

# CONTRIBUTION A L'ETUDE DU CALCAIRE DANS LES SOLS MAROCAINS

## II. — Recherches sur le calcaire grossier dans les sols du Saïs (région de Fes) et du Tadla

G. BRYSSINE

### SOMMAIRE

- I. Introduction
  - A. Observations générales
  - B. Technique d'étude adoptée
  - C. Caractères généraux des profils étudiés
- II. Exposé des résultats (Description des fractions)
  - A. Profil N° 14
  - B. Profil N° 13
  - C. Profil N° 15
  - D. Profil N° 19.
  - E. Profil FbS
- III. Discussion des résultats
  - A. Nature de la roche-mère
  - B. Nature des éléments grossiers
  - C. Bilan calcaire
  - D. Dimension des granules
  - E. Evolution des profils
- IV. Conclusions

## I. Introduction

### A. Observations générales

Dans notre précédente note, consacrée au calcaire des sols marocains, nous avons exposé les résultats de nos recherches sur le calcaire grossier des sols argileux du Gharb (2). Dans la présente communication, nous poursuivons l'étude du même problème dans quelques profils prélevés, soit dans la région de Fes (profils N° 13, 14, 15 et 19), soit dans la plaine du Tadla (profil FbS), au nord de Fqih ben Salah. Contrairement aux sols argileux du Gharb, ces profils, exception faite du profil N° 14, semblable au tirs brun n° 27 étudié précédemment, se sont développés sur les formations fortement « encroûtées », riches en granules et en nodules calcaires. Ils contiennent aussi des proportions notables de gravier (\*) et de cailloux (\*\*)  
siliceux.

### B. Technique d'étude adoptée

Pour ce travail nous avons utilisé également les profils prélevés à l'occasion de l'excursion internationale de 1966 dans la plaine du Saïs (1). Les prélèvements de la région de Fes ont été effectués jusqu'à 200 cm de profondeur par couches successives de 10 ou 20 cm d'épaisseur. Dans le profil du Tadla, destiné aux cases lysi-métriques, la tranchée d'étude s'arrêtait à 150 cm de profondeur.

La technique analytique employée était celle décrite dans notre précédente note (2). En complément, nous avons calculé pour ce travail, outre le taux et la taille des grains ou des granules, leur nombre d'après la formule  $N = A \times \frac{P}{d^3}$  où N est le nombre des granules, P est le poids total de la fraction grossière, d la taille moyenne des granules calcaires ou des grains siliceux (\*\*\*) et  $A = \frac{6}{\pi D}$ , en assimilant la forme de grains à une sphère et en prenant une densité moyenne  $D = 2,7$ .

---

\* Grapiers-éléments grossiers de 2,0 à 20,0 mm

\*\* Cailloux-éléments grossiers supérieurs à 20 mm (2,0 cm)

\*\*\* Dans notre exposé nous réserverons le terme de granules pour les éléments calcaires et le terme de grains pour les éléments siliceux, quelle que soit leur nature pétrographique ou leur origine (pédologique ou géologique).

Il faut remarquer aussi que dans ces sols graveleux (\*), nous avons pris pour nos analyses 50,0 g de mottes terreuses qui contenaient dans les horizons à gravier une forte proportion d'éléments grossiers (sup. à 0,2 mm). Le volume maximum des mottes, en tenant compte de leur densité apparente à l'état sec ( $D = 1,76$ ), serait de l'ordre de  $50,0/1,76 = 30,0$  ml, ce qui donne comme leur taille moyenne  $d = \pm 3,1$  cm pour les mottes de forme cubique et  $d = \pm 3,8$  cm pour les mottes de forme sphérique (arrondies). La taille des éléments graveleux susceptibles d'être contenus dans ces mottes sera donc inférieure à ces valeurs. On peut donc les ranger, soit parmi les sables grossiers, soit parmi les graviers.

La présence simultanée dans les mêmes horizons d'éléments calcaires ou non calcaires, nous a orienté vers la recherche des corrélations éventuelles entre ces deux types d'éléments, suivant les méthodes des calculs statistiques.

Pour essayer d'expliquer le mécanisme de la différenciation des profils calcaires de ces sols (d'ordre géologique ou d'ordre pédologique?), du moins en première approximation, nous avons procédé au calcul du « bilan calcaire » de ces sols en supposant que les mouvements du carbonate de calcium se sont produits et se produisent toujours dans les limites d'épaisseur de la couche prospectée (généralement de deux mètres). Après plusieurs réajustements nous avons choisi comme base de référence les niveaux suivants :

- pour les profils N° 14, 15 et FbS, les taux moyens de calcaire principalement, de calcaire fin ;
- pour le profil N° 13, les données du niveau 120-140 situé en dessous de la zone d'enrichissement en carbonate de calcium ;
- enfin pour le profil 19, nous avons comparé deux bases de référence : les données du niveau 130-150 et les valeurs moyennes de la couche superficielle de 0 à 90 cm de profondeur.

La somme des écarts positifs et négatifs (par rapport aux données de référence) des horizons d'appauvrissement ou d'enrichissement représente la masse du calcaire mis en mouvement. Au cours de ces calculs, nous avons tenu compte de l'épaisseur du niveau de pré-

\* Dans nos travaux nous avons adopté pour désigner la composition granulométrique des éléments grossiers (supérieurs à 0,2 mm) les classes suivantes :

- élément sableux grossiers ou sable grossier : 0,2 - 2,0 mm ;
- éléments graveleux ou gravier : 2,0 - 20,0 mm ;
- éléments caillouteux ou cailloux : sup. à 20,0 mm.

lèvement, la référence étant de 10 cm : les taux ont donc été multipliés par deux dans le cas des couches de 20 cm d'épaisseur. D'après ces données nous avons ensuite calculé les gains ou les pertes moyennes des horizons par couches de 10 cm.

Telle a été la marche générale des calculs du « bilan calcaire » des profils étudiés. Toutefois, la nature de chaque profil a nécessité des réajustements particuliers. Ils sont expliqués dans le texte à propos de l'interprétation de chaque profil.

### C. *Caractères généraux des profils étudiés*

Bien que ces profils soient déjà décrits (sauf celui du Tadla-FbS) dans le Livret-guide de l'Excursion 1966 (1), il est bon de rappeler ici quelques-uns de leurs caractères qui se rapportent directement au sujet de notre étude. Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau I.

#### a. Profil N° 14

Le profil N° 14, classé comme vertisol topo-lithomorphe à structure large dès la surface, modal, est très proche du profil N° 27, tirs brun, étudié dans la note précédente. Il se développe sur une formation fortement argileuse (plus de 60 % d'argile) sans gravier ni cailloux. La partie supérieure du profil (0-70) est un peu plus légère que les horizons sous-jacents.

Le taux de calcaire, faible ou presque nul dans les horizons supérieurs, augmente sensiblement depuis 85 cm de profondeur (10,6 %) jusqu'au fond de la tranchée (18,4 %). Le calcaire fin y prédomine.

#### b. Profil N° 13

Le profil N° 13 est un sol châtain isohumique, subtropical, encroûté, vertique, et non calcaire jusqu'à 35 cm de profondeur. Au-delà de cette profondeur on rencontre « plusieurs couches de feuillets ou fragments de feuilles de croûte séparées par des couches de terre plus ou moins épaisses », le tout surmontant un « tuf » calcaire à taches et concrétions contenant des galets en assez forte proportion ». La composition granulométrique reste analogue à celle du profil précédent, plus légère elle aussi dans les 40 premiers centimètres. Cette dernière couche, relativement riche en éléments siliceux grossiers (12,5 %), résulterait des apports étalés sur une formation argileuse fine sans gravier fin, mélangée à de très nombreux galets roulés en partie « encroûtés ».

## Caractères analytiques sommaires des profils étudiés

Niveaux	Calcaire		Composition granulométrique					Niveaux	100 Fe 100 Fe		Fe lib. Fe l		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Cx	total	fin	A	L	Sf	Sg		A	Fe t	Fe l	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
0-190	2,9	6,8	2,8	4,0	<b>Profil N° 14</b>					0-70 70-170	11,1 10,5	0,25 0,24 0,23	3,98 4,27 3,74	3,01 3,28 2,81
					65	19	13	3	3					
					70	18	10	2	2					
0-40	12,5	2,9	1,0	1,9	<b>Profil N° 13</b>					0-40	12,6 11,2 12,8	0,48 0,51 0,32	3,70 3,39 3,10	2,75 2,57 3,10
					64	20	14	2	2					
					76	11	10	3	3					
40-80	1,6	58,4	25,3	30,0	<b>Profil N° 15</b>					0-30 30-150	11,8 9,1 9,1	0,38 0,51 0,49	4,50 nd 3,20	3,45 nd 2,54
					61	22	13	4	4					
					71	16	10	3	3					
30-190	7,5	39,4	14,8	25,1	<b>Profil N° 19</b>					0-20 20-50 50-70 70-80 70-100 (*)	13,7 nd 6,6 nd 5,8	0,51 nd 0,20 nd 0,20	3,11 nd 3,88 nd nd	2,31 nd 3,27 nd nd
					41	16	39	4	4					
					36	25	34	5	5					
0-30	15,6	29,5	12,4	17,1	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					52	12	32	4	4					
					73	13	13	1	1					
30-90	2,7	92,4	17,8	74,6	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					—	—	—	—	—					
					—	—	—	—	—					
90-170	15,3	80,2	26,1	54,7	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					—	—	—	—	—					
					—	—	—	—	—					
0-10	3,1	14,3	3,1	11,2	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					—	—	—	—	—					
					—	—	—	—	—					
10-70	3,3	18,4	2,5	15,9	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					—	—	—	—	—					
					—	—	—	—	—					
70-150	9,4	37,5	8,2	29,3	<b>Profil Fbs</b>					—	—	—	—	—
					—	—	—	—	—					
					—	—	—	—	—					

*Observations :* A - argile ; L - limon ; Sf - sable fin ; Sg - sable grossier ; Cx - cailloux siliceux ; Fe l - fer libre ; Fe t - fer total ;  
\* non rapporté à la terre décalcariée.

Le taux moyen de carbonate de calcium oscille autour de 58 %. Cet élément est réparti en proportions équivalentes entre les fractions fines et les fractions grossières.

#### c. Profil N° 15

Dans le profil voisin N° 15, situé sur le même plateau d'El Gâda (sol brun isohumique subtropical, modal, légèrement vertique), les horizons supérieurs de 30 cm d'épaisseur, sont moyennement calcaires (17-19 %) avec une nette prédominance du calcaire fin sur le calcaire grossier (25 % contre 15 %). Les horizons profonds, « de texture argilo-limoneuse ou limno-argileuse, contiennent une certaine proportion d'éléments grossiers composés de concrétions calcaires en granules et nodules et de gravier encroûté » (1). La proportion de ces éléments grossiers, assez forte au sommet de l'horizon, devient plus faible vers la base du profil.

Ici également, la couche superficielle, sans gravier serait d'origine « allochtone ». Elle repose sur un dépôt fortement argileux analogue aux horizons profonds du profil précédent, contenant, lui, du gravier fin. Les horizons supérieurs de ce sol sont aussi moins argileux que la masse totale du profil.

#### d. Profil N° 19

Le profil N° 19 est un sol isohumique subtropical à croûte calcaire et à faciès de sol brun calcaire. L'horizon supérieur, épais de 30 cm, est bien carbonaté (29,5 %). En dessous de 30 cm de profondeur, on rencontre plusieurs feuillets de croûte surmontant « un tuf calcaire, tendre à sa partie supérieure, mais devenant progressivement de plus en plus dur et lité à sa partie inférieure » (1).

Si, dans l'horizon supérieur, le taux de calcaire fin diffère peu de celui du calcaire grossier, il constitue la masse principale du profil, surtout entre 30 et 90 cm de profondeur (75,6 %). En dessous de ce niveau le taux de calcaire baisse.

Dans ce profil, on peut distinguer au moins trois couches superposées. La première (0-30 cm), relativement riche en gravier (15,6 %), est moyennement argileuse (40 %). En dessous, le taux de gravier diminue (2,7 %) et la terre fine s'enrichit en argile (52-73 %), surtout vers la base au niveau (30-50 cm). Le gravier apparaît de nouveau à partir de 90 cm de profondeur (15,3 %). Malheureusement, nous ne disposons pas de données analytiques pour caractériser la composition granulométrique de la terre fine des horizons profonds.

## e. Profil FbS

Enfin, dans le profil FbS, sol brun isohumique sur limon « encroûté » de la plaine du Tadla, le calcaire augmente progressivement en profondeur de 14 à 46 % pour atteindre un maximum dans le limon « encroûté ».

Ce sol est riche en humus dont le taux baisse progressivement (répartition « isohumique ») de 3,0 % (0-10) à 0,95 % (90-110) suivant la profondeur.

Dans ce profil, on peut distinguer également plusieurs apports successifs : une pellicule de 10 cm d'épaisseur, pauvre en gravier (3,1 %) suivie d'une couche de 60 cm d'épaisseur ne contenant, elle aussi, que peu de gravier (3,3 %). En dessous, le gravier apparaît et devient très abondant vers la base du profil (taux moyen de gravier 9,4 %).

## II. Exposé des résultats. (Description des fractions)

## A. Profil N° 14 (Vertisol)

## a. Fractions grossières totales

Les éléments supérieurs à 0,2 mm sont relativement fins et leur taille moyenne (d) serait de l'ordre de 0,30 cm. Ce profil ne contient que 5,7 % de fractions grossières pour l'ensemble de la coupe de 200 cm de profondeur, dont 60 % (soit 3,7 %) correspondent aux fractions inférieures à 2,0 mm (fractions 1 et 2) et 39 % à la fraction 0,2-0,5 mm (fraction 1). Le taux moyen de sous-fraction 4 (supérieure à 5,0 mm) oscille autour de 11 % du total des fractions grossières :

Niveaux	T	d	Fractions (% du taux total des fractions grossières)			
			1	2	3	4
0,190	5,7	0,30	39	28	22	11

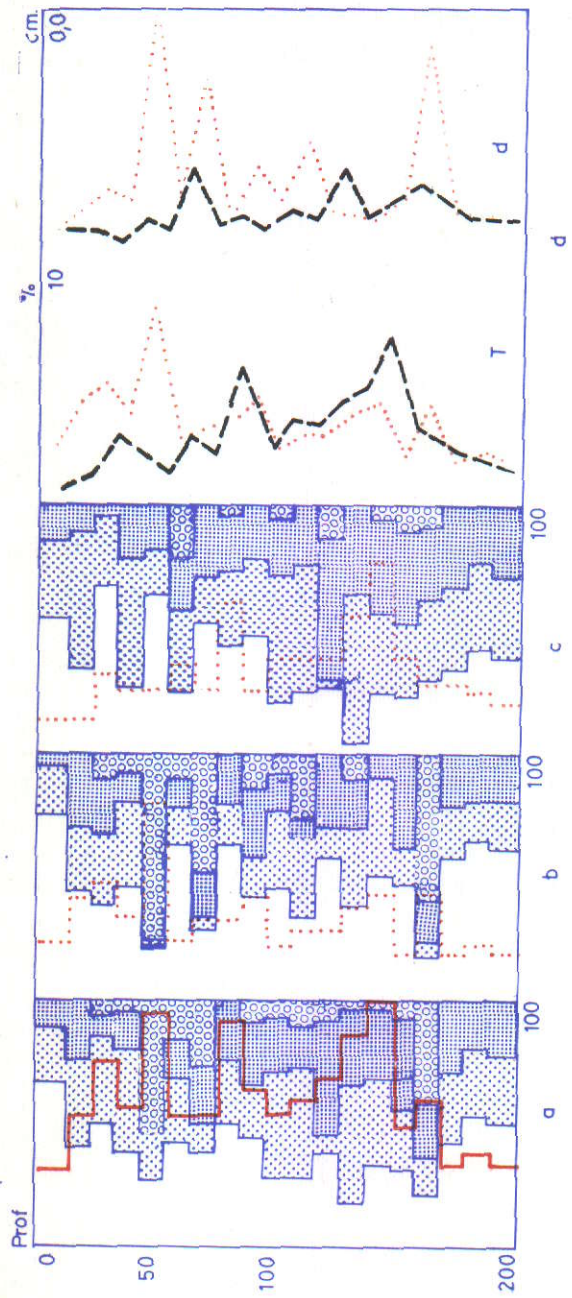
Observations : T - taux d'éléments grossiers ; d - leur taille.

Fractions : 1 — 0,2 — 0,5 mm ;  
 2 — 0,5 — 2,0 mm ;  
 3 — 2,0 — 5,0 mm ;  
 4 — 5,0 + mm ;

Exception faite de quelques niveaux particuliers (40-50 et 150-160 cm), les sous fractions sont réparties uniformément dans le profil (GRAPH. I-a).

GRAPHIQUE I

Variations de la composition granulométrique suivant la profondeur  
Profil N° 14





## b. Leur composition

Ces fractions contiennent à la fois des éléments minéraux tant calcaires que siliceux. Ces derniers (sable grossier, gravier) représentent environ 51 % des fractions grossières (GRAPH. II-a). Leur taux augmente dans les sous-fractions 1 et 4 (surtout dans la dernière) et diminue dans les sous fractions intermédiaires 2 et 3.

Niveaux	C.M.	T	Fractions (% de chaque sous-fraction)			
			1	2	3	4
0,190	calcaire	49	41	62	59	18
	siliceuse	51	59	38	41	82

*Observation :* C.M. - composition minéralogique.

Il faut remarquer aussi que les éléments non calcaires prédominent principalement dans les horizons superficiels et, en particulier, dans les sous-fractions 3 et 4. Les granules sont rares dans le gravier de ces horizons (GRAPH. II-b de 1 à 4).

Les taux respectifs de granules et de gravier siliceux (coefficient de corrélation = — 0,04 ; ns) (\*) ainsi que leur taille (coefficient de corrélation = — 0,11 ; ns) sont indépendants (GRAPH. I-d) et ne présentent aucune corrélation.

Quand on examine la masse terreuse avant « l'attaque chlorhydrique » on remarque que les éléments non calcaires ne sont visibles que dans la partie supérieure du profil. En profondeur, en dessous de 100 cm, on n'aperçoit que des granules calcaires (TABL. III).

## c. Partie non calcaire

## 1. Constitution des fractions

Elle est constituée de sable et de gravier siliceux avec des grains noirs et bruns d'aspect ferrugineux (TABL. II) visibles surtout après attaque chlorhydrique.

## 2. Leur répartition

Cette fraction minérale non calcaire est formée, en majeure partie, par les éléments sableux grossiers (67,1 %) dans lesquels la sous-fraction 1 prédomine nettement (47 %) (GRAPH. I-b) :

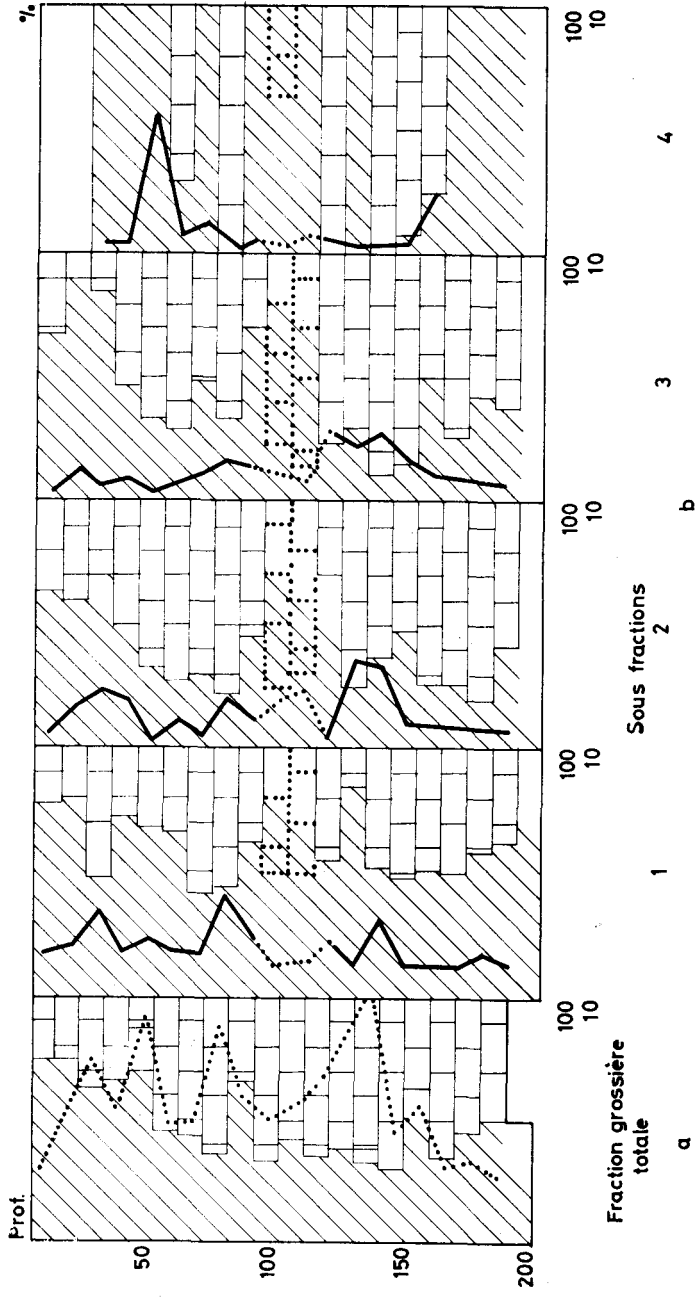
\* ns — non significatif (P - inf à 0,1)

s — significatif (P = 0,1 - 0,02)

hs — hautement significatif (P = 0,02 - 0,001)

## GRAPHIQUE II

Variation de la composition minéralogique (en % de taux total de fraction grossière totale ou de sous-fractions) suivant la profondeur — Profil N° 14



Niveaux	T	d	Fractions (% de partie siliceuse)			
			1	2	3	4
0-190	2,9	0,27	47	22	17	14

Leur répartition dans le profil est assez homogène, sans zone d'enrichissement et la corrélation entre les taux de gravier et la profondeur n'est pas significative (coefficient de corrélation = 0,21 — ns). Toutefois on remarque trois niveaux où apparaissent quelques graviers.

La taille moyenne de ces éléments grossiers qui dépend de leur taux (coefficient de corrélation = 0,68 — s), serait de l'ordre de 0,27 cm, mais abstraction faite de ces trois niveaux graveleux (40-50, 60-70 et 150-160), elle oscillerait autour de 0,17 cm. Il n'y a pas de corrélation entre la taille des grains et la profondeur (coefficient de corrélation = 0,33 — ns). (Voir aussi GRAPH. I-d).

### c. Partie calcaire

#### 1. Constitution des fractions

Elle est constituée uniquement de granules.

#### 2. Leur répartition

Ces granules calcaires qui se concentrent surtout dans les sous-fractions inférieures à 5,0 mm (1 à 3) sont répartis en proportions équivalentes entre ces sous-fractions :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie calcaire)			
			1	2	3	4
0-190	2,8	0,10	36	35	26	3

Toutefois, on constate un accroissement des éléments grossiers vers 130-140 cm de profondeur (GRAPH. I-c). Au-delà de ce niveau, leur taux baisse régulièrement. Leur taille moyenne, qui oscille autour de 0,18 cm, augmente avec la profondeur d'une manière significative (coefficient de corrélation = 0,68 — s). Par contre, celle des fractions graveleuses varie d'une manière imprévisible dans ce profil

(coefficient de corrélation = — 0,07 — ns). La taille des granules grossiers serait en relation avec leur taux : l'accroissement de leur taux est fonction de l'accroissement de leur taille (coefficient de corrélation = 0,58 — presque sign.).

D'une manière générale, le taux de granules, aussi bien des granules sableux que des granules graveleux, augmente significativement jusqu'au niveau de 130-140 cm de profondeur (coefficient de corrélation = 0,74 — s). Au-delà, il diminue de nouveau (GRAPH. I-d). Rappelons que dans ce profil le taux de granules ainsi que leur taille restent indépendants de ceux de la partie minérale non calcaire.

### 3. Rapport entre les différentes formes de calcaire

Dans ce profil, le taux de calcaire totale augmente depuis la surface, d'abord légèrement puis, à partir de 100 cm de profondeur, assez brusquement pour former une zone d'enrichissement qui se trouve entre 140 et 170 cm de profondeur. Au-delà, le taux de calcaire diminue légèrement.

La courbe de répartition du calcaire fin suit celle du calcaire total. Par contre, le calcaire grossier montre une zone d'accumulation qui se place avant la zone d'enrichissement en calcaire fin (GRAPH. III).

Ce profil, faiblement calcaire, est bien différencié avec des valeurs élevées du coefficient de variabilité, surtout pour le calcaire fin (100 %). Bien que la courbe de répartition du calcaire fin, qui représente 49,2 % du calcaire total, suive celle du calcaire total, elle s'en écarte assez sensiblement et le coefficient de variabilité de ce rapport 100 calcaire fin/calcaire total est élevé (47,2 %) (TABL. III).

## B. Profil N° 13 (Sol châtain isohumique, encroûté)

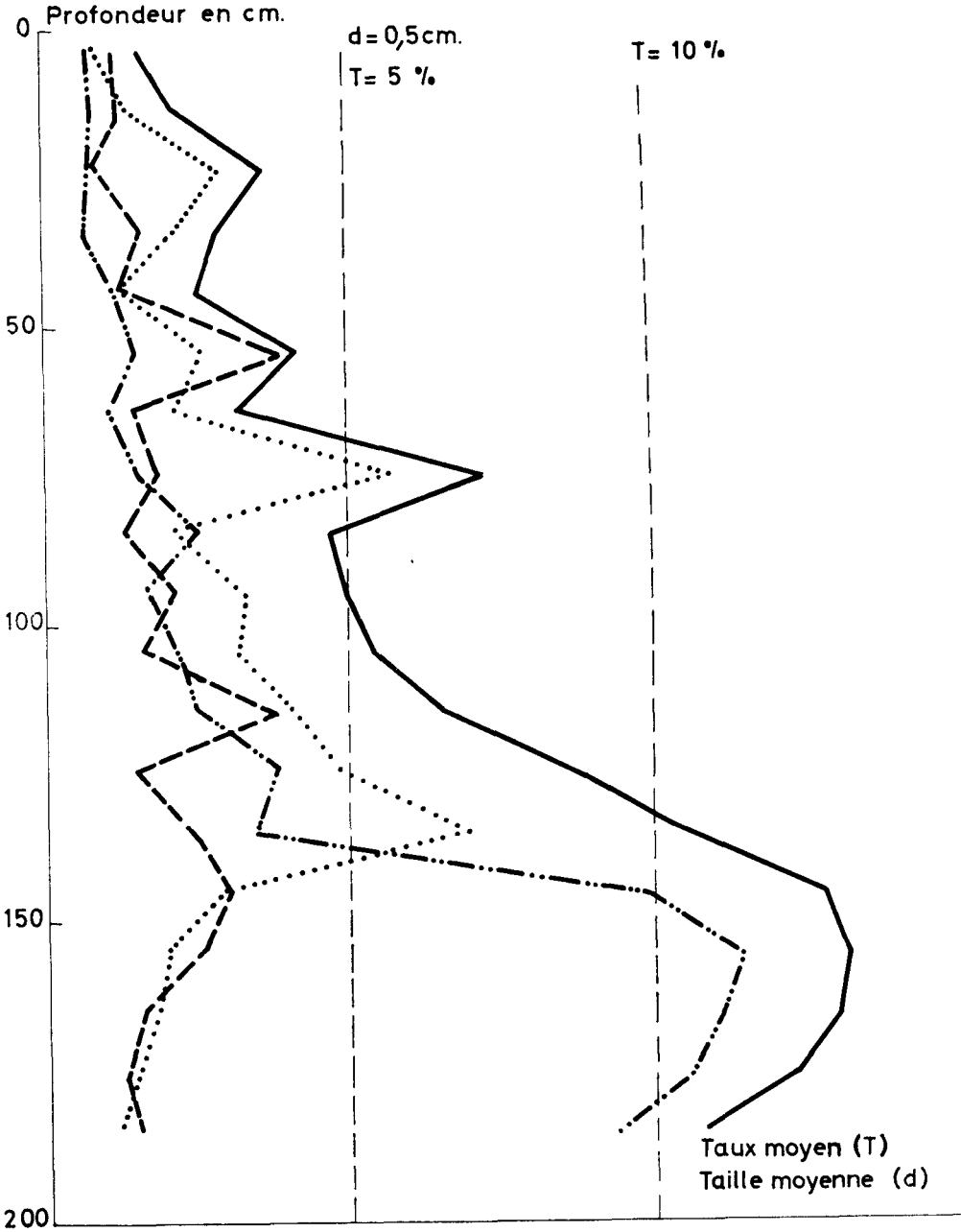
### a. Fractions grossières totales

Ce sol châtain est caillouteux : le taux de fractions grossières dans les mottes dépasse 25 % dans les horizons situés en dessous de 40 cm de profondeur. Ces derniers contiennent en outre de nombreux galets roulés. Toutefois, dans les horizons de surface, ce taux diminue jusqu'à 14 %.

La plupart des éléments grossiers de ces horizons se concentrent dans la sous-fraction 2, (87,5 % de la fraction supérieur à 0,2 mm) tandis qu'en profondeur le gravier (supérieur à 0,5 mm) en constitue 64 %.

GRAPHIQUE III

Variations du taux de calcaire total, de calcaire fin (inf. à 0,2 mm), de calcaire grossier (sup. à 0,2 mm) et de la taille moyenne des granules suivant la profondeur — Profil N° 14



Niveaux	T	d	Fractions (% de taux total des fractions grossières)			
			1	2	3	4
0-40	14,3	0,05	88	8	4	0
40-200	23,5	0,85	18	7	11	64

La taille moyenne de ces éléments supérieurs à 0,2 mm, très faible dans les horizons de surface (0,05 cm), croît brusquement à partir de 40 cm et oscille autour de 0,85 cm, conformément à leur composition granulométrique. Cette dernière reste relativement homogène dans l'ensemble des horizons profonds, exception faite d'un niveau sab'ieux situé entre 60 et 80 cm de profondeur en dessous de la croûte (GRAPH. IV-a).

#### b. Leur composition

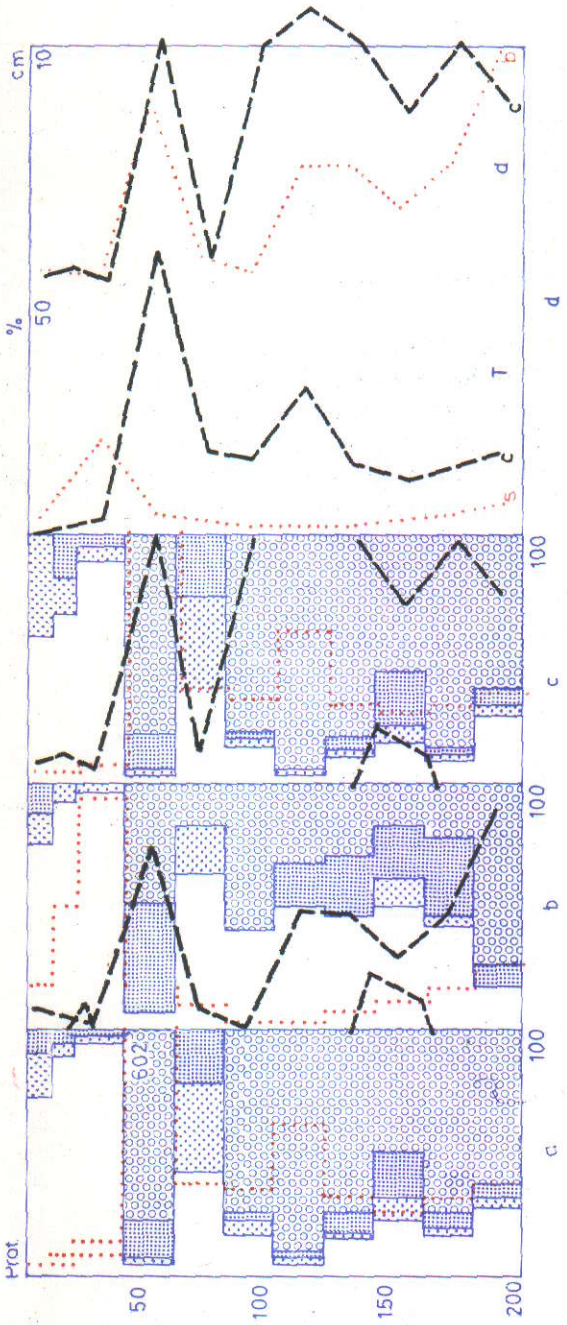
Ces fractions sont constituées surtout d'éléments siliceux dans le haut du profil (86 %) quelle que soit la sous-fraction, et par des granules calcaires en profondeur (90 % de la masse totale des fractions grossières) (GRAPH. V-a et V-b, 1 à 4).

Niveaux	C.M.	T	Fractions (% de chaque sous-fraction)			
			1	2	3	4
0-40	calcaire	14	52	30	25	0
	siliceuse	86	48	70	75	100
40-200	calcaire	90	88	93	60	82
	siliceuse	10	12	7	40	18

Malgré la différence des teneurs en éléments siliceux (16,6 % vers la surface et 2,15 % en dessous de 40 cm de profondeur), et en éléments calcaires (respectivement 2,1 et 23,2 %), les courbes de répartition de ces éléments dans le profil et surtout celles de leur taille, sont assez semblables (GRAPH. IV-d). Toutefois, les corrélations entre les caractéristiques des éléments grossiers (taux et taille) ne sont pas statistiquement significatives, bien que les coefficients de corrélation se rapprochent du seuil des niveaux de signification. Ainsi on obtient

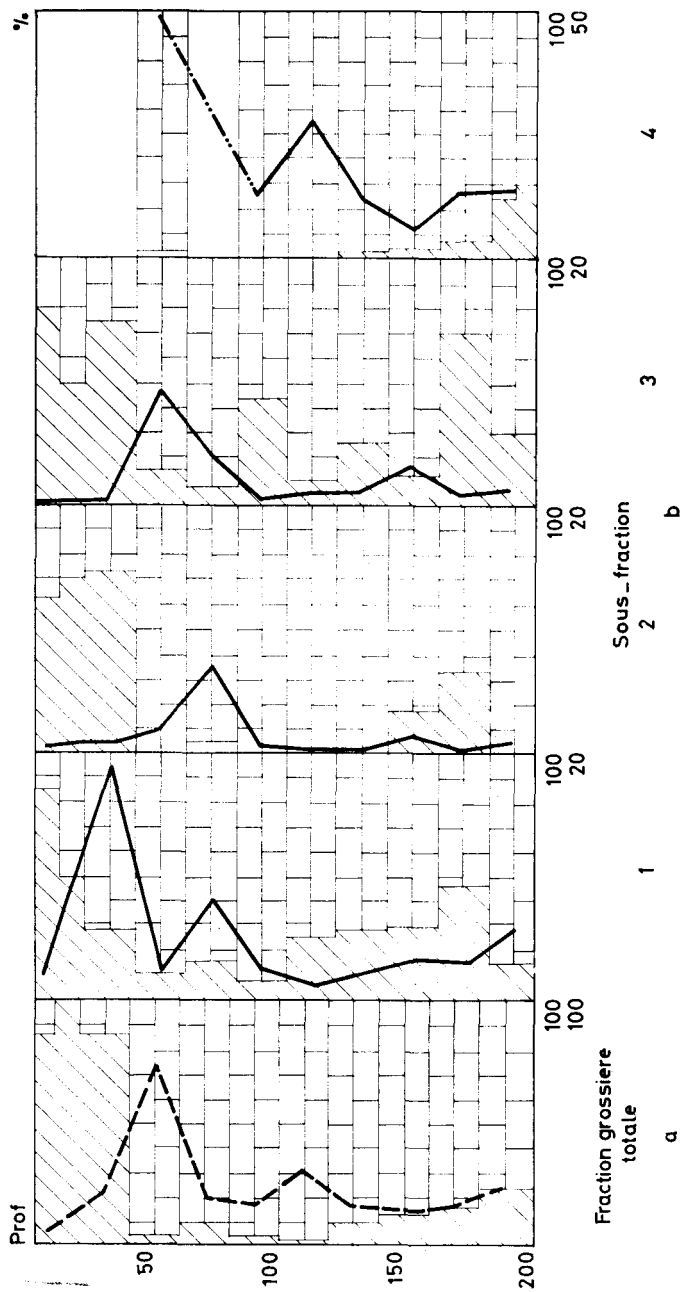
GRAPHIQUE IV

Variations de la composition granulométrique suivant la profondeur  
Profil N° 13



### GRAPHIQUE V

Variations de la composition minéralogique (en % de taux de fraction grossière totale ou de sous-fractions) suivant la profondeur Profil N° 13





pour la corrélation entre les taux de granules et de grains un coefficient de l'ordre de 0,46 et pour celle entre leurs tailles — de 0,30 \*. La répartition initiale des éléments aurait été perturbée ultérieurement par certains processus pédologiques. Cette question sera évoquée dans le chapitre réservé à la discussion des résultats.

Les éléments siliceux sont visibles dans les échantillons non traités provenant des horizons de surface. En profondeur on n'observe que des granules calcaires (TABL. II).

### c. Partie non calcaire

#### 1. Constitution des fractions

Ce squelette minéral est formé de sable quartzeux, coloré ou non, de petits galets et de grains noirs ou bruns d'aspect ferrugineux. Ces derniers se trouvent surtout dans les premiers 100 centimètres (TABL. II). Nous rappelons ici que les horizons profonds de ce profil contiennent de nombreux galets calouteux (sup. à 20 mm) plus ou moins « encroûtés » juxtaposés et noyés dans la masse tuffeuse.

#### 2. Leur répartition

Dans les horizons superficiels de ce profil, les éléments siliceux sont assez abondants (17 %), mais leur taux diminue brusquement en dessous de 40 cm de profondeur (2,15 %). Dans le haut de la coupe, la fraction grossière est composée essentiellement de sable grossier (sous-fraction 1 — 89 %), tandis que dans les horizons sous-jacents plus de la moitié de ces éléments se concentre dans les fractions graveleuses (sous-fractions 3 et 4) : ainsi leur taille moyenne passe de 0,05 cm dans la couche terreuse à 0,46 cm dans les horizons profonds :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie siliceuse)			
			1	2	3	4
0-40	16,6	0,05	89	6	5	0
40-200	2,2	0,46	39	4	17	29

Assez uniforme dans la partie supérieur du profil (0-40), la composition granulométrique de ce squelette minéral subit des varia-

\* Pour P = 0,1, le coefficient de corrélation (n = 11) = 0,50.

tions notables dans les horizons profonds (GRAPH. IV-b). On peut remarquer aussi que le pourcentage de la sous-fraction 2 est faible (4 % en moyenne). Parfois, il tombe à zéro dans certains niveaux. Il y a donc une rupture de continuité dans la composition granulométrique des horizons profonds.

Exception faite de la couche terreuse, la taille moyenne des éléments siliceux des horizons sous-jacents (40-200) est en relation avec leur taux (coefficient de corrélation = 0,77 ; sign.). Pour les fractions graveleuses, cette corrélation est très nette pour l'ensemble du profil (coefficient de corrélation = 0,66 ; sign.), mais elle diminue au-dessous du seuil de signification dans les horizons profonds (coefficient de corrélation = 0,45). La taille des grains augmente significativement avec la profondeur (coefficient de corrélation = 0,64 ; s), tandis que leur taux (coefficient de corrélation = 0,39 ; ns) et leur nombre (coefficient de corrélation = 0,16 ; ns) en sont indépendants (voir aussi GRAPH. IV-d).

#### d. Partie calcaire

##### 1. Constitution des fractions

Cette partie des fractions grossières est formée uniquement de granules.

##### 2. Leur répartition

Dans les horizons profonds de ce profil les granules se concentrent surtout dans les fractions graveleuses (plus de 75 % de leur taux total) et de préférence dans la sous-fraction 4, la plus grossière (66,8 %), tandis que dans les horizons de surface c'est la sous-fraction 1, la plus fine, qui les contient (77,3 %) :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie calcaire)			
			1	2	3	4
0-40	2,1	0,07	77	17	6	0
40-200	23,2	0,87	16	7	10	67

Les éléments calcaires sont grossiers avec une taille moyenne qui oscille autour de 0,87 cm, celle des éléments de surface étant fine (0,07 cm). Assez nombreux dans la partie supérieure des horizons

caillouteux, leur taux diminue fortement avec la profondeur (GRAPH. IV-c).

Leur taux dépend de leur taille (coefficient de corrélation = 0,68 ; hs) pour l'ensemble du profil ; cette corrélation est moins bonne dans les horizons situés sous la croûte, en dessous de 40 cm (coefficient de corrélation = 0,74 ; s) \*. Elle disparaît pour les fractions grave'euses (coefficient de corrélation = 0,39 ; ns).

La taille varie significativement avec la profondeur pour l'ensemble du profil (coefficient de corrélation = 0,67 ; s), mais change peu dans les horizons profonds (coefficient de corrélation = 0,33 ; ns). Par contre, le taux global de ces fractions (coefficient de corrélation = 0,14 ; ns) ainsi que leur nombre (coefficient de corrélation = 0,54 ; ns) en sont indépendants (voir aussi GRAPH. IV-d).

### 3. Rapport entre les différentes formes de calcaire

La répartition du calcaire dans le profil est analogue à celle du profil précédent : les horizons supérieurs sont pratiquement décalcariés jusqu'à 40 cm de profondeur. Au-delà, le taux de calcaire augmente brusquement pour atteindre son maximum dans la couche de 40 à 60 cm, croûte calcaire (75 %), et se maintient à partir de 60 cm autour de 55 % jusqu'à 200 cm de profondeur (fond de la tranchée).

Les taux de calcaire fin et grossier suivent, avec quelques variations, le taux global de carbonate de calcium. La taille des granules augmente brusquement au sommet de l'horizon caillouteux (croûte calcaire) ; elle diminue fortement dans l'horizon sous-jacent (60-80) et croît de nouveau dans le reste du profil (GRAPH. VI).

Cette différenciation du calcaire est soulignée aussi par l'étude des moyennes. Le maximum de variabilité s'observe surtout dans le cas du calcaire grossier (91 %). Elle reste élevée pour le calcaire total (66 %) et le calcaire fin (33 %). Toutefois, le taux de calcaire fin reste assez indépendant du taux de calcaire total avec un coefficient de variabilité du rapport 100 calcaire fin/calcaire total égal à 37 % (TABL. III).

#### C. Profil N° 15

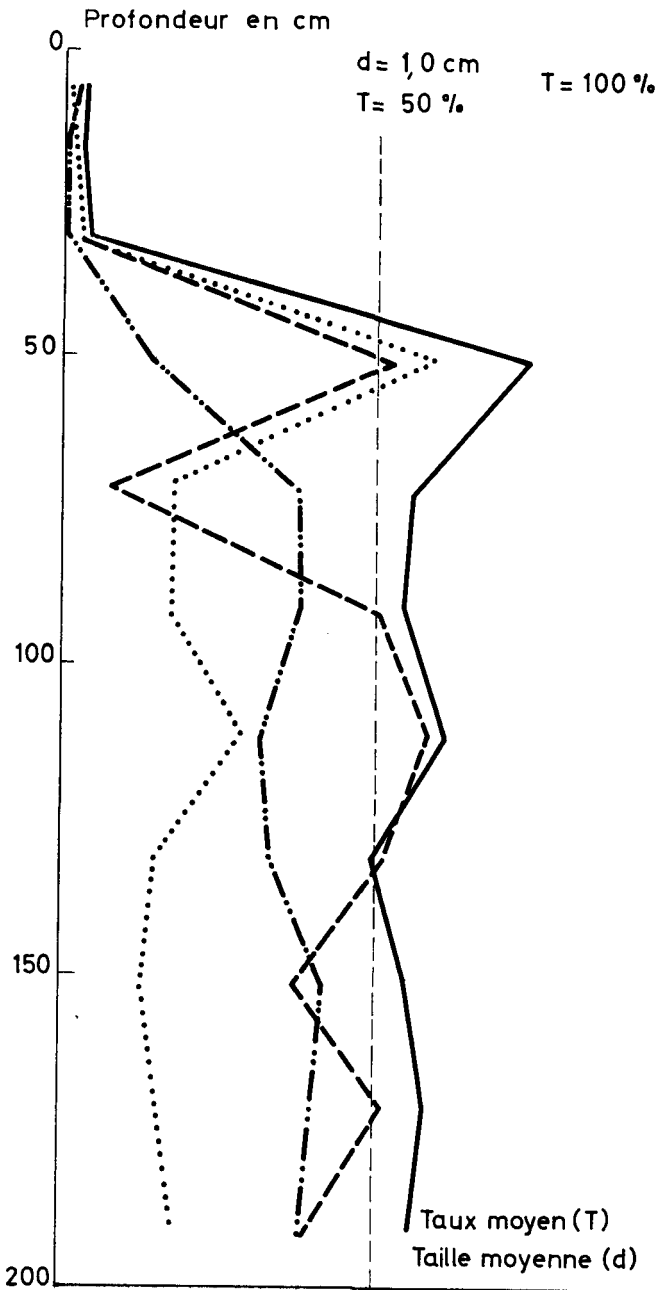
##### a. Fractions grossières totales

Ce sol brun isohumique est caillouteux. A partir de 30 cm de

\* Le nombre des paires étant plus faible que le cas précédent.

GRAPHIQUE VI

Variations du taux de calcaire total, de calcaire fin (inf. à 0,2 mm), de calcaire grossier (sup. à 0,2 mm) et de la taille moyenne des granules suivant la profondeur — Profil N° 13



profondeur, le taux moyen de fractions grossières dépasse 26 % avec une nette prédominance des fractions 3 et 4 (60 %). La taille moyenne de ces éléments varie autour de 0,47 cm.

Niveaux	T	d	Fractions (% de taux total des fractions grossières)			
			1	2	3	4
0-30	11.1	0,16	38	29	32	0
30-190	26,6	0.47	21	19	34	26

Par contre, le taux d'éléments grossiers dans l'horizon supérieur terreux (0-30) reste voisin de 11 % seulement. La fraction 4 n'existe pas dans cette couche et la taille moyenne de ces sous-fractions oscille autour de 0,16 cm.

Toutefois, cette composition granulométrique n'est pas constante dans tout le profil. Les sous-fractions graveleuses (sup. à 5,0 mm) prédominent dans la partie supérieure de cet horizon à gravier ; en profondeur son taux diminue progressivement en faveur des sous-fractions 1 et 2 (sableuses grossières) (GRAPH. VII-a).

#### b. Leur composition

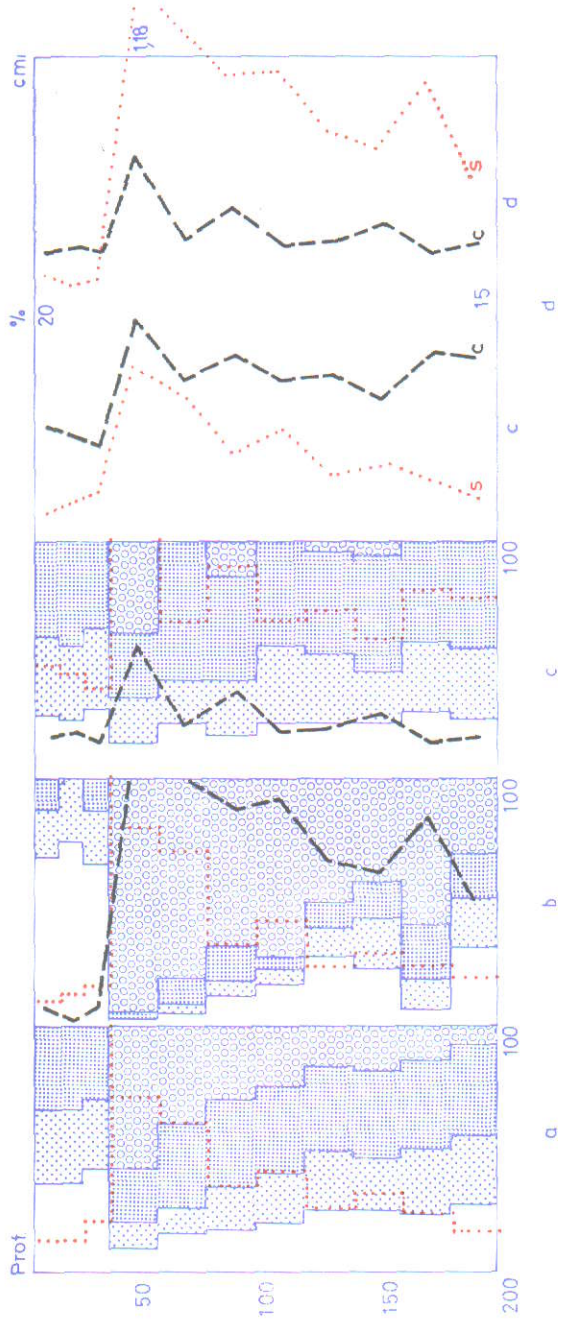
Ces fractions grossières sont composées en majeure partie de granules calcaires, dont le taux moyen oscille autour de 65 % de leur masse à partir de 30 cm de profondeur :

Niveaux	C.M.	T	Fractions (% de chaque sous-fraction)			
			1	2	3	4
0-30	calcaire	77	57	64	95	—
	siliceuse	23	43	36	5	—
30-190	calcaires	65	80	86	90	16
	siliceuse	35	20	14	10	84

En ce qui concerne leur répartition entre les sous-fractions de tamisage, ils prédominent surtout dans les sous-fractions 1, 2 et 3, tandis que dans la sous-fraction 4, ils n'apparaissent qu'à certains niveaux (GRAPH. VIII-a et VIII-b de 1 à 4). Outre les granules

GRAPHIQUE VII

Variations de la composition granulométrique suivant la profondeur  
Profil N° 15



calcaires, on peut voir aussi dans ce sol des grains quartzeux ainsi que des grains « métallisés » noirs et bruns de forme irrégulière (TABL. II).

Il faut remarquer que les variations du taux de granules et de leur taille moyenne suivent celles des éléments non-calcaires (GRAPH. VII-d). La corrélation entre ces éléments est hautement significative pour les taux de fractions graveleuses (coefficient de corrélation = 0,84), moins bonne pour les fractions grossières totales de l'ensemble du profil (coefficient de corrélation = 0,58). Cette corrélation disparaît dans les horizons profonds (coefficient de corrélation = 0,01).

La taille des granules est en relation avec la taille des éléments grossiers de l'ensemble des fractions (coefficient de corrélation = 0,62 ; s). Malgré la parenté des courbes du graphique VII-d concernant la variation de ces caractéristiques suivant la profondeur, la corrélation pour les fractions supérieures à 2,0 mm devient non significative, bien que possédant les valeurs élevées du coefficient de corrélation. Elle disparaît totalement dans les horizons caillouteux de l'ensemble des fractions (voir parties c et d de ce sous-chapitre).

### c. Partie non calcaire

#### 1. Constitution des fractions

Cette partie minérale des fractions grossières est formée essentiellement d'éléments sableux, de petit gravier, de grains noirs et bruns d'aspect métallique. Ces derniers se rencontrent surtout dans les premiers 100 centimètres (TABL. II).

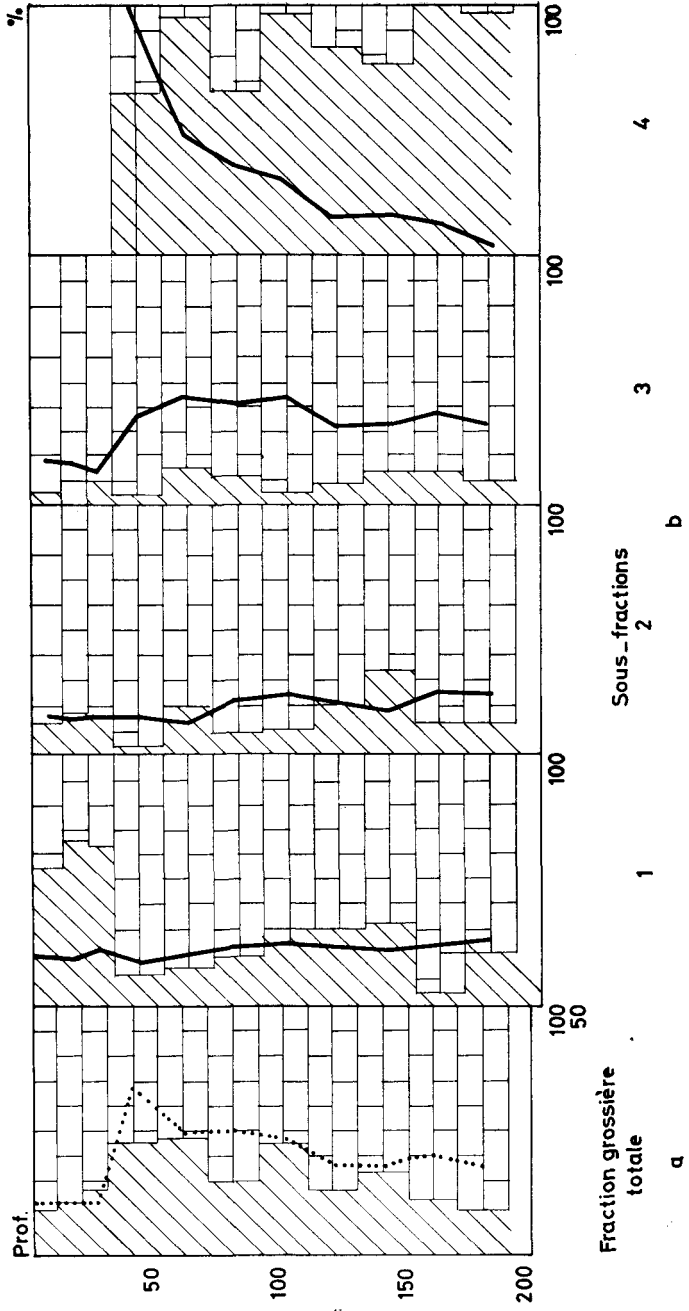
#### 2. Leur répartition

Les éléments minéraux des horizons profonds (7,5 %) de taille moyenne de 0,84 cm, se concentrent surtout dans la sous-fraction 4, tandis que l'horizon terreux ne contient pratiquement que du sable grossier avec la prédominance de la sous-fraction 1 (75 %) (GRAPH. VII-b) :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie siliceuse)			
			1	2	3	4
0-30	2,5	0,08	72	21	7	0
30-190	7,5	0,84	16	10	12	62

GRAPHIQUE VIII

Variations de la composition minéralogique (en % de taux de fraction grossière totale ou de sous-fractions) suivant la profondeur Profil N° 15





Le taux d'éléments siliceux des horizons profonds diminue avec la profondeur parallèlement à une diminution du taux de sous-fractions graveleuses supérieures à 5,0 mm. Cette diminution est hautement significative pour les éléments siliceux de l'horizon caillouteux (coefficient de corrélation = 0,92 ; hs), tant pour leur taille (coefficient de corrélation = 0,88 ; hs) que pour leur nombre (coefficient de corrélation = 0,64 ; s).

Le taux de grains est en relation avec leur taille, aussi bien pour les fractions totales (coefficient de corrélation = 0,86 ; hs) que pour les fractions graveleuses (coefficient de corrélation = 0,75 ; hs). La corrélation disparaît dans les horizons profonds (coefficient de corrélation = 0,09 ; ns) malgré la similitude des courbes de variations du taux et de la taille des grains (GRAPH. VII-d). Ceci s'explique par le fait que les faibles variations du taux ne suivent pas toujours rigoureusement celles de la taille.

#### d. Partie calcaire

##### 1. Constitution des fractions

En ce qui concerne la partie calcaire, elle est formée exclusivement de granules (TABL. II).

##### 2. Leur répartition

Le taux de calcaire grossier est assez élevé dans ce profil : il oscille autour de 8,6 % dans les horizons de surface et autour de 14,8 % dans les horizons profonds :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie calcaire)			
			1	2	3	4
0-30	8,8	0,19	28	32	40	0
30-190	14,8	0,30	24	24	45	8

Le calcaire se concentre surtout dans les sous-fractions 1, 2 et 3 avec une prédominance dans la dernière sous-fraction 3 quel que soit le niveau. On observe l'apparition de la sous-fraction 4 dans la partie supérieure de l'horizon caillouteux (30-190) — croûte calcaire. Dans cette partie du profil, le taux global de calcaire grossier paraît atteindre son maximum entre 30 et 90 cm de profondeur, pour diminuer ensuite vers la base du profil (GRAPH. VII-c). Cependant,

du point de vue statistique, cette variation du taux de granules suivant la profondeur n'est pas significative (coefficient de corrélation = 0,45).

La taille des granules est assez grande, même dans les horizons terreux. Dans ces derniers, elle oscille autour de 0,30 cm. La courbe de variation de la taille des granules paraît suivre celle de leur taux d'une manière significative (coefficient de corrélation 0,74 ; hs), sauf pour les fractions totales de l'horizon profond (coefficient de variabilité est = 0,07) où cette corrélation n'existe pas. L'explication de ce fait est la même que pour les fractions siliceuses : les variations de la taille ne suivent par rigoureusement celles de leur taux. Cette question sera évoquée dans le chapitre réservé à la discussion des résultats.

Aucune corrélation n'existe entre la taille des granules (coefficient de corrélation = - 0,12 ; ns) et leur nombre (coefficient de corrélation = 0,10 ; ns), d'une part, et la profondeur, d'autre part. (Voir aussi GRAPH. VII-d).

### 3. Rapport entre les différentes formes de calcaire

Le taux de calcaire total, déjà assez élevé dans l'horizon superficiel (autour de 18 % environ), augmente brusquement entre 20 et 30 cm de profondeur. Il oscille autour de 40 % dans le reste du profil. D'une manière générale, le taux de calcaire grossier et de calcaire fin suit celui du calcaire total sans former de niveaux particuliers (GRAPH. IX).

Cette faible différenciation du profil est traduite également par l'étude des moyennes (TABL. III). Les coefficients de variabilité sont relativement modérés pour le calcaire total (27 %) et pour le calcaire fin (33 %) pour lesquels les valeurs du rapport 100 calcaire fin/calcaire total changent peu (coefficient de variabilité = 14 %). Par contre, le calcaire grossier est bien différencié (coefficient de variabilité = 62 %).

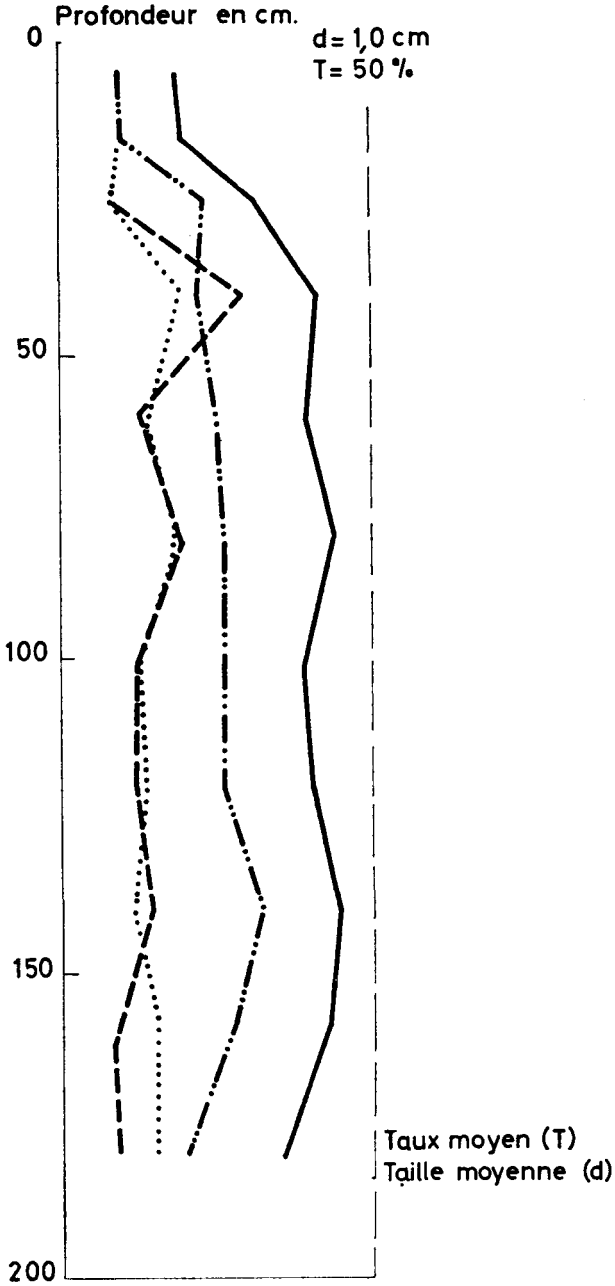
#### D. Profil N° 19

##### a. Fractions grossières totales

Tout le profil de ce sol brun isohumique est très riche en éléments grossiers, dont le taux moyen pour l'ensemble de la coupe dépasse 30 % avec un léger abaissement dans l'horizon supérieur (28,6 %) :

GRAPHIQUE IX

Variations du taux de calcaire total, de calcaire fin (inf. à 0,2 mm) de calcaire grossier (sup. à 0,2 mm) et de la taille moyenne des granules suivant la profondeur — Profil N° 15



Niveaux	T	d	Fractions (% de taux total des fractions grossières)			
			1	2	3	4
0-30	28,6	0,87	11	12	12	65
30-90	20,6	0,42	23	20	36	21
90-170	42,4	0,84	7	8	25	60

Ces éléments sont volumineux. La sous-fraction 4 constitue 65 % de la masse totale dans les horizons de surface et 43 % des horizons sous-jacents. Toutefois, ces horizons profonds sont constitués en réalité de deux couches : dans la première (30-90) le taux d'éléments grossiers diminue jusqu'à 20,6 %. Ils sont répartis assez uniformément entre les différentes sous-fractions. Dans la couche profonde (90-170), ce taux croît jusqu'à 42,6 % avec une concentration des éléments grossiers dans la sous-fraction 4.

Dans les deux niveaux fortement graveleux, le taux d'éléments grossiers atteint respectivement 77 et 75 % dans les sous-fractions 3-4, de sorte que leur taille moyenne oscille autour de 0,87 cm. La composition granulométrique de la fraction grossière n'est donc pas uniforme (GRAPH. X-a).

#### b. Leur composition

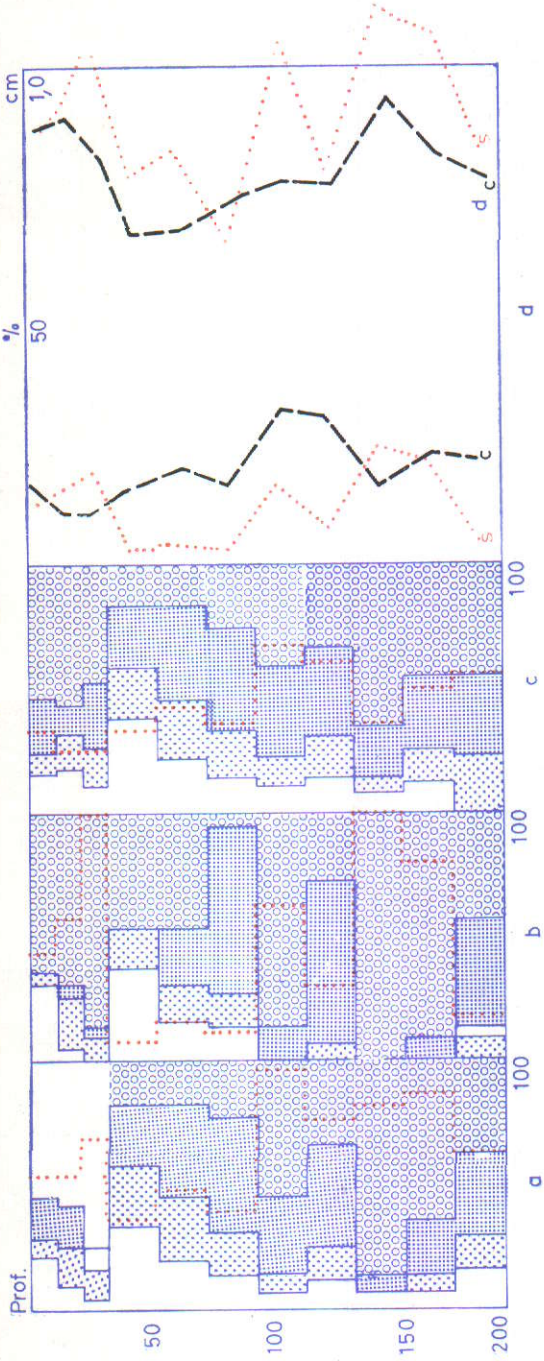
Les éléments calcaires, qui ne constituent que 45 % de la masse totale des fractions des horizons de surface, augmentent jusqu'à 87 % dans la couche intermédiaire (30-90). Ils diminuent de nouveau jusqu'à 62 % dans les horizons profonds (GRAPH. XI-a) :

Niveaux	C.M.	T	Fractions (% de chaque sous-fraction)			
			1	2	3	4
0-30	calcaire	45	49	59	81	39
0-30	siliceuse	55	51	41	19	61
30-90	calcaire	87	90	87	90	78
	siliceuse	13	10	13	10	22
90-170	calcaire	62	96	91	84	62
	siliceuse	38	4	9	16	38

# GRAPHIQUE X

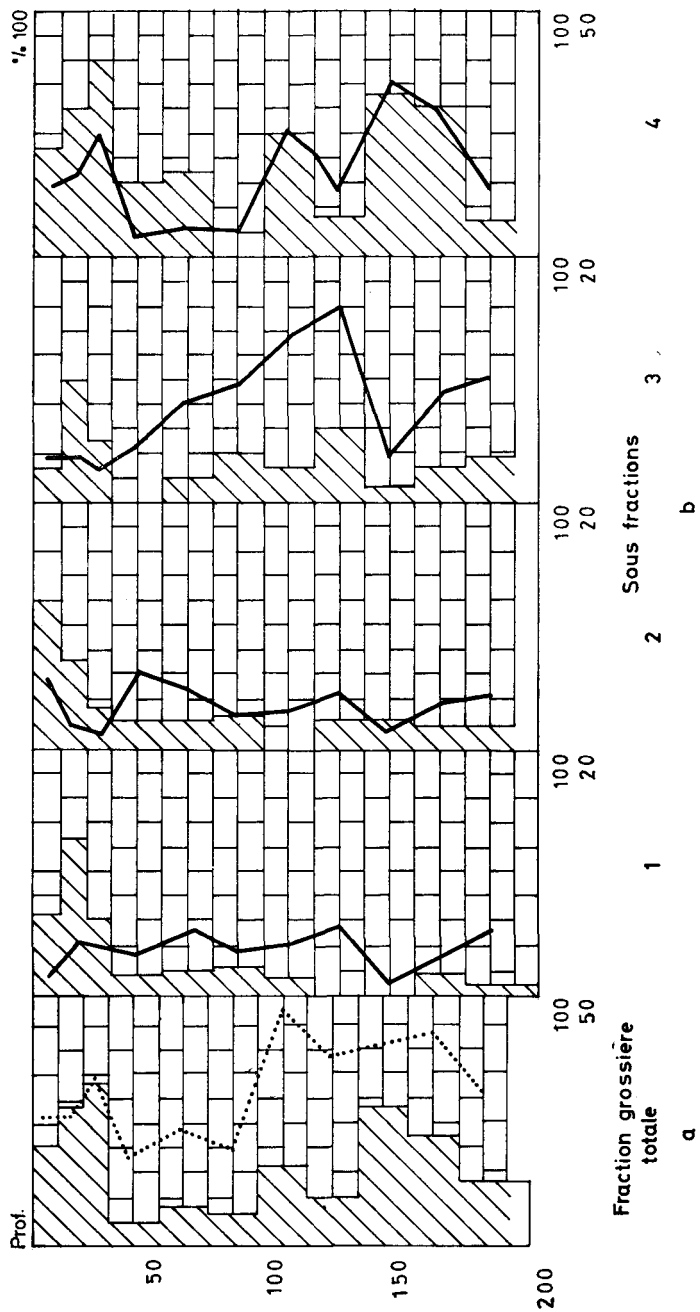
Variations de la composition granulométrique suivant la profondeur

Profil N° 19



# GRAPHIQUE XI

Variations de la composition minéralogique (en % de taux de fraction grossière totale ou de sous-fractions) suivant la profondeur Profil N° 19



Dans les horizons de surface les granules calcaires semblent se concentrer dans la sous-fraction 3 (81 %). Ils diminuent dans les autres sous-fractions (39-58 %). Dans la couche sous-jacente ils envahissent toutes les fractions (78-90 %). Il en est de même dans les horizons profonds (90-130) où, toutefois, son taux relatif baisse jusqu'à 62 % dans la sous-fraction 4 (GRAPH. XI-b de 1 à 4).

L'examen des échantillons non attaqués par l'acide chlorhydrique ne révèle que les granules calcaires, les éléments siliceux restant invisibles (TABL. III).

Comme dans les autres profils, l'allure des courbes de répartition des éléments grossiers, calcaires ou non, ainsi que la variation de leur taille suivant la profondeur, est assez semblable (GRAPH. XI-d). Cependant l'analyse statistique ne montre pas de corrélation mutuelle entre la taille des éléments grossiers, calcaires et siliceux (coefficient de corrélation = 0,11 ; ns). Par contre, la taille des granules dépend (ou vice versa) de la taille des grains siliceux en vice versa (coefficient de corrélation = 0,66 ; s).

### c. Partie non calcaire

#### 1. Constitution des fractions

Cette partie non calcaire est représentée essentiellement par des éléments sableux quartzeux (TABL. II).

#### 2. Leur répartition

Le taux d'éléments siliceux atteint 15,6 % dans l'horizon de surface. Il baisse dans la couche intermédiaire (30-90) jusqu'à 2,7 % et augmente de nouveau (19,0 %) dans le niveau profond :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie siliceuse)			
			1	2	3	4
0-30	15,6	0,92	12	12	4	72
30-90	2,7	0,52	23	15	30	32
90-170	19,0	1,01	2	1	22	75

Ces éléments se concentrent surtout dans la sous-fraction 4, la plus grossière, dans les zones caillouteuses (72 et 75 % de leur masse totale). Dans la couche intermédiaire, leur taux dans les sous-fractions

3 et 4 baisse jusqu'à 30-32 %. Par conséquent, leur taille moyenne diminue de 0,92 cm (0-30) à 0,52 cm dans la couche intermédiaire et augmente jusqu'à 1,01 cm dans la couche profonde (GRAPH. XI-b). En réalité, la composition granulométrique de cette fraction grossière est beaucoup plus fluctuante : il existe plusieurs niveaux de gravier grossier, supérieur à 5,0 mm.

La taille moyenne des fractions grossières est en relation étroite avec leur abondance dans le profil (coefficient de corrélation = 0,88 ; ns) ; toutefois, les fractions graveleuses (supérieures à 2,0 mm) sont réparties indépendamment de leur taille (coefficient de corrélation = 0,05 ; ns). Aucune corrélation n'existe entre leur taux (coefficient de corrélation = 0,08 ; ns), leur taille (coefficient de corrélation = 0,01 ; ns) et leur nombre (coefficient de corrélation = 0,11 ; ns), d'une part, et la profondeur, d'autre part. (Voir aussi GRAPH. XI-d).

#### d. Partie calcaire

##### 1. Composition des fractions

Elle est formée uniquement de granules (TABL. II).

##### 2. Leur répartition

Le taux de granules augmente avec la profondeur : il passe de 12 % dans les horizons terreux à 17,8 % dans la couche intermédiaire et à 26,1 % dans la couche profonde :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie calcaire)			
			1	2	3	4
0-30	12,4	0,75	12	15	19	53
30-90	17,8	0,41	19	25	36	20
90-170	26,1	0,72	10	12	31	47

Leur répartition entre les diverses fractions rappelle celle des grains siliceux : concentration dans la sous-fractions 4 des horizons terreux (53 %) et des horizons profonds (47 %) et répartition quasi équivalente entre les sous-fractions dans la couche intermédiaire. Il en est de même rappelons-le, en ce qui concerne leur taille moyenne : horizon terreux — 0,75 cm, horizons intermédiaires — 0,41 cm et horizons profonds — 0,72 cm. Cependant, contrairement à la répartition des grains siliceux, celle des granules calcaires est plus régulière et sans niveaux particuliers (GRAPH. XI-c).



La taille des granules serait indépendante de leur taux (coefficient de corrélation =  $-0,13$  ; ns). Toutefois, pour les horizons profonds, les valeurs du coefficient de corrélation sont assez élevées mais sans atteindre pour autant le seuil de probabilité (coefficient de corrélation =  $0,52$ ). Pourtant l'allure des courbes de variation du taux et de la taille avec la profondeur (GRAPH. XI-d) est assez similaire.

Aucune corrélation n'existe non plus entre le taux de granules (coefficient de corrélation =  $0,58$  ; presque sign.), leur taille (coefficient de corrélation =  $0,16$ ), leur nombre (coefficient de corrélation =  $-0,04$  ; ns) et la profondeur.

### 3. Rapport entre les différentes formes de calcaire

Comme dans les profils précédents, le taux de calcaire croît brusquement à partir de 30 cm en passant de 30 % dans l'horizon de surface à 92 % dans l'horizon intermédiaire et à 81 % dans les horizons profonds. Le taux de calcaire fin suit fidèlement celui du calcaire total. Par contre, le taux de calcaire grossier en est indépendant. (GRAPH. XII).

On observe dans ce profil une zone d'enrichissement en calcaire grossier située vers un mètre de profondeur : le taux de calcaire passe de 12,4 % dans l'horizon de surface à 33,3 % entre 90 et 130 cm pour descendre ensuite à 24,0 % dans la couche sous-jacente.

La différenciation du calcaire de ce profil est bien mise en évidence par les valeurs du coefficient de variabilité des moyennes des différentes formes de cet élément. Elles sont plus élevées pour le calcaire fin (47 %) et plus faibles pour le calcaire grossier (36 %). Le coefficient de variabilité du rapport 100 calcaire fin/calcaire total se réduit à 21 %, ce qui souligne la relation étroite entre la répartition du calcaire total et la répartition du calcaire fin dans ce profil (TABL. IV).

La taille des granules, très grossière dans l'horizon de surface (0,75 cm) baisse jusqu'à 0,36 cm entre 30 et 70 cm de profondeur et oscille autour de 0,66 cm dans les horizons sous-jacents sans que l'on puisse observer un accroissement de leur taille dans l'horizon d'enrichissement général (GRAPH. XII).

#### E. Profil FbS

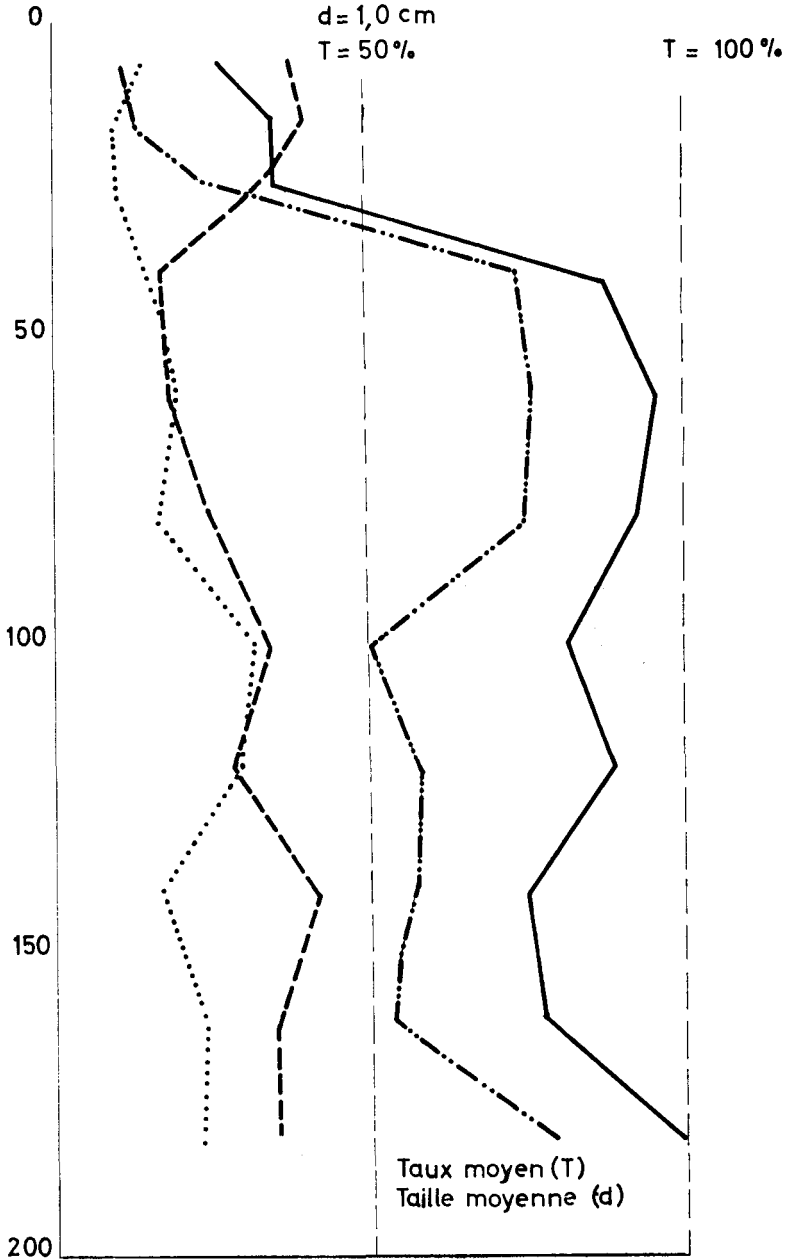
##### a. Fractions grossières totales

Dans ce profil de sol brun isohumique de la plaine du Tadla, le taux d'éléments grossiers reste modéré dans les horizons supé-

## GRAPHIQUE XII

Variations du taux de calcaire total, de calcaire fin (inf. à 0,2 mm), de calcaire grossier (sup. à 0,2 mm) et de la taille moyenne des granules suivant la profondeur — Profil N° 19

Prpfondeur en cm.



rieurs : 0-10 cm = 7,0 %, 10-70 cm = 5,6 %. Il augmente régulièrement vers la base du profil pour atteindre 27,2 % à 130-150 cm de profondeur (taux moyen de la couche de 70 à 150 cm = 20,6 %) :

Niveaux	T	d	Fractions (% de taux total de fractions grossières)			
			1	2	3	4
0-10	7,0	0,30	30	13	27	30
10-70	5,6	0,12	70	11	17	2
70-150	20,6	0,70	12	8	35	45

Dans la couche supérieure les éléments grossiers se concentrent surtout dans la fraction 1 (0-10 cm = 30 %, 10-70 cm = 70 %). Par contre, en profondeur, ils prédominent dans les sous-fractions graveleuses : sous-fraction 3 = 35 %, sous-fraction 4 = 45 %.

De ce fait, la taille moyenne, varie de la façon suivante : assez élevée dans la couche superficielle (0,30 cm) elle diminue dans l'horizon intermédiaire (0,12 cm) et augmente brusquement en dessous de 70 cm de profondeur (0,70 cm). Elle atteint 0,82 cm au fond de la tranchée. (GRAPH. XIII-a).

#### b. Leur composition

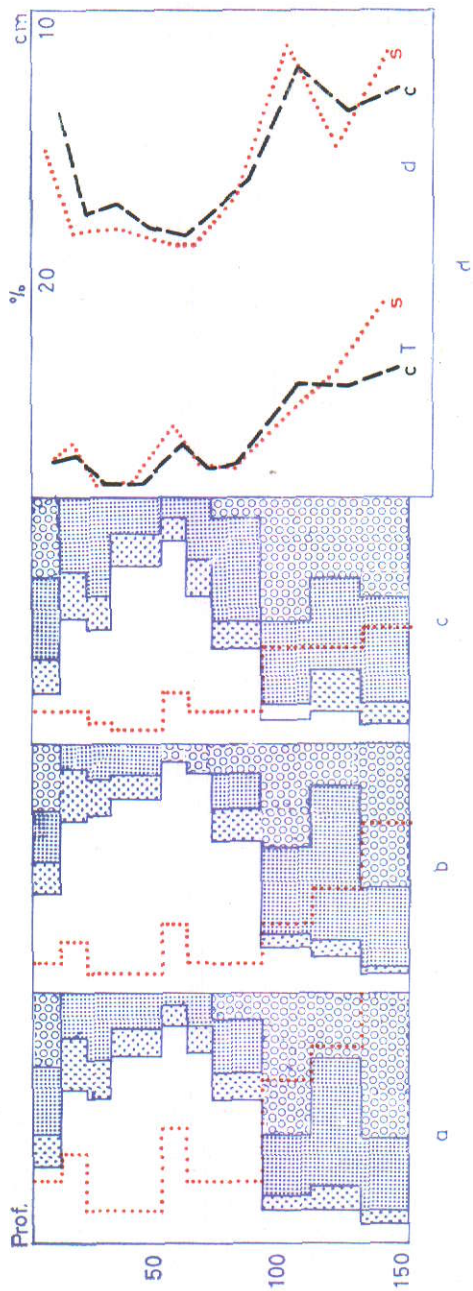
Le pourcentage de granules calcaires dans ce profil oscille aux environs de 50 % par rapport au poids total des fractions grossières. Il reste cependant assez constant dans toute la coupe (GRAPH. XIV-a).

Le maximum des granules par rapport aux poids de chaque sous-fraction se trouve dans la sous-fraction 3 (entre 60 et 79 %) ; il baisse en dessous de 60 % dans les sous-fractions 2 et 4 et diminue à moins de 40 % dans la sous-fraction 1 (GRAPH. XIV-b). D'une manière générale, cette répartition des granules et des grains siliceux se maintient dans tout le profil :

Il existe une étroite relation entre les taux d'éléments siliceux et les granules calcaires (coefficient de corrélation = 0,89 ; hs), d'une part, et entre leurs tailles respectives (coefficient de corrélation = 0,97), d'autre part. (Voir aussi GRAPH. XIII-d).

### GRAPHIQUE XIII

Variations de la composition granulométrique suivant la profondeur  
Profil FbS



Niveaux	C.M.	T	Fractions (% de chaque sous-fraction)			
			1	2	3	4
0-10	calcaire	55	33	50	63	56
	siliceuse	45	67	50	37	44
10-70	calcaire	44	37	49	79	—
	siliceuse	56	63	51	21	—
70-150	calcaire	49	39	68	60	49
	siliceuse	51	61	32	40	51

### c. Partie non calcaire

#### 1. Composition des fractions

La partie siliceuse de ce profil est représentée uniquement par des éléments quartziques.

#### 2. Leur répartition

Le taux d'éléments non calcaires qui est faible dans la partie supérieure du profil (4,1 - 3,3 %), augmente sensiblement avec la profondeur où il atteint 11,5 % en moyenne en passant de 1,7 en haut de cette couche profonde à 17,0 % vers la base du profil (130-150) :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie siliceuse)			
			1	2	3	4
0-10	4,1	0,26	40	13	20	26
10-70	3,3	0,10	79	11	10	0
70-150	11,5	0,69	14	4	33	48

Ces éléments se concentrent surtout dans la sous-fraction de la couche supérieure : 0-10 = 40 %, 10-70 = 79 %. A partir de 70 cm de profondeur ils deviennent abondants dans les sous-fractions 3 et 4, soit respectivement 33 et 48 %.

Parallèlement leur moyenne augmente de 0,26 cm (0-10 cm) à 0,69 cm (70-150 cm) en passant par 0,10 cm dans la couche

de 10 à 70 cm. Elle atteint 1,04 cm au fond de la tranchée (GRAPH. XIII-b).

Si la corrélation entre le taux d'éléments non calcaires et leur taille est peu significative (coefficient de corrélation = 0,51 ; ns ?) dans l'ensemble du profil, malgré la parenté de leurs courbes de répartition suivant la profondeur (GRAPH. XIII-d), elle devient hautement significative dans les horizons profonds (coefficient de corrélation = 0,79 ; hs). Enfin, le taux de grains siliceux (coefficient de corrélation = 0,81 ; hs) ainsi que leur taille (coefficient de corrélation = 0,54 ; s) contrairement à leur nombre (coefficient de corrélation = 0,21 ; ns) augmentent d'une manière significative avec la profondeur.

#### d. Partie calcaire

##### 1. Constitution des fractions

Elles sont formées uniquement de granules.

##### 2. Leur répartition

Dans ce profil le taux moyen de granules croît avec la profondeur : ainsi il passe de 3,3 % en surface à 6,8 % entre 10 et 70 cm et à 9,8 % dans la couche profonde (70-150 cm). En réalité, comme pour les grains siliceux, le taux de granules augmente surtout à partir de 70 cm de profondeur, où il passe de 3,4 % (70-90) à 11,0 % vers le fond de la tranchée (130-150 cm) :

Niveaux	T	d	Fractions (% de partie calcaire)			
			1	2	3	4
0-10	3,3	0,35	20	13	33	33
10-70	6,8	0,15	59	12	27	2
70-150	9,8	0,67	11	10	37	42

Dans l'horizon de surface les granules sont répartis entre les différentes sous-fractions. Dans la couche 10-70 cm ils se concentrent surtout dans la sous-fraction 1 (59 %) tandis que dans les horizons sous-jacents ils s'accumulent dans les sous-fractions les plus grossières, 3 et 4 (respectivement 37 et 42 %).

Si, d'une manière générale la composition granulométrique des horizons profonds est assez uniforme, par contre, dans la couche intermédiaire (10-70) elle peut s'écarter de la moyenne d'une manière très sensible dans la couche intermédiaire (10-70). Ainsi, dans le

TABLEAU II

## Description morphologique sommaire des éléments grossiers

Profondeur	N° 14	N° 13	N° 15	N° 19	FbS
0-10	R+(K) sf(k)+GF	R+K+sfq sfq+gn	K+sq+c+gn sq+gg	k sQ+Q+(gn)	R sq+gn
10-20	(X) sfq+gr.+gb+q	GF+sfq sfq	k+Dk+c+sq sq+(ggF)	k sq+q	k o
20-30	k+gn sfq+gnF	gnF gnF+sfq	G+gn+sq sq+gg+gn	k sq+gF(er)	(k) o
30-40	k+gn+gb sfq+q+gn+gg	— (gn(F)+sfq	k+gb gg		
40-50	k+gb gn+gb+sfq	k sfq+q+GF			(k) o
50-60	k sfq+gn+gb		k+Dk+gb sq	k o	
60-70	k sfq+gn+gb+q	k sq+(gb)			_____
70-80	k sfq+gb+gnF		Dk+k+gb+q sq+q+gb+gg		
80-90	k sfq+gF	k sq+(gn)		_____	k o
90-100	k+(gn) sfq+q+gbF		k+q+gb+sq sq+q		
100-110	k+G sfq+gbF	k sq		k (sq)	_____
110-120	k sfq+gbF		k+gFm gF+sq	_____	
120-130	k sfq+gbF	k sqj			k ?
130-140			k+gg+gn	k o	
140-150	k gbF+q	k sq+GF		_____	_____
150-160			k sq+q+gF	k (sq)	
160-170		Gr+k+Cx sqj			
170-180			k sq+gF		
180-190		Cx calc	_____		
190-200		sqg+gr			

*Observations :* Ligne supérieure - description des fractions avant l'attaque à l'acide chlorhydrique. Ligne inférieure - description des fractions après l'attaque à l'acide chlorhydrique.

niveau 50-60 cm, 94 % de granules se groupent dans la sous-fraction 1. (GRAPH. XIII-c).

*Abréviations :*

D - débris grossiers de roches, k - granules, c - débris de coquilles, d - débris fins du sable, q - quartz, sfq - sable fin quartzueux, gn - grains noirs, gb - grains bruns, gg - grains gris, F d'aspect ferrugineux, m - métallique, Cx - cailloux siliceux, G - galets ou gravier, R - racines, col - coloré, déc - décoloré, b - brun, r - rouge, f - fin, s - sableux, j - jaune, ( ) - rares, o - absence.

La taille moyenne des granules varie de la même manière : elle augmente vers la base du profil de 0,35 cm à 0,67 cm en passant à 0,15 cm entre 10 et 70 cm de profondeur. Elle est en relation avec le taux de granules (coefficient de corrélation = 0,80 ; hs) : leur taille croît donc avec leur taux. Si l'accroissement du taux suivant la profondeur est statistiquement significatif (coefficient de corrélation = 0,86), il n'en est pas de même en ce qui concerne leur taille (coefficient de corrélation 0,59 ; ns) et leur nombre (coefficient de corrélation = - 0,23 ; ns) pour l'ensemble du profil. Toutefois, en profondeur, (à partir de 70 cm), la taille des granules augmente régulièrement vers la base de la coupe (coefficient de corrélation = 0,83 ; ns).

### 3. Rapport entre les différentes formes de calcaire

La courbe de variation du taux de calcaire total croît avec la profondeur en passant de 14,3 % en surface à 40-46 % vers la base du profil. La répartition du calcaire fin dans la coupe suit celle du calcaire total. Il en est de même en ce qui concerne le calcaire

TABLEAU III  
Partie calcaire — Etude des moyennes

Profil	Calcaire total			Calcaire grossier			Calcaire fin			100 calcaire fin calcaire total		
	M	$\sigma$	CV	M	$\sigma$	CV	M	$\sigma$	CV	M	$\sigma$	CV
N° 14	6,8	3,5	52	2,8	1,6	57	4,0	4,0	100	49,2	23,2	47
N° 13	37,8	24,9	66	17,4 13,1	16,6 9,1	95 69 *	25,1	18,5	74	59,1	21,7	37
N° 15	35,0	9,3	27	6,1	3,8	62	21,9	7,2	33	61,4	8,4	14
N° 19	72,7	26,7	37	19,8	7,0	36	52,0	24,6	47	69,5	14,4	21
FbS	25,5	11,4	45	5,0	3,5	70	20,6	8,3	40	80,2	5,8	7

*Observations :*

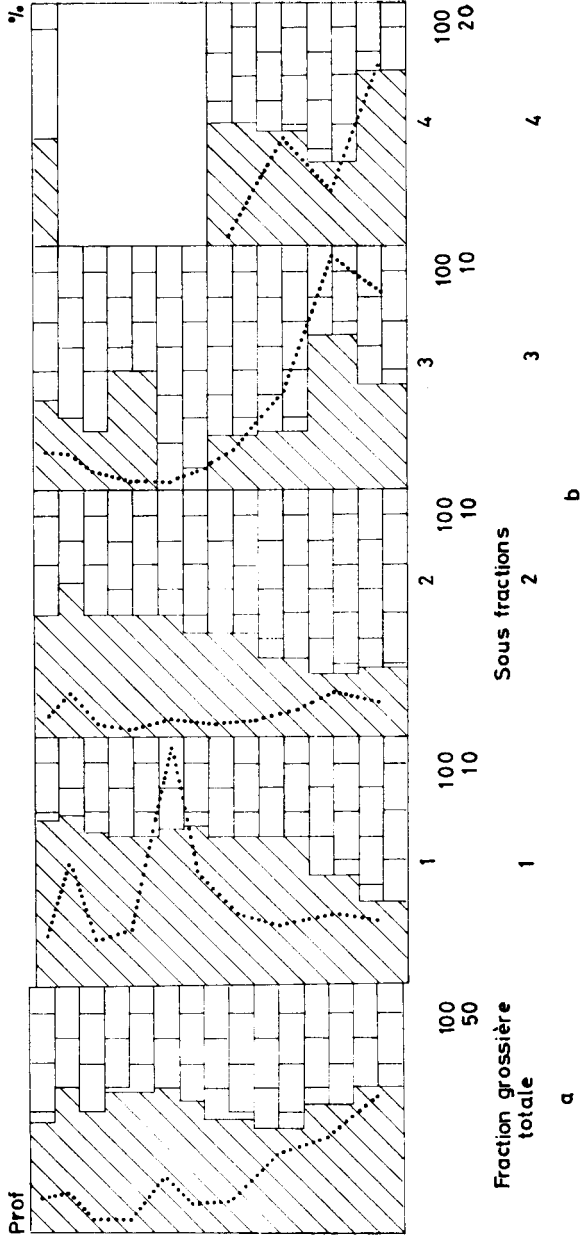
M - moyennes,  $\sigma$  - écart-type, CV - coefficient de variabilité.

\* Sans horizon à croûte (40-60).



GRAPHIQUE XIV

Variations de la composition minéralogique (en % de taux de fraction grossière totale ou de sous-fractions) suivant la profondeur Profil FbS



grossier. Toutefois, la répartition du calcaire grossier est moins régulière que celle du calcaire fin dont le taux varie peu jusqu'à 70 cm de profondeur. Au-delà de cette zone il augmente moins rapidement que celui du calcaire fin (GRAPH. XV).

Cette différenciation du profil calcaire est soulignée également par les valeurs du coefficient de variabilité qui atteint 45 % pour le calcaire total, 70 % pour le calcaire grossier et 40 % pour le calcaire fin. La corrélation étroite entre le taux de calcaire total et le taux de calcaire fin est soulignée par la basse valeur du coefficient de variabilité du rapport 100 calcaire fin/calcaire total (7 % seulement — voir aussi GRAPH. XIII-d).

### III. Discussion des résultats

#### A. Nature de la roche-mère

Comme nous l'avons vu dans le chapitre II consacré à la description des fractions grossières, ces sols se développent sur des roches mères complexes. Cette complexité s'observe aussi bien dans les fractions grossières que dans la terre fine.

Dans les trois premiers profils N<sup>os</sup> 13, 14 et 15, la masse principale de la terre fine est fortement argileuse. La teneur en gravier et en cailloux du profil 14, situé dans une dépression, est insignifiante. Par contre, les profils N<sup>os</sup> 13 et 15 proches du précédent mais situés sur le plateau même d'El Gâda, évoluent sur une formation argileuse mélangée à une forte proportion de graviers et de cailloux.

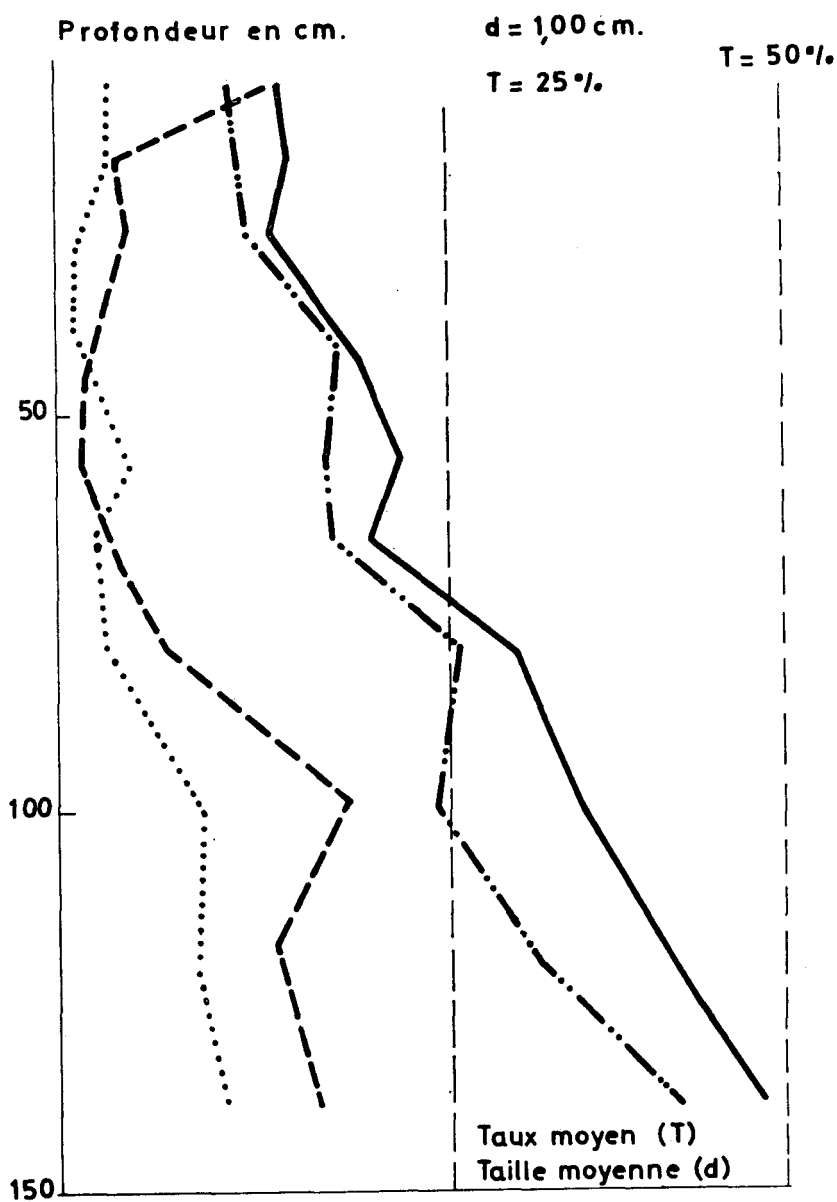
Dans le profil N<sup>o</sup> 19, prélevé sur une croupe allongée dans la région de Meknes, on peut observer, outre la couche de surface fortement caillouteuse, au moins deux niveaux superposés : le premier, moyennement riche en fractions grossières et le deuxième, sous-jacent fortement caillouteux. La partie supérieure de ce profil est limoneuse et la partie inférieure fortement argileuse.

Le profil FbS, prélevé dans la plaine du Tadla est très proche du profil N<sup>o</sup> 19 : même nature limoneuse englobant deux niveaux, l'un à texture fine et l'autre, profond, à texture grossière.

Dans toutes ces coupes, l'horizon superficiel, de 30-40 cm d'épaisseur dans le Saïs, de 10 cm dans le Tadla, se singularise nettement du reste du profil aussi bien du point de vue morphologique que granulométrique. Toutefois, si le taux de gravier et de cailloux peut varier d'un profil à l'autre, comme nous avons pu le constater au cours

### GRAPHIQUE XV

Variations du taux de calcaire total, de calcaire fin (inf. à 0,2 mm), de calcaire grossier (sup. à 0,2 mm) et de la taille moyenne des granules suivant la profondeur — Profil FbS



de la description des fractions grossières, la composition granulométrique de la terre fine de ces horizons reste toujours comparable à celle des horizons immédiatement sous-jacents comme on peut s'en rendre compte d'après les données du tableau I.

La composition chimique de la matière minérale des différents niveaux (rapports  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}/\text{Argile}$ , etc.) ne varie pas beaucoup quand on passe d'un horizon à l'autre. Seuls, les horizons supérieurs des profils N<sup>os</sup> 15 et 19 semblent s'enrichir en fer par rapport à leur teneur en argile.

On peut donc penser que les matériaux de ces horizons superficiels proviennent du remaniement et du transport localisé des éléments du substratum sous-jacent. Suivant le hasard de l'alluvionnement, ces apports peuvent contenir ou non des éléments grossiers, graveleux ou caillouteux.

#### *B. Nature des éléments grossiers*

Dans les pages consacrées à la description des fractions grossières nous avons mis l'accent sur l'homologie qui semble exister entre les taux d'éléments siliceux (grain) et d'éléments calcaires (granules). Ce parallélisme est souligné par l'allure des courbes de distribution de ces éléments (taux et taille) dans les profils. On peut donc considérer qu'au moins une partie de ces granules calcaires représente des débris de roches carbonatées transportés et déposés en même temps que les grains siliceux. Ce point de vue est très plausible car les densités apparentes des éléments siliceux et calcaires sont très voisines (environ de 2,7).

Si dans certains cas, la corrélation mathématique n'existe pas sur le plan des calculs statistiques, les valeurs du coefficient de corrélation sont souvent voisines de celles du seuil de probabilité. Ce phénomène peut résulter d'abord du fait que la proportion rigoureuse entre les éléments siliceux et calcaires n'est pas toujours respectée au cours de leurs transport et dépôt. Ainsi, l'apport simultané d'éléments de nature différente peut être réel mais leurs proportions relatives peuvent être variables à l'origine. Dans ce cas, les calculs statistiques ne peuvent pas mettre en évidence la corrélation existante entre deux catégories d'éléments.

On peut considérer également que la technique employée et, en particulier, la détermination du volume des mottes, n'était pas assez précise pour conduire à des résultats rigoureux.

Enfin, on peut penser également que des processus pédogénétiques postérieurs et, en particulier, la mise en mouvement du calcaire, ont pu modifier (soit par dissolution, soit par apport extérieur) le taux initial de granules. Ces considérations sont basées sur les observations suivantes : la corrélation entre les taux et la taille des grains et des granules statistiquement significative s'observe réellement dans certains profils à composition granulométrique relativement homogène, comme les coupes n° 15 et FbS, sols bruns isohumiques relativement peu différenciés du point de vue pédologique. Elle paraît disparaître dans les sols plus évolués. Nous retrouvons en outre, dans la partie supérieure des profils, des grains bruns et noirs d'aspect métallique. Ces derniers se remarquent jusqu'à 1 mètre de profondeur dans le profil N° 14. Or, d'après les observations faites dans la plaine du Gharb, ils sont présents dans les sols à granules et paraissent être associés à ces derniers (2). Dans les sols décrits dans la présente note on les trouve dans les horizons supérieurs actifs du point de vue du mouvement du carbonate de calcium.

### C. Bilan calcaire

Pour essayer de mettre au point la question du mouvement du calcaire (son entraînement et son accumulation), nous avons procédé, comme nous l'avons indiqué au début de cet article, à l'étude du « bilan calcaire » de ces sols.

#### a. Profil N° 14

Dans ce profil possédant un horizon d'enrichissement (GRAPH. VII-a), nous avons pris comme base de référence le taux moyen de différentes formes de calcaire. Les résultats de ce bilan se trouvent dans le tableau V-a. D'après ces données, on peut se rendre compte que les horizons supérieurs ont perdu leur carbonate de calcium jusqu'à 120 cm de profondeur presque exclusivement sous forme de calcaire fin. Toutefois, on peut remarquer que dans la couche de 70 à 140 cm de profondeur, le taux moyen de calcaire grossier a augmenté légèrement et que la perte en calcaire fin est contrebalancée par l'accroissement du taux de calcaire grossier. Par contre, cette perte n'est pas compensée dans les horizons supérieurs (0 à 70 cm) : le bilan est négatif aussi bien pour le calcaire fin que pour le calcaire grossier.

Le mouvement du calcaire serait dû à sa dissolution préalable dans les horizons supérieurs du profil (même le calcaire grossier serait attaqué et migrerait en profondeur). Une partie du calcaire

TABLEAU IV  
Bilan calcaire — Profil N° 14

Horizons	Partie siliceuse				Partie calcaire				Bilan calcaire					
	total		d		grossier		fin		total		grossier		fin	
	T	N	d		T	N	d	T	T	+	-	+	-	+
0-10	2,0	4 111	0,07		0,8	565	0,10	0,7	5,3	-	2,0	-	3,3	-
10-20	3,7	775	0,15		1,3	530	0,12	0,8	4,7	-	1,5	-	3,2	-
20-30	4,4	256	0,23		2,8	5 755	0,07	0,7	3,3	-	0	0	3,3	-
30-40	3,1	319	0,19		2,1	440	0,15	0,7	4,0	-	0,7	-	3,3	-
40-50	7,5	1 312	0,16		1,2	637	0,11	1,2	4,4	-	1,6	-	2,8	-
50-60	2,1	160	0,21		2,6	34	0,38	1,5	2,7	-	0,2	-	2,5	-
60-70	2,8	6	0,57		2,1	541	0,14	1,1	3,6	-	0,7	-	2,9	-
0-70	25,7	6 939	1,68		12,9	8 502	1,07	6,7	28,0	-	6,7	-	21,3	-
(10 cm)	3,7	991	0,24		1,8	1 215	0,15	1,0	4,0	-	1,0	-	3,0	-
70-80	3,0	1 592	0,11		5,6	679	0,18	1,5	-	0,3	-	2,8	2,5	-
80-90	3,9	92	0,31		2,1	676	0,13	2,5	2,2	-	0,7	-	1,5	-
90-100	1,6	165	0,19		3,3	292	0,20	1,7	1,8	-	-	0,5	2,3	-

100-110	2,2	23	0,41	5,4	3,2	552	0,16	2,2	1,4	—	—	0,4	1,8	—
110-120	2,3	593	0,14	6,6	4,1	53	0,38	2,5	0,2	—	—	1,3	1,5	—
120-130	3,2	1 269	0,12	8,8	4,9	1 052	0,15	3,9	—	2,0	—	2,1	0,1	—
130-140	3,5	2 476	0,10	10,5	7,0	358	0,24	3,5	—3	3,7	—	4,2	0,5	—
70-140	19,6	6 210	1,38	48,0	30,3	3 662	1,44	17,8	5,6	6,0	0,7	11,3	10,2	—
(10 cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	—	10,6	—	—
	2,8	887	0,20	6,8	4,3	523	0,21	2,5	—	0,05	—	1,5	1,4	—
140-150	1,4	170	0,18	12,8	3,1	81	0,30	9,7	—	6,0	—	0,3	—	5,7
150-160	3,6	5	0,82	13,1	2,0	80	0,26	11,1	—	6,3	0,8	—	—	7,1
160-170	1,1	450	0,12	13,1	1,9	273	0,17	11,2	—	6,3	0,9	—	—	7,2
170-180	1,5	796	0,11	12,3	1,6	438	0,14	10,7	—	5,5	1,2	—	—	6,7
180-190	1,4	743	0,11	10,7	1,3	224	0,16	9,4	—	3,9	1,5	—	—	5,4
140-190	9,0	2 164	1,34	62,0	10,0	1 096	1,03	52,1	—	28,0	4,4	30,3	—	32,1
(10 cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,1	—	—	—
	1,8	433	0,27	12,4	2,0	219	0,21	10,4	—	5,6	0,8	—	—	6,4
0-190	54,3	15 313	4,40	129,6	53,2	13 260	3,54	76,4	33,6	33,7	12,8	11,6	—	—
(10 cm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2,85	806	0,23	6,8	2,8	698	0,19	4,0	—	4,8	1,1	1,65	—	7,1

dissout est entraînée en dessous de 120 cm et se déposerait sous forme de calcaire blanc farineux. Une autre fraction serait précipitée dans la couche de 70-140 cm et augmenterait ainsi le taux de granules au-dessus de l'horizon d'accumulation de calcaire fin.

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		total	grossier	fin
	0-70			
initial	70-140	6,8	2,8	4,0
	140-190			
	0-70	2,8	1,8	1,0
actuel	70-140	6,8	4,3	2,5
	140-190	12,4	2,0	10,4

#### b. Profil N° 13

Dans ce profil, nous avons pris comme base de référence le niveau profond de 120-140 cm, base de la couche médiane tuffeuse et riche en galets roulés. Nous avons supposé que la teneur en granules ne s'est pas fortement modifiée depuis la mise en place de la couche superficielle terreuse (0-30 cm), sensiblement différente, comme nous l'avons déjà signalé, de la couche sous-jacente. Nous avons admis en outre que seul le calcaire a été lessivé des horizons terreux.

On peut se rendre compte, d'après les données du tableau V, que le taux moyen (par couches de 10 cm) de calcaire total exporté depuis les horizons supérieurs s'élève à 25,3 %, ce qui amène le taux initial de calcaire fin de cette couche à 28 %. Par contre, le taux moyen de calcaire apporté dans la couche de 40 à 120 cm (en dessous du niveau de référence 120-140 cm) n'atteint que 3,7 %. Or, le taux de calcaire grossier, dans cette même couche, montre un accroissement moyen de 16,3 % par rapport au niveau de référence, avec un maximum aux environs de 45 % dans le niveau croûtoïde de 40 à 60 cm. Corrélativement on observe une diminution très nette de 19,9 % du taux de calcaire fin de cette zone. On peut donc supposer que dans ce niveau, une fraction du calcaire grossier des éléments croûtoïdes provient du lessivage des horizons supérieurs (25,8 %) tandis qu'une autre partie aurait pour origine la mobilisation du calcaire fin du niveau lui-même. Par contre, l'accroissement du taux de calcaire



TABLEAU V

## Bilan calcaire — Profil N° 13

Horizons	Partie siliceuse						Partie calcaire						Bilan calcaire			
	total			grossier			fin			total			Calcaire			
	T	N	d	T	N	d	T	N	d	T	N	d	+	-	+	-
0-10	2,7	3 505	0,08	2,8	0,5	0,07	2,3	964	0,07	2,3	46,1	—	14,2	—	31,9	—
10-20	9,7	5 522	0,05	2,0	1,4	0,10	0,6	935	0,10	0,6	46,9	—	13,3	—	33,6	—
20-40	18,7	206 537	0,04	3,4	2,9	0,05	0,5	17 231	0,05	0,5	46,0	—	11,8	—	33,7	—
0-40 (10 cm)	49,8	422 101	0,17	11,6	7,7	0,22	3,9	36 361	0,22	3,9	185,0	—	51,1	—	132,9	—
	12,5	106 525	0,04	2,9	11,9	0,05	1,0	909	0,05	1,0	46,3	—	12,8	—	33,2	—
40-60	3,3	5	0,77	74,5	60,2	1,06	14,3	29	29	1,06	14,3	—	25,8	—	45,5	19,9
60-80	1,9	134	0,10	55,9	18,3	0,15	37,6	362	0,15	37,6	—	—	7,0	—	3,6	3,4
60-100	0,6	552	0,04	54,8	16,9	1,00	37,9	11	1,00	37,9	—	—	5,9	—	2,2	3,7
100-120	0,5	3	0,50	61,0	28,7	1,17	32,3	12	1,17	32,3	—	—	12,1	—	14,0	1,9
120-140	1,3	8	0,48	48,9	14,7	1,04	34,2	9	1,04	34,2	0	0	0	0	0	0
40-140	15,4	1 404	3,78	590,2	277,6	8,84	312,6	846	8,84	312,6	—	102,2	—	130,6	43,6	14,2
10 cm	1,5	140	0,38	59,0	27,7	0,88	31,3	85	0,88	31,3	—	12,6	—	16,3	29,4	1,8
140-160	5,8	39	0,32	54,6	12,8	0,76	41,8	20	0,76	41,8	—	5,7	1,9	—	7,7	7,6
160-180	3,1	18	0,50	55,8	15,1	1,03	40,7	9	1,03	40,7	—	6,9	—	0,4	—	6,5
180-200	4,7	4	0,95	56,0	18,1	0,80	37,9	24	0,80	37,9	—	7,1	—	3,4	—	3,7
140-200	19,2	122	3,54	332,8	92,0	5,18	240,8	106	5,18	240,8	—	39,4	3,9	7,6	—	35,6
(10 cm)	3,2	20	0,59	55,4	15,3	0,86	40,1	18	0,86	40,1	—	6,5	0,65	0,6	—	5,9

grossier de la zone 100-120 cm (14,0 %) se ferait aux dépens du calcaire de l'horizon supérieur (12,1 %), la quantité fournie par l'horizon lui-même étant très faible (1,9 %). Dans ce profil le maximum de calcaire exporté depuis l'horizon supérieur s'accumulerait au niveau de l'horizon à croûte situé à 40-60 cm de profondeur.

Ces changements dans le profil calcaire sont représentés dans le tableau suivant :

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		Total	grossier	fin
initial	0-40	28,0	1,9	26,1
	40-140	48,9	14,7	34,2
	140-200	55,4	15,3	40,1
actuel	0-40	2,9	1,9	1,0
	40-140	59,0	27,7	31,1
	140-200	55,4	15,3	40,1

Dans ce sol, le taux initial de calcaire de la couche superficielle serait donc plus faible que celui de la couche sous-jacente (couche superficielle remaniée). Par contre, si l'on considère que le taux de calcaire grossier dans cet horizon de surface était égal à 14,7 %, comme dans le niveau de référence, le taux initial de calcaire dans le profil s'élèverait alors à 48,9 %.

### c. Profil N° 15

Dans cette coupe nous avons pris comme base de référence le taux moyen de calcaire fin du profil entier (0-190 cm) du fait que la composition est assez uniforme du point de vue granulométrique de la fraction non calcaire. Comme dans le profil précédent, nous avons supposé que le taux de granules dans les horizons terreux correspond à leur teneur initiale existant lors de la mise en place de ces dépôts, d'autant plus que ces horizons contiennent encore du calcaire fin. Les résultats des calculs sont dans le tableau VI.

On remarque d'après ces données que le taux d'accroissement de calcaire fin augmente avec la profondeur en passant de 0,5 % dans le niveau 50-70 cm à 8,6 % à 130-150 cm. Il est très faible, sinon négatif par rapport au niveau de référence (-2,5 %) dans la partie superficielle (30-50 cm) de la couche profonde sous-jacente (niveau II). Dans cette zone 30-50 cm, le taux de granules augmente par rapport



à la moyenne de l'horizon (4,7 %). Nous nous trouvons donc à nouveau en présence du même phénomène que celui qui a été observé dans le profil précédent : accroissement du calcaire grossier (en partie aux dépens du calcaire fin de l'horizon) dans la partie supérieure de la couche enrichie en carbonate de calcium, et existence du calcaire fin dans sa partie profonde. La perte en calcaire fin des horizons terreux serait de l'ordre de 10,3 % dans la couche de 30 cm d'épaisseur et de 14,7 % dans les vingt premiers centimètres, le niveau 20-30 cm étant à peine influencé par la migration.

Les mouvements du calcaire sont donnés dans le tableau ci-après :

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		total	grossier	fin
initial	0- 30	32,1	8,6	23,6
	30-170	37,3	13,7	23,6
actual	0- 30	21,9	8,6	13,3
	30-170	40,6	14,7	25,8

Dans ce profil la partie supérieure terreuse a été un peu moins calcaire que la couche sous-jacente (32,1 % contre 38,3 %) et le taux de granules est en relation avec la richesse en éléments siliceux (coefficient de corrélation = 0,58 ; s). Une partie de granules de la couche II peut résulter de leur formation au cours du processus de migration du calcaire en profondeur, en partie aux dépens du calcaire fin de l'horizon. L'accroissement du taux de granules serait de l'ordre de 1,1 %, si l'on prend comme base de référence leur teneur moyenne égale à 13,7 %.

#### d. Profil N° 19

Pour ce profil nous avons étudié deux cas.

Dans le premier, nous avons pris comme base de référence le niveau profond de 130-150 cm, ayant les teneurs en calcaire les plus basses. La composition granulométrique de ce niveau représenterait donc la composition initiale de la couche terreuse. Toutefois, nous avons admis pour les mêmes raisons que précédemment que le taux de granules dans cet horizon terreux est resté invariable au cours du mouvement du calcaire fin, ce profil étant riche en cet élément.

Dans le deuxième cas, nous avons pris comme base de référence le taux moyen de calcaire de la partie supérieure du profil (de 0 à 90 cm) en considérant que la partie inférieure (en dessous de 90 cm), provenant d'un autre dépôt, est restée sans changement au cours de la pédogenèse actuelle ou sub-actuelle.

Dans les deux cas, le calcaire fin s'accumule dans toute l'épaisseur de la couche sous-jacente. Le taux de granules augmente d'une manière très sensible (de 6 %), dans le premier cas avec des maxima dépassant 13 % dans certains niveaux et, en particulier entre 90 et 110 cm de profondeur (14,7 %). Cependant, dans cette zone le taux de calcaire fin baisse de 7,3 %. On peut donc considérer également ici la formation des granules aux dépens du calcaire de l'horizon (du moins en partie). Toutefois, il faut remarquer que ce phénomène s'observe dans la partie supérieure d'une couche beaucoup plus riche en éléments siliceux (15,4 %) que les niveaux supérieurs (1,8-3,5 %). On doit donc se demander si la formation de granules dans les horizons profonds ne représente pas les reliques de l'ancienne pédogenèse lorsque ce niveau était plus près de la surface. Ce problème est à étudier.

Dans ce cas, l'évolution du profil calcaire se présenterait de la manière suivante :

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		total	grossier	fin
initial	0- 30	79,4	12,4	66,9
	30-150	74,6	17,4	57,2
actuel	0- 30	29,5	12,4	17,1
	30-150	87,0	22,2	64,8

Ainsi, le taux de calcaire initial dans le profil serait très élevé. Sa teneur dans les horizons de surface dépasserait même celle des horizons profonds, de plus de 30 cm. Le taux de calcaire fin perdu par la couche terreuse serait de l'ordre de 40,1 %. Malgré cette migration importante, les horizons superficiels ne sont pas totalement décalcarisés, principalement dans le niveau 20-30 cm.

Dans le deuxième cas, le processus du mouvement du calcaire n'affecte que la couche supérieure de 0 à 90 cm. Le taux moyen de

calcaire fin exporté reste très proche de celui du premier cas (38,3 % contre 49,8 %), mais son taux d'accroissement dans la couche sous-jacente passe de 9,9 % à 19,2 %.

Ces mouvements sont représentés dans le tableau suivant :

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		total	grossier	fin
initial	0- 30	67,8	12,4	55,4
	30- 90	71,4	16,0	55,4
	90-170	80,8	26,1	54,7
actuel	0- 30	29,5	12,4	17,1
	30- 90	92,3	17,7	74,6
	90-170	80,8	26,1	54,7

Le profil calcaire était donc différencié lors de la mise en place des dépôts, les niveaux supérieurs étant moins calcaires que les niveaux sous-jacents. Ce schéma ressemble à celui, d'autres profils de la région de Fes. Il paraît donc plus conforme à la réalité, surtout si nous considérons que la couche superficielle provient du remaniement de la couche sous-jacente avec une perte éventuelle par lessivage du carbonate de calcium.

La masse de calcaire fin envahit toute la couche profonde de 30 à 90 cm. Elle descend peut-être plus profondément dans les formations de base de ce profil situées en dessous de 90 cm de profondeur afin de former des granules entre 90 et 130 cm. Cette migration du carbonate de calcium augmenterait sensiblement le taux de calcaire total dans ce niveau 85-86 % contre 75 % dans la couche sous-jacente de 130 à 170 cm, les taux de calcaire fin oscillant autour de 54,6 % dans les formations de 90 à 170 cm de profondeur.

#### e. Profil FbS

Dans ce profil, nous avons pris comme base de référence le taux moyen de calcaire fin de la couche profonde de 0 à 150 cm, les taux de calcaire grossier étant considérés comme dépendant du taux de grains siliceux apportés au cours de la mise en place de ces dépôts.







L'évolution de ce profil se passerait suivant le schéma suivant :

Profil calcaire	Profondeur	Calcaire		
		total	grossier	fin
initial	0-10	25,8	3,1	22,7
	10-90	25,4	2,7	22,7
	90-150	32,5	9,8	22,7
actuel	0-10	14,3	3,1	11,2
	10-90	21,2	2,7	18,5
	90-150	40,1	9,8	30,3

On peut se rendre compte, d'après ce tableau et le tableau V, que les horizons supérieurs (0-70 cm) ont perdu en moyenne 8,2 % de calcaire. Cette quantité décroît avec la profondeur en passant de 11,1 % (10-20 cm) à 4,9 % (60-70 cm). A partir de ce dernier niveau le taux de calcaire fin augmente par rapport à la moyenne, légèrement dans la partie supérieure de la couche (3,5-2,1 %) et plus sensiblement à la base du profil (12,5 %). Le taux de calcaire grossier (de granules) ne semble pas varier en fonction des processus pédologiques mais paraît être en relation avec la nature des dépôts.

#### D. Dimension des granules

Dans les pages précédentes et, en particulier dans le paragraphe III-C, nous avons étudié l'accroissement du taux de granules sans tenir compte des changements de leurs dimensions initiales. Il nous faut maintenant analyser dans quelle mesure cet accroissement du pourcentage de granules affecte leur taille.

##### a. Profil N° 14

D'une manière générale, dans la partie supérieure de ce profil (0-70 cm), la taille des granules est faible ( $d = 0,15$  cm en moyenne). Elle augmente légèrement entre 70 et 100 cm jusqu'à 0,17 cm de diamètre et surtout entre 110 et 160 cm de profondeur où elle atteint 0,27 cm. Cette augmentation de la taille correspond aux horizons où l'on constate un accroissement du taux de granules. Celui-ci passe respectivement de 1,8 % entre 0 et 70 cm à 3,0 % entre 70 et 110 cm et à 4,8 % entre 110 et 160 cm. En dessous de 160 cm, l'accroissement de la taille des granules s'arrête et le calcaire s'accumule

dans cet horizon sous forme de calcaire pulvérulent. Parallèlement, la taille des granules de cet horizon se réduit à 0,16 cm.

Comme les variations du taux et de la taille de granules sont indépendantes de celles des grains, on peut conclure que dans ce sol, le calcaire fin paraît s'agglomérer autour des grains ou des granules déjà préexistants, en cimentant certains d'entre eux.

#### b. Profil N° 13

Les horizons terreux de ce profil, dans lesquels la taille des granules oscille autour de 0,05 cm, contiennent du sable siliceux de même dimension. En dessous, dans le niveau à croûte (40-60 cm), riche en carbonate de calcium (74,5 %), la taille augmente d'abord jusqu'à 1,0 cm pour diminuer ensuite jusqu'à 0,15 cm dans le niveau sous-jacent moins calcaire (55,9 %). Parallèlement le nombre de granules, relativement faible dans l'horizon à croûte (29), s'accroît entre 60 et 80 cm de profondeur. On peut considérer ces granules ainsi que la croûte de ce niveau (40-60 cm), comme résultant de l'agglomération du sable siliceux ou calcaire par le carbonate de calcium, soit apporté, soit mis en mouvement.

En profondeur, en dessous de 80 cm, les granules dont le nombre devient de nouveau restreint (14), sont assez volumineux avec une taille dépassant 1,1 cm de diamètre. Il s'agit probablement de granules apportés sous forme de débris de roches calcaires. Toutefois, au niveau profond de 100-120 cm, la teneur en calcaire et la taille des granules augmente, tandis que leur nombre reste approximativement le même (12) que l'ensemble de la couche. Dans ce cas, l'accroissement de la taille résulterait du dépôt du calcaire fin autour des grains préexistants.

On peut donc supposer que dans l'horizon à croûte l'augmentation du taux de granules est suivie de l'accroissement de leur taille par cimentation des grains sableux, siliceux ou calcaires, par du carbonate de calcium. Dans l'horizon profond cet accroissement résulterait du dépôt de carbonate de calcium autour des granules calcaires provenant du dépôt même.

#### c. Profil N° 15

La variation de la taille des granules est bien visible dans ce profil. En effet, dans l'horizon terreux elle oscille autour de 0,19 cm ; puis elle croît dans les horizons sous-jacents (de 50 à 150-170 cm) à 0,26-0,27 cm, surtout à leur sommet où la taille moyenne des granules atteint 0,64 cm (contre 0,23 cm dans le reste de l'horizon),

la teneur en carbonate de calcium variant peu dans toute cette couche. Parallèlement le nombre de granules dans ce niveau diminue (50 par rapport à l'ensemble du profil ( $N = 500$  entre 50 et 150 cm d'épaisseur). Le même phénomène s'observe au niveau plus profond (70-90 cm).

On peut donc dire que dans ce sol l'apport de calcaire fin provoque la cimentation des granules fin au cours du processus de lessivage, principalement dans la partie supérieure de la couche caillouteuse (horizon à croûte situé entre 30 et 50 cm de profondeur). On peut penser également que la présence des grains siliceux favorise la formation et l'accroissement de la taille des granules en leur servant de centre d'attraction pour le carbonate de calcium mis en mouvement. En effet, c'est dans la partie supérieure de cette couche caillouteuse, la plus riche en gravier siliceux le plus grossier, que l'on observe l'accroissement de la taille des granules.

#### d. Profil N° 19

D'une manière générale, la taille des granules de ce profil, rappelons-le, suit celle des grains, tandis que leur taux en serait indépendant. Le pourcentage de ces derniers accusent une diminution très importante dans l'horizon intermédiaire (30-90 cm) par rapport aux horizons de surface et de profondeur, tandis que le taux de granules augmente justement dans ce niveau, de même d'ailleurs que leur nombre : 206, en moyenne, contre 31 dans l'horizon de surface. Nous assistons donc, dans cet horizon, à la formation des granules fins aux dépens du calcaire venant de l'horizon supérieur.

Dans l'horizon profond, en dessous de 90 cm, où le taux moyen de calcaire fin reste sensiblement égal à celui de l'horizon intermédiaire (30-90 cm), la taille des granules augmente et se rapproche de celle des grains siliceux. On pourrait donc penser qu'il s'agit, dans ce cas, de débris de roches apportés au cours de la mise en place des dépôts, et qui sont plus nombreux et moins volumineux que les éléments siliceux. Toutefois, le calcul du « bilan calcaire » souligne l'augmentation du taux de calcaire grossier dans cet horizon par rapport à la base de référence, principalement entre 90 et 130 cm de profondeur. Il semblerait donc qu'il se produise à ce niveau un accroissement de la taille des gros granules aux dépens du calcaire fin du même horizon.

#### e. Profil FbS

Enfin, dans ce profil, on n'assiste pas à la formation de granules au cours du lessivage, le calcaire déplacé s'accumulant sous forme de

calcaire fin dans l'horizon profond. Le taux de granules, leur taille et leur nombre seraient en relation étroite avec ceux des éléments siliceux. Ce sont donc des débris de roche apportés au cours de l'alluvionnement de la plaine.

### *E. Evolution des profils*

Après avoir discuté dans les précédentes pages des caractères de la fraction grossière (supérieure à 0,2 mm) des profils présentés, nous allons essayer de résumer leur évolution à partir de leur dépôt jusqu'aux sols actuels, en tenant compte des observations développées au cours de cet exposé. En effet, les éléments de cette évolution nous sont nécessaires pour établir les critères de base de la classification des sols calcaires du Maroc, très souvent « encroûtés ».

#### a. Profil N° 14

La roche-mère de ce vertisol fortement argileux a été probablement peu calcaire au moment de sa mise en place dans le bas fond du plateau d'El Gâda (partie amont du ravin qui descend vers le nord de ce plateau). Compte tenu de sa nature granulométrique et de sa teneur initiale en carbonate de calcium, on peut supposer qu'elle provenait du remaniement des dépôts superficiels du plateau lui-même.

Au cours de son évolution, ce profil a subi un lessivage intense qui a abouti à la décalcarisation presque complète de ses horizons supérieurs avec un enrichissement des horizons profonds principalement en calcaire fin. Ce processus de décalcarisation semble affecter aussi les fractions grossières calcaires dans ces horizons terreux où le taux et la taille des granules diminuent par rapport à ceux de l'horizon de référence. Ce processus de migration et d'accumulation du carbonate de calcium a été accompagné par la formation des granules dans les niveaux situés en dessous de la zone d'enrichissement en calcaire fin aux dépens du calcaire fin de l'horizon même. Dans ce sol, le calcaire paraît s'agglomérer en granules par son dépôt autour des grains ou granules existant déjà, en cimentant certains d'entre eux.

Ce type d'évolution du profil calcaire rappelle celui des tirs argileux du Gharb, décrits dans notre précédent article.

#### b. Profil N° 13

La roche-mère de ce profil de sol châtain vertique du plateau d'El Gâda situé en sa bordure et plus haut que le profil précédent



est plus complexe. La couche superficielle de 40 cm d'épaisseur, riche en éléments sableux grossiers, proviendrait du remaniement des formations superficielles de ce plateau et reposerait sur une formation argileuse mélangée à des galets roulés plus ou moins encroûtés. Cette couche à galets sous-jacents n'est pas uniforme : ils sont plus nombreux vers la base du profil qui s'enrichit également en gravier comme le montre notre analyse, la partie supérieure étant sableuse grossière.

D'après les calculs du bilan calcaire, on peut estimer que le profil initial a déjà été différencié par la superposition des dépôts de nature sensiblement différentes. A ce stade déjà, le taux de calcaire augmentait régulièrement avec la profondeur, les horizons sous-jacents contenant des taux notables de granules calcaires.

L'évolution de ce sol a entraîné une décarbonatation presque complète des horizons supérieurs actuellement terreux et une accumulation de carbonate de calcium dans la partie supérieure de la couche à galets formant ainsi un véritable niveau d'accumulation de calcaire grossier et des feuilletés de croûte. Cet enrichissement en calcaire résulterait en grande partie de l'apport de carbonate de calcium des horizons terreux. Cependant il semble aussi qu'une partie de cet élément a été fournie par le calcaire fin de l'horizon lui-même.

Dans l'horizon à croûte, l'accroissement du taux de granules est suivi de l'accroissement de leur taille par la cimentation des grains sableux, siliceux et calcaires, par le carbonate de calcium. Dans la partie profonde, cette augmentation résulterait du dépôt de carbonate de calcium autour des grains et granules préexistants.

### c. Profil N° 15

La roche-mère de ce sol brun subtropical situé sur le plateau d'El Gâda au voisinage du profil N° 14, rappelle celle des profils précédents. Ce profil s'en différencie cependant par une absence ou une relative rareté des galets. Les horizons superficiels proviendraient également du remaniement des formations sous-jacentes assez riches en gravier.

Le profil initial a été, d'après l'étude du bilan calcaire, moins différencié que le profil N° 13. Il aurait déjà contenu, à l'origine, des grains siliceux et des granules calcaires.

Au cours de leur évolution, les horizons supérieurs ont perdu une grande partie du calcaire fin qui s'accumule, semble-t-il, dans toute la masse de la couche sous-jacente et en particulier vers 130-

150 cm de profondeur. La formation des granules a été relativement faible. On les retrouve surtout dans la partie supérieure du niveau à gravier, en dessous de l'horizon d'accumulation maximum du calcaire fin (130-150 cm). Ils paraissent se former en partie aux dépens du calcaire fin de ce niveau par cimentation des granules de petite taille et des grains siliceux. Ils serviraient de pôle d'attraction pour les molécules de carbonate de calcium mises en mouvement.

#### d. Profil N° 19

Ce profil de sol brun subtropical s'est développé sur une formation argilo-limoneuse complexe de la région de Meknes. Les deux formations, l'une de nature argilo-limoneuse, l'autre de nature franchement argileuse, toutes deux riches en éléments graveleux, sont séparées par un niveau à granulométrie totale (terre fine + cailloux et gravier) plus fine.

Dans ce profil, la couche superficielle proviendrait aussi du remaniement des formations sous-jacentes.

Les horizons supérieurs de ce profil, très carbonatés dès l'origine (d'après les données du bi'an calcaire), ont subi une forte différenciation au cours de la pédogenèse en perdant en moyenne 70 % de leur calcaire. La décalcarisation a surtout affecté les vingt premiers centimètres, le niveau de 20 à 30 cm restant assez calcaire. Ce dernier s'est accumulé dans la couche intermédiaire peu caillouteuse.

Le taux de granules paraît augmenter légèrement, même dans l'horizon d'enrichissement en calcaire fin, contrairement à ce que l'on a observé dans les autres profils. Il semble donc qu'il se produise, à ce niveau, un accroissement des granules assez volumineux aux dépens du calcaire apporté ou originaire du même horizon.

#### e. Profil FbS

Ce profil se développe également sur une roche-mère complexe limoneuse ou argilo-limoneuse, riche en éléments grossiers, siliceux ou calcaires, surtout vers la base du profil.

Moyennement calcaire à l'origine, il a subi un lessivage assez intense en perdant la moitié de son calcaire fin qui s'est accumulé dans les horizons profonds sans former des granules de néo-formation. Les granules existant dans ce profil proviendrait donc, soit d'un reliquat d'une pédogenèse ancienne, soit des apports des débris des roches en cours d'alluvionnement.

#### IV. Conclusions

Les profils étudiés se développent sur des roches-mères complexes résultant d'apport successifs de dépôts de granulométrie différente. Une partie des granules serait des débris de roches calcaires amenés en même temps que des éléments siliceux. La partie supérieure des profils proviendrait du remaniement des dépôts sous-jacents. Ces formations remaniées ont subi déjà une décalcarisation partielle avant la dernière pédogenèse. Cette décalcarisation se poursuit actuellement en provoquant la migration du carbonate de calcium et sont dépôt en profondeur.

Dans les profils étudiés on peut déceler plusieurs types de migration :

Dans les trois premiers profils, N° 13, 14, 15, très voisins, qui se développent sur la même roche-mère et qui ont une composition granulométrique semblable, les caractères du lessivage sont variables et en partie en relation avec le degré d'évolution pédologique du profil.

Dans le profil N° 14, qui paraît peu calcaire même au début de la pédogenèse, la partie supérieure de la coupe est actuellement presque complètement décalcarisée. Même le calcaire grossier semble être affecté par sa dissolution et son entraînement vers la profondeur. Le taux de calcaire subsistant (grossier et fin) est très faible. Les granules de l'horizon II (de 70 à 140 cm) semblent se former aux dépens du calcaire fin de l'horizons lui-même. Le niveau d'enrichissement en calcaire fin se trouve en dessous de la zone d'enrichissement en granules.

Les horizons terreux supérieures du profil N° 13, initialement, moyennement calcaire, ont perdu tout leur carbonate de calcium. Seulement, dans ce profil la majeure partie du calcaire entraîné s'est concentré dans la partie supérieure de l'horizon II (40 à 140 cm d'épaisseur) pour former un sous horizon (40-60) fortement encroûté en granules et nodules avec des feuillets de croûte superposés. Une partie du calcaire des granules ou de la croûte proviendrait du calcaire fin de l'horizon lui-même. L'accroissement en calcaire fin des niveaux sous-jacents (en dessous de 60 cm de profondeur) est très faible (3-4 %).

Dans le profil N° 15, encore plus calcaire que le profil N° 13, les horizons supérieurs ont perdu 32 % de leur calcaire initial. Ce lessivage semble affecter surtout les vingt premiers centimètres bien que le taux de calcaire fin du niveau profond de 20 à 30 cm reste



assez élevé (22 %). Le processus d'entraînement et de dépôt du calcaire dans l'horizon II (en dessous de 30 cm) semble être analogue à celui observé dans le profil précédent. Toutefois, la formation des granules y est moins importante et le pourcentage de calcaire fin accumulé dans cet horizon est plus élevé dans certaines zones comme celle comprise entre 130 et 150 cm de profondeur.

Par contre, les horizons supérieurs du profil N° 19, de nature argilo-limoneux, initialement très riches en carbonate de calcium (68 %), ont perdu 69 % de leur calcaire. Ce dernier s'est déposé, principalement sous forme de calcaire fin, dans la couche sous-jacente, entre 30 et 90 cm de profondeur. L'accroissement du taux de granules, très faible (1,2 % en moyenne), paraît s'effectuer aux dépens du calcaire fin provenant des horizons supérieurs.

Le même processus s'observe dans le profil FbS. Toutefois, le lessivage et l'accumulation seraient moins importants à cause, probablement, de la teneur initiale moyenne en carbonate de calcium de ces horizons terreux.

On peut se demander pour quelles raisons la formation des granules se produit non pas dans l'horizon d'enrichissement en calcaire fin mais au-dessus de cette zone. Pour répondre à cette question des études supplémentaires seront nécessaires et, en particulier, celles du calcaire fin et celles des plaques minces. Toutefois, on peut noter que les granules apparaissent dans la partie supérieure des couches de composition granulométrique plus lourde où la circulation des solutions de sol peut se ralentir, ce qui faciliterait leur évaporation intense et une précipitation du carbonate de calcium autour des grains siliceux ou calcaires. Il faut remarquer aussi que la dessiccation printanière ou estivale des horizons superficiels est plus rapide que celle des horizons profonds. Des études ultérieures expliqueront ces phénomènes.

En ce qui concerne les variations de la taille des granules au cours de la pédogenèse récente, les profils étudiés peuvent être classés en trois groupes.

Dans le premier, le lessivage du calcaire des horizons supérieurs a conduit à l'accroissement de la taille des granules des horizons sous-jacents. C'est le cas des profils N°s 13 et 14. Les faibles valeurs de l'accroissement de la dimension des granules dans le profil N° 14 seraient dues à la teneur initialement peu élevée en carbonate de calcium du profil. Cet accroissement de la taille des granules peut résulter, soit de la cimentation des éléments fins, siliceux et calcaires, par du

carbonate de calcium (partie supérieure de la couche « encroûtée »), soit de son dépôt autour des débris rocheux apportés au cours de la sédimentation.

L'accroissement de la taille est moins important dans les profils des sols bruns isohumiques du Saïs (N<sup>os</sup> 15 et 19), surtout dans la deuxième coupe. Il faut remarquer, si l'on tient compte de la dimension des éléments non calcaires, que dans ces profils la taille des granules était déjà élevée lors de leur dépôt.

Enfin, dans le dernier profil, celui du Tadla, la formation des granules n'a pas eu lieu au cours de la migration, la masse du calcaire entraîné s'accumulant en profondeur sous forme de calcaire fin.

### ملخص

تابع الباحث في هذا العمل أبحاثه على كلسي الاراضى المغربية وبالخصوص على الاراضى الفلاتية كالاراضى الكستنية اللون والاراضى السمراء .

هذا وان المظاهر الجانبية التى درست على الصخور الام المعقدة قد نتجت بصفة جزئية بعد تغير بازالة جزئية لكلسى التكوينات الداخلية .

هذا ويظهر ان ازالة الكلسى تتابع خلال البحث الحالى في تكوين الاثرية وينتج بازالة الكلسى بصفة قوية من الآفاق العليا وتجمع هذا الكلسى في الاعماق. ويظهر ان كربون الكلسى يخلف أسمنة مواد دقيقة كلسية وفيها أوكسيد البليسيهم في آفاق رملية ويتجمع حول بقايا الصخور التى وضعت خلال اقامة الصخور الام. وعلاوة عن ذلك فان جزئا من كلسى الجيبينات قد تاتى نتيجة لحركة الكلسى الدقيق في الأفق .

### RÉSUMÉ

Dans le présent travail l'auteur a poursuivi ses recherches sur le calcaire des sols marocains et, en particulier, dans les sols « stepiques », comme les sols châtons et les sols bruns.

Les profils étudiés se développent sur les roches-mères complexes résultant en partie d'un remaniement avec décalcarisation partielle des formations sous-jacentes.

Cet entraînement du calcaire semble se poursuivre au cours de la pédogenèse actuelle. Il se traduit par la décalcarisation intense des horizons supérieurs et l'accumulation du calcaire en profondeur. Il semble que le carbonate de calcium entraîné cimente les éléments fins, siliceux et calcaires, dans les horizons à granulométrie sabreuse et se localise autour des débris rocheux déposés au cours de la mise en place des roches-mères. En outre, une partie du calcaire des granules peut provenir de la mise en mouvement du calcaire fin de l'horizon.

#### RESUMEN

En el presente trabajo el autor ha proseguido sus investigaciones sobre piedra caliza de los suelos marroquíes, y, en particular en los suelos estépico como los suelos castaños y los terrenos pardos.

Los perfiles estudiados se desarrollan sobre las rocas madres complejas, resultando en parte de una reformación con éscalcarización parcial de las formaciones subyacentes.

Este arrastramiento de la caliza parece proseguirse durante la formación del terreno actual. Se traduce por la descalcarización intensa de los horizontes superiores y la acumulación de la caliza en la profundidad. Parece el carbonato de calcio arrastrado cimenta los elementos finos, silíceos y calcáreos, en los horizontes de granulometría arenosa, y se localiza alrededor de los restos rocosos depositados durante la puesta en su lugar de las rocas madres. Por otra parte, una parte de la caliza de los granulos puede provenir de la puesta en movimiento de la caliza fina del horizonte.

#### SUMMARY

In the present work, the author has gone on his researches over the line in the maroccan soils and in particular in steppe soils as the chestnut soil, the brown earth.

The studied side-faces are formed over the complex bedrochs resulting in part from overning with a partial decalcification of the underlying formations.

This carrying of lime seems, to continue during the actual soil development. It finds expression in the severe decalcification of the higher layers and the accumulation of lime in depth. It seems that the carried calcium-carbonate cements the thin silicious and calcareous elements, in the layers with sandy granulation and is located around rochy remains put down during the getting up place of the granules can come from the setting againg thin lime from the horizon.

### *BIBLIOGRAPHIE*

1. BILLAUX, P. et coll. — 1967. Profils de sols présentés dans le Saïs. — Livret-Guide du Congrès de Pédologie méditerranéenne ; Excursion au Maroc, T. II. pp. 116-208, les Cahiers de la Recherche Agronomique, N° 25, Rabat.
2. BRYSSINE, G. — 1968. Contribution à l'étude du calcaire dans les sols marocains. I. — Recherches sur le calcaire grossier dans les sols argileux du Gharb. — El Awamia, N° 26, (Janvier).