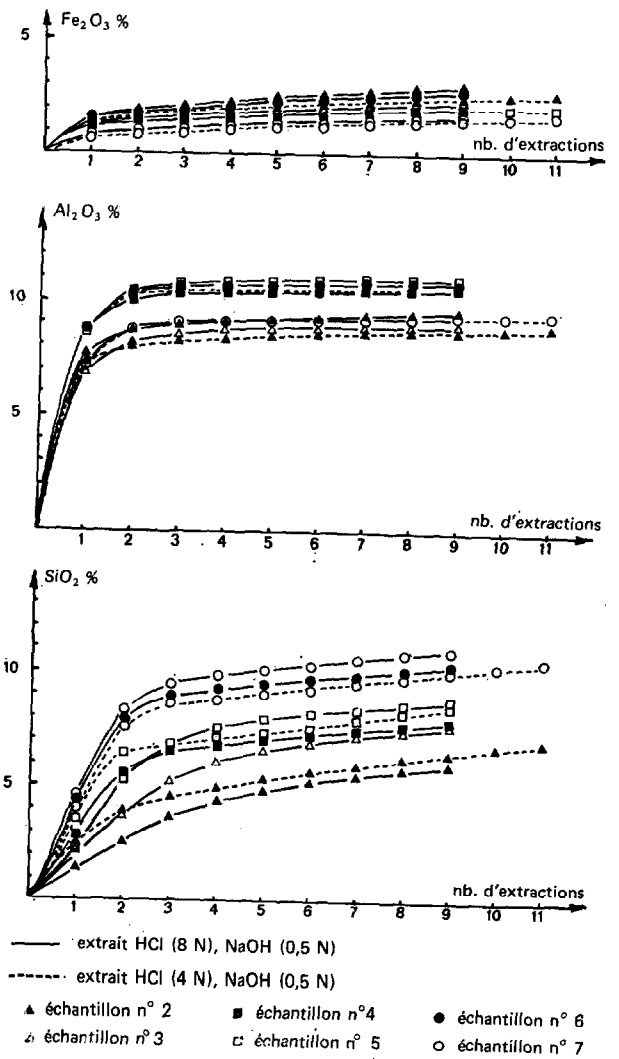


FIG. 13, 14 et 15. — Eléments amorphes du profil 0.3. Courbes cumulatives d'extraction « Ségalèn ».

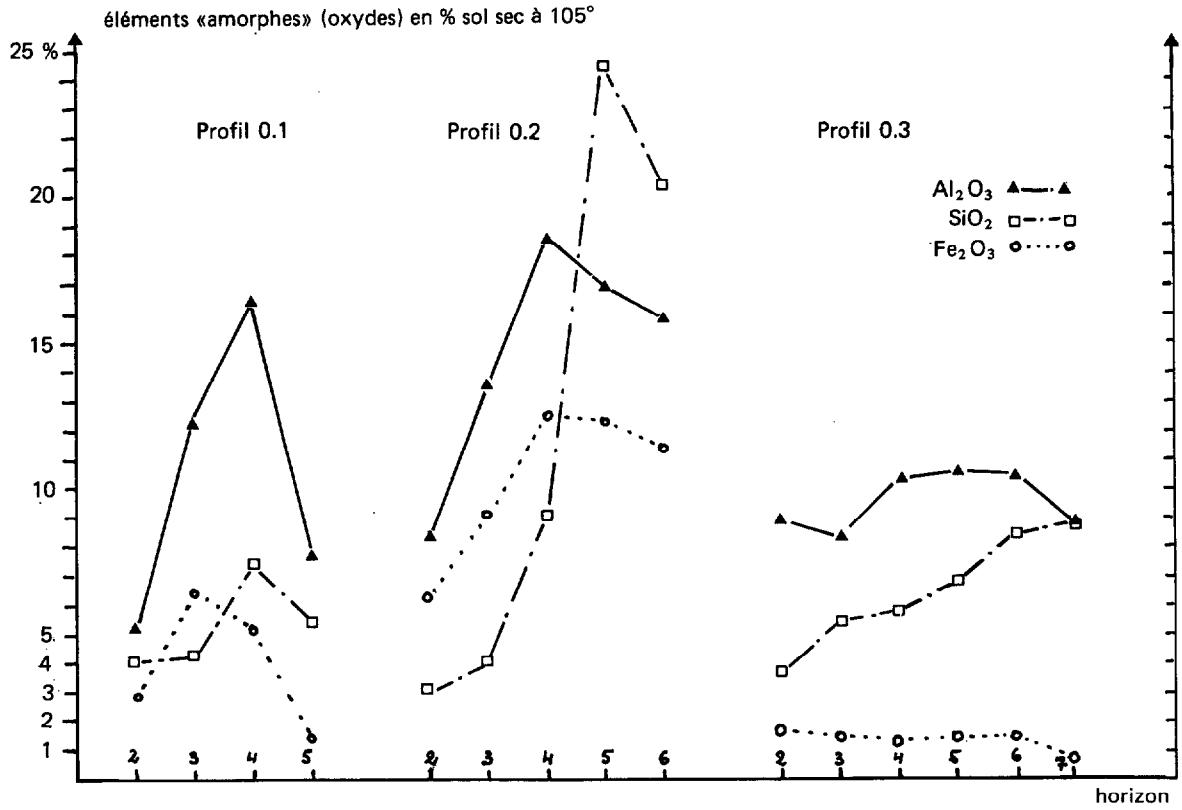


FIG. 16. — Evolution dans le profil du pourcentage de chaque élément « amorphe ».

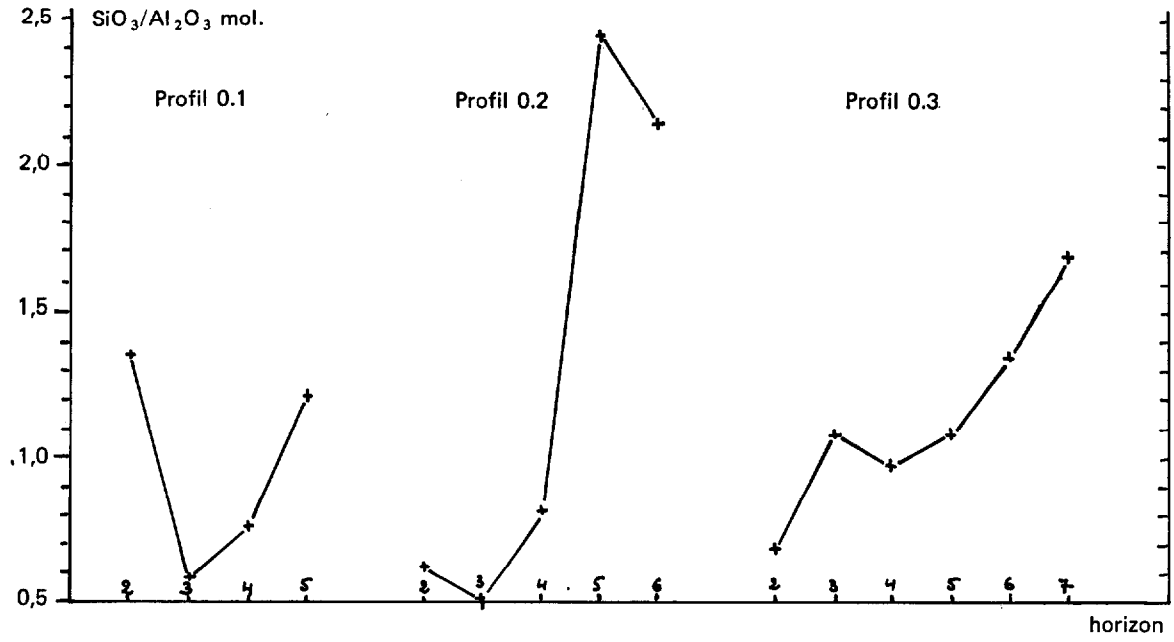


FIG. 17. — Evolution dans le profil de SiO_2/Al_2O_3 mol. des produits « amorphes ».

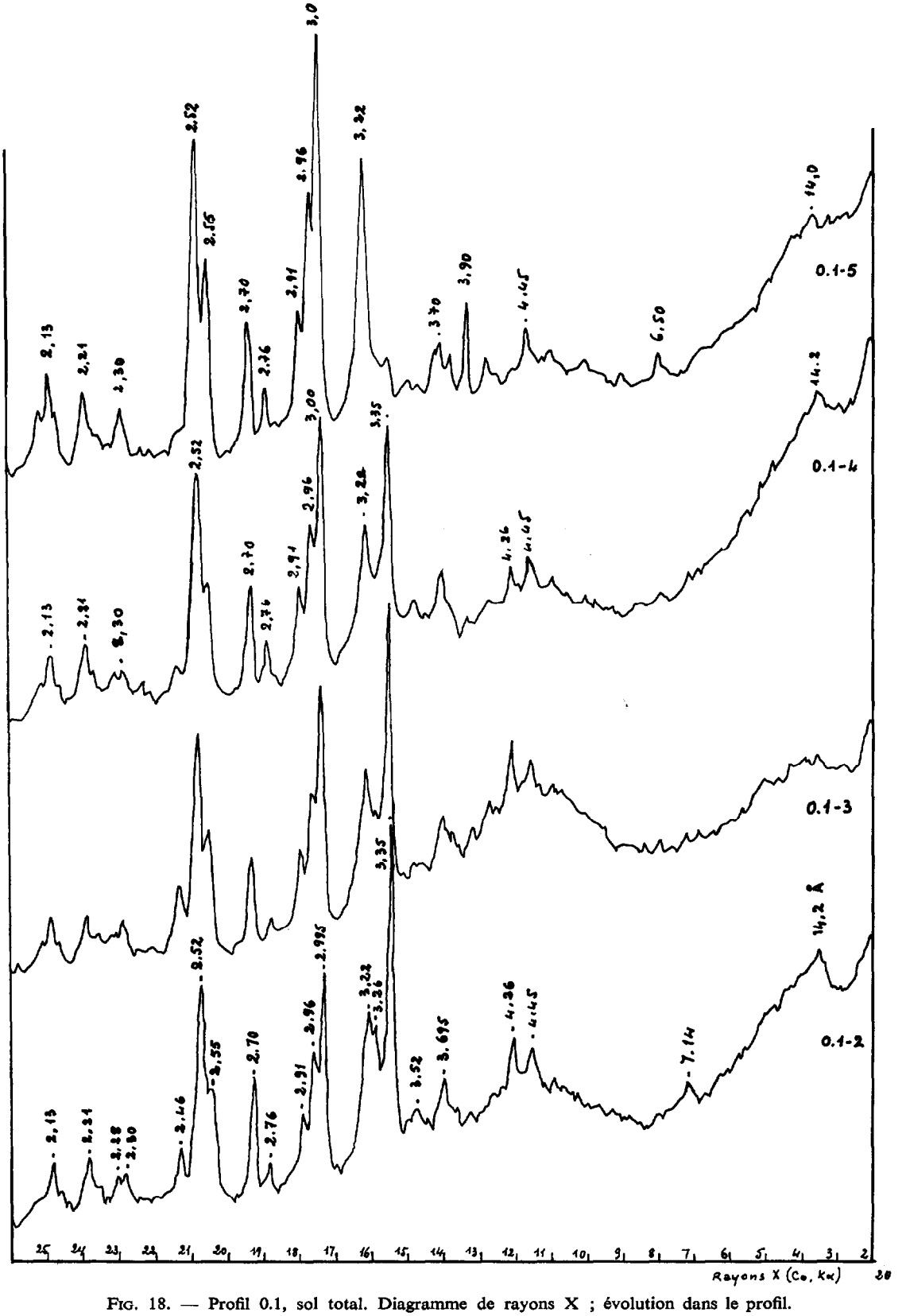


FIG. 18. — Profil 0.1, sol total. Diagramme de rayons X ; évolution dans le profil.

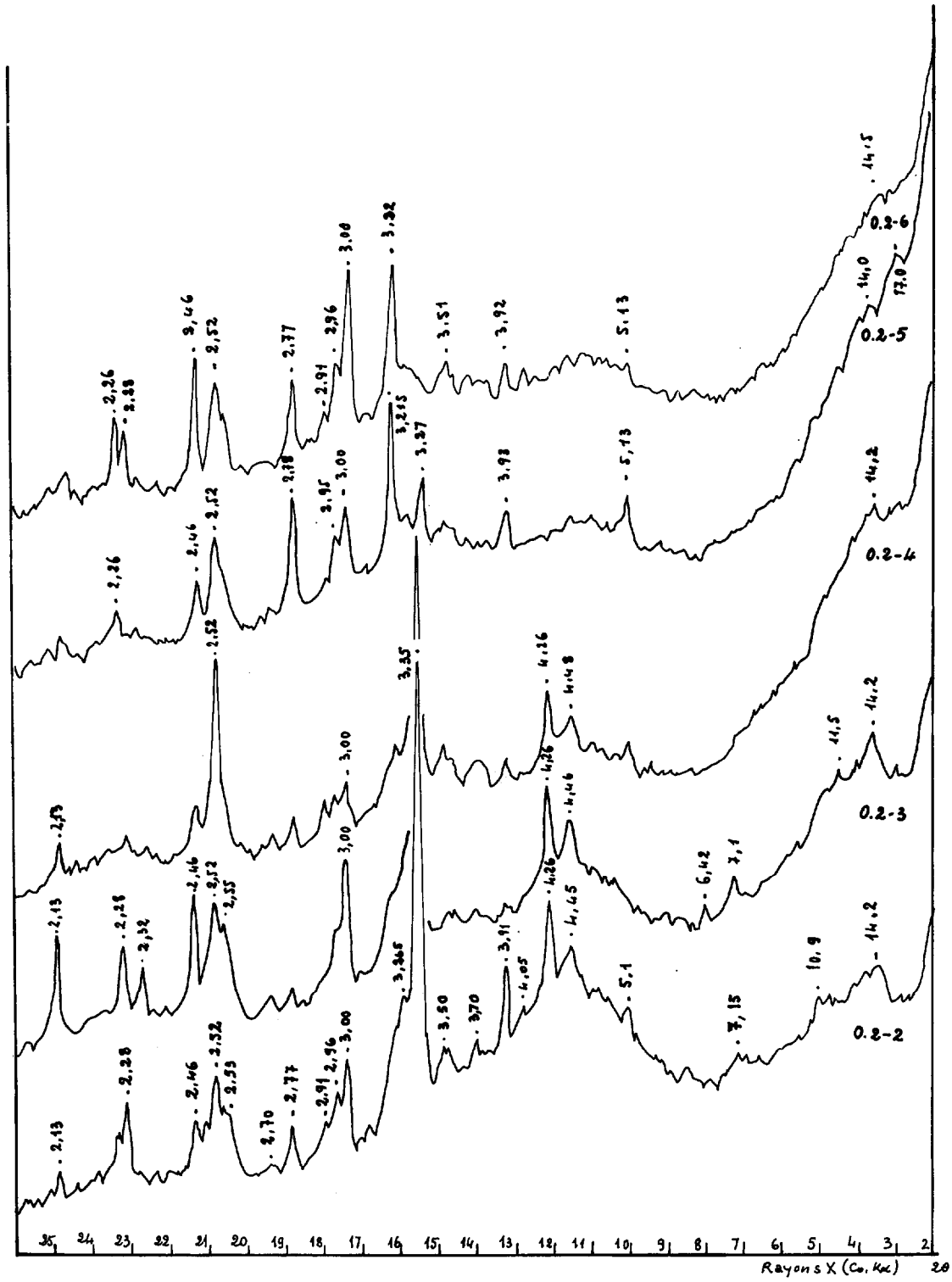


FIG. 19. — Profil 0.2, sol total. Diagramme de rayons X ; évolution dans la profil.

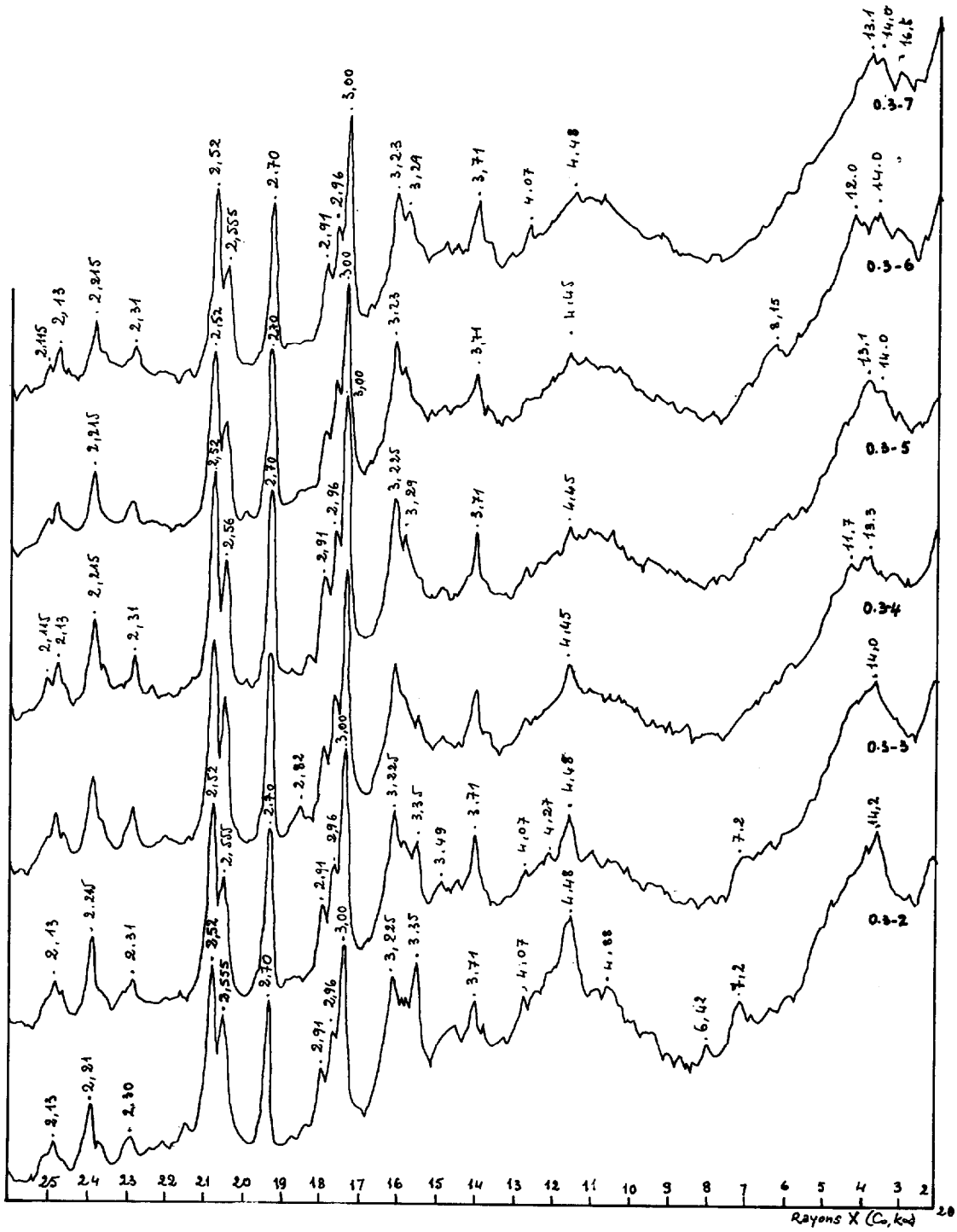


FIG. 20. — Profil 0.3, sol total. Diagramme de rayons X ; évolution dans le profil.

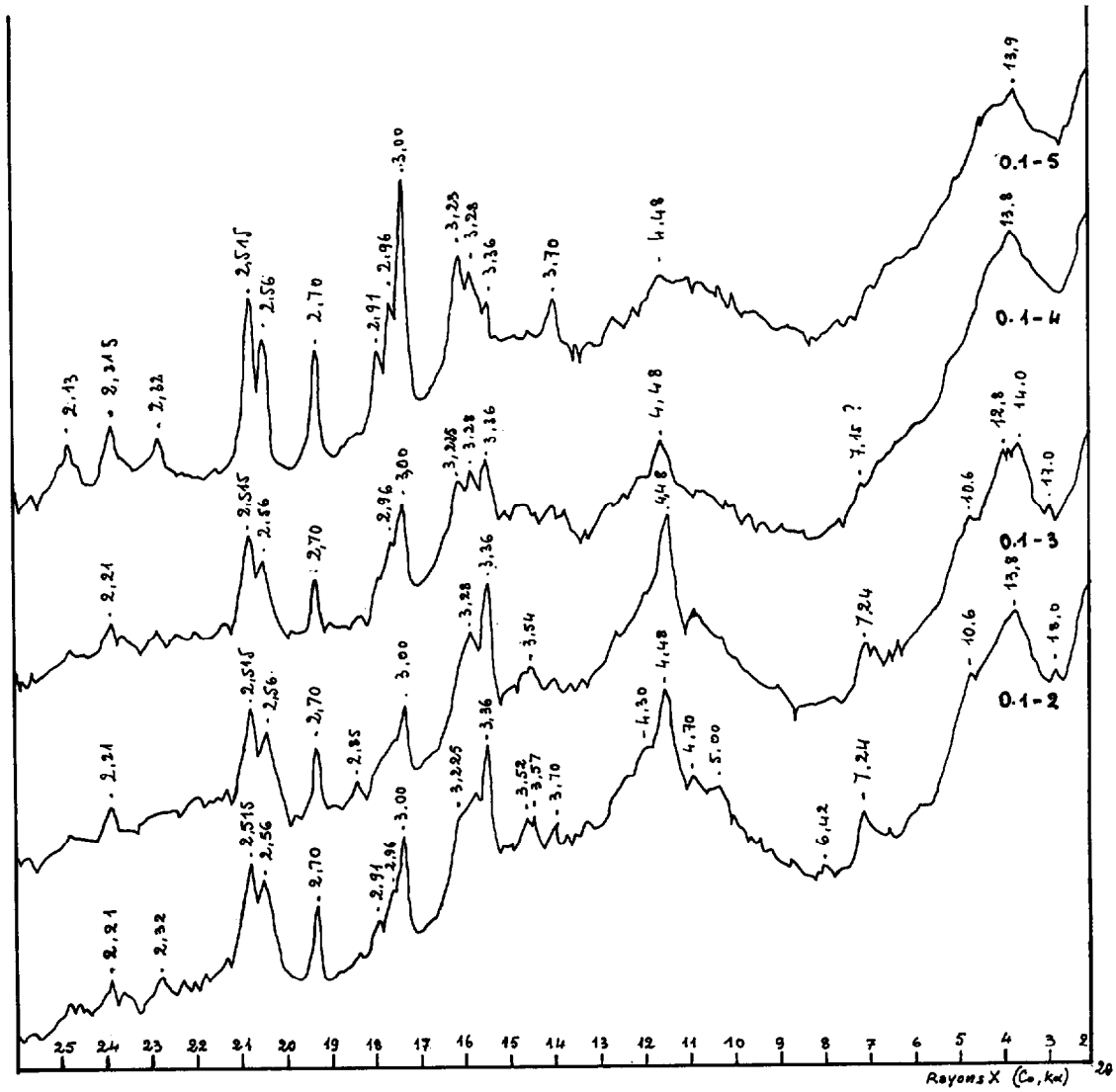


FIG. 21. — Profil 0.1, fraction < 2μ. Diagrammes de rayons X (poudre) ; évolution dans le profil.

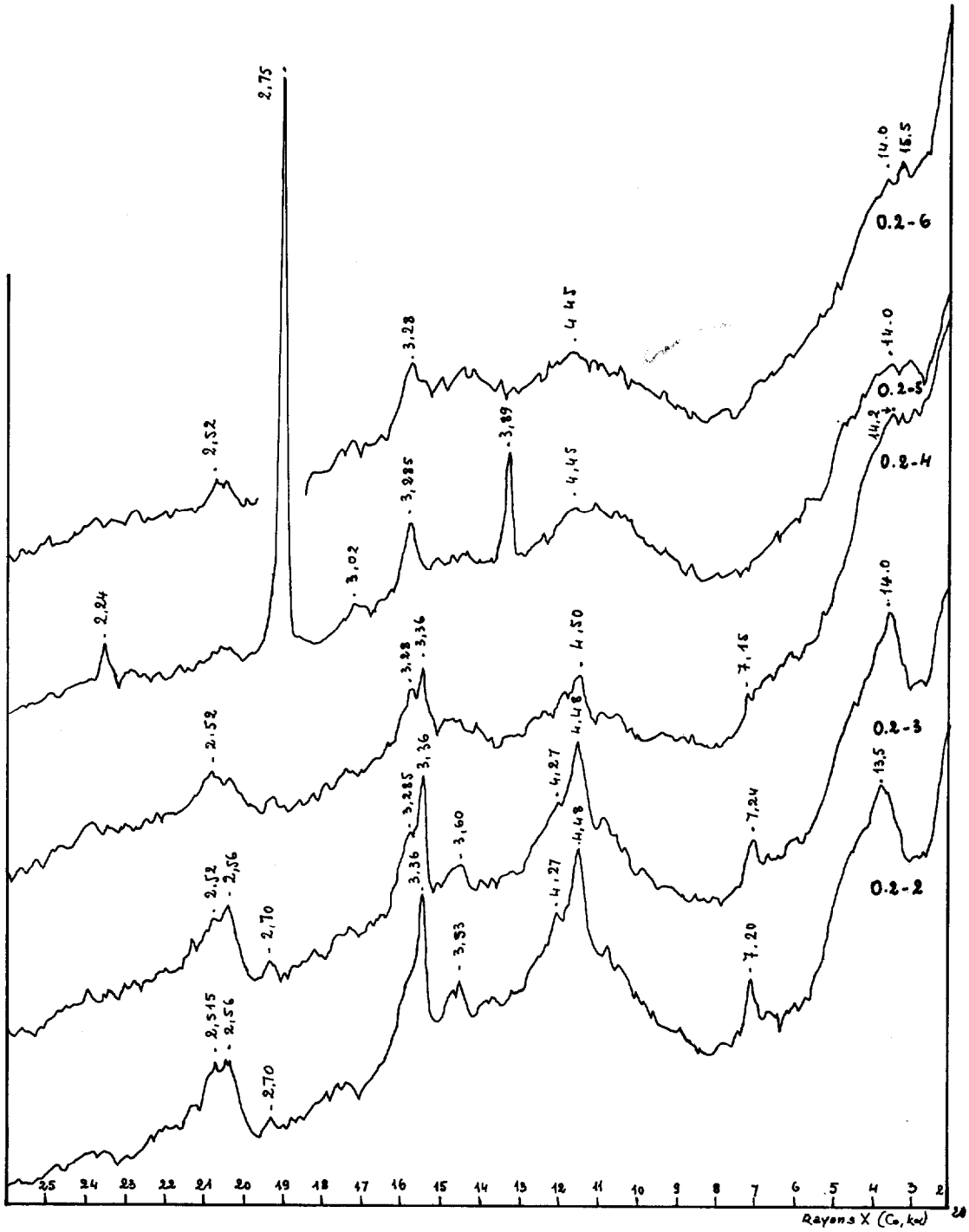


FIG. 22. — Profil 0.2, fraction < 2μ. Diagrammes de rayons X (poudre) ; évolution dans le profil.

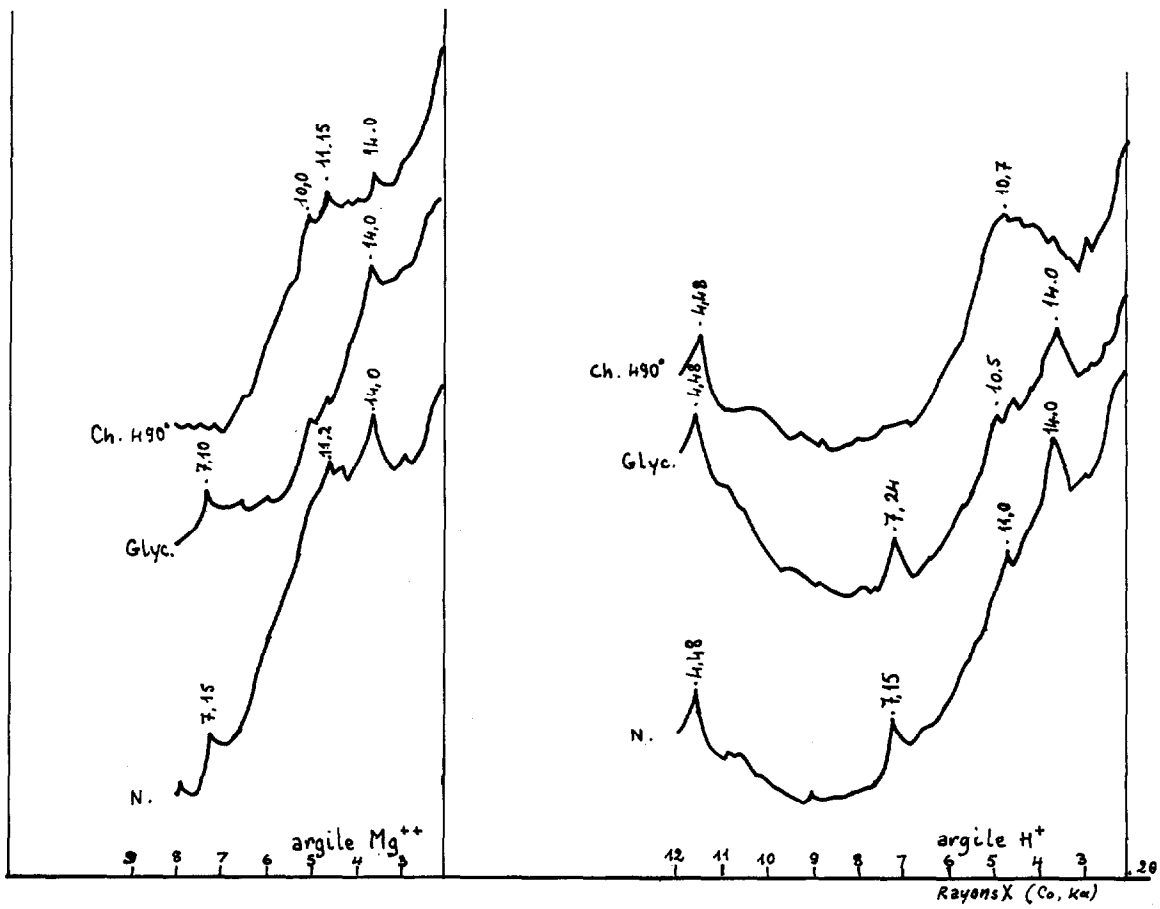


FIG. 23. — Profil 0.2 - 3, fraction < 2μ. Effet des traitements sur la diffraction de rayons X (échant. orienté).

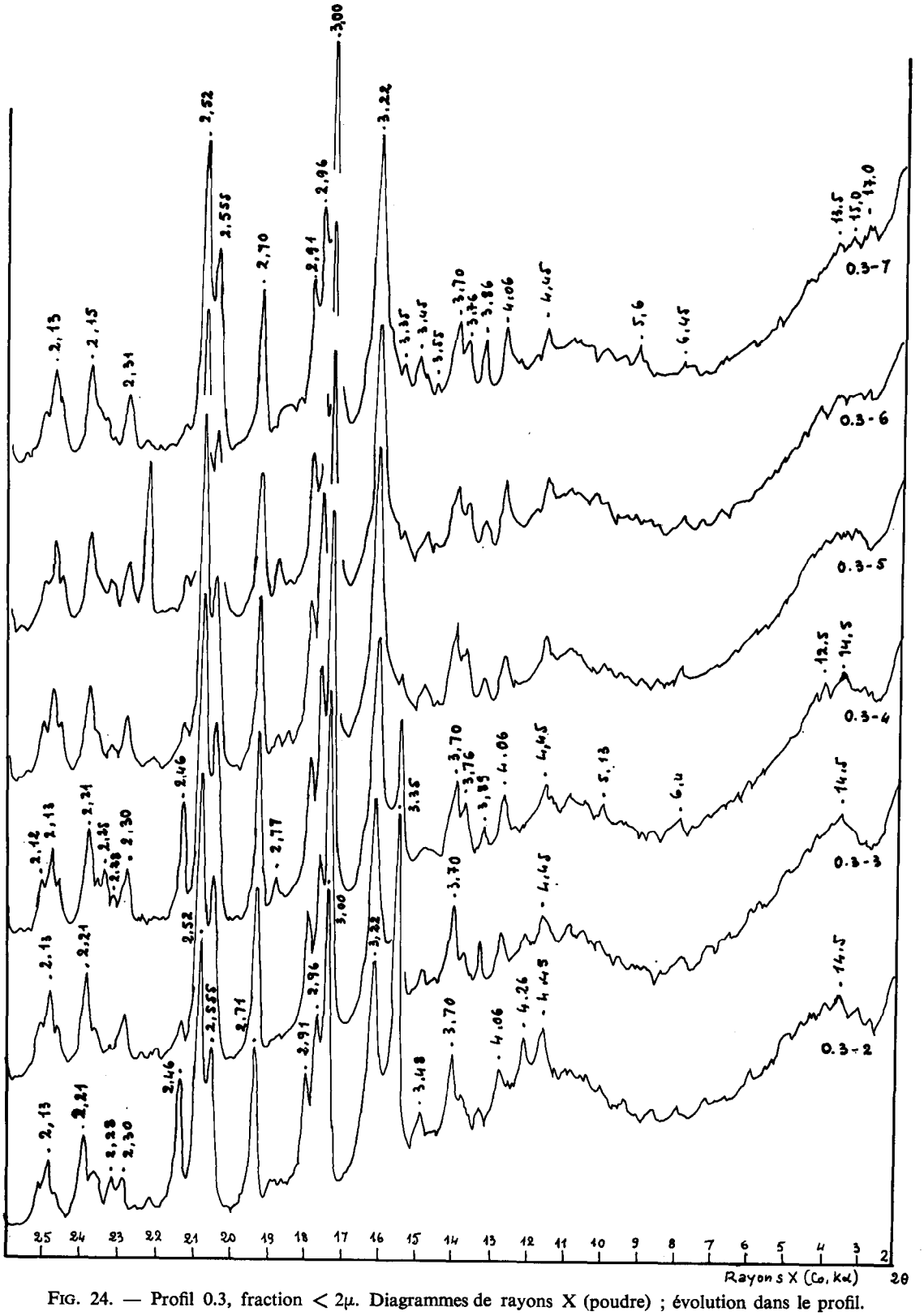


FIG. 24. — Profil 0.3, fraction < 2μ. Diagrammes de rayons X (poudre) ; évolution dans le profil.