

# THESE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir le titre de

DOCTEUR-INGÉNIEUR EN PÉDOLOGIE

par

Ali NEGARESTAN

CONTRIBUTION A L'ETUDE COMPARATIVE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE  
DANS QUELQUES SOLS ISOHUMIQUES OU A TENDANCE ISOHUMIQUE  
D'IRAN, DU MAROC, DU NIGER ET DE TUNISIE.

soutenue en Octobre 1970 devant la Commission d'examen :

Jury	}	MM. L. GLANGEAUD .....	Président
		G. LUCAS .....	Examineur
		G. AUBERT .....	Rapporteur
		B. DABIN .....	} Invités
		R. VAN DEN DRIESSCHE .	

O. R. S. T. O. M.

PARIS

1970

T H E S E

Présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITE DE PARIS

par

Ali NEGARESTAN

pour obtenir le titre

DE DOCTEUR - INGENIEUR EN PEDOLOGIE

sujet

CONTRIBUTION A L'ETUDE COMPARATIVE DE LA MATIERE  
ORGANIQUE DANS QUELQUES SOLS ISOHUMIQUES OU A TENDANCE  
ISOHUMIQUE D'IRAN, DU MAROC, DU NIGER ET DE TUNISIE

Soutenue en Octobre 1970

devant la commission d'examen

Jury {  
MM. L. GLANGEAUD ..... Président  
G. LUCAS ..... Examinateur  
G. AUBERT ..... Rapporteur  
B. DABIN  
R. VAN DEN DRIESSCHE } Invités

E R R A T A

<u>Page</u>	<u>Ligne</u>	<u>Correction</u>
36	30	Lire, son dosage devient alors plus délicat, en ... au lieu de, son dosage devient alors, en ...
54	9	Lire, longitude 6° 13' 45" O, latitude 32° 30' 20" N au lieu de longitude 6° 13' 45", latitude 32° 30' 20"
179	13	Lire, ... dans cette échelle est supérieure à ... au lieu de ... " " " " inférieure à ...
234	25	Lire, il n'en est pas au lieu de il n'en n'est pas
238	32	Lire, " " " " " " " " " " "
310	23	Lire, la dernière est la ... au lieu de la dixième est ...
335	27	A éliminer : telles que la composition globale de la matière organique de leurs horizons en ses quatre frac- tions constitutives, le sens et l'intensité de leur évolution, par suite d'une répétition.

## AVANT - P R O P O S

C'est avec une joie profonde que je me prête à cet agréable devoir de remercier toutes les personnes qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre durant mes six années d'étude en France, et en particulier les quatre années de recherche dans la réalisation de ce travail, aux Laboratoires de Pédologie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

Je suis heureux d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur L. GLANGEAUD, membre de l'Institut qui m'a permis de m'initier aux nouveautés techniques et scientifiques en matière de pédologie aux cours du D.E.A. que j'ai présenté dans son Laboratoire, et qui m'a rendu encore plus joyeux et fier en acceptant la présidence de jury de cette thèse.

Monsieur le Professeur G. LUCAS a accepté aimablement de faire partie de ce jury, qu'il en soit particulièrement remercié.

Je tiens à remercier vivement Monsieur le Professeur G. AUBERT qui m'a permis d'avoir accès à ses Laboratoires de Pédologie à Bondy et qui, en acceptant la direction de cette thèse, n'a jamais cessé de suivre et de diriger mes travaux, malgré sa lourde charge.

Monsieur B. DABIN, Inspecteur Général de l'O.R.S.T.O.M., m'a encouragé et aidé constamment dans la réalisation de ce travail ; je lui exprime ma profonde reconnaissance.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à Monsieur VAN DEN DRIESSCHE qui m'a permis d'avoir accès à l'ordinateur, et qui m'a initié aux nouvelles méthodes statistiques, sans lesquelles je n'aurais jamais pu mener à bien cette étude.

Je n'oublierai pas non plus l'amabilité de Monsieur P. SEGALEN, Directeur des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy, qui a bien voulu me permettre d'y poursuivre mes recherches et qui m'a permis également d'y être logé durant ma dernière année d'étude, je lui en suis très profondément reconnaissant.

J'ai largement profité de la collaboration précieuse de mon ami Monsieur M. BORDBAR, Pédologue de l'Institut Pédologique de Téhéran et de celle des Pédologues de l'O.R.S.T.O.M. en service en Afrique, qui m'ont adressés les échantillons des profils de sols d'Iran, du Maroc, du Niger et de Tunisie ; je les prie d'accepter mes sincères remerciements.

Messieurs COMBEAU et PELLOUX, en permettant aimablement l'exécution de la plupart de mes analyses (physiques et chimiques) par leurs personnels de laboratoire, m'ont apporté une aide précieuse ; je suis profondément reconnaissant de leur collaboration ainsi que de celle de tout le personnel des Laboratoires Pédologiques de Bondy

Je tiens à remercier également tout le personnel de la bibliothèque de Bondy, où j'ai été toujours gentiment accueilli, et dans laquelle j'ai pu trouver tant de renseignements utiles pour mon travail.

Enfin, c'est grâce à l'amabilité de Monsieur F. BONNET-DUPEYRON, Directeur du Service de Documentation, et au travail minutieux de son personnel que cette thèse a pu être présentée ainsi ; je les prie d'accepter mes plus chaleureux remerciements.

## I N T R O D U C T I O N

L'importance considérable de la matière organique du sol en Pédologie ou en Agronomie a été soulignée à plusieurs reprises par de nombreux Pédologues et Agronomes. Ses caractéristiques et son mode de répartition sont considérés comme des critères fondamentaux dans la plupart des classifications modernes des sols à base génétique.

Dans la plupart des cas, l'étude de la matière organique ne concerne que sa teneur totale et celle de ses composés extractibles par les solvants alcalins, en surface ou à faible profondeur. Trop souvent les éléments organiques des horizons de profondeur et ce qui en est partie inextractible par les solvants actuels (humins) dans tous les horizons du profil et en représente généralement la majeure partie restent hors de l'étude.

Nous nous sommes alors proposés d'effectuer une recherche approfondie de la matière organique dans l'ensemble des horizons du sol ; et d'en comparer qualitativement et quantitativement la teneur globale et les divers éléments constitutifs, en particulier l'humine, dans quelques profils de sols isohumiques ou à tendance, dans lesquels la matière organique des horizons profonds est encore appréciable.

Les buts de la présente étude sont donc les suivants :

- 1°) Etablir, par modification des méthodes actuellement utilisée, une méthode de recherche, ainsi que des conditions standardisées, tant pour l'extraction et le dosage du carbone que pour le fractionnement chimique et électrophorétique des composés humiques, de façon à ce qu'elles se prêtent le mieux au travail en série et à la comparaison ultérieure des résultats.
- 2°) Etudier ensuite, par la comparaison des résultats ainsi obtenus sur les sols étudiés, la variation qualitative ou l'évolution des fractions constitutives de la matière organique globale et la variation quantitative du carbone total et de celui des composés humiques, dans les différents horizons des divers sols retenus.
- 3°) Vérifier, par la voie statistique (corrélations), l'effet de la matière organique sur le milieu et réciproquement l'influence de certaines conditions de celui-ci sur l'évolution de cette matière organique.
- 4°) Enfin, chercher, toujours statistiquement (distances généralisées delta, constellations), parmi les variables caractéristiques de la matière organique dans le sol un ensemble qui regroupe le mieux les profils de sols à évolution pédogénétique semblable.

GENERALITE

CHAPITRE I : DEFINITION ET CARACTERISTIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE

1 - Définition

Les résidus d'origine végétale ou animale, décomposés et plus ou moins resynthétisés, constituent la matière organique du sol. Elle est exposée, bien entendu, aux attaques vigoureuses des micro-organismes vivants du sol qui font partie également de la matière organique. Sous leur action, cette transformation donne, d'une part, des produits minéraux solubles ou gazeux ( $CO_2$ ,  $NH_4$ ,  $NO_3$ ) par un ensemble de phénomènes qui s'appelle " LA MINERALISATION ", et d'autre part, des produits organiques colloïdaux de nature complexe et de teinte généralement brune ou noire, qui minéralisent beaucoup plus lentement que les premières, connus sous le nom d'HUMUS. L'ensemble des processus de dégradation, de synthèse, etc... qui lui donne naissance constitue l'HUMIFICATION.

2 - Caractéristique

La teneur en matière organique du sol, face aux autres éléments constitutifs est, en général, très faible (3 à 5% à peine), mais son influence sur les propriétés physiques, physico-chimiques et biologiques, et sur l'évolution du sol d'une part, et sur la croissance des plantes d'autre part, est considérable.

Si elle est en quantité suffisamment abondante à la surface du sol (et en y incluant la litière), elle :

- atténue le choc des gouttes de pluie, ce qui favorise le maintien de la structure du sol superficiel et, indirectement, facilite la germination des jeunes plantes, puisque la terre n'est alors, que rarement battante.

- diminue considérablement la quantité d'eau qui ruisselle à la surface, et sa vitesse d'écoulement, l'infiltration augmente et l'érosion diminue.

- assure comme un mulch, grâce à la structure spongieuse, qui offre une grande capacité de rétention pour l'eau, un équilibre d'échange thermique entre le sol et l'air ambiant ; elle adoucit le pédoclimat, ralentit l'évaporation intense en été, de même qu'un gel trop poussé en hiver.

- diminue le déplacement des particules fines de la surface du sol, qui ne peut plus être que négligeable (érosion par le vent).

Dans l'ensemble du profil :

- elle améliore et stabilise la structure du sol. C'est ainsi qu'en l'appelant " agrégateur des particules minérales ", H. BUCKMAN et N. BRADY (1960) la reconnaissent, dans une grande mesure, comme responsable de la porosité et de la friabilité des sols fertiles.

- elle donne au sol une capacité de rétention pour l'eau plus importante.

- au cours de sa décomposition, elle met à la disposition des végétaux une partie des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance ainsi que les acides organiques provenant de cette décomposition, qui facilitent la dissolution des minéraux et les rendent ainsi plus accessibles à la nutrition végétale (R.L. DONAHUE - 1958). Elle fournit aussi de nombreux corps antibiotiques et hormones de croissance également rendus ainsi accessibles aux plantes.

- le fer et l'aluminium se combinent beaucoup plus facilement aux anions libérés au cours de cette décomposition (citrate, oxalate, tartrate, lactate) qu'aux anions phosphoriques. Ce phénomène limite la formation de phosphate de fer et d'aluminium, par rapport à ce qui se produit dans un sol non humifère et, par conséquent, donne plus de phosphore disponible (R.L. DONAHUE - 1958).

- la matière organique est la source essentielle de l'azote du sol ; elle est aussi l'une des sources du phosphore et du soufre qui s'y trouvent (H. BUCKMAN, N. BRADY - 1960).

- elle est la principale source d'énergie pour les micro-organismes et à cet égard, assure l'équilibre biologique du sol ; d'une façon générale on peut dire qu'un sol dépourvu de matière organique a une activité biologique pratiquement nulle.

- en dernier lieu, elle protège le sol contre les changements chimiques rapides dus à l'application excessive d'engrais et d'amendements calcaires, grâce à sa très forte capacité de rétention des cations qu'ils comportent, très supérieure à celle de l'argile. Elle retient ainsi, sous forme échangeable et disponible pour les cultures, des cations tels que K, Ca, Mg et parfois même de l'ammonium (R.L. DONAHUE - 1958).

### 3 - Complexité des problèmes d'étude et principales difficultés pratiques

L'étude d'un élément si important dans le sol ne manque pas d'intérêt pédologique ou agronomique ; cependant cette transformation incomplète et transitoire des tissus végétaux par l'intervention des micro-organismes, n'est pas un phénomène aussi simple que d'autres, physiques, physico-chimiques ou chimiques qui se produisent dans le sol. Parmi les divers facteurs évolutifs influençant qualitativement ou quantitativement la matière organique du sol, on peut citer : le climat, la topographie, la roche-mère, la végétation, sans oublier le grand rôle des micro-organismes, de leurs conditions de vie ou de leurs antagonismes éventuels. De même que d'autres pédologues, G. AUBERT en attachant une grande importance, parmi les divers éléments du climat, aux variations d'humidité, souligne que, dans les conditions naturelles " l'alternance dessiccation-humectation favorise l'HUMIFICATION par rapport à la MINERALISATION " (Cours non publié 1966). On peut remarquer que toute variation d'équilibre biologique ou modification physico-chimique du milieu ou changement des facteurs externes, aura une influence non négligeable sur la nature et la teneur en matière organique du sol. De nombreuses difficultés techniques rendent aussi l'étude de ce sujet, pratiquement, très délicate.

- En premier lieu, comme l'ont bien mis en évidence de très nombreux auteurs, les liaisons étroites d'une grande partie de la matière organique évoluée

et bien humifiée avec la matière minérale, surtout en présence de Ca et des sesquioxides, rendent actuellement, pratiquement très difficile sinon impossible de séparer la totalité de cette matière organique du sol, ce qui est pourtant indispensable pour pouvoir étudier en détail ses constituants.

- En second lieu, on n'a pas encore trouvé un réactif d'extraction qui peut séparer électivement les composés humiques de la matière minérale sans les transformer (Ph. DUCHAUFOR, F. JACQUIN - 1963).

- En troisième lieu, les méthodes habituelles de fractionnement et de dosage chimique sont incomplètes et longues, et elles conviennent mal à l'analyse en série. De nombreuses recherches ont été réalisées en vue de fractionner les composés extraits en éléments plus ou moins solubles, plus ou moins polymérisés, ou liés plus ou moins étroitement à la matière minérale. Il en a été de même pour la mise au point d'une méthode de dosage à la fois précise et rigoureuse, sujet sur lequel nous reviendrons ultérieurement.

- En dernier lieu, il faut souligner que la matière organique du sol est toujours dans un état de décomposition active, aussi les analyses doivent elles être effectuées le plus rapidement possible.

+ +  
+

## CHAPITRE II : HISTORIQUE

### 1 - L'extraction

Trouver les réactifs les plus efficaces et les plus aptes à séparer les composés humiques du sol sans les transformer, a été depuis plus d'un siècle le but de nombreuses recherches (J. TINSLEY et A. SALAM - 1961). Un grand nombre de réactifs, très divers, a été proposé. Cependant DUCHAUFOR et JACQUIN (1963) pensent que la plupart de ceux, couramment utilisés, présentent des inconvénients majeurs. Cet avis paraît d'ailleurs partagé par d'autres auteurs, en particulier SCHEFFER et al (1960), Max Von BUCH (1962) et Ch. THOMANN (1963). L'une des difficultés essentielles paraît résider dans l'extraction incomplète et la transformation des composés humiques ; on ne peut pas extraire, par l'action d'un seul réactif, la totalité des composés humiques d'une part, et d'autre part, il se produit une néoformation de certains composés provenant, soit d'une hydrolyse partielle de produits plus complexes, soit au contraire, d'une polymérisation artificielle d'éléments plus solubles. On assiste ainsi à une transformation, non négligeable, des corps que l'on cherche à extraire. Le cas de la soude qui apparaît comme le solvant minéral le plus énergique proposé jusqu'à présent, et que l'on a employé à chaud comme à froid et à la concentration de 0,2 à 2% (THOMANN - 1963) en est un exemple très net :

Elle n'agit que peu ou pas sur les humates calciques dans certains sols où les matières humiques sont liées à la matière minérale par le calcium ; on est obligé d'effectuer un pré-traitement acide qui provoque l'entraînement en solution de divers corps organiques. Dans le cas de l'humus peu évolué, comme l'humus brut ou la tourbe acide, elle provoque la transformation par un phénomène d'oxydation de certaines substances présentes dans la matière végétale originelle ; elle augmente ainsi artificiellement la quantité des composés humiques extraits (Ph. DUCHAUFOR, F. JACQUIN - Ann. agron. 1963, 14 (6) ) :

L'ammoniaque seul, ou avec la soude, a été aussi utilisé ainsi que le carbonate de soude et de potasse (Ch. THOMANN - 1963) :

Cependant, à cause de l'inefficacité relative de ces solvants, les chercheurs se sont orientés vers les sels capables de complexer les cations métalliques liés aux composés humiques du sol : tels sont l'oxalate d'ammonium préconisé par R. CHAMINADE (1946), le fluorure de sodium par G. MANIL (1961) ou de même que le malonate et le salicylate d'ammonium Ch. THOMANN (1963).

Autre agent complexant du fer et du calcium, l'E.D.T.A. a été également employé par DEUEL et al (1960).

Certains chercheurs ont même utilisé les solvants organiques (SCHEFFER et al - 1960). Malgré l'efficacité supérieure qu'ils ont par rapport aux réactifs précédents, l'emploi de ces derniers est devenu de plus en plus limité en raison de difficultés techniques qui sont apparues ultérieurement. DUCHAUFOR et JACQUIN (1963) ont constaté que leur action est le plus souvent incomplète et surtout qu'elle donne des résultats différents suivant les types d'humus, ce qui rend les comparaisons impossibles. Ch. THOMANN (1963) a mis également en évidence les difficultés de dosage ultérieur de carbone et de l'azote sur les solutions d'extraction.

Le pyrophosphate de sodium, proposé par BREMMER et LEES (1949), a montré une supériorité incontestable sur tous les autres solvants ; il a été employé, avec succès, par de nombreux spécialistes : en Grande-Bretagne par COULSON et al (1959), en Allemagne par SPRINGER et KLEE (1958), en Russie par ALEXANDROVA (1960) et KONONOVA et al (1961), en France par DUCHAUFOR, JACQUIN, THOMANN.

C'est à la concentration 0,1 M et à pH 10 qu'il présente son efficacité maximum permettant d'extraire la plus forte proportion possible des composés humiques ; cela est dû à son pouvoir dispersant parfait d'une part, et à la formation de sels insolubles avec les cations métalliques, en particulier le calcium et le fer, d'autre part. C'est donc par ses propriétés physiques et chimiques qu'il libère les composés humiques très polymérisés et fortement liés à ces cations et qu'il les solubilise sous forme d'humates alcalins. Son emploi permet aussi d'éviter la décalcification préalable dans le cas des sols calcaires.

KONONOVA et BELCHIKOVA (1961) ont tenté d'obtenir davantage de matière humique grise et fortement polymérisée, en utilisant un mélange de soude et de

pyrophosphate à pH 12. Il est certain que l'on augmente ainsi légèrement le taux d'extraction, mais l'on court le risque de néoformation de composés nouveaux, non préexistants, à partir de la matière organique fraîche, par l'oxydation due à la présence de la soude et au pH élevé.

L'influence du pH de la solution d'extraction a été étudiée en détail par Ch. THOMANN (1963) ; elle a pu montrer qu'au delà du pH 10, cette néoformation est certaine.

Ph. DUCHAUFOR et F. JACQUIN (1963) ont fait appel à des extractions successives, en abaissant le pH vers 7 pour les deux premières extractions à l'aide de ClNa à 5% afin, d'une part, d'éviter autant que possible cette néogenèse des composés organiques et, d'autre part, de flocculer l'argile et les acides humiques qui lui sont liés. Les deux extractions suivantes sont effectuées au pyrophosphate seul pour extraire les acides humiques liés à l'argile.

Il est à noter que les mêmes auteurs ont proposé assez récemment (1966) une autre méthode d'extractions successives, mais séparément sur chacune des fractions lourdes et légères, isolées à l'aide de la méthode densimétrique mise au point par MONNIER et al (1962). Dans ce cas, le ClNa est remplacé par  $SO_4Na_2$  dans la première extraction, pour éliminer l'effet réducteur de Cl dans le dosage ultérieur de carbone ; les extractions suivantes sont effectuées au pyrophosphate et ensuite à la soude N/10.

## 2 - Fractionnement

A l'exception des êtres vivants du sol, la matière organique comporte les quatre fractions suivantes Ph. DUCHAUFOR (1960), J. DUPUIS (1966) :

- les débris végétaux encore peu attaqués, ayant conservé leur structure cellulaire ou fibreuse.

- les produits intermédiaires, comme la lignine libérée après destruction de la cellulose, celle-ci étant plus attaquable que la première.

- les substances colloïdales complexés, formées par synthèse microbienne ou d'origine résiduelle ; c'est la fraction humifiée ou " HUMUS ".

- les composés organiques solubles transitoires, qui selon les conditions du milieu se minéralisent ou se polymérisent.

La séparation de la matière organique incomplètement décomposée et de la fraction humifiée qui ne peut se faire de façon précise, est un problème délicat par suite de la continuité entre les divers stades de décomposition de la matière organique et de la présence des produits intermédiaires.

SPRINGER (1952) a essayé de les séparer par le bromure d'acétyle, qui dissout seulement la matière organique fraîche.

S. HENIN et TURC (1950) ont proposé une méthode simple de séparation densimétrique, par mélange de bromoforme-benzène à densité 2, et qui a été mise au point ultérieurement par G. MONNIER et al (1962).

Dans cette revue des méthodes d'étude, un point particulièrement intéressant nous semble-t-il, est ce qui concerne le fractionnement des composés humiques dans la fraction humifiée (HUMUS). Au début, il a été effectué en se fondant sur leur solubilité dans l'eau, l'alcool, les solutions alcalines, les acides minéraux. Ce classement correspond à peu près à leur degré de polymérisation, ou à la grosseur des molécules qui les constituent.

LAATSCH a distingué trois fractions fondamentales :

- fraction extraite par le mélange benzène-alcool : résines, cires.

- fraction soluble dans les solutions alcalines.

- fraction insoluble dans les solutions alcalines.

Ensuite, il a partagé la deuxième fraction en deux :

- soluble dans un acide minéral fort ( $\text{SO}_4\text{H}_2$  ou  $\text{HCl}$ ): acides fulviques.

- insoluble dans l'acide : précurseurs des acides humiques ou complexes humo-lignine, acides humiques gris, acides humiques bruns.

Enfin, la partie insoluble dans les solutions alcalines est divisée en deux suivant leur degré d'hydrolyse par HCl 6 N :

- fraction hydrolysable : certains acides humiques liés aux argiles, polyuronides.

- fraction non hydrolysable : lignine peu transformée, complexes peu connus à azote hétérocyclique, acides humiques à azote hétérocyclique et liés aux argiles.

J. DUPUIS propose les fractions suivantes (cours non publié 1966) :

- 1) - Acides Créniques : solubles dans l'eau.
- 2) - Acides Fulviques : solubles dans les solutions alcalines et acides.
- 3) - Complexes humo-lignines ou humo-fulviques ; produits intermédiaires entre 1, 2 et 4 ; solubles dans les solutions alcalines et précipitables par les acides concentrés ; on les appelle aussi les précurseurs des acides humiques.
- 4) - Acides Humiques : solubles dans les solutions alcalines mais insolubles dans les acides faiblement concentrés (même HCl à pH 2,5).

On les divise en fractions suivantes :

- 4.-1) - Acides Humiques intermédiaires : solubles dans l'alcool et les solutions alcalines, insolubles dans les acides minéraux ; ils sont peu polymérisés, très proches encore des précurseurs.
- 4.-2) - Acides Humiques bruns : très peu polymérisés, faiblement liés à la matière minérale, facilement extractibles et dispersables.

4.-3) - Acides Humiques gris : très polymérisés, de teinte foncée, fortement liés à la matière minérale, difficiles à extraire et à disperser.

5) - H U M I N E : masse de la matière organique évoluée mais insoluble dans les solutions alcalines.

I.V. TIURIN (1951) distingue deux sortes d'acides fulviques  $F_1$  et  $F_2$ . Cette différenciation est un peu plus poussée en fonction de la polymérisation que les précédentes. Les acides fulviques libres ( $F_1$ ) sont très solubles même dans l'acide ; par leurs propriétés acides, ils attaquent les colloïdes minéraux (podzolisation) ; ils contiennent probablement les acides organiques à petites molécules et les composés phénoliques. Les acides fulviques liés aux acides humiques ( $F_2$ ) sont solubles dans les solutions alcalines ; il s'agit d'uronides, de polysaccharides en chaîne, adsorbés par les molécules acides humiques ; ils sont moins acides que les premiers, peu mobiles dans le sol, donc ils attaquent moins les colloïdes minéraux, Ph. DUCHAUFOR (1960).

Pour ce qui est du fractionnement des acides humiques, TIURIN et PONOMARYOVA (1956) proposent les trois catégories fondamentales d'acides humiques :  $H_1$  ,  $H_2$  ,  $H_3$  .

- $H_1$  : Acides humiques libres, peu polymérisés, à petite molécule ; c'est la forme la plus mobile des acides humiques, ils sont solubles dans la soude diluée ; ils correspondent aux acides humiques bruns des auteurs allemands.
- $H_2$  : Acides humiques liés aux argiles par intermédiaire du calcium ; ils sont intimement adsorbés par les colloïdes minéraux ; ils ne sont solubles dans la soude diluée qu'après décalcification.
- $H_3$  : Acides humiques liés aux argiles par intermédiaire des sesquioxydes ; ils sont très polymérisés ; ils ne sont solubles dans la soude

qu'après élimination des sesquioxides libres.  $H_2$  et  $H_3$  correspondent à peu près aux acides humiques gris des auteurs allemands.

Enfin, plusieurs auteurs SCHEFFER et al (1959), KONONOVA (1961), COULSON et al (1959) ont utilisé avec succès l'électrophorèse sur papier, en vue du fractionnement des composés humiques. Puisque les composés humiques sont des colloïdes électro-négatifs, ils migrent vers l'anode lorsqu'ils sont placés dans un champ électrique. Leur vitesse de migration est fonction de leur poids moléculaire et, par conséquent, de leur degré de polymérisation. Grâce à cette propriété, on peut les fractionner assez convenablement. Une méthode spécialement conçue pour l'étude des acides humiques a été ainsi mise au point par F. JACQUIN (1961).

### 3 - Le dosage :

Le dosage correct de la matière organique a toujours posé un problème. La matière organique dont les constituants essentiels sont : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, a été un certain temps dosée par combustion (DEMOLON 1947). Au cours de cette opération (détermination gravimétrique de la "perte au feu") réalisée en chauffant l'échantillon à  $1000^{\circ} C$ , il se produit un dégagement de  $CO_2$  et  $H_2O$ , donc une diminution de poids. Cette perte de poids n'est cependant pas équivalente à la seule quantité de matière organique de l'échantillon ayant ainsi disparu par combustion. Une partie de  $H_2O$  dégagée est de l'eau adsorbée par l'argile, et même parfois une partie de son eau de constitution ; de même une partie de  $CO_2$  vient de la destruction des carbonates éventuels de l'échantillon. Jusqu'à 1940, on a utilisé cependant cette méthode mais en y apportant la correction suivante, S. HENIN (cours non publié 1966) :

$$\text{- matière organique} = \text{"Perte au feu"} - 10\% \text{ du poids d'argile} - \text{poids de } CO_2 \text{ des carbonates.}$$

Cette correction n'est pas réellement valable, car les particules fines du sol n'ont pas toutes le même pouvoir de rétention de l'eau. On a ainsi de temps

à autre une teneur en matière organique négative ou au contraire trop élevée comme dans bien des sols à couleur très claire ("Humus blanc", HENIN):

La méthode de LIEBIG qui consiste dans le dosage du carbone élémentaire ne convient pas en pratique aux sols calcaires, ni au travail en série. DEMOLON (1960) a signalé également la possibilité de dosage par colorimétrie en utilisant des solutions étalon dont la stabilité à l'obscurité est assez grande, mais il conseille plutôt le dosage manganométrique en milieu alcalin pour les extraits humiques du sol. Une bonne méthode de référence est celle de DENNSTEDT - Ann. agron. 1945, p. 170) ; le carbone élémentaire total y est dosé par voie sèche en présence d'un excès d'oxygène. La température peut monter jusqu'à 500° C dans les sols non calcaires ; dans les sols calcaires, on opère à 400° C, d'après la technique décrite par G. PICHARD (1931), pour laisser inaltérés les carbonates DEMOLON (1960):

L'une des méthodes utilisée maintenant le plus couramment et fondée sur le phénomène d'oxydo-réduction en milieu sulfo-chromique, est celle proposée par P. ANNE (1945). Cette méthode nous conduit à des résultats peu différents de ceux obtenus par la méthode de référence de DENNSTEDT, c'est-à-dire que le rapport du carbone par voie sèche (méthode de DENNSTEDT) sur le carbone trouvé (méthode ANNE) multiplié par 100 donne une valeur moyenne de 97,6 (DEMOLON 1960). C'est une méthode "à chaud" car l'oxydation se fait à l'ébullition ; à l'inverse, une autre méthode du même genre (WALKLEY et BLACK), méthode "à froid", ne fait appel pour réaliser l'oxydation du carbone, qu'à la chaleur spontanée du mélange de bichromate et d'acide sulfurique en présence de l'échantillon. Cette dernière est moins longue et convient mieux au travail en série, mais l'oxydation est moins complète que par la méthode ANNE ; aussi utilise-t-on un coefficient de correction de l'ordre de 77%. Les méthodes sulfochromiques ont des avantages indiscutables par rapport à la méthode manganométrique ; d'abord la réduction est meilleure, ensuite la corrélation entre le carbone dosé et le volume de solution titrée peut être établie de manière suffisamment rigoureuse ; enfin les résultats sont exprimés en carbone ce qui nous permet d'additionner les carbones de divers composés ex-

traits et, en les comparant au carbone total du sol, d'obtenir un taux d'humification significatif, DUCHAUFOR et JACQUIN (1963). Les méthodes sulfochromiques présentent cependant certains défauts : premièrement, l'efficacité devient insuffisante quand le milieu liquide est trop peu concentré en carbone, ceci peut être corrigé par une modification du poids de la prise d'essai selon le besoin ; deuxièmement, le milieu doit être dépourvu d'autres réducteurs, comme le sont par exemple les sulfures ou le ClNa souvent présents. Ce dernier corps provient aussi parfois du réactif d'extraction ; il peut alors fausser le résultat. Cet inconvénient agit moins dans le cas de la méthode au permanganate (DUCHAUFOR et JACQUIN).

Pour avoir des résultats très sûrs, il faut donc opérer dans des conditions bien définies ; il est d'ailleurs recommandé d'opérer avec plusieurs répétitions.

+ +  
+

METHODES D'INVESTIGATIONCHAPITRE I : MATERIEL D'ETUDE1 - Caractéristiques de l'échantillon utilisé

Les premières tentatives expérimentales sont faites sur l'horizon A<sub>12</sub> d'un Sol Brun Calcaire de Feucherolles près de GRIGNON (78) ; ce sol est situé sur une roche mère de marne calcaire oligocène, dans une zone plate ; c'est une terre cultivée. L'observation montre la présence de quelques taches de pseudogley au niveau du passage au substratum calcaire ; la structure grenue en A devient polyédrique large en (B) ; la porosité est bonne, le sol est bien perméable. Ce sol est placé, dans la classification française, dans la classe des sols calco-magnésimorphe, en sous classe, sol humifère à carbonate de calcium ; enfin, il appartient au groupe des Rendzines à horizon (B) structural (Sol Brun Calcaire).

2 - Teneur en matière organique et en calcairea) - Teneur en calcaire

Le calcaire de tous les sols étudiés dans ce travail a été dosé avec le calcimètre BERNARD. Toutes les précautions nécessaires ont été prises pour assurer des résultats aussi exacts que possible : humectation de la terre pour chasser l'air inclus, etc... Chaque chiffre donné est au moins la moyenne des résultats de trois essais successifs.

C'est ainsi que nous avons trouvé, pour cet échantillon, une teneur en calcaire total de 13,05% du poids de terre séchée à 105° C.

b) - Teneur en matière organique

Le dosage du carbone organique total de cet échantillon, comme tous nos dosages de carbone, a été fait par oxydo-réduction au bichromate de potassium.

Le principe de la méthode est très classique, mais l'efficacité de pouvoir oxydant du bichromate varie suivant les détails de la méthode utilisée et des conditions du milieu. Nous avons été ainsi amenés à chercher à préciser les détails de la méthode utilisée de façon à ce qu'elle soit adaptée au travail en série, mais comporte en même temps des conditions d'oxydation présentant un degré d'efficacité aussi élevé que possible. Nous avons repris la méthode WALKLEY et BLACK, mais en augmentant la chaleur spontanée que donne le mélange de l'acide sulfurique et du bichromate en présence de l'échantillon, par un chauffage d'une demi-heure sur la plaque chauffante à 150° C ; la plaque chauffante a été préalablement réglée de manière à ce que la température soit la plus homogène possible sur toute sa surface, et le matériel de verrerie a été choisi aussi homogène que possible. Il est à noter que l'on a obtenu par cette méthode une oxydation du carbone qui atteint 98% du total, alors qu'avec la méthode WALKLEY et BLACK proprement dite, le coefficient est de 77%, et il est de 93% pour la méthode ANNE modifiée, telle qu'elle est utilisée aux S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. à BONDY ; les corrections ci-dessus ont été trouvées à la suite d'une série de nombreux dosages comparatifs. Nous avons obtenu ainsi une valeur de 2,28% pour le carbone organique total (chiffre exact obtenu constamment lors de 12 analyses) de l'échantillon étudié, ce qui donne une teneur en matière organique de l'ordre de 3,93% du poids de terre. Pour le dosage du carbone des extraits humiques, nous avons essayé d'observer les mêmes conditions que pour les échantillons de sol total en amenant à sec une quantité de solution contenant 10 à 25 mg de carbone, ce carbone ayant été préalablement évalué par la méthode à froid (WALKLEY et BLACK) ; pour éviter l'oxydation due à la température élevée durant le temps de séchage, nous avons utilisé une étuve réglée automatiquement à 45° C.

+ +

+

## CHAPITRE II : TECHNIQUE D'EXTRACTION

### 1 - Conditions générales

Pour toutes les extractions pratiquées dans ce travail et répétées chaque fois sur trois échantillons, la méthode suivie a été la suivante : agitation 9 heures à l'agitateur électrique PROLABO à mouvement horizontal va-et-vient ; puis, repos d'une nuit pour laisser déposer les particules fines en suspension au fond du pot, lesquelles risqueraient d'entraîner les composés humiques à grosse molécule si l'on cherchait à les éliminer aussitôt par centrifugation ; on est cependant amené à opérer une telle centrifugation, mais après avoir ajouté 5 g environ de sulfate de potassium pour 20 g de terre, ce qui floccule les colloïdes argileux et non les colloïdes humiques ; on diminue en même temps la vitesse de rotation des pots à 2000 tours/minute au lieu de 3000 tours pour empêcher la chute éventuelle des grosses particules humiques ; en revanche, le temps de centrifugation a été augmenté à 15 minutes. Pour simplification, toutes les opérations sont faites dans les pots de centrifugation de 500 ml en plastique, bouchés d'une façon étanche pendant l'agitation et le repos. La vitesse d'agitation est gardée constante dans toutes les séries.

### 2 - Influence du pH sur les résultats de l'extraction

L'influence du pH du solvant sur l'extraction des composés humiques a été étudiée en détail par Ch. THOMANN (Cahiers de pédologie de l'O.R.S.T.O.M., n° 3 - 1963). Nous avons voulu vérifier l'effet du pH dans le cas d'extractions successives. La première tentative a consisté en trois extractions consécutives au pyrophosphate de sodium à concentration 0,1 M sur un poids élevé de terre (50 g). Dans la première extraction, la méthode THOMANN a été suivie exactement, tandis que pour les deuxième et troisième extractions, la méthode suivie a été analogue à celle de KONONOVA et BELCHIKOVA (1961), en augmentant le pH à 12 à l'aide de la soude diluée. Les résultats obtenus lors de plusieurs essais, teneur en carbone total et rapports caractéristiques de la nature des composés humiques, sont figurés dans le tableau 1.

T A B L E A U 1

E C H A N T I L L O N B 597 2 A 50, grammes	En % de poids de terre			En % de carbone total de l'échantillon			En % de M:H:T		AF / AH
	MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	
Première extraction 300 ml pyrophosphate de sodium 0,1 M	2.26	1.34	0.92	9.91	5.88	4.03	59.3	40.7	0.69
Deuxième extraction 100 ml pyrophosphate 0,1 M à pH 12	1.82	0.73	1.09	7.98	3.2	4.78	40.1	59.9	1.49
Troisième extraction 200 ml pyrophosphate 0,1 M à pH 12	1.86	0.77	1.09	8.16	3.38	4.78	41.4	58.6	1.42

En comparant ce tableau avec le tableau 2A, qui correspond à une autre expérience ultérieurement décrite, si l'on considère la première extraction faite au pyrophosphate de sodium de concentration 0,1 M pour un même poids de terre sur le même échantillon mais à volume variable (300 ml dans la première extraction du tableau 1 et 400 ml dans celle du tableau 2A, pour 50 grammes de terre), on constate que la variation de la quantité de pyrophosphate de sodium peut jouer aussi un rôle non négligeable dans la transformation des composés humiques ; nous y reviendrons ultérieurement.

On remarque simplement que l'augmentation de 0,44% du carbone obtenu en deuxième expérience, provoque une élévation de presque 2% du taux d'humification dont 2/3 vont pour le taux des acides fulviques (1.41), et 1/3 pour celui des acides humiques (0.52) ; inconvénient semblable à celui de la soude mais un degré moindre.

D'après les chiffres de ce tableau, on constate une libération beaucoup plus forte d'acides fulviques par rapport aux acides humiques lors des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> extractions à pH élevé, alors que, par suite de leur solubilité dans l'eau et les solutions alcalines, la presque totalité des acides fulviques existant naturellement dans le sol, est enlevée au cours de la première extraction ; il s'en reforme donc ultérieurement. Au cours des deux extractions suivantes, on obtient la même quantité d'acides fulviques. Il apparaît ainsi que cette néo-formation d'acides fulviques ne provient pas seulement de l'oxydation de la matière organique fraîche assez abondante dans ce type de sol, mais peut avoir une autre origine. En effet, en comparant les quantités d'acides humiques extraits au cours des deuxième et troisième traitements de cette expérience avec celles obtenues lors des traitements homologues de l'expérience suivante qui est faite en absence de soude (tableau 2 A), on se rend compte qu'il y a aussi une dépolymérisation des composés initialement insolubles dans les solutions alcalines. L'oxydation domine cependant la dépolymérisation. Néanmoins il faut signaler que, si l'on observe une légère augmentation des acides humiques au cours de la troisième extraction par rapport à la deuxième, ce n'est pas dû à une prédominance de la transformation des composés très polymérisés en éléments simples et solubles dans les solutions alcalines, mais c'est le résultat d'une diminution des éléments de matière organique fraîche capables d'être attaqués par la soude. Tout cela fausse la valeur du taux d'humification qui demeure élevé. A cause de ces divers phénomènes, le rapport caractéristique " acides fulviques sur acides humiques " est presque doublé entre la première et la deuxième extraction ; il tend à diminuer légèrement dans la troisième extraction.

### 3 - Influence de la concentration du solvant sur les résultats de l'extraction

Pour faire ressortir l'influence possible de la concentration du solvant, on a réalisé une série d'extractions sur un même poids du même échantillon, mais en faisant varier le pyrophosphate de sodium, sans addition de soude, de la concentration 0,1 M jusqu'à 0,4 M. Bien entendu le pH ne reste pas le même, mais son aug-

mentation n'est pas aussi marquée que dans le cas du mélange avec de la soude ; le pH n'atteint jamais 12.

Dans la première extraction avec la solution à 0,1 M, on a augmenté le volume du solvant ; pour une même quantité de terre, on en a utilisé 400 ml au lieu de 300. On observe que le taux d'humification ainsi obtenu est plus élevé que dans l'expérience précédente ; mais avec un rapport AF/AH légèrement augmenté. L'effet observé par suite de l'augmentation de la quantité de pyrophosphate porte donc relativement plus sur l'accroissement des acides fulviques que sur celui des acides humiques. Il est donc analogue à celui obtenu avec la soude mais à un degré moindre.

Nous avons ensuite opéré une deuxième extraction dans les mêmes conditions mais avec 200 ml de solvant, puis une troisième avec 100 ml de pyrophosphate 0,2 M. Dans ces deux dernières opérations des quantités notables d'acides fulviques sont encore extraites, surtout avec du pyrophosphate plus concentré (Tableau 2 A).

Un autre essai a comporté deux extractions successives sur un même poids du même échantillon avec la même quantité de pyrophosphate mais dans un volume moitié moindre de solvant (200 ml 0,2 M). Le tableau 2 B montre que le taux d'humification qui était respectivement pour 300 et 400 ml pyrophosphate 0,1 M de 9,91 et 11,84 diminue à 9,43 ; le rapport AF/AH a fortement augmenté jusqu'à 1,03 tandis qu'il était 0,69 et 0,85 pour les deux expériences précédentes (Tableaux 1 et 2 A, 2 B).

En comparant ces deux derniers tableaux, on voit nettement que l'augmentation de ce rapport ainsi que la diminution du taux d'extraction est due plutôt à la diminution de la quantité d'acides humiques qu'à l'augmentation des acides fulviques. On peut considérer qu'à partir d'un certain seuil de concentration, l'effet complexant de cations métalliques par le pyrophosphate sera limité, car il dépend du degré de dissociation des ions dans la solution, qui est d'autant plus grand que le corps est plus dilué ; la matière organique liée aux éléments minéraux par l'intermédiaire des cations métalliques sera moins libérée, donc moins fortement extraite.

T A B L E A U 2 A

ECHANTILLON B 597 2 A 50 <sub>2</sub> grammes	En % de poids de terre			En % de carbone total de l'échantillon			En % de M.H.T		AF / AH
	MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	
Première extraction 400 ml pyrophosphate 0,1 M pH 10	2.70	1.46	1.24	11.84	6.40	5.44	54.07	45.93	0.85
Deuxième extraction 200 ml pyrophosphate 0,1 M pH 10	0.44	0.29	0.15	1.93	1.27	0.66	65.9	34.1	0.52
Troisième extraction 100 ml pyrophosphate 0,2 M pH 10,5	0.45	0.24	0.21	1.97	1.05	0.92	53.33	46.67	0.87

T A B L E A U 2 B

ECHANTILLON B 597 2 A 50 <sub>3</sub> grammes	En % de poids de terre			En % de carbone total de l'échantillon			En % de M.T.H		AF / AH
	MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	
Première extraction 200 ml pyrophosphate 0,2 M pH 10,5	2.15	1.06	1.09	9.43	4.64	4.79	49.3	50.7	1.03
Deuxième extraction 200 ml pyrophosphate 0,2 M pH 10,5	0.89	0.48	0.41	3.9	2.1	1.8	53.93	46.07	0.85

Le tableau 2C figure les résultats d'analyse de deux extractions successives avec 400 ml pyrophosphate sur trois reprises de 50 grammes de même échantillon, mais à concentration croissante du solvant (0,2 0,3 0,4 M).

D'après les chiffres rapportés dans ce tableau, on observe un décroissement régulier des taux d'extraction et d'humification des premières extractions en fonction de l'augmentation de la concentration du solvant. Mais pour les deuxièmes extractions le phénomène est inverse. Ce qui se passe dans les premières extractions est dans le même sens qu'aux expériences précédentes (Tableaux 2A 2B). Cependant dans les deux premiers cas, la diminution du taux d'extraction pouvait être rapportée au fait que, malgré une quantité de pyrophosphate employée identique, le volume de solvant utilisé était plus faible ; dans le cas actuel, la diminution, moins forte d'ailleurs que dans les premières expériences, de ce taux d'extraction, due à l'augmentation de la concentration du pyrophosphate ne peut être rapportée qu'à une action moindre de celui-ci, les volumes employés étant les mêmes ; le seuil de concentration correspondant à une efficacité optimum de ce corps, auquel nous avons fait allusion précédemment, serait donc assez bas, inférieur à 0,3 M, probablement assez proche de 0,2 M puisque les valeurs obtenues avec les solutions à 0,1 M (tableau 2A) et 0,2 M (tableau 2C) sont pratiquement les mêmes. On pense cependant que dans le cas des deuxièmes extractions, le solvant est en contact avec les agrégats complètement dispersés dès le début, ce qui lui donne la possibilité de complexer davantage les cations métalliques ; aussi, non seulement les deuxièmes extractions donnent-elles comme les premières plus d'acides humiques que d'acides fulviques, mais même dans le cas des concentrations les plus fortes, elles extraient en supplément relativement plus des premiers. C'est ainsi que l'on peut expliquer la diminution de rapport AF/AH et cette diminution est d'autant plus accentuée que l'échantillon avait été moins épuisé en ces matières humiques lors de la première extraction considérée comme incomplète, et d'autant plus que d'une reprise à l'autre, la quantité de solvant a été augmentée de 50% pour un même volume et un même poids. Autrement dit, si l'on avait pour 50<sub>5</sub> grammes, à peu de choses près, 300 ml au lieu de 400 ml pyrophosphate 0,3 M et pour 50<sub>6</sub> grammes, 200 ml au lieu de 400 ml pyrophosphate 0,4 M, qui représente une même quantité de solvant dans les trois cas mais à concentration différente, on aurait dû avoir l'augmentation de rapport AF/AH et la diminution des taux

d'extraction et d'humification comme c'est le cas dans la première extraction des tableaux 2A et 2B. Cette inversion de phénomène dans la deuxième extraction est due plutôt à l'excès du solvant.

T A B L E A U 2 C

E C H A N T I L L O N  B 597 2 A	En % de poids de terre			En % de carbone total de l'échantillon			En % de M.H.T		AF / AH
	MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	
50 <sub>4</sub> g. : Première extraction 400 ml pyrophosphate 0,2 M	2.68	1.52	1.16	11.75	6.67	5.08	56.72	43.28	0.76
50 <sub>4</sub> g. : Deuxième extraction 400 ml pyrophosphate 0,2 M	1.49	0.85	0.64	6.54	3.73	2.81	57.04	42.96	0.75
50 <sub>5</sub> g. : Première extraction 400 ml pyrophosphate 0,3 M	2.46	1.45	1.01	10.79	6.36	4.43	58.94	41.06	0.70
50 <sub>5</sub> g. : Deuxième extraction 400 ml pyrophosphate 0,3 M	1.57	1.03	0.54	6.88	4.52	2.36	65.61	34.39	0.52
50 <sub>6</sub> g. : Première extraction 400 ml pyrophosphate 0,4 M	2.17	1.34	0.83	9.52	5.88	3.64	61.75	38.25	0.62
50 <sub>6</sub> g. : Deuxième extraction 400 ml pyrophosphate 0,4 M	1.80	1.34	0.46	7.89	5.88	2.01	74.44	25.56	0.34

4 - Influence du diamètre des particules sur les résultats de l'extraction

Nous avons utilisé le même sol Brun calcaire, mais nous avons comparé l'extraction des matières humiques sur l'échantillon passé au tamis 2mm et sur celui obtenu après broyage et passage au tamis 0,5mm (module 24). Les résultats sont reportés dans les tableaux 3A et 3B. La quantité d'acides fulviques libres et liés obtenue par une première extraction à la soude N/10 (tableau 3A) reste la même dans les 2 cas ; il en est pratiquement de même aussi pour les acides humiques ; le broyage ne change donc pas la nature des composés humiques. Par ailleurs, il accroît la surface de contact du solvant avec les colloïdes organo-minéraux du sol, qui peuvent pour une part, rester enfermés à l'intérieur des agrégats incomplètement dispersés dans le cas de l'échantillon à 2mm. La conséquence en est une extraction un peu plus importante, et donc un taux d'humification un peu plus élevé, dans le cas de la terre broyée, lors de l'utilisation du pyrophosphate 0,1 M après la soude. Le rapport AF/AH est, par contre, nettement plus faible dans le cas de la terre fine que dans celui de la terre à 2mm (tableau 3A) ; l'action du broyage se fait donc bien sentir surtout sur les produits humiques les plus liés aux cations susceptibles d'être complexés par le solvant. Dans le cas de la troisième extraction faite également au pyrophosphate, les acides humiques et surtout les acides fulviques de la terre fine sont encore un peu supérieurs à ceux de l'autre échantillon ; il semblerait que, dans ce cas, le pyrophosphate agissant pratiquement moins sur les complexes humo-métalliques, pourrait alors intervenir relativement davantage sur les processus de dépolymérisation des corps humiques, d'où un accroissement assez important des acides fulviques ; AF/AH remonte légèrement.

Dans les deux autres séries, à la première extraction, on a diminué la concentration de la soude (N/20) et augmenté le volume de solvant ; on obtient des résultats analogues à ceux de l'expérience précédente, les quantités de matières humiques extraites sont plus fortes ; l'augmentation porte, dans le cas de la terre à 2mm, uniquement sur les acides fulviques ; dans le cas de la terre à 0,5mm, elle est plus forte, mais porte principalement sur les matières humiques.

Par ailleurs, dans la deuxième série, l'excès de soude n'a pas été éliminé par lavage entre les deux extractions. Il en résulte une transformation des matières humiques qui se traduit par une extraction excessive des acides fulviques et un rapport AF/AH très élevé (tableau 3B).

T A B L E A U 3A

ECHANTILLON	Ø en mm	En % de poids de terre			En % de carbone total de l'échantillon			En % de M.H.T		AF / AH
		MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	
B 597 2 A										
30-7 : 1ère extraction 200 ml soude N/10	2	1.98	0.23	1.75	8.68	1.01	7.67	11.62	88.38	7.6
30-7 : 2ème extraction 200 ml pyrophos. 0,1 M	2	2.95	1.57	1.38	12.94	6.89	6.05	53.22	46.78	0.88
30-7 : 3ème extraction 300 ml pyrophos. 0,1 M	2	1.35	0.87	0.48	5.92	3.82	2.10	64.44	35.56	0.55
30-8 : 1ère extraction 200 ml soude N/10	0.5	2.01	0.26	1.75	8.81	1.14	7.67	12.94	87.06	6.7
30-8 : 2ème extraction 200 ml pyrophos. 0,1 M	0.5	3.15	2.08	1.07	13.81	9.12	4.69	66.03	33.97	0.51
30-8 : 3ème extraction 300 ml pyrophos. 0,1 M	0.5	1.53	0.91	0.62	6.71	3.99	2.72	59.48	40.52	0.68

T A B L E A U 3B

30-9 : 1ère extraction 500 ml soude N/20	2	2.27	0.20	2.07	9.96	0.88	9.08	8.10	91.19	10.35
30-9 : 2ème extraction 300 ml pyrophos. 0,1 M	2	1.69	0.21	1.48	7.41	0.92	6.49	12.43	87.57	7.05
30-10 : 1ère extraction 500 ml soude N/20	0.5	2.50	0.62	1.88	10.96	2.72	8.24	24.80	75.25	3.03
30-10 : 2ème extraction 300 ml pyrophos. 0,1 M	0.5	1.82	0.42	1.40	7.98	1.84	6.14	23.08	76.92	3.33

5 - Rapport solvant - poids de terre

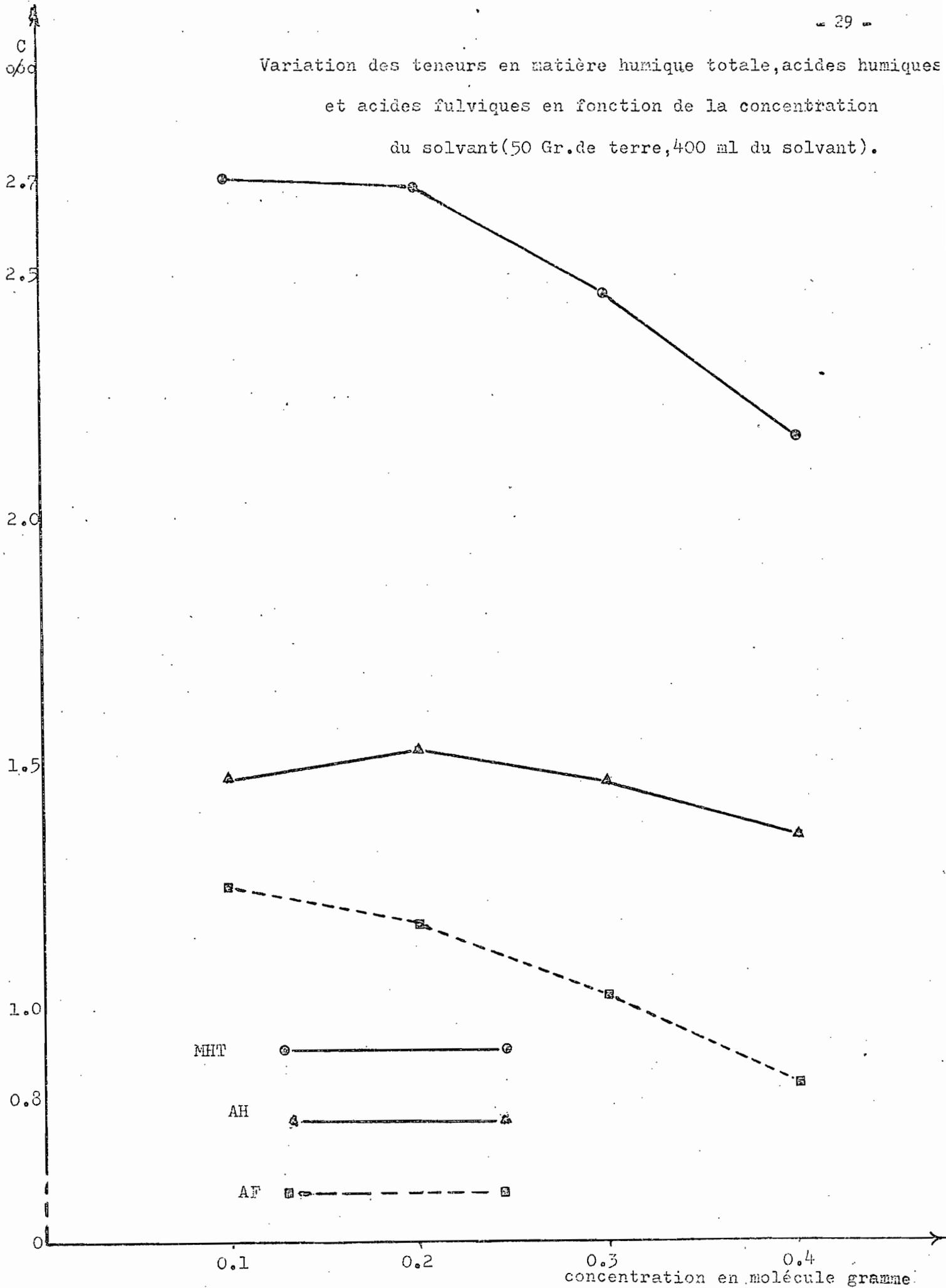
A ce propos, il a été effectué six extractions sur des poids divers et avec trois répétitions sur l'horizon A<sub>12</sub> d'une rendzine avec le pyrophosphate de sodium de concentration 0,1 M et à pH 10. Les résultats sont figurés dans le tableau n° 4 et les graphiques dans la figure n° 1.

T A B L E A U 4

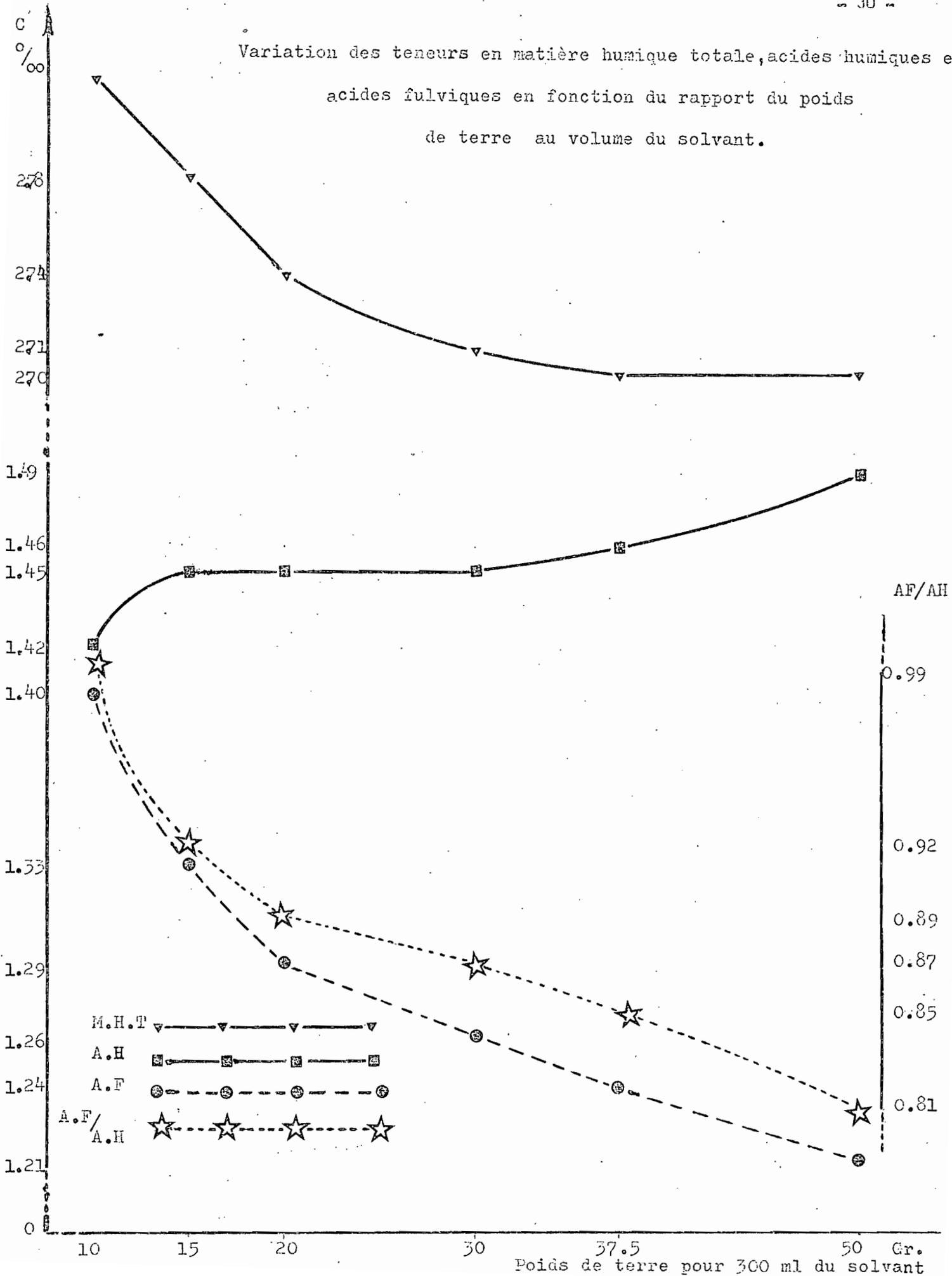
E C H A N T I L L O N	Poids de terre g.	En ‰ de poids de terre			En ‰ de carbone total de l'échantillon			En ‰ de M.H.T		AF
		MHT	AH	AF	MHT	AH	AF	AH	AF	AH
B 597 2 A										
300 ml pyrophosphate 0,1 M à pH 10	10	2.82	1.42	1.40	12.37	6.23	6.14	50.35	49.65	0.99
" " " "	15	2.78	1.45	1.33	12.19	6.36	5.83	52.16	47.84	0.92
" " " "	20	2.74	1.45	1.29	12.02	6.36	5.66	52.92	47.08	0.89
" " " "	30	2.71	1.45	1.26	11.89	6.36	5.53	53.50	46.50	0.87
" " " "	37.50	2.70	1.46	1.24	11.84	6.40	5.44	54.07	45.93	0.85
" " " "	50	2.70	1.49	1.21	11.84	6.53	5.31	55.19	44.81	0.81

D'après ce tableau et les graphiques correspondants, on voit que la solution extraite pour le poids de sol le plus élevé est la plus riche en acides humiques et la plus pauvre en acides fulviques, ce qui veut dire que l'augmentation du

Variation des teneurs en matière humique totale, acides humiques et acides fulviques en fonction de la concentration du solvant (50 Gr. de terre, 400 ml du solvant).



Variation des teneurs en matière humique totale, acides humiques et acides fulviques en fonction du rapport du poids de terre au volume du solvant.



volume de solvant a le même inconvénient que celle de sa concentration. Il est donc nécessaire de limiter le volume de solvant pour éviter tous risques éventuels de transformation ; le rapport le plus raisonnable semble être 100 ml de solvant pour 20 grammes de terre correspondant, d'après l'allure de la courbe précédente, à un rapport AF/AH assez bas, sans cependant provoquer d'importantes difficultés pratiques d'extraction. Ce rapport a été scrupuleusement respecté pour toutes les extractions ultérieures, c'est-à-dire que l'on s'est contenté d'un taux d'extraction moins élevé, mais avec en revanche, des composés humiques moins transformés.

## 6 - Conclusions

D'après les résultats des expériences présentées dans ce chapitre, on constate que :

1) - il ne faut jamais utiliser la soude comme réactif d'extraction, même probablement en deuxième lieu après les autres solvants, et pas davantage pour modifier le pH.

2) - il ne faut jamais dépasser le seuil du pH 10, proposé par Ch. THOMANN 1963, même en deuxième ou troisième extraction, car il se produit alors une transformation artificielle de produits organiques (néogenèse, dépolymérisation). Ce fait change leur équilibre naturel et il n'est plus possible de les étudier correctement; notons que cette modification ne se produit pas de la même façon dans tous les sols. Elle varie suivant les conditions physiques, physico-chimiques et chimiques d'une part, et la nature de la matière organique et les conditions biologiques du sol d'autre part. On ne peut donc pas trouver un coefficient de correction général.

3) - la concentration du réactif utilisé comme solvant et complexant des cations métalliques ne doit pas dépasser un certain seuil (0,1 M pour le pyrophosphate) ; cela provoquerait une augmentation du pH, et une moins bonne action complexante par diminution du degré de dissociation des ions, élément de base de la propriété complexante du solvant. En augmentant la concentration du pyrophosphate, on

diminue pratiquement son efficacité vis à vis d'une partie des composés humiques liés aux cations métalliques.

Dans tout travail de comparaison sur ces matières humiques, il faut respecter également le rapport solvant/poids de terre dont nous venons de voir aussi l'influence en dernier paragraphe (paragr. 5, tabl. 4).

+ +  
+

### CHAPITRE III : TECHNIQUE DE FRACTIONNEMENT ET DE DOSAGE

Suivant les méthodes utilisées par certains chercheurs, le fractionnement de la matière organique peut être très détaillé (chapitre II de la première partie), mais l'opération devient alors en pratique longue et très délicate, et se prête mal à l'étude comparative de nombreux échantillons. Dans ce travail, nous nous sommes limités aux composés humiques sans chercher à définir la nature des fractions non humifiées. Nous avons défini dans les matières humiques trois fractions fondamentales en fonction de leur solubilité dans les solutions alcalines et les acides minéraux, ce qui correspond à leur degré de polymérisation. Ce sont, par ordre de taille de leur molécule, les acides fulviques, les acides humiques mobiles (acides humiques bruns des auteurs allemands), les acides humiques immobiles (acides humiques intermédiaires et gris).

#### 1 - Acides Fulviques

Les acides fulviques se séparent des acides humiques par l'utilisation d'un acide minéral concentré ( $\text{SO}_4\text{H}_2$  ou  $\text{HCl}$ ). Après extraction par le pyrophosphate, on précipite les acides humiques par de l'acide sulfurique ou chlorhydrique concentré, dont le volume est approximativement le dixième du volume de solution initiale. Ensuite, par centrifugation, on les sépare les uns des autres. En pratique, on lave plusieurs fois le précipité avec l'acide dilué pour éliminer les acides fulviques retenus entre les particules d'acides humiques, de même que l'acide minéral restant en excès. Signalons que l'acide chlorhydrique s'élimine beaucoup plus facilement que l'acide sulfurique. Mais pour pouvoir ensuite doser le carbone des acides humiques dans ce précipité, il est préférable d'avoir utilisé pour l'obtenir l'acide sulfurique, car dans le cas d'utilisation de l'acide chlorhydrique, l'effet réducteur du chlore, restant malgré les lavages, fausse le résultat du dosage.

## 2 - Acides humiques mobiles et immobiles

Le précipité, contenant des composés humiques beaucoup plus polymérisés que les acides fulviques et de teinte foncée, est ce que l'on appelle globalement les acides humiques. Ils se partagent en trois fractions : gris, bruns et intermédiaires, dont la différenciation est fondée sur leur degré de polymérisation et sur leurs apparences physiques. Il est à noter cependant, que les dénominations d'acides gris et d'acides bruns ne correspondent pas toujours à la couleur réelle de la fraction correspondante.

En pratique, leur séparation est fondée sur leurs propriétés physiques de colloïdes électro-négatifs. Mis dans un champ électrique constant (électrophorèse), ils migrent vers l'anode à une vitesse inversement proportionnelle à leur poids moléculaire. Cette séparation sera d'autant plus parfaite que la concentration du dépôt sur la bande de papier sera moins élevée ou le temps de migration plus long. Mais, pour des raisons techniques, il n'est pas possible de dépasser un certain degré de réalisation de ces deux conditions. Or, la limite des fractions sur la bande de papier n'est pas parfaitement nette, et cela surtout, pour celle des acides gris et des acides intermédiaires. C'est pourquoi il nous semble préférable, dans le cas de notre étude, d'inclure la fraction intermédiaire, qui est le plus souvent minime par rapport aux autres, avec celle des acides humiques gris, sous le nom " d'acides humiques immobiles ", à l'inverse de la fraction brune qui est la plus mobile, et que l'on désignera par " acides humiques mobiles ". Les deux fractions se limitent approximativement à la droite passant par le milieu de la bande de migration. Ceci permet de faire la détermination quantitative des deux formes, proportionnellement aux surfaces comprises entre la ligne de base et la courbe de densité optique. La lecture de deux portions se fait à l'aide d'un planimètre ou de la courbe d'intégration.

La méthode de fractionnement par l'électrophorèse sur papier comprend quatre étapes successives : la redissolution dans la soude des acides humiques, la migration suivie du séchage immédiat, l'obtention de la courbe de densité optique et de la courbe intégrale, et enfin la lecture proportionnelle des deux fractions sur la surface totale.

Dans la première étape, on redissout le précipité dans un volume assez limité de soude normale, de façon à obtenir une solution convenablement concentrée et parfaitement homogène.

Au cours de la deuxième étape, il faut apporter beaucoup d'attention aux conditions de migration, telles que la quantité de dépôt sur la bande, sa concentration, son homogénéité, sa régularité. Il faut régler le temps de migration, le voltage qui doit rester constant durant l'opération, et toute une série de conditions secondaires. Le séchage immédiat après la migration est indispensable pour arrêter le déplacement des particules.

La troisième étape qui comporte l'étude de la densité optique du dépôt humique sur la bande de papier, ne peut donner de résultats satisfaisants que, si celui-ci a été convenablement réalisé au cours des étapes précédentes. La longueur de la bande de migration et la densité du dépôt au niveau de chaque fraction doivent être conformes aux conditions imposées par les caractéristiques de l'appareil portant la cellule photo-électrique. Les courbes de densité optique et intégrale peuvent alors être satisfaisantes et précises.

Enfin, la quatrième étape qui consiste en la lecture proportionnelle des fractions ainsi obtenues, dépend beaucoup des opérations antérieures ; elle n'est pas indépendante de l'allure de la courbe de densité optique, ni de celle de la courbe intégrale, qui sont à leur tour en relation directe avec les étapes précédentes.

Il est d'une très grande importance de respecter de façon très précise les conditions standardisées de toutes les étapes. Par exemple, si pour deux déterminations, nous les respectons toutes sauf celle du temps de migration, les résultats obtenus ne seront pas les mêmes. La surface représentative de la quantité globale des acides humiques déposés sur la bande restera identique pour les deux, mais l'une des longueurs de migration sera plus grande que l'autre, avec un déplacement notable des sommets des pics. En effet, la vitesse de migration des fractions intéressées dans le champ électrique dépendant d'un grand nombre de facteurs, ne reste pas constante au cours de la migration ; elle décroît progressivement du début à la fin de l'opération. Elle résulte de la somme vectorielle de quatre vec-

teurs libres représentant les forces agissant sur les particules mises en oeuvre. La première force est celle de la pesanteur qui varie d'une particule à l'autre, mais reste constante pour chaque particule. La deuxième est la différence de potentiel électrique que l'on essaie de garder constante (200 V) pendant la durée de migration. La troisième est la force de frottement entre les particules elles-mêmes d'une part, et entre celles-ci et la surface de la bande de papier, d'autre part. Cette troisième force qui agit d'ailleurs comme la première dans le sens opposé de la deuxième, diminue au fur et à mesure que les particules deviennent moins denses par suite de leur séparation. Une quatrième force correspond au mouvement du liquide en sens inverse lorsque l'on dépasse le milieu de la bande de papier ; ce mouvement est dû à l'évaporation. Il en résulte que la vitesse de déplacement des composés ne reste pas la même pour chaque fraction pendant le temps de migration. Le pourcentage des fractions mobiles et immobiles déterminé d'après les fragments de la surface totale, partagée par une quelconque convention, ne pourra donc pas être identique dans les deux cas. Il est à noter que la troisième force varie en fonction de la concentration de la solution de dépôt, mais elle ne devient jamais négligeable. Dans le cas où l'on change aussi la concentration de la solution humique de dépôt, le problème devient encore plus compliqué ; la surface totale ne reste plus identique et l'écart entre les résultats d'une même fraction de deux bandes augmente. Par conséquent, l'aire comprise entre la courbe de densité optique et la ligne de base, qui représente normalement la quantité d'acides humiques mis en oeuvre, ne peut être partagée en fractions par une quelconque convention expérimentale que dans des conditions bien définies et standardisées. Nous avons été ainsi amenés à ne prendre la moitié de la ligne de base pour les acides humiques mobiles, que pour une concentration de dépôt de 12 à 13 mg de carbone humique par centimètre cube avec deux heures de migration et une différence de potentiel comprise entre 7 à 10 volts cm.

### 3 - Adaptation de la méthode de dosage du carbone

Il est bien évident que les solutions humiques sont beaucoup moins riches en carbone que l'échantillon même du sol ; son dosage devient alors, en fonction  
*plus délicat*

de la sensibilité de la méthode. On réalise à peu près les mêmes conditions que pour le dosage de carbone de l'échantillon sec, en opérant sur une prise de solution contenant 10 à 25 mg de carbone amenée préalablement à sec. Il faut d'abord évaluer la teneur approximative en carbone de la solution au moyen d'une méthode praticable en milieu liquide pour pouvoir calculer la prise de solution dans la limite de dosage. A cet égard, la méthode WALKLEY et BLACK proprement dite, est rapide et convient bien au travail en série, en même temps qu'elle nous permet de contrôler le résultat final en utilisant un coefficient de correction de 77%. La prise de solution ainsi déterminée est amenée à sec, pour éviter une dilution des réactifs utilisés à une concentration très spécifique, tels que le bichromate et l'acide sulfurique, et risquer de modifier ainsi, au moment du dosage, leur pouvoir oxydant. Le séchage doit être effectué avec assez de précautions pour éviter la moindre oxydation du carbone avant le dosage proprement dit. Elle peut venir, soit de la présence de l'air (l'évaporation doit être faite sous vide), soit de l'élévation de température (règlage automatique à 45° C). Dans le cas du dosage du carbone des acides humiques, au lieu d'évaluer le carbone, on augmente simplement la quantité de prise de solution du double de la précédente, et on la précipite par 1/10 de volume d'acide sulfurique concentré. Après avoir lavé plusieurs fois ce précipité, la redissolution se fait dans un volume aussi limité que possible de soude N/10. La suite de l'opération est identique au cas précédent.

LE PROTOCOLE D'ETUDE

CHAPITRE I : CHOIX ET DESCRIPTION DES SOLS ETUDIES

Les sols étudiés dans ce travail ont été prélevés dans les pays suivants :

IRAN, MAROC, NIGER et TUNISIE

Tous les échantillons, sauf ceux du Niger, sont situés à l'échelle mondiale, à des latitudes voisines. Le prélèvement des échantillons a été fait, pour les pays africains par les pédologues de l'O.R.S.T.O.M., et pour l'Iran par M. BORDBAR pédologue de l'Institut de pédologie de Téhéran. Les descriptions de profils ont été fournies par eux-mêmes. Celles des sols du Maroc ont été prises dans le Livret-Guide de l'excursion de la Conférence Internationale des sols des régions méditerranéennes (A.I.S.S. 1966) pour des profils analogues et voisins de ceux prélevés, mais dont les limites d'horizon n'étaient pas tout à fait aux mêmes profondeurs.

1 - Sols d'Iran (1)

19 échantillons étudiés provenant de 4 profils, ont été prélevés au nord du pays, entre la mer CASPIENNE et le massif ELBOURZ. Cette région au sud et au sud-est de cette mer s'appelle MAZENDERANE. Elle est beaucoup plus sèche que le bord sud-ouest que l'on appelle GUILANE. Les auteurs du livre "The Soils of Iran" pensent que l'on peut inclure dans les zones de climat semi-aride, l'est de cette région où les échantillons ont été prélevés.

---

(1) - Dossier 644 du Service des Sols des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

Profil n° 1 D - 644

Il est situé aux environs de Beh-Chahre, qui est au sud-est de la mer Caspienne (longitude 53° 40' E et latitude 36° 37' N), et à - 20 mètres d'altitude. La température est inférieure à zéro une partie de l'année, et la terre est alors complètement gelée ; le maximum annuel ne dépasse pas 28° C. La pluie est bien répartie dans toute l'année et les précipitations atteignent une moyenne annuelle de l'ordre de 650 mm. L'infiltration de l'eau de pluie est à peu près nulle lorsque le sol est gelé.

La végétation actuelle est la culture du coton et des céréales ; mais il y a moins d'un siècle, cette terre était sous forêt de hêtres, ormes de Sibérie et chênes.

Ce sol se trouve sur une zone plane à très faible pente. La roche mère est un calcaire dur du jurassique supérieur. D'après la carte pédologique de l'Iran et suivant la classification américaine, ancienne, ce sol a été classé comme "Brown Forest Soil".

Description du profil :

- 0 - 25 cm : Horizon humifère, brun foncé (10 YR 2/2 humide) ; la texture est limono-argileuse, structure polyédrique moyenne ; calcaire ; assez perméable, friable, présentant un bon enracinement de la végétation.
- A<sub>P</sub>
- 25 - 50 cm : Horizon également humifère à couleur un peu plus claire (10 YR 3/2 humide) ; pour le reste, cet horizon apparaît comme identique à l'horizon précédent.
- A<sub>1</sub>
- 50 - 70 cm : Horizon de teinte plus claire (10 YR 4/2 humide), moins humifère et plus calcaire, texture sablo-limoneuse ; la structure est toujours polyédrique à tendance prismatique.
- (B)

la porosité diminue ; présence de pseudomycélium calcaire. Il est moins perméable que les horizons de surface mais la friabilité augmente.

70 - 110 cm : Horizon peu humifère à couleur beaucoup plus claire que l'horizon précédent (10 YR 6/2 humide) compact et sec, mal structuré, peu perméable, riche en calcaire qui se présente sous forme de poudre fine ; horizon de passage au substratum calcaire.

(B<sub>3</sub>)

D'après la classification française, il s'agit d'un Sol Brun Calcaire, mais profond ; on peut y noter une tendance vers une évolution actuelle de Sol Isohumique.

Par ailleurs, les résultats analytiques paraissent indiquer une certaine rubéfaction en place.

#### Profil n° 2 D - 644

Ce sol a été observé au point de longitude 53° 35' E et latitude 36° 41' N. Son altitude est de l'ordre de - 30 mètres. Il est dans la même région, sauf qu'il est plus proche de la mer que le précédent, et les données climatiques sont toujours les mêmes. Le sol est plus argileux et présente une diminution rapide de la perméabilité vers la profondeur (K varie de 4 à 1,81 entre 0,5 cm et 5 - 25 cm, et atteint 0,06 en profondeur) ce qui provoque le développement d'une hydromorphie temporaire. En hiver la terre est recouverte d'eau. Cette submersion donne à la surface du sol, lorsqu'il est sec, l'aspect de grands polygones de forme hexagonale limités par des fentes de retrait de 0,5 à 1 cm de largeur. La végétation ancienne était à peu près la même que celle du profil précédent ; mais actuellement, il est sous culture de coton et de blé en assolement. La roche mère de ce sol est également un calcaire du jurassique supérieur.

Description du profil :

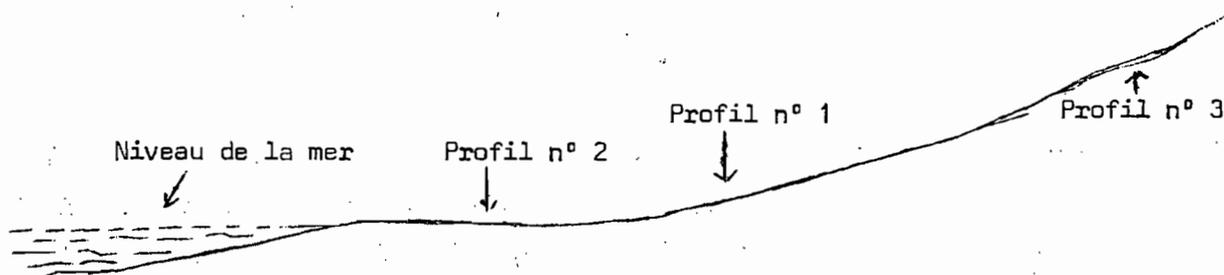
- 0 - 5 cm : Horizon humifère de couleur gris-beige (10 YR 6/1 sec),  
A texture argileuse, structure polyédrique, poreux, bien  
P perméable, peu calcaire, bon enracinement.
- 5 - 25 cm : Horizon encore assez humifère mais de couleur plus clai-  
A re que le précédent (10 YR 6/2 sec), texture argileuse,  
1 structure cubique, peu calcaire ; cet horizon est un  
peu plus argileux que le précédent et il a une faible  
perméabilité (cause d'hydromorphie temporaire). Il pré-  
sente encore bon développement de racine.
- 25 - 50 cm : Horizon identique en couleur (10 YR 6/2 sec), la tex-  
B ture est un peu plus argileuse que dans l'horizon supé-  
1 rieur ; structure cubique ; peu perméable ; il n'est  
que très peu calcaire. Les racines sont encore assez  
abondantes.
- 50 - 70 cm : Horizon beaucoup plus clair que les précédents (10 YR  
B 7/1 sec), texture argileuse, structure cubique, friabi-  
2 lité plus importante, mais faible perméabilité ; c'est  
un niveau d'accumulation calcaire (effervescence très  
violente).
- 70 - 110 cm : Horizon de passage au substratum calcaire à couleur  
BC très claire (10 YR 7/3 sec) ; texture argilo-sableuse ;  
structure très faible, grande friabilité mais très fai-  
ble perméabilité ; calcaire sous forme poudreuse, effervescence très violente.

Ce sol présente à la fois les caractères d'un sol faiblement lessivé, et

quoique pas très accentués, d'un sol isohumique avec quelques signes d'hydromorphie et d'alcalisation.

Profil n° 3 D - 644

Le troisième profil appartenant aussi à la même région, a pour longitude 53° 45' E et pour latitude 36° 34' N, mais il est à une altitude plus haute que le niveau de la mer ( + 20 mètres ). Il s'éloigne de la mer par rapport aux deux précédents, et se rapproche de la zone de pluviométrie plus faible que les deux autres sols (probablement inférieur à 500 mm par an). Ce sol est établi sur la formation marneuse du Miocène. Il est situé sur une pente d'intensité moyenne (15%). La surface du sol est couverte de graminées, mais anciennement la végétation y était arborée, moins dense que dans les deux cas précédents. Il est beaucoup plus perméable dans tout le profil. Le schéma suivant présente la situation topographique de trois profils par rapport à la mer Caspienne.



Description du profil :

0 - 10 cm : Horizon très humifère; couleur gris-beige (10 YR 5/3 sec), texture argilo-limoneuse, structure polyédrique, horizon non cabaire ; bonne perméabilité, non compact ; enracinement parfait.

10 - 25 cm : Horizon un peu moins humifère et à couleur un peu plus foncée (10 YR 4/3 sec), texture argileuse, structure

- B<sub>1</sub> prismatique, quelques graviers calcaires dans un matériau non calcaire par lui-même, un peu plus compact et cohérent, moins perméable que l'horizon précédent. Les racines sont encore assez abondantes.
- 25 - 40 cm : Horizon identique de couleur et de structure, mais la texture est un peu plus argileuse, avec enrobage d'argile sur les agrégats. L'argile commence à s'accumuler dans cet horizon qui reste encore non calcaire et assez compact, mais les graviers de calcaire y sont assez abondants.
- B<sub>21</sub>
- 40 - 55 cm : Horizon d'accumulation d'argile, couleur plus claire (10 YR 5/3 sec), texture très argileuse, structure polyédrique ; encore non calcaire mais les graviers sont toujours abondants ; la perméabilité reste encore assez bonne.
- B<sub>22</sub>
- 55 - 70 cm : Horizon à couleur claire (10 YR 6/3 sec), texture argilo-limoneuse, structure polyédrique, très calcaire sous forme de poudre, (effervescence très violente) contenant des graviers calcaires ; c'est l'horizon de passage au matériau originel calcaire.
- BC

Ce sol apparaît comme un sol isohumique châtain lessivé, présentant un horizon d'accumulation d'argile enrichi étonnamment en matière organique en surface, et probablement érodé.

Profil n° 4 D - 644

Ce profil est pris à Babol-Kenar qui est à 20 km au sud de Babol. Il a pour longitude 52° 43' E et pour latitude 36° 19' N. Le sol se trouve actuellement

sous culture de graminées et légumineuses en assolement, mais il n'y a pas longtemps qu'il était sous forêt de charmes d'Orient (*Carpinus-orientalis* Mill), Parrotie de la Perse (*Parrotia-Persica* (DC) C.A. Mey) et de grenadiers sauvages. Il s'est établi sur la formation géologique de conglomérat à faciès Miopliocène (Néogène i.g.). Dans cette région, la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 700 à 800 mm.

Description du profil :

- 0 - 10 cm : Couleur gris-beige (10 YR 5/3 sec) avec des petites fentes de retrait à la surface, texture argileuse, structure polyédrique fine ; peu perméable et non calcaire ; bon enracinement de graminées.
- A<sub>11</sub>
- 10 - 25 cm : Horizon également humifère, couleur un peu plus claire (10 YR 5/4 sec), texture plus argileuse que l'horizon précédent, structure polyédrique à cubique avec des petites fissures. Cet horizon n'est pas calcaire et les racines y sont encore abondantes.
- A<sub>12</sub>
- 25 - 45 cm : Horizon moins humifère, un peu plus clair (10 YR 6/4 sec) ; la texture est très argileuse ; c'est un niveau d'accumulation d'argile, avec enrobement d'argile sur les agrégats du sol. La structure en est prismatique, et cet horizon est moins perméable que les précédents ; il est compact et non calcaire.
- B<sub>21</sub>
- 45 - 65 cm : Horizon analogue quant à sa teneur en matière organique et à sa couleur ; sa texture reste argileuse et sa structure est polyédrique. C'est encore un horizon d'accumulation d'argile, les enrobements argileux sur les agrégats y deviennent importants et donnent à cet horizon un
- B<sub>22</sub>

aspect particulier. Il est moins perméable et plus compact que les horizons sous-jacents. Il n'est pas calcaire.

65.- 80 cm : Horizon très calcaire (violente effervescence), couleur plus claire (10 YR 7/3 sec), texture limono-argileuse, structure polyédrique, friable ; le calcaire se présente en poudre et en nodules. La perméabilité augmente un peu. Au-dessous de 80 cm on ne trouve que le matériau originel calcaire.

C

C'est un sol Brun faiblement lessivé ; la tendance à l'isohumisme est faible.

## 2 - Sols du Maroc

Les sols du Maroc viennent de la plaine du TADLA, qui est situé à 200 km au sud-est de Casablanca, à une altitude moyenne de 400 m ; le Tadla est limité au nord par le plateau central ; il est dominé au sud par les sommets du Moyen Atlas ; à l'est, la dépression du Tadla vient se terminer en coin entre le plateau d'Oued Zem et la retombée atlasique ; à l'ouest, elle se poursuit au-delà de l'Oued El Abid, par la Bahira. La formation géologique comprend des sédiments néogènes (argiles sableuses à silex) et quaternaires (y compris le Miocène Post-nappe rifaine). D'après la carte des étages bioclimatiques du Maroc, le Tadla est en zone aride de steppe à semi-aride de forêt ; la pluviométrie dans la partie intéressée est de l'ordre de 568 mm, mais parfois, elle atteint 830 mm (Béni-Mellal) ; la température annuelle ne dépasse pas 19° C, avec un maximum de 49 à 50° C et un minimum de moins 3° C. Le Tadla est une région d'élevage et de culture intensive et d'après L. EMBERGER (1939), sa végétation naturelle est Ziziphus-Lotus (jujubier) et Pistacia atlantica (Bétoum). Nous possédons 5 profils de cette région qui représentent 32 échantillons, portant le numéro de dossier 650.

Profil n° 1 D - 650

Il est situé à environ 8 km au sud-est de Fkih ben Salah. Il a pour coordonnées longitude 6° 37' 00" O, latitude 32° 29' 15" N et altitude 443 mètres. Le relief général est plan ; la pente est très faible (moins de 5 ‰), orientée au NNE-SSO. Il est développé sur des apports quaternaires plus ou moins calcaires, de texture argilo-limoneuse ou argilo-sableuse, présentant en profondeur un faciès de calcaire stalactiforme ou en bancs ; ces apports proviendraient essentiellement des plateaux situés au nord. La nappe phréatique est assez proche de la surface (-2 à -5 m) ; cette nappe étant alimentée surtout par des infiltrations d'eau d'irrigation, c'est en Septembre-Octobre que le niveau est le plus proche de la surface. La parcelle où se trouve la tranchée n'a plus été mise en culture depuis 1962.

Le sol est un "Sol brun isohumique modal" sur roche mère limono-argileuse ; calcaire dès la surface ; à forte individualisation de calcaire en profondeur ; légèrement alcalisé.

Description du profil :

- |                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| 0 - 2 cm        | : | Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4 sec), calcaire, argileux, structure en feuillets de 2 à 3 mm d'épaisseur, peu dur et peu poreux ; cet horizon n'existe pas partout.   |
| A <sub>p1</sub> |   |  |
| 2 - 25 cm       | : | Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/4 sec), faiblement et uniformément organique, calcaire, argileux, structure polyédrique moyenne à grossière (1 à 5 cm) moyennement développée. Bonne porosité d'ensemble résultant en partie de l'activité biologique (galeries de vers) ; les éléments structuraux de dimensions moyennes sont poreux ; ceux de fortes dimensions sont plus durs et moins poreux dans leur centre (pores = canalicules de racines) que dans leur zone périphérique (pores = canalicules + galeries de vers). |
| A <sub>p2</sub> |   |  |

Quelques granules calcaires, quelques graviers siliceux à la base ; rares coquilles d'escargots. Peu de racines. Limite inférieure tranchée et régulière.

25 - 80 cm

Brun rougeâtre (5 YR 3/3 sec), très calcaire, argileux, structure polyédrique fine (polyèdres de 0,5 à 1 cm), bien développée, emballant de très nombreux granules calcaires. Les polyèdres sont assez durs, peu poreux et jointifs. Les granules calcaires sont durs, de forme sphérique ou légèrement conique (ils sont alors disposés verticalement, pointe en bas). Petits amas calcaires peu nombreux, peu contrastés. Porosité d'ensemble assez bonne (les traces d'activité biologique sont moins importantes que dans les horizons précédents, sauf localement sous forme de grosses cavités). Très peu de racines. Limite inférieure régulière mais très diffuse.

(B) Ca

Au-dessous de 80 cm : Horizon Brun rougeâtre clair (5 YR 6/4 sec), très calcaire, argilo-limoneux. Les caractères de porosité et de structure sont analogues à ceux de l'horizon précédent ; les éléments structuraux sont cependant un peu plus gros et plus jointifs. Les granules calcaires semblent être moins nombreux ; par contre, les amas calcaires, à limites nettes, aux formes irrégulières, plus ou moins anastomosés, sont plus nombreux, plus distincts ; ils sont constitués par la juxtaposition d'agrégats fortement enrichis en calcaire dont quelques-uns sont assez durcis. Très peu de racines. Présence, comme dans l'horizon précédent de cavités biologiques emplies d'un limon plus brun, assez grumeleux. Quelques petites taches noires sur les faces de certains agrégats ou sur les granules.

(B)<sub>3</sub> Ca

Profil n° 2 D - 650

La deuxième tranchée est à environ 9 km au sud-ouest de Fkih ben Salah. Il a pour coordonnées longitude 6° 47' 1" O, latitude 32° 28' 15" N et altitude 418 mètres. Les remontées du substratum calcaire donnent ici un paysage très faiblement ondulé ; le profil étudié est situé dans un creux. La nappe est ici plus profonde (le niveau ne remonte jamais au-dessus de -5 m). Longtemps consacrée à la culture des céréales en sec, cette zone est irriguée depuis 1952. Les dernières cultures ont été les fèves, le coton et le blé. Fumiers et engrais chimiques sont apportés régulièrement. Le travail du sol est mécanisé. Ce sol est un "Sol brun isohumique subtropical, modal" ; sur dépôt rubéfié argilo-limoneux, finement sableux ; calcaire en surface ; à faible individualisation du calcaire ; reposant sur une dalle de calcaire lacustre. Il est un peu alcalisé en profondeur.

Description du profil :

0 - 30 cm : Horizon à couleur brune (7,5 YR 5/4 sec), faiblement et uniformément organique ; limono-sableux, plus argileux en profondeur. Vers le haut, structure polyédrique à tendance nuciforme, fine à grossière (0,5 à 5 cm), moyennement développée. Vers la base, structure continue à forte cohésion, avec quelques fissures verticales. Agrégats peu poreux et peu durs au sommet ; l'horizon est au contraire très dur à la base. Racines peu nombreuses. Quelques petits cailloux siliceux enrobés d'une pellicule calcaire ; quelques petits débris de dalle calcaire. Quelques granules calcaires et coquilles d'escargots. Activité biologique dans les fissures de la base de l'horizon. Limite régulière et graduelle.

A<sub>1</sub> (A<sub>p</sub>)

30 - 65 cm : Horizon brun clair (7,5 YR 5/4 sec), calcaire, argilo-limono-sableux ; structure polyédrique fine à moyenne (0,5 à 2 cm), faiblement à moyennement développée. Agrégats peu à

- B<sub>21</sub> Ca assez poreux, peu durs ; petits amas calcaires, pas très nombreux, à limites nettes, pas très contrastés, de couleur brun très clair (10 YR 8/4 sec). Granules calcaires, petits, assez nombreux, assez durs ; quelques graviers siliceux ; quelques racines ; quelques coquilles d'escargots ; quelques éléments coprogènes au sommet de l'horizon ; limite inférieure régulière et graduelle.
- 65 - 155 cm : Horizon brun rougeâtre clair (5 YR 6/4 sec) plus rouge en profondeur (5 YR 5/6sec) ; calcaire, argilo-limono-sableux ; structure polyédrique fine à moyenne, faiblement développée. Agrégats assez poreux, peu durs ; amas calcaires peu à moyennement contrastés, à limites nettes, de taille généralement inférieure à 1 cm de diamètre, de moins en moins nombreux vers le bas de l'horizon. Granules calcaires petits, pas très durs, de moins en moins nombreux vers le bas ; quelques racines ; quelques débris de coquilles ; quelques quartz (taille sables grossiers et gravillons) ; cavités biologiques comme dans le profil n° 1 ; limite inférieure graduelle et régulière.
- B<sub>22</sub> Ca
- 155 - 195 cm : Horizon brun rougeâtre (5 YR 5/4 sec), peu calcaire, plus argileux ; structure polyédrique fine à moyenne (0,5 à 2 cm), faiblement développée ; agrégats peu poreux, peu durs ; nombreux cailloux siliceux et gros nodules calcaires ; restes de dalle calcaire en blocs de fortes dimensions ; on trouve encore quelques racines, très fines.
- C. Ca
- 195 cm : Dalle de calcaire lacustre, très dure, épaisse, continue. Cette dalle remonte vers l'ouest.
- R

Profil n° 3 D - 650

Il se trouve à 6 km au sud-ouest de Fkih ben Salah. Ses coordonnées sont les suivantes longitude 6° 45' 2", latitude 32° 28' 15" et altitude 418 mètres. La nappe dont la profondeur varie de 2 à 4 mètres, est également riche en Cl<sup>-</sup> et Na<sup>+</sup>, mais elle est nettement moins salée que celles des profils précédents. Cette parcelle est irriguée depuis 12 ans (eau de l'Oum-er-Rbia). Le travail du sol est de type mécanisé ; si des engrais chimiques sont apportés régulièrement, il n'en est pas de même pour le fumier. L'assolement pratiqué est le suivant : blé, fèves, coton. C'est un "Sol brun isohumique subtropical, modal" ; sur dépôt argilo-limono-sableux ; peu calcaire en surface ; à faible individualisation du calcaire ; il est un peu alcalisé en profondeur.

Description du profil :

0 - 20 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3 sec) à plages brun rougeâtre plus clair (5 YR 4/4 sec) à partir de 10 cm de profondeur. Faiblement et uniformément organique. Peu calcaire ; argilo-limono-sableux. Ebauche de structure feuilletée en surface, discontinue sur 1 cm d'épaisseur environ ; ensuite structure polyédrique à nuciforme grossière (2 - 5 cm et plus) alternant avec une structure continue avec fentes verticales ; agrégats polyédriques poreux. Quelques granules calcaires ; quelques gravillons siliceux plus ou moins enrobés d'une pellicule calcaire. Bon enracinement ; éléments coprogènes peu nombreux ; limite inférieure régulière et tranchée.

A<sub>p</sub>

20 - 65 cm ; Brun rougeâtre (2,5 à 5 YR 4/4 sec) ; un peu plus foncé dans les premiers centimètres ; calcaire ; argilo-sableux ; structure d'aspect continue, mais en fait composée d'éléments polyédriques émoussés fins à grossiers

(B)<sub>21</sub> Ca

(0,5 à 5 cm), durs, poreux (galeries de vers, canalicules de racines). Assez nombreux granules calcaires, petits, durs ; graviers siliceux peu nombreux plus ou moins enrobés de calcaire ; petits amas calcaires, peu nombreux, peu contrastés, à limites nettes, de couleur rose, de forme ronde ou légèrement étirée, parfois légèrement durcis ; racines rares ; éléments coprogènes assez nombreux surtout en haut ; limite inférieure tranchée et régulière.

65 - 100 cm ;

Brun rougeâtre (5 YR 5/4 sec), plus rouge dans les premiers centimètres ; calcaire ; argileux ; structure polyédrique émoussée, fine à moyenne, assez bien développée, emballant de très nombreux granules et nodules calcaires ; les agrégats sont peu durs, peu poreux et jointifs. Très nombreux granules et nodules calcaires, durs, de formes irrégulières parfois allongées ; quelques amas calcaires ; quelques fines racines ; quelques éléments coprogènes ; limite inférieure progressive.

(B)<sub>22</sub> Ca

100 - 140 cm ;

Rouge jaunâtre (5 YR 6 à 5/6 sec), un peu plus rouge dans les premiers centimètres ; très calcaire ; argileux à argilo-limono-sableux. Horizon légèrement durci d'aspect massif mais se décomposant en polyèdres fins à moyens (0,5 à 2 cm), durs, peu à assez poreux ; assez nombreux granules calcaires, durs, de forme sphérique ou grossièrement conique à cassure de couleur brun rougeâtre clair (5 YR 6/3 sec) ; amas calcaires petits, peu contrastés ; quelques gravillons et galets siliceux ; quelques fines racines ; cavités biologiques remplies d'un limon brun, friable, souvent grumeleux à nuciforme ; limite inférieure régulière et diffuse.

(B)<sub>23</sub> Ca

Au-dessous de 140 cm : Couleur, texture et structure ne varient pas ; les granules calcaires deviennent moins nombreux ; par contre, les amas calcaires sont plus nombreux, plus distincts, à limites nettes ; ils sont composés d'agrégats enrichis en calcaire, de couleur rose (7,5 YR 8/4 sec), parfois légèrement durcis ; quelques gravillons siliceux ; quelques racines ; mêmes cavités biologiques.

Profil n° 4 D - 650

Il est situé dans la partie sud du périmètre irrigué des Béni Moussa, légèrement à l'ouest du cône des Ouled Moussa, à 14 km à l'ouest de Béni Mellal. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes, longitude 6° 29' 30" O, latitude 32° 17' 30" N et altitude 455 mètres. Le relief est plan ; la pente est faible (inférieure à 5‰) du sud-ouest vers nord-ouest. Le climat est semi-aride. Le sol s'est développé sur un dépôt argilo-calcaire du quaternaire moyen, qui est ici très épais. Cette zone est irriguée depuis 1956 (eau de l'oued El Abid). La parcelle a porté des céréales jusqu'en 1963. Depuis, les cultures ont été les suivantes : coton, blé, betterave. Le travail du sol est de type mécanisé. Fumier et engrais chimiques sont apportés régulièrement. La nappe est assez profonde (5 à 10 m de la surface). C'est un "Sol brun isohumique subtropical, modal" ; sur roche mère argileuse ; peu calcaire en surface ; à forte individualisation du calcaire.

Description du profil :

0 - 15-20 cm ; Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3 sec) ; peu calcaire ; argileux ; structure polyédrique fine à moyenne (0,5 à 3 cm) ; éléments de structure en plaquettes ; agrégats peu poreux, durs ; quelques granules calcaires ; quelques racines ; débris de paille mal décomposés ; limite brutale, légèrement ondulée.

15-20 - 30-40 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/3 sec) ; peu calcaire ; argileux ; fissuration verticale et horizontale donnant des prismes, cubes ou plaques très grossiers (5 - 10 cm), durs et compacts ; au sommet de l'horizon, ces éléments  
A<sub>1</sub> présentent assez souvent des faces gauchies et arrondies ; porosité d'ensemble de l'horizon médiocre (essentiellement due aux fissures) ; quelques granules calcaires ; peu de racines ; débris de paille mal décomposés ; limite nette mais progressive.

30-40 - 100 cm : Horizon Brun rougeâtre (2,5 YR 4/4 sec) ; très calcaire ; argileux ; structure à l'aspect assez continu, se décomposant en polyèdres fins à moyens (0,5 à 2 cm), peu poreux, durs ; granules et nodules calcaires très nombreux, durs, de forme sphérique ou grossièrement conique, à cassure de couleur brun rougeâtre clair (5 YR 6/4 sec) ; petits amas calcaires à limites nettes, roses (5 YR 8/4 sec), pas très contrastés ; quelques racines ; éléments coprogènes surtout vers le haut ; quelques graviers (calcaires surtout) pouvant localement, à la base de l'horizon, former un niveau mince mais continu ; limite tranchée et ondulée.  
(B)<sub>2</sub> Ca

Au-dessous de 100 cm : Horizon Brun rougeâtre (2,5 YR 4/4 sec) ; calcaire ; argileux ; structure polyédrique moyenne (1 à 2 cm) plus anguleuse et plus fine vers le bas ; agrégats peu poreux, durs ; granules calcaires petits, durs, de forme sphérique beaucoup moins nombreux que dans l'horizon précédent ; amas calcaires nombreux, surtout à partir de 130 - 140 cm ;  
(B)<sub>3</sub> Ca ces amas sont de forme sphérique ou, vers le bas, en chandelles verticales ; ils ont en moyenne 1 à 2 cm de diamètre et jusqu'à 10 cm de longueur ; ils sont très contrastés, à limites nettes, de couleur rose à blanc rosé

(7,5 YR 8/4 à 8/2 sec) ; ces amas sont souvent composés d'une enveloppe calcaire légèrement durcie, renfermant du calcaire pulvérulent et des granules calcaires de très petites dimensions ; à partir de 170 - 180 cm, la couleur devient plus brune (5 YR 5/4 sec), plus ou moins marbrée, avec taches noires à la surface des agrégats.

Profil n° 5 (7 en dossier) D - 650

Ce profil situé également dans les Béni Moussa a pour coordonnées, longitude de 6° 13' 45", latitude 32° 30' 20" et altitude 544 mètres. Le sol est situé sur un cône qui descend très lentement (pente inférieure à 5‰). Le relief présente quelques ondulations, très faibles, le profil étant dans un creux. Cette zone est depuis longtemps irriguée avec les eaux venues du Moyen Atlas. Les cultures pratiquées sont essentiellement les céréales et les fèves, en alternance plus ou moins régulière. Le sol est labouré à l'araire ; il est parfois apporté du fumier mais pas d'engrais chimiques. Le milieu naturel est moyennement humide. Ce sol est un "Sol châtain isohumique subtropical, modal" ; sur roche mère argileuse ; à forte accumulation de calcaire.

Description du profil :

- 0 - 15 cm : Brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2 sec) ; non calcaire ; sablo-argileux ; structure polyédrique à nuciforme moyenne (1 à 2 cm) ; agrégats assez poreux, assez durs ; sur-structure à tendance cubique, moyennement développée ; rares gravillons siliceux ; quelques granules calcaires ; assez nombreuses fines racines ; limite inférieure régulière et tranchée.
- 15 - 30 cm : Brun rougeâtre foncé (2,5 YR 2/4 sec) ; non calcaire ; argilo-sableux ; structure polyédrique à prismatique

- $A_3$  moyenne à forte (1 à 5 cm) ; sur-structure prismatique peu développée ; agrégats durs, assez poreux ; gravillons siliceux ; quelques granules calcaires ; assez nombreuses fines racines ; limite progressive et légèrement ondulée.
- 30 - 65 cm : Brun rougeâtre foncé (2,5 YR 2/4 sec) ; traînées plus sombres sur les faces des agrégats ; non calcaire ; argileux surtout en profondeur ; structure prismatique moyenne (2 à 5 cm), à légère tendance cubique, très bien développée ; agrégats peu poreux, durs, à faces lisses, luisantes, parfois légèrement gauchies ; très bonne porosité d'ensemble (due à la structure) quelques granules calcaires ; rares gravillons siliceux ; quelques fines racines souvent plaquées sur les faces des prismes ; limite régulière et tranchée.
- $B_{21}$
- 65 - 85 cm : Rouge à rouge sombre (2,5 YR 3-4/6 sec) ; calcaire ; argileux ; structure polyédrique fine à moyenne (0,5 à 2 cm), bien développée ; agrégats durs, peu poreux ; très nombreux granules calcaires, durs, de forme sphérique ; quelques racines ; limite progressive et irrégulière.
- $B_{22}$  Ca
- 85 - 130 cm : Brun rougeâtre à rouge (2,5 YR 4/6 sec) ; très calcaire ; limoneux ; même structure que l'horizon précédent ; toujours très nombreux granules calcaires ; amas calcaires peu nombreux, petits, peu contrastés ; quelques racines ; cavités biologiques parfois emplies d'un limon brun, à structure nuciforme fine ; limite inférieure régulière, diffuse.
- $B_{23}$  Ca

Au-dessous de 130 cm : Horizon rouge (2,5 YR 5/6 sec) à amas blanc rosé (7,5 YR 8/2 sec) ; très calcaire ; limoneux ; toujours même structure ; les granules calcaires deviennent moins nombreux ; nombreux amas calcaires bien contrastés, à limites nettes ; quelques cailloux calcaires plus ou moins altérés en cupule à leur partie supérieure ; cavités biologiques.

### 3 - Sols du Niger (1)

Les sols du Niger viennent de la région du Gorouol Beli, à l'ouest du pays, entre les 14ème et 15ème parallèles N et les méridiens 0° et 1° E. La topographie de cette zone a un aspect presque plat, très légèrement ondulé (l'altitude variant de 230 à 269 mètres). Le climat est de type sahélo-saharien, avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 430 mm et une température annuelle de 29° C. Le matériau original varie de l'argile sableuse (venant de l'altération des schistes verts du glaucis ou des granites) aux sables quartzeux d'origine éoliens. La végétation est une pseudo steppe comportant principalement des Acacias comme arbustes. Les six profils prélevés dans cette région représentent 16 échantillons.

#### Profil n° 1 D - 663 (GB 27)

Il est situé à 8,4 km à l'est de YATAKALA. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes, longitude 0° 27' 0" E, latitude 14° 47' 30" N et altitude 232 mètres. Géomorphologiquement, il est en bas d'un glacis nu sur schistes (Birrimien), petite plaine de colmatage en amont d'une levée latérale (remblai supérieur) du GOROUOL. Sa topographie est plane (pente presque nulle). Son drainage externe est

---

(1) - Dossier 663 du Service des Sols des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

faible, et son drainage interne est réduit. L'érosion est apparemment nulle. Le matériau originel consiste en une argile sableuse issue de l'altération des schistes verts du glacis transportée, remaniée et enrichie par ruissellement. La végétation ne comporte en ce lieu que peu d'herbes, le tapis graminéen étant très fugace, mais des arbustes : *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*. Ce sol de glacis est un Sol brun subaride vertique à nodules calcaires.

Description du profil :

La surface est très brune, unie.

- 0 - 3 cm : Placage sablo-argileux, brun rougeâtre, très compact (apport de ruissellement).
- 3 - 15 cm : Brun (10 YR 4/3) ; à texture sablo-argileuse ; à structure cubique (2-3 cm) à faces horizontales parfois lisses ; quelques fissures remplies d'agrégats polyédriques (1 cm) ; cohésion très forte ; porosité fine et forte.
- A
- 15 - 45 cm : Plus foncé ; argilo-sableux ; nombreux granules (1 mm) calcaires ; structure cubique à polyédrique (1-5 cm) ; surstructure prismatique apparaissant (10 x 20 cm) à la base ; cohésion forte ; plus poreux.
- B<sub>Ca1</sub>
- 45 - 117 cm : Brun très foncé (10 YR 3/2) ; argilo-sableux ; très riche en petits nodules calcaires ; légèrement fissuré ; faces de glissement très nombreuses, petites (2 cm) en assemblage excessivement compact ; cohésion et dureté excessives.
- B<sub>Ca2</sub>
- 117 - 130 cm : Brun très foncé à plages brun jaune ; argilo-sableux (petits quartz détritiques) ; amas calcaires (2 cm) ;

B<sub>Ca3g</sub>

petites concrétions noires (Mn) ; structure polyédrique en assemblage compact ; très compact et cohérent.

Profil n° 2 D - 663 (GB 30)

Il est situé à 8,6 km à l'est de YATAKALA ; il a pour coordonnées, longitude 0° 27' 0" E, latitude 14° 46' 30" N et altitude 269 mètres. Le sol a été prélevé en limite nord d'un erg longitudinal "récent" ; cordon orienté N-NO ; 16 x 0,8 km, hauteur +15 mètres ; asymétrique, avec front raide orienté au nord. Sa topographie est un replat sommital ; il se draine très facilement ; l'érosion récente est prouvée par la présence de buttes éoliennes subactuelles, et d'une nappe de sables libres en surface. Le matériau originel est constitué de sables éoliens très pauvres en argile et limon. La végétation est une steppe d'herbes vivaces piquetée d'arbustes. Le climat est de type sahélo-saharien avec 430 mm de pluie par an et la température moyenne annuelle 29°4 C. C'est un terrain de parcours à végétation dégradée. C'est un Sol brun rouge subaride dunaire peu différencié (B de couleur rouge).

Description du profil :

- |                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Surface           | : | 2 cm de sables déliés   |
| 0 - 18 cm<br>A    | : | Brun rougeâtre (7,5 YR 5/6) ; sableux ; débit régulier ; cohésion faible (sub-particulaire) ; porosité intergranulaire. |
| 18 - 30 cm<br>AB  | : | Jaune rouge (5 YR 5/6) ; sableux ; débit régulier ; cohésion moins faible ; même porosité.                              |
| 30 - 98 cm<br>B : | : | Jaune rouge (5 YR 5/7) ; sableux ; débit régulier ; cohésion faible.  |

- 98 - 165 cm : Plus clair ; la structure devenant particulaire.  
BC
- 165 - 200 cm : Sables jaune rougeâtre clair (7,5 YR 6/6) ; structure  
C particulaire.

Profil n° 3 D - 663 (GB 32)

Il se trouve à 9 km au sud-est de QUANZERBE ; il a pour coordonnées, longitude 0° 27' 0" E, latitude 14° 43' 35" N, altitude 252 mètres. Il a aussi un climat sahélo-saharien de 430 mm de pluie et 29°4 C de température. Géomorphologiquement, il se trouve sur un erg ancien ; gros massif longitudinal orienté 0 ; très aplani comportant quelques dépressions arborées ; cet erg constitue un glacis inférieur sur les schistes birrimiens. Le sol est au 1/3 inférieur du glacis en zone non déprimée. Matériau filtrant qui facilite le drainage, mais la nappe perchée est à la base du profil. L'érosion éolienne est accélérée par le piétinement des animaux. Le matériau originel consiste en sables quartzeux éoliens. La végétation a un aspect de pseudo-steppe d'herbes annuelles arborée de façon très lâche. Ce terrain est utilisé pour paturages et millets. C'est un Sol brun rouge sur sables quartzeux, à base jaunie et durcie.

Description du profil :

- Surface : microrelief important (nebkas) ; termitières brunes (1,5 m) ; teint brun clair.
- 0 - 10 cm : Brun (10 YR 5/4) ; sableux, structure feuilletée ; cohésion moyenne ; horizon cultural.  
Ap
- 10 - 20 cm : Brun rouge (7,5 YR 4/4) ; sableux ; débit régulier à faces mamelonnées ; cohésion moyenne ; compact ; assez dur.  
AB
- 20 - 40 cm : Brun rouge vif (5 YR 4/8) ; un peu moins sableux que Ap ; débit mamelonné ; cohésion moyenne ; fine porosité semi-

- B<sub>1</sub> tubulaire bien développée ; nombreuses radicelles.
- 40 - 97 cm : Brun ocre (réduction du drainage interne)(7,5 YR 4/6) ;  
B<sub>2</sub> sableux ; même débit ; un peu plus compact et dur.
- 97 - 158 cm : Teinte de transition brun rougeâtre ; sableux ; même  
BC<sub>g</sub> débit ; porosité intergranulaire seulement ; cohésion  
moyenne à forte ; horizon le plus dur.
- 158 - 200 cm : Jaune brun (10 YR 5/8) (hydratation oxydes de fer) ; sa-  
bleux ; plus pauvre en argile que B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> ; porosité  
C<sub>g</sub> intergranulaire (matériau) ; un peu moins dur.  
Profil vraisemblablement tronqué.

Profil n° 4 D - 663 (GB 68)

Il est situé au 7,6 km au sud-est d'ALKONGUI ; il a pour coordonnées, longitude 0° 36' 20" E, latitude 14° 40' 10" N, altitude 260 mètres. Le climat est toujours sahélo-saharien avec 435 mm de pluie et 29°4 C de température. Le sol se trouve en haut de pente (2%) en sommet de glacis sur schistes émergeant d'un massif dunaire longitudinal. Le drainage externe est fort, et le drainage interne réduit; l'érosion due à l'eau est aréolaire. Le matériau originel est une altérite de "roche verte" (smectitique Ca) remaniée formant une nappe détritico-concrétionnée de sables argileux. La végétation présente l'aspect de steppe arbustive (arbustes : Acacia senegal, Balanites aegyptiaca ; graminée annuelle : Schoenefeldia gracilis) ; la parcelle porte une culture de millet. C'est un Sol brun subaride de faciès rubéfié sur colluvions argilo-sableuse issues de schistes verts birri-miens altérés de série polyphasée polycyclique.

Description du profil :

Surface : très rouge, décapée, et présentant de nombreux affleurements de "roche verte" et quartz filonien , des épan-

dages de débris rocheux (10 cm), et des plages nues sableuses.

- 0 - 10 cm : Brun foncé à lignes noirâtres (7,5 YR 4/4) (pellicules pluviales enterrées) ; sablo-argileux ; très hétérogène ;  
Ap feuilleté au sommet, en plaquettes à la base, localement cubique (2 cm) ; cohésion moyenne ; assez compact.
- 10 - 50 cm : Rouge brun (5 YR 4/6) ; sablo-argileux (+A) ; la structure  
B polyédrique en assemblage compact ; cohésion moyenne à forte ; fine porosité semi-tubulaire bien développée.
- 50 - 110 cm NAPPE DE DEBRIS
- 50-95 cm : graviers anguleux de quartz (2 cm), gravillons de cuirasse ferrugineuse, plaquettes schisteuses ferruginisées, dans un emballage argilo-sableux rouge plus pâle, très riche en concrétions noires (1 cm, Mn). Sommet tranché (reg fossile)
- 95-110 cm: nappe de gros blocs de quartz.
- 110 - 140 cm : argile sableuse d'altération smectitique brun verdâtre (5 YR 8/4) ; structure polyédrique en assemblage compact ; nombreuses concrétions noires.

Profil n° 5 D - 663 (GB 81)

Il est situé à 11,6 km au sud-sud-ouest de GAYA ; il a pour coordonnées, longitude 0° 41' 40" E, latitude 14° 37' 40" N, altitude 247 mètres. Le climat est sahélo-saharien, avec 435 mm de pluie (chiffres obtenus par interpolation) et 29°4 C de température. Il se trouve à mi-pente sur un erg ancien : gros massif longitudinal à surface ondulée cloisonné par les cordons jeunes sur glacis nu argileux granitique ; drainage filtrant ; nappe perchée à la base du profil ; pas d'érosion ; matériau originel : sables éoliens à éléments d'arène granitique (biotite, feldspath altérés) ; végétation : prairie annuelle lâchement arborée

(arbustes : Combretum glutinosum, Balanites aegyptiaca ; graminées : tapis dense, + 50 cm : Aristida mutabilis, Ctenium elegans) ; la parcelle sert au pâturage. C'est un Sol brun rouge sur sables éoliens à éléments d'arène granitique, à la base jaunée et durcie.

Description du profil :

- Surface : brune ; termitières brunes.
- 0 - 13 cm : Brun (10 YR 5/4) ; sableux ; structure très feuilletée ;  
A<sub>1</sub> cohésion moyenne.
- 13 - 28 cm : Brun jaune (7,5 YR 5/5) ; sableux ; débit légèrement  
A<sub>2</sub> mamelonné ; cohésion moyenne ; fine porosité semi tubu-  
laire.
- 28 - 77 cm : Ocre rouge (5 YR 4/8) ; débit mamelonné ; cohésion mo-  
B yenne à forte ; porosité plus développée.
- 77 - 137 cm : Passage progressif au jaune (7,5 YR 5/6) ; débit régulier ;  
BC porosité intergranulaire ; nettement durci.  
g
- 137 - 170 cm : Blanc jaunâtre (10 YR 7/6) (hydraté et déferritisé) ;  
Cg quelques marbrures brunes ; sableux ; débit régulier ;  
cohésion moyenne.

Profil n° 6 D - 663 (GB 95)

Il est situé à 12 km est-nord-est de KOLMAN ; il a pour coordonnées, longitude 0° 45' 0" E, latitude 14° 46' 45" N, altitude 241 mètres. Le climat est de type sahélo-saharien à pluviométrie de 420 mm (chiffres obtenus par interpolation) et 29° 4 C de température. L'aspect géomorphologique est un glacis inférieur nu.

sur granite calco-alcalin, et la topographie est plane ; drainage externe faible et drainage interne mauvais ; érosion aréolaire hydrique. Le matériau originel est une argile sableuse d'altération des granites. La végétation est une formation arbustive contractée dite "brousse tigrée" (arbustes : Acacia seyal, Acacia sénégale, Balanites aegyptiaca (+ 4 m), strate graminéenne : Cymbopogon schoenanthus (vivace, avec turricules dans la touffe), Schoenefeldia gracilis (annuelle), tapis très dense). C'est un terrain de parcours. C'est un Sol brun légèrement hydromorphe et rubéfié, de faciès solonetzique sur argile sableuse d'altération des granites. Il présente une forte teneur en Magnésium échangeable.

Description du profil :

- Surface : Brun rougeâtre.
- 0 - 12 cm : Gris-brun (10 YR 5,5/4), marbré d'ocre rougeâtre ; argilo-sableux ; au sommet fine croûte ; fissuration verticale fine ( $\varnothing$  1mm), espacée ( $\varnothing$  15 cm), donnant un début de structure prismatique ; par ailleurs massif, cohésion forte ; compact.
- A
- 12 - 35 cm : Brun rougeâtre marbré de gris (7,5 YR 4/4) ; argilo-sableux ; structure motteuse, cubique à prismatique, large ( $\varnothing$  5-10 cm) dont les éléments les plus grossiers, prismatiques (10 x 20 cm) possèdent un sommet arrondi, à forte porosité semi-tubulaire sur les dix premiers centimètres ( $\varnothing$  0,5 mm) ; cohésion moyenne. La base de l'horizon est cubique (3 cm) en assemblage compact, à cohésion excessive.
- B structural
- 35 - 70 cm : Teinte plus claire due à des marbrures grises plus abondantes (7,5 YR 5/4) ; argilo-sableux ; nombreuses taches noires (Mn) ; cubique un peu aplati (3 x 2 cm) à faces
- BC<sub>g</sub>

presque lisses, en assemblage compact ; très dur et cohérent ; compact.

#### 4 - Sols de Tunisie (1)

Ils ont été prélevés dans le nord-est de la zone centrale de Tunisie, Bou Ficha (Oued-Zit), Bar Bel Ouar et enfin El Djem sur des zones de plaines légèrement ondulées et à faible pente dont l'altitude varie de 26 à 130 m ; la pluviométrie est de l'ordre de 300 à 450 mm par an, la température annuelle est de 20° C ; le matériau originel consiste en un limon quaternaire fulviatile à nodules ; la végétation ne comprend en pratique que de jeunes oliviers et des céréales. Ces sols comportent trois profils correspondant à 17 échantillons.

#### Profil n° 1 D - 647 (DJEM O)

Il est situé en un point de longitude de 10° 40' 0" E, latitude 35° 22' 44" N et altitude 130 mètres, sur matériau originel de limon à nodules. La pluviométrie est de l'ordre de 270 mm avec des écarts annuels considérables et la température de 20° C. Topographiquement, il est sur un glacis à pente inférieure à 3%. C'est un Sol brun subtropical modal jeune sur matériau complexe (limon et sol enterré).

#### Description du profil :

0 - 18 cm : Horizon beige brun couleur homogène ; sec ; sablo-limoneux (sables fins) ; structure particulière, bon enracinement, bonne porosité ; calcaire diffus, effervescence forte (+) ; limite tranchée.

Ap

---

(1) - Dossier 647 du Service des Sols des Services Scientifiques

Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy.

- 18 - 47 cm : Horizon beige plus clair, couleur homogène ; structure  
A : particulaire plus tassée, finement sableux ; quelques  
passant à : débris de coquilles d'Hélix, racines moins nombreuses ;  
A - C : calcaire diffus, effervescence (++) ; limite distincte  
irrégulière faiblement ondulée (0,5 sur 25 cm).
- 47/55- 85 cm : Horizon brun foncé de couleur non homogène avec taches  
II - A<sub>12</sub> : très noires charbonneuses (Ø 10 cm) ; compact, peu de  
racines ; calcaire ; nombreux débris de coquilles d'Hélix  
à la base.
- 85 - 106 cm : Horizon brun plus clair de couleur homogène, à pseudo-  
II - A<sub>12</sub>Ca : mycélium calcaire ; sableux, structure particulaire très  
tassée, horizon très compact, pas de racines, avec passa-  
ge progressif.
- 106 - 170 cm : Limon sableux, beige très clair, très calcaire, très  
II - C<sub>Ca</sub> : compact, accumulation calcaire sous forme de petits no-  
dules (Ø 3 à 4 cm) très abondants à partir de 150 cm.

Profil n° 2 D 647 (QUAR 1)

Les coordonnées géographiques de ce profil sont les suivantes : longitude 10° 19' 26" E, latitude 35° 59' 11" N et altitude 26 mètres. Le matériau originel est également un limon à nodules ; la pluviométrie est de l'ordre de 300 mm avec écarts annuels considérables ; la température annuelle moyenne est 19°3 C. Ce sol se trouve dans une plaine couverte par une végétation de jeunes oliviers. C'est un Sol brun subtropical modal jeune sur matériau complexe (limon, sol enterré).

Description du profil :

- 0 - 28 cm : Horizon beige brun de couleur homogène ; texture fine-  
ment sablo-limoneuse ; sec, très friable, plus compact

- Ap - 0 à 15 cm      à partir de 20 cm ; structure particulière ; calcaire diffus, effervescence (+) ; bon enracinement ; poreux ;
- A<sub>1</sub> - 15 à 28 cm      matériau originel très peu abondant ; limite distincte et régulière.
- 
- 28 - 55 cm      : Horizon beige brun de couleur homogène ; sablo-limoneux ; très calcaire (les nodules calcaires, effervescence forte (++)) ; les nodules apparaissent peu nombreux au sommet et plus nombreux à la base de l'horizon ; enracinement moyen ; structure particulière serrée, horizon assez compact ; limite brutale.
- A<sub>12</sub>
- 
- 55 - 85 cm      :
- A<sub>Ca</sub>
- 
- 85 - 140 cm      : Horizon brun à brun foncé, plus organique, argilo-sableux ; très compact à structure massive ; très faible enracinement ; pseudomycélium calcaire, moyennement abondant ; traces de marmorisation ancienne sous-forme de petites taches rouilles à limite peu nette (Ø 3 à 4 mm).
- II - A<sub>1</sub>
- 
- inf. 140 cm      : Limon beige clair, à sable fin ; calcaire ; nodules peu abondants à 140 cm ; structure particulière serrée, assez compact.
- II - C

Profil n° 3 D - 647 (ZIT 93)

Ce sol de la région de Bou Ficha-Oued Zit a les coordonnées suivantes : longitude 10° 17' 55" E, latitude 36° 24' 1" N et altitude 90 mètres. Le matériau originel est un limon quaternaire fluviatile ; la pluviométrie annuelle est d'environ 400 mm ; l'aspect topographique montre une pente légère ; il est sous culture

de céréales. Ce sol est classé comme Sol châtain rouge subtropical modal et encroûté en profondeur sur limon rouge.

Description du profil :

- 0 - 25 cm : Couleur 5 YR 3/4 ; texture sablo-argileuse ; structure en éclats polyédriques ; surstructure en gros éléments prismatiques de 15 à 20 cm Ø ; non calcaire ; perméable.  
Ap - A<sub>11</sub>
- 25 - 75 cm : Couleur 5 YR 5/6 ; texture argilo-sableuse ; structure prismatique cubique de 1 cm Ø, allongée au sommet, en cubes de plus en plus plats à la base ; agrégats revêtus d'argile et de matière organique ; non calcaire (des traces de calcaire à la base) ; peu poreux.  
B<sub>21</sub>
- 75 - 100 cm : Couleur 5 YR 5/6 ; texture argilo-sableuse, structure finement polyédrique, calcaire ; présence de pseudomycélium et de nodules calcaires blancs, pâteux ; macroporeux.  
B<sub>22</sub>Ca
- 100 - 135 cm : Couleur 5 YR 5/6 ; texture sablo-argileuse à argilo-sableuse ; structure finement polyédrique dont les polyèdres tendent à s'aplatir ; calcaire ; présence de nodules calcaires blancs, pâteux ; macroporeux.  
B<sub>23</sub>Ca
- 135 - 175 cm : Couleur 5 YR 5/8 ; sablo-argileux à argilo-sableux ; structure en éclats ordonnés en grands feuillets épais ; présence de petites poupées calcaires alignées verticalement, très dures et d'amas calcaires à enveloppe dure ; présence de pseudomycélium tubulaire macroporeux.  
C. Ca

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES GENERALES DES SOLS ETUDIES

Analyse granulométrique : Matière organique, Humidité, CO<sub>3</sub>Ca

Les sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Refus 2mm %	ARG %	LMF %	LMG %	SBF %	SBG %	Mat.Org. %	Humidité %	CO <sub>3</sub> Ca %
644-1.1	0-25	Tr	24.0	38.5	20.5	11.5	0.5	2.1	2.9	19
644-1.2	25-50	"	22.5	41.0	25.0	7.0	0.2	1.5	2.8	17
644-1.3	50-70	"	23.0	42.0	23.5	6.5	1.2	1.0	2.8	19
644-1.4	70-110	"	20.5	35.5	29.5	11.0	0.5	0.8	2.2	22
644-2.1	0-5	"	44.0	36.0	9.5	2.5	0.5	2.5	5.0	3.3
644-2.2	5-25	"	48.5	32.5	9.0	2.0	0.5	2.1	5.4	3.0
644-2.3	25-50	"	53.0	27.0	9.0	2.5	1.5	1.2	5.8	3.7
644-2.4	50-70	"	52.0	27.5	9.0	3.5	1.9	0.7	5.4	15.4
644-2.5	70-110	"	31.5	35.5	21.0	6.5	2.3	0.3	2.9	43.7
644-3.1	0-10	"	38.0	37.5	12.0	2.0	0.5	4.6	5.4	0.7
644-3.2	10-25	"	50.5	32.0	2.5	6.0	0.5	2.2	6.3	0.2
644-3.3	25-40	"	50.5	28.5	10.5	1.5	0.4	1.9	6.7	Tr.
644-3.4	40-55	4.0	52.5	27.5	9.5	1.0	0.7	1.9	6.9	0.1
644-3.5	55-70	1.3	33.0	36.0	12.5	7.0	5.9	1.1	4.5	28.3
644-4.1	0-10	Tr	43.0	36.5	11.0	1.0	0.2	3.5	4.8	0.2
644-4.2	10-25	"	46.0	33.5	10.0	2.0	0.3	2.8	5.4	0.2
644-4.3	25-45	"	54.0	27.0	10.0	1.5	0.1	1.0	6.4	0.2
644-4.4	45-65	"	47.0	35.0	10.0	1.0	0.1	0.9	6.0	0.3
644-4.5	65-80	"	22.0	40.0	11.5	9.0	13.0	0.9	3.6	23.4

Les sols du MAROC

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Refus 2mm %	ARG %	LMF %	LMG %	SBF %	SBG %	Mat.Org. %	Humidité %	CO <sub>3</sub> Ca %
650-1.1	0-5	1.3	22.5	32.0	14.5	18.5	6.3	2.1	4.1	15.5
650-1.2	5-20	1.0	25.0	30.0	14.5	18.5	5.5	2.0	4.5	15.7
650-1.3	20-35	2.2	31.0	27.0	13.5	17.0	5.0	1.6	4.9	16.5
650-1.4	35-65	8.4	34.5	25.5	12.5	15.5	7.2	0.7	4.1	26.0
650-1.5	65-90	7.0	31.5	26.5	12.0	15.5	10.1	0.5	3.9	32.8
650-1.6	90-120	7.6	31.5	30.5	8.5	17.0	8.9	0.3	3.3	39.2
650-2.1	0-5	7.0	17.0	19.0	16.0	32.0	10.6	2.6	2.8	9.2
650-2.2	5-15	8.5	18.5	18.5	16.0	32.0	10.2	2.1	2.7	9.4
650-2.3	15-30	1.4	24.5	17.0	16.0	29.0	9.1	1.2	3.2	13.5
650-2.4	30-65	4.2	27.5	14.5	16.0	28.0	10.0	0.7	3.3	21.1
650-2.5	65-85	1.3	23.0	18.5	19.0	27.5	8.1	0.5	2.9	26.6
650-2.6	85-115	3.9	25.0	18.5	22.5	25.5	5.2	0.3	3.0	27.5
650-3.1	0-10	0.7	28.0	16.0	11.0	32.0	6.8	2.1	4.1	6.2
650-3.2	10-20	0.6	27.0	17.0	11.0	31.5	7.0	1.9	4.6	6.2
650-3.3	20-35	Tr.	32.5	14.5	10.5	29.5	7.4	1.3	4.3	10.7
650-3.4	35-50	2.2	32.5	15.5	11.0	26.5	9.8	0.7	4.0	18.4
650-3.5	50-65	1.2	34.0	14.5	11.0	25.0	10.7	0.6	4.2	16.2
650-3.6	65-95	9.9	34.0	16.0	12.0	22.5	11.6	0.4	3.5	19.2
650-3.7	95-120	7.8	31.5	19.5	10.5	18.5	16.3	0.3	3.4	39.6
650-4.1	0-10	1.8	39.5	18.5	15.5	16.5	2.9	2.0	5.1	7.9
650-4.2	10-30	2.5	42.0	15.0	15.0	16.5	4.1	1.9	5.5	9.8
650-4.3	30-50	22.8	39.5	22.0	13.0	14.5	6.6	0.7	3.7	32.3
650-4.4	50-75	20.1	34.0	22.0	12.0	14.0	13.9	0.3	3.8	40.6
650-4.5	75-100	27.8	30.0	22.5	11.5	15.0	17.7	0.2	3.1	44.8
650-4.6	100-125	7.6	38.0	26.5	14.5	8.5	8.1	0.2	4.2	32.3
650-5.1	0-5	0.4	29.0	6.5	8.0	41.5	9.5	2.3	3.2	0.7
650-5.2	5-15	0.5	29.5	6.5	8.5	40.5	9.2	2.2	3.6	0.9
650-5.3	15-30	2.4	31.0	6.0	7.5	40.0	10.3	1.6	3.6	0.5
650-5.4	30-45	Tr.	39.0	7.0	6.5	33.0	8.9	1.4	4.2	1.3
650-5.5	45-60	"	45.5	4.5	6.0	29.0	8.5	1.2	5.3	1.9
650-5.6	60-75	3.3	50.5	7.0	6.0	22.5	7.7	0.9	5.4	7.6
650-5.7	75-95	20.0	40.5	19.0	7.5	17.0	10.9	0.6	4.5	29.8

Analyse granulométrique : Matière organique, Humidité, CO<sub>3</sub>Ca

Les sols du NIGER

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Refus 2mm %	ARG %	LMF %	LMG %	SBF %	SBG %	Mat.org. %	Humidité %	CO <sub>3</sub> Ca %
663-1.2	3-15	Tr.	24.0	14.5	8.0	38.5	11.2	0.7	3.1	Tr.
663-1.4	60-70	"	35.5	13.0	6.5	30.5	10.2	0.5	3.8	2.3
663-2.1	0-10	"	2.0	1.0	2.5	67.0	26.7	0.3	0.5	Tr.
663-2.3	40-50	"	2.0	1.0	1.5	64.5	30.5	0.1	0.4	0.7
663-2.5	190-200	"	1.0	1.0	1.5	66.0	30.1	0.03	0.4	2.1
663-3.1	0-10	"	3.0	2.0	2.5	58.5	32.9	0.3	0.8	Tr.
663-3.3	25-35	"	5.5	3.5	2.5	57.0	30.4	0.2	0.9	"
663-3.6	190-200	"	4.0	2.5	3.0	60.5	29.0	0.1	0.9	"
663-4.1	0-10	"	7.0	5.5	3.5	53.0	29.0	0.8	1.2	"
663-4.2	30-40	1.2	12.0	5.0	4.0	46.5	30.4	0.3	1.8	"
663-5.1	0-10	Tr.	1.5	2.5	3.5	56.0	35.5	0.3	0.7	"
663-5.2	15-25	"	2.0	2.5	2.5	56.5	35.5	0.2	0.8	"
663-5.3	40-50	"	6.5	2.0	2.5	54.5	33.8	0.1	0.6	"
663-6.1	0-10	"	13.5	13.5	5.0	44.5	20.5	1.1	1.9	0.1
663-6.2	15-25	"	13.0	7.0	8.5	48.0	21.7	0.4	1.4	0.1
663-6.3	45-55	2.0	25.5	5.5	5.5	38.0	22.5	0.3	2.7	0.1

Analyse granulométrique : Matière organique, Humidité, CO<sub>3</sub>Ca

Les sols de TUNISIE

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Refus 2mm %	ARG %	LMF %	LMG %	SBF %	SBG %	Mat.org. %	Humidité %	CO <sub>3</sub> Ca %
647-1.1	0-15	Tr.	8.5	4.0	5.5	62.5	17.4	0.8	1.3	1.8
647-1.2	15-35	"	9.0	3.0	5.0	64.0	17.0	0.5	1.5	0.8
647-1.3	35-47	"	9.5	3.0	5.0	64.0	16.7	0.4	1.4	2.3
647-1.4	47-65	"	10.5	4.5	4.5	60.0	18.4	0.5	1.6	1.7
647-1.5	70-85	"	14.0	3.5	4.0	58.5	17.3	0.4	2.3	1.6
647-1.6	85-106	"	12.5	4.5	3.5	60.5	16.9	0.3	1.8	3.3
647-1.7	110-125	"	13.5	7.0	3.0	57.5	17.3	0.2	1.5	14.2
647-2.1	0-15	3.4	10.5	5.5	8.5	52.0	21.1	0.7	1.7	6.5
647-2.2	15-28	2.8	13.0	5.0	8.5	51.0	20.5	0.5	1.5	7.8
647-2.3	35-50	1.8	13.0	7.0	9.0	51.5	17.6	0.4	1.5	9.4
647-2.4	60-75	0.8	20.0	8.5	11.5	46.0	11.3	0.4	2.3	10.1
647-2.5	100-125	2.0	34.0	13.5	8.0	24.0	15.7	0.8	4.0	8.6
647-3.1	0-20	0.8	16.0	4.0	9.0	40.5	24.2	1.2	5.1	0.1
647-3.2	30-50	0.5	37.5	6.0	8.0	28.5	15.0	0.8	4.2	0.1
647-3.3	50-75	Tr.	37.5	7.0	8.5	27.5	14.7	0.6	4.2	0.7
647-3.4	75-95	4.9	26.0	22.0	9.0	24.5	15.2	0.3	3.0	28.7
647-3.5	110-130	5.8	21.0	29.5	11.0	26.0	10.5	0.2	1.8	34.5

Position texturale des sols d'Iran sur le triangle des textures ( I.N.R.A. )

Profil N° 1

0 - 25 Cm \*

25 - 50 " \*

50 - 70 " .

70 - 110 " .

Profil N° 2

0 - 5 Cm ◻

5 - 25 " ◻

25 - 50 " ◻

50 - 70 " ◻

70 - 110 " ◻

Profil N° 3

0 - 10 Cm ○

10 - 25 " ⊙

25 - 40 " ⊙

40 - 55 " ⊙

55 - 70 " ⊙

0 - 10 Cm ◊

10 - 25 " ◊

25 - 45 " ◊

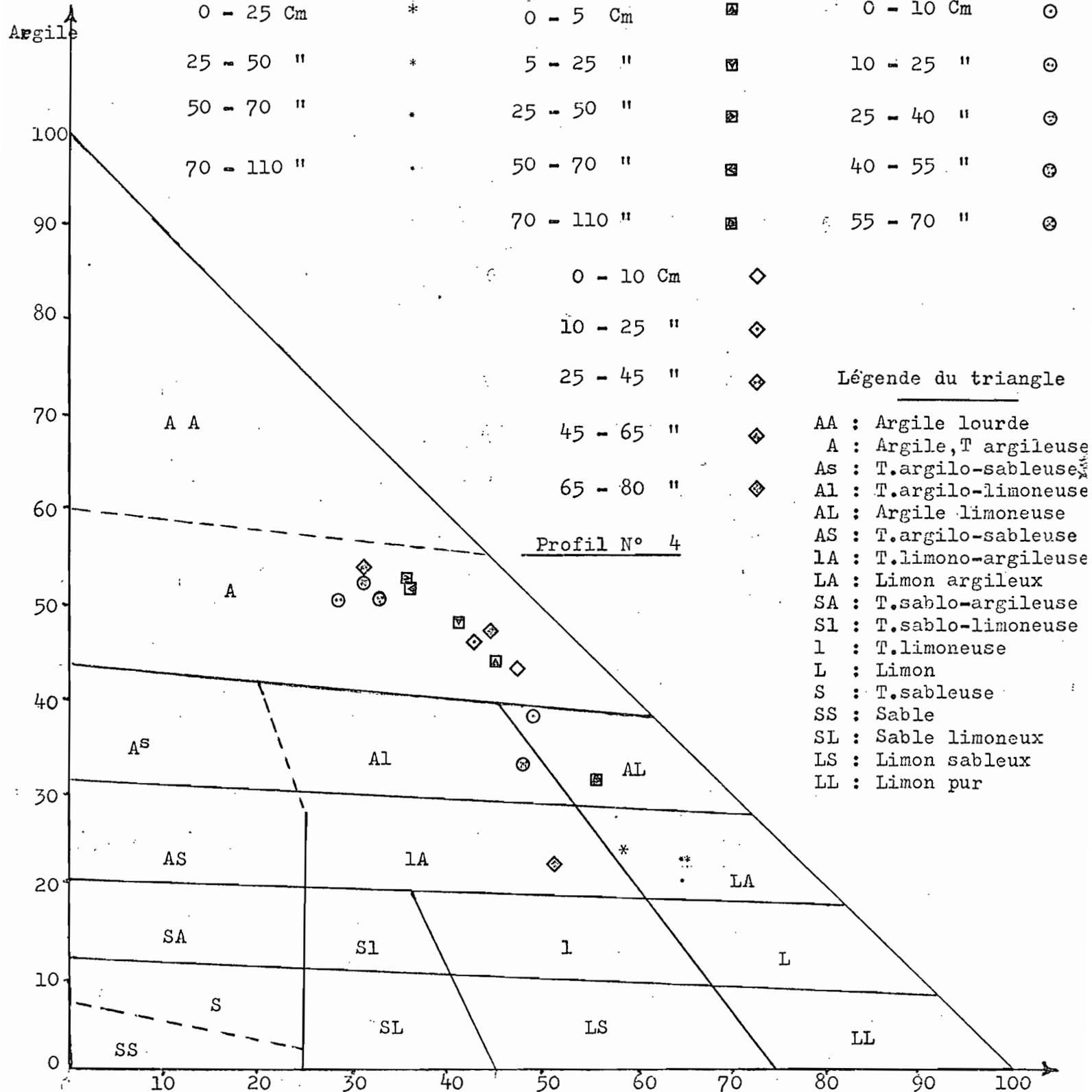
45 - 65 " ◊

65 - 80 " ◊

Profil N° 4

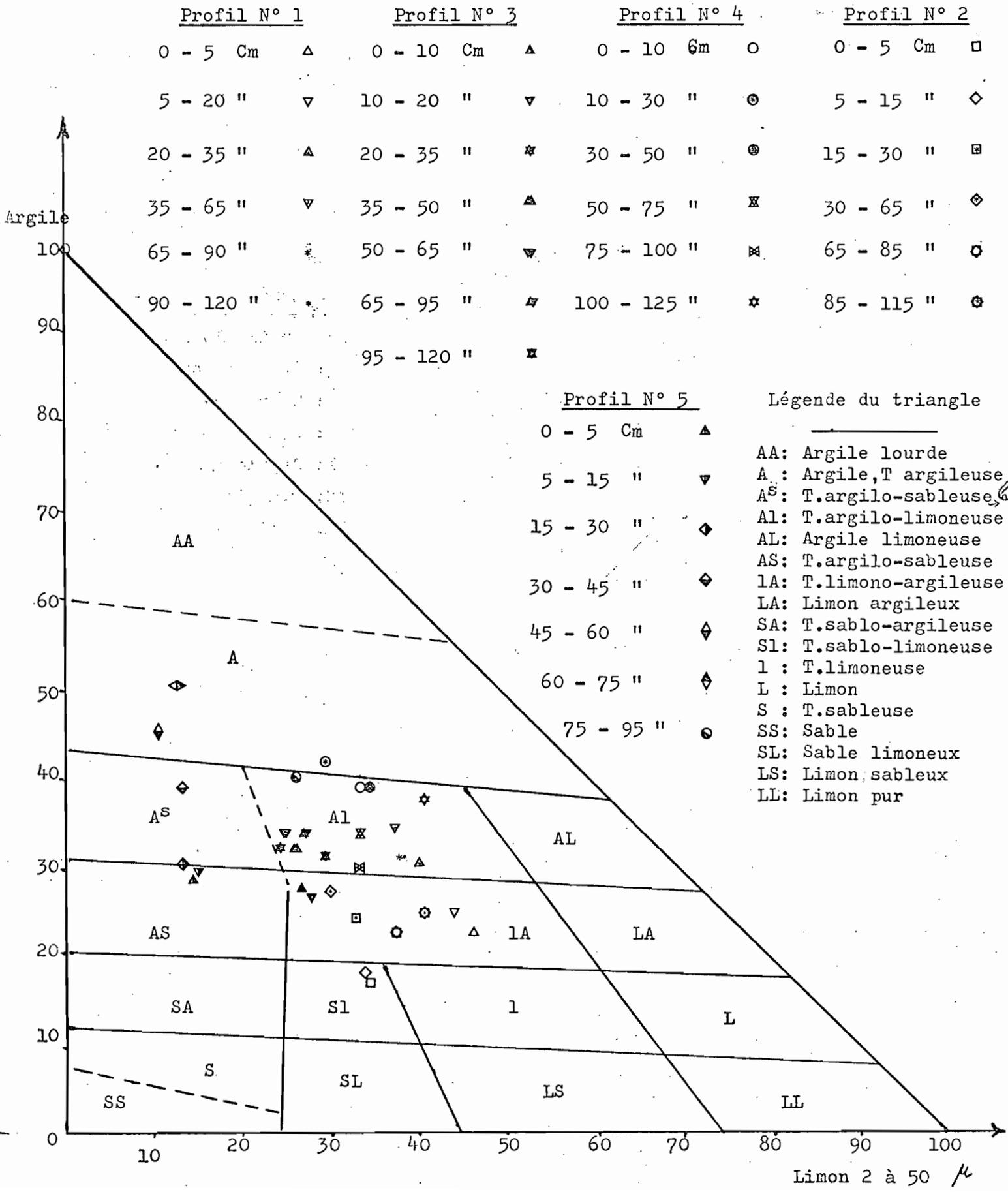
Légende du triangle

- AA : Argile lourde
- A : Argile, T argileuse
- As : T. argilo-sableuse
- Al : T. argilo-limoneuse
- AL : Argile limoneuse
- AS : T. argilo-sableuse
- LA : T. limono-argileuse
- LA : Limon argileux
- SA : T. sablo-argileuse
- Sl : T. sablo-limoneuse
- l : T. limoneuse
- L : Limon
- S : T. sableuse
- SS : Sable
- SL : Sable limoneux
- LS : Limon sableux
- LL : Limon pur



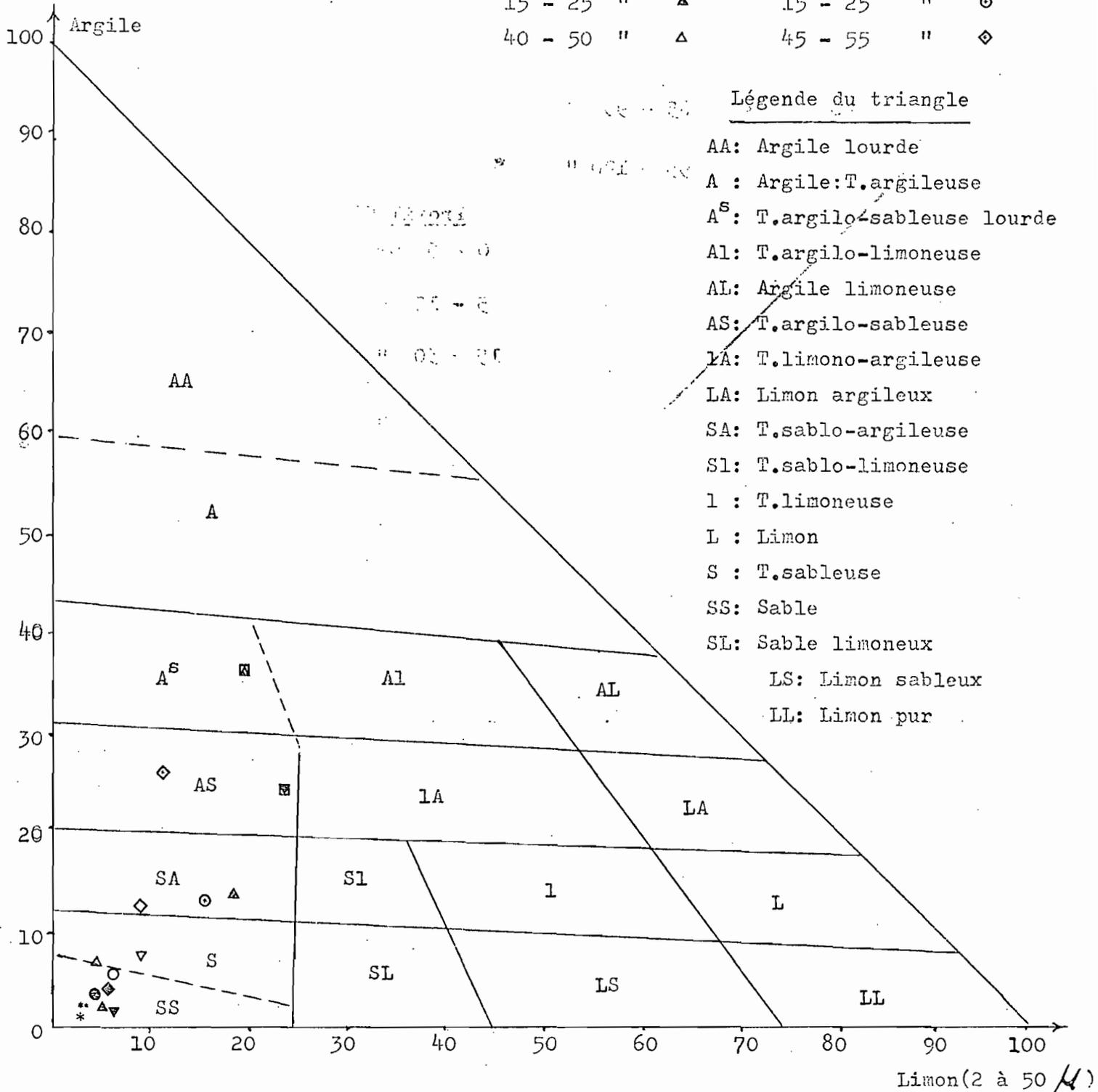
u

Position texturale des sols du Maroc sur le triangle des textures (I.N.R.A. ).



Position texturale des sols du Niger sur le triangle des textures (I.N.R.A.).

Profil N° 1		Profil N° 2		Profil N° 3	
3 - 18 Cm	■	0 - 10 Cm	•	0 - 10 Cm	⊙
60 - 70 "	■	40 - 50 "	•	25 - 35 "	○
Profil N° 4		190 - 200 "	*	190 - 200 "	◆
0 - 10 Cm	▽	Profil N° 5		Profil N° 6	
30 - 40 Cm	◇	0 - 10 Cm	▽	0 - 10 Cm	▲
		15 - 25 "	▲	15 - 25 "	⊙
		40 - 50 "	▲	45 - 55 "	◇

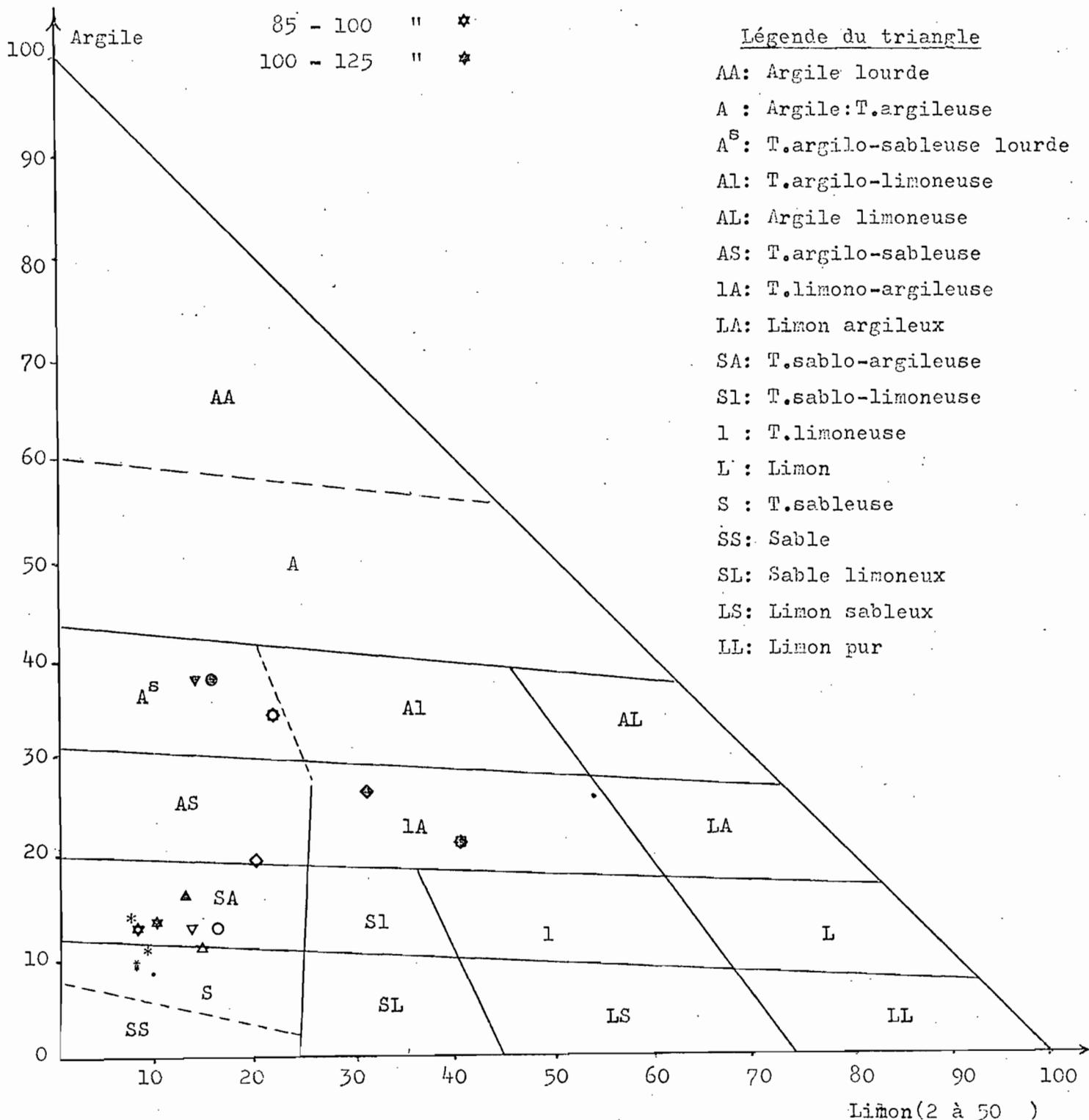


Position texturale des sols de Tunisie sur le triangle des textures(I.N.R.A).

Profil N° 1				Profil N° 2				Profil N° 3			
0 - 15	Cm	*		0 - 15	Cm	△		0 - 20	Cm	△	
20 - 35	"	*		15 - 28	"	▽		30 - 50	"	▽	
35 - 50	"	*		35 - 50	"	○		50 - 70	"	⊙	
50 - 65	"	*		60 - 75	"	◇		70 - 95	"	◇	
70 - 85	"	*		100 - 120	"	⊛		110 - 130	"	⊛	
85 - 100	"	*									
100 - 125	"	*									

Légende du triangle

- AA: Argile lourde
- A : Argile:T.argileuse
- A<sup>S</sup>: T.argilo-sableuse lourde
- Al: T.argilo-limoneuse
- AL: Argile limoneuse
- AS: T.argilo-sableuse
- lA: T.limono-argileuse
- LA: Limon argileux
- SA: T.sablo-argileuse
- Sl: T.sablo-limoneuse
- l : T.limoneuse
- L : Limon
- S : T.sableuse
- SS: Sable
- SL: Sable limoneux
- LS: Limon sableux
- LL: Limon pur



Limón(2 à 50 )

Le pH (eau, KCl), Phosphore (total, assimilable), Fer (libre, total), calcaire actif.

Les sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	pH.E eau	pH.K KCl	P.T ‰	P.aO ppm	Fer total %	FEL %	FEL/FE %	Calcaire actif ‰
644-1.1	0-25	8.2	7.3	1.65	55	4.4	1.7	0.39	47
644-1.2	25-50	8.2	7.4	1.49	35	4.6	1.9	0.41	43
644-1.3	50-70	8.3	7.4	1.37	30	4.7	2.0	0.42	47
644-1.4	70-110	8.4	7.5	1.37	25	4.3	0.9	0.21	41.5
644-2.1	0-5	8.4	7.2	1.37	55	5.5	0.9	0.16	18.5
644-2.2	5-25	8.4	7.2	1.33	30	5.7	0.9	0.16	20
644-2.3	25-50	8.6	7.2	1.15	25	6.2	1.1	0.18	18
644-2.4	50-70	9.0	7.7	1.15	15	5.7	0.9	0.16	75
644-2.5	70-110	9.6	8.2	1.19	20	3.8	0.8	0.21	143
644-3.1	0-10	7.8	6.6	0.66	50	5.0	1.8	0.36	12
644-3.2	10-25	7.6	6.3	0.69	25	5.8	2.0	0.34	17.5
644-3.3	25-40	7.6	6.2	0.69	20	6.2	2.2	0.35	19
644-3.4	40-55	8.0	6.7	0.80	55	6.4	2.2	0.34	22
644-3.5	55-70	8.3	7.2	1.03	35	4.4	1.4	0.32	100
644-4.1	0-10	7.6	6.3	1.17	25	6.0	2.1	0.35	9
644-4.2	10-25	7.6	6.3	0.57	20	6.0	2.2	0.37	12
644-4.3	25-45	6.6	5.2	0.23	20	6.8	2.3	0.34	12
644-4.4	45-65	7.0	5.7	0.46	20	6.8	2.2	0.32	14
644-4.5	65-80	8.3	7.2	0.69	30	6.4	1.3	0.20	121.5

Le pH (eau KCl), P<sub>h</sub>osphore (total, assimilable), Fer (libre, total), calcaire actif

Les sols du PAROC

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	pH.E eau	pH.K KCl	P.T ‰	P.a0 ppm	Fer total %	FEL %	FEL/FE %	Calcaire actif ‰
650-1.1	0-5	8.4	7.2	8.59	700	4.2	1.9	0.45	63
650-1.2	5-20	8.8	7.4	8.59	640	4.2	1.9	0.45	65.5
650-1.3	20-35	8.4	7.3	8.47	700	4.3	1.8	0.42	76
650-1.4	35-65	8.7	7.3	7.67	580	4.0	1.6	0.40	98
650-1.5	65-90	9.0	7.4	6.87	440	3.5	1.3	0.37	91
650-1.6	90-120	9.0	7.5	6.30	300	3.0	0.9	0.30	57
650-2.1	0-5	8.8	7.4	68.7	2420	3.1	1.6	0.52	28
650-2.2	5-15	8.9	7.4	66.4	2880	3.2	1.6	0.50	28
650-2.3	15-30	8.8	7.5	58.4	3140	3.2	1.6	0.50	50
650-2.4	30-65	8.7	7.5	49.2	2560	3.0	1.3	0.43	61
650-2.5	65-85	8.8	7.5	52.7	1900	3.0	1.4	0.47	57
650-2.6	85-115	8.7	7.5	39.5	1500	3.0	1.4	0.47	55
650-3.1	0-10	8.7	7.2	55.0	1000	3.8	1.9	0.50	31
650-3.2	10-20	8.7	7.2	55.0	1100	3.9	1.9	0.49	31
650-3.3	20-35	8.6	7.3	51.5	1200	3.8	1.9	0.50	43
650-3.4	35-50	8.5	7.3	47.0	1200	3.8	1.8	0.47	52
650-3.5	50-65	8.5	7.3	47.0	1040	4.0	2.0	0.50	44
650-3.6	65-95	8.7	7.4	44.7	820	4.0	1.9	0.48	46
650-3.7	95-120	8.9	7.5	34.9	640	2.8	1.3	0.46	79
650-4.1	0-10	8.1	7.0	2.18	175	5.2	2.5	0.48	41
650-4.2	10-30	8.2	7.1	1.83	178	5.2	2.5	0.48	51
650-4.3	30-50	8.4	7.2	1.60	145	4.4	2.0	0.45	118.5
650-4.4	50-75	8.5	7.4	1.26	75	4.0	1.8	0.45	97
650-4.5	75-100	8.6	7.5	1.03	50	3.8	1.6	0.42	77
650-4.6	100-125	8.5	7.2	1.03	24	4.8	1.9	0.40	53
650-5.1	0-5	8.1	6.7	11.7	365	4.2	2.1	0.50	11
650-5.2	5-15	8.1	6.9	11.9	320	4.2	2.2	0.52	11
650-5.3	15-30	8.1	6.8	11.9	224	4.4	2.2	0.50	11
650-5.4	30-45	8.1	6.9	10.3	145	5.2	3.0	0.58	14
650-5.5	45-60	8.1	6.8	10.1	95	5.6	3.3	0.59	16
650-5.6	60-75	8.2	7.0	9.62	212	6.0	3.5	0.58	26
650-5.7	75-95	8.3	7.2	8.24	255	4.8	2.8	0.58	62

Le pH (eau KCl), Phosphore (total, assimilable), Fer (libre, total), calcaire actif

Les sols du NIGER

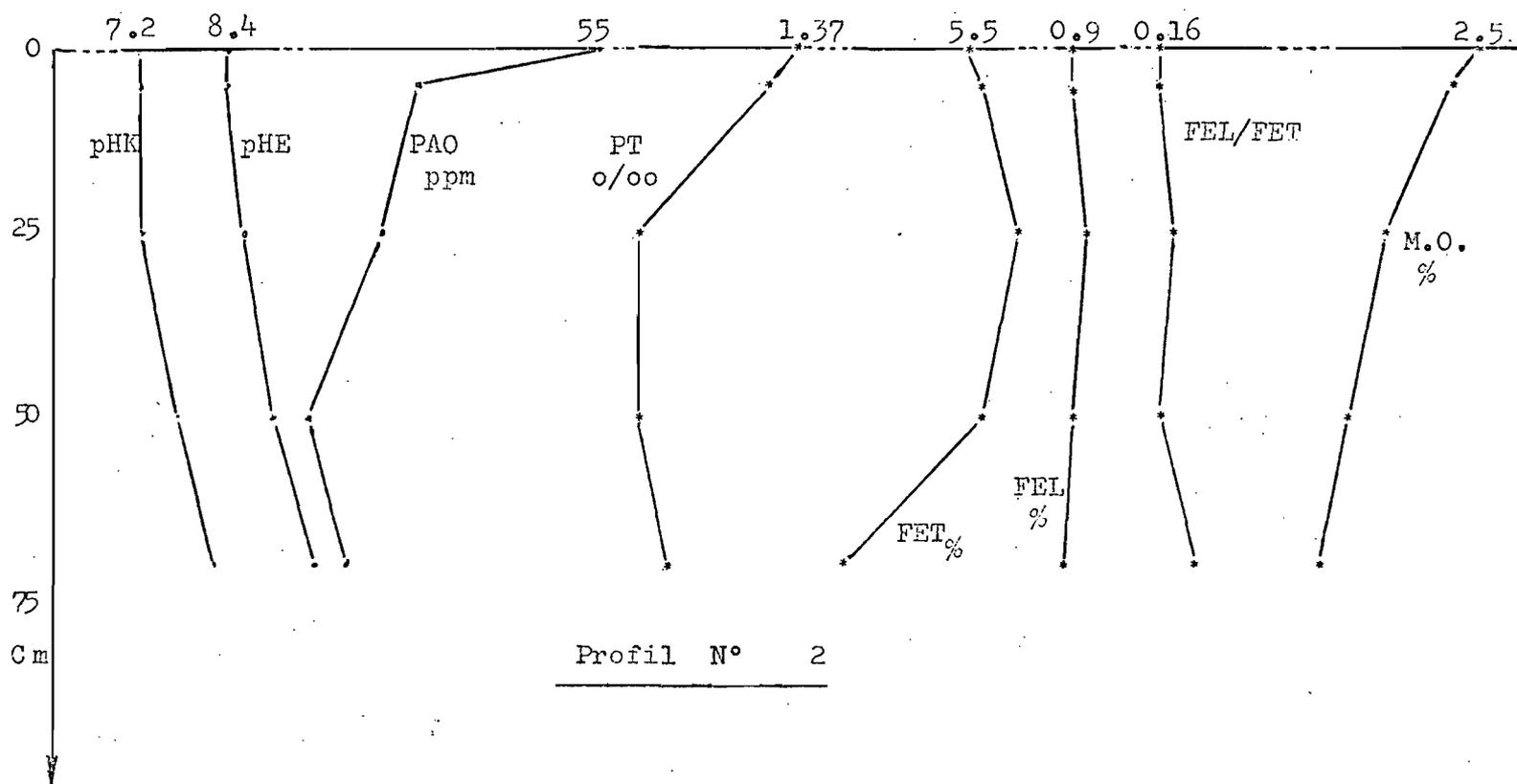
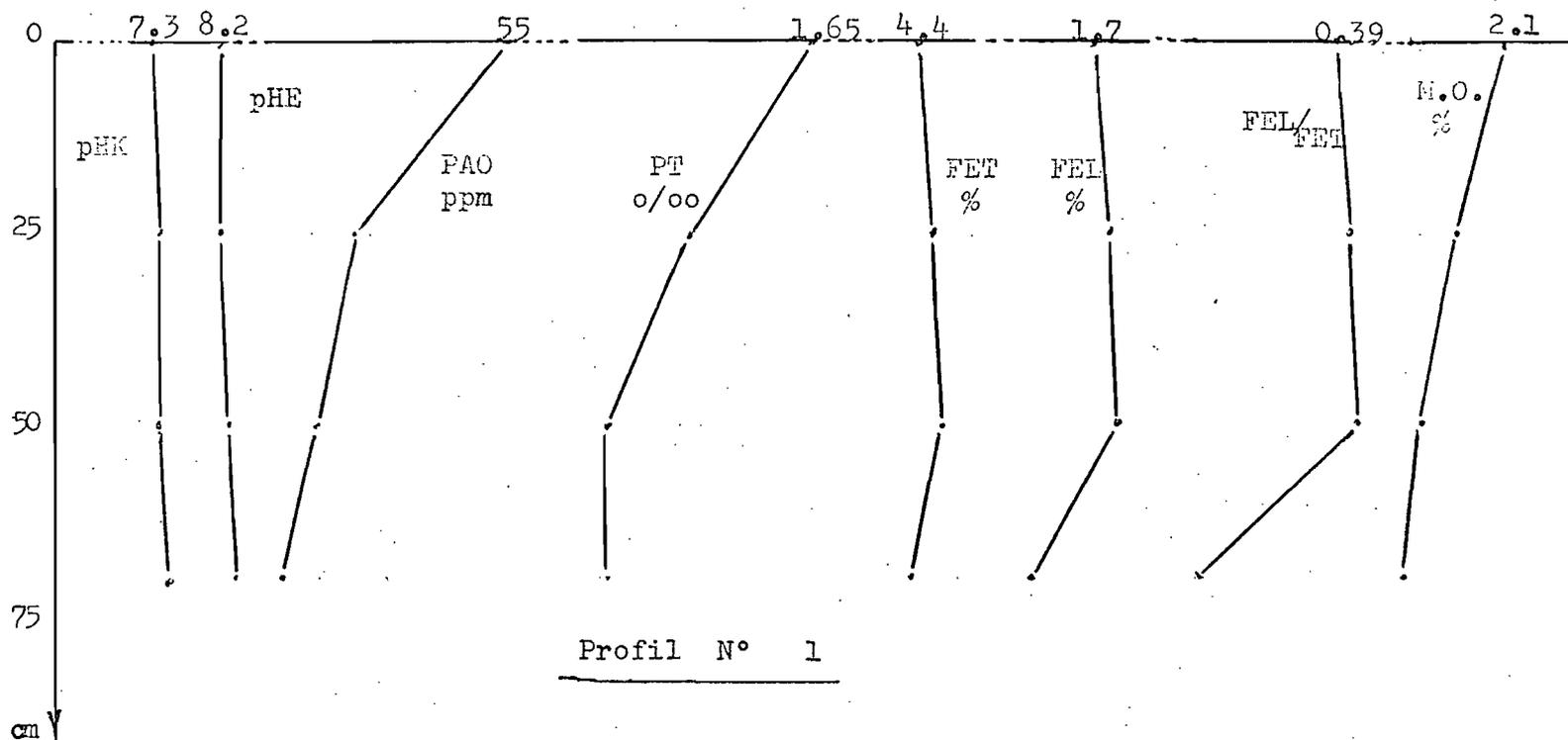
Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	pH.E eau	pH.K KCl	P.T. ‰	P.aO ppm	Fer total %	FEL %	FEL/FE %	Calcaire actif ‰
663-1.2	3-18	7.1	6.2	0.32	20	4.0	2.1	0.53	-
663-1.4	60-70	8.2	7.3	0.32	22	4.6	1.9	0.41	-
663-2.1	0-10	5.9	5.0	0.16	10	1.0	0.8	0.80	-
663-2.3	40-50	5.1	4.3	0.11	9	1.1	0.9	0.82	-
663-2.5	190-200	4.8	4.5	0.11	20	1.0	0.9	0.90	-
663-3.1	0-10	6.5	5.9	0.11	15	0.7	0.5	0.71	-
663-3.3	25-35	6.6	5.3	0.09	8	1.2	0.8	0.67	-
663-3.6	190-200	7.3	6.0	0.09	8	1.0	0.7	0.70	-
663-4.1	0-10	6.5	5.5	0.13	10	2.2	1.6	0.73	-
663-4.2	30-40	7.0	5.6	0.10	5	3.6	2.5	0.69	-
663-5.1	0-10	7.0	6.0	0.10	9	0.6	0.4	0.67	-
663-5.2	15-25	7.0	5.7	0.10	8	0.8	0.5	0.63	-
663-5.3	40-50	6.8	5.5	0.10	8	1.2	0.6	0.50	-
663-6.1	0-10	6.0	5.2	0.23	21	2.4	1.1	0.46	-
663-6.2	15-25	5.6	4.9	0.14	9	2.4	1.3	0.54	-
663-6.3	45-55	7.5	6.8	0.14	8	1.8	épuisé	-	-

Le pH (eau KCl), Phosphore (total, assimilable), Fer (libre, total), calcaire actif

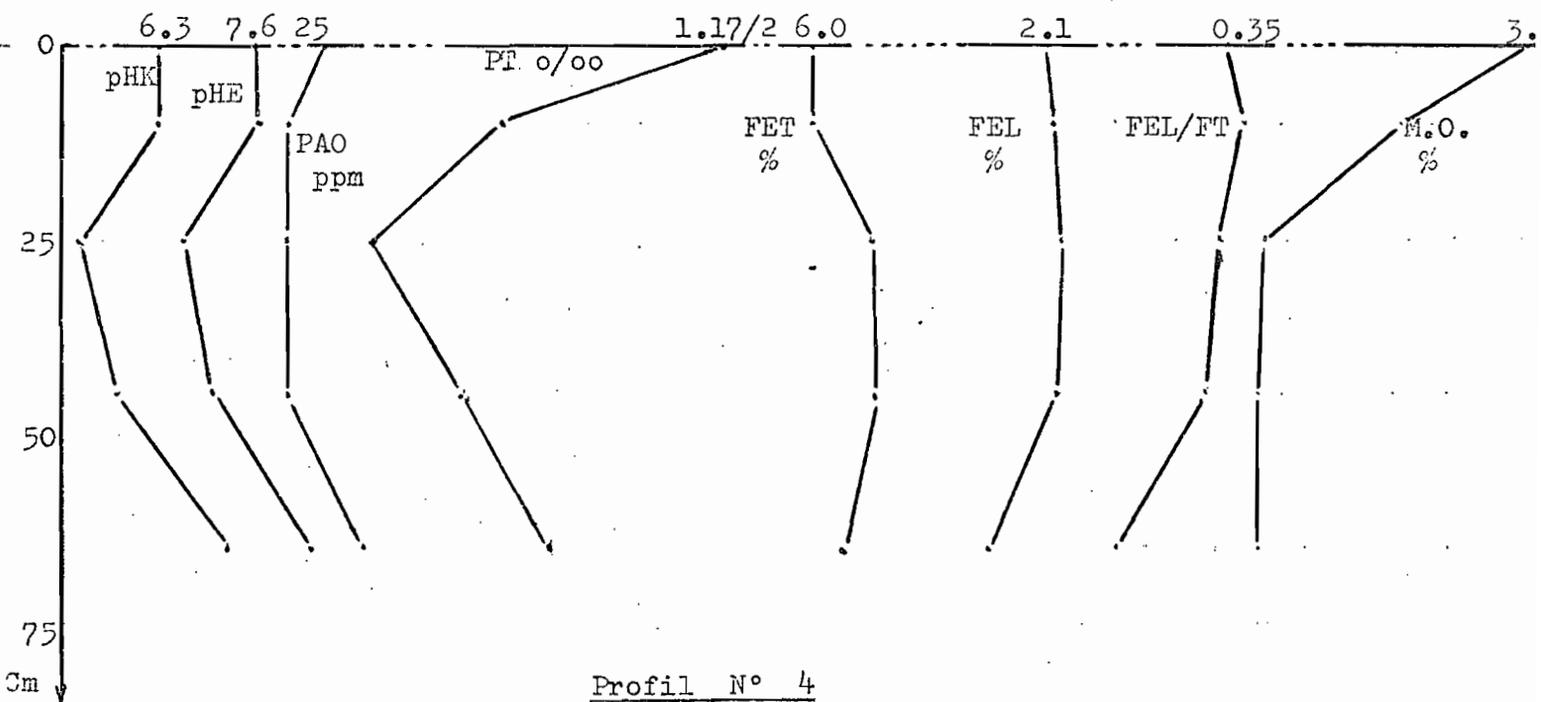
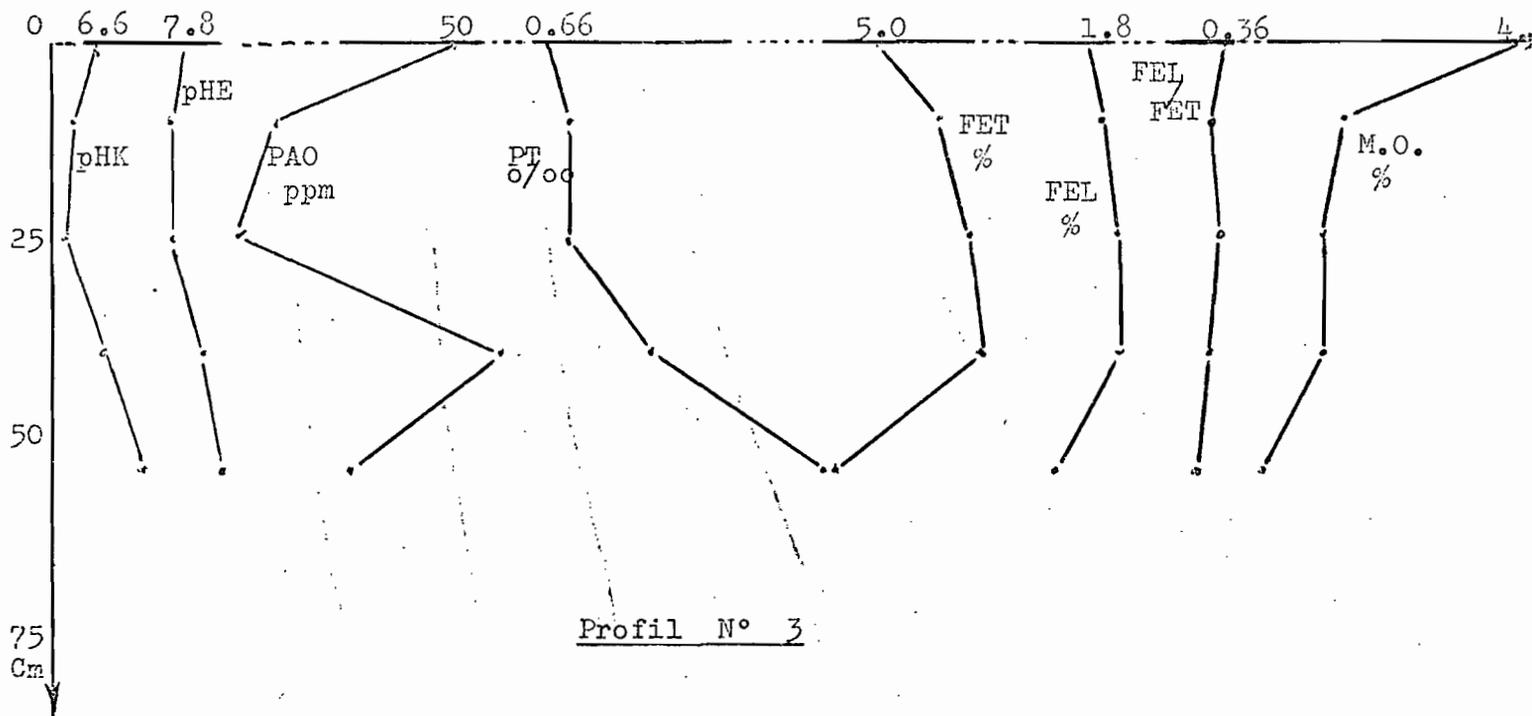
Les sols de TUNISIE

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	pH.E eau	pH.K KCl	P.T % <sub>ca</sub>	P.aO ppm	Fer total %	FEL %	FEL/FE %	Calcaire actif ‰
647-1.1	0-15	8.3	7.4	0.26	35	1.2	0.6	0.50	4
647-1.2	20-35	8.2	7.6	0.22	25	1.3	0.6	0.46	6.5
647-1.3	35-50	8.6	7.7	0.23	32	1.2	0.7	0.58	12
647-1.4	50-65	8.3	7.7	0.33	24	1.4	0.7	0.50	13
647-1.5	70-85	8.4	7.5	0.21	20	1.6	0.8	0.50	14
647-1.6	85-100	8.4	7.6	0.22	24	1.5	0.7	0.47	20
647-1.7	100-125	8.6	7.9	0.27	30	1.1	0.5	0.45	65
647-2.1	0-15	8.4	7.7	0.30	42	1.4	0.8	0.57	18
647-2.2	15-28	8.4	7.6	0.29	40	1.5	0.9	0.60	23
647-2.3	35-50	8.5	7.7	0.30	30	1.6	0.9	0.56	36
647-2.4	60-75	8.4	7.5	0.29	30	3.0	1.5	0.50	55
647-2.5	100-125	8.4	7.2	0.39	28	3.5	1.7	0.48	60
647-3.1	0-20	7.5	6.4	0.31	70	2.2	1.4	0.64	1
647-3.2	30-50	7.8	6.5	0.22	15	4.2	2.3	0.55	5
647-3.3	50-70	8.1	6.9	0.21	13	4.3	2.3	0.53	7
647-3.4	70-95	8.5	7.4	0.21	9	2.7	1.3	0.48	103
647-3.5	110-130	8.5	7.7	0.19	8	2.0	0.9	0.45	115

pH , Phosphore, Fer et la matière organique de profil 1 et 2 des sols de  
I R A N

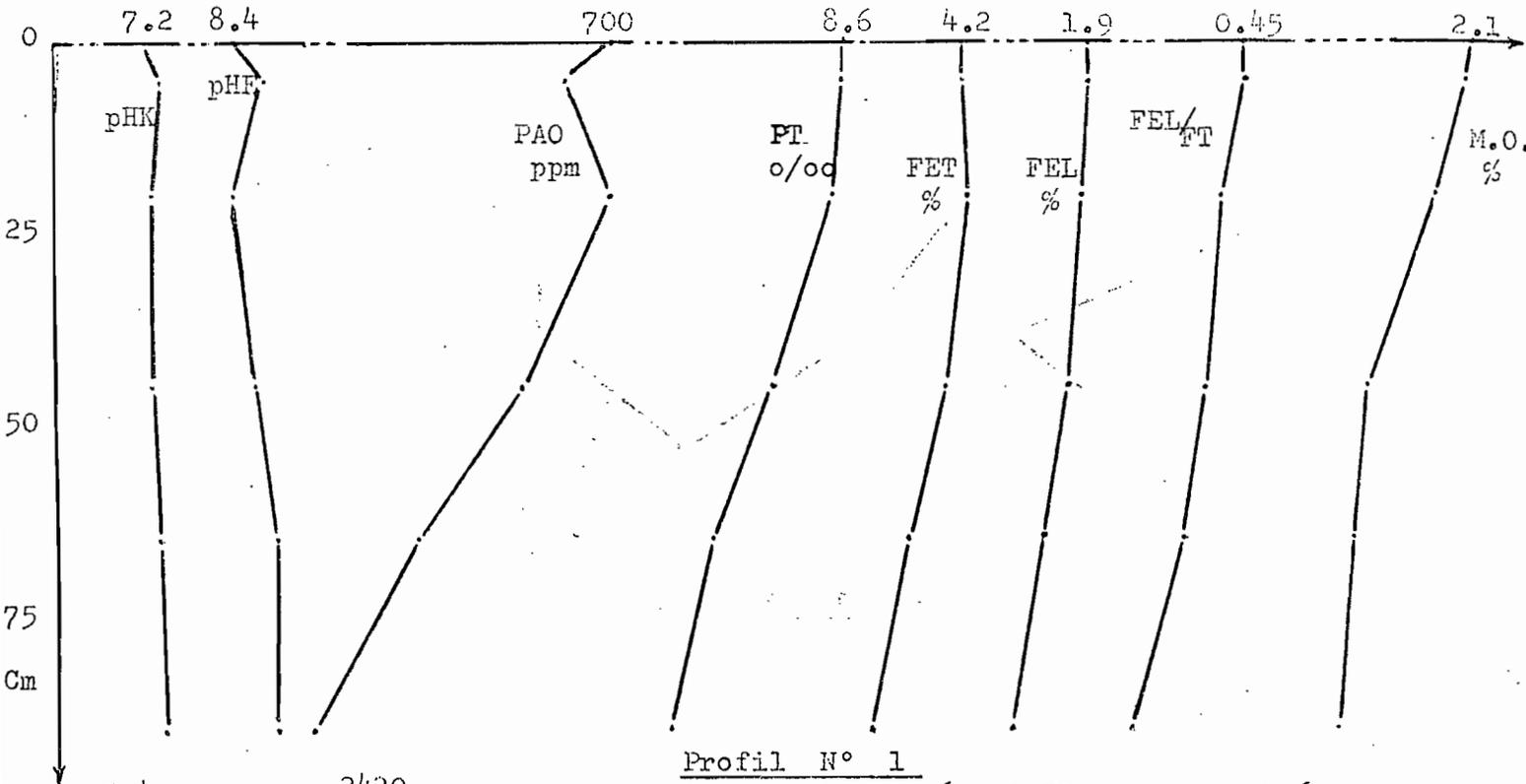


pH , Phosphore , Fer et la matière organique de profil 3 et 4 des sols de  
 I R A N

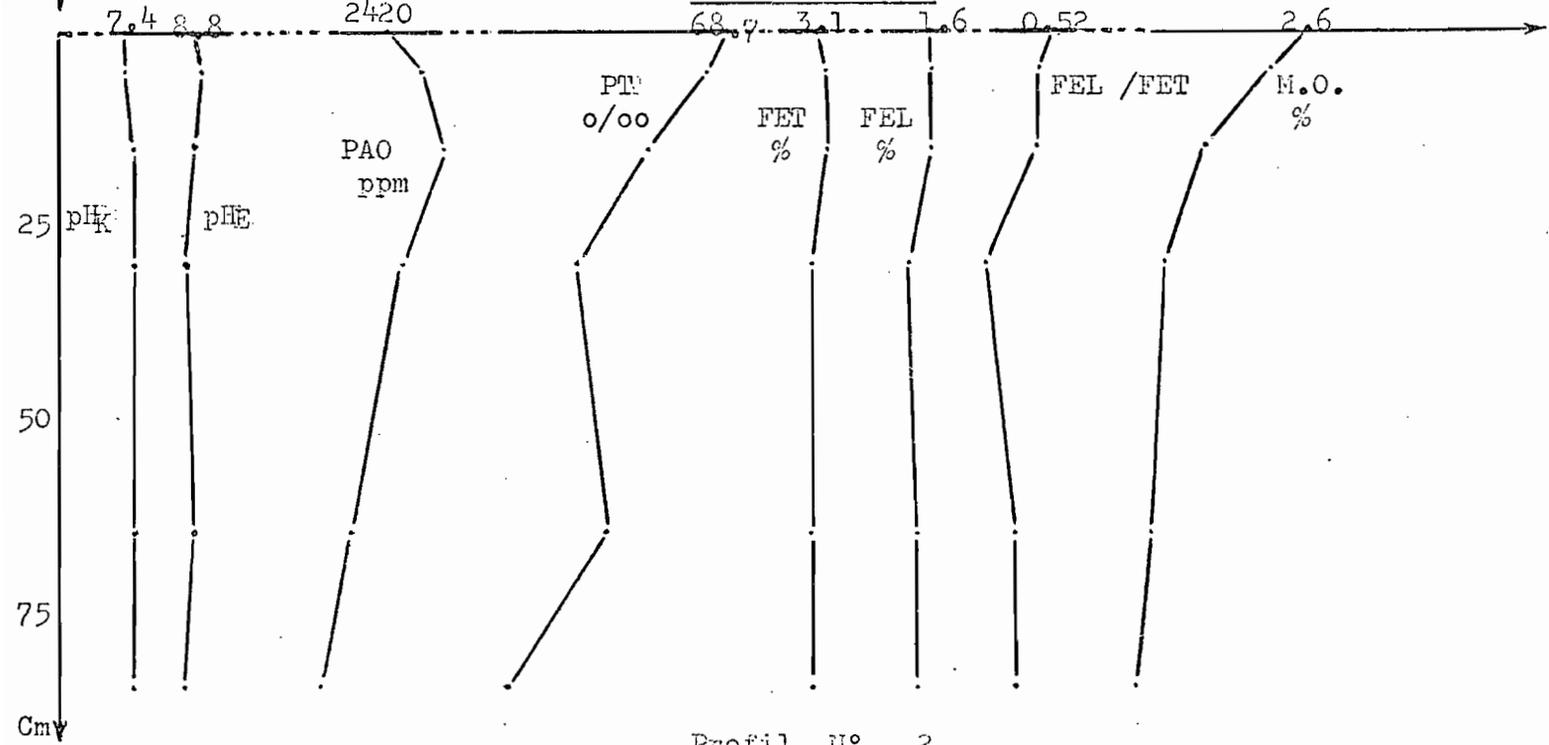


pH , Phosphore , FER et la matière organique du profil 1 et 2 des sols de

M A R O C



Profil N° 1

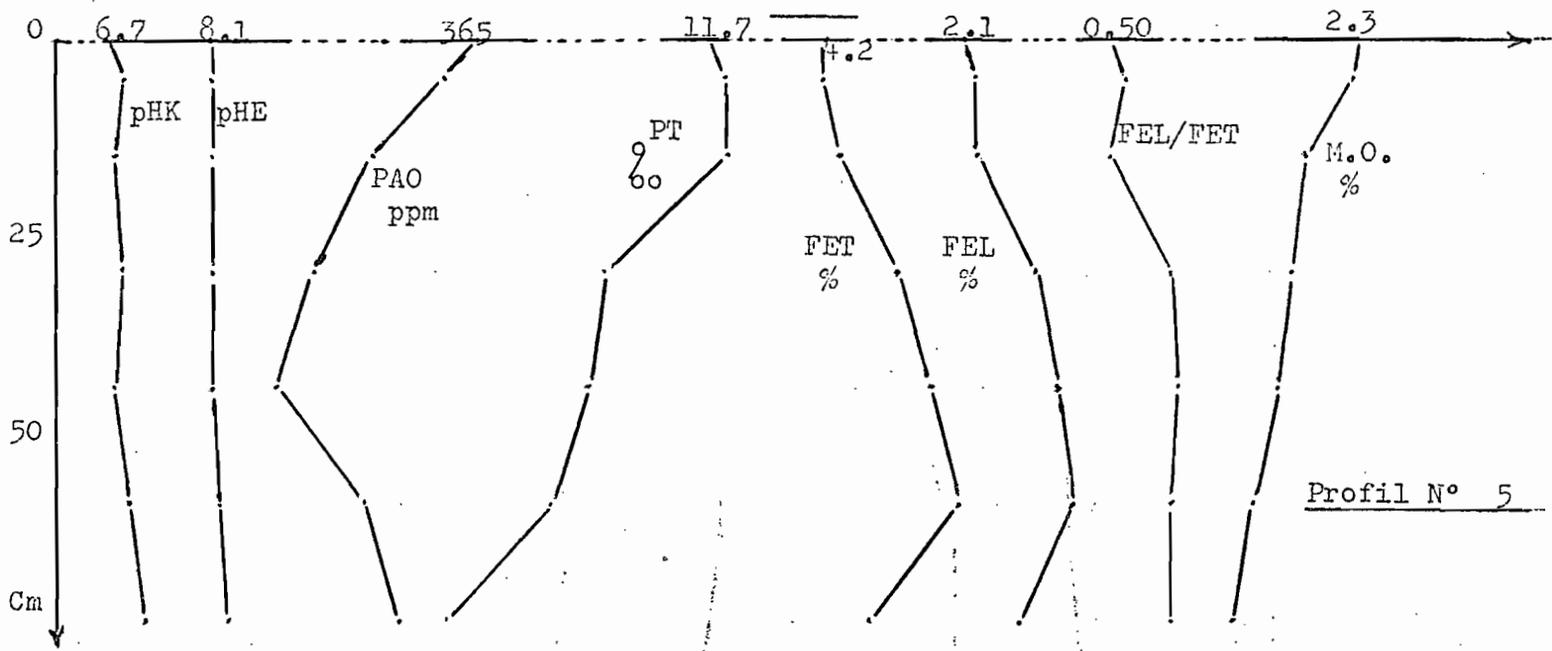


Profil N° 2



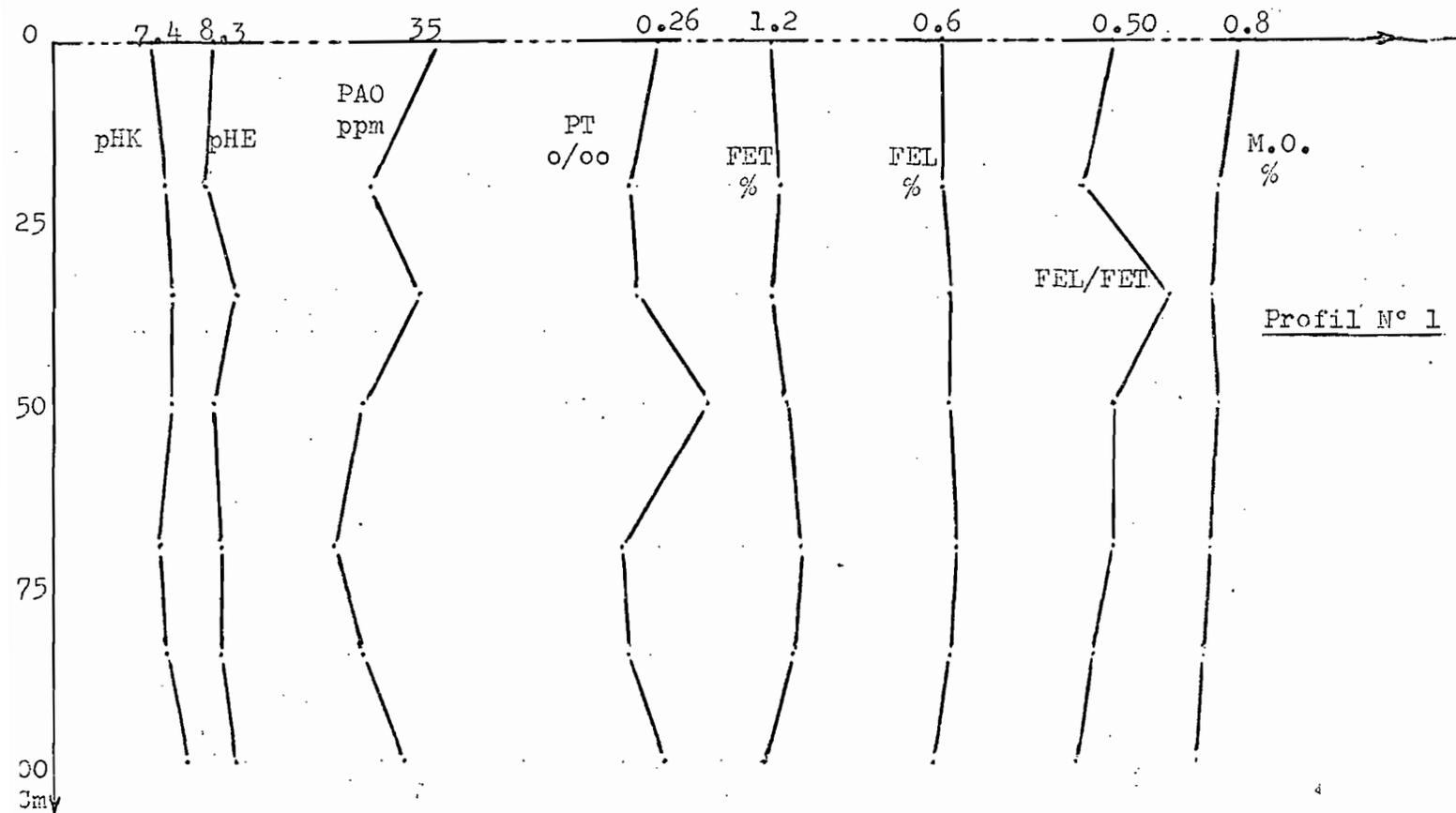
pH , Phosphore , Fer et la matière organique du profil 5 des sols de

M A R O C



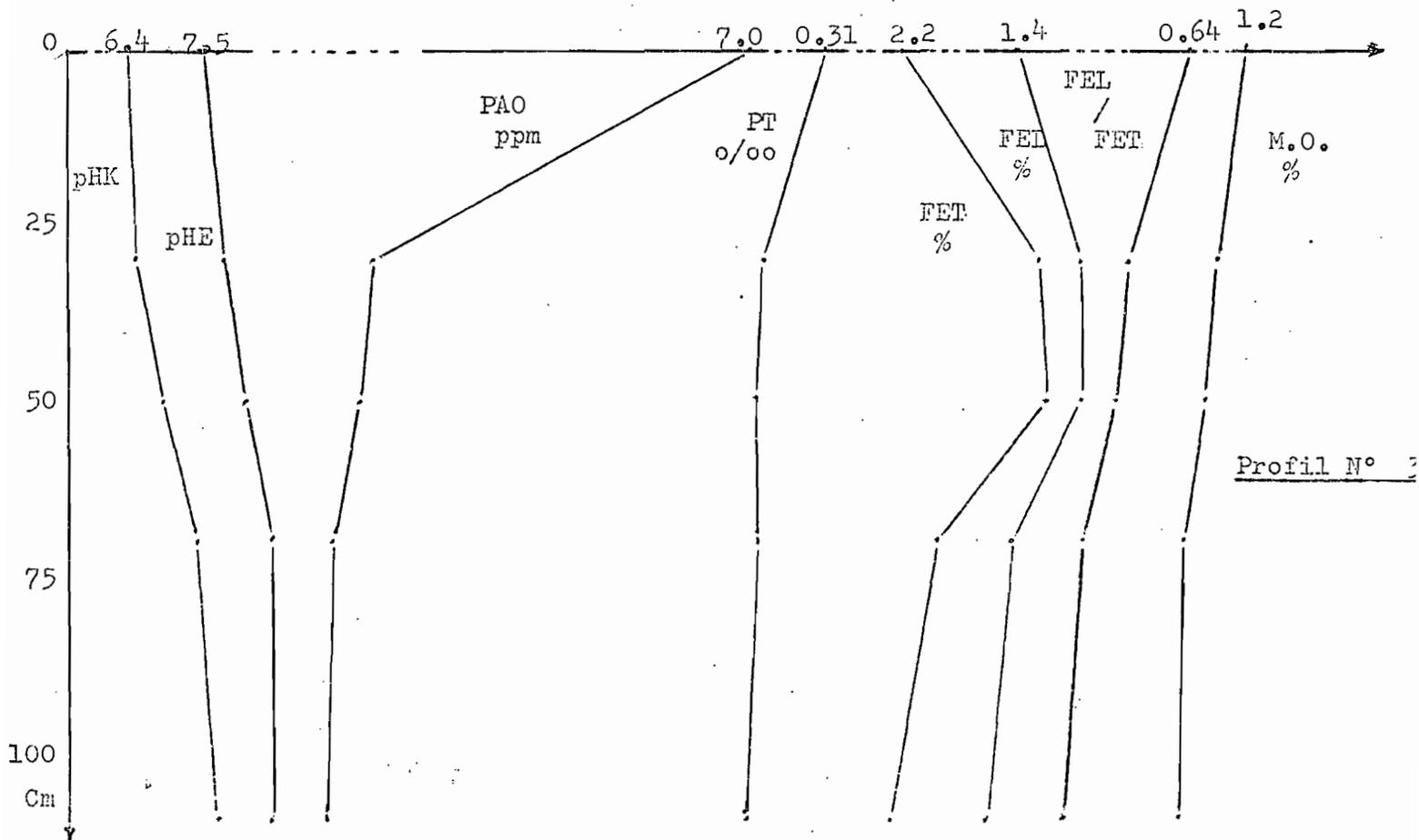
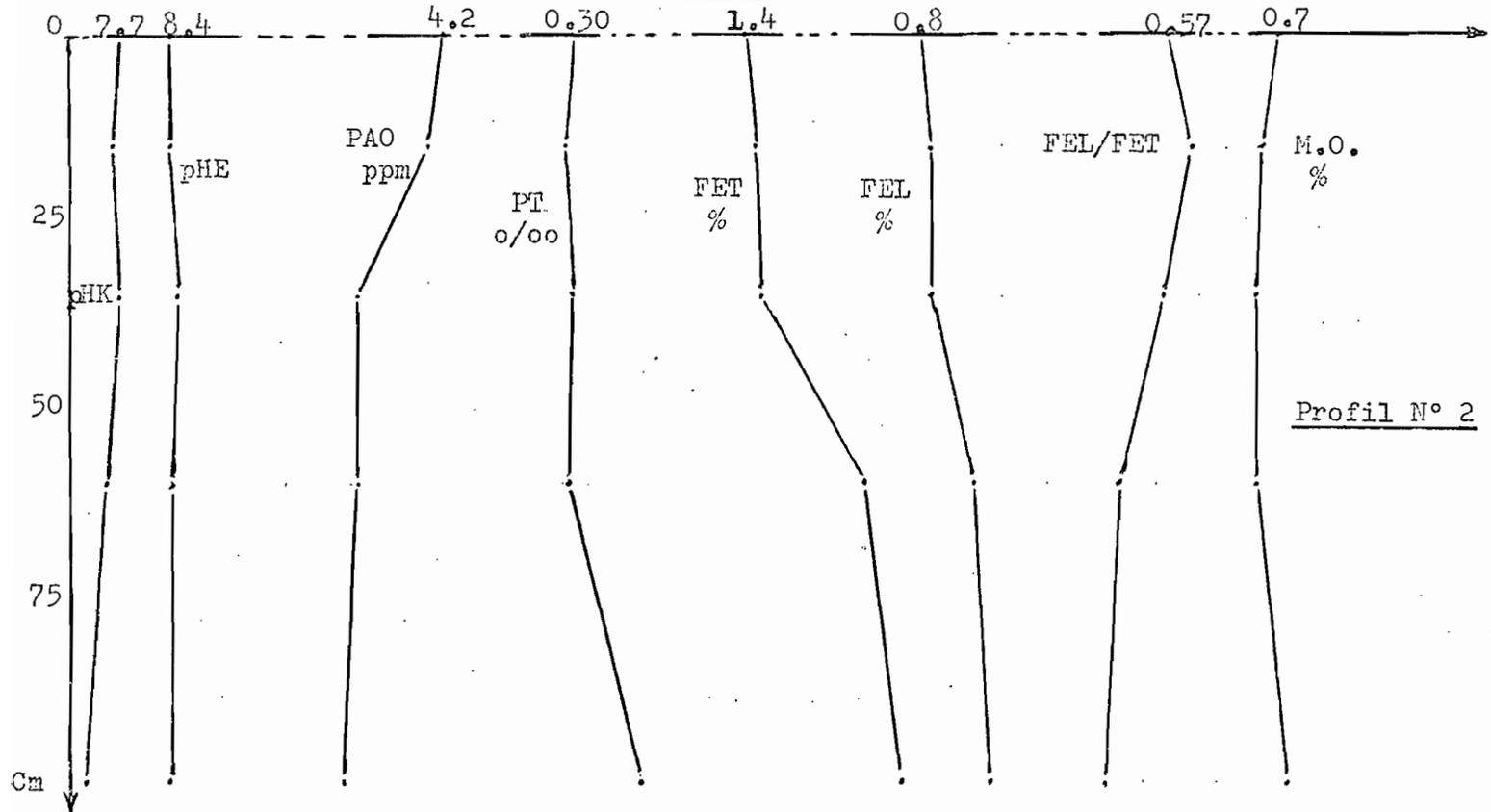
pH , Phosphore , Fer et la matière organique du profil 1 des sols de

T U N I S I E



pH , Phosphore , Fer et la matière organique du profil 2 et 3 des sols de:

TUNISIE



Instabilité structurale, perméabilité, argile + limon sans dispersant, et pF

Les sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Perméabilité K (Cm/h)	Inst.str. Is	A+L	pF		
					4.2	3.0	2.5
644-1.1	0-25	2.53	3.72	52.10	12.6	29.3	33.2
644-1.2	25-50	2.40	3.13	51.06	12.8	30.0	31.1
644-1.3	50-70	1.61	4.12	56.79	12.2	29.3	32.8
644-1.4	70-110	1.51	6.13	48.45	10.2	30.1	32.5
644-2.1	0-5	4.00	2.02	59.92	18.7	30.1	30.8
644-2.2	5-25	1.81	2.34	67.73	19.6	33.0	34.3
644-2.3	25-50	0.84	2.42	63.04	21.3	36.2	37.0
644-2.4	50-70	0.42	3.43	76.07	20.8	36.4	36.7
644-2.5	70-110	0.065	14.65	70.34	14.5	27.2	27.9
644-3.1	0-10	4.96	0.45	23.97	19.4	31.0	33.4
644-3.2	10-25	3.39	0.73	34.91	22.6	31.2	33.3
644-3.3	25-40	3.76	0.95	41.16	22.6	34.6	34.9
644-3.4	40-55	4.44	0.87	42.20	23.9	34.9	38.9
644-3.5	55-70	3.44	1.25	48.50	14.8	25.3	34.8
644-4.1	0-10	2.17	1.59	51.58	20.6	32.6	35.7
644-4.2	10-25	3.00	1.16	47.93	21.0	31.3	34.6
644-4.3	25-45	1.37	1.66	63.56	23.5	33.5	37.0
644-4.4	45-65	1.20	2.13	70.34	22.5	34.2	37.8
644-4.5	65-80	2.14	2.67	60.96	14.4	28.5	28.6

Les sols du MAROC

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Perméabilité K (Cm/h)	Inst.str. Is	A+L	pF		
					4.2	3.0	2.5
650-1.1	0-5	3.32	3.15	51.58	13.4	25.6	25.7
650-1.2	5-20	1.76	3.93	52.62	14.4	26.9	28.6
650-1.3	20-35	2.77	2.91	56.79	15.0	23.5	27.5
650-1.4	35-65	1.20	4.25	52.92	14.5	26.6	26.9
650-1.5	65-90	0.85	6.15	57.84	13.3	26.5	27.6
650-1.6	90-120	0.74	4.81	56.27	12.6	25.9	26.2
650-2.1	0-5	1.03	7.08	37.51	11.1	22.4	23.3
650-2.2	5-15	0.71	4.29	39.08	11.4	21.9	22.3
650-2.3	15-30	1.64	4.91	42.72	11.0	21.6	22.1
650-2.4	30-65	1.21	8.55	45.33	11.0	23.3	23.5
650-2.5	65-85	0.91	8.72	45.33	10.4	21.4	21.5
650-2.6	85-115	0.84	11.89	46.37	10.7	21.3	22.2
650-3.1	0-10	3.11	3.78	42.72	12.5	22.1	23.4
650-3.2	10-20	2.33	5.74	44.81	13.3	22.6	25.0
650-3.3	20-35	2.01	6.55	48.45	13.2	23.2	23.4
650-3.4	35-50	1.56	6.73	48.45	12.7	21.8	23.6
650-3.5	50-65	1.26	7.15	50.02	12.9	21.5	23.8
650-3.6	65-95	0.95	9.36	50.54	13.5	23.6	27.6
650-3.7	95-120	0.81	6.81	44.29	11.5	21.2	22.4
650-4.1	0-10	5.75	3.02	51.06	15.2	24.5	27.6
650-4.2	10-30	6.25	2.81	52.62	14.7	23.2	26.9
650-4.3	30-50	3.87	2.07	56.79	13.2	22.4	25.5
650-4.4	50-75	1.59	2.52	53.66	11.4	19.9	22.2
650-4.5	75-100	1.69	2.35	46.37	10.0	17.2	19.8
650-4.6	100-125	1.61	2.16	56.27	13.4	22.2	24.8
650-5.1	0-5	10.10	3.45	29.70	11.2	19.1	21.9
650-5.2	5-15	6.82	3.28	31.78	11.6	20.5	22.4
650-5.3	15-30	7.27	3.85	33.87	12.2	20.7	22.9
650-5.4	30-45	5.11	2.54	40.64	15.6	26.9	28.8
650-5.5	45-60	3.78	2.27	45.85	17.9	30.2	32.5
650-5.6	60-75	3.61	2.42	48.97	19.5	32.9	35.9
650-5.7	75-95	2.51	2.37	51.61	15.9	24.5	30.9

Instabilité structurale, perméabilité, argile + limon sans dispersant, et pF

Les sols du NIGER

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Perméabilité K (Cm/h)	Inst.str. Is	A+L	pF		
					4.2	3.0	2.5
663-1.2	3-18	2.63	4.21	32.82	8.3	15.8	16.0
663-1.4	60-70	-	-	-	14.1	22.1	22.9
663-2.1	0-10	1.42	0.78	3.65	1.0	1.7	2.8
663-2.3	40-50	0.79	0.89	3.65	1.0	1.5	2.0
663-2.5	90-200	4.99	0.50	2.08	0.8	1.4	1.8
663-3.1	0-10	1.63	0.88	4.69	1.6	2.7	3.4
663-3.3	25-35	1.60	1.23	6.77	2.3	3.5	4.1
663-3.6	190-200	2.72	1.13	6.77	2.1	3.4	3.9
663-4.1	0-10	10.00	0.89	7.29	4.4	6.6	7.8
663-4.2	30-40	2.05	2.15	13.55	4.7	6.6	8.2
663-5.1	0-10	1.81	0.29	1.56	1.5	2.4	3.2
663-5.2	15-25	1.53	0.90	4.69	1.4	2.2	3.1
663-5.3	40-50	1.97	1.57	8.34	2.1	3.6	4.0
663-6.1	0-10	1.81	1.93	17.71	5.2	11.8	14.1
663-6.2	15-25	0.85	4.28	18.28	4.7	8.9	18.6
663-6.3	45-55	0.99	4.08	30.22	9.5	16.3	18.9

Instabilité structurale, perméabilité, argile + limon sans dispersant, et pF

Les sols de TUNISIE

Numéro d'échan- tillon	Profondeur en cm	Perméabilité K (Cm/h)	Inst.str. Is	A+L	pF		
					4.2	3.0	2.5
647-1.1	0-15	2.03	1.60	7.82	4.1	6.1	7.3
647-1.2	20-35	6.98	2.37	10.42	4.1	5.8	6.9
647-1.3	35-50	3.34	3.02	11.46	4.0	6.0	7.1
647-1.4	50-65	6.52	4.71	14.59	4.8	6.9	8.6
647-1.5	70-85	6.33	5.37	17.19	6.5	10.5	11.0
647-1.6	85-100	7.24	2.02	6.25	5.7	9.2	11.3
647-1.7	100-125	2.14	7.63	21.36	4.9	8.8	9.6
647-2.1	0-15	4.30	3.51	15.11	4.4	8.5	8.8
647-2.2	15-28	4.28	4.17	16.67	4.9	9.6	9.5
647-2.3	35-50	6.62	5.36	19.28	5.2	9.4	11.0
647-2.4	60-75	4.24	6.79	29.18	7.6	13.9	15.4
647-2.5	100-120	3.29	4.36	45.38	13.2	21.3	27.3
647-3.1	0-20	5.12	4.85	21.36	7.1	12.8	13.6
647-3.2	30-50	6.63	4.52	40.64	16.1	23.8	24.2
647-3.3	50-70	5.04	5.27	43.24	15.5	25.6	25.8
647-3.4	70-95	2.36	3.92	44.29	10.2	20.0	22.3
647-3.5	110-130	1.22	5.57	47.93	7.9	17.3	19.1

Capacité d'échange et bases échangeables

Les sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Ca <sup>++</sup> meq	Mg <sup>++</sup> meq	K <sup>+</sup> meq	Na <sup>+</sup> meq	S meq	T meq	S/T
644-1.1	0-25	14.2	1.70	0.77	0.10	16.77	16.80	100%
644-1.2	25-50	15.30	0.64	0.45	0.17	16.56	16.60	"
644-1.3	50-70	14.60	0.76	0.33	0.17	15.86	15.90	"
644-1.4	70-110	12.10	2.05	0.30	0.20	14.65	14.70	"
644-2.1	0-5	22.70	3.48	1.32	0.20	27.70	27.90	99%
644-2.2	5-25	22.50	3.88	1.09	0.63	28.10	28.20	100%
644-2.3	25-50	21.00	6.01	0.89	1.80	29.70	29.70	"
644-2.4	50-70	14.10	6.59	0.77	4.24	25.70	25.80	"
644-2.5	70-110	2.60	4.03	0.35	4.12	11.10	11.10	"
644-3.1	0-10	25.0	6.23	0.80	0.27	32.30	32.40	100%
644-3.2	10-25	28.8	4.11	0.67	0.20	33.78	33.9	"
644-3.3	25-40	32.0	3.79	0.75	0.17	36.71	36.8	"
644-3.4	40-55	39.4	2.03	0.68	0.13	42.24	42.3	"
644-3.5	55-70	23.50	1.0	0.40	0.07	24.97	25.0	"
644-4.1	0-10	28.7	2.03	0.80	0.17	31.7	31.7	100%
644-4.2	10-25	27.2	1.50	0.63	0.17	29.5	29.5	"
644-4.3	25-45	28.5	1.01	0.77	0.23	30.5	31.1	98%
644-4.4	45-65	28.2	2.04	0.85	0.17	31.26	31.3	100%
644-4.5	65-80	16.7	0.50	0.57	0.13	17.9	17.9	"

## Capacité d'échange et bases échangeables

Les sols du MAROC

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Ca <sup>++</sup> meq	Mg <sup>++</sup> meq	K <sup>+</sup> meq	Na <sup>+</sup> meq	S meq	T meq	S/T
650-1.1	0-5	18.1	2.77	1.00	1.00	22.87	23.0	100%
650-1.2	5-20	17.50	3.40	0.53	2.57	24.0	24.0	"
650-1.3	20-35	16.7	2.75	0.48	3.34	23.27	23.3	"
650-1.4	35-65	14.6	1.16	0.40	1.30	17.46	17.5	"
650-1.5	65-90	14.0	1.87	0.42	1.12	17.41	17.5	"
650-1.6	90-120	13.6	2.15	0.33	1.00	17.08	17.1	"
650-2.1	0-5	12.5	2.02	1.40	1.87	17.79	17.8	100%
650-2.2	5-15	12.40	2.20	1.22	2.14	17.96	18.0	"
650-2.3	15-30	13.0	1.70	0.42	2.20	17.32	17.4	"
650-2.4	30-65	14.9	1.83	0.28	1.47	18.48	18.5	"
650-2.5	65-85	9.0	2.02	0.28	1.47	12.77	12.8	"
650-2.6	85-115	9.0	2.18	0.28	1.44	12.90	12.9	"
650-3.1	0-10	13.1	4.15	0.78	1.57	19.60	19.6	100%
650-3.2	10-20	15.1	3.00	0.40	1.60	20.10	20.1	"
650-3.3	20-35	14.2	2.20	0.30	1.70	18.40	18.4	"
650-3.4	35-50	11.8	1.47	0.32	1.57	14.92	15.0	"
650-3.5	50-65	16.0	1.04	0.33	1.93	19.30	19.4	"
650-3.6	65-95	14.9	1.83	0.33	1.62	18.68	18.7	"
650-3.7	95-120	10.7	1.47	0.23	0.79	13.19	13.3	"
650-4.1	0-10	23.6	2.68	0.55	0.17	27.00	27.0	100%
650-4.2	10-30	23.6	2.68	0.52	0.13	26.93	27.0	"
650-4.3	30-50	16.30	1.38	0.35	0.27	18.40	18.4	"
650-4.4	50-75	17.5	1.38	0.28	0.23	19.39	19.4	"
650-4.5	75-100	14.8	1.73	0.27	0.20	17.00	17.0	"
650-4.6	100-125	14.3	2.93	0.28	0.27	17.78	17.8	"
650-5.1	0-5	12.4	3.83	0.63	0.13	16.99	17.0	100%
650-5.2	5-15	15.8	4.10	0.52	0.07	20.49	20.5	"
650-5.3	15-30	15.5	2.95	0.42	0.13	19.0	19.0	"
650-5.4	30-45	18.0	3.00	0.40	0.10	21.5	21.5	"
650-5.5	45-60	17.1	2.64	0.48	0.13	20.35	20.4	"
650-5.6	60-75	19.2	3.33	0.47	0.10	23.1	23.1	"
650-5.7	75-95	15.4	1.84	0.35	0.07	17.66	17.7	"

## Capacité d'échange et bases échangeables

Les sols du NIGER

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Ca <sup>++</sup> meq	Mg <sup>++</sup> meq	K <sup>+</sup> meq	Na <sup>+</sup> meq	S meq	T meq	S/T
663-1.2	3-18	10.4	5.40	0.52	0.13	16.5	18.0	92%
663-1.4	60-70	13.7	6.00	0.17	2.22	22.09	22.1	100%
663-2.1	0-10	0.71	0.41	0.05	0.03	1.20	2.1	57%
663-2.3	40-50	0.15	0.51	0.03	0.01	0.70	1.5	47%
663-2.5	90-200	0.10	0.05	0.07	0.01	0.23	0.8	29%
663-3.1	0-10	1.73	0.81	0.13	0.01	2.68	3.25	82%
663-3.3	25-35	2.34	1.63	0.08	0.03	4.08	4.85	84%
663-3.6	190-200	2.04	1.53	0.05	0.03	3.65	3.7	99%
663-4.1	0-10	3.67	3.05	0.15	0.01	6.88	7.35	94%
663-4.2	30-40	5.08	4.17	0.05	0.13	9.43	9.65	98%
663-5.1	0-10	1.53	0.61	0.13	0.03	2.3	2.55	90%
663-5.2	15-25	1.42	0.72	0.12	0.01	2.27	2.65	86%
663-5.3	40-50	2.03	1.53	0.07	0.03	3.66	4.85	75%
663-6.1	0-10	4.06	3.05	0.38	0.07	7.56	11.3	67%
663-6.2	15-25	4.37	2.95	0.15	0.20	7.67	11.5	67%
663-6.3	45-55	8.86	3.76	0.13	1.14	13.9	14.2	98%

Capacité d'échange et bases échangeables

Les sols de TUNISIE

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	Ca <sup>++</sup> meq	Mg <sup>++</sup> meq	K <sup>+</sup> meq	Na <sup>+</sup> meq	S meq	T meq	S/T
647-1.1	0-15	5.7	1.02	0.33	0.13	7.18	7.2	100%
647-1.2	20-35	7.3	0.10	0.22	0.13	7.7	7.75	"
647-1.3	35-50	6.8	0.05	0.17	0.13	7.15	7.15	"
647-1.4	50-65	7.7	0.05	0.20	0.13	8.08	8.15	"
647-1.5	70-85	7.9	1.50	0.22	0.13	9.75	9.75	"
647-1.6	85-100	7.3	0.05	0.20	0.10	7.65	7.65	"
647-1.7	100-125	5.9	1.02	0.13	0.10	7.15	7.20	"
647-2.1	0-15	6.7	1.05	0.47	0.10	8.32	8.35	100%
647-2.2	15-28	7.9	0.50	0.38	0.10	8.88	8.90	"
647-2.3	35-50	8.2	0.30	0.30	0.15	8.95	8.95	"
647-2.4	60-75	10.4	2.04	0.30	0.43	13.17	13.20	"
647-2.5	100-120	14.0	3.56	0.45	0.63	18.64	18.7	"
647-3.1	0-20	10.5	2.03	0.48	0.33	13.34	13.4	100%
647-3.2	30-50	15.9	3.56	0.55	0.40	20.41	20.4	"
647-3.3	50-70	14.9	2.54	0.53	0.40	18.37	18.4	"
647-3.4	70-95	12.9	1.02	0.37	0.33	14.62	14.6	"
647-3.5	110-130	8.5	1.53	0.27	0.43	10.73	10.7	"

## Le pourcentage des bases sur le complexe

## Les sols de l'IRAN

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>
644-1.1	0-25	84.5	10.1	4.6	0.6
644-1.2	25-50	92.2	3.9	2.7	1.0
644-1.3	50-70	91.8	4.7	2.1	1.1
644-1.4	70-110	82.3	13.9	2.0	1.3
644-2.1	0-5	81.4	12.5	4.7	0.7
644-2.2	5-25	79.8	13.8	3.9	2.2
644-2.3	25-50	70.7	20.2	3.0	6.1
644-2.4	50-70	54.5	25.5	3.0	16.4
644-2.5	70-110	23.4	36.1	3.2	37.1
644-3.1	0-10	77.2	19.2	2.5	0.8
644-3.2	10-25	85.0	12.1	2.0	0.6
644-3.3	25-40	87.0	10.3	2.0	0.5
644-3.4	40-55	93.1	4.8	1.6	0.3
644-3.5	55-70	94.0	4.0	1.6	0.3
644-4.1	0-10	90.5	6.4	2.5	0.5
644-4.2	10-25	92.2	5.1	2.1	0.6
644-4.3	25-45	91.6	3.2	2.5	0.7
644-4.4	45-65	90.1	6.5	2.7	0.5
644-4.5	65-80	93.3	2.8	3.2	0.7

## Le pourcentage des bases sur le complexe

- 95 -

Les sols du MAROC

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>
650-1.1	0- 5	78.7	12.0	4.3	4.3
650-1.2	5-20	72.9	14.2	2.2	10.7
650-1.3	20-35	71.6	11.8	2.1	14.3
650-1.4	35-65	83.2	6.6	2.3	7.4
650-1.5	65-85	80.0	10.7	2.4	6.4
650-1.6	85-115	79.3	12.6	1.9	5.8
650-2.1	0- 5	70.0	11.3	7.8	10.5
650-2.2	5-15	68.9	12.2	6.8	11.9
650-2.3	15-30	74.7	9.8	2.4	12.6
650-2.4	30-65	80.5	9.9	1.5	7.9
650-2.5	65-85	70.3	15.8	2.2	11.5
650-2.6	85-115	69.8	16.9	2.2	11.1
650-3.1	0-10	66.8	21.2	4.0	8.0
650-3.2	10-20	75.1	14.9	2.0	8.0
650-3.3	20-35	76.9	11.9	1.6	9.2
650-3.4	35-50	78.7	9.8	2.1	10.5
650-3.5	50-65	82.5	5.4	1.7	9.9
650-3.6	65-95	79.7	9.8	1.8	8.6
650-3.7	95-120	80.4	11.0	1.7	5.9
650-4.1	0-10	87.4	9.9	2.0	0.6
650-4.2	10-30	87.4	9.9	1.9	0.5
650-4.3	30-50	88.6	7.5	1.9	1.5
650-4.4	50-75	90.2	7.1	1.4	1.2
650-4.5	75-100	87.0	10.2	1.6	1.2
650-4.6	100-125	80.3	16.2	1.6	1.5
650-5.1	0- 5	72.9	22.5	3.7	0.8
650-5.2	5-15	77.1	20.0	2.5	0.3
650-5.3	15-30	81.6	15.5	2.2	0.7
650-5.4	30-45	83.7	13.9	1.9	0.5
650-5.5	45-60	83.8	12.9	2.3	0.6
650-5.6	60-75	83.1	14.4	2.0	0.4
650-5.7	75-95	87.0	10.4	2.0	0.4

## Le pourcentage des bases sur le complexe

Les sols du NIGER

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>
663-1.2	3-18	57.8	30.0	2.9	0.7
663-1.4	60-70	61.8	27.1	0.8	10.0
663-2.1	0-10	33.8	19.5	2.4	1.4
663-2.3	40-50	10.0	34.0	2.0	0.7
663-2.5	190-200	12.5	6.2	8.2	1.2
663-3.1	0-10	53.2	24.9	4.0	0.3
663-3.3	25-35	48.2	33.6	1.6	0.6
663-3.5	190-200	55.1	41.4	1.4	0.8
663-4.1	0-10	49.9	41.5	2.0	0.1
663-4.2	30-40	52.6	43.2	0.5	1.3
663-5.1	0-10	60.0	23.9	5.1	1.1
663-5.2	15-25	53.6	27.2	4.5	0.4
663-5.3	40-50	41.9	31.5	1.4	0.6
663-6.1	0-10	35.9	27.0	3.4	0.6
663-6.2	15-25	38.0	25.7	1.3	1.7
663-6.3	45-55	62.4	26.5	0.9	8.0

Le pourcentage des bases sur le complexe

Les sols de TUNISIE

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>
647-1.1	0-15	79.2	14.2	4.6	1.8
647-1.2	20-35	94.2	1.3	2.8	1.7
647-1.3	35-50	95.1	0.7	2.4	1.8
647-1.4	50-65	94.5	0.6	2.5	1.6
647-1.5	70-85	81.0	15.4	2.3	1.3
647-1.6	85-100	95.4	0.6	2.6	1.3
647-1.7	100-125	81.9	14.2	1.8	1.4
647-2.1	0-15	80.2	12.6	5.6	1.2
647-2.2	15-28	88.8	5.6	4.3	1.1
647-2.3	35-50	91.6	3.4	3.4	1.6
647-2.4	60-75	78.4	15.4	2.3	3.3
647-2.5	100-120	74.9	19.0	2.4	3.4
647-3.1	0-20	78.4	15.1	3.6	2.5
647-3.2	30-50	77.9	17.5	2.6	2.0
647-3.3	50-70	81.0	13.8	2.9	2.2
647-3.4	70-95	88.4	7.0	2.4	2.2
647-3.5	110-130	79.4	14.2	2.4	4.0

## Bases totales

## Les sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Prof. en cm	En méq. pour 100 g. de Terre					en % de B.T.			
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	BT	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
644-1.1	0-25	336.0	159.0	16.6	6.4	518.0	64.9	30.7	3.2	1.2
644-1.2	25-50	318.0	151.0	19.3	5.0	493.0	64.5	30.6	3.9	1.0
644-1.3	50-70	353.0	166.0	18.7	2.3	540.0	65.4	30.7	3.5	.4
644-1.4	70-110	408.0	184.0	16.6	2.4	611.0	66.8	30.1	2.7	0.4
644-2.1	0-5	83.4	157.0	35.6	3.0	279.0	29.9	56.3	12.7	1.1
644-2.2	5-25	78.2	155.0	35.0	5.8	274.0	28.5	56.6	12.8	2.1
644-2.3	25-50	83.2	172.0	36.2	7.6	299.0	27.8	57.5	12.1	2.5
644-2.4	50-70	239.0	228.0	33.0	5.0	505.0	47.3	45.2	6.5	1.0
644-2.5	70-110	684.0	331.0	23.4	5.6	1044.0	65.5	31.7	2.3	5.0
644-3.1	0-10	50.5	89.8	27.7	3.0	171.0	29.5	52.5	16.2	1.8
644-3.2	10-25	43.9	96.6	31.5	5.0	177.0	24.8	54.6	17.8	2.8
644-3.3	25-40	49.0	107.0	29.7	2.3	188.0	26.1	56.9	15.8	1.2
644-3.4	40-55	64.7	119.0	31.0	2.3	217.0	29.8	54.8	14.3	1.1
644-3.5	55-70	583.0	164.0	20.5	2.5	770.0	75.7	21.3	2.7	0.3
644-4.1	0-10	36.6	107.0	32.0	2.4	178.0	20.6	60.1	18.0	1.3
644-4.2	10-25	37.9	86.6	21.2	8.3	154.0	24.6	56.2	13.8	5.4
644-4.3	25-45	31.0	121.0	35.7	2.3	190.0	16.3	63.7	18.8	1.2
644-4.4	45-65	41.6	131.0	37.4	3.0	213.0	19.5	61.5	17.6	1.4
644-4.5	65-80	607.0	196.0	22.6	3.4	829.0	73.2	23.6	2.70	0.5

## Bases totales

- 99 -

## Les sols du MAROC

Numéro d'échantillon	Prof. en cm	En méq. pour 100 g. de Terre					en % de B.T.			
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	BT	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>++</sup>
650-1.1	0-5	335.0	178.0	31.0	6.0	550.0	60.91	32.36	5.63	1.1
650-1.2	5-20	331.0	175.0	29.0	4.0	539.0	61.41	32.47	5.38	0.74
650-1.3	20-35	370.0	172.0	22.5	5.5	570.0	64.91	30.18	3.95	0.96
650-1.4	35-65	538.0	170.0	22.0	10.0	740.0	72.7	23.0	3.0	1.3
650-1.5	65-90	668.0	203.0	20.4	6.6	898.0	74.4	22.6	2.3	0.7
650-1.6	90-120	751.0	213.0	20.0	8.0	992.0	75.7	21.5	2.0	0.8
650-2.1	0-5	554.0	132.0	21.6	10.4	718.0	77.2	18.4	3.0	1.4
650-2.2	5-15	532.0	131.0	21.6	11.4	696.0	76.4	18.8	3.1	1.7
650-2.3	15-30	599.0	152.0	21.0	11.0	783.0	76.5	19.4	2.7	1.4
650-2.4	30-65	660.0	188.0	20.0	9.0	877.0	75.3	21.4	2.3	1.0
650-2.5	65-85	684.0	222.0	18.0	8.0	932.0	73.4	23.8	1.9	0.9
650-2.6	85-115	644.0	234.0	21.0	8.0	907.0	71.0	25.8	2.3	0.9
650-3.1	0-10	404.0	127.0	21.8	6.2	559.0	72.3	22.7	3.9	1.1
650-3.2	10-20	395.0	111.0	22.3	7.7	536.0	73.7	20.7	4.2	1.4
650-3.3	20-35	457.0	145.0	22.0	8.0	632.0	72.3	22.9	3.5	1.3
650-3.4	35-50	568.0	161.0	22.6	8.4	760.0	74.7	21.2	3.0	1.1
650-3.5	50-65	522.0	155.0	30.6	5.4	713.0	73.2	21.7	4.3	0.8
650-3.6	65-95	562.0	157.0	30.6	5.4	755.0	74.4	20.8	4.1	0.7
650-3.7	95-120	859.0	203.0	18.6	6.4	1087.0	79.0	18.7	1.7	0.6
650-4.1	0-10	155.0	123.0	32.1	0.9	311.0	49.8	39.6	10.3	0.3
650-4.2	10-30	217.0	133.0	33.8	1.2	385.0	56.4	34.5	8.8	0.3
650-4.3	30-50	605.0	170.0	22.6	1.4	799.0	75.7	21.3	2.8	0.2
650-4.4	50-75	741.0	187.0	20.5	1.5	950.0	78.0	19.7	2.1	0.2
650-4.5	75-100	880.0	230.0	20.2	1.8	1132.0	77.7	20.3	1.8	0.2
650-4.6	100-125	627.0	224.0	31.4	1.6	884.0	70.9	25.3	3.6	0.2
650-5.1	0-5	80.0	43.7	19.0	1.3	144.0	55.5	30.3	13.2	1.0
650-5.2	5-15	76.8	41.9	19.1	1.2	139.0	55.2	30.2	13.7	0.9
650-5.3	15-30	73.5	40.0	19.4	1.1	134.0	54.8	29.9	14.5	0.8
650-5.4	30-45	76.9	40.0	20.0	1.1	138.0	55.7	29.0	14.5	0.8
650-5.5	45-60	78.0	38.4	20.5	1.1	138.0	56.5	27.8	14.9	0.8
650-5.6	60-75	183.0	74.5	22.0	1.5	281.0	65.1	26.5	7.8	0.6
650-5.7	75-95	656.0	117.0	19.6	1.4	794.0	82.6	14.7	2.5	0.2

## Bases totales

Les sols du NIGER

Numéro d'échan- tillon	Prof. en cm	En méq. pour 100 g. de Terre					en % de B.T.			
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	BT	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na
663-1.2	3-18	18.8	20.5	0.65	0.55	40.5	46.4	50.6	1.6	1.4
663-1.4	60-70	67.5	40.5	0.60	4.40	113.0	59.7	35.9	0.5	3.9
663-2.1	0-10	1.50	1.20	0.60	0.25	3.55	42.2	33.8	16.9	7.1
663-2.3	40-50	0.85	1.35	0.50	0.20	2.90	29.3	46.6	17.2	6.9
663-2.5	190-200	0.75	0.45	0.30	0.30	1.80	41.7	25.0	16.7	16.6
663-3.1	0-10	2.65	1.60	1.15	0.30	5.70	46.5	28.1	20.2	5.2
663-3.3	25-35	4.0	4.25	1.60	0.30	10.15	39.4	41.9	15.8	2.1
663-3.5	190-200	2.10	2.55	0.80	0.40	5.85	35.9	43.6	13.7	6.8
663-4.1	0-10	13.5	9.05	1.15	0.30	24.0	56.3	37.7	4.8	1.2
663-4.2	30-40	12.1	11.6	0.75	0.35	24.8	48.8	46.8	3.0	1.4
663-5.1	0-10	2.65	2.25	1.35	0.30	6.55	40.5	34.3	20.6	4.6
663-5.2	15-25	2.45	2.55	1.0	0.20	6.20	39.6	41.1	16.1	3.2
663-5.3	40-50	2.15	2.80	1.40	0.40	6.75	31.9	41.5	20.7	5.9
663-6.1	0-10	8.0	13.7	5.4	0.30	27.4	29.2	50.0	19.7	1.1
663-6.2	15-25	9.35	12.4	3.90	0.55	26.2	35.7	47.3	14.9	2.1
663-6.3	45-55	11.4	20.4	3.8	1.3	36.9	30.9	55.3	10.3	3.5

## Bases totales

Les sols de TUNISIE

Numéro d'échan- tillon	Prof. en cm	En méq. pour 100 g. de Terre					en % de B.T.			
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	BT	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
647-1.1	0-15	47.9	21.9	7.0	1.4	78.2	61.3	28.0	8.9	1.8
647-1.2	20-35	22.5	15.2	6.3	7.2	51.2	43.9	29.7	12.3	14.1
647-1.3	35-50	67.9	22.5	8.8	2.0	101.2	67.1	22.2	8.7	2.0
647-1.4	50-65	47.2	17.2	8.8	1.0	74.2	63.6	23.2	11.9	1.3
647-1.5	70-85	44.5	22.5	8.3	1.5	76.8	57.9	29.3	10.8	2.0
647-1.6	85-100	83.2	27.2	7.8	1.6	119.8	69.5	22.7	6.5	1.3
647-1.7	100-125	276.0	56.5	5.85	1.75	340.1	81.2	16.6	1.7	0.5
647-2.1	0-15	147.0	43.2	8.0	0.8	199.0	73.9	21.7	4.0	4.0
647-2.2	15-28	169.0	43.9	9.0	1.5	223.4	75.6	19.7	4.0	0.7
647-2.3	35-50	211.0	54.3	9.8	2.9	278.0	75.9	19.5	3.5	1.1
647-2.4	60-75	202.0	73.0	16.9	7.1	299.0	67.6	24.4	5.6	2.4
647-2.5	100-120	187.0	87.8	19.4	1.8	296.0	63.2	29.7	6.5	0.6
647-3.1	0-20	17.2	15.9	12.1	1.2	46.4	37.0	34.3	26.1	2.6
647-3.2	30-50	22.5	36.5	21.3	1.8	82.1	27.4	44.5	25.9	2.2
647-3.3	50-70	34.5	41.9	21.9	1.8	100.1	34.4	41.9	21.9	1.8
647-3.4	70-95	551.0	119.0	16.0	7.0	693.0	79.5	17.2	2.3	1.0
647-3.5	110-130	652.0	123.0	10.4	1.6	787.0	82.9	15.6	1.30	0.2

ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

INTRODUCTION

Nous avons commencé l'étude de ce sujet par l'analyse systématique des éléments caractéristiques. La teneur du sol en carbone organique total, l'un des quatre principaux éléments constitutifs de la matière organique, exprime le mieux la quantité de celle-ci dans le sol. La teneur en azote total et le rapport entre ces deux valeurs peuvent nous renseigner dans une large mesure sur la nature et la constitution de cette matière. Nous les avons dosés et calculés en premier lieu dans tous les échantillons. Nous avons ensuite abordé l'étude qualitative et quantitative des composés humiques les plus importants, tels que les acides humiques et les acides fulviques. Parmi les premiers, nous avons séparé les acides humiques mobiles et les acides humiques immobiles. Leurs teneurs en carbone ont été dosées par la méthode décrite dans la deuxième partie avec une certaine adaptation technique en ce qui concerne le dosage de cet élément dans les solutions humiques extraites, qui sera exposée ultérieurement, avant les tableaux de résultats correspondants. Naturellement nous avons étudié, non seulement leurs valeurs, mais aussi les rapports entre eux afin de caractériser le mieux possible la matière organique de l'échantillon telle qu'elle se trouve dans le sol à l'état naturel. L'interprétation des résultats d'analyse, exposés dans les tableaux et les graphiques correspondants est fondée, d'une part sur la comparaison des données générales des échantillons eux-mêmes et, d'autre part sur l'étude de ces dernières en fonction de leur position dans les profils.

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS ETUDIES

1 - Carbone organique, azote et C/N

Le carbone organique total a été dosé, d'une part par la méthode ANNE modifiée, utilisée au service de pédologie des S.S.C. à Bondy et adaptée à l'autoanalyseur (Technicon) et, d'autre part par la méthode de WALKLEY et BLACK modifiée, présentée dans ce travail, qui donne une meilleure précision pour l'analyse en série. Il est à

noter que, pour les 84 échantillons, les résultats d'analyse par les deux méthodes, présentent un accord satisfaisant ; les résultats sont exprimés en C%.

L'azote a été dosé au moyen de la méthode KJELDAHL adaptée au travail en série (autoanalyseur) ; le résultat est exprimé en N‰.

Le rapport C/N calculé d'après ces résultats en prenant la même unité, exprime en particulier l'intensité de deux phénomènes fondamentaux et opposés dans l'évolution de la matière organique du sol, l'humification et la minéralisation, ainsi que l'équilibre qui s'établit entre eux.

Nous trouverons ci-après les tableaux de résultats d'analyse, de même que les graphiques correspondants des valeurs de ces trois grandeurs dans l'ordre des profils précédemment décrits.

## Le Carbone, l'Azote et le rapport C/N des sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	C%	N‰	C/N
644-1.1	0-25	1.21	1.39	8.70
644-1.2	25-50	0.84	1.08	7.78
644-1.3	50-70	0.58	0.68	8.53
644-1.4	70-110	0.46	0.68	6.76
644-2.1	0-5	1.43	1.64	8.72
644-2.2	5-25	1.24	1.60	7.75
644-2.3	25-50	0.70	0.86	8.14
644-2.4	50-70	0.39	0.55	7.09
644-2.5	70-110	0.17	0.27	6.29
644-3.1	0-10	2.66	2.93	9.07
644-3.2	10-25	1.28	1.53	8.37
644-3.3	25-40	1.10	1.32	8.33
644-3.4	40-55	1.09	1.20	9.08
644-3.5	55-70	0.65	0.77	8.44
644-4.1	0-10	2.02	1.97	10.25
644-4.2	10-25	1.64	1.56	10.51
644-4.3	25-45	0.59	0.80	7.37
644-4.4	45-65	0.54	0.66	8.18
644-4.5	65-80	0.52	0.51	10.19

## Le Carbone, l'Azote et le rapport C/N des sols du MAROC

Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	C%	N‰	C/N
650-1.1	0-5	1.21	1.41	8.58
650-1.2	5-20	1.16	1.27	9.14
650-1.3	20-35	0.91	1.01	9.00
650-1.4	35-65	0.43	0.55	7.82
650-1.5	65-90	0.28	0.37	7.57
650-1.6	90-120	0.18	0.28	6.43
650-2.1	0-5	1.50	1.41	10.64
650-2.2	5-15	1.24	1.21	10.24
650-2.3	15-30	0.68	0.77	8.83
650-2.4	30-65	0.43	0.50	8.60
650-2.5	65-85	0.26	0.33	7.88
650-2.6	85-115	0.20	0.30	6.67
650-3.1	0-10	1.24	1.29	9.61
650-3.2	10-20	1.08	1.12	9.64
650-3.3	20-35	0.73	0.81	9.01
650-3.4	35-50	0.41	0.58	7.07
650-3.5	50-65	0.32	0.46	6.96
650-3.6	65-95	0.22	0.31	7.10
650-3.7	95-120	0.18	0.27	6.67
650-4.1	0-10	1.15	1.21	9.50
650-4.2	10-30	1.09	1.15	9.48
650-4.3	30-50	0.39	0.47	8.30
650-4.4	50-75	0.19	0.31	6.13
650-4.5	75-100	0.12	0.23	5.22
650-4.6	100-125	0.09	0.21	4.28
650-5.1	0-5	1.36	1.48	9.19
650-5.2	5-15	1.29	1.34	9.63
650-5.3	15-30	0.92	1.07	8.59
650-5.4	30-45	0.80	1.00	8.00
650-5.5	45-60	0.68	0.86	7.90
650-5.6	60-75	0.52	0.75	6.93
650-5.7	75-95	0.36	0.51	7.06

Le Carbone, l'Azote et le rapport C/N des sols du NIGER

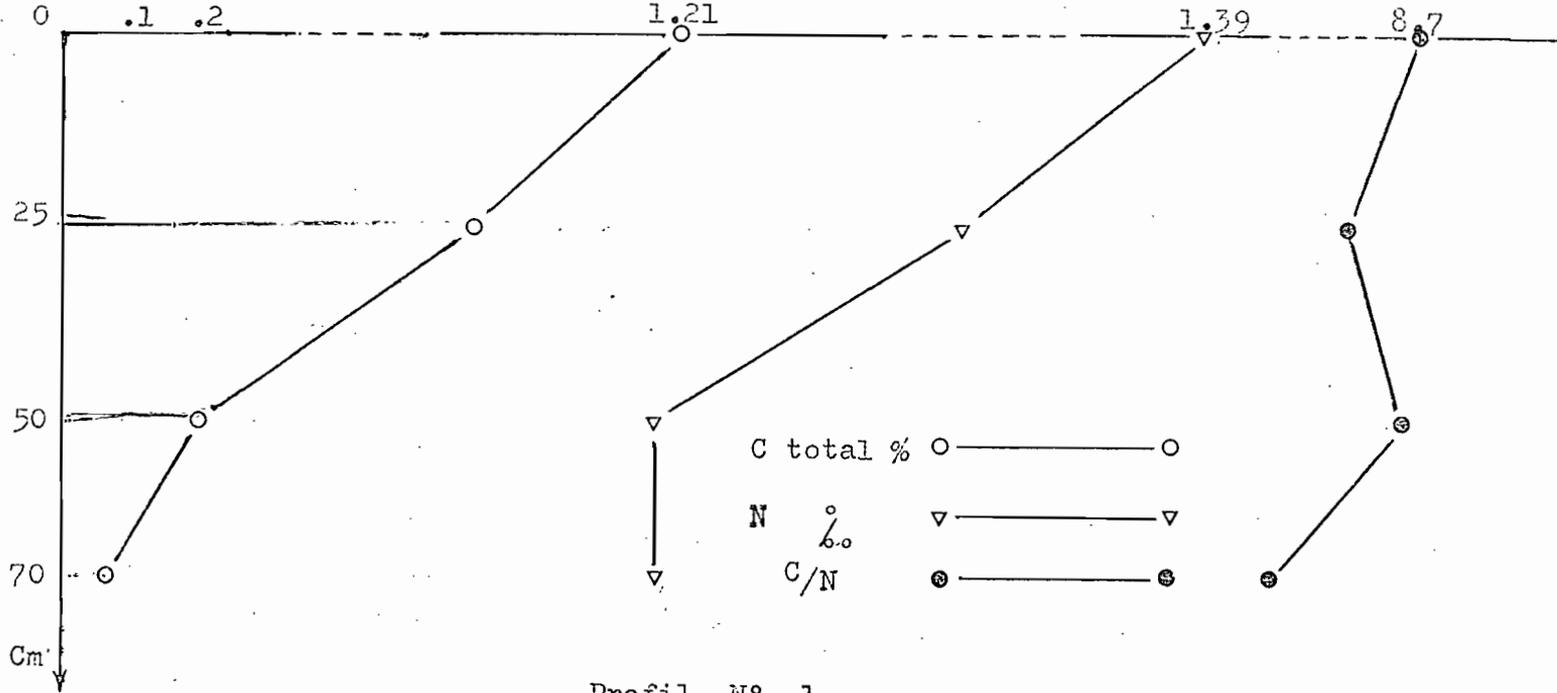
Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	C%	N‰	C/N
663-1.2	3-18	0.39	0.42	9.30
663-1.4	60-70	0.28	0.25	11.2
663-2.1	0-10	0.17	0.16	10.6
663-2.3	40-50	0.06	0.08	7.5
663-2.5	190-200	0.02	0.05	4.0
663-3.1	0-10	0.19	0.19	10.00
663-3.3	25-35	0.09	0.10	9.0
663-3.6	190-200	0.03	0.04	7.5
663-4.1	0-10	0.49	0.44	11.1
663-4.2	30-40	0.16	0.17	9.4
663-5.1	0-10	0.19	0.21	9.0
663-5.2	15-25	0.10	0.13	7.7
663-5.3	40-50	0.07	0.09	7.8
663-6.1	0-10	0.62	0.61	10.2
663-6.2	15-25	0.21	0.24	8.8
663-6.3	45-55	0.17	0.21	8.1

Le Carbone, l'Azote et le rapport C/N des sols de TUNISIE

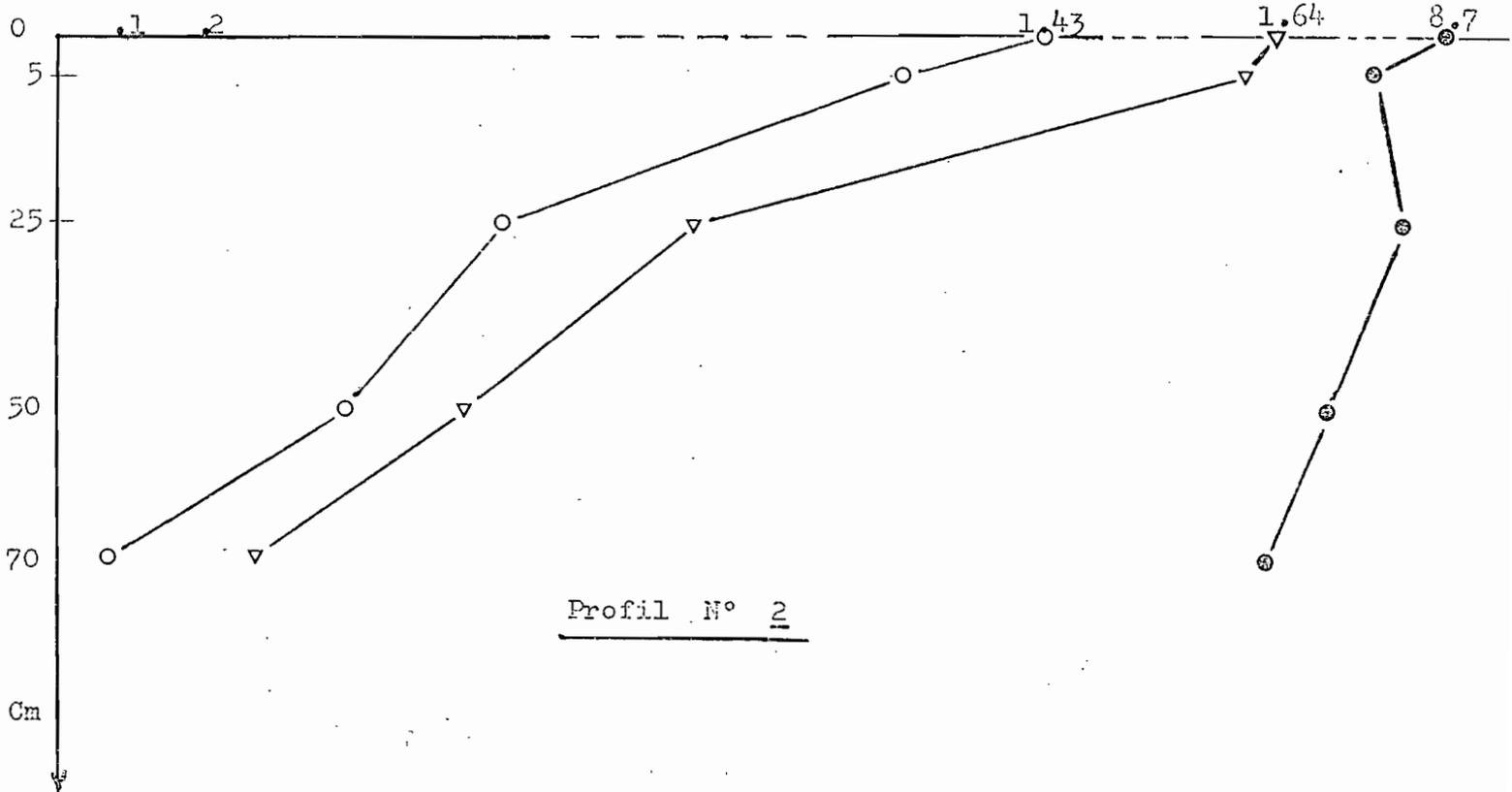
Numéro d'échantillon	Profondeur en cm	C%	N‰	C/N
647-1.1	0-15	0.46	0.47	9.78
647-1.2	20-35	0.27	0.35	7.71
647-1.3	35-50	0.21	0.24	8.75
647-1.4	50-65	0.28	0.30	9.33
647-1.5	70-85	0.25	0.29	8.62
647-1.6	85-100	0.17	0.21	8.09
647-1.7	100-125	0.12	0.15	8.00
647-2.1	0-15	0.39	0.45	8.67
647-2.2	15-28	0.30	0.42	7.14
647-2.3	35-50	0.23	0.30	7.66
647-2.4	60-75	0.25	0.37	6.75
647-2.5	100-120	0.45	0.44	10.23
647-3.1	0-20	0.71	0.65	10.92
647-3.2	30-50	0.49	0.51	9.61
647-3.3	50-70	0.33	0.43	7.67
647-3.4	70-95	0.21	0.27	7.78
647-3.5	110-130	0.10	0.16	6.25

Variation du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les

4 profils de l' I R A N



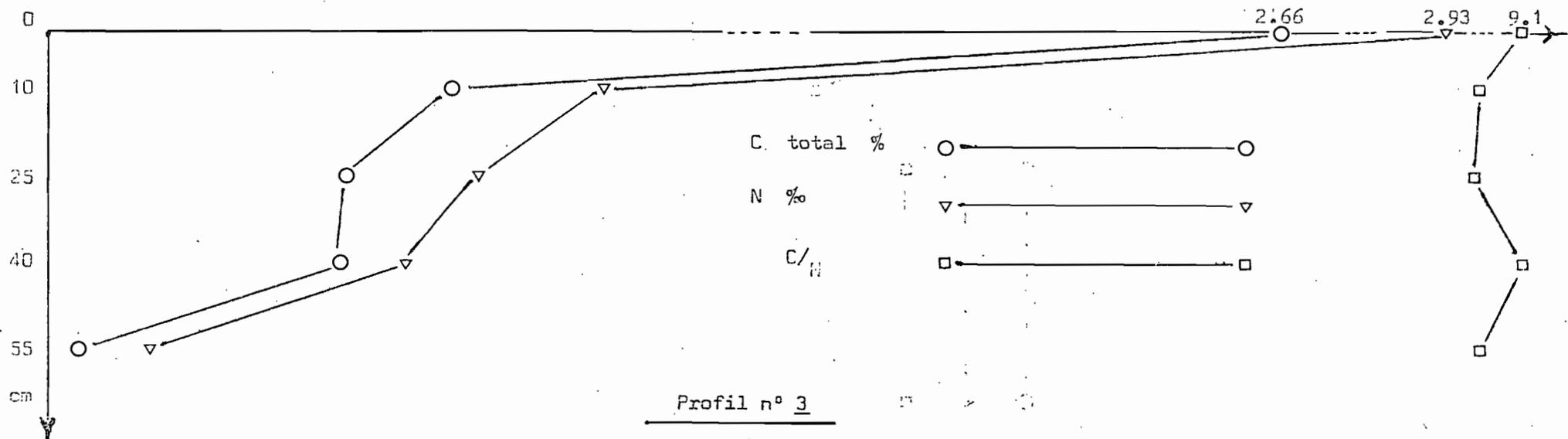
Profil N° 1



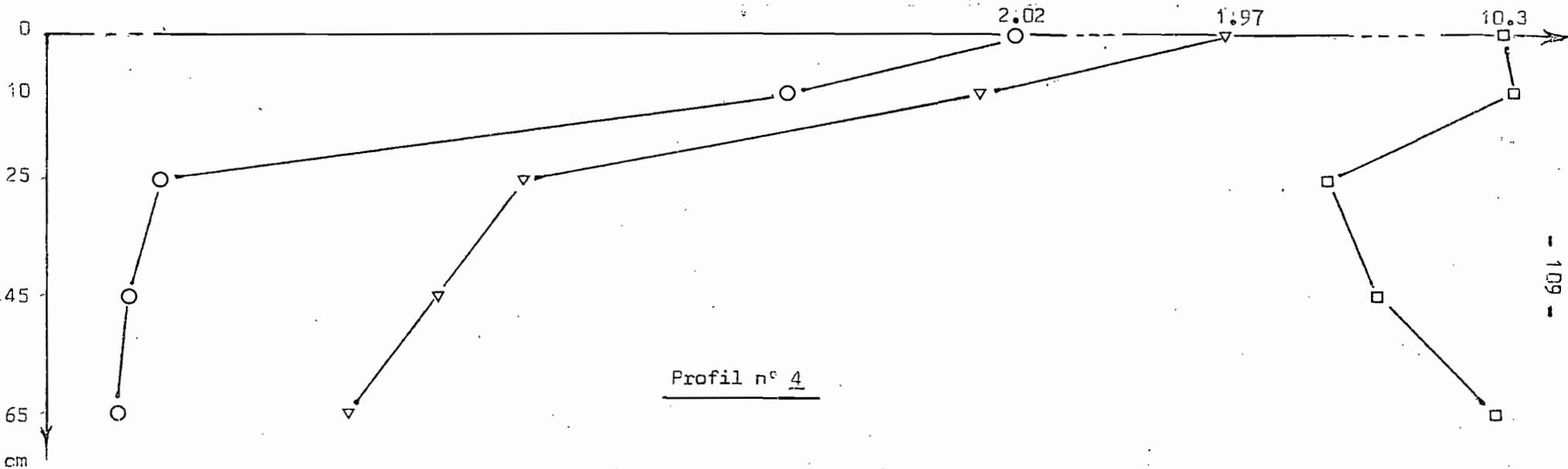
Profil N° 2

Variation du Carbone, de l'Azote et du rapport C/N dans les

4 profils de l' I. R A N



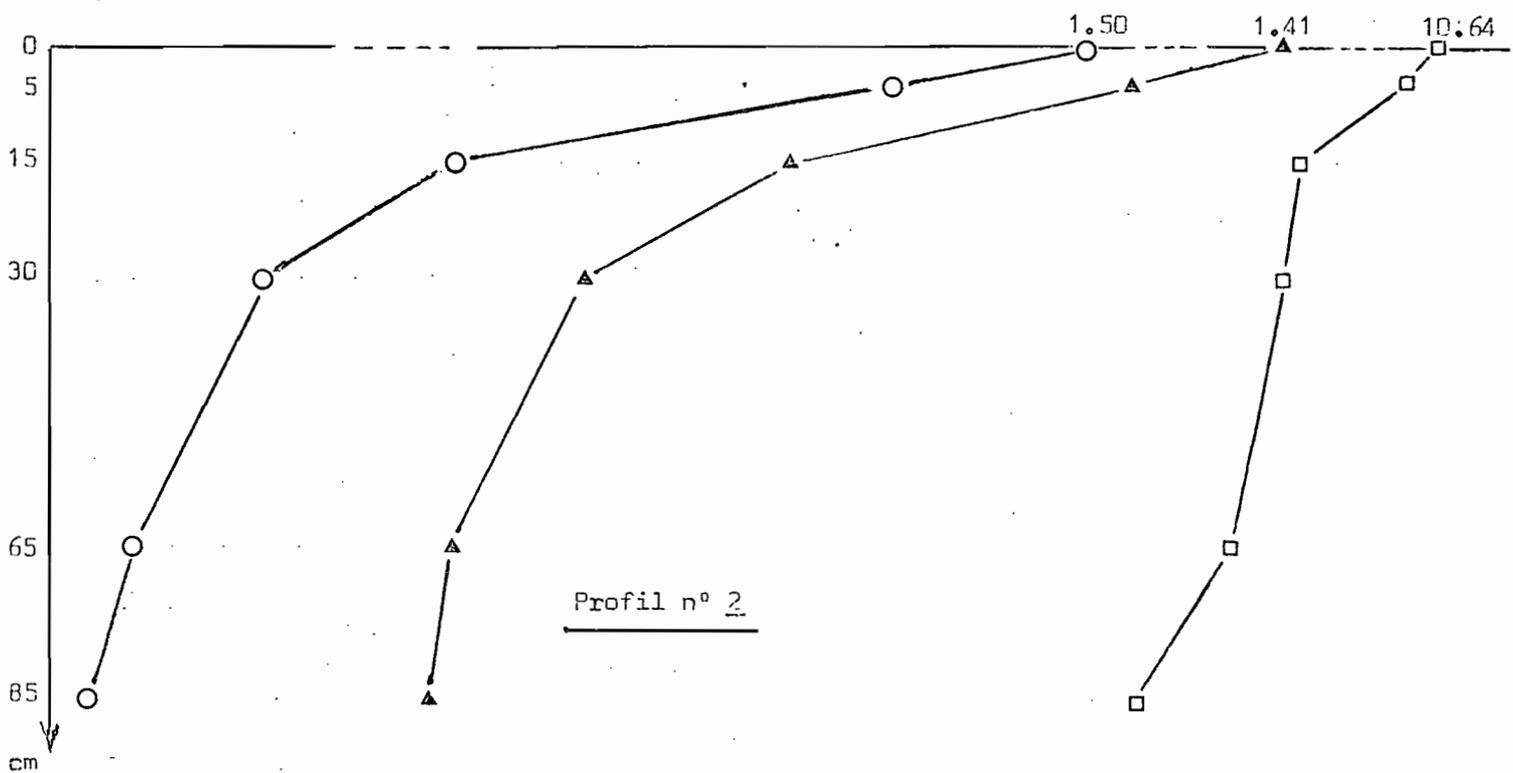
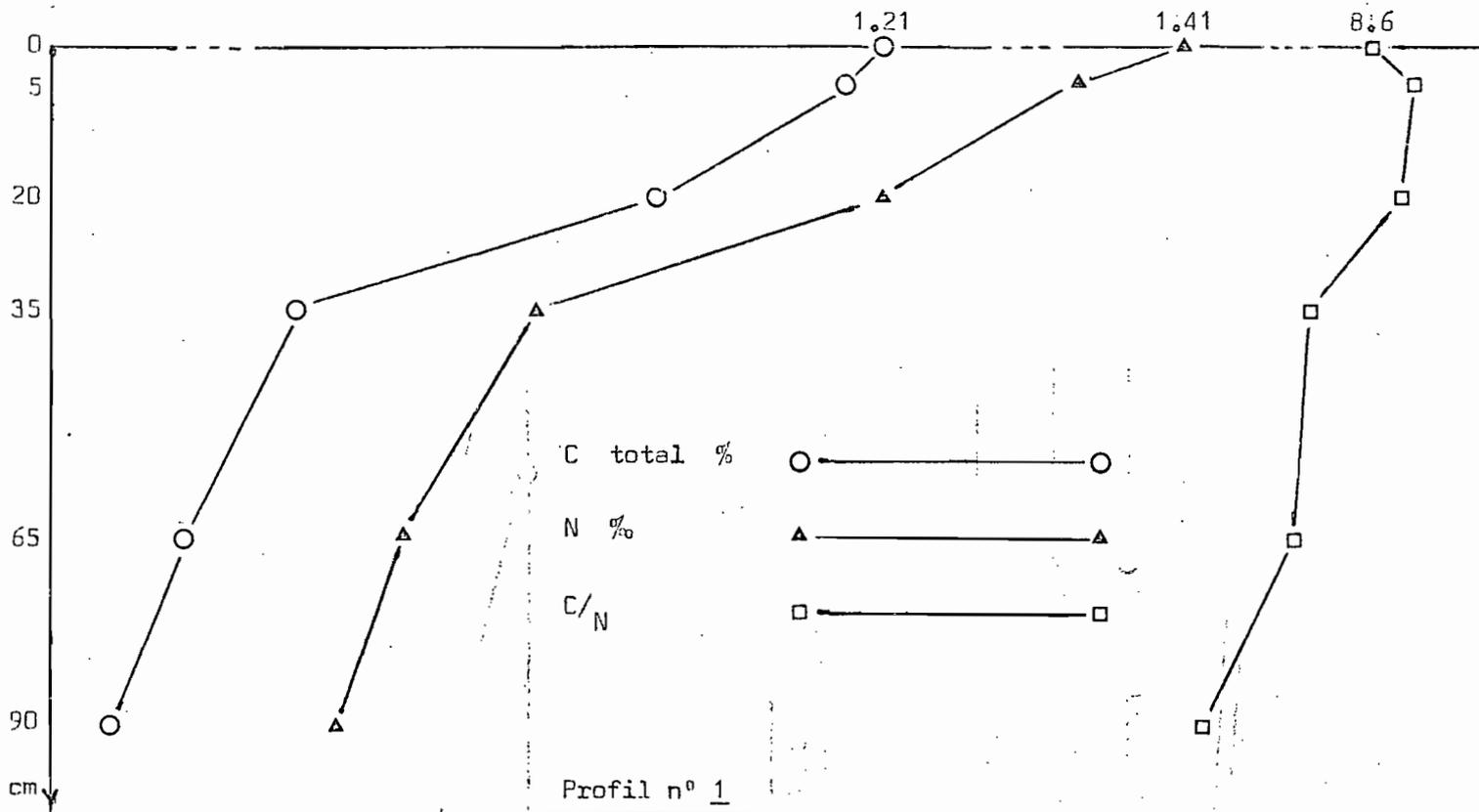
Profil n° 3



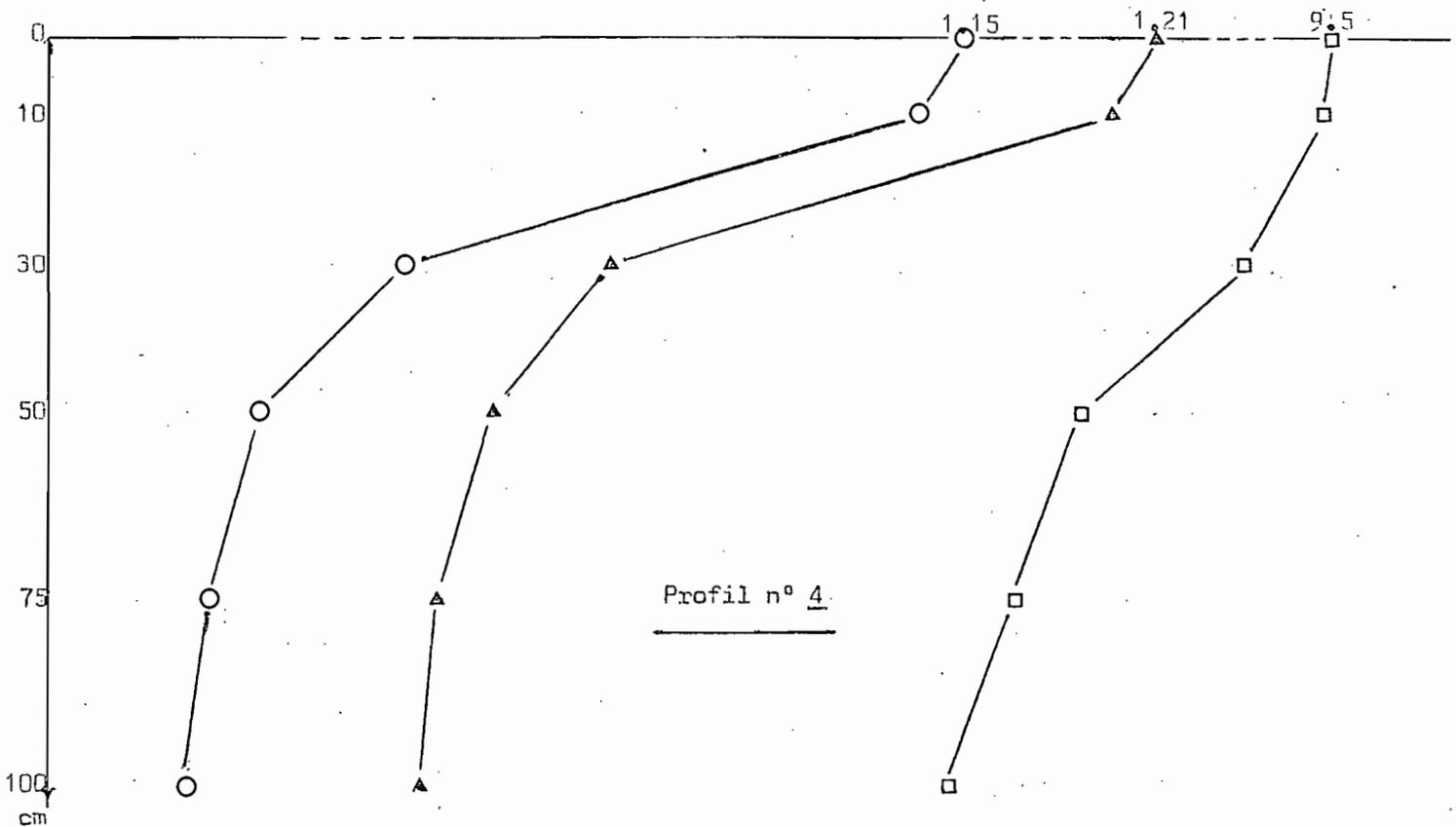
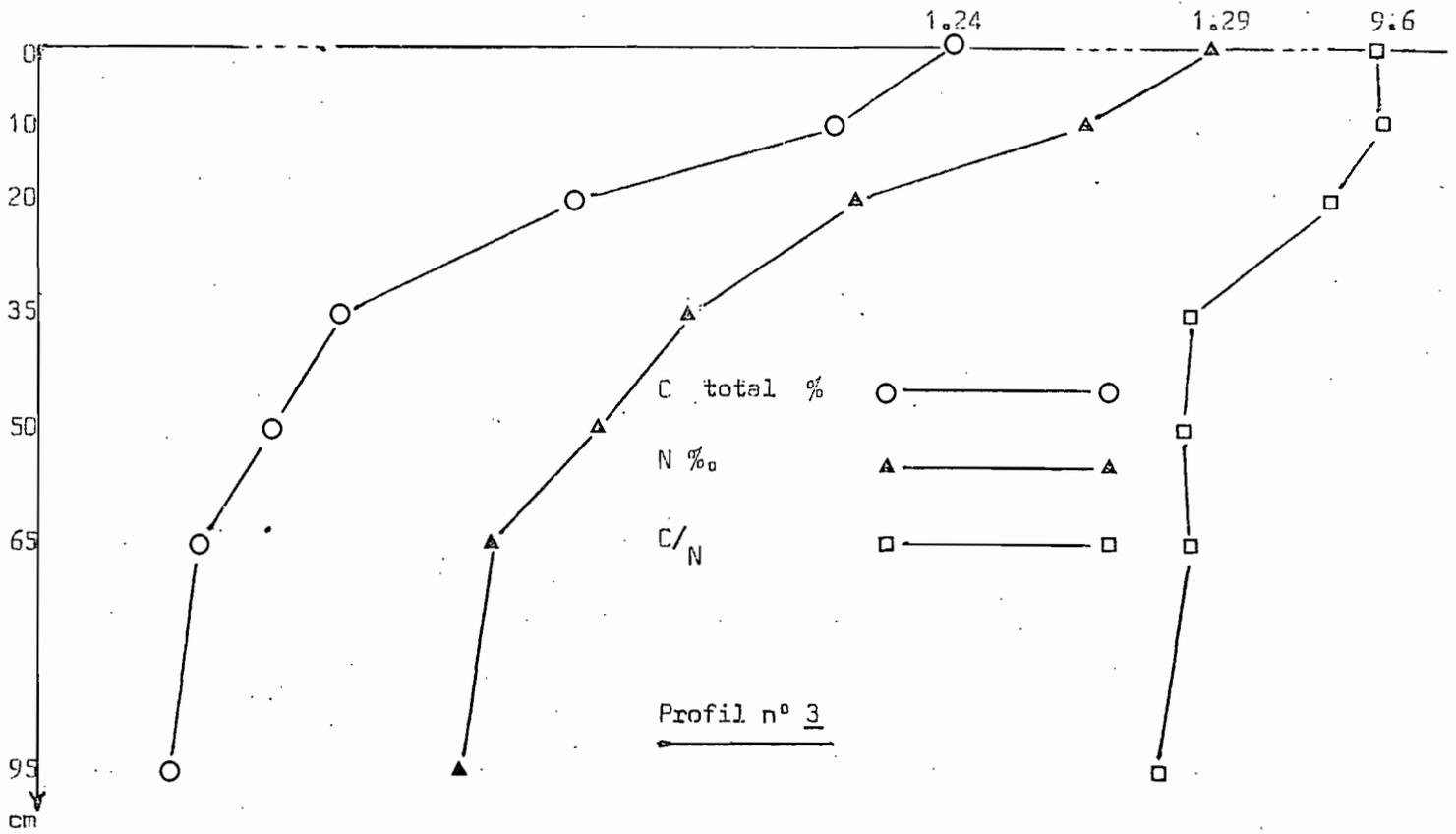
Profil n° 4

Variation du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les

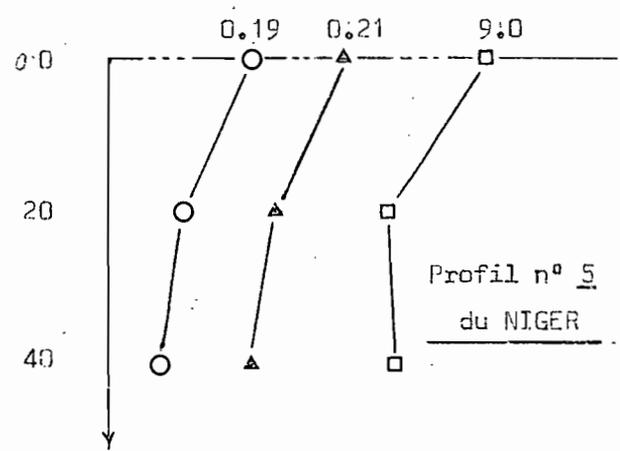
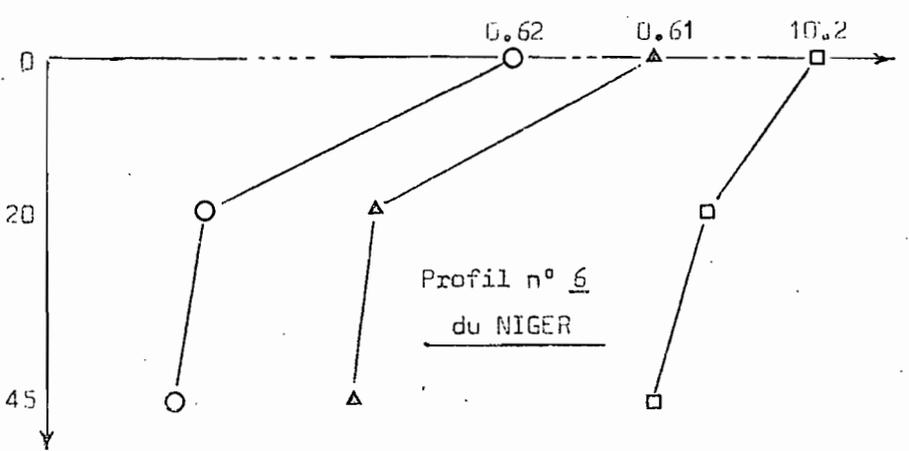
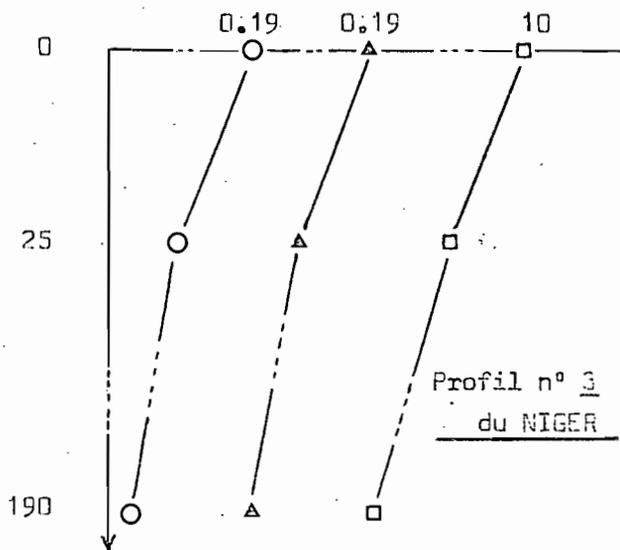
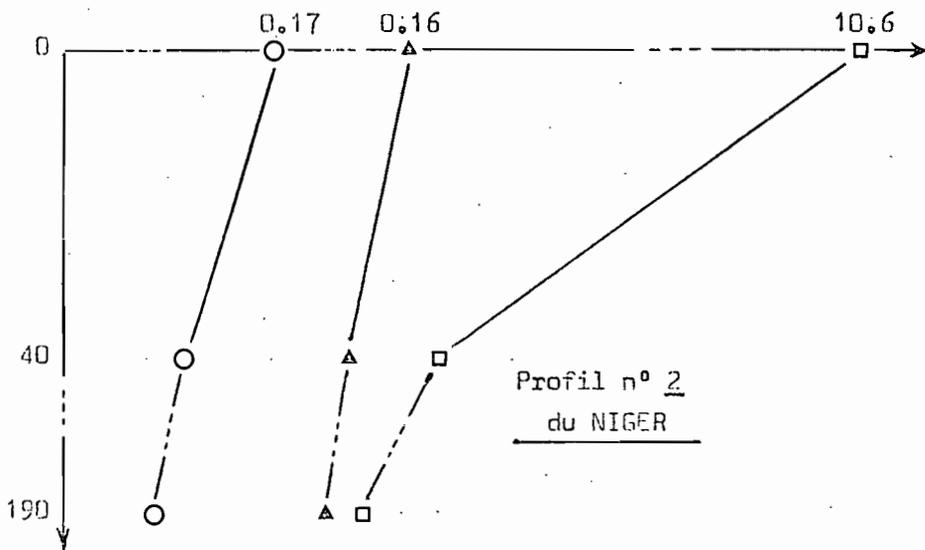
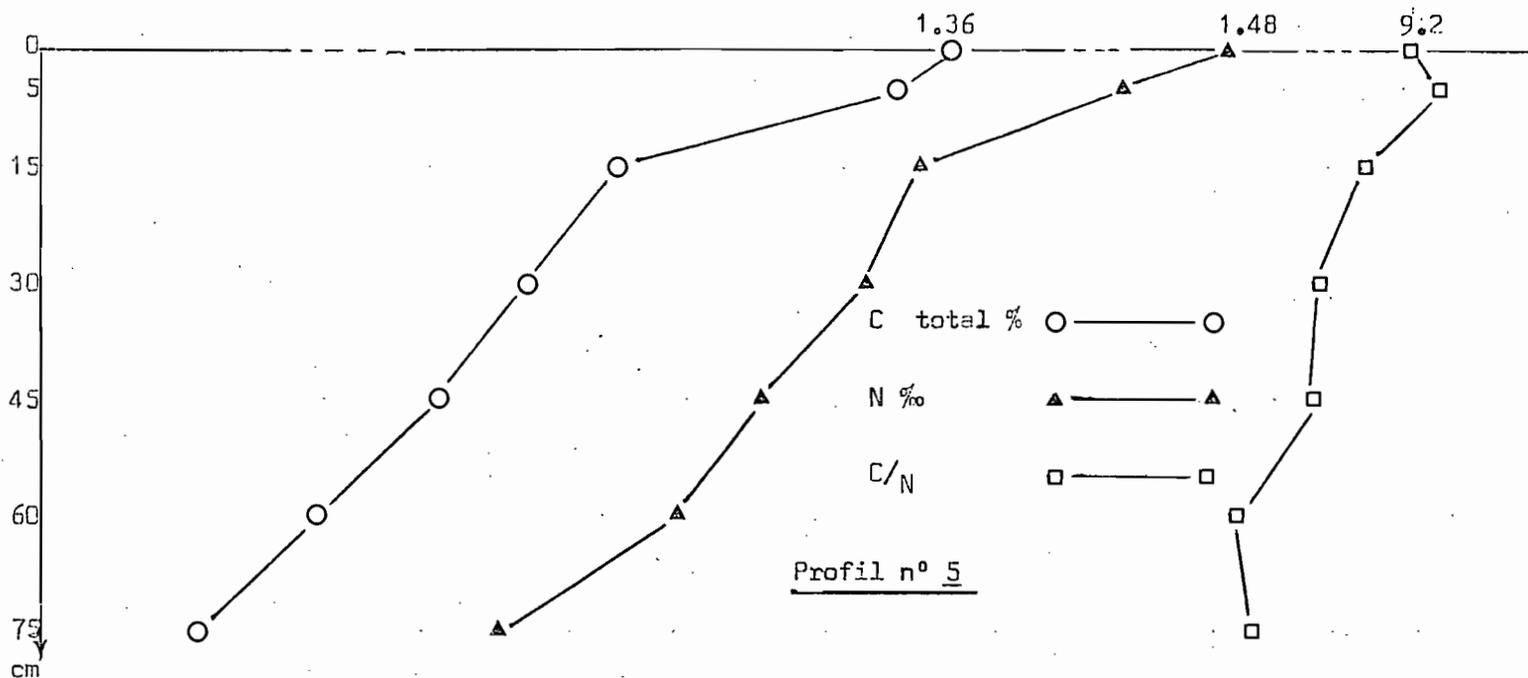
5 profils du M A R O C



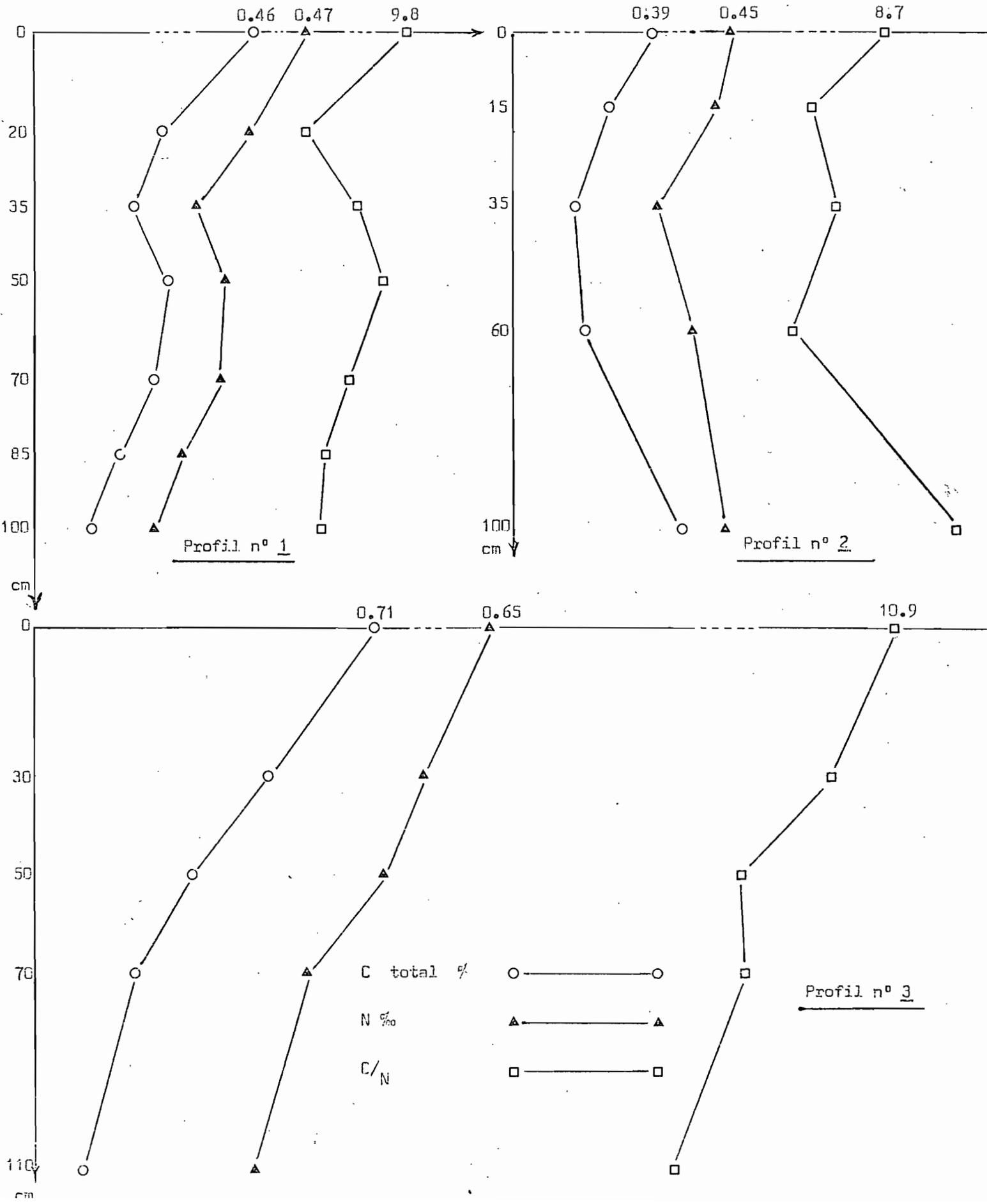
Variation du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les  
5 profils du M A R O C



Variation du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les  
5 profils du M A R O C



Variation du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les 3 profils de TUNISIE



## 2 - Extraction, fractionnement et dosage du carbone des matières humiques

### 21 - L'extraction

D'après les résultats des expériences effectuées par plusieurs auteurs (voir historique) et celles que nous avons présentées au début de ce travail, l'extraction de la matière humique par les solvants alcalins, même le pyrophosphate de sodium à pH peu élevé et à concentration limitée et définie, risque toujours de provoquer une certaine modification de la nature de celle-ci, dont l'intensité n'est certainement pas la même pour les divers types de matière organique. Or, dans un travail comparatif semblable, pour éviter l'augmentation de ces modifications par les extractions successives, nous avons décidé de n'opérer qu'une seule extraction au pyrophosphate de sodium suivant la méthode de Ch. THOMANN (1963), mais toujours à raison de 20g. de terre pour 100ml. de solvant quel que soit le taux du carbone de l'échantillon. Ce rapport a été respecté scrupuleusement malgré le travail technique supplémentaire exigé (289 extractions au lieu de 84), car il a une influence non négligeable comme nous avons pu en montrer l'importance (voir deuxième partie, chapitre II).

22 - Le fractionnement des composés humiques

Le fractionnement chimique par la solubilité variable des composés humiques dans les milieux alcalins nous donne d'abord, au cours de l'extraction, "la matière humique totale" (soluble), et par différence avec le carbone total de l'échantillon, "l'humine" (insoluble). Ensuite, la partie soluble se divise, en présence des acides minéraux concentrés, en deux fractions : les acides fulviques (solubles) et les acides humiques (insolubles). Le fractionnement de ces derniers en acides humiques mobiles et immobiles se fait en utilisant leurs propriétés colloïdales, électronégatives. La différence de leurs vitesses de déplacement vers l'anode dans un champ électrique continu, qui est une fonction de leurs poids moléculaires et parfois d'autres propriétés, les sépare qualitativement les uns des autres (électrophorèse sur papier).

En conséquence, nous n'avons séparé dans ce travail, que quatre fractions. Elles sont, conformément à la taille croissante de la micelle colloïdale, les suivantes :

1) - Les acides fulviques (AF) : possédant les plus petites micelles des composés humiques obtenus, toujours solubles même en milieu acide.

2) - Les acides humiques mobiles (AHM) : leurs micelles sont plus grosses que celles des premiers ; ils ne se redispersent qu'à pH très élevé ; leur floculation nécessite la présence d'acide minéral concentré. Ils sont plus polymérisés que les premiers mais moins liés au support minéral que les suivants.

3) - Les acides humiques immobiles (AHI) : leurs grandes micelles flocculent et s'agglomèrent facilement en présence d'acide minéral même peu concentré. Ils sont fortement liés à la matière minérale. La grosseur de molécule ne leur permet pas un déplacement notable dans l'électrophorèse sur papier.

4) - L'humine (H) : le reste de la matière organique non extractible par le solvant alcalin employé.

23 - Modification apportée à la méthode de dosage du carbone des solutions humiques

Le carbone des extraits humiques a été dosé de la façon suivante :

- d'abord une estimation rapide du taux de celui-ci au moyen de la méthode WALKLEY et BLACK proprement dit, mais avec une prise d'essai identique pour chaque série d'analyse, et sur des groupements de solutions dont les taux de carbone des échantillons sont voisins. Ceci permet d'être dans des conditions de dosage homogène, aboutissant à une approximation du carbone proche de sa valeur réelle.

- ensuite nous avons pris comme base du calcul des prises d'essais définitives cette première évaluation, de façon à ce qu'elles contiennent 10 à 25 mg de carbone pour que l'oxydation soit réalisée dans les meilleures conditions.

- puis, nous les avons amenées à sec, tout en évitant la moindre oxydation préalable du carbone, afin de les placer dans les mêmes conditions de dosage que les échantillons de terre sèche. Enfin, la suite de l'opération a été faite suivant la méthode modifiée décrite dans la deuxième partie (chapitre I).

La teneur en carbone des composés humiques, de même que les représentations graphiques, se trouvent dans les tableaux et les figures ci-après.

+ +  
+

Teneur en Carbone des composés humiques des sols de l'IRAN

Numéro d'échantillon	Prof. en cm	Matière humique extraite ‰					‰ Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acide humique			
				Total	AHM	AHI	
644-1.1	0-25	2.26	0.84	1.42	0.54	0.88	9.84
644-1.2	25-50	1.46	0.71	0.75	0.31	0.44	6.94
644-1.3	50-70	0.78	0.27	0.51	0.22	0.29	5.02
644-1.4	70-110	0.77	0.33	0.44	0.20	0.24	3.83
644-2.1	0-5	1.89	0.72	1.16	0.33	0.83	12.42
644-2.2	5-25	1.50	0.60	0.90	0.31	0.59	10.90
644-2.3	25-50	0.69	0.27	0.41	0.13	0.28	6.32
644-2.4	50-70	0.36	0.22	0.14	0.04	0.10	3.54
644-2.5	70-110	0.12	0.09	0.03	0.01	0.02	1.58
644-3.1	0-10	3.34	1.19	2.15	0.97	1.18	23.26
644-3.2	10-25	2.33	1.13	1.20	0.52	0.68	10.47
644-3.3	25-40	1.74	0.87	0.87	0.34	0.53	9.26
644-3.4	40-55	1.86	0.77	1.09	0.45	0.64	9.04
644-3.5	55-70	1.17	0.64	0.53	0.17	0.36	5.33
644-4.1	0-10	2.88	1.26	1.62	0.76	0.86	17.32
644-4.2	10-25	2.73	1.37	1.36	0.65	0.71	13.67
644-4.3	25-45	1.07	0.85	0.22	0.09	0.13	4.83
644-4.4	45-65	0.75	0.59	0.16	0.06	0.10	4.65
644-4.5	65-80	0.68	0.54	0.14	0.05	0.09	4.52

Teneur en carbone des composés humiques des sols du Maroc

Numéro d'échan- tillon	Prof. en cm	Matière humique extraite ‰					Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acide humique			
				Total	AHM	AHI	
650-1.1	0- 5	2.44	0.48	1.96	0.63	1.33	9.66
650-1.2	5-20	2.21	0.50	1.71	0.55	1.16	9.39
650-1.3	20-35	1.79	0.42	1.37	0.44	0.93	7.31
650-1.4	35-65	0.87	0.35	0.52	0.14	0.38	3.43
650-1.5	65-90	0.47	0.25	0.22	0.05	0.17	2.33
650-1.6	90-120	0.29	0.20	0.09	0.02	0.09	1.51
650-2.1	0- 5	2.15	0.34	1.81	0.62	1.19	12.85
650-2.2	5-15	2.07	0.40	1.67	0.49	1.18	10.33
650-2.3	15-30	1.64	0.41	1.23	0.43	0.80	5.16
650-2.4	30-65	0.95	0.39	0.56	0.14	0.42	3.35
650-2.5	65-85	0.50	0.27	0.23	0.06	0.17	2.10
650-2.6	85-115	0.36	0.23	0.13	0.03	0.10	1.64
650-3.1	0-10	2.38	0.40	1.98	0.48	1.50	10.02
650-3.2	10-20	2.25	0.66	1.59	0.38	1.21	8.55
650-3.3	20-35	1.69	0.44	1.25	0.28	0.97	5.61
650-3.4	35-50	0.87	0.37	0.50	0.10	0.40	3.23
650-3.5	50-65	0.58	0.30	0.28	0.04	0.24	2.62
650-3.6	65-95	0.34	0.24	0.10	0.02	0.08	1.86
650-3.7	95-120	0.24	0.19	0.05	0.01	0.04	1.56
650-4.1	0-10	2.35	0.38	1.97	0.51	1.46	9.15
650-4.2	10-30	2.44	0.40	2.04	0.61	1.43	8.46
650-4.3	30-50	0.67	0.33	0.34	0.07	0.27	3.23
650-4.4	50-75	0.28	0.22	0.06	0.01	0.05	1.62
650-4.5	75-100	0.14	0.11	0.03	0.01	0.02	1.02
650-4.6	100-125	0.09	0.07	0.02	0.01	0.01	0.81
650-5.1	0- 5	2.57	0.21	2.36	0.71	1.65	11.03
650-5.2	5-15	2.20	0.18	2.02	0.67	1.35	10.70
650-5.3	15-30	2.03	0.13	1.90	0.57	1.33	7.17
650-5.4	30-45	1.43	0.35	1.08	0.33	0.75	6.57
650-5.5	45-60	1.19	0.34	0.85	0.22	0.63	5.61
650-5.6	60-75	0.64	0.36	0.28	0.06	0.22	4.56
650-5.7	75-95	0.46	0.32	0.14	0.03	0.11	3.14

Teneur en Carbone des composés humiques des sols du NIGER

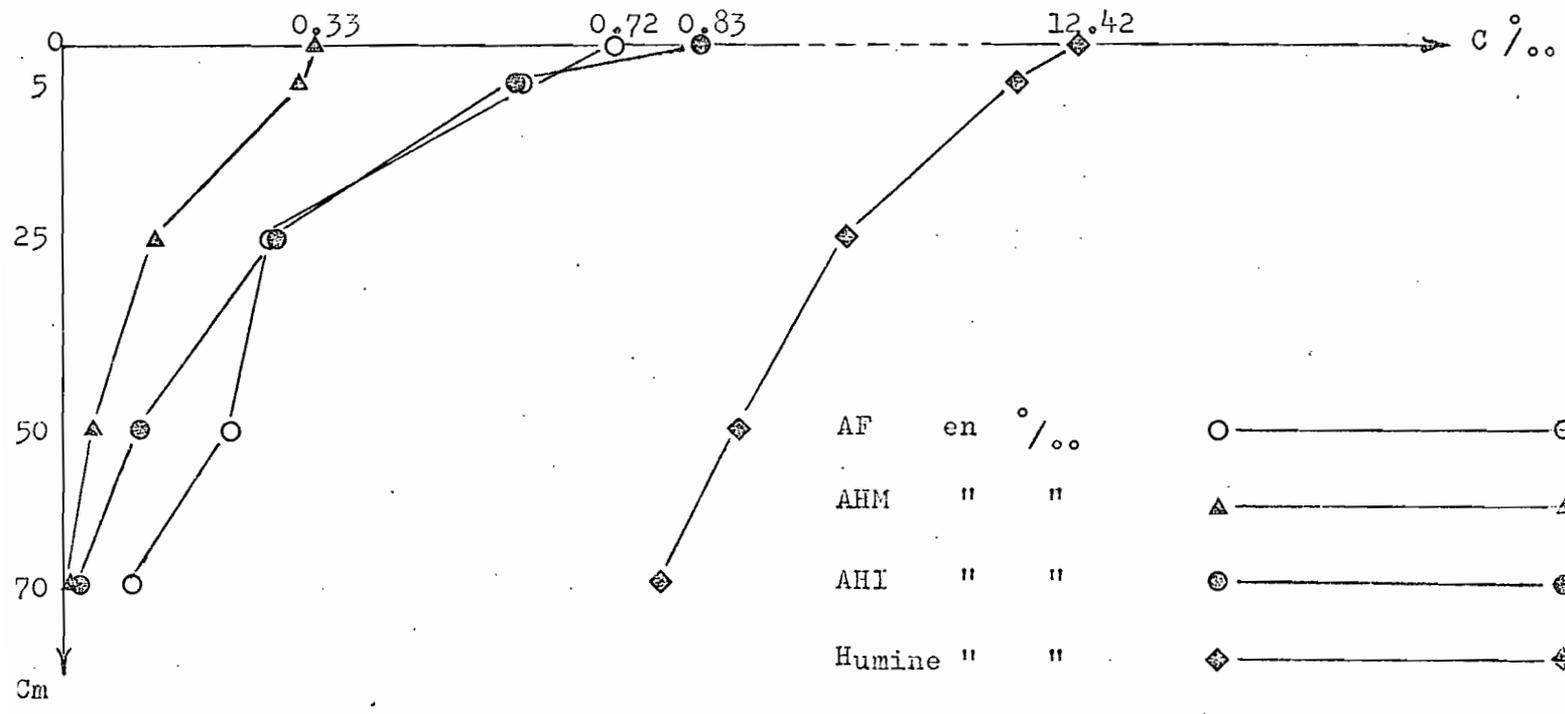
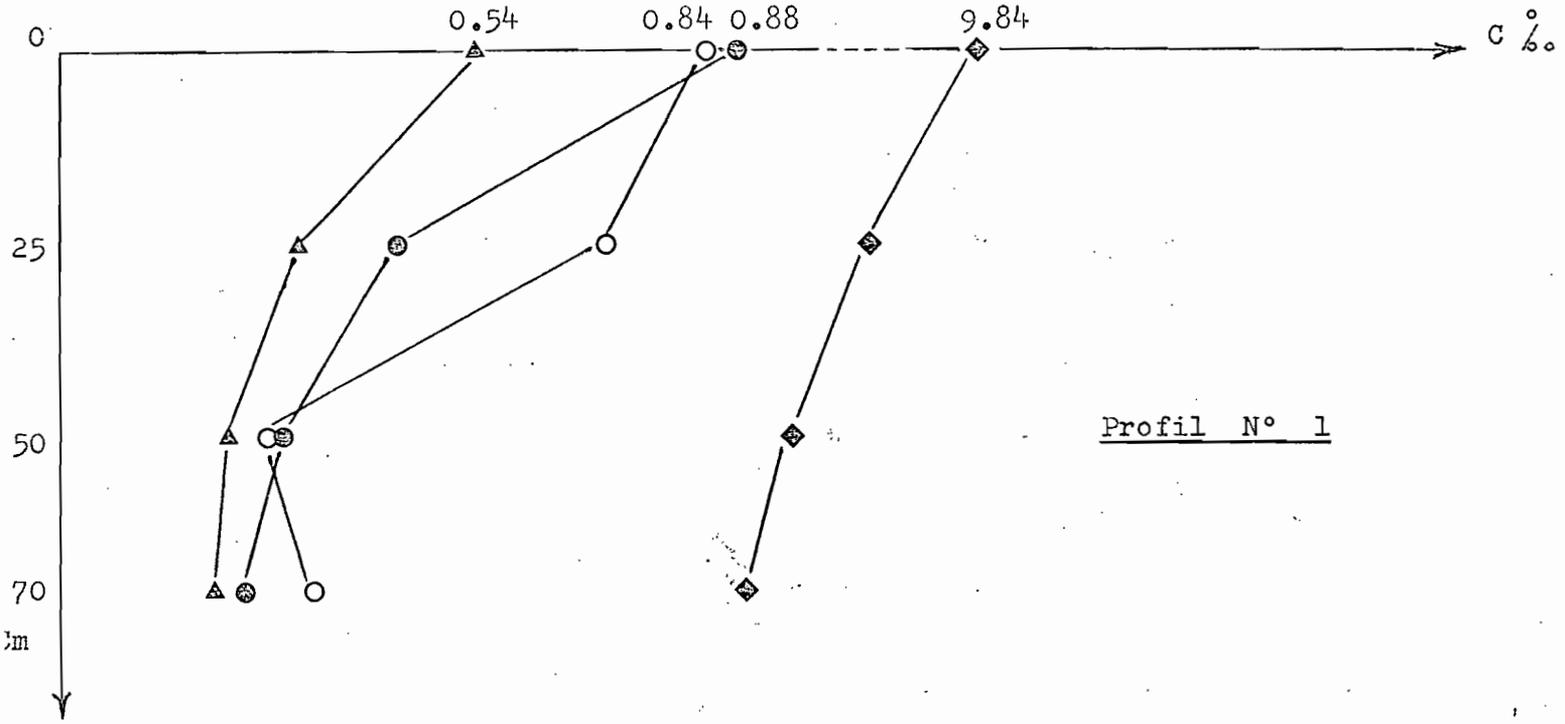
Numéro d'échantillon	Prof. en cm	Matière humique extraits ‰					‰ Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acide humique			
				Total	AHM	AHI	
663-1.2	3-18	1.04	0.09	0.95	0.21	0.74	2.86
663-1.4	60-70	0.71	0.16	0.55	0.15	0.40	2.09
663-2.1	0-10	0.31	0.13	0.18	0.06	0.12	1.39
663-2.3	40-50	0.19	0.12	0.07	0.02	0.05	0.41
663-2.5	190-200	0.08	0.06	0.02	0.01	0.01	0.12
663-3.1	0-10	0.29	0.09	0.20	0.06	0.14	1.61
663-3.3	25-35	0.22	0.09	0.14	0.03	0.11	0.68
663-3.6	190-200	0.14	0.12	0.02	0.01	0.01	0.16
663-4.1	0-10	0.64	0.20	0.44	0.13	0.31	4.26
663-4.2	30-40	0.37	0.14	0.23	0.05	0.18	1.23
663-5.1	0-10	0.34	0.11	0.23	0.06	0.17	1.56
663-5.2	15-25	0.21	0.08	0.13	0.03	0.10	0.79
663-5.3	40-50	0.14	0.07	0.07	0.01	0.06	0.56
663-6.1	0-10	1.12	0.33	0.79	0.22	0.57	5.08
663-6.2	15-25	0.68	0.19	0.49	0.10	0.39	1.42
663-6.3	45-55	0.34	0.15	0.19	0.04	0.15	1.36

Teneur en Carbone des composés humiques des sols de la TUNISIE

Numéro d'échantillon	Prof. en cm	Matière humique extraite ‰					‰ Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acide humique			
				Total	AHM	AHI	
647-1.1	0-15	0.79	0.38	0.41	0.13	0.28	3.81
647-1.2	20-35	0.52	0.23	0.29	0.10	0.19	2.18
647-1.3	35-50	0.45	0.09	0.36	0.10	0.26	1.65
647-1.4	50-65	0.86	0.17	0.69	0.23	0.46	1.94
647-1.5	70-85	0.54	0.22	0.32	0.11	0.21	1.96
647-1.6	85-100	0.39	0.20	0.19	0.06	0.13	1.31
647-1.7	100-125	0.29	0.25	0.04	0.01	0.03	0.91
647-2.1	0-15	0.75	0.42	0.33	0.08	0.25	3.15
647-2.2	15-28	0.64	0.34	0.30	0.13	0.17	2.36
647-2.3	35-50	0.51	0.32	0.19	0.08	0.11	1.79
647-2.4	60-75	0.49	0.18	0.31	0.10	0.21	2.01
647-2.5	100-120	1.15	0.52	0.63	0.14	0.49	3.35
647-3.1	0-20	1.70	0.54	1.16	0.45	0.71	5.40
647-3.2	20-50	1.04	0.47	0.57	0.22	0.35	3.86
647-3.3	50-70	0.57	0.30	0.27	0.09	0.18	2.73
647-3.4	70-95	0.35	0.27	0.08	0.02	0.06	1.75
647-3.5	110-130	0.21	0.18	0.03	0.01	0.02	0.79

Teneur en carbone des composés humiques des sols de l'Iran.

(L'échelle de l'humine est 20 fois plus petite que celle des autres)



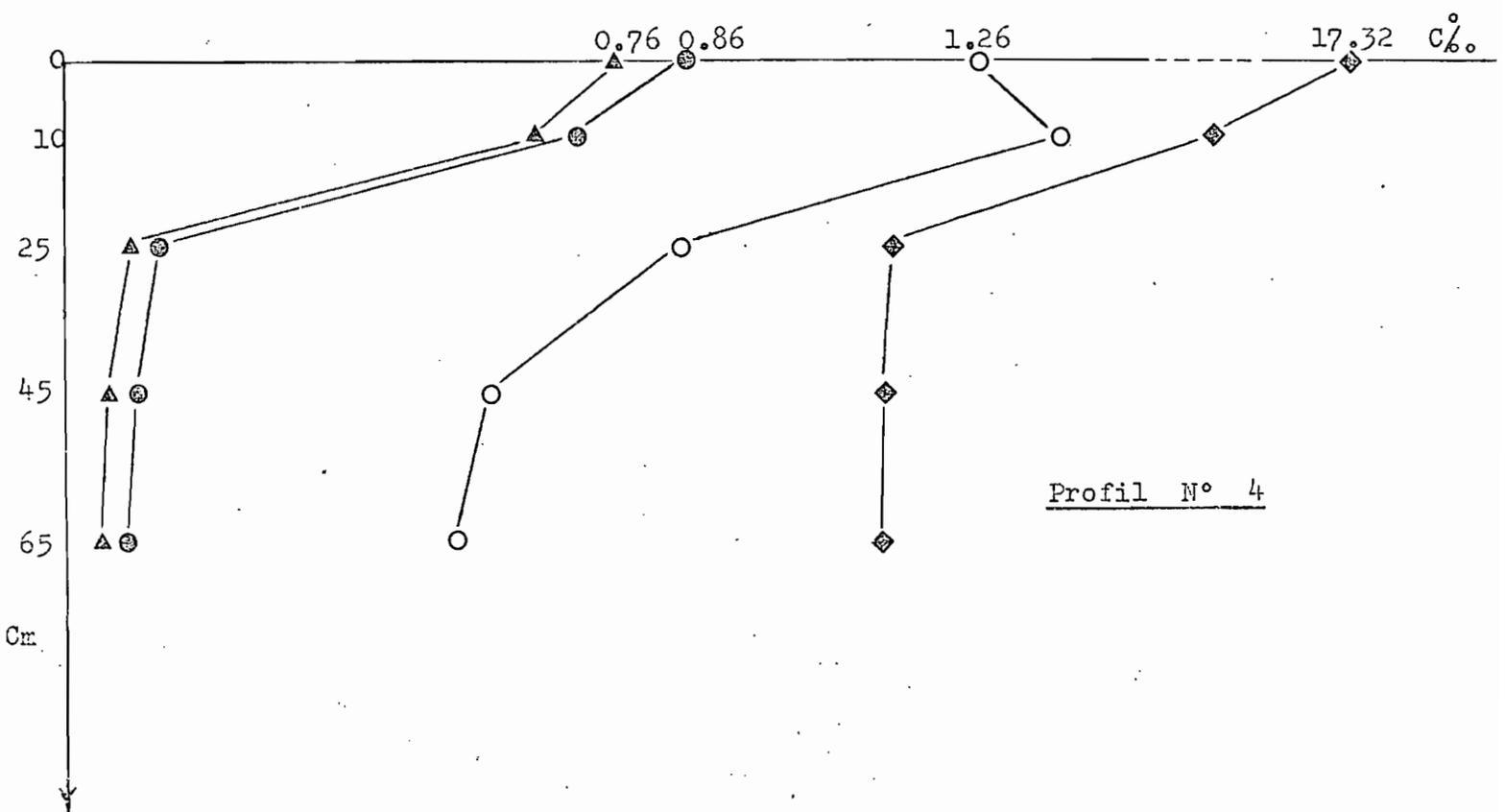
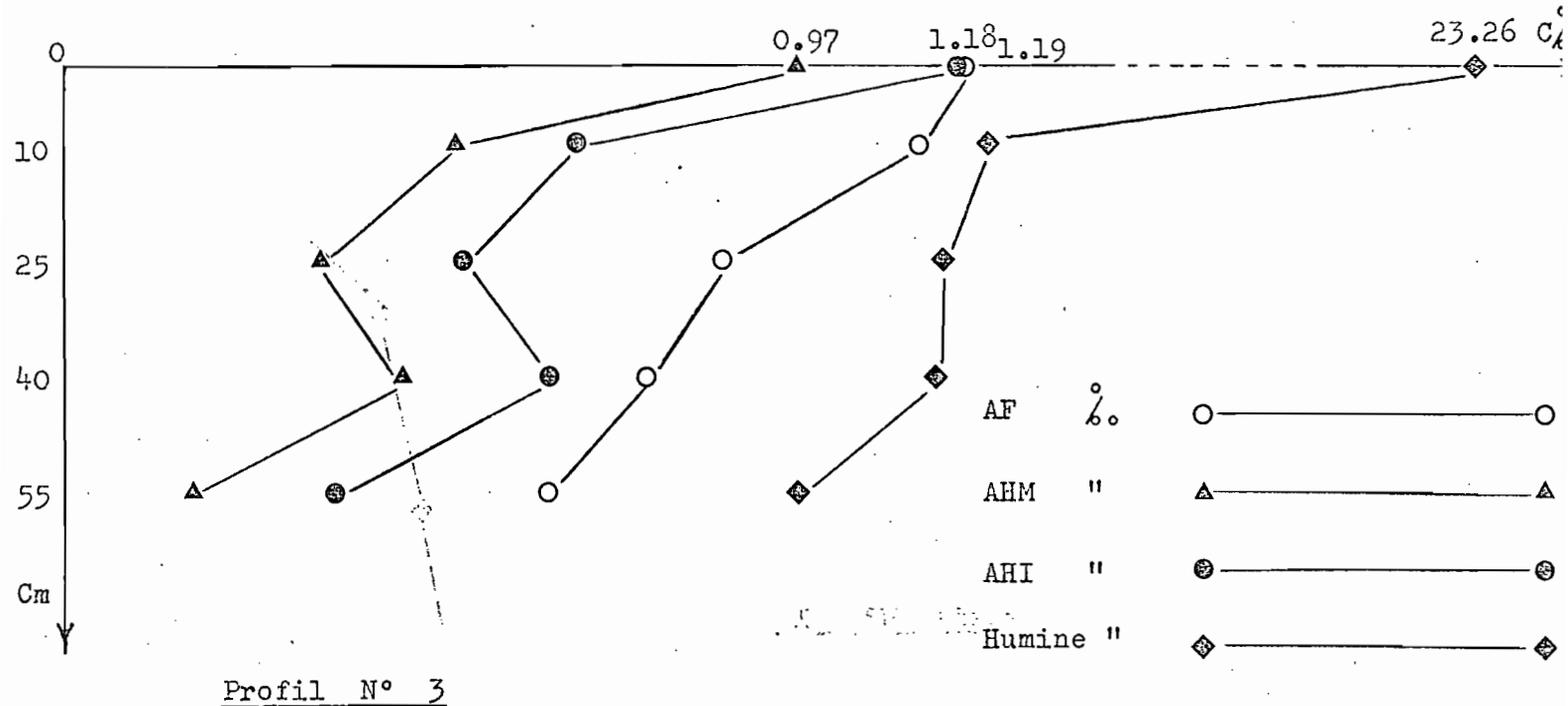
AF en ‰  
AHM " "  
AHI " "  
Humine " "

○ ——— ○  
△ ——— △  
⊗ ——— ⊗  
◇ ——— ◇

Profil N° 2

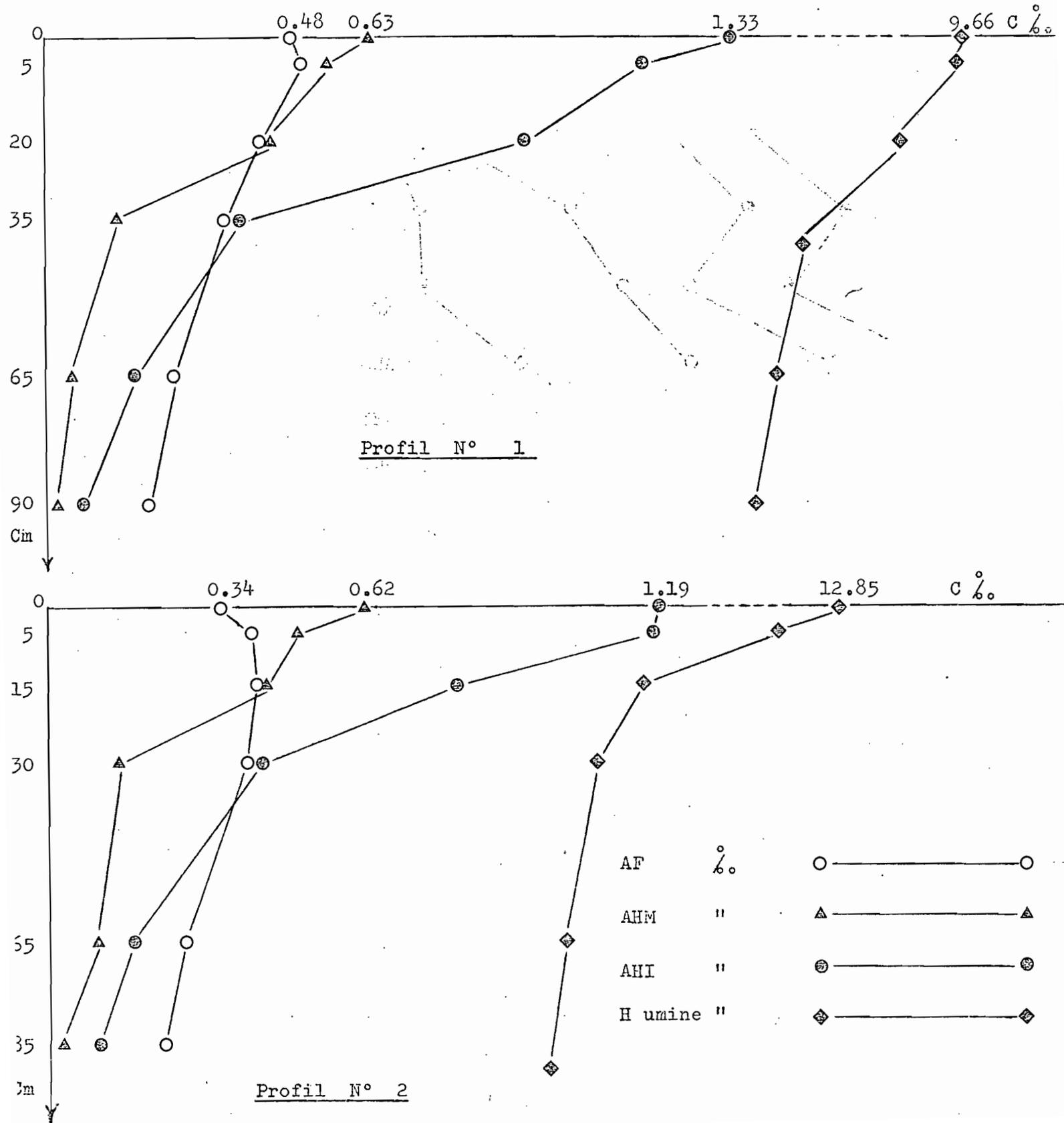
Teneur en carbone des composés humiques des sols de l'Iran.

(L'échelle de l'humine est 20 fois plus petite que celle des autres)



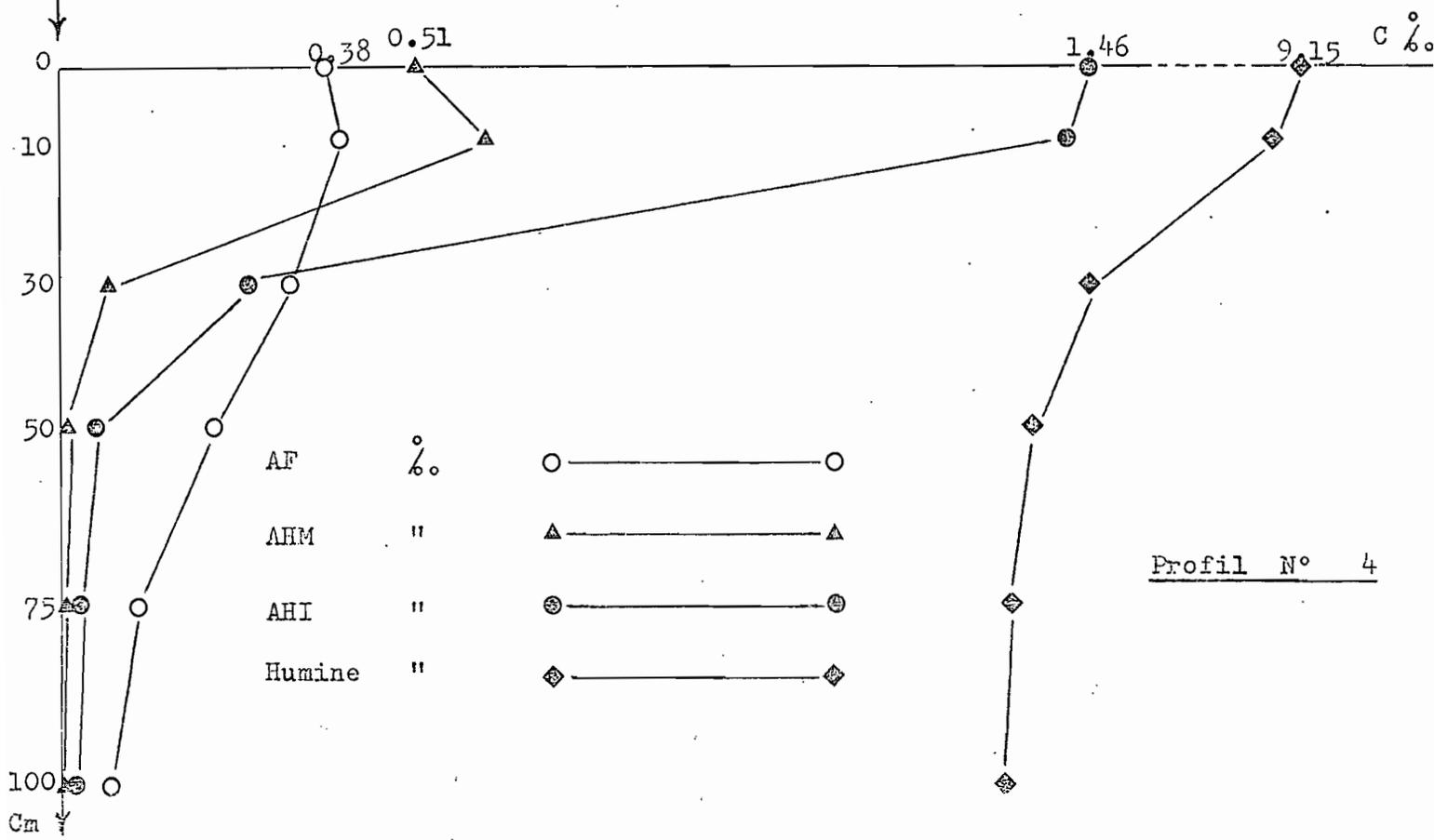
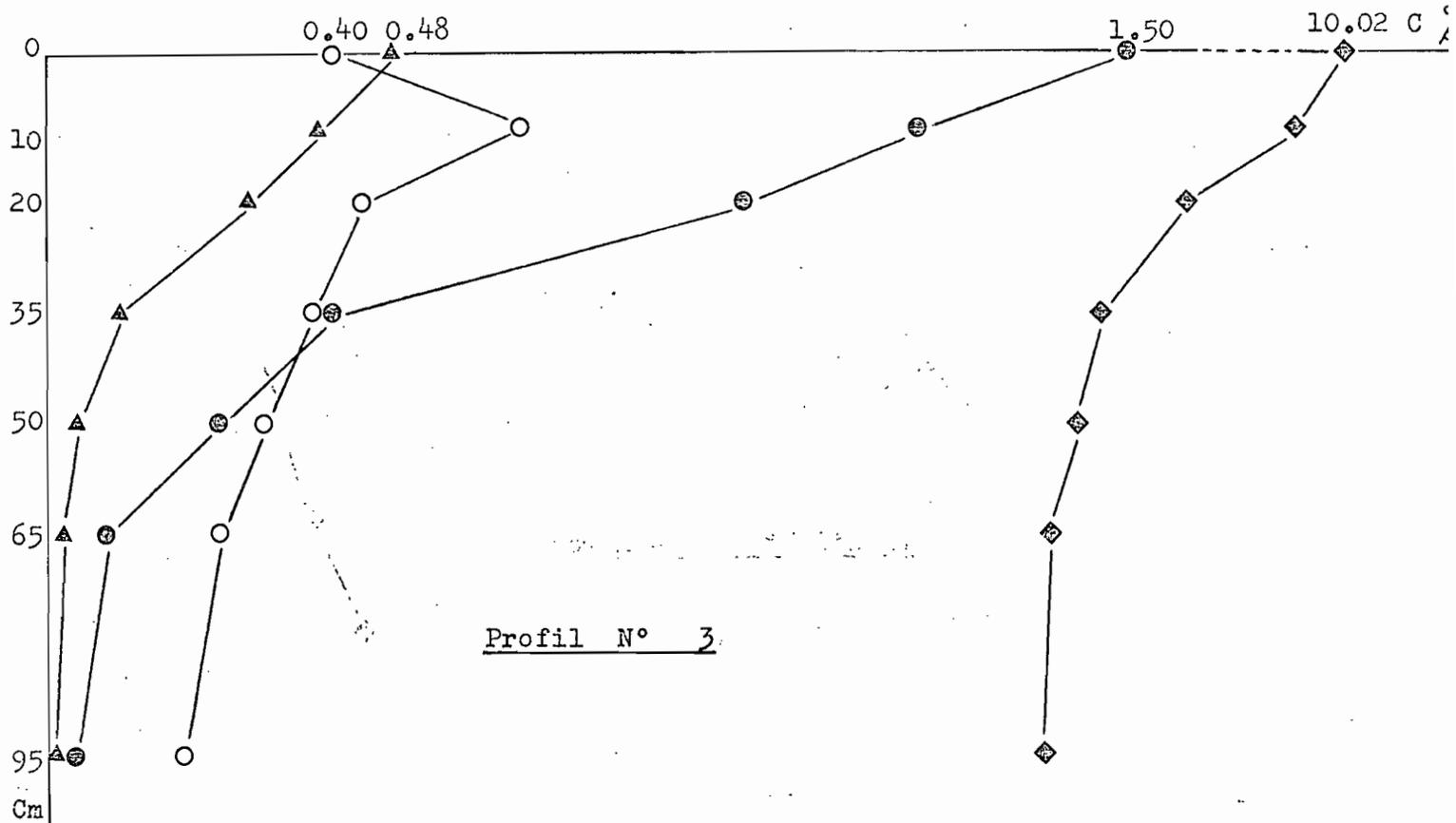
Teneur en carbone des composés humiques des sols du Maroc.

(L'échelle de l'humine est 20 fois plus petite que celle des autres)



Teneur en carbone des composés humiques des sols du Maroc.

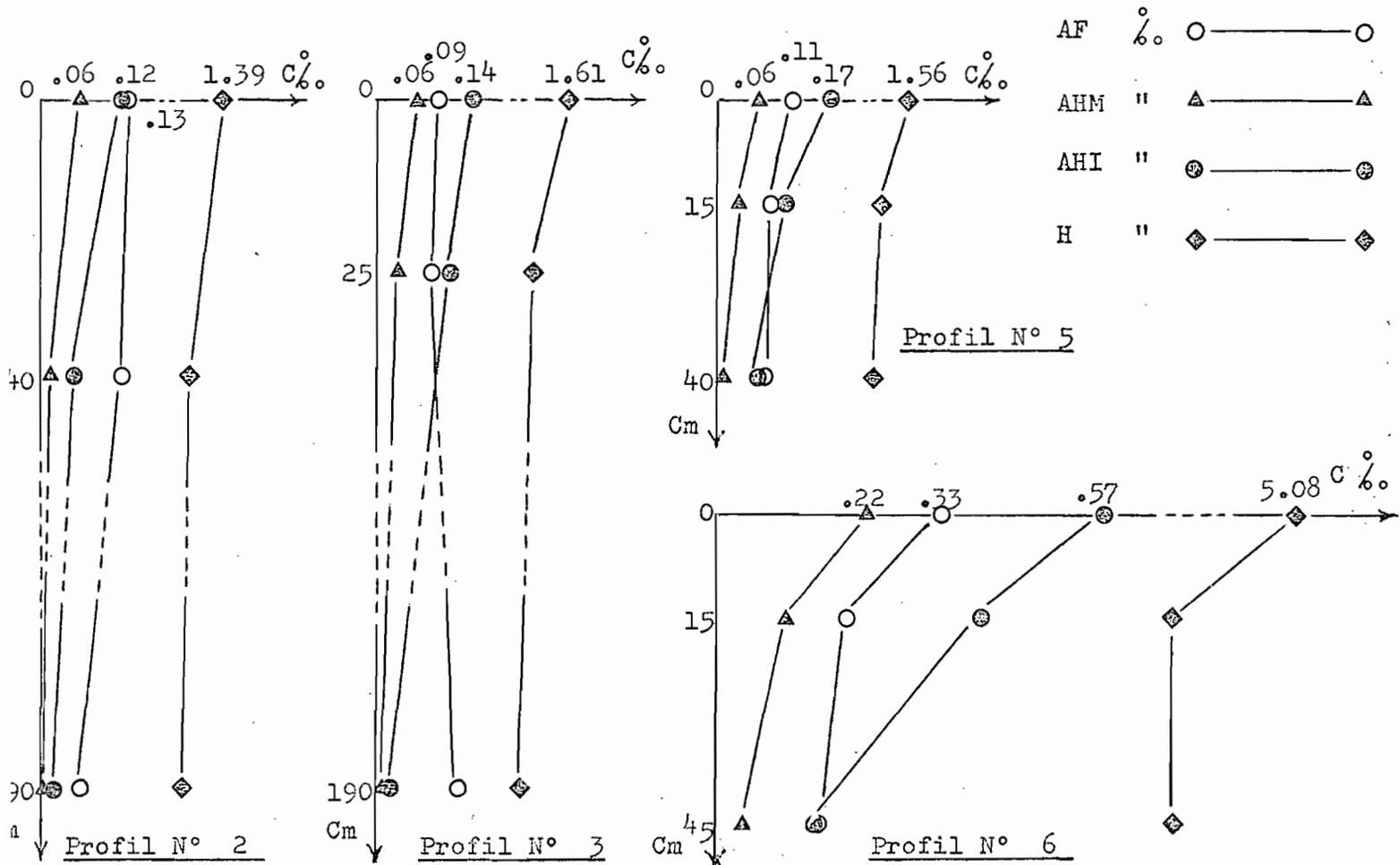
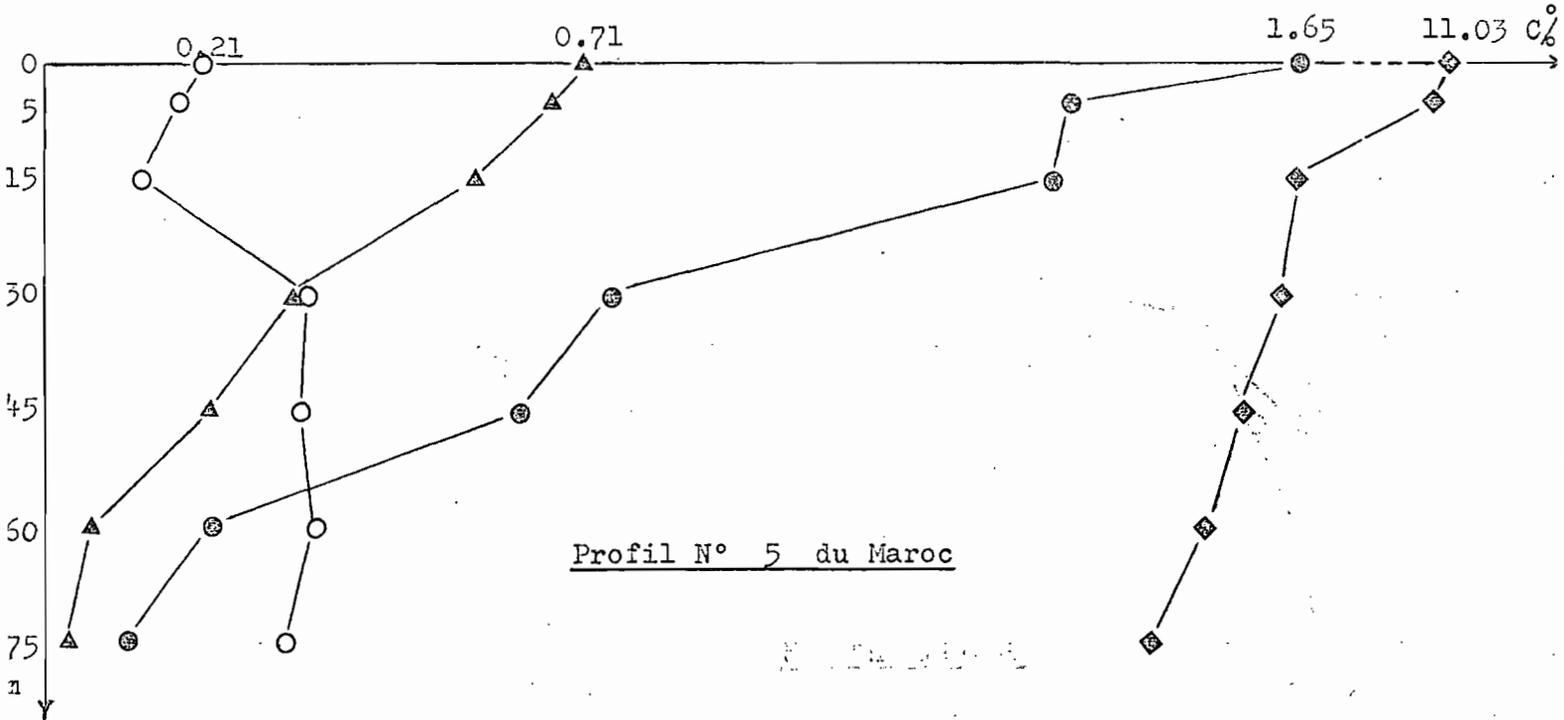
(L'échelle de l'humine est 20 fois plus petite que celle des autres)



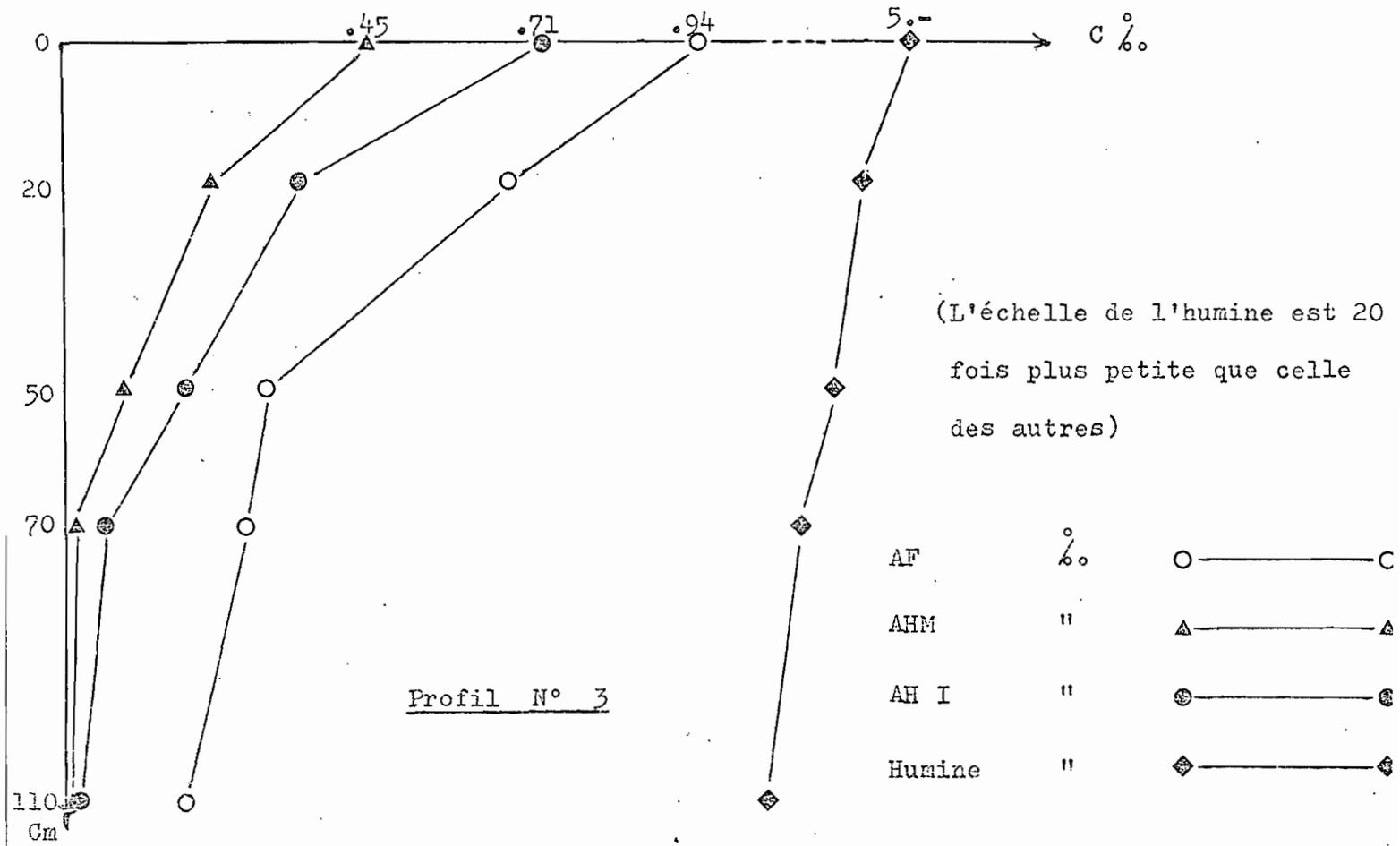
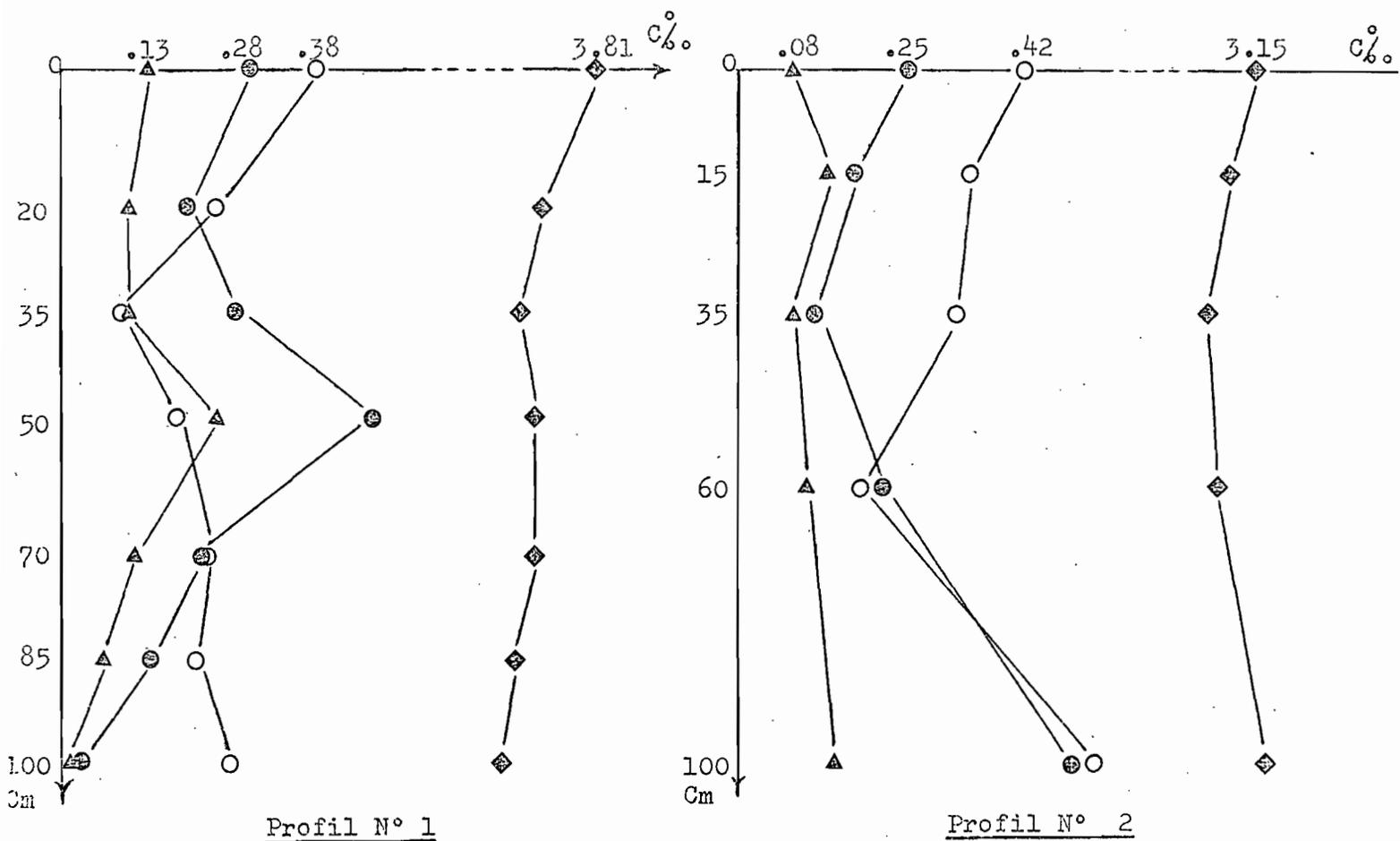
AF	%	○	○
AHM	"	△	△
AHI	"	⊗	⊗
Humine	"	◇	◇

Composés humiques du profil N° 5 du Maroc et ceux des sols du Niger.

(L'échelle de l'humine est 20 fois plus petite que celle des autres)



Teneur en carbone des composés humiques des sols de la Tunisie.



## CHAPITRE II ; ETUDE DE LA NATURE DE LA MATIERE ORGANIQUE

### INTRODUCTION

L'évolution de la matière organique dans le sol est sous la dépendance étroite des conditions du milieu bien que cette matière, à son tour, contribue largement à déterminer les contraintes du milieu. Son influence, cependant, apparaît sous des jours quelque peu différents en conditions naturelles ou en conditions de sol cultivé. Dans le premier cas, son rôle essentiel semble être son influence sur la pédogenèse, tandis que dans un sol cultivé, elle apparaît surtout comme un des facteurs fondamentaux déterminant les propriétés physiques du sol et régissant la nutrition des végétaux. Les interactions possibles entre les facteurs climatiques et physico-chimiques du milieu, déterminent la nature du matériel végétal origine de la matière organique du sol et, jusqu'à un certain point, les caractères des groupements de micro-organismes qui contribueront à transformer ce matériau en ces produits humiques que nous étudions dans ce sol. Or, de même que la matière organique influence énormément l'évolution pédologique d'un sol, réciproquement les conditions physico-chimiques et biologiques de celui-ci modifient la nature des débris végétaux et animaux déposés à sa surface ou dans sa masse. L'intensité de ce phénomène est telle qu'après un certain temps d'évolution, la matière organique obtenue ne ressemble plus, ni physiquement, ni chimiquement, à ce qui existait à l'origine (couleur, pH, C/N etc...). Une même matière organique (même s'il s'agit d'engrais vert ou de fumier) évoluant dans des sols différents peut donner naissance à des matières humiques entièrement différentes. Il en résulte que la nature et les rapports possibles entre les diverses fractions de cette matière dans le sol sont un véritable indice de son évolution pédologique. Par conséquent, il est très important de connaître ces divers éléments. Mais, comme sa composition chimique est très variable, complexe et mal connue, il n'est pratiquement pas possible de faire une appréciation globale purement chimique des composés obtenus. En conséquence, la différenciation de celle-ci est fondée simplement sur des propriétés physiques, chimiques, biologiques,

et sur le rapport entre certains de ses corps élémentaires constitutifs (par exemple la structure, l'aération, le pH, C/N etc...) selon la classification habituelle de l'humus (DUCHAUFDOR 1960). Mais comme la variation de ces données, le long d'un profil, nous paraît insuffisante, nous avons envisagé en plus d'étudier les rapports, dont la variation est beaucoup plus sensible que celle de C/N par exemple, tels que ceux entre les fractions humiques obtenues et le carbone total de chaque horizon ou entre les composés humiques eux-mêmes.

a - Rapports des composés humiques avec le carbone total de chaque horizon

Les valeurs des composés humiques en % du carbone total de chaque horizon nous fournissent des renseignements, en particulier, sur le degré de polymérisation et de liaison minérale de la matière organique étudiée qui est un critère fondamental de la nature de celle-ci.

b - Rapports des composés humiques entre eux

b<sub>1</sub> - Proportion des éléments dans la matière humique extraite (M.H.T.)

Les pourcentages des composés humiques extraits dans la masse totale d'extraction (AH/MHT - AF/MHT - AHI/MHT - AHM/MHT en %) nous renseignent sur la proportion des composés fortement liés, faiblement liés et non liés au support minéral, de même que sur l'intensité de la polymérisation.

b<sub>2</sub> - Rapports entre les autres composés

Les rapports des acides fulviques aux acides humiques totaux et à leurs deux fractions, de même que ceux des acides humiques mobiles aux acides humiques immobiles et les proportions de ces derniers dans les acides humiques totaux, pourront également aider à l'interprétation des résultats.

+ +  
+

## Rapports des composés humiques avec le carbone total

## Les sols de l'IRAN

En % de carbone organique total							
Numéro d'échan- tillon	Prof. en cm	Matière humique totale extraite (MHT)					Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acide humique (AH)			
				Total	AHM	AHI	
644-1.1	0-25	18.68	6.94	11.74	4.46	7.28	81.32
644-1.2	25-50	17.38	8.45	8.93	3.66	5.27	82.62
644-1.3	50-70	13.45	4.66	8.79	3.78	5.01	86.55
644-1.4	70-110	16.74	7.17	9.57	4.40	5.17	83.26
644-2.1	0- 5	13.15	5.03	8.12	2.27	5.85	86.85
644-2.2	5-25	12.10	4.84	7.26	2.47	4.79	87.90
644-2.3	25-50	9.72	4.00	5.72	1.77	3.95	90.28
644-2.4	50-70	9.23	5.64	3.59	1.11	2.48	90.77
644-2.5	70-110	7.06	5.29	1.77	0.41	1.36	92.94
644-3.1	0-10	12.56	4.47	8.09	3.64	4.45	87.44
644-3.2	10-25	18.20	8.83	9.37	4.03	5.34	81.80
644-3.3	25-40	15.82	7.91	7.91	3.08	4.83	84.18
644-3.4	40-55	17.06	7.06	10.00	4.10	5.90	82.94
644-3.5	55-70	18.00	9.85	8.15	2.61	5.54	82.00
644-4.1	0-10	14.26	6.24	8.02	3.77	4.25	85.74
644-4.2	10-25	16.65	8.36	8.29	3.98	4.31	83.35
644-4.3	25-45	18.13	14.41	3.72	1.53	2.19	81.87
644-4.4	45-65	13.89	10.92	2.97	1.13	1.84	86.11
644-4.5	65-80	13.08	10.39	2.69	0.99	1.70	86.92

## Les sols du MAROC

Numéro d'échan- tillon	Prof. en cm	En % du carbone organique total					Matière non extraite "Humine"
		Matière humique totale extraite (MHT)			Acides humiques (AH)		
		Totale	AF	Total	AHM	AHI	
650-1.1	0-5	20.16	3.96	16.20	5.18	11.02	79.84
650-1.2	5-20	19.05	4.31	14.74	4.72	10.02	80.95
650-1.3	20-35	19.67	4.62	15.05	4.82	10.23	80.33
650-1.4	35-65	20.25	8.16	12.09	4.03	8.06	79.75
650-1.5	65-90	16.78	8.92	7.86	1.81	6.05	83.22
650-1.6	90-120	16.11	11.11	5.00	1.10	3.90	83.89
650-2.1	0-5	14.33	2.26	12.07	4.10	7.97	85.67
650-2.2	5-15	16.69	3.22	13.47	3.91	9.56	83.31
650-2.3	15-30	24.12	6.03	18.09	6.51	11.58	75.88
650-2.4	30-65	22.09	9.07	13.02	3.26	9.76	77.91
650-2.5	65-85	19.23	10.38	8.85	2.21	6.64	80.77
650-2.6	85-115	18.00	11.50	6.50	1.56	4.94	82.00
650-3.1	0-10	19.19	3.22	15.97	3.83	12.14	80.81
650-3.2	10-20	20.83	6.11	14.72	3.53	11.19	79.17
650-3.3	20-35	23.15	6.03	17.12	3.77	13.35	76.85
650-3.4	35-50	21.22	9.03	12.19	2.44	9.75	78.78
650-3.5	50-65	18.12	9.37	8.75	1.31	7.44	81.88
650-3.6	65-95	15.45	10.91	4.54	0.68	3.86	84.55
650-3.7	95-120	13.33	10.55	2.78	0.42	2.36	86.67
650-4.1	0-10	20.43	3.30	17.13	4.45	12.68	79.57
650-4.2	10-30	22.38	3.67	18.71	5.61	13.10	77.62
650-4.3	30-50	17.18	8.47	8.71	1.74	6.97	82.82
650-4.4	50-75	14.74	11.58	3.16	0.54	2.62	85.26
650-4.5	75-100	11.67	9.17	2.50	0.42	2.08	88.33
650-4.6	100-125	10.00	7.78	2.22	0.33	1.89	90.00
650-5.1	0-5	18.90	1.55	17.35	5.21	12.14	81.10
650-5.2	5-15	17.05	1.39	15.66	5.17	10.49	82.95
650-5.3	15-30	22.06	1.41	20.65	6.20	14.45	77.94
650-5.4	30-45	17.87	4.37	13.50	4.18	9.32	82.13
650-5.5	45-60	17.50	5.00	12.50	3.25	9.25	82.50
650-5.6	60-75	12.31	6.93	5.38	1.13	4.25	87.69
650-5.7	75-95	12.78	8.89	3.89	0.70	3.19	87.22

Rapports des composés humiques avec le carbone total

Les sols du NIGER

En % du carbone organique total							
Numéro d'échantillon	Prof. en cm	Matière humique totale extraite (MHT)					Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acides humiques (AH)			
				Total	AHM	AHI	
663-1.2	3-18	26.66	2.31	24.35	5.36	18.99	73.34
663-1.4	60-70	25.35	5.71	19.64	5.30	14.34	74.65
663-2.1	0-10	18.23	7.64	10.59	3.49	7.10	81.77
663-2.3	40-50	31.66	20.00	11.66	3.26	8.40	68.34
663-2.5	190-200	40.00	30.00	10.00	2.50	7.50	60.00
663-3.1	0-10	15.26	4.74	10.52	3.16	7.36	84.74
663-3.3	25-35	24.44	8.89	15.55	3.73	11.82	75.56
663-3.5	190-200	46.66	40.00	6.66	1.33	5.33	53.34
663-4.1	0-10	13.06	4.08	8.98	2.69	6.29	86.94
663-4.2	30-40	23.12	8.75	14.37	2.87	11.50	76.88
663-5.1	0-10	17.89	5.79	12.10	3.39	8.71	82.11
663-5.2	15-25	21.00	8.00	13.00	2.60	10.40	79.00
663-5.3	40-50	20.00	10.00	10.00	1.40	8.60	80.00
663-6.1	0-10	18.06	5.32	12.74	3.57	9.17	81.94
663-6.2	15-25	32.38	9.05	23.33	4.67	18.66	67.62
663-6.3	45-55	20.00	8.82	11.18	2.46	8.72	80.00

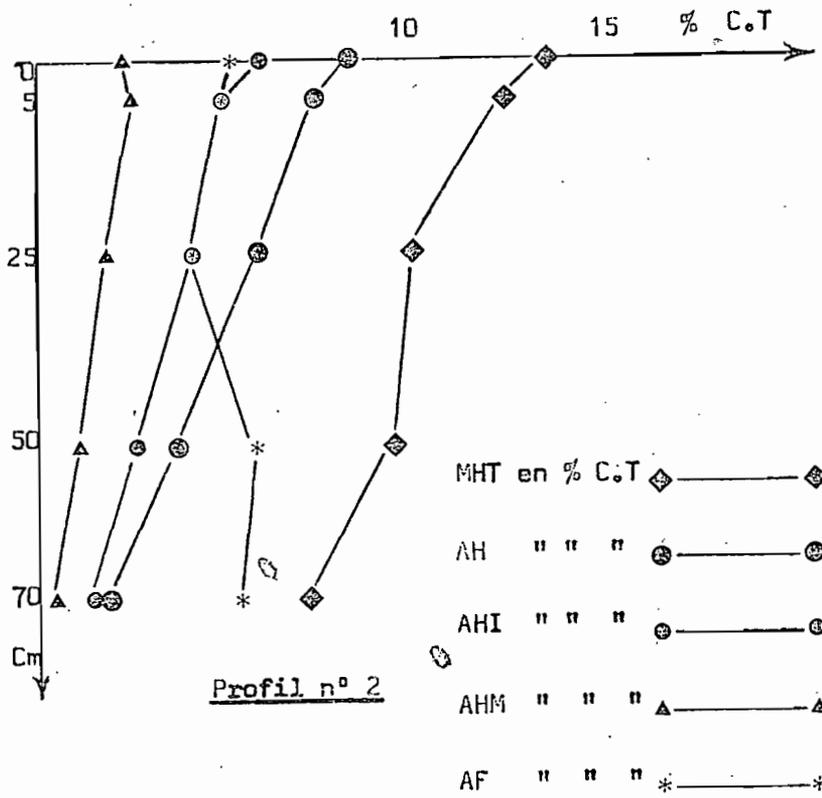
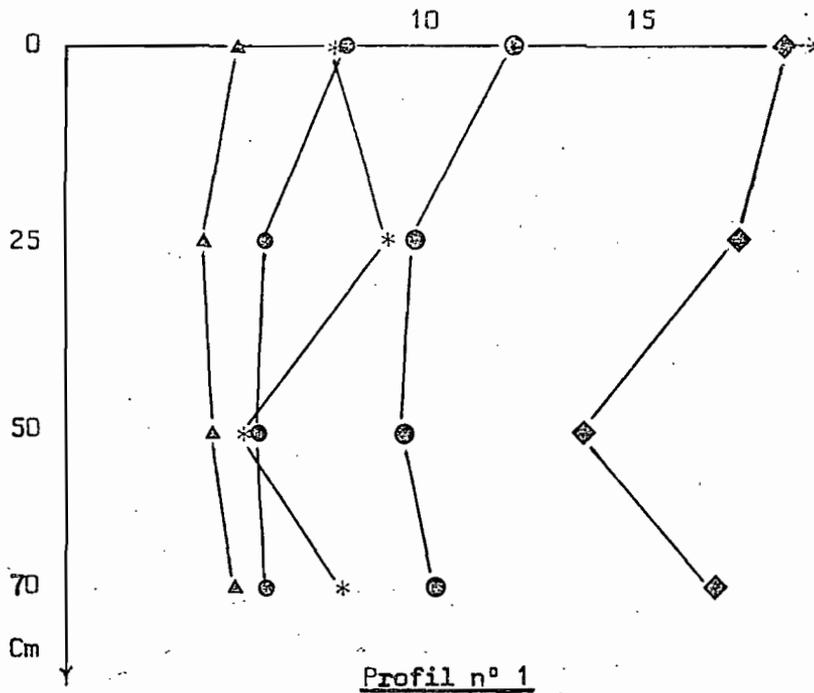
Rapports des composés humiques avec le carbone total

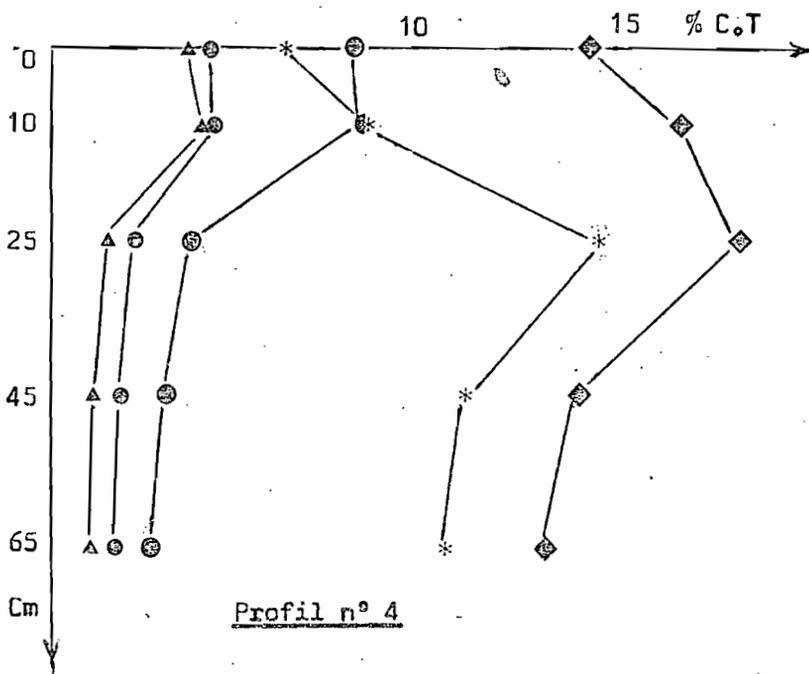
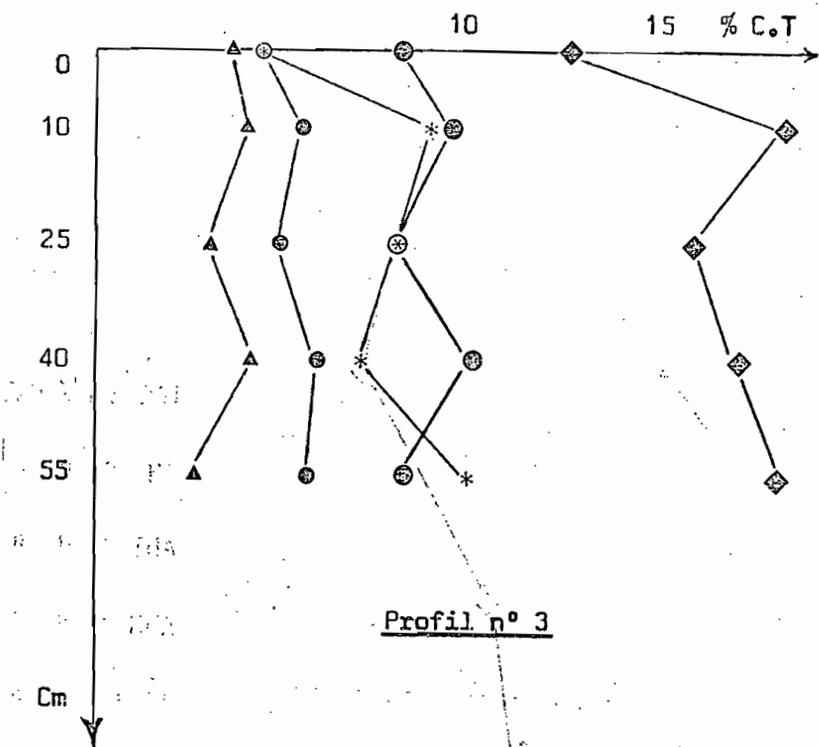
Les sols de TUNISIE

En % du carbone organique total							
Numéro d'échantillon	Prof. en cm	Matière humique totale extraite (MHT)					Matière non extraite "Humine"
		Totale	AF	Acides humiques (AH)			
				Total	AHM	AHI	
647-1.1	0-15	17.17	8.26	8.91	2.85	6.06	82.83
647-1.2	20-35	19.26	8.52	10.74	3.76	6.98	80.74
647-1.3	35-50	21.43	4.29	17.14	4.80	12.34	78.57
647-1.4	50-65	30.71	6.07	24.64	8.13	16.51	69.29
647-1.5	70-85	21.60	8.80	12.80	4.35	8.45	78.40
647-1.6	85-100	22.94	11.76	11.18	3.35	7.83	77.06
647-1.7	100-125	24.17	20.83	3.34	0.84	2.50	75.83
647-2.1	0-15	19.23	10.77	8.46	1.95	6.51	80.77
647-2.2	15-28	21.33	11.33	10.00	4.40	5.60	78.67
647-2.3	35-50	22.17	13.91	8.26	3.47	4.79	77.83
647-2.4	60-75	19.60	7.20	12.40	3.97	8.43	80.40
647-2.5	100-120	25.55	11.55	14.00	3.08	10.92	74.45
647-3.1	0-20	23.94	7.60	16.34	6.37	9.97	76.06
647-3.2	20-50	21.22	9.59	11.63	4.42	7.21	78.78
647-3.3	50-70	17.27	9.09	8.18	2.62	5.56	82.75
647-3.4	70-95	17.07	13.17	3.90	1.05	2.85	82.93
647-3.5	110-130	21.00	18.00	3.00	0.69	2.31	79.00

La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

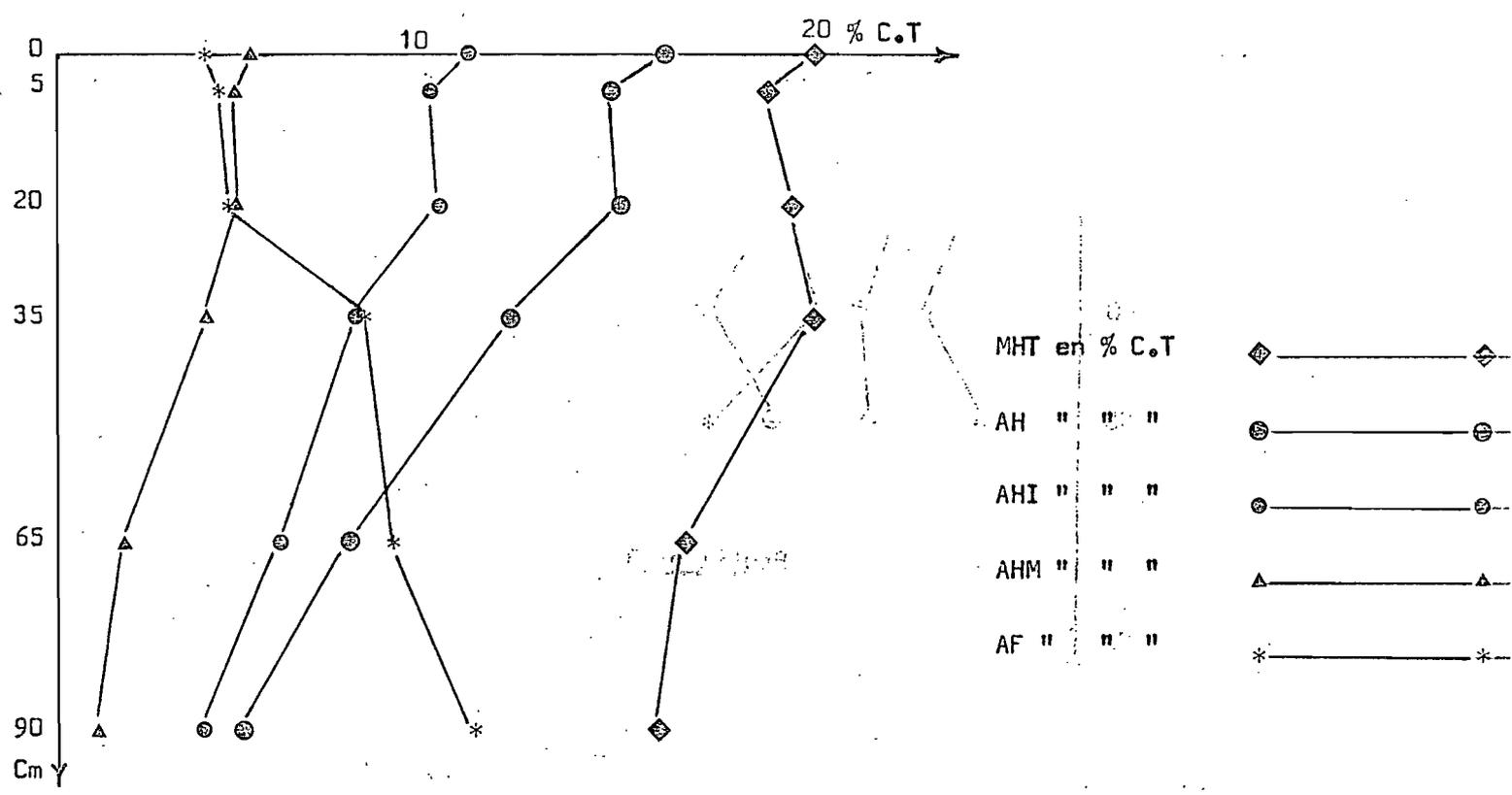
Sols d'IRAN



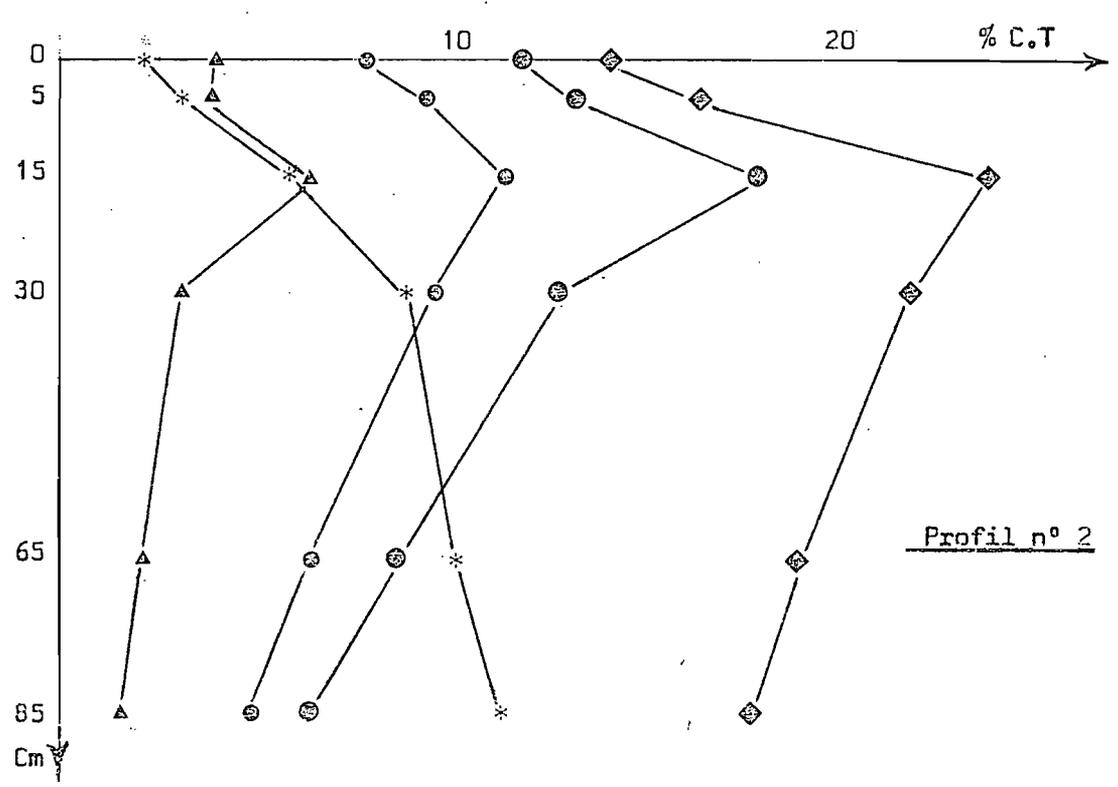


La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

Sols du MAROC



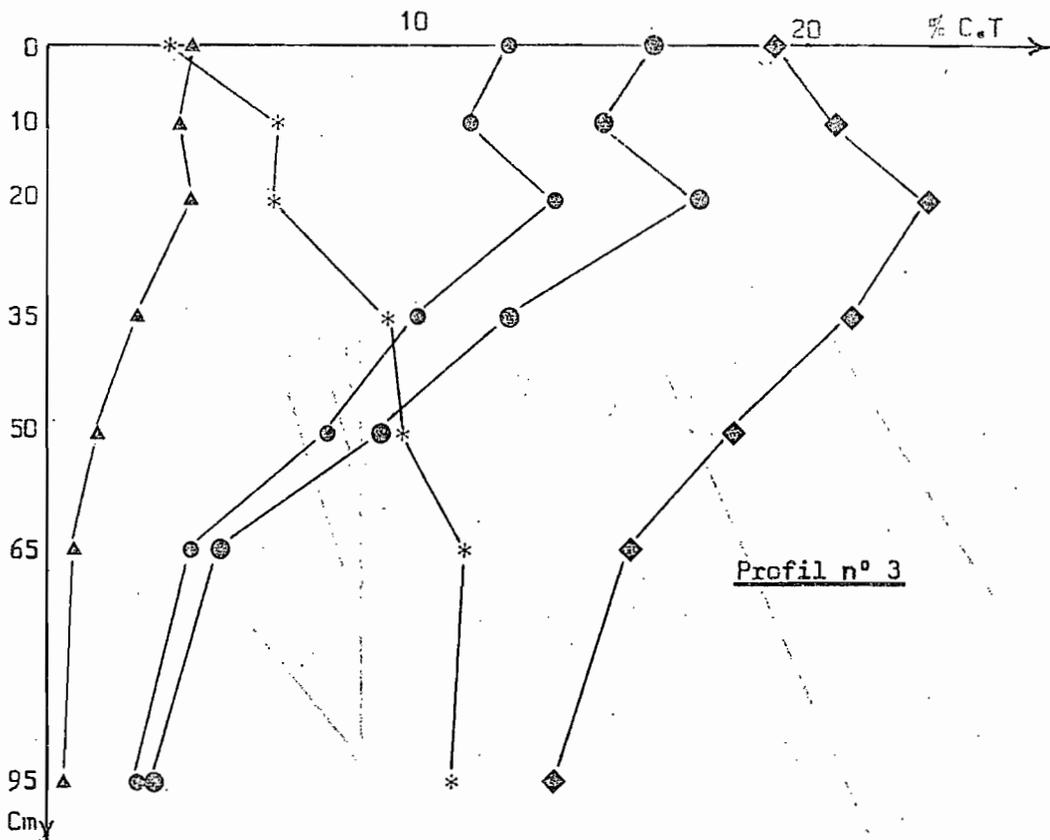
Profil n° 1



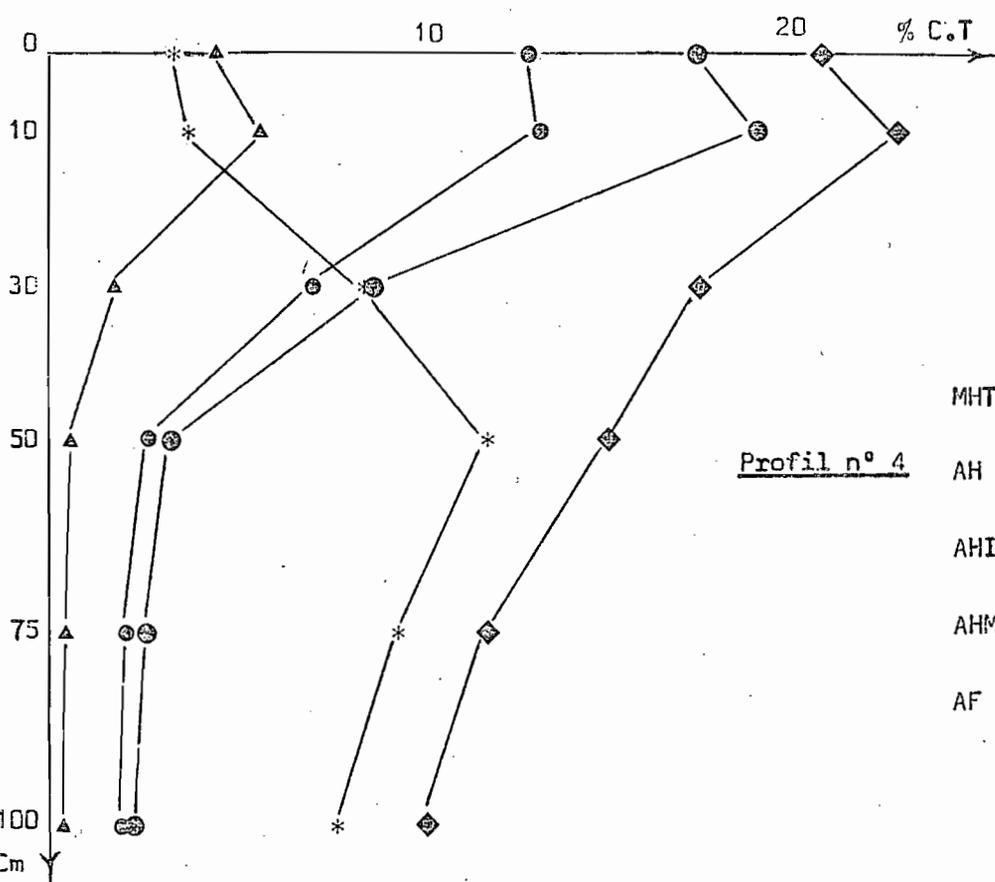
Profil n° 2

La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

Sols du MAROC



Profil n° 3

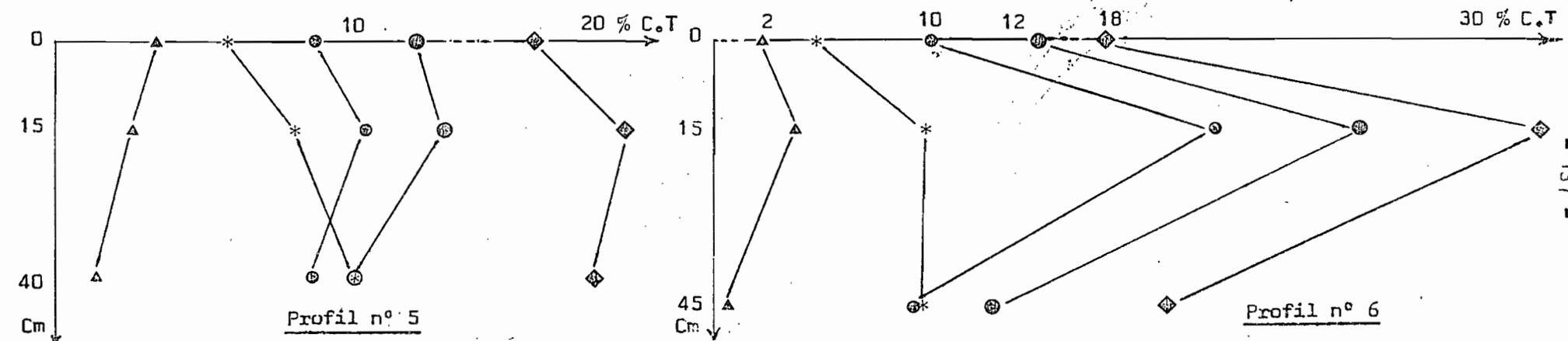
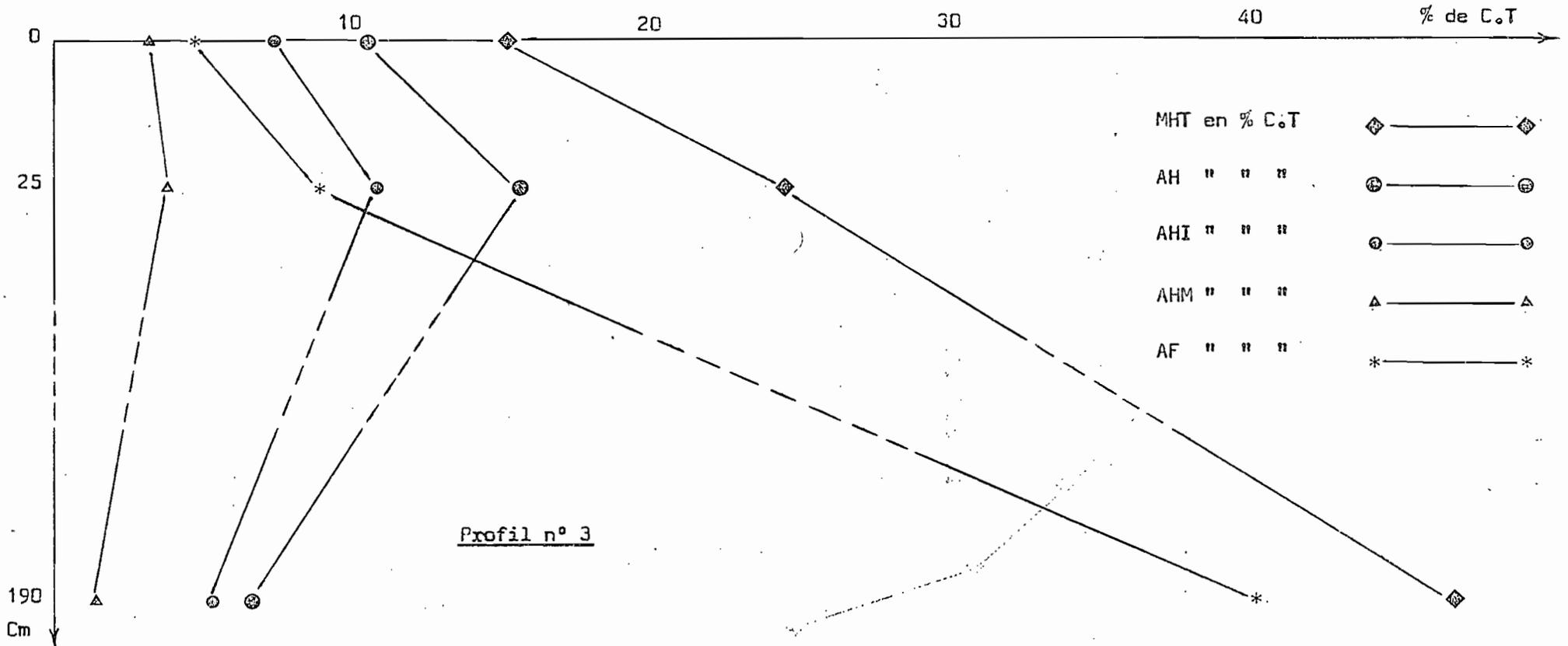


Profil n° 4

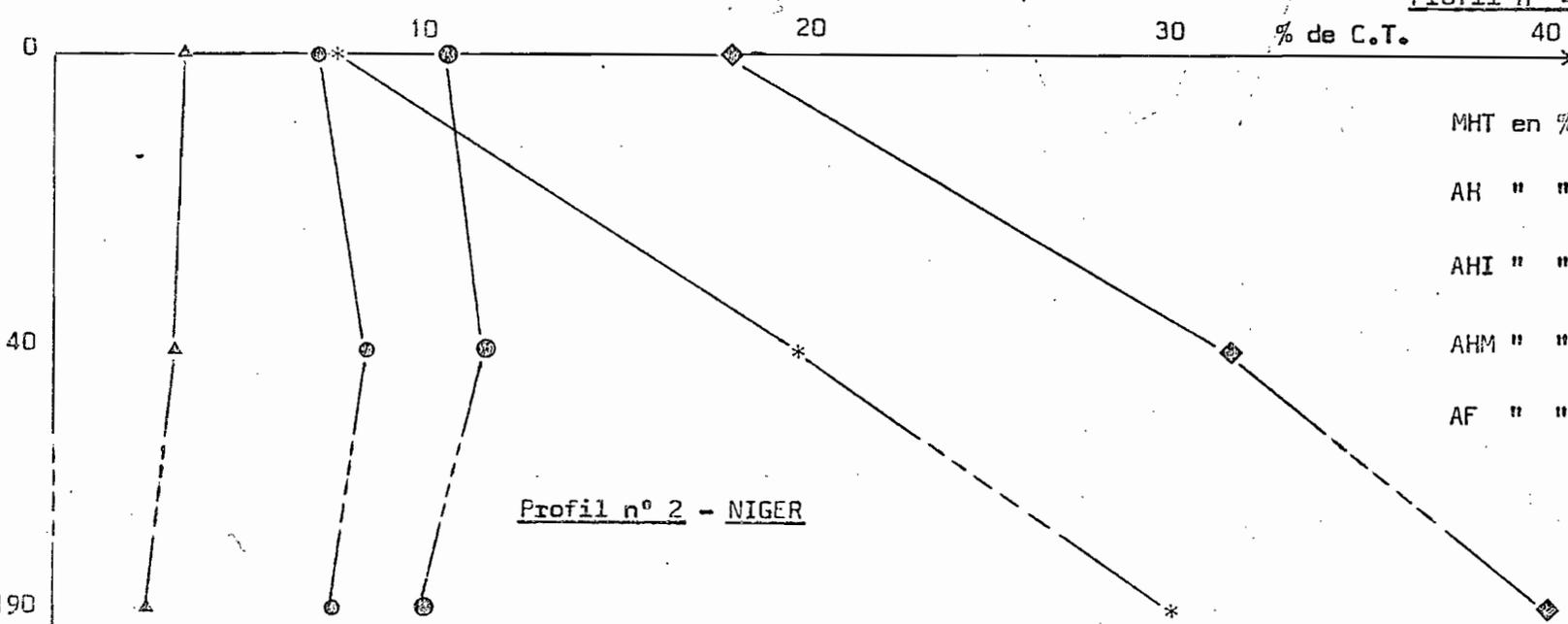
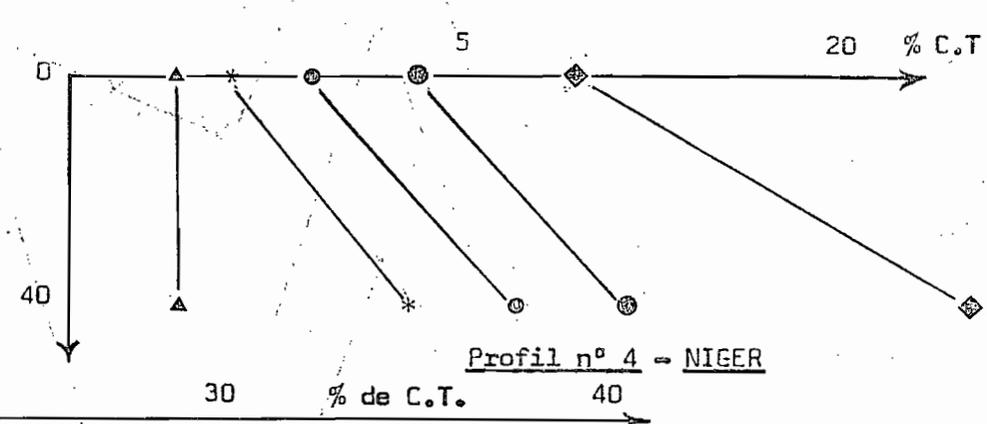
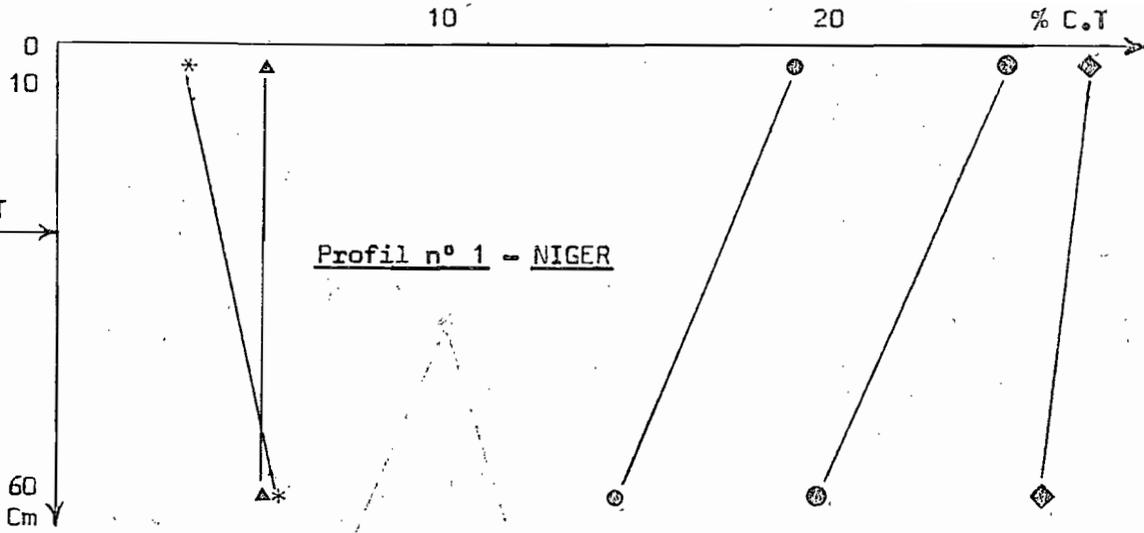
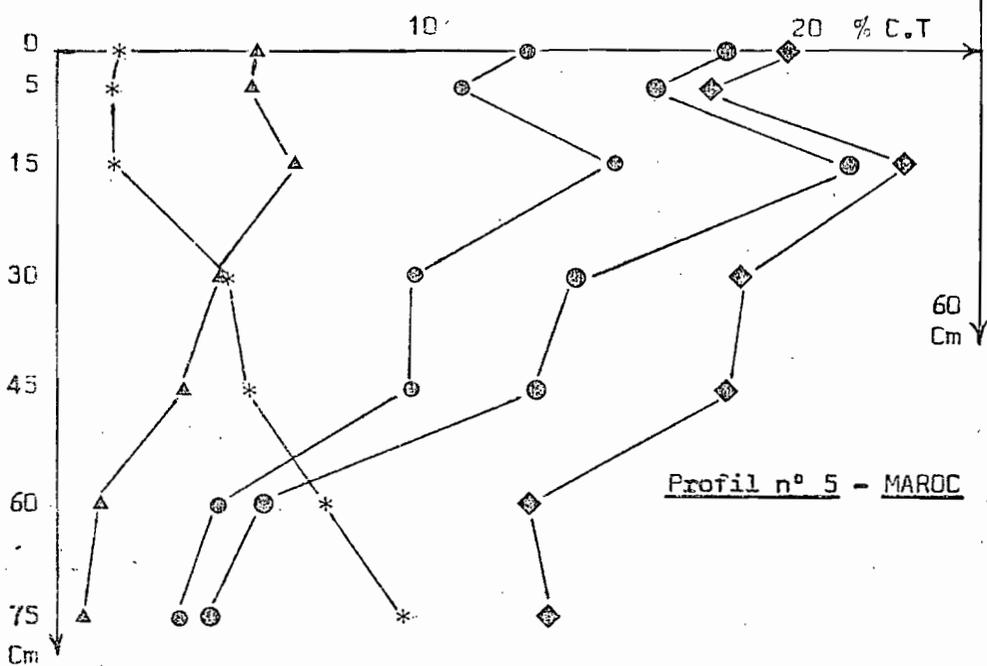
- |               |   |   |   |
|---------------|---|---|---|
| MHT en % C.T. | ◆ | — | ◆ |
| AH " " "      | ⊙ | — | ⊙ |
| AHM " " "     | △ | — | △ |
| AF " " "      | * | — | * |

La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

Sols du NIGER



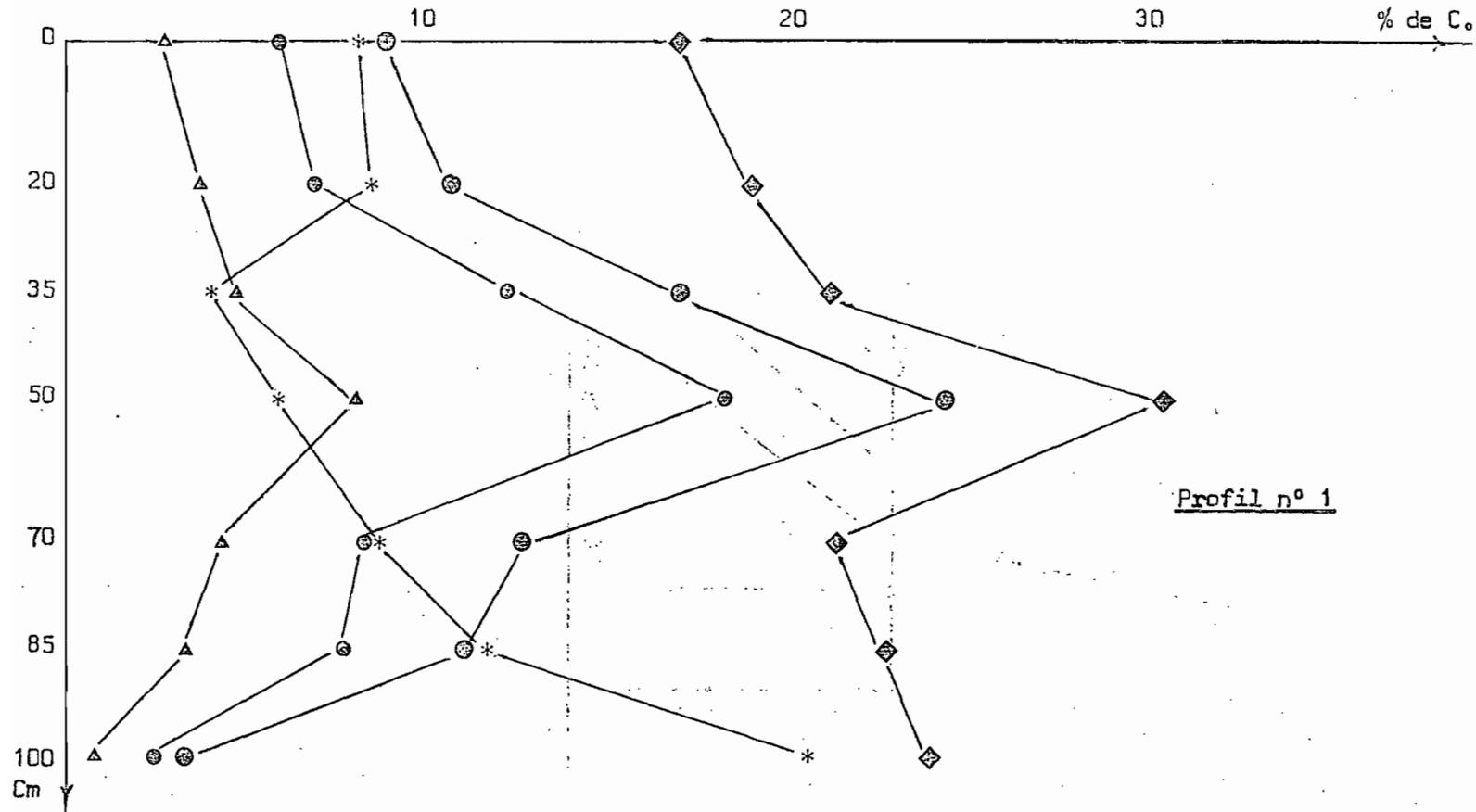
La matière humique extraite et ses fractions  
en % du carbone total : Sols du MAROC et NIGER



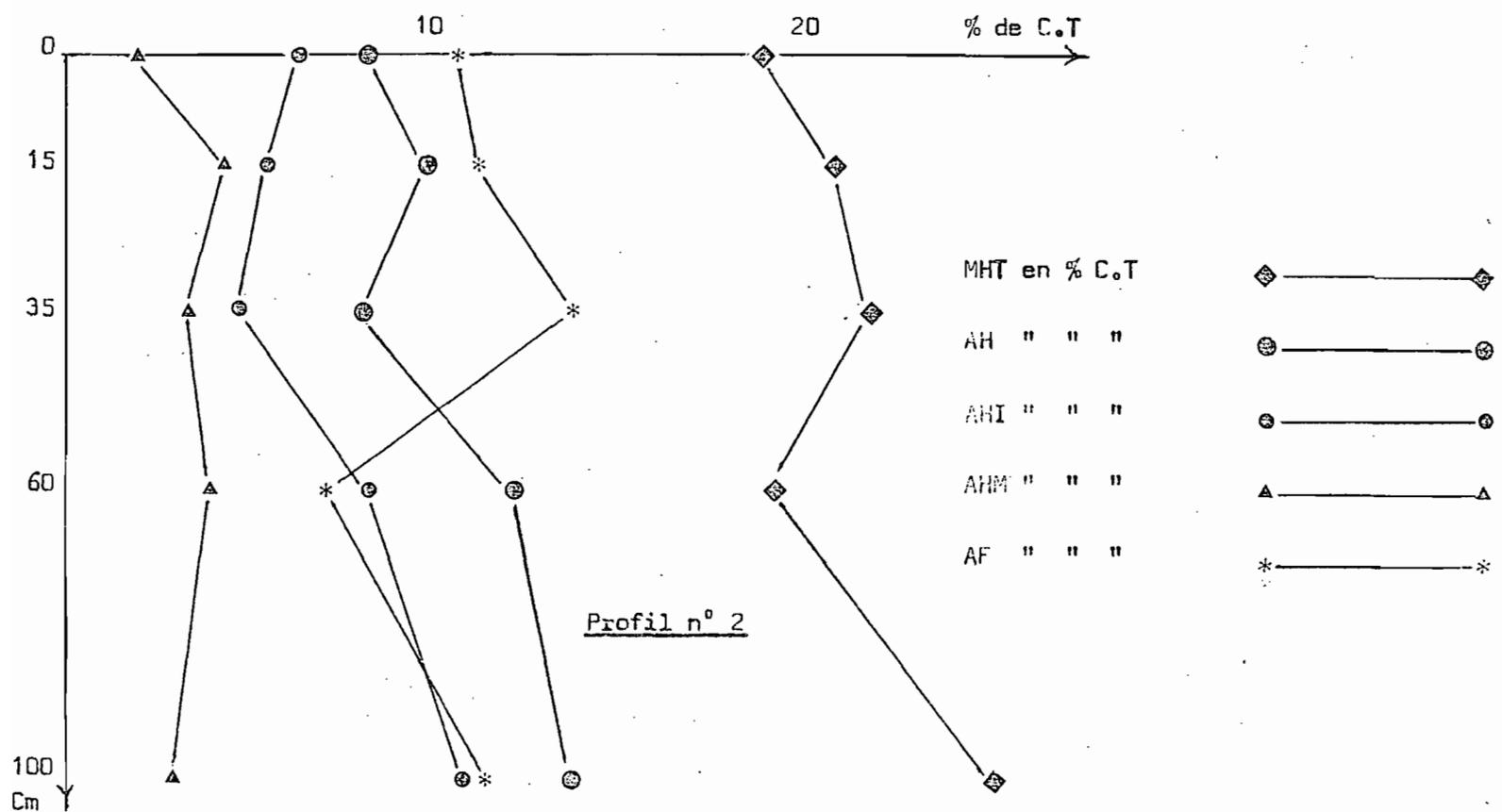
- MHT en % C.T.    ◆ ————— ◆
- AH " " "        ⊕ ————— ⊕
- AHI " " "        ⊙ ————— ⊙
- AHM " " "        ▲ ————— ▲
- AF " " "         \* ————— \*

La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

Soils de TUNISIE



Profil n° 1

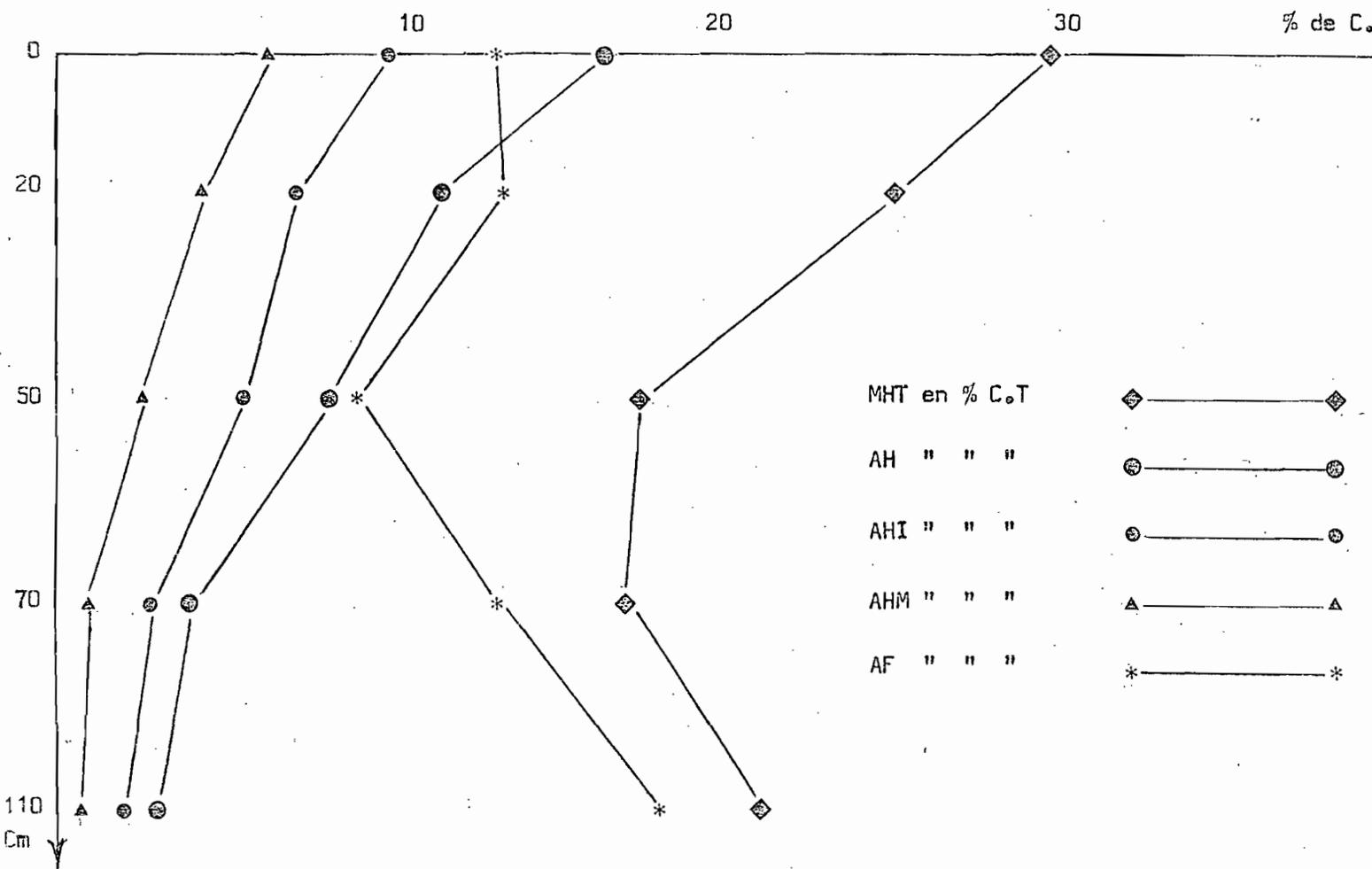


Profil n° 2

- MHT en % C.T.      ◆ ——— ◆  
 AH " " "          ● ——— ●  
 AHI " " "         ○ ——— ○  
 AHM " " "         ▲ ——— ▲  
 AF " " "           \* ——— \*

La matière humique extraite et ses fractions en % du carbone total

Sols de TUNISIE



Profil n° 3

Rapports des composés humiques entre eux : La matière humique totale

Les sols de l'IRAN

Les composés fractionnés en % de la matière humique					
Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Les acides fulviques	Les acides humiques		
			Total	AHM	AHI
644-1.1	0-25	37.17	62.83	23.87	38.96
644-1.2	25-50	48.63	51.37	21.06	30.31
644-1.3	50-70	34.62	65.38	28.11	37.27
644-1.4	70-110	42.86	57.14	26.28	30.86
644-2.1	0-5	38.30	61.70	17.28	44.42
644-2.2	5-25	40.00	60.00	20.40	39.60
644-2.3	25-50	41.18	58.82	18.23	40.59
644-2.4	50-70	61.11	38.89	12.06	26.83
644-2.5	70-110	75.00	25.00	5.75	19.25
644-3.1	0-10	35.63	64.37	28.97	34.40
644-3.2	10-25	48.50	51.50	22.15	29.35
644-3.3	25-40	50.00	50.00	19.50	30.50
644-3.4	40-55	41.40	58.60	24.03	34.57
644-3.5	55-70	54.70	45.30	14.50	30.80
644-4.1	0-10	43.80	56.20	26.41	29.79
644-4.2	10-25	50.20	49.80	23.90	25.90
644-4.3	25-45	79.40	20.60	8.45	12.15
644-4.4	45-65	78.70	21.30	8.09	13.21
644-4.5	65-80	79.40	20.60	7.62	12.98

## Rapports des composés humiques entre eux : La matière humique totale

Les sols du MAROC

Les composés fractionnés en % de la matière humique					
Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Les acides fulviques	Les acides humiques		
			Total	AHM	AHI
650-1.1	0- 5	19.70	80.30	25.70	54.60
650-1.2	5-20	22.60	77.40	24.77	52.63
650-1.3	20-35	23.50	76.50	24.48	52.02
650-1.4	35-65	40.20	59.80	15.55	44.25
650-1.5	65-90	53.20	46.80	10.76	36.04
650-1.6	90-120	69.00	31.00	6.82	24.18
650-2.1	0- 5	15.80	84.20	28.63	55.57
650-2.2	5-15	19.30	80.70	23.40	57.30
650-2.3	15-30	25.00	75.00	26.25	48.75
650-2.4	30-65	41.00	59.00	14.75	44.25
650-2.5	65-85	54.00	46.00	11.50	34.50
650-2.6	85-115	64.00	36.00	8.64	27.36
650-3.1	0-10	16.80	83.20	19.97	63.23
650-3.2	10-20	29.30	70.70	16.97	53.75
650-3.3	20-35	26.00	74.00	16.28	57.72
650-3.4	35-50	42.50	57.50	11.50	46.00
650-3.5	50-65	51.70	48.30	7.25	41.05
650-3.6	65-95	70.60	29.40	4.41	24.99
650-3.7	95-120	79.20	20.80	3.12	17.68
650-4.1	0-10	16.20	83.80	21.79	62.01
650-4.2	10-30	16.40	83.60	25.08	58.52
650-4.3	30-50	49.30	50.70	10.14	40.56
650-4.4	50-75	78.60	21.40	3.64	17.76
650-4.5	75-100	78.60	21.40	3.64	17.76
650-4.6	100-125	77.80	22.20	3.33	18.87
650-5.1	0- 5	8.20	91.80	27.54	64.26
650-5.2	5-15	8.20	91.80	30.29	60.51
650-5.3	15-30	6.40	93.60	28.08	65.52
650-5.4	30-45	24.50	75.50	23.40	52.10
650-5.5	45-60	28.60	71.40	18.56	52.84
650-5.6	60-75	56.20	43.80	9.20	34.60
650-5.7	75-95	69.60	30.40	5.47	24.93

Rapports des composés humiques entre eux : La matière humique totale

Les sols du NIGER

Les composés fractionnés en % de la matière humique					
Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Les acides fulviques	Les acides humiques		
			Total	AHM	AHI
663-1.2	3-18	8.70	91.30	20.09	71.21
663-1.4	60-70	22.50	77.50	20.90	56.60
663-2.1	0-10	42.00	58.00	19.14	38.86
663-2.3	40-50	63.20	36.80	10.30	26.50
663-2.5	190-200	75.00	25.00	6.25	18.75
663-3.1	0-10	31.00	69.00	20.70	48.30
663-3.3	25-35	36.40	63.60	15.30	48.30
663-3.6	190-200	85.70	14.30	2.90	11.40
663-4.1	0-10	31.30	68.70	20.60	48.10
663-4.2	30-40	37.80	62.20	12.40	49.80
663-5.1	0-10	32.40	67.60	18.90	48.70
663-5.2	15-25	38.10	61.90	12.40	49.50
663-5.3	40-50	50.00	50.00	7.00	43.00
663-6.1	0-10	29.50	70.50	19.70	50.80
663-6.2	15-25	28.00	72.00	14.40	57.60
663-6.3	45-55	44.10	55.90	12.30	43.60

Rapports des composés humiques entre eux : La matière humique totale

Les sols de la TUNISIE

Les composés fractionnés en % de la matière humique					
Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	Les acides fulviques	Les acides humiques		
			Total	AHM	AHI
647-1.1	0-15	48.10	51.90	16.60	35.30
647-1.2	20-35	44.20	55.80	19.50	36.30
647-1.3	35-50	20.00	80.00	22.40	57.60
647-1.4	50-65	19.80	80.20	26.50	53.70
647-1.5	70-85	40.70	59.30	20.20	39.10
647-1.6	85-100	51.30	48.70	14.60	34.10
647-1.7	100-125	86.20	13.80	3.50	10.30
647-2.1	0-15	56.00	44.00	10.10	33.90
647-2.2	15-28	53.00	47.00	20.70	26.30
647-2.3	35-50	62.70	37.30	15.70	21.60
647-2.4	60-75	36.70	63.30	20.30	43.00
647-2.5	100-120	45.20	54.80	12.10	42.70
647-3.1	0-20	31.77	68.23	26.47	41.76
647-3.2	20-50	45.20	54.80	21.15	33.65
647-3.3	50-70	52.60	47.40	15.20	32.20
647-3.4	70-95	77.00	23.00	6.21	16.79
647-3.5	110-130	85.70	14.30	3.30	11.00

Rapports des composés humiques entre eux : Les autres composés obtenus

Les sols de l'IRAN

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	En % des AH		AF	AF	AF	AHM
		AHM	AHI	AH	AHM	AHI	AHI
644-1.1	0-25	38	62	0.59	1.56	0.95	0.61
644-1.2	25-50	41	59	0.95	2.31	1.60	0.69
644-1.3	50-70	43	57	0.53	1.23	0.93	0.75
644-1.4	70-110	46	54	0.75	1.63	1.39	0.85
644-2.1	0- 5	28	72	0.62	2.21	0.86	0.39
644-2.2	5-25	34	66	0.67	1.96	1.01	0.51
644-2.3	25-50	31	69	0.70	2.26	1.01	0.45
644-2.4	50-70	31	69	1.57	5.07	2.28	0.45
644-2.5	70-110	23	77	3.00	13.04	3.89	0.30
644-3.1	0-10	45	55	0.55	1.23	1.04	0.84
644-3.2	10-25	43	57	0.94	2.18	1.65	0.75
644-3.3	25-40	39	61	1.00	2.56	1.64	0.64
644-3.4	40-55	41	59	0.71	1.72	1.20	0.69
644-3.5	55-70	32	68	1.21	3.77	1.78	0.47
644-4.1	0-10	47	53	0.78	1.66	1.47	0.89
644-4.2	10-25	48	52	1.01	2.10	1.94	0.92
644-4.3	25-45	41	59	3.86	9.40	6.53	0.69
644-4.4	45-65	38	62	3.69	9.73	5.96	0.61
644-4.5	65-80	37	63	3.86	10.41	6.12	0.59

## Rapports des composés humiques entre eux : Les autres composés obtenus

## Les sols du MAROC

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	En % des AH		AF	AF	AF	AHM
		AHM	AHI	AH	AHM	AHI	AHI
650-1.1	0-5	32	68	0.24	0.77	0.36	0.47
650-1.2	5-20	32	68	0.29	0.91	0.43	0.47
650-1.3	20-35	32	68	0.31	0.96	0.45	0.47
650-1.4	35-65	26	74	0.67	2.58	0.91	0.35
650-1.5	65-90	23	77	1.14	4.94	1.48	0.30
650-1.6	90-120	22	78	2.22	10.11	2.85	0.28
650-2.1	0-5	34	66	0.19	0.55	0.28	0.52
650-2.2	5-15	29	71	0.24	0.82	0.34	0.41
650-2.3	15-30	35	65	0.33	0.95	0.51	0.54
650-2.4	30-65	25	75	0.70	2.78	0.93	0.33
650-2.5	65-85	25	75	1.17	4.70	1.56	0.33
650-2.6	85-115	24	76	1.77	7.41	2.34	0.32
650-3.1	0-10	24	76	0.20	0.84	0.26	0.32
650-3.2	10-20	24	76	0.41	1.73	0.54	0.32
650-3.3	20-35	22	78	0.35	1.60	0.45	0.28
650-3.4	35-50	20	80	0.74	3.70	0.92	0.25
650-3.5	50-65	15	85	1.07	7.13	1.26	0.18
650-3.6	65-95	15	85	2.40	16.00	2.82	0.18
650-3.7	95-120	15	85	3.80	25.38	4.48	0.18
650-4.1	0-10	26	74	0.19	0.74	0.26	0.35
650-4.2	10-30	30	70	0.20	0.65	0.28	0.43
650-4.3	30-50	20	80	0.97	0.49	1.22	0.25
650-4.4	50-75	17	83	3.67	21.59	4.42	0.20
650-4.5	75-100	17	83	3.67	21.59	4.42	0.20
650-4.6	100-125	15	85	4.29	23.36	4.12	0.18
650-5.1	0-5	30	70	0.08	0.30	0.13	0.43
650-5.2	5-15	33	67	0.09	0.27	0.14	0.50
650-5.3	15-30	30	70	0.07	0.23	0.10	0.43
650-5.4	30-45	31	69	0.32	1.05	0.47	0.45
650-5.5	45-60	26	74	0.40	1.54	0.54	0.35
650-5.6	60-75	21	79	1.29	6.11	1.62	0.27
650-5.7	75-95	18	82	2.29	12.72	2.79	0.22

Rapports des composés humiques entre eux : Les autres composés obtenus

Les sols du NIGER

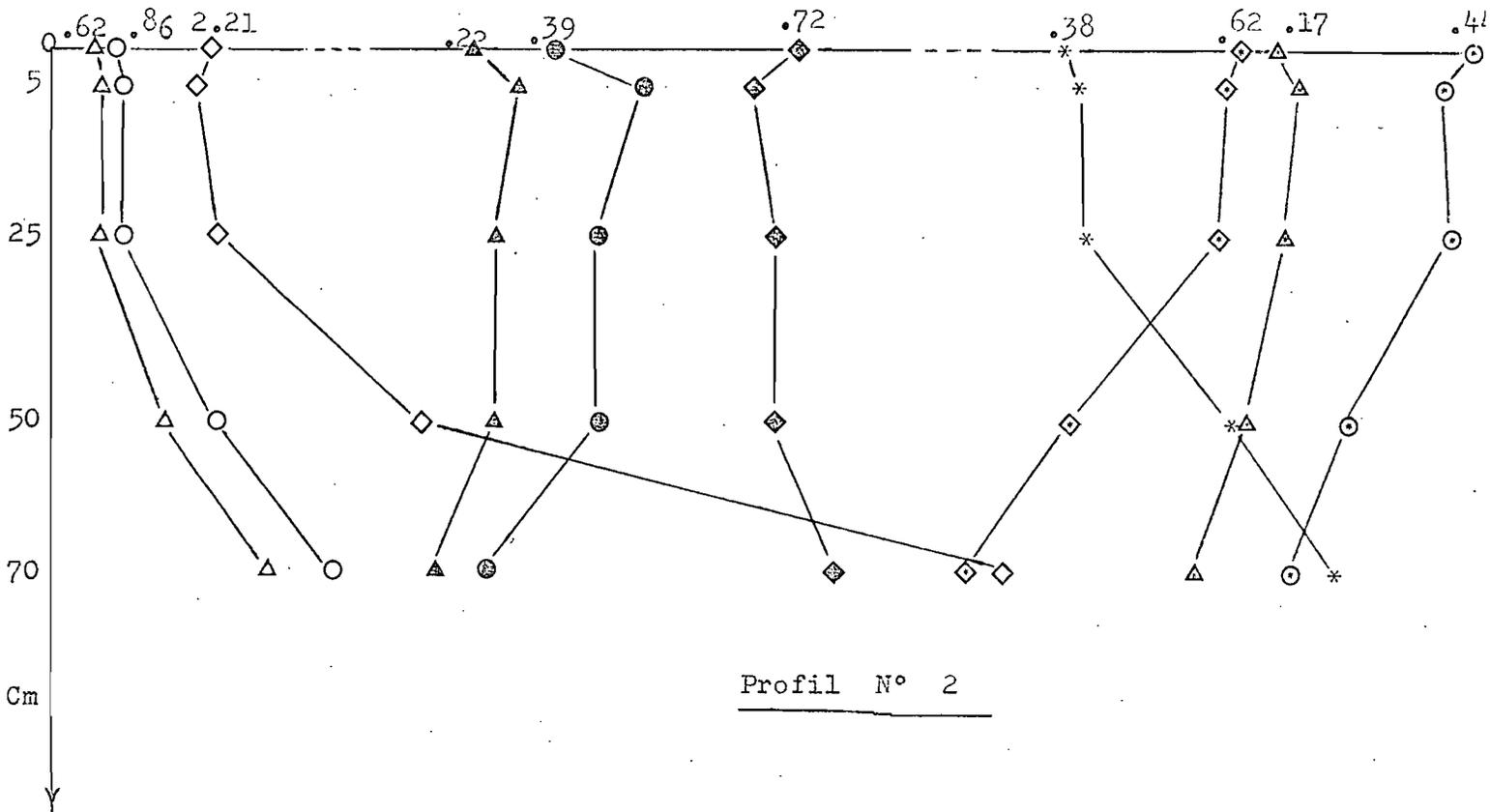
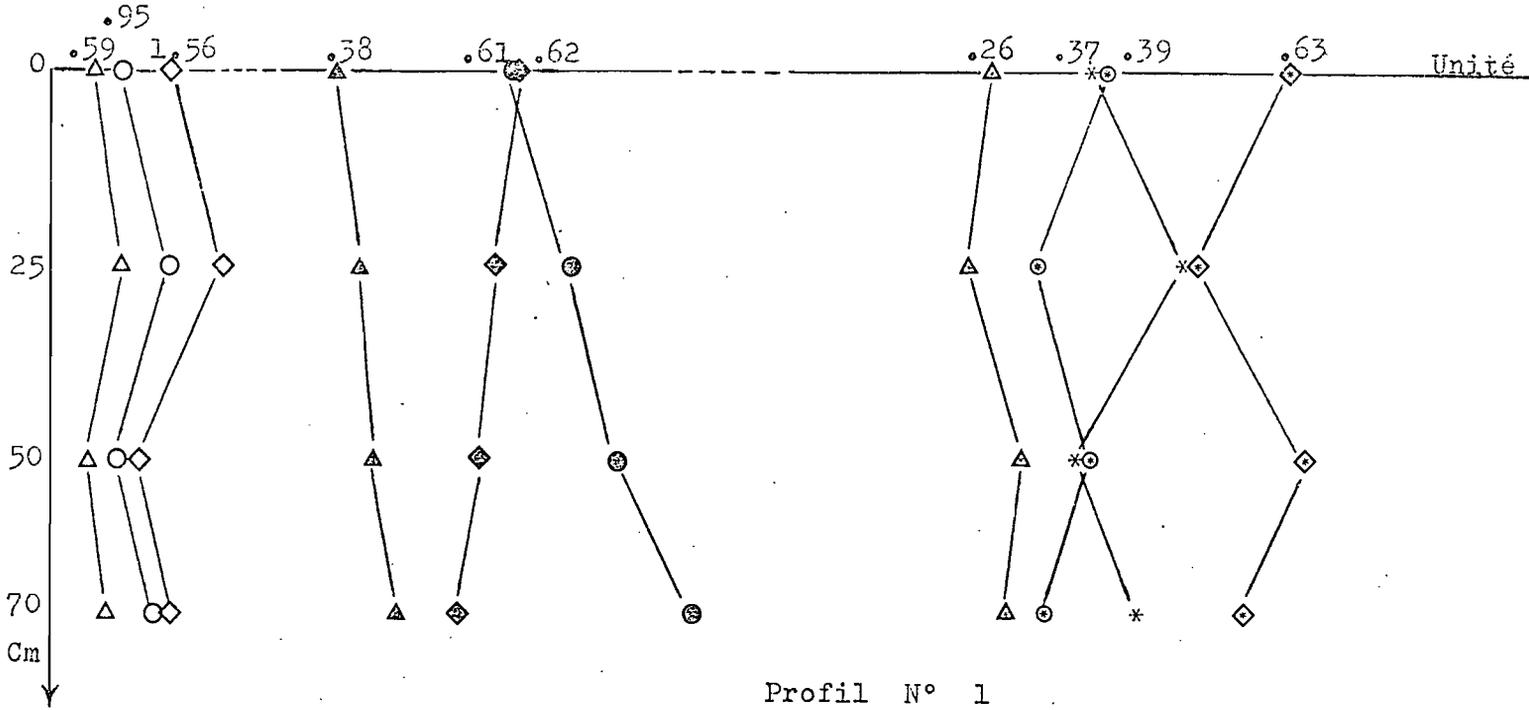
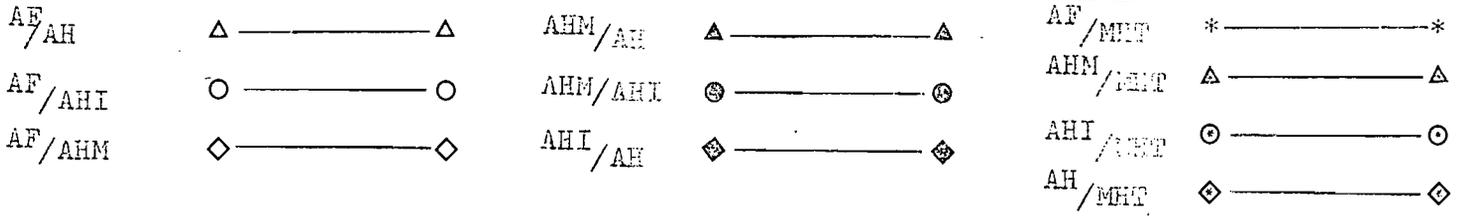
Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	En % des AH		AF / AH	AF / AHM	AF / AHI	AHM / AHI
		AHM	AHI				
663-1.2	3-18	22	78	0.09	0.43	0.12	0.28
663-1.4	60-70	27	73	0.29	1.07	0.40	0.37
663-2.1	0-10	33	67	0.72	2.19	1.08	0.49
663-2.3	40-50	28	72	1.71	6.12	2.38	0.39
663-2.5	190-200	25	75	3.00	12.00	4.00	0.33
663-3.1	0-10	30	70	0.45	1.50	0.64	0.43
663-3.3	25-35	24	76	0.57	2.35	0.75	0.32
663-3.6	190-200	20	80	6.00	29.55	7.52	0.25
663-4.1	0-10	30	70	0.45	1.54	0.65	0.42
663-4.2	30-40	20	80	0.61	3.05	0.76	0.25
663-5.1	0-10	28	72	0.48	1.71	0.66	0.39
663-5.2	15-25	20	80	0.61	3.07	0.77	0.25
663-5.3	40-50	14	86	1.00	7.14	1.16	0.16
663-6.1	0-10	28	72	0.42	1.50	0.58	0.39
663-6.2	15-25	20	80	0.39	1.94	0.49	0.25
663-6.3	45-55	22	78	0.79	3.58	1.01	0.28

Rapports des composés humiques entre eux : Les autres composés obtenus

Les sols de TUNISIE

Numéro de l'échantillon	Prof. en cm	En % des AH		AF	AF	AF	AHM
		AHM	AHI	AH	AHM	AHI	AHI
647-1.1	0-15	32	68	0.93	2.90	1.36	0.47
647-1.2	20-35	35	65	0.79	2.27	1.22	0.54
647-1.3	35-50	28	72	0.25	0.89	0.35	0.39
647-1.4	50-65	33	67	0.24	0.75	0.37	0.49
647-1.5	70-85	34	66	0.69	2.00	1.05	0.52
647-1.6	85-100	30	70	1.05	3.51	1.50	0.43
647-1.7	100-125	25	75	6.25	24.63	8.37	0.34
647-2.1	0-15	23	77	1.27	5.54	1.65	0.30
647-2.2	15-20	44	56	1.13	2.60	2.00	0.79
647-2.3	35-50	42	58	1.68	3.99	2.90	0.73
647-2.4	60-75	32	68	0.58	1.81	0.85	0.50
647-2.5	100-120	22	78	0.82	3.73	1.06	0.28
647-3.1	0-20	39	61	0.46	1.20	0.76	0.63
647-3.2	20-50	38	62	0.82	2.13	1.34	0.62
647-3.3	50-70	32	68	1.11	3.46	1.63	0.47
647-3.4	70-95	27	73	3.37	12.40	4.59	0.37
647-3.5	110-130	23	77	6.00	25.71	7.82	0.30

Rapports des composés humiques entre eux : Les sols de l'IRAN

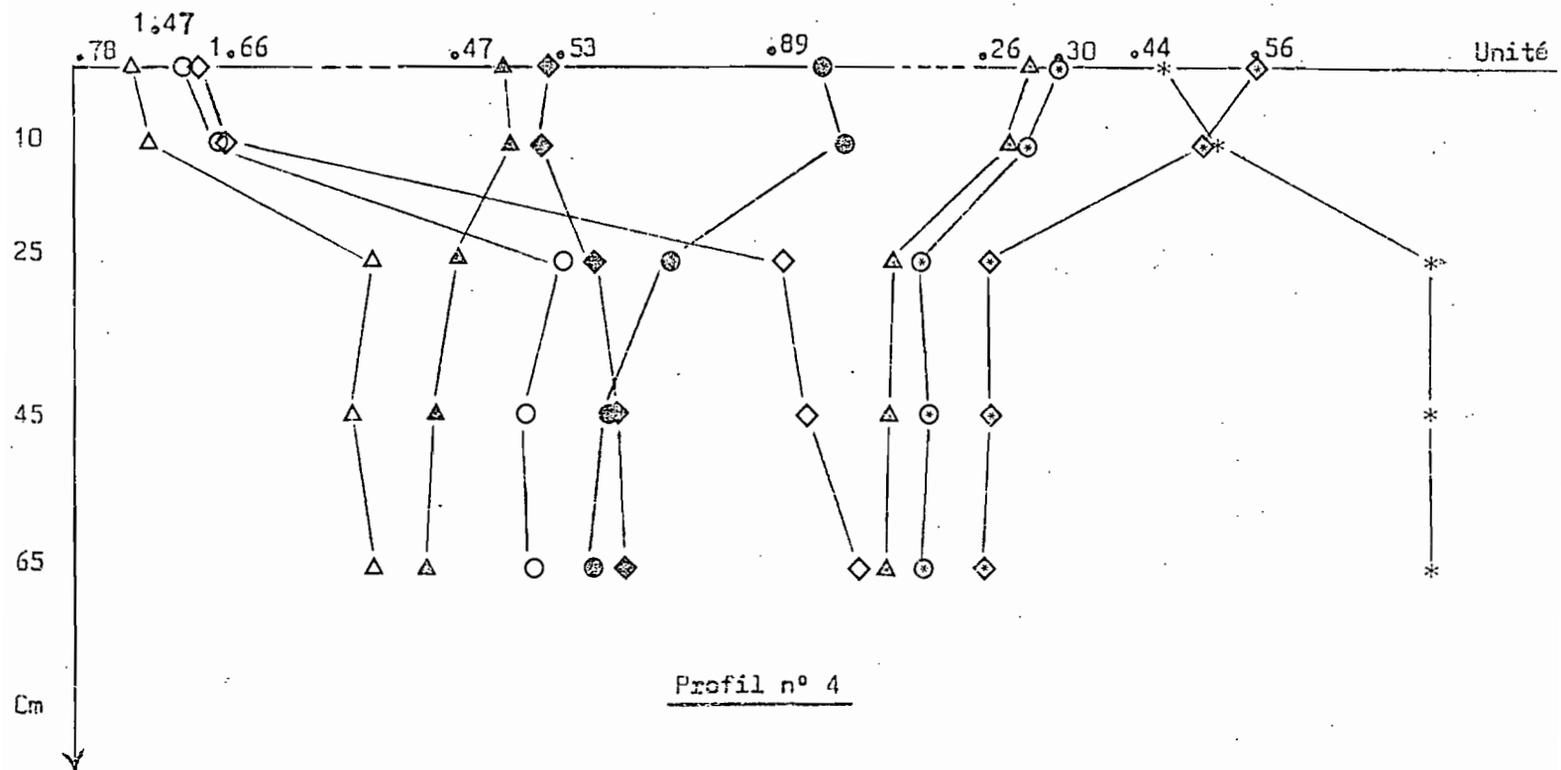
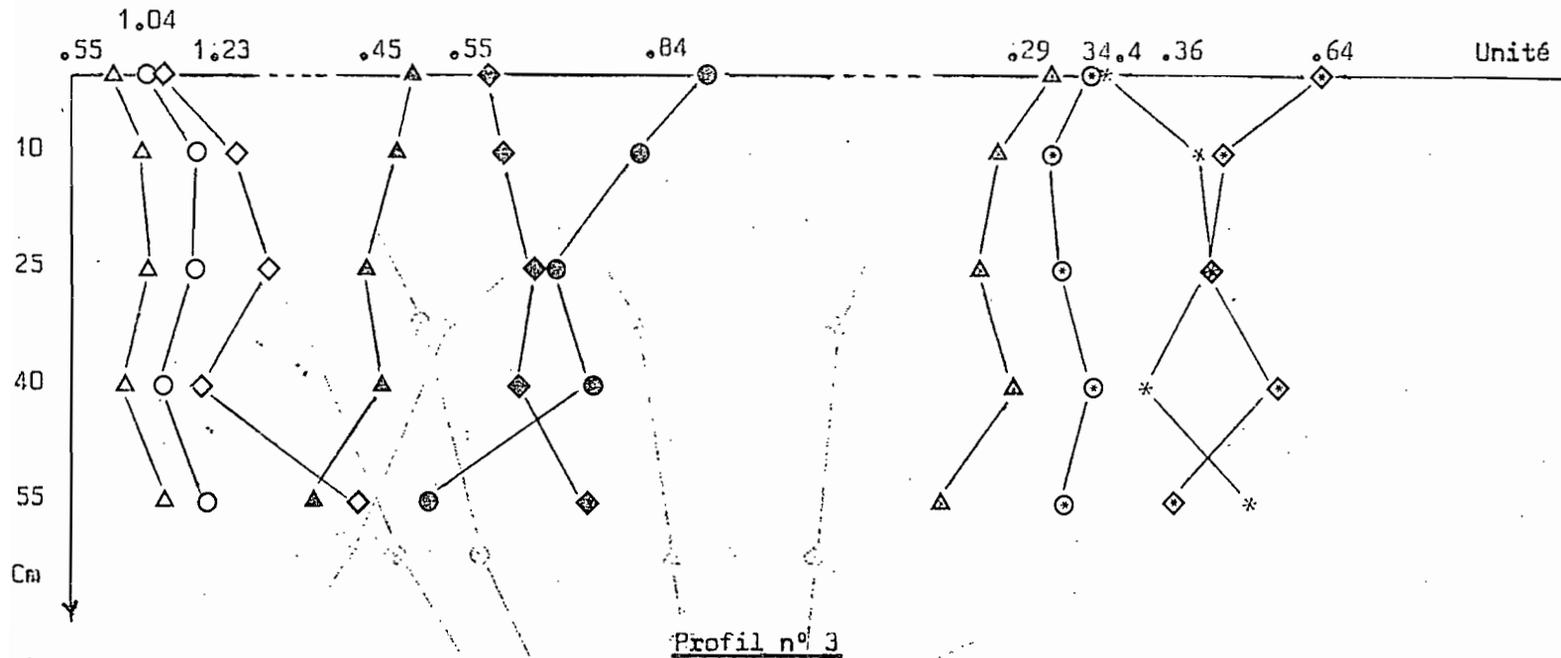


Rapports des composés humiques entre eux : Les sols de l'IRAN

AF/AH    △—————△  
AF/AHI   ○—————○  
AF/AHM   ◇—————◇

AHM/AH   △—————△  
AHM/AHI   ⊗—————⊗  
AHI/AH   ◆—————◆

AF/MHT   \*—————\*  
AHM/MHT   △—————△  
AHI/MHT   ⊙—————⊙  
AH/MHT   ◇—————◇



Rapports des composés humiques entre eux : Les sols du MAROC

AF/MHT \* ————

AHM/MHT Δ ————

AHI/MHT ⊕ ————

AH/MHT ◊ ————

AF/AH Δ ———— Δ

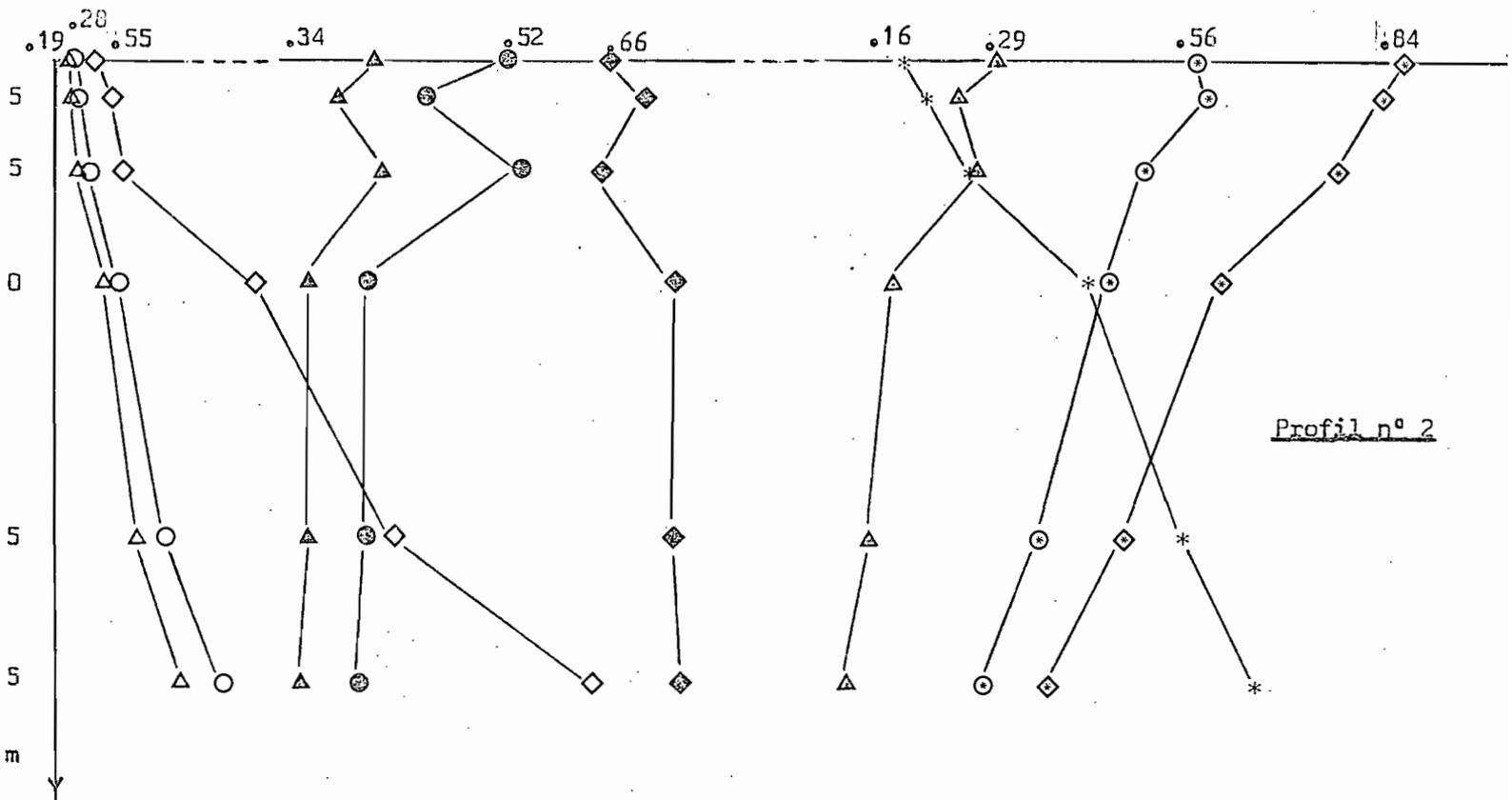
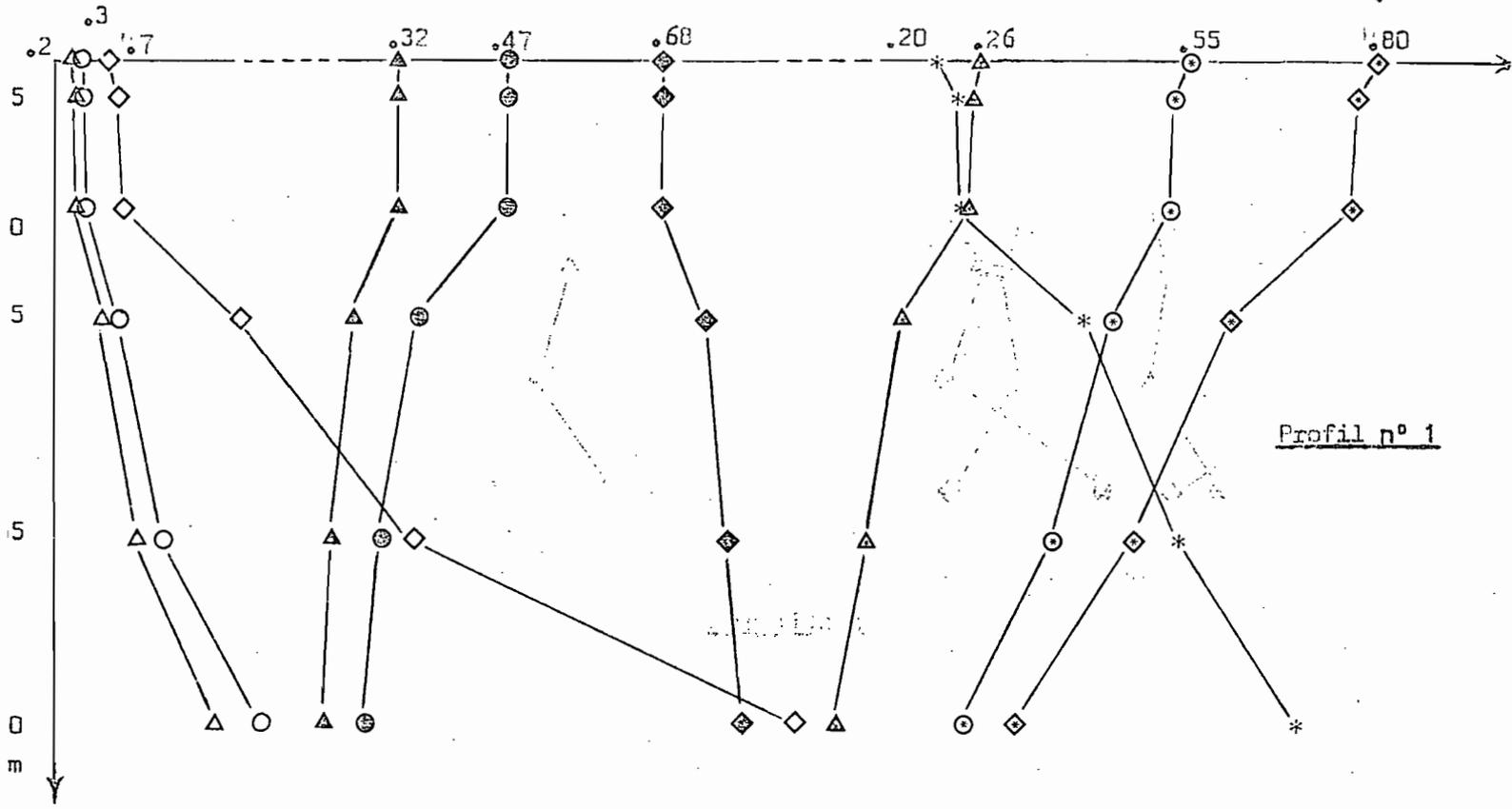
AF/AHM ◊ ———— ◊

AHM/AHI ⊕ ———— ⊕

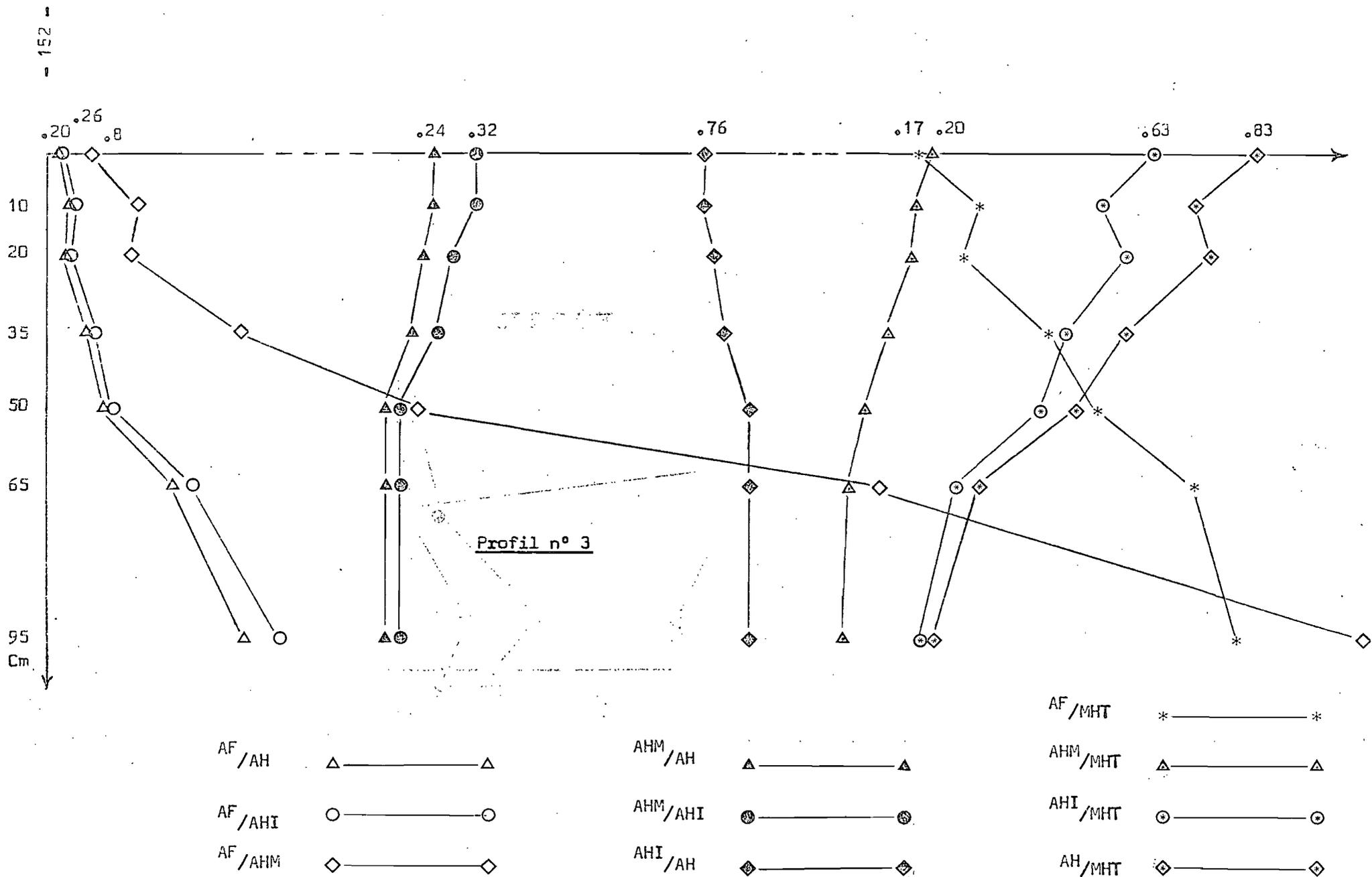
AF/AHI ○ ———— ○

AHM/AH Δ ———— Δ

AHI/AH ◊ ———— ◊

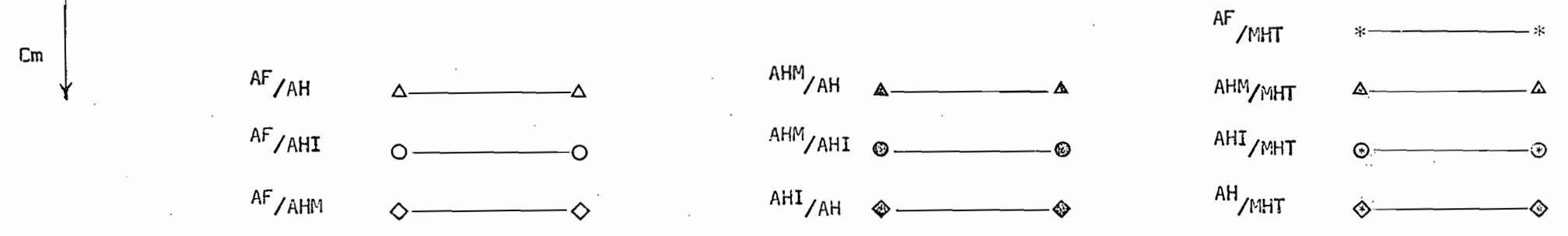
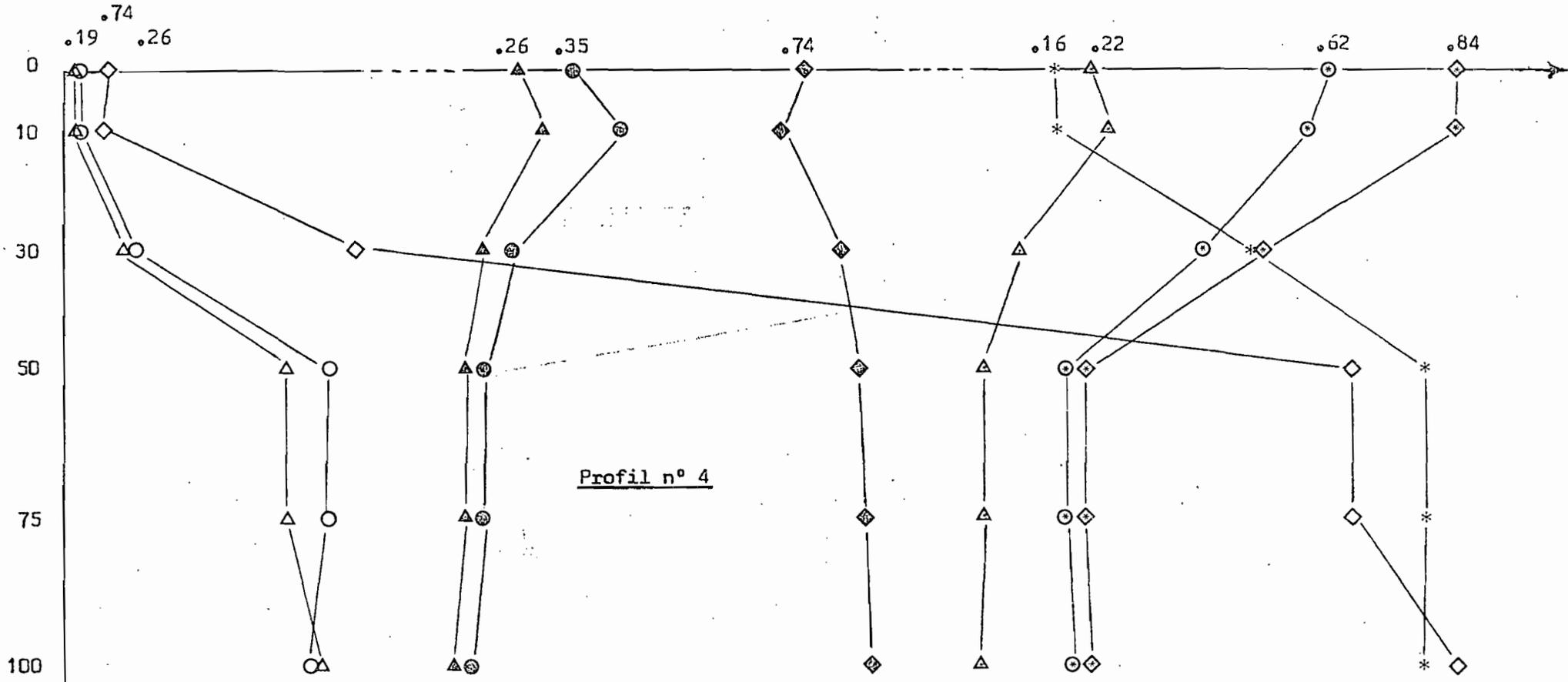


Rapports des composés humiques entre eux : Les sols du MAROC



Rapports des composés humiques entre eux : Les sols du MAROC

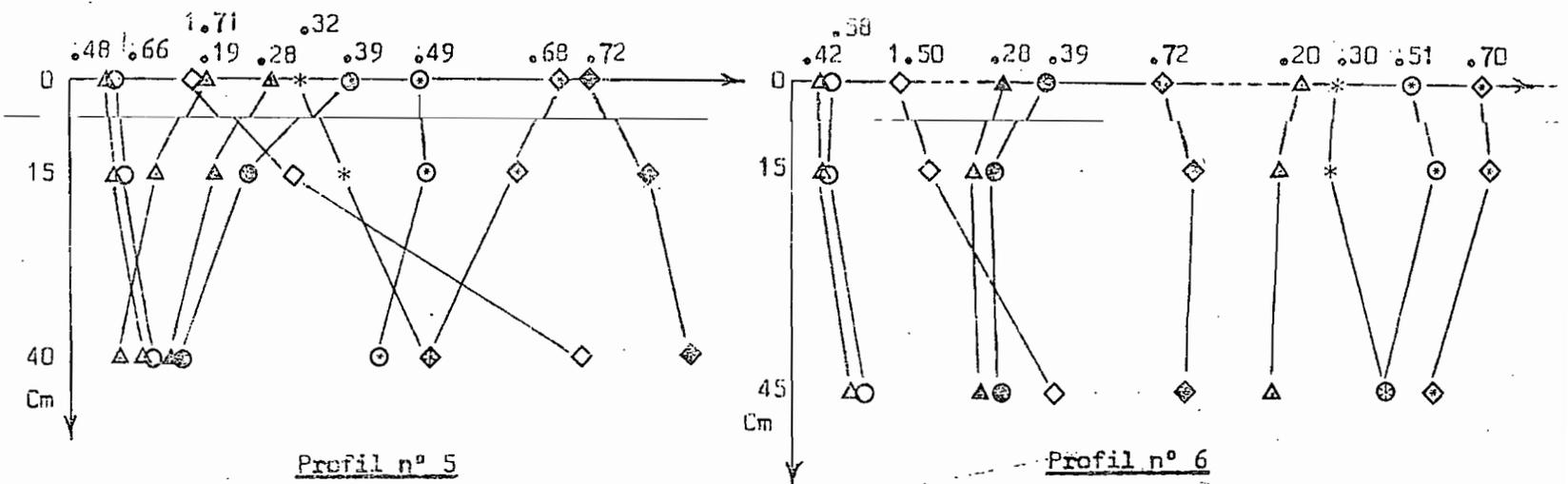
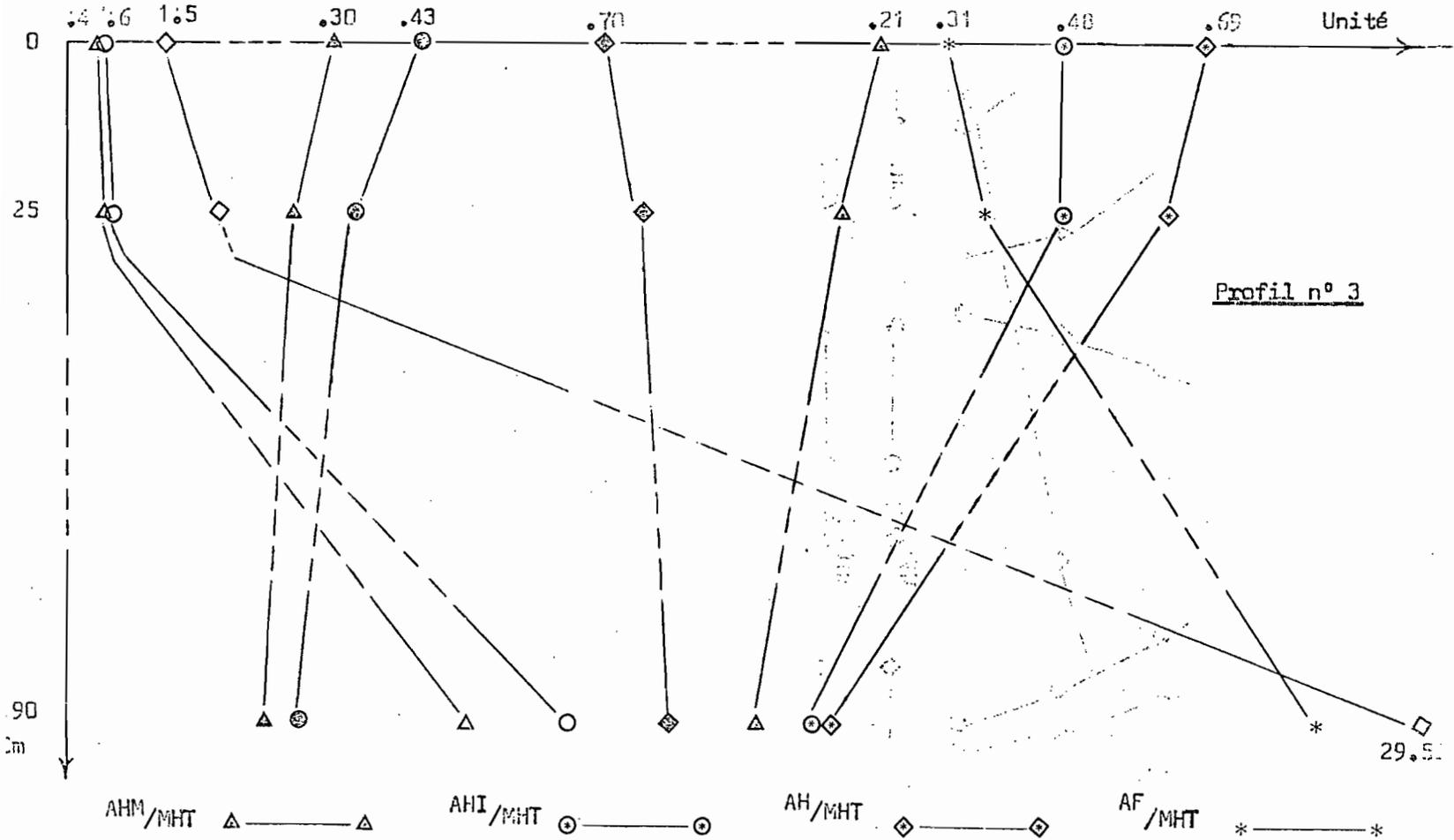
- 153 -



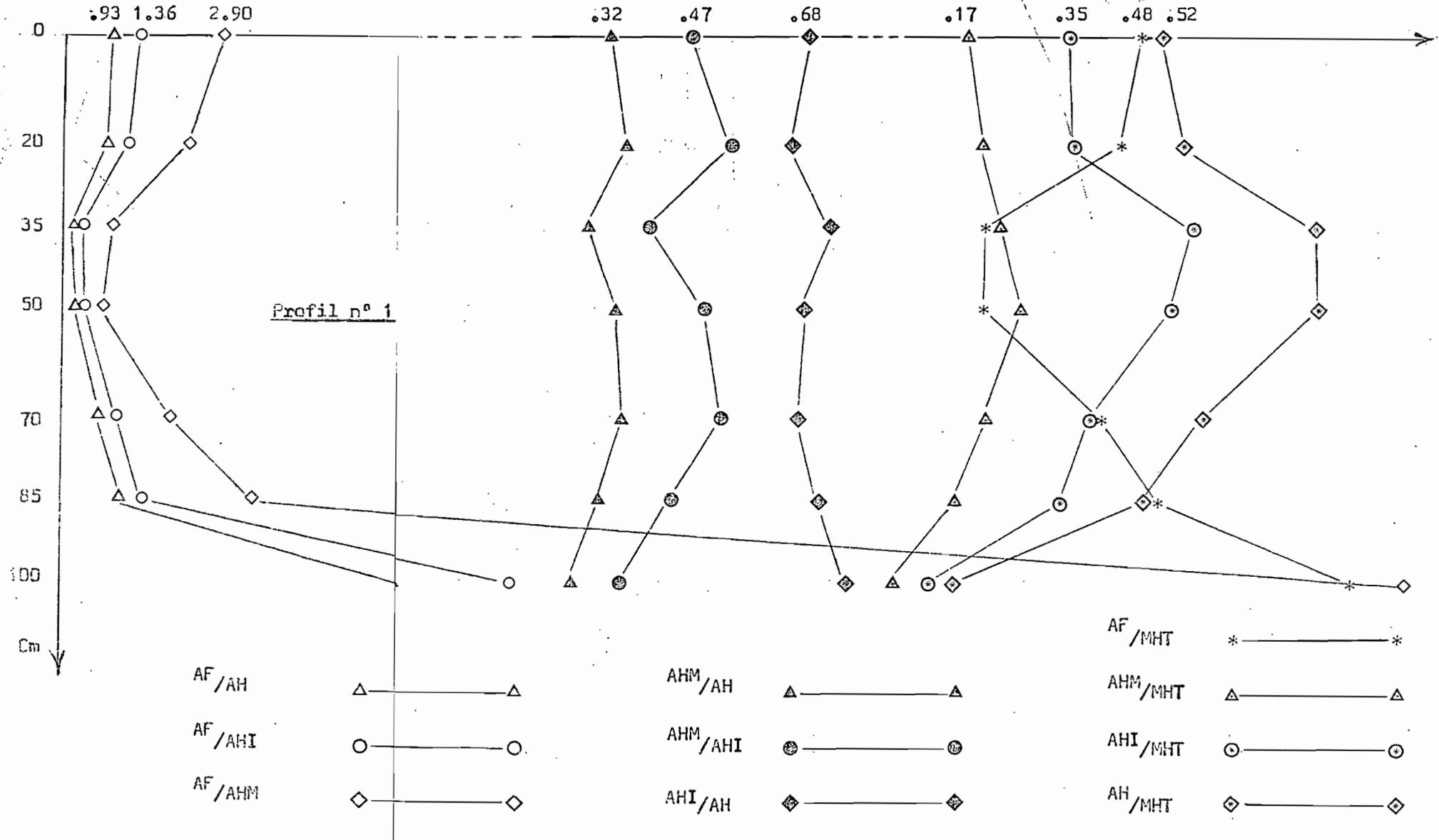


Rapports des composés humiques entre eux :

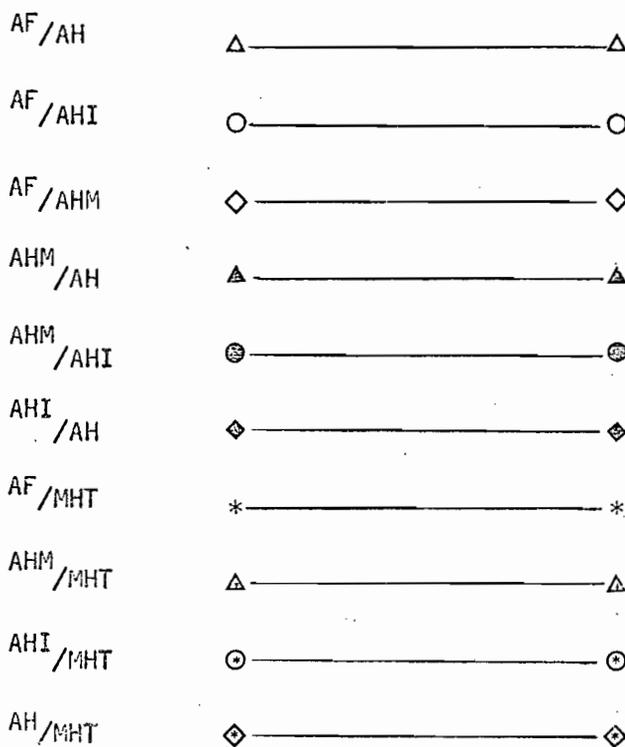
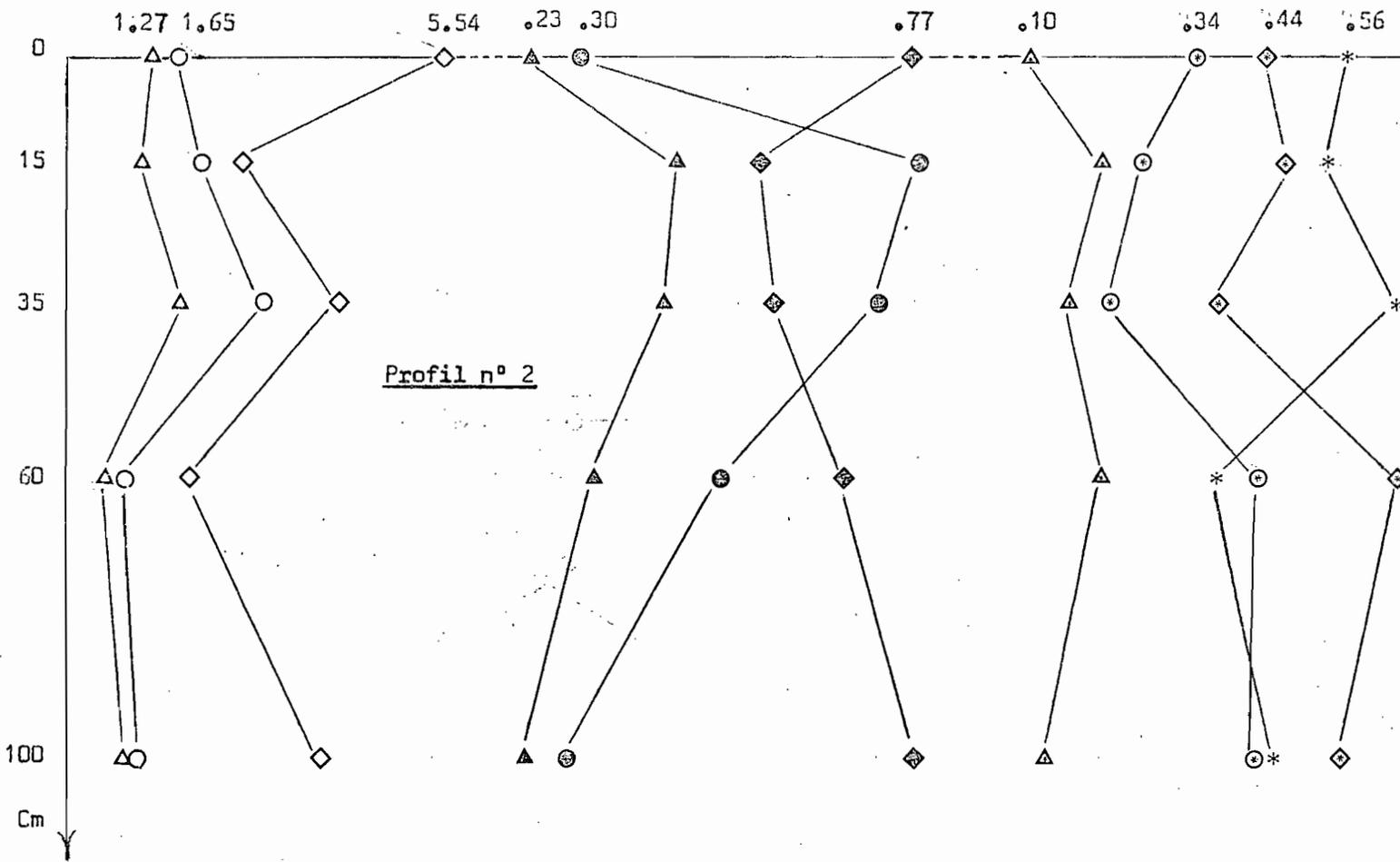
Sols du NIGER



Rapports des composés humiques entre eux : Sols de TUNISIE

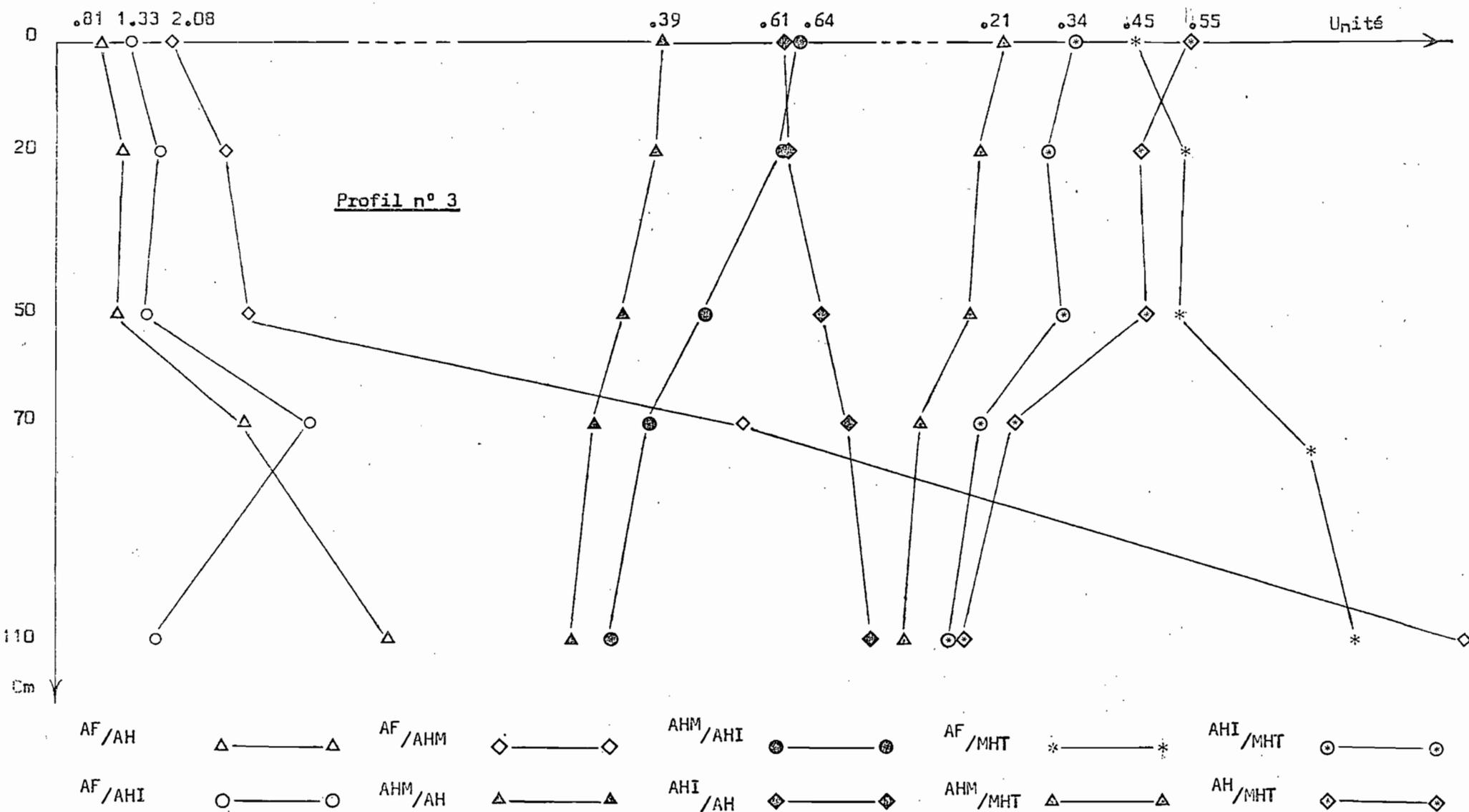


Rapports des composés humiques entre eux : Sols de TUNISIE



Rapports des composés humiques entre eux : Sols de TUNISIE

- 158 -



I N T E R P R E T A T I O N D E S R E S U L T A T S

CHAPITRE I : INTRODUCTION

L'interprétation des résultats obtenus dans l'analyse des matières organiques du sol et des rapports entre les divers complexes constitutifs, nécessite une connaissance suffisante des facteurs externes (conditions climatiques, topographiques, de végétation dominante etc...) et internes (types de sol, conditions hydriques, de perméabilité et de drainage, de réaction, composition de la flore microbienne et de la faune du sol etc...) qui conditionnent très largement le type et l'intensité de l'évolution de la matière organique du sol.

Nous avons obtenu les données correspondantes soit, dans les documents bibliographiques soit, lors des prospections et prélèvements de sols étudiés, ainsi que de l'ensemble des analyses des divers échantillons.

Nos systèmes d'interprétation :

Nous considérons deux phases dans cette étude de la matière organique du sol :

La première phase consiste en une étude du type et du degré d'évolution de cette matière. Il s'agit donc de mettre en évidence l'existence et l'intensité des processus qui ont dominé cette évolution. Pour cela, il nous faut étudier leurs conséquences d'après les résultats des analyses, telles que :

- les teneurs du sol en carbone et en azote et la valeur du rapport C/N
- la valeur absolue du carbone des composés humiques
- la proportion relative des acides humiques mobiles et immobiles (électrophorèse)
- la valeur relative par rapport au carbone total de l'horizon considéré des quatre fractions étudiées
- le pourcentage des divers composés séparés dans la matière humique extraite
- la valeur des rapports entre les divers composés humiques

La seconde phase consiste en l'étude des relations qui peuvent apparaître entre ces caractères de la matière organique et les différents facteurs intervenant dans son évolution et celle du sol en général. Il s'agit donc de chercher, dans la mesure du possible, l'origine de cette variation évolutive.

L'une des difficultés rencontrées dans cette seconde phase de l'étude tient à l'imprécision des données que nous possédons sur certains de ces facteurs, comme par exemple, la diversité et l'importance des débris végétaux et animaux à la surface et dans chaque sol, l'implantation et l'intensité des systèmes racinaires etc...

En particulier, le type même d'apport organique dû au système racinaire peut influencer sur la valeur de C/N dans certains horizons. C'est ainsi qu'il apparaît que l'apport sinon continu du moins souvent répété de matière organique décomposable provenant des racines mortes des cultures, peut expliquer les remontées des valeurs de C/N dans les horizons assez profonds de certains sols.

#### La première phase d'interprétation

Elle est faite qualitativement (étude de la nature de la matière organique du sol) et quantitativement (étude de sa répartition).

#### Etude qualitative de la matière organique

Nous étudions la nature de la matière organique sous deux aspects différents. L'un est "évolutif", l'autre est "comparatif".

Sous son aspect "évolutif", cette étude nous permet de suivre la variation de la nature de la matière organique horizon par horizon le long de chaque profil.

Sous son aspect "comparatif", elle consiste à comparer la nature des constituants organiques dans les divers profils analysés et, en particulier, dans leurs horizons de surface.

#### Etude quantitative de la matière organique

C'est ce que l'on appelle globalement "la répartition organique" dans un profil. Elle a une importance considérable car elle est la conséquence pratique de l'influence réciproque de tous les facteurs. Nous admettons deux types de répartition organique, l'un dû à l'évolution naturelle du sol (répartition naturelle), l'autre

tre dû à l'influence de la mise en valeur agricole (répartition culturale).

Le premier type est propre aux sols vierges et sous forêts, dans lesquels l'évolution organique se réalise dans un circuit fermé. Telle répartition est donc sous l'influence de facteurs naturellement équilibrés et des conditions relativement peu variables.

Le deuxième type est propre aux sols cultivés. La répartition organique dans ces types de sols est influencée considérablement par l'exploitation agricole ; celle-ci implique, selon l'assolement effectué :

- une variation annuelle de la nature et de la quantité des résidus des récoltes et des racines.

- une différence de profondeur non négligeable des apports racinaires.

- un remaniement des horizons de surface dont l'épaisseur varie d'une année à l'autre.

- une variation quantitative suivant l'enfouissement des engrais verts et fumiers etc...

#### L'aspect évolutif de l'étude qualitative :

Il comporte trois étapes qui sont symbolisées par la lettre E comportant les indices 1 à 3.

$E_1$  consiste à analyser l'évolution organique du sol en comparant d'un horizon à l'horizon sous-jacent les teneurs en chacune des 4 fractions humiques déterminées, par rapport à la valeur du carbone total de chaque horizon. On peut ainsi vérifier d'un horizon à l'autre l'importance relative des trois transformations réversible possibles (ou stades d'évolution) entre les 4 fractions humiques.

$E_2$  consiste à étudier l'évolution entre ces deux horizons en envisageant l'ensemble des transformations entre les 4 fractions.

$E_3$  constitue une conclusion sur cette évolution dans le profil. Nous y considérons en effet, sous leur aspect global, les transformations étudiées en  $E_1$  et  $E_2$  pour l'ensemble des horizons.

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Nous avons distingué, selon le fractionnement réalisé des composés humiques, trois stades de transformation réversibles. La lettre S les symbolise. Elle porte deux indices numériques ; le premier suit la taille décroissante des composés humiques :

- S<sub>1</sub> présente la transformation réversible entre l'humine  
et les acides humiques immobiles
- S<sub>2</sub> " " " " entre les acides humiques immobiles  
et les acides humiques mobiles
- S<sub>3</sub> " " " " entre les acides humiques mobiles  
et les acides fulviques

le second indice présente, suivant l'évolution organique, l'état de la transformation réversible des composés humiques, dans chacun des trois stades ci-dessus. Ainsi, il indique :

- 1 - Humification ou réhumification efficace (polymérisation)
- 2 - Etat d'équilibre entre les deux processus organiques opposés
- 3 - Minéralisation dominante (ou dépolymérisation)

Par conséquent, S peut avoir, selon le stade, les indices 11 - 21 - 31 pour une polymérisation efficace ; 12 - 22 - 32 pour un état d'équilibre des processus ; 13 - 23 - 33 pour une dépolymérisation dominante. Chaque S à indice bichiffré est donc une étape E<sub>1</sub>, chaque horizon comprend 3 E<sub>1</sub>, et il n'y a que 9 combinaisons possibles.

Rappelons que la transformation réversible des composés humiques par voie biologique, le long d'un profil, n'est pas la cause unique de la variation relative des quatre fractions humiques. Celle-ci peut avoir des origines multiples comme d'ailleurs le changement, d'un horizon à l'autre, du taux de la matière organique totale. Les teneurs en acides fulviques peuvent être très modifiées par suite de leur migration descendante fréquente. L'apport racinaire et l'enfouissement des engrais verts et fumiers provoquent souvent une variation importante des teneurs en acides humiques.

De telles causes de variation des diverses fractions humiques, et d'autres analogues, limitent les possibilités d'interprétation des résultats de leur étude en termes d'évolution naturelle de la matière organique des sols. Nous essaierons cependant, chaque fois que possible, de séparer l'effet de cette évolution et celui d'actions artificielles, souvent indiqué par des valeurs particulières de certains éléments ou rapports caractéristiques ou par des variations irrégulières qu'elle peut présenter.

Nous reviendrons sur ce point, ultérieurement, lors de l'étude de chaque profil.

b = E<sub>2</sub> (seconde étape)

Du fait des trois possibilités d'état (par exemple S<sub>11</sub> S<sub>12</sub> S<sub>13</sub>) de chacune des trois transformations réalisables entre les quatre fractions humiques de l'horizon, la seconde étape de cette étude (E<sub>2</sub>) peut présenter 27 cas différents.

L'ensemble des trois S à indice bichiffre correspondant à chacune de ces trois transformations, exprime donc la variation du type d'évolution organique de l'horizon envisagé, par rapport à l'horizon immédiatement supérieur. Par exemple, une formule telle que S<sub>13</sub> S<sub>22</sub> S<sub>31</sub> indique une dépolymérisation plus poussée de l'humine, un "état d'équilibre" correspondant à un même degré de transformation dans les deux horizons entre les deux fractions d'acides humiques (mobiles et immobiles) et une polymérisation efficace des acides fulviques.

Nous avons partagé les 27 combinaisons en trois catégories selon la variation évolutive d'un horizon à l'autre de l'humine (stock organique du sol). Chacun de ces 27 cas peut mettre en lumière, en particulier, la gravité de danger menaçant la richesse organique du sol. Les trois catégories sont représentées dans les trois tableaux schématisés ci-après.

Dans tous les 9 cas de la première catégorie (tableau schématisé n° 1), l'humine accroît sa proportion par une polymérisation efficace (S<sub>11</sub>). Dans les 9 cas de la deuxième catégorie (tableau schématisé n° 2), l'humine varie de proportion parallèlement à celle des acides humiques immobiles, puisque ces deux fractions sont en état d'équilibre de transformation (S<sub>12</sub>). Dans le reste des 27 cas (tableau schéma-

Les flèches horizontales indiquent, selon le nombre et le sens, les trois formes de la transformation biologique des composés (la polymérisation, la dépolymérisation et l'état d'équilibre).

Les flèches verticales précisent la variation relative au carbone total des quatre fractions par rapport à l'horizon supérieur.

H = humine - AHI = Acides humiques immobiles - AHM = Acides humiques mobiles et AF = Acides fulviques

La première étape E <sub>1</sub>	La deuxième étape E <sub>2</sub>	
	1	Chacun des trois stades correspond à un processus de polymérisation ; l'ensemble tend donc vers une humification plus poussée. Le M.O. est difficilement minéralisable, ou au moins plus difficilement que dans l'horizon supérieur. D'un horizon à l'autre les conditions du milieu favorisent la formation d'un complexe argilo-humique plus stable.
	2	Les processus de polymérisation des acides fulviques sont compensés par ceux de dépolymérisation d'acides humiques mobiles. Certains de ces derniers se polymérisent en acides humiques immobiles dont une partie passe à un stade plus stable. D'un horizon à l'autre la matière organique tend encore, mais moins nettement que dans le cas précédent, à s'humifier.
	3	La polymérisation reste efficace en 1er et 2ème stade, alors que la dépolymérisation domine celle-ci en 3ème. Les AF croissent en effet, et seul le taux des AHM, sous l'influence des deux processus, baisse sensiblement.
	4	Une repolymérisation partielle des composés les plus mobiles (acides fulviques) se produit, qui peut d'ailleurs être due à l'abondance dans les horizons de moyenne profondeur, de cations métalliques. L'état d'équilibre s'établit parmi les acides humiques et la forme la plus polymérisée (humine) croît. Au total, la matière organique de cet horizon est encore plus polymérisée qu'en surface.
	5	Les fractions extractibles diminuent dans cet horizon par rapport à ce qu'elles sont dans celui de surface. Seule l'humine croît grâce à une polymérisation poussée.
	6	Par des processus inverses, humine et acides fulviques croissent, alors que les acides humiques, mobiles et immobiles, en équilibre entre eux, diminuent par rapport aux taux qu'ils présentent dans l'horizon supérieur. AF/AH croît sans que cela corresponde à une tendance vraie à la minéralisation.
	7	Les AHM et AHI, toujours sous l'influence des deux processus, varient dans le sens inverse. Le rapport AF/AHM diminue alors que celui des AHM/AHI croît. La liaison organo-minérale est encore forte.
	8	La réhumification des AF freine la dépolymérisation des AHM en 3ème stade. La minéralisation est dominante en 2ème stade à l'inverse du 1er où la polymérisation est encore efficace. Les AHI seuls donc diminuent sous l'effet des deux phénomènes.
	9	La dépolymérisation est plus intense en 3ème qu'en 2ème stade car les AHI se dépolymérisent en même temps qu'ils se polymérisent, mais les AHM se dépolymérisent uniquement. Le rapport AF/AHM croît aussi comme les autres.

Les flèches horizontales indiquent, selon le nombre et le sens, les trois formes de la transformation biologique des composés (la polymérisation, la dépolymérisation et l'état d'équilibre).

Les flèches verticales précisent la variation relative au carbone total des quatre fractions par rapport à l'horizon supérieur.

H = humine - AHI = Acides humiques immobiles - AHM = Acides humiques mobiles et AF = Acides fulviques

La première étape $E_1$	La deuxième étape $E_2$	
	10	La diminution des AHM et des AF devant une augmentation des deux autres fractions prouvent que les conditions sont favorables à la formation du complexe argilo-humique. Le rapport AHM/AHI décroît, la polymérisation s'accroît. AF/AHM varie moins que AF/AHI. La teneur en matière organique diminue comme habituellement en fonction de la profondeur, mais lentement.
	11	La polymérisation n'est efficace qu'en 2ème stade. Les conditions sont donc moins favorables à la formation du complexe argilo-humique que dans le cas précédent. Le rapport AHM/AHI décroît ; la polymérisation est encore active.
	12	La variation importante du rapport AHM/AHI n'est plus seulement la conséquence de la polymérisation, car les AHI sont sous l'effet des deux processus de polymérisation et de dépolymérisation. Cette dernière n'est pas compensée par une polymérisation des acides fulviques. La polymérisation d'en semble de la matière organique est donc moins poussée. AF/AHM peut même décroître.
	13	Les AF se polymérisent alors que l'état d'équilibre règne en 1er et 2ème stade. Le rapport AF sur les acides humiques totaux décroît d'un horizon à l'autre, la liaison organo-minérale est donc bonne ; les conditions ne sont pas favorables à la minéralisation.
	14	L'évolution organique est identique dans les 2 horizons. Proportionnellement les diverses fractions ne varient pratiquement pas d'un horizon à l'autre. Même si l'activité microbienne reste élevée, la minéralisation est très faible de même que l'humification.
	15	La dépolymérisation n'est dominante qu'au 3ème stade. Elle annule seulement la polymérisation des 2ème et 1er stades. AF accroît devant une diminution moins importante et parallèle des fractions liées et plus polymérisées.
	16	L'élévation du rapport AHM/AHI n'est pas due seulement à la dépolymérisation des AHI, car les AF se polymérisent et le rapport AF/AHM diminue largement. La polymérisation des AF peut être due notamment à l'abondance des cations métalliques dans l'horizon inférieur.
	17	La dépolymérisation de l'humine et des acides humiques mobiles est atténuée jusqu'à l'équilibre en 1er et 3ème stade respectivement par la polymérisation partielle des AHI et la repolymérisation des AF. Les rapports AF/AHI et AHM/AHI croissent sensiblement.
	18	La dépolymérisation aux 2ème et 3ème stade prouve que les conditions sont favorables à la minéralisation. La matière humique est donc peu résistante aux agents minéralisants, mais l'humine résiste encore bien.

Les flèches horizontales indiquent, selon le nombre et le sens, les trois formes de la transformation des composés (la polymérisation, la dépolymérisation et l'état d'équilibre).

Les flèches verticales précisent la variation relative au carbone total des quatre fractions par rapport à l'horizon supérieur.

H = humine - AHI = Acides humiques immobiles - AHM = Acides humiques mobiles et AF = Acides fulviques.

La première étape E <sub>1</sub>	La deuxième étape E <sub>2</sub>
	<p>19 L'humine se dépolymérise alors que les AF et les AHM se polymérisent ; l'accroissement des AHI est la conséquence de ces deux phénomènes. Les conditions sont relativement favorables à la formation d'un humus bien évolué et d'un complexe argilo-humique stable.</p>
	<p>20 La repolymérisation n'est efficace qu'au 2ème stade, car une dépolymérisation des acides humiques mobiles freine celle-ci jusqu'à l'état d'équilibre au 3ème. La polymérisation est donc moins forte et le complexe n'est que relativement peu stable.</p>
	<p>21 La variation de chacune des deux fractions humiques (mobiles et immobiles) est sous l'influence des deux processus de polymérisation et dépolymérisation, car d'une part l'humine se dépolymérise, et d'autre part les AHM se dépolymérisent pour une partie et se polymérisent pour une autre. La polymérisation n'est donc efficace qu'au 2ème stade.</p>
	<p>22 La remontée parallèle des acides humiques mobiles et immobiles n'est due que pour une partie aux conditions favorables à la formation des agrégats humiques, car la dépolymérisation de l'humine y joue aussi un rôle non négligeable. Les rapports AF/AHM et AF/AHI décroissent sensiblement, alors qu'il n'en est pas de même pour le rapport AHM/AHI.</p>
	<p>23 La dépolymérisation est compensée jusqu'à l'équilibre par une repolymérisation aux 2ème et 3ème stades. Le taux d'extraction est élevé par suite d'une remontée des composés extractibles. Les agrégats sont peu résistants. Le milieu ne favorise pas la formation du complexe argilo-humique.</p>
	<p>24 La dépolymérisation est dominante aux 1er et 3ème stades, et l'état d'équilibre règne au 2ème. La variation la plus importante consiste donc en la diminution de l'humine et l'élévation des AF. Les rapports AF/AHM et AF/AHI croissent alors que AHM/AHI ne varie presque pas. La matière organique ne résiste que très peu à la minéralisation.</p>
	<p>25 La repolymérisation n'est efficace qu'au 3ème stade alors que la dépolymérisation règne dans les deux autres. Les AHM s'élèvent donc sensiblement sous l'effet des deux processus. AF/AHM décroît, mais AHM/AHI croît.</p>
	<p>26 La faible polymérisation des AF annule la dépolymérisation des AHM et installe un état d'équilibre au 3ème stade, mais la dépolymérisation reste dominante dans les deux autres. Le rapport AF/AHM présente une variation peu importante vis à vis du rapport AF/AHI et AHM/AHI qui augmente sensiblement.</p>
	<p>27 La dépolymérisation est dominante dans les trois stades. Les conditions ne sont donc que favorables à la minéralisation. La matière organique s'épuise rapidement.</p>

tisé n° 3), l'humine subit l'attaque d'une dépolymérisation intense. Il y a donc un décroissement d'humine en troisième catégorie ( $S_{13}$ ).

c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

Il comporte, selon le nombre d'horizons, plusieurs combinaisons de la seconde étape. C'est suivant leur ensemble que nous apportons dans cette dernière étape un jugement définitif sur l'évolution organique du profil. Si, par exemple, toutes les combinaisons se trouvent parmi les 9 cas de la première catégorie (tableau schématisé n° 1), c'est que la matière organique est bien évoluée. Elle a souvent une nature moins facilement attaquable par les agents microbiens ; par conséquent, la conservation organique y est accentuée quelle que soit la richesse organique en surface. Par contre, si les stades évolutifs d'un profil se trouvent dans la troisième catégorie (tableau schématisé n° 3), la matière organique risque de s'y épuiser rapidement par une dépolymérisation intense qui peut favoriser une minéralisation ultérieure.

Pour mieux comparer la répartition organique des sols, nous avons porté, sur un même graphique, le carbone organique total des horizons de chaque profil étudié, en % de celui de la surface respective (graphique de la répartition organique des divers sols étudiés):

+       +  
  
+

PREMIERE PHASE  
D'INTERPRETATION

## CHAPITRE II

### - Etude qualitative de la matière organique des sols sous son aspect évolutif

#### - SOL n° 1 (profil n° 1 des sols d'IRAN)

##### a - E<sub>1</sub> (première étape)

Nous y observons, du premier au deuxième horizon que :

- Par rapport au carbone total
  - Le pourcentage des acides humiques immobiles décroît beaucoup plus que l'accroissement correspondant de l'humine et la diminution des acides humiques mobiles.
  - L'élévation correspondante pour les acides fulviques est légèrement plus importante que pour l'humine.
- Dans le fractionnement électrophorétique (par rapport aux acides humiques totaux)
  - La variation relative entre les deux acides humiques est en faveur des acides humiques mobiles qui diminuent moins vite d'un horizon à l'autre.
- Dans la matière humique totale
  - Une diminution de pourcentage plus importante pour les acides humiques immobiles que pour les acides humiques mobiles, et une élévation de pourcentage des acides fulviques plus importante que la diminution des acides humiques immobiles.
  - Enfin, les rapports AHM/AHI - AF/AHI et AF/AHM présentent une augmentation qui croît dans l'ordre indiqué.

Tout cela prouve que les acides humiques mobiles subissent seulement une dépolymérisation, alors que les acides humiques immobiles se polymérisent et se minéralisent à la fois.

$E_1$  est donc  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Nous constatons ensuite, du 2ème au 3ème horizon, que la variation des mêmes données nous précise une réhumification efficace des acides fulviques qui accroît indirectement la polymérisation des acides humiques immobiles en humine. Nous considérons, cependant, un état d'équilibre pour le 2ème stade, car la différence de variation des deux acides humiques est peu importante (inférieure à 0,5% du C.T. et inférieure de 0,1% de la M.F. extraite). Mais la variation relative entre ces deux acides est toujours en faveur des acides humiques mobiles, puisque ceux-ci augmentent la valeur par condensation des acides fulviques et les acides humiques immobiles décroissent en se polymérisant en humine.

Dans cet horizon, où les processus de polymérisation l'emporte davantage, la minéralisation doit être affaiblie ; cela correspond à une nette amélioration des conditions du milieu. Nous y reviendrons ultérieurement à propos de l'influence réciproque de la matière organique et du milieu (deuxième phase d'interprétation). A cette étape  $E_1$ , nous pouvons signaler les transformations par  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{22}$  au deuxième et  $S_{31}$  au troisième.

Du 3ème au 4ème horizon, la variation des données relatives au carbone total nous montre que les conditions redeviennent favorables à la minéralisation, puisque l'humine diminue et que les acides fulviques y augmentent de valeur. Mais les deux acides humiques qui ne représentent pas une différence notable de variation diminuent assez fortement dans la matière humique extraite. Le rapport AHM/AHI croît toujours car la diminution des acides humiques immobiles est plus importante que celle des acides humiques mobiles ; c'est pourquoi, la variation relative entre ces deux dernières dans leur ensemble, est encore en faveur des acides humiques mobiles (électrophorèse) ; les rapports AF/AHI et AF/AHM y sont très voisins.  $E_1$  est, en effet,  $S_{13}$  pour la première transformation,  $S_{23}$  pour la seconde et  $S_{33}$  pour la troisième. La dépolymérisation y est donc, chaque fois, dominante. La valeur relative de l'humine diminue entre les deux derniers horizons, mais reste en bas de profil à un niveau plus élevé que celui de la surface.

b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

La transformation des fractions humiques dans l'horizon (étape E<sub>2</sub>), que nous présentons sous la forme de combinaison des trois E<sub>1</sub> est S<sub>11</sub> S<sub>23</sub> S<sub>33</sub> pour le passage du premier au deuxième horizon. Elle est S<sub>11</sub> S<sub>22</sub> S<sub>31</sub> pour celui du 2ème au 3ème et S<sub>13</sub> S<sub>23</sub> S<sub>33</sub> pour celui du 3ème au 4ème horizon.

Nous constatons, dans le premier cas, une certaine stabilisation des composés déjà assez polymérisés et fortement liés (acides humiques immobiles), qui résistent mieux à la minéralisation. Par contre, les acides humiques mobiles se dépolymérisent plus fortement qu'en surface en raison, probablement, d'une liaison organo-minérale moins efficace. La valeur absolue du carbone de la matière humique extraite y diminue presque de moitié. Cette diminution porte plutôt sur les acides humiques immobiles que sur les acides humiques mobiles et les acides fulviques, puisque ces deux dernières fractions se minéralisent plus rapidement.

Nous observons ensuite, dans le deuxième cas (S<sub>11</sub> S<sub>22</sub> S<sub>31</sub>), que les conditions sont favorables à la formation des agrégats humiques stables, car une repolymérisation des composés peu polymérisés et non liés (les acides fulviques), freine la minéralisation générale. Ce qui atténue le décroissement rapide du carbone total et aboutit à un taux d'extraction minimal (matière humique extraite en % du C.T.) ; la proportion des acides fulviques diminue donc davantage, dans la solution d'extraction, que son augmentation relative dans le cas précédent.

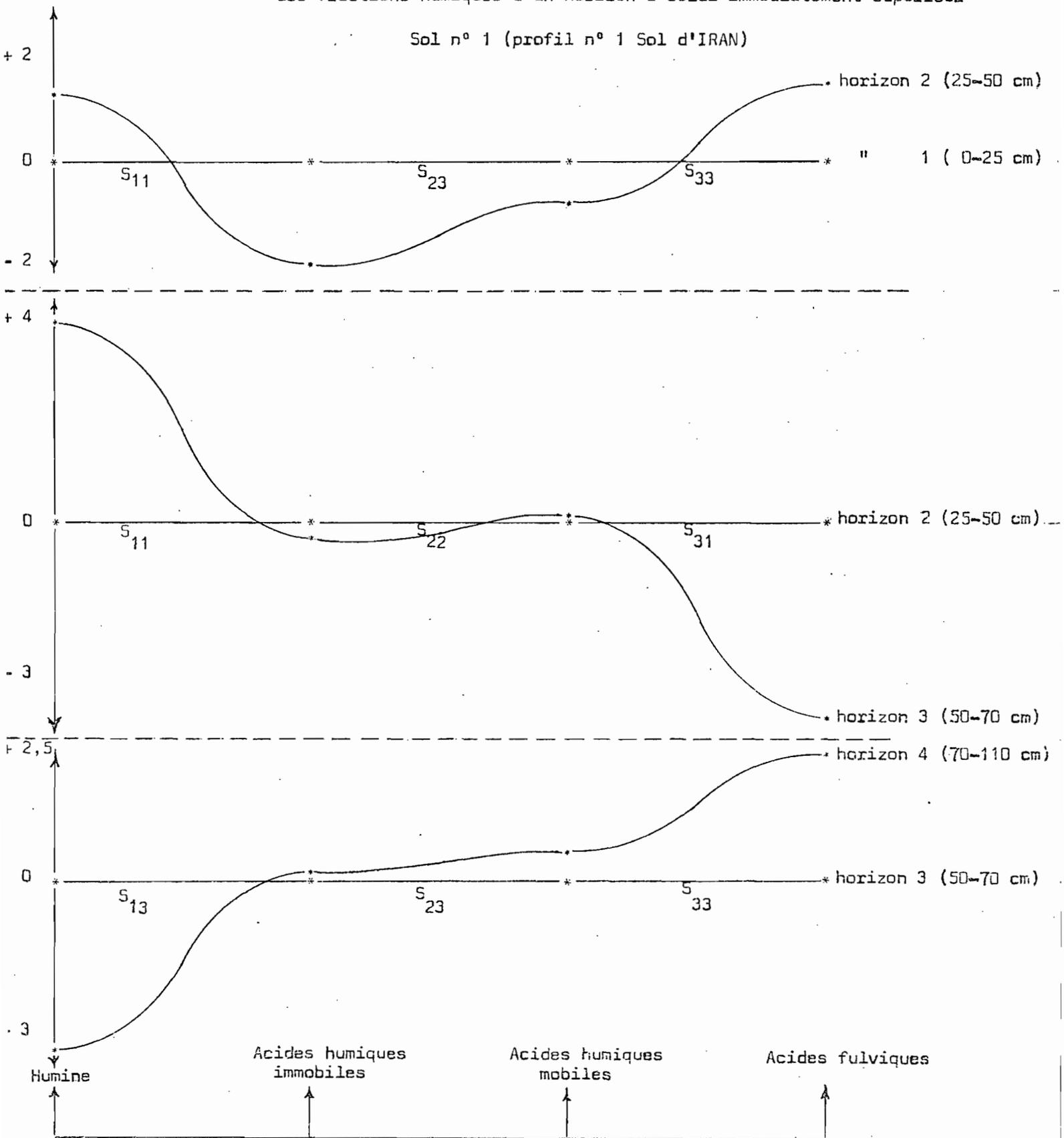
En ce qui concerne le passage des deux horizons au bas du profil (3ème à 4ème horizon), S<sub>13</sub> S<sub>23</sub> S<sub>33</sub> nous montre que la minéralisation reprend son activité, car le rapport AF/AH croît et le taux d'extraction remonte. Comme l'humine décroît plus que les autres composés, il y a donc une dépolymérisation des composés non facilement extractibles. Il en résulte, en effet, que la valeur absolue du carbone de la matière humique extraite ne varie presque pas, malgré un taux nettement moins important de carbone total du 4ème horizon.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

Nous constatons, d'après les deux étapes précédentes (E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>), que la matière organique de ce profil, qui est de type mull calcique, bien évoluée, avec un rapport C/N nettement inférieur à 10 (8.7 en surface), ne subit pas de variation

Graphique de la variation de valeur relative au carbone total  
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 1 (profil n° 1 Sol d'IRAN)



notable de nature. La diminution du taux d'humine à la base du profil compense partiellement son augmentation par polymérisation des acides humiques immobiles en surface et en moyenne profondeur (du 1er au 3ème horizon). Ainsi, par rapport au carbone total, la proportion d'humine du 4ème horizon est un peu supérieure à ce qu'elle est en surface. Les acides humiques immobiles gardent toujours la dominance sur les acides humiques mobiles, mais proportionnellement à leur quantité, ils s'épuisent plus rapidement dans le profil que les acides mobiles. La différence entre leurs valeurs absolues respectives, dans chaque horizon, diminue donc de plus en plus vers la profondeur. Il en résulte une croissance continue du rapport AHM/AHI. La valeur absolue du carbone des acides humiques totaux domine celle des acides fulviques dans tous les horizons. Leur rapport approche l'unité, en deuxième horizon, mais ne la dépasse pas. C'est l'indice d'une bonne polymérisation et d'une liaison organo-minérale parfaite. La baisse importante du taux d'extraction en 3ème horizon précise une liaison organo-minérale particulièrement forte dans cette zone.

- SOL n° 2 (profil n° 2 des sols d'IRAN)

L'interprétation de l'étude de la matière organique devient encore plus compliquée dans ce sol, par suite du processus d'hydromorphie qui se produit dans ce profil. Naturellement, ce phénomène d'hydromorphie, aussi bien temporaire que permanente, amène non seulement une modification quantitative des composés humiques, mais aussi une perturbation importante dans l'évolution pédologique en général, et celle de la matière organique en particulier. L'eau s'accumule dans les zones peu perméables, et remonte pour couvrir la terre en période hivernale, avec pour conséquence un changement important de l'activité microbienne. D'après G. BACHELIER, la minéralisation augmente d'intensité en fonction de l'humidité jusqu'à pF 3 (pour les sols argileux dont il est le cas). Puis elle se maintient presque aussi élevée tant que le sol n'est pas encore à l'état de boue collante. Elle diminue enfin au même niveau que celui du pF 4,2 (humidité très faible) dans la période de submersion (Mémoires ORSTOM n° 30, 1968, p. 31). En ce qui concerne la modification quantitative des composés humiques, il est bien certain qu'en raison du pH assez élevé de ce sol (8.4 en surface et 9.6 en profondeur) et de la longue durée de contact, une partie des composés, solubles dans ces conditions (F1), sorte du profil par le retrait de l'eau à la fin de la période hivernale par suite du drainage interne. En conséquence, l'hydromorphie tem-

poraire rend la migration descendante des acides fulviques particulièrement accentuée dans le profil. Il est donc certain que les pourcentages des composés, soit du carbone total de l'horizon, soit de la matière humique extraite, ne peuvent plus nous expliquer l'allure des deux phénomènes, dans la transformation réversible des composés humiques. Il ne nous reste, en effet, pour illustrer ce fait, que les valeurs absolues du carbone de l'humine, celui des deux acides humiques, et leur rapport, si l'on considère cependant que l'entraînement de ces derniers par le phénomène d'hydromorphie (surtout pour les acides humiques mobiles) est proportionnellement négligeable, puisque ces formes de matière humique restent liées à l'argile. Nous allons donc suivre nos interprétations à l'aide de ces données et des tableaux schématisés.

a - E<sub>1</sub> (première étape)

La comparaison de l'évolution organique du deuxième horizon avec celle du premier nous indique que, les acides humiques mobiles et une partie des acides humiques immobiles se polymérisent davantage car d'une part, l'humus extrait du deuxième horizon est relativement moins dense en acides humiques et d'autre part, le fractionnement de ces derniers présente une élévation de 6% des acides humiques mobiles (électrophore). Mais il y a aussi une certaine polymérisation d'une autre partie des acides humiques immobiles en humine, puisque d'abord le décroissement d'humine est proportionnellement moins important que celui des acides humiques immobiles, et ensuite ces derniers varient davantage que les deux autres acides extractibles ensemble (AHM et AF). Par conséquent, l'évolution organique de cet horizon correspond au 9ème cas des tableaux schématisés, dans lequel E<sub>1</sub> est symbolisé par S<sub>11</sub> pour la première transformation, S<sub>23</sub> pour la deuxième et S<sub>33</sub> pour la dernière.

L'évolution organique du 3ème horizon, vis à vis de celle du 2ème, se fait dans les conditions plus particulièrement favorables à la dépolymérisation, car son appauvrissement organique est relativement considérable. L'enrichissement de l'humus extrait en acides fulviques se poursuit. Il va de soi que la dépolymérisation des acides humiques continue et s'accélère. Cependant, la variation de valeur absolue du carbone des fractions humiques, proportionnellement à leur quantité, croît de plus en plus, de l'humine aux acides humiques mobiles (environ 4,5/10 pour l'humine, 5/10 pour les acides immobiles et 6/10 pour les acides mobiles). Par conséquent, la dépolymérisation est de plus en plus intense, allant du produit le plus polymérisé et fortement

lié vers les éléments à petite molécule. C'est la raison d'ailleurs pour laquelle dans le fractionnement des acides humiques totaux, on observe une légère augmentation (3%) de la proportion des acides humiques immobiles. L'évolution organique de cet horizon correspond au 27ème cas des tableaux schématisés, où  $E_1$  est  $S_{13}$  pour le premier stade,  $S_{23}$  pour le second et  $S_{33}$  pour le dernier.

Nous observons ensuite que l'évolution organique du 4ème horizon, par rapport à celle du 3ème, présente une dépolymérisation légèrement supérieure, dans la transformation des fractions humiques. Proportionnellement à sa quantité, la variation de teneur en humine est identique à celle du cas précédent ; son évolution est donc de même type et présente la même intensité. Celle des acides humiques immobiles est un peu plus forte, ce qui se traduit par une dépolymérisation légèrement plus élevée de ces derniers éléments. Mais, à l'inverse du précédent passage d'horizon, les acides humiques mobiles diminuent presque d'autant que les acides immobiles (environ 4,5/10 de quantité initiale pour l'humine, 7/10 pour chacun des deux types d'acides humiques). Cela correspond au fait que les deux catégories d'acides humiques gardent les mêmes proportions dans leur fractionnement électrophorétique. Par conséquent, l'allure d'évolution organique reste presque identique à celle de l'horizon précédent.  $E_1$  est donc  $S_{13}$  pour la première transformation,  $S_{23}$  pour la seconde et  $S_{33}$  pour la dernière.

L'évolution organique du 5ème horizon est identique à celle du 4ème ; nous y observons les mêmes faits, mais à un degré moindre en deuxième étape ( $E_2$ ) ; nous rechercherons la raison de cette variation d'intensité.  $E_1$  est toujours  $S_{13}$  pour le premier stade,  $S_{23}$  pour le second et  $S_{33}$  pour le dernier.

#### b - $E_2$ (deuxième étape)

Le premier passage d'horizon peut s'exprimer sur le plan de l'évolution organique, d'après l'ensemble des trois  $E_1$ , par la formule  $S_{11} S_{23} S_{33}$ . La matière organique y subit donc une condensation faible des acides humiques immobiles avec une dépolymérisation plus importante au 2ème et 3ème stade. En effet, la proportion des acides humiques immobiles décroît dans le fractionnement électrophorétique. Notons que l'accroissement de l'intensité de polymérisation est plus réduite au 3ème qu'au 2ème stade, puisque le rapport AF/AHM baisse alors que celui de AF/AHI croît, mais, dans

l'ensemble les deux phénomènes y sont peu actifs, la matière organique ne s'épuise que très peu.

La comparaison du fractionnement des composés humiques du 2ème au 3ème horizon en  $E_1$ , fait ressortir une évolution organique schématisée par  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ , ce qui veut dire que la dépolymérisation dominante se généralise, mais elle est plus puissante en 1er qu'en 2ème et 3ème stade car la valeur absolue du carbone de l'humine présente une baisse importante. L'augmentation de la proportion des acides humiques immobiles au fractionnement électrophorétique en est d'ailleurs la conséquence.

La combinaison des trois  $E_1$  au passage suivant (3ème au 4ème horizon) nous présente la même formule d'évolution organique, c'est-à-dire  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . Il y a donc une dépolymérisation générale de tous les composés humiques, mais la différence entre la valeur des rapports AF/AHM et AF/AHI augmente dans le 4ème horizon vis-à-vis du 3ème, malgré l'effet de l'hydromorphie temporaire et la migration accentuée des acides fulviques. Le processus de la dépolymérisation est donc plus important en 3ème qu'en 1er stade. Autrement dit, les acides humiques mobiles se minéralisent plus rapidement que l'humine. Le ralentissement de la décroissance de l'humine, par rapport au passage précédent, prouve également que la dépolymérisation diminue de vitesse au premier stade. La dépolymérisation des deux types d'acides humiques (2/3 de leur quantité en 3ème horizon) apparaît identique ; leur proportion dans le fractionnement électrophorétique n'a pas varié.

A la base du profil (4ème au 5ème horizon)  $E_2$  possède encore la même formule d'évolution organique ( $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ ). La minéralisation est toujours dominante dans la transformation des composés humiques, mais elle a une importance réduite dans l'ensemble de l'horizon par rapport au précédent, car d'une part, l'on constate que l'humine diminue en valeur relative et, d'autre part, l'augmentation du rapport AF/AHI y est moins importante que celle de AF/AHM (+ 1.6 pour le premier contre + 8 unité pour le second), alors que le rapport des acides fulviques sur les acides humiques totaux a presque doublé. L'humine et les acides humiques immobiles se dépolymérisent donc moins bien, mais les acides humiques mobiles décroissent davantage. Naturellement, dans les conditions pareilles, la variation relative entre les deux types d'acides humiques, dans le fractionnement électrophorétique, est en faveur des acides humiques immobiles.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

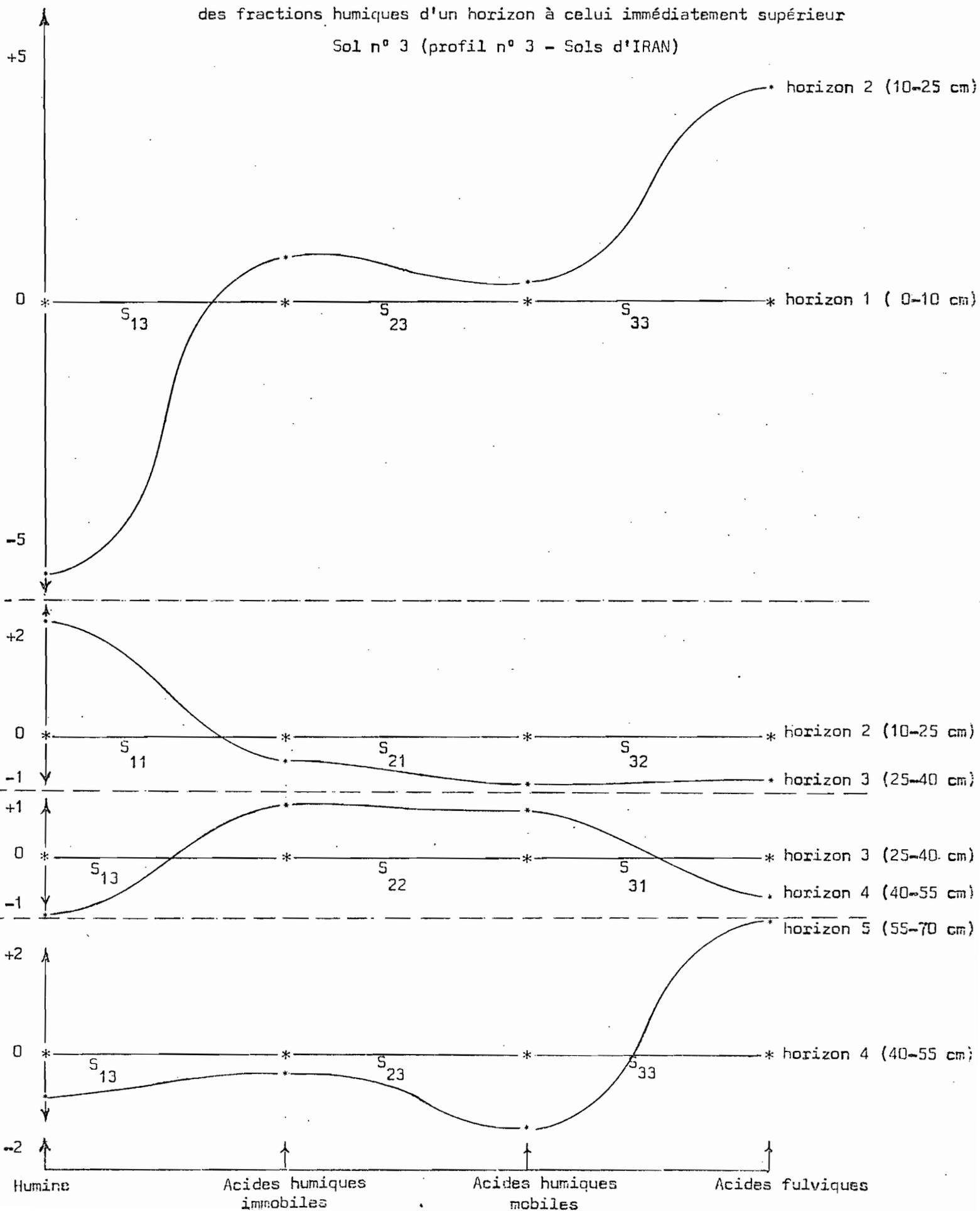
D'après tout ce que nous avons constaté dans les deux premières étapes, il convient de préciser que la matière organique de ce sol, qui est du même type que celle du premier sol (mull calcique, bien évolué, avec C/N de 8:7), subit une variation quantitative assez importante (cela est dû, en particulier, à une hydromorphie temporaire de la période hivernale). Il n'en est pas de même en ce qui concerne la variation qualitative car, bien que le rapport des acides fulviques sur les acides humiques totaux dépasse largement l'unité à partir du 4ème horizon, les acides humiques immobiles dominent toujours les acides humiques mobiles malgré leur diminution plus importante. Autrement dit, la proportion des acides humiques immobiles, dans le fractionnement électrophorétique, est toujours à un niveau très élevé vis-à-vis de celle des acides humiques mobiles. Le degré de la polymérisation est, en effet, toujours aussi élevé qu'en surface ; cependant la dominance des acides fulviques sur les acides humiques totaux, en 4ème et 5ème horizon, nous semble avoir deux origines essentielles : elle est due, d'abord, au ralentissement de la migration des composés solubles par suite d'une perméabilité de plus en plus réduite, ensuite, il doit y avoir une dissolution partielle des acides humiques mobiles par la dispersion d'argile et des humates alcalins due à l'accroissement de la proportion du Na<sup>+</sup> sur le complexe, provoquant l'élévation importante du rapport AF/AHM dans ces deux horizons. Ce qui rend les acides humiques mobiles plus facilement attaquables par les agents microbiens d'une part et, d'autre part, plus rapidement épuisés par le retrait de l'eau qui les entraîne hors du profil, à la fin de la période humide (nous y reviendrons dans l'étude de la deuxième phase d'interprétation). Enfin, la décroissance particulièrement rapide du taux d'extraction d'humus par rapport au carbone total dans les horizons de ce sol, en comparaison avec ce que l'on observe dans les autres sols, montre également l'importance de la migration descendante des éléments organiques pseudo-solubles, qui est due pour une grande partie au phénomène d'hydromorphie temporaire.

- SOL n° 3 (profil n° 3 des sols d'IRAN)

a = E<sub>1</sub> (première étape)

Du 1er au 2ème horizon, la variation de la teneur des divers composés humiques par rapport au carbone total de chaque horizon, met en évidence une dépolymérisation

Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total  
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur  
Sol n° 3 (profil n° 3 - Sols d'IRAN)



intense de l'humine, qui est la seule fraction à diminuer et qui présente la variation la plus importante (même plus que la moitié en valeur absolue de carbone). Les acides fulviques croissent dans cette échelle plus que chacun des deux types d'acides humiques. La dépolymérisation des acides humiques mobiles prend donc la deuxième place, alors que celle des acides humiques immobiles vient en dernier. La petite élévation des acides humiques immobiles dans le pourcentage des acides humiques totaux (fractionnement électrophorétique), est due plutôt à la différence de l'intensité du phénomène en 2ème et 3ème stade ; par conséquent,  $E_1$  au premier stade est  $S_{10}$ ,  $S_{23}$  au second et enfin au 3ème  $S_{33}$ .

Le passage du 2ème au 3ème horizon nous permet d'observer une variation croissante de la proportion d'humine qui est la plus prononcée en pourcentage du carbone total. Il y a donc une condensation efficace des acides humiques immobiles. La variation des acides humiques mobiles dans cette échelle est inférieure à celle des acides humiques immobiles. Nous constatons, par ailleurs, que la variation relative entre ces deux acides dans le fractionnement électrophorétique est en faveur des acides humiques immobiles. Il y a donc également une polymérisation efficace au deuxième stade qui est tout de même moins intense que celle du premier. En ce qui concerne les acides fulviques et les acides humiques mobiles dans le passage de ces deux horizons, nous observons que les deux acides varient d'une façon presque identique en pourcentage du carbone total (la différence de variation est inférieure à 0,05% du C.T.). L'évolution organique entre ces deux fractions, peut donc être considérée en état d'équilibre.  $E_1$  est, en effet,  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{21}$  au 2ème, et  $S_{32}$  au troisième stade.

Nous constatons, dans le passage du 3ème au 4ème horizon, que l'humine se dépolymérise et que les acides fulviques se condensent, alors que les deux fractions d'acides humiques demeurent relativement l'une et l'autre dans un état d'équilibre, car la variation en valeur relative au carbone total est négative pour l'humine et les acides fulviques, alors qu'elle est identiquement positive pour les deux acides humiques ; par conséquent,  $E_1$  est  $S_{13}$  pour le premier stade,  $S_{22}$  pour le second et  $S_{31}$  pour le troisième stade.

Du 4ème au 5ème horizon, la variation relative par rapport au carbone total de tous les composés humiques, exprime une dépolymérisation dominante dans les trois

stades mais d'intensité variable, c'est-à-dire que la transformation des acides humiques immobiles en acides humiques mobiles se fait moins intensément que celle de l'humine en acides humiques immobiles, de même que cette dernière est moins importante que la transformation des acides humiques mobiles en acides fulviques. C'est pourquoi d'ailleurs, malgré une dépolymérisation générale, nous observons une variation relative du fractionnement électrophorétique en faveur des acides humiques immobiles. Dans ce passage  $E_1$  est  $S_{13}$  en premier stade,  $S_{23}$  en second et  $S_{33}$  en troisième.

#### b - $E_2$ (deuxième étape)

D'après tout ce que nous avons constaté en première étape, la formule d'évolution organique du passage au premier horizon est  $S_{13} S_{23} S_{33}$  ; les conditions sont donc particulièrement favorables à la dépolymérisation. La dominance de ce phénomène est suffisamment nette quand on compare la variation de proportion des trois types d'acides organiques (AHI, AHM, AF) dans la matière humique extraite des deux horizons. La proportion des acides fulviques augmente de presque 13% correspondant naturellement à une diminution identique pour les deux catégories d'acides liés, plus prononcée d'ailleurs pour les acides mobiles que pour les acides immobiles. C'est pourquoi on estime ce phénomène plus intense au 3ème stade qu'au second.

En ce qui concerne l'évolution organique du 2ème au 3ème horizon nous constatons, d'après la combinaison des trois  $E_1$ , la formule d'évolution organique de  $S_{11} S_{21} S_{32}$ , ce qui nous montre une inversion du phénomène. Autrement dit, les conditions changent en faveur du phénomène opposé ; la dépolymérisation est donc ralentie et une partie des produits humiques, dépolymérisés préalablement, se condensent de nouveau.

Quant au passage du 3ème au 4ème horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{13} S_{22} S_{31}$ , ce qui représente un antagonisme entre les deux processus opposés. L'humine se dépolymérise, les acides fulviques se polymérisent, alors que les deux fractions d'acides humiques sont, relativement, dans un état d'équilibre. La variation de pourcentage des composés humiques dans la matière humique extraite de ces deux horizons montre également la même évolution pour les 2ème et 3ème stade de transformation, car les deux types d'acides humiques croissent en proportion identique, et que les acides fulviques diminuent.

L'étape  $E_2$  du 4ème au 5ème horizon possède la même formule d'évolution organique que le passage entre les deux horizons de surface, c'est-à-dire  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . Les conditions redeviennent donc favorables à la minéralisation ; toutefois, l'intensité du phénomène est inférieure à celle observée en surface, car la variation de l'humine et des acides fulviques y est moins accentuée. La dépolymérisation des acides humiques mobiles semble cependant plus intense que celle de l'humine et des acides humiques immobiles. C'est la raison pour laquelle le pourcentage des acides humiques mobiles, dans le fractionnement électrophorétique, diminue.

c -  $E_3$  (troisième étape)

Dans les dix premiers centimètres (horizon 1) et à moyenne profondeur (40 à 55 cm), la matière organique de ce sol, qui est également de type mull calcique, possède un rapport C/N légèrement supérieur aux deux sols précédents, mais il demeure toujours inférieur à 10. Le fractionnement électrophorétique montre un degré de polymérisation presque identique à celui du premier sol, alors qu'il est nettement inférieur à celui du deuxième. Cela est dû, d'après tout ce que nous avons constaté en  $E_1$  et  $E_2$ , à une dépolymérisation plus intense des composés humiques, en surface qu'en profondeur. La variation de la concentration des acides humiques mobiles, dans les matières humiques extraites des divers horizons en est une autre preuve, car ils y décroissent plus rapidement que les acides humiques immobiles.

- SOL n° 4 (profil n° 4 des sols d'IRAN)

a -  $E_1$  (première étape)

Du 1er au 2ème horizon, la variation des acides mobiles et immobiles, en pourcentage de carbone total se montre très faible quoique plutôt dans le sens de la dépolymérisation, phénomène beaucoup plus intense au 1er et au 3ème stade, car la diminution de l'humine et l'augmentation des acides fulviques y sont importantes. Tout cela nous prouve que  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{22}$  au second et  $S_{33}$  au troisième stade.

Du 2ème au 3ème horizon, l'allure de l'évolution organique reste la même qu'au passage précédent, mais l'intensité du phénomène varie dans les trois stades. La dépolymérisation diminue d'intensité au premier, car l'humine décroît moins en pourcentage de carbone total. Par contre, le même phénomène est intense au 3ème, car les acides

fulviques croissent trois fois plus que dans le cas précédent. En ce qui concerne les deux fractions des acides humiques, nous observons que la variation est très peu importante mais dans le sens d'une légère condensation, inverse par conséquent de la faible variation observée dans le cas précédent ; cependant, puisque la dépolymérisation des acides humiques mobiles se fait, comme nous l'avons constaté, plus rapidement que celle de l'humine, et que la transformation des composés humiques est moins intense au 2ème qu'au 3ème stade, il se produit une certaine augmentation de la proportion des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique. Ce fait est aussi observable par la variation relative des composés humiques par rapport à la matière humique extraite, car inversement au cas précédent, la décroissance importante des deux fractions des acides humiques porte sur les acides humiques mobiles. Nous constatons également une augmentation presque 5 fois plus élevée que dans l'évolution précédente de la proportion des acides fulviques, ce qui est une autre preuve de la dépolymérisation importante au niveau de ce passage. D'après tout cela, la première étape de l'évolution organique, c'est-à-dire  $E_1$  est  $S_{13}$  pour le premier stade,  $S_{22}$  pour le second et  $S_{33}$  pour le troisième.

Du 3ème au 4ème horizon, l'évolution organique change d'allure, c'est-à-dire, d'après la variation de pourcentage des composés par rapport au carbone total, il y a une polymérisation importante des acides fulviques et des acides humiques immobiles, car les acides fulviques y subissent une diminution assez importante, et l'accroissement d'humine est un peu plus fort que la variation de ces derniers. La variation relative des deux fractions des acides humiques est très faible ; l'équilibre s'est établi au 2ème stade. Cependant, comme la quantité des acides humiques totaux est souvent très faible dans les horizons profonds (ici 1/16 de la surface), une très légère transformation de ces fractions (mobiles et immobiles) se manifeste par une élévation, parfois même de 1 à 3% de la proportion de l'une d'elles dans le fractionnement électrophorétique. C'est la raison pour laquelle les acides humiques immobiles y augmentent la proportion, malgré l'état d'équilibre au 2ème stade et la dominance du même phénomène d'intensité presque identique dans les deux autres stades. Par conséquent,  $E_1$  dans ce passage est  $S_{11}$  pour la premier stade,  $S_{22}$  pour le deuxième et  $S_{31}$  pour le troisième.

Du 4ème au 5ème horizon, l'évolution organique est identique à celle du passage précédent, sauf que la polymérisation y est plus intense, car nous observons au

2ème stade encore un abaissement pour la proportion des acides mobiles par rapport au carbone total, alors que l'état d'équilibre y est maintenu puisque les deux fractions varient parallèlement ; il y a donc une augmentation de l'intensité du phénomène dans les deux autres stades qui est identique pour chacun d'eux, sinon l'état d'équilibre n'y serait plus maintenu. En ce qui concerne l'augmentation des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique, nous signalons qu'il est dû également au même fait que nous venons de décrire ci-dessus. Par conséquent  $E_1$  est toujours  $S_{11}$  au premier,  $S_{22}$  au second et  $S_{31}$  au troisième stade.

b -  $E_2$  (deuxième étape)

D'après tout ce que nous avons constaté en première étape, le passage du 1er au 2ème horizon est  $S_{13}$   $S_{22}$   $S_{33}$  pour la formule d'évolution organique du 2ème horizon par rapport au premier ; les conditions sont donc favorables à la dépolymérisation. Mais la variation des fractions humiques en pourcentage de carbone total nous montre que c'est plutôt l'humine qui est attaquée vigoureusement par la transformation, car la proportion des acides humiques mobiles et immobiles croît même légèrement au 2ème horizon et l'élévation du taux d'extraction des acides humiques est presque identique à celle des acides fulviques.

Dans le passage du 2ème au 3ème horizon nous constatons, d'après la formule d'évolution organique qui est également  $S_{13}$   $S_{22}$   $S_{33}$ , que le phénomène dominant est encore la dépolymérisation. Cette dépolymérisation augmente même d'intensité, car l'élévation des acides fulviques en pourcentage du carbone total est considérable vis-à-vis de celle du premier passage, mais la transformation agit plus sur les deux fractions des acides humiques que sur l'humine ; cependant, l'élévation de plus en plus forte du taux d'extraction dans ces deux passages (l'extraction est toujours effectuée dans les conditions identiques) montre que la liaison organo-minérale y est de moins en moins bonne.

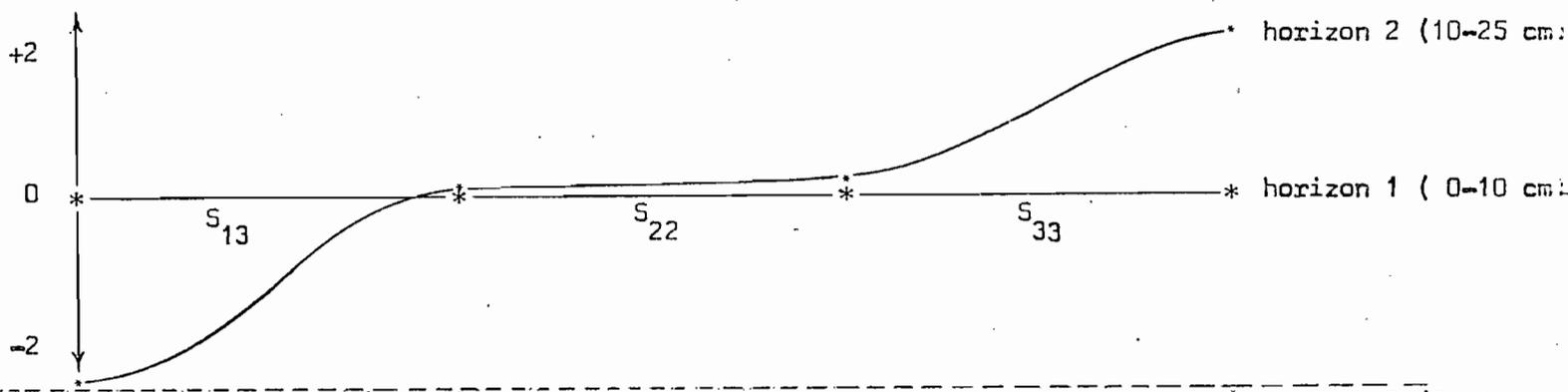
Du 3ème au 4ème horizon, la formule d'évolution organique, qui est  $S_{11}$   $S_{22}$   $S_{31}$ , nous signale une polymérisation assez importante des composés humiques mais elle n'est active qu'au premier et troisième stade. C'est pourquoi la variation des composés en pourcentage du carbone total porte sur les deux extrémités du fractionnement humique (AF et AH). Cette inversion du phénomène paraît due, d'une part à la diminution brusque et importante de la perméabilité qui limite considérablement l'activité biologique

et d'autre part, à l'augmentation du fer total et du calcaire actif, qui favorisent la formation des agrégats humiques stables. Nous reviendrons sur ce point à propos de la 2ème phase d'interprétation où nous étudierons l'influence réciproque de la matière organique et du milieu. Signalons, cependant, que la diminution importante du taux d'extraction, qui le rend même inférieur à celui de la surface, fait ressortir une amélioration sensible de la liaison organo-minérale.

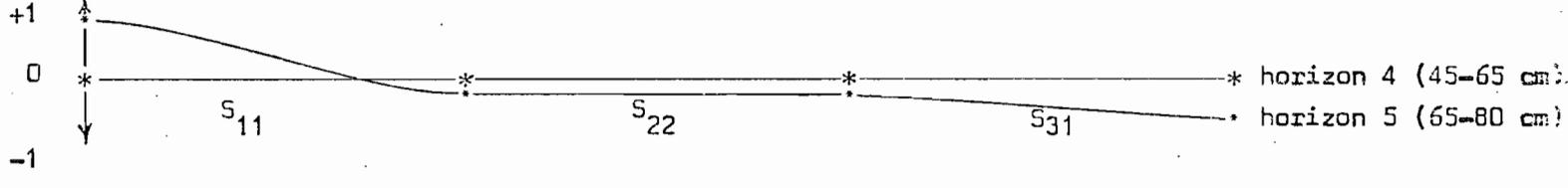
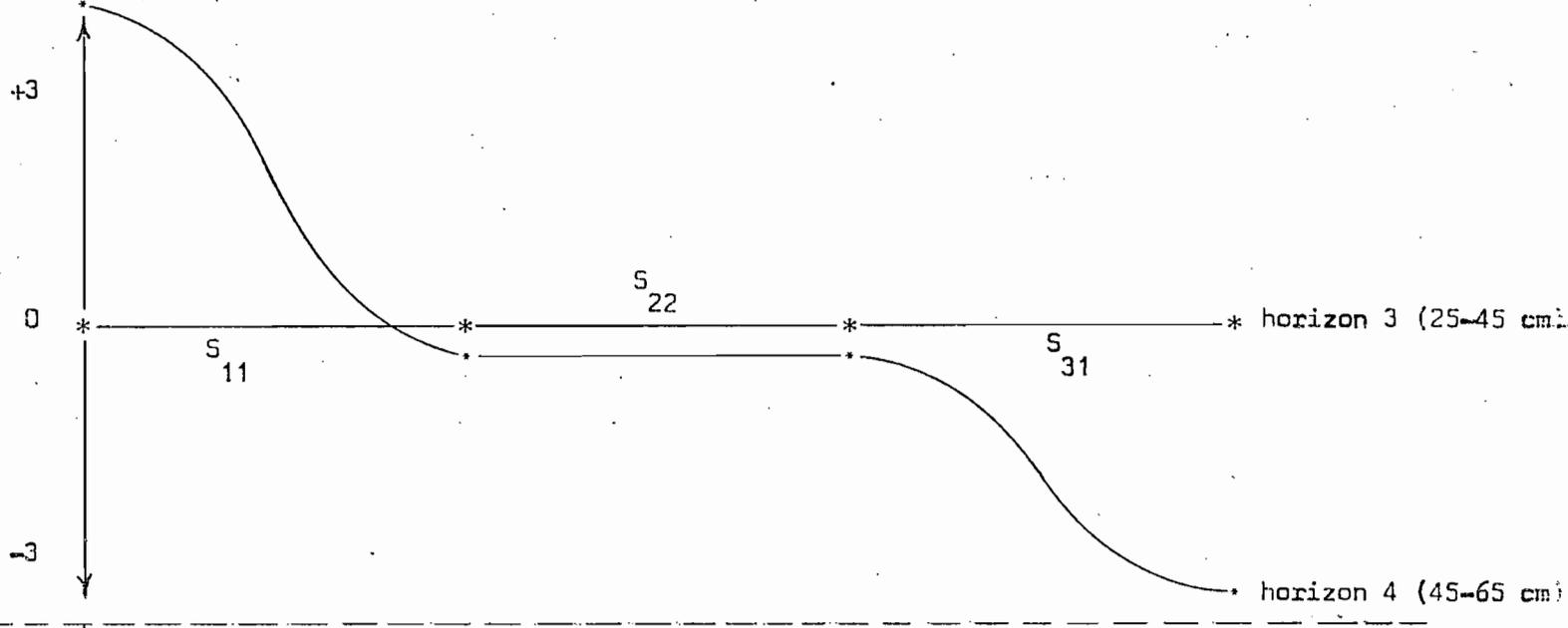
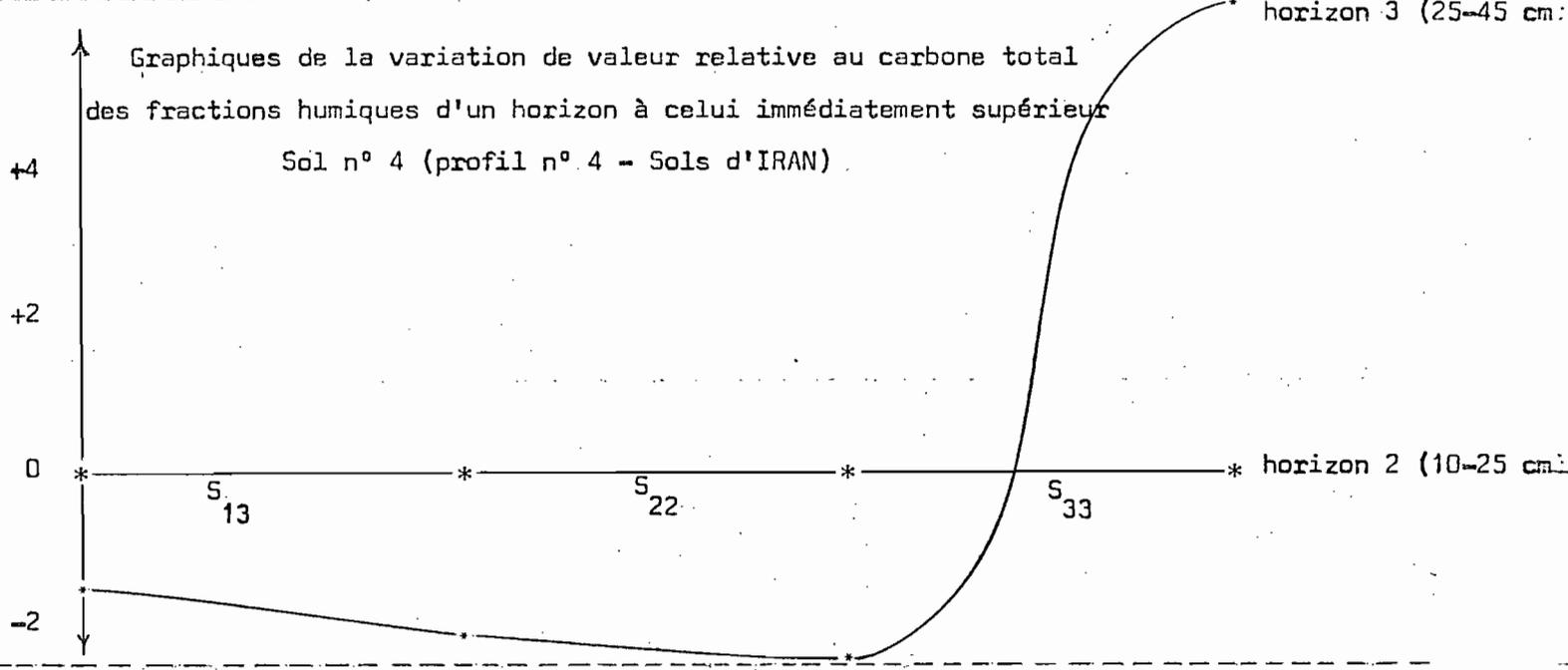
En ce qui concerne le passage du 4ème au 5ème horizon, nous constatons que, malgré une formule d'évolution organique identique ( $S_{11}$   $S_{22}$   $S_{31}$ ), le taux d'extraction et la proportion des acides humiques mobiles dans le fractionnement électrophorétique, diminuent encore ; la liaison organo-minérale continue à s'améliorer et le degré de polymérisation à croître.

### c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol possède un rapport C/N légèrement supérieur à 10 dans les deux horizons de la surface (25 cm). Elle est moyennement évoluée vis-à-vis des trois autres sols, car le rapport AF/AH est proche de l'unité dès la surface mais, malgré tout, elle est encore dans la limite de type mull calcique. Le rapport C/N qui est supérieur à 10 dans la zone perméable, tombe brusquement à 7.4 là où diminue la perméabilité ; puis il remonte de nouveau et atteint, à la base du profil, sa valeur de surface. La minéralisation du carbone est plus lente que celle de l'azote dans le milieu relativement anaérobie. Le degré de polymérisation n'est pas très élevé en surface, mais il augmente en fonction de la profondeur et le rapport AHM/AHI, qui est tout près de l'unité en surface, diminue progressivement vers la profondeur. L'accroissement régulier du taux d'extraction jusqu'au 3ème horizon montre que la liaison organo-minérale diminue de plus en plus dans la première moitié du profil ; la valeur relativement très basse de ce taux au 4ème et 5ème horizon, exprime une nette amélioration de ce critère. Enfin, d'après tout ce que nous avons constaté en première et deuxième étape, la transformation biologique des composés humiques de ce sol, est plus accentuée au premier et au troisième stade qu'au deuxième, car la plus grande variation de 4 fractions en pourcentage de carbone total est située souvent dans les deux extrémités du fractionnement humique.



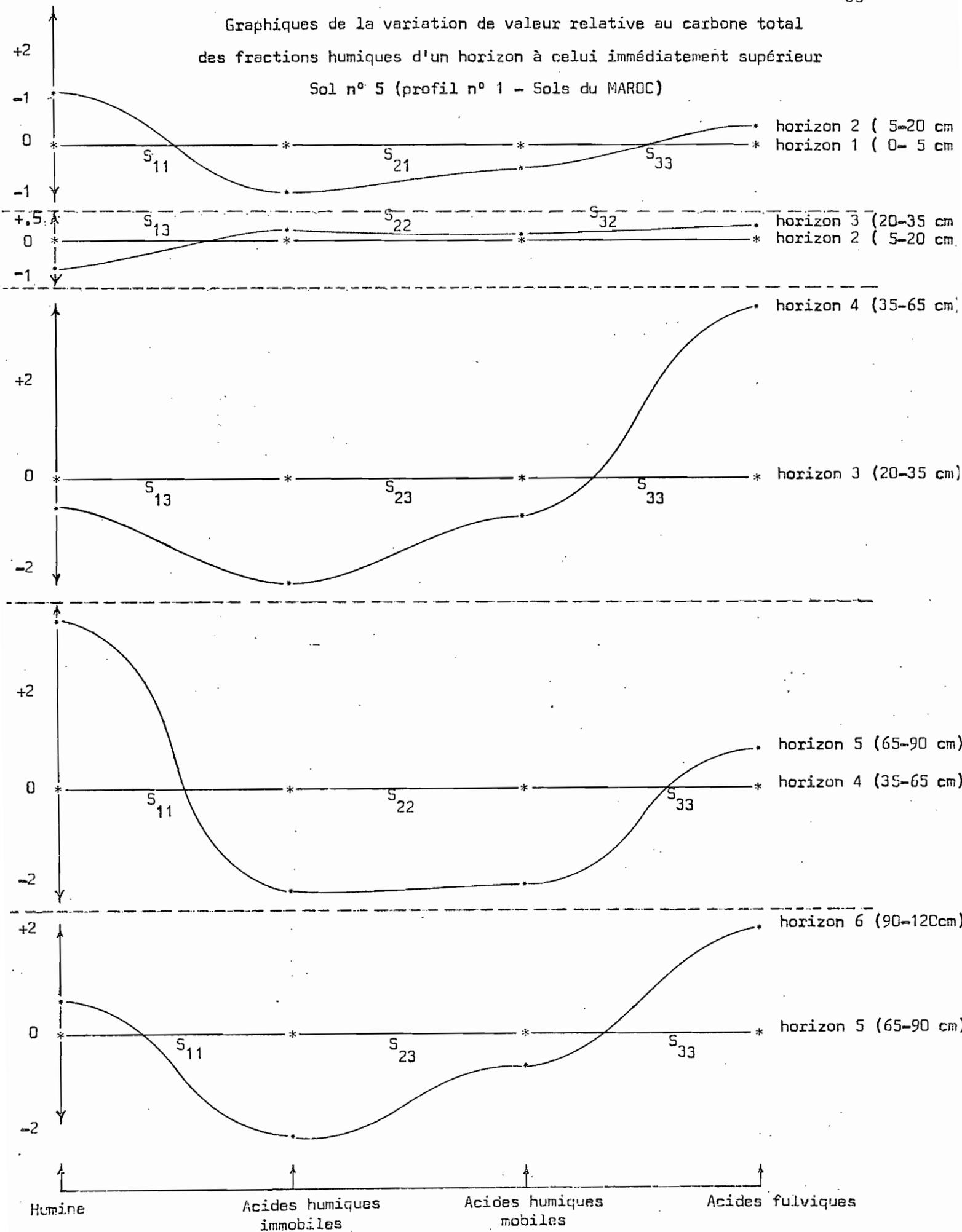
Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur  
Sol n° 4 (profil n° 4 - Sols d'IRAN)



Humine                      Acides humiques immobiles                      Acides humiques mobiles                      Acides fulviques

Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total  
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 5 (profil n° 1 - Sols du MAROC)



- SOL n° 5 (profil n° 1 des sols du MAROC)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Dans le passage du 1er au 2ème horizon, la valeur relative au carbone total des composés humiques est très peu variable. L'humine et les acides fulviques croissent faiblement, les acides humiques mobiles et immobiles subissent une légère diminution. En effet, la matière organique ne diminue presque pas. Le fractionnement des acides humiques extraits montre la même proportion pour chacune des deux fractions mobiles et immobiles. Cependant, si la variation assez limitée des rapports AF/AH - AF/AHM et AF/AHI est due à une légère dépolymérisation des acides mobiles, leur augmentation respectivement progressive (+ 0.05, + 0.07 et + 0.14) est la conséquence d'une faible condensation des deux fractions humiques. E<sub>1</sub> est S<sub>11</sub> pour le premier stade, S<sub>21</sub> pour le second et S<sub>33</sub> pour le dernier.

Du 2ème au 3ème horizon, la comparaison des valeurs relatives au carbone total, des 4 fractions humiques, présente une diminution peu importante pour l'humine et très faible pour les 3 autres fractions. Comme cette variation assez limitée est dans le sens de la dépolymérisation, la matière organique décroît lentement; cependant, puisque les deux types d'acides humiques varient identiquement, proportionnellement à leur quantité, nous estimons que leur transformation correspond à un état d'équilibre. Cette considération est aussi valable pour le troisième stade, car la faible variation proportionnelle des acides humiques mobiles et des acides fulviques est très voisine. La proportion des deux acides humiques, dans le fractionnement de leur ensemble (électrophorèse sur papier) est identique au passage précédent, puisque la variation proportionnelle des constituants organiques, dans ces deux passages, est très petite. La première étape (E<sub>1</sub>) de la première transformation symbolise donc par S<sub>11</sub>, celle de la seconde par S<sub>22</sub> et E<sub>1</sub> du dernier stade est S<sub>32</sub>.

Du 3ème au 4ème horizon, la variation des fractions humiques, soit en pourcentage de carbone total, soit dans celui de la matière humique extraite, porte sur les acides fulviques et les acides humiques, surtout immobiles. L'accroissement des acides fulviques est plus important que la diminution de chacune des autres fractions. Le phénomène le plus important de ce passage est la dépolymérisation. Ce processus domine dans le deuxième stade, puisque la diminution des acides humiques immobiles en % de carbone total est plus marquée que celle des acides humiques mobiles. Mais

l'intensité du phénomène est inférieure à celle du troisième stade, car la proportion des acides mobiles dans la matière humique extraite décroît davantage que celle des acides humiques immobiles. L'humine se dépolymérise aussi, mais légèrement. De ces divers processus, résulte une augmentation relative des acides humiques immobiles, dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse). Le rapport AF/AHM augmente plus que le rapport AF/AHI ; AHM/AHI diminue.  $E_1$  est encore  $S_{13}$  dans le premier stade,  $S_{23}$  dans le second, et  $S_{33}$  dans le troisième, mais la dépolymérisation est de plus en plus intense d'un stade à l'autre, allant du premier au troisième.

Du 4ème au 5ème horizon, il y a une inversion du phénomène pour les deux premiers stades. Puisque les acides humiques mobiles diminuent plus par rapport au carbone total que les acides fulviques n'augmentent, et que c'est l'inverse pour les acides humiques immobiles par rapport à l'humine, et que la variation des deux fractions d'acides humiques est assez voisine, il en résulte que l'on a affaire à une polymérisation des acides humiques immobiles alors que les acides humiques mobiles partiellement se dépolymérisent, et pour une part plus importante, se polymérisent. Les acides humiques immobiles accroissent un peu leur pourcentage dans le fractionnement électrophorétique. On observe une augmentation du rapport AF/AHM un peu supérieure à celle du rapport AF/AHI, et une légère diminution du rapport AHM/AHI. Par conséquent,  $E_1$  est  $S_{11}$  dans le premier stade,  $S_{22}$  dans le second et  $S_{33}$  dans le troisième.

Du 5ème au 6ème horizon, ce sont les acides humiques immobiles qui diminuent sous l'effet des deux processus, alors que les acides humiques mobiles se dépolymérisent seulement. En effet, nous constatons en pourcentage du carbone total :

- un accroissement assez important pour les acides fulviques,
- un accroissement très peu important pour l'humine qui reste à peu près constante,
- un décroissement plus accentué pour les acides humiques immobiles que pour les acides humiques mobiles.

De même nous observons en pourcentage de la matière humique extraite, une diminution des acides humiques immobiles nettement supérieure à celle des acides humiques mobiles.

Par conséquent, les acides humiques immobiles se polymérisent en partie.  $E_1$  est  $S_{11}$  dans le premier stade. Comme ils se polymérisent pour une autre partie,  $E_1$  est donc  $S_{23}$  dans le second stade. Enfin les acides humiques mobiles se transforment en acides fulviques,  $E_1$  est  $S_{33}$  dans le troisième stade. L'intensité de la dépolymérisation semble cependant plus importante en troisième stade qu'en deuxième.

#### b - $E_2$ (deuxième étape)

Dans le passage du 1er au 2ème horizon, les observations de la première étape nous présentent une formule d'évolution organique de  $S_{11}$   $S_{21}$   $S_{33}$ . La matière organique reste donc à l'abri d'une polymérisation relativement poussée des acides humiques immobiles, mais au total, les conditions n'y sont pas non plus favorables à la minéralisation. D'un horizon à l'autre, la matière organique reste assez comparable.

La formule d'évolution organique du 2ème au 3ème horizon est  $S_{13}$   $S_{22}$   $S_{32}$ . Le milieu favorise donc une légère minéralisation par rapport au cas précédent. La faible variation en % de carbone total des 4 fractions porte fondamentalement, dans ce passage, sur les deux extrémités du fractionnement humique (humine et acides fulviques).

Le passage du 3ème au 4ème horizon est symbolisé par la formule  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . La dépolymérisation est donc toujours dominante dans les divers stades. Mais l'intensité du phénomène n'est plus la même dans chacun d'eux. Autrement dit, la variation la plus importante appartient d'abord aux acides fulviques et ensuite aux acides humiques immobiles; celle de l'humine vient en troisième lieu. La dépolymérisation est en effet plus intense pour les composés peu polymérisés que pour les composés fortement liés. La diminution du rapport AHM/AHI ne précise que l'élévation du degré de la polymérisation dans la matière humique extraite et non dans la matière organique totale. L'accroissement des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique se manifeste en raison d'une forte dépolymérisation des acides humiques mobiles.

Du 4ème au 5ème horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{11}$   $S_{22}$   $S_{33}$ . Les conditions redeviennent donc assez favorables à la polymérisation et cela surtout pour la transformation des acides humiques immobiles en humine, car la variation en % du carbone total de l'humine est plus grande que celle de chacune des autres fractions. La matière organique se stabilise donc mieux, grâce à une liaison organo-minérale plus développée.

Dans le passage du 5ème au 6ème horizon, l'étude de la première étape nous montre une évolution organique de formule  $S_{11} S_{23} S_{33}$ . Nous constatons que le décroissement des acides humiques totaux augmente plus, à l'inverse de l'évolution précédente, le taux relatif des acides fulviques que celui de l'humine, grâce à une dépolymérisation plus avancée. Mais comme dans l'ensemble, la dépolymérisation domine le phénomène opposé, il y a encore une légère augmentation des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol avec un rapport C/N inférieur à 10 (8.58), possède un humus de type mull calcique bien évolué. Le taux des acides humiques totaux, dans la matière humique extraite, est de l'ordre de 80% en surface ; il reste même supérieur à 50% à mi-profondeur ; l'humus ne se dégrade donc que lentement. La liaison organo-minérale semble s'améliorer en profondeur, car nous constatons d'une part, que la variation du taux d'extraction est presque négligeable en surface, alors que ce rapport décroît, mais de moins en moins en profondeur et d'autre part, que la valeur relative entre les deux fractions humiques, dans le fractionnement électrophorétique, n'est plus constante à partir de 35 cm. Le taux des acides humiques immobiles y croît en effet, bien que de moins en moins rapidement. Cette dernière constatation met en lumière l'accroissement du degré de la polymérisation de l'humus en profondeur, de façon à ce que la basse valeur du rapport AHM/AHI s'éloigne de plus en plus de l'unité, dans la deuxième moitié du profil. La variation du carbone total et celle relative au carbone de l'humine nous montre que la matière humique s'épuise moins vite en profondeur que dans les horizons peu profonds (20 à 50 cm), ce qui est en bon accord avec les formules d'évolution organiques trouvées (E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>). Le processus de polymérisation est inefficace du 2ème au 4ème horizon où les rapports Na<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup> dans le complexe sont très élevés (10.7 - 14.3 Na<sup>+</sup> ; 14.2 - 11.8 Mg<sup>++</sup>).

- SOL n° 6 (profil n° 2 des sols du MAROC)

a = E<sub>1</sub> (première étape)

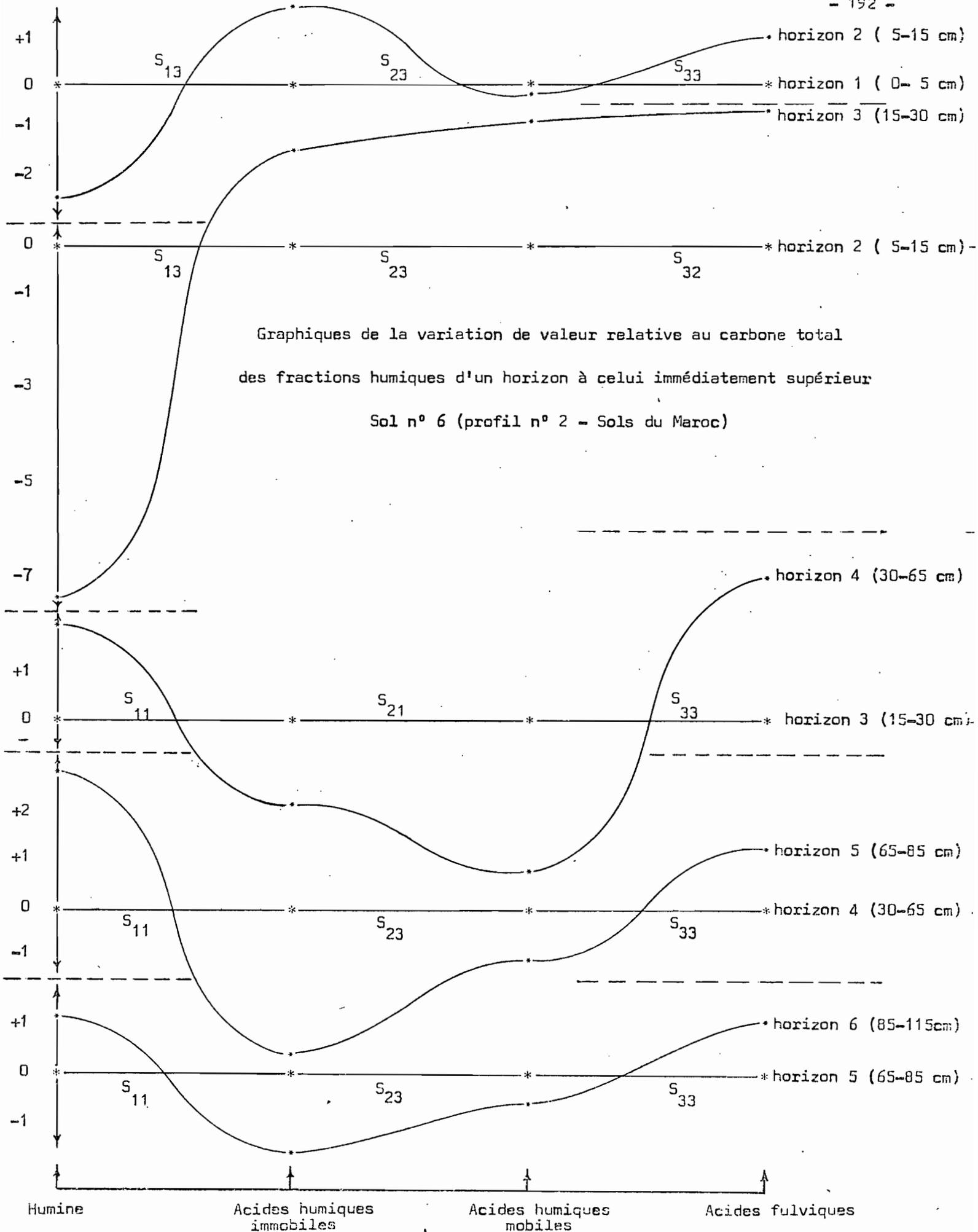
Du 1er au 2ème horizon, l'humine et les acides humiques mobiles décroissent, les acides humiques immobiles et les acides fulviques croissent en valeurs relatives au carbone total. La variation de l'humine y est la plus grande, celle des acides humiques la plus petite. L'humine se dépolymérise, alors que la dépolymérisation des acides humiques immobiles est plus faible que celle des acides humiques mobiles. La différence de l'intensité du phénomène dans les divers stades se manifeste par :

- un abaissement beaucoup moins important, en valeur absolue des acides humiques immobiles que des acides humiques mobiles (-0,01 et -0,13 mgr);
- un net décroissement du rapport AHM/AHI (-0,11);
- une élévation des acides humiques immobiles en regard d'une diminution trois fois plus grande des acides humiques mobiles;
- un accroissement plus grand du rapport AF/AHM que celui AF/AHI (+0,27 et +0,06);
- une légère élévation des AHI dans le fractionnement électrophorétique.

Par conséquent E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> pour le premier stade, S<sub>23</sub> pour le second et S<sub>33</sub> pour le troisième. La dépolymérisation est forte en premier, faible en deuxième et moyenne en troisième stade.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, la dépolymérisation la plus intense a lieu dans la transformation de l'humine aux acides humiques immobiles, car la valeur de l'humine en % de C total diminue beaucoup plus (- 7,43%) que l'augmentation de chacune des autres fractions. L'élévation relativement progressive des acides immobiles, mobiles et fulviques, montre qu'ensuite le phénomène est plus intense au deuxième qu'au troisième stade. Il en résulte :

- un décroissement beaucoup plus important des acides humiques immobiles, dans la matière humique extraite, que l'évaluation correspondante des acides humiques mobiles (- 8,55% AHI et + 2,85% AHM);
- une augmentation du rapport AHM/AHI au troisième horizon (+ 0,13).



- un accroissement un peu moins important du rapport AF/AHM que celui AF/AHI (+ 0,13 et + 0,17).
- une diminution des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique (6%).

D'après tout cela  $E_1$  est  $S_{13}$  dans le premier stade,  $S_{23}$  dans le second et  $S_{32}$  dans le troisième, mais l'intensité du phénomène décroît dans l'ordre indiqué des divers stades.

Du troisième au quatrième horizon, nous constatons que la valeur de l'humine en % de C total croît, mais moins que celle des acides fulviques (+ 2,03 et + 3,04 AF). Les acides humiques immobiles décroissent moins que les acides humiques mobiles qui présentent d'ailleurs la plus grande variation (- 1,82 AHI - 3,25% AHM). En effet, les acides humiques mobiles se polymérisent peu, mais ils se transforment pour une bonne partie en acides fulviques, alors que les acides humiques immobiles se polymérisent seulement. Le fractionnement électrophorétique nous montre une élévation importante des acides humiques immobiles (10%) grâce à la forte dépolymérisation des acides humiques mobiles et sa faible polymérisation d'une part, et à la polymérisation relativement moins intense des acides humiques immobiles d'autre part. Dans la matière humique extraite, nous constatons également un décroissement moins important pour les acides humiques immobiles que pour les acides humiques mobiles (- 4,5% et - 1,5%). Le rapport AHM/AHI décroît donc de nouveau (- 0,21).

Nous observons par ailleurs, une élévation plus importante du rapport AF/AHM que celle du rapport AF/AHI (+ 1,83 et + 0,42). Il convient d'admettre donc d'après ces constatations que  $E_1$  est  $S_{11}$  en premier stade,  $S_{21}$  en second et  $S_{33}$  en troisième.

La comparaison des évolutions du quatrième et cinquième horizon nous présente encore une élévation de l'humine et des acides fulviques, en face d'un décroissement des deux fractions humiques. Mais il y a une inversion d'intensité, c'est-à-dire l'humine croît plus que les acides fulviques et les acides humiques immobiles diminuent plus que les acides humiques mobiles. C'est donc les acides humiques immobiles qui sont sous l'effet des deux processus. Cependant, leur polymérisation est plus importante que leur transformation en produits moins polymérisés, car la variation de l'humine est plus grande que l'ensemble des acides humiques mobiles et acides fulviques (+ 2,86 humine - 1,05 AHM + 1,31 AF). Nous constatons dans la matière humique extraite un

décroissement des acides humiques immobiles trois fois plus important que la diminution des acides humiques mobiles (- 9,75 et - 3,25). Par ailleurs, le rapport AF/AHM croît toujours plus que AF/AHI (+ 1,92 et + 0,63). Mais le fractionnement électrophorétique nous présente une invariabilité en profondeur de la proportion des deux catégories d'acides humiques, car ils ont diminué de la même proportion vis-à-vis de leur quantité dans l'horizon supérieur (4/7). Ce qui prouve encore que la variation du rapport AHM/AHI seul est insuffisant pour indiquer le sens de la transformation réversible entre les deux types d'acides humiques. D'après tout cela,  $E_1$  est  $S_{11}$  pour le premier stade,  $S_{23}$  pour le second et  $S_{33}$  pour le troisième.

Du cinquième au sixième horizon, l'accroissement de valeur de l'humine en % de C total approche celui des acides fulviques, alors que la différence entre la diminution des deux types d'acides humiques est encore importante (H : + 1,23 - AHI : - 1,70 - AHM : - 0,65 et AF : + 1,12%). Les acides humiques immobiles décroissent plus que l'humine n'augmente ; or, ils sont encore sous l'effet des deux processus de polymérisation et dépolymérisation. C'est pourquoi ils diminuent beaucoup plus dans la matière humique extraite, que les acides humiques mobiles (- 7,14 contre - 2,86%). Le rapport AF/AHM augmente trois fois plus que le rapport AF/AHI (+ 2,71 et + 0,78). Le fractionnement électrophorétique nous présente une légère augmentation des acides humiques immobiles qui se traduit par une petite diminution du rapport AHM/AHI. Comme dans le cas précédent,  $E_1$  est  $S_{11}$  dans le premier stade,  $S_{23}$  dans le second et  $S_{33}$  dans le troisième.

#### b - $E_2$ (deuxième étape)

Du premier au deuxième horizon, d'après les observations de la première étape, la formule d'évolution organique est  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . Les conditions semblent donc favorables à la minéralisation car la dépolymérisation est dominante dans les trois stades. Elle augmente d'intensité avec la taille des composés humiques. La matière organique s'épuise assez rapidement.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, la formule d'évolution organique est également  $S_{13} S_{23} S_{32}$ . La dépolymérisation est toujours fortement dominante dans les trois stades. Elle augmente d'intensité de plus en plus avec la taille croissante des composés humiques. Les conditions apparaissent donc très défavorables à la

formation du complexe argilo-humique stable. La matière organique s'épuise donc très rapidement (plus de 50% C dans les deux passages). En somme c'est la suite de la même évolution organique que dans le passage précédent, mais nettement accélérée.

Du troisième au quatrième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{11} S_{21} S_{33}$ . Elle nous montre que les conditions favorisent la polymérisation, surtout en premier stade ; la dépolymérisation au troisième stade s'accélère par rapport aux passages précédents. Le taux d'extraction de l'humus diminue, et les acides fulviques y montrent une forte augmentation, plus élevée à ce passage d'horizon que dans tous les autres de ce profil.

La formule d'évolution organique du quatrième au cinquième horizon, qui est  $S_{11} S_{23} S_{33}$  nous présente de nouveau une dépolymérisation, mais peu poussée, pour le deuxième stade, alors que la polymérisation des acides humiques immobiles s'accroît et la dépolymérisation des acides humiques mobiles se ralentit. L'augmentation du rapport AF/AH précise la diminution du degré de la polymérisation de l'humus extrait. La matière organique est assez stable ; le taux d'extraction diminue de plus en plus.

Du cinquième au sixième horizon, la même formule d'évolution organique  $S_{11} S_{23} S_{33}$  exprime la poursuite en profondeur de la même évolution. La différence consiste en un ralentissement du phénomène. La matière organique reste toujours stable ; le taux d'extraction diminue légèrement.

### c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol possède dans les 15 cm de surface, un rapport C/N légèrement supérieur à 10, puis devient ensuite inférieur à 10, dans le reste du profil (maximum 8,83). L'humus est bien évolué, car le rapport AF/AH est très bas dans les horizons de surface. La matière organique, qui est encore de type mull calcaïque, s'épuise très rapidement dans les deux horizons de surface (15cm). Cette perte importante (supérieure à 50%) paraît liée en particulier à l'excès du sodium et  $Mg^{++}$  échangeable sur le complexe (10,5 - 11,9 de la capacité d'échange pour le sodium et 11,3 - 12,2% pour  $Mg^{++}$ ) qui rend le complexe argilo-humique instable. Nous reviendrons sur ce point à propos de la deuxième phase. Nous constatons, d'après la première et deuxième étape, que l'évolution organique de ce profil consiste plutôt dans la transformation des composés fortement liés (humine et AHI) et dans la dépolymérisation des

éléments faiblement liés (AHM), alors que l'un des deux phénomènes (selon la circonstance) a faiblement agi sur la transformation entre les deux acides humiques (AHI et AHM). L'intensité du phénomène au deuxième stade, quelle que soit sa nature, est souvent inférieure à celle du troisième stade. Le même fait est à observer en ce qui concerne le troisième et le premier stade, ce qui fait que les acides humiques totaux ne subissent qu'une faible variation. Les acides humiques immobiles dominent fortement jusqu'à la base du profil les acides humiques mobiles. L'élévation du taux d'extraction jusqu'au troisième horizon et ensuite sa diminution progressive jusqu'à la base du profil, prouvent que la liaison organo-minérale s'améliore dans la deuxième moitié du profil.

- SOL n° 7 (profil n° 3 des sols du MAROC)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, les acides fulviques présentent la plus grande variation relativement au carbone total. Ils croissent de 2,89% C.T. et les trois autres fractions diminuent. Les conditions sont donc favorables à la minéralisation, et la dépolymérisation est dominante dans les trois stades. Par ailleurs, nous constatons également que les acides humiques immobiles décroissent beaucoup plus que les acides humiques mobiles dans la matière humique extraite (- 2,5 I et - 3% M). Cependant, comme la quantité des acides humiques immobiles est très importante vis-à-vis de celle des acides humiques mobiles (12,14% contre 3,83) d'une part, et que, d'autre part l'augmentation des acides fulviques est importante par rapport à sa teneur de l'horizon supérieur (2,89/3,22% de C.T.) le rapport AF/AHI croît moins que le rapport AF/AHM (+ 0,28 et + 0,88). Mais le pourcentage des deux types d'acides humiques dans le fractionnement électrophorétique ne varie pas, car ils décroissent à la même vitesse par rapport à leur teneur dans l'horizon supérieur (presque 1,27% de leur quantité initiale). D'après les observations ci-dessus, E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> dans le premier stade, S<sub>23</sub> dans le second et S<sub>33</sub> dans le troisième. La dépolymérisation décroît progressivement du premier au troisième stade.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, c'est l'humine qui présente la plus grande variation. Elle diminue (- 2,32%) symétriquement à l'augmentation des

deux fractions humiques. Malgré une légère polymérisation des acides fulviques (- 0,08%), l'augmentation en % de carbone total des acides humiques immobiles est beaucoup plus importante que celle des acides humiques mobiles (+ 2,16% contre 0,24%). La dépolymérisation augmente donc d'intensité au premier stade, alors qu'elle diminue dans le deuxième stade, mais la dépolymérisation des acides humiques immobiles est supérieure à la polymérisation des acides fulviques. Naturellement les deux phénomènes opposés amènent une augmentation relative aux acides humiques mobiles, mais face à la dépolymérisation intense de l'humine, la matière humique extraite s'enrichit en acides humiques immobiles et s'appauvrit en acides fulviques (+ 3,99% I et - 3,30% F). Les acides humiques immobiles croissent légèrement dans le fractionnement électrophorétique.  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{31}$  au troisième.

Du troisième au quatrième horizon, la diminution des acides humiques immobiles (- 3,6% C.T.) présente la plus grande variation en % de C total. L'augmentation des acides fulviques vient en deuxième lieu (+ 3% de C.T.) et ensuite celle de l'humine qui est légèrement supérieure à la diminution des acides humiques mobiles (+ 1,93% H et - 1,33% AHM). En effet, les acides humiques mobiles se dépolymérisent seulement, alors que les acides humiques immobiles se transforment, sous l'effet des deux processus opposés, en humine d'une part et moins nettement en acides humiques mobiles, d'autre part. La matière humique totale subit un appauvrissement plus important en acides humiques immobiles qu'en acides humiques mobiles (-11,72% de M.H.T. et - 4,78%). Le rapport AF/AHI croît moins que le rapport AF/AHM (+ 0,47 et + 2,10). Le fractionnement électrophorétique montre encore une légère augmentation relative des acides humiques immobiles malgré leur diminution importante, en valeur absolue, car la décroissance des deux fractions humiques, par rapport à leur quantité dans l'horizon supérieur, est moins importante pour les acides humiques immobiles que les acides humiques mobiles (presque 3/5 I et 2/3 M).  $E_1$  est donc  $S_{11}$  pour le premier stade,  $S_{23}$  pour le second et  $S_{33}$  pour le troisième stade.

Le passage du quatrième au cinquième horizon présente une augmentation très importante de valeur en % de carbone total de l'humine (+ 3,10%). Les deux fractions des acides humiques totaux diminuent. Leur décroissement porte plus, comme toujours dans ce sol, sur les acides immobiles que sur les acides mobiles (- 2,31 et - 1,13%). L'accroissement des acides fulviques est très peu important (+ 0,34%). La polymérisation domine donc en premier et deuxième stade et ce sont les acides humiques mobiles

qui diminuent sous l'effet de deux processus opposés. Ils se transforment très peu en acides fulviques, mais se polymérisent plus intensément en acides humiques immobiles. Les conditions semblent donc favorables à la formation du complexe argilo-humique stable. Comme les acides humiques immobiles subissent une polymérisation intense, leur diminution, dans la matière humique extraite, approche celle des acides humiques mobiles, qui diminuent sous le double effet polymérisation et dépolymérisation (- 4,95 et 4,25%). Mais l'élévation considérable du rapport AF/AHM vis-à-vis de AF/AHI (+ 3,43 et + 0,34) fait ressortir un décroissement des acides humiques immobiles par rapport à leur teneur dans l'horizon supérieur moins important que pour les acides humiques mobiles (4/10 et 6/10). La proportion des acides humiques immobiles croît de 5% dans le fractionnement électrophorétique.  $E_1$  est  $S_{11}$  dans le premier stade,  $S_{21}$  dans le second et  $S_{33}$  dans le troisième. La polymérisation est plus intense en premier qu'en deuxième stade.

Dans le passage du cinquième au sixième horizon, nous observons que les conditions sont moins favorables à la polymérisation, car c'est la diminution des acides humiques immobiles qui présente la plus grande variation des composés humiques relativement au carbone total (-3,58%). Il y a ensuite l'augmentation de l'humine (+ 2,67%) et celle des acides fulviques (+ 1,54%). Le décroissement des acides humiques mobiles est le plus faible (-0,63%). Les acides humiques mobiles se dépolymérisent seulement, alors que les acides humiques immobiles se transforment, à la fois, en humine et en acides humiques mobiles. La diminution des acides humiques immobiles dans la matière humique extraite est considérable vis-à-vis de celui des acides humiques mobiles (- 16,06 et - 2,84%). Le premier rapport AF/AHM croît beaucoup plus que AF/AHI (+ 8,83 et + 1,56). Les deux fractions humiques ne varient plus de proportion, dans le fractionnement électrophorétique. D'après ces observations,  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au deuxième et  $S_{33}$  au troisième.

Du sixième au septième horizon, l'évolution organique se fait sous les conditions particulièrement favorables à la polymérisation, seule valeur relative au carbone total de l'humine augmente ; celle des trois autres fractions diminue (+ 2,12 H et - 1,50 - 20 - 36% I, M, F). La variation des trois fractions extraites de la matière humique totale est inférieure de moitié à celle observée dans le cas précédent. Le carbone total diminue très peu.  $E_1$  est  $S_{11}$  pour le premier stade,  $S_{21}$  pour le second et  $S_{32}$  pour le troisième.

b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

La formule d'évolution organique, du premier au deuxième horizon est  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . Elle fait ressortir que les conditions sont favorables à la minéralisation. Le degré de la polymérisation de l'humus est élevé, car le rapport AF/AH est très bas et que les acides humiques immobiles sont trois fois plus élevés que les acides humiques mobiles ; mais la matière organique ne se maintient pas tellement bien, puisque la dépolymérisation est dominante.

Du deuxième au troisième horizon la formule d'évolution organique est  $S_{13} S_{23} S_{31}$ . La dépolymérisation des composés fortement liés s'accélère (surtout celle de l'humine), alors que les éléments non ou peu liés (les AF) se polymérisent légèrement. Le degré de la polymérisation de l'humus augmente, puisque le rapport AF/AH décroît, mais la matière organique disparaît plus rapidement car la dépolymérisation de l'humine est très importante.

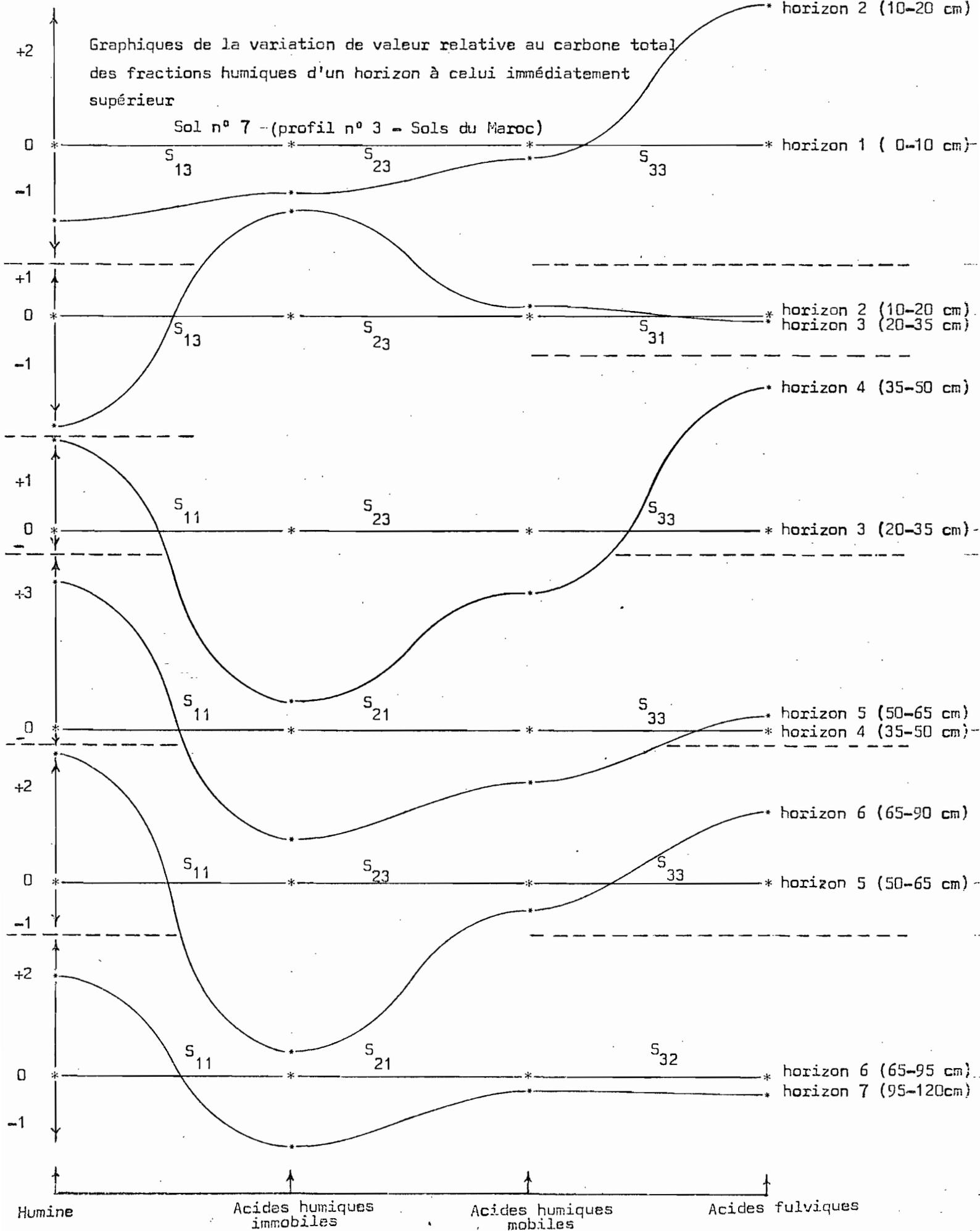
Le troisième passage (troisième à quatrième horizon) possède la formule d'évolution organique de  $S_{11} S_{23} S_{33}$ , ce qui annonce une amélioration relative de la polymérisation des composés fortement liés ; les acides humiques immobiles se repolymérisent partiellement. Mais de l'autre côté, l'humus étroit subit une dépolymérisation importante, car les trois rapports caractéristiques (AF/AH, AF/AHI, et AF/AHM) croissent assez fortement, et le taux d'extraction arrive à son maximum. La teneur en matière organique diminue moins vite.

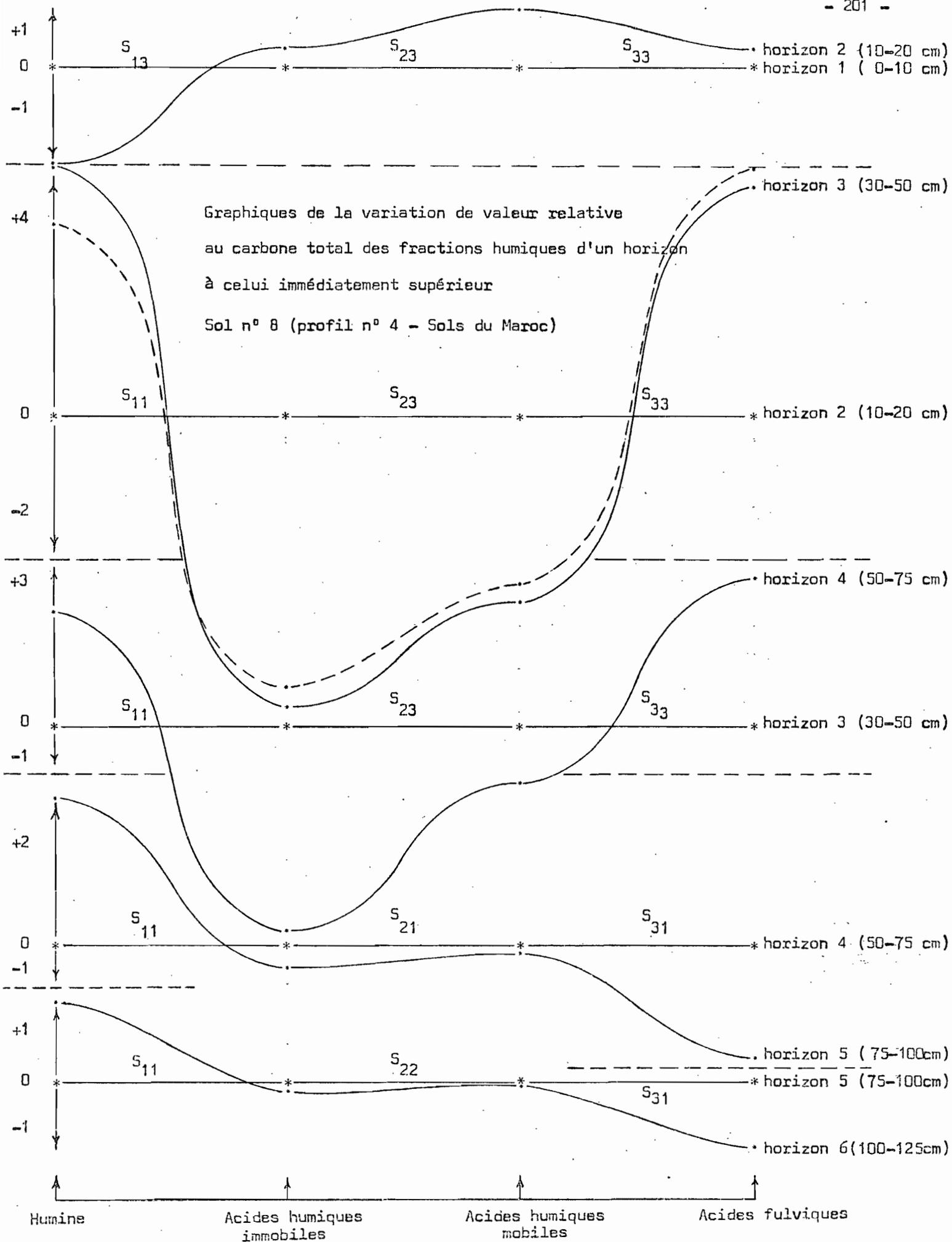
Du quatrième au cinquième horizon, les constatations de la première étape nous montrent une formule d'évolution organique  $S_{11} S_{21} S_{33}$ . Cela exprime une amélioration du milieu en faveur de la conservation organique du sol. Les acides humiques mobiles ne se dépolymérisent que très peu, par contre la repolymérisation des autres éléments humiques est plus poussée. Le degré de la polymérisation de l'humus s'améliore et le taux d'extraction décroît, en même temps que la disparition de la matière organique se ralentit considérablement.

La formule d'évolution organique du cinquième au sixième horizon est  $S_{11} S_{23} S_{33}$ , c'est-à-dire que la dépolymérisation s'accélère de nouveau, le taux des acides fulviques croît assez intensément et il n'y a qu'une repolymérisation partielle des acides humiques immobiles, qui est tout de même plus importante que la dépolymérisation des autres fractions (l'élévation d'humine est supérieure à celle des AF). Le degré de polymérisation de l'humus décroît considérablement alors que l'épuisement de la matière organique n'est que très peu accéléré.

Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 7 - (profil n° 3 - Sols du Maroc)





Enfin du sixième au septième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{11} S_{21} S_{32}$ . Les conditions redeviennent particulièrement favorables à la polymérisation. Le taux d'extraction est au minimum, l'épuisement de la matière organique est considérablement ralenti.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

D'après la première et la deuxième étape, la matière organique de ce sol qui possède un rapport C/N inférieur à 10 (9,6 en surface), se conserve mieux dans la seconde moitié du profil qu'en première. Elle est très évoluée ; elle est plus condensée dans les horizons de surface qu'en profondeur, puisque jusqu'à 50cm sa teneur en acides humiques totaux est plus élevée qu'en acides fulviques. Elle est de type mull calcique et la proportion des acides humiques mobiles est toujours très basse vis-à-vis de celle des acides humiques immobiles, surtout dans le fractionnement électrophorétique. Le taux d'extraction assez élevé de surface croît progressivement jusqu'au troisième horizon et ensuite décroît régulièrement jusqu'à la base du profil. La liaison organo minérale s'améliore donc dans la deuxième partie du profil. L'évolution organique de ce sol consiste en particulier en la dépolymérisation de l'humine dans les horizons peu profonds (jusqu'à 35cm) et en la polymérisation des acides humiques immobiles dans le reste du profil. L'augmentation des acides fulviques dans la plupart des cas est importante aussi.

- SOL n° 8 (profil n° 4 des sols du MAROC)

a = E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, nous constatons que la variation la plus importante des divers composés humiques par rapport au carbone total correspond à la diminution de l'humine (- 1,95%) : Elle se dépolymérise donc assez intensément par rapport aux autres éléments. Les acides fulviques croissent très peu (+ 37% C.T.), mais les acides humiques totaux subissent une augmentation relativement importante. L'élévation est cependant plus accentuée pour les acides mobiles que pour les immobiles (+ 42 I et + 1,16% M). La dépolymérisation au deuxième stade est donc moins importante que celle du premier, et nettement plus importante que celle du troisième stade. C'est pourquoi les deux types d'acides humiques varient inversement, mais en proportion identique dans la matière humique extraite (- 3,49% I et 3,29% M). De même que la décroissance du rapport AF/AHM est plus prononcée que l'élévation du rapport AF/AHM. La dépolymérisation plus intense des

acides humiques immobiles que celle des acides humiques mobiles provoque l'augmentation relative de ces derniers dans le fractionnement électrophorétique.  $E_1$  est  $S_{13}$  dans le premier stade,  $S_{23}$  dans le second et  $S_{33}$  dans le troisième.

Dans la comparaison du deuxième au troisième horizon, nous constatons que la variation des composés humiques, par rapport au carbone total, est très importante. L'humine croît (+ 5,2%) ; les acides mobiles et immobiles décroissent respectivement (-3,87 et - 6,13%) ; enfin les acides fulviques augmentent (+ 4,8%). Ainsi les acides humiques immobiles se polymérisent en même temps qu'ils se dépolymérisent, alors que les mobiles se dépolymérisent seulement.  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième. Cependant, nous observons que la matière organique décroît considérablement vis-à-vis du passage précédent (60% entre le deuxième et le troisième horizon sur 66% de la diminution depuis la surface), et que les acides humiques mobiles diminuent de 10% dans le fractionnement électrophorétique. Cette polymérisation des acides humiques immobiles plus intense que la dépolymérisation des acides humiques mobiles accompagnant une forte diminution du carbone total, ne semble pouvoir s'expliquer que par une migration descendante des acides fulviques à partir de ces horizons. Celle-ci apparaît vraisemblable du fait de la perméabilité très élevée des deuxième et troisième horizons ( $K = 6,25$  et  $3,87$ ). Si la perméabilité des deuxième et troisième horizons avait été identique à celle des horizons inférieurs. ( $K = 1,6$ ), leur teneur en acides fulviques aurait pu être environ de 1,6 et 0,8 mgr de C à la place de 0,40 et 0,33. Dans ces conditions, la variation des composés humiques, par rapport au carbone total aurait été + 4,0% pour l'humine, - 5,7 et 3,5% pour les acides humiques immobiles et mobiles, + 5,2% pour les acides fulviques. La dépolymérisation des acides humiques mobiles serait alors nettement supérieure à la polymérisation des acides humiques immobiles. Puisque  $E_1$  est encore  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième, la modification due à la migration des acides fulviques ne perturbe que l'intensité du phénomène dans les divers stades de transformation et non son existence.

Entre le troisième et le quatrième horizon apparaît un type d'évolution analogue à celui qui a été observé précédemment entre le deuxième et le troisième. Cependant, les acides humiques immobiles se dépolymérisent moins bien et augmentent légèrement leur polymérisation. La proportion des acides humiques mobiles diminue ainsi dans le fractionnement électrophorétique. Les conditions restent toujours favorables à la minéralisation, car la dépolymérisation des acides humiques mobiles est encore le

phénomène le plus fort.  $E_1$  reste  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Dans la comparaison des quatrième et cinquième horizon, nous constatons que les conditions ne sont plus favorables à la minéralisation. La variation des diverses fractions relativement au carbone total fait ressortir une polymérisation générale, qui augmente d'intensité avec la taille croissante des produits humiques. L'augmentation relative de l'humine représente la plus grande variation des quatre fractions (+ 3,07% C.T.), alors que les acides fulviques sont très nettement les plus diminués (-2,41). La proportion électrophorétique des deux types d'acides humiques ne varie pas, car le phénomène joue presque à intensité identique dans les trois stades.  $E_1$  est  $S_{11}$  pour le premier stade,  $S_{21}$  pour le deuxième et  $S_{31}$  pour le troisième.

Du cinquième au sixième horizon, la variation proportionnelle des fractions montre que la différence d'intensité de la polymérisation entre les divers stades diminue. Elle subit un ralentissement général qui est plus prononcé pour les composés les plus liés (H + 1,67, I - 0,19, M - 0,09 et F - 1,39). Les acides humiques immobiles diminuent à peine moins que les acides humiques mobiles et leur proportion dans le fractionnement électrophorétique accuse une légère augmentation ; il en est de même de leur teneur relative dans la matière humique extraite. Les conditions restent défavorables à la minéralisation.  $E_1$  est  $S_{11}$  dans le premier stade,  $S_{22}$  dans le second et  $S_{31}$  dans le troisième stade.

#### b = $E_2$ (deuxième étape)

Entre le premier et le deuxième horizon, la formule d'évolution organique d'après les constatations de la première étape ( $E_1$ ) est  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . Elle est donc en faveur de la minéralisation car la dépolymérisation domine dans tous les stades. L'humus y est bien évolué puisque les acides humiques immobiles dominent les acides humiques mobiles qui gardent leur supériorité sur les acides fulviques, mais son degré de polymérisation diminue légèrement, car le rapport AHM/AHI croît et les acides immobiles diminuent de pourcentage dans le fractionnement électrophorétique.

La comparaison du deuxième et du troisième horizon nous présente une formule d'évolution organique légèrement changée. Elle est  $S_{11}$   $S_{23}$   $S_{33}$ , c'est-à-dire que les acides humiques immobiles se polymérisent en même temps qu'ils se transforment en acides humiques mobiles, mais le premier fait est presque négligeable d'après ce que nous venons de voir en  $E_1$  devant le second ; en revanche, la dépolymérisation est très accé-

lérée dans les deux autres stades. Les conditions sont donc de plus en plus favorables à la minéralisation. Ceci explique l'épuisement important de la matière organique, augmenté d'ailleurs probablement par des phénomènes de migration de certains composés.

Du troisième au quatrième horizon, la même formule d'évolution organique  $S_{11}$   $S_{23}$   $S_{33}$  indique que la dominance de la dépolymérisation continue mais à un degré moindre, car l'intensité du phénomène diminue dans le deuxième et le troisième stade, alors qu'elle croît dans le premier. D'ailleurs, l'épuisement de la matière organique ralentit et l'électrophorèse sur papier nous présente une proportion plus élevée pour les acides humiques immobiles. Le rapport AF/AHM croît beaucoup plus que le rapport AF/AHI. Le degré de la polymérisation de l'humus est faible, car AF/AHT croît beaucoup (+ 2,70).

Dans la comparaison du quatrième au cinquième horizon, la formule d'évolution organique devient  $S_{11}$   $S_{21}$   $S_{31}$ . La polymérisation est donc générale. Elle est plus forte pour les éléments fortement liés que pour les composés non ou faiblement liés. Le degré de polymérisation de l'humus ne décroît plus car le rapport AF/AH reste identique à celui du passage précédent. Mais la liaison organo-minérale s'accroît, puisque le taux d'extraction continue à diminuer. L'épuisement organique ralentit même de moitié par rapport au cas précédent. La matière organique se stabilise de mieux en mieux.

Du cinquième au sixième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{11}$   $S_{22}$   $S_{31}$ ; la dépolymérisation reste encore dominée par la polymérisation qui est relativement peu importante. La différence entre l'intensité de ce dernier processus dans les divers stades diminue. En effet, les acides humiques immobiles qui dominent toujours quantitativement les acides humiques mobiles, accroissent légèrement leur proportion électrophorétique. Le taux d'extraction est au minimum; la liaison organo-minérale s'améliore encore. La matière organique se maintient donc mieux et son épuisement est très lent.

### C = E<sub>3</sub> (troisième étape)

Ce sol qui est organiquement le moins riche par rapport aux précédents, possède une matière organique de rapport C/N également inférieur à 10 (9,50 en surface); elle est donc bien évoluée surtout dans la première moitié du profil, où son humus de type mull calcique a un rapport acides fulviques sur acides humiques totaux très bas. Les acides humiques immobiles de ce profil dominent toujours largement des acides humiques

mobiles. Ils décroissent donc relativement moins rapidement que les derniers sauf en surface. En général, ils augmentent régulièrement dans le fractionnement électrophorétique, mais en raison de la minéralisation intense de la surface, ils perdent leur dominance sur les acides fulviques à moyenne profondeur (30-50cm) et ils restent ensuite jusqu'à la base du profil fortement dominés par ces derniers.

La diminution rapide de la matière organique dans les horizons de surface est ralentie à moyenne profondeur et devient très lente à la base du sol. En somme la dépolymérisation est très importante dans la première moitié du profil et surtout pour les produits les moins fortement polymérisés, alors que la polymérisation agit dans la partie inférieure du sol et plus intensément sur les produits à grasses molécules que sur les éléments peu polymérisés. Le décroissement régulier du taux d'extraction prouve l'amélioration progressive de la liaison organo-minérale. L'humus extrait est de moins en moins riche en carbone humique. Le carbone fulvique augmente ainsi vers la profondeur. L'accroissement régulier et de plus en plus important du rapport AF/AH en est la conséquence. Le rapport AF/AHI croît d'abord lentement et ensuite rapidement jusqu'à ce qu'il arrive à son maximum dans le quatrième et le cinquième horizon (4,42), ensuite il décroît légèrement ; le rapport AF/AHM décroît régulièrement jusqu'au troisième horizon et ensuite croît plus intensément que AF/AHI, et même augmente de valeur au sixième horizon où ce dernier diminue. La variation de ces deux rapports nous prouve que les acides humiques mobiles se dépolymérisent plus rapidement en surface et qu'ils se polymérisent dans la deuxième moitié du profil alors que le phénomène est moins sensible pour les acides humiques immobiles.

- SOL n° 9 (profil n° 5 des sols du MAROC)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, la variation de valeur relative au carbone des fractions humiques est assez peu marquée et surtout pour les éléments peu polymérisés et les moins liés. Les conditions ne sont donc favorables que pour une certaine polymérisation. La faible augmentation relative de l'humine (+ 1,85%) est supérieure à la diminution de chacune des autres fractions tout en étant voisine de celle des acides humiques immobiles (- 1,65 I, - 0,4 M, - 0,16 F). La polymérisation est relativement plus forte au premier stade qu'au deuxième et au troisième. Les acides humiques immobiles décroissent plus que les acides humiques mobiles et les acides fulviques ensemble. L'humus s'appauvrit en acides humiques immobiles dont la proportion

décroit dans le fractionnement électrophorétique. Les rapports AHM/AHI et AF/AHI croissent alors que le rapport AF/AHM décroît. Par conséquent  $E_1$  est  $S_{11}$  pour le premier stade,  $S_{21}$  pour le deuxième et  $S_{31}$  pour le troisième.

Du deuxième au troisième horizon, le décroissement important de valeur relative de l'humine en % de C total, est égal à l'ensemble de l'accroissement des acides humiques immobiles, des acides humiques mobiles et des acides fulviques (H - 5,01, AHI + 3,96, M + 1,03 et F + 0,02%). Les conditions redeviennent donc très favorables à la minéralisation. La dépolymérisation, de plus en plus intense du phénomène, enrichit l'humus en acides humiques immobiles (I + 4,17, M - 2,37 et F - 1,80% de MHT). La même variation s'observe dans le fractionnement électrophorétique également (I + 3 et M - 3%). Elle est aussi la cause de la diminution générale des 4 rapports caractéristiques (M/I, F/I, F/M et AF/AH).  $E_1$  est donc  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième stade.

La comparaison des troisième et quatrième horizon présente également une variation importante de valeur relative des fractions humiques par rapport au carbone total. La plus forte consiste en une diminution des acides humiques immobiles (- 5,13), car ils décroissent sous l'effet de deux processus, d'une part ils se polymérisent et d'autre part, ils se dépolymérisent mais plus faiblement. C'est pourquoi l'humus du quatrième horizon est fortement appauvri en ce type d'acides humiques (- 13,42% de MHT). L'élévation des acides fulviques est supérieure à la diminution des acides humiques mobiles (M - 2,02 et F + 2,96%) ; ces derniers se dépolymérisent seulement. La matière humique extraite s'enrichit donc en AF (+ 18,1%). La dépolymérisation au troisième stade est beaucoup plus élevée que celle du passage précédent, mais ce phénomène est légèrement moins actif au second stade. Par ailleurs, l'intensité du processus de polymérisation, au premier stade, est supérieure à l'ensemble du phénomène opposé aux deux autres stades. L'élévation respectivement de plus en plus importante des rapports AF/AHM, AF/AHI, AF/AHT et AHM/AHI en est aussi la conséquence (+ 0,82, + 0,37, + 0,25 et 0,02) de même qu'une légère augmentation des acides humiques mobiles dans le fractionnement électrophorétique. Par conséquent  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Du quatrième au cinquième horizon, la valeur relative au carbone total des composés humiques, surtout celle de l'humine et des acides humiques immobiles, ne subit pas une variation importante (H + 0,37, I - 0,07, M - 0,93 et F + 0,63% de C.T.). La diminution des acides humiques mobiles est plus grande que l'augmentation des acides

fulviques. Ils se dépolymérisent donc en même temps qu'ils se polymérisent, mais la transformation en acides fulviques est plus importante que la polymérisation en acides humiques immobiles (F + 0,63 et I + 0,30). Les acides humiques immobiles se polymérisent seulement et faiblement (+ 0,37% C.T.). L'humus se montre légèrement plus concentré en acides humiques immobiles (+ 0,74% de AHT) en raison de la diminution relativement plus importante des acides mobiles que des acides immobiles. Ce fait est aussi responsable d'une augmentation de 5% de ces éléments dans le fractionnement électrophorétique. Le rapport AHM/AHI est le seul à diminuer (- 0,10), mais l'augmentation du rapport AF/AHM est beaucoup plus grande que celle du rapport AF/AHI (+ 0,49 contre - 0,07). E<sub>1</sub> est donc S<sub>11</sub> au premier stade, S<sub>21</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

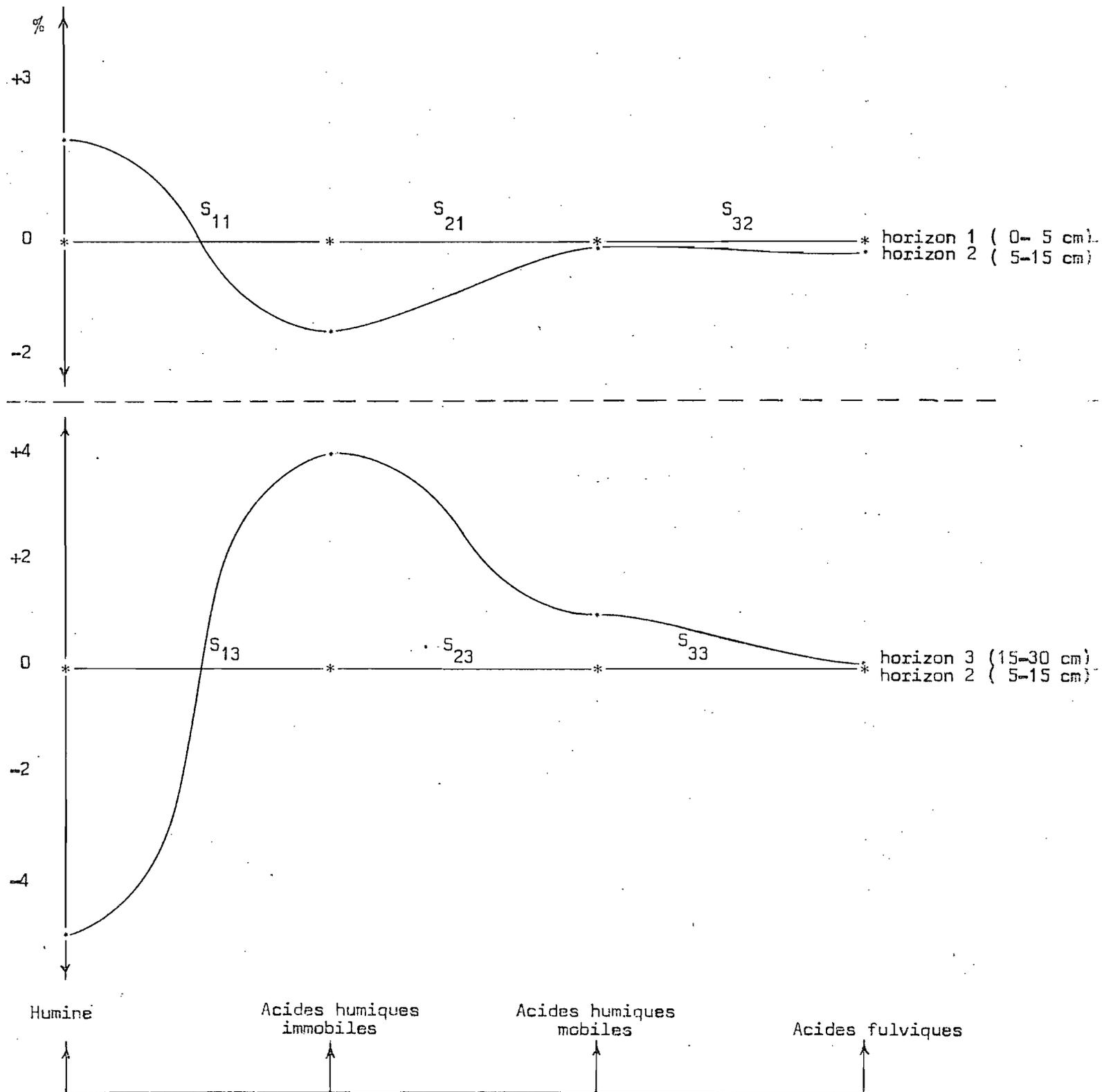
Dans le passage du cinquième au sixième horizon, la variation de valeur relative au carbone total redevient importante. Elle s'élève de plus en plus allant des produits simples vers les éléments les plus polymérisés et les plus fortement liés (F + 1,93, M - 2,12, I - 5,0 et H + 5,19% de C.T.). La plus grande variation appartient ainsi à l'augmentation de l'humine et la plus petite à celle des acides fulviques. Le décroissement des acides humiques immobiles est à la deuxième place ; ces éléments se polymérisent seulement. Par contre, la diminution des acides humiques mobiles est supérieure à l'accroissement des acides fulviques ; ils se dépolymérisent en même temps qu'ils se polymérisent. Comme leur diminution est largement inférieure à celle des acides humiques immobiles, l'humus semble deux fois moins riche en ces derniers que dans les autres types d'acides humiques (I - 18,24 et M - 9,36% de MHT). En revanche, l'humus s'enrichit considérablement en carbone fulvique (F + 27,6% de MHT). L'augmentation de 5% des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique est due au fait que la diminution des deux catégories d'acides humiques dépasse 50% de leur total (I 65% et M 73%) ; le décroissement des acides humiques mobiles est donc quantitatif et non évolutif. Par conséquent E<sub>1</sub> est S<sub>11</sub> au premier stade, S<sub>21</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

Du sixième au septième horizon, la valeur relative au carbone total des composés humiques présente une augmentation pour les acides fulviques et un décroissement de proportion des autres éléments. Ce décroissement est plus accentué pour les acides humiques immobiles que pour l'ensemble des deux autres fractions (H et AHM). Les conditions sont donc favorables à la dépolymérisation. Une très grande partie du carbone de la matière humique extraite est sous forme fulvique (69,60%). Cependant, les acides humiques immobiles augmentent encore de proportion dans le fractionnement des acides humiques totaux pour la même raison que nous avons exposée dans le cas précédent. E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au deuxième et S<sub>33</sub> au troisième.

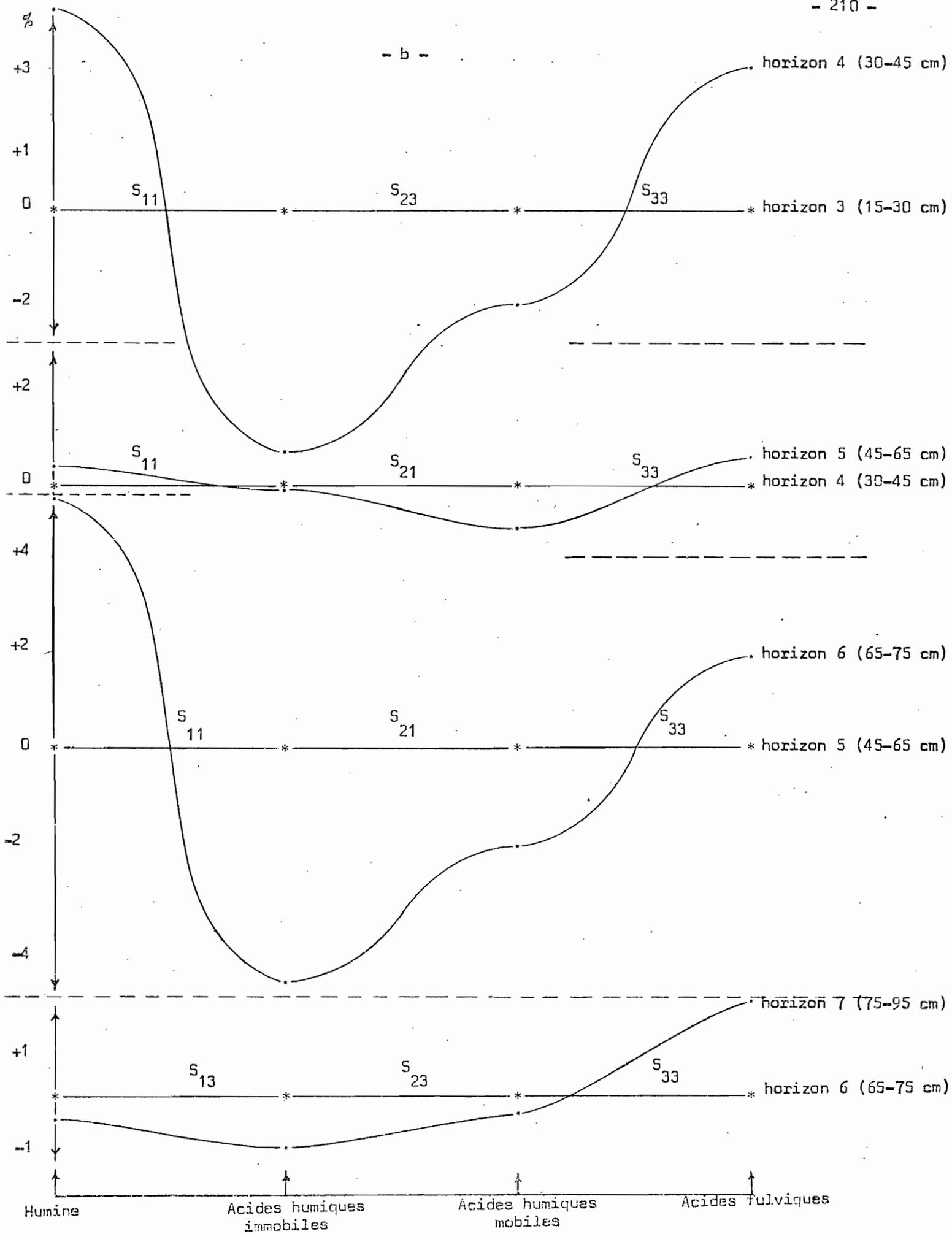
Graphique de la variation de valeur relative au carbone total  
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 9 (profil n° 5 - Sols du Maroc)

a



- b -



b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

La formule d'évolution organique du deuxième horizon, vis-à-vis de celle du premier, est  $S_{11} S_{21} S_{31}$ , c'est-à-dire qu'en général, les éléments sont moins dépolymérisés. La polymérisation des composés humiques est légèrement plus intense au deuxième horizon qu'au premier. Cette considération est surtout valable pour les fractions plus polymérisées et fortement liées (H et AHI) que pour les autres éléments. Les conditions sont donc moins favorables à la minéralisation.

La combinaison des trois E<sub>1</sub> du passage du deuxième au troisième horizon correspond à une formule  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . La dépolymérisation est donc accélérée par rapport au deuxième. Ce fait est encore plus visible dans la transformation des produits non extractibles (humine) que dans les autres. Le taux d'extraction croît, la liaison organo-minérale est moins bonne. La destruction de la matière organique se poursuit donc plus facilement.

La comparaison de la matière organique du quatrième horizon avec celle du troisième s'exprime par la formule  $S_{11} S_{23} S_{33}$ , ce qui représente une dépolymérisation absolue moins importante pour l'humine et davantage pour les autres éléments. La destruction des éléments relativement moins polymérisés est plus facile alors que l'humine résiste davantage à cette transformation.

L'évolution organique du cinquième horizon vis-à-vis de celle du quatrième, présente une formule  $S_{11} S_{21} S_{33}$ . Seule la dépolymérisation des acides humiques mobiles est légèrement plus intense que celle des autres fractions (l'humine et acides humiques immobiles) diminue d'intensité. En d'autres termes, la polymérisation est faiblement poussée pour les acides humiques totaux. Les éléments peu liés, résistent moins bien à la transformation, à l'inverse des composés fortement liés. La liaison organo-minérale est meilleure car le taux d'extraction décroît (matière humique extraite en % du carbone total). La destruction de la matière organique est donc moins rapide.

La formule d'évolution organique du sixième horizon est aussi  $S_{11} S_{21} S_{33}$ . L'évolution du quatrième horizon par rapport au cinquième est beaucoup plus accentuée au premier stade et au troisième. Autrement dit les produits peu liés se dépolymérisent plus intensément. Le taux d'extraction diminue au maximum, la liaison organo-minérale est donc plus efficace. La destruction organique se fait de plus en plus lentement.

L'évolution organique du septième horizon vis-à-vis de celle du sixième correspond à une formule de  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . Elle prouve que la dépolymérisation s'accroît,

mais elle est de moins en moins importante au fur et à mesure que les produits sont de plus en plus polymérisés et liés. La liaison organo-minérale n'est que légèrement moins efficace et le taux d'extraction remonte très peu. Naturellement la matière organique résiste moins bien à la destruction mais elle ne diminue pas rapidement, car l'intensité de la dépolymérisation est en général très faible.

c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique bien évoluée de ce sol, avec un rapport C/N inférieur à 10 (9,2 en surface) possède en effet un humus de type mull calcique. Elle continue à évoluer le long du profil. La variation progressive de son évolution n'est perturbée qu'au niveau du troisième horizon par une dépolymérisation accélérée relativement intense, dont la diminution relative de l'humine et l'augmentation de celle des acides humiques immobiles dans l'ensemble des éléments organiques de l'horizon, sont la conséquence. Les acides humiques mobiles se dépolymérisent de plus en plus à partir du troisième horizon (15cm), alors que l'humine ne présente du quatrième au sixième horizon (de 30 à 75cm), un retard de plus en plus important à cet égard. C'est pourquoi elle possède, dans le carbone total, une proportion plus élevée en bas du profil qu'en surface, malgré un accroissement de sa dépolymérisation au septième horizon (87% contre 81%). Les transformations entre les acides humiques sont cependant secondaires. Leur variation, dans le fractionnement des acides humiques totaux, est due, pour une bonne partie du profil (30 à 75cm) à la diversité d'action des deux phénomènes opposés dans les stades extrêmes. Les acides humiques immobiles dominent toujours les acides humiques mobiles, malgré leur décroissement plus important. Les acides humiques dominent les acides fulviques jusqu'au sixième horizon (60cm), car le décroissement des acides humiques s'accélère dans cette zone (AH varie de 0,85 à 0,28mgr C). La diminution lente des acides fulviques de surface jusqu'à 30cm, puis son augmentation, qui se maintient jusqu'à la base du profil, peuvent être dues notamment, à la perméabilité assez élevée des horizons de surface, et plus faible dans ceux de profondeur. Enfin, il convient de dire que, dans l'ensemble du profil, les conditions sont beaucoup plus favorables à la dépolymérisation des éléments peu polymérisés et moins liés que de grosses molécules humiques fortement liées. Le décroissement régulier du taux d'extraction prouve également l'efficacité de plus en plus grande de la liaison organo-minérale dans ce profil.

- SOL n° 10 (profil n° 1 des sols du NIGER)

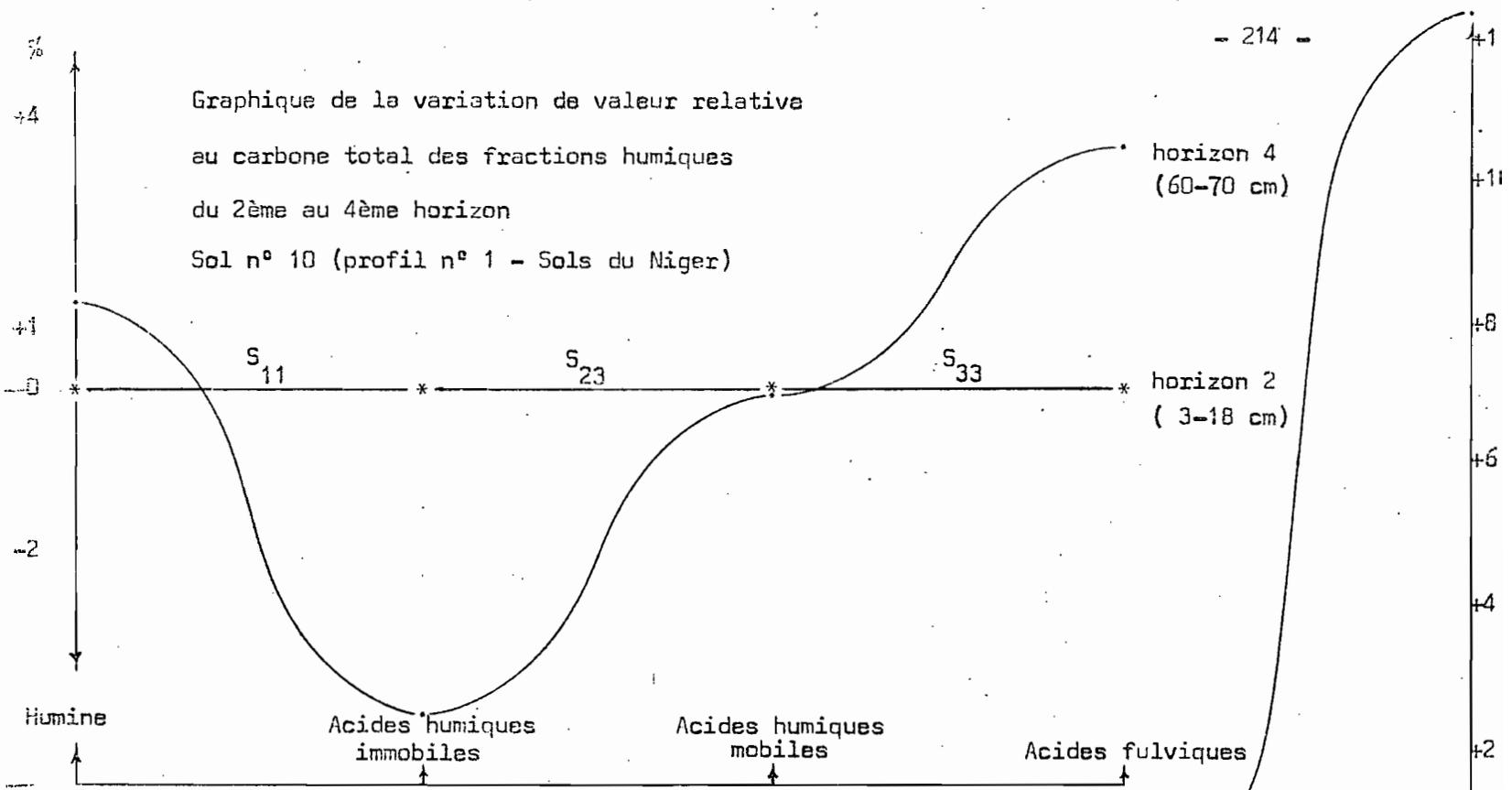
Par suite de l'échantillonnage incomplet de ce sol, aucune information ne nous est disponible, sur la quantité et la nature de la matière organique du premier (0 - 3cm), du troisième (18 - 45cm) et du cinquième horizon (70 - 130cm). L'étude qualitative de la matière organique ne peut s'y faire que par la seule comparaison possible, c'est-à-dire la variation de la matière organique du quatrième horizon vis-à-vis de celle du deuxième.

a - E<sub>1</sub> (première étape)

La comparaison de la nature organique du quatrième horizon avec celle du deuxième nous révèle les points suivants :

- L'humus extrait s'enrichit relativement en acides fulviques (22,5 contre 8,7%) et s'appauvrit en acides humiques (91,3 contre 77,5%). Dans ces derniers, cette diminution relative ne porte que sur les acides immobiles (- 14,6%), la proportion d'acides mobiles n'augmentant que peu (0,8%). La dépolymérisation des deux types d'acides humiques s'accélère.
- Les acides humiques mobiles augmentent leur proportion de 5% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse sur papier).
- L'accroissement absolu des rapports AF/AHM, AF/AHI, AF/AH et AHM/AHI diminue dans l'ordre indiqué.
- Les acides humiques immobiles décroissent beaucoup plus rapidement que l'humine (I 4,5% et H 2,6%), proportionnellement à leur quantité respective dans le deuxième horizon. Ils se dépolymérisent donc partiellement d'un horizon à l'autre. La même considération est valable quant à la variation de valeur, relative au carbone total, des fractions humiques. L'humine et les acides fulviques y augmentent, alors que les acides humiques diminuent. La décroissance des acides mobiles est presque négligeable devant celle des acides immobiles (- 0,06% M et - 4,65% I). L'accroissance de l'humine est notable par rapport à celle, plus importante cependant, des acides fulviques (+ 1,3% H et 3,4% F). Les acides humiques immobiles présentent la variation la plus importante entre les deux horizons ; ils subissent, en effet, une dépolymérisation poussée pour une partie, et une polymérisation moins active pour une autre. E<sub>1</sub> peut être symbolisé par S<sub>11</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

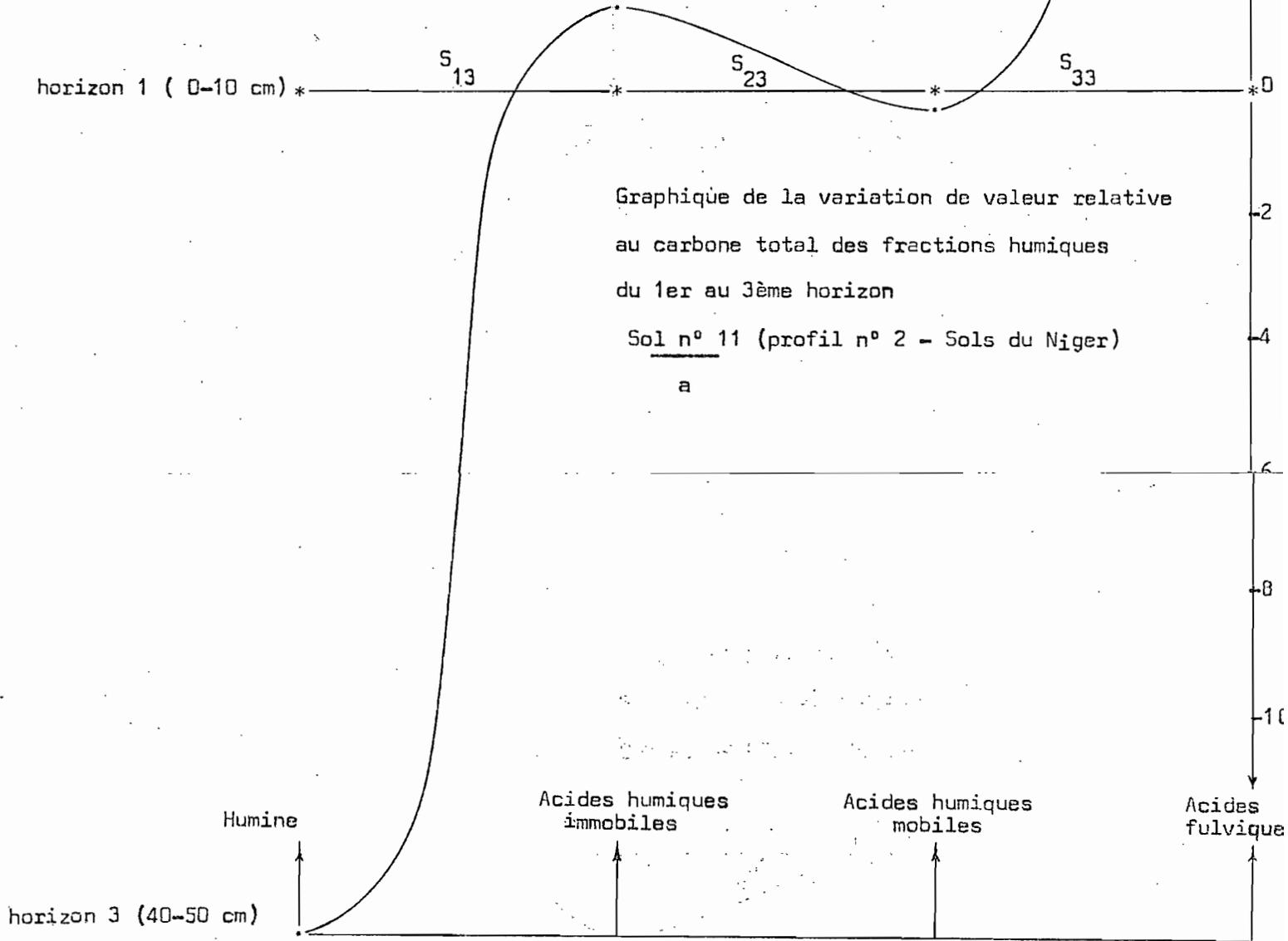
Graphique de la variation de valeur relative  
au carbone total des fractions humiques  
du 2ème au 4ème horizon  
Sol n° 10 (profil n° 1 - Sols du Niger)



Graphique de la variation de valeur relative  
au carbone total des fractions humiques  
du 1er au 3ème horizon

Sol n° 11 (profil n° 2 - Sols du Niger)

a



b - E<sub>2</sub> (deuxième étape)

D'après les constatations faites pour la première étape, la formule d'évolution organique du quatrième horizon vis-à-vis du deuxième est  $S_{11} S_{23} S_{33}$ . Elle nous montre que pour les acides humiques la dépolymérisation se fait plus intensément pour les éléments plus ou moins extractibles que pour ceux qui sont plus liés, alors que les produits fortement polymérisés à grosse molécule (l'humine) résistent mieux à ce phénomène. Les acides humiques immobiles se polymérisent d'ailleurs légèrement puisque leur proportion, dans le carbone total, diminue alors que celle de l'humine y augmente. D'autre part, le décroissement du taux d'extraction (- 1,3% de C.T.) indique une amélioration non négligeable de la liaison organo-minérale.

c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol brun subaride (vertique à nodules calcaires présente, dans le deuxième et le quatrième horizon (les seuls échantillons qu'il nous a été possible d'analyser), les caractéristiques d'un mull calcique, bien évolué, avec un rapport C/N respectivement 9,3 et 11,2. Les acides humiques y dominent largement les acides fulviques. Le rapport de ces deux fractions demeure très bas (0,09 à 0,29), malgré une augmentation assez importante du deuxième au quatrième horizon. La concentration des acides humiques mobiles, dans l'humus extrait de ces deux horizons, reste identique alors que celle des acides humiques immobiles, qui est plus de trois fois plus forte au deuxième horizon (71,2% I contre 20,1 M), diminue fortement au quatrième. Ces derniers y dominent encore largement les premiers (56,6% I et 20,9 M). Le degré de dépolymérisation est identique pour les deux types d'acides humiques. Les conditions sont donc assez favorables à la minéralisation. Cependant, la diminution relativement limitée de la teneur en matière organique entre ces deux horizons, sur 50cm (environ 28%), ne paraît pas parfaitement en accord avec une telle conclusion. Ce fait peut être dû, nous semble-t-il, à la protection de la couche peu épaisse de l'horizon de surface (0 - 3cm), constituée d'un apport de ruissellement très compact (voir la description du profil). Elle protège très probablement la matière organique des horizons inférieurs en réduisant le drainage intense du sol et la percolation de l'eau.

- SOL n° 11 (profil n° 2 des sols du NIGER)

L'interprétation de l'étude qualitative de la matière organique de ce sol brun rouge subaride, se fait sur les résultats d'analyse de trois horizons sur cinq, le premier, le troisième et le cinquième. (le deuxième et le quatrième horizon ne nous ont pas été adressés).

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au troisième horizon, la variation de valeur relative au carbone total est très grande pour l'humine et les acides fulviques (respectivement -13,4% et + 12,4). Celle des acides humiques mobiles est faible (-0,2%) ; la dépolymérisation a donc presque la même intensité au deuxième stade qu'au troisième, alors qu'elle est légèrement plus intense au premier stade puisque les acides humiques immobiles croissent par rapport au carbone total de 1,3%. Comme ces derniers diminuent, proportionnellement à leur quantité, plus lentement que les acides humiques mobiles (environ 6/10 I et 7/10 M) leur valeur croît, malgré une dépolymérisation aussi intense, de 5%, dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse) ; aussi, l'augmentation des rapports AF/AHI et AF/AHM est-elle beaucoup plus accentuée pour le dernier (1,3 contre 3,9). E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

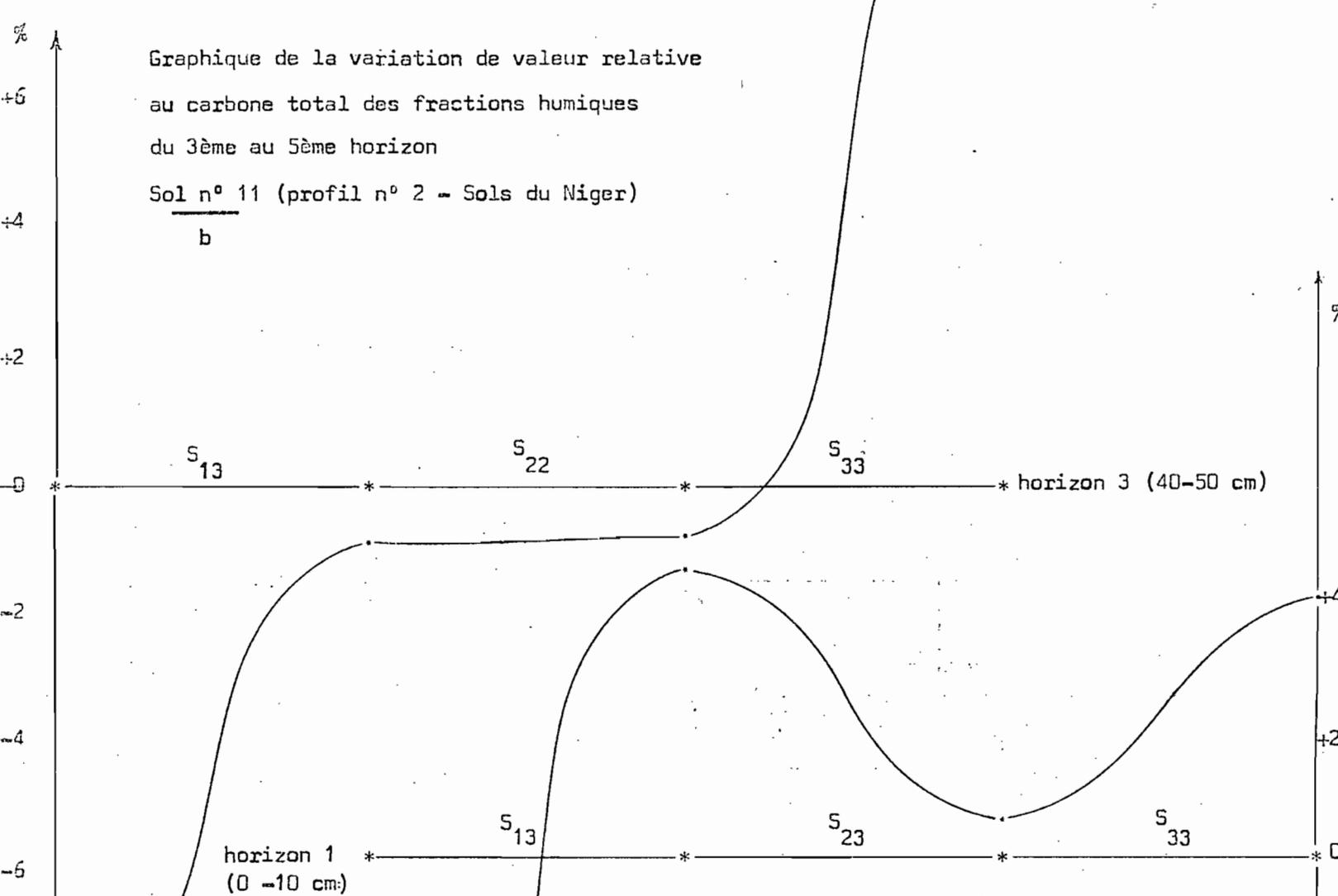
Dans la comparaison du troisième au cinquième horizon, nous constatons que la dépolymérisation diminue relativement d'intensité ; la variation des fractions humiques, par rapport au carbone total, est moins importante que dans le cas précédent (H - 8,3%, I - 0,9, M - 0,8 et F + 10,0%). Les acides humiques mobiles se dépolymérisent davantage que l'humine, mais identiquement aux acides humiques immobiles ; les deux types acides humiques varient parallèlement. L'humus extrait s'enrichit en acides fulviques (de 63,2% à 75,0%). Comme la dépolymérisation de l'humine est inférieure à celle des acides humiques mobiles, ces derniers décroissent encore dans le fractionnement électrophorétique, mais légèrement. E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>22</sub> au deuxième et S<sub>33</sub> au troisième.

b - E<sub>2</sub> (deuxième étape)

Du premier au troisième horizon, la formule d'évolution organique est S<sub>13</sub> S<sub>22</sub> S<sub>33</sub>. Nous constatons que les conditions sont favorables à la minéralisation, la dépolymérisation est particulièrement intense. La matière organique s'épuise donc très rapidement (65%). La liaison organo-minérale est très faible ; d'une part, le taux d'extraction s'élève au double et, d'autre part, le décroissement de l'humine, en proportion du carbone total, produit directement une élévation très importante des acides fulviques.

Du troisième au cinquième horizon, la formule d'évolution organique est S<sub>13</sub> S<sub>22</sub> S<sub>33</sub>. Les conditions sont relativement moins favorables à la minéralisation ; les

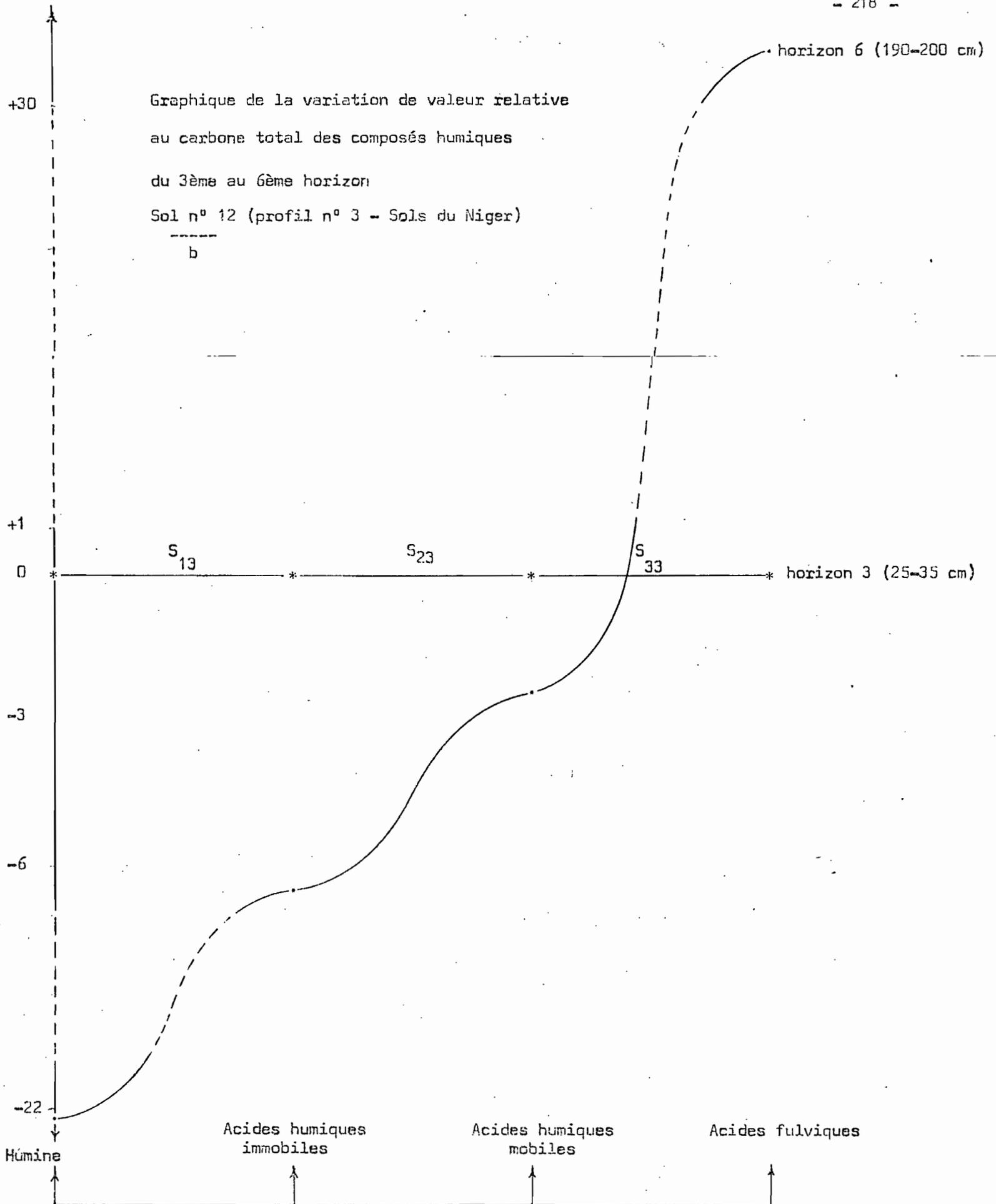
Horizon 5 (190-200 cm)  
Humine  
Acides humiques immobiles  
Acides humiques mobiles  
Acides fulviques



Graphique de la variation de valeur relative au carbone total des fractions humiques du 1er au 3ème horizon

Sol n° 12 (profil n° 3 - Sols du Niger)  
a

Horizon 3 (25-35 cm)  
Humine  
Acides humiques immobiles  
Acides humiques mobiles  
Acides fulviques



composés humiques, surtout l'humine et les acides fulviques varient moins intensément, proportionnellement au carbone total, que dans le cas précédent. En effet, la décroissance de la matière organique est ralentie (23,5%). La liaison organo-minérale se montre cependant encore plus faible, puisque le taux d'extraction croît toujours et que l'humus extrait s'enrichit de plus en plus en carbone fulvique. La matière organique apparaît donc de moins en moins stable.

### c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

Ce sol est organiquement le moins riche des sols étudiés (0,17% C en surface). D'après la classification de DUCHAUFFOUR, sa matière organique se rapproche du type mull forestier (sous-type mull acide) par son pH acide (5,9 en surface et 4,8 en profondeur, son taux de saturation assez bas (57% en surface et 29% en profondeur) et sa minéralisation rapide. Les acides humiques immobiles dominent toujours les acides humiques mobiles, mais leur variation est très petite vis-à-vis de celle des deux autres fractions (l'humine et les acides fulviques). La matière organique de ce sol est donc facilement minéralisable. Les acides fulviques dominent très rapidement les acides humiques totaux. Les acides humiques immobiles, proportionnellement à leur quantité, diminuent moins rapidement que les acides humiques mobiles ; le décroissement de ces derniers, dans le fractionnement électrophorétique, en est la conséquence. Le carbone décroît plus rapidement que l'azote ; le rapport C/N qui est légèrement supérieur à 10 en surface (10,6) atteint, en effet, la valeur 4 à la base du profil.

### - SOL n° 12 (profil n° 3 des sols du NIGER)

L'étude du premier, troisième et sixième horizon de ce sol brun rouge sur sables quartzeux dont la base présente une couleur plus beige et un certain durcissement, nous permet d'interpréter la nature de sa matière organique.

### a - E<sub>1</sub> (première étape)

Les fractions humiques varient du premier au troisième horizon assez intensément. Cette variation, proportionnellement au carbone total, consiste en une diminution importante de l'humine (- 9,2%) en particulier, qui est nettement supérieure à l'augmentation de chacune des trois autres fractions. L'élévation des acides humiques immobiles est voisine de celle des acides fulviques (+ 4,5% I et 4,2 F). La plus petite variation, dans le pourcentage du carbone total, est celle des acides humiques

mobiles (+ 0,57%). La dépolymérisation est donc dominante dans les trois stades. Elle agit sur l'humine plus intensément que sur les deux types d'acides humiques. Les acides humiques mobiles se dépolymérisent plus rapidement que les acides humiques immobiles. Ils décroissent, en effet, de 6% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse); leur concentration dans la matière humique extraite baisse de 5,4%, alors que celle des acides humiques immobiles ne varie pas. Le rapport AHM/AHI décroît alors que AF/AH, AF/AHI et AF/AHM croissent. La variation est plus prononcée pour AF/AHM.  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Du troisième au sixième horizon, la variation des fractions humiques, par rapport au carbone total, porte surtout sur les acides fulviques et l'humine. Cette dernière décroît considérablement (- 22,2%), mais la variation la plus forte est l'augmentation des acides fulviques (+ 31,1%). Par ailleurs, les acides humiques immobiles diminuent davantage que les acides humiques mobiles (- 6,5% I et - 2,4% M). Ceux-ci subissent la dépolymérisation la plus intense du profil. La matière humique extraite de ce sixième horizon n'en contient pas plus de 3%, contre 85,7% de carbone fulvique. Les acides humiques immobiles augmentent encore de proportion dans le fractionnement électrophorétique. La diminution du rapport AHM/AHI est légère par rapport à l'augmentation du rapport AF/AH qui croît de plus de 10 fois. L'élévation du rapport AF/AHI est du même ordre que ce dernier; AF/AHM augmente un peu plus (de 2,35 à 29,55).  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

#### b - $E_2$ (deuxième étape)

Du premier au troisième horizon, la variation est symbolisée par la formule  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . La dépolymérisation générale et celle particulièrement intense de l'humine indiquent une minéralisation facile de la matière organique. Celle-ci décroît de 53%, mais le taux d'extraction des matières humiques augmente de 9%. Comme, cependant, la dépolymérisation des acides humiques immobiles est la moins forte, la liaison organo-minérale, quoique faible, est encore partiellement efficace.

Dans le passage du troisième au sixième horizon, la même formule d'évolution organique ( $S_{13} S_{23} S_{33}$ ) indique encore une dépolymérisation générale. Mais à l'inverse du passage précédent, elle agit plus intensément sur les acides humiques immobiles que sur les mobiles malgré une dépolymérisation plus intense de l'humine que dans le cas précédent. La liaison organo-minérale n'est plus efficace, et le taux d'extraction arrive presque à doubler.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

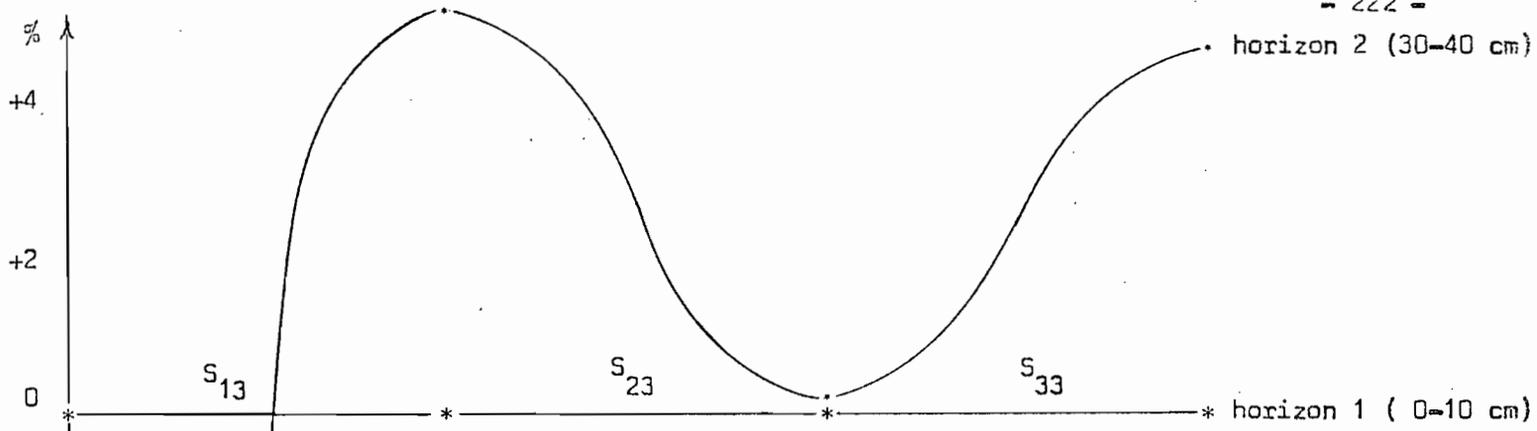
La matière organique de ce sol, qui présente en surface certains caractères d'un mull forestier (pH légèrement acide, 6,5, et saturation non totale), de même qu'une minéralisation très intense, évolue vers un mull calcique en profondeur. Le pH remonte (7,3) et la saturation devient complète (99%). Le rapport C/N est 10 en surface ; il décroît légèrement en troisième horizon (9,0), mais il atteint 7,5 en bas de profil. Le carbone décroît presque de la même façon dans les deux passages (environ 7/10 de sa quantité), alors que l'azote, tout en diminuant moins intensément que le carbone, ralentit nettement sa décroissance en profondeur (5/10 en surface et à peine 4/10 en profondeur). Les acides humiques immobiles diminuent lentement dans la première moitié du profil, et rapidement dans la seconde, mais ils dominent toujours les acides humiques mobiles. Les conditions dans tout le profil sont favorables à la minéralisation, car la dépolymérisation est toujours fortement dominante. La matière organique s'épuise plus intensément en surface qu'en profondeur (52,6% contre 28,6%), ce qui paraît lié au léger changement observé dans sa nature.

- SOL n° 13 (profil n° 4 des sols du NIGER)

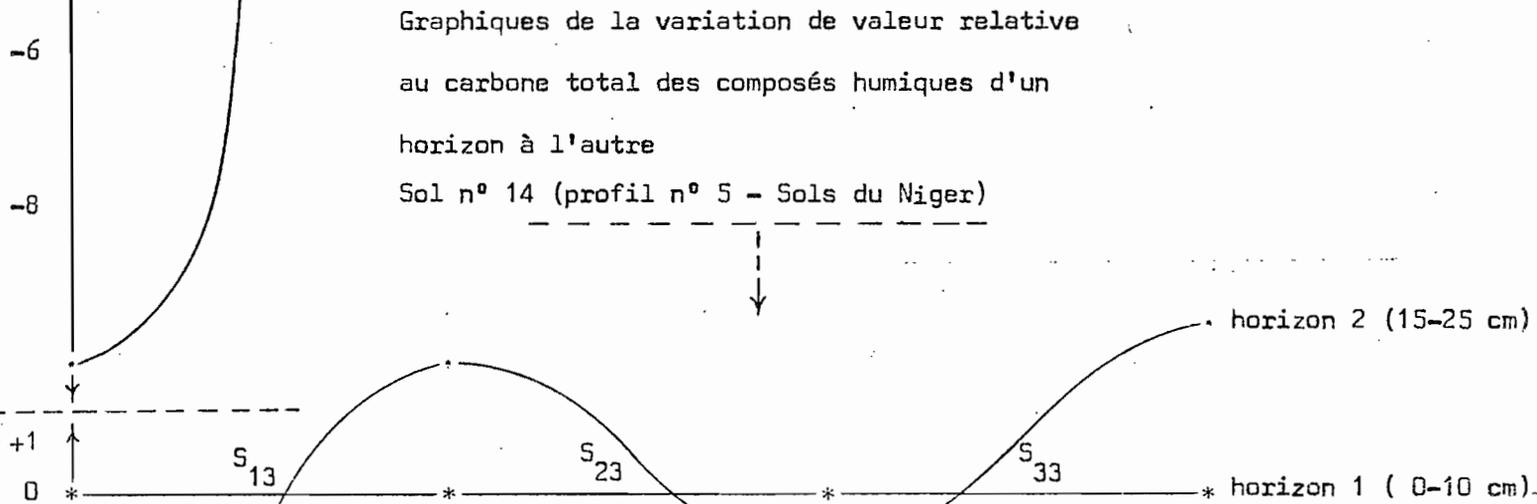
Par suite d'un échantillonnage incomplet, nous n'avons pu étudier que deux horizons sur cinq, les deux premiers. Nous pensons, cependant, que l'étude de leur matière organique peut nous renseigner sur sa nature dans l'ensemble du profil.

a = E<sub>1</sub> (première étape)

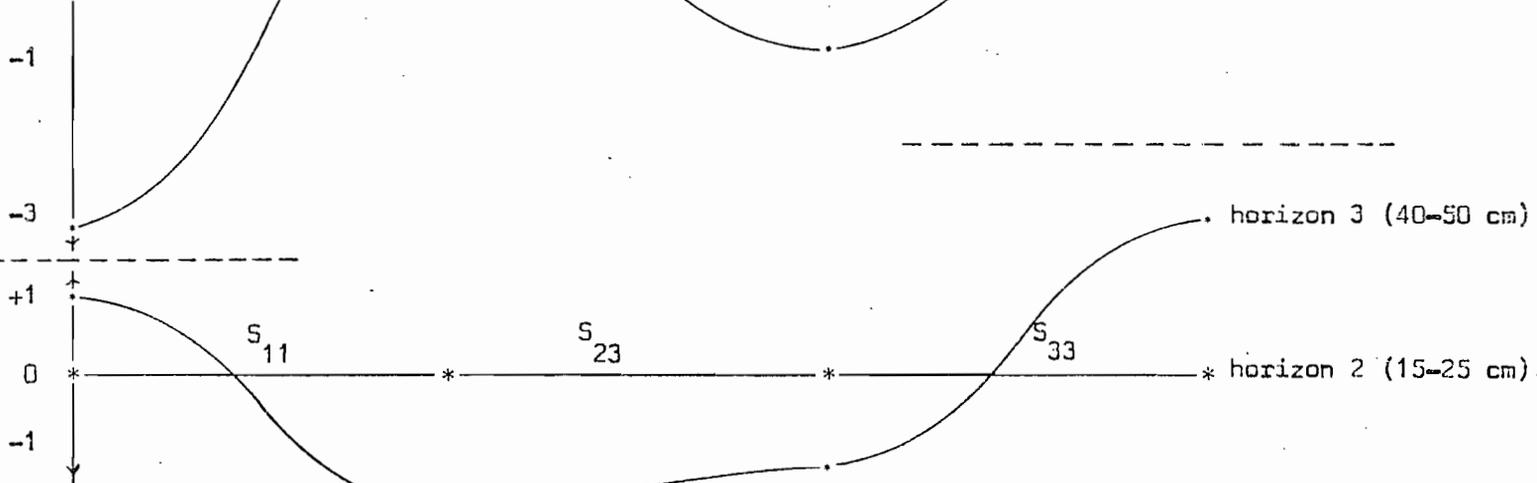
Du premier au deuxième horizon, la valeur relative des fractions humiques, par rapport au carbone total, varie assez fortement. La diminution de l'humine est particulièrement plus importante (- 10,06%) que l'augmentation de chacune des trois autres fractions. L'élévation des acides humiques immobiles est légèrement plus forte que celle des acides fulviques, mais elle est beaucoup plus importante que la petite augmentation des acides humiques mobiles (+ 5,2% I, + 4,7 AF et + 0,20 M). La dépolymérisation est donc fortement dominante aux trois stades, en particulier au premier. Par ailleurs, la proportion des acides humiques immobiles s'élève de 10% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse). Dans la matière humique extraite, les acides humiques totaux augmentent de proportion (1,7%), mais les acides humiques mobiles diminuent de 8,2%. Le rapport AHM/AHI décroît de 0,42 à 0,25 et les trois autres rapports, c'est-à-dire AF/AH, AF/AHI et AF/AHM augmentent. E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.



Graphique de la variation de valeur relative  
au carbone total des composés humiques du  
premier au deuxième horizon  
Sol n° 13 (profil n° 4 - Sols du Niger)



Graphiques de la variation de valeur relative  
au carbone total des composés humiques d'un  
horizon à l'autre  
Sol n° 14 (profil n° 5 - Sols du Niger)



Humine                      Acides humiques immobiles                      Acides humiques mobiles                      Acides fulviques

b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

Ce passage d'horizon correspond à une évolution organique symbolisée par S<sub>13</sub> S<sub>23</sub> S<sub>33</sub>, ce qui indique une matière organique facilement minéralisable (dépolymérisation fortement dominante dans les trois stades). Cependant, comme les acides humiques immobiles se dépolymérisent moins intensément que les acides humiques mobiles, la liaison organo-minérale semble encore efficace, malgré un accroissement de 10% du taux d'extraction. La matière organique décroît presque de 67%.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol a également certains caractères qui la rapprochent d'un mull forestier, car son pH est légèrement acide (6,5 à 7,0) et sa saturation n'est pas totale, de même que sa minéralisation est rapide. L'évolution organique de ce sol ressemble parfaitement à celle du sol précédent, puisque la transformation réversible des fractions, dans la même zone du profil, est identique (voir les graphiques correspondants). Malgré une richesse organique nettement supérieure à celle de l'autre sol (plus de 2,5 fois), le comportement des éléments humiques, vis-à-vis des conditions du milieu, ne varie pas. Même le rapport C/N a une variation semblable (11,1 en surface et 9,4 en deuxième horizon). Nous reviendrons sur ce point à propos de la deuxième phase d'interprétation (l'influence réciproque de la matière organique et le milieu).

- SOL n° 14 (profil n° 5 des sols du NIGER)

Trois horizons sur cinq (les trois premiers) ont été échantillonnés et étudiés dans ce sol brun rouge sur sables éoliens.

a = E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, la valeur, relativement au carbone total, de l'humine et des acides humiques mobiles décroît (- 3,1% H et - 0,8% M). Ils se dépolymérisent donc. Comme la diminution de l'humine est supérieure à l'augmentation des acides humiques immobiles (- 3,1 H contre + 1,7% I), ces derniers se dépolymérisent aussi, mais moins intensément. La proportion des acides humiques mobiles diminue de 8% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse). La matière humique extraite est légèrement plus concentrée en acides humiques immobiles ; en revanche la concentration des acides humiques mobiles y diminue de 6,5%. E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

Du deuxième au troisième horizon, l'humine et les acides fulviques augmentent leurs valeurs relatives par rapport au carbone total (+ 1,0% H et + 2,0 AF) et les deux types d'acides humiques diminuent (- 1,8% I et - 1,2% M). La diminution des acides humiques immobiles est cependant supérieure à l'augmentation de l'humine. Ces éléments se polymérisent donc pour une partie, et se dépolymérisent pour une autre plus petite, alors que les acides humiques mobiles se dépolymérisent seulement ; mais, comme ils diminuent proportionnellement à leur quantité plus que les acides humiques immobiles (4/10 I et 6,7/10 M), leur proportion dans le fractionnement des acides humiques totaux diminue encore de 6%. La matière humique extraite du troisième horizon a une concentration identique en carbone fulvique et humique (50% de chacun); mais les acides humiques immobiles y décroissent un peu plus que les acides humiques mobiles (- 6,5% contre - 5,4%) tout en restant toujours dominants. Le rapport AHM/AHI décroît et les rapports AF/AH, AF/AHI et AF/AHM croissent comme dans le cas du passage précédent.  $E_1$  est donc  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

b - E<sub>2</sub> (deuxième étape)

Du premier au deuxième horizon la formule d'évolution organique est  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . Les conditions sont favorables à la minéralisation puisque la dépolymérisation est dominante dans les trois stades. La variation de valeur, relativement au carbone total, est plus grande pour l'humine que pour les trois autres fractions ; elle est moins résistante à la destruction car sa dépolymérisation est la plus intense dans ce passage. La matière organique décroît de plus de 47%. Le taux d'extraction augmente de presque 3% ; la liaison organo-minérale s'affaiblit. La concentration des acides fulviques augmente dans la matière humique extraite.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, nous constatons qu'à l'inverse du passage précédent, l'humine augmente en valeur relative par rapport au carbone total ; elle résiste à la minéralisation. La formule d'évolution organique devient  $S_{11}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . Les conditions ne sont plus favorables à la minéralisation qu'au deuxième et troisième stade puisque l'humine ne se dépolymérise plus. Le taux d'extraction décroît légèrement. La liaison organo-minérale s'améliore un peu. La matière organique décroît moins intensément (presque 16%).

c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

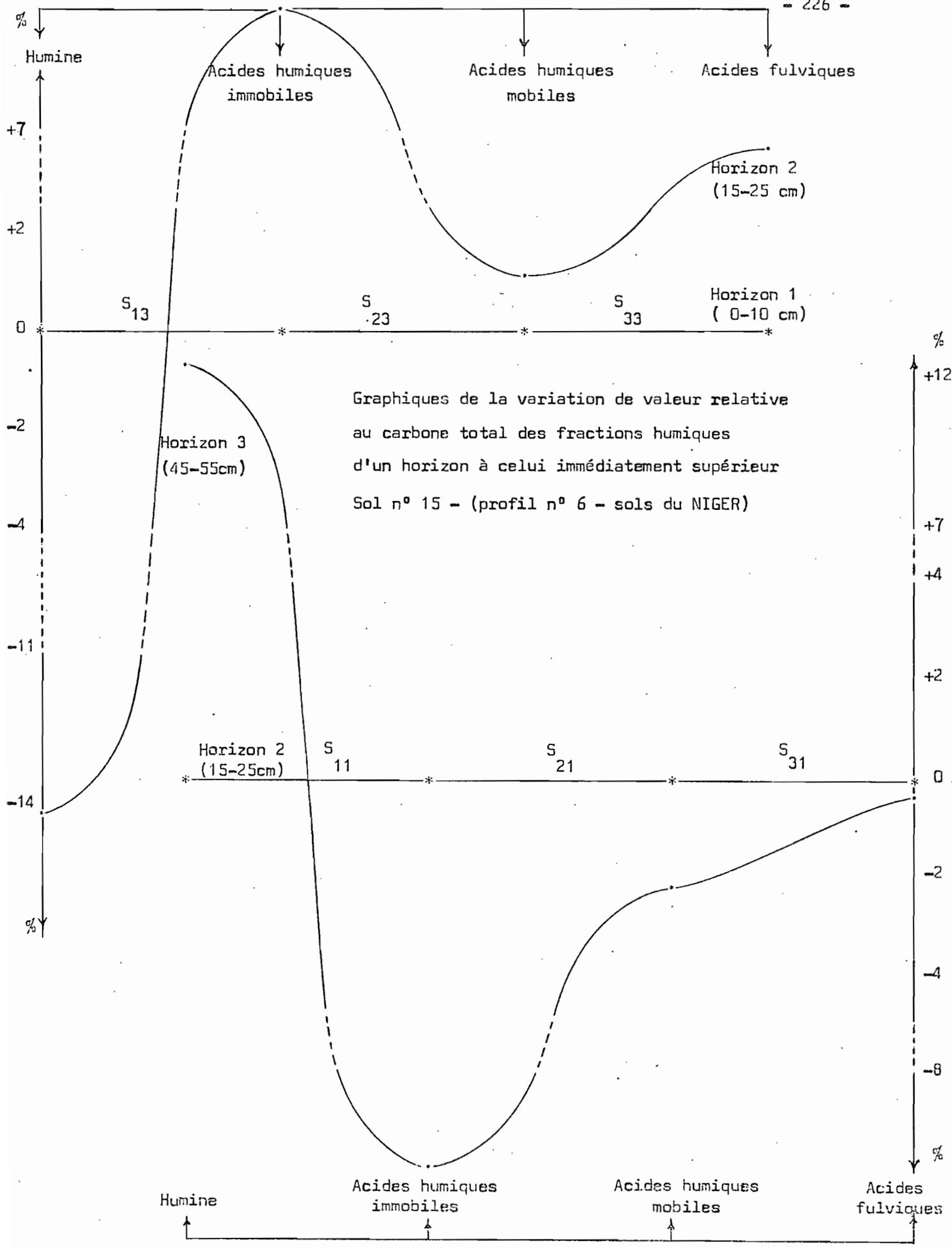
La matière organique de ce sol brun rouge sur sables éoliens, a l'aspect d'un mull calcique, avec un taux de saturation plus élevé que les deux sols précédents et un rapport C/N inférieur à 10 (en surface 9 et 7,8 de 40 à 50cm). Sa minéralisation est aussi relativement moins intense. Les acides humiques dominent les acides fulviques dans les deux horizons de surface et leur quantité devient identique au troisième (40 à 50cm), mais les acides humiques immobiles dominent dans les trois horizons, les acides humiques mobiles. Il nous semble que les conditions sont plus favorables à la formation des agrégats humiques stables au troisième horizon qu'au deuxième et premier, puisque le rapport AHM/AHI décroît en fonction de la profondeur.

- SOL n° 15 (profil n° 6 des sols du NIGER)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, la valeur de l'humine relativement au carbone total décroît plus intensément (- 14,3%) que n'augmente chacune des trois autres fractions. Elle se dépolymérise donc fortement. Les acides humiques immobiles se dépolymérisent aussi, car ils croissent (+ 9,5%) moins que l'humine ne décroît. Leur dépolymérisation est plus rapide que celle des acides humiques mobiles, puisque la différence de variation entre l'humine et les acides humiques immobiles (4,8%) est supérieure à l'élévation des acides fulviques (+ 3,7%). La petite élévation de + 1,1% des acides humiques mobiles en est d'ailleurs la conséquence. Ces derniers diminuent donc de 8% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse sur papier). La concentration des acides humiques dans l'humus extrait augmente légèrement grâce à une élévation plus importante des acides humiques immobiles que la diminution des acides mobiles (+ 6,8% I contre - 5,3% M). E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

Dans la comparaison du troisième horizon avec le deuxième, nous constatons une inversion du phénomène. La valeur relative au carbone total de l'humine est fortement augmentée, alors que celle des trois autres fractions diminue (+ 12,4% H, - 9,9% I, - 2,2% M et 0,2 F). Les acides fulviques se polymérisent faiblement, car ils décroissent très peu ; les acides humiques mobiles se condensent assez intensément puisque leur diminution est relativement importante ; les acides humiques immobiles se polymérisent fortement car leur décroissance est la plus intense. Par ailleurs, les acides humiques



immobiles diminuent légèrement leur proportion dans le fractionnement électrophorétique. Le rapport AHM/AHI croît à l'inverse du cas précédent. L'humus extrait s'appauvrit en carbone humique.  $E_1$  est donc  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{21}$  au second et  $S_{31}$  au troisième.

b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

Dans le passage du premier au deuxième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ . Elle met en lumière la dépolymérisation générale des composés humiques qui diminue d'intensité des plus polymérisés vers les moins liés. Les conditions sont donc particulièrement favorables à la minéralisation. La matière organique décroît de 66%. L'humus extrait s'enrichit en acides humiques immobiles et s'appauvrit en acides fulviques et acides humiques mobiles. Le rapport AHM/AHI décroît et le taux d'extraction croît (+ 14,3%) ; la liaison organo-minérale s'affaiblit. Les éléments à grosse molécule sont donc plus instables dans ce passage.

Du deuxième au troisième horizon, la matière organique évolue différemment ; sa formule devient  $S_{11}$   $S_{21}$   $S_{31}$ , c'est-à-dire que la polymérisation est dominante dans les trois stades. Elle augmente d'intensité avec la taille croissante des composés humiques. La matière organique décroît beaucoup plus lentement (6,5%). Les conditions ne semblent plus favorables à la minéralisation. Le rapport AHM/AHI croît et le taux d'extraction décroît (12,4%) ; la liaison organo-minérale est améliorée.

c = E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol brun légèrement rubéfié de faciès solonetzique semble avoir, en surface, des caractéristiques qui le rapprochent du type mull forestier faiblement acide ; sa minéralisation est rapide, son pH est acide (6 à 5,6) et son taux de saturation n'est que de 67%. Mais dans le passage du deuxième au troisième horizon, elle subit un changement de nature et tend vers un mull calcique ; elle résiste mieux à la minéralisation, son degré de saturation augmente jusqu'à 98% et enfin son pH atteint 7,5. L'azote décroît plus lentement que le carbone dans l'ensemble du profil, mais il diminue plus rapidement du premier au deuxième horizon que de celui-ci au troisième. Le rapport C/N qui est en surface 10,2 décroît à 8,8 au deuxième horizon et atteint 8,1 au troisième. Il nous semble cependant que l'amélioration de la matière organique, dans la deuxième moitié du profil, est due pour une grande partie au changement de la composition granulométrique. Nous y reviendrons à propos de l'influence réciproque

de la matière organique et du milieu (la deuxième phase d'interprétation). Les acides humiques dominent les acides fulviques dans les trois horizons ; la fraction immobile possède une supériorité encore plus grande sur la fraction mobile.

- SOL n° 16 (profil n° 1 des sols de TUNISIE)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, la variation des composés humiques, par rapport au carbone total, semble très peu importante. L'humine est la seule fraction à diminuer (- 2,1%), sa décroissance est plus importante que l'augmentation de chacune des trois autres fractions. Les deux types d'acides humiques varient très peu et parallèlement (+ 0,9% chacun). L'élévation des acides fulviques constitue la plus petite variation (+ 0,3%) ; la dépolymérisation des acides humiques mobiles paraît donc très faible. L'état d'équilibre règne dans la transformation des deux types d'acides humiques. La dépolymérisation de l'humine semble enfin le phénomène le plus important de ce passage. Cependant, comme les acides humiques immobiles, proportionnellement à leur quantité dans l'horizon supérieur, décroissent plus rapidement que les acides humiques mobiles environ 3/10 contre 2/10 ces derniers augmentent de 3% dans le fractionnement des acides humiques totaux (électrophorèse) ; la matière humique extraite s'enrichit davantage en ces éléments qu'en acides humiques immobiles (+ 2,9% contre + 1%). Le rapport AHM/AHI croît (de 0,47 à 0,54) et les rapports AF/AH, AF/AHI et AF/AHM décroissent. E<sub>1</sub> est donc symbolisé par S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>22</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, deux des quatre composés humiques subissent une variation plus importante, par rapport au carbone total : ce sont les acides humiques immobiles et les acides fulviques. Les premiers augmentent intensément (+ 5,4%) et les seconds diminuent fortement (- 4,2%). La variation de l'humine et celle des acides humiques mobiles restent identiques à ce qui aurait été observé lors du passage entre les deux premiers horizons (- 2,2% H et + 1,0% AHM). Les acides fulviques se polymérisent d'une façon légèrement plus intense que les acides humiques mobiles puisque ces derniers augmentent tout de même, bien que faiblement, alors que la dépolymérisation de l'humine est le phénomène le plus faible. La proportion des acides humiques immobiles s'élève donc sous l'effet des deux processus opposés (dépolymérisation de l'humine et polymérisation des acides humiques mobiles). Leur proportion croît aussi (de 7%) dans le fractionnement des acides humiques totaux. La concentration en carbone humique de l'humus extrait croît, mais plus que pour les acides humiques immo-

biles que pour les acides humiques mobiles. Le rapport AHM/AHI décroît à l'inverse du cas précédent. Les trois autres rapports (AF/AH, AF/AHI et AF/AHM) décroissent aussi, mais plus intensément.  $E_1$  est donc symbolisé par  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{21}$  au second et  $S_{31}$  au troisième.

Dans le passage du troisième au quatrième horizon, la matière organique ne peut plus être comparée de la même façon, puisque c'est la limite de la superposition du sol actuel et du sol enterré. La matière organique de ces deux horizons se différencie quantitativement de même que qualitativement bien que, depuis la formation du sol sus-jacent et par suite de l'intervention des facteurs d'origine biologique et agronomique (surtout la faune et le labour), leurs natures se rapprochent de plus en plus, mais la différence reste encore visible. A l'inverse de tous les cas observés, la matière organique du quatrième horizon est 25% plus élevée que celle du troisième (0,28 contre 0,21% C). Ce fait n'est pas dû, selon les observations de terrain et la description du profil de sol, seulement à un apport racinaire excessif ou à un enfouissement des engrais verts. Il s'agit bien du sommet actuel d'un ancien sol enterré. Nous pouvons cependant comparer la matière organique des horizons contigus de ces deux sols. Dans les conditions identiques au sommet du sol enterré (quatrième horizon), le taux d'extraction est beaucoup plus important que celui du troisième horizon (30,7 contre 21,4%). La matière organique contient donc moins d'humine (- 9,3%), par rapport au carbone total. Les acides humiques immobiles sont aussi moins importants dans la proportion des acides humiques totaux du quatrième que celle du troisième horizon (fractionnement électrophorétique). Il nous semble donc que la matière organique de l'horizon supérieur du sol enterré est moins humifiée que celle de la base du sol de couverture. La liaison organo-minérale y est aussi moins poussée, puisque la concentration des acides humiques mobiles y est plus élevée dans la matière humique extraite (+ 4,1%), alors que les acides fortement liés (immobiles) y diminuent presque de la même proportion (- 3,9%).

Du quatrième au cinquième horizon, c'est-à-dire dans le premier passage du sol enterré, nous constatons que l'humine croît de + 9,1%, par rapport au carbone total ; la polymérisation des acides humiques immobiles y est donc plus forte mais, puisque leur décroissance (- 8,1%) est légèrement inférieure à l'augmentation de l'humine cela prouve que les acides humiques mobiles ont subi une faible polymérisation (1,0%). La croissance des acides fulviques, par rapport au carbone total (+ 2,7%), nous révèle la dépolymérisation d'une autre partie plus importante des acides humiques mobiles. Par

ailleurs, nous observons que les acides fulviques sont deux fois plus abondants dans l'humus extrait du cinquième horizon (40,7% contre 19,8 du quatrième horizon), et que la concentration des acides humiques immobiles y diminue plus de deux fois par rapport à celle des acides humiques mobiles (- 14,6 contre - 6,3%). Le rapport AHM/AHI augmente de 0,49 à 0,52, mais les trois autres rapports augmentent beaucoup plus (AF/AH de 0,24 à 0,69, AF/AHI de 0,37 à 1,05 et AF/AHM de 0,75 à 2,00).  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{21}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Dans le passage du cinquième au sixième horizon, l'augmentation des acides fulviques, par rapport au carbone total, est la seule variation relativement importante (+ 2,96%). Les trois autres fractions décroissent faiblement (H - 1,34, I - 0,6 et M - 1,0%). Les acides humiques mobiles se dépolymérisent donc plus fortement que les acides humiques immobiles et que l'humine. La diminution des acides humiques mobiles est plus importante que celle des immobiles ; aussi, le fractionnement électrophorétique montre-t-il une décroissance de 4% pour la proportion des acides humiques mobiles ; le rapport AHM/AHI décroît de 0,52 à 0,43. L'humus extrait s'enrichit encore en acides fulviques et s'appauvrit en acides humiques, mais à l'inverse du cas précédent, légèrement plus en acides mobiles qu'en acides immobiles. Les rapports AF/AH et AF/AHI croissent moins intensément que AF/AHM (+ 0,36, + 0,45 contre + 1,51).  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Du sixième au septième horizon, les acides fulviques varient le plus, par rapport au carbone total ; ils augmentent de + 9,1%. Les acides humiques immobiles viennent en deuxième lieu et ils décroissent de - 5,3% ; les acides fulviques ne baissent que de - 2,5% quant à leur valeur relative au carbone total. L'humine est la fraction la moins variable, elle ne décroît que de - 1,2%. Les acides humiques mobiles se dépolymérisent plus intensément que les acides humiques immobiles, et ces derniers plus fortement que l'humine. Par ailleurs, on constate que les acides fulviques constituent 86% de l'humus extrait et que les rapports AF/AH, AF/AHI, AF/AHM croissent dans l'ordre indiqué (+ 5,2, + 6,87, + 21,12).  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

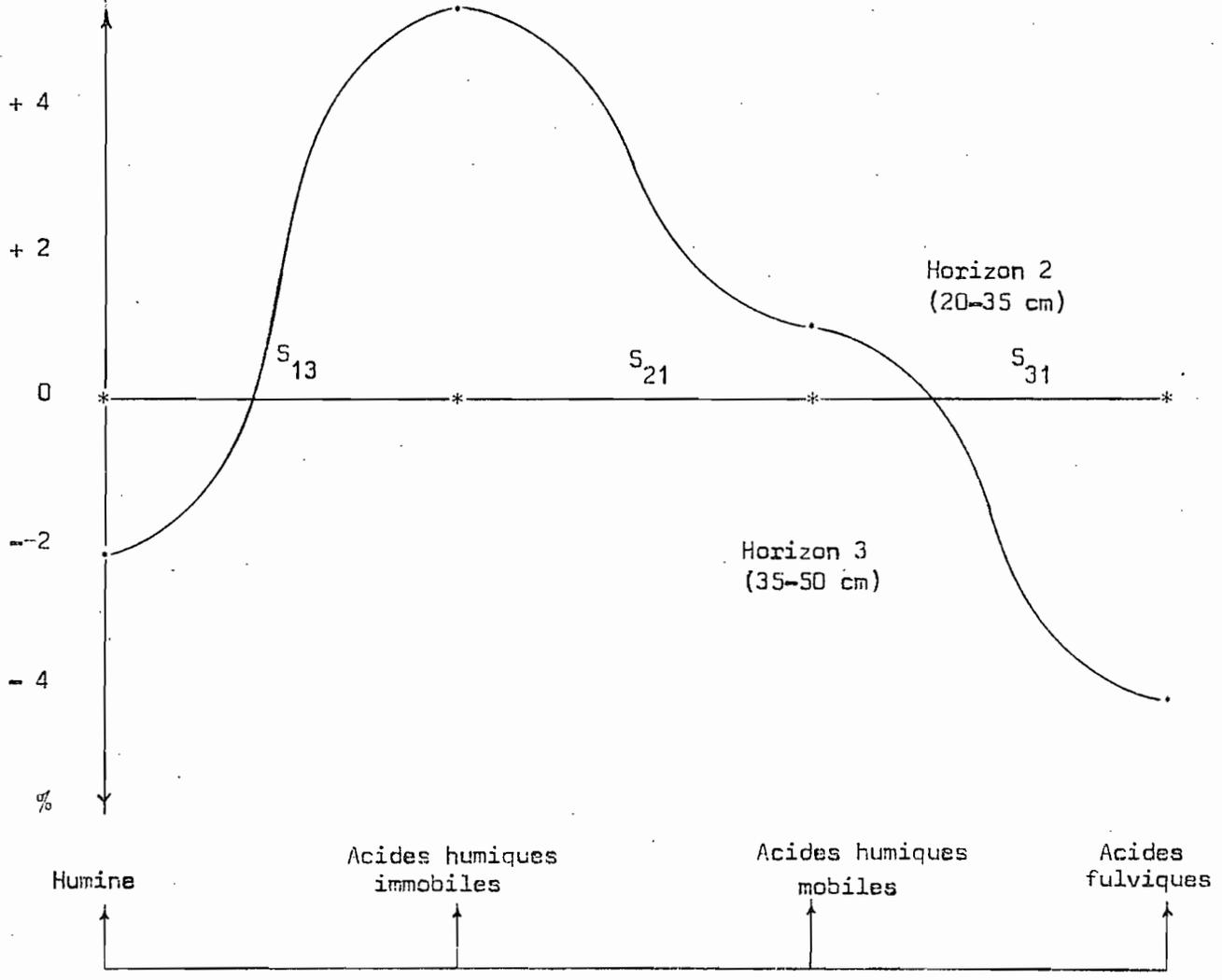
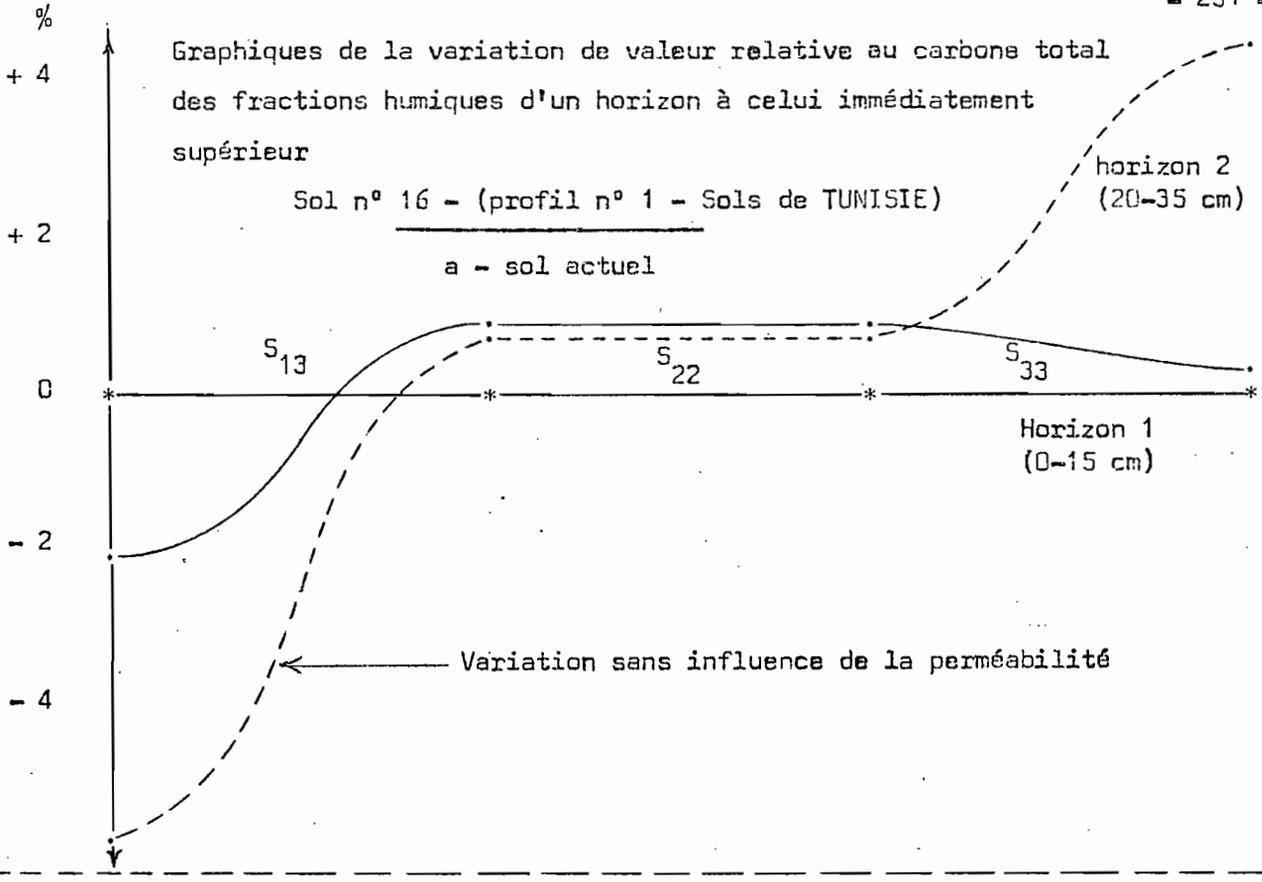
#### b - $E_2$ (deuxième étape)

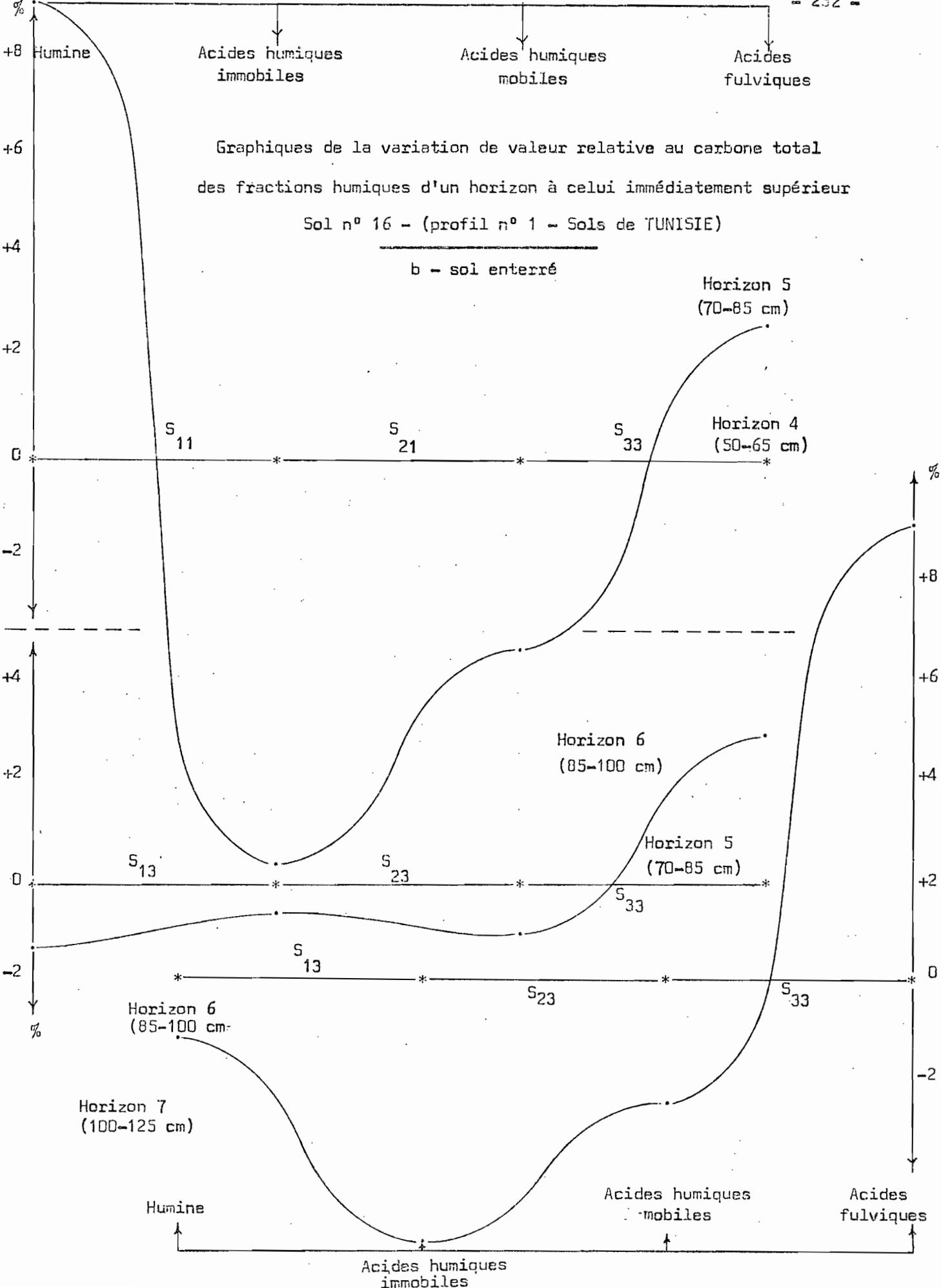
Du premier au deuxième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{13}$   $S_{22}$   $S_{33}$ . La dépolymérisation des deux types d'acides humiques a la même intensité, puisqu'ils varient parallèlement, par rapport au carbone total, mais celle de l'humine se

Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur

Sol n° 16 - (profil n° 1 - Sols de TUNISIE)

a - sol actuel





montre beaucoup plus importante. Comme par ailleurs la diminution de teneur en matière organique totale est très élevée (41,3%) et beaucoup plus rapide que dans les passages des horizons sous-jacents, il paraît probable que ces faits sont partiellement dus à un entraînement d'une certaine proportion des acides fulviques, favorisée par une forte perméabilité du deuxième horizon (2,03 pour le premier contre 6,98 pour le second horizon). Nous avons déjà observé une telle influence de la migration des acides fulviques dans le sol n° 8 (voir la correction apportée au graphique correspondant). Les conditions sont assez favorables à la minéralisation. La liaison organo-minérale s'affaiblit puisque AHM/AHI croît.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, la dépolymérisation n'est que peu efficace au premier stade puisque la formule d'évolution est  $S_{13} S_{21} S_{31}$ . Les conditions sont donc moins favorables à la minéralisation et la matière organique diminue lentement (13% de la teneur de l'horizon de surface). Le rapport AHM/AHI décroît, les acides humiques immobiles croissent, grâce à la polymérisation des produits peu condensés (AHM et AF). La liaison organo-minérale s'améliore et la matière organique se stabilise.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le troisième et le quatrième horizon ne peuvent pas être comparés comme les autres, la variation de leur matière organique peut être due notamment, pour une grande partie, à des différences dans la végétation et la faune qui en sont à l'origine.

Du quatrième au cinquième horizon, la formule d'évolution est  $S_{11} S_{21} S_{33}$ . La supériorité de la polymérisation au premier stade sur le phénomène opposé au troisième, montre que les conditions ne sont favorables à la minéralisation que pour les produits peu polymérisés et faiblement liés. Les grosses molécules humiques restent donc fortement liées à la matière minérale. La diminution importante du taux d'extraction (30,7 contre 21,6) d'une part, et d'autre part, l'augmentation au double des acides fulviques dans cet humus extrait (19,8 contre 40,7% de M.H.T.), sont les conséquences principales de ces deux phénomènes. La matière organique décroît lentement (10,7% du quatrième horizon) ; elle se stabilise donc davantage.

Le passage du cinquième au sixième horizon est symbolisé par la formule  $S_{13} S_{23} S_{33}$ . Les conditions redeviennent favorables à la minéralisation puisque la dépolymérisation est dominante dans les trois stades. La croissance des acides fulviques, par rapport au carbone total, devant la diminution des trois autres fractions, indique que la liaison organo-minérale s'affaiblit. Le taux d'extraction croît légèrement et

l'humus extrait s'appauvrit encore en acides humiques, mais plus faiblement en acides immobiles qu'en acides mobiles (I - 5,0% et M - 5,6%). La matière organique décroît plus rapidement (32% du cinquième horizon) ; elle paraît donc moins stable.

Du sixième au septième horizon, la formule d'évolution organique est identique à celle du passage précédent ( $S_{13}$   $S_{23}$   $S_{33}$ ). Les conditions restent en effet, favorables à la minéralisation, puisque la dépolymérisation est encore dominante dans les trois stades. Cependant, l'augmentation considérable des acides fulviques, par rapport au carbone total (+ 9,07%) est due, nous semble-t-il, à une accumulation de ces éléments en bas de profil, par suite d'une diminution importante de la perméabilité (7,24 contre 2,14) plutôt que d'une dépolymérisation générale plus intense qu'au passage précédent. La raison est que, d'une part la matière organique décroît presque de la même intensité (32% contre 29,4) et, d'autre part la décroissance du rapport AHM/AHI est identique dans les deux cas (- 0,09) de même que l'humine diminue, proportionnellement à sa quantité dans l'horizon supérieur, d'une valeur presque voisine (0,33% pour le premier cas contre 0,30 pour le second). Malheureusement, il n'y a pas moyen d'évaluer convenablement la quantité des acides fulviques venant de la dépolymérisation des acides humiques mobiles dans ce passage, afin d'établir une correction au graphique correspondant, puisque les perméabilités de deux autres horizons sus-jacents (quatrième et cinquième) sont aussi élevées (6,52 et 6,33).

### c - E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol brun subtropical modal (jeune) a les caractéristiques d'un mull calcique bien évolué, avec un rapport C/N inférieur à 10 (il est 9,8 en surface et 8 en profondeur). Les acides humiques immobiles dominent toujours largement les acides humiques mobiles, aussi bien dans le sol enterré que dans le sol actuel. Mais il n'en n'est pas de même en ce qui concerne la dominance des acides humiques sur les acides fulviques, puisque le fait est inverse dans les deux derniers horizons du sol enterré (sixième et septième), d'où un rapport AF/AH qui dépasse l'unité (1,05 pour le sixième et 6,25 pour le dernier).

En comparant les horizons supérieurs des deux sols superposés, nous constatons que la matière organique du premier horizon (0-15cm) possède une proportion d'humine plus élevée que celle du quatrième (82,8% contre 69,3). La matière organique du sol enterré apparaît donc maintenant moins humifiée et plus facilement minéralisable que dans le sol superficiel. Cela s'observe également par la variation proportionnelle des

acides fulviques dans les matières humiques extraites puisque ces éléments y décroissent dans le cas du sol actuel et croissent dans l'autre (- 3,9, - 24,2% pour le premier sol contre + 20,9, + 10,6 et + 34,9% pour le second). Cependant, comme dans les conditions identiques, la valeur absolue de la matière humique extraite au quatrième horizon qui est organiquement moins riche que le premier (0,28 contre 0,48% de C), est plus grande qu'en surface (0,86 contre 0,79% C); cela indique que la matière organique au sommet du sol enterré est nettement moins liée à la matière minérale. Mais puisque son humus extrait est presque deux fois moins riche en carbone fulvique (19,8 contre 48,1% de M.H.T.), le degré de polymérisation de sa matière humique extraite est plus grand; d'où le rapport AF/AH est plus petit au quatrième horizon (0,24) qu'en surface (0,93).

Les caractéristiques de la matière organique des deux sols superposés se rapprochent ensuite dans les horizons suivants. Le deuxième et le cinquième, par exemple, n'ont qu'une différence du taux d'extraction et de la composition de l'humus extrait, peu importante; le premier critère varie de 19,3 à 21,6% et le rapport AF/AH de 0,79 à 0,69.

La matière organique des deux sols est toujours de type mull calcique puisque la saturation est totale, le pH est très élevé (toujours supérieur à 8), et le rapport C/N demeure dans tous les horizons inférieur à 10 (souvent 8).

- SOL n° 17 (profil n° 2 des sols de TUNISIE)

a - E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, l'humine décroît plus que les acides humiques immobiles, par rapport au carbone total (- 2,10 contre 0,91%) et les acides humiques mobiles croissent davantage que les acides fulviques (+ 2,45 contre + 0,56%). Les acides humiques immobiles se dépolymérisent donc plus que l'humine puisque, d'une part l'augmentation des acides humiques mobiles est supérieure à la diminution de l'humine, malgré sa dépolymérisation et, d'autre part les acides humiques immobiles décroissent en même temps que l'humine; mais la dépolymérisation de celle-ci est plus importante que celle des acides humiques mobiles, car l'augmentation des acides fulviques constitue la plus petite variation relative au carbone total. Cette situation implique une diminution de 21% des acides humiques immobiles dans le fractionnement électrophorétique. L'humus extrait du deuxième horizon s'appauvrit en effet en acides humiques (- 7,6%) et s'enrichit en acides humiques mobiles (+ 10,6%). E<sub>1</sub> est S<sub>13</sub> au premier stade, S<sub>23</sub> au second et S<sub>33</sub> au troisième.

Du deuxième au troisième horizon, l'humine et les deux types d'acides humiques diminuent, par rapport au carbone total, presque identiquement ( $- 0,84$ ,  $- 0,81$  et  $- 0,93\%$ ), alors que les acides fulviques sont la seule fraction qui augmente ( $+ 2,58\%$ ); en effet, la transformation est à l'état d'équilibre au premier et au deuxième stade, mais les acides humiques mobiles sont fortement dépolymérisés. L'humus extrait du troisième horizon s'enrichit donc en acides fulviques ( $+ 9,7\%$ ) et s'appauvrit en acides humiques, d'une façon presque identique pour les deux types d'humus ( $- 4,7$  I et  $- 5,0$  M). La valeur absolue du carbone des acides fulviques ne varie presque pas ( $0,34$  mgrc contre  $0,32$ ), alors que les trois autres fractions subissent une diminution relativement importante. L'augmentation du rapport AF/AHM (après une diminution importante au passage précédent), de même que celle des rapports AF/AH et AF/AHI, en sont la conséquence.  $E_1$  est, en effet,  $S_{12}$  au premier stade,  $S_{22}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

La matière organique du troisième et du quatrième horizon ne peut pas être comparée de façon habituelle puisque, comme dans le cas du sol précédent (sol n° 16), ce passage du troisième au quatrième horizon constitue la limite du sol actuel et du sol enterré.

Le quatrième horizon, malgré l'absence du système racinaire abondant (voir la description du profil), est un peu plus riche en matière organique que le troisième ( $0,25\%$  C contre  $0,23$ ). Son humus est deux fois plus riche en acides humiques immobiles ( $43\%$  contre  $21,6$ ). Les rapports AF/AHI et AF/AH du quatrième horizon sont les plus bas du profil comparés à ceux des autres horizons ( $0,85$  et  $0,58$ ). Les acides humiques mobiles y sont de  $10\%$  moins abondants en pourcentage des acides humiques totaux qu'ils ne le sont dans le troisième ( $32\%$  contre  $42$ ). La matière organique contient plus d'humine au sommet du sol enterré qu'à la base du sol actuel. Du troisième au quatrième horizon, les acides fulviques diminuent en valeur absolue de carbone de presque moitié ( $0,32$  mgrc à  $0,18$ ), alors que le taux d'extraction et la perméabilité y décroissent (le premier de  $22,2$  à  $19,6\%$  et le second de  $6,62$  à  $4,24$ ). D'après ces constatations, la matière organique du sol enterré est plus humifiée, plus intimement liée au support minéral, de même que le degré de polymérisation de son humus extrait est plus élevé que celui du troisième horizon.

La comparaison de la matière organique du cinquième horizon avec celle du quatrième (les deux premiers horizons du sol enterré) ne peut se faire non plus par le système envisagé dans les autres sols puisque, d'après les résultats d'analyse et l'observation du terrain, on a à faire à un sol complexe. La matière organique y croît étonne-

ment en fonction de la profondeur. Elle dépasse même à un mètre, largement la quantité de la surface du sol actuel (0,45% C de 100 à 120cm contre 0,39 de 0 à 15cm). Elle s'enrichit en azote moins intensément qu'en carbone de façon à ce que le rapport C/N croît de 6,75 à 10,23. Sa composition est, en effet, différente à celle qui est au quatrième horizon. Elle est surtout plus riche en acides fulviques et en acides humiques immobiles. Ces deux éléments croissent proportionnellement à leur quantité dans le quatrième horizon de plus de 100% dans le cinquième (les acides fulviques 188% et les acides humiques immobiles 133%), mais la croissance des autres fractions est moins importante (l'humine 60% et AHM 40).

### b = E<sub>2</sub> (deuxième étape)

Du premier au deuxième horizon, la formule d'évolution organique est S<sub>13</sub> S<sub>23</sub> S<sub>33</sub>. La dépolymérisation est donc dominante dans les trois stades et les conditions semblent favorables à la minéralisation. Cependant, l'allure du graphique correspondant, de même que le décroissement du carbone total qui est relativement faible (23%), montre que ce phénomène n'est pas très intense. Mais comme la dépolymérisation agit plus fortement sur les acides humiques immobiles que sur les autres éléments (voir E<sub>1</sub>) et que le rapport AHM/AHI croît de 0,30 à 0,79, nous pouvons en déduire que la liaison organo-minérale s'affaiblit dans le deuxième horizon, et que le degré de polymérisation de l'humus extrait décroît fortement. Cependant, l'augmentation du taux d'extraction reste faible (presque 2%), ce qui paraît dû à la valeur assez élevée de la perméabilité (K = 4,30 et 4,28). La matière organique semble cependant difficilement minéralisable puisqu'elle décroît assez lentement dans des conditions relativement favorables à une dépolymérisation générale.

Le passage du deuxième au troisième horizon est symbolisé par la formule S<sub>12</sub> S<sub>22</sub> S<sub>33</sub>. La dépolymérisation n'est plus dominante qu'au troisième stade, mais elle y est beaucoup plus intense que dans le cas du passage précédent, car la variation des acides fulviques est plus grande ; la matière organique décroît donc presque de la même intensité (23,4 contre 23,1% de l'horizon respectif immédiatement supérieur). La variation négligeable du rapport AHM/AHI (0,79 et 0,73) de même que celle du taux d'extraction (22,17% contre 21,33 du deuxième horizon), prouvent que la liaison organo-minérale n'est pas améliorée. L'augmentation du rapport AF/AH de 1,13 à 1,68 indique un degré de polymérisation moins élevé pour l'humus extrait que dans le cas précédent, mais l'état d'équilibre du premier au deuxième stade indique que la matière organique est de plus en plus dépourvue en carbone facilement minéralisable.

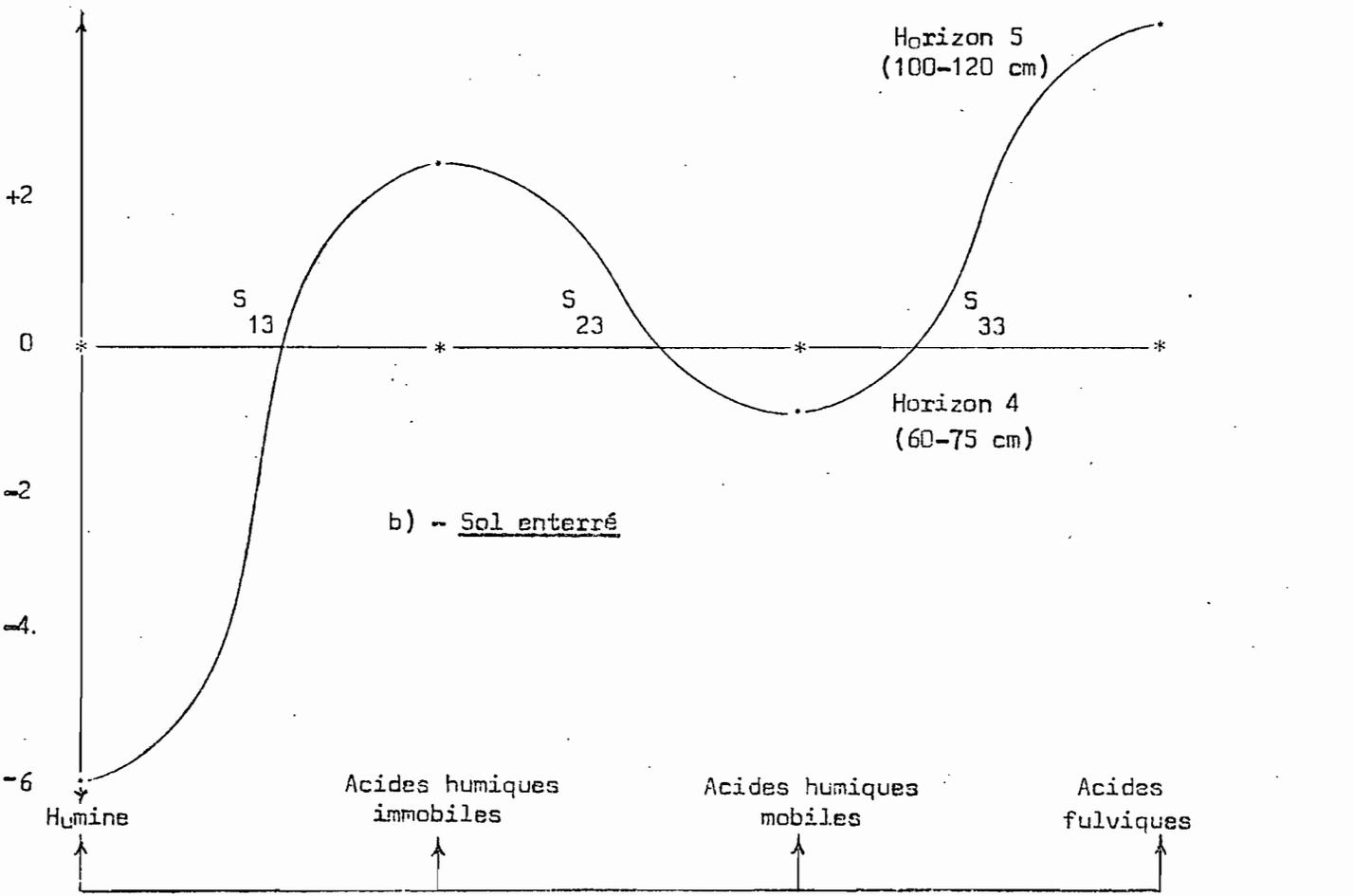
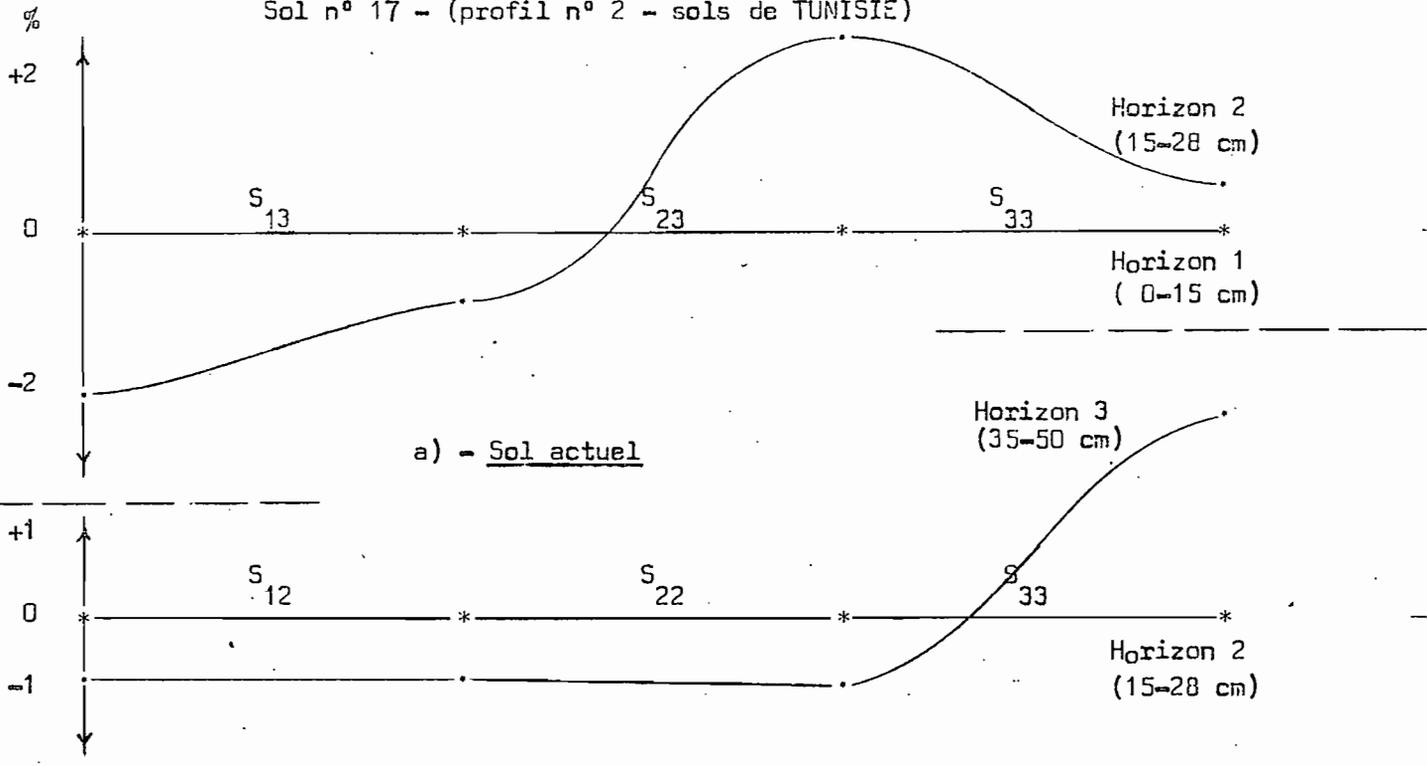
D'après les constatations de la première étape, la matière organique du quatrième horizon, vis-à-vis de celle du troisième, présente subitement un changement qualitatif et quantitatif inhabituel : sa quantité augmente légèrement (+ 8%) au lieu de continuer à diminuer, et sa qualité s'améliore (plus humifiée, plus liée à la matière minérale et plus polymérisée). La raison de ce changement ne peut être ni un apport racinaire puisque l'observation du profil a montré que les racines sont de moins en moins abondantes, ni à l'enfouissement d'engrais verts, qui n'est dans les oliviers jeunes, réalisé à une telle profondeur. Par ailleurs, cet enrichissement organique est encore plus fort de 100 à 120 cm (44,5% de l'horizon supérieur). La limite observée entre les deux horizons (troisième et quatrième) est brutale et accompagnée d'un changement d'aspect physique important (couleur, texture, structure etc...), de même que de l'apparition de taches rouille correspondant à une marmorisation ancienne. L'on a, probablement, affaire à un sol enterré complexe.

La comparaison de la matière organique des deux horizons de ce sol (quatrième et cinquième horizon) faite à la première étape ( $E_1$ ), nous montre que la matière organique devient plus liée au support minéral, malgré l'augmentation des acides fulviques, qui semble due à la diminution de la perméabilité, car le rapport AHM/AHI est très bas (0,28) et celui de AF/AH reste inférieur à l'unité (0,82). Les acides humiques immobiles s'élèvent de 10% dans la proportion des acides humiques totaux et ils y sont presque 4 fois plus abondants que les acides humiques mobiles (électrophorèse). En revanche l'humine, par rapport au carbone total, est moins importante dans la matière organique du cinquième que dans celle du quatrième horizon (- 5,95%) ; celle-ci est donc moins condensée dans le deuxième horizon du sol enterré qu'à son sommet.

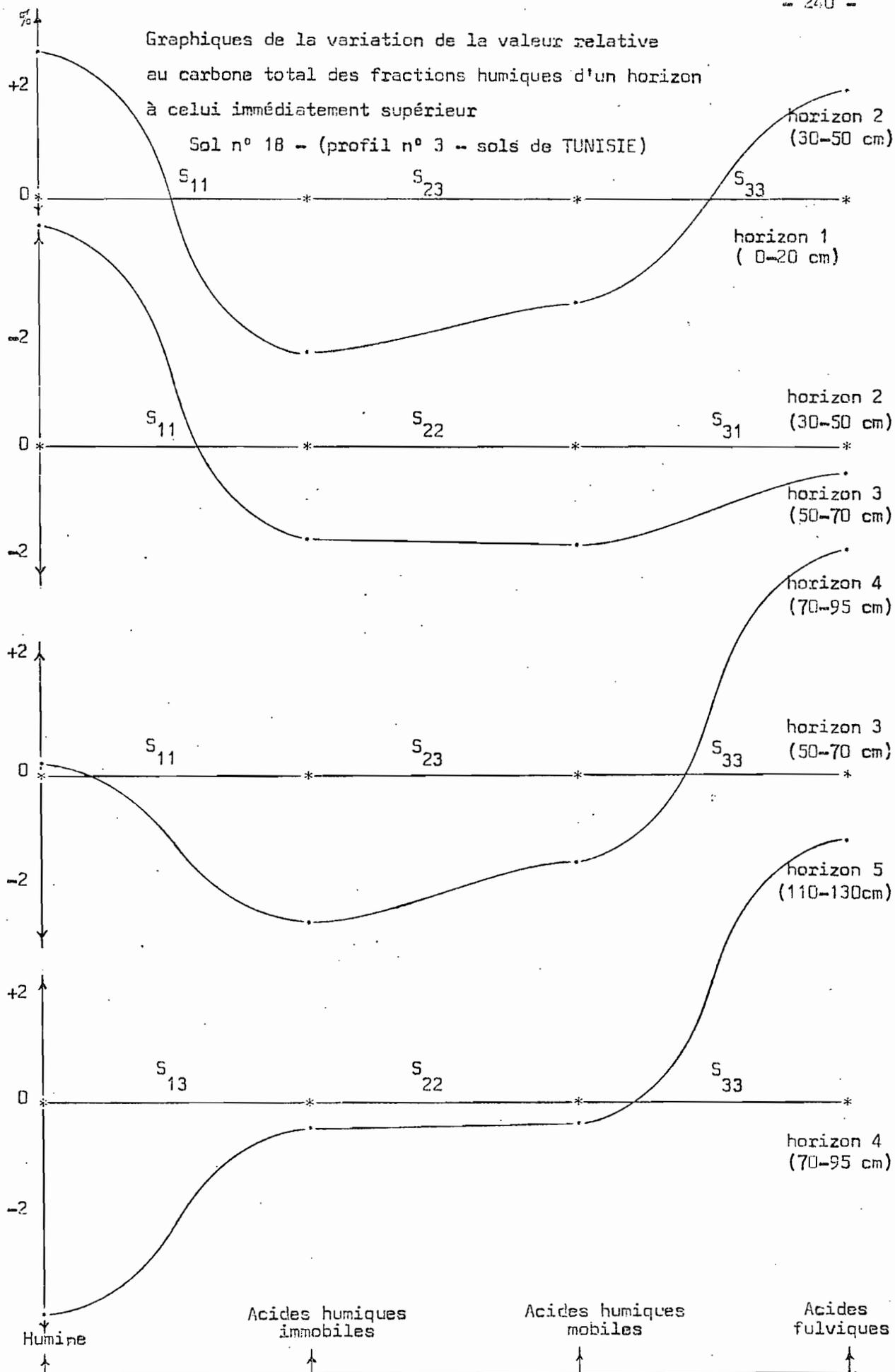
### c - $E_3$ (troisième étape)

La matière organique de ce sol brun subtropical modal, jeune, sur matériau complexe est de type mull calcique, bien évoluée, avec un rapport C/N inférieur à 10 (en surface 8,7). Les acides fulviques y dominent par rapport aux acides humiques dès la surface. Il en est de même dans les deux autres horizons du sol actuel, mais l'inverse se produit dans le sol enterré. Les acides humiques immobiles sont toujours dominants sur les acides humiques mobiles dans les deux sols. Si la proportion d'humine est identique au sommet des deux sols (80,8% de C.T. de sol actuel, contre 80,4 dans le sol enterré), il n'en n'est pas de même pour la valeur relative des trois autres fractions, par rapport au carbone total. Les acides fulviques sont plus abondants dans l'humus

Graphiques de la variation de valeur relative au carbone total  
des fractions humiques d'un horizon à celui immédiatement supérieur  
Sol n° 17 - (profil n° 2 - sols de TUNISIE)



Graphiques de la variation de la valeur relative  
au carbone total des fractions humiques d'un horizon  
à celui immédiatement supérieur  
Sol n° 18 - (profil n° 3 - sols de TUNISIE)



extrait de la surface du sol de couverture qu'au sommet du sol enterré (56,10 contre 36,7% de la M.H.T.). Naturellement, le fait est inverse pour les acides humiques, mais cette inversion est plus marquée pour les acides humiques mobiles que pour les acides immobiles ; puisque la matière humique extraite du quatrième horizon est deux fois plus concentrée en ces éléments que celui du premier horizon (20,3 contre 10,1% de la M.H.T.), alors que les acides humiques immobiles y sont moins fortement augmentés (de 33,9 à 43% de la M.H.T.), de telle sorte que le rapport AHM/AHI varie de 0,30 à 0,50. La matière organique est donc, au sommet du sol enterré, plus polymérisée et plus fortement liée à la matière minérale, qu'à la surface du sol actuel. Par ailleurs, nous constatons que le décroissement assez lent et régulier du carbone total, dans le sol de couverture, non seulement ne se produit pas dans le sol enterré, mais il y augmente considérablement en fonction de la profondeur, et à l'inverse de tous les cas généralement observés (de 0,25 à 0,45% C). Ce fait pourrait être dû à un entraînement de la matière organique qui aurait pu émigrer en même temps qu'un peu d'argile. Cela paraît peu probable dans ce type de sol. Les taches rouille de marmorisation indiquent plutôt le développement d'une certaine hydromorphie temporaire. On peut également envisager, plus facilement, une autre hypothèse : dans ce sol qui est soumis à une dépolymérisation générale, ce processus apparaît comme plus limité dans son effet sur la matière organique ancienne du sol enterré plus abondante et plus polymérisée au départ. Enfin, il n'est pas impossible, d'après les résultats des analyses granulométriques, et d'après les teneurs des divers horizons en matière organique, qu'il s'agisse simplement de deux sols superposés, le plus ancien étant le plus humifère, et d'un élément de passage de richesse organique intermédiaire entre celles des deux horizons (troisième et quatrième).

- SOL n° 18 (profil n° 3 des sols de TUNISIE)

a = E<sub>1</sub> (première étape)

Du premier au deuxième horizon, les acides humiques immobiles diminuent d'une quantité à peu près égale à l'augmentation de l'humine par rapport au carbone total (- 2,8 contre + 2,7%), alors que la diminution des acides humiques mobiles est moins importante mais équivaut à l'élévation des acides fulviques (- 1,95 contre + 2%). Cependant, si ces variations, malgré une diminution assez importante du carbone total (31%), indiquent au premier stade une polymérisation plus forte que le phénomène inverse au troisième, cela peut être dû à une perméabilité très élevée ( $K = 5,12$  et  $6,63$ ) qui

permet une certaine migration descendante des acides fulviques.  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Du deuxième au troisième horizon, la variation des fractions humiques, par rapport au carbone total, porte plutôt sur l'augmentation de l'humine (+ 3,95%) que sur la diminution des trois autres fractions (- 1,65 I, - 1,8 M et - 0,5% F). Le décroissement presque identique des deux types d'acides humiques indique un état d'équilibre au deuxième stade, mais comme les acides humiques mobiles sont toujours quantitativement beaucoup plus faibles que les acides humiques immobiles, la diminution en proportion identique pour les deux fractions, se traduit par une augmentation des acides humiques immobiles (6%) dans le fractionnement électrophorétique. Le rapport AHM/AHI décroît, l'humus extrait s'appauvrit plus en acides humiques mobiles qu'en acides humiques immobiles (- 5,95 et - 1,45% de M.H.T.).  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{22}$  au second et  $S_{31}$  au troisième.

Du troisième au quatrième horizon, la variation de la valeur, relative au carbone total, des fractions humiques est inverse du cas précédent en ce qui concerne les acides fulviques et l'humine, c'est-à-dire que cette dernière subit la plus petite variation dans ce passage (+ 0,20%), et l'autre la plus grande (+ 4,08%), mais les deux types d'acides humiques varient presque de la même façon que dans le premier passage (- 2,71% I et - 1,57 M). En conséquence, la dépolymérisation augmente d'intensité et le phénomène opposé diminue. L'humus extrait s'appauvrit davantage en acides humiques immobiles (- 15,4% de M.H.T.) qu'en acides humiques mobiles (- 8,99% de M.H.T.). Le fractionnement électrophorétique présente encore une élévation de la proportion des acides humiques immobiles (+ 5%), puisqu'ils diminuent par rapport à leur quantité initiale de 66%, alors que la diminution des acides humiques mobiles est de 77%. Le rapport AHM/AHI décroît encore (- 0,10), alors que les rapports AF/AHM, AF/AHI et AF/AH augmentent considérablement (les variations sont respectivement de + 8,94, + 2,97 et + 2,26 contre 1,33, + 0,29 et + 0,29 du passage précédent).  $E_1$  est  $S_{11}$  au premier stade,  $S_{23}$  au second et  $S_{33}$  au troisième.

Du quatrième au cinquième horizon, la variation des fractions humiques, par rapport au carbone total, réside dans les deux extrémités du fractionnement humique ; l'humine diminue et les acides fulviques augmentent sans que les deux types d'acides humiques subissent une diminution importante (H - 3,93, I - 0,54, M - 0,36 et F + 4,83% C.T.). La dépolymérisation devient donc dominante au premier stade, l'état d'équilibre

règne au deuxième et la dépolymérisation augmente d'intensité au troisième.  $E_1$  est  $S_{13}$  au premier stade,  $S_{22}$  au second et  $S_{33}$  au dernier.

$b = E_2$  (deuxième étape)

Dans la comparaison des deux premiers horizons, l'évolution organique est symbolisée par la formule  $S_{11} S_{23} S_{33}$ . L'humine est la seule fraction résistante à la dépolymérisation. Ce phénomène n'agit efficacement que sur les produits peu polymérisés et faiblement liés (A.H.M.). La liaison organo-minérale est donc assez bonne, mais le degré de polymérisation de l'humus extrait n'est pas très élevé, puisque le rapport AHM/AHI n'est pas très bas (0,63). La matière organique décroît de 31% par rapport à la surface, malgré les conditions défavorables à une dépolymérisation générale. Cela est dû, nous semble-t-il, à une minéralisation intense grâce à une forte activité biologique.

Dans le passage du deuxième au troisième horizon, la formule d'évolution organique est  $S_{11} S_{22} S_{31}$ . Les conditions ne sont plus favorables à la dépolymérisation des composés humiques. La liaison organo-minérale s'améliore grâce à une élévation des sesquioxydes de fer et de l'argile dans cette partie du profil (voir la deuxième phase d'interprétation) ; mais le décroissement de la matière organique se poursuit (32,7% du deuxième horizon), l'activité biologique est donc toujours intense. Le degré de polymérisation de l'humus extrait croît, puisque le rapport AHM/AHI décroît de 0,63 à 0,47.

Du troisième au quatrième horizon, la formule d'évolution organique redevient  $S_{11} S_{23} S_{33}$ , c'est-à-dire que la dépolymérisation augmente et que les conditions favorisent la minéralisation : la matière organique décroît plus rapidement (36,4% du troisième horizon). La liaison organo-minérale s'affaiblit dans ce quatrième horizon, puisque d'abord les acides fulviques y dominent les acides humiques et qu'ensuite, pour un taux d'extraction identique pour les deux horizons (17% de C.T.) l'humus du quatrième horizon s'appauvrit presque deux fois plus en acides humiques immobiles (- 15,4%) qu'en acides humiques mobiles (- 8,9%). Cela est dû, nous semble-t-il, à une diminution assez importante des sesquioxydes de fer et de l'argile (voir la deuxième phase d'interprétation).

Dans la comparaison des deux derniers horizons de ce profil (quatrième et cinquième), la formule d'évolution organique est  $S_{13} S_{22} S_{33}$ . L'humine ne résiste plus à la dépolymérisation. Les conditions deviennent donc plus favorables à la minéralisation.

La matière organique décroît en effet rapidement (52,4% du quatrième horizon). La formation des agrégats stables semble encore diminuée par suite de l'abaissement continu des sesquioxydes de fer et de l'argile. La liaison organo-minérale est de plus en plus faible, le taux d'extraction croît de 4%. Le rapport AHM/AHI est très bas (0,30):

C - E<sub>3</sub> (troisième étape)

La matière organique de ce sol châtain rouge subtropical modal est de type mull calcique bien évolué, avec un rapport C/N légèrement supérieur à 10 en surface (10,9), qui tombe très vite au-dessous de 10 en profondeur. Les acides humiques dominent par rapport aux acides fulviques dans les deux horizons de surface (jusqu'à 50cm), mais les acides humiques immobiles sont, dans tout le profil, en plus grande quantité que les acides humiques mobiles. L'humine décroît plus lentement, si bien que, par rapport au carbone total, elle croît de plus en plus jusqu'au dernier horizon, où elle décroît, mais elle reste dans une proportion supérieure à celle de la surface (79% contre 76). La variation des acides fulviques est notamment influencée par la perméabilité très variable de ce profil (très grande en surface et basse en profondeur):

### CHAPITRE III

#### - Etude qualitative de la matière organique des sols sous son aspect comparatif

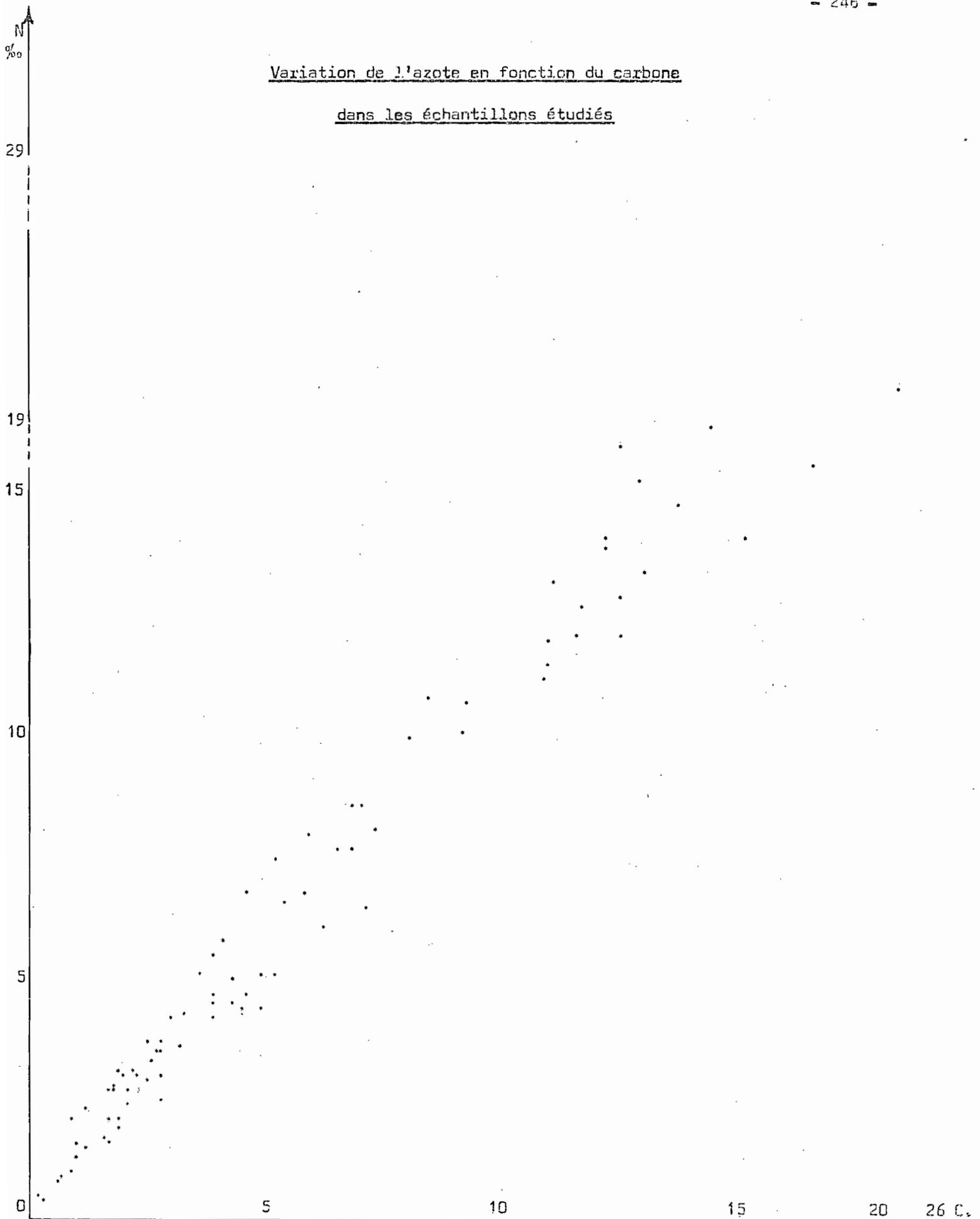
Nous avons envisagé, au cours du chapitre précédent, l'étude de la nature des constituants organiques du sol, dans chaque profil individuellement. Ce chapitre est consacré à la comparaison qualitative de cet élément dans l'ensemble des profils étudiés.

A ce propos, nous avons utilisé d'abord, le rapport C/N comme un critère fondamental de base qui nous renseigne non seulement sur la richesse en carbone et en azote de cette matière organique, mais aussi sur son degré d'évolution. Nous envisagerons ensuite les teneurs relatives de celle-ci dans les quatre fractions séparées dans ce travail (Humine, Acides humiques immobiles, Acides humiques mobiles et Acides fulviques).

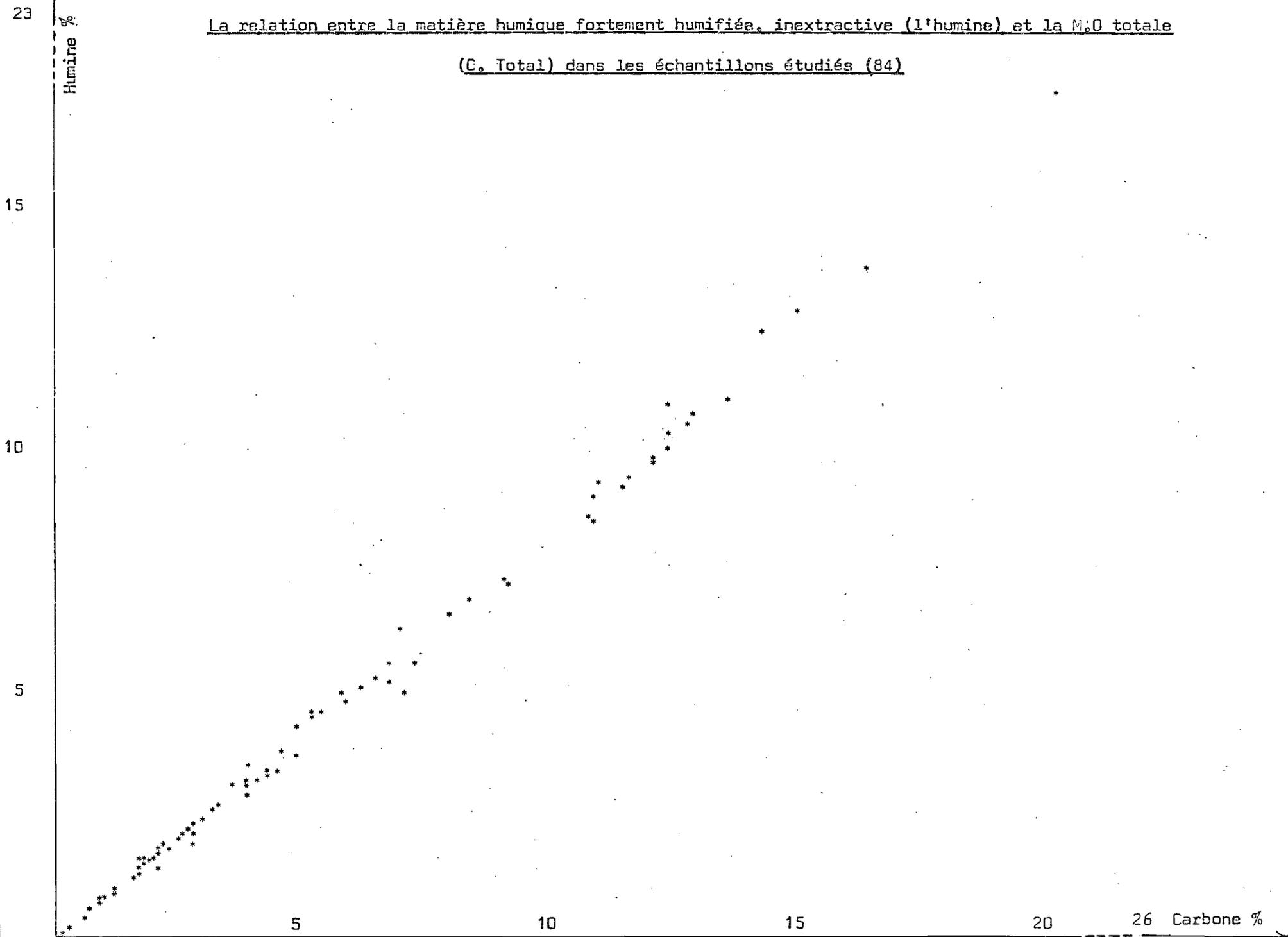
Le rapport C/N en surface est, en général, légèrement plus élevé, pour les sols bruns subarides (10 à 11) que pour les autres sols isohumiques que nous avons étudiés (8.7 à 9.3). Les sols de ce groupe sont donc relativement plus pauvres en azote. La diminution de ce rapport vers la profondeur indique que la matière organique s'appauvrit plus en carbone qu'en azote dans les horizons inférieurs. Cependant la variation de ce rapport dans un sol brun subaride est, en général, plus importante dans la première moitié du profil que dans la seconde, alors que pour un sol brun subtropical, la diminution est moins intense, mais plus régulière. Il n'est pas impossible que cette particularité soit due, pour une part, à ce que, dans ce dernier sol, les produits azotés de la minéralisation, entraînés, se recombinent peu à peu entre eux ou avec certains éléments (Ca ou Fe libre semble-t-il) par suite d'une augmentation progressive de ces éléments ou de la teneur en argile vers la profondeur. Dans l'autre (sol brun subaride), ce processus ne se produit qu'en profondeur où les conditions peuvent redevenir favorables à sa réalisation.

En ce qui concerne la composition organique en surface des sols étudiés, il est à signaler, avant tout, que l'humine en elle-même constitue 87,5 à 73,4% de la masse totale (voir schéma page suivante). Par conséquent, toute étude comparative de la matière organique de ces sols ne peut être valable sans tenir compte de l'importance considérable de cette partie inextractible aux solvants alcalins. Les chercheurs s'orientent actuellement de plus en plus dans ce sens. DUCHAUFOUR et JACQUIN soulignent, également,

Variation de l'azote en fonction du carbone  
dans les échantillons étudiés



La relation entre la matière humique fortement humifiée, inextractive (l'humine) et la M<sub>o</sub>O totale  
(C. Total) dans les échantillons étudiés (84)

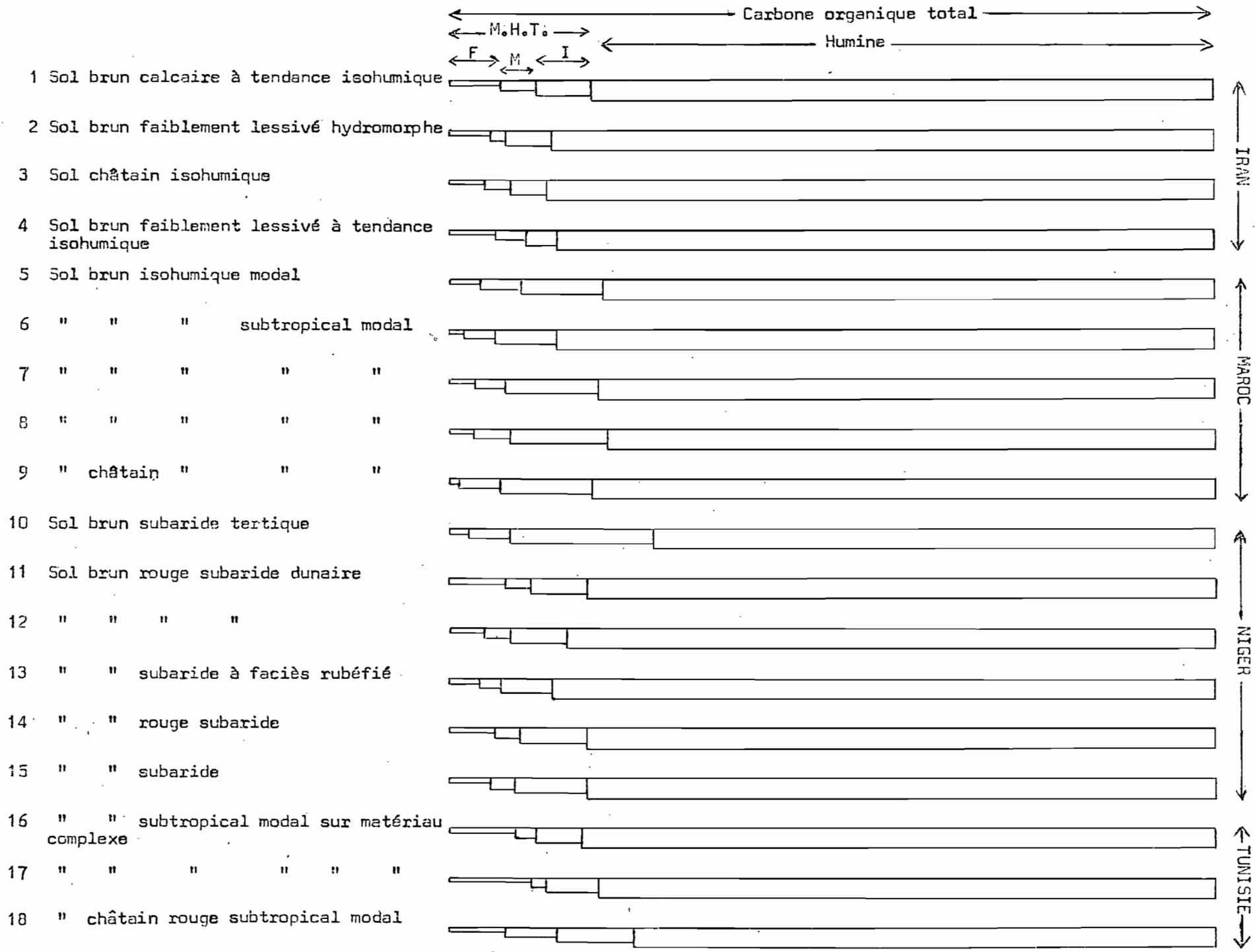


dans un travail assez récent, l'importance capitale de cette fraction humique peu étudiée (1966). Suivant cette nouvelle conception, ils la font intervenir dans le calcul du taux d'humification. Ils séparent la matière organique libre et liée par le fractionnement densimétrique de MONNIER (1962). Après trois extractions alcalines sur la fraction lourde, la matière humifiée non extractible correspond à l'humine. Elle est presque quatre fois plus grande que le résidu non humifié (matière organique non extractible de la fraction légère) dans le mull chernozémique. (Ce dernier résidu représente 9,8% du carbone total et l'humine 36,1). Ils ont pu montrer aussi que, dans le mull calcique de la rendzine, qui est plus riche en matière organique fraîche, la teneur en cette humine reste encore deux fois plus importante que celle de ce résidu non humifié (47,4% contre 21,8% du carbone total). Ainsi, grâce à ce nouveau calcul du taux d'humification (pour le mull chernozémique 82,7% au lieu de 51%, valeur donnée par les mêmes auteurs auparavant (64) et pour le mull calcique de la rendzine 74,6 au lieu de 27), ils mettent en évidence la faiblesse relative dans les produits inextractibles de ce résidu organique non humifié.

Les résultats d'analyse, en particulier les rapports AF/AH et AHM/AHI, montrent que le mull calcique étudié dans ce travail a, indiscutablement, les caractéristiques plus proches de celles du mull chernozémique que du mull de la rendzine. Dans la plupart des cas, l'humus extrait des horizons de surface, par une seule extraction, est aussi voisin de celui du mull chernozémique, présenté par ces deux auteurs ; il atteint souvent environ 20% du carbone organique total.

En effet, la masse considérable des produits inextractibles à la surface des sols étudiés, traduit plutôt, une très bonne humification de leur matière organique provoquée par une forte activité biologique, qu'une transformation faible des débris végétaux ou animaux.

Nous constatons, par ailleurs, que cette fraction constitue souvent, et surtout indépendamment de la richesse organique du sol, un pourcentage relatif approximativement constant dans la composition organique de l'horizon de surface des sols du même groupe ; par exemple, elle constitue à peu près, 82% de la masse organique totale, à la surface de cinq sols bruns subarides, sur six sols étudiés de ce groupe, alors que la matière organique de ces cinq sols, exprimée en carbone, varie de 0,62 à 0,17% du poids de terre sèche. En conséquence, des conditions pédogénétiques bien déterminées dans un même groupe de sols (classification française), un type d'évolution propre de leur matière organique semble se manifester et se distinguer dès la surface.



Comparaison schématisée de la composition globale de - 250 -  
la matière organique des horizons des divers profils étudiés

Cm	I R A N				M A R O C					N I G E R					T U N I S I E				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0		4312			4321	4321			4321										
10	4312	4132	4132	4132	4321	4321	4321	4321	4321	4321		4132	4312	4312	4312	4312	4132	4132	4312
20			4132	4132			4312							4312	4312				
30					4321	4321	4312	4321	4321								4132	4132	4132
40	4132	4132		4132			4312	4132	4312					4312			4321		
50			4132									4132			4132				
60	4312	4132	4132		4132	4312	4132	4132	4312						4132		4321		4132
70				4132						4132	4312								
80					4132		4132										4132		
90	4132	4132				4132		4132	4132								4132		
100					4132														
110							4132												
120								4132											
130	Ordre de grandeur des produits																		
140	1 - AF (Acides Fulviques)																		
150	2 - AHM (Acides Humiques Mobiles)																		
160	3 - AHI (Acides Humiques Immobiles)																		
170	4 - H - Humine (produits inextractibles)																		
180	-----																		
190	Les cases non chiffrées correspondent																		
200	au manque d'échantillonnage																		
210												4132	4132						

La proportion d'humine diminue dans les horizons profonds de la plupart des sols bruns subarides, parfois même considérablement (sol n° 11 et 12), mais elle garde toujours la première place dans la composition globale des produits organiques. Dans les sols bruns subtropicaux et les sols châtaîns nous assistons, au contraire, à sa légère augmentation régulière vers la profondeur ; elle est, parfois, interrompue à mi-profondeur, par un petit abaissement. Par conséquent, la proportion toujours très élevée de l'humine, dans la composition totale des produits organiques est une caractéristique fondamentale du mull calcique de cette classe de sol. Un autre point caractéristique est la supériorité incontestable de la proportion des acides humiques immobiles sur celle des acides humiques mobiles. Il n'y a donc que la proportion des acides fulviques qui puisse prendre une place différente dans cette composition globale ; elle n'a que trois possibilités qui sont, en indiquant la taille croissante des particules humiques des quatre fractions par 1 à 4 :

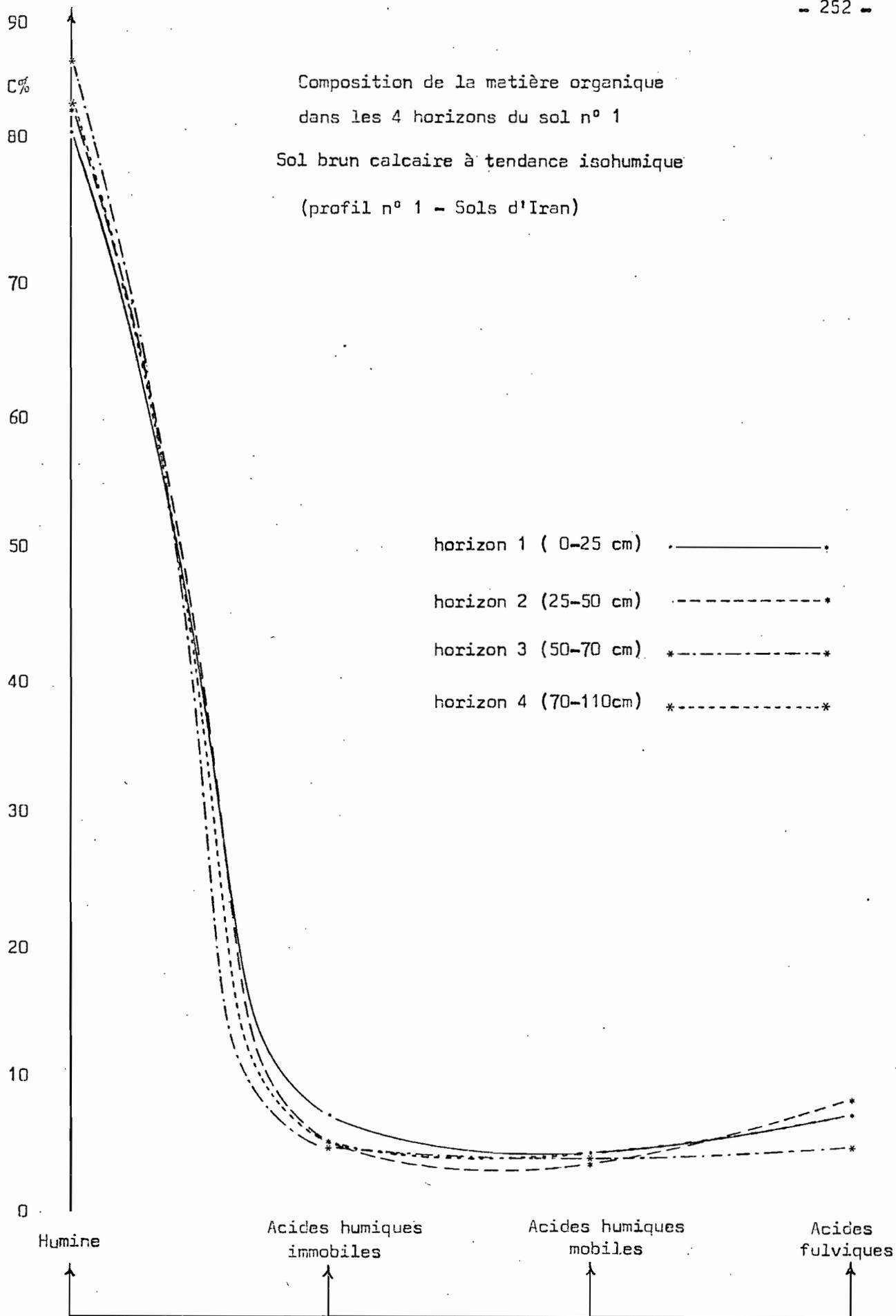
4321 (HIMF), 4312 (HIFM), 4132 (HFIM)

Les trois arrangements ci-dessus, sont présentés ci-contre par une comparaison schématisée entre les profils étudiés, en fonction des profondeurs de prélèvement. Nous y constatons que l'ordre de ces arrangements est respecté dans le sens de la profondeur du profil, c'est-à-dire que la proportion des acides fulviques, en moyenne profondeur (25 à 50cm), est souvent supérieure à celle des deux types d'acides humiques sauf en cas des profils superposés (sol n° 16 et 17 par exemple). On observe également que cet ordre est d'autant mieux respecté que le sol est plus différencié dans son profil, ce qui est le cas pour les sols n° 6, 7 et 9 (respectivement  $A_1 (B_{21} B_{22} C)_{Ca}$ ,  $A_p (B_{21} B_{22} B_{23} C)_{Ca}$  et  $A_p A_3 B_{21} B_{22} B_{23} C_{Ca}$ ).

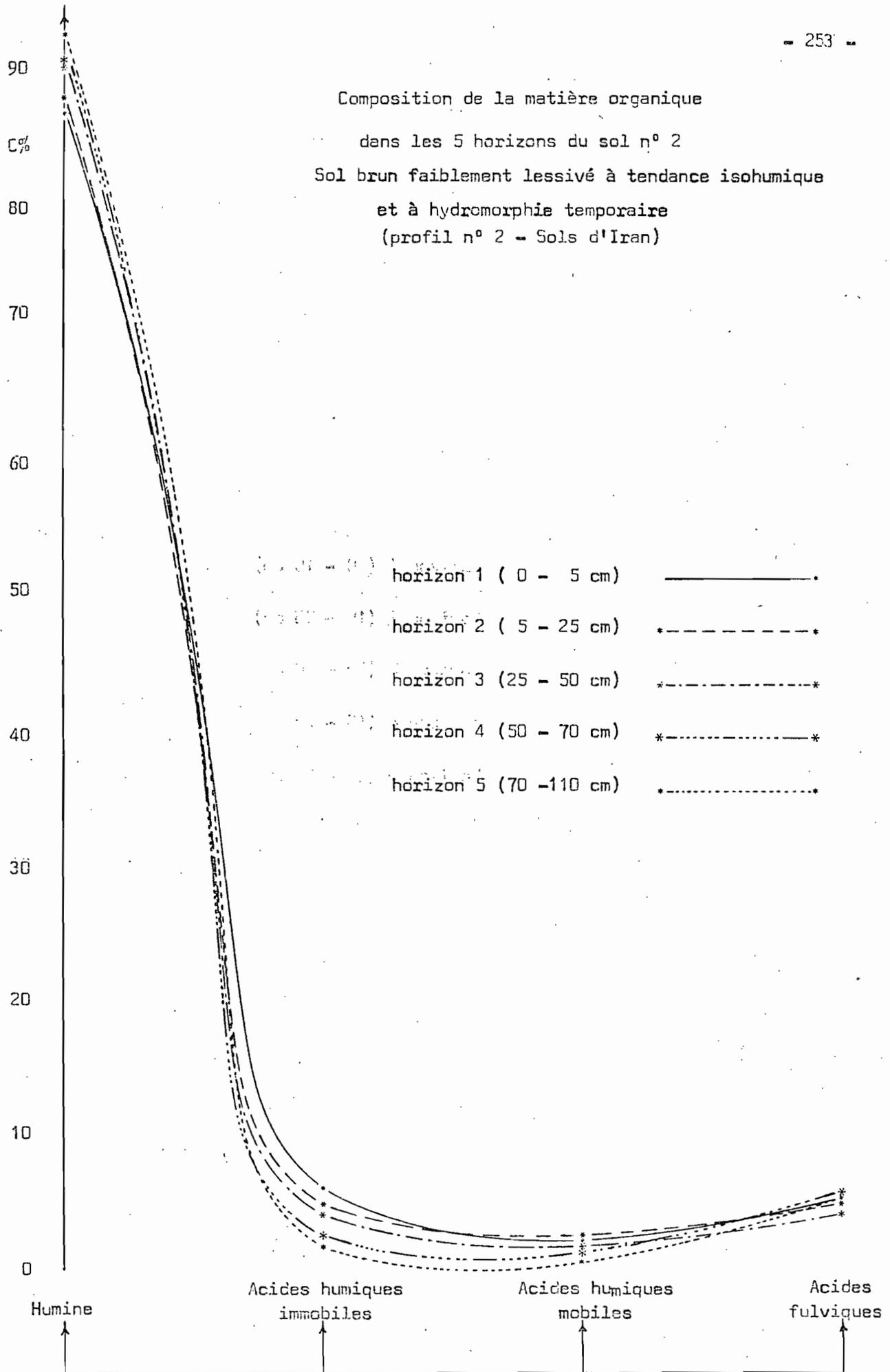
En somme, les proportions des fractions humiques se trouvent, en surface des sols châtaîns et des sols bruns subtropicaux, dans l'ordre décroissant de leur taille moléculaire (4321 ou HIMF), alors que l'arrangement de cet ordre respectif, en surface des sols bruns subarides est, dans les sols étudiés 4312 ou 4132 et jamais 4321. Par conséquent, les acides fulviques ont une place plus importante dans la composition organique des sols bruns subarides. Cela prend une importance particulière dans le cas actuel, car la texture des sols de cette catégorie étudiés dans ce travail est plus favorable à la migration de ces éléments.

Par ailleurs, les graphiques ci-après représentant la richesse relative en chacune des quatre fractions déterminées de la matière organique totale des divers horizons des sols étudiés, montrent une nette différence dans le cas des horizons de surface entre les sols isohumiques (châtaîns, bruns subtropicaux, bruns subarides) et les sols non isohumiques ou seulement à tendance isohumique (sols bruns calcaires, sols bruns faiblement lessivés).

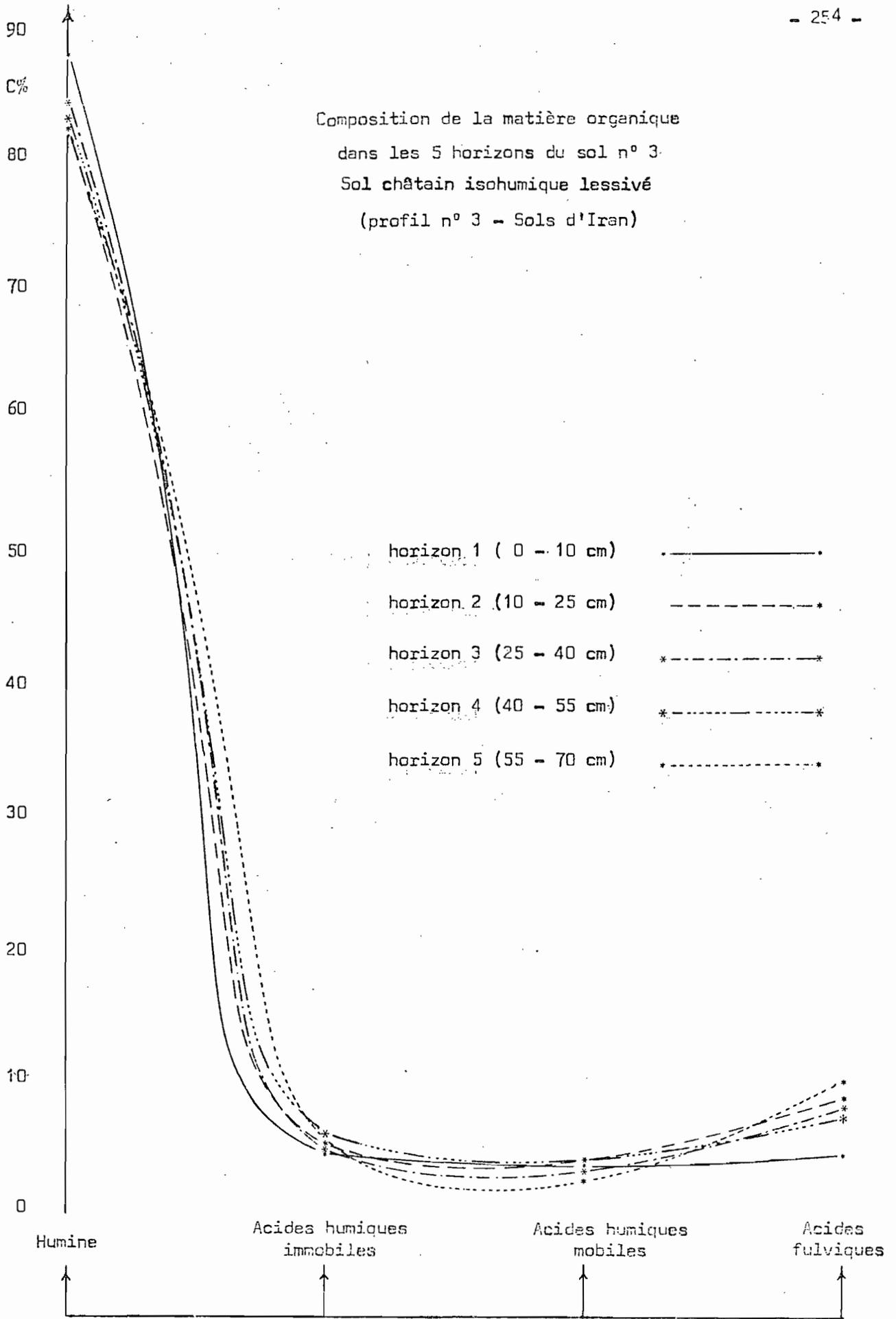
Composition de la matière organique  
dans les 4 horizons du sol n° 1  
Sol brun calcaire à tendance isohumique  
(profil n° 1 - Sols d'Iran)



Composition de la matière organique  
dans les 5 horizons du sol n° 2  
Sol brun faiblement lessivé à tendance isohumique  
et à hydromorphie temporaire  
(profil n° 2 - Sols d'Iran)



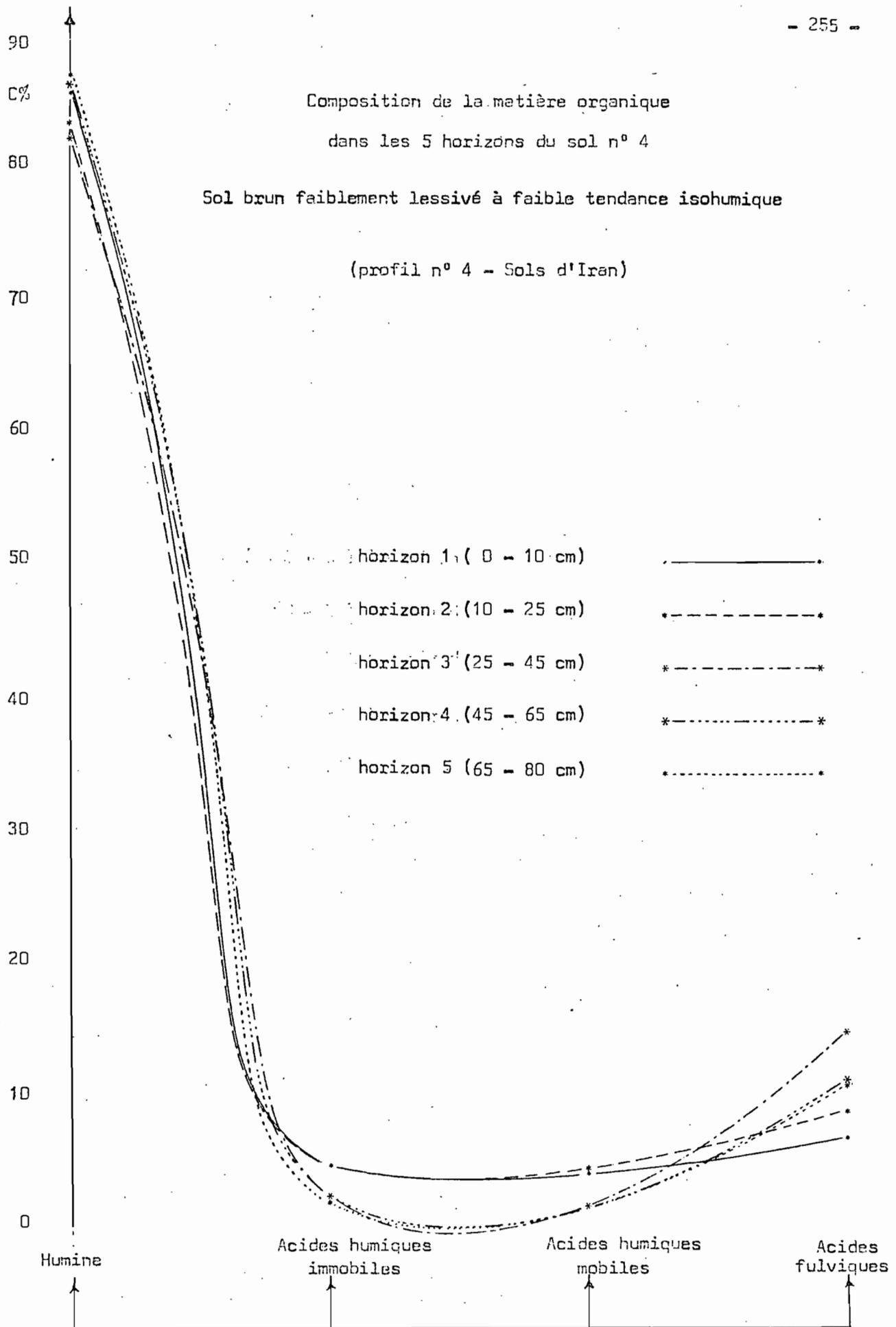
Composition de la matière organique  
dans les 5 horizons du sol n° 3  
Sol châtain isohumique lessivé  
(profil n° 3 - Sols d'Iran)



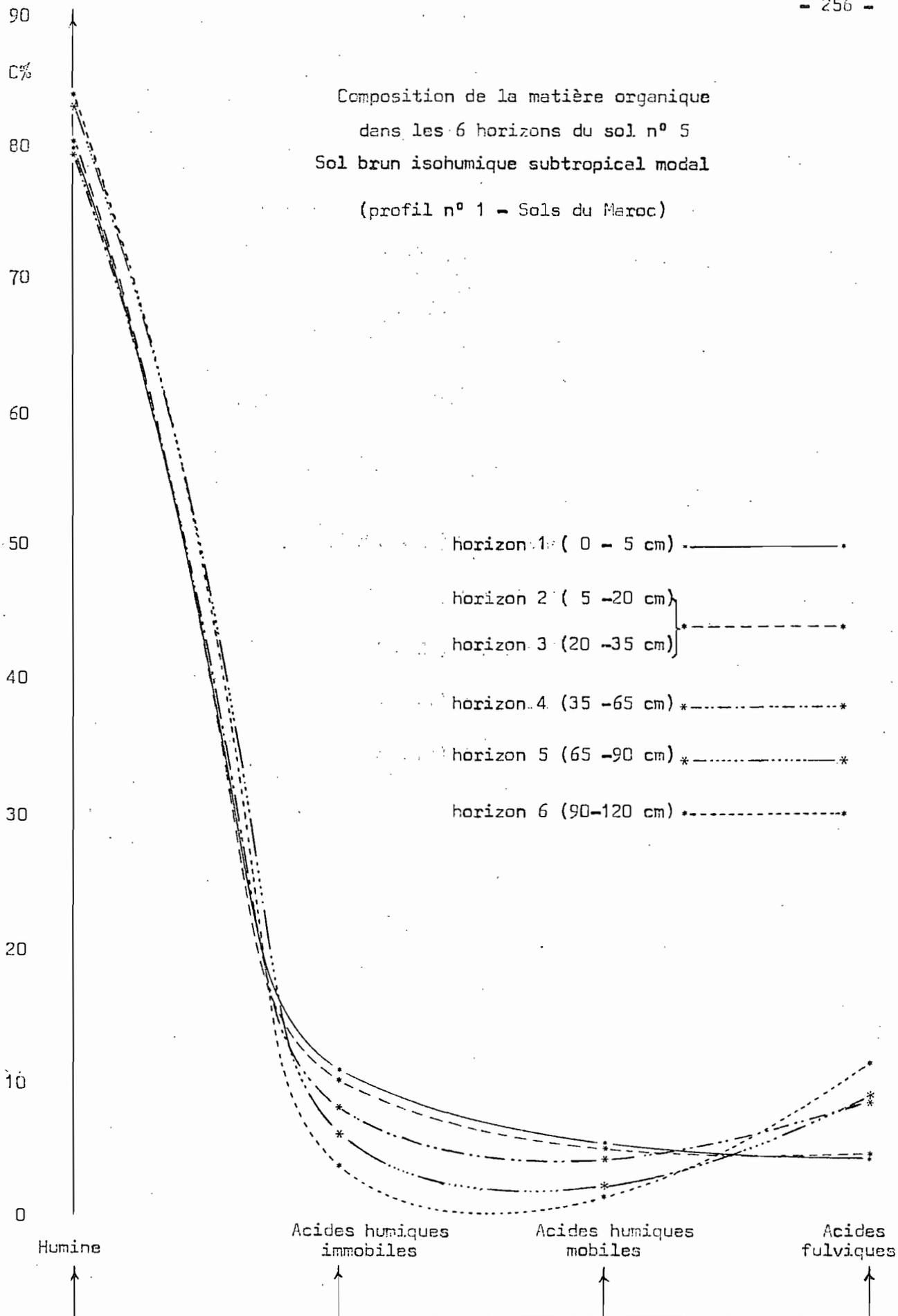
Composition de la matière organique  
dans les 5 horizons du sol n° 4

Sol brun faiblement lessivé à faible tendance isohumique

(profil n° 4 - Sols d'Iran)

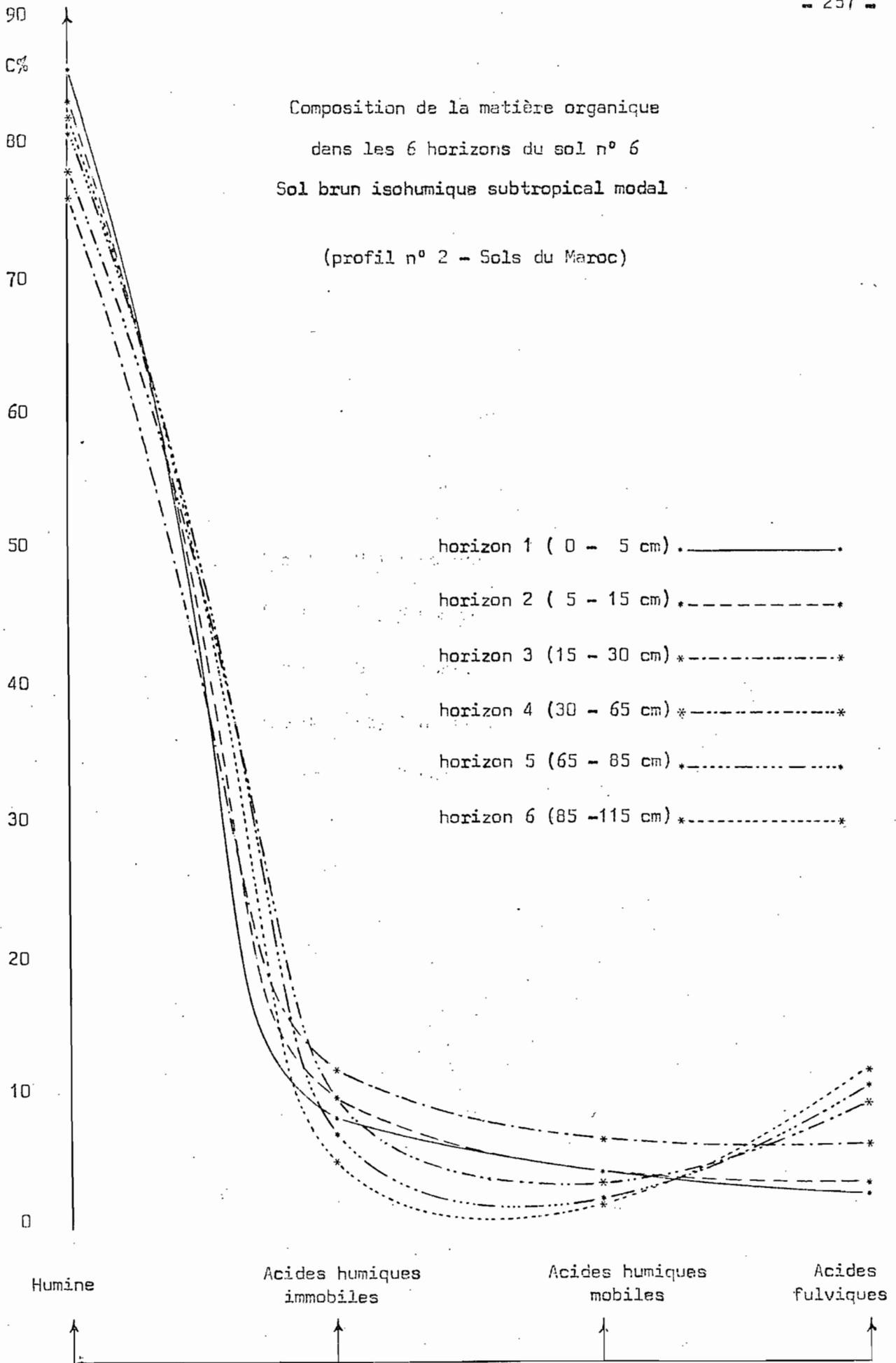


Composition de la matière organique  
dans les 6 horizons du sol n° 5  
Sol brun isohumique subtropical modal  
(profil n° 1 - Sols du Maroc)

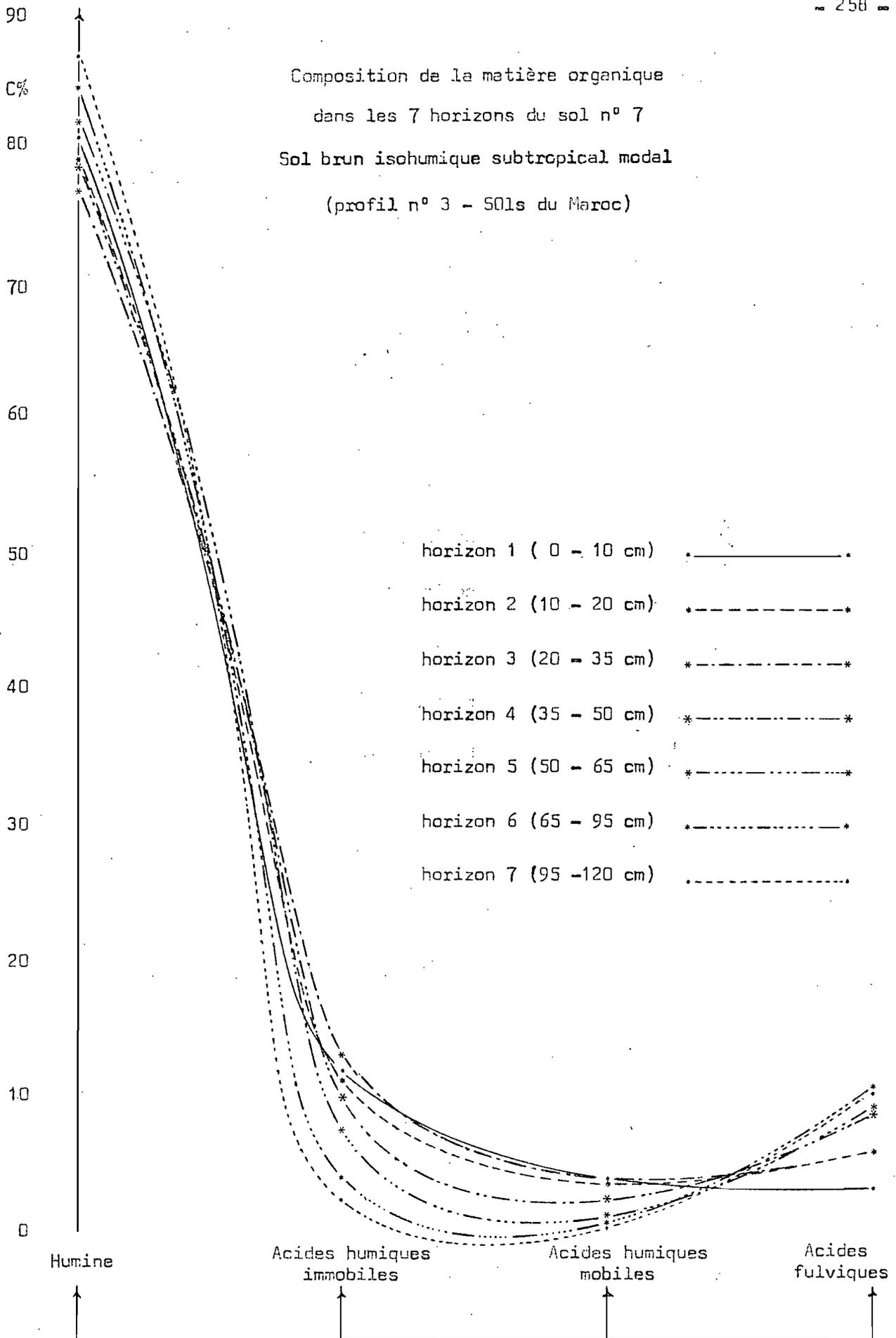


Composition de la matière organique  
dans les 6 horizons du sol n° 6  
Sol brun isohumique subtropical modal

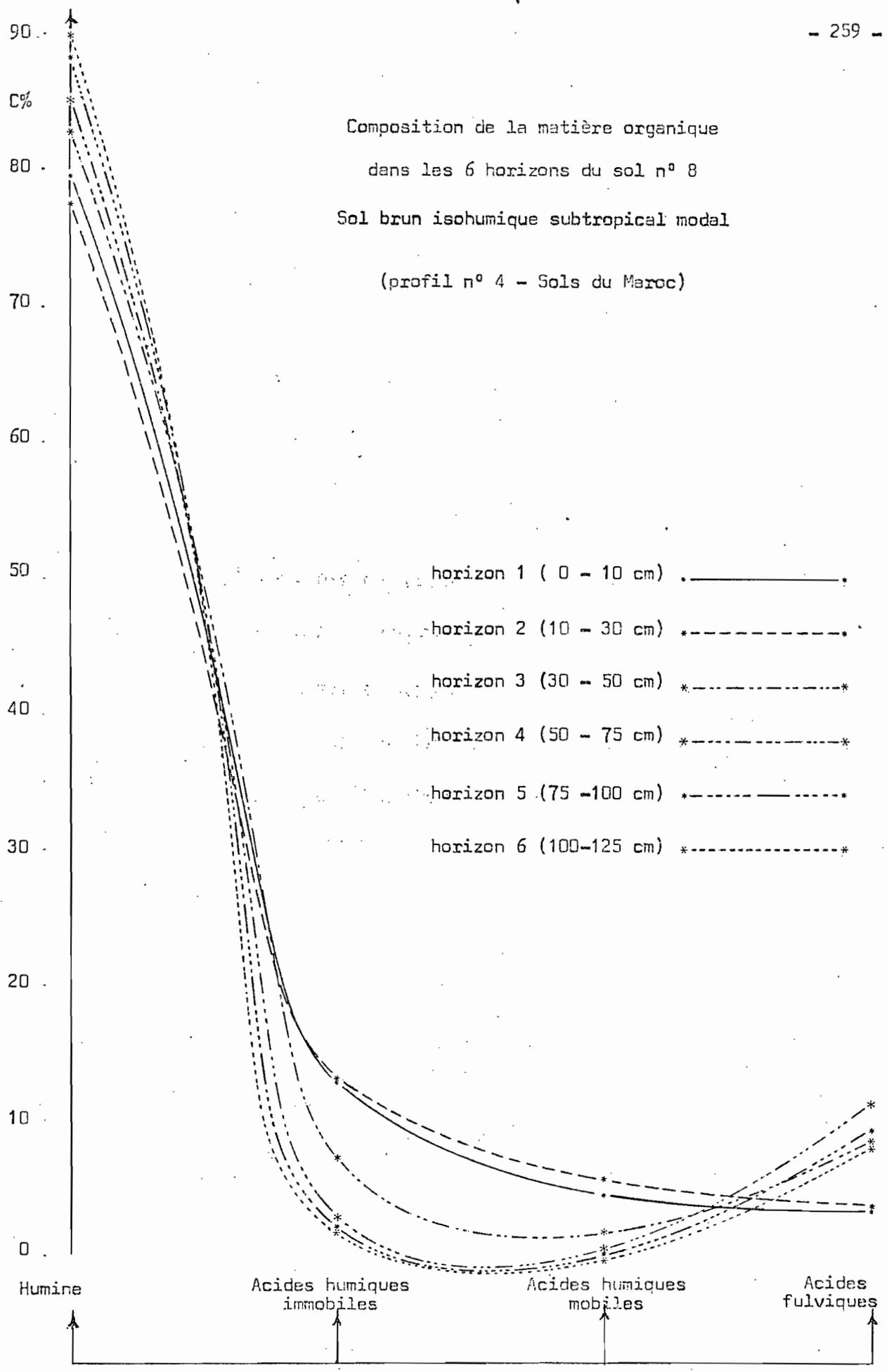
(profil n° 2 - Sols du Maroc)



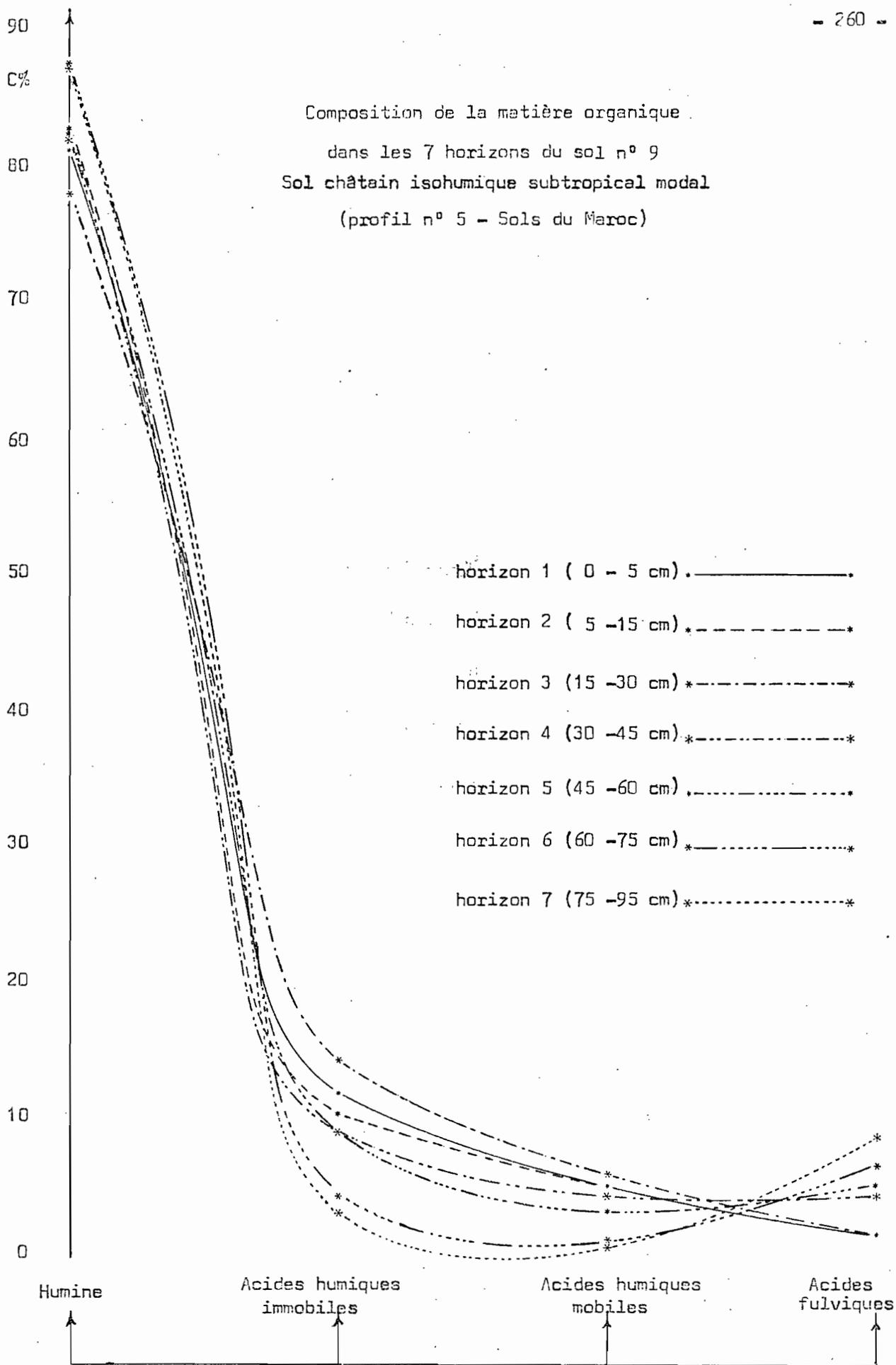
Composition de la matière organique  
dans les 7 horizons du sol n° 7  
Sol brun isohumique subtropical modal  
(profil n° 3 - Sols du Maroc)



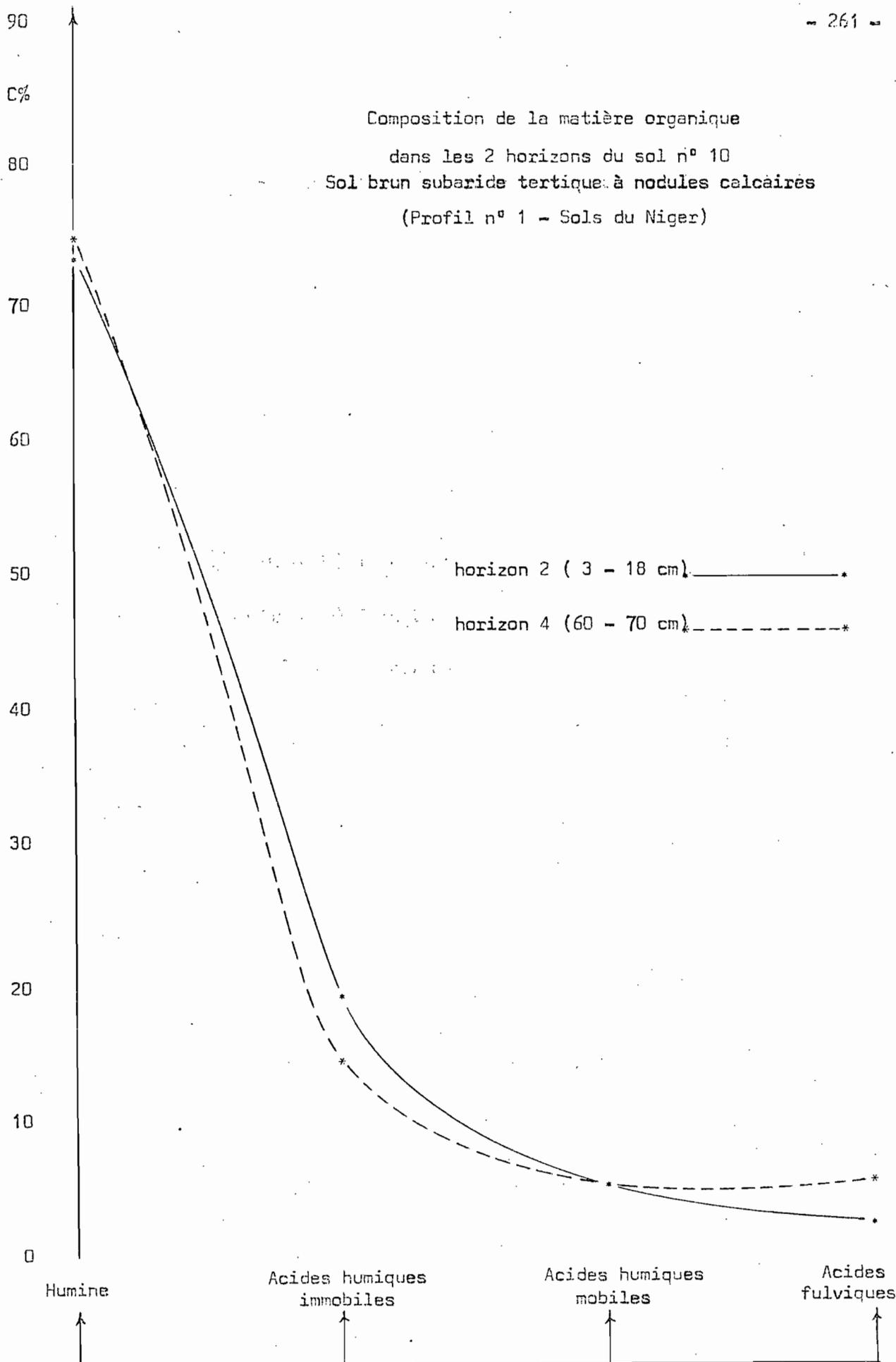
Composition de la matière organique  
dans les 6 horizons du sol n° 8  
Sol brun isohumique subtropical modal  
(profil n° 4 - Sols du Maroc)

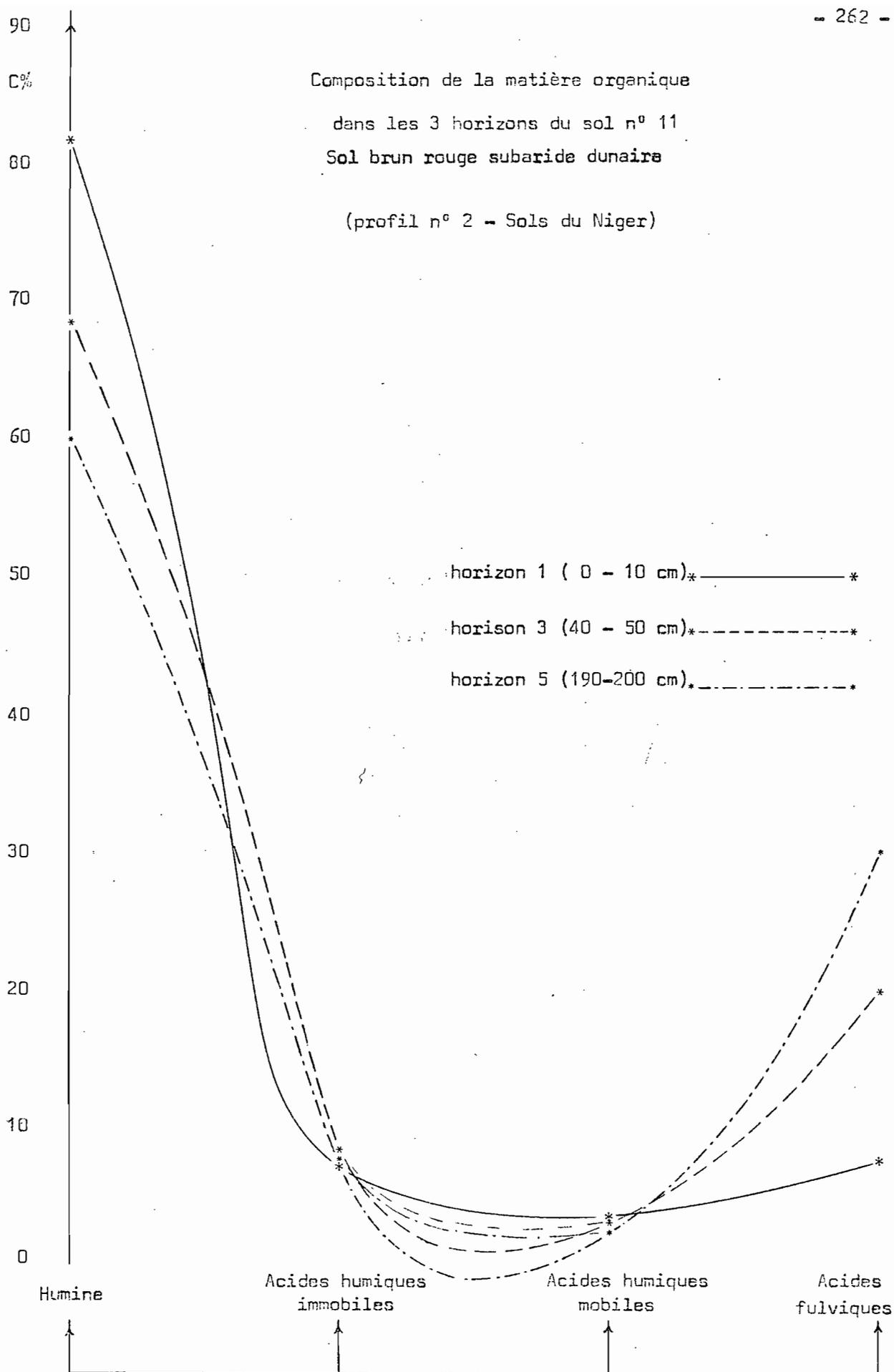


Composition de la matière organique  
dans les 7 horizons du sol n° 9  
Sol châtain isohumique subtropical modal  
(profil n° 5 - Sols du Maroc)

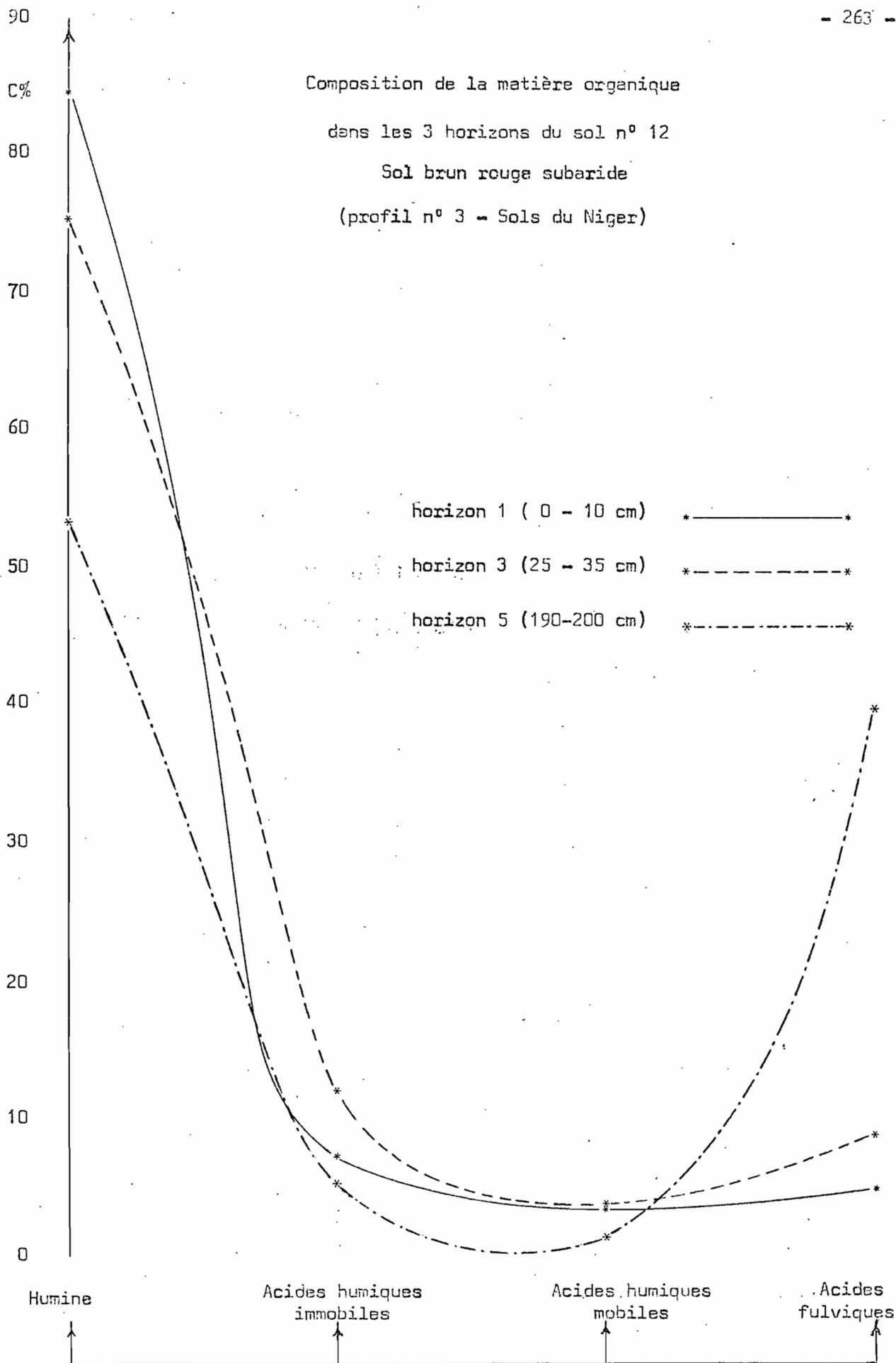


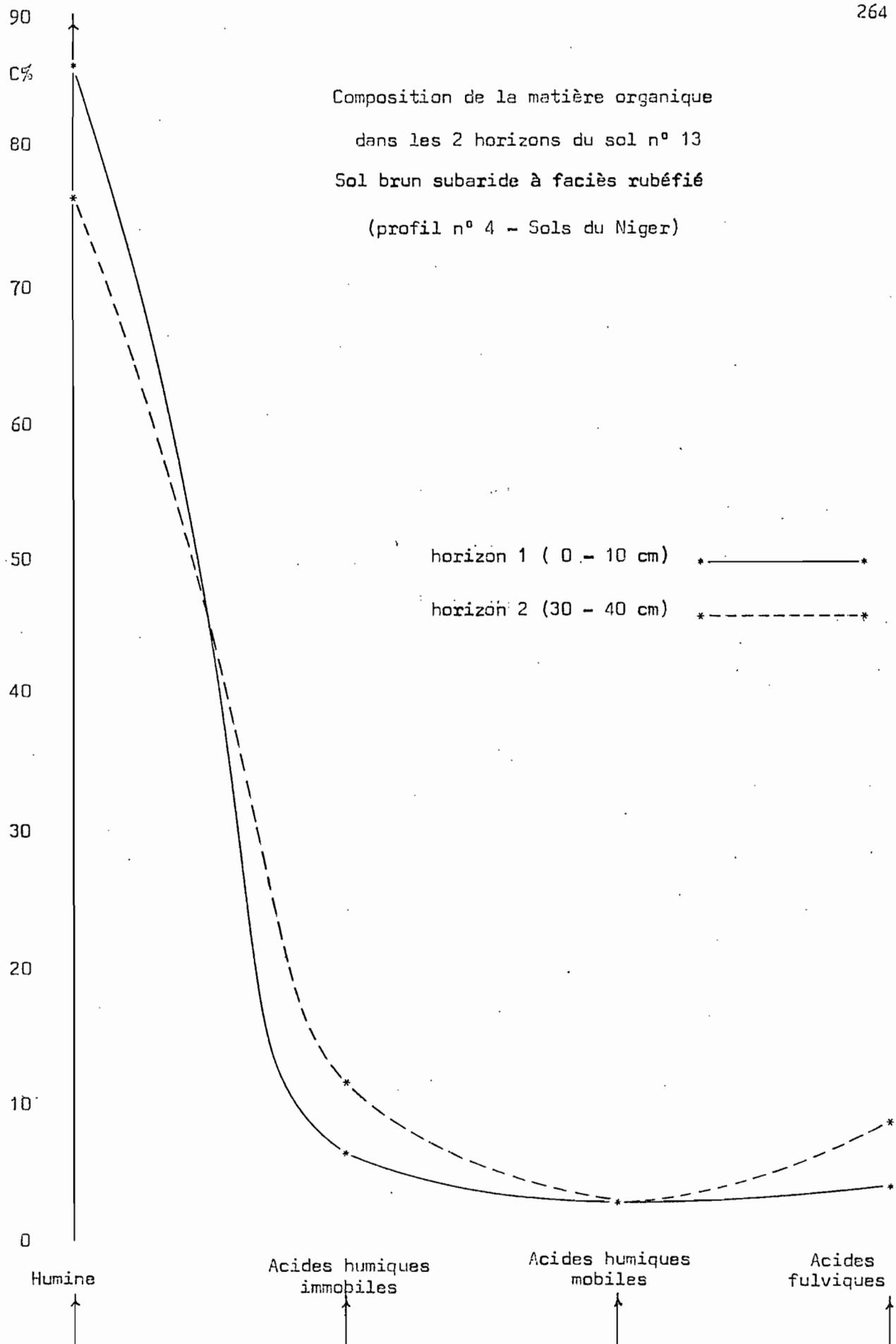
Composition de la matière organique  
dans les 2 horizons du sol n° 10  
Sol brun subaride tertique à nodules calcaires  
(Profil n° 1 - Sols du Niger)



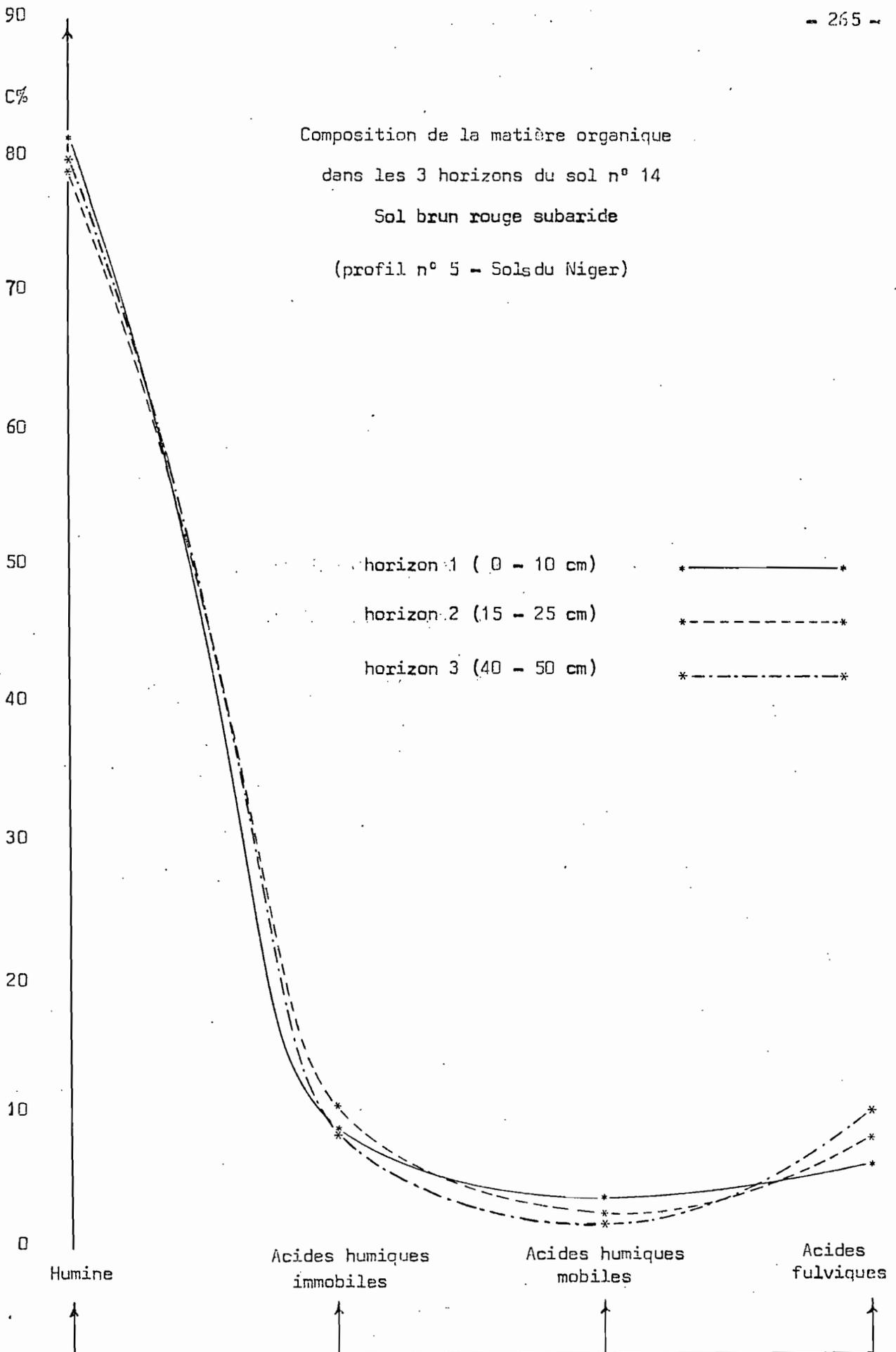


Composition de la matière organique  
dans les 3 horizons du sol n° 12  
Sol brun rouge subaride  
(profil n° 3 - Sols du Niger)

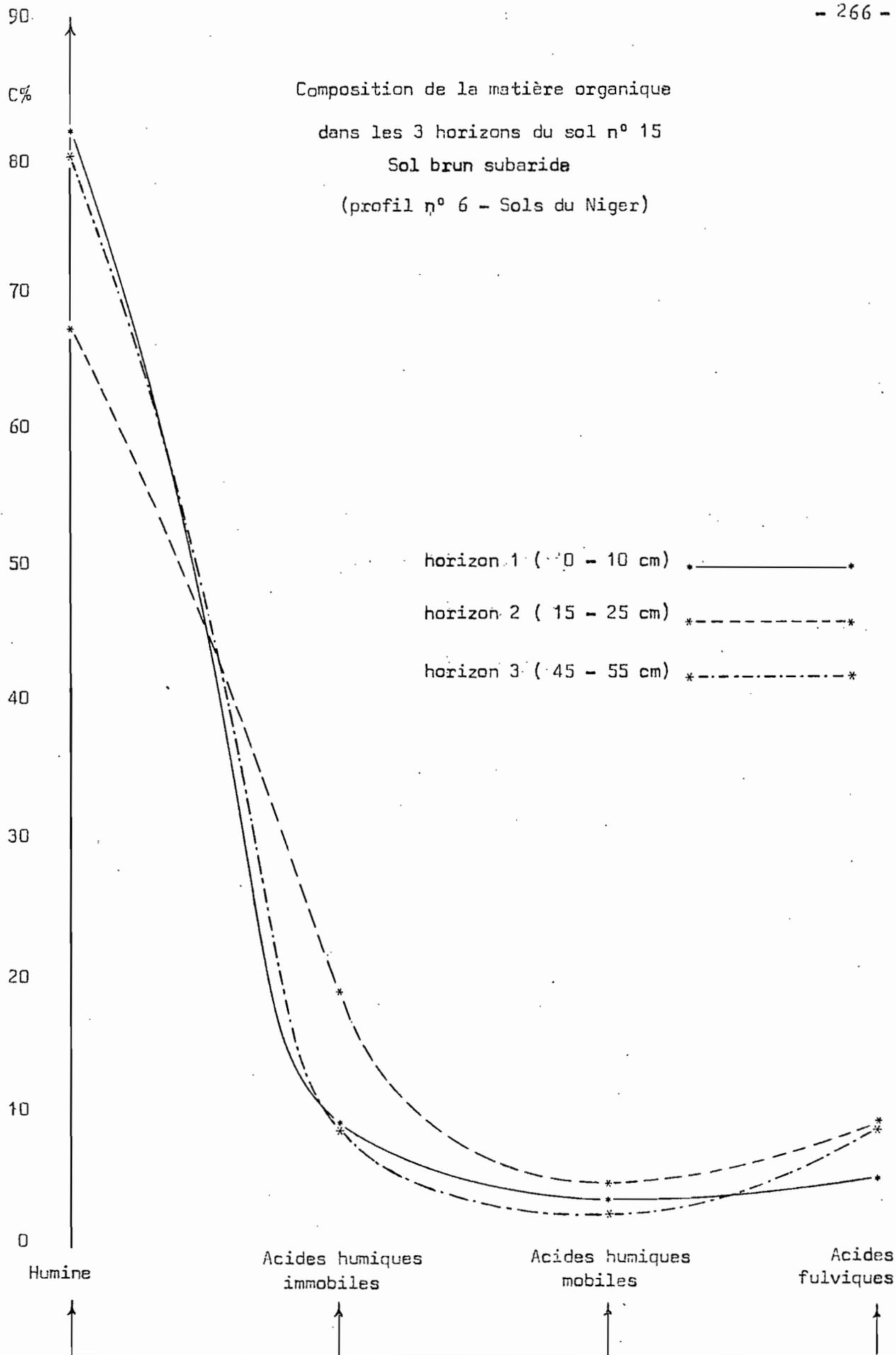




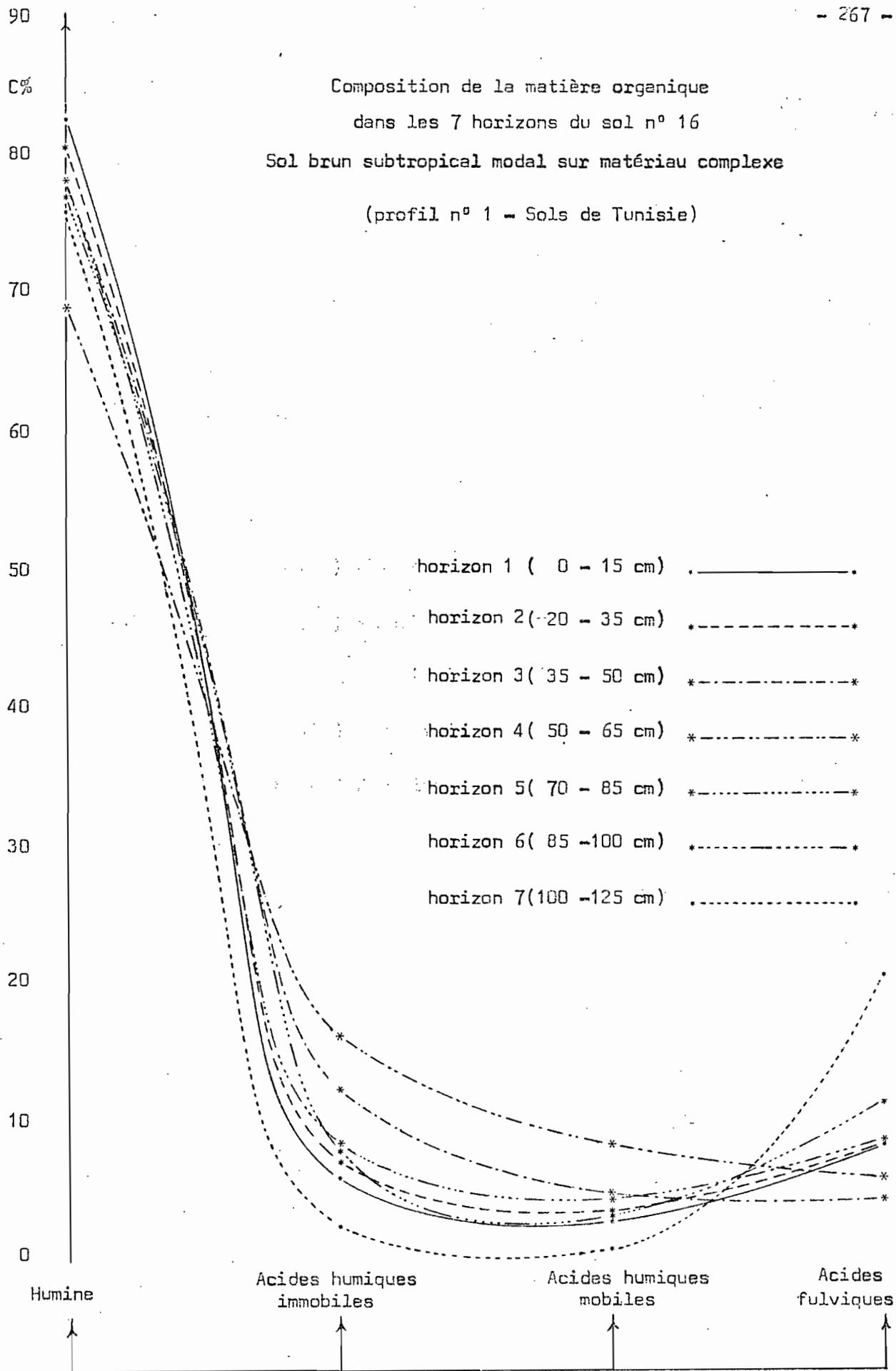
Composition de la matière organique  
dans les 3 horizons du sol n° 14  
Sol brun rouge subaride  
(profil n° 5 - Sols du Niger)



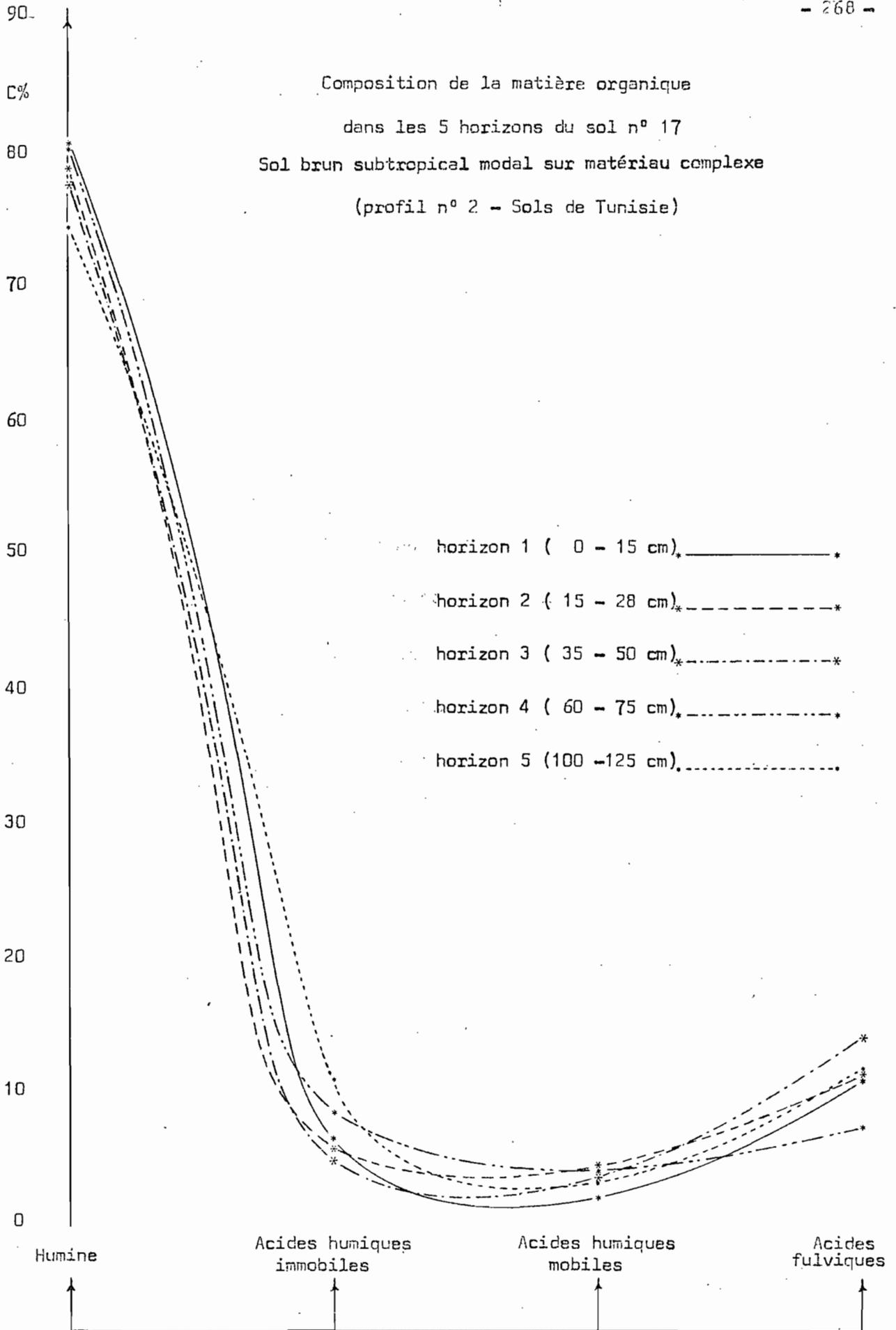
Composition de la matière organique  
dans les 3 horizons du sol n° 15  
Sol brun subaride  
(profil n° 6 - Sols du Niger)



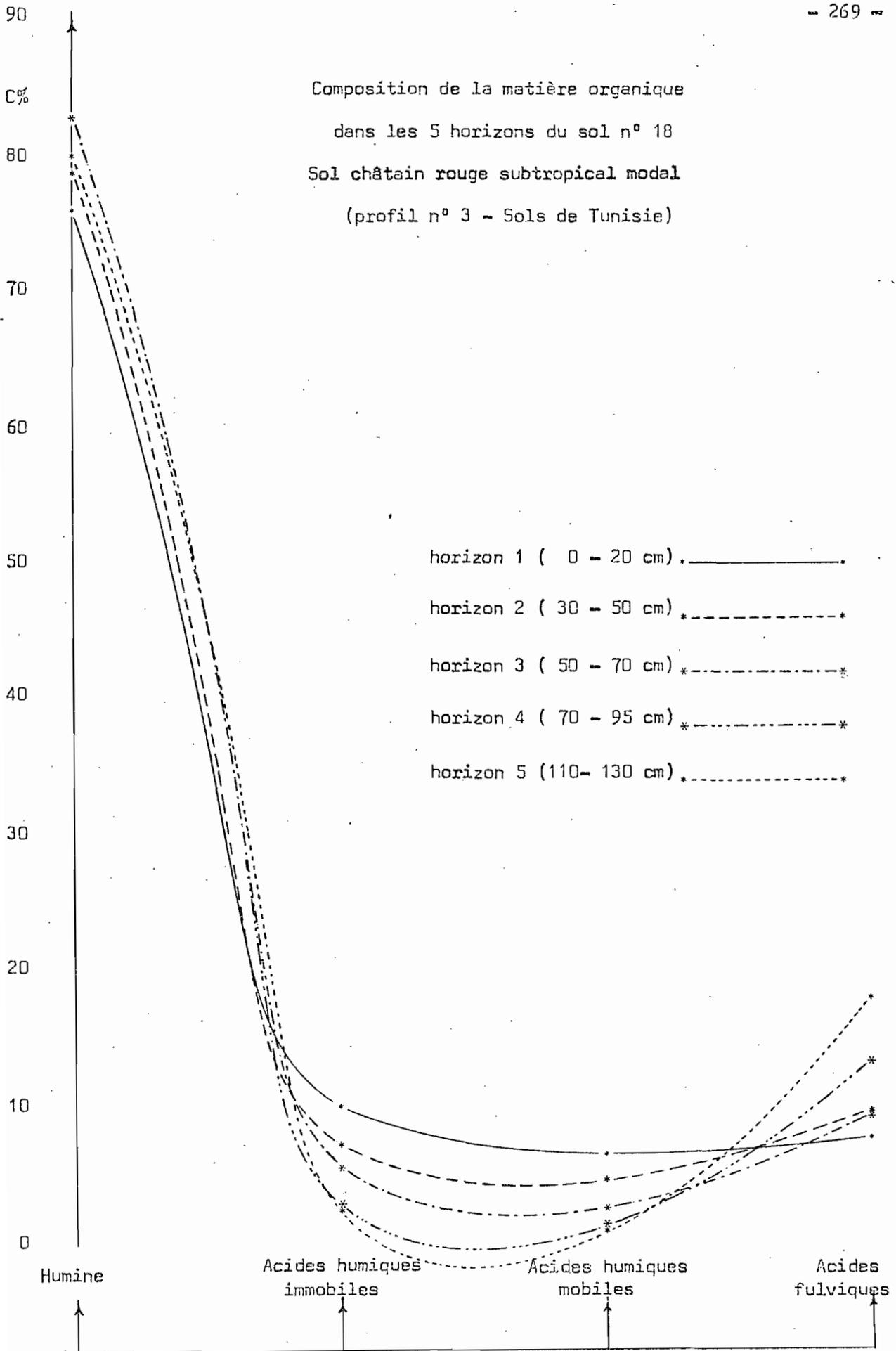
Composition de la matière organique  
dans les 7 horizons du sol n° 16  
Sol brun subtropical modal sur matériau complexe  
(profil n° 1 - Sols de Tunisie)



Composition de la matière organique  
dans les 5 horizons du sol n° 17  
Sol brun subtropical modal sur matériau complexe  
(profil n° 2 - Sols de Tunisie)



Composition de la matière organique  
dans les 5 horizons du sol n° 18  
Sol châtain rouge subtropical modal  
(profil n° 3 - Sols de Tunisie)



Chacune de ces courbes comporte deux parties très dissemblables, l'une reliant humine et acides humiques immobiles, presque verticale, et l'autre reliant les trois autres fractions.

Dans le premier cas, elle est pratiquement horizontale ou descendante ; dans le second, elle est plus incurvée et présente une remontée due à une teneur plus forte des acides fulviques par rapport aux acides humiques mobiles.

Par ailleurs, dans chacun des profils, la seconde partie de la courbe est en général assez semblable dans les horizons de surface et de profondeur, dans les sols non isohumiques ; au contraire, les courbes s'y séparent plus nettement dans les sols isohumiques variant nettement avec la profondeur, et beaucoup moins dans le cas des acides humiques mobiles.

En outre, en comparant les sols bruns isohumiques subtropicaux et les sols bruns subarides, on remarque que la proportion d'acides humiques totaux par rapport au Carbone total est plus élevée dans les premiers (12 à 17%) que dans les seconds (8 à 12%); leur proportion décroît en profondeur dans les premiers et tend à se stabiliser dans les seconds.

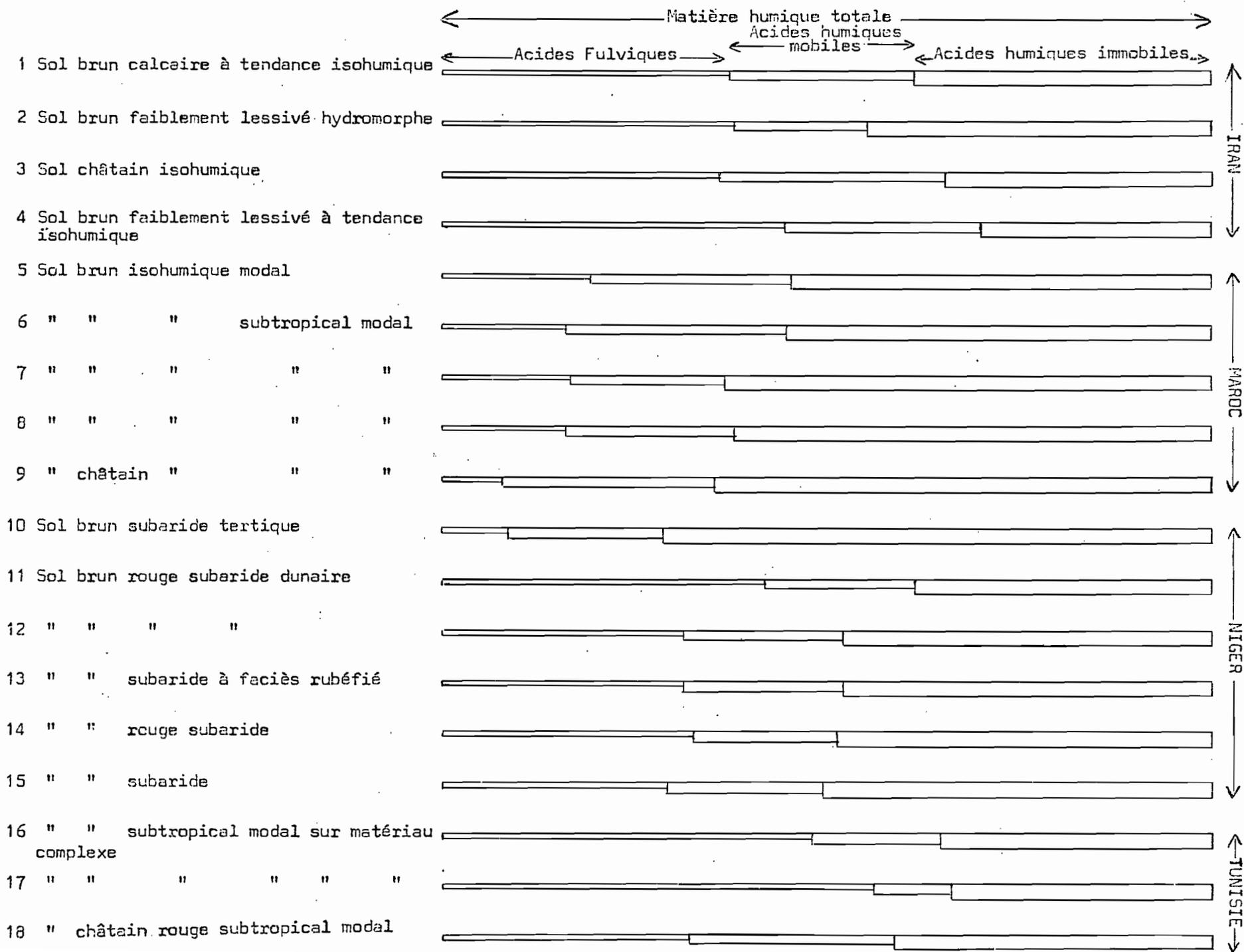
Nous pouvons aussi comparer les divers sols en ce qui concerne le degré de polymérisation de la matière organique de leurs différents horizons et l'intensité de la liaison organo-minérale qu'ils présentent.

Le taux d'extraction de la matière humique est légèrement plus élevé, en surface des sols bruns subtropicaux qu'en surface des sols bruns faiblement lessivés et de certains sols bruns subarides ; le degré de polymérisation y est plus faible. Le taux d'extraction croît lentement dans les sols châtaîns et les sols bruns subtropicaux, jusqu'au niveau d'individualisation du calcaire qui se situe souvent entre les 3ème et 4ème horizons (30 à 60cm) ; puis il diminue, à partir de ce niveau, plus rapidement que sa croissance éventuelle, de façon à ce qu'il se trouve à la base du sol nettement inférieur qu'à la surface. Par ailleurs, nous constatons que, dans la zone décarbonatée de ce groupe de sols bruns subtropicaux, les deux rapports  $AF/AH$  et  $AHM/AHI$  restent très bas et ne varient que très peu ; par conséquent, ce n'est pas le degré de polymérisation qui est en jeu dans cette partie du profil, c'est plutôt la liaison organo-minérale qui s'affaiblit légèrement et s'améliore ensuite lorsque le calcaire commence à s'accumuler. Ce fait ne se réalise pas de la même façon dans les horizons inférieurs des sols bruns subarides étudiés qui sont encore décarbonatés. Le taux d'extraction y croît plus rapidement

en fonction de la profondeur, il se trouve parfois même, en bas de sol, trois fois supérieur à celui de la surface (sol n° 12 par exemple). La liaison organo-minérale diminue donc de plus en plus dans ce groupe de sol ; il en est de même pour le degré de polymérisation, puisque l'augmentation importante du rapport AF/AH accompagne la diminution progressive de celui de AHM/AHI. Les conditions y sont donc de moins en moins favorables à la formation du complexe argilo-humique stable. Enfin, le taux d'extraction est plus faible en surface du sol brun calcaire que dans la plupart des sols isohumiques étudiés. La variation de ce critère dans les horizons inférieurs de ce sol ressemble plutôt à celle des sols bruns subtropicaux qu'à celle des sols bruns subarides.

Dans l'étude qualitative de ces matières organiques, nous pouvons aussi comparer la proportion relative des acides humiques immobiles et mobiles et acides fulviques dans l'humus extrait. Le schéma ci-après montre que cet humus extrait des horizons de surface des sols châtaîns et des sols bruns subtropicaux, est souvent beaucoup plus riche en acides humiques et surtout en acides humiques immobiles que celui des sols bruns subarides et surtout des sols bruns calcaires et bruns faiblement lessivés. Les acides humiques totaux varient de 80 à 90% dans l'humus extrait de surface des premiers groupes de sols alors que dans les derniers, ils n'en constituent plus que 50 à 70%. Cet humus s'enrichit de plus en plus en acides fulviques vers la profondeur dans presque tous les profils étudiés. Cependant, la proportion des acides fulviques n'y dépasse pas celle des acides humiques totaux, dans les horizons inférieurs de sol brun calcaire (elle approche 50% de l'humus extrait), mais elle la dépasse souvent, à la base de la zone décarbonatée, dans ceux des sols bruns faiblement lessivés et des sols bruns subtropicaux. Elle continue à monter jusqu'à une proportion presque inverse à celle de la surface. L'humus extrait dans les sols bruns subarides, s'enrichit en acides fulviques, vers la profondeur, d'une façon intermédiaire entre ces deux cas, c'est-à-dire que, dans les horizons de surface (inférieurs à 50cm) son enrichissement en acides fulviques va, comme dans le cas des sols bruns calcaires, vers la limite de 50% (sols n° 13, 14 et 15 par exemple), et en profondeur (si le sol est profond) il est aussi important qu'à la base des sols bruns faiblement lessivés et des sols bruns subtropicaux (sols n° 11 et 12 par exemple).

La proportion des deux types d'acides humiques mobiles et immobiles, dans le fractionnement électrophorétique et la couleur que ces deux éléments présentent sur la bande d'électrophorèse, ne sont pas non plus négligeables pour la caractérisation de la matière organique d'un sol. Nous y constatons que la proportion des acides humiques



Fractionnement électrophorétique

Sol N° 1

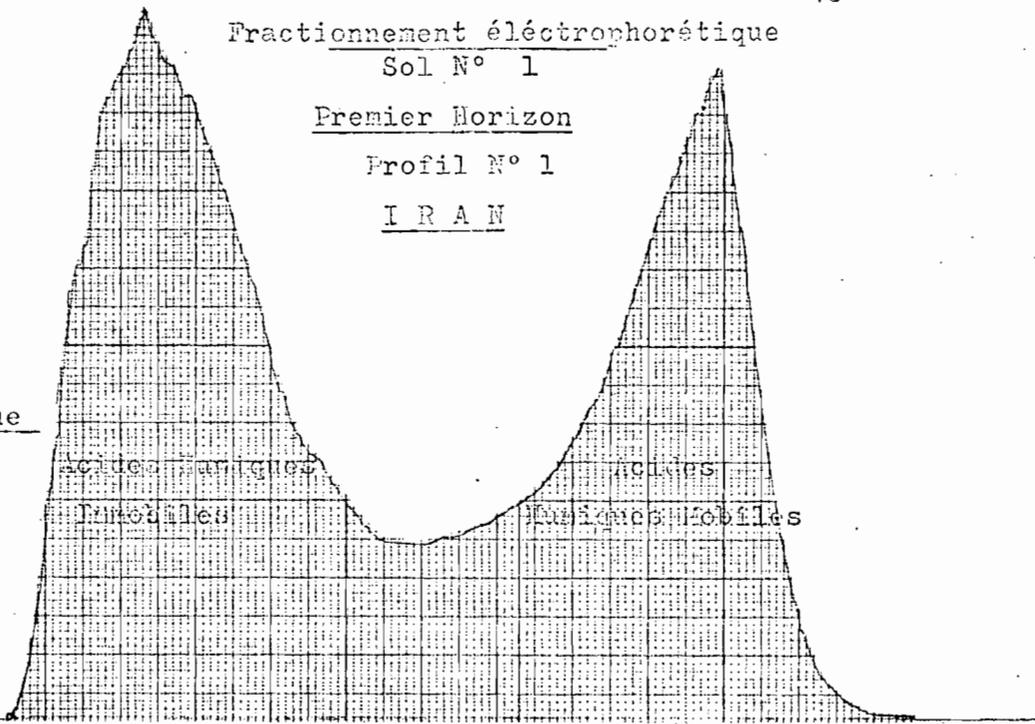
Premier Horizon

Profil N° 1

I R A N

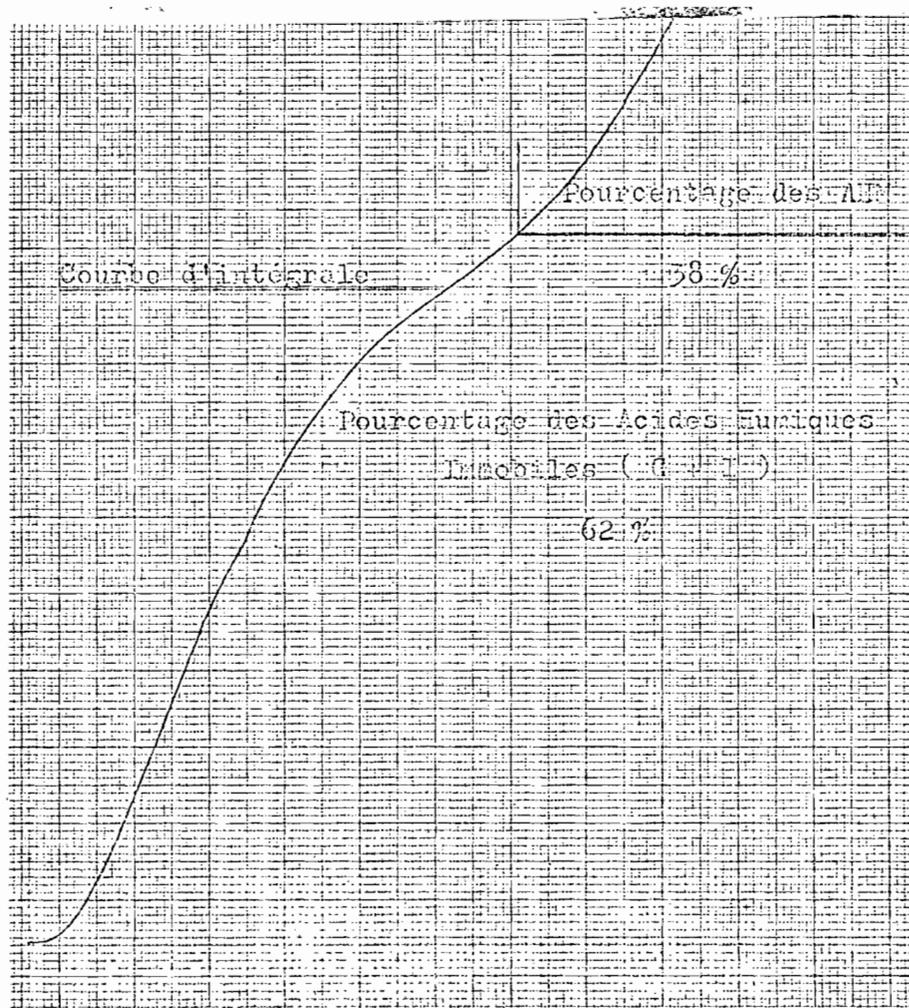
Courbe de la  
densité optique

Ligne de base



644

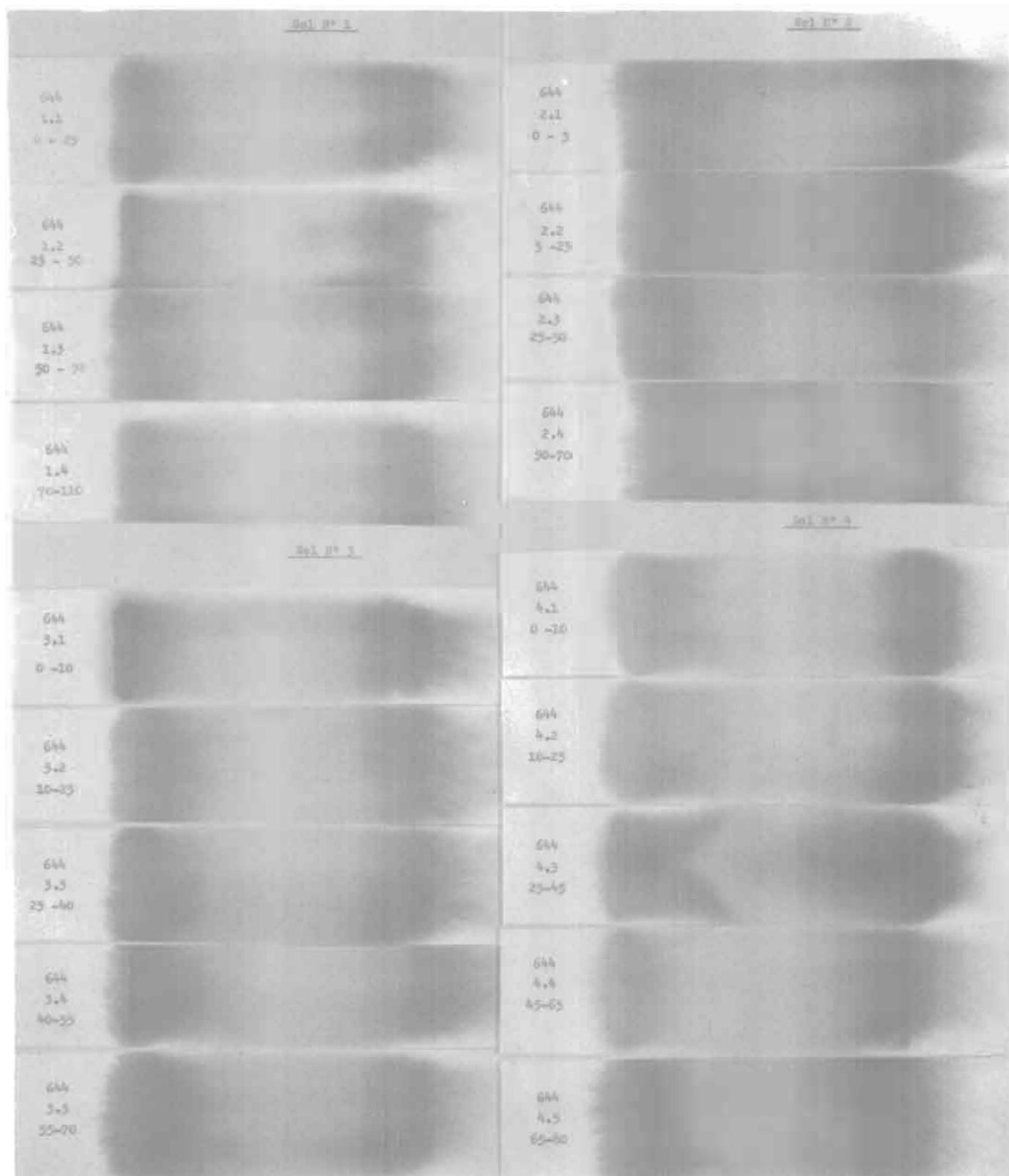
Bande - 1.1  
de  
migration



mobiles (les acides humiques bruns des auteurs allemands) est toujours inférieure à 50% dans les divers échantillons étudiés. Elle décroît normalement et régulièrement dans les profils, en fonction de la profondeur ; ce fait est exceptionnellement inversé dans le cas du sol brun calcaire de l'Iran. La proportion de ces acides organiques est plus forte, dans le fractionnement électrophorétique de ce sol et des sols bruns faiblement lessivés et châtaîns venant de ce pays (souvent proche de la limite de 50% alors qu'elle se situe, dans ces derniers sols, entre 15 et 35%), que dans les autres sols étudiés.

A propos de la couleur de ces deux fractions sur la bande électrophorèse, nous savons que la fraction mobile que l'on appelle pourtant souvent "Acide Humique Brun", n'a pas toujours la couleur brune, de même que la couleur grise de la fraction immobile varie de nuance, selon le sol, de gris clair, gris brunâtre, jusqu'à gris noirâtre. Nous avons observé, au cours des expériences sur l'horizon  $A_{12}$  du sol brun calcaire de Feucherolles (près de Grignon), qu'il présente toujours des couleurs parfaitement grise et brune pour ces deux types d'acides humiques. Nous avons constaté, ensuite, qu'il n'en n'est pas de même dans les horizons de sol isohumique et même dans ceux des sols qui s'en rapprochent quelque peu (sols d'Iran), par exemple dans les horizons du sol brun calcaire à tendance isohumique de l'Iran, les acides immobiles sont gris nettement brunâtres et les acides mobiles d'un brun plus foncé ; ces derniers prennent une teinte brune légèrement grisâtre, dans le sol châtain et dans les sols bruns faiblement lessivés de ce pays, quand ils sont riches en fer et en magnésium ; ils sont bruns rougeâtres quand il ne s'agit que de richesse en fer.

QUELQUES BANDES D'ELECTROPHORESE  
DANS LES DIVERS HORIZONS DES SOLS ETUDIES.



<u>Set # 1</u>		<u>Set # 2</u>	
650		650	
1.1		5.1	
650		650	
3.2		5.2	
<u>Set # 3</u>		650	
650		5.3	
3.1		650	
		5.4	
650		650	
3.2		5.5	
650		650	
3.3		5.6	
650		650	
3.4		5.7	

<u>Set # 10</u>		<u>Set # 11</u>	
660		660	
1.1		6.1	
660		660	
1.4		6.2	
<u>Set # 12</u>		660	
		6.3	
647		<u>Set # 13</u>	
1.1			
647		647	
1.2		2.1	
647		647	
1.3		2.2	
647		647	
1.4		2.3	
647		647	
1.5		2.4	

### Conclusion de l'étude qualitative

La matière organique est un élément très complexe ; l'étude globale de son évolution risque donc d'être très limitée ou hasardeuse.

Il nous a paru plus objectif d'envisager les différentes fractions, plus ou moins complètement connues, que l'on peut y distinguer par les diverses méthodes d'extraction. La mise en évidence de leurs modifications d'un horizon à l'autre doit nous renseigner sur l'évolution de toute la matière organique dans l'ensemble du profil.

Les formules que nous avons utilisées dans la comparaison des matières organiques des divers horizons de chaque sol, en exprimant leur dépolymérisation ou polymérisation de l'un à l'autre, permettent de faire ressortir la tendance de cette matière organique à se stabiliser ou au contraire à se prêter au processus de diminution dans tout ou partie de chaque profil. Ainsi, la formule  $S_{13}S_{23}S_{33}$  par exemple, signale que les conditions ne sont pas favorables à la formation du complexe argilo-humique stable, et que la dépolymérisation facilite la minéralisation des composés humiques ou à leur transformation en produits plus labiles. Le stock organique s'épuise alors de plus en plus si son alimentation, soit par des racines mortes, soit par des engrais verts ou par le dépôt de débris végétaux ou animaux à la surface du sol, n'est pas suffisante et régulière. Par contre, la formule  $S_{11}S_{21}S_{31}$  indique une bonne stabilisation du complexe argilo-humique ; la polymérisation dominante des produits organiques favorise une meilleure liaison organo-minérale.

L'intensité d'évolution présente également une très grande importance ; elle peut être estimée soit, d'après l'allure des graphiques correspondants, soit d'après la variation des constituants organiques dans la composition totale. Nous constatons que la différence d'appauvrissement, à une profondeur approximativement identique de deux sols possédant la même formule d'évolution, est d'autant plus accentuée que la différence d'intensité de leur évolution est plus grande. Par exemple, les sols n° 8 et n° 15 qui ont la formule  $S_{13}S_{23}S_{33}$  dans les 25 premiers centimètres, mais une intensité d'évolution incomparablement plus grande dans le second sol, montrent respectivement 5 et 66% de diminution de teneur en carbone organique total dans cette même épaisseur (de 1,15% C de terre sèche, à 1,09 dans le premier sol et de 0,62 à 0,21 dans le second). Ce phénomène est observable, même pour une faible différence d'intensité, quelle que soit la richesse organique de surface ; par exemple, les sols n° 12 et 13 ayant toujours la formule  $S_{13}S_{23}S_{33}$ , s'appauvrissent respectivement de 57 et de 67% en carbone organique, dans les 35 premiers centimètres.

tres. Le second sol s'appauvrit de 10% de plus, pour une intensité d'évolution légèrement plus grande alors qu'il est 2,5 fois plus riche, en carbone organique total à sa surface (0,19% contre 0,49% dans le second). Le sens et l'intensité de l'évolution organique peuvent varier, une ou plusieurs fois, le long d'un profil de sol selon le changement des conditions physico-chimiques et biologiques. Ainsi, dans le sol n° 4 (sol brun calcaire à tendance isohumique), on observe un seul changement de sens d'évolution à mi-profondeur (25 à 35cm), et dans le sol n° 9 (sol châtain isohumique), plusieurs changements au contraire apparaissent. La formule  $S_{13}S_{22}S_{33}$ , dans la première moitié du premier sol exprime une évolution vers un appauvrissement du sol en matière organique. La formule  $S_{11}S_{22}S_{31}$  remplace la précédente dans la seconde partie de ce profil indiquant le changement de sens de l'évolution vers une stabilisation de la matière organique.

En reprenant la totalité de nos résultats sur ce sujet, nous avons réalisé, à partir du système d'interprétation symbolique, trois tableaux comparatifs de l'évolution qualitative de la matière organique des sols étudiés :

- le premier correspond à tous les sols étudiés qu'ils soient de la classe isohumique ou qu'ils soient rattachés à une autre classe, tout en présentant une certaine tendance vers l'isohumique;
- les deux autres correspondent aux sols des deux groupes isohumiques principalement envisagés dans ce travail : sols bruns subtropicaux et sols bruns subarides.

Tableau comparatif de l'évolution qualitative de la matière organique  
entre horizons successifs des sols étudiés

Type d'évolution	polymérisation		état d'équilibre		dépolymérisation	
	Indice					
Stade de transfor- mation	1		2		3	
	Symbolique	Effectifs observés Cas étudiés	Symbolique	Effectifs observés Cas étudiés	Symbolique	Effectifs observés Cas étudiés
H-AHI	1	$S_{11}$ 31/64	$S_{12}$	1/64	$S_{13}$	32/64
AHI-AHM	2	$S_{21}$ 12/64	$S_{22}$	14/64	$S_{23}$	38/64
AHM-AF	3	$S_{31}$ 10/64	$S_{32}$	5/64	$S_{33}$	49/64
Total		53 / 192		20 / 192		119 / 192

Tableau comparatif de l'évolution organique entre horizons successifs  
des sols bruns subtropicaux-Sols n° 5,6,7 et 8 (Maroc)

Type d'évolution	polymérisation			état d'équilibre			dépolymérisation				
	Stade de transfor- mation	Indice	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés
H-AHI	1	S <sub>11</sub>	14/21	S <sub>12</sub>	0	S <sub>13</sub>	7/21				
AHI-AHM	2	S <sub>21</sub>	5/21	S <sub>22</sub>	3/21	S <sub>23</sub>	13/21				
AHM-AF	3	S <sub>31</sub>	3/21	S <sub>32</sub>	3/21	S <sub>33</sub>	15/21				
Total			22 / 63		6 / 63		35 / 63				

Tableau comparatif de l'évolution organique entre horizons successifs  
des sols bruns subarides-Sols n° 10 à 15 (Niger)

Type d'évolution	polymérisation			état d'équilibre			dépolymérisation				
	Stade de transfor- mation	Indice	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés	Symbole	Effectifs observés	Cas étudiés
H-AHI	1	S <sub>11</sub>	3/10	S <sub>12</sub>	0	S <sub>13</sub>	7/10				
AHI-AHM	2	S <sub>21</sub>	1/10	S <sub>22</sub>	1/10	S <sub>23</sub>	8/10				
AHM-AF	3	S <sub>31</sub>	1/10	S <sub>32</sub>	0	S <sub>33</sub>	9/10				
Total			5 / 30		1 / 30		24 / 30				

L'étude de ces trois tableaux et des graphiques correspondants fait ressortir les points suivants :

a) Dans l'ensemble des sols étudiés, isohumiques ou à tendance isohumique :

Nous constatons que les cas de dépolymérisation de l'humine en acides humiques immobiles sont en pratique, aussi nombreux que ceux inverses, de polymérisation des acides humiques immobiles en humine (32 cas contre 31). Le premier phénomène est plus fréquent en surface (18 cas sur 32 de 0 à 20cm), mais il est plus intense en profondeur (surtout dans le cas des sols bruns subarides). Le second phénomène se produit essentiellement, à faible profondeur (20 à 50cm) ou à la surface (seulement 10 cas sur 31 au-delà de 50cm).

L'évolution entre les deux formes d'acides humiques est dominée par le processus de dépolymérisation (38/64). Mais les acides humiques immobiles se dépolymérisent en acides mobiles dans 20/38 cas en surface des sols étudiés. Le nombre des cas d'état d'équilibre entre ces deux types d'acides humiques est cependant beaucoup plus nombreux que celui entre humine et les acides immobiles (14 contre 1 sur 64 cas). Les cas d'équilibre entre les deux types d'acides humiques se produisent surtout en surface ou à faible profondeur (3/14 seulement au-delà de 70cm). Il en est de même pour le processus de polymérisation entre ces deux fractions (1/12 au-delà de 70 et 8/12 en surface).

La dépolymérisation des acides humiques mobiles l'emporte dans plus de 3 cas sur 4. Mais dans la moitié des cas, elle se produit en surface des sols étudiés (24/49). Le phénomène inverse de polymérisation des acides fulviques en acides humiques mobiles n'apparaît que dans quelques cas et surtout à faible profondeur (6/10 cas de 20 à 50cm).

En somme, malgré la prédominance des cas où l'évolution de la matière organique, d'un horizon au suivant, se traduit par un processus de dépolymérisation, due souvent d'ailleurs à la transformation ultime des acides humiques mobiles en acides fulviques, le nombre encore important des cas d'équilibre et surtout de polymérisation, principalement en humine, souligne la relative stabilité du complexe argilo-humique de ces sols.

Dans l'ensemble des trois stades de transformation, le nombre total des cas de polymérisation, à faible profondeur (20 à 50cm), est voisin de celui de dépolymérisation (21 contre 22 cas). Cependant presque la moitié de ces cas, dans les deux processus, consiste en transformation des deux types d'acides humiques, respectivement, en humine

et en acides fulviques (11/21 cas dans le premier phénomène et 10/22 dans le second). En conséquence, l'activité biologique, assez élevée d'ailleurs à ce niveau du profil, s'oriente dans un nombre de cas identique vers la polymérisation des acides humiques immobiles en humine et la dépolymérisation des acides humiques mobiles en acides fulviques, alors que le nombre total d'états d'équilibre s'observe uniquement entre les deux types d'acides humiques (5 cas sur 5). C'est également à ce niveau du profil que les acides fulviques se condensent en acides humiques mobiles dans un nombre relativement élevé des cas (6/10 cas).

L'évolution de la matière organique ne se manifeste pas ainsi à la surface des sols étudiés (0 à 20cm). Les nombres totaux des cas de dépolymérisation augmentent de 45,8 à 71,2% et ceux d'état d'équilibre de 10,9 à 11,5% (respectivement  $\frac{22 \text{ et } 5}{48 \text{ cas}}$  contre  $\frac{62 \text{ et } 10}{87 \text{ cas}}$ ) alors que le pourcentage du nombre total de polymérisation est nettement inférieur (43,8 contre 17%). Cependant 2/3 des cas de ce dernier phénomène consiste en transformation des acides humiques immobiles en humine (10/15 cas) et seulement la moitié des cas d'équilibre se situe entre les deux types d'acides humiques, mais le nombre élevé de dépolymérisation se partage en portion presque identique entre les trois stades (18 au premier, 20 au second et 24 au troisième stade). Par conséquent à la surface des sols étudiés, le processus de dépolymérisation l'emporte largement sur les deux autres phénomènes dans les trois stades de transformation ; le rapport entre le nombre de dépolymérisation observé et celui de polymérisation croît considérablement allant du premier au troisième stade (18/10, 20/4 et 24/1).

L'évolution de la matière organique à la base de ces sols (supérieur à 70cm) a la même allure qu'en surface, mais à un degré moindre. Le nombre des cas de dépolymérisation est trois fois plus grand que celui de polymérisation (18 contre 6). Il est partagé d'une façon relativement homogène dans les 3 stades (5, 6 et 7 du premier au troisième stade), alors que les 2/3 de nombre total de cas de polymérisation consiste en une transformation des acides humiques immobiles en humine et 3/4 de l'ensemble des cas d'équilibre se situe au deuxième stade. Le rapport entre les nombres totaux des deux processus opposés n'est pas aussi élevé qu'en surface au premier et surtout au troisième stade (5/4 et 7/1 contre 18/10 et 24/1).

b) Dans les deux groupes de sols principalement étudiés :

Sols bruns subtropicaux

D'après le deuxième tableau, les sols de ce groupe diffèrent des autres par un nombre de cas de dépolymérisation de l'humine en acides humiques immobiles deux fois plus faible que celui inverse, de polymérisation des acides humiques immobiles en humine (7 contre 14). L'humine résiste donc davantage à la dépolymérisation dans ce groupe que dans le cas général des sols étudiés (14/21 dans le deuxième tableau contre 31/64 dans le premier) ; 6 sur 7 cas de dépolymérisation de l'humine en acides humiques immobiles se trouvent en surface (0 à 20cm). Ce phénomène ne se produit pas au-delà de 35cm. Par contre, les cas de polymérisation des acides humiques immobiles en humine, à faible profondeur (20 à 50cm) et à la base des profils (supérieure à 70cm) sont les plus fréquents (respectivement 6 et 4 sur 14 cas).

Dans l'ensemble des trois stades de transformation, le nombre total des cas de polymérisation (22) est réparti d'une façon assez homogène le long des profils de ces sols (6, 6, 4 et encore 6 cas dans les profondeurs respectives de 0-20, 20-50, 50-70 et supérieures à 70 cm). Mais à peu près 50% des cas totaux de dépolymérisation (18/35) se produisent en surface (0-20cm) et 30% à faible profondeur (11/35). Ce phénomène est en effet rarement observé en profondeur (4/35).

Par conséquent, la matière organique dans ce groupe de sol se stabilise de plus en plus vers la profondeur. Le nombre total des cas de polymérisation, dans les divers stades de transformation est plus élevé dans ces sols que dans l'ensemble des sols étudiés (22/63 contre 53/192). Le résultat est inverse dans le cas de dépolymérisation (35/63 contre 119/192).  
<sup>35%</sup> (22/63) contre <sup>27,6%</sup> (53/192).  
<sup>55,5%</sup> (35/63) contre <sup>62%</sup> (119/192).

Sols bruns subarides

Le troisième tableau montre que les sols de ce groupe diffèrent de l'ensemble des sols étudiés (premier tableau), contrairement au groupe précédent, par une instabilité plus grande de l'humine. Le nombre des cas de dépolymérisation de celle-ci en acides humiques immobiles est plus de deux fois plus élevé que celui inverse, de polymérisation des acides humiques immobiles en humine (7 contre 3). Du fait de l'absence de cas d'équilibre entre ces deux éléments ainsi que du seul des rares cas observé de polymérisation des acides humiques mobiles en acides immobiles (1/10), et de la rareté de leur état d'équilibre on peut se demander si, dans les sols de ce groupe l'humine

ne se dépolymériserait pas directement en acides fulviques. Par ailleurs, nous constatons que, comme dans le cas général (premier tableau), 50% des cas de polymérisation à faible profondeur (20 à 50cm) consiste toujours en transformation des acides humiques immobiles en humine et que le processus inverse ne se produit pas à ce niveau de ces sols. L'humine se dépolymérise surtout en surface et à la base de ces sols, et aucun produit humique ne se polymérise au-delà de 45cm. Au total, l'activité biologique est favorable au processus de dépolymérisation en surface et en profondeur de ces sols (17/24 et 5/24).

Sous l'aspect comparatif, nous avons constaté :

- une légère supériorité du rapport C/N dans les sols bruns subarides.
- une proportion toujours très élevée de l'humine à la surface des sols étudiés, qui ne subit une variation importante, en profondeur, que dans les sols presque totalement décarbonatés (la plupart des sols bruns subarides).
- une richesse plus élevée en acides humiques totaux dans les sols bruns subtropicaux par rapport aux sols bruns subarides.
- une dominance des acides humiques immobiles sur les acides humiques mobiles dans tous les horizons des sols étudiés.
- une proportion des acides humiques totaux supérieure à celle des acides fulviques, dans la partie plus ou moins décarbonatée, et inférieure à celle-ci, dans la zone d'accumulation calcaire.

Enfin, les proportions des divers éléments constitutifs (C de chaque fraction en % du Carbone total) de la matière organique : humine (4), acides humiques immobiles (3), acides humiques mobiles (2), acides fulviques (1) ne se sont ordonnées dans l'ensemble de nos échantillons que suivant les trois arrangements : 4 3 2 1 - 4 3 1 2 - 4 1 3 2 ; seule la proportion des acides fulviques se modifie par rapport aux trois autres valeurs dont l'ordre est inchangé.

Nous constatons également que :

- le degré de polymérisation, médiocre en profondeur dans les sols bruns subarides, est en général, assez élevé dans les autres sols.

- les conditions sont de moins en moins favorables à la formation du complexe argilo-humique, dans les horizons profonds des sols bruns subarides, à l'inverse des sols incomplètement décarbonatés.
- l'humus extrait des sols du Maroc (sols isohumiques subtropicaux) est généralement plus riche en acides humiques immobiles que celui des autres sols.
- le fractionnement électrophorétique montre une proportion plus élevée des acides humiques mobiles, dans les sols d'Iran (sols divers à tendance isohumique), que dans les autres sols.
- la proportion de ces acides décroît dans le fractionnement électrophorétique de tous les sols et croît dans celui de sols brun calcaire à tendance isohumique de l'Iran.
- la couleur des deux types d'acides humiques sur la bande d'électrophorèse des sols isohumiques est assez caractéristique par rapport à celle du sol brun calcaire proprement dit ( $A_{12}$  de Feucherolles près de Grignon).

## CHAPITRE IV

### Etude quantitative de la matière organique

#### Introduction :

Du fait que les sources d'alimentation en matière organique du sol et les raisons de sa destruction sont multiples, sa quantité est fortement variable d'un sol à l'autre de telle sorte que, malgré son importance considérable dans l'évolution biologique du milieu en général, et dans l'amélioration des conditions physico-chimiques du sol en particulier, l'on n'a jamais pu donner une échelle précise et comparativement significative de sa teneur dans un groupe de sol. Cependant, son mode de décroissance dans le profil du sol apparaît comme assez significatif. Aussi l'étude de sa répartition ou "profil organique" présente-elle un réel intérêt. Par exemple quand elle prend une allure lentement et régulièrement décroissante (avec parfois une certaine discontinuité) elle caractérise, à côté des autres critères pédogénétiques, les groupes de sols de la classe isohumique.

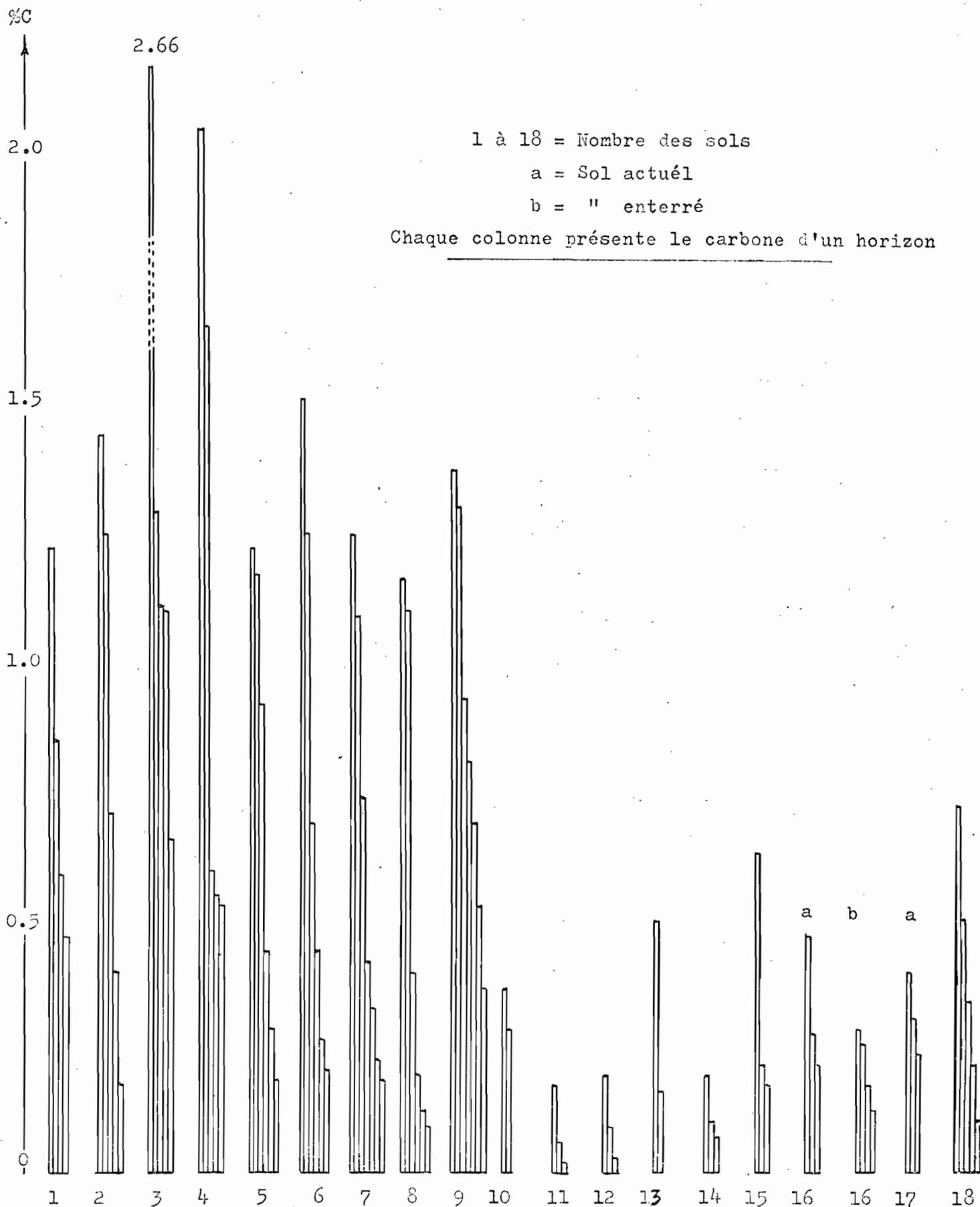
Nous comparerons d'abord les quantités de la matière organique dans les divers sols étudiés et nous constaterons ensuite l'allure de sa répartition.

#### Comparaison de la richesse organique dans les sols étudiés :

Nous avons réalisé, à cet égard, le schéma ci-après, qui nous révèle les points suivants :

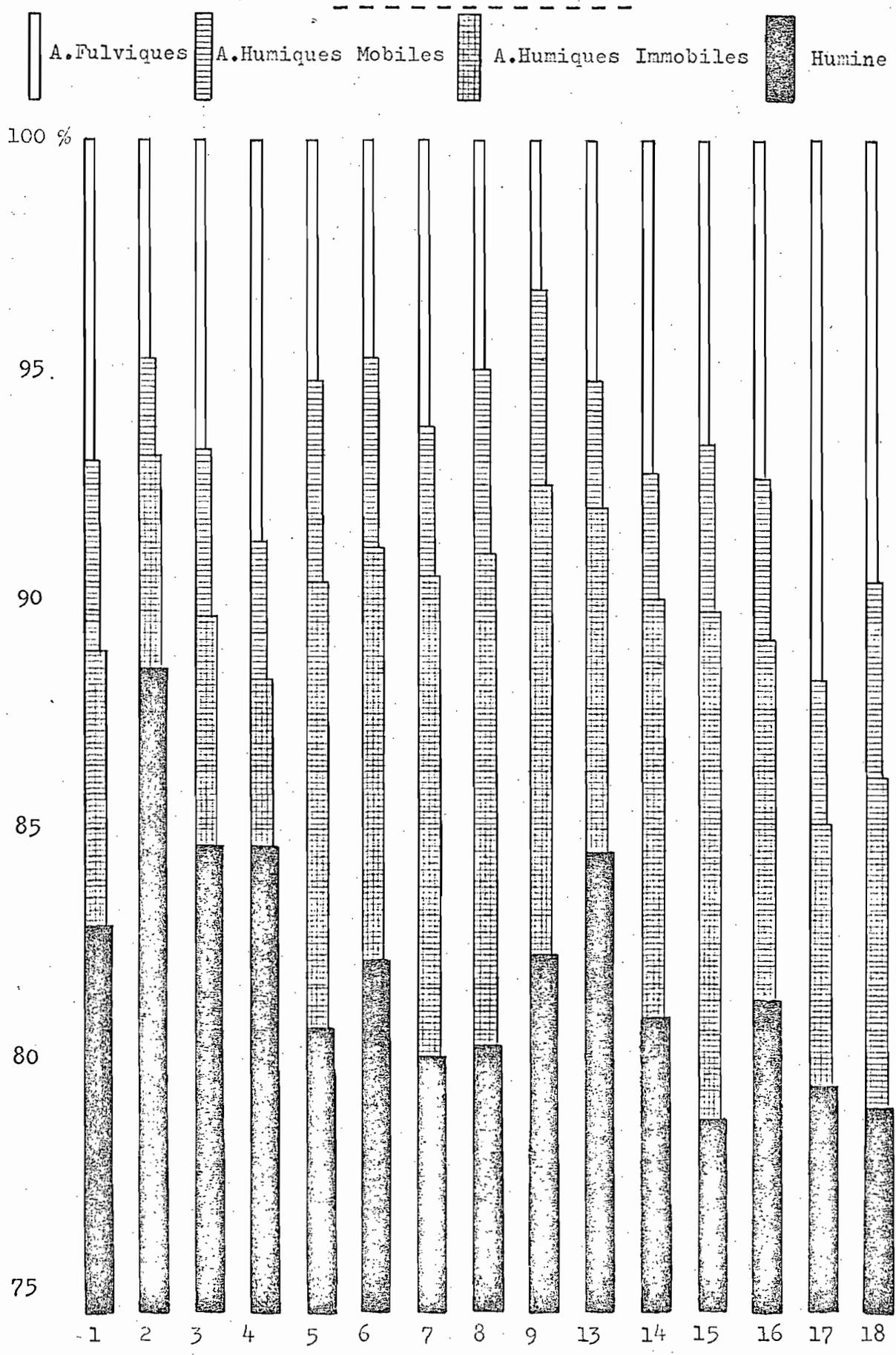
- la richesse organique des sols étudiés les partage nettement en deux types :
  - les sols moyennement organiques (2.66 à 1.15% C) ;
  - les sols faiblement organiques (0.71 à 0.17% C).
- les sols d'Iran et du Maroc (sols n° 1 à 9) sont du premier type et ont donc une supériorité incontestable par rapport aux sols du Niger et de Tunisie (sols n° 10 à 18), qui sont du second.
- parmi les sols moyennement organiques, deux sols d'Iran (n° 3 et 4) sont plus riches que les autres dans les 15 premiers cm. La richesse organique est approximativement identique à la surface des autres sols de ce type.
- les plus pauvres dans le second type sont les sols n° 11, 12 et 14 du Niger (0.17 à 0.19% C) et le plus riche parmi eux est le sol n° 18 (0.71% C) :

Comparaison de la richesse organique exprimée en % C de poids de terre sèche dans les horizons des sols étudiés.



Comparaison de l'humine totale du profil dans la composition

de la matière organique des sols étudiés



La diversité aussi grande de la richesse organique de ces sols semble due à la divergence des sources de leur approvisionnement en matière organique et à l'influence des facteurs de mise en valeur agricole. Cependant, nous pensons que ceux-ci interviendront davantage sur la richesse organique de l'horizon supérieur que sur la constitution même de cette matière organique, surtout envisagée dans l'ensemble du profil. Aussi dans le cas des sols dont nous possédons l'échantillonnage complet de leurs profils, avons-nous comparé schématiquement pour l'ensemble du profil, la répartition des différentes fractions. Nous remarquons d'abord et surtout que l'humine y constitue plus de 80% du total. Elle est la plus élevée (près de 90%) dans le sol brun isohumique à hydromorphie temporaire (sol n° 2). Ce sol semble le plus riche en complexe argilo-humique stable, puisqu'il a la valeur relative la plus faible des acides fulviques et des acides humiques mobiles. L'humine des sols bruns et châtaîns subtropicaux du Maroc n'est que moyennement élevée, mais en revanche la proportion de leurs acides humiques immobiles est plus grande que celle de la plupart des sols étudiés (sols n° 5, 6, 7, 8 et 9). Leur complexe argilo-humique paraît donc encore stable. Enfin, la plus faible proportion d'humine par rapport au carbone total du profil se trouve parmi les sols bruns subarides (sol n° 15). Sa teneur en acides humiques immobiles compense en grande partie cette déficience. Il semble en être de même des autres sols de ce type, mais le nombre de profils étudiés totalement et envisagés ici, en particulier pour ce groupe de sols, est trop faible pour que nous puissions en tirer une conclusion certaine.

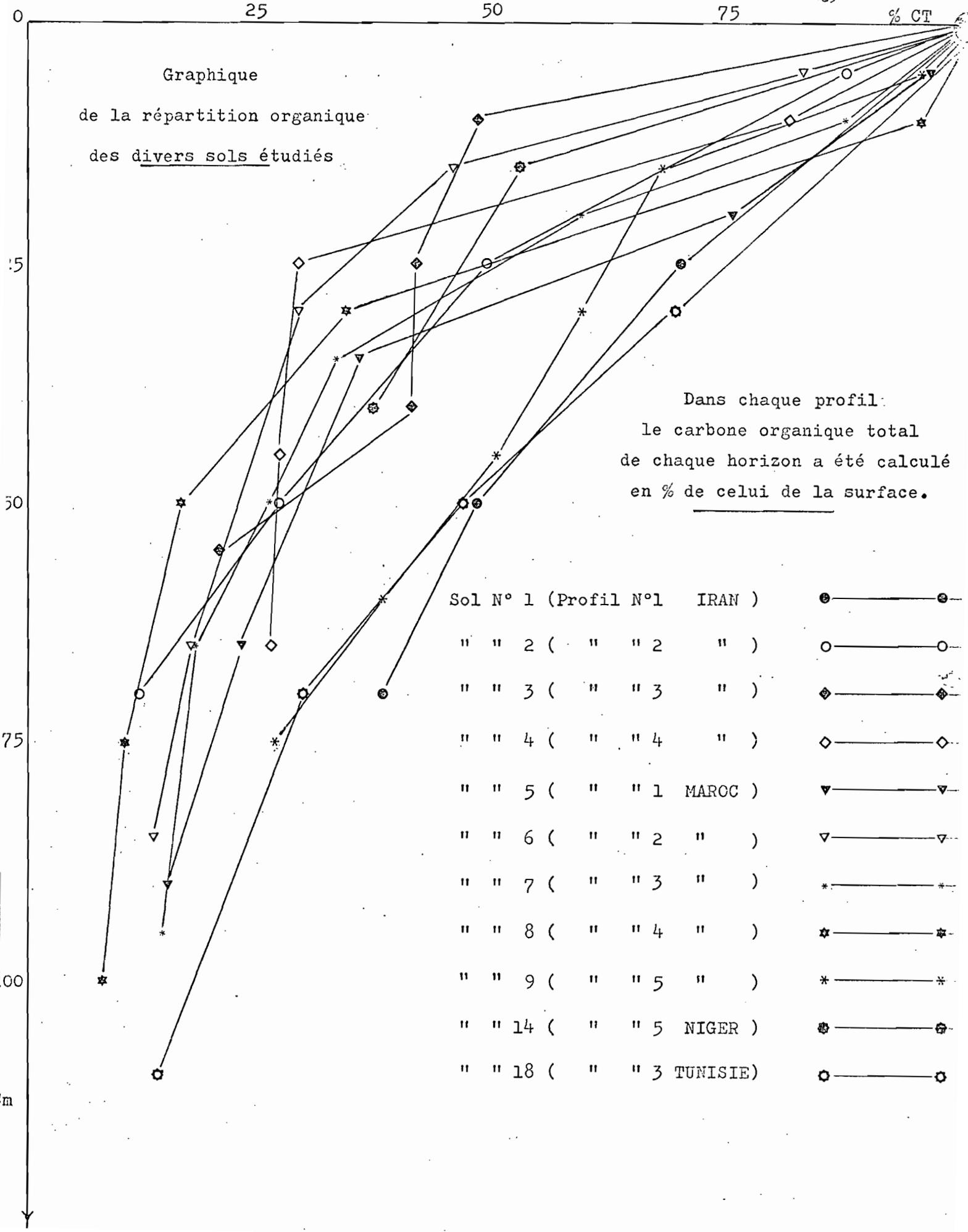
#### Répartition de la matière organique :

Nous avons distingué, lors du premier chapitre, deux types de répartitions organiques : Naturelle et Culturelle, mais dans le cas de notre étude tous les sols prélevés sont cultivés. La répartition envisagée ici ne peut donc être que de la deuxième catégorie. Sur le graphique et le schéma suivants qui illustrent cette répartition, nous avons figuré les teneurs en carbone organique des horizons de sols des divers groupes en % du carbone total de l'horizon de surface. Nous les avons également reportés dans un schéma en colonne dont la première à gauche présente la matière organique de la surface qui ne peut avoir qu'une hauteur identique pour tous les profils.

Un premier caractère apparaît ; quelle que soit la texture du sol, la matière organique y pénètre profondément ; c'est là un caractère important des sols isohumiques. Même ceux qui ne sont pas à rattacher totalement à cette classe s'en rapprochent nettement. Un profil, cependant, présente moins ce caractère : le sol n° 3 d'Iran classé malgré tout

### Graphique

de la répartition organique  
des divers sols étudiés



Dans chaque profil:  
le carbone organique total  
de chaque horizon a été calculé  
en % de celui de la surface.

Sol N° 1 (Profil N°1	IRAN )	● ——— ●
" " 2 ( " " 2	" )	○ ——— ○
" " 3 ( " " 3	" )	◆ ——— ◆
" " 4 ( " " 4	" )	◇ ——— ◇
" " 5 ( " " 1	MAROC )	▼ ——— ▼
" " 6 ( " " 2	" )	▽ ——— ▽
" " 7 ( " " 3	" )	* ——— *
" " 8 ( " " 4	" )	☆ ——— ☆
" " 9 ( " " 5	" )	* ——— *
" " 14 ( " " 5	NIGER )	⊗ ——— ⊗
" " 18 ( " " 3	TUNISIE)	⊙ ——— ⊙

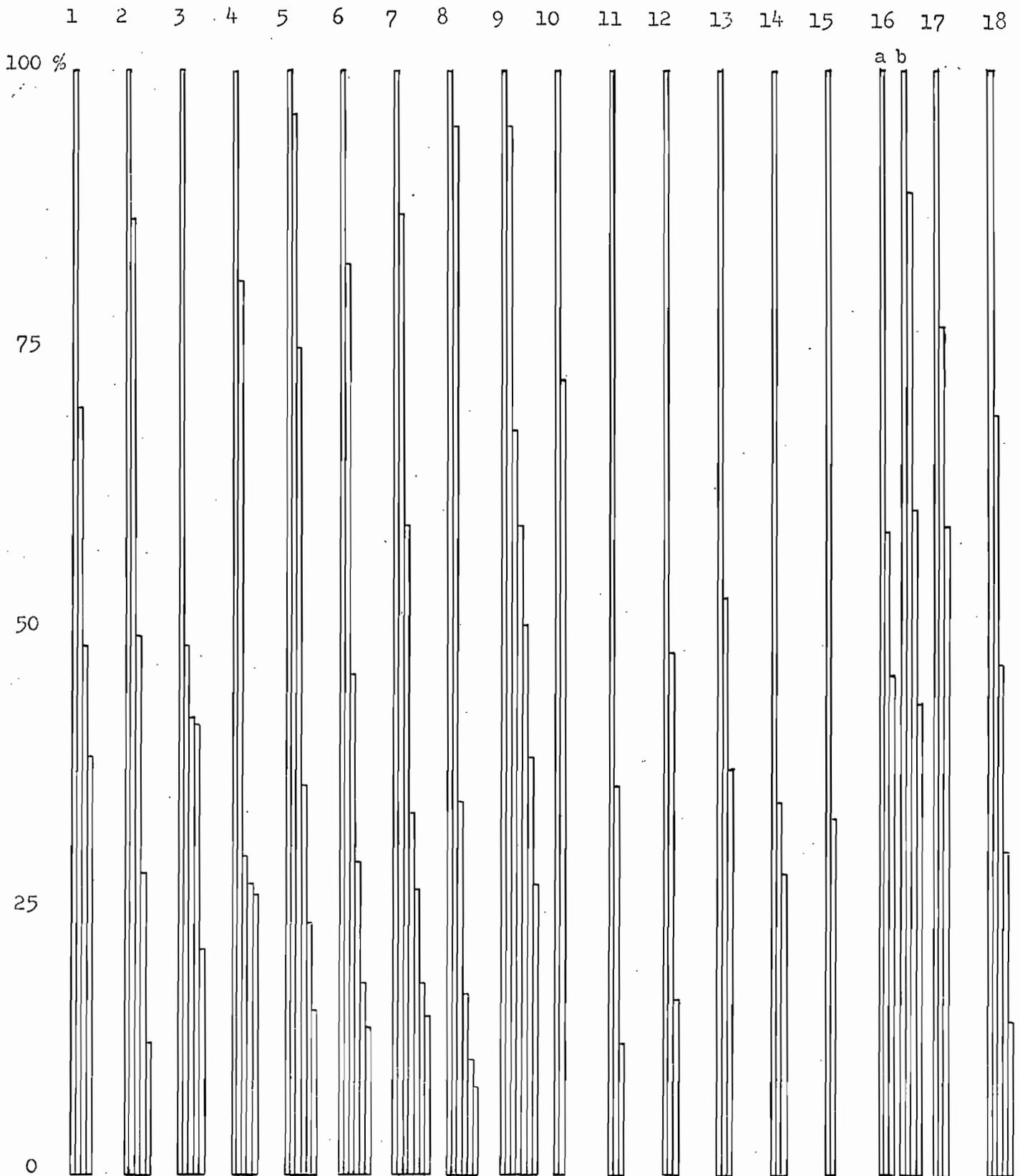
## de la répartition organique des divers sols étudiés

en proportion de la surface

1 à 18 : Nombre des sols

a et b : Respectivement sol actuel et enterré

Chaque marche schématise un horizon.



comme sol châtain par suite de ses autres caractères. Il est possible que la moindre pénétration de sa matière organique soit à rapprocher de sa teneur élevée en argile et de son horizon plus argileux de profondeur. Par contre, le sol n° 1 qui par sa structure et son profil calcaire doit être classé comme sol brun calcaire, a les caractères des sols isohumiques sur le plan de la matière organique.

Le type de variation assez progressive, dans le profil, de la teneur en cet élément fait également partie de la définition des sols isohumiques. En fait, de plus en plus, et par suite en particulier de l'influence du type de mise en valeur sur ce gradient organique des sols, les pédologues ont tendance à insister davantage sur les autres effets -nature et pénétration de l'humus en profondeur- de l'origine racinaire des produits organiques de ces sols. Pour illustrer ces effets, dans la comparaison du profil organique, nous avons aussi calculé et représenté les teneurs en carbone organique total et en humine de chaque horizon des sols à échantillonnage complet, en % du carbone de la matière organique globale du profil (tableau et schéma des pages suivantes).

Dans le cas des profils étudiés, les sols bruns et châtaîns subtropicaux du Maroc ou châtaîns de Tunisie présentent ce profil organique typique, ou faiblement modifié en surface (sol n° 6 et 8). Le sol brun calcaire d'Iran est, sur ce plan, à classer isohumique comme nous l'avons signalé déjà plus haut. Le sol brun isohumique un peu hydro-morphe de ce pays est aussi assez typique. Dans le cas du sol châtain d'Iran (sol n° 3) les teneurs des horizons de moyenne profondeur correspondent assez bien par rapport à celle de la surface, à ce que l'on observe habituellement dans un sol isohumique, mais celles du 2ème et du 3ème horizon s'en éloignent assez sensiblement. Par contre, comme l'on pouvait s'y attendre, le sol brun faiblement lessivé d'Iran (sol n° 4) présente une répartition bien différente de sa matière organique, même si les horizons profonds en contiennent encore des pourcentages appréciables. Pour ce qui est des sols bruns subarides, les quelques résultats que nous avons obtenus sont insuffisants, surtout étant donné les faibles teneurs, pour que nous puissions en discuter. Ils semblent cependant présenter, en surface, des teneurs proportionnellement assez élevées par rapport à ce qu'elles sont en profondeur.

Par ailleurs, cette deuxième comparaison a l'avantage de nous montrer la différence qui existe entre le profil organique de sols bruns et châtaîns isohumiques développés sous les conditions climatiques du même pays. Le sol n° 5 et 7, typiquement isohumiques, du Maroc (bruns subtropicaux), de profondeur identique, qui ont sensiblement

Schéma de la répartition organique à partir du carbone  
organique total du profil

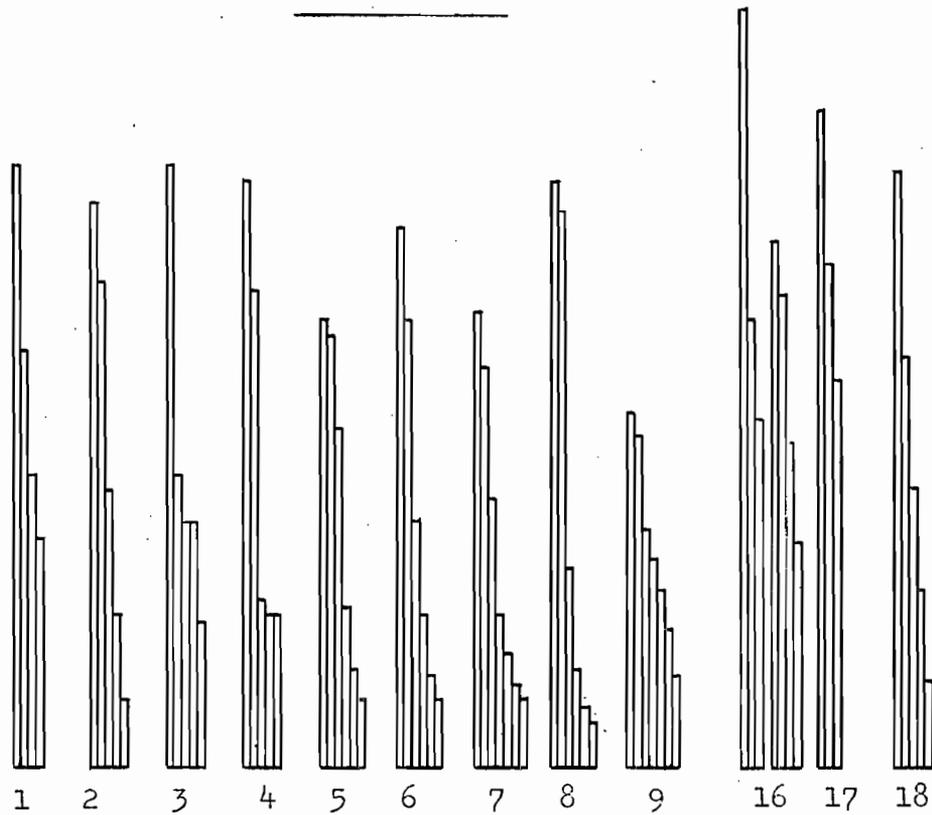
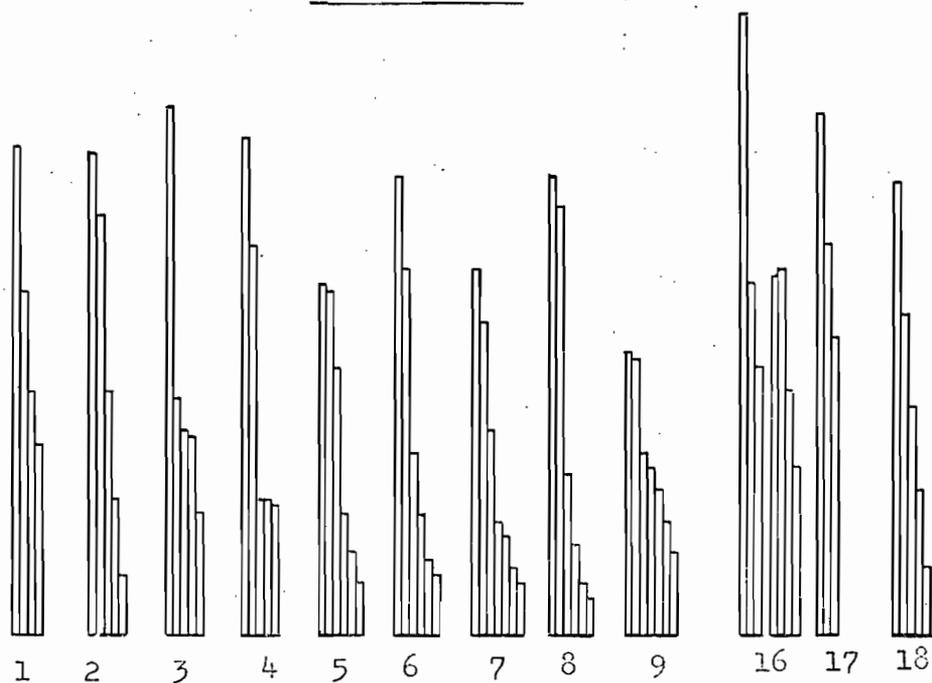


Schéma de la répartition de l'humine à partir du carbone  
organique total du profil



Comparaison schématisée de la répartition organique

Cm	I R A N				M A R O C					T U N I S I E		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	16	17	18
0												
10		36.4	39.2	38.7	29.0	34.8	29.7	37.9	22.9			
20	39.1	31.5	18.9	30.9	27.8	28.8	25.8		21.7	48.9	42.4	38.6
30					21.8	15.8	17.5	36.0	15.5	28.7	32.6	
40	27.2	17.8	16.2	11.1			9.8	12.9	13.5	22.4	25	26.6
50			16.1		10.2	10.4	10		11.5			
60	18.8	10.0	9.6				7.6	6.3		34.1		17.9
70				9.8					8.8			
80					6.7	6.0	5.3			30.5		11.4
90	14.9	4.3						3.9	6.1			
100						4.6				20.8		
110					4.3		4.3					
120								3.0		14.6		5.5
130												

Chaque chiffre présente la part de la matière organique de profondeur indiquée dans la totale du profil

140  
150  
160  
170  
180  
190

la même richesse organique (4.17 et 4.18% C de poids de terre sèche) dans l'ensemble de leur profil ont, en leurs horizons de surface, des proportions plus élevées de cette matière organique que dans le sol n° 9 de ce pays (châtain subtropical), moins profond mais nettement plus riche en cet élément dans son ensemble (5.93% C de poids de terre sèche). Le cas est inverse à la base de ces trois sols ; ces proportions sont relativement plus faibles dans les sols bruns que dans le sol châtain. Il en est de même pour l'horizon de surface des sols bruns jeunes peu profonds (sol actuel) et pour le sol châtain subtropical de Tunisie (sols n° 16, 17 et 18).

Les mêmes constatations peuvent être aperçues à propos de la répartition de l'humine par rapport au carbone organique global du profil (schéma en bas de la page ci-contre). Cela montre une fois de plus l'importance considérable du rôle de l'humine dans l'ensemble de la matière organique d'un sol. Elle apparaît comme l'un des principaux éléments responsable de la stabilité des agrégats dans les horizons profonds de ces sols où les acides extractibles ne sont qu'en très faible quantité.

DEUXIEME PHASE  
D'INTERPRETATION

## SIXIEME PARTIE

# INFLUENCE RECIPROQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE

## ET LE MILIEU

### CHAPITRE I : GENERALITES

#### INTRODUCTION

Dans cette deuxième phase d'interprétation, nous envisageons l'effet de la matière organique sur les conditions du milieu d'une part, et l'influence du milieu sur l'évolution et la richesse organique du sol d'autre part. L'étude de cette partie est plus vaste que les autres ; elle est aussi plus délicate et plus compliquée. Le moyen le plus sûr pour nous orienter se trouve être la méthode statistique. Nous avons choisi la plus indicative et courante qui soit, la corrélation. Elle nous permet de connaître le nombre et le genre de relations statistiquement valables entre certaines variables choisies parmi les 70 envisagées dans ce travail, afin de pouvoir les interpréter convenablement ensuite. Cependant, deux questions s'imposent :

- 1°) " A quelle méthode de corrélation se prêtent le mieux les 84 données des variables à envisager ? "
- 2°) " Comment peut-on effectuer cette corrélation pour que la plupart des variables envisagées puissent être corrélées ? ".

#### CHOIX DE LA METHODE

Il existe plusieurs méthodes de corrélation ; mais du fait que les données analytiques d'une même variable sont souvent très étendues d'une part, et d'autre part qu'elles sont exprimées par les unités parfois totalement différentes les unes des autres (l'unité de pH, C, T par exemple), la méthode qui convient le mieux est donc celle des rangs dans laquelle n'intervient ni la grandeur d'étendue, ni la multitude d'unité. Parmi les corrélations des rangs, nous avons retenu celle de KENDALL (1948) puisqu'elle nous permet de calculer facilement la corrélation totale et même les corrélations partielles et multiples. Cette méthode est libérée de la fonction de répartition des variables  $i$  et  $j$ . Le seul inconvénient est qu'il n'existe pas encore un programme pour cette

corrélation permettant d'effectuer les calculs sur l'ordinateur CDC 3600 du CIRCE (C.N.R.S.). Par conséquent, le calcul devient vite très long et difficile du fait de la grande multitude de variables ; mais en revanche, cette méthode est sûre pour un petit nombre de données.

RAPPEL DE LA METHODE

Dans cette méthode, les n données observées de la variable i, de même que celles de la variable j, sont remplacées, séparément, par des rangs 1 à n dans l'ordre croissant des données. Cependant, il se trouve parfois deux ou plusieurs données identiques parmi celles d'une même variable. Ces ex aequo reçoivent comme rang la moyenne des rangs qui leur faudrait si elles n'étaient pas ex aequo (par exemple, s'il y a 5 ex aequo dans les données d'une variable, à partir du troisième rang, le rang de ces cinq ex aequo est  $\frac{4 + 5 + 6 + 7 + 8}{5} = 6$  ; le rang 6 remplace donc les rangs 4, 5, 7 et 8 ;  $t_{qi}$  est le nombre de données identiques dans le lot q des ex aequo de la variable i ( $t_{qi} = 5$  dans notre exemple). Comme il peut y avoir plusieurs lots d'ex aequo d'une même variable, on distingue par  $e_i$  le nombre de lots d'ex aequo de la variable i. De même  $t_{qj}$  est le nombre de données identiques dans le lot des ex aequo de la variable j, et  $e_j$  le nombre de lots ex aequo de la variable j.

Les couples de rangs des variables i et j sont rangés dans l'ordre croissant des rangs de i.

A chaque rang de j ainsi rangé, pris à tour de rôle et sans exception aucune, on attribue autant de points positifs qu'il y a de rangs supérieurs venant avant lui et autant de points négatifs qu'il y a de rangs inférieurs venant après lui ; les rangs égaux au rang considéré n'interviennent pas dans le compte des points. Lorsque le rang j a pour partenaire i un rang appartenant à un même lot d'ex aequo, le pointage ignore tous les autres rangs j de ce lot. La somme algébrique des points est désignée par  $S_{ij}$ .

La corrélation totale des rangs entre les deux variables i et j est égale à :

$$t_{rij} = S_{ij} \sqrt{\frac{n(n-1)}{2} - \sum_{q=1}^{e_i} \frac{t_{qi}(t_{qi}-1)}{2}} \sqrt{\frac{n(n-1)}{2} - \sum_{q=1}^{e_j} \frac{t_{qj}(t_{qj}-1)}{2}}$$

qui doit dépasser, en valeur absolue, la valeur critique de la table p.302 jointe à l'exemple numérique pour être considérée comme significative.

Cette méthode est extraite de KENDALL (M.G.) 1955 - Rank correlation methode - Second edition-London Griffin 196 p.

Exemple numérique

Corrélation totale des rangs entre le fer libre (i) et la concentration de l'humus extrait en acide fulviques (j) dans les 84 horizons étudiés.

La première variable est exprimée en % de poids de terre sèche alors que la seconde est en % de la matière humique extraite.

N	Horizons	Données des deux variables		Couples des rangs considérés				Compte des points de chaque rang de j		Lots d'ex aequo		
				dans l'ordre d'horizon		dans l'ordre des rangs de i						
		i	j	i	j	i	j	+	-	t <sub>qi</sub>	t <sub>qj</sub>	
1	644	1:1	37.17	1.7	31	47.5	1	71.5	10	68	2	3
2	"	1:2	48.63	1.9	51	57	2.5	71.5	10	67(.)	2	3
3	"	1:3	34.62	2.0	27	63.5	2.5	67	14	65	2	4
4	"	1:4	42.86	0.9	43	21.5	4	67	14	65	2	5
5	"	2:1	38.30	0.9	34	21.5	5	43.5	34	40	2	10
6	"	2:2	40.00	0.9	35	21.5	6	79	4	72	2	2
7	"	2:3	41.18	1.1	39	27.5	7	79	4	72	2	6
8	"	2:4	61.11	0.9	65	21.5	8	57	17	51		4
9	"	2:5	75.00	0.8	72.5	14	9	43.5	31	40		6
10	"	3:1	35.63	1.8	28	50.5	10	57	17	50		2
11	"	3:2	48.50	2.0	50	63.5	11	9.5	63	7		4
12	"	3:3	50.00	2.2	53.5	71.5	12	9.5	63	7		9
13	"	3:4	41.40	2.2	40	71.5	13	57	17	48		4
14	"	3:5	54.70	1.4	62	37.5	14	57	17	48		3
15	"	4:1	43.80	2.1	44	67	15	50.5	22	44		6
16	"	4:2	50.20	2.2	55	71.5	16	82	2	66		3
17	"	4:3	79.40	2.3	80.5	76	17	43.5	26	38		3
18	"	4:4	78.70	2.2	78	71.5	18	57	16	46	e <sub>i</sub> =7	e <sub>j</sub> =17
19	"	4:5	79.40	1.3	80.5	32.5	19	32.5	33	27		
20	650	1:1	19.70	1.9	10	57	20	83	1	63		
21	"	1:2	22.60	1.9	14	57	21	57	15	45		
22	"	1:3	23.50	1.8	15	50.5	22	27.5	37	24		

Suite d'exemple

N	Horizons	Données des deux variables		Couples des rangs considérés				Compte des points de chaque rang de j		
		i	j	dans l'ordre d'horizon		dans l'ordre des rangs de i		+	-	
				i	j	i	j			
23	650	1.4	40.20	1.6	36	43.5	23	3	58	1
24	"	1.5	53.20	1.3	60	32.5	24	43.5	23	35
25	"	1.6	69.00	0.9	69	21.5	25	37.5	26	30
26	"	2.1	15.80	1.6	5	43.5	26	1	58	0
27	"	2.2	19.30	1.6	9	43.5	27	63.5	11	43
28	"	2.3	25.00	1.6	17	43.5	28	50.5	17	37
29	"	2.4	41.00	1.3	38	32.5	29	14	44	7
30	"	2.5	54.00	1.4	61	37.5	30	40	23	31
31	"	2.6	64.00	1.4	68	37.5	31	47.5	19	33
32	"	3.1	16.80	1.9	8	57	32	79	2	50
33	"	3.2	29.30	1.9	21	57	33	3	50	0
34	"	3.3	26.00	1.8	18	57	34	21.5	31	10
35	"	3.4	42.50	1.8	42	50.5	35	21.5	31	10
36	"	3.5	51.70	2.0	57	63.5	36	43.5	19	28
37	"	3.6	70.60	1.9	71	57	37	14	38	6
38	"	3.7	79.20	1.3	79	32.5	38	32.5	23	19
39	"	4.1	16.20	2.5	6	79	39	27.5	28	17
40	"	4.2	16.40	2.5	7	79	40	71.5	5	36
41	"	4.3	49.30	2.0	52	63.5	41	14	35	6
42	"	4.4	78.60	1.8	76.5	50.5	42	50.5	15	26
43	"	4.5	78.60	1.6	76.5	43.5	43	21.5	26	8
44	"	4.6	77.80	1.9	75	57	44	67	8	32
45	"	5.1	8.20	2.1	2.5	67	45	29	24	15
46	"	5.2	8.20	2.2	2.5	71.50	46	6	35	1
47	"	5.3	6.40	2.2	1	71.50	47.5	47.5	14(.)	22
48	"	5.4	24.50	3.0	16	82	47.5	76	2	32
49	"	5.5	28.60	3.3	20	83	49	6	33	1
50	"	5.6	56.20	3.5	64	84	50	63.5	7	25
51	"	5.7	69.20	2.8	70	81	51	57	9	22
52	663	1.2	8.70	2.1	4	67	52	63.5	7	24
53	"	1.4	22.50	1.9	13	57	53.5	71.5	4	24(.)
54	"	2.1	42.00	0.8	41	14	53.5	6	29	1
55	"	2.3	63.20	0.9	67	21.5	55	71.5	4	24
56	"	2.5	75.00	0.9	72.5	21.5	56	9.5	26	1
57	"	3.1	31.00	0.5	23	3	57	63.5	5	22
58	"	3.3	36.40	0.8	29	14	58	76	2	23
59	"	3.6	85.70	0.7	82.5	9.5	59	21.5	15	4
60	"	4.1	31.30	1.6	24	43.5	60	32.5	11	10
61	"	4.2	37.80	2.5	32	79	61	37.5	8	13
62	"	5.1	32.40	0.4	26	1	62	37.5	8	13

Suite d'exemple

N	Horizons		Données des deux variables		Couples des rangs considérés				Compte des points de chaque rang de j	
					dans l'ordre d'horizon		dans l'ordre des rangs de i			
					i	j	i	j	i	j
63	663	5.2	38.10	0.5	33	3	63	14	18	2
64	"	5.3	50.00	0.6	53.5	6	64	84	0	20
65	"	6.1	29.50	1.1	22	27.5	65	21.5	11	3
66	"	6.2	28.00	1.3	19	32.5	66	21.5	11	3
67	"	6.3	44.10	1.2	45	29	67	21.5	11	3
68	647	1.1	48.10	0.6	49	6	68	37.5	7	9
69	"	1.2	44.20	0.6	46	6	69	21.5	10	3
70	"	1.3	20.00	0.7	12	9.5	70	81	0	14
71	"	1.4	19.80	0.7	11	9.5	71	57	2	10
72	"	1.5	40.70	0.8	37	14	72.5	14	9(.)	2
73	"	1.6	51.30	0.7	56	9.5	72.5	21.5	8	2
74	"	1.7	86.20	0.5	84	3	74	32.5	5	3
75	"	2.1	56.00	0.8	63	14	75	57	2	7
76	"	2.2	53.00	0.9	59	21.5	76.5	50.5	2	5(.)
77	"	2.3	62.70	0.9	66	21.50	76.5	43.5	2	5
78	"	2.4	36.70	1.5	30	40	78	71.5	1	5
79	"	2.5	45.20	1.7	47.5	47.5	79	32.5	1	3
80	"	3.1	31.77	1.4	25	37.5	80.5	76	0	3(.)
81	"	3.2	45.20	2.3	47.5	76	80.5	32.5	0	3
82	"	3.3	52.60	2.3	58	76	82.5	9.5	0(.)	1
83	"	3.4	77.00	1.3	74	32.5	82.5	21.5	0	1
84	"	3.5	85.70	0.9	82.5	21.5	84	3	0	0

(.) les rangs égaux au rang considéré n'interviennent pas dans le compte des points

+1392 -1906

$S_{ij} = -514$

Le calcul des éléments de la formule finale

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{84(84-1)}{2} = 3486 \quad \frac{t_{qi}(t_{qi}-1)}{2} = \frac{2(2-1)}{2} = 1$$

qui doit être envisagé 7 fois, puisque dans les 7 lots ( $e_i=7$ ) de la première variable  $t_{qi}$  ne dépasse pas 2.

$$\text{Or, } \sum_{q=1}^{q=e_i} \frac{t_{qi}(t_{qi}-1)}{2} = 1 \times 7 = 7$$

Mais, il n'en n'est pas de même pour la variable j, où nous avons :

$t_{qj}$  égale à :

2	pour 2 lots	or	$\frac{t_{qj}(t_{qj}-1)}{2} = \frac{2(2-1)}{2} = 1$	doit être envisagé 2 fois
4	" 4 "	"	" = $\frac{4(4-1)}{2} = 6$	" " " 4 "
6	" 3 "	"	" = $\frac{6(6-1)}{2} = 15$	" " " 3 "
10	" 1 "	"	" = $\frac{10(10-1)}{2} = 45$	" " " 1 "
3	" 5 "	"	" = $\frac{3(3-1)}{2} = 3$	" " " 5 "
5	" 1 "	"	" = $\frac{5(5-1)}{2} = 10$	" " " 1 "
9	" 1 "	"	" = $\frac{9(9-1)}{2} = 36$	" " " 1 "
	$e_j = 17$			$e_j = 17$

En effet  $\sum_{q=1}^{q=e_j} \frac{t_{qj}(t_{qj}-1)}{2}$  est égale à ;

$$(1 \times 2) + (6 \times 4) + (15 \times 3) + (45 \times 1) + (3 \times 5) + (10 \times 1) + (36 \times 1) = 177$$

La corrélation totale des rangs de ces deux variables sera donc ;

$$r_{ij} = \frac{-514}{(3486 - 7)^{\frac{1}{2}} \times (3486 - 177)^{\frac{1}{2}}} = -0.151$$

La valeur critique correspondante à l'effectif 84 dans la table des valeurs critiques au risque 5% de la corrélation totale des rangs est égale à 0,145 or,

$$|0,151| > 0,145$$

Par conséquent, il y a une corrélation négative entre ces deux variables qui est statistiquement significative et nous l'interpréterons ultérieurement.

Table des Valeurs critiques de la corrélation des rangs au risque 5%

Effectif n	Corrélation significative	Effectif n	Corrélation significative	Effectif n	Corrélation significative
6	0.696	34	0.236	67	0.164
7	0.621	35	0.232	68	0.162
8	0.566	36	0.228	69	0.161
9	0.522	37	0.225	70	0.160
10	0.487	38	0.222	71	0.159
11	0.458	39	0.219	72	0.158
12	0.433	40	0.216	73	0.157
13	0.412	41	0.213	74	0.155
14	0.393	42	0.210	75	0.154
15	0.377	43	0.207	76	0.153
16	0.363	44	0.205	77	0.152
17	0.350	45	0.202	78	0.151
18	0.338	46	0.200	79	0.150
19	0.328	47	0.198	80	0.149
20	0.318	48	0.195	81	0.148
21	0.309	49	0.193	82	0.147
22	0.301	50	0.191	83	0.146
23	0.293	51	0.189	84	0.145
24	0.286	52	0.187	85	0.145
25	0.280	53	0.185	86	0.144
26	0.274	54	0.184	87	0.143
27	0.268	55	0.182	88	0.142
28	0.262	56	0.181	89	0.141
29	0.257	57	0.178	90	0.140
30	0.253	58	0.177	91	0.140
31	0.248	59	0.175	92	0.139
32	0.244	60	0.174	93	0.138
33	0.240	61	0.172	94	0.137
		62	0.171	95	0.137
		63	0.169	96	0.136
		64	0.168	97	0.135
		65	0.166	98	0.134
		66	0.165	99	0.134

Application de la méthode :

La durée du calcul d'une part, comme le laisse voir l'exemple et, d'autre part, le manque de programme pour ordinateur, ne nous donnent pas la possibilité d'effectuer les corrélations entre les 70 variables d'effectif 84 (cela exigerait 2415 calculs semblables à l'exemple). Nous avons donc fait un choix très limité. Mais comme cette méthode

est efficace pour les faibles effectifs, nous avons effectué environ 700 corrélations sur un petit nombre de données. Le choix de celles-ci n'a pas été fait au hasard, car il nous semble que l'on court moins le risque d'intervention des facteurs climatiques et ceux de la mise en valeur agricole, quand on utilise les données d'un même pays que celles tirées au hasard. Les 19 échantillons de l'Iran nous semblent, pour deux raisons, plus favorables à cet égard que ceux des autres pays. Premièrement, ils représentent les sols plus variés (sol brun calcaire, sols faiblement lessivés, sol châtain) et les résultats peuvent en être plus facilement généralisés. Deuxièmement, ils ne sont pas aussi nombreux que ceux du Maroc (32 horizons), et ils sont aussi nombreux et même un peu plus que ceux de Tunisie et du Niger (17 et 16 horizons contre 19 de l'Iran).

Cependant, déterminer la corrélation entre les variables concernant les diverses analyses générales (analyses chimiques et analyses physiques), apparaît comme assez éloigné du domaine de cette étude. Nous verrons, cependant, par la suite, que certaines corrélations nous seront utiles dans l'interprétation des résultats et d'autres nous permettront de généraliser davantage les résultats obtenus. Dans ces conditions, nous avons calculé, sur les horizons de sols d'Iran, les corrélations :

- A - entre les variables des analyses organiques (55 corrélations)
- B - " " " " " générales
- B<sub>1</sub> - " " " " " chimiques (120 " )
- B<sub>2</sub> - " " " " " physiques ( 55 " )
- B<sub>3</sub> - " " " " " chimiques et physiques (176 corrélations)
- C - entre les variables de groupe A et celui de B (297 corrélations)

## CHAPITRE II : LES CORRELATIONS EFFECTUEES

### A - Corrélations entre les variables des analyses organiques :

Signalons tout d'abord que, quand deux variables dont la somme correspond à une troisième sont exprimées en proportion de cette dernière, nous n'en envisageons qu'une seule dans leur corrélation totale avec toute autre variable ; toute corrélation significative entre l'une des premières et cette dernière se retrouvera certainement entre la seconde et celle-là, mais de signe opposé. Tel est le cas pour la concentration relative, par rapport à l'humus extrait, des acides humiques totaux et des acides fulviques vis-à-vis d'une variable X. Il en est de même pour la proportion de l'hu-

mine et de l'humus extrait par rapport au carbone total.

Les variables choisies sont les suivantes :

- 1 - la valeur absolue du carbone total de l'horizon
- 2 - " " " de l'azote
- 3 - " " du rapport C/N
- 4 - " " absolue de l'humus extrait
- 5 - " " " des acides humiques totaux
- 6 - " " " des acides fulviques
- 7 - " " du rapport AF/AH
- 8 - le taux d'extraction (l'humus extrait par rapport au carbone total)
- 9 - la valeur relative des acides humiques totaux
- 10 - " " " des acides fulviques
- 11 - la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux.

Les résultats de la corrélation totale entre ces 11 variables figurent dans la tableau ci-après. Les corrélations statistiquement significatives y sont indiquées par la lettre P, quand elles sont positives et par la lettre N quand elles sont négatives. La lettre A présente l'absence de la corrélation significative. Le coefficient de corrélation se trouve à côté des symboles envisagés pour les corrélations significatives.

Résultats globaux de corrélation totale de rang dans un test bilatéral sur  
 11 variables d'analyse organique  
 (Effectif = 19)

Les variables

1 - Carbone organique total    2 - Azote    3 - C/N    4 - Humus extrait

5 - Acides humiques totaux    6 - Acides fulviques

7 - Rapport AF/AH    8 - Taux d'extraction

9 - Proportion des acides humiques totaux par rapport au carbone total

10 - Proportion des acides fulviques par rapport au carbone total

11 - Concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux.

1											
2	P 0.914										
3	P 0.46	P 0.38									
4	P 0.868	P 0.807	P 0.48								
5	P 0.87	P 0.774	P 0.497	P 0.891							
6	P 0.868	P 0.663	P 0.46	P 0.756	P 0.685						
7	N 0.368	N 0.42	A	N 0.363	N 0.46	A					
8	A	A	A	A	A	P 0.415	A				
9	A	A	A	P 0.398	P 0.485	A	N 0.462	P 0.532			
10	A	A	A	A	A	A	P 0.532	P 0.462	A		
11	P 0.368	P 0.41	A	P 0.35	P 0.462	A	N 1.00	A	P 0.462	N 0.544	
variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Interprétation des résultats obtenus :

Le test effectué entre les 11 variables envisagées nous révèle les points suivants :

- La variation quantitative du carbone organique total dans les 19 horizons n'influence, ni le taux d'extraction, ni la proportion des acides humiques totaux et celle des acides fulviques dans la composition organique des sols étudiés. Elle est, par contre, corrélée avec les autres variables, toujours positivement sauf avec le rapport AF/AH. Cette corrélation négative indique, comme nous avons pu le montrer à propos de la première phase d'interprétation, que la matière organique de ces sols est d'autant plus pauvre en acides fulviques que sa teneur est plus élevée.
- La variation quantitative de l'azote total possède les mêmes relations avec les variables envisagées dans ce tableau que celles du carbone total. Nous constatons d'ailleurs que la corrélation entre ces deux variables est très élevée.
- L'absence de corrélation entre le rapport C/N et les autres rapports employés tels que AF/AH, le taux d'extraction, la valeur relative des acides humiques totaux et des acides fulviques dans la composition de M.O. globale, et la concentration d'humus extrait en acides humiques totaux, montre l'indépendance de leur variation et la nécessité d'en tenir compte, quant à l'étude organique du sol. Les corrélations positives entre ce rapport et la variation quantitative des composés humiques extraits tels que la matière humique totale, les acides humiques totaux et les acides fulviques, précisent que les conditions sont d'autant moins favorables à l'extraction que la matière organique est plus évoluée (C/N est inférieur à 10).
- La variation quantitative de l'humus extrait est en corrélation avec toutes les variables, excepté pour sa proportion ou pour celle des acides fulviques par rapport au carbone total. Par conséquent, la quantité d'humus extrait et le taux d'extraction sont deux variables indépendantes l'une de l'autre. La corrélation négative entre l'humus extrait et AF/AH est due au fait que la proportion des acides humiques dans l'humus extrait est plus élevée, contrairement à celle des acides fulviques quand la quantité d'humus extrait est plus grande (dominance des acides humiques totaux sur les acides fulviques dans les 2 à 4 premiers horizons de surface).
- La variation quantitative des acides humiques totaux a les mêmes corrélations avec les autres variables que l'humus extrait. Cela prouve que la matière organique de ces sols est très polymérisée.

- La variation quantitative des acides fulviques dépend du taux d'extraction mais ne dépend ni de leur proportion, ni de celle des acides humiques totaux entrant dans la composition de la matière organique totale (C. total) et de l'humus extrait. Elle ne dépend pas non plus du rapport AF/AH. L'absence de corrélation avec ces quatre variables semble due au fait que le degré de polymérisation de la matière organique de ces sols est très élevé d'une part et que, d'autre part, la forte liaison organo-minérale défavorise la dépolymérisation des composés humiques. La migration descendante des acides fulviques y joue également un rôle non négligeable.
- Le rapport AF/AH varie, c'est normal, indépendamment du taux d'extraction. Il varie naturellement en corrélation positive avec la proportion des acides fulviques dans la composition du carbone total et dans celle de l'humus extrait. Sa corrélation est, par contre, négative avec les acides humiques totaux dans les mêmes conditions.
- La variation du taux d'extraction ne dépend pas de la concentration des acides humiques totaux ou des acides fulviques dans l'humus extrait. En revanche, il est en corrélation positive avec la proportion des acides humiques totaux dans la composition de la M.O. globale, et il est aussi en corrélation avec la teneur des acides fulviques par rapport au carbone total. Le taux d'extraction dans ces sols dépend donc essentiellement de trois variables : l'une est la variation quantitative des acides fulviques (voir plus haut), l'autre est celle de la proportion des acides humiques totaux dans la composition de la matière organique totale, la 3<sup>e</sup> est enfin celle des acides fulviques.
- La variation des acides humiques totaux par rapport au carbone total influence positivement leur concentration dans l'humus extrait. Elle n'a pas de corrélation avec la proportion des acides fulviques par rapport au carbone total.
- La variation des acides fulviques par rapport au carbone total et celle des autres variables ne donnent pas toujours des corrélations opposées à celles des acides humiques totaux. Nous avons constaté que la variation de cette variable est indépendante de celle de l'humus extrait et des acides humiques totaux (absence de corrélation). Nous avons vu aussi que cette variable n'influence pas non plus le taux d'extraction (toujours l'absence de corrélation), ce qui n'est pas le cas pour la variation des acides humiques totaux (corrélation positive). Par conséquent, la variation des acides fulviques par rapport au carbone total n'est en corrélation significative qu'avec deux variables. Sa corrélation est positive avec le rapport AF/AH et négative avec la concentration des acides humiques totaux dans l'humus extrait.

B - Corrélations entre les variables concernant les analyses d'ordre général.

B<sub>1</sub> - Les analyses chimiques :

1 - Les variables envisagées.

Elles sont, conformément à l'ordre numérique général, les suivantes :

12 - pH Eau ; 13 - pH KCl ; 14 - Phosphore total ; 15 - Phosphore assimilable (méthode Olsen modifiée) ; 16 - Fer total ; 17 - Fer libre ; 18 - Calcaire total ; 19 - Calcaire actif ; 20 - Capacité d'échange (T) ; 21 - Potassium échangeable ; 22 - Sodium échangeable ; 23 - Calcium total ; 24 - Magnésium total ; 25 - Potassium total ; 26 - Sodium total ; 27 - Bases totales.

2 - Leurs corrélations.

Le triangle suivant figure les corrélations établies entre ces variables sur un effectif de 19 horizons.

Corrélations entre quelques variables concernant les analyses chimiques

12																			
13	P																		
14	P	P																	
15	A	A	P																
16	N	N	N	A															
17	N	N	N	A	P														
18	P	P	P	A	N	N													
19	P	P	P	A	N	P	P												
20	N	N	N	A	P	P	N	N											
21	A	A	A	A	A	A	A	N	P										
22	A	A	A	N	A	A	A	A	A	A									
23	P	P	P	A	N	N	P	P	N	A	A								
24	P	P	P	A	A	N	P	P	N	A	A	P							
25	A	N	A	A	P	A	A	A	P	P	A	N	A						
26	A	A	A	A	A	N	A	A	A	A	A	A	A	A					
27	P	P	P	A	N	N	P	P	N	A	A	P	P	A	A				
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			

Nous avons ainsi trouvé 64 coefficients de corrélation supérieurs en valeur absolue, à la valeur critique correspondante (0,328 pour un effectif de 19), qui sont donc statistiquement significatives. 27 de ceux-ci caractérisent les corrélations inverses.

### 3 - Expression des résultats.

Parmi les variables envisagées nous constatons que :

- Le pH eau et KCl, qui sont d'ailleurs en corrélation positive, varient dans le sens de variation du phosphore total, du calcaire total et actif, du calcium total, du magnésium total et des bases totales. Par contre, ils décroissent quand le fer total, le fer libre et la capacité d'échange croissent. Leur variation dans ces sols ne dépend donc, ni de celle du potassium ou du sodium échangeable, ni du sodium total ou du phosphore assimilable. La seule différence entre les deux pH consiste en leur relation avec le potassium total. Celui-ci présente une corrélation négative avec le pH KCl mais il n'est pas en corrélation avec le pH eau.
- Le phosphore total est en corrélation positive avec le phosphore assimilable. Sa corrélation est également positive avec le calcaire total et actif, le calcium, le magnésium et les bases totales. Il présente une corrélation inverse avec le fer total, le fer libre et la capacité d'échange. Le phosphore assimilable, n'a pas de corrélation significative avec les variables envisagées, excepté le sodium échangeable. Il est en corrélation négative avec ce dernier.
- Le fer total est en corrélation positive avec le fer libre, la capacité d'échange et le potassium total. Il est, au contraire, en corrélation inverse avec le calcaire total et actif, le calcium total et les bases totales. Le reste des variables envisagées ne présente pas de corrélation avec le fer total.
- A l'opposé du fer total le fer libre a une corrélation négative avec le calcaire actif. Il est aussi en corrélation négative avec le magnésium et le sodium total, malgré l'absence de corrélation entre ces deux derniers éléments et le fer total. Par contre, il ne présente pas de corrélation avec le potassium total. Il se comporte vis-à-vis des autres variables envisagées comme le fer total (ses relations sont identiques à celles du fer total).

- Le calcaire total est en corrélation positive avec le calcaire actif, le calcium, le magnésium et les bases totales. Il est en corrélation négative avec la capacité d'échange. Il n'est pas corrélé avec le potassium ou le sodium tant échangeable que total. (Il en est de même pour le calcaire actif sauf dans le cas du potassium échangeable).
- La capacité d'échange est en corrélation positive avec le potassium échangeable, le potassium total. Elle est en corrélation inverse avec le calcium, le magnésium total et les bases totales. Elle ne présente pas de corrélation avec le sodium échangeable ni avec le sodium total.
- Le potassium échangeable n'a que trois corrélations significatives avec les variables envisagées. Nous en avons déjà constaté deux (une positive avec la capacité d'échange et une négative avec le calcaire actif). La troisième est une corrélation positive avec le potassium total. L'absence de corrélation avec les autres variables montre qu'il varie indépendamment d'elles.
- Le sodium échangeable n'a qu'une seule corrélation significative. C'est celle (négative) que nous avons constatée avec le phosphore assimilable. Sa variation est donc indépendante de celle des autres variables.
- Nous avons déjà constaté 8 corrélations entre le calcium total et les autres variables. Il en a encore trois, deux positives avec le magnésium total et les bases totales et une négative avec le potassium total. Il n'y a pas de corrélation avec le sodium total.
- Le magnésium total a moins de corrélations significatives avec les éléments envisagés que le calcium total. Il en a 9 dont 8 sont déjà présentées. La dixième est une corrélation positive avec les bases totales. Il n'y a pas de corrélation avec le potassium et le sodium total.
- La corrélation est absente entre le potassium et le sodium total. Il en est de même pour ces deux éléments et les bases totales. Nous avons déjà montré les corrélations significatives qui existent entre ces 3 variables et les autres variables envisagées.

B<sub>2</sub> - Les analyses physiques :

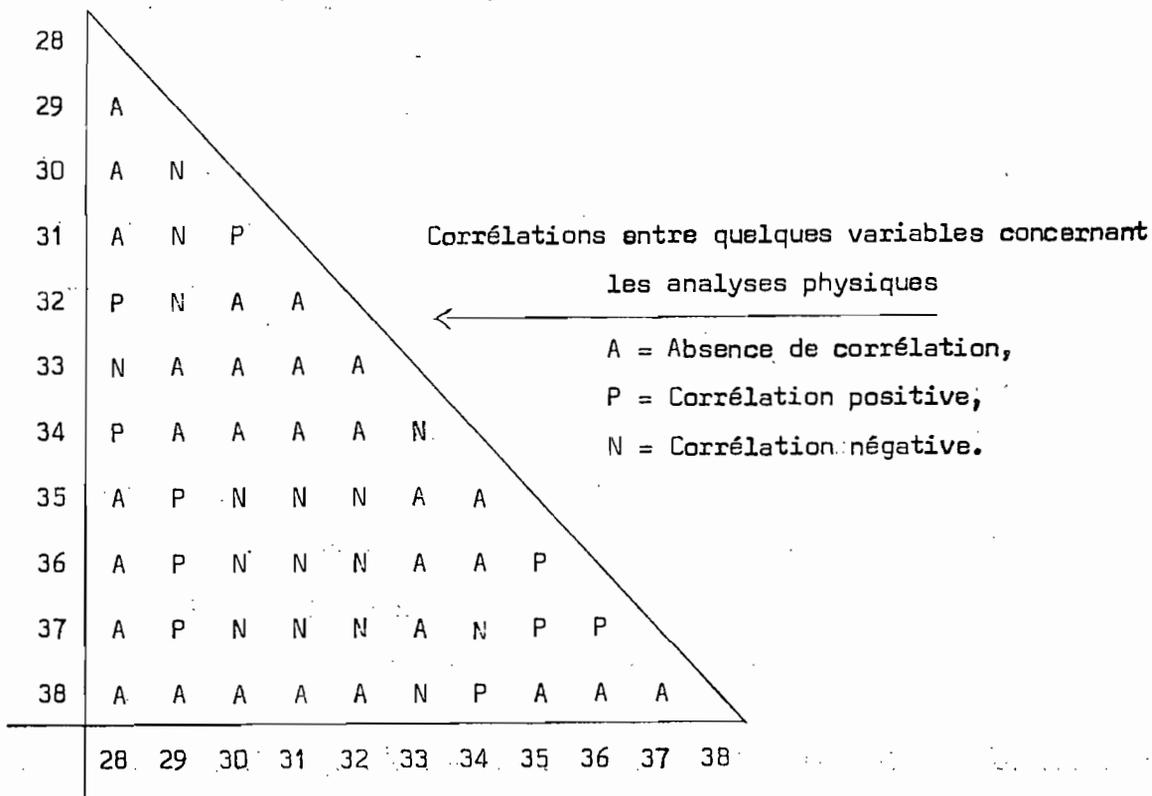
1 - Les variables envisagées.

Elles sont, dans la suite de l'ordre numérique, les suivantes :

28 - Profondeur moyenne de l'horizon ; 29 - Pourcentage d'argile ; 30 - Pourcentage de limon fin ; 31 - Pourcentage de limon grossier ; 32 - Pourcentage des autres éléments (sable fin + sable grossier + refus). 33 - Perméabilité ; 34 - Instabilité structurale ; 35 - pF 2.5 ; 36 - pF 3.0 ; 37 - pF 4.2 ; 38 - Somme de l'argile et du limon sans dispersant.

2 - Leurs corrélations.

Le triangle suivant figure les corrélations établies entre ces variables.



Nous avons ainsi trouvé 26 corrélations significatives, dont 16 corrélations inverses.

3 - Expression des résultats.

D'après ces résultats nous constatons que :

- La teneur en éléments grossiers (les particules supérieures à 50 µ) et l'instabilité

structurale augmentent en fonction de la profondeur (ils sont en corrélation positive). Par contre, les horizons sont d'autant moins perméables qu'il sont plus profonds (leur corrélation est négative). Les autres variables d'analyse physique varient indépendamment de la profondeur (absence de la corrélation).

- L'argile n'est corrélée, ni à la perméabilité, ni à l'instabilité structurale et ni à la somme de l'argile et de limon fin sans dispersant. Les trois pF varient par contre dans le même sens que l'argile (corrélation positive). L'argile est enfin en corrélation inverse avec les trois autres variables d'analyse granulairre (limon fin, limon grossier et les particules supérieures à 50  $\mu$ ).
- Le limon fin est en corrélation positive avec le limon grossier ; mais les deux variables sont en corrélation inverse avec les trois pF. Par contre, ils ne sont pas corrélés avec les autres variables envisagées.
- Les particules supérieures à 50  $\mu$  ont aussi une corrélation négative avec les trois pF mesurés. Elles n'ont de corrélation, ni avec la perméabilité, ni avec l'instabilité structurale et ni avec la somme d'argile et de limon sans dispersant.
- La perméabilité ne présente pas de corrélation avec les trois pF. Mais elle est en corrélation négative avec l'instabilité structurale et l'argile + limon sans dispersant.
- L'instabilité structurale est en corrélation positive avec la somme argile + limon sans dispersant. Elle est en corrélation négative avec le pF 4.2 (Point de flétrissement) ; mais il n'y a pas de corrélation avec les autres pF.
- Les trois pF sont en corrélation positive entre eux ; mais ils n'ont pas de corrélation avec la somme d'argile + limon sans dispersant.

B<sub>3</sub> - Corrélations entre les variables des analyses chimiques et celles des analyses physiques :

- 1 - Les variables envisagées.

Elles sont les mêmes que celles que nous avons choisies pour chaque groupe précédemment. Nous cherchons donc 176 corrélations éventuelles entre 16 variables concernant les analyses chimiques et 11 variables concernant les analyses physiques.

2 - Leurs corrélations.

Les corrélations trouvées figurent dans le rectangle suivant :

12	A	A	A	A	P	A	P	N	A	N	P
13	A	N	A	P	P	A	P	N	A	N	A
14	A	N	A	A	P	A	P	N	A	N	A
15	N	A	A	A	A	P	A	A	A	A	A
16	A	P	N	N	N	A	N	P	P	P	A
17	A	P	A	A	A	A	N	P	A	P	A
18	P	N	A	A	P	A	P	N	N	N	A
19	P	A	A	A	P	A	P	N	N	N	A
20	N	P	N	N	N	P	N	P	P	P	A
21	N	P	A	N	N	A	A	A	P	A	A
22	A	A	A	A	A	N	A	A	A	A	A
23	N	N	A	A	P	A	P	N	N	N	A
24	P	A	A	A	P	N	P	N	A	A	P
25	A	P	N	N	N	A	A	P	P	P	A
26	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
27	P	N	A	A	P	A	P	N	N	N	A

Corrélation entre les variables concernant les analyses chimiques et celles concernant les analyses physiques.

- - - - -

- A = Absence de corrélation,
- P = Corrélation positive,
- N = Corrélation négative.

28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38

On trouve ainsi 86 corrélations entre les deux groupes de variables ; 42 de ces corrélations sont positives les autres sont négatives.

3 - Expression des résultats.

Ces résultats nous révèlent les points suivants :

- Le pH eau n'a que cinq corrélations avec les variables des analyses physiques. Il est en corrélation positive avec l'instabilité structurale, les particules supérieures à 50 µ et la somme argile + limon sans dispersant. Il est en corrélation inverse avec le pF 2.5 et 4.2 (capacité au champ et point de flétrissement).
- Le pH KCl se diffère de l'autre par une corrélation négative avec le pourcentage d'argile et une corrélation positive avec le pourcentage de limon grossier ; de même que par une absence de corrélation avec la somme argile + limon sans dispersant.

- Le phosphore total est en corrélation positive avec l'instabilité structurale et le pourcentage des particules supérieures à 50  $\mu$ . Il est en corrélation inverse avec l'argile et les pF 2.5 et 4.2. Il n'est pas corrélé avec les autres variables envisagées.
- Le phosphore assimilable n'a que deux corrélations, négative avec la profondeur et positive avec la perméabilité.
- Le fer total est en corrélation positive avec l'argile et les trois pF. Il caractérise la corrélation inverse avec l'instabilité structurale et les particules non argileuses (variables 30, 31 et 32).
- Le fer libre se différencie du fer total par l'absence de corrélation avec les particules non argileuses et avec le pF 3.0.
- Le calcaire total est en corrélation positive avec la profondeur, les particules supérieures à 50  $\mu$  et l'instabilité structurale. Il présente la corrélation inverse avec l'argile et les trois pF.
- La différence entre le comportement du calcaire total et actif vis-à-vis des variables physiques consiste en l'absence de corrélation entre le second et le pourcentage d'argile.
- La capacité d'échange est en corrélation positive avec l'argile, la perméabilité et les trois pF. Elle est en corrélation inverse avec la profondeur, les particules non argileuses (variables 30, 31 et 32) et l'instabilité structurale. Pas de corrélation donc avec la somme argile + limon sans dispersant.
- Le potassium échangeable est en corrélation positive avec l'argile et le pF 3.0. Il présente une corrélation inverse avec la profondeur, le limon grossier et les particules supérieures à 50  $\mu$ . Il n'est pas corrélé avec les autres variables.
- Le sodium échangeable n'a qu'une seule corrélation avec ces variables. Son abondance diminue la perméabilité (corrélation négative).
- Le calcium total est en corrélation positive avec l'instabilité structurale et les particules supérieures à 50  $\mu$ . Il présente une corrélation inverse avec la profondeur l'argile et les trois pF.

- Le magnésium total augmente avec l'augmentation de la profondeur, des particules supérieures à 50 u, de l'instabilité structurale et de l'argile + limon sans dispersant. Il est en corrélation négative avec la perméabilité et le pF 2.5.
- Le potassium total est en corrélation positive avec l'argile et avec les trois pF. Il est en corrélation inverse avec les particules non argileuses (variables 30, 31 et 32). Il n'est pas corrélé avec les autres variables envisagées.
- Le sodium total n'a pas de corrélation avec ces variables.
- Les bases totales (somme des éléments totaux augmentent en fonction de la profondeur, des particules supérieures à 50 u et de l'instabilité structurale. Elles sont en corrélation inverse avec l'argile et les trois pF.

C - Corrélation entre les variables des analyses organiques et d'autres variables envisagées.

Elles caractérisent l'effet améliorant de la matière organique sur les conditions du milieu et réciproquement l'influence de celles-ci sur l'évolution de la matière organique du sol. Le tableau p. 316 les figure sous les même symboles et dans l'ordre indiqué des variables.

D'après ce tableau il n'y a que 91 corrélations significatives parmi les 297. Les corrélations positives y sont cependant beaucoup moins nombreuses que les négatives (28 contre 63).

Nous indiquons ci-après (p. 317-318-319-320) toutes ces corrélations ; il ne faut pas oublier cependant que certaines sont illusoires. Nous ne tenons pas compte de ces dernières dans la discussion qui suit un peu plus loin. Par ailleurs, dans un certain nombre de cas, le coefficient de corrélation est très proche de la valeur critique (0,33).

Corrélations entre les variables concernant les analyses organiques et d'autres variables envisagées.

12	N	A	A	N	N	N	A	N	A	N	A
13	N	N	A	N	A	N	A	A	A	N	A
14	A	A	A	A	A	A	N	A	A	N	P
15	P	P	P	P	P	A	N	A	P	A	P
16	A	A	A	A	A	A	A	A	N	A	A
17	A	A	A	A	A	P	A	P	A	P	A
18	N	N	A	N	N	N	A	A	A	A	A
19	N	N	A	N	N	N	A	A	A	A	A
20	P	P	A	P	A	P	A	A	A	A	A
21	P	P	A	A	A	A	A	A	A	A	A
22	A	A	N	A	A	A	A	N	N	A	A
23	N	N	A	N	A	N	A	A	A	A	A
24	N	N	P	N	N	N	A	P	A	A	A
25	A	A	A	A	A	A	A	A	N	A	A
26	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
27	N	N	A	N	N	N	A	A	A	A	A
28	N	N	N	N	N	N	P	A	A	A	P
29	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
30	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
31	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
32	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
33	P	P	P	P	P	P	A	A	P	A	A
34	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A	A
35	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
36	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
37	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
38	N	N	N	N	N	N	A	N	N	A	A
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

A = Absence de corrélation,  
 P = Corrélation positive,  
 N = Corrélation négative.

1 à 38 sont les variables décrites dans les pages précédentes.

Interprétation des résultats.

a - Les corrélations positives.

<u>Variable i</u>	<u>Variable j</u>	<u>Coefficient de corrélacion des rangs</u>
Carbone organique total (C)	Perméabilité	0,53
	Capacité d'échange	0,39
	Phosphore assimilable (Olsen)	0,39
	Potassium échangeable	0,36
Azote total N	Potassium échangeable	0,66
	Perméabilité	0,49
	Phosphore assimilable	0,39
	Capacité d'échange	0,35
C/N	Perméabilité	0,49
	Magnésium total	0,40
	Phosphore assimilable	0,33
Humus extrait M.H.T.	Perméabilité	0,49
	Phosphore assimilable	0,39
	Capacité d'échange	0,36
Acides humiques totaux (AH)	Perméabilité	0,60
	Phosphore assimilable	0,49
Acides fulviques AF	Perméabilité	0,54
	Fer libre	0,49
	Capacité d'échange	0,43
AF/AH	Profondeur moyenne	0,36
Taux d'extraction	Fer libre	0,39
	Magnésium total	0,34
Proportion du carbone des acides humiques totaux par rapport au carbone total	Perméabilité	0,42
	Phosphore assimilable	0,41

Suite des corrélations positives!

<u>Variable i</u>	<u>Variable j</u>	<u>Coefficient de corrélation des rangs</u>
Proportion du carbone des acides fulviques par rapport au carbone total	Fer libre	0,38
Concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux	Phosphore assimilable	0,53
	Phosphore total	0,42
	Profondeur moyenne	0,37

b - Les corrélations négatives!

<u>Variable i</u>	<u>Variable j</u>	<u>Coefficient de corrélation des rangs</u>	
Carbone organique total (C)	Profondeur moyenne	0,75	
	Magnésium total	0,63	
	Bases totales	0,57	
	Instabilité structurale	0,53	
	Calcaire actif	0,51	
	Calcaire total	0,50	
	Calcium total	0,44	
	Somme d'argile et de limon sans dispersant	0,43	
	pH KCl	0,40	
	pH eau	0,35	
	Azote total N	Profondeur moyenne	0,83
		Magnésium total	0,61
		Bases totales	0,55
Calcaire actif		0,52	
Calcaire total		0,44	
Instabilité structurale		0,44	
Calcium total		0,42	
Ar et limon sans dispersant		0,41	
pH KCl	0,33		

Suite des corrélations négatives.

<u>Variable i</u>	<u>Variable j</u>	<u>Coefficient de corrélacion des rangs</u>
C/N	Sodium échangeable	0,42
	Instabilité structurale	0,40
	Profondeur moyenne	0,33
	Ar et limon sans dispersant	0,33
Humus extrait M.H.T.	Magnésium total	0,68
	Profondeur moyenne	0,64
	Instabilité structurale	0,54
	Argile et limon sans dispersant	0,52
	Calcaire actif	0,49
	Calcaire total	0,45
	Calcium total	0,45
	pH eau	0,45
	Bases totales	0,42
	pH KCl	0,37
Acides humiques totaux (AH)	Profondeur moyenne	0,63
	Magnésium total	0,58
	Argile et limon sans dispersant	0,55
	Bases totales	0,45
	Instabilité structurale	0,44
	Calcaire actif	0,38
	Calcaire total	0,33
	pH eau	0,33
	Acides fulviques (AF)	Magnésium total
Bases totales		0,65
pH eau		0,63
Instabilité structurale		0,61
Profondeur moyenne		0,58
pH KCl		0,56
Calcaire actif		0,55
Calcaire total		0,55

Suite des corrélations négatives.

<u>Variable i</u>	<u>Variable j</u>	<u>Coefficient de corrélacion des rangs</u>
Acides fulviques	Calcium total	0,52
(AF) suite	Argile et limon sans dispersant	0,49
AF/AH	Phosphore assimilable	0,53
	Phosphore total	0,41
Taux d'extraction	Sodium échangeable	0,50
	pH eau	0,45
	Argile et limon sans dispersant	0,39
Proportion du carbone des acides humiques totaux par rapport au carbone total	Argile et limon sans dispersant	0,53
	Potassium total	0,47
	Sodium échangeable	0,40
	Fer total	0,34
Proportion du carbone des acides fulviques par rapport au carbone total	pH eau	0,43
	Phosphore total	0,36
	pH KCl	0,34

- Discussion.

Les corrélations trouvées dans cette partie (91) nous permettent d'interpréter, en particulier, l'effet réciproque de la matière organique sur le milieu et des conditions du milieu sur cette matière complexe.

a - L'effet de la matière organique sur le milieu.

- Nous constatons que toutes les valeurs absolues trouvées pour les éléments organiques sont en corrélation positive avec la perméabilité ; mais il n'en est pas tout à fait de même pour leurs valeurs relatives au carbone total ou à l'humus extrait, qui caractérisent qualitativement la matière organique. Deux de ces rapports sont seuls en corrélation avec la perméabilité ; le C/N et la proportion de carbone des acides humiques totaux par rapport au carbone total. La matière organique améliore donc la perméabilité du sol par sa quantité plutôt que par sa qualité dans la limite de variation de celle-ci dans les échantillons étudiés.

- Le carbone, l'azote, l'humus extrait et les acides fulviques sont en corrélation positive avec la capacité d'échange. Leur coefficient de corrélation est le plus élevé avec la 4ème variable (0,43). Les autres variables organiques envisagées ne sont pas corrélées avec ce critère. Nous constatons donc que ce sont les produits organiques faiblement polymérisés (les acides fulviques en particulier) qui interviennent surtout dans la constitution du complexe d'échange de ces sols.

- Les six premières variables organiques envisagées sont en corrélation négatives avec l'instabilité structurale et les autres ne sont pas corrélées avec celle-ci. Le coefficient de corrélation avec les acides fulviques y est toujours le plus élevé (0,61). L'absence de corrélation entre l'instabilité structurale et les variables caractérisants qualitativement la matière organique prouve que l'amélioration apportée par celle-ci est indépendante de sa composition globale et de celle de l'humus extrait envisagées isolément, dans la limite des types de matières organiques étudiés ici.

- La matière organique influence également l'état colloïdal du sol, tant quantitativement que qualitativement, puisque 8/11 de ses variables sont corrélées négativement avec la somme d'argile et limon dispersés sans dispersant. Les acides humiques totaux empêchent davantage la dispersion des particules fines de ces sols. Car les coefficients de corrélation de leurs valeurs absolues et leurs valeurs relatives au carbone total y sont les plus élevés (0,55 et 0,53). Par conséquent, quand le processus de polymérisation l'emporte davantage, il y aura une nette amélioration des conditions du milieu.

b - Influence des conditions du milieu sur la matière organique.

- Le phosphore assimilable n'est corrélié, ni avec la valeur absolue des acides fulviques, ni avec leur valeur relativement à la teneur du sol en matières organiques totales (carbone total), ni même avec le taux d'extraction. Il est par contre en corrélation négative avec le rapport AF/AH et positive avec les autres variables organiques envisagées (7 corrélations positives). Ses coefficients de corrélation avec la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux et avec le rapport AF/AH sont identiques et les plus élevés parmi d'autres (0,53). Nous constatons que le phosphore total, comme le phosphore assimilable, est en corrélation positive avec la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux et en corrélation

négative avec le rapport AF/AH. Leur coefficients de corrélation sont également voisins et assez élevés (0,42 et 0,41). Le phosphore total est en corrélation négative avec la proportion du carbone des acides fulviques par rapport au carbone total.

Du fait que :

- quand le phosphore assimilable croît, le rapport AF/AH diminue de la même intensité qu'augmente la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux (coefficient de corrélation identique).
- il en est de même pour le phosphore total à un degré moindre.
- la variation quantitative des composés humiques, excepté celle des acides fulviques, accompagnent l'augmentation du phosphore assimilable.
- la proportion des acides humiques totaux dans le carbone total croît quand le phosphore assimilable augmente.
- la proportion des acides fulviques dans le carbone total diminue quand le phosphore total croît.

L'augmentation de deux phosphores favorise la polymérisation. (Inversement la richesse en acides humiques totaux favorise l'extraction du phosphore assimilable cependant les acides fulviques la défavorisent par leur liaison avec le fer libre).

- La profondeur est en corrélation négative avec toutes les valeurs absolues des composés humiques. Elle n'est par contre pas corrélée avec les autres variables envisagées. La composition globale de la matière organique ne subit donc pas une variation significative en fonction de la profondeur.

- Le fer libre est en corrélation positive avec les acides fulviques, ce qui influe indirectement sur le phosphore assimilable, le taux d'extraction et la proportion de carbone de ces acides par rapport au carbone total. La diminution de fer libre accompagne donc le décroissement de ces trois variables organiques. Par ailleurs nous constatons que le fer libre, le taux d'extraction et la proportion des acides fulviques dans le carbone total sont indépendants de la profondeur (absence de corrélation), alors que les acides fulviques diminuent en fonction de la profondeur (corrélation négative). Leurs corrélations ne peuvent être en effet illusoires. Nous avons aussi constaté antérieurement, à propos de l'exemple de méthode, que dans tous

les horizons étudiés (effectif = 84) le fer libre est en corrélation négative avec la concentration de l'humus extrait en acides fulviques. Le phénomène consiste donc en une liaison entre les composés peu polymérisés et le support minéral par l'intermédiaire du fer. Les acides fulviques se différencient ainsi parmi les produits plus polymérisés et plus liés (les acides humiques totaux notamment) et ils apparaissent comme moins facilement extractibles que lorsqu'ils étaient non combinés ; c'est pourquoi la diminution du fer libre accompagne le décroissement du taux d'extraction et l'abaissement de la proportion des acides fulviques dans le carbone total et dans l'humus extrait. La corrélation négative entre le fer total et la proportion des acides humiques totaux dans le carbone total en est un autre témoin. Le fer total diminue quand la richesse en acides humiques totaux de la matière organique augmente.

- Le calcaire total et le calcaire actif sont en corrélation négative avec les composés humiques, puisque les deux groupements de variables varient intensément en fonction de la profondeur, mais en relations inverses. Les teneurs en calcaire sont de plus en plus élevées vers la profondeur par suite de leur lessivage plus intense en surface. Les composés humiques décroissent de plus en plus vers la base du profil, car leur approvisionnement est de moins en moins important. L'absence de corrélation entre les deux teneurs en calcaire et les variables concernant la variation qualitative de la matière organique indique que ces deux variables n'influencent pas la composition globale de la matière organique de ces sols dans la limite de variation de nos échantillons. Il en est de même en ce qui concerne la corrélation entre les bases totales et les variables organiques envisagées. Signalons que le coefficient de corrélation entre les acides fulviques et ces trois variables (calcaire total, calcaire actif et les bases totales) est toujours le plus élevé.

Respectant les symboles nous représentons ci-après l'ensemble des 703 corrélations effectuées dans ce travail.



APPLICATION DES METHODES DE STATISTIQUE APPROFONDIE, METHODES DES DISTANCES DELTA DE  
HIERNAUX ET METHODES DES CONSTELLATIONS A LA RECHERCHE DES POSSIBILITES DE GROUPEMENT  
DES SOLS ETUDIES

Introduction.

Quand nous étudions un certain nombre de profils de sols appartenant, grosso-  
modo, aux divers groupes d'une même classe, il paraît indispensable de soumettre  
l'estimation de leurs possibilités de rapprochement aux critères des méthodes de statis-  
tique approfondie. Nous avons pu juger, dans la partie précédente les corrélations  
totales de rang (KENDALL) effectuées entre de nombreuses variables caractéristiques.  
Mais il est essentiel d'évaluer les distances intergroupes et de vérifier, au moyen des  
constellations, si ces distances différencient les groupes étudiés.

a) - Mesure des distances de HIERNAUX (Distances généralisées delta).

Cette "distance" se calcule en multipliant par le rapport de 10.000 au nombre  
des variables envisagées (20 dans notre cas), par la sommation des carrés des différences  
entre les données respectives des variables de deux unités (deux profils dans notre cas)  
sur l'étendue des données de chaque variable (maximum-minimum). Par conséquent entre les  
m unités (18 profils) il y aura  $\frac{m(m-1)}{2}$  distances à calculer (153 dans notre cas).

$$\begin{array}{l} \text{Entre profil 1 et 2.} \\ \Delta_g^{1,2} = \frac{10.000}{v} \sum_{k=1}^v \left( \frac{g_k^1 - g_k^2}{a_k} \right)^2 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Entre profil 1 et 3.} \\ \Delta_g^{1,3} = \frac{10.000}{v} \sum_{k=1}^v \left( \frac{g_k^1 - g_k^3}{a_k} \right)^2 \end{array}$$

Exemple :

Calculons la distance entre les deux premiers profils (sol n° 1 et 2) à l'aide  
des données des 4 variables suivantes dans leur horizons de surface (0 à 25 cm) :

- 1 - Carbone de la matière organique totale ; 2 - Taux d'extraction de l'humus ;
- 3 - Rapport C/N ; 4 - Proportion des acides humiques totaux dans le carbone total.

$$\Delta_g^{1,2} = \frac{10.000}{4} \left[ \left( \frac{12.1 - 12.4}{24.9} \right)^2 + \left( \frac{18.7 - 13.2}{14.1} \right)^2 + \left( \frac{8.7 - 7.8}{3.3} \right)^2 + \left( \frac{11.8 - 8.1}{16.4} \right)^2 \right] = 693.76$$

Nous avons effectué ainsi les distances généralisées delta entre 18 profils par 10 variables dans deux horizons de chaque profil (dans l'ensemble 20 variables pour chaque profil).

1 - Les horizons retenus :

N° du sol et pays d'origine	Horizon et profondeur	Symbole envisagé	Dénomination du sol
IRAN 1	A <sub>P</sub> 0 - 25 B <sub>1</sub> 50 - 70	G <sub>1</sub>	Sol brun calcaire, mais profond, on peut y noter une tendance vers une évolution actuelle de sol isohumique.
" 2	A <sub>1</sub> 5 - 25 B <sub>2</sub> 50 - 70	G <sub>2</sub>	Ce sol présente à la fois un sol faiblement lessivé et un sol isohumique avec quelques signes d'hydromorphique.
" 3	A <sub>1</sub> 0 - 10 B <sub>21</sub> 25 - 40	G <sub>3</sub>	Sol châtain isohumique, présentant un horizon d'accumulation d'argile, enrichi exceptionnellement en M <sub>2</sub> O, en surface.
" 4	A <sub>11</sub> 0 - 10 B <sub>21</sub> 25 - 45	G <sub>4</sub>	Sol brun faiblement lessivé à tendance isohumique.
MAROC 5	A <sub>P2</sub> 5 - 20 (B) <sub>Ca</sub> 35 - 65	G <sub>5</sub>	Sol brun isohumique subtropical modal, calcaire dès la surface, forte individualisation du calcaire en profondeur.
" 6	A <sub>P</sub> 5 - 15 (B <sub>1</sub> ) <sub>Ca</sub> 30 - 65	G <sub>6</sub>	Sol brun isohumique subtropical modal, sur dépôt rubéfié argilo-limoneux, finement sableux, calcaire en surface.
" 7	A <sub>P</sub> 10 - 20 (B <sub>1</sub> ) <sub>Ca</sub> 35 - 50	G <sub>7</sub>	Sol brun isohumique subtropical modal, sur dépôt argilo-limoneux, peu calcaire en surface, peu alcalisé à la base.
" 8	A 10 - 30 (B <sub>2</sub> ) <sub>Ca</sub> 30 - 50	G <sub>8</sub>	Sol brun isohumique subtropical modal, argileux, peu calcaire en surface.
" 9	A <sub>P</sub> 5 - 15 B <sub>21</sub> 30 - 45	G <sub>9</sub>	Sol châtain isohumique subtropical modal, sur roche-mère argileuse, à forte accumulation du calcaire.

.../...

Les horizons retenus (suite).

N° du sol et pays d'origine	Horizon et profondeur	Symbole envisagé	Dénomination du sol
NIGER 10	A 0 - 10 (B <sub>2</sub> ) <sub>Ca</sub> 60 - 70	G <sub>10</sub>	Sol brun subaride vertique à nodules calcaire.
" 11	A 0 - 10 B 40 - 50	G <sub>11</sub>	Sol brun rouge subaride dunaire peu différencié (B de couleur rouge).
" 12	A <sub>p</sub> 0 - 10 B <sub>1</sub> 25 - 35	G <sub>12</sub>	Sol brun rouge subaride sur sables quartzeux, à base jaunie et durcie.
" 13	A <sub>p</sub> 0 - 10 B 30 - 40	G <sub>13</sub>	Sol brun subaride de faciès rubéfié.
" 14	A <sub>1</sub> 0 - 10 B 40 - 50	G <sub>14</sub>	Sol brun rouge subaride, sur sables éoliens à éléments d'arènes granitiques, à la base jaunie et durcie.
" 15	A 0 - 10 B 15 - 25	G <sub>15</sub>	Sol brun subaride légèrement rubéfié.
TUNISIE 16	A <sub>p</sub> 0 - 15 II A <sub>11</sub> 35 - 50	G <sub>16</sub>	Sol brun subtropical modal, jeune sur matériau complexe (limon, sol enterré).
" 17	A 0 - 15 A <sub>Ca</sub> 35 - 50	G <sub>17</sub>	Sol brun subtropical modal, jeune sur matériau complexe (limon, sol enterré).
" 18	A <sub>1</sub> 0 - 20 B <sub>21</sub> 30 - 50	G <sub>18</sub>	Sol châtain rouge subtropical modal et encroûté en profondeur, sur limon rouge.

2 - Les variables envisagées pour chacun de ces deux horizons :

- 1 - Valeur absolue du carbone de la matière organique totale (C),
- 2 - Valeur absolue de l'azote total ..... (N),
- 3 - Valeur du rapport C/N ..... (C/N),
- 4 - Valeur absolue de la matière humique totale ..... (MHT),

- 5 - Valeur absolue des acides humiques totaux ..... (AH),
- 6 - Valeur absolue des acides fulviques ..... (AF),
- 7 - Valeur du rapport AF/AH ..... (AF/AH),
- 8 - Valeur absolue des acides humiques mobiles ..... (AHM),
- 9 - Valeur absolue des acides humiques immobiles ..... (AHI),
- 10 - Valeur du rapport AHM/AHI ..... (AHM/AHI).

Le tableau des calculs faits par ordinateur CDC 3600 est exposé à la page 330. Les distances généralisées  $\delta y$  sont figurées dans l'ordre croissant pour chaque profil (pour chaque G). Cette représentation se prête mieux aux regroupements des profils en constellations.

b) - Constellations.

Il s'agit d'un regroupement des unités envisagées (18 profils dans notre cas) par ordre croissant de leurs "delta". Ainsi le point de départ ne peut être que deux profils à distance la plus faible ( $G_5$  et  $G_6$  du tableau matriciel). Leurs distances avec celles des autres profils construisent des triangles à la superficie variée. Le profil ayant permis de bâtir le plus petit triangle, dont la somme des deux côtés latéraux (ses distance avec les deux profils de départ) est inférieure à celle des autres triangles, mérite logiquement d'être le troisième profil dans l'ébauche d'une première constellation (ce qui est le cas pour  $G_7$  du tableau matriciel). Ce profil rentre définitivement dans cette constellation si, par convention, la moyenne des trois distances entre ces trois profils (distance moyenne intra-constellation) reste toujours inférieure à la distance mesurée entre l'un des trois profils et l'un des  $m-3$  autres profils (distance extra-constellation).

Nous recherchons de la même façon le quatrième profil qui peut entrer dans cette première constellation ( $C_1$ ). Nous reprenons donc la même opération entre les trois profils d'un côté et le reste de l'autre côté.  $C_1$  agrandit ainsi jusqu'au moment où la seule condition n'est plus remplie.



Parmi les autres distances qui ne relient pas les profils de  $C_1$ , la plus faible peut constituer le point de départ de la deuxième constellation ( $C_2$ ), si elle, ou par

la suite leur distance moyenne intra-constellation serait inférieure à la nouvelle distance moyenne inter-constellation, (la moyenne des distances entre les profils de  $C_2$  et ceux de  $C_1$ ). Si tel est le cas nous cherchons le troisième profil de  $C_2$ , parmi ceux qui ont la somme minimale de distance avec les deux profils de départ et qui remplissent les deux conditions suivantes :

$$\begin{array}{l} \overline{\Delta}_g \text{ intra-constellation} < \overline{\Delta}_g \text{ inter-constellations} \\ \overline{\Delta}_g \text{ intra-constellation} < \overline{\Delta}_g \text{ intra-extra-constellation.} \end{array}$$

L'adjonction des profils à cette deuxième constellation sera interrompue dès que l'une des deux conditions ne serait plus remplie.

Pour les constellations suivantes, c'est toujours la distance minimale entre les profils non encore réunis en constellation qui sert de point de départ. Les conditions susmentionnées doivent être respectées jusqu'à l'épuisement total de tous les profils. Par conséquent les distances moyennes inter-constellations seront calculées lors de chaque tentative d'adjonction de nouveaux profils.

Le tableau matriciel de la page 332 présente le regroupement des profils étudiés en constellation (travail N 1).

Nous avons effectué également, dans les mêmes horizons de ces sols, un autre essai de distances généralisées delta et de constellations. Elles sont fondées sur un ensemble de même nombre de variables (20), mais celles qui concernent les composés humiques (l'humus extrait, les acides fulviques, les acides humiques totaux et ses deux fractions) y sont exprimés en % du carbone de la matière organique totale et non en leur valeurs absolues de carbone trouvé.

Les résultats de cet essai sont aussi présentés ci-après sous leur formes de tableau matriciel (travail N 2, page 331 et 333).

DISTANCES GENERALISEES		DELTA	TRAVAIL NEGARESTAN 1						
G 1	G 2		G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	G 8	G 9
G 5 448.56	G17 696.54	G 9 1514.95	G 1 1311.55	G 6 75.88	G 5 75.88	G 5 116.20	G 5 144.60	G 6 725.91	
G18 479.36	G 5 705.38	G 4 1571.79	G 3 1571.79	G 7 116.20	G 7 116.85	G 6 116.85	G 6 182.65	G 5 767.53	
G 6 662.54	G 1 739.59	G 1 1651.96	G18 1593.76	G 8 144.60	G 8 182.65	G 8 223.35	G 7 223.35	G 7 1061.94	
G 2 739.59	G16 750.99	G 5 2101.81	G 5 1675.25	G 1 448.56	G15 506.61	G15 562.08	G15 780.63	G 1 1136.46	
G 7 754.30	G 7 771.10	G 6 2294.77	G 2 1742.08	G15 608.44	G18 519.86	G 1 754.30	G 1 867.32	G18 1154.28	
G 8 867.32	G15 868.23	G18 2310.12	G 6 1820.48	G18 613.95	G 1 662.54	G 2 771.10	G 2 922.72	G 8 1214.23	
G15 1124.49	G 8 922.72	G 7 2567.98	G 7 1882.46	G 2 705.38	G 9 725.91	G18 836.83	G18 940.31	G 3 1514.95	
G 9 1136.46	G14 923.83	G 8 2731.26	G 8 1900.63	G 9 767.53	G10 846.45	G 9 1061.94	G10 1040.54	G15 1809.21	
G16 1197.89	G 6 981.40	G 2 3479.95	G17 2736.20	G10 914.33	G 2 981.40	G10 1069.16	G 9 1214.23	G10 1811.23	
G 4 1311.55	G11 1067.64	G15 4163.05	G 9 2854.54	G16 1128.60	G16 1128.50	G16 1104.75	G13 1381.67	G 2 2487.99	
G10 1327.78	G12 1097.40	G10 4533.84	G15 2875.06	G13 1341.29	G13 1164.79	G13 1264.56	G16 1419.54	G16 2681.87	
G17 1353.81	G13 1166.72	G16 4815.14	G16 3049.20	G 4 1675.25	G12 1646.98	G17 1618.37	G12 1801.87	G 4 2854.54	
G 3 1651.96	G18 1287.55	G17 5112.94	G13 3418.04	G17 1675.57	G17 1797.75	G14 1643.85	G14 1812.35	G13 3038.49	
G13 1810.24	G10 1426.92	G13 5574.79	G11 3470.07	G12 1705.81	G14 1799.66	G12 1671.74	G 4 1900.63	G17 3527.58	
G12 2059.21	G 4 1742.08	G12 6440.46	G10 3755.55	G14 1755.01	G 4 1820.48	G11 1806.20	G11 2032.52	G12 3681.31	
G11 2205.26	G 9 2487.99	G11 6565.32	G12 3956.42	G11 1925.03	G11 1843.99	G 4 1882.46	G17 2065.25	G14 3988.62	
G14 2331.15	G 3 3479.95	G14 6792.08	G14 4127.03	G 3 2101.81	G 3 2294.77	G 3 2567.98	G 3 2731.26	G11 4073.01	
G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	
G15 341.25	G12 180.74	G13 130.56	G12 130.56	G12 143.78	G13 226.54	G15 240.03	G16 502.43	G 1 479.36	
G13 624.84	G14 259.68	G14 143.78	G15 226.54	G11 259.68	G16 240.03	G13 253.32	G11 656.33	G 6 519.86	
G16 691.55	G13 317.21	G11 180.74	G16 253.32	G13 384.73	G10 341.25	G12 260.99	G 2 696.54	G 5 613.95	
G12 787.91	G16 391.54	G16 260.99	G11 317.21	G16 461.17	G12 438.78	G11 391.54	G12 841.67	G15 641.64	
G18 829.09	G17 656.33	G15 438.78	G14 384.73	G15 619.64	G 6 506.61	G14 461.17	G14 929.54	G10 829.09	
G 6 846.45	G15 703.43	G10 787.91	G10 624.84	G 2 923.83	G 7 562.08	G17 502.43	G15 1035.75	G 7 836.83	
G 5 914.33	G 2 1067.64	G17 841.67	G18 1035.58	G17 929.54	G 5 608.44	G10 691.55	G13 1056.17	G16 869.44	
G 8 1040.54	G10 1405.38	G 2 1097.40	G17 1056.17	G10 1120.45	G14 619.64	G 2 750.99	G 1 1353.81	G 8 940.31	
G 7 1069.16	G18 1600.89	G18 1457.70	G 6 1164.79	G 7 1643.85	G18 641.64	G18 869.44	G18 1389.54	G13 1035.58	
G14 1120.45	G 7 1806.20	G 6 1646.98	G 2 1166.72	G 5 1755.01	G11 703.43	G 7 1104.75	G10 1517.37	G 9 1154.28	
G 1 1327.78	G 6 1843.99	G 7 1671.74	G 7 1264.56	G 6 1799.66	G 8 780.63	G 6 1128.50	G 7 1618.37	G 2 1287.55	
G11 1405.38	G 5 1925.03	G 5 1705.81	G 5 1341.29	G 8 1812.35	G 2 868.23	G 5 1128.60	G 5 1675.57	G17 1389.54	
G 2 1426.92	G 8 2032.52	G 8 1801.87	G 8 1381.67	G18 1980.63	G17 1035.75	G 1 1197.89	G 6 1797.75	G12 1457.70	
G17 1517.37	G 1 2205.26	G 1 2059.21	G 1 1810.24	G 1 2331.15	G 1 1124.49	G 8 1419.54	G 8 2065.25	G 4 1593.76	
G 9 1811.23	G 4 3470.07	G 9 3681.31	G 9 3038.49	G 9 3988.62	G 9 1809.21	G 9 2681.87	G 4 2736.20	G11 1600.89	
G 4 3755.55	G 9 4073.01	G 4 3956.42	G 4 3418.04	G 4 4127.03	G 4 2875.06	G 4 3049.20	G 9 3527.58	G14 1980.63	
G 3 4533.84	G 3 6565.32	G 3 6440.46	G 3 5574.79	G 3 6792.08	G 3 4163.05	G 3 4815.14	G 3 5112.94	G 3 2310.12	

DISTANCES GENERALISEES		DELTA	TRAVAIL NEGARESTAN 2									
G 1	G 2		G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	G 8	G 9			
G 5 508.74	G 1 823.52	G 1 516.38	G 3 941.31	G 6 133.94	G 5 133.94	G 6 193.90	G 5 315.39	G 5 283.46				
G 9 666.74	G14 993.52	G 4 541.31	G 2 1161.49	G 7 222.07	G 7 193.90	G 5 222.07	G 7 329.90	G 6 365.26				
G18 714.29	G 7 1069.72	G 9 1203.23	G 1 1282.21	G 9 283.46	G 9 365.26	G 8 329.90	G 6 407.61	G 8 643.81				
G 6 787.30	G 5 1099.90	G 2 1293.29	G 6 1684.94	G 8 315.39	G12 407.03	G14 395.36	G14 628.35	G 1 666.74				
G 2 823.52	G 4 1161.49	G 5 1485.55	G 5 1749.54	G 1 508.74	G 8 407.61	G12 617.96	G 9 643.81	G 7 676.81				
G 7 895.73	G 6 1163.04	G 6 1556.89	G17 1785.99	G12 578.65	G13 434.29	G 9 676.81	G18 832.81	G18 914.30				
G 3 916.38	G 3 1293.29	G 7 1940.13	G11 1883.58	G14 646.05	G14 574.33	G13 743.39	G 1 992.45	G12 1153.57				
G16 922.28	G17 1307.70	G 8 2156.96	G 7 1898.52	G18 651.39	G15 625.64	G16 807.53	G12 1029.99	G 3 1203.23				
G 8 992.45	G 8 1352.37	G18 2168.62	G18 1975.73	G16 749.50	G16 741.43	G15 811.62	G13 1165.11	G13 1281.37				
G17 1100.16	G 9 1546.49	G16 2419.11	G 8 2046.84	G15 800.51	G 1 787.30	G 1 895.73	G10 1320.42	G15 1287.20				
G12 1199.67	G12 1585.08	G13 2532.57	G 9 2092.46	G13 817.19	G18 829.81	G11 930.36	G 2 1352.37	G16 1328.68				
G 4 1282.21	G13 1592.53	G17 2664.78	G14 2200.70	G11 1096.63	G11 920.19	G18 1007.85	G15 1398.22	G14 1452.15				
G14 1232.78	G16 1604.04	G12 2682.32	G13 2251.35	G 2 1099.90	G 2 1163.04	G 2 1069.72	G11 1465.26	G 2 1546.49				
G13 1455.54	G11 2073.73	G14 2860.53	G12 2414.77	G10 1309.73	G10 1514.93	G17 1250.30	G16 1484.44	G10 1548.54				
G11 1760.38	G18 2344.20	G11 3157.53	G16 2466.99	G17 1426.29	G17 1527.75	G10 1639.51	G17 2043.11	G11 2074.98				
G15 1811.29	G15 2713.69	G15 3185.19	G15 3304.21	G 3 1485.55	G 3 1556.89	G 4 1898.52	G 4 2046.84	G 4 2092.46				
G10 2332.70	G10 4042.43	G10 4556.00	G10 5043.40	G 4 1749.54	G 4 1684.94	G 3 1940.13	G 3 2156.96	G17 2401.22				
G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18				
G15 1218.98	G12 588.78	G13 135.42	G12 135.42	G 7 395.36	G12 346.69	G12 300.80	G11 863.39	G 5 651.39				
G 5 1309.73	G14 719.23	G16 300.80	G 6 434.29	G12 404.29	G16 549.81	G13 512.04	G16 926.02	G 1 714.29				
G 8 1320.42	G13 767.61	G15 346.69	G16 512.04	G13 547.04	G13 569.71	G15 549.81	G 1 1100.16	G 6 829.81				
G18 1233.63	G17 863.39	G14 404.29	G14 547.04	G 6 574.33	G 6 625.64	G 6 741.43	G14 1178.98	G 8 832.81				
G 6 1514.93	G 6 920.19	G 6 407.03	G15 569.71	G 8 628.35	G 5 800.51	G 5 749.50	G12 1215.70	G 9 914.30				
G 9 1548.54	G 7 930.36	G 5 578.65	G 7 743.39	G 5 646.05	G 7 811.62	G 7 807.53	G 7 1250.30	G 7 1007.85				
G12 1562.97	G15 962.26	G11 588.78	G11 767.61	G11 719.23	G11 962.26	G14 830.57	G 2 1307.70	G12 1063.39				
G 7 1639.51	G16 970.86	G 7 617.96	G 5 817.19	G16 830.57	G14 1041.90	G 1 922.28	G 5 1426.29	G16 1068.26				
G16 1955.49	G 5 1096.63	G 8 1029.99	G 8 1165.11	G 2 993.52	G10 1218.98	G17 926.02	G 6 1527.75	G11 1226.92				
G13 2075.52	G18 1226.92	G18 1063.39	G 9 1281.37	G15 1041.90	G18 1279.59	G11 970.86	G13 1553.12	G15 1279.59				
G14 2108.97	G 8 1465.26	G 9 1153.57	G18 1323.83	G17 1178.98	G 9 1287.20	G18 1068.26	G18 1654.48	G13 1323.83				
G 1 2332.70	G 1 1760.38	G 1 1199.67	G 1 1455.54	G 1 1332.78	G 8 1398.22	G 9 1328.68	G 4 1785.99	G10 1333.63				
G11 2637.54	G 4 1883.58	G17 1215.70	G17 1553.12	G 9 1452.15	G 1 1811.29	G 8 1484.44	G15 1939.55	G14 1472.78				
G17 3401.74	G 2 2073.73	G10 1562.97	G 2 1592.53	G18 1472.78	G17 1939.55	G 2 1604.04	G 8 2043.11	G17 1654.48				
G 2 4042.43	G 9 2074.98	G 2 1585.08	G10 2075.52	G10 2108.97	G 2 2713.69	G10 1955.49	G 9 2401.22	G 4 1975.73				
G 3 4556.00	G10 2637.54	G 4 2414.77	G 4 2251.35	G 4 2200.70	G 3 3185.19	G 3 2419.11	G 3 2664.78	G 3 2168.62				
G 4 5043.40	G 3 3157.53	G 3 2682.32	G 3 2532.57	G 3 2860.53	G 4 3304.21	G 4 2466.99	G10 3401.74	G 2 2344.20				

DISTANCES MOYENNES INTRA ET INTERCONSTELLATIONS

DELTA

TRAVAIL NEGARESTAN 1

GROUPES	C 1	C 2	C 3	C	G 2	G 3	G 4	G 9	G10	G11	G14	G17	G18	G
	G 5	G12	G15	G 1										
	6	13	16											
	7	C	0											
	8	C	0											
C 1	143.25	1497.34	904.89	683.18	845.15	2423.96	1819.71	942.40	967.62	1901.93	1752.72	1789.24	727.74	
C 2	1497.34	130.56	294.91	1934.73	1132.06	6007.63	3687.23	3359.90	706.37	248.98	264.25	948.92	1246.64	
C 3	904.89	294.91	240.03	1161.19	809.61	4489.10	2962.13	2245.54	516.40	547.48	540.41	769.09	755.54	
G 1	683.18	1934.73	1161.19	0.00	739.59	1651.96	1311.55	1136.46	1327.78	2205.26	2331.15	1353.81	479.36	
G 2	845.15	1132.06	809.61	739.59	0.00	3479.95	1742.08	2487.99	1426.92	1067.64	923.83	696.54	1287.55	
G 3	2423.96	6007.63	4489.10	1651.96	3479.95	0.00	1571.79	1514.95	4533.84	6565.32	6792.08	5112.94	2310.12	
G 4	1819.71	3687.23	2962.13	1311.55	1742.08	1571.79	0.00	2854.54	3755.55	3470.07	4127.03	2736.20	1593.76	
G 9	942.40	3359.90	2245.54	1136.46	2487.99	1514.95	2854.54	0.00	1811.23	4073.01	3988.62	3527.58	1154.28	
G10	967.62	706.37	516.40	1327.78	1426.92	4533.84	3755.55	1811.23	0.00	1405.38	1120.45	1517.37	829.09	
G11	1901.93	248.98	547.48	2205.26	1067.64	6565.32	3470.07	4073.01	1405.38	0.00	259.68	656.33	1600.89	
G14	1752.72	264.25	540.41	2331.15	923.83	6792.08	4127.03	3988.62	1120.45	259.68	0.00	929.54	1980.63	
G17	1789.24	948.92	769.09	1353.81	696.54	5112.94	2736.20	3527.58	1517.37	656.33	929.54	0.00	1389.54	
G18	727.74	1246.64	755.54	479.36	1287.55	2310.12	1593.76	1154.28	829.09	1600.89	1980.63	1389.54	0.00	

DISTANCES MOYENNES INTRA ET INTERCONSTELLATIONS

DELTA TRAVAIL NEGARESTAN 2

333

GROUPES	C 1	C 2	C 3	C	G 3	G 4	G10	G17	G
	G 5	G12	G 1	G 2					
	6	13	18						
	7	16	C						
	8	15	C						
	9	14	C						
	0	11	C						
C 1	357.21	948.23	808.71	1246.30	1668.55	1894.46	1466.63	1729.73	
C 2	948.23	616.47	1326.39	1760.43	2806.21	2420.27	1926.58	1279.46	
C 3	808.71	1326.39	714.29	1583.86	1542.50	1628.97	1833.17	1377.32	
G 2	1246.30	1760.43	1583.86	0.00	1293.29	1161.49	4042.43	1307.70	
G 3	1668.55	2806.21	1542.50	1293.29	0.00	941.31	4556.00	2664.78	
G 4	1894.46	2420.27	1628.97	1161.49	941.31	0.00	5043.40	1785.99	
G10	1466.63	1926.58	1833.17	4042.43	4556.00	5043.40	0.00	3401.74	
G17	1729.73	1279.46	1377.32	1307.70	2664.78	1785.99	3401.74	0.00	

Expression des résultats :

Le regroupement fondé sur l'ensemble des variables concernant uniquement l'étude de la matière organique dans ces sols met en évidence trois constellations dans le premier travail :

- C<sub>1</sub> - constellation des quatre sols bruns subtropicaux de Maroc (les sols n° 5, 6, 7 et 8)!
- C<sub>2</sub> - constellation des deux sols bruns subarides de Niger (les sols n° 12 et 13)!
- C<sub>3</sub> - constellation d'un sol brun subaride de Niger (le sol n° 15) et d'un sol brun jeune subtropical de Tunisie (le sol n° 16)!

Du fait que les dix autres sols ne se réunissent pas en constellations, nous concluons que la variation de valeur absolue des composés humiques n'est pas suffisante pour justifier le rapprochement de groupe dans la plupart des profils envisagés!

Le regroupement des nouvelles distances généralisées delta, dans le deuxième travail, présente également trois constellations, mais un nombre plus élevé des profils se réunissent dans les deux premières!

- C<sub>1</sub> - constellation de cinq profils du Maroc (les sols n° 5, 6, 7, 8 et 9)!
- C<sub>2</sub> - constellation de cinq profils du Niger (les sols n° 11 à n° 15) et un profil de Tunisie (sol n° 16).
- C<sub>3</sub> - constellation d'un profil d'Iran (sol n° 1, brun calcaire à tendance isohumique) et un profil de Tunisie (sol n° 8, châtain)!

Il n'y a donc que cinq profils restant encore dissociés : trois venant d'Iran dont un sol isohumique hydromorphe, un sol à tendance de sol châtain, mais irrégulièrement enrichi en humus en surface, un sol brun faiblement lessivé, un sol vertique à nodules calcaires (du Niger), un sol complexe de Tunisie!

Nous constatons en fait que la variation de la composition globale de la matière organique totale en ses éléments constitutifs le long d'un profil présente mieux l'affinité existant entre les profils d'un groupe de sol. La presque totalité des profils appartenant aux deux principaux groupes étudiés dans ce travail (bruns subtropicaux et bruns subarides) se réunissent dans les deux premières constellations!

## RESUME ET CONCLUSION

---

Une nouvelle méthode d'étude de la matière organique des sols est proposée dans ce travail, permettant une comparaison précise et détaillée de sa teneur et de sa constitution dans les différents horizons. Les conditions d'extraction et de fractionnement des composés humiques sont précisées ainsi que celles permettant le dosage de leur carbone.

Elle est appliquée sur 84 horizons de 18 sols isohumiques ou à tendance isohumique d'Iran, du Maroc, du Niger et de Tunisie. Leur matière organique est constituée par un mull calcique. Ils ont évolué sous des micro-climats variés et des conditions de mise en valeur agricole différentes.

La méthode proposée correspond à une étude approfondie, aussi bien qualitative que quantitative de la matière organique.

Dans l'étude qualitative :

Elle permet de préciser l'allure de l'évolution de cette matière complexe le long du profil d'une part (aspect évolutif), et d'autre part, elle assure, par la suite, une comparaison valable des variations observées de ces évolutions entre les profils envisagés (aspect comparatif).

Sous l'aspect évolutif, elle permet de suivre la transformation réversible entre les quatre fractions humiques (humine, acides humiques immobiles, acides humiques mobiles et les acides fulviques) d'un horizon au suivant, et l'exprime dans un système symbolique fondé sur la variation de pourcentage de chacune de ces fractions dans la composition globale de la matière organique totale de l'horizon.

Sous l'aspect comparatif, elle offre la possibilité d'établir une comparaison entre l'évolution organique des divers sols étudiés. Ceci justifie le rapprochement des profils d'un groupe donné de sol du fait de l'existence de caractéristiques communes de leur évolution organique, telles que la composition globale de la matière organique de leurs horizons en ses quatre fractions constitutives, le sens et l'intensité de leur évolution organique, telles que la composition globale de la matière organique de leurs horizons en ses quatre fractions constitutives, le sens et l'intensité de leur évolution, l'accentuation localisée de celle-ci dans une partie du profil ou sa généralisation dans l'ensemble, etc..

Dans l'étude quantitative, cette méthode propose :

- une comparaison de la richesse organique des sols en question d'après la valeur absolue trouvée pour le carbone de leur matière organique et celui de ses composés dans les divers horizons. Ainsi une représentation schématique permet une estimation plus nette de l'importance de chacune des origines possibles des matières organiques qui leur ont donné naissance.
- une comparaison du profil organique, dans laquelle la matière organique du premier horizon de chaque profil est supposée égale à 100, et celle des autres horizons en pourcentage de cette valeur. Une telle opération permet de juger la répartition organique dans chaque profil et de faire ressortir, dans une large mesure, le rapprochement des profils d'une même classe du sol sur ce plan.
- une comparaison également du profil organique, mais plus indicative que la précédente, car la matière organique de chaque horizon y est exprimée en pourcentage du carbone total du profil (somme de matière organique de tous les horizons), et de ce fait, celle du premier horizon intervient aussi dans la comparaison du profil organique. Cependant, elle n'est praticable que dans les profils à échantillonnage complet ; mais en revanche, quand elle est réalisable, elle permet de différencier la répartition de la matière organique entre les profils de deux groupes d'une même classe de sol.

Nous avons appliqué cette méthode à l'étude du mull calcique de ces 18 sols isohumiques ou à tendance isohumique. Après une première phase d'interprétation des résultats, en fonction des chiffres obtenus eux-mêmes, nous avons entrepris une étude complémentaire, au moyen des méthodes de la statistique approfondie (corrélations, distances généralisées delta et regroupement des constellations). De cet ensemble nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1 - La composition globale de la matière organique de ces sols d'après les quatre fractions constitutives, présente une différence non négligeable entre les groupes dans les horizons respectifs et surtout en surface ; elle est par contre, relativement constante, surtout en ce qui concerne la proportion de l'humine, sur toute la profondeur dans les horizons d'un même groupe de sol. Mais la variation quantitative de ces éléments, est plus importante entre les divers horizons de chaque profil qu'entre

les horizons homologues de profils appartenant à l'un ou l'autre des groupes étudiés. En conséquence, le comportement qualitatif de la matière organique de ces sols, vis-à-vis des conditions physiques, chimiques et biologiques, semble indépendant de sa variation quantitative.

2 - Par contre, la faiblesse de la variation de cette composition d'un horizon au suivant favorise fortement la diminution des composés humiques, surtout quand il s'agit d'une dépolymérisation générale des composés à grosse molécule (voir page 277). Elle peut donc être favorable ou défavorable à la minéralisation des composés humiques selon le sens et l'intensité de cette faible variation.

3 - A faible profondeur (20-50 cm) dans l'ensemble des sols étudiés, isohumiques ou à tendance isohumique, les deux processus inverses de polymérisation et de dépolymérisation se produisent dans un nombre à peu près égal de cas dans le passage d'un horizon à l'horizon plus profond.

4 - La moitié des cas de chacun des deux phénomènes, dans cette partie des profils, consiste respectivement en transformation des acides humiques immobiles en humine et des acides humiques mobiles en acides fulviques.

5 - L'évolution de la matière organique ne se manifeste pas de la même façon à la surface des sols comparés (0 à 20 cm) ; l'augmentation du nombre de cas de dépolymérisation observés lors du passage d'un horizon à l'autre de cette partie superficielle du profil est élevé par rapport à la zone moyenne (20-50 cm), contrebalancé par une diminution identique de ceux des processus de polymérisation (page 281).

6 - Deux tiers de ces cas assez limités de polymérisation en surface consistent encore en transformation des acides humiques immobiles en humine, mais le nombre élevé des cas de dépolymérisation se partage en proportions presque identiques entre les trois stades évolutifs. Le processus de dépolymérisation l'emporte donc largement en surface de ces sols sur le phénomène de polymérisation puisque le nombre des cas du premier par rapport à celui de second est très élevé (52/15).

7 - L'évolution de la matière organique à la base de ces sols (profondeur supérieure à 70 cm) a la même allure qu'en surface. La dépolymérisation l'emporte sur le phénomène opposé dans un nombre de cas trois fois plus élevé.

8 - Deux tiers du nombre des cas très limités de polymérisation y consistent encore en une transformation des acides humiques immobiles en humine et les cas de dépolymérisation se partagent comme en surface d'une façon relativement homogène entre les trois stades évolutifs.

9 - Du fait que le rapport entre le nombre de cas de dépolymérisation observés et celui de polymérisation, en surface de ces sols, croit en allant du premier au troisième stade (18/10, 20/4, 24/1) on peut en déduire que les produits humiques résistent à la dépolymérisation et se polymérisent d'autant plus fréquemment que leurs molécules sont plus grosses. Il en est de même à la base des profils mais à un degré moindre puisque ce rapport croit plus lentement (5/4, 6/1 et 7/1) du premier au troisième stade.

10 - Le nombre des cas de dépolymérisation de l'humine et des deux types d'acides humiques d'un horizon à l'autre de la partie du profil située à faible profondeur, se répartit en ces trois stades, grosso modo, comme à la base des profils. Les produits organiques s'y dépolymérisent donc toujours d'autant moins fréquemment que leurs molécules sont plus grosses. Mais la polymérisation à ce niveau des profils est par contre plus fréquent pour les acides fulviques que pour les acides humiques mobiles, alors que la polymérisation des acides humiques immobiles en humine est aussi souvent observée qu'en surface (le rapport entre le nombre de cas de ces deux phénomènes est 5/11, 7/4 et 10/6 respectivement du premier au troisième stade).

11 - L'état d'équilibre entre les fractions est rarement noté dans l'évolution des composés humiques de ces sols. Cependant 70 % de ce faible nombre de cas d'équilibre se produit au deuxième stade évolutif (entre les deux types d'acides humiques) soit 25 % à la surface, 25 % à faible profondeur et 15 % à la base des profils.

12 - Dans les quatre profils des sols bruns subtropicaux du Maroc, l'humine se dépolymérise deux fois moins souvent qu'il ne s'en reforme par polymérisation des acides humiques immobiles (7 contre 14). Elle y résiste donc davantage à la dépolymérisation que dans le cas général des sols étudiés.

13 - L'humine se dépolymérise principalement en surface de ces sols (6/7 cas de 0 à 20 cm). Elle n'est plus influencée, par ce processus, dans ce groupe de sol, au-delà de 25 cm.

14 - Par contre, la polymérisation des acides humiques immobiles en humine y est moins fréquemment observée en surface qu'à faible profondeur et qu'à la base de ces profils.

15 - D'une façon générale, à peu près 50 % des cas totaux du phénomène de dépolymérisation (18/35) dans les trois stades évolutifs de la matière organique de ces sols se produisent en surface (0 à 20 cm) et 30 % à faible profondeur (20 à 50 cm). Ce processus ne se produit donc que rarement au-delà de 70 cm (4/35 cas). Mais en revanche les 22 cas de polymérisation des éléments organiques sont répartis d'une façon assez homogène le long des profils de ces sols (6, 6, 4 et 6 aux profondeurs respectives de 0-20, 20-50, 50-70 et supérieure à 70 cm).

16 - Dans les sols bruns subtropicaux la proportion des cas de polymérisation est un peu plus élevée (35 %) que dans le cas général (27,6 %). C'est l'inverse dans le cas du processus de dépolymérisation (55,5 % contre 62 %). La stabilité du complexe argilo-humique, de même que la résistance des produits organiques à l'attaque microbienne sont donc plus spécialement accentuées dans ce groupe de sol.

17 - L'humine se montre plus instable dans les 6 profils de sols bruns subarides du Niger. Le nombre des cas de dépolymérisation de celle-ci en acides humiques immobiles est plus de deux fois supérieur au cas inverse, de polymérisation des acides humiques immobiles en humine.

18 - 50 % des cas de polymérisation des acides humiques immobiles en humine s'y produit à faible profondeur (20 à 50 cm). Le processus inverse n'agit pas à ce niveau, sur ce stade évolutif, dans ces sols.

19 - L'humine se dépolymérise principalement, dans ce groupe, en surface et à la base des profils.

20 - Dans ces sols bruns subarides (Niger) aucun produit humique ne se polymérise au-delà de 45 cm.

21 - Les conditions de milieu sont favorables au processus de dépolymérisation en surface et à la base de ces sols (voir page 283).

22 - Le rapport C/N est légèrement plus élevé dans ces sols que dans les autres sols étudiés.

23 - La proportion d'humine est très élevée dans la composition globale de la matière organique des horizons de surface de tous les sols envisagés.

24 - Elle ne subit une variation notable (diminution) en fonction de la profondeur qu'à la base des sols non ou peu calcaires.

25 - Les acides humiques totaux sont en proportion nettement plus élevés dans la matière organique des horizons des sols brun subtropicaux que dans ceux des sols bruns subarides.

26 - Les acides humiques immobiles dominent les acides humiques mobiles dans tous les horizons des sols étudiés.

27 - La proportion des acides fulviques est inférieure de celle des acides humiques totaux en surface et à faible profondeur de tous les sols (partie plus ou moins décarbonatée des sols calcaires) ; elle domine ensuite celle des deux types d'acides humiques dans le reste des profils.

28 - L'humus extrait des sols du Maroc (sols isohumiques subtropicaux) est en général plus riche en acides humiques immobiles que celui des autres sols. Il en est de même pour les acides humiques totaux.

29 - Dans les sols d'Iran (sols divers à tendance isohumiques) la proportion d'acides humiques mobiles par rapport aux acides humiques totaux est plus élevée que dans les autres sols isohumiques.

30 - Cette proportion de ces acides humiques mobiles, décroît dans tous les sols en question, en fonction de la profondeur, excepté dans le sol brun calcaire d'Iran où elle croît en profondeur.

31 - La couleur des deux types d'acides humiques sur la bande d'électrophorèse des sols isohumiques et même à tendance isohumique est assez caractéristique et différente de celle obtenue avec le sol brun calcaire proprement dit.

32 - L'étude quantitative de la matière organique partage nettement ces sols en deux types : sols moyennement organiques (2.66 à 1.15 % C en poids de terre sèche dans l'horizon de surface) et sols faiblement organiques (0.71 à 0.17 % C).

33 - Les sols d'Iran et du Maroc (sols n° 1 à 9) sont du premier type, et ont donc une supériorité incontestable de richesse organique par rapport aux sols du Niger et de Tunisie (sols n° 10 à 18), qui sont du second type.

34 - Parmi les sols moyennement organiques, deux sols d'Iran (n° 3 et 4) sont plus riches que les autres dans les 15 premiers cm. Dans les autres sols de cette catégorie la teneur en matière organique des horizons de surface reste approximativement la même.

35 - Dans la seconde catégorie les plus pauvres sont les sols n° 11, 12 et 14 du Niger (0.17 à 0.19 % C) et le plus riche est le sol n° 18 de Tunisie (0.71 % C).

36 - De telles variations dans la richesse organique de ces sols, appartenant "grosso modo" à une même classe, semble due à la diversité des sources de leur approvisionnement en matière organique et à l'influence des facteurs, très variables d'un point à un autre, de leur mise en valeur agricole.

37 - Ces facteurs interviennent davantage sur la richesse organique de l'horizon supérieur que sur la constitution même de cette matière organique, surtout envisagée dans l'ensemble du profil.

38 - Dans les 51 horizons des sols moyennement organiques (sols n° 1 à 9) l'humine constitue 76 à 92 % de total ; et dans les 33 horizons des sols faiblement organiques elle est dans la limite de 70 à 87 %, seule l'humine de 4 horizons profonds de ce dernier groupement des sols est inférieure à cette limite.

39 - L'humine des sols bruns et châtain subtropicaux du Maroc (sols n° 5 à 9), toujours supérieure à 80 % de la matière organique de l'ensemble du profil, n'est que moyennement élevée par rapport à celle des sols d'Iran (voir page 287).

40 - La plus faible proportion d'humine, par rapport au carbone organique dans l'ensemble du profil, se trouve dans les sols bruns subarides (n° 17 et 20).

41 - La proportion des acides humiques immobiles par rapport à la matière organique de l'ensemble des horizons, est en revanche nettement plus importante dans les sols isohumiques (Maroc, Niger, Tunisie -Sols n° 5 à 18-) que dans les sols à tendance isohumique (Iran, sols n° 1 à 4).

42 - L'étude de la répartition de la matière organique dans les sols isohumiques, par rapport à leur surface respective, démontre que cette matière y est répartie profondément quelle que soit la texture du sol ; c'est là un caractère important de ces sols.

43 - Les sols qui ne sont pas à rattacher totalement à cette classe s'en rapprochent cependant par leur profil organique semblable.

44 - Le sol n° 1, qui par son profil calcaire et sa structure doit être classé comme sol brun calcaire, a ainsi les caractères des sols isohumiques sur le plan de la matière organique (voir page 290).

45 - La présentation basée sur le pourcentage du carbone de chaque horizon par rapport à la matière organique globale du profil indique que, les sols bruns subtropicaux et châtain du Maroc ou châtain de Tunisie présentent ce profil organique typique. Ce type de variation assez progressive de cette matière organique dans le profil fait également partie de la définition des sols isohumiques.

46 - Ce profil organique, dans le sol brun faiblement lessivé d'Iran (sol n° 4), présente, comme l'on pouvait s'y attendre, une répartition bien différente de sa matière organique, même si les horizons profonds en contiennent encore des pourcentages appréciables (pages 291 et 292).

47 - En envisageant la répartition de la matière organique par rapport à la somme de celle de tous horizons du sol, on peut différencier nettement le profil organique des sols de deux groupes de la même classe développée sous les conditions climatiques du même pays.

48 - Les deux sols bruns subtropicaux du Maroc (sol n° 5 et 7) typiquement isohumiques, ayant une profondeur et une richesse organique dans leur ensemble du profil sensiblement identiques (4.17 et 4.18 % C en poids de terre sèche), ont ainsi un taux relatif de cette matière organique plus élevé dans leur horizons de surface que celui du sol châtain de même pays (sol n° 9) qui est moins profond et plus riche dans son ensemble en cet élément (5.93 % C).

49 - Le fait est inverse quant aux taux de richesse organique dans les horizons profonds de ces trois sols. Leur proportions sont relativement plus faibles dans les sols bruns que dans le sol châtain.

50 - La répartition de l'humine des divers horizons, envisagée par rapport à la matière organique de l'ensemble du profil (page 292) confirme ces deux faits en même temps que les autres constatations faites à propos du profil organique.

51 - Les corrélations effectuées entre les 11 variables concernant les analyses organiques des sols d'Iran qui sont les plus variées indiquent que la variation quantitative du carbone organique entre les divers horizon d'un profil n'influence, ni le taux d'extraction, ni la proportion des acides humiques totaux, ni celle des acides fulviques par rapport au carbone total (page 305).

52 - Elle est par contre corrélée avec les autres variables, toujours positivement sauf avec le rapport AF/AH pour lequel la corrélation est négative.

53 - La matière organique des horizons de ces sols (surtout en surface) est ainsi proportionnelle d'autant plus pauvre en acides fulviques, ou plus riche en acides humiques, que sa teneur est plus élevée.

54 - La variation de la teneur des horizons de ces sols en azote total présente les mêmes relations avec ces variables que celle du carbone. Son coefficient de corrélation avec celui-ci est très élevé (0.914).

55 - L'absence de corrélation entre le rapport C/N et les autres rapports employés tels que AF/AH, le taux d'extraction, la proportion des acides humiques totaux et celle des acides fulviques par rapport au carbone total, et la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux montre l'indépendance de leur variations et la nécessité d'en tenir compte, quant à l'étude organique du sol.

56 - La corrélation positive entre les variations de ce rapport et celles en valeurs absolues des composés humiques extraits tels que la matière humique totale, les acides humiques totaux et les acides fulviques, souligne que leur teneur est d'autant moins élevée que la valeur de C/N est plus basse. Les composés humiques sont donc moins facilement extractibles quand la matière organique est bien évoluée (C/N bas).

57 - L'absence de corrélation entre la variation de l'humus extrait et celle du taux d'extraction prouve leur indépendance. Il faut donc les envisager, dans l'étude de la matière organique, comme deux critères différents.

58 - La corrélation négative entre la variation de l'humus extrait et le rapport AF/AH est due, comme dans le cas du carbone total (voir 53), au fait que les acides humiques sont plus abondants, contrairement aux acides fulviques, quand la quantité d'humus extrait est plus grande (dominance des acides humiques sur les acides fulviques dans les horizons de surface, voir 27).

59 - La variation des acides humiques a les mêmes corrélations avec les autres variables envisagées que l'humus total extrait. Cela prouve également que l'humus de ces sols est plus riche en acides humiques qu'en acides fulviques et met en évidence le caractère très polymérisé de leur matière organique, comme de celle des sols isohumiques subtropicaux et subarides.

60 - La corrélation est positive entre la teneur en valeur absolue des acides fulviques et le taux d'extraction ainsi que les cinq premières variables (C, N, C/N, MHT et AH) ; mais aucune corrélation n'existe ni avec leur proportion dans la matière organique globale, ni avec celle des acides humiques totaux proportionnellement avec cette même matière organique ou avec l'humus extrait, ni avec le rapport AF/AH. L'absence de corrélation avec ces variables semble due au fait que le degré de polymérisation des composés humiques de ces sols est très élevé, d'une part et que, d'autre part, la forte liaison organo-minérale défavorise la dépolymérisation des produits organiques. La migration descendante des acides fulviques y joue également un rôle non négligeable.

61 - Le rapport AF/AH varie naturellement en corrélation positive avec la variation des acides fulviques par rapport au carbone total et négative avec celle des acides humiques totaux. Il est aussi négativement corrélié avec la concentration en acides humiques de l'humus extrait. Dans ce type d'humus, la variation de ce rapport est plus influencée par celle des acides humiques que par celle des acides fulviques. En effet, il existe une corrélation avec la teneur en acides humiques, elle disparaît en ce qui concerne les acides fulviques, de même qu'en ce qui concerne le taux d'extraction.

62 - La variation du taux d'extraction ne dépend pas de la concentration de l'humus extrait en acides humiques. En revanche, il est en corrélation positive avec leur proportion et avec celle des acides fulviques dans la composition globale de la matière organique total. Le taux d'extraction dans ces sols dépend donc essentiellement de trois variables : l'une est la variation quantitative des acides fulviques (voir 60), les deux autres sont celles de la proportion des acides humiques et des acides fulviques dans la matière organique totale.

63 - La variation des acides humiques totaux par rapport au carbone total influence positivement leur concentration dans l'humus extrait. Elle n'a par contre pas de

corrélation avec la proportion des acides fulviques par rapport au carbone total.

64 - La variation des acides fulviques par rapport au carbone total et celle des autres variables ne donnent pas toujours des corrélations opposées à celle des acides humiques totaux. Elle n'est en corrélation, en effet, qu'avec deux variables. Elle influence positivement le rapport AF/AH et négativement la concentration de l'humus extrait en acides humiques totaux.

65 - Dans la limite des variations observées dans ce travail, la matière organique améliore la perméabilité de ces sols par sa quantité plutôt que par sa qualité, d'une part, cette perméabilité est en corrélation positive avec les cinq variables concernant la valeur absolue de ses constituants et elle n'est, par contre en corrélation qu'avec deux des six variables qualifiant sa constitution et d'autre part, elle présente les mêmes relations que les cinq variables avec le phosphore assimilable, la capacité d'échange, le magnésium total, la profondeur, l'instabilité structurale et enfin la somme argile + limon sans dispersant.

66 - L'influence de la matière organique et de ses constituants sur la capacité d'échange se manifeste par la corrélation positive entre cette variable et les variations des composés humiques.

67 - L'influence des acides fulviques sur cette caractéristique semble plus importante que celle des autres facteurs, puisque son coefficient de corrélation est le plus élevé.

68 - Ce fait souligne d'ailleurs, l'influence importante de certaines autres variables, car l'amélioration apportée par les acides fulviques sur la capacité d'échange semble due, pour une partie, au moins, à sa combinaison avec le fer libre qui est également en corrélation positive avec la capacité d'échange.

69 - L'instabilité structurale de ces sols est d'autant plus faible que ceux-ci sont plus riches en éléments humiques, puisque les six premières variables organiques sur les onze envisagées et qui correspondent essentiellement aux teneurs absolues en ces éléments lui sont corrélées négativement.

70 - La matière organique et ses constituants influencent également l'état colloïdal de ces sols, tant quantitativement que qualitativement, puisque 8/11 de ses variables sont en corrélation négative avec la somme d'argile et limon sans dispersant.

71 - L'augmentation du phosphore assimilable est accompagnée de celle des composés humiques, les acides fulviques exceptés.

72 - Elle semble favorable aussi à la concentration en acides humiques totaux de l'humus extrait et varie en sens inverse du rapport AF/AH. Ces corrélations, respectivement positive et négative, ont un coefficient identique et assez élevé (0.53). Il en est de même en ce qui concerne le phosphore total.

73 - La proportion des acides humiques par rapport au carbone total croît, et celle des acides fulviques décroît avec l'augmentation respective du phosphore assimilable et du phosphore total.

74 - L'augmentation de teneur en l'un et l'autre des deux formes de phosphore s'accompagne donc d'une polymérisation des composés humiques et paraît la favoriser (voir 71, 72 et 73). Inversement la richesse en acides humiques favorise l'extraction du phosphore assimilable. Par contre, les acides fulviques qui sont en corrélation étroite avec la teneur en fer libre en présentent une négative de ce fait avec le phosphore assimilable.

75 - La décroissance de valeur absolue des composés humiques, le long d'un profil, se manifeste par les corrélations négatives entre la profondeur moyenne et ces variables organiques.

76 - Les teneurs en ces éléments organiques par rapport à la matière organique (carbone total) ne présentent pas de corrélation significative avec la profondeur moyenne des échantillons.

77 - La composition de la matière organique en ses fractions constitutives ne subit donc pas une variation importante en fonction de la profondeur.

78 - La diminution du fer libre accompagne le plus souvent la décroissance des acides fulviques (corrélation positive de coefficient 0.49).

79 - Le taux d'extraction et la proportion des acides fulviques par rapport au carbone total décroissent aussi quand le fer libre diminue.

80 - Les acides fulviques rentrent donc en liaison avec le support minéral par l'intermédiaire du fer libre et ils deviennent ainsi pour une part, moins facilement extractibles ; la teneur réelle en acides fulviques est donc supérieure à ce qui est extrait. C'est pourquoi d'ailleurs dans ces sols quand le fer total diminue la proportion des acides humiques par rapport au carbone total augmente (corrélation négative).

81 - La valeur absolue des composés humiques décroît de plus en plus vers la base des profils, car leur approvisionnement est de moins en moins important ; les teneurs en calcaire total et actif sont par contre de plus en plus élevées vers la profondeur par suite de leur lessivage plus intense en surface. Ces deux catégories de variables sont donc naturellement en corrélation négative.

82 - L'absence de corrélation entre les teneurs en ces deux formes de calcaire et les variables concernant la variation qualitative de la matière organique, indique que ces deux variables n'influencent pas la composition globale de la matière organique de ces sols, dans la limite de variation de nos échantillons, toujours saturés en calcium.

83 - L'étendue des distances généralisées delta (maximum-minimum) entre les 18 profils, fondées sur un ensemble de variables concernant uniquement les analyses organiques de ces sols, est plus petite quand cet ensemble exprime plutôt le pourcentage des éléments constitutifs de la matière organique que leur variation quantitative (4909.46 contre 6716.20).

84 - Le regroupement des constellations de ces distances dans le premier essai (travail 1, distances généralisées delta, regroupement des constellations) indique que la variation quantitative des composés humiques justifie le classement des sols étudiés quand ils sont typiques (sous-groupe modal) et assez riches en matière organique ; puisque les quatre sols bruns subtropicaux modaux du Maroc y sont groupés en première constellation (page 332).

85 - Il montre aussi que 10 des sols envisagés sur les 18 étudiés ne s'y réunissent pas en constellations. La valeur absolue des composés humiques ne justifie donc pas suffisamment le rapprochement des profils d'un même groupe qui ne sont pas assez typiques (sous-groupes variés) ou assez riches en matière organique.

86 - Un nombre deux fois moins élevé de profils (5 profils contre 10) reste hors des constellations dans le deuxième essai (travail 2) où l'on compare la constitution de la matière organique plutôt que sa valeur absolue et celle de ses divers constituants dans les différents horizons (page 333).

87 - La variation en pourcentage des éléments constitutifs de la matière organique totale, le long des profils de cette classe, représente donc mieux l'affinité existant entre les profils d'un groupe donné.

88 - La presque totalité des profils appartenant aux deux principaux groupes étudiés (bruns subtropicaux et bruns subarides) se réunissent pour le deuxième essai dans les deux premières constellations (5/5 sols subtropicaux du Maroc et 5/6 sols subarides du Niger).

En conclusion :

La teneur en matière organique des sols isohumiques ou à tendance isohumique que nous avons étudiés est très variable ; moyennement élevée dans ceux d'Iran et du Maroc elle est, par contre, faible dans ceux du Niger et de Tunisie. Sa variation considérable d'un profil à l'autre, rend difficile la comparaison tentée de la matière organique de ces sols pédogénétiquement voisins, quoique géographiquement très éloignés. Cependant, les critères exprimant sa nature varient moins intensément dans ces sols à pédogenèse semblable ce qui, fort heureusement, facilite notre tâche. L'humus extrait de ces sols est souvent peu élevé, surtout dans les horizons profonds. La matière organique y est donc très riche en humine. La quantité des acides humiques totaux de cet humus est supérieure à celle des acides fulviques dans les horizons de surface et elle devient inférieure à celle-ci à la base des profils. La proportion des acides humiques immobiles y domine toujours celle des acides mobiles. La composition globale de la matière organique en ses fractions constitutives varie peu, en fonction des différences possibles de conditions physiques, chimiques et biologiques, dans les horizons homologues des sols de chacune des deux catégories, moyennement et faiblement organiques. Sa nature ne dépend pas beaucoup, dans ce type de mull calcaïque, de sa variation quantitative. La variation qualitative dans cette matière organique d'un horizon à l'horizon sous-jacent est encore moins importante ; elle correspond à une minéralisation qui peut être accélérée ou atténuée, selon le sens et l'intensité de l'évolution des divers éléments constitutifs. Nous avons constaté, par ailleurs, que la décroissance de la matière organique et celle de ses composés dans les horizons successifs des sols à richesse organique voisine en surface, peut se produire différemment en fonction de l'intensité des processus de dépolymérisation et de polymérisation dans les divers stades évolutifs des passages d'horizons aux horizons suivants. L'évolution de la matière organique influence donc sur sa teneur dans les horizons de profondeur aussi bien que l'approvisionnement de ceux-ci en débris organiques.

La matière organique fortement polymérisée de ces sols est toujours très riche en humine. La plus faible proportion de celle-ci, observée à la base d'un sol brun subaride du Niger, est déjà supérieure à 50% de la matière organique totale du sol.

A la surface de ces sols, l'évolution organique d'un horizon à l'autre se caractérise par une dépolymérisation relativement intense des composés humiques. Ce processus se produit, à ce niveau des profils étudiés, presque aussi souvent dans chacun des trois stades évolutifs. Le phénomène de polymérisation, moins intense, s'y répète de moins en moins du premier au troisième stade.

A faible profondeur (20 à 50cm), le premier processus se produit presque trois fois moins souvent, à l'inverse des cas de polymérisation dont le nombre croît. Dans cette seconde partie des profils, les acides humiques immobiles se polymérisent plus fréquemment que l'humine ne se dépolymérise. Par contre, les acides humiques mobiles se transforment en acides fulviques dans un nombre de cas plus élevé que celui où s'observe l'évolution inverse. Nous n'avons, cependant, observé le phénomène de condensation des acides fulviques dans les profils étudiés, qu'à ce niveau.

En moyenne profondeur et à la base de ces sols, la dépolymérisation reprend sa dominance sur le phénomène opposé, et l'évolution organique redevient semblable à celle de la surface.

En général, dans ces 84 échantillons, l'humine se dépolymérise, d'un horizon à l'autre, aussi souvent que les acides humiques immobiles se polymérisent ; mais la dépolymérisation est toujours dominante dans la transformation réversible des deux autres stades.

Dans le cas, spécialement étudié, des sols bruns subtropicaux, l'humine se dépolymérise dans deux fois moins d'échantillons que ceux dans lesquels elle croît, par rapport aux acides humiques immobiles. Le fait est inverse en ce qui concerne la transformation réversible à ce stade dans les six sols bruns subarides du Niger.

Les sols isohumiques sont caractérisés par un profil organique typique. Il indique que la matière organique y est répartie profondément quelle que soit

la texture du sol, et que sa décroissance est spécialement assez progressive.

Les calculs statistiques permettent de préciser le degré de similitude de ces sols quant à la nature de leur matière organique. L'étendue des distances généralisées delta est plus grande et les profils de même groupe se réunissent moins bien en constellation, quand l'ensemble des variables organiques envisagées correspond aux valeurs absolues des composés humiques. Par contre, lorsque cet ensemble caractérise plutôt la qualité que la quantité de la matière organique et ses constituants, ces deux critères présentent mieux l'affinité existante entre les profils d'un groupe donné.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - AUBERT G. (1965) - Classification des sols ; tableaux des Classes, Sous-classes, Groupes et Sous-groupes des sols utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol. III, n° 3, pp. 269-288.
- 2 - AUBERT G. (1966) - Pédogenèse et la classification détaillée des sols. Cours non publié 182 p.
- 3 - AUBERT G. et BOULAIN J. (1967) - La Pédologie. Que sais-je ? n° 352, Presses Universitaires de France 126 p.
- 4 - AUBERT G. (1962) - Les sols de la zone aride. Actes de Colloque de Paris UNESCO, pp. 127-150.
- 5 - ANNE P. (1945) - Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. Ann. Agro. Tome XV, pp. 161-172.
- 6 - BACHELIER G. (1961) - Sur l'évolution des matières organiques dans les sols. ORSTOM, Paris, 54 p. multigr.
- 7 - BACHELIER G. (1963) - La vie animale dans les sols. ORSTOM, Paris, Initiations, Documentations techniques n° 3.
- 8 - BACHELIER G. (1964) - Observation sur la dynamique d'un sol de type brun calcaire. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. Vol. II, Fasc. 1, pp. 13-28.
- 9 - BACHELIER G. (1968) - Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols. Mémoires de l'ORSTOM, Paris n° 30.
- 10 - BAUZON D., VAN DEN DRIESSCHE R. et DOMMERGUES Y. (1969) - L'effet litière ; influence "in situ" des litières forestières sur quelques caractéristiques biologiques des sols. Etude effectuée dans le cadre de la recherche coopérative sur programme n° 40 (R.C.P. 40), IV, pp. 99-122.
- 11 - BAUZON D., VAN DEN DRIESSCHE R. et DOMMERGUES Y. (1968) - Caractérisation respirométrique et enzymatique des horizons de surface des sols forestiers. Sc. Sol n° 2 ; Supplément au Bull. Asso. Fr. E.S., pp. 55-78.
- 12 - BETREMIEUX R. (1954) - Influence de la fermentation des matières organiques sur la dynamique des éléments minéraux dans un sol en place. C.R. Acad. Sc. Paris, Tome 238, pp. 2257-2258.
- 13 - BOISCHOT P. (1966) - L'humus du sol, sa disparition, son remplacement. Bull. A.F.E.S., n°2, pp. 89-97.

- 14 - BOISSEZON P. de (1962) - Contribution à l'étude des matières organiques des sols de la République du Congo. ORSTOM, Centre de Brazzaville (I.R.S.C.). 54 p. multigr.
- 15 - BOTTNER P. (1967) - Etude de comportement à l'électrophorèse des acides humiques gris et bruns de quelques types de sols. C.R.Acad. Sci. Paris, Tome 265 D, 20, pp. 1468-1470.
- 16 - BOULAIN G. (1957) - Etude des sols des plaines du CHELIF. Thèse de l'Université d'Alger.
- 17 - BOULLARD B. et MOREAU R. (1962) - Sol, microflore et végétation. Equilibre biochimique et concurrence biologique Masson et Cie, Editeurs Paris.
- 18 - BUCKMAN H. et BRADY N. (1960) - The nature and properties of soils. A college text of edaphology. The Macmillan Company, New York (Sixth Edition).
- 19 - CENTRE de FORT-LAMY (1965) - Contribution à l'étude de matière organique, de l'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Résultats 1963 reliés à 5 années d'étude 1959-63, ORSTOM.
- 20 - DABIN B. (1961) - Les facteurs de fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. Numéro spécial de Bull. A.F.E.S., pp. 108-130.
- 21 - DABIN B. (1962) - Relation entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. Ann. Agron. 13 (2), pp. 111-140.
- 22 - DABIN B. (1963) - Application des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Fractionnement des différentes formes du phosphore du sol. Cah. ORSTOM, Sér. Péd., n° 3, pp. 27-42.
- 23 - DABIN B. (1965) - Application des dosages automatiques à l'analyse des sols - Technicon. Cah. ORSTOM, Sér. Péd., vol. III, n° 4, pp. 335-366.
- 24 - DABIN B. (1966) - Conférence de Kharthoum, sur la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols. Bull. Biblio. Péd. ORSTOM, T. XV, n° 2, pp. 7-10.
- 25 - DABIN B. (1969) - Etude générale des conditions d'utilisation des sols de la cuvette tchadienne. Travaux et Documents de l'ORSTOM.
- 26 - DEWAN M.L. and FAMOURI J. (1964) - The soils of Iran. Food and Agriculture organisation of the United Nations Téhéran Soil Institute, Ministry of Agriculture, Iran.
- 27 - DOMOLON A. (1960) - Dynamique du sol (Principes d'agronomie Tome I). Cinquième édition, Nouveau tirage, DUNOD Paris.
- 28 - DOMMERGUES Y. (1962) - Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. Thèse.
- 29 - DONAHUE R.L. (1958) - Soils, and Introduction to Soils and Plant Growth Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. U.S.A.

- 30 - DROUINEAU G. (1963) - Les fumures minérales et les fumures organiques. Bull. A.F.E.S.; n° 2, pp. 85-108.
- 31 - DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. (1959) - Note sur l'évolution de la matière organique dans les sols. C.R. Acad. Agric. Fr. 45, n° 10, pp. 516-519.
- 32 - DUCHAUFOR Ph. (1960) - Précis de Pédologie, Masson et Cie, Paris.
- 33 - DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. (1963) - Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques. Ann. Agron. 14 (6), pp. 885-918.
- 34 - DUCHAUFOR Ph. et DOMMERGUES Y. (1963) - Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux. Sols Africains Vol. VIII (1), pp. 6-25.
- 35 - DUCHAUFOR Ph. (1963) - Note sur le rôle du fer dans les complexes argilo-humiques. C.R. Acad. Sci. Tome 256, n° 12, pp. 2657-2660.
- 36 - DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. (1964) - Résultats des recherches récentes sur l'évolution de la matière organique dans les sols. Note présentée par G. AUBERT à l'Acad. Agric. Fr. le 26 Février 1964, pp. 376-387.
- 37 - DUCHAUFOR Ph. et DOMMERGUES Y. (1965) - Etude comparative de la dégradation biologique des composés organo-ferriques dans quelques types de sols. Science du sol Vol. 1; pp. 43-59.
- 38 - DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. (1966) - Nouvelles recherches sur l'extraction et la fractionnement des composés humiques. Bull. E.N.S.A.N. Tome VIII F 1, pp. 3-24.
- 39 - DUCHAUFOR Ph. et JACQUIN F. (1964) - Note sur une méthode de fractionnement des composés humiques et son application à l'étude de la pédogenèse. 8ème Congrès international de la Sci. du Sol, Bucarest, 89 p.
- 40 - DUCHAUFOR Ph. et SOUCHIER B. (1966) - Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libres dans les sols. Science du sol n° 1, pp. 17-29.
- 41 - DUPUIS J. (1966) - La matière organique. Cours non publié.
- 42 - GAUCHER G. (1968) - Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Traité de Pédologie agricole. DUNOD, Paris 1968.
- 43 - GAUR A.C. (1963) - Influence de l'acide humique et de la paille de blé en décomposition sur la capacité d'échange de cations du sol. Soviet. Soil, Sci., n° 8, pp. 753-758.
- 44 - GAUR A.C. (1964) - Influence de l'acide humique sur la croissance et la nutrition minérale des végétaux. Bull. A.F.E.S. n° 5, pp. 207-219.
- 45 - GAUTHEYROU J. et GAUTHEYROU M. (1965) - Dosage simultané de l'azote ammoniacal et nitrique dans les sols. Contribution à l'étude de la dynamique de l'azote. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. Vol. III, Fasc. 4, pp. 367-391.

- 46 - GAVAUD M. (1968) - Les sols bien drainés sur matériaux sableux du Niger. Essai de systématique régionale. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., n° 3-4, Vol. VI, pp. 277-307.
- 47 - GIRARD M.C. (1968) - Approche statistique de la notion de série sur un exemple pris dans la bordure septentrionale de la Beauce. Thèse, 195 p.
- 48 - GRANT P.M. (1967) - The organic matter content of soil size fractions. Rhod. Zamb. Mal. J. Agric. Res. (Salisbury), 5,3, pp. 211-213.
- 49 - HENIN S. et al. (1959) - Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. C.R. Acad. Sci., T. 248.
- 50 - HENIN S. et TURC L. (1950) - Essai de fractionnement des matières organiques du sol. IVème Congrès inter. Sci. Sol, Amsterdam, 1, pp. 152-154.
- 51 - HENIN S., MONNIER G. et COMBEAU A. (1958) - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale. Ann. Agro. 1958, n° 4, pp. 71-90.
- 52 - HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R. et MONNIER G. (1960) - Le profil cultural. Principes de physique du sol. Société d'Éditions des Ingénieurs Agricoles, Paris.
- 53 - HENIN S. (1966) - Physique du sol. Cours non publié.
- 54 - HIERNAUX J. (1965) - Une nouvelle mesure de distance anthropologique entre populations, utilisant simultanément des fréquences génétiques, des pourcentages de traits descriptifs et des moyennes métriques. C.R. Acad. Sci. Paris, T. 260, Groupe 12, pp. 1748-1750.
- 55 - JACQUIN F. (1963) - Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. Thèse, Bull. E.N.S.A.N., Tome V, Fascicule 1, pp. 1-156.
- 56 - JACQUIN F. et MANGENOT F. (1964) - Formation de composés de type humique à partir d'extrait aqueux de Melandryum Sylvestre. C.A. Acad. Sci. Paris, Tome 258, n° 18, pp. 4607-4610.
- 57 - KAURICHEV I.S., et NOZORYNOVA F.M. (1961) - The role of water-soluble components of organic residues in the formation of available ferro-organic compounds. Pochvovedenie, 10, pp. 10-18.
- 58 - KAURICHEV I.S., IVANOVA T.N. et NOZORUNOVA E.M. (1963) - Content of low molecular organic acids in the composition of water-soluble organic matter of soils. Pochvovedenie, 3, pp. 27-35.
- 59 - KONONOVA M.M. (1958) - Les substances humiques du sol. Veb Deutscher Verlag der Wissenschaften-Berlin.
- 60 - KONONOVA M.M. et BELCHIKOVA N.P. (1961) - Quick methods of determination of the humus composition of mineral soils. Pochv., 10, pp. 75-87, Soviet. Soil Sci. 1962, pp. 1112-1121.

61. - KONONOVA M.M. (1966) - Soil organic matter. Oxford, London, Edinburgh... Pergamon Press. 1966, 544 p.
- 62 - KONONOVA M.M. (1967) - Evolution de quelques problèmes biochimiques de la pédologie en U.R.S.S. Acad. Sci. Sov. Pédologie n° 10, pp. 15-29. Traduit par Mr. KOBILANSKI.
- 63 - LAUDELOUT H., MEYER J. et PEETERS A. (1960) - Les relations quantitatives entre la teneur en matière organique du sol et le climat. Agriculture, VIII, 1, Mars, pp. 130-140.
- 64 - LEMEE G. (1967) - Investigation sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans les humus forestiers. In situ. Oecologia Plantarum, 2, (4), pp. 285-324.
- 65 - LEPOUTRE B. (1967) - Une détermination de la capacité d'échange et des taux de saturation respectifs de la matière organique et les minéraux argileux dans le complexe absorbant des sols. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. Vol. V, n° 2, pp. 219-240.
- 66 - LOSSAINT P. et ROUBERT R.M. (1964) - La minéralisation de l'azote organique dans quelques humus forestiers acides. Ann. Inst. Past., 107, pp. 178-187.
- 67 - MAHLER Ph. (1960) - Etude pédologique de la zone de l'Oued R'Dat. Mission ORSTOM au Maroc, 78 p.
- 68 - MAHLER Ph. (1960) - Etude pédologique du périmètre des Ouled Yacoub. Mission ORSTOM au Maroc, 29 p.
- 69 - MAIGNIEN R. (1969) - Manuel de prospection pédologique. ORSTOM, Paris, Initiations-Documents techniques n° 11.
- 70 - MALCOLM R.L., et Mc CRACKEN R.J. (1968) - Canopy drip : a source of mobile soil organic matter for mobilization of iron and aluminium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (Madison), 32, 6, pp. 834-838.
- 71 - MANGENOT F., JACQUIN F. et METCHE M. (1966) - Les exsudats foliaires peuvent-ils être une source de substances humiques ? Oecologia Plantarum, n° 1, Tome I, pp. 79-102.
- 72 - MARGULIS H. (1963) - Pédologie générale. Gauthier-Villars Paris 1963, 115 p.
- 73 - MARTIN G. (1962) - Etude d'un essai d'apport de la matière organique à la station IRCT de la N°Kenke, Vallée de Niari. Centre ORSTOM de Brazzaville, 10 p.
- 74 - MASSONI Ch. (1963) - Le Gareb, étude pédologique. Mission ORSTOM au Maroc, 50 p.
- 75 - MASSONI Ch. (1963) - Plaine de Zebra, étude des sols de la partie Ouest. Mission ORSTOM au Maroc, 33 p.
- 76 - MONNIER G., TURC L. et JEANSON-LUUSINANG C. (1962) - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann. Agro. 13 (1), pp. 55-63.

- 77 - MONNIER G. (1962) - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Ann. Agr. Vol. 16, n° 4-5 1965, 140 p.
- 78 - MONNIER G. (1962) - Le concept de sol et son évolution. Sci. du sol n° 1 1966, pp. 89-111.
- 79 - MOREL R. (1968) - Evolution de l'azote et du carbone organique du sol au cours d'une expérience de longue durée. Ann. Agro. Paris 19, 2, pp. 153-174.
- 80 - MORI A. (1962) - Etude pédologique de la plaine de Mateur (Oued Tine). Mission ORSTOM en Tunisie, service pédologique de Tunisie, n° 225 A, 78 p.
- 81 - MORI A. (1962) - Etude pédologique de la plaine Oued Mellah et Oued Sedjenane. Mission ORSTOM en Tunisie, service pédologique de Tunisie, n° 225 C, 53 p.
- 82 - MULLER J. (1965) - Observations sur les effets à long terme des fumiers organiques et minérales sous climat méditerranéen. I - Action sur les rendements. Ann. Agr. Vol. 16, n° 3, pp. 301-321.
- 83 - MULLER J. (1966) - II - Action sur le bilan de l'azote total du sol. Ann. Agr. Vol. 17, n° 1, pp. 21-36.
- 84 - PIAS J. et SABATIER J. (1964-1965) - Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Fort-Lamy, C.R.T., section Pédologie, 144 p. multigr.
- 85 - POUQUET J. (1966) - Les sols et la géographie. Initiation géopédologique. Société d'Edition d'Enseignement Supérieur, Paris 1966.
- 86 - PRUNIER J. (1962) - Etude pédologique du bassin versant de l'Oued El Mellah. Centre ORSTOM de Tunisie, Rapport du stage n° 197, 59 p.
- 87 - RIANDO M. et MERLE J.P. (1969) - Evolution de la masse moléculaire de la cellulose au cours de la dégradation enzymatique. C.R. Acad. Sci., n° 7, Tome 268 C, 593 p.
- 88 - RICHARD H. (1959) - Productivité de la terre, Fertilisation et Rentabilité. Flammarion Editeur Paris, 335 p.
- 89 - RICHE G. (1964) - Les fractions de l'humus de quelques sols de plateau de la Côte d'Ivoire forestière. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 84 p.
- 90 - RUELLAN A. (1966) - Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc. Conférence sur les sols méditerranéens. Sociedad Espanola de Ciencia del Suelo-Madrid, pp. 81-89.
- 91 - RUELLAN A. et DELETANG J. (1967) - Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. ORSTOM Paris, Initiations-Documentations techniques n° 5.
- 92 - ROYAUME DU MAROC (1966) - Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire. Congrès de Pédologie méditerranéenne, excursion au Maroc. Livret-Guide, Tome III, les profils des sols, pp. 6-36 et pp. 53-60.

- 93 - SCHNITZER M. et SKINNER S.I.M. (1964) - Organo-metallic interactions in soils, 3 properties of iron and aluminium-organic-matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil. Soil Sci., 98 (3), Septembre, pp. 197-203.
- 94 - SEGALEN P. (1962) - Les facteurs de formation du sol. Manuel de prospection pédologique. ORSTOM, I.R.CAM. Yaoundé, première partie, 162 p.
- 95 - SEGALEN P. (1962) - Le sol : Constituants, description classification. Manuel de prospection pédologique. ORSTOM, I.R. CAM. Yaoundé, deuxième partie, pp. 163-255.
- 96 - SEGALEN P. (1962) - Etablissement de la carte pédologique. Manuel de prospection pédologique. ORSTOM, I.R.CAM. Yaoundé, troisième partie, pp. 256-311.
- 97 - SEGALEN P. (1964) - Le fer dans les sols. ORSTOM, Paris Initiations-Documentations techniques n° 4.
- 98 - THOMANN Ch. (1963) - Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols, méthode au pyrophosphate de sodium. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. n° 3, pp. 43-72.
- 99 - TIURIN I.V. (1951) - Vers une méthode d'analyse pour l'étude comparative des constituants de l'humus du sol. Trav. Inst. des sols Dokutchaeiev, XXXVIII, 1951, 32 p.
- 100 - TOUJAN S. (1966) - Shah-Abad (Iran). Reconnaissance agropédologique. Première mission de SOGREAH, Février 1966, 39 p.
- 101 - TURC L. (1957) - Etude sur l'attaque de la matière organique des sols par l'eau oxygénée. Ann. Agr. 1957, n° 2, pp. 175-192.
- 102 - VAN DEN DRIESSCHE R. (1965) - La recherche des constellations de groupes à partir des distances généralisées  $D^2$  de Mahalanobis. Biométrie-Praximétrie VI, 1, 1965, pp. 36-47.
- 103 - VAN DEN DRIESSCHE R. et MAIGNIEN R. (1965) - Application d'une méthode de la statistique approfondie à la pédologie. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol. III, n° 1, pp. 79-88.
- 104 - VAN DEN DRIESSCHE R. (1966) - Un problème de la classification numérique. Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol. IV, n° 4, pp. 91-96.
- 105 - VAN DEN DRIESSCHE R. et MASBOU M.C. (1968) - La recherche des variables les plus utiles à la mesure des distances  $D^2$ . Cah. ORSTOM, Sér. Pédo., Vol. VI, n° 1, pp. 21-34.

\* \*

\*

T A B L E   D E S   M A T I E R E S

AVANT-PROPOS

I N T R O D U C T I O N

	Pages
PREMIERE PARTIE : G E N E R A L I T E	
CHAPITRE I : Détermination et caractéristique	4
CHAPITRE II : Historique	8
DEUXIEME PARTIE : M E T H O D E D ' I N V E S T I G A T I O N	
CHAPITRE I : Matériel d'étude	17
CHAPITRE II : Technique d'extraction	
1 - Conditions générales	19
2 - Influence du pH.	19
3 - Influence de la concentration du solvant	21
4 - Influence de diamètre des particules de terre	26
5 - Rapport solvant-poids de terre	28
6 - Conclusion	31
CHAPITRE III : Technique de fractionnement et de dosage	
1 - Acides fulviques	33
2 - Acides humiques mobiles et immobiles	34
3 - Adaptation de la méthode de dosage du carbone	36
TROISIEME PARTIE : P R O T O C O L E D ' E T U D E	
CHAPITRE I : Choix et description des sols étudiés	
1 - Sols d' I R A N	38
2 - Sols du M A R O C	45
3 - Sols du N I G E R	56
4 - Sols de T U N I S I E	64

CHAPITRE II : Caractéristiques analytiques générales	68
--	----

QUATRIEME PARTIE : ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

CHAPITRE I : Caractéristiques analytiques	
---	--

1 - Carbone organique, Azote et C/N	102
-------------------------------------	-----

2 - Extraction, fractionnement et dosage du carbone	114
---	-----

CHAPITRE II : Critère d'étude de la nature organique	
--	--

Introduction	127
--------------	-----

Rapports des composés humiques avec le carbone total	129
--	-----

Rapports des composés humiques entre eux	141
--	-----

CINQUIEME PARTIE : INTERPRETATION DES RESULTATS

CHAPITRE I : Introduction et nos systèmes d'interprétation	159
--	-----

PREMIERE PHASE D'INTERPRETATION

CHAPITRE II : Etude quantitative sous son aspect évolutif	
---	--

Sol n° 1 (profils n° 1 sols d'Iran)	169
Sol n° 2 ( " n° 2 " )	173
Sol n° 3 ( " n° 3 " )	177
Sol n° 4 ( " n° 4 " )	181
Sol n° 5 ( " n° 1 sols du Maroc)	187
Sol n° 6 ( " n° 2 " )	191
Sol n° 7 ( " n° 3 " )	196
Sol n° 8 ( " n° 4 " )	202
Sol n° 9 ( " n° 5 " )	206
Sol n° 10 ( " n° 1 sols du Niger)	213
Sol n° 11 ( " n° 2 " )	215
Sol n° 12 ( " n° 3 " )	219
Sol n° 13 ( " n° 4 " )	221
Sol n° 14 ( " n° 5 " )	223
Sol n° 15 ( " n° 6 " )	225

Sol n° 16	(profil n° 1 sols de Tunisie)	228
Sol n° 17	( " n° 2 " )	235
Sol n° 18	( " n° 3 " )	241
CHAPITRE III : Etude qualitative sous son aspect comparatif		245
CONCLUSION DE L'ETUDE QUALITATIVE		277
a) Dans l'ensemble des sols étudiés		280
b) Dans les sols bruns subtropicaux et subarides		282
CHAPITRE IV : Etude quantitative de la matière organique		
Introduction et comparaison de richesse organique des sols		285
Répartition de la matière organique		288
DEUXIEME PHASE D'INTERPRETATION		
SIXIEME PARTIE : I N F L U E N C E R E C I P R O Q U E D E L A		
M A T I E R E O R G A N I Q U E E T L E M I L I E U		
CHAPITRE I : Généralité		
Introduction et choix de la méthode		296
Rappel de la méthode des corrélations de rang (KENDALL)		297
Exemple numérique		298
Application de la méthode		302
CHAPITRE II : Corrélations effectuées		
A - Corrélations entre les variables des analyses organiques		303
B - " " " " " " générales		
B <sub>1</sub> - Les analyses chimiques		308
B <sub>2</sub> - Les analyses physiques		311
B <sub>3</sub> - Corrélations entre les analyses chimiques et physiques		312
C - Corrélations entre les variables organiques et d'autres variables envisagées		315
Interprétation des résultats		

a - Les corrélations positives	317
b - " " négatives	318
Discussion	320

SEPTIEME PARTIE : A P P L I C A T I O N D E S M E T H O D E S D E  
S T A T I S T I Q U E A P P R O F O N D I E

a - Mesure des distances généralisées delta (HIERNAUX)	325
1 - Les deux horizons retenus de chaque profil	326
2 - Les variables envisagées pour chacun de ces deux horizons	327
b - Regroupement des constellations	328
Résultats de deux essais	330
Expression des résultats	334

RESUME ET CONCLUSION	335
----------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	351
---------------	-----

\*

\* \*