

les Cahiers de la Recherche agronomique, n° 25,  
1967. Congrès de pédologie méditerranéenne, 1966.  
Madrid. Excursion au Maroc. T. II, 4<sup>ème</sup> partie :  
les profils des sols, chap. II, pp. 73-116.

---

## CHAPITRE II

# PROFILS DE SOLS PRESENTES DANS LE MOYEN ATLAS

B. LEPOUTRE

avec la collaboration de J. MARTIN

### 1. Profil 9

Rendzine dolomitique ; Mollisol, Rendoll Typic, Rendoll.

#### A. Localisation géographique

Le profil 9 est situé le long de la route n° 3387 qui va du Djebel Hebri à Ifrane, par le Tizi N'Trettene, à une centaine de mètres au-delà du chalet du Club Alpin. Les coordonnées sont les suivantes (carte d'Azrou au 1/100 000) :  $x = 530$ ,  $y = 313,7$ . L'altitude est voisine de 1950 mètres.

#### B. Cadre géologique et géomorphologique

Le profil du talus de la route du Michlifene est localisé dans un petit vallon sec orienté SW-NE et entaillé dans les dolomies du Lias. Malgré le faciès très sableux qui fait illusion, le niveau stratigraphique de cette couche est à rattacher au Pliensbachien inférieur, c'est-à-dire à la série des dolomies litées du Lias moyen. Ce banc de dolomies noirâtres est immédiatement surmonté en concordance par les bancs de calcaires francs et de calcaires à silex du Lias moyen. Ce faciès de dolomies très altérées et fournissant beaucoup de sables se retrouve dans tout le Causse du Guigou vers le NE. Nous sommes, en effet, ici, à la limite de 2 secteurs séparés par la longue Dorsale du Taïlloute que l'on franchit au Tizi N'Trettene (col des chèvres).

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

27 JAN. 1970

Collection de Référence

n°/3699

A l'E de cet anticlinal faillé dissymétrique, les séries du Lias moyen, dolomitiques puis calcaires vers le haut, se disposent en structure synclinale limitée à l'E par des dômes surbaissés (Aari Imaoun) ou par des failles (au S du Michlifene). La route du Michlifene au Tizi N'Trettene suit ce synclinal que l'érosion quaternaire a plus ou moins défoncé. Le modelé nival et karstique est partout visible dans ce secteur et se manifeste non loin de l'arrêt par le dégagement de petits abrupts, de petites corniches exposées à l'E et que les processus de gélifraction et de dissolution dus aux congères continuent à aviver.

### C. Le climat et la végétation

Le profil examiné se situe dans une petite clairière de la cédraie du Michlifene sur un versant nord. L'altitude de 1950 m permet de rattacher le climat et la végétation à la partie supérieure de la zone altitudinale intermédiaire, c'est-à-dire que nous nous trouvons assez près de la limite inférieure de la cédraie d'altitude (voir chap. IV de la 2<sup>e</sup> partie).

Le cèdre domine, le chêne vert est rare et la strate herbacée claire est constituée par des espèces assez caractéristiques des sables dolomitiques, en particulier, *Scorzonera Pigmaea* et *Adenocarpus Boudyi*.

Climatiquement, il faut souligner les précipitations importantes (de l'ordre de 900 mm) et qui tombent souvent sous forme de neige. Il faut noter également la persistance du froid et de l'enneigement jusqu'à une date assez tardive, c'est-à-dire généralement jusqu'à la mi-mars.

### D. Description du profil

- 0 cm : Horizon Ao de 1 à 2 cm d'épaisseur dans lequel on observe un chevelu racinaire très dense.
- 0-5 cm : Humifère, sablo-limoneux. Structure grumeleuse organisée en disposition lamellaire (surstructure). Présence de cailloux calcaires et dolomitiques en disposition anarchique et souvent émoussés quand il s'agit de dolomie.
- 5-30 cm : Humifère, sablo-limoneux. Structure continue à faible cohésion et tendance à former des agrégats grumeleux à polyédriques. On constate une localisation préférentielle des racines dans ces deux horizons humifères comparativement aux horizons sous-jacents.
- 30-70 cm : On passe brutalement de l'horizon humifère à la dolomie sableuse, la limite étant néanmoins sinueuse le long du profil. Cette dolomie sableuse peut renfermer des morceaux de roche

plus compacts. La coloration est brun-jaunâtre clair. La structure est particulière. La texture est nettement sableuse. La cohésion est presque nulle.

Localement, on peut passer latéralement à des faciès plus rouges et plus argileux, ou à des faciès plus rocheux. On peut noter à ce sujet que dans le cas où la roche-mère est à la fois plus compacte et plus proche de la surface, elle donne naissance par altération à des matériaux plus rubéfiés et plus argileux dont dépendent les caractères morphologiques des horizons supérieurs: la structure est plus grossière, mieux développée et les horizons humifères sont plus profonds. L'activité biologique semble elle aussi plus intense. Corrélativement on note que le système racinaire du Cèdre se localise de préférence dans cette zone plus argileuse, à l'inverse du profil dolomitique sableux, où l'enracinement ne se développe qu'après avoir traversé les horizons sableux.

70 - 120 cm : La nature de l'horizon est la même que de 30 à 70 quant à la texture et à la structure, mais la coloration des sables est légèrement plus rougeâtre avec des plages ou des trainées nettement plus rubéfiées, en position anarchique. L'accentuation de la coloration rouge se fait vers la profondeur.

120 cm + : On trouve des trainées nettement argileuses et plus rouges. Mais, côte à côte, on trouve de la roche dolomitique très décomposée et d'une couleur grise à jaunâtre identique à celle de l'horizon 30-70.

A la base du profil on trouve une roche dolomitique au faciès plus compact et plus argileux où est venu s'installer le système racinaire profond du cèdre.

### *E. Interprétation*

Les grands traits du profil présenté sont ceux de la rendzine dolomitique que l'on trouve couramment dans le Moyen Atlas sur dolomie sableuse du Lias inférieur ou, comme ici, du Lias moyen.

L'aspect du profil est caractérisé par un horizon humifère dolomitique sableux reposant, sans presque aucune transition, sur des horizons de dolomie sableuse altérée. Cette altération peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

#### 1. L'horizon humifère

Cet horizon est souvent très foncé, et les humus y sont saturés dans des proportions variables en calcium et magnésium, suivant les profils, sans qu'il soit possible, pour le moment, d'en établir la cause. Dans le cas présent, le rapport en milliéquivalents entre le calcium et le magnésium échangeables varie de 4 à 9 mais il est fréquent de trouver des rapports qui descen-

dent jusqu'à 0,5 avec des quantités de magnésium de l'ordre de 15 à 30 méq. En conséquence, le profil présenté diffère quelque peu du type très magnésien. On constatera cependant le taux élevé des carbonates qui montre bien la nature dolomitique des horizons et justifie en partie leur qualification de rendziniformes.

Par ailleurs, il faut attirer l'attention sur la densité des cailloux dolomitiques, parfois même calcaires, dans l'horizon humifère. Ces cailloux témoignent d'un certain apport de matériaux allogènes dont la proportion peut d'ailleurs varier d'un profil à l'autre et suivant la pente, celle-ci facilitant les remaniements de surface. Dans le cas présent, on pourrait parler d'une rendzine de pente.

## 2. Les horizons dolomitiques sous-jacents

Très généralement, il s'agit de la roche-mère altérée et le taux de matière organique y est faible.

Toutefois, ces horizons posent un problème car ils peuvent présenter un éclaircissement très net sur quelques décimètres, immédiatement sous les horizons humifères, tandis qu'ils se rubéfient progressivement vers la profondeur. Cette variation colorimétrique correspond d'ailleurs à une variation parallèle des quantités d'hydroxyde de fer ; le profil analysé illustre bien le cas.

On pourrait finalement se méprendre, à première vue, sur l'aspect général du profil qui présente incontestablement quelques ressemblances, comme l'a déjà signalé G. BRYSSINE (1954), avec celui d'un sol podzolique.

Cette morphologie particulière nous a incités à étudier de plus près les horizons éclaircis de 30 à 70 cm de profondeur ; mais on peut difficilement y trouver des caractères qui montreraient une altération spécifique, en dehors d'un abaissement du rapport sables fins sur sables grossiers et du taux de  $Fe_2O_3$ . Quand on sait que la dolomie s'attaque d'autant plus facilement que sa texture est fine, il est permis de se demander s'il n'y a pas, dans le rapport SF/SG plus faible, le résultat d'une attaque de la dolomie par les acides organiques, attaque qui aurait laissé sur place les sables moins altérables, c'est-à-dire les plus grossiers.

Néanmoins, ce ne peut être là qu'une hypothèse, car l'hétérogénéité texturale de la dolomie est très grande et pourrait expliquer à elle seule cette anomalie du profil. Les passées plus argileuses, voire même les poches argileuses au sein même de la dolomie sableuse en témoignent.

### 3. L'altération de la dolomie

On constate dans les horizons humifères, de 5 à 30 cm en particulier, un rapport en milliéquivalents des carbonates qui ne correspond pas à celui de la dolomie pure contrairement à celui que l'on trouve en profondeur. Il montre un excès de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . On peut imaginer que cet excès est spécifique du matériau colluvionné, mais pourtant il ne se retrouve ni dans l'horizon de surface (0-5 cm) ni dans les cailloux dolomitiques transportés. On serait donc amené à penser que le carbonate magnésien de la dolomie est plus facilement solubilisé par les solutions du sol. Cette hypothèse semble confirmée par les extractions faites au laboratoire qui montrent souvent une plus grande solubilité du  $\text{CO}_3\text{Mg}$ . Par ailleurs, le sable dolomitique est plus facilement altérable par les agents chimiques dans les horizons organiques.

En ce qui concerne la roche dolomitique proprement dite, dont on trouve d'importants blocs non désagrégés à la base du profil, nous avons tenté de suivre son attaque par l'acide chlorhydrique au 1/10, sous la binoculaire. On aperçoit très nettement la localisation de l'attaque autour des cristaux de dolomie qui se détachent les uns des autres au fur et à mesure que l'altération se poursuit. La solution d'attaque fournit toujours une quantité de calcium supérieure à celle de magnésium (pourvu que le dosage soit fait avant la fin de la réaction d'attaque), ce qui semble confirmer l'hypothèse d'une nature calcique des carbonates qui assurent la cohésion entre les cristaux de dolomie. Nous voyons là l'origine des rapports en milliéquivalents des carbonates dans la roche, très légèrement supérieurs à 1 (1,04 - 1,06 - 1,07).

Finalement, on pourrait considérer qu'il existe deux stades d'altération :

— le premier sous l'action d'agents chimiques faibles, peut-être tout simplement sous celle de l'eau enrichie de gaz carbonique, aboutit, par la solubilisation du  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , à la désagrégation

gation de la roche et à l'individualisation des sables. On conçoit d'ailleurs très facilement qu'une telle attaque soit d'autant plus difficile que la roche est compacte et se laisse difficilement pénétrer par les solutions, d'où l'hétérogénéité des zones d'altération ;

- le deuxième stade est celui qui correspond à l'attaque de la dolomie proprement dite par des agents chimiques plus forts et qui se traduirait par une solubilisation préférentielle du carbonate de magnésium. Celui-ci pourra être emporté par les eaux de percolation et il en résultera des rapports Ca/Mg supérieurs à 1 dans le sol. Il pourrait en résulter aussi une saturation des humus en magnésium dans certains horizons humifères. Il resterait néanmoins à déterminer les conditions de cette saturation magnésienne qui ne s'est pas produite dans le cas présent, mais que l'on a souvent trouvée dans les profils pris sous couvert de cèdre ou de chêne vert. Il se pourrait que le type d'humus ou de matière organique puisse avoir une influence dans le mode de saturation des colloïdes organiques ou plus simplement dans le mode d'attaque de la dolomie. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée.

### Résultats d'analyses

#### Légende des tableaux

Ech. N°	: numéro de l'échantillon
Couleurs	: code Munsell (échantillons séchés à l'air)
T.F.	: terre fine inférieure à 2 mm
A	: argile (< 0,002 mm)
L	: limons (0,002 à 0,02 mm)
STF	: sables très fins (0,02 à 0,05 mm)
SF	: sables fins (0,05 à 0,2 mm)
SG	: sables grossiers (0,2 à 2 mm)
SL	: sables lourds
M.O.	: matière organique
C	: carbone organique
N	: azote
pH eau	: pH dans l'eau distillée (rapport terre/eau : 1/2,5)
pH KCl	: pH dans une solution normale de chlorure de potassium (rapport terre/solution : 1/2,5)
pH sat.	: pH de la pâte saturée avec de l'eau distillée
T	: capacité d'échange
S	: somme des cations échangeables

I.P.	: limite inférieure de plasticité
Ad.	: limite d'adhésivité
S.P.	: limite supérieure de plasticité
S.F.	: limite supérieure de fluidité
Agrég.	: agrégats de taille supérieure à 0,2 cm (méthode G. BRYSSINE) *
Gt	: grosseur moyenne de l'ensemble des fractions de tamisage à sec (méthode G. BRYSSINE) *
Gm	: grosseur moyenne des mottes de taille supérieure à 0,2 cm après tamisage à sec (méthode G. BRYSSINE) *
Ga	: grosseur moyenne des agrégats après tamisage à l'eau, déduction faite des sables grossiers (méthode G. BRYSSINE) *
Is	: indice d'instabilité structurale (méthode S. HENIN) **
K	: perméabilité (méthode S. HENIN) **

*Tous les résultats sont donnés par rapport à la terre fine, sauf indication contraire.*

---

\* BRYSSINE G. (1953) : « Notion de pédologie appliquée ; T. 4 : méthode d'analyses ». En coll. avec M<sup>me</sup> JULIA et Mlle THOMANN ; S.R.A.E.A. Rabat, 113 p.

\*\* HENIN (1960) : « Le profil cultural ». Soc. d'Ed. des Ing. Agric. Paris, 320 p.

TABLEAU I

## Moyen Atlas - Profil n° 9 - Résultats d'analyses

Ech. N°	Caractère morphologique de l'échantillon	Profondeur cm	Couleur (Munsell)	T.F. %	Granulométrie %					
					A	L	STF	SF	SG	SF/SG
1	Horizon rendziniforme	0-5	7,5 YR 4/2	65,5	10,2	11,3	8,1	55,6	14,0	4,55
2	Horizon rendziniforme	5-20	7,5 YR 4/2	68,5	12,3	20,0	12,7	43,0	11,1	5,00
3	Horizon rendziniforme	20-30	7,5 YR 4/2	84,0	7,9	13,2	6,8	48,9	22,1	2,52
4	Sables clairs	30-57	10 YR 6/4	100	0,0	1,5	0,5	66,9	30,8	2,18
5	Sables clairs	57-77	10 YR 6/4	100	0,0	0,0	1,2	77,1	21,6	3,62
6	Sables rougeâtres	77-97	7,5 YR 6/6	100	1,1	3,1	2,5	81,0	11,8	7,10
7	Sables rougeâtres	97-107	7,5 YR 7/6	100	0,0	3,7	1,5	81,0	13,4	6,15
8	Sables rouges	> 107	5 YR 5/6	100	5,1	4,5	2,9	67,2	20,2	3,47
9	Sables beiges	> 107	7,5 YR 6/4	100	5,7	5,0	5,4	70,8	12,3	6,20
10	Sables gris	> 107	10 YR 7/2	100	4,6	3,3	2,8	71,5	17,1	4,34
11	Roche mère altérée	> 107	--	—	0,0	0,0	3,8	80,2	12,4	6,75

TABLEAU II

## Moyen Atlas - Profil n° 9 - Résultats d'analyses

Ech. N°	Caractère morphologique de l'échantill.	Profondeur cm	Matière organique %				pH			Ca et Mg en CO <sub>3</sub> %		Ca/Mg meq
			MO	C	N	C/N	Eau	KCl	Sat.	CO <sub>3</sub> Ca	CO <sub>3</sub> Mg	
1	Horizon rendziniforme	0-5	3,1	1,79	0,179	10,0	7,8	7,2	7,6	38,7	29,4	1,109
2	Horizon rendziniforme	5-20	5,2	3,05	0,212	12,6	7,8	7,1	7,8	27,6	15,4	1,511
3	Horizon rendziniforme	20-30	4,3	2,51	0,192	13,0	7,8	7,1	7,8	38,7	21,2	1,533
4	Sables clairs	30-57	0,22	0,13	0,014	9,3	8,2	7,8	8,2	53,0	42,4	1,051
5	Sables clairs	57-77	0,31	0,18	0,006	—	8,0	7,7	8,2	54,1	41,0	1,111
6	Sables rougeâtres	77-97	0,15	0,09	0,008	10,7	8,4	8,1	8,1	55,1	40,3	1,153
7	Sables rougeâtres	97-107	0,15	0,09	0,007	12,8	8,2	7,5	8,2	54,8	40,6	1,116
8	Sables rouges	> 107	0,19	0,11	0,015	7,1	8,3	—	—	—	—	—
9	Sables beiges	> 107	0,43	0,25	0,027	9,4	7,9	7,6	7,8	50,9	37,7	1,090
10	Sables gris	> 107	0,12	0,07	0,009	7,7	8,1	7,15	8,0	55,5	43,6	1,073
11	Roche-mère altérée	> 107	0,19	0,11	0,012	9,1	8,5	8,0	—	54,0	42,3	1,071

TABLEAU III

## Moyen Atlas - Profil n° 9 - Résultats d'analyses

Ech. N°	Caractère morphologi- que de l'échantillon	Profondeur cm	Complexe adsorbant meq/100 gr							Ca et Mg solubles meq/100			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total %
			Ca	Mg	K	S	T	S/T %	Ca/Mg	Ca	Mg	Ca/Mg	
1	Horizon rendziniforme	0-5	12,5	1,3	0,40	14,2	13,9	100	9,6	0,79	0,26	3,0	2,09
2	Horizon rendziniforme	5-20	16,9	4,3	0,48	21,7	23,0	94,2	3,9	0,68	0,20	3,4	3,80
3	Horizon rendziniforme	20-30	13,6	2,6	0,29	16,5	16,5	100	5,2	0,59	0,29	2,0	2,11
4	Sables clairs	30-57	0,8	0,3	0,03	1,13	0,9	100	2,6	0,40	0,18	2,2	0,28
5	Sables clairs	57-77	1,1	0,2	0,03	1,33	1,0	100	5,5	0,44	0,22	2,0	0,26
6	Sables rougeâtres	77-97	1,6	0,4	0,04	2,04	1,5	100	4,0	0,84	0,22	3,8	0,43
7	Sables rougeâtres	97-107	1,3	0,3	0,04	1,64	1,6	100	4,3	0,53	0,35	1,5	0,41
8	Sables rouges	> 107	2,8	0,5	0,07	3,37	3,6	93,6	5,6	—	—	—	—
9	Sables beiges	> 107	4,0	1,1	0,10	5,20	4,5	100	3,6	0,70	0,31	2,2	0,96
10	Sables gris	> 107	2,0	1,1	0,09	3,19	3,4	93,5	1,8	0,66	0,37	1,7	0,07
11	Roche-mère altérée	> 107	0,9	0,3	0,03	1,23	1,2	100	3,0	0,66	0,22	3,0	0,20

Analyses des roches				
Profondeur cm	CO <sub>3</sub> Ca %	CO <sub>3</sub> Mg %	Ca/Mg meq	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
Dans l'horiz. 0-5	50,3	39,0	1,10	0,74
Dans l'horiz. 5-30	59,2	39,4	1,26	0,14
Dans l'horiz. 30-57	52,5	41,7	1,06	0,17
En profond. > 107	53,5	41,8	1,08	0,20

TABLEAU IV

**Moyen Atlas - Profil 9**  
**Analyses des zones plus argileuses dans les sables dolomitiques**

Profondeur en cm	Couleur (Munsell)	Granulométrie %					Matière organique %			
		A	L	STF	SF	SG	MO	C	N	C/N
77-97	7,5 YR 7/4	3,4	2,6	1,9	80,4	10,7	0,22	0,13	0,010	13,0
97-107	7,5 YR 7/4	2,8	4,5	2,8	80,1	9,5	0,22	0,13	0,011	11,6
> 107	3 YR 5/6	19,7	9,8	5,8	51,2	13,2	0,51	0,30	0,037	8,1
> 107	5 YR 5/6	7,5	4,5	5,4	68,8	13,4	0,44	0,26	0,028	9,2
> 107	5 YR 6/6	14,9	5,4	4,0	65,2	10,0	0,48	0,28	0,032	8,6

Profondeur cm	Complexe adsorbant -Meq/100 g					
	Ca	Mg	K	S	T	S/T %
77-97	2,9	0,65	0,07	3,62	3,5	100
97-107	2,0	0,45	0,03	2,51	2,8	89,6
> 107	7,6	2,5	0,24	10,34	10,0	100
> 107	3,8	1,3	0,11	5,20	5,0	100
> 107	4,4	2,2	0,16	6,76	6,5	100

## II. Profils 10 et 11

### A. Localisation géographique

Les profils sont situés dans une carrière de l'Afekfak sur la route N° 5309 entre le Tizi N'Trettene et Ifrane, à 4 km de cette agglomération. Les coordonnées sont les suivantes (carte d'Ifrane au 1/50 000) :  $x = 529$ ,  $y = 322,2$ . L'altitude est voisine de 1 690 m.

### B. Le cadre géologique et géomorphologique

Après avoir franchi le chaînon du Taïliloute au Tizi N'Trettene, la route a traversé une large cuvette dénudée, en disposition synclinale, faillée et ondulée qui se relève vers le N dans le dôme aplati du Tazioualt. Cette dépression est appelée Afekfak. Elle est drainée vers le NW par l'oued Tizguite, oued pérenne bien alimenté par des sources jalonnant des failles. L'une de ces failles orientée du S au N est suivie par l'affluent de l'oued Tizguite et passe par l'Aïn Termilate, à 400 mètres à l'W de la coupe.

La carrière où est situé le profil permet l'exploitation d'un banc épais de calcaire du Lias moyen. Ce calcaire, très fissuré et lapiazé, se présente en bancs, séparés par des lits marneux très minces. Toutes les petites croupes blanchâtres au N de la route sont entaillées dans ces calcaires qui contrastent avec les dolomies grises et noirâtres. Le modelé de détail s'est élaboré à partir d'un niveau d'aplanissement probablement Villafranchien. Le creusement quaternaire, fort médiocre, est le fait de l'oued Tizguite et de ses affluents ainsi que de la gélifraction et de la dissolution d'origine nivale. Au total, cette zone présente un relief assez confus de petites croupes calcaires ou dolomitiques disposées en contrebas des hauteurs voisines.

### C. Le climat et la végétation

Climatiquement, la position de la station sur le sommet du Causse moyen atlasique et en bordure du front atlantique de celui-ci, lui confère les caractéristiques du type climatique de cédraie basse, plus tempéré et humide.

La végétation est une steppe d'altitude, composée surtout par des espèces botaniques adaptées aux sols argileux et au

froid. On peut citer essentiellement : *Buplorum spinosum*, *Thymus* cf. *Algeriensis*, *Artemisia Ifranensis*.

#### D. Description des profils

1. Profil 10 : Sol rouge méditerranéen, à encroûtement calcaire, à caractères de sol châtain isohumique, sur calcaire du Lias Alfisol ; Xeralf ; Haploxeralf ; Ultic Haploxeralf.

0 - 10-20 cm : Horizon limono-argileux. Brun rougeâtre foncé. Structure à tendance grumeleuse surtout en surface. Peu dur, sans doute en raison du chevelu inextricable de racines.

10-20 - 70 cm : Horizon argileux ; rouge jaunâtre à rouge foncé. Structure polyédrique à prismatique bien développée de plus en plus grossière vers la profondeur.

10-20 - 30-40 cm : La structure est polyédrique arrondie et moyenne (taille 1 cm) se débitant en éléments structuraux plus petits, polyédriques fins et anguleux. Le polyèdre de premier ordre (le plus gros) est prismatique moyen. Le polyèdre de deuxième ordre est polyédrique à cubique moyen. Les polyèdres de troisième ordre sont polyédriques fins et anguleux avec une disposition lamellaire subhorizontale. Les faces de ces éléments sont luisantes. La dureté est assez forte : la cohésion est moyenne. Les racines deviennent beaucoup plus rares vers la profondeur.

30-40 - 70 cm : La structure est plus grossière. Les éléments structuraux de premier ordre sont prismatiques et ont jusqu'à 50 mm. Les éléments structuraux de deuxième ordre sont prismatiques moyens. Les éléments structuraux de troisième ordre sont d'abord polyédriques fins puis vers la profondeur ils apparaissent difficilement en liaison avec une cohésion plus forte. Les faces structurales sont lissées et brillantes.

70-100 cm : Encroûtement calcaire, rouge jaunâtre, de 20 cm d'épaisseur environ, à éléments nodulaires, durs mais de taille moyenne ou petite dépassant rarement 1 cm ; cet encroûtement semble avoir été érodé par place en profondeur où les horizons argileux précédents reposent directement sur un encroûtement calcaire plus grossier avec éléments noduleux ou en forme de chandelles. La matrice argileuse de ces encroûtements a une structure polyédrique grossière, arrondie-subangulaire, se débitant elle aussi en polyèdres plus fins, rougeâtres. Les racines, assez nombreuses, se situent essentiellement au contact des faces structurales.

100 cm + : Les diaclases de la dalle calcaire se sont élargies par le fait de la dissolution karstique et ont été remplies par des matériaux encroûtés dont la couleur rouge jaunâtre s'accroît. Sans doute l'hydromorphie s'accroît-elle ; tout au moins peut-on dire que le fer est plus hydraté.

2. Profil 11 : sol rouge méditerranéen modal sur calcaire du Lias (Alfisol, Xeralf, Haploxeralf ; Ultic Haploxeralf).

- 0-5 cm : Sableux. Humifère. Brun rougeâtre foncé. Structure nuciforme à grumeleuse.
- 5-15 cm : Limono-sableux. Brun rougeâtre foncé. Structure polyédrique fine sensiblement identique à l'horizon superficiel du profil 10.
- 15-100 cm : Banc calcaire à diaclases élargies par la dissolution karstique, d'abord larges, puis plus étroites. Les diaclases sont remplies d'une argile rouge jaunâtre, à structure polyédrique angulaire, à facettes lisses.
- 100 cm + : Les diaclases sont peu élargies et remplies d'une argile brun jaunâtre. Sur les faces de l'argile qui est au contact de la roche calcaire, on constate une très fine pellicule claire, calcaire.

### *E. Considérations générales préalables à l'interprétation*

#### 1. Nature des liaisons entre les horizons rouges argileux et les encroûtements

Cette question nous paraît très importante, car l'interprétation générale des profils en dépend.

- On peut constater que les argiles rouges ravinent l'encroûtement à l'aplomb du profil 10.
- On constatera également l'absence d'encroûtement dans le profil 11, alors que les matériaux rouges dont il serait issu par décalcarisation dans le profil 10, sont identiques à ceux qui remplissent le lapiès du profil 11 (voir tableau V).

On notera que la texture de la matrice argileuse non calcaire des encroûtements est rigoureusement identique à celle des horizons rouges supérieurs, ce qui tend à prouver, sinon une évolution en place à partir des horizons supérieurs, du moins une formation des encroûtements dans des matériaux d'origine identique à celle des argiles rouges des horizons supérieurs du profil.

Pour tenir compte de ces arguments, qui semblent contradictoires, on peut avancer que les encroûtements calcaires proviennent de l'évolution en place de matériaux du type des argiles rouges, matériaux eux-mêmes de décalcarisation et qui ont pu être érodés après la formation de la croûte.

Des phases climatiques plus récentes auraient ensuite remanié les matériaux d'amont et permis le dépôt argileux supérieur actuel.

Enfin, une troisième hypothèse consisterait à invoquer des phénomènes périglaciaires pour expliquer la position parfois anarchique des zones encroûtées dans les argiles rouges.

## 2. Essai de datation relative de la formation des lapiès et du recouvrement argileux

Il y a, là aussi, un problème ; en effet, dans le profil 10, l'encroûtement a pu se former pendant ou après la dissolution karstique, puisqu'il est absent dans le profil 11 dont les diaclases sont remplies de matériaux non calcaires. L'identité de ces derniers matériaux de remplissage avec les argiles rouges de recouvrement du profil 10 permet finalement de penser que, dans le cas présent, les lapiès étaient ouverts avant le remplissage que nous constatons aujourd'hui.

La discordance entre la présence et l'absence de l'encroûtement dans les deux profils prouve finalement que les lapiès ont été le siège de phénomènes de colluvionnement et d'érosion successifs, sans qu'il soit toutefois possible d'affirmer si leur formation a eu lieu à l'air libre ou sous matériaux de décalcarisation.

## F. Essai d'interprétation

L'analyse physique et chimique montre une assez grande homogénéité texturale des matériaux rouges : en particulier pour l'horizon de 40 à 70 cm de profondeur du profil 10 et la matrice argileuse des encroûtements du même profil. L'élévation du pH dans l'encroûtement est normal en raison de la présence du calcaire et d'un taux de saturation supérieur.

Les argiles rouges entre 15 et 100 cm dans le profil 11 semblent être celles que l'on trouve entre 9 et 23 cm dans le profil 10. L'élévation du pH dans le profil 11 à ces niveaux peut être provoquée par la présence de la pellicule calcaire de décalcarisation du lapiès au contact de l'argile et qui n'a pas été séparée dans l'échantillonnage.

Des variations plus importantes peuvent être constatées dans la structure de ces mêmes argiles. En particulier, la magnifique structuration prismatique de 30 à 70 cm de profon-

deur dans le profil 10 n'est pas typique des sols rouges mais serait plutôt celle d'un sol châtain isohumique. Cette même structuration ne s'est pas développée à un tel degré dans le profil 11 en raison du faible volume latéral du lapies ou, peut-être plus vraisemblablement à notre avis, en raison d'un régime hydrique différent du sol (meilleur drainage).

A ce propos, on constatera dans le tableau VII que la stabilité structurale est assez bonne à toutes les profondeurs dans les deux profils. La stabilité à l'eau est, en particulier, très forte et il faut souligner ce caractère qui semble différencier ces sols des sols rouges de plaine, sur matériaux transportés. La forte perméabilité des horizons de surface est due, sans doute, à l'importance des systèmes radiculaires et à la bonne teneur en matière organique. Cette teneur est d'ailleurs assez forte pour des sols dépourvus de couverture forestière.

C'est cependant par l'étude du complexe adsorbant que nous allons pouvoir approfondir l'interprétation de ces profils.

Nous allons y procéder indirectement par une méthode que nous proposons ici pour la première fois et qui sera encore illustrée par la présentation du profil 12.

#### 1. Caractérisation des divers horizons par leur capacité d'échange

Tenant compte que « la capacité de saturation T est sensiblement la somme des bases susceptibles d'être fixées par les colloïdes argileux et humiques pris isolément » (DEMOLON, 1952, « La Dynamique du sol », p. 246), pour chaque horizon du profil nous pouvons écrire :

$$T = MO \times t_1 + A \times t_2 \quad (1)$$

où nous avons trois valeurs connues :

T = capacité d'échange de l'échantillon

MO = pourcentage de matière organique

A = pourcentage d'argile

et deux termes inconnus :

$t_1$  = capacité d'échange des colloïdes humiques par unité de poids de matière organique (g)

$t_2$  = capacité d'échange des colloïdes argileux par unité de poids (g)

Nous avons prélevé six échantillons dans le profil et nous pouvons donc établir six équations du type défini ci-dessus (équation

(1) ; ces équations sont du premier degré en  $t_1$  et  $t_2$  et peuvent donc se représenter graphiquement, chacune par une droite dont les éléments de construction sont fournis par l'analyse physique et chimique, tandis que les valeurs  $t_1$  et  $t_2$  sont respectivement portées en ordonnées et en abscisses sur deux axes de coordonnées rectangulaires.

Dans le cas où les matériaux considérés pour chaque échantillon seraient les mêmes, les six équations devraient avoir une solution commune. Au contraire, s'ils sont différents, il ne peut y avoir de solution au système d'équation. Ceci revient à dire que, dans le premier cas, les droites construites passent par un point commun et qu'il n'en existe pas dans le deuxième cas.

On constatera sur la figure 1 que les trois horizons de surface du profil 10 sont représentés par trois droites qui passent par le point de coordonnées :

$$\begin{aligned} t_1 &= 4,3 \\ t_2 &= 0,625 \end{aligned}$$

Dans ces conditions, nous pouvons écrire une équation unique représentative du type de complexe adsorbant dans les trois horizons considérés :

$$T = 4,3 MO + 0,625 A \quad (2)$$

et la précision des résultats est donnée dans le tableau ci-dessous :

Profondeur cm	T analysé még/100 g	T calculé még/100 g	Différence	Erreur %
0-9	48,9	47,4	- 1,4	2,9
9-23	48,9	48,4	- 0,5	1,0
23-40	46,7	46,8	+ 0,1	0,21

Cette dernière égalité (2) nous montre déjà que la matière organique est très humifiée, car sa capacité d'échange est élevée. Elle nous montre aussi ce qui revient quantitativement, dans la capacité d'échange totale, aux colloïdes minéraux d'une part et aux colloïdes humiques d'autre part, sans que nous ayons eu à les isoler analytiquement. Enfin, elle met en évidence un taux d'humification constant à trois profondeurs. En ce qui concer-

ne l'homogénéité des matériaux des trois horizons, nous en parlerons plus loin.

La figure 1 nous montre par ailleurs que l'horizon 40-70 cm n'a certainement pas de solution commune avec les trois horizons précédents. Enfin, les deux encroûtements, fins et grossiers, n'ont pas davantage de point commun avec les trois horizons de la partie supérieure du profil.

On notera cependant que la droite « encroûtement fin » et la droite 40-70 se coupent. Le point de rencontre des deux droites ne peut être une solution possible car il correspondrait alors à une capacité de saturation de la matière organique qui n'est pas concevable. De même, le point de rencontre des droites encroûtements fins et encroûtements grossiers n'est pas une solution possible pour ces deux échantillons car il correspondrait à une capacité d'échange nulle pour la matière organique, ce qui n'est pas envisageable non plus.

Il faut donc mettre en garde sur une mauvaise interprétation possible des données graphiques et faire quelques restrictions sur l'utilisation brutale de la méthode mathématique utilisée ici :

— si les échantillons considérés sont constitués par un même type de matériau, les droites correspondantes doivent avoir obligatoirement un point commun ; ceci ne donne pas lieu à démonstration ;

— par contre, si les droites représentatives de plusieurs échantillons ont un point commun, les matériaux qui les constituent ne sont pas obligatoirement semblables ; en particulier les valeurs de  $t_1$  et  $t_2$  d'un échantillon peuvent aussi bien définir n'importe quel point de la droite représentative ; la réciproque mathématique n'est donc pas nécessairement vraie et plus certainement dans le cas de deux échantillons, puisqu'alors il suffirait que les deux droites correspondantes se coupent ; c'est là, évidemment, une possibilité courante, bien qu'encore le point d'intersection doive se situer dans la portion de plan définie par des points de coordonnées positives,  $t_1$  et  $t_2$  ne pouvant être négatifs.

Cependant, dans le cas où plus de deux droites passent par un même point, il nous faut alors raisonner statistiquement. En effet, bien que ceci puisse toujours être l'œuvre du hasard (et justifier l'existence d'une réciproque mathématique), il s'agi-

rait, en fait, d'une coïncidence dont la probabilité est extrêmement faible : dans le cas le plus simple de trois droites, par exemple, il faudrait que les neuf paramètres T1, T2, T3, MO1, MO2, MO3, A1, A2, A3 correspondant aux trois horizons considérés soient tels qu'ils définissent un faisceau de droites, or, rappelons que ces neuf valeurs sont, au sens statistique du terme, définies au hasard, puisque fournies par l'analyse, dans l'ignorance initiale de la quantité de matière organique, de son taux d'humification, du type d'humus, de la quantité d'argile, de sa nature et finalement des capacités d'échange.

En résumé, on pourra donc tout de même conclure à l'identité des matériaux si nous avons au minimum trois droites qui passent par un point commun.

Enfin, il est certain à l'inverse, que si les droites représentatives de plusieurs échantillons n'ont pas de point commun, les matériaux qui constituent des échantillons seront obligatoirement différents.

En ce qui concerne le profil 10 présenté, on peut donc affirmer que les argiles de l'encroûtement (fin ou grossier) sont d'un type différent de celui des argiles rouges dans les trois horizons supérieurs du profil (jusqu'à 40 cm de profondeur). Dans l'horizon 40-70, les argiles ont une composition intermédiaire.

L'interprétation graphique peut également permettre de préciser ces dernières conclusions. En effet, en admettant une capacité d'échange inférieure à 50 meq par gramme de matière organique, ce qui est un maximum certain, on peut assurer que, pour chaque échantillon, la valeur de  $t_1$ , capacité d'échange de 1 g de matière organique, se situe sur la portion de la droite représentative de l'échantillon, comprise entre l'axe des abscisses et une parallèle à cet axe, d'ordonnée + 5. En conséquence, sans pouvoir déterminer exactement la valeur de  $t_2$  de l'argile, on peut l'encadrer entre des valeurs limites. Dans le cas présent, on constate pour les argiles des encroûtements les valeurs de  $t_2$  suivantes :

profondeur	40-70	:	0,73	<	$t_2$	<	0,82
encroûtement	fin	:	0,90	<	$t_2$	<	1,05
encroûtement	grossier	:	0,95	<	$t_2$	<	1,05

on peut donc conclure à la dominance d'argile de type montmorillonitique dans les deux encroûtements calcaires.

Enfin, en ce qui concerne les trois horizons de surface du profil 10, on peut dire que le type de matière humique et la composition des colloïdes argileux sont sans doute les mêmes puisque leurs capacités d'échange respectives sont identiques (et différentes par ailleurs de celles des encroûtements).

## 2. Etude de l'état de saturation du complexe adsorbant

Cet état de saturation dépend de  $S$ , comme des bases échangeables et de  $T$ , capacité d'échange. Le pourcentage de saturation est donné habituellement par la formule :

$$\frac{S}{T} \times 100 = \text{taux de saturation.}$$

### a. Etude de la somme des bases échangeables :

En appelant :

$s_1$  la somme des bases échangeables fixées par les colloïdes organiques et par unité de poids de matière organique (g),

$s_2$  la somme des bases échangeables fixées par les colloïdes minéraux et par unité de poids de ceux-ci (g), on peut écrire pour chaque échantillon et donc pour chaque horizon du profil :

$$S = MO \times s_1 + A \times s_2 \quad (3)$$

où  $MO$  est le taux de matière organique de l'échantillon et  $A$  celui de l'argile.

On obtient de cette façon six nouvelles équations du premier degré en  $s_1$  et  $s_2$ , équations qui peuvent être représentées graphiquement comme il a été expliqué dans l'étude de la capacité d'échange. La résolution de ce système d'équation est donnée graphiquement dans la figure 1.

On constate à nouveau que les droites correspondant aux trois premiers échantillons de surface passent par un même point de coordonnées :

$$\begin{aligned} s_1 &= 4,3 \\ s_2 &= 0,365 \end{aligned}$$

La somme des bases échangeables fixées sur le complexe adsorbant de ces trois échantillons peut alors s'exprimer par l'égalité :

$$S = 4,3 \text{ MO} + 0,365 \quad (4)$$

et l'erreur commise est évaluée, pour chaque échantillon, dans le tableau suivant :

Profondeur en cm	S analysé még/100 g	S calculé még/100 g	Différence	Erreur %
0-9	39,8	38,4	— 1,4	3,65
9-23	32,7	33,4	+ 0,75	2,2
23-40	30,6	31,0	+ 0,4	1,3

Par la même méthode que pour la capacité d'échange, l'interprétation de cette équation et du graphique de la figure 1. nous conduit aux observations et conclusions suivantes :

— la somme des bases échangeables fixées par unité de poids de matière organique (donc sans doute aussi de colloïdes humiques) est la même pour les trois horizons de surface. Ce résultat ne peut pas être mis en évidence par les analyses courantes habituelles.

— La somme des bases échangeables fixées par unité de poids d'argile est la même pour les trois horizons de surface. Ce résultat ne peut pas apparaître non plus dans les résultats d'analyses courantes. Au total, on peut dire que les colloïdes humiques et minéraux des trois horizons de surface ont une fixation de base échangeable identique par unité de poids, bien que la somme de ces bases puisse être différente pour chaque échantillon (proportions d'argile et de matière organique différentes).

— La somme des bases échangeables résulte d'un taux de fixation complètement différent à partir de 40 cm de profondeur, en particulier dans les encroûtements. En effet, comme pour l'interprétation des capacités d'échange, la localisation des valeurs  $s_1$ , taux de fixation de la matière organique, en dessous de 5 még, permet de constater graphiquement que  $s_2$ , taux de fixation de l'argile, est compris entre 0,8 et 1 még par gramme, dans l'argile non calcaire des dits encroûtements.

b. Etude du taux de saturation du complexe adsorbant :

Rappelons, pour les trois échantillons de surface, les deux

formules représentatives du complexe adsorbant auxquelles nous avons abouti :

$$T = 4,3 \text{ MO} + 0,625 \text{ A} \quad (2)$$

$$S = 4,3 \text{ MO} + 0,365 \text{ A} \quad (4)$$

La comparaison de ces deux formules montre que :

— les colloïdes organiques sont complètement saturés, puisque le facteur de multiplication de MO est le même dans les deux égalités (4,3). Sans doute cette saturation, indécélable de prime abord, est-elle à l'origine de la grande stabilité de la matière organique et de l'importance quantitative de celle-ci, malgré l'absence d'une couverture forestière ;

— par contre, les colloïdes minéraux ne sont pas entièrement saturés :

pour les trois horizons de surface, le taux de saturation est de

$$\frac{0,365 \times 100}{0,625} = 58 \%$$

pour les encroûtements, il est de l'ordre de 80 à 100 %.

Il est intéressant de constater à ce sujet que la désaturation du complexe adsorbant en profondeur, de 23-40 en particulier, où  $S/T = 66$  (voir tableau d'analyse VII) n'est pas due à une désaturation plus grande de la matière organique ou même de l'argile, mais à une proportion plus grande d'une argile dont la saturation (ou la désaturation) est la même qu'en surface.

On notera que la variation du rapport S/T peut être due à la variation des proportions de colloïdes humiques dans le complexe. C'est le cas pour l'horizon de surface où le taux de saturation atteint 80 % du fait de la présence d'une plus grande quantité de matière organique saturée.

Aucun de ces résultats ne peut, encore une fois, être détecté directement par les méthodes d'interprétation habituelles et ceci montre bien l'intérêt de celle que nous présentons.

— Il faut enfin attirer l'attention sur un résultat qui ne semble pas être une coïncidence, car nous l'avons retrouvé, une deuxième fois dans le profil 12.

Il semble curieux en effet que, malgré des taux d'argile différents, des quantités de matière organique différentes, et

surtout des profondeurs différentes, donc des conditions de pédoclimat variables, les échantillons dont le type de complexe adsorbant est identique ont des taux de saturation soit de la matière organique, soit de l'argile, eux-mêmes identiques. En d'autres termes, alors qu'on pouvait envisager pour les droites représentatives de la capacité d'échange des trois échantillons de surface, la possibilité de former un faisceau avec un point commun, cette éventualité n'était pas du tout prévisible pour les droites faisant intervenir la somme des bases échangeables.

La constance du type de saturation des colloïdes humiques d'une part, et des colloïdes minéraux d'autre part, qui n'implique ni des valeurs de S ni des valeurs de S/T identiques, dans chaque échantillon, c'est-à-dire aussi dans chaque horizon, nous permet donc de mettre en évidence un certain équilibre entre les caractères du sol et ceux du climat ou plus précisément encore, du bioclimat.

Quand on relève que cet équilibre met en cause la quantité de matière organique, le taux d'humification, le taux argileux, le type ou les types de ces argiles, la somme des éléments échangeables, le taux de saturation donc indirectement le pH et finalement sans doute aussi, par voie de conséquence, la structure, on peut dire que c'est tout le sol qui est en équilibre avec le milieu.

Dans ces conditions, il ne semble pas exagéré de concevoir les types de saturation des colloïdes humiques et argileux, pris séparément comme un critère utilisable en vue de déterminer éventuellement le pédoclimat. En tout cas, il s'agit là de caractères du sol qui pourraient être utilisés dans la classification avec beaucoup plus d'avantages que le simple rapport S/T, d'autant que les colloïdes argileux ne semblent pas se saturer avec la même facilité que les colloïdes humiques, si on en juge d'après le cas présent, et que les variations de S/T peuvent finalement ne traduire que des variations des taux d'humus et d'argile.

— Du point de vue pratique, presque tous les résultats précédents ne peuvent être obtenus que dans la mesure où les droites représentatives des échantillons ont un point commun. Ce ne sera sans doute pas toujours le cas ; mais on peut éviter cet écueil en prélevant systématiquement deux ou trois échantillons superposés dans un même horizon ou dans des horizons

voisins. L'obtention d'un faisceau de droites est alors assurée d'avance et peut permettre de déterminer la nature et l'état des colloïdes organiques indépendamment de ceux des colloïdes minéraux.

### 3. Comparaison de l'étude du complexe adsorbant et des autres résultats d'analyse

On peut trouver dans les résultats d'analyses classiques un certain nombre de confirmations des conclusions précédentes :

— les compositions granulométriques des échantillons 40-70 cm et des encroûtements fins et grossiers sont assez semblables comme celles des complexes adsorbants ;

— si on se réfère au rapport C/N, le taux d'humification est semblables dans les trois premiers échantillons de surface et diffère de celui des trois horizons profonds, de la même manière que le montre notre étude du complexe adsorbant ;

— on constate un changement de la limite supérieure de fluidité à 40 cm de profondeur et c'est à cette profondeur que la nature du complexe change effectivement ;

— il se produit un changement de la stabilité structurale à l'eau et de la perméabilité dans l'horizon 40-70 cm où les colloïdes minéraux désaturés prennent précisément une plus grande place dans le complexe adsorbant.

### 4. Comparaison de l'étude du complexe adsorbant et des résultats de l'analyse minéralogique.

Il est intéressant de constater à ce sujet que l'analyse minéralogique n'infirme pas la détermination des colloïdes argileux obtenue par l'étude des capacités d'échange.

La montmorillonite apparaît comme prévu dans l'encroûtement fin ; par ailleurs, elle est présente sous forme d'interstratifiés dans tous les horizons et nous avons pu l'y chiffrer (LEPOUTRE, 1966) en quantité assez importante (47 % de minéraux argileux).

La différence que nous constatons entre les horizons 8-23 et 40-70 ne peut toutefois pas apparaître avec autant de précision dans l'analyse minéralogique, alors que notre conclusion sur la différenciation de l'horizon 40-70, par rapport aux trois horizons de surface, n'est pas contestable.

L'analyse minéralogique ne peut différencier davantage les matériaux de remplissage du profil 11 par rapport aux horizons argileux du profil 10.

En ce qui concerne les matériaux profonds de remplissage des étroites diaclases de la roche calcaire, la présence de la montmorillonite confirme des conditions de drainage plus faible, et la présence d'illite témoigne peut-être d'une origine moins colluvionnée de ces matériaux. La décalcarisation est en effet un processus qui crée le vide ; les résidus en place descendent, à l'origine du phénomène, vers les parties inférieures des lapiès tandis que les matériaux colluvionnés viennent occuper les parties supérieures.

Il y aurait confirmation de ce point de vue si nous trouvions une majorité d'illite dans les argiles de la roche (vérification en cours).

Il faut finalement reconnaître que les deux méthodes d'études se complètent avantageusement, l'une fractionnant les différents types de minéraux et permettant de nous assurer de la présence d'un type déterminé d'argile ou de celle des interstratifiés, l'autre mettant en évidence de plus légères modifications ou confirmant des identités de composition.

### *C. Conclusions générales et place du sol dans la classification*

Alors que le profil 11 peut être classé dans les sols rouges, il semble difficile d'écarter les caractères châtaîns isohumiques du profil 10. Ces caractères sont, avant tout, le type de structure, l'encroûtement calcaire à faible profondeur, et enfin à un degré moindre la répartition de la matière organique.

Il est certain que dans l'ignorance des données climatiques de la station, on n'hésiterait sans doute pas à rapprocher ce sol des sols châtaîns, mais ce choix, adopté sous une pluviosité de 1100 mm, pose le problème de la zonalité climatique des sols châtaîns ou celui de leur genèse.

Il n'y aurait pas, ici, de lessivage vertical des matériaux argileux rouges de surface, mais un enrichissement calcaire à partir des solutions de décalcarisation des roches du bassin versant alentour. On aboutirait alors à la formation de l'encroûtement que nous constatons en profondeur, au sein d'une argile

qui aurait pu évoluer en milieu humide et basique vers le type montmorillonite.

En surface, les argiles pourraient s'être déposées dans l'état où nous les trouvons, c'est-à-dire, décalcarisées et de type correspondant à un milieu plus drainant.

Ces phénomènes peuvent finalement aboutir à la formation d'un sol de type châtain, mais dans des conditions de génèse qui nous obligent à écarter la dominance du lessivage vertical du calcaire en liaison avec une certaine intensité de la pluviosité.

Cette première interprétation n'est cependant pas entièrement satisfaisante car nous n'avons aucune preuve de la pédogénèse de l'encroûtement en place ; l'homogénéité texturale des matériaux argileux n'est pas une preuve rigoureuse de cette pédogénèse, pas plus que l'hétérogénéité des types d'argiles aux diverses profondeurs n'en est une de la mise en place des matériaux encroûtés, antérieurement au dépôt des argiles de la partie supérieure du profil.

C'est cependant pour cette dernière interprétation que nous opterons personnellement, car aucune autre hypothèse ne semble pouvoir expliquer simultanément :

1. l'absence de l'encroûtement dans le profil 11,
2. le ravinement de l'encroûtement dans le profil 10,
3. l'identité des argiles de remplissage des lapiès du profil 11 et celles de la partie supérieure du profil 10.

En résumé, la génèse de ce sol pourrait alors correspondre aux phénomènes successifs suivants :

- formation d'un sol à encroûtement calcaire ancien,
- érosion des horizons supérieurs, ravinement (profil 10) ou disparition de l'encroûtement (profil 11),
- nouvelle phase climatique et dépôt de matériaux rouges de décalcarisation sur l'encroûtement ancien,
- évolution en place en liaison avec le bioclimat, en particulier brunissement des horizons supérieurs.

Enfin, on doit constater que, au moins la partie supérieure du profil, jusqu'à 40 cm de profondeur, paraît en équilibre avec

les conditions de milieu. Il s'agirait d'un pédoclimax. On doit cependant s'étonner devant l'uniformité des types d'argile et d'acides humiques jusqu'à cette profondeur, malgré des conditions de pédoclimat qu'on aurait pu supposer suffisamment variables le long du profil, pour différencier la nature du complexe.

De même, on peut s'étonner aussi, de constater un type unique de fixation de bases échangeables dans les mêmes conditions de variabilité du milieu.

Il faut conclure, jusqu'à plus amples connaissances, au caractère négligeable de ces variations en regard sans doute du type de végétation et du climat général de la station.

FIGURE 1

Profil N° 10

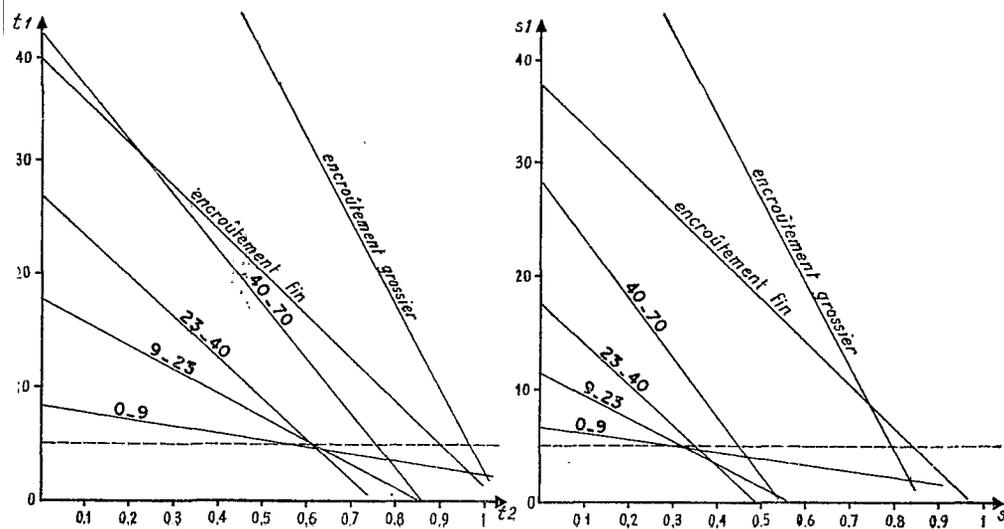


TABLEAU V

## Moyen Atlas - Profils 10 et 11 - Résultats d'analyses

Profil n°	Ech. n°	Profondeur cm	Couleur (Munsell)	T.F. %	Granulométrie %							
					A	L	STF	SF	SF	SG	SG	SF/SG
10	1	0-9	5 YR 3/4	100	34,8	25,5	11,5	6,8	4,6	4,6	2,3	1,65
	2	9-23	5 YR 4/6	100	57,4	21,6	10,0	4,0	3,3	2,8	0,7	2,09
	3	23-40	2,5 YR 3/6	100	62,6	17,6	7,2	4,1	2,6	1,0	0,6	4,19
	4	40-70	5 YR 4/6	100	65,9	18,4	4,5	4,4	3,3	1,5	0,5	3,85
	5	Encrout. fin *	5 YR 5/6	68	60,9	15,9	6,2	2,8	2,8	4,4	1,0	1,04
	6	» grossier *	5 YR 5/8	36	66,2	19,4	4,0	1,9	2,2	2,5	1,0	1,17
11	1	0-15	5 YR 3/4	100	10,9	29,3	19,5	12,8	13,0	11,0	3,5	2,17
	2	15-100	5 YR 4/8	100	53,0	24,8	10,6	5,1	2,9	1,4	0,5	4,21
	3	120	10 YR 6/6	100	46,0	29,1	5,9	2,7	5,6	0,0	0,0	—

\* Analyses concernant la matière argileuse de l'encroûtement

TABLEAU VI

## Moyen Atlas - Profils 10 et 11 - Résultats d'analyses

Profil N°	Ech. N°	Proondeur cm	Matière organique %				pH			CO <sub>3</sub> Ca %	
			MO	C	N	C/N	Eau	KCl	Sat	Argile	Total
10	1	0-9	5,9	3,24	0,277	11,7	6,9	5,9	6,7	0	0
	2	9-23	2,9	1,69	0,146	11,7	6,8	5,5	6,4	0	0
	3	23-40	1,7	0,95	0,092	10,4	7,1	5,4	6,4	0	0
	4	40-70	1,3	0,75	0,062	12,1	7,0	5,3	6,1	0	0
	5	Encroûtement fin *	1,6	0,94	0,076	12,4	8,2	6,9	7,3	2,7	27,8
	6	Encroûtement grossier *	0,9	0,54	0,036	15,2	8,1	6,8	7,4	1,4	56,5
11	1	0-15	8,4	4,86	0,512	9,5	7,3	6,4	7,1	0	0
	2	15-100	1,7	1,01	0,099	10,2	7,8	6,2	7,1	0	0
	3	120	—	—	—	—	8,0	6,7	—	0	0

\* Les analyses concernent la matière argileuse de l'encroûtement sauf pour le CO<sub>3</sub>Ca total

	CO <sub>3</sub> Ca %	CO <sub>3</sub> Mg %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Insoluble à ClH %
Roche mère (calcaire du Lias)	97,1	1,05	0,16	1,28

TABLEAU VII

## Moyen Atlas - Profils 10 et 11 - Résultats d'analyses

Profil N°	Ech. N°	Profondeur cm	Complexe adsorbant méq/100 g							Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	
			Ca	Mg	K	Na	S	T	S/T	libre	total
10	1	0-9	35,8	2,2	0,8	1,0	39,8	48,9	81	—	—
	2	9-23	29,5	2,0	0,4	0,8	32,7	48,9	67	7,50	—
	3	23-40	28,5	1,0	0,3	0,8	30,6	46,7	66	8,00	9,80
	4	40-70	35,5	0,5	0,3	1,0	37,3	54,3	69	8,40	—
	5	Encroûtement fin *	56,8	0,0	0,3	1,1	58,2	63,0	92	6,20	—
	6	Encroûtement grossier *	55,6	0,0	0,4	0,8	56,8	68,4	83	—	—
11	1	0-15	40,1	1,5	1,3	1,0	43,9	56,5	78	—	—
	2	15-100	31,5	0,5	0,7	0,8	33,5	45,6	74	6,80	—
	3	120	51,4	0,7	0,5	0,0	52,6	54,8	96	5,80	—

Profil N°	Ech. N°	Profondeur cm	Stabilité structurale (méthode S. HENIN)				
			% d'agrégats > 0,2 mm			Is	K cm/h
			Eau	Alcool	Benzène		
10	2	9-23	58,3	61,9	3,9	1,3	370
	3	23-40	43,3	67,3	2,4	1,9	57,1
		40-70	24,5	53,9	1,8	2,7	12,7
11	2	40-60	33,8	49,7	1,7	2,5	17,4
	3	120	52,2	58,3	7,1	1,7	24,1

TABLEAU VIII

## Moyen Atlas - Profils 10 et 11 - Résultats d'analyses

Profil N°	Ech. N°	Profondeur cm	Densité apparente des mottes sèches	Densité réelle	Limites mécaniques % d'eau en poids				Propriétés hydriques % d'eau en poids	
					I.P.	Ad.	S.P.	S.F.	1/3 atm	15 atm
10	2	9-23	—	2,790	38,8	45,2	60,2	95,4	35,2	22,8
	3	23-40	1,713	2,848	37,1	43,6	57,0	99,5	33,3	21,9
	4	40-70	1,774	2,966	36,7	43,5	59,2	142,8	33,7	22,2
11	2	40-60	—	2,866	34,3	39,9	53,8	134,6	32,0	19,1

Profil N°	Ech. N°	Profondeur cm	Tamisage à sec (Méthode G. BRYSSINE)								Tamisage à l'eau		
			> 3 cm %	3-2 cm %	2-1 cm %	1-0,5 cm %	0,5-0,2 cm %	0,2-0,1 cm %	< 0,1 cm %	Agrég. %	Gt cm	Gm cm	à l'eau Ga mm
10	2	9-23	0	0	0	2,4	35,0	37,4	25,0	37,4	0,209	0,375	1,491
	3	23-40	0	15,0	19,0	11,0	20,0	15,0	16,0	69,0	0,357	1,197	1,201
	4	40-70	0	40,0	17,0	9,0	15,0	8,0	11,0	81,0	1,392	1,697	0,995
11	2	40-60	0	0	0	2,4	32,4	30,0	35,0	34,8	0,193	0,385	1,100

TABLEAU IX

## Moyen Atlas - Profils 10 et 11 - Résultats d'analyses

Profil n°	Ech. n°	Profondeur cm	Analyse minéralogique de l'argile							
			I	C	V	M	Inter	K	Q	G
10	2	9-23	f <sup>++</sup>	ff <sup>++</sup>	tr <sup>++</sup> (?)	f <sup>++</sup>	mF (I-M)	f <sup>++</sup>	tr	tr
	4	40-70	f <sup>++</sup>	ff <sup>++</sup>	tr <sup>++</sup> (?)	mf <sup>++</sup>	mF (I-M)	f <sup>++</sup>	tr	tr
	5	Encroûtement fin	ff (?)	ff <sup>++</sup>	tr <sup>++</sup> (?)	mF	mF (I-M)	f <sup>++</sup>	tr	tr
	7	Lapiès profond	mf <sup>++</sup>	ff <sup>++</sup>	tr <sup>++</sup> (?)	f <sup>++</sup> (?)	mF (I-M)	f <sup>++</sup>	tr	tr
11	2	15-100	f	ff <sup>++</sup>	tr <sup>++</sup>	abs	mF <sup>++</sup>	f	tr	tr
	3	120	mF	tr (?)	abs	f (?)	mf (I-M)	f	abs	tr

I = Illite  
 C = Chlorite  
 V = Vermiculite  
 M = Montmorillonite  
 Inter = Interstratifié  
 (I-M) = Illite-Montmorillonite  
 K = Kaolinite  
 Q = Quartz  
 G = Goethite

abs = absent  
 tr = traces  
 ff = très faible  
 f = faible  
 mf = moyen faible  
 m = moyen

mF = moyen fort  
 F = fort  
 + = mal cristallisé  
 ++ = très mal cristallisé  
 ? = détermination douteuse

### III. Profil 12

Sol rouge méditerranéen modal sur calcaire du Lias Mollisol ; Xeroll ; Argixeroll ; Typic Argixeroll (ou encore Palixeroll).

#### A. Localisation

Le profil se situe à 12 km 500 d'Ifrane sur la route N° P24 qui conduit à Fes par Immouzer. Les coordonnées de la station sont :  $x = 531$ ,  $y = 337$  (carte d'Azrou au 1/100 000), et l'altitude est voisine de 1450 m. A cet endroit, la route s'élève pour passer du synclinal d'Ifrane au synclinal d'Immouzer et elle entaille les bancs calcaires compacts du Domérien sur lesquels la dissolution karstique a créé de très beaux lapiès actuellement remplis de matériaux argileux rouges de décalcarisation.

Le profil 12 a été choisi dans ces lapiès et sous un taillis de Chêne vert qui semble avoir fortement contribué, de longue date, à brunifier le profil.

Climatiquement, on est toujours sur le front atlantique du Causse, mais on a quitté l'étage bioclimatique du Cèdre pour descendre vers celui du Chêne vert ; c'est-à-dire, que le climat est moins humide et plus chaud qu'à Ifrane. Les précipitations neigeuses sont rares et la pluviosité est de l'ordre de 900 mm par an.

#### B. Description du profil

- 0 cm : Litière de Chêne vert non décomposée, épaisse de quelques lits de feuilles superposées.
- 0-4 cm : Organique, humifère, brun-rougeâtre, foncé, avec de nombreuses racines fines. Texture limoneuse. Structure finement grumeleuse, mais anguleuse. Présence de cailloux en surface. Le passage de la litière à cet horizon se fait brutalement.
- 4-10 cm : L'horizon ressemble au précédent, mais il y a moins de racines. La structure est grumeleuse arrondie et plus fine et on trouve aussi des éléments structuraux rouges anguleux. La texture est limoneuse.
- 10-20 cm : La coloration rouge s'accroît un peu ; la structure passe progressivement de grumeleuse à polyédrique, avec des éléments de taille de plus en plus forte vers le bas de l'horizon. Texture limono-argileuse. Il faut noter qu'à cette profondeur commence à apparaître une sous-structure polyédrique fine, les éléments structuraux de premier ordre (les plus gros) pouvant avoir jusqu'à 1 cm de diamètre.

- 20-30 cm : Horizon encore plus rouge. Argileux. Structure polyédrique de 0,5 à 1 cm de diamètre se débitant en éléments plus fins, anguleux. Les racines qui pénètrent cet horizon sont des racines principales profondes.
- 30-42 cm : Argileux. Rouge jaunâtre, mais la structure typique du sol rouge à éléments structuraux fins n'est pas encore complètement développée. Il n'y a plus de racines traçantes à ce niveau.
- 42 cm + : Horizon rouge foncé à rouge jaunâtre bien développé, devenant de plus en plus argileux, de plus en plus rouge. Structure très nette, finement polyédrique anguleuse, se débitant en sous-structure plus fine. On peut cependant distinguer une coloration moins rouge sur les faces structurales où on observera même des taches noires. Il n'a pas été possible de trouver des nodules calcaires en profondeur dans le lapiès. Présence de silex altérés.

### C. Interprétation

#### 1. Généralités

Ce profil pose peu de problèmes à priori, et il est présenté surtout comme exemple typique de sol rouge.

Il faut souligner à ce propos la structure finement polyédrique et anguleuse qui caractérise les sols rouges du Moyen Atlas. Dans le cas présent, on la voit se développer progressivement vers la profondeur, mais l'existence des éléments structuraux polyédriques rouges anguleux, isolés dans les horizons de surface jusqu'à 20 cm, semble montrer que la structure était préexistante avant la brunification par la matière organique ; à moins encore qu'il ne s'agisse d'une remontée de l'argile par les animaux, mais nous ne croyons pas à cette dernière éventualité qui est purement hypothétique.

La matière organique se répartit assez bien dans tout le profil et les taux sont relativement élevés. Elle est bien décomposée et il est curieux de noter la constance du rapport C/N à toutes les profondeurs comme nous allons le voir plus loin.

La rubéfaction apparaît dans la couleur des différents échantillons puisqu'à 10 cm déjà la composante rouge est présente.

En ce qui concerne la texture, on notera une assez grande analogie des matériaux de remplissage du lapiès avec ceux du profil 10. Toutefois, le rapport des sables fins aux sables grossiers passe assez brutalement de 3,2 à 6,7 à 20 cm de profondeur, ce qui peut indiquer une origine différente des matériaux à ce niveau. L'examen des taux d'argile croissant le long du profil fait penser, au contraire, à un lessivage vertical. On remarquera que cette deuxième hypothèse n'exclut pas nécessaire-

ment la première, mais la contradiction jette cependant un trouble dans l'interprétation pédologique. Pour celui qui est habitué à la pédologie méditerranéenne, il n'y a pas lieu de s'étonner, car ces contradictions, apparentes dans les faits, sont coutumières. C'est un des problèmes courants que le pédologue a à résoudre en ce pays et le profil présenté l'illustre bien.

## 2. Détermination des types de matériaux

Nous avons tenté d'aborder la question par la voie nouvelle que nous avons déjà exposée à propos du profil 10.

Rappelons que l'on peut admettre que, pour chaque horizon, le complexe adsorbant est défini par sa capacité de saturation

$$T = MO \times t_1 + A \times t_2 \quad (1)$$

où  $T$  = capacité d'échange totale,

$t_1$  = capacité d'échange de 1 g de matière organique,

$t_2$  = capacité d'échange de 1 g d'argile,

$A$  = taux d'argile en pourcentage,

$MO$  = taux de matière organique en pourcentage.

Si l'hypothèse de l'homogénéité du profil est exacte, la confrontation de toutes les équations représentatives de chaque horizon doit réaliser un système dont la résolution est possible, c'est-à-dire qu'il doit exister une valeur de  $t_1$  et une valeur de  $t_2$  qui permettent de satisfaire toutes les conditions établies dans les diverses équations.

Le système d'équations à résoudre pour les profondeurs respectives est le suivant :

<i>Profondeurs cm</i>	<i>Equations</i>
0-4	46 = 13,3 $t_1$ + 16,5 $t_2$
4-10	39,5 = 9,3 $t_1$ + 22,7 $t_2$
10-18	37,5 = 6,5 $t_1$ + 31,3 $t_2$
20-30	35 = 3,7 $t_1$ + 47,3 $t_2$
30-42	31 = 2,3 $t_1$ + 52,5 $t_2$
45-55	26 = 1,4 $t_1$ + 58,2 $t_2$
68-80	26 = 0,8 $t_1$ + 62,3 $t_2$

La résolution graphique est donnée dans la figure 2 et on constatera que l'ensemble des droites représentatives a

bien tendance à former un faisceau dont le point commun, solution recherchée, serait :

$$t_1 = 3,5$$

$$t_2 = 0,4$$

L'équation générale du type de complexe adsorbant est alors :

$$T = 3,5 \text{ MO} + 0,4 \text{ A} \quad (5)$$

et la précision du résultat est donnée par le tableau ci-dessous :

Profondeur cm	T analysé méq/100 g	T calculé méq/100 g	Différence	Erreur %
0-4	46,0	53,1	+ 7,1	15
4-10	39,5	41,6	+ 2,1	5,3
10-18	37,5	35,2	+ 2,25	6,0
20-30	35,0	31,8	+ 3,15	9,0
30-42	31,0	29,0	+ 0,95	3,1
45-55	26,0	28,5	+ 2,5	9,6
68-80	26,0	27,7	+ 1,7	6,5

L'erreur provient bien entendu de la somme des erreurs de manipulation mais la forme du faisceau graphique est incontestable (elle sera confirmée plus loin). La démonstration paraît d'ailleurs d'autant plus exacte que le faisceau est constitué ici par sept droites (voir discussion de la méthode dans l'étude du profil 10). Seul l'horizon 0-4 cm se différencie, en s'écartant du faisceau (erreur + 15 %) et ceci est normal car sa matière organique est sans doute moins humifiée, d'où une valeur de T évaluée par excès.

Cette restriction étant faite, il paraît possible, aux erreurs d'analyses près, d'affirmer que les matériaux de remplissage du lapiès ont les mêmes caractéristiques à tous les niveaux. On peut ajouter qu'ils ne semblent pas avoir évolué différemment et conclure à leur homogénéité à tous les niveaux.

On peut affirmer également que le type des colloïdes humiques, sinon de matière organique, est le même à toutes les profondeurs. Ce résultat se trouve confirmé, bien que non implicitement exprimé, dans la constance du rapport C/N dans le profil (voir tableau XI).

Enfin, on peut conclure à l'identité des types d'argile dans les divers horizons.

### 3. Etude des bases échangeables et de la saturation du complexe adsorbant.

Reprenant la méthode déjà exposée, on peut écrire pour chaque échantillon ou chaque horizon du profil :

$$S = MO \times s_1 + A \times s_2 \quad (3)$$

où S = somme des bases échangeables

MO = taux de matière organique

$s_1$  = quantité de bases échangeables fixée par gramme de matière organique

$s_2$  = quantité de bases échangeables fixée par gramme d'argile.

Dans le cas présent, on obtient donc sept équations du premier degré en  $s_1$  et  $s_2$ . La résolution graphique de ce système d'équation est donnée dans la figure 2. On remarquera que la formation d'un faisceau de droites est particulièrement évidente et la solution du système est donnée par le point dont les coordonnées sont les suivantes :

$$s_1 = 3,3$$

$$s_2 = 0,3$$

Chaque échantillon peut alors être représenté par l'égalité :

$$S = 3,3 MO + 0,3 A \quad (6)$$

La précision des mesures et du graphique est donnée dans le tableau ci-dessous :

Profondeur cm	S analysé még/100 g	S calculé még/100 g	Différence	Erreur %
0-4	46,8	48,35	+ 1,55	3,3
4-10	34,2	37,55	+ 3,35	9,8
10-18	31,6	30,80	- 0,8	2,6
20-30	28,3	26,40	- 1,9	7,2
30-42	24,4	23,30	- 1,1	4,7
45-55	20,8	22,1	+ 1,3	6,2
68-80	20,4	21,3	+ 0,9	4,4

Nous aboutissons donc à une conclusion assez surprenante : compte tenu de la précision des analyses, on peut dire que la fixation de cations par la fraction humifiée de la matière organique et celle par l'argile sont les mêmes à toutes les profondeurs du profil :

$$\begin{aligned} s_1 &= 3,3 \text{ pour la matière organique} \\ s_2 &= 0,3 \text{ pour l'argile.} \end{aligned}$$

Mieux encore, l'état de saturation de ces deux fractions du complexe, prises isolément, est le même et il est donné par les deux formules :

$$\begin{aligned} T &= 3,5 \text{ MO} + 0,4 \text{ A} & (5) \\ S &= 3,3 \text{ MO} + 0,3 \text{ A} & (6) \end{aligned}$$

Pour la matière organique on a :

$$\frac{s_1}{t_1} \times 100 = \frac{3,3 \times 100}{3,5} = 94 \%$$

Pour l'argile on a :

$$\frac{s_2}{t_2} \times 100 = \frac{0,3 \times 100}{0,4} = 75 \%$$

On constatera une fois encore que la matière organique humifiée se sature plus facilement que l'argile. On notera aussi que la constance de ces valeurs n'implique absolument pas celle de S ou de T ou de S/T, qui dépendent également de la proportion et des quantités de colloïdes humiques et argileux.

Il faut donc attirer l'attention sur une fausse interprétation du rapport S/T qui consiste habituellement à dire que le complexe adsorbant est plus désaturé quand S/T est plus faible ; même dans ce cas, la saturation de l'argile ou de l'humus peut très bien être identique, et seules leurs proportions peuvent être en cause dans cette fausse désaturation du complexe.

#### 4. Conclusions

##### a. Existence d'un pédoclimax

Compte tenu de l'étude qui vient d'être faite du complexe adsorbant, on peut d'abord avancer qu'il existe un équilibre entre certains caractères du sol et le milieu.

Cet équilibre concerne en premier lieu le type des argiles dans le profil, ceci veut dire :

- soit que les argiles se sont déposées dans le lapiès sous une forme identique à toutes les profondeurs et ont subi ensuite la même évolution,
- soit que les argiles se sont déposées dans le lapiès sous des types différents mais que leur évolution a convergé vers les types actuels semblables sur toute la profondeur.

Dans le premier cas, on peut admettre assez facilement une origine identique ; il est plus difficile de concevoir ensuite une évolution semblable, au cours du transport, dans des conditions de pédoclimat différentes à l'intérieur du lapiès et finalement aussi dans le temps, car cette évolution, si elle a eu lieu, a nécessairement duré depuis le début du creusement du lapiès.

Dans le deuxième cas, nous sommes dans l'impossibilité de localiser des argiles de décalcarisation nettement différentes et qui pourraient correspondre à des types originels différents.

Il faut donc conclure : soit à une absence d'évolution depuis une longue date, soit à une évolution très rapide vers l'état actuel, à partir de la décalcarisation de la roche ; ou encore à une évolution ne concernant que de très petites quantités d'argile. Dans les deux cas, la masse principale argileuse serait d'un type stable ancien.

Cet équilibre concerne aussi l'état de saturation des argiles : l'état de saturation de l'argile est en effet curieusement le même sur toute la profondeur étudiée. Il ne peut s'agir là que d'un équilibre avec les conditions de milieu actuel, mais dans ce cas encore, il faut admettre une insensibilité du complexe argileux à la variabilité des conditions de pédoclimat avec la profondeur.

L'équilibre concernerait donc des conditions climatiques plus générales. S'agirait-il d'un caractère pédoclimacique ? On peut alors se poser la question de savoir depuis quand cet équilibre est réalisé.

Cet équilibre concerne enfin le type des colloïdes humiques ; l'uniformité des capacités d'échange de la fraction humifiée prouve que les produits issus de la décomposition de la matière organique sont les mêmes à toutes les profondeurs sauf en surface entre 0 et 4 cm. On peut donc dire qu'il y a une certaine stabilité du type des colloïdes humiques le long du profil ; mais comment expliquer la migration de ceux-ci puisqu'à toutes les

profondeurs ils sont saturés à 94 %. Nous pouvons l'expliquer en « imaginant » que le mouvement se produit sur de très faibles distances et concerne de très petites quantités désaturées ; celles-ci joueraient donc faiblement sur le taux de saturation global qui paraît constant dans chaque horizon aux erreurs d'analyse près.

Il ne nous semble pas en effet que la matière organique située à une profondeur déterminée puisse provenir uniquement de la décomposition des systèmes racinaires ou des organismes microbiens situés à ce niveau. L'existence de matière organique à l'intérieur d'un agrégat important en l'absence de racines ne pourrait d'ailleurs s'expliquer dans ce cas que par une faible diffusion des colloïdes organiques et cette explication rejoindrait finalement celle que nous proposons. Ajoutons enfin qu'on pourrait aussi voir un équilibre actuel dans l'état de saturation constant de la fraction humifiée le long du profil.

#### b. Le lessivage

L'accroissement du taux d'argile vers la profondeur fait bien penser à un lessivage vertical des colloïdes minéraux, mais leur état de saturation, identique et égal sensiblement à 75 %, à toutes les profondeurs n'est-il pas en contradiction avec ce mouvement ? C'est la question que nous nous sommes posée, puisque tout se passe comme si l'argile avait migré sans que sa charge en bases échangeables soit modifiée. Par ailleurs, nous ne pouvons pas déceler de variations de la saturation de l'argile qui indiqueraient une mobilité plus grande dans certains horizons.

En réponse, la première hypothèse consisterait à supposer que les matériaux de profondeur sont indépendants de ceux de la surface du profil. On a vu que le type constant des argiles ne semblait pas confirmer cette hypothèse. Par ailleurs, l'augmentation régulière du taux d'argile vers la profondeur peut difficilement trouver une meilleure explication que le lessivage ; le remplissage progressif du lapiès avec des matériaux de moins en moins argileux nous paraît beaucoup plus hypothétique.

Si nous acceptons finalement le lessivage, il faut alors trouver une explication au mouvement de l'argile.

Il peut y avoir entraînement mécanique par les fissures du sol, mais nous préférons proposer l'explication qui a déjà été

donnée à propos de la migration plus probable de la matière organique. Il faut « imaginer » que la fraction argileuse n'est pas composée partout d'argiles saturées à 75 %, mais qu'il y en a une très petite fraction désaturée et une grande proportion saturée à plus de 75 %. La totalité pourrait donner à l'analyse une constance de saturation sur tout le profil, en particulier si le milieu est homogène.

Quoi qu'il en soit, il faut convenir de la complexité d'un phénomène que le terme de « lessivage » n'implique pas suffisamment.

#### c. Conséquences sur les autres caractères du sol

Il faut insister dans ce paragraphe sur le fait que l'équilibre que nous avons mis en évidence pour certains caractères du sol concerne aussi, mais indirectement, d'autres valeurs caractéristiques.

Le pH est vraisemblablement lui aussi en équilibre avec le milieu puisqu'il dépend en partie de la saturation.

La structure, en liaison avec le type de matière organique et d'humus, avec le type d'argile et la saturation de celle-ci est sans doute aussi en équilibre avec le milieu.

#### d. La pédogénèse actuelle

La pédogénèse actuelle semble concerner essentiellement la matière organique et il n'y a rien de plus logique.

Elle concerne aussi le lessivage qui se manifeste à la fois dans la répartition de la matière organique, mais également dans celle de l'argile; nous devons cependant attirer l'attention sur le fait qu'il s'agit là d'un phénomène vraisemblablement très lent qui ne peut pas être mis en évidence.

#### e. La pédogénèse ancienne

Elle concerne, à notre avis, le type des argiles qui constituent les matériaux de remplissage du lapiès, peut-être aussi leur type de saturation et enfin leur rubéfaction.

FIGURE 2  
Profil N° 12

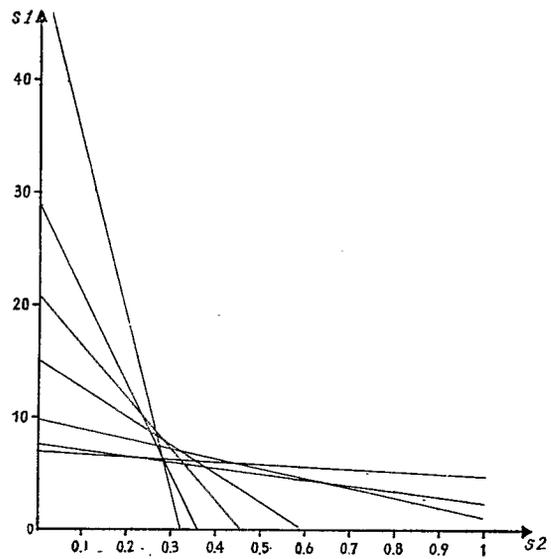
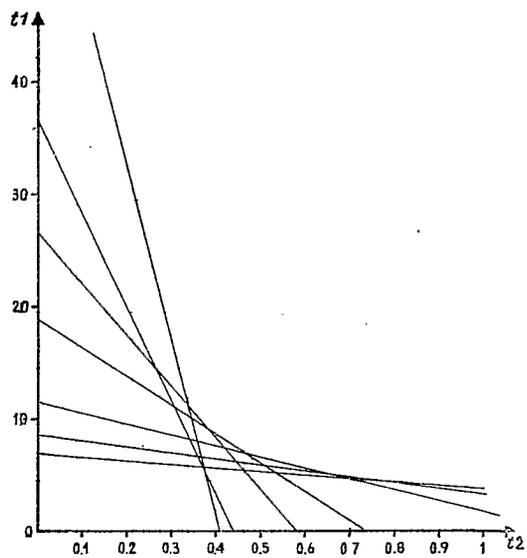


TABLEAU X

## Moyen Atlas - Profil 12 - Résultat d'analyses

Ech. n°	Profondeur cm	Couleur (Munsell)	T.F. %	Granulométrie %						CO <sub>2</sub> Ca %
				A	L	STF	SF	SG	SF/SG	
1	0-4	5 YR 3/3	100	16,5	32,8	17,1	19,6	14,1	2,6	0
2	4-10	5 YR 3/3	100	22,7	37,5	18,3	12,9	7,6	4,1	0
3	10-18	5 YR 3/3	100	31,3	31,3	14,1	14,2	8,8	3,2	0
4	20-30	5 YR 3/4	100	47,3	23,4	10,8	9,3	3,0	6,7	0
5	30-42	5 YR 4/6	100	52,5	23,3	9,3	7,7	2,2	7,7	0
6	45-55	2,5 YR 3/6	100	58,2	19,4	7,8	7,8	1,9	8,2	0
7	68-80	5 YR 4/6	100	62,3	20,0	7,9	8,3	1,8	9,0	0

TABLEAU XI

## Moyen Atlas - Profil 12 - Résultat D'analyses

Profondeur cm	Matière organique %				pH			Complexe adsorbant méq/100 g					
	MO	C	N	C/N	Eau	KCl	Sat	Ca	Mg	K	S	T	S/T
0-4	13,3	7,71	0,619	12,4	7,3	6,5	7,1	40,0	4,4	2,4	46,8	46,0	100
4-10	9,3	5,40	0,437	12,3	6,8	5,9	6,6	29,0	3,5	2,1	34,2	39,5	86,5
10-18	6,5	3,77	0,314	12,0	6,6	5,5	6,4	28,8	2,7	0,9	31,6	37,5	84,2
20-30	3,7	2,15	0,174	12,8	6,7	5,4	6,1	25,4	2,3	0,6	28,3	35,0	80,8
30-42	2,3	1,34	0,109	12,3	6,9	5,3	6,1	21,8	2,1	0,5	24,4	31,0	78,4
45-55	1,4	0,81	0,078	10,3	7,1	5,3	6,3	18,9	1,5	0,4	20,8	26,0	80,0
68-80	0,8	0,45	0,064	7,0	7,3	5,4	6,5	19,1	0,9	0,4	20,4	26,0	78,4

	CO <sub>3</sub> Ca %	CO <sub>3</sub> Mg %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Insoluble à ClH %
Roche-mère % (calcaire du Lias)	93,8	1,7	0,20	3,0