

PEDOGENESE SUR MARNES GYPSEUSES MIOCENES

B. LEPOUTRE * et A. SAUVAGEOT **

SOMMAIRE

- I. Introduction
- II. Caractères généraux des sols étudiés et leur environnement
 - A. Milieu
 - B. Description des sols
 - C. Pédogénèse
- III. Recherches sur l'état structural des sols gypseux lessivés
 - A. La relation entre la structure et la saturation du complexe absorbant
 - B. Test de stabilité
 - C. Rôle du magnésium
- IV. Systématique des sols gypseux étudiés

* Directeur de recherches O.R.S.T.O.M., Chef de la Section d'Ecologie Pédologie à la Station de recherches forestières, Rabat.

** Licenciée ès-sciences, Chef du laboratoire de chimie à la Station de Recherches Forestières, Rabat.

I. Introduction

Cette étude est extraite d'un travail d'écologie forestière dans les collines du Pré-Rif au Nord de Fes (Maroc). A cette occasion, et en vue d'expliquer le comportement de quelques essences de reboisement on a été amené à étudier les modes d'enracinement des arbres et, mettant à profit l'étude du profil cultural (3), on a pu définir avec précision les caractères des différents horizons des sols et finalement leur pédogenèse.

II. Caractères généraux des sols étudiés et leur environnement

A. Milieu

Il convient de le définir brièvement pour placer nos conclusions dans un cadre bien précis.

a. Géologie

Les sols étudiés se sont développés sur marnes miocènes gypseuses (Helvétien ou Tortonien) anté ou post-nappe rifaine. Cette dernière distinction importe peu ici, mais il est, par contre, important de caractériser la nature des marnes de ces différents étages géologiques.

Les marnes du tortonien inférieur (ou helvétien) sont généralement plus calcaires, assez souvent armées par des bancs plus rocheux et les argiles présentent une forte saturation calcique.

Les marnes du Tortonien supérieur sont plus argileuses moins calcaires, d'une couleur grisâtre à bleuâtre et les argiles sont typiquement saturées, dans une forte proportion, par le sodium et le magnésium.

Enfin, il faut signaler que les séries terminales du Tortonien (ancien sahélien) sont constituées par des argiles sableuses, des sables ou des grès jaunâtres calcaires.

b. Relief

Il s'agit d'un relief de collines mamelonnées aux sommets très arrondis qui culminent entre 100 et 500 m d'altitude. Leurs flancs sont souvent érodés par le ruissellement et donnent alors ces paysages caractéristiques des bad-lands.

c. Climat

On est dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers tempérés, défini par EMBERGER, avec pluviosités annuelles de l'ordre de 400 mm

à 500 mm groupées d'octobre à avril et une température moyenne annuelle de 17°C, avec des maxima mensuels de 42 à 45°C. L'indice d'EMBERGER à Fes est de 58. L'évapotranspiration potentielle est de 913 mm ; l'évapotranspiration réelle 411 mm.

d. Végétation

La végétation arborée est pratiquement absente sur le Tortonien supérieur. Il existe quelques oliveraies sur le Tortonien inférieur mais la végétation est essentiellement herbacée avec quelques pieds de *Withania*, *Capparis* et *Teucrium* sur les marnes plus calcaires de l'Helvétien.

Il faut noter que la majorité des sols sont cultivés, si toutefois la pente n'est pas supérieure à 40 % et la question peut être posée de savoir si une végétation ligneuse a jamais existé sur ces sols.

B. Description des sols

La répartition des sols étudiés est donnée dans la figure 1.

a. Sols minéraux bruts. (Régosols d'érosions)

Ce sont des sols de type (A) C, qui résultent de la désagrégation des marnes en surface avec sans doute une légère transformation du type de saturation des argiles vers la calcification.

On constate donc un horizon de surface peu épais plus ou moins grumosolique reposant à moins de 10 cm de profondeur sur la marne en place à cassure conchoïdale, souvent entrecoupée de lames gypseuses pouvant atteindre un demi centimètre d'épaisseur.

On trouve ces sols sur des pentes fortes supérieures à 40 %, là où l'érosion décape en permanence les horizons supérieurs.

Profil OM-3 (TABL. I)

Description

Qued Mikkes « Bad-Land de la partie Ouest du périmètre forestier de N'Zala des Oudaïa sur marne présumée tortonienne.

- 0 - 5 cm : Mulch minéral argileux à structure polyédrique fine anguleuse (5 Y 7/2).
- 5 - 30 cm : Marne helvétique peu altérée et laissant apparaître des éléments structuraux de la roche mère initiale. Traînées rougeâtres et gypseuses (5 Y 7/3)
- 30 cm : Marne ressemblant assez à celle des niveaux tortoniens, un peu verdâtre à l'état humide, avec une multitude de fissures qui isolent des blocs argileux pouvant atteindre la taille du poing. La cassure

TABLEAU I

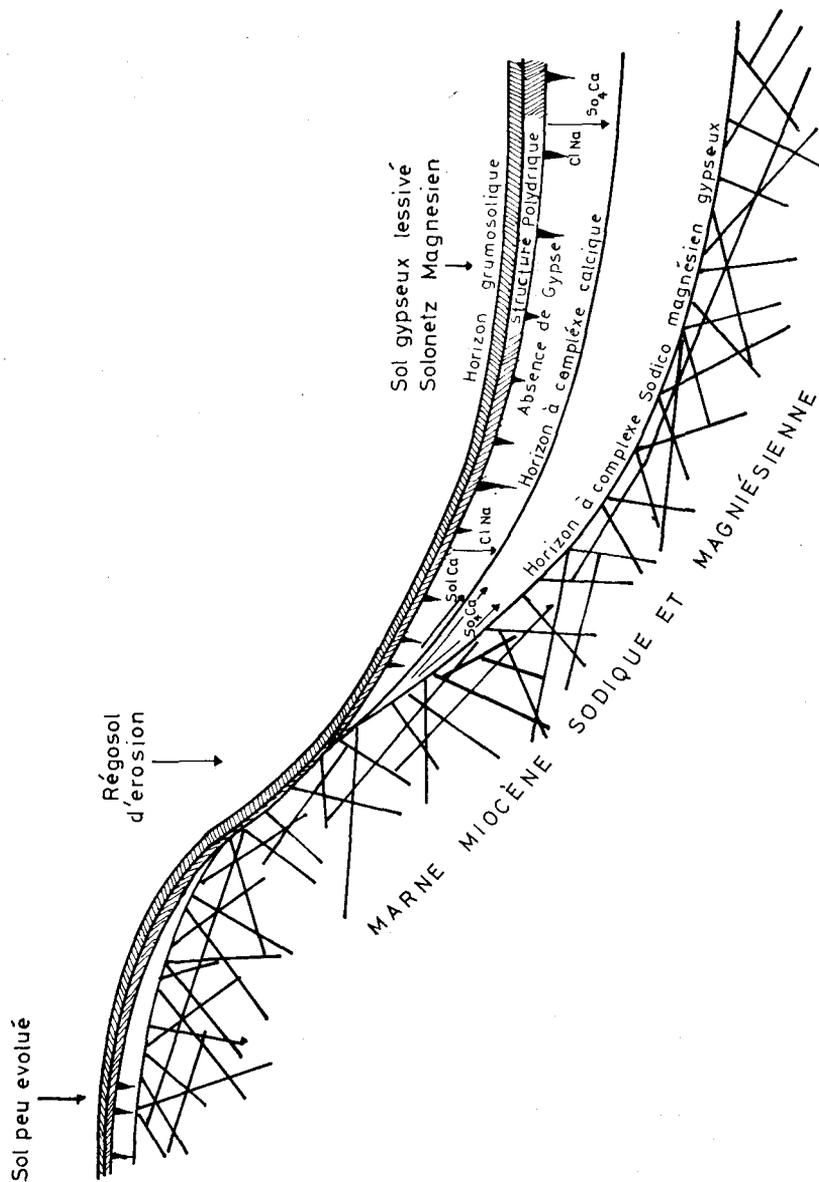
Profil OM P-I — Résultats d'analyses physiques et chimiques

Profondeur cm	0-10	10-20	20-30	50-60	170
N° d'échantillon	8181	8182	8183	8184	8185
Coloration					
Couleur (sec)	2,5Y6/2	2,5Y6/2	2,5Y6/3	2,5Y6/3	2,5Y6/3
Analyse granulométrique %					
Argile	50,7	50,0	53,0	57,1	55,4
Limon	38,4	41,0	39,0	36,2	36,3
I Sable fin	6,1	5,3	5,8	4,2	6,1
Sable très fin	0,9	1,0	0,7	0,5	0,7
	2,4	1,4	0,2	0,3	0,2
Sable Argile	44,5	41,4	40,3	42,2	41,9
Limon	18,8	18,8	18,0	17,6	17,9
Sable fin	2,9	2,4	2,1	2,9	2,8
II Sable grossier	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1
Calcaire	26,4	28,1	30,6	30,6	31,0
Matière organique					
Matière organique %	0,40	0,41	0,41	0,52	0,31
Carbone %	0,23	0,24	0,24	0,30	0,18
Azote ‰	0,64	0,55	0,55	0,62	0,48
C/N	3,6	4,3	4,3	4,8	3,7
Complexe adsorbant %					
Ca meq.	7,2		0,6	2,1	1,7
Mg meq.	5,0	3,4	4,5	5,4	6,5
Na meq.	4,0	17,2	12,6	10,0	8,3
K meq.	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
S meq.	17,5	21,9	19,0	18,5	17,5
T meq.	17,5	18,0	19,0	18,5	17,5
Na/Ca	55	—	21,00	475	490
Ca/Mg	1,44	—	0,13	0,38	0,26
Réaction du sol					
pH saturé	7,7	8,0	8,2	8,3	8,4
pH eau	—	8,0	8,2	8,2	
Salure					
Conductivité m-mohs	8,2	38,4	29,4	18,5	16,6
Chlore ‰	10,0	16,3	12,9	7,5	4,8
(Extrait de saturation,					

Observations :

I. sans décalcification préalable ; II. avec décalcification préalable

FIGURE I
Schéma de la pédogenèse sur les marnes miocènes Pré-Rif de Fès



de ces blocs est souvent *conchoïdale* mais on y trouve des sortes de « noyaux » de forme arrondie et de plus forte résistance au cisaillement (5 Y 7/3).

b. Sols peu évolués

Ce sont aussi des sols à profils (A) C régosoliques d'érosion, légèrement plus profonds que les précédents dans lesquels la marne semble légèrement désagrégée — sinon altérée — en surface avec apparition d'une très faible surstructure marquée par la présence très discrète de fentes de retrait verticales.

Ces sols se développent de préférence sur les marnes helvétiques plus calcaires et apparemment plus résistantes.

Profil OMP-I sur pente de 53 % (TABL. II)

Partie orientale du périmètre de reboisement de l'Oued Mikkes

Description

- 0 - 20 cm : Horizon à tendance grumosolique argileux gris (2,5 Y 7/2) à structure polyédrique fine, quelques efflorescences à 20 cm.
- 20 - 40 cm : Horizon identique au précédent mais une sous-structure prismatique apparaît faiblement exprimée. De toutes façons, la cohésion est très faible et le sol s'effrite facilement (5 Y 8/2).
- 40 - 60 cm : Horizon gris clair (2,5 Y 7/2) marneux où on trouve la marne en place non décomposée. Traînée verticale ou oblique de gypse sinueuses et accompagnées d'une couleur jaunâtre à rougeâtre montrant une certaine individualisation du fer le long des faces
- 60 - 80 cm : Marnes grises, solides et argileuses, à cassure *conchoïdale*, à lames de gypse disposées dans les fissures. L'ensemble est très disloqué laissant de nombreux vides accessibles aux racines (2,5 Y 7/2), (TABL. II)

c. Les sols gypseux lessivés

1. Type modal

Ces sols s'apparentent de beaucoup aux vertisols mais il ne semble pas qu'on puisse les y classer pour différentes raisons que nous évoquons ici même.

Ce sont des profils A (B) ou A (B) Cg dans lesquels on peut distinguer une répartition du gypse de la surface vers la profondeur avec absence dans les horizons supérieurs, présence de cristallisation en forme de plaquettes plus en profondeur et lames de gypse en place dans les horizons de marne peu altérée. Parallèlement la saturation des argiles varie.

Ces sols se développent de préférence sur marnes tortoniennes bleues peu calcaires (20 %), riches en argile (43 à 45 %) et en limon (20 à 25 %).

Comme dans les vertisols, on constate une forte proportion d'argile montmorillonitique et une homogénéité texturale remarquable du haut en bas du profil, mais il ne semble pas y avoir de mouvements de convection très marqués * sauf dans les cas où le drainage externe est insuffisant. C'est le cas de plate-formes d'arrachement ou de pentes faibles.

Certains auteurs ont cru pouvoir les rattacher également aux solonetz magnésiens (2) du fait d'une saturation magnésienne profonde et d'une certaine analogie entre les horizons (B) prismatiques et les horizons analogues des solonetz.

Profil EA-1 sur pente de 35 % (TABL. III)

Description

- 0 - 20 cm : Argileux, polyédrique fin à moyen (jusqu'à 10 cm), compact avec cohésion forte des éléments de structure (5 Y 6/3).
- 20 - 60 cm : Prismatique, avec larges fentes de retrait verticales. Chaque prisme est composé d'éléments polygonaux de 30 à 40 cm de large. Les fentes de retrait s'amortissent vers le bas à 60 - 70 cm de profondeur (5 Y 5/3).
- 60 - 70 cm : Argileux, structure massive. Presque plus de fentes de retrait, quelques traces d'hydromorphie sous forme de traînées rouilles liées à des dépôts gypseux (5 Y 6/2).
- 80 - 115 cm : Argileux, nettes traînées rouilles et gleyeuses avec dépôts de gypse. Il n'y a plus de fente de retrait ; la structure est massive très compacte, il s'agit d'une masse argileuse dont il n'est pas possible d'isoler des éléments structuraux, mais simplement des éclats (5 Y 6/2 et 10 Y 7/6).
- 116 cm : Marne tortonienne en place à cassure conchoïdale avec larges traînées rouilles ferrugineuses. L'individualisation du fer paraît liée aux dépôts de gypse. Les blocs de marnes anguleux sont emboîtés les uns dans les autres et séparés par des multiples fissures elles mêmes exploitées par des racines (10 Y 7/2), (TABL. III).

2. Type halomorphe

C'est une variante du type modal dans lequel la présence de sel soluble autre que le gypse confère au sol des propriétés salines accusées.

3. Type hydromorphe

Ici aussi on peut distinguer une action plus ou moins dominante

* Si on considère vraiment ce caractère comme un caractère obligatoire des vertisols.

TABLEAU II

Profil OM-3 — Résultats d'analyses physiques et chimiques

Profondeur cm	0-20	20-40	40-60	60-100
N° d'échantillon	1511	1512	1513	1514
Coloration				
Couleur	2,5Y7/2	2,5Y7/2	2,5Y7/3	2,5Y7/3
Analyse granulométrique %				
Argile	46,7	51,0	45,6	29,4
Limon	34,9	32,1	40,6	48,8
I Sable fin	10,2	9,4	8,8	9,5
	5,2	4,5	2,9	5,0
Sable grossier	1,3	0,6	1,0	5,5
Argile	41,4	41,8	38,5	
Limon	14,6	13,1	19,6	
II Sable fin	5,3	5,1	4,6	
	2,7	2,4	1,5	
Sable grossier	0,6	0,3	0,5	
Calcaire	27,6	28,8	38,2	26,3
Analyse minéralogique (évaluation)				
Montmorillonite totale	21,8	22,1	16,1	
Montmorillonite % d'argile	52,7	52,7	41,8	
Matière organique				
Matière organique %	1,24	0,88	0,52	0,52
Carbone %	0,72	0,51	0,30	0,30
Azote ‰	0,99	0,84	0,52	0,40
C/N	7,2	6,0	5,7	7,5
Complexe adsorbant %				
Ca éch. meq.	24,0	23,5	17,3	8,5
Mg éch. meq.	2,5	3,5	4,3	11,3
Na éch. meq.	0,4	0,3	0,26	0,51
K éch. meq.	1,0	0,74	0,60	0,60
S meq.	27,9	28,04	22,46	20,61
T meq.	28,0	28,5	22,5	21,0
T par g argile	0,68	0,68	0,58	
Na/Ca	1,66	1,28	1,5	6,0
Ca/Mg	9,6	6,4	4,0	0,75
Salure ‰				
Chlorure	0,222	0	0	0
Sulfate	++	+	++	++
Réaction du sol				
pH saturé	7,3	7,4	7,4	7,5

Observations :

I. sans décalcarification préalable ; II. avec décalcarification préalable.

TABLEAU III

Profil E.A.-I. — Résultats d'analyses physiques et chimiques

Profondeur cm	0-20	30-40	60-70	80-90	130
N° d'échantillon	891	892	893	894	895
Analyse granulométrique %					
Argile	51,1	51,3	48,8	46,9	47,9
Limon	31,0	31,6	35,3	33,6	39,0
I Sable fin	11,4	12,1	11,4	8,6	8,6
	4,6	4,5	4,9	4,3	2,4
Sable grossier	0,5	0,3	0,3	5,5	0,8
Argile	40,8	39,4	39,0	39,2	39,7
Limon	18,9	17,4	20,2	20,5	21,0
II Sable fin	6,0	6,1	6,5	6,3	6,1
	2,6	2,4	2,7	2,0	1,3
Sable grossier	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
T par g argile	0,60	0,62	0,50		0,48
Calcaire	23,3	23,3	23,0	23,0	22,9
Gypse			+	++	++
Analyse minéralogique (évaluation)					
Montmorillonite totale	18,0	18,1	12,9		12,2
Montmorillonite % d'argile	44,0	46,0	33,1		30,8
Matière organique					
Matière organique %	0,84	0,79	0,58	0,46	0,46
Carbone %	0,49	0,46	0,34	0,27	0,27
Azote ‰	0,82	0,72	0,69	0,61	0,70
C/N	6,0	6,3	5,0	4,4	3,8
Complexe adsorbant %					
Ca échan. meq.	20,0	18,4	13,3	3,9 ⁺	5,0 ⁺
Mg échan. meq.	3,1	5,0	4,8	8,6	12,1
Na échan. meq.	0,74	0,90	0,80	1,0	1,35
K échan. meq.	0,96	0,60	0,59	0,55	0,55
S meq.	24,80	24,90	19,49	19,05	19,00
S meq.	24,5	24,5	19,5	19,0	19,0
Na/Ca	3,7	4,9	6,1	11,1	27,00
Ca/Mg	6,45	3,68	2,77	1,03	0,41
Na/Mg	6	—	0,180	0,474	1,416
Ca/T	82	75	68	74	26
Salure					
Chlorure	—	—	—	tr	0,187
Sulfate	—	—	—	0,234	0,880

Observation :

I. sans décalcarification préalable ; II. avec décalcarification préalable.
+ par différence.

TABLEAU IV

Profil E.A.1 — Résultats d'analyses minéralogiques

Profil	N° d'analyse	Profondeur cm	I	C	V	M	I-S	K	At	calcite	Q
	1244	40-50	f	f	abs	F	mf (M)	tr	tr	tr	tr
MY	1328	100-120	f	f	abs	F	mf (M)	tr	f	tr	tr
P2	1321	200-210	f	f	abs	FF	(M)	tr	tr	tr	tr
OM	1247	20-40	f	f	abs	F	(M)	abs	tr	tr	tr
PII	1248	50-70	f	f	abs	F	f	tr	tr	abs	tr
	1249	100-200 diaspore	f	f	abs	F	f	abs	tr	tr	tr
D	1250	892	f	f	abs	mF	f	tr	abs	abs	abs
EAI	894	80-90	f	f	abs	F	f	tr	abs	abs	tr
	1252	130	f	f	abs	FF	f	tr	abs	abs	abs
	1253	8-221 ddouine	f	f	abs	FF	f	?	tr	abs	tr
AK	1254	8223	f	f	abs	FF	f	abs	tr	abs	tr
	1255	8225	f	f	abs	FF	f	abs	tr	tr	tr

Légende : tr = trace ; abs = absence ; ff = très faibles ; f = faible ; mf = moyennement faible ; F = forte ; FF = très forte.

de caractères hydromorphes encore que la présence de taches ou de trainées ferrugineuses puisse être attribuée à une précipitation du fer en profondeur sous forme de CO_3Fe . (Cette hypothèse n'a pas été vérifiée). De même, il est difficile d'interpréter la présence de faces obliques comme étant le résultat d'une hydromorphie.

C. Pédogenèse

a Sols minéraux bruts et sols peu évolués ; (TABL. I et II)

Si on considère ces sols, ils ont en commun avec les sols lessivés gypseux de contenir du gypse, mais les processus fondamentaux de leur genèse ne relèvent pas de la présence du sulfate de calcium. La faible évolution dépend en effet du type de roche mère (marne très calcaire stable) ou de l'intensité de l'érosion (régosols d'érosion).

Ces sols sont donc, à notre avis, à conserver dans les deux classes citées de sols minéraux bruts ou de sols peu évolués. Leur pédogenèse ne présente pas de caractère particulier nouveau.

b. Sols gypseux lessivés (TABL. III)

1. Caractères généraux

Ces sols sont beaucoup plus originaux. Leurs caractères les plus frappants sont :

Une homogénéité texturale parfaite de tout le profil en allant de l'horizon de surface jusqu'à la roche-mère marneuse.

Une très forte différenciation de la structure de chacun des horizons : grumosolique en surface

polyédrique moyenne puis plus large en A
prismatique en (B)
continue massive en B_{ca} .

Les variations du taux d'argile et de calcaire sont sous la seule dépendance de la nature de la roche-mère et on ne distingue jamais d'horizon plus argileux ou plus calcaire, même en profondeur.

Le type de saturation des argiles varie dans le profil ; il est d'abord à dominance calcique en A et (B) puis passe progressivement à un type plus magnésien et sodique en B_{ca} et C, pour être nettement sodico-magnésien dans la roche-mère.

Une répartition caractéristique du gypse (et des chlorures) dans le profil. Celui-ci est absent des horizons A puis apparaît en B_{ca}

sous forme de petites plaquettes ou baguettes de quelques mm de longueur. Enfin, il est présent dans la roche-mère sous forme de vastes plans pouvant avoir 5 à 10 mm d'épaisseur qui parcourent la marne avec des orientations anarchiques.

2. Eléments de la pédogenèse proprement dite

Cette pédogenèse peut être élaborée à partir des caractères généraux ci-dessus ; ceux-ci impliquent en effet certaines conditions de formation du sol que l'on va examiner à présent.

L'homogénéité texturale

Elle est remarquablement constante ; même pour des profils profonds ; de la surface vers la profondeur on constate en effet des variations de teneur en argile, inférieures à 4 % et souvent moindres ; pour les limons, elles sont inférieures à 15 % ce qui correspond en fait à des différences de l'ordre de 3 unités sur le taux réel de limon et de 1 unité sur celui de l'argile. Pour expliquer cette uniformité texturale on peut, comme pour les vertisols, invoquer des mouvements de convection à l'intérieur du sol sous l'effet du gonflement des argiles, mais cette hypothèse ne nous satisfait pas ici car les horizons profonds à structure continue massive ou même la roche-mère marneuse n'échappent pas à cette homogénéité. Or, il est *impossible* de concevoir des mouvements de convection actuels dans la marne altérée des horizons B_{ca} à structure continue et encore moins dans la roche-mère en place.

Il semblerait donc que l'homogénéité texturale traduise sinon un vaste brassage des marnes en tous cas *une absence d'évolution* à partir de la roche-mère en place. Il faut remarquer que la nature des marnes, très argileuse et, de toutes façons, très riche en éléments fins, contribue sans doute à cette faible évolution texturale. En même temps on peut conclure à l'absence de lessivage vertical des argiles.

L'homogénéité de composition minéralogique

L'analyse aux rayons X montre que l'homogénéité texturale se double d'une homogénéité minéralogique presque parfaite comme en témoigne le tableau suivant (TABL. IV).

On peut donc conclure ici aussi à une très faible évolution de ces caractères.

La répartition homogène des carbonates

Dans aucun de ces sols on ne peut observer d'individualisation

du calcaire ni de répartition différentielle des carbonates dans les différents profils. Simplement, on remarquera que les taux de calcaire sont étroitement dépendants de la roche-mère, variant de 20 % - 22 % dans les marnes tortoniennes à 45 % - 50 % dans les séries plus calcaires de l'Helvétien et du Burdigalien.

On peut donc conclure à la non-évolution du profil calcaire.

La répartition du gypse

Elle est toujours très nette, les horizons supérieurs étant dépourvus de gypse et celui-ci apparaissant à une certaine profondeur sous forme de cristaux bien individualisés dans les horizons, ou de lames de gypse dans l'horizon C et dans la roche-mère.

Il paraît donc certain que la disparition de ce gypse dans la partie supérieure des profils marque une évolution de la roche-mère. On notera que le lessivage paraît quelquefois plus profond que les profondeurs de sol humidifiées par les pluies, ce qui traduirait dans certains cas un phénomène plus ou moins ancien.

Les différents types de saturation du profil

Le complexe adsorbant est toujours saturé mais :

- En surface, il est essentiellement calcique avec des rapports de Ca/T toujours supérieurs à 50 % et souvent voisins de 80 %. Cette saturation correspond à un horizon de structure grumosolique ou polyédrique fine.
- Plus en profondeur, le taux de saturation calcique diminue un peu, mais reste toujours supérieur à 70 %. Ce sont les horizons à structure polyédrique moyenne à grossière.
- Quand on aborde les horizons à structure prismatique large, on a encore des taux de saturation calcique élevés mais ils ont, cependant, tendance à diminuer sans toutefois descendre sous des valeurs inférieures à 40 % de la capacité d'échange. Il faut noter également que, jusqu'à cette profondeur, il n'y a jamais de grandes quantités de sodium sauf dans les sols sodiques et le rapport Na/Ca ne dépasse pas 11 %.
- Enfin, en profondeur, les horizons compacts qui surmontent des marnes voient généralement leur saturation calcique diminuer fortement, tandis que le complexe se sature progressivement davantage en magnésium et en sodium.
- En ce qui concerne les marnes en place, il faut souligner que

leur type de saturation est souvent à forte proportion de sodium et de magnésium.

3. Discussion

Puisque l'on admet que le sol en place se forme par altération de la roche-mère et comme celle-ci ne diffère des horizons qui la surmontent ni par sa teneur en argile, ni par la nature de ces argiles mais seulement par leur type de saturation, il faut donc admettre que la marne, au cours de son évolution, pédogénétique s'est trouvée dans des conditions qui ont joué *pour remplacer progressivement le magnésium et le sodium de son complexe par du calcium. Ce phénomène s'accroît vers la surface.*

Dès lors, ces conditions peuvent être facilement envisagées. En effet, il faut pour cela que la solution du sol soit suffisamment calcique ; or, toutes les marnes miocènes sont gypseuses d'une part, et on retrouve ce gypse dans les horizons profonds du sol alors qu'il a disparu des horizons de surface, d'autre part ; le rapprochement de ces observations nous conduit donc à envisager la solubilisation du gypse et son entraînement vers la profondeur. Durant ce processus, la solution du sol est nécessairement calcique et l'échange avec les ions du complexe peut se produire. Il en résulte une calcification des argiles dans les horizons de surface où le gypse a été mobilisé, et, au contraire, la présence en profondeur d'une argile dont les caractères de saturation se rapprochent de ceux de la marne en place, là où le sulfate de calcium s'immobilise sous forme de petites plaquettes ou lentilles.

Pour que cette pédogénèse ait lieu, et elle a eu lieu, il faut que le sol soit soumis à un régime hydrique suffisant pour lessiver le gypse. C'est ce qui se passe généralement sur des pentes moyennes à faibles, ou dans des vallons qui reçoivent les eaux d'un bassin versant important.

Lorsque la pente est forte, il n'y a plus percolation dans le sol ; seuls, les horizons de surface peuvent être recalifiés par les eaux de ruissellement à moins qu'ils ne soient érodés. On aboutit alors aux régoso's d'érosion dans lesquels la marne magnésienne sodique est toujours à proximité de la surface.

Alors que la différenciation du profil structural n'implique pas nécessairement l'absence de phénomènes de brassage dans le sol, la différenciation des types de saturation entre la surface et la profondeur nous prouve, elle, que les horizons profonds ne sont pas intéressés par ces mouvements internes caractéristiques des vertisols.

La conclusion qui s'impose en tous cas, est de constater que tout se passe comme si l'évolution du profil était marquée par la recalcification progressive du complexe adsorbant. La répartition du gypse dans les sols confirme cette interprétation d'ailleurs, puisque l'immobilisation du gypse en profondeur correspond toujours à une élévation du taux de sodium et de magnésium sur le complexe.

4. Conclusion sur la pédogenèse

Il apparaît que les seuls caractères de différenciation des horizons et donc l'évolution du sol sont :

- a. le profil structural,
- b. une saturation des horizons supérieurs par le calcium des solutions du sol,
- c. un lessivage du gypse en profondeur.

Les deux dernières conclusions paraissent liées directement de cause à effet, le gypse fournissant le calcium à la solution du sol, celle-ci provoquant une fixation de ce cation sur le complexe par échange avec le sodium et le magnésium.

On peut noter que, même si l'on suppose de lents mouvements des horizons de surface par solifluxion, ou plus rapides par érosion, et ceci a dû se produire depuis le miocène sur une topographie tourmentée, la pédogenèse n'en demeure pas moins soumise au processus de migration du gypse et de calcification du complexe adsorbant, la seule différence résidant alors dans un entraînement latéral de SO_4Ca plus important que l'entraînement vertical. On peut constater d'ailleurs que toutes les zones de collections des eaux de ruissellement sont particulièrement chargées en gypse, parfois même en chlorure.

Quant à la différenciation structurale des horizons, on peut maintenant se demander si elle n'est pas en liaison elle-aussi avec la pédogenèse et si, par conséquent, le type de saturation du complexe adsorbant n'induirait pas le type de structure des différents horizons.

III. Recherches sur l'état structural des sols gypseux lessivés

A. Relation entre la structure et la saturation du complexe adsorbant

a. Problème posé

Rappelons que ces sols présentent de la surface vers la profon-

deur les types de structure suivants extrêmement nets et bien séparés les uns des autres :

Surface	}	Polyédrique fin anguleux
		Polyédrique moyen
		Polyédrique large
		Prismatique très large
profondeur		continue massive

Plus en profondeur la marne se présente comme une gigantesque blocaille à cassure conchoïdale, chaque bloc anguleux s'emboîtant dans les blocs voisins et en étant séparé par une fente de retrait conséquente, mais le gonflement et l'obturation des fentes ne se produisant plus actuellement à cette profondeur où l'eau n'arrive pas, l'ensemble paraît plus ou moins figé.

Par ailleurs, si on sait le rôle flocculant du calcium sur les argiles et le rôle dispersant du sodium, on ne connaît pas exactement celui du magnésium.

On peut donc formuler au départ l'hypothèse de travail qui consiste à supposer que les structures bien exprimées sont dues à la saturation calcique tandis que les structures continues sont provoquées par la présence du sodium.

b. Exposé des résultats

Le tableau V donne les résultats analytiques (moyens) classés par type de structure.

La comparaison statistique fournit les éléments d'interprétation suivants :

Pour le calcium

	M des carrés	degré de liberté	variance	F
Variation totale	1916	36		
Variation des traitements	1086	4	271,5	$\frac{V_1}{V_2} = 10,5$
Variance de l'erreur	830	32	25,9	

Pour P = 0,01 d = 7,65 (plus petite différence significative)
 Pour P = 0,05 d = 9,75

On constate donc que les trois premiers types de structure ne sont pas significativement différenciés par le taux de calcium du complexe. Par contre, la structure continue massive et la marne en place sont significativement différentes des trois premiers types de structure.

Pour le rapport Ca/Mg

	M des carrés	degré de liberté	variance	F
Variation totale	249	36		
Variation des traitements	167	4	41,6	$\frac{V_1}{V_2} = 16,2$
Variance de l'erreur	82	32	2,56	
Pour P = 0,01			d = 3,24	
P = 0,05			d = 2,4	

Les conclusions sont les mêmes que pour le calcium.

Pour le rapport Na/Ca

	M des carrés	degré de liberté	variance	F
Variation totale	424 035	36		
Variation des traitements	157 720	4	39,430	$\frac{V_1}{V_2} = 4,23$
Variance de l'erreur	266 315	32	8,322	F = 3,97
Pour P = 0,01		d = 184		
P = 0,05		d = 138		
P = 0,10		d = 116		

Seule la marne en place est donc significativement différente des horizons à la probabilité 0,05.

c. Discussion

En éliminant du calcul la marne en place, en raison de sa non évolution pédologique et de ses teneurs particulièrement fortes en sodium, on aboutit à la différenciation significative de l'horizon à structure continue massive par rapport aux autres structures.

On peut donc conclure que les structures polyédriques fines à moyennes larges, ou prismatiques larges ne peuvent pas être différenciées par le type de saturation du complexe adsorbant à l'inverse de la structure continue massive qui est sans doute induite par un rapport $\frac{Na}{Ca}$ plus élevé. Que la structure continue massive soit provoquée par la présence du sodium, il n'y a pas lieu de s'en étonner ; par contre, l'absence d'influence du facteur chimique sur la structuration polyédrique ou prismatique large est plus surprenante.

Il ne paraît pas possible d'incriminer dans ce cas le rôle des facteurs chimiques du moins dans la gamme de leurs variations présentes. On doit conclure alors que les structures polyédriques ou prismatiques de ces sols, bien que nettement différenciées dans le profil ne sont induites ni par une différence dans le type d'argile ni par une différence de texture ni par une différence dans le type de saturation ; en conséquence, il est très probable que le développement de ces structures soit provoqué par une cause physique externe, qui serait le rythme d'humectation du sol dans le courant des saisons successives, en liaison avec la stabilité structurale des matériaux et leur position dans le profil.

B. Test de stabilité structurale

a. Exposé des résultats

Cette recherche pouvait donner des résultats intéressants en montrant que le type de saturation du complexe pouvait déterminer des différences de stabilité structurale et par la même orienter la genèse de la structure.

Le rôle de Na^+ est figuré sur le graphique 2 ci-contre *. On constate l'existence d'un secteur de stabilité qui correspond à un rapport Na/Ca inférieur à 12,5 % et où les taux d'agrégats stables sont tous supérieurs à 40 %.

On retrouve donc la même distinction déjà faite à propos des différences structurales. Quand le rapport Na/Ca s'élève il y a une chute brutale de la stabilité à l'eau, c'est le cas des horizons profonds à structure continue compact.

b. Discussion

La conclusion suivante peut alors être énoncée :

* Etabli d'après les données du tableau VI.

TABLEAU V
Stabilité structurale

Ech.	Agrégats stables à l'eau	Agrégats stables à l'alcool	Agrégats stables au benzène	N° d'éch.	Agrégats stables à l'eau	Agrégats stables à l'alcool	Agrégats stables au benzène
1881	3,24	0,33	1,45	1991	39,80	68,58	3,51
2	0,29	12,75		2	57,05	77,29	9,59
1951	15,68	52,59	1,00	3	63,19	76,69	24,15 (G)
2	5,80	25,95		—	—	—	—
1971	46,76	76,16	11,76	—	—	—	—
2	59,06	80,92	7,64	—	—	—	—
3	37,46	73,26	1,02	—	—	—	—
4	51,10	72,83	0,33	—	—	—	—
1591	47,03	69,25	3,37	—	—	—	—
2	41,80	63,87	3,34	—	—	—	—
3	41,12	53,48	2,60	—	—	—	—
4	9,66	7,57	4,52 (G)	—	—	—	—
1525	21,12	59,56	6,89 (G)	—	—	—	—
1851	54,10	73,71	13,89	—	—	—	—
2	44,42	69,35	0,84	—	—	—	—
1901	69,13	82,87	21,24	—	—	—	—
2	17,67	71,02	0,45	—	—	—	—
1961	21,85	63,92	1,51	—	—	—	—
2	3,05	18,63	0,43	—	—	—	—
3	8,71	23,81	0,0	—	—	—	—
1091	11,60	56,94	3,02	—	—	—	—
2	21,24	57,13	1,84	—	—	—	—
3	19,94	53,45	2,61	—	—	—	—
4	17,93	38,16	1,59	—	—	—	—
1981	37,97	72,22	6,25	—	—	—	—
2	45,33	74,44	2,41	—	—	—	—
3	22,65	69,55	1,08	—	—	—	—

TABLEAU
Saturation du complexe adsorbant de

Horizon à structure	Polyédrique fine à moyenne			Polyédrique moyenne à large		
Nb. d'Ech.	7			6		
Moyenne :	Na/Ca	Ca	Ca/Mg	Na/Ca	Ca	Ca/Mg
	4,73	20,4	6,2	6,9	18,9	4

Pour des taux de sodium échangeable compris entre 0 et 10 meq. et des capacités d'échange de 40 à 50 meq., l'individualisation de la structure polyédrique et prismatique est associée à une saturation calcique du complexe adsorbant et une certaine stabilité structurale. On ne peut naturellement pas affirmer qu'il y a là une liaison de cause à effet, mais cette liaison paraît cependant logique ; il paraîtrait curieux en effet, qu'une structuration aussi bien exprimée et aussi permanente puisse exister dans le sol dans un milieu instable.

C. Rôle du magnésium

a. Exposé des résultats

On a alors cherché à exprimer la stabilité structurale en fonction du sodium et du magnésium fixés sur le complexe. On sait en effet que le rôle du magnésium a été quelquefois invoqué pour expliquer certaines propriétés liées à l'instabilité structurale.

Comme COMBEAU (1) l'avait déjà fait, nous avons étudié la stabilité structurale en fonction des rapports $R = (Na + Mg)/Ca$ $R = Na/(Ca + Mg)$, attribuant à Mg un rôle successivement analogue à celui de Na puis à celui de Ca.

Cette étude nous a conduit à un ajustement linéaire de la corrélation, puis à un ajustement exponentiel, c'est-à-dire à des relations de la forme suivante :

$$\begin{aligned} \text{ajustement linéaire} & : \text{stabilité} = KR \\ \text{ajustement exponentiel} & : \text{stabilité} = aR^k \end{aligned}$$

différents types de structure (még. %)

Prismatique large			Continue massive			Roche-mère marne tortonienne		
6			11			7		
Na/Ca	Ca	Ca/Mg	Na/Ca	Ca	Ca/Mg	Na/Ca	Ca	Ca/Mg
6,2	18,3	3,2	37,7	7,7	0,82	182	3,6	0,40

Les coefficients de corrélation qui nous indiquent l'intensité des liaisons sont donnés ci-dessous :

Degré de corrélation

	Na/Ca	Na/(Ca + Mg)	(Na + Mg)/Ca
C. linéaire	— 0,74	— 0,66	— 0,49
C. exponentielle	— 0,78	— 0,72	— 0,70

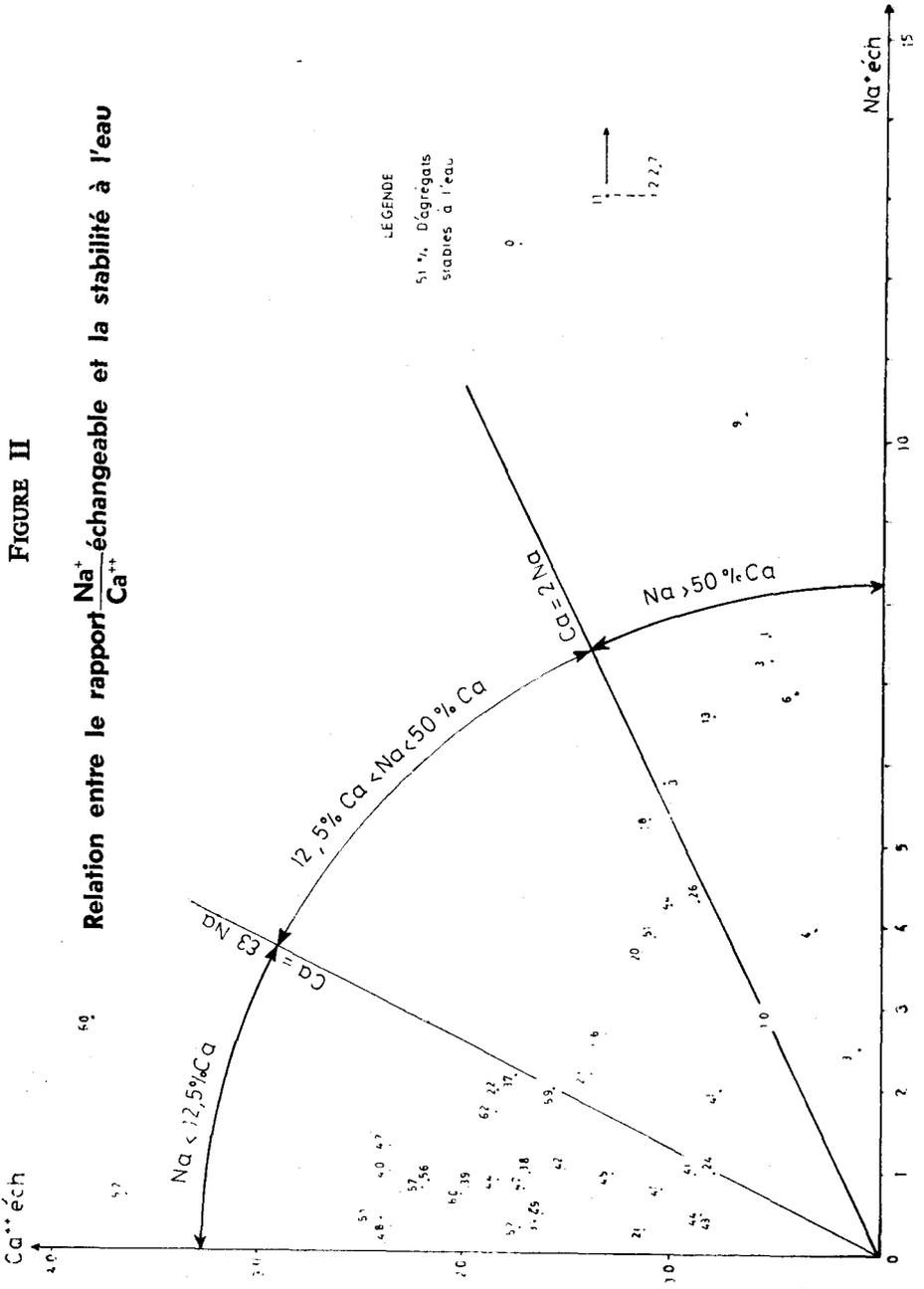
On constate que la corrélation exponentielle donne des résultats beaucoup plus constants dans les trois cas alors que la corrélation linéaire est détériorée par l'introduction du magnésium dans le rapport et en particulier quand on le fait intervenir dans le même sens que le sodium, c'est-à-dire en lui attribuant un rôle dispersant.

b. Discussion

On peut donc dire que pour l'échantillonnage considéré et pour les sols donnés le magnésium ne semble pas avoir d'influence sur la stabilité structurale à l'eau, ou s'ils en a une, elle ne *modifie pas l'influence prépondérante du rapport Na/Ca*. On remarquera que l'établissement de ces corrélations n'a cependant pas le caractère de démonstration absolue ; l'influence du magnésium pouvant s'exprimer mathématiquement sous n'importe quelle autre forme que nous ignorons.

Pour le cas présent, on est en droit en tous cas de choisir une liaison exponentielle plutôt qu'une liaison linéaire puisque les coeffi-

FIGURE II
Relation entre le rapport $\frac{Na^+}{Ca^{++}}$ échangeable et la stabilité à l'eau



cients de corrélation sont les meilleurs. Les formes des liaisons sont les suivantes :

$$\text{Log stab.} = 0,55 \log \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}} + 1,93 \quad r = - 0,72$$

$$\text{Log stab.} = 0,62 \log \frac{\text{Na} + \text{Mg}}{\text{Ca}} + 2,46 \quad r = - 0,70$$

$$\text{Log stab.} = 0,52 \log \frac{\text{Na}}{\text{Ca}} + 2,0 \quad r = - 0,78$$

On constate que les pentes de ces droites représentatives sont très voisines donc que le type d'influence reste le même. On constatera d'ailleurs que le coefficient — 0,62 correspond à la valeur la moins bonne de r .

On peut donc avancer que dans les limites d'une liaison exponentielle le magnésium ne change pas fondamentalement la relation qui relie la stabilité structurale aux valeurs du rapport Na/Ca.

On en conclut que Mg n'est ni floculant ni dispersant dans le milieu défini par les taux de cations échangeables de l'échantillonnage c'est-à-dire :

Taux de Ca variant de 9 meq. à 25 meq.

Mg variant de 3 meq. à 10 meq.

Na variant de 0,5 meq. à 11 meq.

Valeur de T variant de 12 meq. à 45 meq.

Peut-on conclure cependant que le magnésium n'a aucun rôle à jouer dans la stabilité structurale étudiée ici ? Tout se passe en effet comme si le sodium et le calcium étaient seuls en présence, la stabilité étant déterminée par le rapport Na/Ca, avec un seuil de 0,125 au-dessus duquel l'instabilité s'accuse brutalement. On peut, toutefois, se demander si le magnésium n'a pas un rôle secondaire à jouer et si sa fixation sur le complexe n'interviendrait pas pour limiter la place occupée par le calcium ; dans ce cas on verrait alors le rapport Na/Ca augmenter corrélativement.

On peut vérifier cette hypothèse en étudiant les corrélations Ca - Mg et Na - Mg. La première de ces corrélations donne un coefficient $r = 0,43$ tandis que la seconde donne un coefficient $r = - 0,17$.

Le magnésium n'a donc pas d'influence sur la fixation du sodium tandis qu'il a tendance à faire diminuer la fixation du calcium.

On peut donc affirmer que la présence du magnésium contribue à faire baisser le taux de calcium fixé, et à faire baisser le rapport Na/Ca dans les limites d'un taux de magnésium atteignant rarement 50 % de la capacité d'échange et se situant généralement en dessous de 30 %.

L'instabilité structurale peut donc être accusée par la présence de magnésium sur le complexe bien que le cation ne joue qu'un rôle « passif ». Cette conclusion peut sans doute expliquer les interprétations parfois contradictoires données par certains auteurs à propos du magnésium.

IV. Systématique des sols gypseux étudiés

Dans le cadre de la classification française qui se fonde sur la pédogenèse nous sommes finalement amenés à considérer les facteurs pédogénétiques dominants suivants :

1. L'érosion permet de classer des sols gypseux dans la classe des sols minéraux bruts et dans les sols peu évolués. Cette classification ne pose aucun problème.

2. L'hydromorphie dans des cas particuliers désignera aussi la classe des sols.

3. La présence de sels solubles autres que le gypse déterminera la classe des sols halomorphes.

4. Le lessivage du gypse.

En l'absence des facteurs précédents et pour les sols qui viennent d'être étudiés nous pouvons justifier l'appellation de « sols gypseux lessivés ».

En effet, malgré certains caractères vertiques indiscutables comme l'homogénéité texturale, la présence d'argiles gonflantes, le profil textural, il ne paraît pas évident que ces sols soient actuellement l'objet des mouvements internes vertiques. Par contre, on constate que la saturation du complexe adsorbant provoque la formation d'un horizon compact profond lui-même sodique et magnésien et de grande instabilité. Par ailleurs, on a la certitude de l'évolution de la roche-mère initialement sodique et magnésienne vers des argiles de moins en moins sodiques et de plus en plus calciques. L'évolution se fait donc dans le sens d'une recalification des horizons de surface et non pas dans le sens d'une modification des horizons profonds comme ont pu le penser des auteurs qui ont vu dans ce sol des solonetz. La dynamique du calcium et le sens de l'évolution ne permettent pas ce choix.

L'élément moteur de cette évolution est incontestablement le mouvement du gypse avec sa solubilisation dans les horizons de surface et sa réindividualisation là où il s'immobilise en profondeur.

Le lessivage du gypse est donc, pour nous, fondamental dans l'évolution. Des caractères vertiques existent mais semblent plus ou moins statiques * ; aussi peut-on proposer de classer ces sols dans la classe calci-magnésique.

sous classe des sols gypseux
groupe des sols lessivés - vertiques

Ce groupe serait sans doute à séparer du groupe des sols bruns gypseux de la classification C P C S 1963-67 (4), où n'apparaissent ni le caractère fondamental du mouvement du gypse ni les caractères vertiques, à moins qu'ils ne les remplacent tout simplement.

Quant au groupe des sols gypseux rendziniformes de cette même classification, il constituerait le terme moins évolué du groupe précédent, l'absence d'évolution plaçant le sol dans la classe des sols peu évolués comme il a été dit au début de ce chapitre.

ملخص

دراسة تكوين الاثرية في ارض حبيس على السجل الميوسيني

ان دراسة الاراضى المكونة عنى الطبقات الكاسية والسجيلية الميوسينية في ناحية فاس قد أمكنت الباحث تعين أهم الخصائص المورفولوجية للأراضى والعوامل التى تحدد دراسة الاثرية .

وهكذا بين الباحث أن تحويل الى الاثرية التيرس قديم بدون شك وان البحث الحالى في تكوين الاثرية يلخص في غسل الجيبسى وتكليسى المعقد الصلصلى وذلك من انحلال الاراضى الغنية بالجيبسى القابل الدوبان - وهذا التكليسى يقع على الصلصال بينما يبقى الصوديوم على السطح في الافاق التى هى في العمق حيث يقف الماء عن الاختراق - وان اشباع المعقد يجاب بصفة متوازية تميز البنية .

وأخيراً اعتماداً على عوامل دراسة الاثرية احدثية يقترح الباحث تصنيف الاراضى التى تنتمى الى: اراضى جيبس - مجموعة مفسولة للانربة اترسية وقد درست كذلك بعض التغيرات لهذه الانواع من الاراضى

(تابع الصفحة 87)

— ان الكالسوم والمغنيزية وكذلك المنغانيز تتجمع في تآك الابـر النباتية عندما تتقدم في السن .

— وام نحظ اى فرق معنوى لمحتوى تآك المواد المعدنية بين الارض الموجودة كشاهد والارض التى اختصبت .

— وقد استطيع اظهار ان احتياجات من الماء للاشجار تكون اكثر اهمية في فصل الربيع خلال التبرعم وفي الخريف بعد اربعة اشهر لفصل جاف. وبالتالي يمكن لتوزيع سقوط الامطار في فصل اشته والربيع ان يكون ذى ازر كبير على نمو الاشجار. اذيجب مع ذاك تكوين في داخل الارض لاحتياط من الماء يكون كافيا لحاجيات النباتات خلال اشهور الاوى للفصل الجاف في وقت تكون الابـر انبباتية تتابع نموها .

RÉSUMÉ

L'étude des sols formés sur les séries calcaires et marneuses du miocène de la région de Fès, permet à l'auteur de définir les principaux caractères morphologiques des sols et des facteurs déterminant la pédogénèse.

L'auteur montre ainsi que la vertisolisation est sans doute ancienne: que la pédogénèse actuelle se résume en un lessivage du gypse et une calcification du complexe argileux à partir des solutions des sols riches en gypse soluble. Cette calcification se produit sur argile tandis que le sodium reste en surface dans les horizons profonds, là où l'eau a cessé de percoler. Le type de saturation du complexe entraîne parallèlement une différenciation de structure.

Enfin, se fondant sur les phénomènes pédogénétiques actuels, l'auteur propose de classer les sols dans la sous-classe: des sols gypseux, groupe lessivé veriques. Quelques variantes de ces types de sol sont étudiés parallèlement.

RESUMEN

Pedogenesis en los suelos del yeso sobre marmas del mioceno

El estudio de los suelos formados sobre las series calcáreas del marneuse del mioceno de la región de Fés, permite al autor de definir

las principales características morfológicas de los suelos y los factores determinantes de la pedogenesis.

El autor muestra que la vertisolización es sin duda antigua y que la pedogenesis actual se resume en una lixiviación del yeso y una calcificación del complejo arcilloso a partir de las soluciones de los suelos ricos en yeso soluble. Esta calcificación se produce sobre arcilla mientras que el sodio queda al nivel de los horizontes profundos allí donde el agua ha dejado de filtrarse. La forma de la saturación del complejo lleva consigo una diferenciación de la estructura.

Por fin fundándose en los fenómenos pedogénicos actuales, el autor propone de clasificar, los suelos en subclases: de los suelos de yeso, grupos vérticos lixiviados, preferentemente que a los vérticos. Se ha estudiado paralelamente algunos variantes de estos tipos de suelos.

SUMMARY

Pedogenesis in gypsum soil on miocene marls

The study of soils formed on the calcareous marls of miocene in the region of Fes, allows the author to define the principal morphological features of the soils and the chief factors determining the pedogenesis.

The author has shown that the vertisolization is without doubt old and that the actual soil formation factors are gypsum weathering and the fixation of calcium on clays from the calcium content of the soil solution. This fixation occurs in the upper levels but sodium stays in place on clay in the bottom levels where the soil remains dry. A saturation type of absorption leads to a differentiation of structure.

Finally, with the actual phenomenon of soil formation the author proposes to class these soil in a sub-class of gypsum soils weathered vertisols in the french classification system.

Some variants of this type of soil are also studied on different marls.

BIBLIOGRAPHIE

1. COMBEAU - MONNIER — Méthode d'étude de la stabilité structurale. — Sols Africains, Vol. VI, N° 1, pp. 5-32.
DUTIL — 1955. Les gisements de terrains en Algérie. Travaux de la section de pédologie agrologie. — Bull. N° 1, Alger, Direction Hydraulique et équipement rural.
3. HENIN — 1960. Le profil cultural. — Ed. des Ing. Agricole.
4. TRAVAUX C.P.C.S. — Classification des sols 1963-1967. — Labo. Géologie-Pédologie, E.N.S.A., Grignon.

محتويات العدد

- 3 (المغرب الشرقي)
- ر - دوراندا وأ. سوفجوت - مساهمة في دراسة الاراضي المكلسة
19 الملنية (Calciques melaniques) لنواحي ما قبل الريف الغربي
- بحوش - القرض الناتج عن سيل المياه بالمغرب - تقديره ومراقبته 39
- ب لبوترو - أ - سوفجوت: سبب اشباع الصلصال بالمانيزيوم
65 داخل الارض: انسداد المياه الزماني للفصل الحار
- أ - دفلاندر - مساهمة في دراسة تأثير أنواع المكونات على
91 الخصائص الفيزيائية والكيميائية لاراضي المغرب
- ج - پريسين - مساهمة في دراسة الخصائص الطبيعية للاراضي
127 ب - لبوتر - و أ - سوفاجوت - دراسة تكوين الاتربة
- 153 على السجيل الجببسى الميوسينى

فيما يخص جميع المعلومات حول : انجازات الببحث
الزراعى وكذا مجلة العوامية اكتبو الى :
قسم الطبع والنشر والتوزيع
المعهد الوطنى لببحث الزراعى
صندوق البريد 415 الرباط البريد المركزى

الاداء عن الحساب الجارى بالبريد تحت عنوان (مصلحة الموارد لقسم
الطبع والنشر والتوزيع بالمعهد الوطنى لببحث الزراعى بالرباط)
الحساب الجارى رقم 45288

المملكة المغربية

36



العواصم

مجلة مغربية للبحث الزراعي



ادارة البحث الزراعي

- الرباط -

يوليو 1970