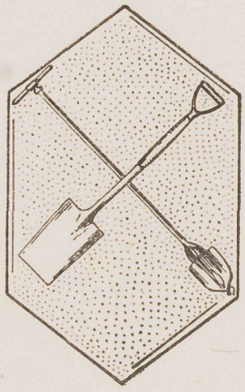
TRAVAUX DES SECTIONS PEDOLOGIE ET AGROLOGIE

Bulletin n° 2 - 1956

Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la Bio-Rhexistasie

par

J.H. DURAND
Ingénieur-Docteur



GOUVERNEMENT GENERAL DE L'ALGERIE
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT RURAL

SERVICE DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES
Etude Générale N° 4
Clairbois - BIRMANDREIS
(Banlieue d'Alger)
1957

ISRIC LIBRARY
DZ - 1957.05
.05
Wageningen
The Netherlands

TRAVAUX DES SECTIONS PEDOLOGIE ET AGROLOGIE

Bulletin n° 2 - 1956

ISRIC LIBRARY
D2
57.05
Wageningen, The Netherlands

Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la Bio-Rhexistasie

par

J.H. DURAND
Ingénieur-Docteur

Scanned from original by ISRIC – World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

GOUVERNEMENT GENERAL DE L'ALGERIE
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT RURAL

SERVICE DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES
Etude Générale N° 4
Clairbois - BIRMANDREIS
(Banlieue d'Alger)
1957

238

Les travaux des Sections Pédologie et Agrologie paraissent chaque année dans un Bulletin sous forme d'articles séparés. Les articles d'une année constituent un numéro du Bulletin

Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la Bio-Rhexistasie

INTRODUCTION

La théorie de la Bio-Rhexistasie d'ERHART est appelée à provoquer un certain changement dans les sciences de la terre. Définie à propos des latérites, elle peut s'appliquer à bien d'autres formations géologiques ou pédologiques et en particulier aux croûtes sensu-lato qui se rencontrent dans les pays méditerranéens.

La présente étude comprendra 3 parties ;

1°) rappel de la définition de la Bio-Rhexistasie et son application en Afrique du Nord ;

2°) les différents types de croûtes étudiés à la lumière de la Bio-Rhexistasie ;

3°) conséquences paléoclimatiques et autres de ces études.

I. — La Bio-Rhexistasie et son application à l'Afrique du Nord.

Le terme Bio-Rhexistasie a été créé par ERHART (7) par la contraction de deux termes, Biostasie et Rhexistasie qui servent à désigner deux états des conditions des sols. La Biostasie est l'état d'équilibre atteint par le sol, la végétation et le climat quand le sol porte depuis longtemps une forêt ayant atteint son plein développement. La Rhexistasie est l'état qui suit la Biostasie lorsque l'équilibre existant est détruit pour une raison ou pour une autre. L'histoire des sols est étroitement liée à la succession de ces deux états.

ERHART est arrivé à cette conception par l'observation de la répartition des forêts denses sur le globe et des sols qui les supportent.

Actuellement, le globe terrestre offre des aspects variés et une succession de paysages qui, du pôle Nord vers l'Equateur, peut être schématisée de la façon suivante :

régions arctiques sans végétation,
toundra,
forêt nordique,
zone mixte prairie, forêt des régions tempérées,
steppes péridésertiques,
désert sans végétation,
prairies et forêt tropicales à feuilles caduques,
forêt vierge équatoriale.

Cette succession, inversée, se rencontre vers le pôle Sud.

Si dans l'ensemble, la forêt compacte occupe des surfaces relativement réduites, c'est l'homme qui en est en grande partie responsable. En effet, les prairies tropicales sont presque partout une conséquence de la destruction de la forêt ; la naissance et l'extension des déserts sont souvent favorisés par l'homme ; de même dans les régions tempérées il est possible de dire que si l'homme ne s'était pas manifesté, dans le passé, un épais manteau forestier recouvrirait les trois quarts du domaine continental. Les gisements de charbons et les nombreux fossiles végétaux permettent de penser que dans le passé géologique de la terre des paysages de forêts compactes existaient et présentaient une extension probablement plus importante qu'actuellement.

L'étude des phénomènes de latéritisation sous les forêts tropicales a montré que l'altération pédogenétique des roches cristallines silicatées alumineuses conduit à des argiles latéritiques ou à des allites composées essentiellement de quartz, de kaolinite, d'hydroxyde de fer et d'hydroxyde d'alumine. Ils constituent les minéraux résiduels ou « phase résiduelle » de la pédogenèse. Au contraire, toutes les bases alcalines ou alcalino-terreuses (Na, K, Ca, Mg) ainsi que la silice des silicates autres que la kaolinite sont exportées et constituent la « phase migratrice » soluble. L'épaisseur des profils de latérite forestière sur roches silicatées alumineuses, peut atteindre 50 à 100 m, ce qui montre l'ampleur que peut prendre ce phénomène. Les forêts qui se forment sur des calcaires ou des dolomies, beaucoup plus altérables que les silicates primaires, ont dû dissoudre de très grandes épaisseurs de ces roches au cours de la pédogenèse d'une période géologique. L'importance relative des phases résiduelles et migratrices dépend, évidemment, de la pureté des couches géologiques intéressées par la pédogenèse.

De ces constatations, il résulte que la forêt joue un rôle géochimique très important, celui de séparer nettement la phase migratrice soluble de la pédogenèse des minéraux qui composent la phase résiduelle. C'est un rôle séparateur qui peut être mis en évidence par l'observation des transports solides des rivières.

Ces transports sont très importants dans les régions déboisées et très faibles dans les zones forestières.

Dans les massifs forestiers, il se produit donc une dissolution intense des matériaux de la phase migratrice qui se sépare ainsi de la phase résiduelle. A partir d'un massif forestier, la seule sédimentation possible est donc une sédimentation chimique avec ou sans fixation biologique. Ce n'est qu'avec la disparition de la forêt que la sédimentation détritique peut se produire.

Cette disparition de la forêt peut, en dehors de l'intervention humaine, être due à plusieurs causes : changements de climat importants plus ou moins brusques, refroidissement, échauffement ou sécheresse, actions volcaniques, etc. Ces changements agissent sur un équilibre biologique ancien, conséquence d'une très grande stabilité générale de la portion du globe considéré dans laquelle la forêt avait atteint son développement complet, son « climax ».

Cette rupture d'équilibre est désignée par ERHART sous le terme *Rhexistasie,* la période stable qui la précède, caractérisée par un équilibre biologique stable étant désignée par le terme *Biostasie.* Ce sont les alternances de biostasie et de rhexistasie qui permettraient d'expliquer les différences de sédimentation au cours des périodes géologiques.

En Algérie et plus généralement en Afrique du Nord, la pédogenèse s'exerce sur des roches en général carbonatées et souvent salifères telles que les marnes, les calcaires ou les grès. La phase migratrice soluble de la pédogenèse sera donc essentiellement composée de bases alcalines ou alcalino-terreuses qui formeront des dépôts calcaires ou gypso-salins. D'autre part, à l'époque actuelle, le climat de cette région subit des variations saisonnières très importantes : pluies d'hiver souvent abondantes et violentes, sécheresse quasi absolue l'été, il en résulte des phénomènes d'érosion importants montrant nettement, par les transports solides des rivières, les différences qui existent entre les zones boisées et les zones déboisées et par conséquent, le rôle de filtre séparateur des forêts. Le tableau n° 1 illustre clairement ces dernières données. Il montre en effet, que les rivières ayant des bassins versants boisés ont de faibles transports solides unitaires (exprimés en tonnes par millions de m^3) tandis que celles dont le bassin versant est déboisé ont de très forts transports solides.

Des différences peuvent exister lorsque les roches qui constituent les bassins versants sont différentes. Par exemple, les transports solides du Guir sont relativement plus faibles que ceux de l'Oued Isser parce que le bassin versant du Guir est constitué de roches dures, alors que celui de l'Oued Isser comprend surtout des marnes.

TABLEAU N° 1

Transports solides de quelques rivières d'Algérie à bassins versants différemment boisés

Année 1954-56 (1)

STATION	Superf. du B.V. en km²	Pluie en mm.	Débit total annuel en hm³	Hauteur d'eau écoulée en mm.	Transports solides totaux en t.	Transports en t. par Hm³	Etat du boisement du B.V.
GUIR - DJORF TORBA	21.530	—	173	—	1.692 x 10^3	9.800	Totalement déboisé.
TAFNA - Pierre du Chat	6.900	575	477	69	1.940 x 10^3	4.100	Déboisé.
YSSER - MONTAGNAC	1.860	588	133	72	433 x 10^3	3.250	Déboisé.
CHOULY - Pont RN 7	178	669	26	148	8 x 10^3	310	Assez boisé.
MEKERRA - CHANZY	1.850	454	24	13	52 x 10^3	2.200	Assez déboisé.
EL HAMMAM - Trois rivières	7.605	460	159	21	76 x 10^3	480	Assez boisé.
MINA - UZES-LE-DUC	5.460	497	331	61	2.168 x 10^3	6.500	Déboisé.
TAHT - KEF MABOULA	680	546	37	54	93 x 10^3	2.540	Assez déboisé.
MAZAFRAN - Fer à cheval	1.850	639	240	130	1.039 x 10^3	4.330	Déboisé.
ISSER - PALESTRO	3.595	397	156	43	2.635 x 10^3	16.900	Déboisé.
- Pt de la Traille	2.570	384	114	44	1.818 x 10^3	16.000	Déboisé.
LEHAM - A. NESSISSA	470	254	11	24	1.088 x 10^3	95.500	Totalement déboisé.
- Pt de la Rocade	5.460	270	30	6	564 x 10^3	18.520	Totalement déboisé.
SEBAOU - BELLOUA	1.512	980	390	258	261 x 10^3	670	Boisé.
AISSI - Pt. R.N. 12	466	1.068	119	255	29 x 10^3	240	Boisé.
SOUMMAM - SIDI-AÏCH	8.460	430	214	25	3.420 x 10^3	16.000	Déboisé.
EL-HAÏ - EL-KANTARA	1.125	306	13	11	179 x 10^3	14.250	Déboisé.
KEBIR W. - Pt. R.N. 44	1.120	678	162	145	112 x 10^3	690	Assez boisé.
BOU-HAMDANE - MEDJEZ-AMAR	1.165	587	40	34	9 x 10^3	230	Boisé.
CHERF - MEDJEZ-AMAR	2.845	512	64	22	419 x 10^3	6.560	Déboisé.
MELLAH - DUVIVIER	545	732	97	177	96 x 10^3	990	Très boisé.
SEYBOUSE - BOUDAROUA	5.488	575	222	40	369 x 10^3	1.670	Assez boisé.
MEDJERDAH - SOUK-AHRAS	220	603	38	173	51 x 10^3	1.350	Déboisé.
BOU-NAMOUSSA - LA CHEFFIA	575	863	128	223	84 x 10^3	660	Très boisé.
KEBIR E. - YUSUF	665	1.186	259	389	481 x 10^3	1.860	Boisé.

II. — Les différents types de croûtes et leur mode de formation.

Le terme croûte a été utilisé pour désigner toutes les formations blanchâtres calcaires ou non, continues ou sporadiques d'origine récente. J'ai montré (5) que ce mot était employé d'une manière abusive et qu'il fallait distinguer :

la croûte zonaire, croûte travertineuse calcaire, à structure zonée, très dure, de couleur allant du blanc au saumon. Toujours mince, elle ne dépasse jamais une dizaine de cm, elle masque de nombreuses roches en Afrique du Nord ;

l'encroûtement, formation dure d'allure plus ou moins scoriacée, se présentant sous l'aspect d'un grès. L'encroûtement peut être calcaire, gypseux ou salin ;

les racines pétrifiées, formations calcaires ou gypseuses dures, entourant les racines de végétaux divers. Elles sont parfois confondues avec les fulgurites ;

le calcaire pulvérulent, formation calcaire tendre, crayeuse, blanchâtre très riche en carbonate de chaux. Des couches de sulfate de chaux plus ou moins hydraté peuvent se rapprocher de ces formations par leur aspect macroscopique, elles sont, pour plus de commodité, appelées gypses pulvérulents bien qu'elles puissent ne contenir que peu de sulfate de chaux à deux molécules d'eau ;

les nodules concrétionnés qui présentent l'aspect des poupées du loess mais sont plus petits et les nodules farineux calcaires formés d'amas de calcaire pulvérulent au milieu de sédiments limoneux divers ;

le vernis désertique ;
les tufs et travertins.

Il ne sera pas question dans cette note des nodules concrétionnés, du vernis désertique et des tufs et travertins qui n'ont pratiquement aucun rapport avec les phénomènes de la biorhexistasie.

La croûte zonaire.

Cette croûte se présente sous l'aspect de lames calcaires, travertineuses, très dures à allure sublithographique. Sa cassure est rubanée, formée par la superposition de lits alternativement clairs et colorés, disposés en général suivant une direction subhorizontale. Le plus souvent, elle passe vers le bas à une partie plus tendre non litée mais elle se rencontre aussi sur des conglomérats ou des roches dures.

En lame mince, les préparations sont formées par une pâte de calcite cryptocristalline, jamais éteinte, à structure grumeleuse fréquemment pseudoolithique sur laquelle se superpose la structure zonée. Sa couleur est variable mais toujours dans les bruns. Les débris clastiques sont très rares et formés principalement de quartz fins ou très fins.

Il peut s'y trouver de la matière organique en plages ou diffuse. Les pseudoolithes se forment autour de débris divers. Des plages diffuses ou des filonnets de calcite bien cristallisés s'y rencontrent çà et là.

La croûte zonaire se rencontre soit en surface, formant le « desert pavement » des sols éoliens d'ablation, soit dans des horizons enterrés de sols calciques ou calcaires. La roche qu'elle recouvre peut être un limon calcaire, un calcaire tendre, des conglomérats ou des roches dures. Les gisements se trouvent toujours au voisinage de formations calcifères, sur des pentes moyennes ou faibles, jamais dans les bas-fonds ou sur les pentes abruptes.

L'étude des minéraux lourds des horizons qui surmontent la croûte zonaire, de la croûte zonaire et des horizons sous-jacents a montré que les associations minérales étaient très différentes ce qui prouve que la croûte zonaire s'est constituée indépendamment des formations qui l'encadrent.

Ces divers faits d'observation doivent être expliqués par le mode de formation de cette croûte.

La pauvreté en débris clastiques montre que la croûte zonaire s'est formée à l'air libre et non dans un sédiment en place, sinon il s'y rencontrerait de nombreux éléments de ce sédiment, or cette croûte contient au moins 75 % de carbonate de chaux. Si des poussières éoliennes avaient pu être amenées en même temps que se formait la croûte, elles s'y trouveraient en grandes quantités, le climat ne favorisait donc pas ce mode d'érosion.

Une substitution de la silice par du calcaire, voisine du phénomène inverse qui se produit dans la génèse des silex de la craie est difficile à imaginer ici, le calcaire ayant à remplacer un corps bien moins soluble que lui.

La structure zonée parallèle à la surface topographique est très certainement liée à une circulation d'eau, mais tandis que dans les travertins elle se résoud au microscope en une alternance de zones calcaires cristallines, cette zonation ne fait, dans les croûtes zonaires, que se superposer à une structure grumeleuse cryptocristalline due à un dépôt rapide du calcaire dont les éléments se déposent une fois pour toute, sans possibilité d'accroissement ultérieur. Cette croûte n'est pas due à un dépôt d'interface comme les « entartrements » des conduites d'eau, ceux-ci produisent des dépôts bien cristallisés nourris par des apports incessants de calcaire dissout dans les eaux qui circulent dans les conduites (photo n° 1 à 3).

Toutes ces constatations conduisent à l'hypothèse suivante :

la croûte zonaire se forme par le dépôt du calcaire précipité au sein d'une nappe d'eau, chargée de bicarbonate de chaux, ruisselant en nappe sur des pentes douces sur lesquelles elle peut s'étaler en favorisant l'évasion du gaz carbonique d'équilibre indispensable au maintien en solution du bicarbonate de chaux. Ce ruissellement a dû être intermittent, permettant ainsi aux « feuillets » de croûte, de durcir par exposition à l'air. Dans ce même temps, la masse calcaire pouvait se briser en polygones par dessication et retrait, donner des « dalles », prêtes, lors d'un nouveau ruissellement en nappe, à se recouvrir d'un feuillet calcaire supplémentaire épousant les irrégularités de la surface, et contournant les angles de ces dalles calcaires déjà formées. donnant parfois à la cassure un aspect enveloppant.

Ce mode de formation correspondrait à un climat à allure tropicale, à pluies abondantes, suivies de courtes périodes sèches à température élevée, favorable à la végétation forestière et, par conséquent défavorable à l'érosion éolienne, tout à fait différent du climat actuel de l'Afrique du Nord.

La mobilisation du calcaire pourrait être attribuée à sa dissolution par l'eau de pluie, froide, chargée de gaz carbonique, au moment de son contact avec des roches calcifères. Ce mode de formation est peu probable car la teneur en gaz carbonique de l'eau de pluie est relativement faible, elle n'explique pas les teneurs importantes en calcaire des eaux souterraines d'Algérie. L'intervention d'acides organiques produits par la végétation puis dissous par l'eau percolant dans le sol est, contrairement à mes premières hypothèses (5), bien plus probable. Le tableau n° 2 donne les teneurs en gaz carbonique libre de quelques eaux de pluies recueillies à BIRMANDREIS pendant l'hiver 1955-56, la teneur en calcaire qui y correspondrait sans autre source de CO_2 et la teneur en calcaire de quelques eaux souterraines citées à titre de comparaison.

La faible épaisseur des croûtes zonaires (10 à 15 cm), montre que leur formation ne s'est pas poursuivie longtemps. Leur fréquence sur les calcaires pulvérulents prouve qu'elle leur a succédé. Il est probable que ces croûtes se sont formées au cours d'une période de rhexistasie due à un changement de climat, un assèchement laissant à nu des roches auparavant couvertes d'eau sur lesquelles ont ruisselé les eaux.

Dans cette hypothèse, le calcaire se serait dissout sous une forêt dense grâce aux eaux de percolation chargées d'acides et surtout de gaz carbonique, circulant vers le bas-fond. A un moment donné, ces eaux seraient venues à l'air libre et auraient ruisselé sur les dépôts de la période de biostasie précédente.

Les croûtes zonaires seraient donc des dépôts d'émergence comme GAUCHER (8) l'avait déjà supposé. Ceci n'empêche pas que des débris arrachés aux roches qui les dominent, puissent s'y rencontrer. C'est ainsi que des globigérines ont été trouvées dans des croûtes des environs de MARNIA (5). C'est aussi ce qui peut expliquer que ces croûtes sont très fréquentes à partir des changements de pente des montagnes. Le schéma de la figure n° 1 illustre ce mode de formation.

TABLEAU N° 2

Teneurs en $C0_2$ libre de quelques eaux de pluies tombées à Birmandreis comparées au $C0_3$ combiné d'eaux souterraines

Origine de l'eau	TENEUR EN MILLIGRAMMES PAR LITRES											
	CO_2 libre	Quantité max. correspondante de		Teneur hypothétique en CO_3 Ca	Ca	Mg	Na	Cl	SO_4	CO_3 comb.	R.S.	dh.
		CO_3 Ca dissout	CO_2 combiné									
Pluie 21-9-55	22.0	50.0	60.0									
14-11-55	1.1	2.5	3.0									
16-11-55	3.5	7.9	9.6									
6-1-56	9.4	21.4	25.7									
6 au 7-1-56	3.5	7.9	9.6									
7-1-56	3.5	7.9	9.6									
La Calle 414 E 13*				10	8	0.4	28	45	11	6	110	5
Kabylie 1192 E 8				345	138	34	32	50	67	248	605	50
Chrea 4091 E 7				165	66	23	9	21	57	115	272	25
Algerois 1839 E 7				296	174	40	142	362	100	178	1235	62
Setif 113 E 10				221	92	22	1	44	40	133	366	35
Terny 571 G 2				220	88	19	2	14	10	163	295	30
Tlemcen 14 G 2				172	69	29	2	14	12	160	270	30

* Ces numéros sont ceux du catalogue des points d'eau.

Le climat devenant encore plus sec, la forêt a disparu et l'érosion a mis à nu les montagnes tandis que la formation de la croûte zonaire cessait.

La croûte zonaire deviendrait ainsi le témoin du début d'une période de rhexistasie ; elle est due à un phénomène climatique, ce qui explique sa grande extension en Afrique du Nord, qui peut ne pas s'être produit au même moment dans tout le pays d'où les différents âges qui lui sont attribués.

Les encroûtements.

Les encroûtements peuvent être, en Afrique du Nord, de trois natures principales :

les encroûtements salins ;
les encroûtements gypseux ;
les encroûtements calcaires.

Les encroûtements salins sont bien connus, ils constituent les terrains salés des bas-fonds des régions arides, ils se forment par transport vers le haut de sels divers dissouts dans l'eau de nappes superficielles et dépôt par évaporation dans les horizons supérieurs du sol. Le transport peut être dû à la capillarité, à une certaine charge de la nappe ou à la combinaison des deux phénomènes auxquels peut s'ajouter un effet de thermodialyse (6). Le résultat est la formation d'un sédiment meuble imprégné de sels à l'état diffus et prenant de ce fait un certain nombre de propriétés particulières.

Les encroûtements gypseux se forment de la même façon, mais ils donnent en fin de compte un grès gypseux qui peut être très dur. Ces deux encroûtements ne demandent pour se former que la présence d'une nappe d'eau chargée en sels ou en gypse suffisamment proche de la surface pour subir les effets de l'évaporation, sous un climat assez sec pour que les sels déposés ne soient pas mobilisés après leur dépôt. Ce sont des formations de climat sec (photo n° 7).

Les encroûtements calcaires diffèrent des deux premiers parce que le calcaire a besoin, pour se dissoudre, d'une certaine quantité de gaz carbonique d'équilibre. Ils se présentent sous l'aspect des grès calcaires durs parfois scoriacés. Comme pour les croûtes zonaires, la mobilisation du calcaire demande, pour se produire l'intervention d'acides végétaux qui peuvent être fournis par des forêts, par des prairies ou par des cultures. Ils se forment au-dessus des nappes dans la zone d'aération d'où le gaz carbonique peut s'évader, jamais à la surface du sol. C'est ce qui explique que ces encroûtements ne se forment pas, actuellement, dans les régions arides d'Afrique du Nord, mais seulement dans les zones où peut subsister une certaine végétation et où la culture est possible, d'où leur localisation sur les côtes (photo n° 6).

Ce n'est donc pas un phénomène purement climatique, mais un phénomène mixte indicateur d'un climat encore suffisamment humide pour que la végétation et même la forêt puissent prendre un développement suffisant, et de la présence d'une nappe au moment de leur formation.

Les racines pétrifiées ont la même signification que les encroûtements ayant la même composition qu'elles avec cette réserve qu'il n'existe pas de racines salifiées.

Les formations pulvérulentes.

Ces formations sont de trois natures principales :

les calcaires pulvérulents ;
les gypses pulvérulents ;
les dépôts salins.

Les calcaires pulvérulents sont très abondants en Afrique du Nord, ils se rencontrent surtout dans les hautes plaines dont ils occupent les parties basses. Ils se rencontrent alors sous le sol actuel de la région et peuvent former de grandes masses dont l'épaisseur peut atteindre, localement, 30 m.

En lame mince, ils se présentent sous l'aspect d'une pâte cryptocristalline jamais éteinte, de couleur allant du gris au brun verdâtre, contenant peu ou très peu d'éléments clastiques,

constitués surtout par des quartz fins. Il est possible d'y trouver des traces de matières organiques et des grains ferrugineux très rares. La structure est massive ou grumeleuse avec quelques filonnets de calcite bien cristallisée et des vacuoles tapissées de fins cristaux de ce même élément. Les minéraux lourds montrent que ces calcaires pulvérulents peuvent ne pas donner naissance au sol qui les surmonte et même, dans certains cas le sommet de ces calcaires peut avoir eu un bassin d'alimentation différent de celui des parties sous jacentes. De même l'étude morphoscopique des rares quartz qui s'y trouvent montre que leur origine est marine ou lacustre (photo n° 4 et 5).

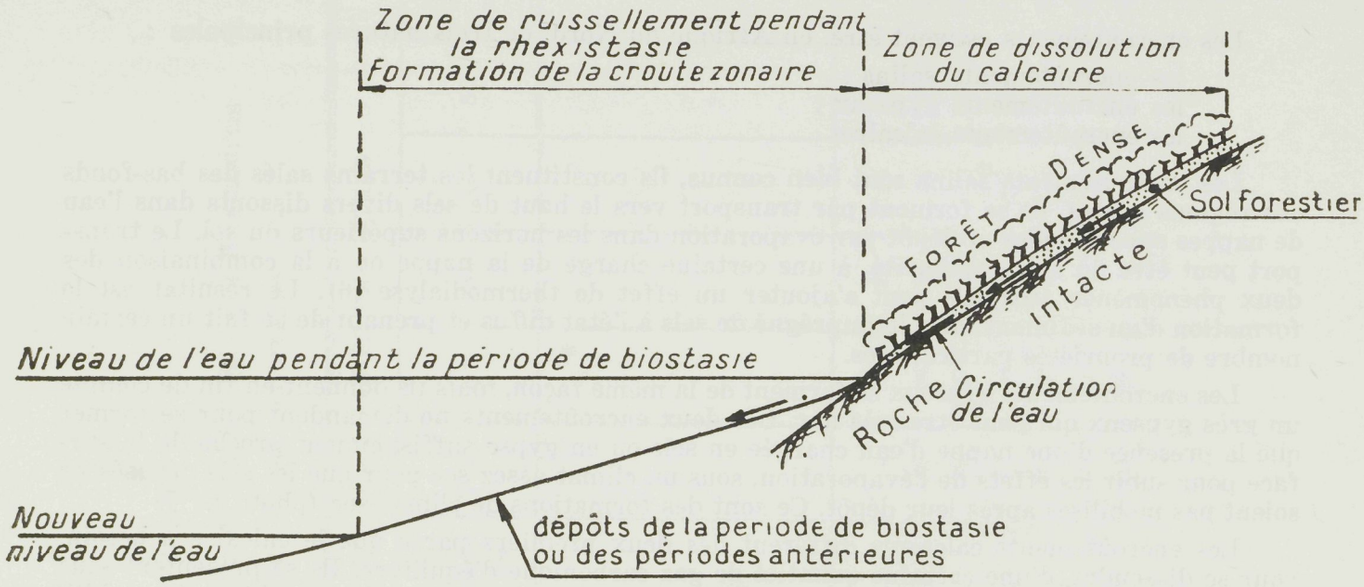


Fig. 1 - Schéma expliquant le mode de formation de la croûte zonaire au début de la rhéxistasie.

Ces dépôts peuvent contenir plus de 80 % de calcaire.

L'aspect, la microstructure et la forte teneur en calcaire, ainsi que leur mode de gisement ne peut faire attribuer ces dépôts qu'à des lacs dans lesquels le carbonate de chaux se serait précipité sous l'action de divers facteurs physico-chimiques : évasion du gaz carbonique d'équilibre ou double décomposition du sulfate de calcium en présence de carbonate d'ammonium suivant le schéma :

$$SO_4\ Ca + CO_3\ (NH_4)_2 \rightleftarrows CO_3\ Ca + SO_4\ (NH_4)_2$$

Le sulfate de calcium se trouve fréquemment dans les eaux d'Afrique du Nord, quant au carbonate d'ammonium, il peut avoir deux origines, décomposition de végétaux aquatiques ou production directe des bactéries. Sous ces influences, il se dépose rapidement une boue calcaire qui recouvre le fond du lac d'un tapis continu. Cette boue peut suivre la topographie de la cuvette du lac et grimper sur ces reliefs, sans que ce fait puisse être évoqué pour infirmer cette théorie puisque dans les casseroles, le calcaire se dépose même sur les bords verticaux. La finesse des cristaux, impossibles à individualiser au microscope, est due à leur dépôt rapide sans accroissement ultérieur.

Etant donné l'importance des gisements de calcaires pulvérulents et l'absence quasi totale de traces de matières organiques, il est très probable que le carbonate de chaux qui les constitue, a été précipité par voie chimique sans qu'il y ait intervention des bactéries. La dissolu-

tion du calcaire se serait alors produite sous des forêts denses pendant une période de biostasie, il aurait alors été entraîné dans des lacs où il se serait déposé en donnant naissance à un « protopédon calcaire de lac » (10).

A côté de ces calcaires pulvérulents lacustres, il existe des dépôts de source comme il s'en forme de nos jours à HAMMAM MESKOUTINE par exemple. Ces dépôts sont formés de matériaux semblables à ceux des calcaires pulvérulents lacustres mais qui peuvent souvent présenter une structure pseudoolithique ou oolithique et contenir de la ctypéite reconnaissable par la réaction de DITTLER, ils caractérisent d'anciennes émergences.

Ces calcaires pulvérulents constituent deux types de tuf calcaire, sans rapport avec les croûtes, mais qui sont souvent confondus avec elles. Les calcaires pulvérulents lacustres sont à rapprocher des calcaires lacustres durs très abondants en Afrique du Nord. L'absence de fossiles ne va pas à l'encontre de cette théorie, bien au contraire, puisque le travertin de Champigny n'en contient pas non plus et que personne ne conteste son origine (9).

Ces calcaires continueraient ceux dont Philippe THOMAS (11) a signalé l'extension à la fin du Tertiaire et pourraient souvent les terminer ; ils constitueraient les témoins d'une période humide pendant laquelle de grands lacs auraient existé, entourés de forêts épaisses ayant atteint leur « climax ».

Les gypses pulvérulents, s'ils présentent une analogie de gisement et de formation avec les calcaires pulvérulents n'ont pas la même signification qu'eux.

En effet, si le calcaire peut se déposer par suite de l'évasion du gaz carbonique, le gypse ne peut précipiter que si la solution qui le contient a atteint la saturation. Etant donné la faible teneur en gypse des calcaires pulvérulents, il est logique d'admettre que les eaux dans lesquelles ils se formaient, n'étaient pas très concentrées et s'écoulaient au loin. Il est donc probable que le gypse s'est déposé plus tard dans des bassins d'évaporation tels que les Chotts, Sebkha ou Zahrez autour desquels ils se rencontrent d'ailleurs aujourd'hui. Ces dépôts constitueraient alors les témoins d'une phase postérieure à celle des grands lacs, qui se serait produite pendant la période d'assèchement du climat ayant pu donner naissance aux croûtes zonaires ; ils pourraient alors être contemporains d'une phase de rhexistasie au même titre que ces croûtes zonaires. Le dépôt du sulfate de calcium serait dû à la concentration sur place de la solution sous l'influence de l'évaporation en présence de chlorure de sodium provoquant sa précipitation sous des formes plus ou moins hydratées suivant la concentration de l' « eau mère » en ce sel et suivant la température (2, 3). Cette hypothèse expliquerait la présence, dans ces couches, de sulfate de chaux différemment hydraté.

Les dépôts salins se forment de nos jours et ne présentent aucune particularité.

Les nodules pulvérulents ou farineux.

Ces nodules se présentent sous la forme d'amas de calcaire pulvérulent normal isolés dans des limons généralement rougeâtres ; ces limons sont, très souvent, recouverts par de la croûte zonaire. En lame mince, ils présentent encore le même aspect que les calcaires pulvérulents. Il est probable qu'ils se sont formés au moment du dépôt des limons par ségrégation du calcaire au sein même de ces formations. Il n'est pas impossible que ces limons correspondent à une phase préliminaire de la rhexistasie et soient déposés avant l'assèchement du lac, au début de la période d'érosion, quand la forêt a diminué.

Comparaison de ces formations avec les formations « latéritiques » des sols tropicaux.

Dans ces formations latéritiques sont compris en général tous les sols riches en sesquioxydes de couleur rouge des régions tropicales.

Pour d'HOORE (4) il existe deux modes d'accumulation de ces sesquioxydes correspondant à deux types de génèse des « latérites ».

1°) l'accumulation absolue qui se produit de la façon suivante : à partir d'une zone riche en sesquioxydes facilement mobilisables, présents sous forme de minéraux altérables ou à

l'état libre et en éléments nutritifs pour les végétaux, mobilisation par les plantes de ces sesquioxydes en l'absence d'argile qui risquerait de les absorber. Ensuite migration de ces solutions dans la zone de translation par transport superficiel sur des pentes imperméables ou dans un milieu très perméable. Cette translation est toujours favorisée par une certaine activité biologique. Enfin, accumulation dans des matériaux détritiques hétérogènes grossiers qui s'imprègnent de ces sesquioxydes constituant la zone de réception. A noter toutefois qu'une certaine accumulation peut se produire dans la zone de migration. Ce mode d'accumulation donne donc les latérites de nappes et les cuirasses de nappe, un durcissement du matériau pouvant intervenir sur les pentes par exposition à l'air.

Dans la zone de réception, l'immobilisation des sesquioxydes se produit de diverses façons dont les principales sont :

l'absorption par le sol,

l'oxydation des ions bivalents,

la décomposition biologique des radicaux complexants,

la floculation des hydroxydes colloïdaux,

la déshydratation et la cristallisation.

Par ces phénomènes se forment les « latérites de nappe » qui peuvent être comparées d'une part aux encroûtements gypseux ou calcaires, d'autre part aux croûtes zonaires lorsque le dépôt des sesquioxydes se fait à l'air libre.

2°) l'accumulation relative qui se produit par départ des éléments non sesquioxydes. Il y a alors augmentation relative du taux de ces matériaux qui se concentrent sur place. Les exportations qui provoquent cette accumulation relative sont effectuées en partie par l'eau de percolation et en partie par les plantes.

Ce phénomène n'a rien de comparable à ceux qui ont formé les croûtes, il n'existe pas de croûtes formées par accumulation relative du calcaire, mais il n'y a aucune raison de ne pas admettre que c'est précisément par ce phénomène que ce sont formées les terra-rossa tandis que le calcaire entraîné au loin se déposait dans des lacs ou, par la suite, sous forme de croûte zonaire.

A ces deux phénomènes d'accumulation absolue et relative des sesquioxydes se superpose un phénomène de durcissement de ce matériau exposé à l'air, dont les molécules subissent une nouvelle mobilisation temporaire, ce durcissement est comparable à celui des feuillets des croûtes zonaires eux-mêmes durcis par exposition à l'air.

Les différences essentielles qui existent entre les sols de l'Afrique au Sud du Sahara et ceux de l'Afrique du Nord tiennent dans les roches mères jamais calcaires au Sud du Sahara, toujours calcaires au Nord et le climat qui permet le développement de forêts denses au Sud du Sahara.

III. — Signification paléoclimatique des croûtes.

1°) *Période de Biostasie.* — La forêt dense a atteint son climax, elle joue en plein son rôle de filtre et permet la dissolution de la phase soluble des sols, donc du calcaire, le sol qui se forme sous la forêt est rouge et présente certaines analogies avec les sols formés par accumulation relative des sesquioxydes sous climat tropical, c'est la terra-rossa. La phase soluble est entraînée au loin dans de grands lacs où le calcaire se dépose sous forme pulvérulente et donne des « protopédons calcaires de lac » ou plus simplement des calcaires pulvélurents. Le climat est chaud et humide permettant l'existence d'une forêt dense du type tropical.

2°) *Période de Rhexistasie.* — Pour une raison ou pour une autre, l'équilibre précédent est rompu et le climat devient plus sec, on entre en période de rhexistasie. Elle comprend plusieurs phases :

Phase préliminaire. — Le climat devient plus sec, les forêts voient leur superficie diminuer tandis que l'érosion commence, enlevant les éléments fins aux sols, les eaux qui ruissellent sont riches en carbonate de chaux et déposent, au bord des lacs dont le niveau est variable, des limons rougeâtres contenant des nodules calcaires farineux qui se sont formés dès le dépôt des limons.

Phase jeune. — La forêt est encore dense mais les lacs s'assèchent plus ou moins vite tandis que les pluies encore abondantes permettent la formation de la croûte zonaire qui peut recouvrir les limons à nodules farineux.

Jusqu'à cette période, l'important est que les dissolutions des matériaux ont été provoquées par la présence d'une végétation puissante. Dans une phase plus avancée, la forêt a pratiquement disparu, les dissolutions ne font pas intervenir les végétaux, les lacs subsistent mais sont réduits à l'état de lagunes d'évaporation dans lesquelles viennent se déposer les alluvions arrachées aux terrains avoisinants et les sels solubles.

Les premiers dépôts de sels sont, les gypses pulvérulents qui constituent des auréoles au bord de ces lagunes tandis que les autres sels se déposent vers le centre.

Après cette période de rhexistasie, un équilibre différent du premier aurait dû s'établir mais les mouvements tectoniques quaternaires, puis l'intervention de plus en plus forte de l'homme, ne lui a pas permis de s'affirmer nettement.

Des retours en arrière ont pu se produire avec existence de nouvelles périodes humides auxquelles il faut probablement attribuer les formations marécageuses grises, meubles ou indurées qui sont si fréquentes dans les hautes plaines et le Sahara.

Toutes ces phases ont pu ne pas être synchrones ou bien être accélérées par des conditions locales telles que le creusement d'un exutoire pour les lacs ou les biefs des rivières, il en résulte de grandes difficultés pour dater ces formations. Attribuer une date avec certitude à ces « croûtes » ne devient donc possible que localement lorsque la chance permet d'y trouver des outils. Les encroûtements calcaires, gypseux ou salins par contre continuent à se former de nos jours. La preuve en est que BALOUT a trouvé dans une sépulture chrétienne un crâne déjà encroûté par le calcaire et que, dans le Souf, la croûte gypseuse doit être brisée périodiquement tandis qu'en de nombreux points d'Afrique du Nord, les encroûtements salins gênent considérablement la culture.

La chronologie des « croûtes » peut s'établir d'après le schéma suivant :

calcaires pulvérulents fin du Pliocène, Villafranchien inférieur ;

limons rougeâtres à nodules farineux, Villafranchien moyen ;

croûtes zonaires fin du Villafranchien (en Algérie, elles sont parfois surmontées d'escargotières et sont donc antécapsiennes) ;

gypses pulvérulents débuteraient au Villafranchien et se poursuivaient après la période capsienne.

Les divers encroûtements se produisent à peu près à toutes les époques.

Les diverses croûtes calcaires pourraient alors avoir les significations paléoclimatiques suivantes :

Calcaires pulvérulents : climat humide et chaud à humidité continue favorisant la formation des terra-rossa sous une couverture forestière épaisse (la terra-rossa serait due, dans ce cas, à une accumulation relative des sesquioxydes), ces calcaires se seraient déposés par voie chimique dans des lacs.

Limons rougeâtres à nodules farineux : climat encore humide mais avec périodes de sécheresse favorisant l'érosion, ces limons se seraient déposés sous l'eau en bordure des lacs, qui, par ailleurs, voient leur importance diminuer.

Croûte zonaire : climat encore humide à périodes de sécheresse favorisant le durcissement de la croûte, les lacs ont à peu près disparu, ils ne sont plus que des lagunes d'évaporation et commencent à déposer des gypses pulvérulents.

Encroûtement : climat dont l'humidité est suffisante pour entretenir une bonne couverture végétale forestière ou non et présence d'une nappe phréatique.

CONCLUSION

Malgré les affirmations maintes fois renouvelées, seul l'encroûtement gypseux est caractéristique d'un climat désertique, bien qu'il exige pour se former la présence d'une nappe phréatique peu profonde. Tous les autres types de croûtes ont d'autres significations qui, en général, témoignent d'un climat humide et de conditions végétales absolument différentes de celles des déserts.

Actuellement, l'Afrique du Nord est dans une période de rhexistasie, dont témoignent les débits solides des rivières, due principalement à l'action de l'homme qui cultive imprudemment les montagnes, et les pentes fortes empêchant ainsi à un nouvel équilibre de s'établir.

BIBLIOGRAPHIE

1. — Annuaire hydrologique de l'Algérie 1954-55. Pub. du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique.

2. — DEICHA G. (1943). — Les conséquences de l'interprétation erronée des travaux de VAN'T HOFF sur le gypse et l'anhydrite marins - C.R. Somm. Sté. Gél. de France p. 144-146.

3. — DEICHA G. (1943). — Génèse et faciès du gypse - Bull. Sté. Franç. de minéralogie - t. LXVI n° 1 - 6 p. 133-160.

4. — D'HOORE J. (1954). — L'accumulation des sesquioxydes libres dans les sols tropicaux. Pub. INEAC Série Scientifique n° 62 - BRUXELLES.

5. — DURAND J.H. (1952). — Etude Géologique, Hydrogéologique et Pédologique des croûtes en Algérie - Pub. du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique - Pédologie n° 1.

6. — DURAND J.H. (1956). — Mouvements des sels dans le sol - C.R. du VIe Congrès International de la Science du Sol - PARIS 1956 - Vol. D. p. 543-546.

7. — ERHART R. (1956). — La genèse des sols en tant que phénomène géologique - Coll. Evolution des Sciences - MASSON et Cie - PARIS.

8. — GAUCHER G. (1948). — Sur certains caractères des croûtes calcaires en rapport avec leur origine C.R. Ac. Sc. t. 227 p. 154-156.

9. — HAUG E. (1920). — Traité de géologie - A. COLIN - PARIS.

10. — KUBIENA (1953). — The soils of Europe - Th. MURBY - LONDRES.

11. — THOMAS P. (1884). — Recherches Stratigraphiques et Paléontologiques sur quelques formations d'eau douce de l'Algérie - Mem. Sté Géol. de France 3e série - t. III.

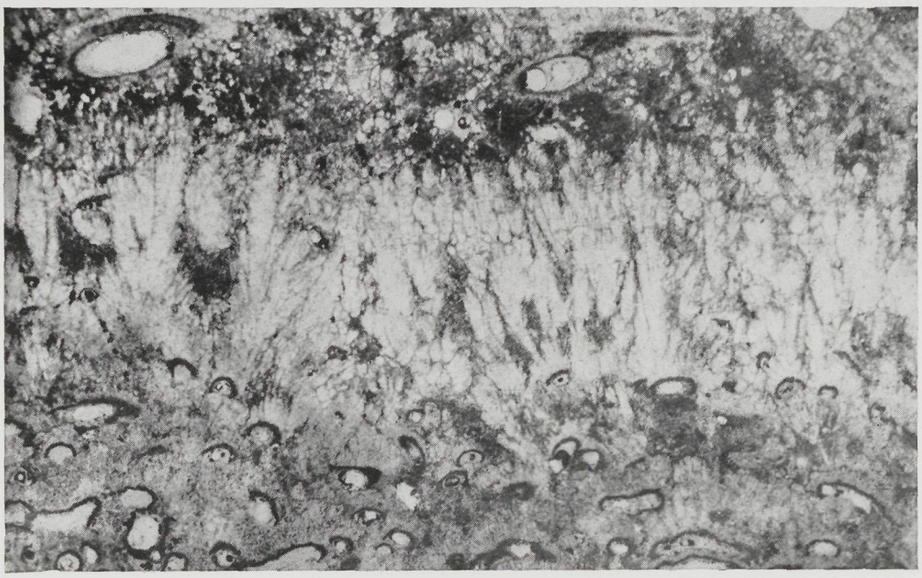


PHOTO n° 1. — Lame mince du travertin de Figuig. La calcite est bien cristallisée. (X 16)

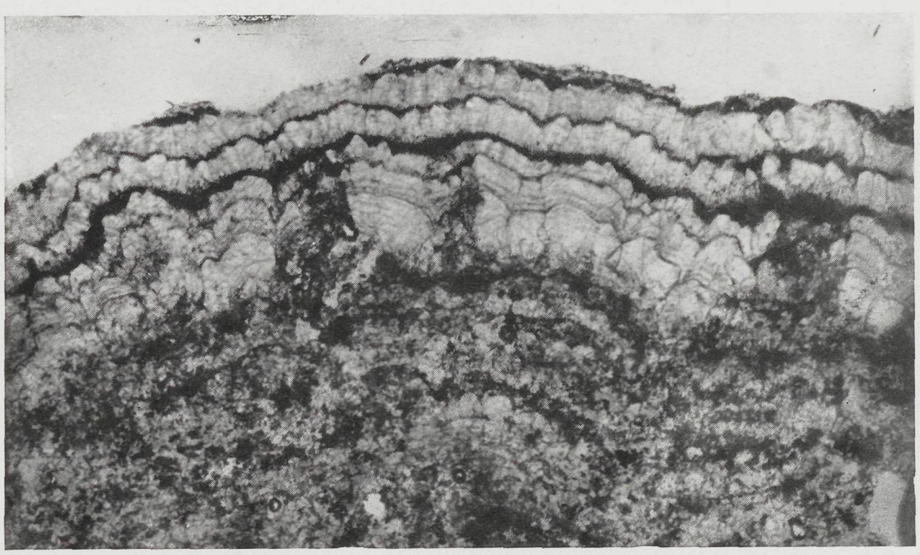


PHOTO n° 2. — Lame mince de l'entartrement de la conduite d'eau de Bizot. La calcite est bien cristallisée et la zonation est soulignée par des traces de fer. (X 32,5)

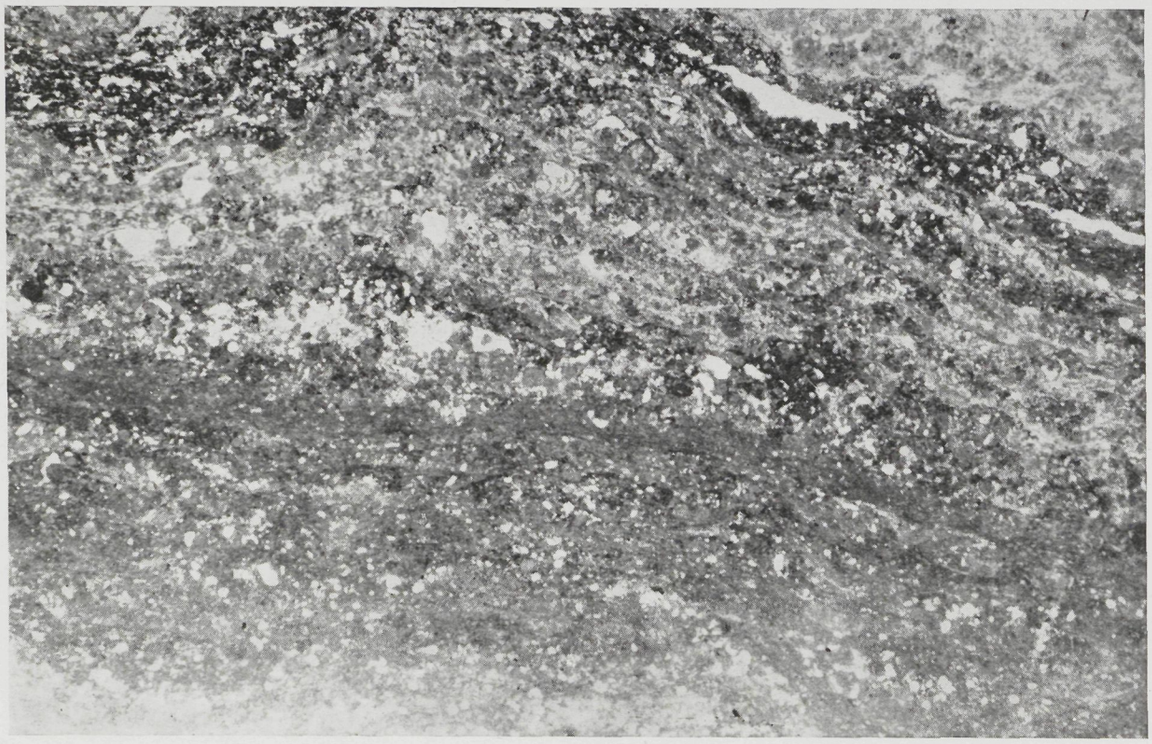


PHOTO n° 3. — Lame mince de croûte zonaire des environs de Télergma. Le fond de la préparation est formé par une pâte cryptocristalline sur laquelle se superpose la structure zonée. Remarquer l'absence d'éléments clastiques. (X 16)

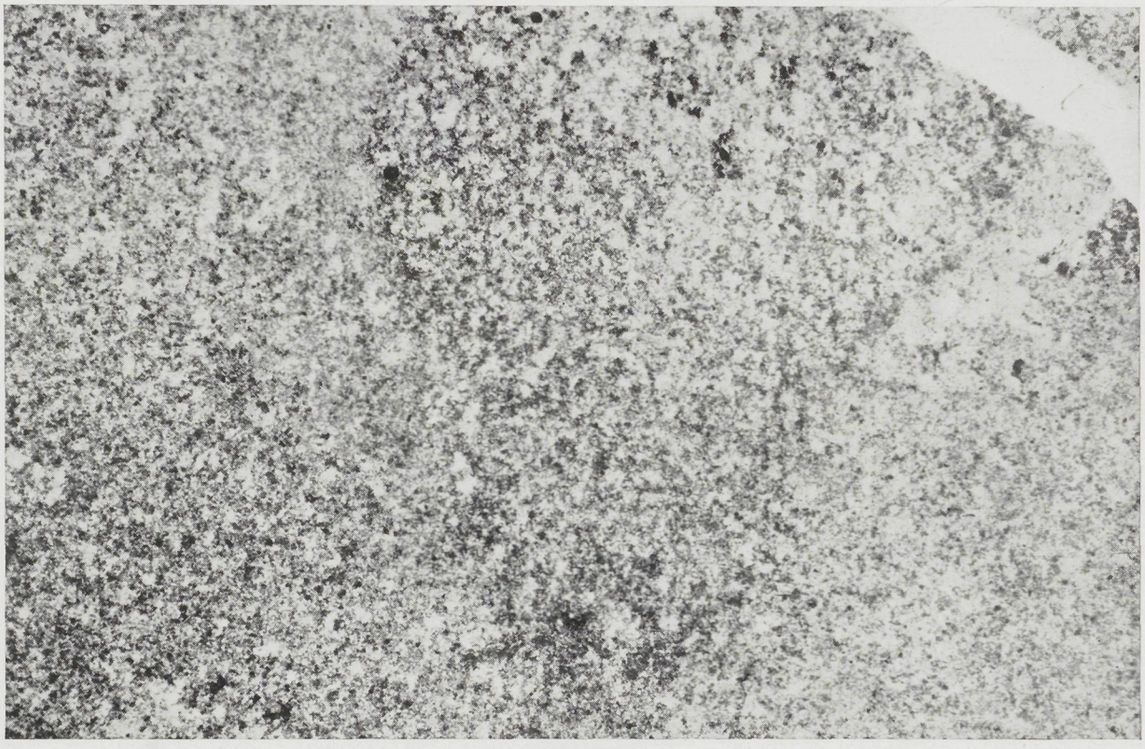


PHOTO n° 4. — Lame mince de calcaire pulvérulent des environs de Lavigerie. Pâte cryptocristalline sans éléments clastiques. (X 16)

PHOTO n° 5. — Lame mince de calcaire pulvérulent au N. de la dépression des Zahrez. Pâte cryptocristalline pauvre en élément clastiques par rapport aux encroûtements. (X 16)

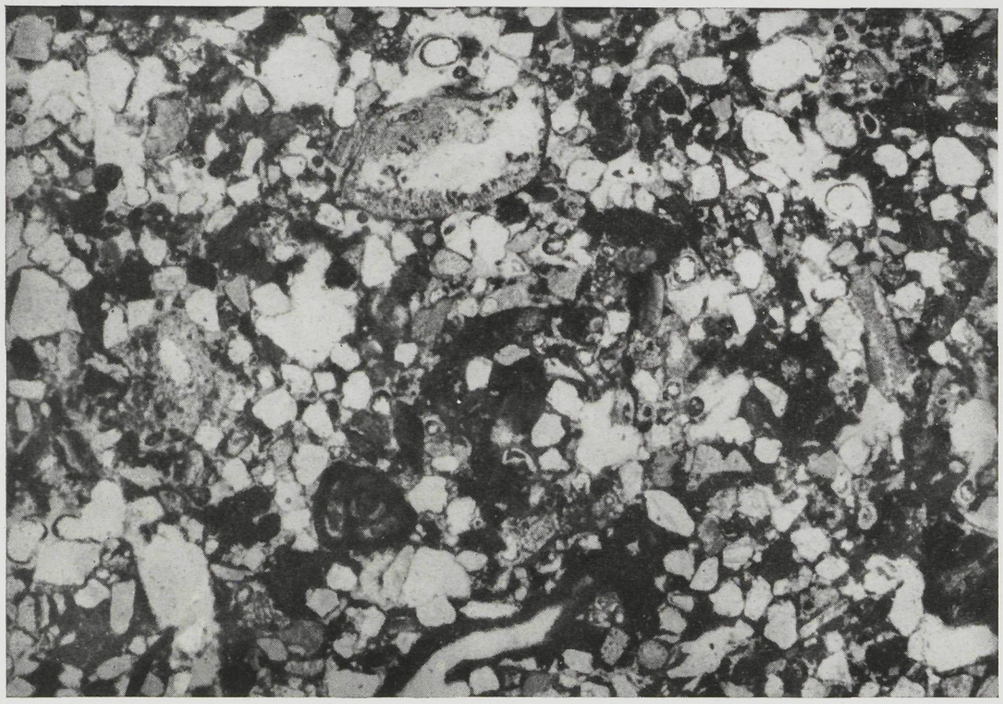


PHOTO n° 6. — Lame mince de l'encroûtement calcaire de Staouéli. Grande richesse en éléments clastiques cimentés par du calcaire. (X 24)

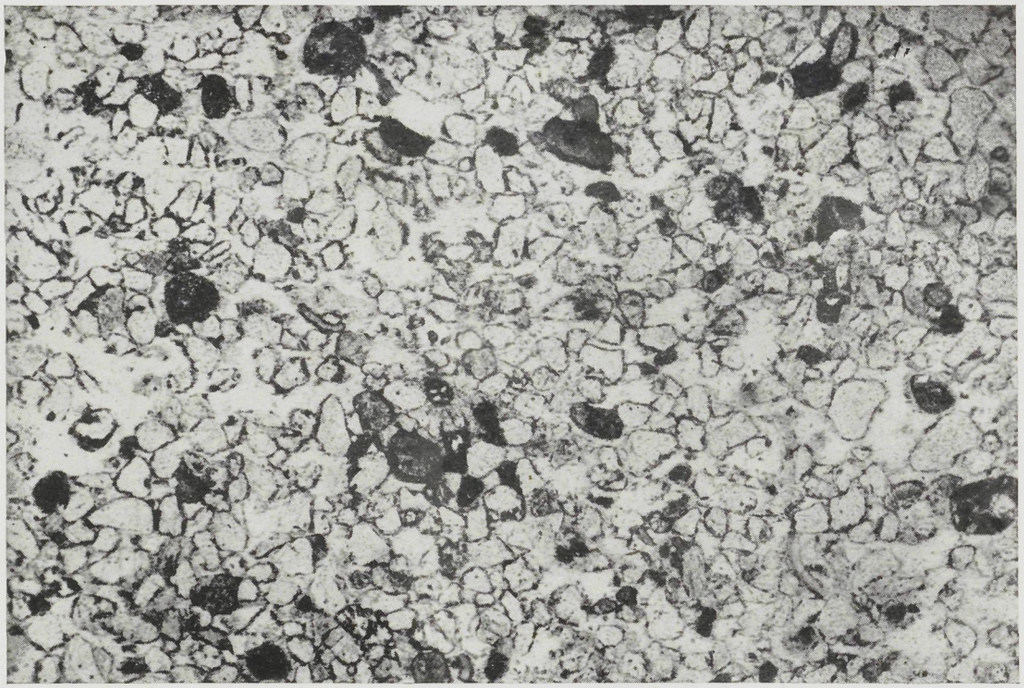


PHOTO n° 7. — Lame mince de l'encroûtement gypseux d'El-Oued. Grande richesse en éléments clastiques cimentés par du gypse. (X 32,5)

PUBLICATIONS PÉDOLOGIQUES ET AGROLOGIQUES DU GOUVERNEMENT GÉNÉRAL DE L'ALGÉRIE

1er ÉTUDES GÉNÉRALES — E.G.

N° 1. — DURAND J.H. (1953). — Etude géologique, hydrologique et pédologique des croûtes en Algérie. —Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — DURAND J.H. (1954). — Les sols d'Algérie. Publication du S.C.H.

N° 3. — DUTIL P. (1956). — Les glissements de terrains en Algérie : essai de mise au point sur les données actuelles du phénomène. Publication de la D.H.E.R.

2e ÉTUDES RÉGIONALES — E.R.

N° 1. — DURAND J.H. (1949). — Les sols des environs de YAKOUREN et de l'AFKADOU en relation avec leurs facteurs de formation. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — DURAND J.H. (1952). — Les sols du bassin versant du lac Tonga. Publication du S.C.H.

N° 3. — BOULAINE J. (1954). — Etudes sur l'hydrogéologie superficielle de la Plaine de RELIZANE. Publication du S.C.H.

N° 4. — BRICHETEAU J. (1954). — Esquisse pédologique de la région de TLEMCEN-TERNI. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 5. — DURAND J.H. (1956). — Les sols de la station d'étude des sols salins et d'essais agronomiques d'HAMADENA (ORAN). Sup. Sc. Terres et Eaux n° 28. — Pub. de la D.H.E.R.

N° 6. — BOULAINE J. (1956). — Facteurs de formation des sols de la Plaine d'INKERMANN. Sup. Sc. Terres et Eaux n° 28. — Pub. de la D.H.E.R.

3e VÉGÉTATION — V.

N° 1. — KILLIAN Ch. (1949). — Observations sur la biologie des végétaux des pâturages mis en défens en Algérie. Publication de l'Insp. Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 2. — SANTA S. et SIMONNEAU P. (1951). — Végétation et flore de la forêt de la MACTA (ORAN). Pub. de la carte de la végétation de l'Algérie (G.G. de l'Algérie).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1952). — Végétation des dunes littorales du golfe d'ARZEW (DAMESME, SAINT-LEU, LA MACTA, OUREAH). Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 4. — SIMONNEAU P. (1953). — La végétation halophile de la plaine de PERRÉGAUX (ORAN). Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 5. — KILLIAN Ch. (1953). — La végétation autour du Chott Hodna indicatrice des possibilités culturales et son milieu édaphique. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 6. — DUBUIS A. et SIMONNEAU P. (1954). — Contribution à l'étude de la végétation de la région d'AÏN-SKROUNA. Publication du S.C.H.

N° 7. — DUBUIS A. et SIMONNEAU P. (1956). — La végétation des rizières en Oranie. Publication du S.C.H.

4e AGROLOGIE — A

N° 1. — SIMONNEAU P. (1946). — L'Ail d'Orient. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 2. — SIMONNEAU P. (1946). La culture irriguée des melons et des pastèques en Oranie Orientale. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. Documents et Renseignements agricoles n° 132 (épuisé).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1947). — La culture des choux et des choux-fleurs dans les périmètres irrigables d'Oranie. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. — Documents et Renseignements agricoles. N° 139 (épuisé).

N° 4. — SIMONNEAU P. et AUGUSTE A. (1947). — La clémentine Monréal (PERRÉGAUX 1947). Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 5. — SIMONNEAU P. (1949). — Etude sur la culture irriguée de l'artichaut en Oranie. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. — Documents et Renseignements agricoles N° 120 (épuisé).

N° 6. — SIMONNEAU P. (1949). — Note sur la mise en valeur des terrains salés de la Plaine de PERRÉGAUX. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 7. — GAUCHER G. et SIMONNEAU P. (1952). — Monographie agricole de la Plaine de SAINT-DENIS-DU-SIG. Publication du S.C.H.

N° 8. — SIMONNEAU P. (1954). — La culture du riz en Oranie. Publication du S.C.H.

N° 9. — SIMONNEAU P. (1956). — La riziculture dans les terrains salés d'Oranie (1951-1955). Publication de la D.H.E.R.

5e EXPÉRIMENTATION — DIVERS — E.D.

N° 1. — DURAND J.H. (1951). — Essais de laboratoire effectués sur les sols de la station hydroagricole d'HAMADENA. Publication du S.C.H.

N° 2. — Mlle VANLANDE Ch. (1956). — Méthodes d'analyses utilisées par la Section de Pédologie du Service des Etudes Scientifiques de la D.H.E.R.

N° 3. — Mme PLEVEN J. (1956). — Comparaison de l'extrait saturé d'un sol et de son extrait salin 1 : 10. Publication de la D.H.E.R.

N° 4. — BOULAINE J. (1956). — Quelques données numériques sur l'hétérogénéité des sols salés. Publication de la D.H.E.R.

N° 5. — EHRWEIN J. (1956). — Présentation d'un abaque pour l'appréciation du degré de salinité d'une terre. Publication de la D.H.E.R.

N° 6. — BOULAINE J. (1956). — Protection des piézomètres dans les périmètres irrigables d'Algérie. Publication de la D.H.E.R.

6e TECHNOLOGIE DU SOL — T.S.

N° 1. — SACCARDY L. (1949). — Notion générale sur la lutte contre les érosions en Algérie. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — SACCARDY L. (1950). — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. Publications du S.C.H. (épuisé).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1953). — La pratique des cultures irriguées en Oranie orientale. Publication de l'Insp. Générale de l'Agriculture.

7e CARTE DES SOLS — C.S.

N° 1. — Carte au 1/500.000e, feuilles de CONSTANTINE, ALGER, ORLÉANSVILLE, TÉBESSA, BISKRA, MASCARA, ORAN.

N° 2. — Carte de reconnaissance au 1/200.000e, feuilles de BÔNE n° 9, NEMOURS n° 30, MOSTAGANEM n° 21.

N° 3. — DURAND J.H. (1954). — Notice explicative générale de la carte des sols de l'Algérie au 1/200.000e et au 1/500.000e. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 4. — EHRWEIN J. (1954). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000e, feuille de BÔNE n° 9.

N° 5. — DURAND J.H. (1954). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000e, feuille de NEMOURS n° 30.

N° 6. — BOULAINE J. (1955). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000e, feuille de MOSTAGANEM n° 21.

N° 7. — BOULAINE J. (1956). — Carte des sols de la Vallée du Chéliff au 1/50.000e, 5 feuilles.

8e HORS SÉRIE — H.S.

N° 1. — CAILLÈRE S. (1955). — Analyse thermique différentielle. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 2. — DURAND J.H. (1956). — La section de Pédologie de la Direction de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural. Publication de la D.H.E.R.

IMPRIMERIE E. IMBERT
26, Rue Hoche
ALGER
—

Dépôt légal - Mai N° 39