

# **CARACTERISTIQUES MACROMORPHOLOGIQUES ET MICROMORPHOLOGIQUES DE QUELQUES SOLS A ACCUMULATION CALCAIRE DU HODNA**

par N. BELOUAM

Pédologue a la D.E.M.R.H. Clairbois-Birmandreïs, Alger.

## **INTRODUCTION**

Les sols à accumulation calcaire ont été décrits, cartographiés et étudiés par de nombreux auteurs. Le but de cet exposé est de présenter quelques types de sols à accumulation calcaire rencontrés dans la région de Souk Ouled Nadja (Hodna).

Du point de vue géomorphologique, ces sols sont rattachés respectivement à:

- Une plaine d'altitude (profil 208).
- Un glacis Moulouyen (profil 200).
- Un glacis polygénique du quaternaire ancien-moyen (profil 38).
- Un glacis polygénique du quaternaire moyen (profil 61).

Dans une première partie seront données les caractéristiques macromorphologiques, physico-chimiques et micromorphologiques des différents types de sols.

Dans une 2ème partie, les formes d'accumulation du calcaire seront étudiées plus particulièrement.

## **A. 1ère Partie: Les différents types de sols.**

### **1. LES SOLS DE PLAINES D'ALTITUDE (profil n. 208).**

Ces sols lourds sont peu profonds, caractérisés par un horizon Ap de couleur plus claire, de texture plus légère que les horizons sous-jacents argileux. Ils présentent à la base du profil un encroûtement calcaire associé à des horizons à caractères d'hydromorphie.

Ils sont calcarifères avec un taux assez faible dans l'horizon de surface (6%): celui-ci augmente rapidement pour atteindre 40% dans la partie basse de profil.

Ils sont peu riches en matière organique. Le complexe absorbant est totalement saturé avec dominance du calcium.

Description macromorphologique:

Profil n. 208.

Date de description: 24/3/1969.

Situation: carte topo n. 169 - X : 720,30 - Y : 278,20.

Echelle 1/50 000e - Altitude: 1123 m.

Topographie: plane.

Géomorphologie: plaine d'altitude tensifto-soltanienne.

Utilisation au sol: Céréaliculture.

Végétation naturelle: groupement à *Centaurea acaulis*.

Roche-mère: colluvions de calcaire.

Drainage externe: assez bon.

Classification:

— ORSTOM: sol marron hydromorphe à encroûtement calcaire.

— USDA: fine clayey Aquic Calcixeroll.

*Ap* - 0-20 cm.

Frais, 10 YR 4,5/3 pétri-humide, «silt loam», adhésif, plastique, poreux, bien enraciné, galeries de diamètre moyen avec des coprolites, calcarifère, quelques graviers de calcaire. Limite régulière distincte.

*A 1* - 20-28 cm.

Humide, 10 YR 3/3, le mélange avec le *Ap* donne 10 YR 3,5/3, «loam», friable, adhésif, plastique, structure polyédrique subangulaire moyenne, assez bien développée, assez poreux, moyennement enraciné, quelques galeries à coprolites, quelques graviers de calcaire, limite régulière distincte.

*AC* - 28-54 cm.

Humide panaché Y 4,5/4 et 10 YR 3,5/3 humide dans la partie supérieure et 2,5 Y 5/4 dans la partie inférieure. «Clay», friable, adhésif, plastique, massif, dans la partie supérieure lit de graviers et cailloux calcaires. Limite graduelle.

*IIC* - 54-116 cm.

Humide panaché 2,5 Y 5/4 et taches allant jusqu'à 5 Y 6/2; taches de rouille de 7,5 YR 5/6, «loam», peu dur, peu adhésif, peu plastique, massif fortement calcarifère avec nombreuses taches et galeries de calcaire de couleur blanche ou isabelle dès 60 cm les taches de rouille sont concentrées en poches de 30 cm de diamètre, associées au calcaire.

Nombreuses galeries dues probablement à d'anciennes racines peu enraciné. Limite abrupte.

TABLEAU 1. - *Caractéristiques physico-chimiques du profil 208.*

Horizons cm	Analyse granulométrique					pH		CaCO <sub>3</sub>	Corg.	Ntot.	C/N	C.E. 25° C extr. 1/5 mmhos
	Argile	Lim. Fin	Lim. gros	Sable fin	Sable gros	H <sub>2</sub> O	KC 1	%	%	%		
Ap 0-20	21,74	25,08	18,84	24,34	4,48	7,62	7,45	6,1	0,96	0,117	8,1	0,13
A1 20-28	39,48	17,44	13,93	19,79	4,10	7,71	7,42	7,8	1,04	0,08	12,5	0,11
AC 28-54	40,78	16,54	13,03	18,82	6,11	7,88	7,52	13,0	0,80			0,11
II C 54-116	20,88	23,94	8,45	21,18	20,10	8,10	7,73	30,0	0,36			0,10
111 C 116 +	20,58	21,94	12,93	19,20	26,57	8,10	7,72	40,0				0,10

Horizons cm	C.E.C. meq/100 g	Cations échangeables meq/100 g			Na+K % C.E.C.
		Ca + Mg	K	Na	
Ap 0-20	18,31	17,34	0,54	0,43	5,30
A1 20-28	19,80	18,87	0,50	0,43	4,66
AC 28-54	24,82	23,90	0,34	0,58	3,71
II C 54-116	21,67	20,90	0,15	0,62	3,55

*IIIC - plus de 116 cm.*

Lit de graviers et de cailloux arrondis mélangés à du sable limoneux panaché de taches de rouille de 5 YR 4/6 et taches noires dans les particules terreuses et en pellicule autour des galets.

*Description micromorphologique:*

*Squelette.*

Il est dominé surtout par du quartz et de la calcite, de diamètre moyen, de forme variable, subarrondie à subangulaire pour le quartz. Les lithoreliques sont représentés par des fragments grossiers de quartzite et quelques fragments de calcaire.

Ça et là quelques plagioclases et glauconies, de rares paillettes de muscovité, de rares grenats et microlite.

*Bioreliques.*

Ce sont des fragments de coquilles de forme curviligne, parfois des coquilles entières, et des fragments de tige d'algues.

*Plasma.*

Il est généralement dominé par des microcristaux de calcite, donnant une teinte de fond pâle, et des accumulations rouges de sesquioxydes ou des concentrations jaunes d'argile.

Il faut noter la quasi dominance de la calcite dans l'horizon C.

*Assemblage plasmique.*

L'assemblage dominant est le cristallomorphe; on note cependant la présence de séparations plasmiques du type argilla sépique, vo-skelsépique dans la partie moyenne du profil.

*Structure de base.*

Partout plasma-squelette - vides; et la distribution relative est du type porphyrosquélique.

*Vides.*

Les horizons Ap, AI et AC sont dominés par des ortho et métacavités régulières ou irrégulières, parfois d'aspect mamelonné. Des vides de tassement simples ou composés, des chenaux aboutissant à des chambres, quelques vésicules et fentes désordonnées ou déviées.

L'horizon C est caractérisé par des vides de tassement composés et simples, des orthocavités régulières, des déviées localement désordonnées.

*Matière organique*

Elle se présente sous 3 formes principales:

— de fins amas noirs intégrés dans le fond matriciel, ou épars dans le fond matriciel.

— des débris végétaux partiellement décomposés associés aux vides ou intégrés dans le fond matriciel, quelques uns présentant de la vévélite dans le réseau cellulaire sont normalement dans les vides.

*Traits pédologiques authigènes:**Cutanes.*

Les argillanes présents dans certains vides et autour de grains libres sont peu épais et assez bien développés dans la partie moyenne du profil parfois peuvent être associés à des organanes (organo-argillanes). Dans l'horizon C apparaissent des calcitanes de calcite en aiguilles dans les cavités.

*Nodules.*

*Calcitiques.* Ovoïdes à grains fins de diamètre moyen, peu abondants en surface, alors qu'ils forment la quasi totalité de l'horizon C.

*Sesquioxides.* De dimension moyenne à grossière, de forme générale subarrondie à arrondie, de couleur rouge vif, à contour irrégulier, sont peu nombreux dans les horizons supérieurs et moyens et presque absents dans l'horizon C.

*Cristallarias.*

Ce sont des cristallisations de calcite en aiguilles (lublinité) dans les cavités, les aiguilles de longueur variable allant jusqu'à 0,4 mm se présentent en enchevêtrement continu ou forment un réseau complexe dans les vides.

*Bioformations.*

Dans la partie supérieure (Ap, AI) du profil, des orthogranotubules de forme elliptique ou irrégulière associés aux vides ont été observés, ainsi que des ortho-isotubules épars dans le fond matriciel. Ces tubules déficients en calcite sont peu nombreux et deviennent rares en profondeur.

*Litho-pédoreliques.*

Ils sont constitués de fragments quartzeux avec des imprégnations argilo-ferriques en distribution cutanique ou en îlots d'imprégnation au sein de la masse du fragment.

*Pédoreliques.*

De rares « boules » d'argile ont été observées et sont dues à un stade d'altération avancé des papules.

*Conclusion.*

Les types de vides, les débris végétaux plasmifiés, les pédotubules témoignent d'une bonne activité biologique du sol.

La présence en grande quantité de calcite en aiguille dans l'horizon C associée à des phénomènes de gleyification (observés sur le terrain) peut suggérer la cristallisation de calcite en aiguille sous l'effet du battement de la nappe.

## 2. LES SOLS DES GLACIS ANCIENS (PROFIL 200).

Ce sont des sols de faible épaisseur, caractérisés par une croûte calcaire dure tubanée qui apparaît en surface ou à faible profondeur (10 à 20 cm). L'horizon supérieur présente des fragments de croûte remaniés par les labours. Ces sols sont très calcarifères. Leur couleur est la plus rouge des sols environnants.

Ces sols sont de texture légère avec une assez faible capacité d'échange cationique bien que le complexe absorbant soit complètement saturé, principalement par Ca. Na + K forment 9 à 11% des bases échangeables.

Description macromorphologique:

Profil n. 200.

Date de description: 23/3/69.

Situation: carte topo 169 - X : 702,77 - Y : 275,03. Altitude: 868 m.

Topographie: plane.

Géomorphologie: glacis Moulouyen.

Utilisation du sol: céréaliculture.

Végétation naturelle: groupement à *Artemisia herba alba* et *Helianthemum hirsutum*.

Roche-Mère: colluvions calcaires.

Microrelief: plat.

Drainage externe: bon.

Classification:

— ORSTOM: Sierozem à croûte calcaire.

— USDA: fine loamy typic Paleorthid.

*Ap* - 0-11 cm.

Sec 7.5 YR 5/6 et humide 7.5 YR 4/4 « loam », friable, peu adhésif, peu plastique, poreux, bien enraciné avec « chevelu » abondant, quelques gravillons, calcaire en petits amas et concrétions de 2 à 3 mm de diamètre, friable. Limite abrupte.

*CK - 11-23 cm.*

Croûte zonaire dure, couleur saumon.

*Cca - plu de 23 cm.*

Encroûtement calcaire, horizon panaché blanc et isabelle, avec couleur de fond de 7.5 YR 7/6, sec, « loam ».

*Description micromorphologique:*

Vu les différences très grandes dans la constitution des différents horizons du sol, chacun d'eux sera décrit séparément.

*Horizon Ap:*

*Squelette.*

Il est dominé par du quartz de diamètre moyen à fin, surtout de forme subarrondie, et des grains de calcite de forme variable, de rares fragments de calcite, Lithoreliques siliceux, micas, microline et grenats ont été observés

*Plasma.*

Il est brunâtre, calcitique à grains de dimensions variables, avec des concentrations en grandes plages de « masses nodulaires » blanchâtres formées de microcristaux de calcite.

*Assemblage plasmique.*

Le type dominant est le cristallomorphe avec quelques séparations du type vo-skelsépique; très localement on a de petits îlots d'argilasépique. Les masses nodulaires sont toutes caractérisées par un assemblage cristallomorphe.

*Structure de base.*

En général plasma squelette vides, et la distribution relative est du type porphyrosquélique.

*Matière organique.*

Elle est constituée de nombreux débris végétaux à différents stades de plasmification. Ces débris de dimension moyenne sont associés aux vides ou intégrés dans le fond matriciel. Beaucoup d'amas noirs de matière oxydée épars dans le fond matriciel.

*Vides.*

Dans le fond matriciel ce sont surtout des vides de tassement composés et de rares chenaux aboutissant à des chambres et des cavités.

Dans les masses nodulaires ce sont des fentes déviées, des métacavités et des vésicules.

Traits pédologiques authigènes:*Cutanes.*

Ce sont des rares calcitanes dans les « masses nodulaires » associés aux vides ou des néocalcitanes autour des grains de quartz.

*Nodules.*

Il y a de nombreux nodules calcitiques, de forme subarrondie avec des grains de dimension variable, à contour net et de rares petits nodules sesquioxydiques rouges, à contour net mais irrégulier.

*Cristallarias.*

Ce sont des cristallisations de calcite associés aux cavités dans le fond matriciel. Dans les « masses nodulaires » on retrouve de nombreuses cristallisations de calcite en aiguilles enchevêtrées, associées aux vides.

Traits biopédologiques:

D'assez nombreux ortho-agroutubules et ortho-isotubules présentant une déficience en calcite par rapport au fond matriciel ont été observés.

*Traits hérités:**Lithoreliques.*

Ils sont peu nombreux, surtout quartzitiques et rarement calcaires.

*Bioreliques.*

Ils sont constitués par de nombreux fragments de coquilles et tiges d'algues, parfois ferruginisés ou silicifiés:

*Horizon CK (pétrocalcique).**Squelette.*

Il est caractérisé par de rares grains de quartz, de diamètre fin à moyen et rares grains grossiers de calcite.

*Plasma.*

Il est formé de cristaux de calcite, de dimension très fine, fine et même moyenne, blanchâtre, avec peu d'accumulations brunes, diffuses (particules terreuses et sesquioxydes).

*Assemblage plasmique.*

L'assemblage est intégralement cristallomorphe.

*Structure de base.*

Plasma > vides > squelette, et la distribution relative est du type porphyroquélisque.

Traits pédologiques:

Les concentrations plasmiqnes (de calcite) occupent la presque totalité du fond matriciel, ce qui fait penser à une grande masse nodulaire uniforme. Dans cette masse les vides seront surtout des cavités régulières souvent mamelonnées, des fentes déviées, des vésicules.

Autour de ces vides on observe des neocalcitanes associés principalement aux vésicules, des calcitanes associés à tous les types de vides, des cristallisations de vides (cavités) de calcite en aiguilles avec un assemblage en réseau.

Horizon Cca (calcique):Squelette.

Il est représenté par quelques grains de quart et de calcite de diamètre moyen, quelques lithoreliques siliceux.

## Autres caractéristiques:

Les caractères du plasma et les traits pédologiques sont analogues à ceux de l'horizon précédent. Toutefois dans l'horizon calcique des amas de gros cristaux de calcite ont été observés.

Conclusion.

Les sols des glacis anciens sont caractérisés par une grande individualisation de calcite sous des formes variées suivant l'horizon considéré. L'étude de ces formes fera l'objet d'un paragraphe particulier qui sera exposé dans la synthèse des caractéristiques micromorphologiques.

## 3. LES SOLS DE GLACIS POLYGENIQUE ANCIENS (PROFIL 38).

Ce sont des sols de couleur rouge 6 YR, de texture moyenne, ayant une bonne activité biologique dans les parties supérieure et moyenne du profil. Ils sont très calcarifères, le taux de CaCO<sub>3</sub> de 30% dans l'horizon Ap augmente en profondeur, par un maximum de 47,5 dans l'horizon B et retombe à 12,5% dans l'horizon C.

Ces sols sont peu riches en matière organique. Leur complexe absorbant à capacité d'échange cationique faible est saturé à 100%, le calcium est le cation dominant.

Description macromorphologique:

Profil n. 38.

Date de description: 1/4/69.

Situation: Carte topo n. 169 - X : 706,48 - Y : 263,25. Altitude: 592 m.

Topographie: plane.

TABLEAU 2. - *Caractéristiques physico-chimiques du profil 200.*

Horizons	Analyse granulométrique					pH		CaCO <sub>3</sub>	C org.	N Tot.	C/N	C.E. 25° C extr. 1/5 mmhos
	Argile	Lim. fin	Lim. gros	Sable fin	Sable gros	H <sub>2</sub> O	KCl					
Ap	24,60	24,27	15,27	16,85	19,7	7,92	7,77	42	1,0	0,091		0,14
CK I-23	—	—	—	—	—	—	—	91				
Cca 33 +	10,24	32,28	7,66	10,55	32,54	8,62	8,36	64				0,080

Horizons	C.E.C. meq/100g	Cations échangeables meq/100			Na + K % C.E.C.
		Ca + Mg	K	Na	
Ap 0 - 11	11,68	10,56	0,59	0,53	9,9
CK 11 - 23					
Cca 23 +	5,82	5,32	0,17	0,43	11

TABLEAU 3. - *Caractéristiques physiques physico-chimiques du profil 38.*

Horizons cm	Analyse granulométrique					pH			CaCO <sub>3</sub> %	Corg. %	Ntot. %	C/N	C.E. 25° extr. 1/5 mm
	Argile	Lim. fin	Lim. gros	Sable fin	Sable gros	H2	O	KCl					
Ap 0-14	16,60	23,20	19,25	32,50	7,45	7,80		7,70	30	0,9	0,094	9,59	1,2
AB 14-43	21,75	28,05	17,40	29,60	3,20	7,80		7,75	34	0,6			0,2
BII 43-94	20,50	45,35	15,35	17,60	1,20	7,82		7,78	47,5	0,3			0,2
B12 94-121	29,30	37,90	19,60	19,20	1,00	7,85		7,78	38	0,2			0,3
C 121 +	19,55	11,60	26,90	25,95	16,00	7,50		7,35	12,5	0,08			1,6

  

Horizons cm	C.E.C. meq/100g	Cation échangeables meq/100g			Na + K % C.E.C.
		Ca + Mg	K	Na	
Ap 0-14	19,69	16,63	0,29	0,37	3,35
AB 14-43	9,44	8,61	0,14	0,69	8,79
B II 43-94	10,53	9,78	0,15	0,60	7,12
B 12 94-121	9,44	8,89	0,12	0,43	5,83
C 121 +	9,44	8,60	0,15	0,69	8,90

TABLEAU 4. - *Caracteristiques du profil 61.*

Horizons cm	Analyse granulométrique					pH		CaCO <sub>3</sub> %	Corg %	Ntot. %	C/N	Gypse %	C.E. 25° C extr. 1/5 mmhos
	Argile	Lim. fin	Lim. gros	Sable fin	Sable gros	H <sub>2</sub> O	KCl						
	12	21,44	18,12	16,19	30,22	15,19	8,07	7,92	28,5	0,80	0,065	12,30	
22	30,32	14,28	16,15	25,27	13,75	8,07	7,98	29,5	0,60	0,052	13,46		0,11
44	28,01	27,92	14,60	21,27	10,68	8,13	7,96	32	0,60				0,11
56	40,54	28,22	10,42	12,21	8,65	8,13	7,88	39	0,60				0,12
76	36,18	41,24	9,75	8,54	5,00	8,24	7,87	44	0,36				0,11
96	38,32	43,14	11,13	5,40	4,39	8,05	7,88	53	0,32				0,22
116	—	—	—	6,20	6,14	7,93	7,63	22,5				26,41	1,11
116	—	—	—	5,21	12,62	7,89	7,62	32				23,92	0,78

Horizons cm	C.E.C. meq/100g	Cations échangeables meq/100g			Na + K % C.E.C.
		Ca + Mg	K	Na	
12	9,37	8,23	0,77	0,37	12,17
22	9,37	8,28	0,57	0,52	11,63
44	11,00	9,96	0,46	0,58	9,45
56	14,26	13,20	0,35	0,67	7,15
76	14,28	13,30	0,29	0,67	6,73
96	11,00	10,13	0,22	0,65	7,91
336	15,34	13,47	0,29	1,58	12,19
	18,60	17,48	0,69	0,82	5,98

Géomorphologie: glacis polygénique du quaternaire ancien moyen.

Utilisation du sol: céréaliculture.

Végétation naturelle: groupement à *Salsola vermiculata* et *Anabasis oropodiorum*.

Microrelief: ondulé (labour).

Drainage externe: bon.

Classification:

— ORSTOM: Sierozem modal.

— USDA: Fine silty Xerollic Calciorthid.

*Ap - 0-14 cm.*

Frais, humide 6 YR 5/6, sec 8 YR 8/4, « loam », friable, peu adhésif, peu plastique, poreux, assez bien enraciné (« chevelu »), assez de galeries de 2 à 8 mm de diamètre avec coprolites, quelques graviers de calcaire et fragments de coquilles, calcarifères. Limite régulière distincte.

*AB - 14-43 cm.*

Même couleur que le précédent, « loam », friable, peu adhésif, peu plastique, structure polyédrique subangulaire moyenne à grossière moyennement développée, poreux, beaucoup de galeries à coprolites, peu de radicelles, quelques graviers de calcaire et fragments de coquilles. Limite graduelle.

*B11 ca - 43-94 cm.*

Idem que le précédent pour la couleur, « silty loam », friable, peu adhésif, peu plastique, structure polyédrique angulaire grossière, moyennement développée, beaucoup de galeries avec parfois de petits amas poudreux noirs associés probablement à des racines décomposées.

Coprolites tubulaire de 2 cm de long et 4 mm de diamètre. Très calcarifère, beaucoup de calcaire en amas et concrétions friables de 0,8 à 1 cm de diamètre et calcaire pulvérulent mélangé aux particules terreuses. Limite graduelle.

*B12 ca - 94-121cm.*

Idem que précédent, avec moins de concrétions, moins de galeries, quelques fragments rougeâtres, un peu plus lourd, « clay loam ». Limite abrupte.

*II Ccs - 121 cm.*

Humide 5 YR 5/6, panaché de gypse blanc et isabelle, en galeries et amas de cristaux, assez de plages jaunes Y 5.5/4 et de petites taches noires ferromangnésifères, quelques galeries et radicelles.

Description micromorphologique:*Squelette.*

Il est dominé sur tout le profil par le quartz et la calcite. Les grains, généralement de forme subangulaire à subarrondie, sont de diamètre moyen.

Le nombre de grains de quartz est relativement bas dans la partie moyenne du Profil.

Çà et là on trouve de rares glauconies, plagioclases, microlines. L'horizon Ap se distingue par de nombreux fragments de calcaire.

Les lithoreliques presque absents sont représentés par de rares silex dans l'horizon AB.

*Bioreliques.*

Peu nombreux, ils sont formés de tiges d'algues et coquilles de foraminifères.

*Plasma.*

Assez homogène sur tout le profil, il est caractérisé par sa couleur brun claire de rares plages plus foncées dues à un enrichissement en sesquioxides. Il est constitué de cristallites de calcite et d'argile.

*Assemblage plasmique.*

L'assemblage est en général du type cristallomorphe (dû à des fins grains de calcite). Cependant dans le Ap et le C quelques séparations autour des grains du squelette ont été observées (assemblage skelsépique).

*Structure de base.*

Dans tout le profil plasma vides squelette, et la distribution relative est du type porphyrosquélique.

Cependant dans les horizons Ap et C on observe localement des plages à distribution relative du type intertextique.

*Vides.*

Les vides de tassement et plans désordonnés dominant, les plans aboutissent généralement à des chambres, de rares chenaux ont été observés dans les parties supérieure et moyenne.

Très peu de métacavités existent dans tout le profil.

*Matière organique.*

Observée uniquement dans les horizons supérieurs, elle est caractérisée par des débris de racines en voie de décomposition et des microfloculats de matière oxydée.

Traits pédologiques authigènes:*Cutanes.*

Assez de néo-ferro-manganes, de grains libres sont présents dans l'horizon C.

*Nodules.*

L'ensemble du profil est caractérisé par de nombreux nodules de calcite de forme et dimensions variables:

- ovoïdes moyens à petits, formés de microcristaux.
- à forme irrégulière formé d'un seul grain.
- nodules complexes incluant des grains de quartz.

Les nodules de sesquioxydes sont peu nombreux, de couleur rouge clair à foncé, de dimension moyenne. On observe de petits nodules noirs ferromanganésifères dans l'horizon C.

*Cristallisations.*

Dans l'horizon C de très nombreuses cristallisations de gypse granulaire et lenticulaire dans les vides, avec des grains généralement grossiers incluant parfois de petits grains. Quelques cristaux intercalaires ont été observés.

*Bioformations.*

Elles sont assez nombreuses dans les parties supérieures, elles témoignent d'une assez bonne activité biologique du sol.

Ce sont surtout:

- des ortho-isotubules et ortho-agrotubules dans l'horizon Ap.
- des ortho-isotubules et ortho-agrotubules moyens à très grossiers dans les horizons AB et BI avec des boulettes fécales.
- de nombreux ortho-agrotubules dans les vides de l'horizon B 12 et quelques ortho-isotubules déficients en calcite.
- des rares ortho-isotubules sont présents dans l'horizon C.

Traits pédologiques hérités:*Reliques sédimentaires.*

Ce sont des nodules argileux probablement hérités des matériaux sous-jacents ou environnants; ils ont été observé uniquement dans l'horizon C.

*Conclusion.*

Ce profil se caractérise surtout par:

- une bonne activité biologique dans les horizons supérieurs (pédotubules).

— une accumulation de gypse dans l'horizon C, cette accumulation est associée à des ferro-manganés et des nodules ferro-manganésifères, ce qui suggère une ancienne hydromorphie.

#### 4. SOLS DE GLACIS SOLTANO-TENSIFTIENS (PROFIL 61).

Ce sont les sols de culture du Djerr. Ils occupent soit d'assez grandes surfaces planes, soit de petites dépressions. Leur horizon superficiel de couleur plus claire, de texture plus légère suggère un colluvionnement plus récent ayant affecté de sol en place. Ces sols de texture moyenne, sont assez profonds, calcarifères sur tout le profil avec une accumulation dans les horizons inférieurs, leur matière organique avec une teneur inférieure à 2%, est bien incorporée sur une assez grande profondeur.

La roche-mère marneuse est très riche en gypse primaire. La capacité d'échange de ces sols, faible à moyenne, connaît un taux de saturation de 100% et le cation dominant dans le complexe est le calcium.

Le Na+K élevé en surface (12%) diminue en profondeur pour retrouver une valeur maximale dans l'horizon CR.

Ce phénomène permet d'avancer l'éventualité d'une pédogénèse actuelle orientée vers la salinisation, par les eaux ruisselant sur les collines marneuses environnantes.

#### Description macromorphologique:

Profil n. 61.

Date de description: 8/2/69.

Situation: carte topo n. 169 - X : 699,15 - Y : 267,00. Echelle: 1/50.000e  
Altitude: 593 m.

Topographie: plate.

Géomorphologie: plaine soltano-tensiftienne en contre-bas des collines marneuses.

Utilisation du sol: céréaliculture.

Végétation naturelle: groupement à *lygeum spartum*, *Astragalus armatus*, *Micropus sabinus*, *Agropyrum orientale* et *Pleranthus dichotomus*.

Roche-mère: marne miocène.

Microrelief: plat.

Drainage externe: assez bon.

Classification:

— ORSTOM: Sierozem modal à accumulation calcaire (en concrétions) profonde.

— USDA: fine clayey Xerollic Calciorthid.

*Ap11 - 0-12 cm.*

Sec, 10 YR 6/5; « loam », friable, non adhésif, non plastique, assez poreux, peu enraciné (radicelles), quelques coquilles, peu de calcaire en amas. Limite abrupte.

*Ap 12 - 12-22 cm.*

Idem que le précédent pour la couleur, texture plus lourde, « clay loam », massif, compact, peu dur, avec des gravillons et graviers (silex, grès) de 1 cm de diamètre. Limite régulière distincte.

*B11 - 22-44 cm.*

Sec, 10 YR 5/4 - Humide 10 YR 4/4, avec plages de 10 YR 5/6, « clay loam », dur, peu adhésif, peu plastique, structure polyédrique moyenne faiblement développée, se débitant en petits granules, moyennement poreux, assez bonne activité biologique avec galeries de vers et coprolites, peu enraciné, radicelles en voie de décomposition, mycélium salin fin et peu abondant; peu de gravillons. Limite distincte régulière.

*B12 - 44-56 cm.*

Sec 10 YR 5/4 - humide 10 YR 5/4, « clay », dur adhésif, plastique, structure granulaire moyennement développée, assez poreux, quelques galeries à coprolites, concrétions calcaires dures arrondies, de 0,3 à 1 cm de diamètre, peu graveleux, grains avec enduit blanchâtre de calcaire. Limite régulière distincte.

*BC - 56-76 cm.*

Sec 10 YR 7.5/6, avec plages de 10 YR 4.5/3 associées aux galeries de vers, « silty clay loam », peu dur, adhésif, plastique, massif, peu poreux, galeries de vers de 0,5 cm de diamètre remplies de coprolites, assez de petites concrétions calcaires moins dures que celles de l'horizon précédent, parfois friables et amas de calcaire, quelques grains de sable foncé. Limite régulière distincte.

*C - 76-96 cm.*

Frais, couleur neutre et 10 YR 7.5/6 humide, « silty clay loam », peu dur, adhésif plastique, massif, peu poreux, fortement enrichi en calcaire sous forme d'amas blancs et isabelle durcis, souvent avec de petites concrétions au centre calcaire mélangé aux particules terreuses, enfin concrétions dures de diamètre allant jusqu'à 1 cm. Limite graduelle.

*CR - 96-116 cm.*

Marne altérée, brunaâtre, jaunâtre, verdâtre, riche ou gypse primaire, avec taches noires ferro-manganésifères et peu de concrétions calcaires de 0,8 cm de diamètre.

R - plus de 116 cm.

Marne miocène idem que précédent, mais moins altérée.

Description micromorphologique:

*Squelette.*

Il est dominé surtout par du quartz et de la calcite. Le premier de dimension moyenne de forme subangulaire à subarrondie et même arrondie (dans le Ap) le second aux formes et dimensions variables, quelques grains de dolomite disséminée dans le fond matriciel. En profondeur on retrouve des grains de glauconie, parfois altérés. Sur le profil de rares plagioclases et micas (surtout muscovite), et dans l'horizon Ap des grenats en nombre réduit ont été observés.

Les lithoreliques sont représentés par des fragments de silex (calcédoine), de quartzite et de calcaire, leur nombre réduit dans les horizons inférieurs, devient assez nombreux dans les parties moyenne et supérieure.

*Bioreliques.*

De nombreux tests (coquilles), souvent entiers, parfois en fragments (leur nombre augmente en profondeur) généralement curvilignes, sont disséminés au sein du fond matriciel. Quelques uns sont ferruginisés (imprégnation en « boules » ou uniforme dans toute la coquille), d'autres sont partiellement ou totalement silicifiés.

*Plasma.*

Le plasma est assez homogène et caractérisé par un fond cristallin jaune brun, avec des petites accumulations jaunes verdâtres plus ou moins diffuses dans les horizons inférieurs, et des concentrations allant de rouge vif à noir, peu nombreuses, réparties sur tout le profil, et quelques plages déficientes en calcite.

*Assemblage plasmique (structure).*

Le type caractéristique est le cristallomorphe avec des grains de calcite assez grands, bien que localement dans l'horizon Ap existent des séparations du type vo-skel-sépique. L'assemblage cristallomorphe semble masquer un assemblage sépique.

*Structure de base.*

Dans tout le profil plasma squelette vides, où la distribution relative est porphyrosquélique. De plus elle est associée dans le Ap11 à celle du type interxtique.

*Vides.*

La répartition est variable suivant la partie du profil considérée. L'horizon CR11 est caractérisé par des macrovésicules, des fentes déviées, quelques vides de tassement composés de rares cavités régulières et chenaux.

Les horizons sus-jacents et ce jusqu'à l'Ap sont dominés par des chenaux et des fentes déviées et désordonnées associées à des chambres, des orthocavités régulières, assez de vésicules. Il est à remarquer que le nombre de fentes déviées (auxquelles sont associées en profondeur et localement des fentes désordonnées) augmente avec la profondeur. Les horizons Ap sous l'effet de la culture n'ont plus que des vides de tassement simples ou composés, de rares cavités, chenaux et vésicules.

*Matière organique.*

Le profil présente dans son ensemble deux types d'accumulation de matière organique:

— des débris végétaux partiellement décomposés (plasmifiés) associés aux vides.

— des amas noirâtres disséminés au sein du fond matriciel.

Il est à noter que le nombre des formations diminue graduellement avec la profondeur.

Dans les horizons Ap on retrouve aussi les masses jaunes (isotropes) complètement plasmifiées dans le fond matriciel.

*Traits pédologiques authigènes:*

Dans les parties basse et moyenne on observe des néocalcitanes et calcitanes associés aux vides, ces calcitanes aboutissent parfois à des cristallisations. Ils sont assez nombreux et parfois localisés autour des grains de calcite.

Dans l'horizon B on observe localement autour des chenaux et des fentes des néocutanes déficients en calcite.

*Nodules.*

Les calcitiques: de forme et dimension variables (cf. profils précédents) en nombre assez important et constant sur tout le profil. Certains intégrant des grains de quartz.

Les sesquioxydiques: sont assez nombreux, généralement petits à moyens, de couleur rouge vif à sombre et répartis sur tout le profil. En profondeur on retrouve ça et là des nodules plus grossiers.

*Papules.*

Elles sont le résultat de l'altération des glauconies, assez importantes surtout dans l'horizon C; elles présentent parfois des imprégnations de sesquioxydes.

*Cristallarias.*

Sont caractéristiques des horizons de la partie moyenne (BC, B, Ap12) et représentés par des cristallisations de cavités et des cristaux intercalaires de calcite avec un assemblage statistique.

Dans l'horizon CR cristaux intercalaires de gypse lenticulaire et cristallisations de cavités de gypse surtout granulaire, parfois lenticulaire.

Traits hérités:*Lithopédoreliques.*

Ce sont des reliques quartzeux ou calcitiques envahis par des sesquioxydes en distribution cutanique ou en imprégnations en « îles ».

*Conclusion.*

Les conséquences de la pédogenèse se manifestent par organisation du matériau pédologique dès CR11 (apparition des chenaux, des cavités), et la formation de cristallisations de calcite dans la partie moyenne du profil. La présence de nombreux lithoreliques dans les horizons supérieurs suggère un complément de colluvionnement lors de l'évolution du sol.

Le nombre de tubules assez bien répartis témoigne de l'activité biologique appréciable dans ce sol.

**B. 2ème Partie: Les formes de calcaire dans le sol.**

## LE CARBONATE DE CALCIUM DANS LES SOLS

Les formes de  $\text{CaCO}_3$  (calcite et ou aragonite) rencontrées sont très variées. On mentionnera en premier lieu les traits hérités des faunes et flore anciennes apparaissant sous forme de coquilles ou fragments de coquilles d'animaux marins (d'âge déterminé miocène moyen) ainsi que de tiges d'algues. La calcite quant à elle se présente sous de nombreuses formes.

## 1. COMPOSANTS DU SQUELETTE.

Ils sont formés de nombreux types de grains:

— grains très grossiers de forme définie polyédrique à contour très net (ces cristaux sont décrits sous la rubrique « squelette » de BREWER, 1964),

— grains de forme ellipsoïde observée dans l'horizon à calcaire pulvérent du profil 200 (Paleorthid),

— fragments de roche calcaire (décrits comme lithoreliques), de forme et dimension très variables.

## 2. COMPOSANTS DU PLASMA.

21 - *Le fond plasmique.*

Ce sont les cristaux et cristallites de calcite qui confèrent au plasma un assemblage cristallomorphe caractéristique des sols calcarifères.

Dans les sols à forte accumulation calcaire la calcite se présente sous forme de microcristaux dans la croûte et l'encroûtement calcaire du profil 200, dans l'encroûtement calcaire du profil 208 les cristaux sont de dimension variable et vont de microcristaux à des cristaux très grossiers. Dans les 3 horizons les microcristaux sont ovoïdes et occupent la presque totalité du fond matriciel. On retrouve le même caractère mais moins accentué dans l'horizon B11 du profil 38. Dans le profil 61 les cristaux sont moyens de forme polyédrique à subarrondie. Dans tous les sols autres que ceux à croûte ou encroûtement calcaire, caractérisés par un assemblage plasmique cristallomorphe, la calcite coexiste avec les autres composants tels sesquioxydes, argile.

22 - *Les nodules.*

Plusieurs types ont été reconnus:

— nodules de forme ovoïde ou elliptique à très fins cristaux ayant une forme plus ou moins arrondie (ellipsoïde) et peuvent inclure des imprégnations de fer en plages ou ponctuations. Certains ferri-argillanes et accumulations diffuses du fer ont été observés autour des nodules.

— nodules de même forme mais à grains plus grossiers (cristaux rhomboédriques).

— nodules à grains grossiers de forme variable avec ou sans imprégnations de sesquioxydes.

— nodules arrondis à cristallites avec imprégnations de fer sur toute la surface.

— nodules complexes avec inclusions de quartz (« soil nodule »).

— masse nodulaire à contour diffus constituée de cristallites.

23 - *Les concrétions.*

Elles se présentent avec imprégnations de matière organique ou manganèse sur toute la surface. Certaines sont allongées et mamelonnées probablement suite à un transport.

24 - *Les cutanes.*

Ce sont surtout des néocalcitanes ou calcitanes simples ou composés (organo-calcitanes).

Dans certains cas (sols de montagne) ce sont des calcitanes avec calcite en aiguilles.

25 - *Les cristallisations (cristallarias).*

On distingue des:

- cristallisations de vides surtout de calcite en aiguilles.
- cristallisations de vides de calcite de forme plus ou moins rhomboédrique.
- cristallisations intercalaires de calcite de forme rhomboédrique.

## 3. CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DES HORIZONS D'ACCUMULATION DE CALCAIRE.

31 - *Les encroûtement: horizons Cca.*

Le plasma est généralement microcristallin, de couleur pâle. Les horizons à granules et nodules se caractérisent surtout par des nodules et sont formés surtout de grains ovoïdes ou de très petits cristaux.

Les accumulations en amas sont caractérisées par des taches nodulaires à grains ovoïdes et à couleur diffus.

Le calcaire pulvérulent (profil 200) apparaît comme une masse nodulaire hétérogène, l'ensemble est à grains très fins avec cependant d'assez grandes plages de forme irrégulière constituées de grains très grossiers. L'encroûtement du profil 208 est caractérisé surtout par de la calcite en aiguilles en réseau cellulaire (filet) et avec un assemblage plasmique cristallomorphe.

Les horizons recalcarifiés de surface ont comme particularité la présence de gros grains de calcite.

32 - *L'horizon pétrocalcique.*

L'observation de deux lames et d'une « mammoth » semble dégager les caractéristiques communes suivantes:

- une grande masse nodulaire à grains très fin, forme l'ensemble.
- la couleur généralement brun clair devient plus foncée par endroits suite à des invasions « colloïdales » du complexe argilo-organo-ferrique.
- la présence de cristallisations authigènes de calcite en aiguilles (lublinite).

## 4. TRAITS PÉDOLOGIQUES DOMINANTS DANS LES DIFFÉRENTS TYPES D'HORIZONS CCA.

Bien que dans chaque horizon à accumulation de calcaire la calcite ait été observée sous la forme de nombreux traits pédologiques (lithoreliques, globules, cristallarias, traits cutaniques), nous donnons les traits qui semblent dominants pour chaque accumulation.

Ainsi compte tenu des observations micro et macromorphologiques il apparaît que:

— les nodules correspondent aux concrétions, granules et amas endurecis, les lithoreliques à des grains de sable, les haloglébules aux taches, les cristallarias et calcitanes aux galeries et mycelium.

##### 5. OBSERVATION AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE.

Des échantillons de différentes individualisations de calcaire ont été observés au microscope électronique à balayage pour tenter de trouver une forme de cristallisation de calcite propre à chaque individualisation. Les photographies données permettent les constatations suivantes:

— les amas sont caractérisés par des cristaux hypidiomorphes (grains à forme tendance polyédrique ou prismatique).

— les concrétions sont formées de cristaux idiomorphes et hypodiorphes (grains de forme polyédrique ou à tendance polyédrique).

— l'encroûtement de calcaire pulvérulent sous jacent à la croûte est caractérisé par des grains allotriomorphes arrondis conférant à l'ensemble un aspect spongieux. Chaque grain est formé par un amas de cryptocristaux.

— l'encroûtement calcaire de nappe est caractérisé par un enchevêtrement de cristaux aciculaires déjà observés au microscope polarisant. Ces aiguilles coexistent avec des grains allotriomorphes (peu individualisés) groupés en agrégats de forme variable.

— la croûte dure présente de fins grains idiomorphes de forme prismatiques et des granules arrondis.

— la zone lamellaire (pellicule rubanée) est caractérisée par des grains idiomorphes de dimension variable mais à forme polyédrique nette.

De ces constatations il en ressort que les grains à haut degré de cristallisation (idiomorphes) sont observés dans la pellicule rubanée et coexistent avec des grains à degré de cristallinité intermédiaire dans la croûte dure, l'encroûtement de nappe et les concrétions. Ce degré de cristallinité diminue dans les amas et devient très faible dans l'encroûtement sous-jacent à la croûte.

##### 6. FORMATION DE DIFFÉRENTS TYPES DE GRAINS DE CALCITE.

Les mécanismes de formation de ces différentes formes de grains seraient les suivants:

L'hypothèse de KUBIENA K. (1938) qui explique la formation des grains de forme arrondie par la précipitation du calcaire à partir de solution contenant du bicarbonate dissout, cette précipitation se ferait suite à l'évaporation semble acceptable.

Toujours d'après KUBIENA K. (1938) les cristallisations en aiguilles seraient obtenues à partir de solutions faiblement saturées et sous des pH légèrement

acides à neutres. Mais cette règle ne peut s'appliquer aux sols étudiée car la calcite en aiguilles a été observée dans les sols à pH 7,5 et dans des horizons à très forte accumulation de calcaire (croûte, calcaire du profil 200). Sa présence dans les sols à encroûtement de nappe (profil 208), et dans les sols à croûte calcaire (profil 200) suggère une cristallisation dans des milieux caractérisés par une certaine hydromorphie. Ces cristaux seraient obtenus par cristallisation sous l'effet d'une évaporation à partir de solution saturée.

La forme grumeleuse des grains du « calcaire pulvérulent » (profil 200) serait due à une précipitation rapide à partir d'un milieu sursaturé. Les cristaux bien développés polyédriques grossiers à angles arrondis de la croûte lamellaire seraient des recristallisations à partir de solutions ayant dissout du calcaire de la croûte dure sous-jacente ceci a été déjà signalé par GILLE L. H., PETERSON F. F., GROSSMAN R. R. (1966).

Avec l'étude des différentes formes de calcite en fonction du type d'individualisations, on note une certaine évolution qui commence par les néocutanes pour arriver à la K-fabric de GILLE L. H., PETERSON F. F. et GROSSMAN R. R. (1965) en passant par les haloglébules. Ces phénomènes se traduisant sur le terrain par une succession d'individualisations allant des mycélium, taches aux croûtes calcaires en passant par les amas, granules et nodules. Les mécanismes de formation de ces différentes individualisations seront étudiés dans le paragraphe suivant.

## 7. FORMATION DES ACCUMULATIONS CALCAIRES.

### 71 - *L'origine du calcaire.*

Dans la région de Souk Ouled Nadja, les monts du Hodna formés de roches très calcarifères (calcaires, dolomies, grès à ciment calcaire, marnes), à pente très forte, situés en amont, forment une source d'alimentation en calcaire pour les eaux de pluie, ceci pourrait expliquer les apports massifs ayant servi à la formation des croûtes et encroûtements. Quand aux concrétions, amas et taches, un lessivage de calcaire des horizons supérieurs suffirait à former des individualisations.

### 72 - *La migration du calcaire.*

Il est généralement admis que sous l'action du  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère et l'action des composés organiques, le  $\text{CaCO}_3$ , est solubilisé dans l'eau sous forme de bicarbonate et transporté ainsi à travers les horizons du sol.

Pour BOULAINÉ J. (1957) les processus de lessivage du calcaire sont plus que rudimentaires, en plus de phénomènes chimiques de dissolution par le  $\text{CO}_2$  sous forme de bicarbonate, la migration doit surtout être due à l'existence de composés organiques complexes formés probablement par la transformation de la matière organique du sol par la chaleur des étés méditerranéens

et en milieu neutre ou légèrement alcalin de plus il est à signaler que la présence de complexes calciorganiques a été mise en évidence dans des sols sodiques par M. J. NIGHTINGALE et R. SMITH (1967). Dans des sols recalcarifiés du Hodna la présence de nombreux lithoreliques calcitiques amène à considérer aussi le transport du calcaire sous forme de particules solides (grains de calcite, fragments de roches) par les eaux de ruissellement qui formeraient en quelque sorte un « calcaire de colluvionnement ».

### 73 - *Formation des individualisations.*

#### 731 - *Le mycelium.*

Cette accumulation est caractérisée par des néocalcitanes en lame mince, ceux-ci se formeraient comme le signale BREWER (1964) par cristallisation à partir de solution suite à une diffusion à travers le sol vers les vides, l'eau s'évaporant il y a individualisation du calcaire.

Ceci se comprend facilement au Hodna lorsqu'on sait que le sol après les pluies hivernales et printanières subit la sécheresse accentuée de l'été.

#### 732 - *Les taches amas granules to concrétions.*

Ces individualisations sont représentées en lame mince surtout par des nodules et des taches nodulaires (haloglébules), qui sont dus à la précipitation de la calcite et dont la formation s'expliquerait par « la loi générale de nucléation et de croissance des cristaux » (KUBIENA, 1938) ce qui correspond à « l'accrétion » de BREWER (1964). La présence de ces types d'individualisation dans la partie moyenne du profil peut s'expliquer par l'existence d'une zone d'évaporation qui dépend du climat local et des propriétés physiques (perméabilité) du sol. La profondeur de cette zone a été calculée par K. ARLEY et J. A. RODNEY (1963). Cependant un rôle important est aussi à accorder à la zone d'enracinement comme l'a noté TOLCHEI NIKOV (1962) pour qui l'accumulation de calcaire se fait « autour des racines suite à une absorption sélective des plantes à partir de la sécrétion du sol, ce qui entraîne une accumulation de l'excès de carbonates. Cette idée est partagée par de nombreux auteurs dont J. BOULAIN (1957) qui fait aussi intervenir « les phénomènes d'oxydoréduction au niveau des racines ».

#### 733 - *Les encroûtements.*

##### 7331 - *L'encroûtement à calcaire pulvérulent.*

Il est caractérisé en lame mince par la K-fabric de L. H. GILE, F. F. GROSSMAN et R. R. PETERSON (1965), avec des microcristaux de calcite et des macrocristaux. Au microscope électronique à balayage la présence d'agrégats de grains de forme irrégulière constitués de cryptocristaux leur donnant un aspect amorphe qui suggère une formation rapide à partir d'un milieu sursaturé (« boue calcaire »).

7332 - *L'encroûtement de nappe.*

Sa caractéristique particulière est la forme de cristaux de calcite en aiguilles coexistant avec les formes habituelles que l'on retrouve dans les concrétions, taches, amas, etc....

La présence de calcite en aiguilles semble liée à certaines conditions d'hydromorphie. Aussi pouvons-nous avancer que cet encroûtement se forme à partir de solutions très saturées sous l'effet de battement de nappe.

734 - *Les croûtes.*

La formation de la croûte est en rapport avec une accumulation de plus en plus forte du calcaire.

L'eau qui pénètre de plus en plus difficilement sur cette croûte dure ruisselle, peut reprendre du calcaire de la croûte qu'elle dépose en s'évaporant, c'est la formation de la « pellicule rubanée ».

## BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, G., 1965 - *La classification pédologique utilisée en France.* 3ème Symp. Intern. de pédologie sur la classification des sols, Gand, pp. 22-56.
- ARKLEY, R. J. and RODNEY, J. A., 1963 - *Calculation of carbonate and water movement in soil from climatic data.* Soil Sci., Vol. 96, pp. 239-248.
- BLOKHUIS, W. A., PAPE, T. H. and SLAGER, S., 1968-1969 - *Morphology and distribution of Pédogenetic carbonate in some Vertisols of the Soudan.* Geoderma, n. 2, pp. 249-263.
- BOULAINÉ, J., 1957 - *Étude des sols des plaines du Chélib.* Thèse de doctorat Univ. d'Alger, 582 p.
- BOULAINÉ, J., 1961 - *Les facteurs de formation des sols méditerranéens.* Sols Africains, Vol. VI, n. 2-3, pp. 249-263.
- BOULAINÉ, J., 1961 - *Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes.* C. R. Acad. des Sci., T 253, pp. 2568-2570.
- BOULAINÉ, J., 1966 - *Sur les relations entre les carapaces calcaires et les sols isohumiques de climat xérotérique.* Science du Sol, pp. 3-14.
- BREWER, R., 1964 - *Fabric and mineral analysis of soils.* John Wiley and Sons Inc., New York, London, Sydney, 470 p.
- DURAND, J. H., 1953 - *Étude géologique, hydrologique et pédologique des croûtes en Algérie.* Serv. Etud. Sci., 209 p.
- DURAND, J. H., 1954 - *Les sols d'Algérie.* Serv. Etud. Sci., Pédol., n. 2, 244 p.
- DURAND, J. H., 1956 - *Les croûtes calcaires S.L. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la bio-rhexistasis.* Serv. Etud. Sci., Pédol. et Agrol., 24 p.
- DURAND, J. H., 1959 - *Les sols rouges et les croûtes en Algérie.* Serv. Etud. Sci., Pédol., n. 7, 188 p.
- DURAND, J. H., 1963 - *Les croûtes calcaires gypseuses en Algérie, formation et âge.* Bull. Soc. Géol. Fr., T. V, pp. 959-968.
- GAUCHER, G., 1948 - *Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine.* C. R. Acad. Sci., t. 227, pp. 154-156.

- GILE, L. H., 1961 - *A classification of Ca horizons in soils of a desert region Dona-Ana County, New Mexico*. Soil Sci. Am. Proc., n. 25, pp. 52-61.
- GILE, L. H., PETERSON, F. F. and GROSSMAN, R. R., 1965 - *The K horizon: a Master horizon of carbonate accumulation*. Soil Sci., vol. 99, n. 2, pp. 74-89.
- GILE, L. H., PETERSON, F. F. and GROSSMAN, R. R., 1966 - *Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils*. Soil Sci., vol. 101, n. 5, pp. 347-360.
- GUIRAUD, R., 1969 - *Carte géologique du bassin du Hodna au 1/200 000e*.
- HARPER, W. G., 1957 - *Morphology and Genesis of Calcisols*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., vol. 97, n. 6, pp. 420-424.
- LARUELLE, J., 1965 - *Notes on soil micromorphology*. Non publié, Univ. Gand.
- LE HOUEIROU, H. N., 1968 - *Carte phytocéologique du Hodna, feuille au 1/50 000e de Souk Ouled Nadja*.
- NIGHTINGALE, H. I. and SMITH, R. L., 1967 - *Evidence for the presence of calcium organic complexes in sodic soils*. Soil Sci., 103, n. 4, pp. 261-264.
- RUPELLAN, A., BAUDET, MAURER, 1967 - *Le quaternaire marocain, observations et hypothèses nouvelles*. Rev. de Géogr. phys. et Géol. dyn., vol. IX, fasc. 4, pp. 269-310.
- RUPELLAN, A., 1970 - *Individualisation et accumulation du calcaire dans les et les dépôts quaternaires du Maroc*. Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. V, n. 4, pp. 421-459.
- RUPELLAN, A., 1968 - *Les horizons d'individualisations et d'accumulations du calcaire dans les sols du Maroc*. 9e Congr. Int. Sci. Sols, Adelaïde, IV, pp. 501-510.
- RUPELLAN, A., 1970 - *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya*. Thèse de doctorat, Univ. de Strasbourg, 482 p.
- S.E.S. (Service des Etudes Scientifiques) - *Modifications apportées à la classification des sols utilisée par le département d'Agropédologie du S.E.S.* Alger. Non publié.
- Soil Survey Staff, 1951 - *Soil Survey Manual*. U.S.D.A. Handbook n. 18, 503 p.
- Soil Survey Staff, 1960 - *Soil Classification - A comprehensive System - 7th Approximation*. U.S.D.A. Washington, 265 p.
- Soil Survey Staff, 1967 - *Supplément to soil classification - 7th approximation*. U.S.D.A., Washington, 207 p.
- Soil Survey Staff, 1970 - *Soil Taxonomy*. U.S.D.A., Washington.
- STOOPS, G., 1969 - *Notes provisoires de micromorphologie du sol*. Non publié, Univ. de Gand.
- TAVERNIER, R., 1967 - *Cours de classification des sols*. Donné à l'Inst. de Géol. de l'Univ. de Gand. Non publié.
- TOLCHEL'NIKOV, Yv. S., 1962 - *Calcium surface and carbonate néoformations in sandy desert soils*. Soviet Soil Sci., pp. 643-650.