



00894

MICROFICHE N°

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F

1

THE
LIBRARY
OF THE
CONGRESS

PHOTODUPLICATION SERVICE
STANDARD FORM NO. 108
MAY 1962 EDITION
GPO : 1962 O - 570-729

U.S. GOVERNMENT
PRINTING OFFICE

UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE

WASHINGTON, D.C. 20540

1-1-62

UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE

1962 O - 570-729

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES RECHERCHES
EN EAUX ET EN SOLS

DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

MISSION TUNISIE

INVENTAIRE CRITIQUE
DES SOLS CYPREUX EN TUNISIE

- Etude préliminaire -

J. VIEILLETON, Pédologue ORSTOM

(N° 1276)

INVENTAIRE CRITIQUE DES SALES CYMBRIQUES DE TUNISIE (Etude préliminaire)

Présentation

On a tenté dans cette étude d'ensemble de réaliser une synthèse des connaissances acquises sur les sales pyroclastiques de Tunisie, en faisant ressortir leurs problèmes de définition, de description et de cartographie, leurs principales caractéristiques, ainsi que les problèmes posés par leur détermination, enfin leurs attitudes et les problèmes posés par leur utilisation.

Les études de sales pyroclastiques, effectuées à l'occasion de prospections, essentiellement à but pérenne, de régions très variées de Tunisie, ayant donné lieu à des représentations cartographiques à différentes échelles, il a été nécessaire, dans un premier temps, de recenser les unités cartographiques employées et d'en dresser un inventaire synthétique.

Grâce au recensement de ces données, apparaissent divers problèmes liés à :

- l'origine du gypse, nécessitant l'inventaire succinct des roches-mères
- sa distribution dans la paysane, dans des ensembles géomorphologiques identifiés
- sa localisation dans les profils et les séquences de sols, suivant des formes d'accumulation variées.

La végétation fait l'objet de données généralement sommaires dans la plupart des notices de cartes. Des études phytosociologiques les complètent heureusement, et des relations très étroites peuvent être mises en évidence avec les sales, en fonction de leur type d'effluents et des formes d'accumulation du gypse, ou plus simplement de leur richesse en ion sulfate.

Ière Partie : Inventaire cartographique et classification des sols gypseux	p. 3
1. - Etude des cartes générales de synthèse	p. 6
A. Carte des roches-mères des sols de Tunisie au 1/1,000,000	
B. Carte des sols de Tunisie au 1/500,000	
1. Classement cartographique	p. 6
2. Localisation des sols gypseux	p. 8
C. Carte phyto-écologique de la Tunisie Centrale et Méridionale	p. 8
1. Les unités phytocécologiques typiques	p. 9
2. Caractères des principales unités	p. 9
D. Comparaison des données	p. 11
1. Données d'ensemble	
2. Convergences et divergences	p. 12
E. Répartition globale des sols et substrats gypseux en Tunisie	p. 17
II. - Etude des cartes à moyenne échelle :	p. 20
A. Classification des sols gypseux	p. 20
B. Recensement des unités cartographiées	p. 23
C. Profondeur des encroûtements	p. 28
Conclusions	p. 29
IIème Partie : Synthèse des observations sur l'origine et le mode de mise en place des accumulations gypseuses dans les sols et les paysages, leur morphologie et leur propriétés.	
1. - Origine du gypse. Aperçu sur les roches-mères et les nappes	p. 31
A. Le gypse dans la couverture géologique	
B. Le gypse dans les eaux souterraines	p. 35
II. - Géomorphologie des terrains gypseux	p. 37
A. Conception générale	
1. Le site des croûtes gypseuses	p. 37
2. Les remparts avec le substratum	p. 38
3. La morphologie des zones encroûtées	p. 38
B. Observations locales	p. 40
C. Place des accumulations gypseuses par rapport aux accumulations calcaires.	p. 42

III. - Végétation des terrains gypseux	p.42
A. Les observations des pédologues	
B. Les études botaniques et phytosociologiques	p.43
IV. - Morphologie et propriétés physiques des accumulations gypseuses	44
A. Macromorphologie	p.45
1. Accumulation généralisée	p.45
2. Accumulation localisée	p.47
B. Propriétés physiques et structurales	p.48
C. Micromorphologie	p.49
1. Sols à accumulation de surface	
2. Sols à accumulation de nappe	p.50
V. - Répartition du gypse dans les profils	p.50
A. Les données sur les teneurs en gypse	p.51
1. Croûtes gypseuses de surface	
2. Excroissances gypseuses de surface	
3. Excroissances profondes	
4. Excroissances et croûtes de nappe	
B. Les variations conjointes du calcaire et du gypse	p.52
C. Les variations du gypse et des sels solubles	p.52
VI. - Formation et évolution des accumulations gypseuses	p.53
A. Les facteurs de la sédimentation	
1. Roches-mères	
2. Géomorphologie	
3. Climat	p.54
4. Facteurs biotiques	p.55
5. Temps	p.55
B. Les facteurs de la cristallisation	p.56
C. Les mécanismes de la mise en place	
1. Hypothèse du transport solide	p.57
2. Hypothèse de migration par ascension	p.58
3. Hypothèse de migration latérale	p.59
4. Hypothèse de migration par ascension	
Conclusions	p.60

IIIème Partie : Les problèmes de l'analyse des sols gypseux

- I. - Granulométrie
- II. - Teneur en eau et pH
- III. - Dosage du gypse et des autres formes de sulfates de calcium
- IV. - Complexe absorbant et bilan ionique
 - A. Sels solubles
 - B. Complexe absorbant
 1. Capacité d'échange
 2. Base échangeable
 3. Alcalinité

Conclusions

IVème Partie : Utilisation et aptitudes des sols gypseux

I. - Problèmes d'utilisation des sols liés au gypse

- A. Cultures en sec
 1. Teneur en gypse
 2. Profondeur des racines et ancrage
- B. Cultures irriguées
 1. Teneur en gypse
 2. Profondeur et durée de l'ancrage
 3. Profondeur et salure de la nappe
 4. Qualité de l'eau d'irrigation

II. Quelques exemples de classement des aptitudes des sols gypseux

- A. En sec
 1. Cultures arborescentes
 2. Cultures annuelles
 3. Pâturage et parcours
 4. Vigne en coteaux
- B. En irrigué

III. - Résultats de quelques essais d'irrigation de sols gypseux

- A. Oasis continentales
- B. Oasis littorales

Conclusions

Conclusions générales

Bibliographie

1ère Partie : INVENTAIRE CARTOGRAPHIQUE ET CLASSIFICATION DES SOLS GYPSEUX

Les premiers observateurs ont été frappés par l'abondance du gypse de certaines accumulations dont les plus spectaculaires sont les croûtes et encroûtements blancs de surface, et ont été tentés d'y voir plus des formations géologiques que des formations pédologiques. On leur doit certaines théories sur la mise en place de ces accumulations gypseuses, en relation avec des formations lacunaires, par exemple.

Intérieurement, si le caractère de véritables sols leur a été reconnu, les auteurs ont insisté sur l'ancienneté probable de leur formation, attribuant à des climats respectivement plus secs et plus humides que l'actuel, donc plus anciens, les phases de leur mise en place et de leur consolidation. Ce seraient donc des paléosols (F. FOURCADE, 1960).

Avec la création, il y a une vingtaine d'années, d'un service pédologique, la connaissance de l'ensemble des sols de la Tunisie a beaucoup progressé, et avec elle celle des sols gypseux. Parallèlement des expériences de mise en valeur par irrigation ont permis de préciser certaines de leurs aptitudes.

Les principaux documents utilisables comprennent donc : d'une part un grand nombre d'études locales à différentes échelles, dont des synthèses ont été réalisées, d'abord au 1/1 000 000 puis au 1/500 000, d'autre part des données pédologiques associées à des études botaniques ou phyto-écologiques. Dans ce dernier cas, on dispose, à côté de son étude et de sa cartographie des formations végétales de la Tunisie Centrale et Méridionale (1959, 1969), d'une étude des sols du sud-tunisien par LE FOURCADE (1960), malheureusement sans carte.

L'inventaire des sols gypseux présenté ici a donc été entrepris à deux niveaux :

- d'abord à partir des cartes d'ensemble à petite échelle (1/1 000 000, 1/500 000) afin de recenser la répartition globale des sols gypseux au niveau du territoire national.
- ensuite à partir de l'ensemble des études à moyenne échelle du (1/200 000 au 1/25 000) afin d'embrasser toute la diversité des manifestations gypseuses dans les sols, et recenser les types d'unités cartographiques utilisés par les différents auteurs pour en présenter les catégories dans le cadre de la classification choisie.

I. - ETUDE DES CARTES GÉNÉRALES DE SYNTHÈSE

A. Carte des roches-mères des sols au 1/1.000.000 (FAO-DIMANCHE 1971)

Cette carte distingue trois grands ensembles : les roches-mères acides, les roches-mères calcaires à accumulation peu développée de calcaire et les roches-mères riches en calcaire, en sypse ou en sels. Carte synthétique réalisée à partir des cartes géologique, pétrologique et physico-logique générales, elle insiste surtout sur la partie superficielle des sols, dont les substrats ne sont pas précisés. Comme elle n'apporte pas de renseignements particuliers par rapport aux cartes qui seront étudiées ci-après, nous ne nous étendons pas à son sujet.

On notera simplement que les sols gypseux au sens large semblent participer partiellement à au moins 5 des principales unités de cette carte :

- sur roches-mères calcaires sans accumulation
 - alluvions de texture variable, peu évoluées
 - alluvions ou sables doliens évolués en sols à caractères lanhousique sans accumulation notable de calcaire
- sur roches-mères riches en
 - calcaire : affleurements et encroûtements bien développés
 - sypse : encroûtements gypseux
 - sels : alluvions, bourrelets de sables, sols salins et alcalins

B. Carte des sols de Tunisie au 1/500.000 (Bulletin N° 3 Division des Sols, 1973)

1. Classement cartographique

Les sols gypseux apparaissent dans 12 unités cartographiques, dont seulement 9 sont clairement précisées dans la légende, les 3 autres apparaissant comme des surcharges sur des unités non gypseuses. Ce sont :

- dans la classe des sols minéraux bruns, sous-classe des sols "d'origine éolienne", des sols à des reg de croûte gypseuse, et dans la sous-classe "non éolienne", des sols d'apport doliens gypseux (unité 1)
- dans la classe des sols peu évolués, sous-classe éolienne, des sols d'apport (sols gris orthomorphes) associés à des sols calco-magnésio-morphes à croûte ou encroûtement gypseux (unité 2), et dans la sous-classe non éolienne, des sols d'apport noirs associés à des lithosols sur croûte gypseuse (unité 3)
- dans la classe des sols calco-magnésio-morphes, sous-classe des sols à accumulation gypseuse, les sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface (unités 4-5), éventuellement associés à des régisols (unité 6), à des sols peu évolués d'apport (unité 7)

- dans la classe des sols lachmiques, sous-classe des sols lachmiques subtropicaux, des sols bruns rousseux associés à des rénosols et des lithosols (unité 8), des sols bruns jeunes et des sols peu évolués d'apport à faible lachmisme, rousseux (unité 9), et des sols bruns associés à des sols calco-magnésiens à croûte ou encroûtements épaisseurs (unité 10)
- dans la classe des sols hydromorphes, des sols à encroûtement épaisseur de nappe souvent à caractère de salure (unité 11)
- dans la classe des sols halomorphes, des sols très salés ou salés à alcali à encroûtement épaisseur de nappe (unité 12) à quoi il faut ajouter deux petites zones de sols salins à horizon superficiel friable comportant le surcharbon pyré.

On observe donc 5 unités appartenant simples (n° 4, 5, 10, 11, 12) et 7 associations (n° 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9). En l'absence de la partie de la notice concernant la feuille sur de la carte, il est difficile de se faire une idée précise de certaines unités, notamment la nature exacte de l'unité 1 et les critères de séparation des unités 2 et 6, 3 et 7, par exemple.

Une estimation des surfaces des différentes unités a été réalisée d'après cette carte (tableau I), en faisant apparaître les combinaisons d'unités et les associations.

Tableau I*

Composition des unités de sols rousseux et surfaces approximatives (hectares)

Sols rousseux	Calco-mag. à croûte	à enc.	Hydrom. à croûte de nappe	Palém. à croûte de nappe	surcharbon "pyré"
unités pures	4 + 5		11	12	
	634,000		6,000	250,000	
associations rousseux	6				
	95,000				
bruns + rénosols d'apport					1
					250,000
peu évol. clim. rousseux	7				
	161,000				
peu évol. non cl. rousseux	3	7			
	24,000	18,000			
lachmiques bruns et ros.					8
					24,000
lachmiques bruns	9				
	152,000				
lachmiques bruns jeunes					17
					9,000

* les numéros d'unités de la carte pédologique sont arbitraires, mais suivent l'ordre de la légende générale de cette carte.

Les sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface ou de nappe représentent environ 937.000 hectares (unités n° 4, 5, 11, 12). Si l'on y ajoute, ce qui est assez grossier mais pourra suffire pour une approximation, la moitié des surfaces des associations où ils participent (n° 7, 6, 1, 9) on atteint environ 1.689.000 hectares, dont 783.000 pour les sols à croûte ou encroûtement de surface.

2. Localisation des sols gypseux en Tunisie

Au nord de la dorsale, on trouve les sols de l'unité 5 (sols calcaire-mésocléboriques calciques et gypseux), associés sur les massifs à des régnoles dans la région de Guern Walaya, au sud-ouest du Kef.

Dans le Centre tunisien, il s'agit d'une part, de sols à croûte ou encroûtement de surface au voisinage des grandes sabkhas, sur leurs bourzelets notamment à l'est de la sabkha Faibia, du sud-ouest à l'est de la sabkha de Sidi El Fani, à l'ouest de la sabkha Feh Cherita, au sud de la sabkha El Therra, ainsi qu'au nord-ouest d'El Dime, d'autre part de l'association des sols gypseux à des sols bruns steppiques à l'ouest d'El Djer et à l'est de La Fancha.

Le Sud tunisien est la région où les sols gypseux sont les plus abondants, concurremment avec les lithosols et les sols halomorphes. Il s'agit d'abord de sols à croûte ou encroûtement de surface et leurs associations avec des sols peu évolués et squelettiques le long de la sabkha Méchiquig au nord de Méknessy, autour de la Sabkhet en Noual, au nord et au nord-est de Gafsa, dans la région de Tassar Wetta, des deux côtés du chott Fedjedj, sur les glacis du versant sud du Djebel Tebaga, dans la région de Gafsa et la Djelfa, et au sud de Tatahouine. On note également l'association à des sols bruns steppiques à l'ouest de Fiaz, dans la région Sabkhet en Noual la Schiera, et dans la Djelfa. Les sables gypseux et les roges de croûte sont présents à l'est du Chott Djerid. Enfin les sols à croûte de nappe, qui n'apparaissent que vers le parallèle 35° nord, se rassemblent surtout en bordure des grands chotts (Djerid, Tharar, Fedjedj) et vers la frontière lybienne au sud-est du Ben Gardane.

C. Carte phytogéologique de la Tunisie Centrale et Méridionale (LE POTERON, 1969)

Dans la notice accompagnant cette carte, l'auteur fournit un certain nombre de caractéristiques des sols ou des matériaux qui supportent les associations végétales. À partir d'anciennes il est possible de se faire une idée des types de sols concernés.

1. Les unités lithologiques à plantes gypsicoles

On relève ainsi sur 3^e unités de la carte, correspondant à des associations, à des groupements, des sous-associations ou des variantes, sont développées sur des sols plus ou moins gypseux. Compte tenu des indications pédologiques données par l'auteur, il est possible de distinguer en gros deux catégories :

- l'une regroupant les unités correspondant à des sols gypseux typiques (sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface ou de profondeur, sols alluviaux gypseux), à dominance de plantes gypsophiles
- l'autre rassemblant au contraire des unités dont les sols présentent des manifestations plus discrètes du gypse, où les plantes gypsophiles ne font qu'accompagner d'autres groupements.

La première catégorie compte 17 unités regroupées ci-dessous :

- 1- sur sols squelettiques ou regssols sur roches gypseuses : N° 88, 110 et 65 a et b (pro parte)
- 2- sur sols peu évolués sur alluvions gypseuses plus ou moins salées : n° 128 (encroûtement gypseux de nappe)
- 3- sur sols à croûte ou encroûtement de surface : N° 60, 64, 67, 73, 90, 91, 110, 117
- 4- sur les mêmes sols avec un recouvrement sableux gypseux : N° 104
- 5- sur des sols à encroûtement de profondeur (sans nappe) : N° 33, 63, 82, 84

À quoi il faut ajouter l'unité 121 représentée seulement dans la partie sud qui n'existe pas sur la carte pédologique, correspondant à un reg gypseux sur croûte.

La seconde catégorie comporte 21 unités :

- 1- sur les sols peu évolués légèrement gypseux : N° 24, 61, 73, 74, 103, 113, 123
- 2- sur des sols bruns steppiques faiblement encroûtés : N° 71, 36-a, 44, 45-a-b, 53, 59, 62, 66, 69, 72, 83, 127
- 3- sur des sols sableux gypseux à hydromorphie recouvrant un sol salé : N° 70, 116

À quoi il faut ajouter l'unité 113 de l'extrême sud sur sables gypseux légèrement encroûtés.

2. Caractéristiques des principales unités

Sans entrer dans le détail des unités représentées, qui sont de recouvrement spatial très faible (de 50 à 5240 ha), il nous semble bon de citer les plus importantes.

L'association la plus largement représentée est l'association 3 Tragopogon nudatus, Quercus coccinea et Quercus molle (N° 114), qui colonise les sols gypseux salins des zones sud et sub-sahariennes du Sahel. C'est une pseudosteppe à monophanérophytes dont le recouvrement ne dépasse pas 15 à 10% de la surface du sol.

Elle est suivie par l'association à Anerchium brevifolium et Zygophyllum (N° 90) typique des sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface. C'est une steppe à chacophytes dont le recouvrement n'excède pas également 15 à 20%.

Vient ensuite la variante à Portulaca arvensis (N° 75) de l'association précédente, dont les caractéristiques écologiques sont similaires, le climat écologique étant toutefois plus continental.

Plus au sud fait suite l'association à Tragopogon nudatus et Anchusa articulata (N° 117) qui colonise également des encroûtements et croûtes gypseux, développés sur des nappes de Crétacé à facile validation de part et d'autre du Sahel (N° 118). C'est une steppe ouverte à chacophytes qui couvre seulement 10 à 20% de la surface du sol.

Au sud de la précédente on trouve la sous-association à Salicornia (N° 119) de l'association à Arthya arvensis et Synedra (N° 120) qui couvre des surfaces importantes à l'est de Tadmouk et entre Douk et Oum El Chla. Il s'agit là de rochers sur roches gypseuses (argiles ou calcaires).

Enfin une dernière unité dont la surface dépasse le million de ha est la sous-association à Lycium spartum (N° 87) de l'association à Shanthea (N° 88) et Artemisia campestris qui colonise des sols bruns steppiques plus ou moins encroûtés dans les régions de Zougret-Le Khirra, à l'est de Gziba et dans la région de Bir Ali Ben Khalifa.

En total on peut ainsi recenser approximativement, d'après la carte phytoséologique :

- 92.000 hectares de rochers sur roches gypseuses (unité 6')
- 670.000 " de sols peu favorables d'apport foliaire gypseux (unité 1')
- 650.000 " de sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface (unité 4')
- 232.000 " de sols bruns steppiques gypseux (unités 8' - 10')
- 397.000 " de sols bruns steppiques et de sols peu favorables sur encroûtement gypseux (unité 9')
- 97.000 " de sols à croûte de nappe (unité 11') non ou peu salés
- 338.000 " de sols salés et sols à alcali gypseux (unité 12')

Celalement on observe ainsi près de 1 million d'hectares de sols très marqués par le gypse, dans lesquels ont eu lieu des redistributions liées à la pédogenèse, et près de 1 million et demi d'hectares où les manifestations du gypse sont plus discrètes. Nous verrons plus loin que les unités correspondantes peuvent être très utiles pour prévoir l'accentuation éventuelle d'une pédogenèse gypseuse.

D. Comparaison des données fournies par la carte pédologique et la carte phytosociologique

1. Données d'ensemble

Il nous a semblé intéressant de confronter les données de ces deux cartes, non dans le but de les critiquer l'une l'autre, mais pour en mettre en évidence les convergences et tenter d'en expliquer les divergences éventuelles.

Rappelons cependant que ces deux cartes ne sont pas de même nature. La carte pédologique est formée, comme nous le remarquons ci-dessus (1.-), soit d'unités "simples", au niveau des "groupes" de la classification, le plus souvent, soit d'associations dans lesquelles on ne connaît pas la répartition des sols associés. Par contre, la carte phytosociologique comprend peu d'associations de sols au sens pédologique, chaque unité étant rapportée à un type de sol particulier plus ou moins défini. Cependant, le manque de précision de ces définitions, que l'on ne saurait reprocher au phytosociologue, empêche de réaliser tout bonnement une carte pédologique conforme à partir de la carte phytosociologique.

Par ailleurs, le nombre plus élevé d'unités concernant le gypse dans la carte phytosociologique, par rapport à la carte pédologique (18 contre 12), ne doit pas faire illusion. On sait bien, en effet, que sous l'influence du climat les groupements végétaux réagissent plus vite que les sols, soit par l'installation ou la disparition d'espèces caractéristiques, soit, très souvent, par des modifications d'importance relative de telle ou telle espèce dans les associations. La carte phytosociologique serait même relativement simplificatrice puisque l'on ne recense que 7 grandes unités de sols ou solifères (voir plus haut).

Ce n'est donc qu'avec quelques réserves, que nous tenterons de dissiper le doute venu, que cette confrontation a été tentée.

Après avoir procédé à quelques regroupements dans les deux cartes, on distingue 6 grandes catégories de sols (Tableau II).

Tableau II

Détermination comparée des grandes unités de sols

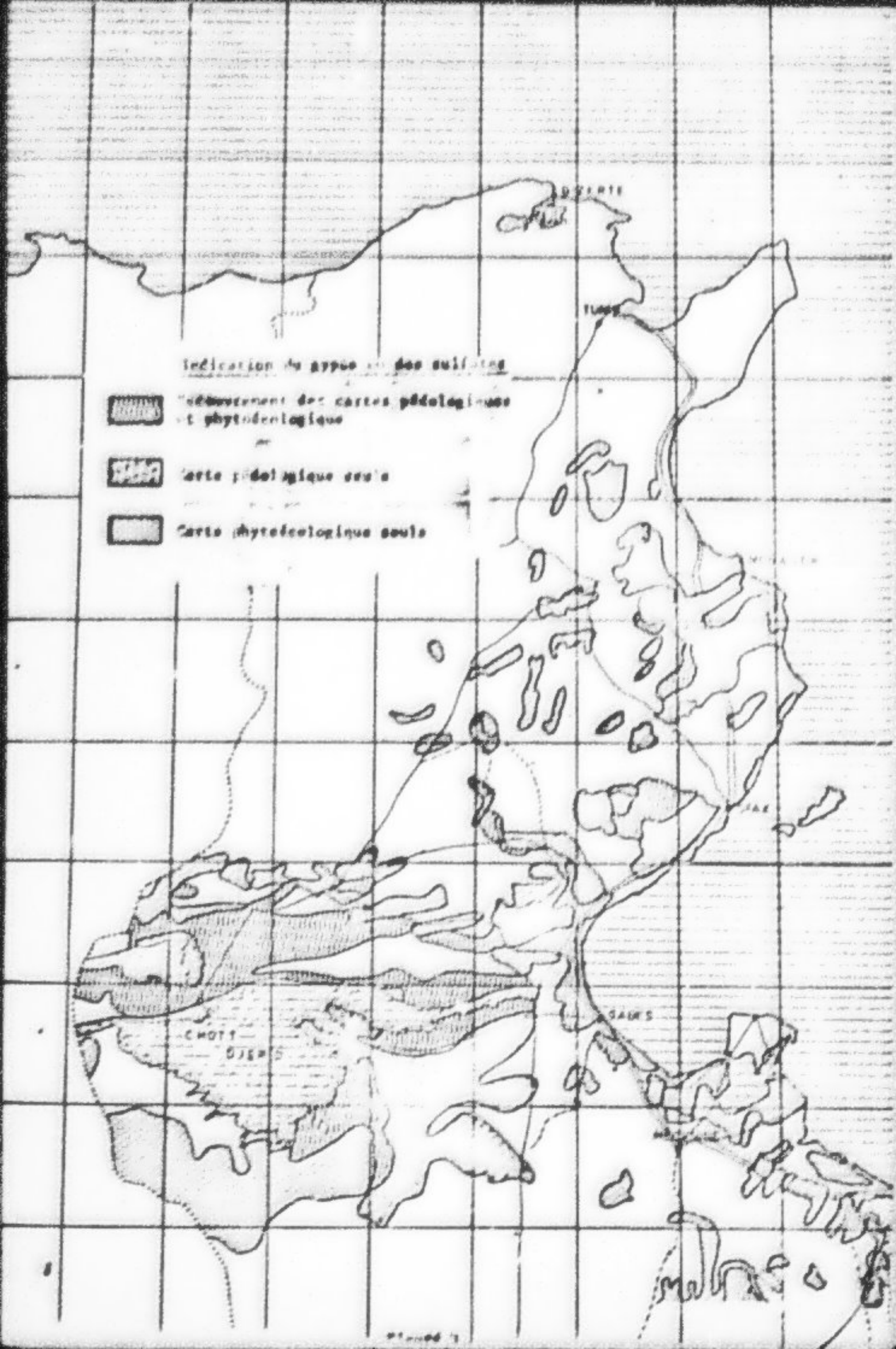
	Carte Pédologique	Carte phytécologique
Sols minéraux - non climatiques d'érosion	$1/2(1+4+6) = 184,000$ ha	6' = 96,000
- d'apport solien gypseux	$1/2 (1) = 125,000$	1' = 470,000
Sols calcareux, croûtes et encr. gypseux	$4 + 5 + 1/2 (2+3+6+7) =$ 783,000	4' = 655,000
Sols bruns gyps. bruns jaunes et peu sal. gyps.	$1/2 (8) + 10 = 21,000$	8' + 10' = 232,000
• Sols bruns et peu sal. sur encr. gypseux	$9 + 1/2 (3 + 7) =$ 179,000	9' = 397,000
Sols hydrom. et halom. à cr. gyps. rupp.	$11 + 12 = 305,000$	11' + 12' = 435,000

Le bilan montre que face aux 1.597.000 hectares de la carte pédologique existeraient 2.485.000 hectares relevés par la carte phytécologique. La différence de 892.000 hectares, correspondant à une extension sensible des sols secondaires à une pédologie gypseuse généralement discrète, concernerait notamment des régions dans le sud (région des affleurements de Trias à l'est et au sud-est de Tatchoulne), des sols minéraux bruts non climatiques d'apport solien gypseux (bords de sabkhas dans la région centrale, dans la région de Nefte-Tousur, sables gypseux sur sols salés de la bordure sud du Djerid), des sols bruns lacustiques gypseux et des sols bruns sur encroûtement gypseux un peu partout, de même que des sols salés ou salés à alcali.

2. Convergences et divergences

La comparaison des deux cartes, de même que la lecture du tableau II, permettent de constater qu'il existe des zones où existe un parfait recouvrement,

- l'examen des cartes de détail montre qu'il s'agit plus souvent de sols bruns steppiques plus ou moins froids sur encroûtement gypseux plutôt que de l'association à sols bruns et sols calcareux-magnésiens gypseux.



Il en existe d'autres où l'une des cartes seulement rend compte de l'existence de sols plus ou moins gypseux. Nous examinerons successivement ces trois possibilités (Figure 1).

a) Etude des plages où se manifeste une convergence entre les indications de la carte pédologique et de la carte phytécologique.

Ces plages correspondent plus ou moins complètement d'une part à 7 des 12 unités de la carte pédologique (N° 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12), d'autre part à 28 des 36 unités de la carte phytécologique. Notons que l'unité 5 de la carte pédologique se trouve dans une zone externe à la carte phytécologique. Il y a le plus souvent accord plus ou moins étroit entre les deux cartes; la plupart des différences provenant d'appellations pas tout à fait concordantes entre les auteurs pour certains types de sols. D'autres, au contraire, méritent un examen plus approfondi. (Tableau III)

TABLÉAU III
Convergence des unités de sols

<u>Carte pédologique</u>		<u>Carte phytécologique</u>	
n° d'unités	n° d'unités	grandes unités correspondantes	
2	64 69 70 <u>72</u> 103 114	1' 4' 9' 12'	
3	<u>59</u> 60 <u>73</u>	4' 8' 12'	
4	53 61 62 63 72 73 75 90 <u>91 103 104 110 112 127</u>	1' 4' 6' 8' 9' 12'	
6	66 <u>68</u> 69 90 110	4' 6' 8' 9'	
8	82 88	6' 9'	
9	37a 61 82 83 84 90 <u>127</u>	1' 9'	
10	72	9'	
11	56a 77 82 128	9' 12'	
12	<u>90</u> 103 114 127 128	1' 4' 12'	

N.B. : Les unités phytécologiques soulignées correspondent aux cas où existent de fortes divergences entre les dénominations de sols des deux cartes.

1 million d'hectares de sols très
au lieu des redistributions liées
demi d'hectares où les manifesta-
verrons plus loin que les unités
pour prévoir l'accentuation éventuel-

arte pédologique et la carte phyto-

ronter les données de ces deux
l'une l'autre, mais pour en marquer
en expliquer les divergences

es ne sont pas de même nature.

us le remarquons ci-dessus (1.-),
rudes" de la classification, la
quelles on ne connaît pas la répar-
arte phytoécologique comprend peu
chaque unité étant rapp. rtée
défini. Cependant, le manque de
seurait reprocher au phytosociologue,
ta pédologique confirme à partir

unités concernant le gypse dans
carte pédologique (38 contre 12),
en effet, que sous l'influence du
plus vite que les sols, soit par
caractéristiques, soit, très
relative de telle ou telle
écologique serait même relative-
ne que 7 grandes unités de sols

s, que nous tenterons de dissiper
té tentée.

ements dans les deux cartes, en
leau II).

Tableau II

Répartition comparée des grandes unités de sols

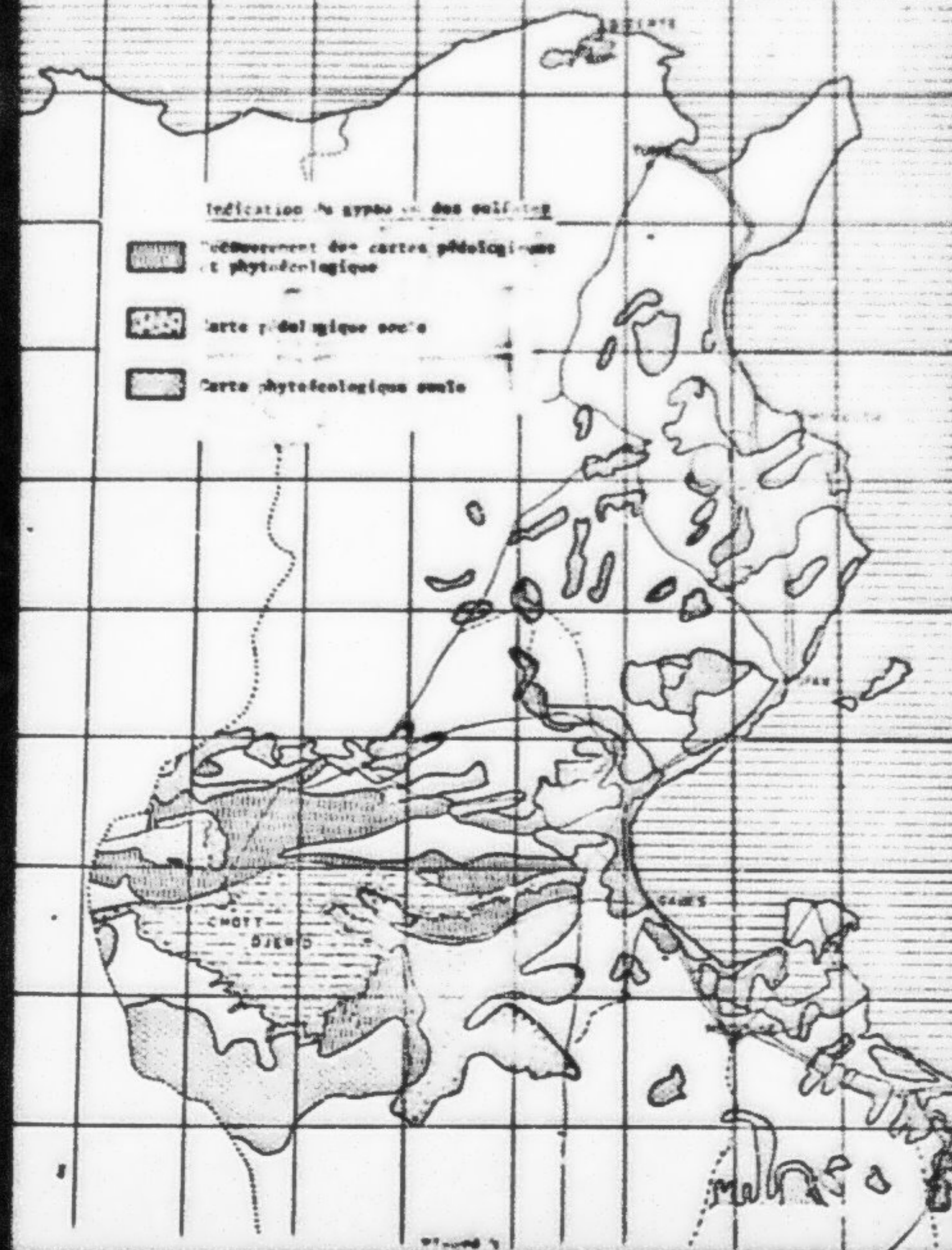
	Carte Pédologique	Carte phytécologique
Sols minéraux non climatiques d'apport éolien	$1/2(1+6+8) = 184.000$ ha	6' = 96.000
- d'apport éolien gypseux	$1/2(1) = 125.000$	1' = 670.000
Sols calcaires, croûte et encl. gypseux	$4 + 5 + 1/2(2+3+6+7) = 783.000$	4' = 655.000
Sols bruns gyps. bruns jeunes et peu évol. gyps.	$1/2(8) + 10 = 21.000$	8' + 10' = 232.000
Sols bruns et peu évol. sur encl. gypseux	$9 + 1/2(3+7) = 179.000$	9' = 397.000
Sols hydrom. et halom. à cr. gyps. nappes.	$11 + 12 = 305.000$	11' + 12' = 435.000

Le bilan montre que face aux 1.597.000 hectares de la carte pédologique existaient 2.485.000 hectares relevés par la carte phytécologique. La différence de 892.000 hectares, correspondant à une extension sensible des sols soumis à une pédogénèse gypseuse généralement discrète, concernerait notamment des régosols dans le sud (région des affleurements de Trias à l'est et au sud-est de Tatahouine), des sols minéraux bruts non climatiques d'apport éolien gypseux (bords de sebkhas dans la région centrale, dans la région de Nefta-Toseur, sables gypseux sur sols salés de la bordure sud du Djerid), des sols bruns isohumiques gypseux et des sols bruns sur encroûtement gypseux un peu partout, de même que des sols salés ou salés à alcali.

2. Convergences et divergences

La comparaison des deux cartes, de même que la lecture du tableau II, permettent de constater qu'à côté de zones où existe un parfait recouvrement,

• l'examen des cartes de détail montre qu'il s'agit plus souvent de sols bruns steppiques plus ou moins épais sur encroûtement gypseux plutôt que de l'association à sols bruns et sols calcagnésisomorphes gypseux.



Il en existe d'autres où l'une des cartes seulement rend compte de l'existence de sols plus ou moins gypseux. Nous examinerons successivement ces trois possibilités (Figure 1).

a) Etude des places où se manifeste une convergence entre les indications de la carte pédologique et de la carte phytécologique.

Ces places correspondent plus ou moins complètement d'une part à 7 des 12 unités de la carte pédologique (N° 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12), d'autre part à 29 des 34 unités de la carte phytécologique. Notons que l'unité 5 de la carte pédologique se trouve dans une zone externe à la carte phytécologique. Il y a le plus souvent accord plus ou moins étroit entre les deux cartes; la plupart des différences provenant d'appellations pas tout à fait concordantes entre les auteurs pour certains types de sols. D'autres, au contraire, méritent un examen plus approfondi. (Tableau III)

TABLEAU III
Convergence des unités de sols

Carte pédologique n° d'unités	Carte phytécologique n° d'unités	grandes unités correspondantes
2	64 69 70 73 103 114	1' 4' 9' 12'
3	52 60 73	4' 8' 12'
4	53 61 62 63 72 73 75 90 91 103 104 110 117 127	1' 4' 6' 8' 9' 12'
6	64 68 69 90 110	4' 6' 8' 9'
8	82 88	6' 9'
9	36 61 82 83 84 90 127	1' 5'
10	72	9'
11	36 72 82 128	9' 12'
12	90 103 114 127 128	1' 4' 12'

N.B. : Les unités phytécologiques soulignées correspondent aux cas où existent de fortes divergences entre les dénominations de sols des deux cartes.

L'unité 73 correspond à des sols alluviaux plus ou moins gypseux et salés qu'il peut être difficile d'associer à des sols gris eubédertiens et encore moins à des sols calcagnésisomorphes à croûtes gypseuses.

Les unités 53, 52, 62 et 68 de sols bruns steppiques gypseux semblent correspondre plus à des sols peu évolués, parfois en couverture mince de sols à croûte.

Enfin, les unités 90 et 127 montrent qu'il existe parfois une ambiguïté dans le classement des sols entre ceux qui comportent un encroûtement ou une croûte gypseuse d'origine calcisomorphe, donc le plus souvent au surface et ceux dans lesquels l'accumulation du gypse est causée par une action nappes.

b) Etude des places où n'existe que l'indication pédologique du gypse

Étant donné que plus de la moitié des unités "gypseuses" de la carte pédologique sont des associations de sols, en admettant que certains groupes végétaux non gypseux apparaissent comme dominants sur les terres gypseuses de ces associations, si on les élimine il reste ainsi des places unités 4, 9 et 12, auxquelles on ajoutera l'unité 1.

Dans les zones couvertes par l'unité 1, la carte phytécologique signale des sols squelettiques conformes des unités phytécologiques 108 et 109 mais se pose le problème de l'unité 71 de sols bruns steppiques sur sables grossiers selon Le Roux; il semble que le gypse d'origine colluviale de ces sols n'ait que peu marqué la végétation.

Notons qu'il apparaît une contradiction entre la carte phytécologique et la notice qui l'accompagne à propos de la région au Sud du Djerid. L'association 108 est portée sur la carte alors que la notice mentionne l'association 110, plus typiquement gypseuse. Une erreur de dessin pourrait en être la cause (?).

Dans l'unité 4, la carte phytécologique mentionne fréquemment des ensembles de sols qui sont soit des sols bruns steppiques plus ou moins riches en calcaire, soit des sols squelettiques sur croûte calcaire. Compte tenu des incertitudes sur la profondeur des encroûtements gypseux dans certaines études de sols (voir plus loin), il est possible que celui-ci marque pas dans la végétation, au moins dans les zones de bas de pente.

L'unité 71 correspond à des sols alluviaux plus ou moins gypseux et salés qu'il peut être difficile d'assimiler à des sols gris subdésertiques et encore moins à des sols calcimorphes à croûtes gypseuses.

Les unités 53, 59, 62 et 66 de sols bruns steppiques gypseux semblent correspondre plus à des sols peu évolués, parfois en couverture mince sur des sols à croûte.

Enfin, les unités 90 et 127 montrent qu'il existe parfois une ambiguïté dans le classement des sols entre ceux qui comportent un encroûtement ou une croûte gypseuse d'origine calcimorphe, donc le plus souvent en surface, et ceux dans lesquels l'accumulation du gypse est causée par une action de nappe.

b) Etude des places où n'existe que l'indication pédologique du gypse.

Etant donné que plus de la moitié des unités "gypseuses" de la carte pédologique sont des associations de sols, on admettra que certains groupements végétaux non gypseux apparaissent comme dominants sur les terres non gypseuses de ces associations. Si on les élimine il reste ainsi des places des unités 4, 9 et 12, auxquelles on ajoutera l'unité 1.

Dans les zones couvertes par l'unité 1, la carte phytécologique signale des sols squelettiques conformes des unités phytécologiques 108 et 109 mais se pose le problème de l'unité 71 de sols bruns steppiques sur sables grossiers selon Le Fouercu ; il semble que le gypse d'origine colluviale de ces sols n'ait que peu marqué la végétation.

Notons qu'il apparaît une contradiction entre la carte phytécologique et la notice qui l'accompagne à propos de la région au Sud du Djebel Tabaga. L'association 108 est portée sur la carte alors que la notice mentionne l'association 110, plus typiquement gypseuse. Une erreur de dessin pourrait en être la cause (7).

Dans l'unité 4, la carte phytécologique mentionne fréquemment deux ensembles de sols qui sont soit des sols bruns steppiques plus ou moins encroûtés en calcaire, soit des sols squelettiques sur croûte calcaire. Compte tenu des incertitudes sur la profondeur des encroûtements gypseux dans certaines études de sols (voir plus loin), il est possible que celui-ci ne marque pas dans la végétation, au moins dans les zones de bas de pente.

Dans l'unité 9 on trouve quelques plages de sols squelettiques sur croûte calcaire qui peuvent être parfois mêlés à l'association.

Enfin, l'unité 17 est souvent représentée, dans la carte phytécologique, par des groupements de sols mêlés à Helicornia ; dans ce cas, il est possible que le caractère salin soit suffisamment fort pour masquer, dans la végétation, la présence d'une croûte gypseuse de nappe en profondeur.

c) Étude des plages où n'existe que l'indication phytécologique du gypse

Ce cas est particulièrement intéressant car il permet de mettre en évidence la présence de gypse ou le l'ion SO_4 dans les solutions eaux, en plus ou moins grande quantité dans le sol, mais d'une façon, ou à une profondeur, telles, que les caractères morpho-pédologiques ne s'en trouvent nullement marqués, d'autres différenciations étant beaucoup plus évidentes. Ce permet donc de précieux repères pour l'estimation des zones pouvant être éventuellement affectées d'une pédogénèse gypseuse mineure, soit naturelle, soit induite par des aménagements (irrigation notamment).

Une vingtaine d'unités de la carte phytécologique nous révélant ainsi l'existence du gypse sous forme de substrats géologiques (rugs et marnes gypseux), pédologiques (croûtes) ou alluviaux, généralement recouverts de sols peu évolués parfois eux-mêmes gypseux et (ou) salés. Ces unités recouvrent partiellement des plages de la carte pédologique appartenant à 5 classes de sols :

- 1 - Classe des sols peu évolués
 - climatiques : sols gris subdésertiques (unité 116)
 - non climatiques : sols peu évolués d'apport aride ou vertiques (unités : 21-33-44-61-64-72-73-74-75-123-127)
- 2 - Classe des sols calco-magnésimorphes : rendzines, sols bruns solcaires, parfois même de régosols (14-16-44-45-64-67-83-90-128)
- 3 - Classe des vertisols (24 - 61)
- 4 - Classe des sols isohumiques : sols bruns et brun-rouges, sols bruns à encroûtement calcaire, sols bruns jeunes et sierosols (21-24-44-45-59-61-66-67-82-90-123-127)
- 5 - Classe des sols halomorphes : sols salés à alcali (61-62-63-83-123)

Dans la sous-classe des sols peu évolués climatiques, les sols gris subdésertiques seraient constitués de sables gypseux parfois légèrement encroûtés et reposant sur un substrat salé. Il s'agit de zones périssabliques, notamment au Sud et au Sud-Ouest du Chott Djerid.

Dans la sous-classe des sols peu évolués non climatiques, d'apports alluviaux ou colluviaux, le gypse ne semble pas marquer dans le profil, bien qu'il puisse exister en profondeur, sous forme d'un encroûtement gypseux de nappe ou de type calcimorphe. Les encroûtements de surface sont généralement de type calcomagnésimorphe (ou calcimorphe) mais peuvent être enfouis sous des recouvrements (voir 2ème partie). Notons que la classification pédologique ne prévoit pas de rubrique spéciale à haut niveau pour les sols peu évolués gypseux qui n'apparaissent qu'au niveau de la famille, rarement représentée à l'échelle du 1/500.000. On pourrait prendre comme exemple les sols de séguis, dont la flore à Horcasotia arvensis indique la présence de gypse.

Dans la classe des sols calco-magnésimorphes, les rendzinas et sols bruns calcitres ont pu se développer à partir d'un substrat plus ou moins gypseux, mais dans des positions topographiques bien drainantes, dans les régions centrales de Tunisie, le gypse étant maintenu en profondeur, mais influençant seulement la végétation.

Dans la classe des verticaols, le caractère vertique masque complètement l'influence du gypse. Cependant il induit également un régime hydrique saisonnièrement sec pour les végétaux, qui, étant obligés de rechercher l'humidité en profondeur, mettent ainsi le gypse profond en évidence.

Dans la classe des sols isohumiques, les sols bruns et brun-rouges se trouvent aussi fréquemment sur des substrats gypseux comme d'anciennes boueilles de sabkhas. D'autre part, les sierozems mentionnés sur la carte pédologique, qui seraient peut-être plus étendus, présentant souvent du gypse dans le profil sans que l'on y attache un caractère gypseux franc, sauf lorsque apparaît un encroûtement net en profondeur.

Enfin dans la classe des sols halomorphes, des sols salés à cicelli semblent présenter de faibles accumulations gypseuses à différentes profondeurs. L'étude des groupements floristiques seuls permet de les déceler alors que la salure semble être le caractère pédologique dominant.

2. Répartition globale des sols gypseux en Tunisie

La carte pédologique nous permet d'estimer la surface couverte par des sols gypseux purs ou en association à près de 1.600.000 hectares, dont approximativement 783.000 de sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface plus ou moins recouverts, 105.000 de sols hydromorphes ou halomorphes à croûte de nappe, soit un total dépassant le million d'hectares de sols gypseux "francs", auxquels s'ajoutent 509.000 hectares de sols moins fortement marqués par le gypse.

La carte phytécologique, de son côté, fait apparaître un peu moins de sols à croûte ou encroûtement de surface (695.000 hectares) mais par contre beaucoup de sols dite bruns steppiques sur encroûtement parfois peu profond (177.000). De même, elle signale de nombreux sols bruns steppiques gypseux sans encroûtement en profondeur (232.000). Par ailleurs, les surfaces de sols peu évolués gypseux non salés et salés apparaissent très importantes (respectivement 670.000 et 435.000), sur un total atteignant 2.485.000 hectares.

On a représenté sur une carte schématique (Planche hors texte) la synthèse des données de ces deux cartes, sous la forme d'une carte des sols et substrats gypseux, ce terme permettant de ne pas apporter trop de précision dans les cas litigieux.

La carte comporte 7 unités simples et 6 associations :

- L'unité I regroupe essentiellement des regaeols sur roches très gypseuses couverts principalement par l'unité 110 de la carte phytécologique, au Sud de Tatahouine.
- L'unité II correspond aux unités 113 et 114 de la carte phytécologique.
- L'unité III est celle des sols calcimorphes à croûte et encroûtement gypseux de surface et correspond aux unités 4 et 5 de la carte pédologique auxquels s'ajoutent les unités phytécologiques 60 et 64 dans le centre, 75 et 90 dans le sud.
- L'unité IV concerne des sols bruns isohumiques, bruns jeunes ou peu évolués à tendance isohumique, tous gypseux, correspondant à l'unité 10 de la carte pédologique et aux unités 51 et 52 dans le centre, 59, 66 et 68 dans le sud, de la carte phytécologique.

- L'unité V regroupe les sols bruns isohumiques sur encroûtement gypseux, généralement eux-mêmes non gypseux, de l'unité 9 de la carte pédologique et des unités 21, 36a, 44 dans le centre, 67, 72, 82, 83 et 84 dans le sud, de la carte phytécologique.
- L'unité VI correspond aux sols alluviaux gypseux, plus ou moins salés, généralement peu différenciés, mais présentant des tendances à l'hydromorphie ou, plus souvent, à l'halomorphie, des unités 24, 123 dans le centre, 70, 73 et 74 dans le sud, de la carte phytécologique.
- L'unité VII concerne les sols hydromorphes ou halomorphes à croûte ou encroûtement gypseux de nappe, donc les unités 11 et 12 de la carte pédologique, auxquelles on adjoint l'unité 33 dans le centre et les unités 127 et 128 dans le sud, de la carte phytécologique.

Les associations sont respectivement formées de :

- Régosols et regs de croûte associés à des sols minéraux bruts d'apport folien gypseux, largement représentés au sud du Djebel Tabaie (I-b)
- Sols calco-magnésimorphes à croûte ou encroûtement associés à
 - . des régosols (III-b)
 - . des sols peu évolués climatiques d'apport folien (III-c)
 - . des sols peu évolués non climatiques d'apport (III-d)
- Sols bruns associés à des régosols (IV-b)
- Sols bruns steppiques sur encroûtement gypseux associés à des régosols (V-b)

Une estimation globale à partir de cette carte de synthèse fait apparaître un total de sols marqués par la présence du gypse assez nettement supérieur à celui que fournit la carte phytécologique, qui fait elle-même ressortir une superficie plus grande que la carte pédologique, respectivement 2.854.000 hectares pour la carte de synthèse, contre 1.597.000 à la carte pédologique et 2.455.000 à la carte phytécologique. Cette différence s'explique par le fait qu'il existe non seulement des plages où n'existe pas l'indication phytécologique du gypse, mais aussi d'autres où ne figure que l'indication pédologique (voir ante I-3-b-2*). En employant un langage mathématique, on peut ainsi dire, considérant les sols gypseux de la carte pédologique comme l'ensemble "A", ceux de la carte phytécologique comme l'ensemble "B", que les plages où se manifeste une convergence correspondent à l'intersection "C" de ces deux ensembles, tandis que la carte de synthèse correspond à leur "union".

On a porté dans le tableau IV les superficies couvertes par les unités simples et les associations, en faisant rassembler pour chaque association les parts respectives d'unités simples les composant, ceci permettant de faire un total synthétique des grands groupes de sols gypseux du territoire.

Tableau IV

Composition et superficie obtenue des unités de la carte de synthèse

	Unités simples ha	I	II	III	IV	V	VI	VII
Associations		31	428	198	88	171	277	364
I-b	242	171	121					
III-b	104	52		52				
III-c	171			85,5				
III-d	43			21,5				
IV-b	27	13,5			13,5			
V-b	37	18,5				18,5		
Total		236	549	277	101,5	389,5	277	364 (2.854)

(surfaces en milliers d'hectares)

Cette carte ne constitue qu'une première approche qu'il sera nécessaire d'affiner par l'étude des zones classées comme non gypseuses dans les études pédologiques, une restructuration de la nomenclature des sols gypseux en fonction des caractéristiques, à préciser, des différents types d'accumulation et de pédogénèse, enfin par une corrélation à établir sur le terrain même.

Elle a cependant le mérite, malgré ses imperfections, de prendre conscience d'une étendue possible des surfaces des sols gypseux au sens large, qui pourrait concerner près d'un million d'hectares, ce qui semble sans doute une raison suffisante pour s'intéresser de près à la dynamique des sols gypseux, de la migration et de l'accumulation du gypse, afin d'en mieux connaître les possibilités d'utilisation et d'amélioration.

II. - ETUDE DES CARTES A MOYENNE ECHELLE CORRESPONDANT A DES ETUDES LOCALES DU SERVICE PEDOLOGIQUE

Ces études s'étendent sur une vingtaine d'années, au cours desquelles les idées, comme d'ailleurs les classifications pédologiques, ont largement évolué. A propos des sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface, par exemple, il ressort que des hésitations se sont parfois fait jour pour les classer soit dans les lithosols et régosols, soit dans les sols calco-magnésimorphes, ou d'autre part, pour les considérer comme des sols actuels ou des pédosols. Ainsi LE HOUEROU (1960) estime que dans le sud, il n'existe pas de sols véritablement évolués sur roche en place, mais seulement, compte tenu du climat actuel, des sols minéraux bruts ou peu évolués, à côté bien entendu, des sols hydromorphes ou halomorphes.

A. Classification des sols gypseux

Pour fixer les idées, les unités des différentes cartes ont été regroupées dans le cadre de la classification pédologique française, CPCE 1967 et AUBERT 1965, éventuellement légèrement adaptée à la Tunisie. Pour ce faire, il a été parfois nécessaire d'interpréter la légende fournie par les auteurs, mais nous nous sommes efforcés d'y rester aussi fidèles que possible.

Les sols gypseux se répartissent ainsi dans 6 classes de la classification française :

- Classe des sols minéraux bruts

On distingue ici deux groupes importants : Les sols d'érosion ou d'ablation et les sols d'apport. Pour les premiers, il semble que les auteurs se soient entendus pour ranger les croûtes gypseuses de surface dans les lithosols et les encroûtements de surface de préférence dans les régosols, qui sont par ailleurs fréquents sur roches gypseuses. Cependant, il s'agit là le plus souvent, de croûtes dures recouvrant d'anciennes surfaces d'érosion ou des glacis relativement anciens et élevés : En effet, la plupart des sols à croûte ou encroûtement gypseux de surface ont été classés dans les sols calco-magnésimorphes.

Dans l'extrême-sud, LE HOUEROU (1960) signale deux types de régosols : l'un sur "loess" (limon à nodules) qui contient de faibles quantités homogènes de gypse (3 à 4 %) ce qui conférerait au sol une certaine compacité à sec et un aspect savonneux à l'état humide, l'autre sur matériau calcaire ou gypseux pulvérulent.

Dans les sols d'apport se rassemblent les sols à recouvrement colluvial ou éolien sur des croûtes ou des encroûtements, le matériau du recouvrement pouvant être lui-même gypseux. La croûte n'est souvent aussi qu'un substrat sans influence notable sur le sol sus-jacent.

Notons que dans la classification des sols gypseux proposée par Roudelet et Bourdet (ES 42, 1962), les sols minéraux bruts gypseux ne comprennent que les dunes gypseuses, ainsi sans doute que les bourrellets de sabkhas, lorsqu'ils n'ont pas subi d'évolution notable.

- Classe des sols peu évolués

Faisant abstraction des sols peu évolués climatiques, présents dans l'extrême-sud mais peu étudiés, ils comprennent surtout des sols d'apport non climatiques.

De même que pour les sols minéraux bruts d'apport, le recouvrement alluvial ou colluvial peut être lui-même gypseux. Mais on trouve toujours à faible profondeur soit un encroûtement qui peut être une ancienne accumulation de surface ou une croûte de nappe, soit un limon à nodules encroûtés. Rappelons que dans la classification française, la limite avec le substrat ne doit pas être brutale.

- Classe des sols calco-magnésimorphes

Dans la classification française, les sols gypseux, depuis 1960 (AUBERT, 1965), se rangent dans une sous-classe spécifique. Cependant, les sols gypseux de Tunisie ne trouvent pas toujours bien leur place, sauf pour ce qui est des sols à croûte ou encroûtement de surface, qui font l'objet d'un groupe dans la classification Aubert, mais pas dans celle du CPCB.

Les autres groupes, sols gypseux rendziniformes et sols bruns gypseux ne conviennent qu'imparfaitement aux sols tunisiens. Les sols appelés, dans diverses études, sols bruns à encroûtement gypseux de profondeur, souvent sans liaison génétique entre le sol brun et l'encroûtement, sont plus souvent classés dans les sols isohumiques, dans le groupe des sols marrons, sous-groupe encroûté.

Au contraire, les sols peu différenciés présentant des sols gypseux plus ou moins diffus, ou un gradient gypseux, avec ou non un encroûtement en profondeur, s'y classent assez bien.

Dans le Nord, les profils de sols formés sur des colluvions gypseuses se rapprochent des sols bruns calcaires.

Lorsqu'ils sont considérés comme des paléosols, ces sols calcimagnésimorphes forment deux ordres (ou sous-classes) : les paléosols calcimorphes à croûte calcaire, et les paléosols gypsomorphes à croûte gypseuse.

- Classe des sols lachuniques

Dans la sous-classe à climat frais pendant la saison pluvieuse, on rencontre des sols serrons (plus souvent appelés "bruns") et des sierosens. Les uns et les autres seraient aussi généralement formés à partir de recouvrements d'épaisseur variable sur des croûtes ou des encroûtements gypseux, parfois avec une couche intermédiaire de limons à nodules.

Au sein du groupe brun, une assez grande variété est encore de règle, soit que les sols soient développés exclusivement dans le matériau recouvrant la croûte ou l'encroûtement gypseux, soit que la base du sol brun soit imprégnée de gypse, notamment lorsque le recouvrement est peu épais. Par contre, dans le groupe des sierosens, sous-groupe encroûté, il existe toujours une accumulation plus ou moins importante du gypse au sein du profil, sous forme cristalline ou diffuse, mais l'encroûtement est souvent plus calcaire que gypseux (Cf. 320)

Notons que dans son étude, LE NOUVEAU classe ces sols en deux groupes principaux : les sols bruns subdésertiques (équivalents des sols bruns steppiques des pédologues) et les sols gris subdésertiques (sierosens) en définissant pour le premier groupe, deux sous-groupes, l'un à profil homogène, l'autre à nodules, séparé au niveau de la famille en nodules calcaires et nodules gypseux, et dans le second trois sous-groupes, à imprégnation, calcaire, gypseuse, ou calcaro-gypseuse. Dans le dernier cas, l'auteur note un encroûtement calcaire près de la surface, tandis que l'encroûtement gypseux est plus profond.

- Classe des sols xéromorphes

Sont ici concernés les sols du groupe à redistribution du calcaire ou du gypse. Cette redistribution peut se présenter sous forme diffuse ou en nodules, sans, etc..., ou sous la forme d'un encroûtement de nappe, correspondant à un sous-groupe particulier.

Dans la zone saharienne et l'extrême-sud, LE NOUVEAU cite, dans le groupe des sols à encroûtement gypseux deux sous-groupes, l'un à gypse

pulvérisent et accumulation en nodules (ras helb) sur croûte gypseuse profonde, l'autre à intumescences de surface, auxquels il ajoute un groupe à croûte gypseuse de transport (?), dans des formations alluviales enrichies par lessivage du gypse des rocs.

- Classe des sols helcomorphes

Qu'ils appartiennent aux sols salés ou aux sols à alcali, la principale caractéristique de ces sols est qu'ils présentent, au voisinage de la zone de battement de la nappe phréatique, un horizon encroûté, appelé "terch", la partie supérieure du profil étant salée, ou des niveaux de cristallisation du gypse (rose des sables). Notons que cette catégorie ne figure pas dans la classification du CPCB, alors qu'elle existe au niveau du sous-groupe dans la classification ADPPT, l'existence d'une nappe n'étant cependant pas précisée.

Dans son étude sur les encroûtements gypseux de nappe, FAUCET (1968) précise que ceux-ci peuvent se former aussi bien dans des horizons de surface qu'en profondeur. Les premiers appartiendraient au sous-groupe à croûte saline superficielle, les seconds au sous-groupe à encroûtement de profondeur.

Il existe également, dans des sols salés ou à alcali, des accumulations de gypse sous forme diffuse, en crues friables, en nodules ou en macrocristaux effilés, roses des sables.

B. Recensement des unités cartographiques

Le tableau V a été réalisé à partir des unités cartographiques dans une quarantaine d'études à moyenne échelle (1/25.000 à 1/100.000) du Service pédologique, couvrant l'essentiel des zones gypseuses du territoire tunisien. A certains niveaux de la classification, groupe ou sous-groupe, on a introduit une distinction entre les sols non gypseux reposant sur un substrat gypseux, encroûté ou non (A), et les sols gypseux dès leurs horizons supérieurs (B). Les numéros des études concernées sont indiqués entre parenthèses.

Le recensement des unités cartographiques s'est appuyé essentiellement sur les catégories de sols mentionnées dans la légende et décrites dans le texte. Il est probable que certaines unités, caractérisées par une action apparemment secondaire du gypse, manifestée par de simples surcharges sur les cartes, ont pu nous échapper.

Tableau IV

Classification des unités de sols gypseux carbonatés à moyenne échelle

I. - Classe des sols minéraux bruts

Non climatiques

Groupe des sols d'érosion ou d'ablation

Sous-groupe des lithosols

- croûte gypseuse dure dénudée et (ou) encroûtament sur glaise (160, 200, 215, 229, 308, 361, 414)
- croûte gypseuse de bord de sabkha (172)

Sous-groupe des régosols

- encroûtament épais sur argiles et marnes gypseuses du t'hal (257, 460)
- encroûtament polygéné (246, 320)
- encroûtament épais
 - pulvérulent (192, 254)
 - polygéné (172)
- limons à nodules tronqués sur encroûtament gypseux (460)

Groupe des sols d'apport

(A) Sous-groupe alluvial

- sur croûte gypseuse de nappe (246)

Sous-groupe folien

- sur encroûtament gypseux (414)
- sur croûte de nappe (178, 281, 460)

(B) Sous-groupe colluvial

- sables et limons gypseux sur croûte gypseuse (172, 178)

II. - Classe des sols peu évolués

Non climatiques

Groupe réconsolique

- sols à faciès gypseux sous arilles gypseuses (320)

(A) Groupe d'apport alluvial

sous-groupe nodal

- sur sol à gypse microcristallin ou sol hydrocorphe gypseux (178)
- sur ancienne croûte de nappe (229, 281, 307, 414)

(A) groupe d'apport colluvial

- sur encroûtement gypseux (160, 178, 229, 331, 346, 352, 414)

(A) groupe d'apport éolien

- sur limons à nodules sur encroûtement (244)

(B) groupe d'apport alluvial

sous-groupe hydromorphe

- à remontées de gypse en pseudomycélium (160, 246, 281, 400)

(B) groupe d'apport colluvial

- pseudomycélium ou nodules (257, 400)
- sables gypseux (308)

III. - Classes des sols calco-magnésimorphes

Sols carbonatés

Groupe brun calcaire

- sur colluvions gypseuses et encroûtement de nappe (412)

Sols gypseux

Groupe des sols bruns gypseux

Sous-groupe model

- gypse diffus et gradient gypseux (178, 324, 363)

Sous-groupe à accumulation gypseuse (encroûtement) en profondeur

- amas gypseux sur encroûtement (411)

Groupe des sols à croûte ou encroûtement de surface

Sous-groupe des sols à croûte sur encroûtement

- sur argiles et marnes gypseuses variées (144, 156, 178, 216, 246, 253, 257, 296, 307, 324, 331, 346, 363, 400, 460)
- sur sables gypseux (308)
- sur ancienne croûte gypseuse de nappe (173, 225, 257, 363, 414)
- sur cailloutis (146)

Sous-groupe des sols à encroûtement gypseux seul

- encroûtement pulvérulent sur argiles et marnes gypseuses (144, 229, 246, 412, 414, 460)
- sur bourrelets de sabkhas (253, 281, 294, 308, 345, 460)
- encroûtement gypso-calcaire nodulaire (257, 294)
- sable ou sable sur limon à nodules sur encroûtement (177, 352)

IV. - Classe des sols isohumiques

Sols isohumiques subtropicaux

Groupe des sols marrons (bruns steppiques)

Sous-groupe encroûté (défini pour croûte calcaire, puis étendu)
(éventuellement "nodal" si pas de liaison avec l'encroûtement)

(A) - sable sur croûte gypseuse (216)

- sable sur encroûtement gypseux (229, 246, 253, 308, 331)
- sable sur encroûtement gypseux de nappe (229, 400)
- sable sur limon à nodules sur encroûtement (172, 216, 460)

(B) - sable gypseux sur encroûtement gypseux (156, 192, 200,
308, 324)

- gypse diffus (215, 257, 281, 308)

Groupe des sierczens

Sous-groupe nodal

- gypse cristallisé ou diffus (215, 246, 320, 331)

Sous-groupe encroûté

- gypse cristallisé sur encroûtement (144, 331)

V. - Classe des sols hydromorphes

Misérans

Groupe des sols à gley

Sous-groupe à gley salé

- à encroûtement de nappe (320)

Groupe à remise en mouvement du calcaire ou du gypse

Sous-groupe à nodules ou anses gypseux

- gypse diffus et anses (257, 294, 308)

Sous-groupe à encroûtement gypseux (ou croûte gypseuse de
nappe)

- encroûtement actuel (308, 400, 460)
- encroûtement fossile (156, 216)
- encroûtement de nappe sur ancien sol calcimorphe (257)

VI. - Classe des sols halomorphes

Sols salés

Groupe salin

Sous-groupe à horizon superficiel friable

- sols gypseux des oasis (246, 363)
- sols à gypse mêlé sur encroûtement profond (400)

Sous-groupe à croûte saline

- sables gypseux (363)

Sous-groupe à encroûtement gypseux

- encroûtement sous nappe (144, 306, 363)
- encroûtement de nappe (160, 229, 246, 306, 320, 346)

Sols à alcali

Groupe des sols à alcali non lessivés

Sous-groupe séché à alcali

- sur limon gypseux (144, 346)

Sous-groupe très séché à alcali

- sur argile gypseuse (144, 216)
- encroûtement de nappe (281, 320)

Cet examen montre la diversité des appellations employées et la difficulté d'insérer certaines des unités cartographiques employées dans le cadre de cette ou de ces classifications. En outre, comme on l'a signalé ci-dessus, ce n'est qu'à partir de 1960 que les sols à croûte et encroûtement ont été rangés dans une sous-classe particulière des sols calcocognésimorphes. Il est donc nécessaire de "réviser" le classement adopté dans certaines études, notamment les plus anciennes.

Bien que ce problème des dénominations des sols soit important, nous avons jugé qu'il était préférable d'attendre d'avoir effectué une étude sérieuse de la question avant de réviser celles qui ont été utilisées dans les différentes études. C'est pourquoi la presque totalité des classements originaux des auteurs a été conservée dans le tableau IV.

Si l'on fait abstraction des sols gypseux rangés dans les classes des sols hydromorphes et halomorphes dont le classement pose peu de problèmes, au moins dans les cas où l'hydromorphie ou l'halomorphie sont actuelles (le

des anciennes croûtes de nappe étant parfois délicat à trancher), il reste des problèmes de classement pour les sols calco-magnésimorphes gypseux et certains sols isohumiques, d'une part et pour certains sols minéraux bruts et peu évolués d'autre part.

Ces problèmes se résument d'abord à l'identification du type d'accumulation gypseuse :

- sous forme diffuse souvent non perceptible à l'œil nu ;
- sous forme individualisée en aires, pseudomycélium ou nodules ;
- sous forme généralisée en croûte ou encroûtement

Ensuite, notamment dans ce dernier cas, au choix de la profondeur à partir de laquelle les sols passent de la classe des sols calco-magnésimorphes à des unités inférieures d'autres classes (sous-groupes encroûtés par exemple). Mais là se pose également le problème de savoir s'il existe une liaison génétique entre l'encroûtement et les horizons qui le surmontent.

C. Profondeur des encroûtements

Dans la plupart des études, les pédologues ont pris soin de faire figurer sur les cartes la profondeur d'apparition de la croûte ou de l'encroûtement. Cela leur permettait en outre de mettre en évidence des éléments éventuellement défavorables à la mise en culture.

Cependant, aucune doctrine stricte ne s'est dégagée, la question ayant été traitée diversement selon les auteurs. On trouve ainsi, par exemple, les classes de profondeur suivantes :

- 0-10 ; 10-40 ; 40-60 ; 60-80 - 80-120 (216)²
- 0-10 ; 10-40 ; 40-80 ; 80-120 (178)
- 0-20 ; 20-40 ; 40-80 ; 80-150 ; 150-200 (177)
- 0-20 ; 20-50 ; 50-110 ; 110-175 (257)
- 0-20 ; 20-60 ; + 60 (500)
- 0-40 ; 40-120 ; + 120 (246)

N.I.P. (x) référence aux numéros des études du Service Pédologique.

En outre, il n'y a pas non plus accord sur la profondeur prise comme limite pour séparer les sols calco-magnésimorphes gypseux sensu stricto des sols à croûtes ou encroûtements recouverts :

- pour SARATEL (177)², les sols sont classés dans les calco-magnésimorphes gypseux avec des recouvrements non gypseux allant de 10 à 80 cm.
- pour SORDAT (179), au-dessus de 10 cm de recouvrement, on passe à un autre type de sol.
- pour MURRU (216), le recouvrement peut atteindre 120 cm.
- de même pour POUST(236), WAZA(200), SORDAT(257), LÖYER(400), la profondeur limite se sit^e respectivement à 40, 55, 20 ou 30 cm.

Notons cependant que des divergences proviennent pour une grande part de l'adoption successive de diverses normes de profondeur. Ainsi, dans la légende des cartes pédologiques de Tunisie préconisée en 1960, le recouvrement peut atteindre 80 cm, et dans celle de 1970, cette limite est fixée à 30 cm.

Conclusions sur la classification des sols gypseux

Dans la classe des sols minéraux bruts, et plus particulièrement dans les sols non climatiques d'érosion, il convient de savoir si les croûtes ou encroûtements gypseux de vieilles surfaces peuvent être considérés respectivement comme des roches dures ou molles. La sous-classe des sols des déserts chauds semblerait convenir pour les sols gypseux inorganisés des dunes et bourrelets de sables. Pour les sols d'apport, deux cas existent, selon que le dépôt est gypseux, et caractère intervenant au niveau de la famille, ou qu'un dépôt non gypseux recouvre, sur une faible épaisseur, une croûte alors considérée comme substrat.

Dans la classe des sols peu évolués, la sous-classe des sols arides ou sols gris subdésertiques semble convenir. Pour les sols non climatiques d'érosion ou d'apport, on rencontre les mêmes cas que dans la classe précédente.

(2) : référence aux numéros des études du Service Pédologique.

Dans la classe des sols calco-magnésimorphes, la sous-classe des sols gypseux convient parfaitement, particulièrement le groupe des sols à croûte ou encroûtement de surface qu'il conviendrait cependant de scinder en deux sous-groupes séparant ces deux types d'accumulation. Cette distinction qui existait dans la classification de 1963 semble avoir été abandonnée. Par contre, les sols gypseux rendzinoïdes ne semblent pas cités en Tunisie, et le sous-groupe à encroûtement de profondeur du groupe des sols bruns gypseux n'est pas facile à séparer des sols du type brun lechnique (brun steppique) sur encroûtement.

Dans la classe des sols lechniques, le terme de brun ou marron ne devrait être mentionné que si le profil n'est pas gypseux au dessus d'une croûte, d'un encroûtement ou d'un limon à nodules surmontant un encroûtement gypseux. On a vu que ceux qui présentent des accumulations effuses discrètes, sous forme de pseudomycélium, d'amas ou de nodules doivent de préférence être classés dans les sols bruns gypseux. Le groupe des rierozems est très intéressant pour les sols tunisiens, mais il demande une définition plus précise. Notons que son introduction dans la légende pédologique des sols de Tunisie est relativement récente (320).

Dans la classe des sols hydromorphes, le groupe à remise en mouvement du calcaire ou du gypse convient parfaitement, mais il semble nécessaire d'y prévoir les deux sous-groupes proposés par la classification du CPCB, sous-groupe à nodules et sous-groupe à encroûtement. On a aussi parfois utilisé 2 sous-groupes distincts pour les sols à croûte ou encroûtement de nappe (380).

Dans la classe des sols halomorphes, si un seul sous-groupe concerne nominalement les sols gypseux par la présence d'un encroûtement de nappe, on voit (tableau IV) que des sols gypseux apparaissent aussi bien dans les sols à alcali que dans les sols salés. Cependant, les auteurs ont bien souvent noté que le caractère d'alcalisation, défini par le rapport Na/T, est atténué par la présence du gypse. Enfin, certains encroûtements de surface sont très salés, alors que leur morphologie est typiquement calco-magnésimorphe. Il serait donc peut-être utile de prévoir un sous-groupe salé dans le groupe à encroûtement de surface, plutôt que les classer dans les sols halomorphes comme le suggère POUZET (1968).

Nous n'avons envisagé ici que les classes où les sols marqués par une pédogenèse gypseuse sont nettement représentés. Il va sans dire que les manifestations gypseuses ont été parfois mentionnées pour des sols d'autres classes ou groupes de sols : vertisols, sols chétins, sols bruns arénaires, etc...

IIA Pavels : SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS SUR L'ORIGINE ET LES MOYENS DE MISE EN PLACE DES ACCUMULATIONS GYPSEUSES DANS LES SOLS TUNISIENS, LEUR MORPHOLOGIE ET LEURS PROPRIÉTÉS

1. - ORIGINE DU GYPSE. APERÇU SUR LES SOURCES-IMPRES ET LES NAPPES

Les roches et sédiments gypseux, présents dans de nombreux étages géologiques, du Trias au Quaternaire, sont une des sources possibles, soit pour les sols qu'ils supportent, soit pour ceux qui sont formés sur leurs colluvions ou leurs alluvions, soit encore pour les sols situés en position topographique plus basse.

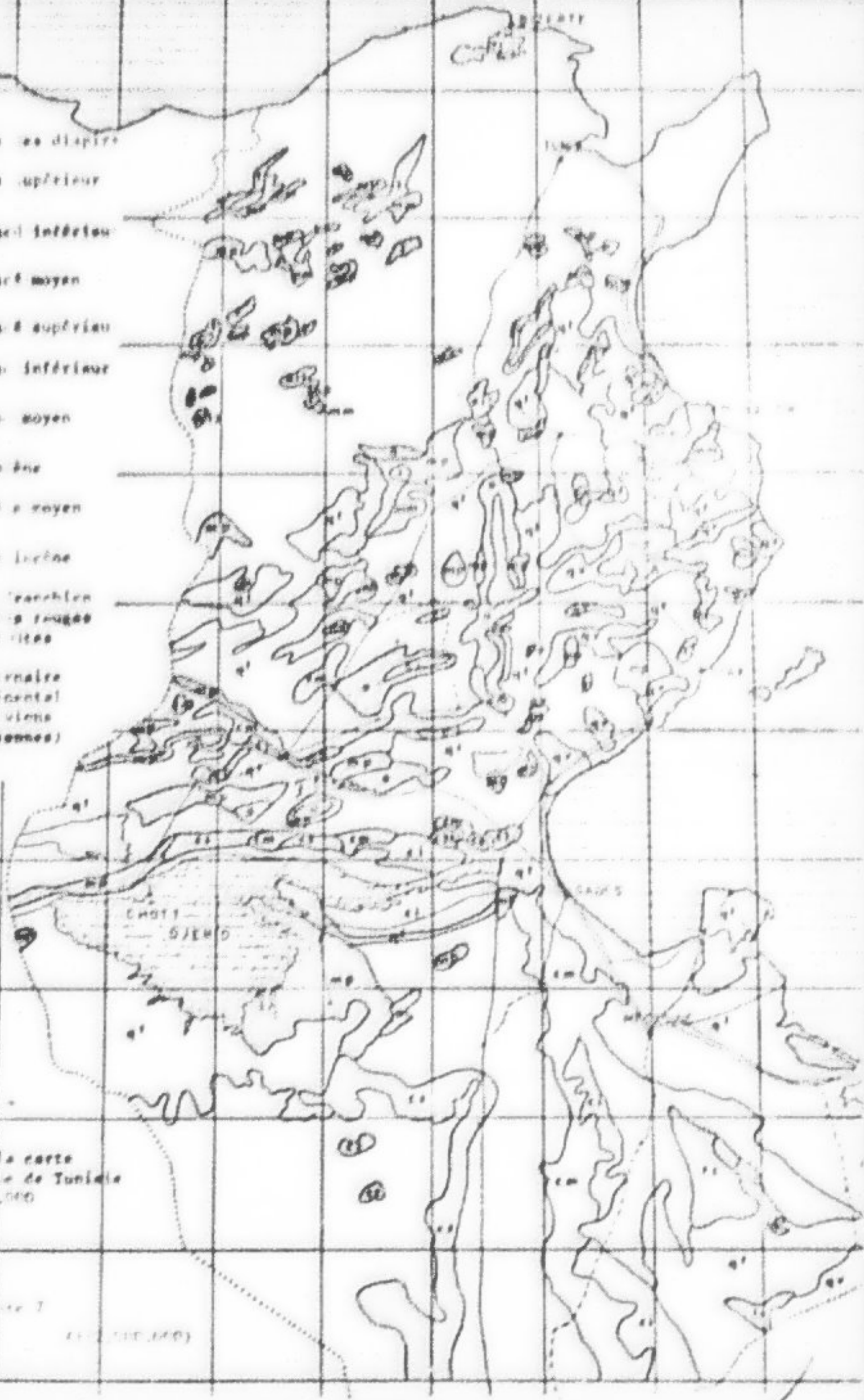
Une autre source tout aussi importante revient aux nappes souterraines, artésiennes ou non, du Centre et du Sud tunisien, très souvent chargées en sulfates, et dont les résurgences dans les dépressions ou les sahles favorisent des dépôts évaporitiques de gypse qui peut être repris ultérieurement par la déflation éolienne pour l'édification de bourrelets éoliens.

Enfin les accumulations pédologiques anciennes, croûtes et encroûtements de surface ou de nappe, peuvent également concourir à l'alimentation en gypse des circulations superficielles ou hypodermiques vers des sols non gypseux, ainsi peut-être que par remontée capillaire au sein des recouvrements.

A. Le gypse dans la couverture géologique de Tunisie

On passera rapidement en revue les indications fournies par la notice de la carte géologique au 1/500.000 de Tunisie, de (1951) (Fig.2). Si elle est très renseignée sur les terrains anciens antéquaternaires, la carte ne porte que des indications très vagues sur le Quaternaire, et généralement sans précision sur la lithologie et la géochimie. Par ailleurs pour de vastes zones marquées et (Quaternaire continental, alluvions anciennes) on ne précise ni la nature ni la profondeur du substrat ou des assises anciennes sous-jacentes qui apparaissent cependant assez souvent dans les coupes, même superficielles. Les véritables roches-mères de ces recouvrements quaternaires ne sont donc pas précisées, exception faite de

- 1 Trias des diapirs
- 2 Trias supérieur
- 31 Crétacé inférieur
- 32 Crétacé moyen
- 33 Crétacé supérieur
- 41 Tertiaire inférieur
- 42 Tertiaire moyen
- 43 Tertiaire supérieur
- 44 Quaternaire
- 45 Quaternaire moyen
- 46 Quaternaire supérieur
- 47 Quaternaire (alluvions anciennes)



d'après la carte
géologique de Tunisie
au 1/500,000

la croûte calcaire villafranchienne (qV).

Les étages et groupements d'étages relativement riches en gypse généralement attachés à des faciès lacunaires sont les suivants :

1. Trias

En couches régulières ou en diapirs, le trias affleure dans de nombreuses régions de l'Atlas ; il s'agit notamment de :

- Trias supérieur du Sud tunisien, où les bancs de gypse atteignent jusqu'à 400 et 600 mètres d'épaisseur. La formation s'étend au Nord de Tatahouine et n'atteint pas le Djebel Telega de Hadramine. D'après BOSSON (1967) les terrains gypseux débordent le Trias et pénètrent dans le Lié et une partie du Dogger (gypse de la Mesina).

- Trias des diapirs de l'Atlas tunisien consistant en bancs de gypse massif ou de grès ou d'argiles vertes ou lie-de-vin à gypse alternant avec des argiles, des dolomites ou des calcaires dolomitiques. L'aspect en chape est fréquent. Il est évoqué dans des études du Service Géologique notamment au Sud de l'Atlas (215,296) et au Nord (412). Mais ces affleurements du Trias sont inégalement riches en gypse. Les plus gypseux se concentrent au Sud-Ouest du Taf et se poursuivent largement en Algérie.

2. Jurassique moyen

qui comprend des marnes vertes à intercalations de gypse blanc dans la Bathonien.

3. Crétacé

Affleurent dans de nombreuses régions où il constitue la matière des djebels (études 177,178,296,363,412).

a) Crétacé inférieur où trois étages nous intéressent :

- Sétozien, notamment la facies "wealdien" du delta du Fedjadj, où l'on trouve environ 2.000 mètres d'argiles rouges et vertes bourrées de gypse ou d'anhydrite (études 156,160,460), et au Nord-ouest de Gafsa, dans des grès, des marnes ou des dolomites.

- Aptien, près de Gafsa, marnes gypseuses et gypses massifs au milieu des calcaires et des dolomites. Plus au sud, vers Tatahouine, y correspond le Continental Interne d'âge, à marnes sableuses vertes et roses, gypseuses.

- Albion, surtout caractérisé par le gypse en Tunisie centrale (Djabala Kébir, Meloussi, Bou Reha).

b) Craie moyen où le Génomien contient des marnes à intercalations gypseuses surtout dans la région de Gafsa et des Chotts, et près des Marnates et Dehara.

c) Craie supérieur, constitué de marnes à lits gypseux dans la région des chotts et de marnes gypsifères dans le Neostriation en bordure du Grand Erg. Le Venien, formé de calcirnes, marnes et gypses, recouvre des masses dunaires du Grand Erg Oriental, réapparaît dans l'Extrême-est (Rhadenas).

4. Eocène

a) Eocène inférieur, comprenant des faciès lagunaires à gypse notamment dans le fleuve sud de la zone atlantique

b) Eocène moyen-supérieur, comportant des gypses massifs et des marnes gypseuses dans le Sud.

5. Oligocène

avec, dans la Numulitique supérieur, des marnes brunes gypseuses à lits sableux dans le faciès du Cherichess.

6. Miocène

a) Miocène inférieur moyen, où le Burdigalien comporte des marnes riches en sels et en gypse

b) Miocène moyen, où le Vinobonien présente des argiles et des marnes gypseuses, enrichies en sels solubles, dans le Nord.

7. Mio-pliocène

renferment souvent des marnes grises à bancs de gypse, et surtout, dans son faciès continental, des argiles sableuses riches en gypse. L'ouvrage de COZE (1942) en donne une description à la fois synthétique et détaillée. Cet auteur distingue, en englobant le Mio-pliocène et le début du Quaternaire sous le nom de complexe continental terminal, trois types principaux :

- Type Hierid : une coupe type présente successivement :

- . 50 à 75 mètres de conglomérats lenticulaires de galets calcires, à matrice de limons sableux cimentés par du gypse et couronnés d'une ou deux croûtes gypseuses ;

- 500 mètres d'argiles rouges ou ocre, marno-sableuses, riches en gypse, alternent à la base avec des sables ;
- 175 à 200 mètres de sables blancs ou jaunâtres, intercalés de minces gypseuses verdâtres ;
- 10 à 15 mètres de grès grossiers, brun-rouges.

La partie supérieure peut comporter un horizon lagunaire fossilifère à *Cardium*.

- Type 5^{er} au 1 : Le terme de base sableux a disparu et l'épaisseur des argiles est moindre, tandis que le caractère gypseux s'affaiblit.
- Type Neftawa : Les bancs argileux sont flanqués au toit et au mur de sables, surtout gypseux dans le terme supérieur ; l'ensemble est moins épais que dans les deux autres types, et le faciès conglomératique a pratiquement disparu.

Enfin, le Mio-pliocène existe vraisemblablement sous le Quaternaire de la Djéffara.

De nombreuses études pétrologiques se rapportant à des termes indifférenciés du Mio-pliocène (N° 156, 178, 192, 215, 253, 296, 331, 400, 412, 460) ; d'autres concernent plus précisément le Continental du Neftawa (363) ou les niveaux à faciès lagunaires (178, 253, 257, 296).

Parfois, différents faciès du Mio-pliocène ont été différenciés sous les encroûtements gypseux dont ils sont les roches-mères : argiles sableuses ocre à gypse en cristaux lenticulaires, sables fins beige à gypse micro-cristallin en stratifications minces, argiles rouges à trame gypseuse vacuolaire (460).

8. Quaternaire

Les deux unités les plus représentées dans cette période, qv et qt, représentent respectivement :

- La croûte calcaire Villefranchienne recouvrant des limons à nodules ou des argiles et marnes rouges, passent souvent sans discontinuité au Mio-pliocène ;
- Une série très compréhensive englobant des limons à nodules post-Villefranchiens et surtout des épanchages sableux et sablo-limoneux qui sont les reliques de nombreux sols isohumiques steppiques.

Mais la couverture est loin d'être aussi homogène que le montre la carte au 1/500.000, nombre de ces surfaces étant en effet couvertes de croûtes et d'encroûtements gypseux dont la roche-mère est probablement mio-pliocène.

Une étude exhaustive de la lithologie du Quaternaire reste donc à entreprendre pour aboutir à une véritable carte des roches-mères gypseuses.

Indépendamment de la stratigraphie, ont été notés :

- des glacia sur argiles rouges gypseuses (172)
- des limons gypseux nodulaires (146, 294)
- des bourrelets gypseux de sebkhas (253, 294, 331, 346, 460)
- des alluvions récentes de bord de sebkha (144, 172, 177)
- des alluvions et des colluvions anciennes avec gypse détritique (144, 177, 294)
- enfin, d'anciennes croûtes gypseuses de nappe (terch) (316, 343).

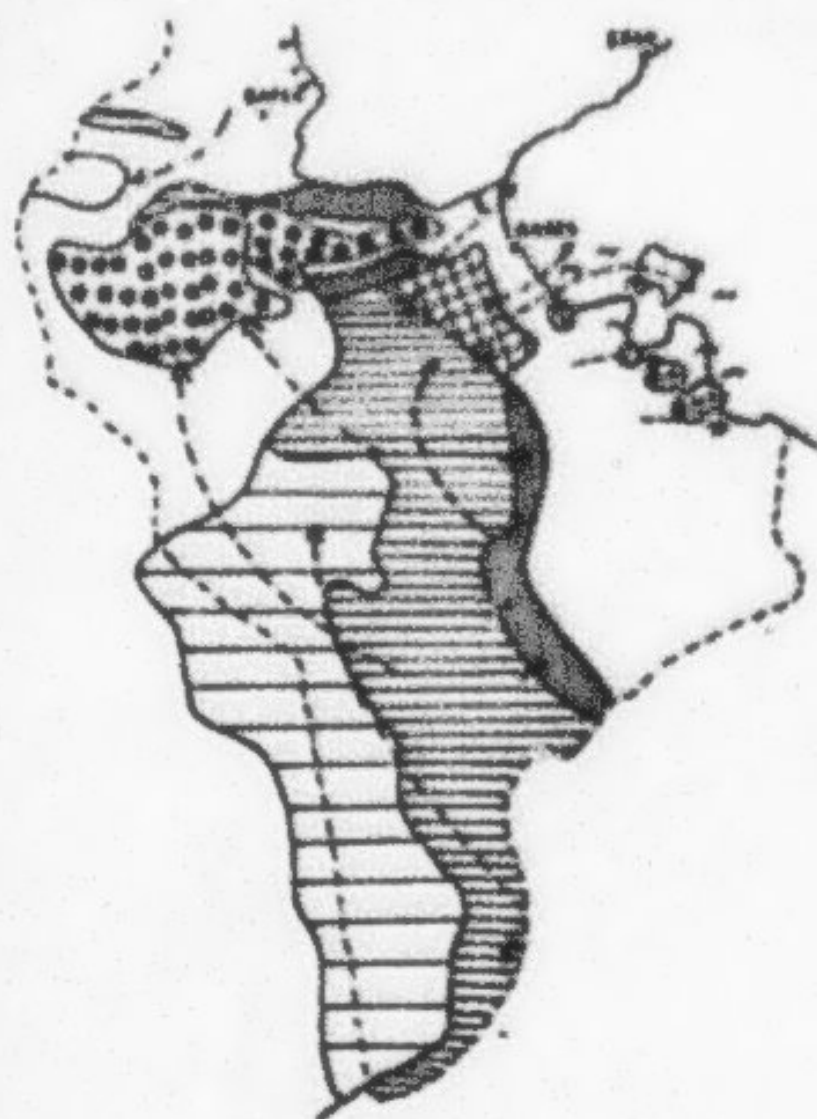
Comme on peut le voir, le gypse apparaît dans de nombreux affleurements, peut-être même plus que ne le révèle la carte géologique dont les unités rapportées au Quaternaire sont peu explicites. On comprend dès lors l'extension considérable des terrains gypseux qui apparaît dans la première partie de ce texte.

Le problème des croûtes gypseuses reposant sur des substrats non gypseux en position haute a particulièrement préoccupé les chercheurs. On lui doit la théorie élaborée par COQUE, selon laquelle le gypse, continuellement "fabriqué" dans le système évaporitique des grands chotts, aurait été disséminé par le vent, et ensuite consolidé par des phases successives de dissolution et de précipitation, induisant un cycle régional du gypse. Il semble cependant que l'altération des roches-mères de ces croûtes d'altitude, vraisemblablement mio-pliocène, puisse avoir été suffisamment poussée, jusqu'à la disparition des moindres témoins, au-dessus des roches Juras non gypseuses.

3. Le gypse dans les eaux souterraines

Ce problème a été traité dans l'article du FOMET (1968) auquel nous emprunterons les principaux faits, en les modifiant quelque peu à la lumière de la récente étude des ressources en eau du Sahara Algéro-Tunisien Septentrional (ERZS/1972) (Fig.3).

Alimentation et Ecoulement des nappes



Nappe	Zone d'alimentation	Recharge
C1	Affluents	Percolation

C2	{ Affluents Recharge possible	Percolation et Evaporation
----	----------------------------------	----------------------------

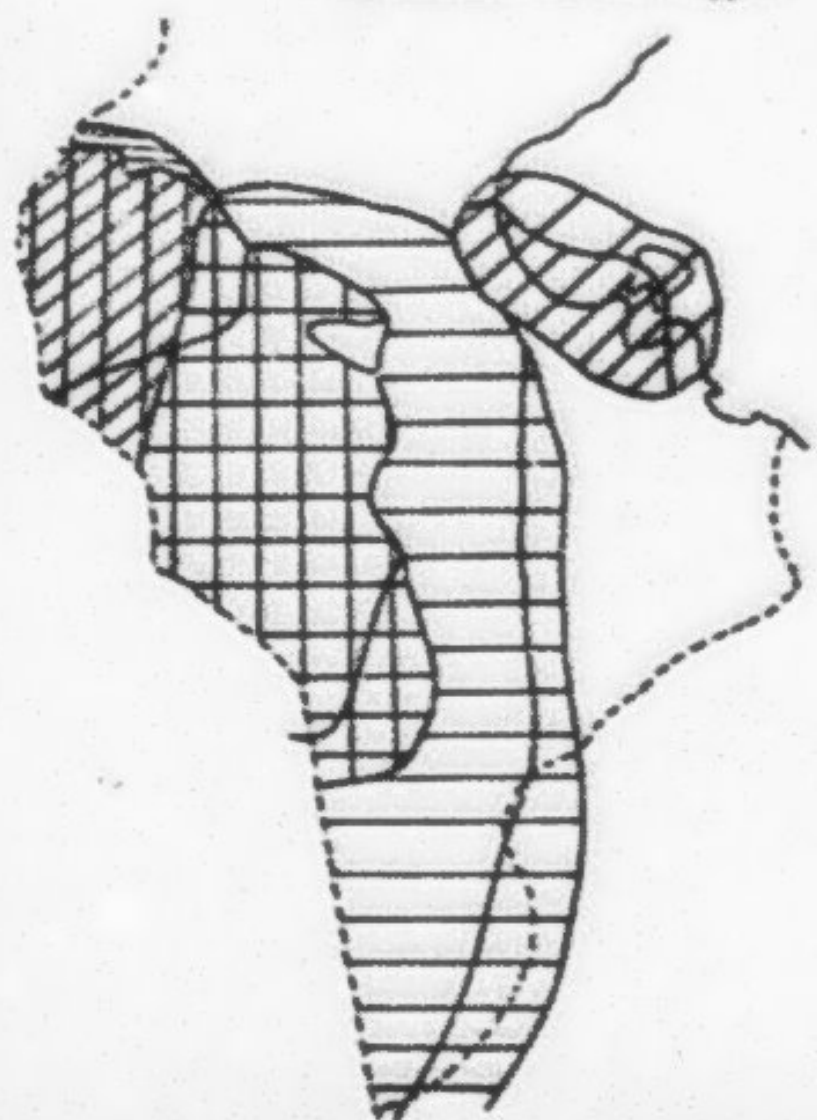
C3	Affluents	Percolation et Evaporation
----	-----------	----------------------------

	Drainage en mer
--	-----------------

→ alimentation

→ Ecoulement

Minéralisation des nappes



Selure totale en g/l

Nappe	<2g	2-4g	>4g
C1	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
C2	{ calcaires [Pattern] sables [Pattern]	{ calcaires [Pattern] sables [Pattern]	{ calcaires [Pattern] sables [Pattern]

Figure 3

C'est surtout dans le Sud tunisien que l'on trouve de très importantes nappes artésiennes, souvent riches en sulfates. Il s'agit notamment de :

- la nappe du Continental Intercaissé, réservoir profond, qui est ascendante ou à surface libre dans la zone qui nous intéresse. Elle serait alimentée par des infiltrations provenant du Bahar, principalement, et s'écoulerait en direction de la nappe côtière du le Djaffara entre le Massif de Mâmaïm et l'Atlas, et ressortirait également par percolation verticale dans le Fedjoudj. Son débit global serait de 1,4 m³/s

- la nappe du Continental Terminal (craie supérieure à tertiaire), bien séparée de la précédente en Tunisie et moins profonde, qui serait en charge dans les limites d'extension des formations du Mio-pliocène, et s'écoulerait vers les Chotts avec un débit de 0,9 m³/s

- la nappe côtière ou du le Djaffara, dans des sédiments équivalents à ceux de la nappe du Continental Terminal, qui serait artésienne jusqu'à 10-20 km à l'intérieur des terres, ascendante ou libre près des Matmatah, peu profonde mais de salure plus élevée, et d'écoulement rayonnant de Nord-Est en Sud-Est, soit en mer, soit vers des saibhas littorales.

Ces nappes plus ou moins artésiennes appartiennent à l'air libre ou au niveau des nappes phréatiques qu'elles alimentent, sous forme de sources dans les oasis, sous forme d'émergences ou de débordements dans les dépressions saibhiques.

Elles seraient comme des niveaux statiques plus élevés lors de périodes humides du Quaternaire. L'existence de vastes surfaces de sols halomorphes en serait un bon indice.

La composition chimique est variable. Dans la nappe du Continental Intercaissé, le rapport chlorure/sulfates est inférieur à 1, tandis qu'il lui est supérieur dans le Mioène. Quand la salure augmente, le rapport diminue, en direction des chotts.

Ces nappes influencent la dynamique des nappes phréatiques de nombreux sols, notamment dans les oasis, en les maintenant à des niveaux à peu près constants, comme le fait le niveau marin en bordure du littoral.

Ailleurs, les nappes phréatiques connaissent des variations de niveau et de salure. Elles sont liées à la pluviométrie et aux composantes de l'évaporation, mais surtout de l'évapo-transpiration. On observe

que les augmentations de salure s'accompagnent de l'augmentation des rapports chlorures/sulfates et magnésium/calcium.

ROBERT classe ainsi les nappes artésiennes et phréatiques, suivant leur degré de saturation en gypse et leur composition en :

- nappes non saturées en gypse
 - artésiennes
 - phréatiques à salure élevée (teneur en NaCl très supérieure à celle des sulfates de Na et Mg)
- nappes saturées en gypse
 - peu salées
 - très salées à forte teneur en NaCl et sulfates de Na et Mg ou en NaCl et MgCl_2

L'influence des nappes artésiennes peut expliquer la formation actuelle des encroûtements au sein des sols hydromorphes et halomorphes des dépressions. Mais elle pourrait expliquer également la genèse de certaines bandes de sols à croûte ou encroûtement de surface dans les zones où le niveau artésien ou phréatique a baissé, les accumulations de nappe ayant servi de roche-mères à ces sols de type calco-magnésimorphe, éventuellement après le décapage des horizons supérieurs peu gypseux et salins. Une salure résiduelle devrait être cependant conservée dans l'encroûtement (146).

II. - GÉOMORPHOLOGIE DES TERRAINS GYPSEUX

A. Conceptions générales

L'important travail de COPIE sur la géomorphologie de la Tunisie préaharienne apporte de nombreux éléments sur la répartition des croûtes et encroûtements gypseux (désignés par l'auteur indifféremment sous le nom de croûtes), de type généralement calco-magnésimorphe, et sur leurs rapports avec le substratum. Les explications fournies quant à leur genèse sont toutefois controversées. Ses observations sur les croûtes gypseuses des plateaux peuvent être résumées comme suit.

1. Les sites des croûtes gypseuses

L'auteur écrit " dès le franchissement d'une ligne qui joint les haute massifs de Cafsa à l'îlot de Kneiss, sur la côte, elles (les croûtes gypseuses) s'imposent sans cesse au regard jusqu'à proximité du Grand

Ezg Oriental".

Elles montrent leur développement maximum sur les glacis de piedmonts, s'allongeant en horizons continus, de teinte beige très clair à blanc, parfois durcis en surface mais toujours pulvérisants au-dessous. La surface présente souvent une polygonation qui serait la trace d'une structure prismatique subsuperficielle, généralement observable en bordure d'oued ou de griffes d'érosion. Ces croûtes seraient plus épaisses en bordure des chotts.

L'auteur situe les croûtes gypseuses sur trois des quatre glacis emboîtés qu'il définit dans le sud tunisien (figure 4). Le plus élevé, également le plus ancien, est très peu représenté, et le dernier n'est pas encroûté. C'est donc sur les niveaux II et III qu'elles sont les plus fréquentes, quel qu'en soit le substratum. Cependant les croûtes "remonteraient" un peu sur les versants des djebels à pente plus forte, jusqu'à 15 et même 22°, et à l'opposé les croûtes du glacis II s'enfonceraient sous le glacis le plus récent.

Mais les croûtes gypseuses ne se limitent pas aux versants et aux piedmonts des djebels ; elles sont également présentes sur les reliefs dunaires, en auréole autour du chott Djarid, notamment dans les secteurs est, sud-est et sud, ainsi que sur les microreliefs de sabkhas.

L'auteur considère que chaque glacis encroûté a subi sa propre phase d'encroûtement qui l'a en quelque sorte fossilisé, avant l'emboîtement avec le glacis suivant. Il y aurait donc trois croûtes d'âges différents la plus récente étant naturellement la plus étendue.

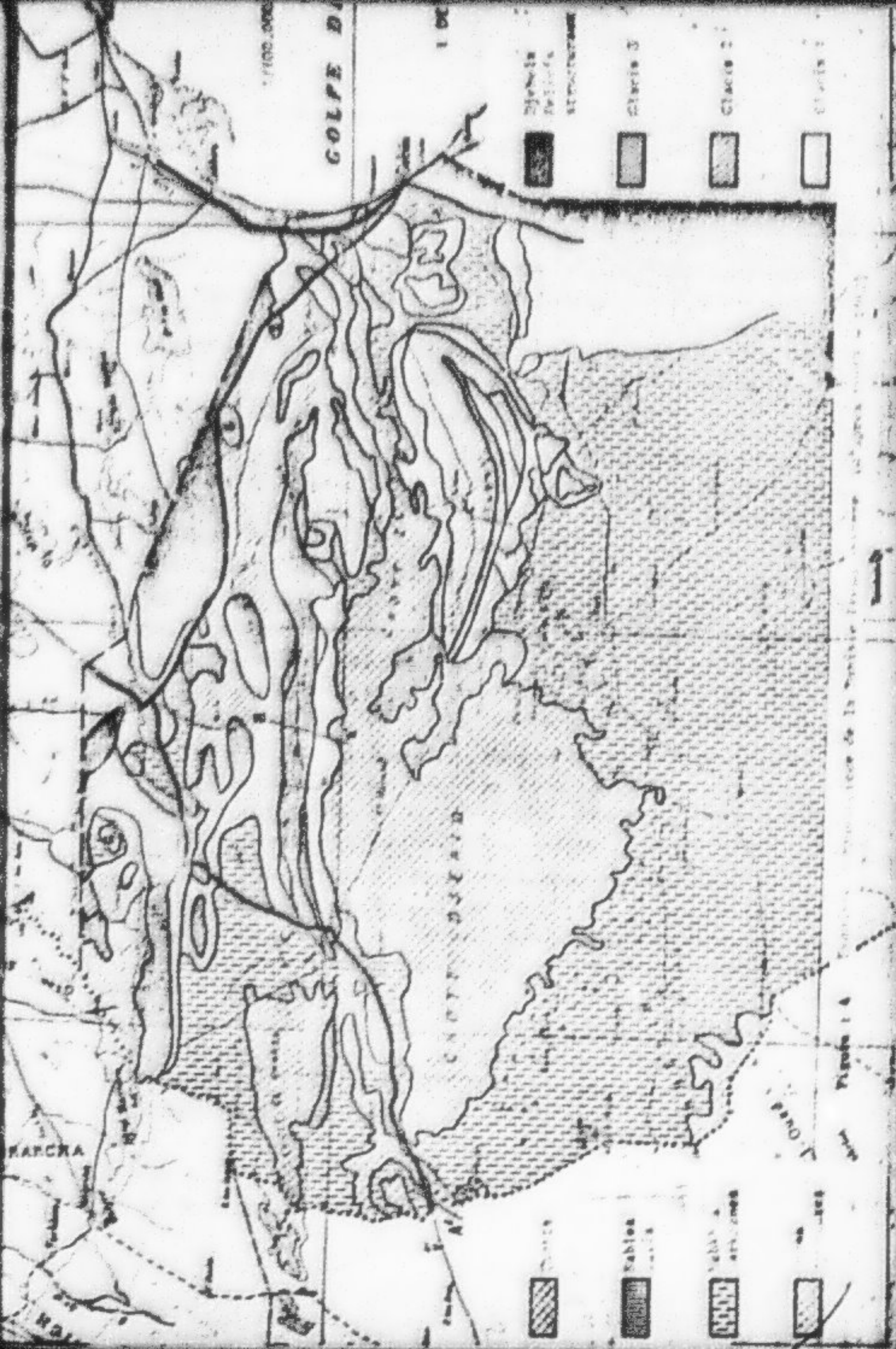
2. Les rapports avec le substratum

L'auteur affirme que les croûtes gypseuses sont indépendantes du substratum, puisqu'on les trouve soit sur des roches meubles et des couvertures alluviales, pas forcément gypseuse, soit sur des roches compactes, souvent non gypseuses. Pour la mise en place du gypse, l'auteur envisage soit un écoulement latéral provoquant l'enracinement des croûtes dans les horizons sous-jacents, soit plus souvent un saupoudrage folien (cf I-A).

3. La morphologie des zones encroûtées

a) La terminologie employée

L'auteur réserve le terme de croûte à l'ensemble des accumulations gypseuses de surface, qu'elles soient, ou non, indurées, ce qui correspond pour les pédologues soit à la croûte, soit à l'encroûtement gypseux.



des sols calco-magnésimorphes gypseux, et le terme d'encroûtement aux accumulations, au sein de matériaux généralement non gypseux, liées à l'action d'une nappe, correspondant alors aux croûtes et encroûtements de nappes des sols hydromorphes ou halomorphes, dans la conception des pédologues (voir plus loin).

Dans un ouvrage plus récent, PERTHUISOT (1975) reprend l'acception de COPIE pour désigner les encroûtements formés au sein d'un matériau détritique sous l'action d'une nappe, mais applique le nouveau terme de "revêtement" aux croûtes et encroûtements gypseux de surface des glacis, ce qui suppose une option nette quand à leur genèse (voir plus loin).

b) les glacis de piedmont (figure 3)

Chaque système de glacis se termine généralement en terrasse au bordure des dépressions et des oueds. Quand on passe des plus anciens aux plus récents, on note aussi que l'altitude diminue relativement, et que la surface des ténols s'accroît, la pente diminue.

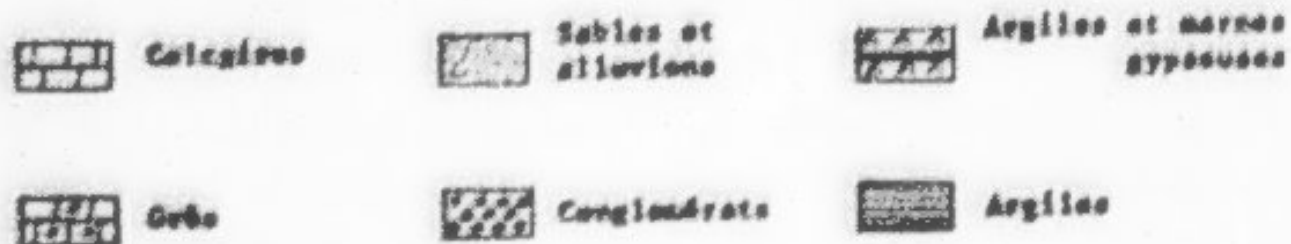
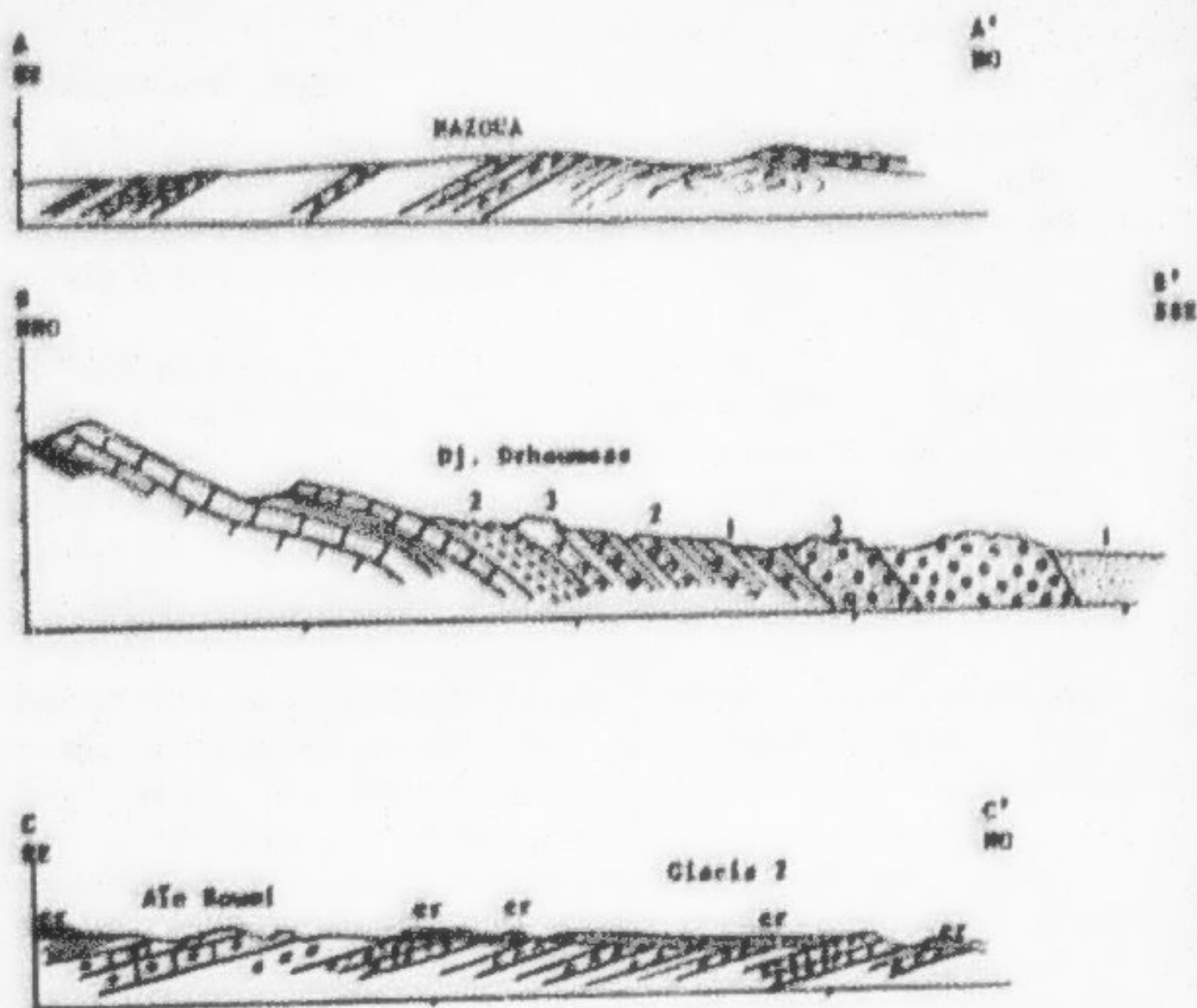
L'auteur les définit comme des glacis d'accumulation, ou, comme la couverture est peu épaisse, comme des glacis d'érosion couverte. La couverture alluviale est plus conglomératique vers l'amont des glacis et au contraire plus limonneuse vers l'aval. L'origine des matériaux, en provenance des djebels, ne fait aucun doute. La couverture s'amincit d'autant plus que l'on s'éloigne des djebels et que l'on passe aux glacis les plus récents.

Notons que si le dernier glacis n'est généralement pas encroûté (x), il est formé sur des limons gypseux et recèle des quantités de gypse équivalentes aux autres et des éléments clastiques apparentés à ceux que l'on trouve, en moins grande quantité, il est vrai, dans les croûtes gypseuses.

L'auteur emploie alors le terme d'encroûtement avorté, l'absence de développement étant pour lui due à la simple aridification du climat, ne permettant plus les dissolutions et recristallisations nécessaires à la consolidation. Nous verrons que certains pédologues utilisent ce terme dans un tout autre sens.

Dans l'extrême sud les glacis font place à des rags allochtones (LE HIRREK, 1960), dont on relève trois niveaux dont les deux supérieurs supportent des croûtes calcaires ou gypseuses, le plus bas, alluvial, étant enrichi en gypse pulvérulent.

(x) Sauf à proximité de certaines sabîbes littorales (PERTHUISOT -1975-)



er = croûte gypseuse
1, 2, 3 = niveaux des glaces

CROQUIS DE QUILLES VERSANTS (d'après COQUE)

Figure 5

c) Les deux séries

Ces formations, d'aspect très voisin des croûtes de glacie, seraient nettement fossiles, émergeant par place au milieu de dunes vives, mais cependant pas très anciennes puisque l'on observe des excroissances actuelles sur les nahhas en bordure des chotts.

F. Observations locales

A côté de l'étude générale de la géomorphologie de la Tunisie trésharienne dont il vient d'être question, de nombreuses notations géomorphologiques peuvent être trouvées dans les études du Service Pédologique (voir en particulier ES 33, ES 70, études n° 178, 257, 331, 363, 412, 460). Quelques coupes permettent de situer les croûtes et encroûtements gypseux dans le paysage et par rapport à leurs substrats.

Pour la région de Gabès, BUREAU & ROEDERER (ES 33 - 1961), ont défini les grandes lignes de la répartition des croûtes ou encroûtements de surface. Selon ces auteurs, ces formations apparaîtraient d'une façon localisée ou plus généralisée en fonction de l'altitude et des formes du relief :

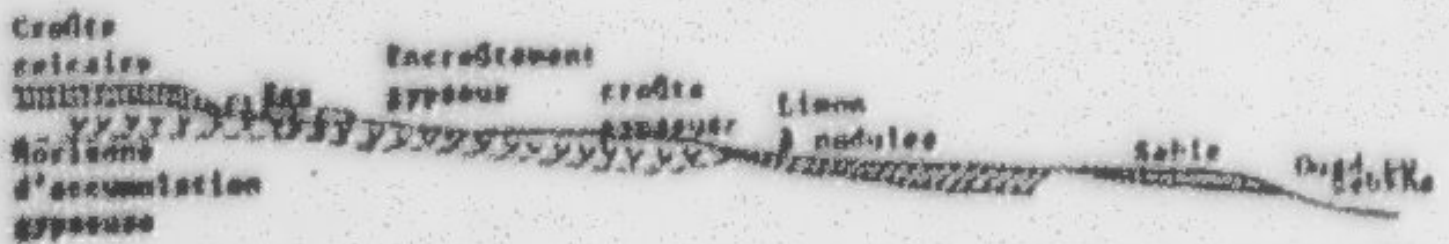
- sur les massifs du Crétacé n'existeraient que des placages minces
- sur les glaciés emboîtés, installés généralement dans les argiles sableuses du Mio-¹/₂-lœène, on trouverait successivement, une croûte calcaire dure (villafranchienne) sur le ¹/₂ cis supérieur, une croûte calcaire-gypseuse recouvrant un encroûtement calcaire à nodules, plus ou moins gypseux, sur le glacié moyen (kenesitien), et enfin des croûtes et encroûtements gypseux généralisés sur le glacié inférieur, parfois recouvert de limons à nodules.
- sur les terrasses raccordées aux glaciés inférieur et moyen; l'encroûtement apparaîtrait sur des limons argileux ou des sables.

On peut voir qu'au contraire de COHEN, ces auteurs ne distinguent que trois glaciés, dont un seul, le plus récent, serait véritablement le siège d'encroûtements gypseux.

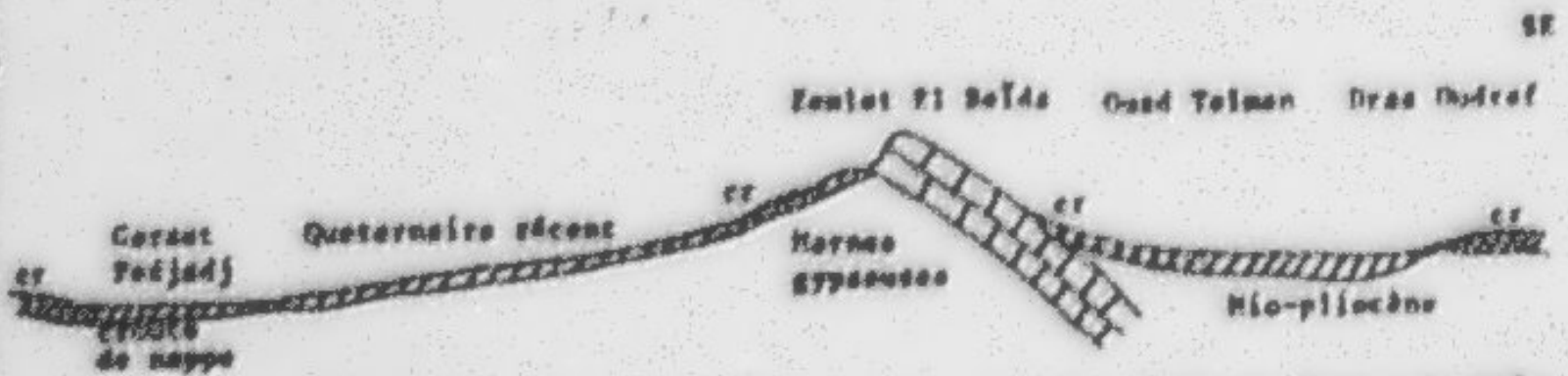
Dans l'étude de MOUÏ (331) dans la région de Sidi Mehmedeb-Sekket en Kouss, plusieurs coupes montrent l'empilement de la croûte calcaire ancienne et de la croûte ou de l'encroûtement gypseux (figure 6-a). Aux ruptures de pente séparant les glaciés on n'observe pas d'encroûtement mais plutôt des accumulations localisées sous formes de travées polygonales.

L'auteur souligne que la croûte gypseuse est plus fréquente sous des pentes voisines de 15 pour 100, et note surtout que l'encroûtement gypseux, plus ou moins développé, existe toujours là où le substratum est gypseux, même si la surface est recouverte d'une croûte calcaire. Sur le plateau de la Sibirra, les croûtes

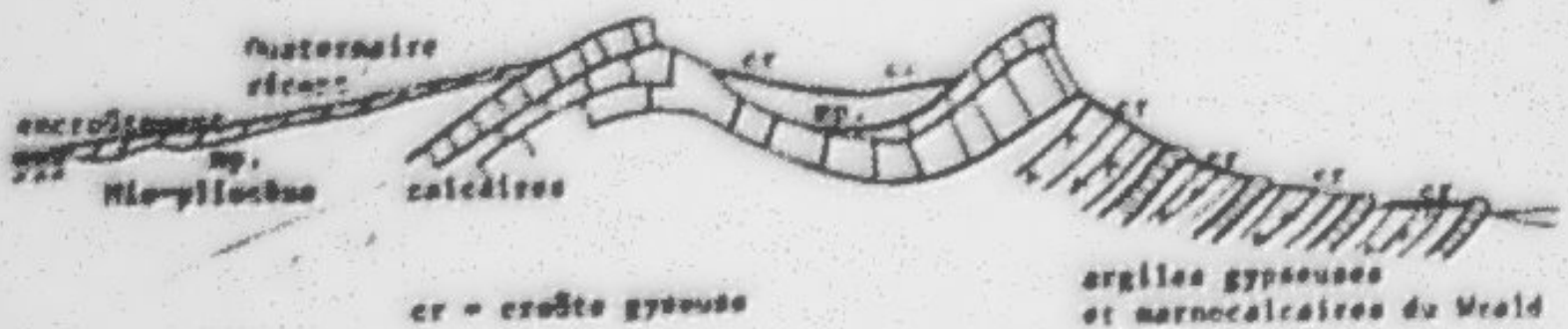
Figure 6



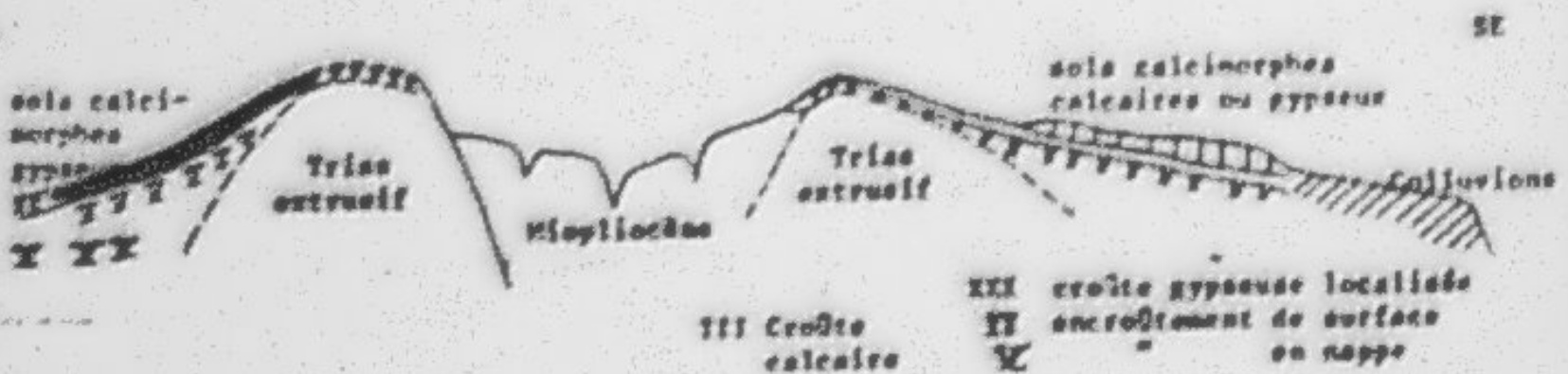
Disposition des croûtes et encroûtements gypseux par rapport à la croûte calcaire et aux horizons à nodules (d'après WEL)



Croûtes de surface et croûtes de nappe sur les glaces du Zemiet El Beïda.



Croûtes gypseuses sur argiles du Waid et sur mio-pliocène dans l'anticlinal de Fedjedj (d'après FONTANIER)



Encroûtements gypseux sur trias dans la région du Kaf

gypseuses entourent d'une auréole la croûte calcaire. Il note encore que "la croûte gypseuse du glacie II est souvent érodée et partiellement remplacée par des épanchages de limons à nodules".

Enfin les zones où la croûte gypseuse est le plus largement représentée correspondraient pour l'auteur à des zones à dissection active, à érosion forte, car il considère comme nécessaire le démantèlement ou l'ablation de couvertures éventuelles, qu'il s'agisse de la croûte calcaire ou de revêtements alluviaux.

En résumé, les croûtes et encroûtements gypseux de surface sont toujours dominés dans le paysage par la croûte calcaire, mais eux-mêmes peuvent se succéder indifféremment dans un sens ou dans l'autre, suivant les situations locales (146,331).

Dans l'étude de la zone d'El Hamma Nord (460), FONTANIER fournit plusieurs coupes géomorphologiques qui montrent la disposition des encroûtements gypseux. Sur le Mio-pliocène, les croûtes se trouvent soit en amont, soit en aval des longs glacis quand ceux-ci sont de longueur moyenne (figure 6-b). Par contre, sur les argiles gypseuses du Wesid, dans la combe du Fedjadj, elles sont généralisées, d'épaisseur croissante vers l'aval de chaque "marche d'escalier" formée par l'alternance des argiles gypseuses et des marno-calcaires plus durs (figure 6-c).

Sur les plateaux et dans les dépressions (garant), où se superposent les dépôts sablo-limoneux récents et les limons à nodules calcaires, au-dessus du Mio-pliocène, les témoins de la croûte villafranchienne sont rares. Mais où la couverture récente a disparu les croûtes et encroûtements gypseux sont fréquents.

Dans la zone de la sabkha de Sidi Mansour, vers le km 90 de la route Gabès-Cafsa, la croûte gypseuse formée sur le Mio-pliocène se termine en terrasse au-dessus de la zone inondée mais son passage est souvent masqué par une lunette de sabkha, elle-même très gypseuse.

Enfin l'auteur note également que les croûtes et encroûtements gypseux ne se développent que sur des surfaces non ou peu inclinées, et que l'on n'observe que des polygones gypseux sur les pentes plus fortes, sur marnes gypseuses par exemple.

Dans le nord du pays, au sud-ouest du Kef, (412), les encroûtements gypseux sont formés soit directement sur le Trias des diapirs, soit sur et dans leurs colluvions, mais moins nettement sur le Mio-pliocène (figure 6-d). L'intervention de circulation latérale dans la formation des encroûtements gypseux situés sous la croûte calcaire est ici illustrée.

Les encroûtements ou de plus simples accumulations gypseuses existent ainsi souvent sous les croûtes ou encroûtements calcaires (figure 6-d) et sous les limons à nodules calcaires. Leur ablation permet le durcissement de la croûte gypseuse proprement dite.

Notons enfin que s'il est fréquent de trouver des croûtes calcaires bien conservées sous des recouvrements divers, ce n'est jamais le cas pour les croûtes gypseuses, exception faite de minces voiles éoliens.

C. Place des accumulations gypseuses par rapport aux accumulations calcaires

On a vu dans la partie géomorphologie que les croûtes gypseuses sont dans leur ensemble postérieures à la croûte calcaire généralisée du Villafranchien, mais antérieures aux épendages de limons à nodules calcaires.

Ceci semble du moins vrai pour les assises sédimentaires qui leur servent de roches-mères car leur formation propre peut aussi avoir été contemporaine ou même postérieure à ces dépôts, par suite notamment de leur ablation.

En effet on retrouve des débris de la croûte calcaire cimentés par le gypse (178,311), mais jamais de croûte gypseuse directement au-dessus des limons à nodules (x).

Par contre la base de ces limons à nodules surtout s'ils sont érodés montre toujours des encroûtements plus ou moins développés lorsque le substratum est gypseux. Et l'on n'a jamais pu déterminer à coup sûr, du moins par le seul examen de la morphologie, si l'encroûtement pénètre au sein des limons ou si, la pédogenèse de ces derniers s'étant effectuée en place, ce qui n'est pas prouvé, ce ne sont pas eux qui pénètrent dans les horizons profonds gypseux. (215,246).

Rappelons enfin l'existence d'encroûtements calcaires de profondeur au-dessus des encroûtements gypseux sous certains sols "bruns steppiques". (331-364).

III. - VEGETATION DES TERRAINS GYPSEUX

A. Les observations des pédologues

Comme le remarque POUGET (246), la végétation des sols gypseux à surtout une valeur indicatrice de la présence du gypse, et à ce titre c'est un auxiliaire précieux pour la cartographie, plutôt que celle d'un véritable facteur de la pédogenèse, étant donnée la faiblesse de sa couverture.

Cependant, son étude est d'une utilité incontestable pour l'appréciation de l'état de transformation ou de dégradation de ces sols, en particulier sous l'influence des utilisations qui en sont faites par l'homme, même si l'on tient compte du fait que la végétation réagit en général plus vite que le substrat à ces "agressions" (FLAÏET et al 1975).

(x) Seul peut-être dans des zones restreintes en bordure des sables littoraux (VERTHUISOT 1975)

Cette valeur indicatrice pourrait rendre compte de plusieurs données comme la teneur en gypse du substratum, sa texture et sa compacité, la profondeur de l'horizon durci, ou l'existence d'un recouvrement même peu épais (BOURDAT, 1978).

Parmi les plantes le plus souvent citées comme étant associées aux sols gypseux figurent :

- sur croûte et encroûtement gypseux pulvérulent :
 - Anabasis aphylla* (144)
 - Anabasis articulata* (144)
 - Anarrhinum brevifolium* (178, 246)
 - Astragalus armatus* (246)
 - Atractylis serratuloides* (178, 246)
 - Echiochilon* (236)
 - Gymnocarpus decander* (178, 246)
 - Helianthemum Kahiricum* (178, 246)
 - Eumyria vermiculata* (246)
- sur recouvrement sablo-limoneux d'encroûtements gypseux
 - Anarrhinum brevifolium* (144, 178, 296)
 - Astragalus armatus* (178)
 - Erodium glaucophyllum* (178)
 - Lygeum spartum* (144, 178, 246)
 - Nitraria retusa* (296) (si encroûtement de nappe)
 - Zygophyllum album* (178, 246)
- sur sols gypseux plus ou moins salés
 - Trigonema madetum* (144)
- sur Marnes gypseuses érodées
 - Zygophyllum album* (246, 296)

Parmi ces plantes, s'il en est qui sont de véritables indicatrices du gypse, d'autres sont simplement des plantes tolérantes mais qui indiquent en outre d'autres caractères, comme le *Lygeum* pour le recouvrement sableux ou les *Gymnocarpus* et *Atractylis* pour la croûte ou l'encroûtement profond.

5. Les études botaniques et phytosociologiques

Les plantes présentes sur les terrains gypseux, dites gypsiholes, se divisent en deux groupes (BOURDAT, 1973) :

- les gypsophytes, plantes inféodées au gypse
 - soit absolues, apparaissent sur le gypse dans toute région
 - soit locales, n'apparaissent que dans certaines stations (écotype)
- les gypsoclines, plantes tolérant le gypse, mais n'en ayant pas expressément besoin pour croître.

La présence de telle ou telle plante gypsicole est donc liée non seulement à la teneur en gypse du substrat, mais aussi, à travers son type d'enracinement, à la texture et à la compacité du matériau. On peut distinguer par exemple, dans les encroûtements gypseux, l'enracinement pivotant profond d'*Anarrhinum brevifolium* et l'enracinement plus superficiel d'*Echiochilon*. Dans les sables des racines latérales nombreuses sont développées par *Erodium glaucophyllum*, *Astragalus armatus*, *Quercus africana*. D'autres indiquent un encroûtement profond, comme *Atractylis serratuloides*, ou la présence d'une nappe riche en sulfates à moins de deux mètres de profondeur comme *Limonium guyonense*.

Du point de vue phytosociologique, HOZJACU (1959, 1969) cite 55 espèces gypsohalophytes (gypsophytes, gypso-halophytes et gypso-clines), dans l'ensemble de la Tunisie steppique et désertique, dont 16 dans les forêts et littoraux, 46 dans les steppes, 8 dans les zones salées et 14 dans les zones cultivées. Parmi celles qui ont donné lieu à la formation d'associations typiques, on citera :

- dans les forêts et littoraux et dans les steppes :

Astragalus armatus ssp *trageanthoides*
Leunea angustifolia
Lygeum spartum
Horizandis arvensis suffruticosum

- dans les steppes

Anaetha articulata
Anarrhinum brevifolium
Aristida ciliata
Erodium glaucophyllum
Helianthemum lippii var. *intricatum*
Nitraria retusa
Tragacantha nudata
Zygophyllum album

- dans les cultures

Elymus farctus
Hordeum vulgare

IV. - MORPHOLOGIE ET PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ACCUMULATIONS GYPSEUSES

Pour la description des sols et des accumulations gypseuses, on assiste à un "foisonnement" des termes. On rencontre en effet :

- pour la croûte gypseuse : croûte dure, patinée, zonée, rugueuse, feuilletée, lamellaire, de nappe
- pour l'encroûtement : polygonal, pévicentaux, amorphe, pulvérulent, farineux, poudreux, onctueux, blanc, beige
- pour les autres formes : coins gypseux, axes durs ou farineux, nodules, gypse lenticulaire, roses et micro-roses des sables, gypse coars- ou microcristallin.

voire cryptocristallin, gypse amorphe ou diffus, pseudomycellum, gaines racineuses ou racines gypsifères, sans oublier les termes vernaculaires de tarch, deb-deb ou ras-kalb.

Parmi ces termes un certain nombre ont véritablement trait à la morphologie et, dans les descriptions de profils, peuvent désigner des horizons ou des groupes d'horizons, d'autres concernant plutôt les types de cristallisation. Un effort de débroussaillage de cette terminologie compliquée et confuse s'avère nécessaire et l'on tentera de préciser quelques définitions au cours de l'exposé ci-après.

Nous étudierons donc successivement la macromorphologie des accumulations gypseuses, soit au niveau du profil, quand apparaissent un ou plusieurs horizons à dominance gypseuse, soit au niveau de l'horizon, quand elles sont plus localisées, auxquelles nous associerons les caractères physiques indissociables, ceux, la structure et la compacité, et ensuite la micromorphologie de ces accumulations, notamment les formes de cristallisation et les particularités de la distribution du gypse.

A. MACROMORPHOLOGIE (figure 7)

1. Accumulation généralisée

Nous entendrons par là toute accumulation intéressant totalement un horizon ou un groupe d'horizons, en constituant en quelque sorte la "matrice". Nous préférons ce terme à celui de "concentration gypseuse localisée" proposé par BUREAU & BOEDERER, que nous réserverons aux accumulations effectivement plus localisées, dans la matrice non gypseuse de certains horizons ou profils. Il s'agit donc là uniquement des croûtes et encroûtement, d'origine calcimorphe ou hydromorphe, de surface ou de profondeur.

a) Croûte et encroûtement de type calcocapnéimorphe

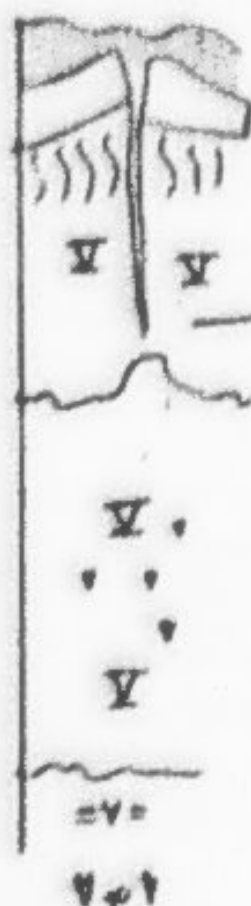
Tous les observateurs s'accordent pour montrer que si les encroûtements sont très souvent surmontés d'une croûte, il existe aussi de vastes encroûtements ^{mais} sans croûte, au moins de faible épaisseur. Généralement, la croûte procède toujours de l'encroûtement (ES 33).

1) Morphologie de la croûte

La croûte, dont l'épaisseur moyenne varie entre 5 et 10 cm parfois plus dans des cas très particuliers (146), est généralement morcelée en polygones dont l'arête est visible dans l'encroûtement sous-jacent. Les faces supérieure et inférieure sont nettement individualisées ; la face supérieure souvent patinée, montrant en coupe un liseré verdâtre (algues microscopiques ?), peut être unie ou rugueuse ou même lapiasée (157).

Profil de croûte sur encroûtement
sur Micrionides

(PHN 149)



Velle Solien

Croûte

Encroûtement blanc
massif

Encroûtement
jaunâtre à mass dure

Profil d'un bourrelet gypseux de sabha

(PHN 171)



Velle Solien

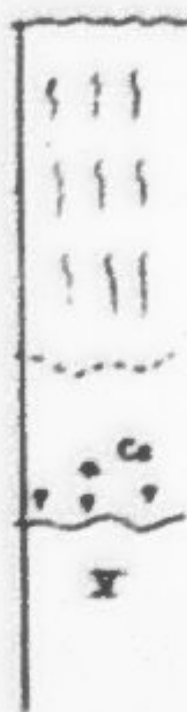
Horizon à "coins" gypseux

Amas gypseux

Gypse lenticulaire

Profil de sol peu évolués faciles
ischumique sur encroûtement gypseux

(PHN 284)



Sable-limonneux
à calcaire diffus

Pseudomycelium

Amas gypseux

Encroûtement gypseux

Profil d'un sol salin à remise en mouvement
du gypse

(PHN 381)



Kabkhas

Gypseux petite amas

Gypse en amas, pseudomycelium
petites roses des sables et
racines gypsoïdes

Encroûtement gypseux

Croûte gypseuse de nappe

(d'après FONTANIER - 460)

On note parfois une structure lamellaire dans la partie supérieure, au-dessus d'un matériau blanc plus homogène et moins dur (257). La surface peut également inclure des sables grossiers.

La croûte repose sur l'encroûtement par une nette discontinuité soulignée par la pellicule durcie de la face inférieure et un mince lit très pulvérulent au sommet de l'encroûtement.

L'épaisseur de la croûte ne semble pas liée à celle de l'encroûtement (177, 233).

2) Morphologie de l'encroûtement

On observe classiquement dans les encroûtements de surface (ES 33) deux parties distinctes : la partie supérieure, ou encroûtement blanc, généralement pulvérulent, mais parfois lamellaire ou stratifié (257), et la partie inférieure, ou encroûtement jaune, plus compact que le précédent, et comportant des zones durcies dite "tête d'épingles" (178, 215, 363) mais la distinction entre ces deux types d'encroûtements n'est pas toujours aisée (460). S'y ajoute parfois un encroûtement bicolore (257), qui ne serait qu'un horizon de transition avec la roche-sère altérée, ce qu'atteste l'accroissement, vers la base, du nombre et de la taille des "boules" d'argile sableuse (175, 245).

La base de l'encroûtement présente encore parfois un aspect nodulaire (257) ou gréseux (160).

Lorsque l'encroûtement n'est pas surmonté d'une croûte, il arrive qu'il soit revêtu d'une mince pellicule (quelques millimètres) de lichens qui semble lui assurer une certaine protection (246), ou d'une fine patine saisonnière (LOTEN).

Nous savons qu'il existe aussi des encroûtements gypseux sous des sols non ou peu gypseux (voir 1ère partie). Mais la distinction entre les deux parties de l'encroûtement est moins aisée (200, 253, 331).

3) Profils tranquilles et profils avertis

La transecture des profils a été souvent invoquée, soit pour expliquer le faible développement des encroûtements lorsque le matériau gypseux est presque à l'effileurement (encroûtements avertis ou naissants), soit comme phase préalable au recouvrement par un dépôt généralement d'origine éolienne (encroûtement tranquille). Cependant les explications fournies ne sont pas toujours très claires et parfois contradictoires : l'évolution de l'encroûtement est-elle contrariée ou même stoppée à l'origine par le dépôt d'un

sédiment après troncature (331), ou bien l'ablation de cette couverture empêche-t-elle sa réalisation (257) ?

b) Croûte et encroûtement de nappe (figure 8)

Ces types d'accumulation ont été étudiés en détail par FOUGET (25 70). Ils présentent des différences assez nettes avec les précédents. En particulier, l'encroûtement peut être absent, ou bien exister aussi bien au-dessus qu'au-dessous de la croûte.

La croûte est généralement très compacte, mais présente parfois des aspects feuilletés et des noyaux plus durs ou au contraire des zones pulvérulentes. On observe aussi des strates grises évoquant le gley, et la selure est fréquente.

2. Accumulation localisée

a) Dès la surface

Il s'agit ici des "polygones" et "coins" gypseux, particulièrement visibles soit sur d'anciennes surfaces érodées de faible pente (257), soit sur les talus de raccordement des glacis sous pente forte (331, 400, 414) mais aussi sur des bourrelets doliens ou lunettes (257, 440) (figure 7). On parle généralement de "réseaux polygonaux", montrant en coupe des fentes larges "en coin" bourrées de gypse, se débitant parfois en polyèdres (257, 331). Entre ces fentes il n'existe généralement pas d'encroûtement, bien que l'on puisse noter un léger enrichissement par rapport au substratum (257).

Il convient de distinguer ces réseaux de ceux qui peuvent être obtenus, au sein de croûte et d'encroûtement à structure prismatique large, par ablation de la croûte. Chaque maille du réseau est alors double, les bords verticaux encroûtés de prismes voisins se trouvant juxtaposés (voir plus loin).

b) Au sein des profils

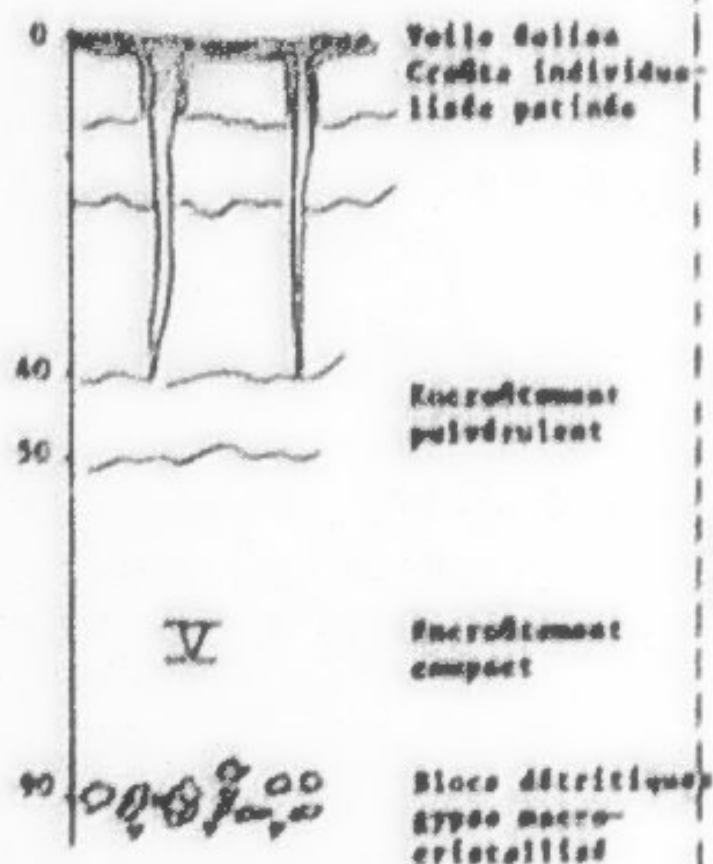
Suivant la taille et le niveau de perception (œil nu, loupe, binoculaire, voire microscope, ou détermination analytique), et la consistance, on distingue :

- les nodules, légèrement compacts; à limites nettes, mais sans cortex à la différence des nodules calcaires
- les saes, plus friables, de taille identique ou plus faible que les nodules, mais moins denses, à l'exception des saes en "têtes d'épingles" apparemment plus densément cristallisés
- les pseudocroûtes, soulignés par des rainures blanches
- le gypse diffus, dans certains horizons, décelable seulement à l'analyse.

Ces types d'accumulation sont décrits aussi bien dans les sols de type calcicorphe que dans les sols où l'action d'une nappe est le principal agent

Profil de croûte sur encroûtement par
alluvions

(NZ 253)



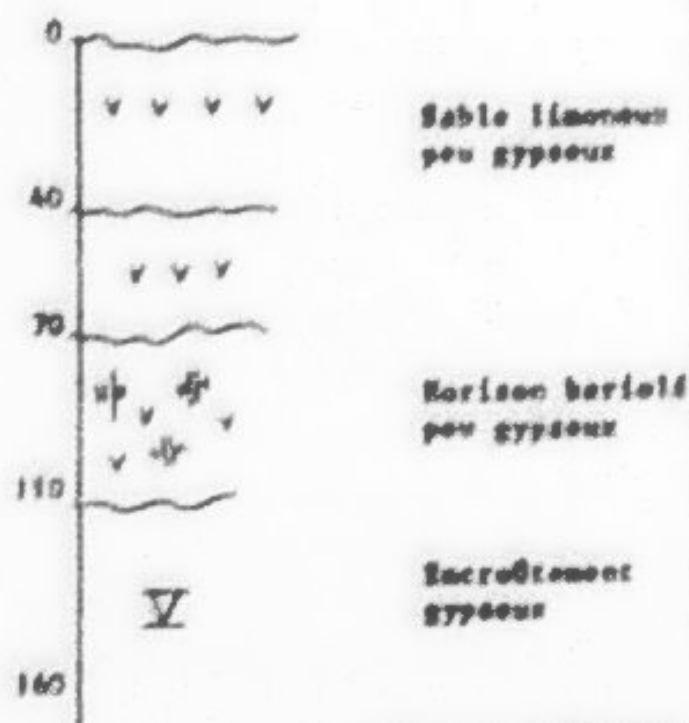
Profil d'encroûtement de surface par
anciennes croûtes de nappes

(NT 121)



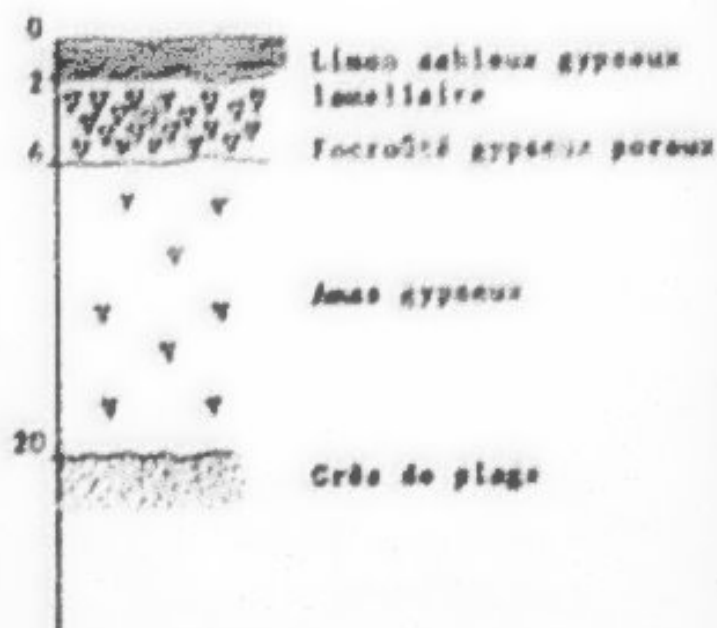
Profil d'un sol hydromorphe à encroûtement
de nappe

(P 70)'



Profil d'un sol halomorphe salin
à encroûtement gypseux superficiel

(P 640)



(d'après FONTANIER - 363 et POUJOT - 320)

Figure 5

SUITE EN

F

2



00894

MICROFICHE N°

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F

2

d'accumulation, mais plus souvent ^{ou} dans ces derniers. Par contre d'autres formes leur sont plus souvent associées, qui sont :

- les rochers des sables
- les masses cristallines du deb-deb
- les resines gypsifères et res-halb

L'appellation de "gypse lentillaire" ne semble pas correspondre, à proprement parler, à une redistribution ou à une accumulation de gypse, mais plutôt à un matériau original parfois presque entièrement gypseux, d'origine doloménée, l'usure des cristaux au cours du transport pouvant conduire à cette forme particulière. Ceci n'exclue cependant pas la possibilité de recristallisations en son sein (TRICHEL).

B. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET STRUCTURALES DES ACCUMULATIONS

On dispose de peu d'indications sur la densité ou la compacité des croûtes et encroûtements gypseux. Par contre la durcissement de ces derniers après exposition à l'air est souvent cité (ES 33). S'ils sont relativement friables à l'état "frais", ils se délitent rapidement dans l'eau, à l'exception des zones plus dures et cal-vées dites "têtes d'épingles".

La porosité serait faible mais relativement hétérogène. Bien que l'on n'ait pu y mettre en évidence de l'eau libre, il est remarquable de constater que sous la croûte ou la pellicule de lichens, les encroûtements sont généralement fins, l'encroûtement blanc apparaissant cependant plus sec que ceux qu'il surmonte (ES 33).

C'est la structure qui a été le mieux étudiée. On doit notamment à SOLASAT (1977) une étude sur la structure prismatique grossière particulièrement apparente en bordure d'océan ou de citerne. Cet auteur a montré que cette structure était également perceptible à l'avant de ces fronts d'érosion et d'écroulement, et a distingué plusieurs types en fonction de la compacité ^{et} de l'induration des accumulations latérales. Il distingue :

- des prismes à faces non encroûtées, de section hexagonale, sans enrichissement particulier sur les faces, à simple discontinuité physique de cristallin
- des prismes à faces encroûtées grossières, dont les faces supérieure et latérale présentent un enrichissement net et une grande compacité, et produisant, par ablation de la croûte supérieure, les réseaux cités ci-dessus (figure 2).

Si les plus gros polygones et prismes, dont le diamètre moyen peut atteindre 150 cm, se fragmentent parfois en prismes plus petites (15 à 20 cm), on n'observe jamais de structure plus fine ou moyenne. On pourrait donc parler d'une structure massive à sur-structure prismatique : au moins pour les encroûtements de surface.

LE BORDAT (1940) a utilisé ces données structurales pour séparer, au sein des paléosols gypsomorphes, un groupe à encroûtement pavimentaire, correspondant probablement aux prismes à faces microcristallines décrites par BORDAT, et un groupe à encroûtement pulvérulent, ce dernier pouvant parfois à un encroûtement talc-ite en profondeur. Les premiers seraient plus fréquents dans les zones continentales à forte évaporation, les seconds dans les zones littorales.

C. MICROCISTALLINITE

On ne dispose que de très peu de données sur cet aspect des études, qui devrait être approfondi. L'observation à la loupe binoculaire a cependant permis de faire d'intéressantes observations sur la morphologie et les types de cristallinité.

Les formes microcristallines sont les mieux connues : roches des sables, sables durcis ou nodules, gypse en plaques d'écaille, etc... Dans l'encroûtement pulvérulent la microcristallinité apparaît déjà à la loupe et montre l'augmentation de la taille des cristaux vers la profondeur, mais ce n'est qu'à plus grande échelle et en lames minces que l'on peut voir que le gypse existe sous des formes et des orientations différentes suivant sa localisation, soit dans la matrice d'un sol peu ou moyennement gypseux, soit au sein d'encroûtements très riches dont il constitue alors la squelette, soit encore au voisinage et dans les vides et les pores.

1. Sols à encroûtement en surface

Dans le croûte de surface le gypse est généralement microcristallin dans l'ensemble, mais de gros cristaux automorphes effilés ne sont pas rares. Des grains de quartz très fins, assez rares, sont disséminés dans la matrice, mais plus abondants quand cette dernière s'enrichit en calcite microcristalline (micrite). Ailleurs les plus gros cristaux de gypse englobent de petits grains de quartz. Ces gros cristaux de gypse, plus abondants vers la base de l'encroûtement, sont parfois striés.

Les cristallinités les plus nettes apparaissent dans et autour des vides. Les cristaux sont le plus souvent orientés perpendiculairement aux parois, donnant dans les vides les plus fins un aspect en "margarites".

En profondeur les vides sont également plus nombreux et plus grands ; ils sont parfois entourés, dans les zones où la matrice devient à dominante calcite (micritique) d'un halo de décarbonatation.

Il semble donc que plutôt qu'une augmentation graduelle de la taille des cristaux de gypse avec la profondeur, on assiste à une augmentation du nombre et de la taille des vides contenant des cristaux de plus grande taille.

Plus en profondeur, dans les horizons de transition avec la roche-mère les gros cristaux sont pigmentés de brun et parfois bordés d'un liseré noir opaque en lumière polarisée. Les cristallisations semblent alors se localiser dans des fissures de la matrice argileuse carbonatée.

Le pseudomycellum apparaît comme un empilement de fins cristaux hexagonaux.

Si les types de cristallisation semblent en général caractéristiques des différentes accumulations morphologiques, croûtes, encroûtements ou amas, il semble que le matériau original lui-même puisse jouer un rôle. FOUBERT (172) remarque en effet que le gypse dit amorphe (pulvérulent) se développerait préférentiellement dans des matériaux de texture sablo-limoneuse, et les formes plus nettement cristallines dans les textures plus fines. La plupart des pétrologues estiment également que les appellations communes de gypse amorphe, diffus, masqué, recouvrent souvent des formes nettement, bien que très finement, cristallines.

2. Sols à accumulation de gypse

Dans ces sols l'analyse micromorphologique permet aussi de se rendre compte de la localisation du gypse soit comme élément constitutif du squelette ou de la matrice, soit comme concentration localisée (STEVAN, 1972). On assiste ainsi, du sommet au bas des profils, à un remplacement progressif du calcaire par le gypse. Mais à la différence du calcaire qui, d'élément prépondérant du squelette, avec le quartz, devient progressivement un élément relique, le gypse se présente encore, dans les horizons les plus riches, sous les deux formes de matrice finement cristalline et de concentration de gros cristaux.

V. DISTRIBUTION DU GYPSE DANS LES PROFILS

Certains auteurs pensent avoir remarqué une indépendance relative des teneurs en gypse des croûtes et encroûtements par rapport à celles des horizons sous-jacents et des roches-mères. Par contre l'enrichissement sur les faces des prismes semblerait lié à la richesse de la matrice (192, 233, 257). Nous examinerons tout d'abord les teneurs en gypse mentionnées dans les différentes études, puis leurs variations au sein des profils par rapport au calcaire et aux sels solubles.

A. LES DONNÉES SUR LES TENEURS EN GYPSE

Les valeurs sont fournies en gypse minéral, sulfate de calcium dihydraté, mais tirées essentiellement du simple dosage des sulfates solubilisés par attaque préalable (voir même partie). Certains auteurs se sont d'ailleurs contentés de fournir des teneurs en sulfates. La présence éventuelle de formes moins hydratées n'est donc pas précisée.

1. Les teneurs dans les croûtes

COOPER cite des teneurs atteignant 97% et BELMICHAM (346), 92%. Ce sont des teneurs maximales. En général les teneurs dans la croûte ne sont pas nettement supérieures à celles de l'encroûtement blanc dont elles procéderaient par simple durcissement.

2. Les teneurs dans les encroûtements

LOTTE (414) a mesuré 96% dans les encroûtements sur Trias, mais pas immédiatement en surface. BOURDAY (257), dans une étude comparative des teneurs relevées dans les divers types d'encroûtement, fournit des limites précises :

- au moins 70% de gypse dans l'encroûtement blanc
- de 50 à 70% dans l'encroûtement jaune
- moins de 50% dans l'encroûtement bicolore ou la zone de transition avec le matériau original.

Il s'agit là de valeurs mesurées sur des échantillons moyens. Une approche plus fine montre que la répartition horizontale est, elle aussi, variable. Que ce soit dans les encroûtements prismatiques ou les "coins gypseux", on observe remarquablement une variation du simple au double entre la partie centrale et les bordures, de 16 à 33% (191), de 30 à 60% (253), de 35 à 70% (257).

3. Les teneurs dans les encroûtements profonds

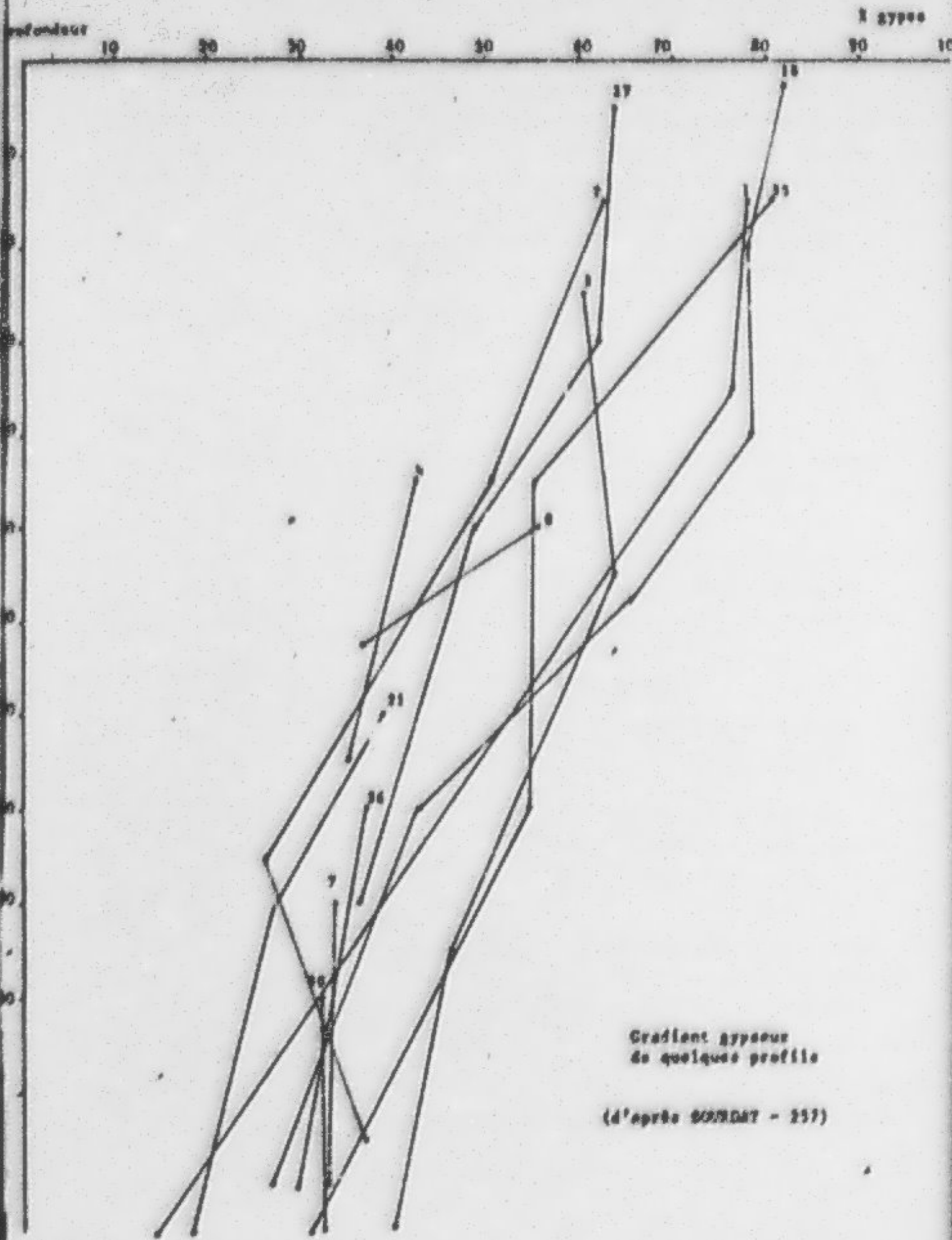
Elles sont en général inférieures aux précédentes mais on note qu'elles tendent à s'accroître quand la couverture s'amincit. Ce "gradient gypseux", mis en évidence au sein des encroûtements (257), est relativement uniforme, (figure 9), que ces encroûtements soient surmontés d'une croûte ou de dépôts divers, mais il faut souligner qu'il intéresse des valeurs d'autant plus élevées, dans un même matériau, que l'encroûtement est plus proche de la surface. Cette indication sera reprise à propos de l'étude des mécanismes de la mise en place du gypse.

Dans le second graphique (figure 10), on a porté les teneurs en gypse de la limite supérieure des croûtes et encroûtements, en fonction de l'épaisseur du recouvrement, ce qui illustre les variations de la richesse en gypse en fonction de la profondeur d'apparition de ce type d'accumulation.

On a noté par ailleurs que la macrostructure ou microstructure prismatique s'affirme, et que le gypse semble migrer de l'intérieur vers les bordures, quand la couverture s'amincit.

4. Les teneurs dans les grôtes et encroûtements de nappe

Parfois très élevées, les teneurs ne semblent pas dépendre de la profondeur, mais un gradient vertical similaire peut être noté dans la croûte (25 70). L'influence



Gradient gypseux
de quelques profils

(d'après SONDAT - 257)

de la richesse initiale en gypse du matériau original est ici très grande. Cependant la teneur en gypse des horizons sus-jacents à la croûte ou à l'encroûtement de nappe peuvent être modifiés par la mise en culture : dans les sols dont la culture a été abandonnée, on observe que la teneur en gypse, qui est forte en surface, diminue dans les horizons subsuperficiels, pour remonter fortement ensuite dans l'encroûtement ; tandis que dans les sols cultivés, la croissance est régulière de haut en bas du profil (289).

B. LES VARIATIONS COORDINÉES DU GYPSE ET DU CALCAIRE

C'est aussi un fait d'observation courante que les variations du gypse et du calcaire dans les profils ne semblent pas indépendantes, sauf peut-être dans des sols assez peu évolués comme les sirozems.

Le contraste le plus net concerne les sols à croûte ou encroûtements gypseux de surface dans lesquels la gypse augmente vers la surface, tandis que le calcaire diminue (et la presque totalité des études) (figure 11).

Au contraire, dans les sols à croûte ou encroûtement de nappe l'évolution est parallèle, mais avec un certain décalage (144, 331, ES 70). On note exceptionnellement une augmentation de la teneur en calcaire vers la surface dans certains sols à sicali (346).

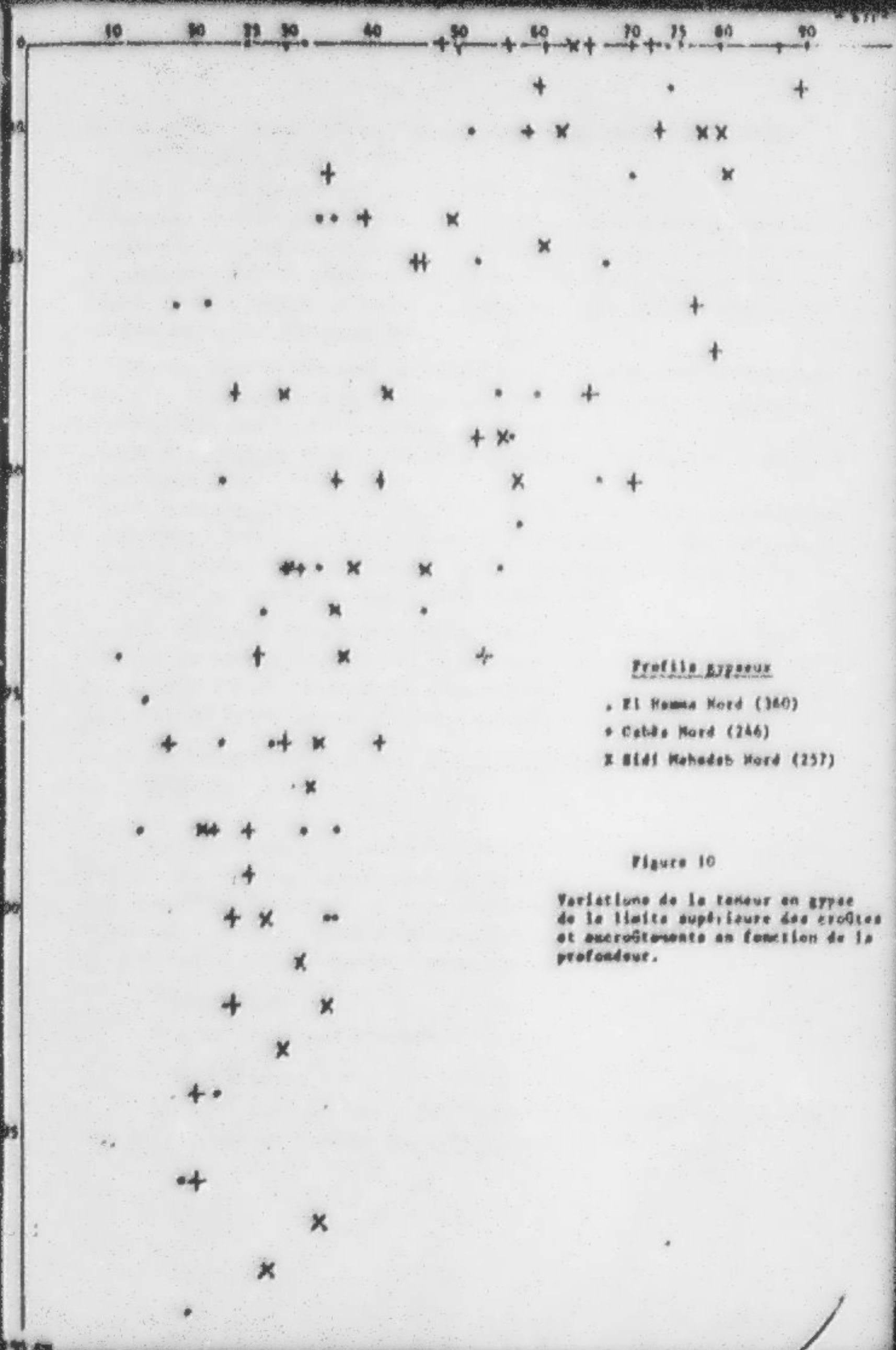
C. LES VARIATIONS DES TENEURS EN GYPSE ET EN SELS SOLUBLES

Ceci ne concerne évidemment que les sols à accumulation de nappe. L'étude en a été faite par PUNNET (ES 70), auquel nous emprunterons ses principales conclusions :

"le profil de salure se caractérise très souvent par une salure moindre dans l'encroûtement que dans la croûte. Il est difficile de définir un profil-type, car plusieurs cas sont possibles suivant le saison, la hauteur de la nappe, le niveau de formation de l'encroûtement.

Dans le profil, la croûte ou l'encroûtement se trouve en général à la limite, ou dans le voisinage immédiat d'horizons de salure différents, ceci étant un effet de la présence de la croûte, en même temps qu'une des causes de sa formation".

L'auteur observe également qu'en cas de la croûte, la teneur en sels solubles ou la conductivité augmentent en même temps que la teneur en gypse. La teneur en sels solubles joue également un rôle important dans les variations de solubilité du gypse. (voir plus loin).



VI. FORMATION ET EVOLUTION DES ACCUMULATIONS GYPSEUSES. REVUE DES HYPOTHESES PROPOSEES QUANT A LEUR GENESE

Ce problème a alimenté et alimente encore à l'heure actuelle de nombreuses discussions. En fait, très souvent, des explications valables pour des exemples localisés ont été imprudemment étendues à des aires différentes. Il est vrai que la grande diversité des formes, des structures et des localisations dans le paysage de ces accumulations empêche de ramener à un type unique de processus la totalité des accumulations observées.

Diverses théories anciennes, sans doute valables dans certains cas (sédimentation lagunaire, écoulement en nappe, etc...) ont été rejetées. Depuis une quinzaine d'années, deux théories surtout restent en présence :

- celle du gaspouillage éolien de poussières gypseuses en provenance de la région des chotts (COCHET - 1962)
- celle de la formation in situ à partir de matériaux originels gypsifères (BUREAU & ROCHER - 1961), ceci pour les accumulations de surface de type calcocarnéomorphes. Il faut y ajouter celle qui concerne les accumulations formées par l'action d'une nappe plus ou moins saline (FOUGET - 1966).

Avant d'examiner les arguments présentés pour la défense de ces différentes théories, il convient de préciser, à la lumière de nombreuses études du Service Pédologique, le cadre général de ces accumulations, notamment leurs facteurs tels qu'ils ont été relevés par les différents auteurs.

A. Les facteurs de mise en place et de diversification des accumulations gypseuses

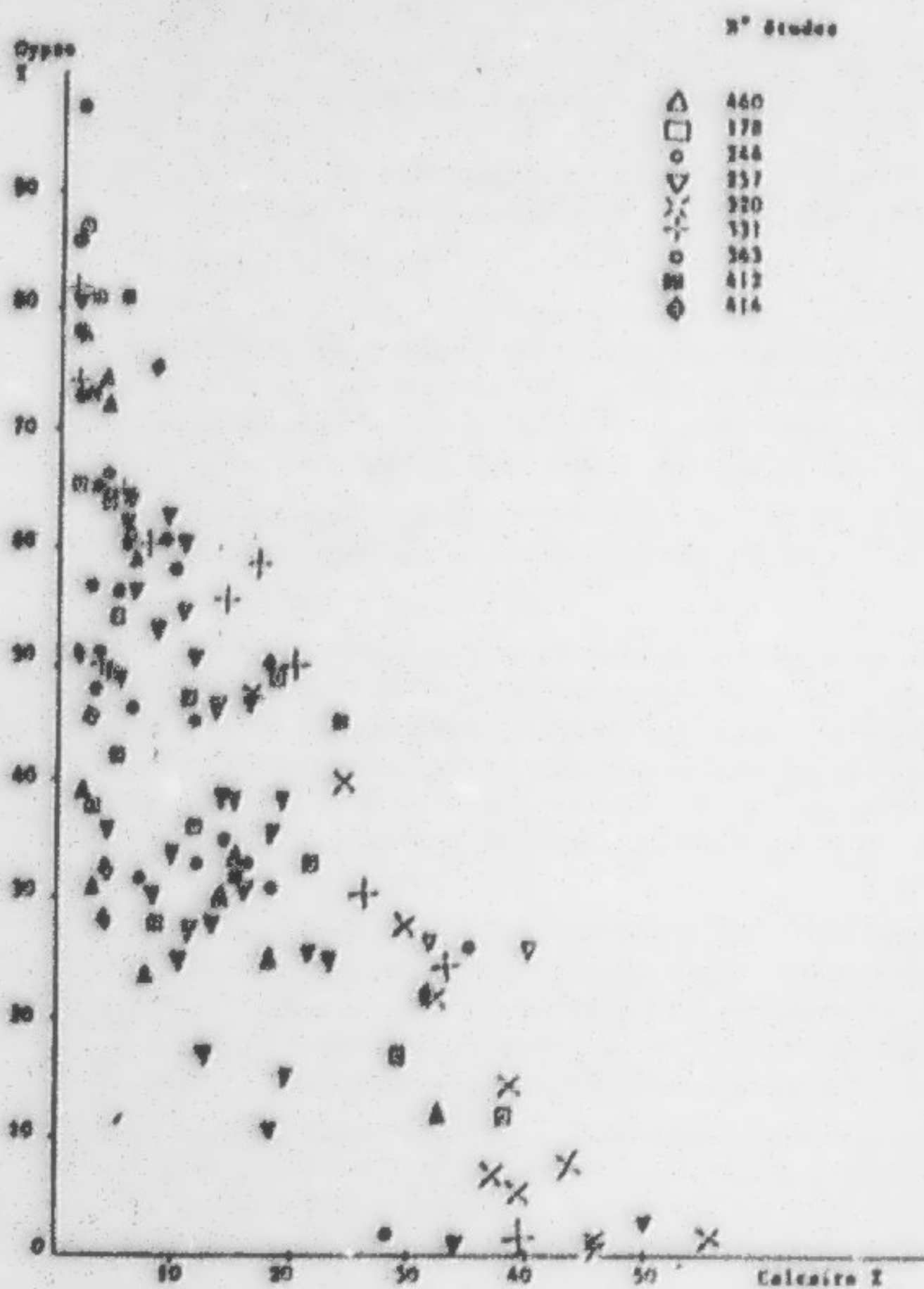
Nous retrouvons ici bien entendu l'ensemble des facteurs généralement pris en compte pour expliquer tout phénomène de pédogenèse : roches-mères, relief, climat, environnement biotique, temps, et leurs principaux agents : composition géochimique des roches et des eaux, dynamique hydrique, évolution des formes du relief, types de végétation et d'utilisation par l'homme, etc...

1. Roches-mères

Ce point a été étudié précédemment (cf I).

2. Géomorphologie

Ceci a été également exposé, mais il convient de souligner l'influence de deux faits d'observation sur les modalités de l'accumulation.



Relations entre les teneurs en gypse et en calcaire
dans les profils de croûtes et encroûtements hypsaux de surface.

Figure 11

a) Influence de la pente

- De nombreuses études montrent que la pente joue un rôle important :
- si elle est forte, on n'observe ni croûte ni encroûtement, mais seulement des résidus de polygones.
 - si elle est faible, les encroûtements ont tendance à se généraliser, jusqu'à 15 ou même 30° d'après COCHET, aux environs de 15° d'après MOREL (331).

b) Influence de l'aridité

L'aridité joue un rôle non seulement sur les processus de mise en place, ou de démantèlement, des accumulations gypseuses, mais aussi sur leur morphologie et leur compacité. La couverture doit être enlevée pour que l'encroûtement s'enrichisse (412). De même le durcissement de la croûte suppose le dégagement et l'exposition à l'air libre de l'encroûtement blanc (PS 3), (253).

Mais dans les zones fortement érodées, associées à des pentes fortes, ne se présentent naturellement que des polygones gypseux (257, 254).

3. Cycles

Ce facteur tient une grande place dans l'argumentation de COCHET : l'aridification croissante, au cours de certaines phases du Quaternaire, conduit à l'abaisssement des plans d'eau dans les lagunes qui recouvrent les chotts, et permet la déflation folienne, le vent disséminant dans toute la région avoisinante des poussières gypseuses. La reprise conjointe ou ultérieure de ces dépôts foliens par l'eau favorise la cimentation progressive grâce à des alternances de dissolution et de précipitation du gypse.

La circulation des eaux provenant des précipitations semble en effet dans certains cas, un facteur essentiel de redistribution du gypse. Les sels les moins solubles, calcraie et gypse, arrivant en effet entraînés à des profondeurs différentes dans les profils. A l'inverse, si l'évaporation conduit à une remontée superficielle au lessivage, l'enrichissement en gypse vers la surface est plus net (172).

Cependant des circulations importantes ne semblent pas pouvoir être invoquées à l'époque actuelle. Par contre l'intervention des condensations nocturnes, dont on ne possède pas d'évaluation quantitative, semble devoir être prise en compte dans certains milieux poreux comme les dunes gypseuses et les bourrelets foliens (363).

Enfin FOURDAT (257) pense pouvoir avancer l'existence d'une discontinuité hygroscopique entre l'encroûtement blanc et l'encroûtement jaune, malheureusement non précisée. Il est en effet fréquent que l'encroûtement blanc soit plus sec que l'autre (25 22).

4. Facteurs biotiques

L'existence de certaines accumulations localisées, comme les gaines de racines et les "ras-kalb", indique un "pompage" des solutions chargées en gypse par les racines (363).

POUFFY (ES 70) a également montré l'action des matières organiques sur les modifications des équilibres chimiques au sein des nappes, par la formation de biocarbonates par exemple.

Si la végétation peut avoir joué un rôle, dans l'hypothèse du transport éolien, pour le piégeage des poussières, son intervention n'est pas moins essentielle pour la protection contre l'érosion. Sa dégradation entraîne l'ablation de la couverture meuble et le durcissement en croûte des encroûtements exposés à l'air libre.

Certaines espèces sont liées à des formes d'accumulation particulière, comme les sols à intumescences gypseuses (LE HOUEROU - 1960), ou les micronebkhas encroûtées (COQUE, 1962). Par exemple le *Linoniastrum guyanense* pourrait jouer ce rôle de fixation et de précipitation du gypse dans le sud du chott Djerid.

Notons également le rôle possible des organismes inférieurs. De vastes zones d'encroûtements gypseux sont couvertes d'un fin revêtement de lichens (246) ; de même une fine pellicule algale (?) s'intègre à la patine dure des croûtes.

Enfin l'utilisation abusive par l'homme (céréaliculture, surpâturage) de certains sols à substrat gypseux peu profond semble être un facteur décisif pour l'enrichissement et l'induration de ces substrats vers des formes encroûtées, notamment dans le nord (412).

5. Facteur temps

Les observations rapportées précédemment (II) ont montré que l'épaisseur et l'extension des croûtes semble diminuer des surfaces les plus anciennes (à l'exception de celles qui ont pu être plus ou moins complètement détruites, comme le glacis IV de COQUE) aux plus récentes, la dernière n'étant elle-même pas encroûtée. Des pulsations climatiques progressivement atténuées en seraient la cause. Cependant, si les datations relatives, par l'utilisation des restes archéologiques associés, permet de situer les limites extrêmes des épisodes de formation des croûtes, on ne possède pas de données sur les vitesses réelles.

Seules quelques mesures ponctuelles sur le terrain (257) ou au laboratoire (PLAT-LAJOUX - 1969-1971), indiquent que les phénomènes de migration et de mise en place des encroûtements seraient rapides.

B. LES FACTEURS DE LA CRISTALLISATION

Comme l'a montré POUGET (ES 70), la précipitation du gypse et le grossissement des cristaux suivent les lois de la dynamique chimique. La précipitation nécessite que les teneurs en sulfates et en calcium sous forme ioniques dans les solutions et les nappes permettent le dépassement du produit de solubilité régi par la composition de la solution, sa force ionique, la température, etc...

Les formes de la cristallisation et la vitesse du phénomène dépendent du degré de sursaturation en gypse. Mais l'auteur note que ces conditions ne sont pas toujours suffisantes, des équilibres métastables ayant été observés.

La teneur globale du sol en gypse semble influencer sur la taille des cristaux : dans un sol très riche les cristaux sont fins, alors que dans un sol moins bien pourvu, les cristaux seraient plus gros (ES 70).

La teneur en eau du sol aurait également une influence sur la taille des cristaux, les sols subissant de longues périodes de sécheresses présentant des cristallisations plus fines que les sols à humidité permanente (I&C).

Enfin, la vitesse du flux d'évaporation, conditionnant le transport des solutions vers la surface, jouerait elle aussi un rôle, les régimes lents conduisant à des cristallisations fines (246).

C. LES MECANISMES DE LA MISE EN PLACE ET DE LA REDISTRIBUTION DU GYPSE

Si l'on met à part la déflation folienne et le saupoudrage de surfaces plus ou moins importantes que nous examinerons brièvement, dont on a dit qu'elles étaient des hypothèses controversées, ce phénomène étant par ailleurs admis pour l'édification des bourrelets foliens de sabkha (lunettes) et des champs de dunes gypseuses en bordure sud et sud-est du chott Djerid, que POISSONIER (communication orale) considère comme une vaste lunette, c'est la formation in situ, à partir d'une roche-mère ou d'un matériau sédimentaire gypseux d'une part, ou d'une alimentation hydrique par des nappes riches en sulfates, d'autre part, que les auteurs se sont attachés à définir.

Dans les deux cas ces mécanismes impliquent des mises en solution, des transports plus ou moins longs, et des conditions semblables de précipitation.

Ces transports en solution se sont-ils réalisés verticalement, par ascension ou bien par descension, ou obliquement ?

Dans tous les cas l'enrichissement en gypse sera le résultat d'une accumulation absolue, la plupart des éléments, si l'on excepte les sols les plus solubles

comme les chlorures de sodium et de magnésium, étant nettement moins solubles ou mobilisables. Il ne peut donc s'agir, à première vue, d'accumulations relatives par départ d'autres éléments.

Cependant cette hypothèse mérite de ne pas être trop rapidement écartée car on dispose d'observations sur des substrats riches en gypse à l'origine et où les éléments non gypseux ont tendance à diminuer, sans que l'on puisse mettre clairement en évidence des apports gypseux de l'extérieur (cas des dunes et lunettes gypseuses).

1. Hypothèse du transport éolien

COCHET apporte à l'appui de sa thèse différentes observations :

- la grande rareté des éléments classiques dans les encroûtements
- l'existence de vastes sources inexploitées de gypse susceptible d'être repris par la déflation éolienne dans la zone des chotts.

Pour la première il convient de remarquer que l'auteur ne dispose que d'une seule analyse montrant la granulométrie de type éolien des débris élastiques, essentiellement quartzes. Encore cette granulométrie n'est-elle été obtenue après une attaque particulièrement agressive de l'échantillon à l'acide chlorhydrique bouillant concentré, dont on peut penser qu'elle n'a pas été sans effet sur la dissolution des grains les plus fins et sur la privatisation des plus gros, généralement disséminés. De nouvelles analyses seraient nécessaires. Notons par ailleurs que cette rareté des éléments classiques n'est observée que dans les parties supérieures des encroûtements et dans les croûtes et disparaît progressivement en profondeur, ce qui serait plutôt un argument favorable à l'hypothèse de l'accumulation par recensement.

Pour la seconde, si les chotts représentent en effet un réservoir de gypse important, d'où-il viendrait d'une part de la résurgence des nappes profondes, mais aussi, dans l'hypothèse de COCHET, du lessivage des formations géologiques qui en sont riches. Aussi pourquoi vouloir faire accomplir un chemin compliqué à ce gypse (lessivage et transport vers les sahhas, déflation et azupoudrage éolien, recimentation sur les glacis), plutôt qu'un développement en place avec de faibles déplacements latéraux ?

Quant aux mécanismes de stabilisation de ces dépôts éoliens sur des substrats divers, l'auteur envisage deux processus différents suivant qu'il s'agit de croûtes calcaires ou gypseuses, tout en invoquant pour les deux le transport éolien pour leur rise en place :

La croûte calcaire se serait formée par dissolution et transport en profondeur au sein du matériau éolien, tandis que l'encroûtement gypseux se serait maintenu en surface. Le gypse étant beaucoup plus soluble, il y a là une contradiction troublante.

Par ailleurs, FERTHUISOT (1975) propose une solution au problème de la sélecton des particules argileuses et gypseuses sur les zones de déflation éolienne des shotts et des sabkhas. Mais cette explication, la sélecton par gravité, fait appel à une alimentation en gypse des bassins évaporitiques à partir du vidage des bassins versants, alors qu'il est aujourd'hui admis que cette alimentation se fait au contraire par résurgences des nappes souterraines plus ou moins artésiennes (BERTS 1972).

Un autre argument de COHEN, repris par FERTHUISOT, semble pouvoir être facilement infirmé. Ces auteurs pensent en effet que le dépôt des poussières éoliennes gypseuses aurait pu se faire à la faveur des écrans formés par une végétation relativement abondante établie sur des surfaces préalablement érodées, ce qui est en contradiction formelle avec la plupart des observations, la végétation actuelle, qui n'a pas dû être très différente de la végétation des périodes antérieures, et ce n'est par sa densité se développant préférentiellement dans les sols légers non érodés qui recouvrent certaines parties des glacis.

De même, l'apparition des croûtes et encroûtements gypseux dès que la croûte calcaire villafranchienne recouvrait les argiles gypseuses du Miopliocène a été démentie, milite plutôt pour un développement in situ que par un apport éolien.

2. Hypothèse de la migration par descension

Quoique rarement clairement affirmée, cette idée transparaît dans plusieurs études. Pour certains auteurs (172, 294, 331), le lessivage des sels dans un sol à faible teneur en gypse pourrait conduire à la formation d'un horizon d'accumulation du gypse en profondeur, sous un sol "steppique". Cela rapprocherait les sols à encroûtement gypseux des sols à croûte ou encroûtement calcaire mais il est difficile au premier abord de penser que toutes les croûtes ou encroûtements gypseux sont d'anciens horizons d'accumulation de sols steppiques. Seuls peuvent y faire penser les encroûtements gypseux plus ou moins

profonds situés au-dessous d'encroûtements calcaires, le gypse, plus soluble que le calcaire, étant entraîné plus profondément (331).

Il faut également remarquer que certains profils de sols steppiques sur encroûtements gypseux ne présentant que de très faibles variations de la granulométrie entre le sol sus-jacent et l'encroûtement (246). Cependant les très faibles teneurs en gypse des horizons supérieurs font penser qu'il s'agit plutôt d'une imprégnation de la base des horizons profonds des sols steppiques par le gypse (par ascension ?).

3. Hypothèse de migration latérale

Cette idée a été avancée par plusieurs auteurs (178, 412), dans des zones où des matériaux gypseux surplombent des collines diverses, au sein desquels se différencient des encroûtements qui n'atteignent pas toujours la surface et plus particulièrement dans le cas où l'encroûtement gypseux apparaît sous la croûte calcaire (412), la remontée relative des encroûtements vers la surface au bas des longs glacis semble attester de cette circulation latérale. Certains exemples montrent également que les accumulations de gypse dans les zones basses peuvent provenir de croûtes ou d'encroûtements situés plus haut (100).

Ce même phénomène pourrait intervenir dans les zones basses où se manifestent des artésianismes ou des écoulements de nappes chargées en sulfates, que l'évaporation amènerait à déposer du gypse (156, 178).

4. Hypothèse de migration par ascension

Cette hypothèse a été particulièrement défendue par BUREAU & ROEDERER (25 33) et c'est une idée généralement admise par de nombreux pédologues. Un essai expérimental a permis de préciser certains aspects du phénomène (PIET - LAJOUX).

L'envasement progressif par le gypse, au cours de la pédogénèse, de matériaux l'origine peu ou non gypseux, expliquerait la diminution relative des *clastes* élastiques originellement présents dans la roche-mère. La faiblesse de leur pourcentage, dans de nombreux cas inférieur à 10 ou même 5 %, eût semblé déterminant pour COQUE pour invoquer l'origine éolienne. Mais BORI (331)

fait justement remarquer que cette objection n'est pas formulée dans le cas des croûtes calcaires dont l'origine par lessivage n'est plus maintenant discutée.

Cette migration par ascensus sous l'influence d'un "appel climatique" par l'intermédiaire de l'évaporation et de l'évapo-transpiration semble se manifester également dans un sens latéral sur de très courtes distances, au sein des prismes et polygones gypseux (192, 253, 257).

Si cette dernière hypothèse reste donc dans bien des cas la plus séduisante, il est nécessaire de l'étayer par des observations et des analyses plus fines (micromorphologie, microscopie électronique, analyse des éléments clastiques et des minéraux lourds) et des expérimentations plus diversifiées, ainsi que par des tentatives de bilan.

Il n'est finalement pas interdit de penser que l'on puisse parvenir à la conjugaison de plusieurs des hypothèses proposées.

Il serait également du plus haut intérêt d'étudier les relations qui peuvent exister entre la pédogénèse gypseuse et la pédogénèse calcaire. De nombreuses observations nous ont montré que les accumulations de l'un ou l'autre type semblent s'organiser de manières variées dans l'ensemble, mais toujours régulière dans un type d'environnement donné. Ainsi, en se fondant uniquement sur les différences de solubilité de ces deux sels, pourrait-on avancer des hypothèses selon lesquelles la migration se serait faite par descensus, verticalement ou latéralement, quand l'encroûtement calcaire surmonte l'encroûtement gypseux, et par ascensus dans le cas inverse ?

CONCLUSION

Comme le souligne plaisamment SCURDAT (178) : " Dans le Sud tunisien, le gypse est partout ... il complique les observations, brouille les profils, fausse les analyses ...".

Le gypse est en effet présent dans de nombreux stades géologiques et pas seulement dans le Sud. Ses affleurements étendus, il s'agit surtout du Trias, du Crétacé inférieur et du Mio-Pliocène. Par ailleurs, les conditions de son dépôt sont souvent réalisées dans les zones d'artésienisme ou de pompage des nappes profondes.

Les formations gypseuses, notamment les croûtes, sont, après les croûtes calcaires, des éléments importants de conservation, sinon de façonnement, du paysage, non seulement des glacis d'érosion, mais aussi des anciennes formations denses de diverses tailles.

Les caractères originaux de ce milieu édaphique particulier commandent une sélection de la végétation dont le port et le mode d'implantation réagissent à leur tour sur l'évolution des terrains gypseux.

La multiplicité des formes des accumulations gypseuses a contribué à l'enrichissement de la terminologie pédologique. Les phénomènes de troncature et de contamination des horizons rendent difficiles certaines interprétations génétiques.

Le comportement de ce sel, dont la solubilité se situe entre celle du calcaire et celle des sols communs aux sols salés, est compliqué par la variété des échanges ioniques possibles. En sus, l'ancienneté probable de certaines de ces formations rend délicates les interprétations de la pédogénèse gypseuse et de ses rapports avec les pédogénèses de type calcimorphe, halomorphe ou même hydromorphe. Cette complexité est reflétée par l'éventail des théories proposées pour sa mise en place.

Au point où en sont les études de sols gypseux, au moins en Tunisie, un effort de réflexion est donc nécessaire pour entreprendre des recherches plus approfondies. L'expérimentation, in situ comme in vitro, est certainement une voie indispensable à ces recherches.

III^e Partie : LES PROBLEMES DE L'ANALYSE DES SOLS Gypseux

L'étude analytique des sols gypseux par les méthodes classiques couramment utilisées pour les autres types de sols se heurte à de nombreux obstacles qui font que les rapports et notices de cartes concernant ces sols sont généralement pauvres en données d'analyse. En effet, hormis les teneurs en calcaire et en gypse, voire le pH et les sels solubles, on ne trouve généralement pas d'autres indications comme la granulométrie, le complexe absorbant ou les valeurs de pF.

1. - GRANULOMETRIE

Dans les méthodes classiques (méthode internationale) le problème est généralement de se débarrasser de tous les éléments susceptibles de gêner la complète dispersion du matériau à analyser (matière organique, sels plus ou moins solubles). La destruction de la matière organique par traitement à l'eau oxygénée, celle du calcaire par l'acide chlorhydrique et le lavage des sels solubles jusqu'à disparition des ions chlorures sont relativement aisés.

S'il y a du gypse, c'est déjà plus délicat. Après le traitement dispersant, il faut extraire le gypse par un traitement à l'oxalate d'ammonium (COUTINET, 1963), qui donnerait de bons résultats jusqu'à des teneurs de 25 % en gypse. Au-delà, on pourrait utiliser une solution très chargée en chlorures dans laquelle le gypse est plus soluble (7 g/l contre 2 g/l dans l'eau pure à la température ordinaire), mais les auteurs estiment qu'au-delà de teneurs en gypse de 65 %, il est impossible d'obtenir une bonne suspension.

Mais on notera que dans les cas précédents, le gypse est traité comme une impureté et que l'on s'intéresse à la seule granulométrie du matériau siliceux ou argileux. Or, dès des teneurs de 25 %, il est difficile de négliger le gypse en tant qu'élément constitutif de la texture.

Deux procédures peuvent donc être utilisées suivant les objectifs fixés :

- soit réaliser une granulométrie du matériau total si l'on veut connaître la texture d'ensemble et apprécier les propriétés physiques qui y sont liées ; pour ce faire, on ne devra pas éliminer le gypse et seules alors pourront être employées des méthodes opérant à sec, comme le tamisage fractionné tel qu'il est pratiqué dans l'industrie du plâtre ;

- soit opérer l'élimination du gypse pour étudier la granulométrie des seuls éléments élastiques, aux fins de comparaison entre des horizons de teneur en gypse variées dont on veut étudier la filiation.

Dans ce dernier cas, il semble que des méthodes basées sur l'échange d'ions soient particulièrement adaptées (BOUINE & FERNALD, 1973).

II. - TENEUR EN EAU, pF

Le gypse est un composé relativement stable à la température ordinaire, mais il peut se déshydrater plus ou moins facilement à des températures nettement inférieures à celles qui sont communément employées pour la détermination de l'humidité des sols. En effet, au cours d'un séchage à l'étuve en capsules couvertes, à 105° (température conventionnelle) la totalité du gypse se transforme en sulfate de calcium anhydre. La mesure d'humidité se trouve ainsi surestimée (FOUJET, ES 63).

Il est donc nécessaire, soit d'apporter une correction à cette mesure en fonction de la teneur en gypse, soit d'employer des méthodes où seule l'humidité à liaison "mécanique" sera prise en compte.

Dans le premier cas, FOUJET a proposé de retrancher de la mesure à 105° un cinquième du taux de gypse dosé chimiquement. Mais ceci suppose que tout le sulfate de calcium présent dans l'échantillon est sous la forme de dihydrate $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sans semi-hydrate $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ni sulfate anhydre (anhydrite), sans quoi la mesure est encore erronée.

Dans le second cas, le même auteur propose de faire sécher l'échantillon dans une étuve à vide à température plus basse (30°), mais pendant un temps relativement long. Les spécialistes de l'industrie du plâtre pensent néanmoins que la tension de vapeur reste trop élevée, à moins de pouvoir évacuer des vides poussés, et lui préfèrent le séchage à 45 ou 50° , pendant 24 heures selon les uns (méthode américaine), 24 heures selon les autres (méthodes suisses et française), mais si dans ces cas le gypse se déshydrate peu, encore que les avis soient peu concordants sur ce point, il n'est pas certain que toute l'eau mécaniquement liée aux autres composants du sol (sables, argiles, matières organiques) soit extraite.

Notons que dans l'industrie du plâtre, on s'intéresse surtout à la composition chimique des échantillons et la mesure conventionnelle d'humidité qui est faite sert uniquement à la détermination des différents composants plus ou moins hydratés (gypse, semi-hydrate, plâtre anhydre à prise lente, anhydrite soluble, anhydrite naturelle).

Finalement c'est par la combinaison de la méthode classique (séchage à l'étuve à 105 °) et des méthodes des plâtriers (séchage à 50°, réhydratation en atmosphère humide ou à l'eau distillée) que l'on peut espérer atteindre une mesure correcte de l'humidité des échantillons gypseux (voir plus loin le dosage des formes du sulfate de calcium).

Une dernière méthode, basée sur l'absorption de l'eau par l'alcool isopropylique, et mesure de la variation de la conductivité électrique, semble intéressante mais n'a pas été suffisamment mise au point (LILEY et al, 1971).

Dans la mesure des pf, la présence de sulfates de calcium plus ou moins hydratés peut intervenir dans les deux phases d'hydratation et de séchage. En effet, s'il y a du semi-hydrate ou de l'anhydrite, une partie de l'eau de saturation sert à les transformer en gypse, mais d'un autre côté cela simplifie la correction à apporter si l'on connaît la teneur en sulfate de calcium total (voir plus loin). FORTET (ES 63) propose de retirer des valeurs mesurées un quart de la teneur en gypse total.

Dans l'étude des régimes et bilans hydriques, des procédés par différences entre les périodes les plus sèches et les plus humides semblent donner satisfaction, à condition de pouvoir contrôler la "tranche sèche" du sol (SCHROEDER et al, PP 89, PS 93).

III. - DOSAGE DU GYPSE ET DES AUTRES FORMES DU SULFATE DE CALCIUM

Cela se ramène dans les cas les plus simples au dosage des sulfates dans une solution d'extraction solubilisant toutes les formes de sulfates. Un simple calcul ramène à une teneur en gypse théorique.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'extraction, depuis la dilution dans l'eau pour les faibles teneurs (KOWALENSKO, 1972 ; KREUL, 1973) jusqu'à l'attaque par l'acide chlorhydrique (PIECH, 1952 ; ARTH, 1954) le carbonate d'ammonium ou le carbonate de sodium. Les ions sulfate sont ensuite déterminés par précipitation du sulfate de baryum.

D'autres méthodes sont basées soit sur l'extraction et la précipitation du gypse par l'acétone, suivie de la mesure de la conductivité du précipité redissout dans l'eau (POWER et al, 1948), soit sur la différence entre les

teneurs en calcium et magnésium dans l'extrait à saturation et l'extrait aqueux dilué (US Salinity Laboratory Staff, 1954) ou encore par les échangeurs d'ions (PIRCE, 1959)... Cette dernière méthode est rapide mais l'interférence des chlorures doit être étudiée.

Toutes ces méthodes dosent uniquement le sulfate de calcium SO_4Ca total, quelles que soient la forme et l'intensité de l'hydratation. Pour aller plus loin dans la connaissance des composés, il faut faire appel à deux types de procédés :

- soit l'identification directe, souvent plus qualitative que quantitative ;
- soit la mesure par différence, après différents traitements de séchage et de réhydratation.

Dans le premier cas figurent l'analyse aux rayons X, l'analyse thermique différentielle et l'analyse thermogravimétrique, cette dernière ayant une valeur quantitative plus nette. Mais elles ne sont pas facilement praticables dans un laboratoire de routine.

Dans le second cas, employé notamment dans l'industrie du plâtre (PIRCE, 1952), les différentes "espèces" peuvent être dosées, mais la méthode ayant été mise au point sur des minerais à très forte teneur, il est nécessaire de l'appliquer sur les sols avant de la développer dans des analyses courantes.

IV. - ETUDE DU COMPLEXE ASSURANT ET DU BILAN IONIQUE

A. Sels solubles

La salure globale et la composition ionique de la solution du sol et de la nappe phréatique jouent un rôle sur la dissolution ou la précipitation du gypse (POUCHY, 78 70). Inversement, la salinité mesurée sur des extraits aqueux après séchage est modifiée par la présence du gypse. Cela rend difficile l'étude du bilan ionique des sols gypseux (POUCHY, 246).

B. Complexes absorbant

1. Capacité d'échange

Dans les études les plus anciennes, à l'aide de la méthode

classique à l'acétate d'ammonium que l'on savait inadéquate en présence de gypse, on a employé une correction de la mesure de T :

$$T \text{ corrigé} = T + \frac{T}{10}$$

Une méthode a été mise au point, basée sur la saturation du complexe par le calcium à l'aide de chlorure de calcium et calcul de la différence entre le calcium et le chlore dosés dans l'extrait, à quoi il faut retrancher le calcium correspondant au sulfate résultant de la dissolution du gypse (COUTINET, 1965). Il est également proposé un dosage par saturation du complexe par le baryum et échange avec le magnésium. Une double titration est nécessaire car le calcium provenant de la dissolution du gypse doit être soustrait du magnésium déplacé (CARUSAN et al, 1975).

2. Bases échangeables

Comme pour les sols salés et calcaires, la méthode classique est basée sur une double percolation, par le chlorure d'ammonium et l'eau distillée pour K et Na, les ions échangeables étant obtenus par différence, par le chlorure de sodium normal sur l'échantillon saturé préalablement en gypse, pour le Ca et Mg (COUTINET, 1965).

3. Le problème de l'alcalinité

Dans les sols salés et gypseux de Tunisie, il est fréquent de trouver des valeurs très élevées du rapport Na/T , traduisant théoriquement une forte alcalinité; Très souvent les pédologues ont remarqué que les autres caractères du sol (morphologie, compacité, porosité, perméabilité), n'y correspondaient pas et ne l'ont pas prise en compte dans les sols contenant du gypse en quantité suffisante et donc susceptible d'alimenter le complexe en ions Ca^{+} .

POUCET (246) préconise d'utiliser de préférence le rapport d'absorption du sodium (SAR), mais dans l'ensemble, on considère que les sols dits "salés à alcalis" contenant du gypse ne posent pas de problèmes d'amendements et peuvent même être éventuellement irrigués par des eaux salées. (USDA, 1954 ; CRUEST, 1970).

CONCLUSIONS

L'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux est une condition nécessaire à l'approfondissement de la connaissance tant de leur pédogénèse et de leur évolution en conditions naturelles, que de leurs aptitudes culturales et de leur utilisation sous l'influence de divers types d'aménagements.

Elle nécessite la recherche de méthodes nouvelles plus adaptées et la sélection des critères les plus caractéristiques.

IVe Partie : UTILISATION ET APTITUDES DES SOLS GYPSEUX

Dans le cadre des études pédologiques réalisées en Tunisie, la plupart des cartes de sols ont été complétées de cartes d'aptitudes, soit aux cultures en sec, soit aux cultures irriguées. La légende de ces dernières a été mise au point une première fois en 1959 (RS 14), puis révisée en 1961 (RS 20) pour les deux types, et une dernière fois pour les seuls sols des oasis en 1966 (RS 59).

I. - PROBLÈMES D'UTILISATION DES SOLS, LIÉS AU GYPSE

Très rarement considéré comme un facteur favorable d'aptitude, le gypse présente au contraire des inconvénients variés suivant que l'on envisage une mise en valeur en sec ou en irrigué.

A. Pour les cultures en sec

C'est là qu'interviennent d'une part la teneur en gypse du matériau en fonction de sa texture, d'autre part la forme des accumulations et leur position dans le profil, enfin l'origine de ces accumulations, accumulation de type calcareo-salins en surface ou accumulation de nappe.

1. Teneur en gypse

Si le sol est gypseux jusqu'en surface, mais sans encroûtement trop proche, sa valeur est limitée pour les cultures annuelles (215) et conviendrait surtout à des céréales secondaires (414).

2. Profondeur des croûtes et encroûtements

Si l'encroûtement est très proche de la surface, mais reste friable, les sols peuvent convenir seulement au parcours (215, 257, 281, 294, 324, 400) et s'il s'agit d'un recouvrement peu épais (20 à 30 cm) sur un encroûtement, d'un sol de type peu évolué ou brun steppique (246, 25), 281, 294, 400, 412, 414), l'amélioration du pâturage peut être tentée, par exemple par des arbustes fourragers (400). Mais cette possibilité semblerait mieux convenir à des sols plus ou moins hydromorphes à croûte de nappe peu profonde (246, 400). Si le sol est salé sur un encroûtement de nappe peu profond, l'aptitude serait le parcours à chameau (400).

Si le recouvrement est plus épais et surtout non gypseux, les sols peuvent convenir soit aux cultures annuelles soit même à certaines cultures arborescentes. Mais alors le climat doit également intervenir pour le

classement. Par exemple une profondeur de 40 à 50 cm pourrait convenir pour l'olivier si la pluviométrie dépasse 180 mm (ES 81).

Les autres terrains gypseux, crêtes affleurantes, régosols et lithosols sur roches gypseuses, ne sont pas cultivables. Offrant des conditions favorables au ruissellement, ils peuvent, suivant les besoins, soit être aménagés en impluvium pour alimenter des zones basses, soit être mis en défens ou plantés en forêt de protection. La reconstitution du sol par des plantations d'Atriplex a été proposée dans le Nord (A12), de même que la mise en défens pour favoriser le développement du sparte (*Lygeum spartea*) s'il existe au moins un voile sableux au-dessus de l'encroûtement, dans le Centre-Sud (331).

B. Pour les cultures irriguées

Dans ce cas, plusieurs problèmes se posent, non seulement la teneur en gypse et la profondeur de l'encroûtement, mais également la profondeur et la salure de la nappe et la salure de l'eau d'irrigation disponible.

1. Teneur en gypse

De nombreuses plantes cultivées dans les oasis semblent bien tolérer le gypse : le palmier Deglet en Mour supporterait 40 à 60 % de gypse, les asperges jusqu'à 30 % mais sans encroûtement, la luzerne ou le henné un peu plus. La présence de gypse, combinée à une certaine salure peut favoriser la formation d'une croûte de battance (380), probablement dans les cas de sous-irrigation.

2. Profondeur et durée de l'encroûtement

Différentes classes d'aptitudes ont été choisies suivant les possibilités de décroûtage ou de traversée par les racines. La profondeur de 70 à 80 cm au-dessus de l'encroûtement de nappe marque grossièrement la limite entre l'aptitude aux cultures arbustives et l'aptitude aux cultures maraîchères annuelles ou fourragères.

3. Profondeur et salure de la nappe

L'irrigation peut provoquer, dans le milieu peu drainant des sols peu gypseux (240), la remontée de la nappe et la formation d'encroûtement soit à proximité de la zone racinaire, soit au-dessous de l'horizon de labour (300). Le drainage est donc souvent nécessaire, mais il faut également tenir compte de la composition ionique de la nappe et connaître ses variations saisonnières.

4. Qualité de l'eau d'irrigation

Avec une eau titrant 3 à 4 g/l des anas gypseux peuvent se former sous l'horizon de labour (301). Par ailleurs, avec une eau même non sulfatée, il existe des dangers de redistribution du gypse et de formation d'encroûtements dans les matériaux gypseux à l'origine, par exemple sur les dépôts soliens de l'Est au Chott Djerid (300).

L'aménagement des périmètres irrigués suppose donc, entre autre, la connaissance de la nappe (salure et mouvements) de l'eau disponible pour l'irrigation (salure, débits) et une surveillance régulière de ces données.

II. - QUELQUES EXEMPLES DE CLASSEMENT D'APTITUDE DES SOLS GYPSEUX

Dans le classement des sols par aptitude culturale, les auteurs ont pris en compte, à côté des propriétés des sols, les caractéristiques climatiques ainsi que géomorphologiques. Ceci explique que des sols de morphologie et de propriétés identiques aient été rangés dans des classes d'aptitude différentes suivant qu'ils se trouvaient dans des zones climatiques ou dans des positions topographiques différentes.

A. Aptitudes en sec

1. Aptitude aux cultures arborescentes

Le classement en F-2 (sols de bonne qualité) n'est mentionné, et surtout dans le Centre, que si l'accumulation gypseuse ne remonte pas au-dessus de 100 à 140 cm (215, 246, 253, 257) et si le sol sus-jacent est de texture grossière (sableuse à sablo-limoneuse).

En F-3, l'encroûtement peut remonter jusqu'à 90-100 (246, 253, 257, 281) ou doit être plus profond s'il est recouvert d'un limon à nodules (400, 414).

En F-4, sont classés des sols dans lesquels l'encroûtement apparaît dès 100 (257), 70-90 (246), ou même 40-60 (172, 200, 300, 324).

2. Aptitude aux cultures annuelles

En G-2, ont été classés certaines sols bruns steppiques tronqués sur argiles gypseuses apparaissant de 50 à 100 cm (253).

En C-3, on trouve de même des sols bruns atypiques sur encroûtement ou argiles gypseuses à partir de 50 cm (172, 215, 253, 257, 324).

En C-4, se groupent les sols comportant un encroûtement à moins de 50 cm de profondeur (172, 215, 246, 331). La classe C-5 a même parfois été utilisée pour les zones où les encroûtements affleurent par places (172).

3. Aptitudes aux pâturages et au parcours

En Pat ont été classés des sols plutôt riches en gypse sous forme diffuse ou en amas, et à encroûtement proche de la surface, 20-30 cm (246, 257, 281, 296, 400, 412, 414) s'il s'agit d'encroûtements de type calcosagindimorphe, 40-70 s'il s'agit de croûtes de nappes anciennes ou récentes, éventuellement salées (246, 400).

En Pc (sols de parcours) se retrouvent les sols très peu profonds et gypseux (215, 257, 294), même parfois des croûtes (324, 400).

Des études récentes ont montré qu'il ne faudrait pas considérer cette catégorie comme un fourre-tout, notamment dans le sud-tunisien, car les activités pastorales jouent un rôle énorme dans l'économie de ces pays, et la conservation de leur potentiel déjà très faible est un besoin prioritaire. (FLORET et al, 1975). On dispose malheureusement de peu de données sur l'aptabilité des principales espèces gypicales.

4. Mise en défense et protection

Les travaux² imposent dans les zones où l'érosion hydrique ou éolienne menace des zones aménagées, mais ils ne conduisent pas toujours à une amélioration dans le cas des pâturages et des parcours.

Des recherches sont en cours sur les espèces forestières les plus adaptées à ce milieu spécial (Parkinsonia, Eucalyptus).

5. Aptitudes en irrigué

Pour les sols des oasis du Sud-tunisien, certaines normes ont été mises au point (25 59). On met :

- En A-1, des sols peu évolués d'apport, de texture sableuse à sablo-limoneuse, contenant de 0 à 60 % de gypse dans les oasis continentales, ou de 0 à 30 % dans les oasis littorales.

- En A-2 (F), les sols hydromorphes dans lesquels l'encroûtement peut atteindre 80 cm ;

- En A-2 (H) les mêmes sols avec un encroûtement dès 60 cm ;
- En H-1, si l'encroûtement apparaît entre 40 et 60 si le sol est peu salé, ou entre 60 et 80 s'il est salé ;
- En H-2, si l'encroûtement est plus proche (30-60cm) ;
- En non-irrigable les sols dont l'épaisseur au-dessus de l'encroûtement est inférieure à 30 cm, sauf si celui-ci est peu épais et peut être partiellement ou complètement enlevé (431).

Pour l'ensemble des sols irrigables, on peut constater les classements suivants :

- En A-1, des sols d'une profondeur au moins égale à 120 cm au-dessus de l'encroûtement (246) ;
- En A-2(8), des sols hydromorphes à croûte de nappe à au moins 80 cm et nappe à plus de 1 mètre 50 (274, 300, 357) ;
- En A-2 (H), des sols à encroûtement moins profond (60-80) et nappe à au moins 1 mètre (274, 300, 357) ;
- En B-2, des sols alluviaux sur encroûtement profond (257) ;
- En B-3, des sols à encroûtement peu profond (246, 257) ;
- En C-2, des sols alluviaux sur encroûtement profond (257) ;
- En C-4, des sols bruns steppiques tronqués sur encroûtement (257) ;
- En H-1, des sols alluviaux sur encroûtement gypseux à plus de 80 cm (320) ou calcero-gypseux de 40-80 cm (246), avec une nappe entre 50 et 100 cm (274) ;
- En H-2, des sols à croûte entre 30 et 60 cm (357) ou même plus superficielle si le décroûtage est possible (259) ;
- En H-2-B-3, de nombreux sols d'origine gypseux sur encroûtement à 50 cm (246) ;
- En H-3, des encroûtements de nappe peu profonds.

Le classement PE (Fourrages d'hiver) a été employé à Djerba pour des sols sabieux épais de 30 à 50 cm comportant un horizon profond enrichi en gypse mais non encroûté (320).

Ont par ailleurs été généralement classés comme non irrigables, tous les sols à croûte ou encroûtement de surface de type calcemagnésien, les régosols et l'horosols sur roches gypseuses, les sols salés à alcali à croûte de nappe proche de la surface.

III. - LES RESULTATS DES ESSAIS D'IRRIGATION SUR SOLS Gypseux

A. Sols continentaux : Parcelle d'essai du CHUESI à Tazaout

Dans le cadre de ses études sur l'utilisation de l'eau salée pour l'irrigation, le CHUESI a effectué des essais sur une parcelle de l'oasis de Tazaout. Ces essais concernant surtout le dessalage ont été réalisés avec des doses d'irrigation importantes, et l'on n'y a pas étudié l'effet d'une sous-irrigation sur les remontées du gypse et la formation éventuelle d'un encroûtement.

Si les sels plus solubles sont entraînés préférentiellement, comme le chlorure de sodium, le gypse est lui aussi solubilisé, sans grandes variations semble-t-il au cours du dessalage, et la conductivité de l'extrait saturé du sol ne descend pas au-dessous de 5 à 6 millimhos, ce qui serait une limite inférieure en présence d'un sol riche en gypse et d'une eau titrant 2 g/l de sels (CHUESI, 1970). La SAR de l'extrait saturé, donc probablement le taux d'alcalinisation, s'abaisse rapidement même au-dessous de celui de l'eau d'irrigation (expérience de lessivage en bac).

On ne dispose malheureusement pas de données sur l'évolution de la teneur en gypse du sol, qui se situait à l'origine entre 54 et 66 %.

B. Oasis littorales : Parcelles d'essai d'Aïn Zerig et de Bou Chenna

A Aïn Zerig (EE 67), le sol est de richesse moyenne en gypse, mais légèrement encroûté en surface. Ce caractère ne semble pas avoir gêné les cultures testées (coton, luzerne, maïs, tomates). La salure a par ailleurs subi de fortes variations dues à la pluviométrie et à l'espacement des irrigations.

Les essais effectués à Bou Chenna de 1960 à 1970 (EL AHAMM et al, 1967-75 67) concernaient un sol formé de deux principaux horizons : un horizon supérieur sablo-gypseux friable (20 à 25 % de gypse), épais de 10 à 130 cm, reposant sur un horizon d'encroûtement gypseux plus compact et peu perméable (35 à 50 % de gypse).

De même qu'à Tazaout la salure n'a pu être abaissée au-dessous d'une conductivité de 5 à 6 millimhos, en raison de la solubilisation du gypse. L'eau d'irrigation titrait 3,3 g/l de sels.

Indépendamment de l'action des doses d'irrigation et des fumures, ces essais ont montré que l'existence d'un encroûtement de nappe en profondeur pouvait, ou non, être un facteur favorable à la culture. Ainsi la luzerne et le blé mexicain semblent avoir bénéficié d'un effet de rétention de l'eau quand l'encroûtement était voisin de 70-90 cm, tandis que l'asperge ne s'est bien développée que dans les zones où l'encroûtement était nettement plus profond.

Par ailleurs, tomates et melons ne semblent pas être des cultures envisageables dans ce type d'oasis, mais pour des raisons indépendantes de la présence de gypse.

CONCLUSIONS

Ce rapide tour d'horizon des aptitudes des sols gypseux nous conduit à insister sur deux ordres de faits.

Si dans l'ensemble les sols gypseux sensu-stricto sont peu fertiles, et cela est notamment vrai pour les sols à croûte et encroûtements de surface, il existe pour d'autres de réelles possibilités, en particulier sous irrigation, moyennant de sérieuses précautions (figure 12).

Par contre de nombreux sols qui ne sont pas gypseux dans la zone de prospection habituelle des racines pourraient le devenir si leur utilisation ne tient pas compte des sources de gypse internes (encroûtement ou matériau gypseux en profondeur) ou externes (nappe ou eau d'irrigation chargée en sulfates).

En effet, la céréaliculture ou le surpâturage abusif sur des sols légers recouvrant des encroûtements gypseux peut entraîner leur décapage par érosion éolienne ou hydrique. De même l'irrigation mal conduite peut provoquer, si elle est insuffisante une remontée de la salure globale et de gypse vers la surface, et si elle est trop abondante et sans drainage adéquat, mener l'enrichissement en gypse à partir d'une croûte de nappe, soit par stagnation d'une nappe plus ou moins chargée en sulfates provenant de l'eau d'irrigation. Les observations manquent néanmoins pour apprécier l'importance de ces dangers.

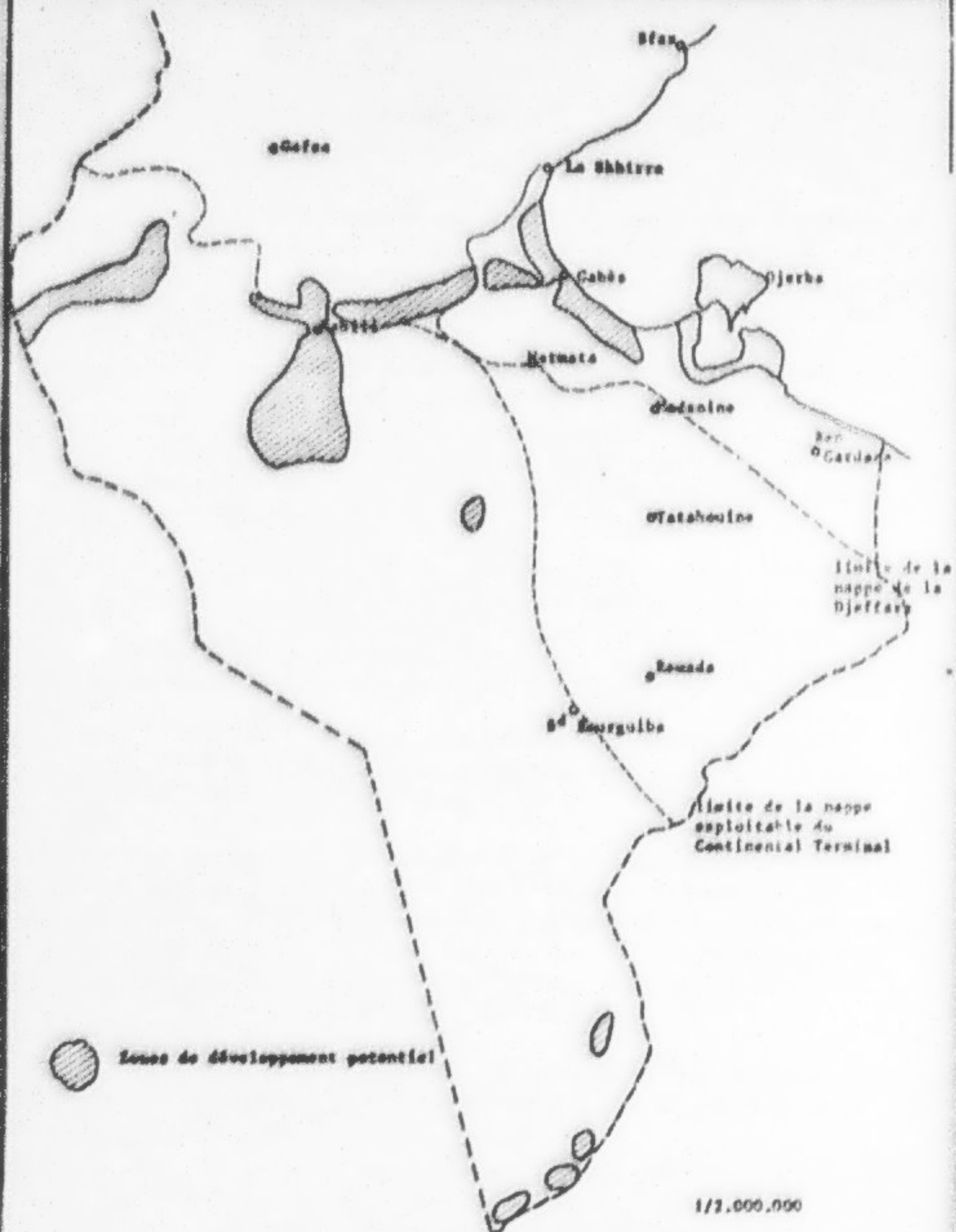


Figure 12 - Localisation des zones de développement potentiel des périmètres irrigués à partir des ressources profondes.

(d'après ERESS 1972)

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le territoire tunisien comporte de vastes superficies de sols gypseux, dont les plus remarquables sont constituées de sols calcomagnésimorphes à croûte ou encroûtement gypseux de surface, qui recouvrent en abondance les glacis du Centre-Sud et surtout du Sud Tunisien. À côté et souvent mélangés à eux s'étendent soit des sols de type ischémique diversement évolués, non ou peu gypseux sur une certaine épaisseur mais présentant des encroûtements plus ou moins développés en profondeur, soit des sols hydromorphes ou halomorphes enrichis en gypse, cet enrichissement pouvant aller jusqu'à la formation d'encroûtements de nappes plus ou moins profondes. Au total près de deux millions et demi d'hectares pourraient être concernés par ce type de pédogénèse.

La répartition des uns et des autres est liée d'une part à la nature des substrats sur lesquels ils se sont développés (les roches et sédiments gypseux étant fort répandus dans la lithologie tunisienne), et à celle des nappes phréatiques qui peuvent les affecter, d'autre part à la morphologie ancienne ou récente qui commande leur répartition dans le paysage.

La végétation qui leur est associée permet souvent d'en déceler l'existence et peut constituer un guide pour leur reconnaissance et leur répartition géographique à petite et moyenne échelle.

Du point de vue pédologique, bien que ces sols présentant des caractéristiques comparables à celles des sols qui ont été groupés avec eux dans les niveaux supérieurs de la classification (sols calco-magnésimorphes, sols hydromorphes, sols halomorphes), ce sont des sols très originaux dont les propriétés ne sont pas toujours faciles à apprécier et à mesurer, car ils requièrent des techniques spéciales d'analyse.

Par ailleurs, il est difficile de fixer dès à présent des limites précises de teneur en gypse pour les ranger dans telle ou telle catégorie de la classification.

Ensemble

Leur utilisation pose par ailleurs un certain nombre de problèmes, tant en cultures sèches qu'en cultures irriguées, mais l'importance de leur surface, notamment dans le Sud tunisien, nécessite que des efforts soient faits pour préserver leurs potentialités et les améliorer, le cas échéant.

BIBLIOGRAPHIE

A. - REFERENCES GENERALES

Ces références ont été volontairement limitées aux publications intéressant exclusivement le territoire tunisien, à l'exception de quelques articles portant sur l'analyse ou les classifications des sols.

- AMMIE S., BALDY Ch., POUJET H., 1967. Rénovation d'une ancienne palmeraie littorale.
- ASTM, 1954. Standard Methods of Testing Gypsum and Gypsum Products.
- AUBERT G., 1960. La classification pédologique française. Pédologie (Gand)
- BODINE M.V., FERNALDO T.H., 1973. EDTA Dissolution of gypsum, anhydrite and Ca-Mg carbonates. J1 of Sed. Petrol. Vol 43, 4, pp. 1152-1156.
- DOMESTIQUE M., 1970. Recherches écologiques et physiologiques sur les plantes gypsicoles de Tunisie. Thèse Montpellier.
- BOYER C.A., HUSE R.B., 1948. Rapid Conductometric method for estimating gypsum in soils. Soil Sc. 66, pp. 199-204.
- BULLETIN DE LA DIVISION DES SOLS. DRES. Tunis. N° 5.
- BUSCON G. (1967). 1. mésorologie saharienne. 1ère partie : Extrême Sud tunisien. CIREC.
- BUREAU P., ROEDTER P., 1961. Contribution à l'étude des sols gypseux du Sud tunisien : croûtes et encroûtements gypseux de la partie Sud du golfe de Gabès. Bulletin de l'A.F.E.S., pp. 150-176.
- CABRINI G., 1953. Notice explicative : carte géologique de la Tunisie. 1/100.000 2e éd.
- COHEN R., 1962. La Tunisie présaharienne. Thèse. Armand Colin.
- COUTINET S., 1965. Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calciques et gypseux. Agron. Trop. 12, pp. 1242-1253.
- CPCS, 1967. Classification des sols.
- CRUESI, 1970. Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées. Unesco, Paris.
- DIMARCHE P., 1971. Carte des roches-mères des sols. FAO 1/1.000.000
- E.R.E.S.S. (Etude des Ressources en Eaux du Sahara Septentrional). 1972. Rapport final. Annexes.
- FLORES Ch., LE MOUËZ H., FONTANIER R., ROUANE P., 1975. Elaboration d'un modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement des parcours des régions arides. Réunion Sfax-Gabès.

- GARMAN H., HESSE P.R., 1975. Cation exchange capacity of gypsic soils. Plant and soil, 42, pp. 477-480
- KOVALENKO T.A., 1972. Determination of gypsum in soils. Sov. Soil Sc. 5, pp. 373-376.
- LE BOUEROU H.N., 1959. Recherches phytosociologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. IRS, Alger.
- LE BOUEROU H.N., 1967. Etude des sols du sud tunisien. Ann. Agron. 11, 3, pp. 241-310
- LE BOUEROU H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Ann. INRA 42, 5
- LELEY V.K., SAMARKAN H.J., RADWAL L.R., 1971. An electrometric method for the determination of soil moisture. Analyst, 96, pp. 460-462
- PERTRUISOT J.P., 1975. La Sabkha El Melah de Larzis. Trav. Lab. Géol. ENS. Paris.
- PIECE G., 1952. Méthode de dosage des principaux constituants des plâtres de construction. Schweizer Archiv. For. 1952, pp. 62-64.
- PIECE R., 1959. Méthode de dosage de Ca SO_4 dans les gypse et plâtres par les échangeurs d'ions. Rev. Mat. Const., 324.
- PLET-LAJOUX C., MONSTER G., FETRO G., 1971. Etude expérimentale sur la genèse et la mise en place des encroûtements gypseux. C.R. Acad. Sc. Paris., 272, pp. 3017-3020.
- POUET M., 1968. Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le Sud tunisien. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol.
- STEFFAN S., 1972. Profilstudien an tunesischen Böden : Mikromorphologie Fortschr. Geol. Rheinland u. Westf. 21, pp. 83-100
- TRICHET J., 1963. Description d'une forme d'accumulation du gypse par voie éolienne dans le Sud tunisien. Bull. Soc. Géol. Fr., pp. 617-628
- USDA Lab. Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.
- YOZUL G.N., 1973. Determination of gypsum in soils and soil materials. Sov. Soil Sc. 11, pp. 738-740.

B. - ETUDES DU SERVICE PEDOLOGIQUE DE TUNISIE1. Etudes et cartes de carte

- N° 144 FOURNET A., 1952. Périmètre de Gafsa-Lalla 1/25.000
- N° 146 LAMBLE P., 1956. Etude pédologique de la plaine du Segui 1/100.000
- N° 156 BAHITA, 1959. Aménagement de l'Oued Gabès. 1/50.000
- N° 160 SAMLA M., 1969. Oasis d'El Hammam-Bachine. 1/25.000
- N° 172 FOURNET A., 1960. Périmètre de Benchar Bouc (Béhrat en Nouail) 1/25.000
- N° 177 GARNIER L., 1960. Etude pédologique de la plaine de Mahanassy. 1/25.000
- N° 186 FOURNET M., 1961. Etude pédologique du périmètre de Bir Chenchaou Djebel Dize. 1/25.000
- N° 192 SAMLA M., 1961. Périmètre de l'Oued Querichera. 1/50.000
- N° 200 SAMLA M., 1962. Périmètre de Elaf Hadj Gacem. 1/50.000
- N° 215 FOURNET A., 1962. Périmètre de Ksar Rheria. 1/50.000
- N° 216 FOURNET P., 1963. Etude pédologique de la zone Harath-Adje 1/100.000
- N° 229 BUREAU P. MONTIGNY G., 1962. Sols du bassin versant de l'Oued Gabès. 1/50.000
- N° 240 GIMONCHON P., 1964. Etude pédologique de l'Oasis de Nefta. 1/10.000
- N° 246 FOURNET M., 1965. Etude pédologique de Gabès Nord. 1/100.000
- N° 253 LE FLOCH J., 1965. Etude pédologique du périmètre des Boussais 1/50.000
- N° 257 FOURNET M., 1964. Etude pédologique de Sidi Mehmedeb Sud 1/100.000
- N° 274 FOURNET M., 1964. Etude pédologique des oasis de Gabès. 1/50.000
- N° 281 CRABOVEL A., 1963. Etude pédologique du périmètre de l'Office de Sidi Bou Zid 1/50.000
- N° 289 EL FERRI., 1965. Etude pédologique des oasis continentales de Djerid 1/50.000
- N° 294 FOURNET J., 1964. Etude pédologique de l'Office des Boussais 1/50.000
- N° 296 LE FLOCH J., 1964. Zone focale II : Kadjeb El Aïoun. 1/50.000
- N° 299 FOURNET M., 1964. Etude pédologique de l'Oasis de Fria. 1/5.000
- N° 300 FOURNET M., 1966. Etude pédologique des oasis de la presqu'île de Kebili du groupe Hameur. 1/5.000

- N° 307 FOURNET H., 1966. Utilisation de la nappe du Continental Intercalaire El Hamma. 1/100.000
- N° 308 1966. Reconnaissance de la zone Medenine-Zarzis in Gardane 1/200.000
- N° 320 FOURNET H., EL COCCHI A., 1967. Etude pédologique de l'île de Djerba, 1/50.000
- N° 324 GADGAS P., 1967. Zone oasienne Gafsa-Maknassy. 1/50.000
- N° 331 MORI A. 1967. Etude pédologique de Sidi Mehmed Nord 1/50.000
- N° 346 BELHOCHEA F., 1968. Etude pédologique de Gafsa Sud-Ouest 1/7.500
- N° 352 FOURNET A., 1968. URH De Ragusa. 1/50.000
- N° 357 FONTANIER R., 1968. Etude pédologique de l'oasis de Maroth 1/7.000
- N° 363 FONTANIER R., 1968. Etude pédologique du périmètre du Hafsous 1/100.000
- N° 364 MORI A., 1968. Etude pédologique du biad Sidi Mehmed, 1/100.000
- N° 370 BENSALEH A., 1968. Etude pédologique des oasis du groupe de Doua. 1/10.000
- N° 380 FONTANIER R., 1969. Etude pédologique des oasis d'Ain Zerig 1/4.000
- N° 400 LUYER J.Y., 1969-1973. Etude pédologique de Bir Ali Ben Khalifa 1/50.000
- N° 412 LUYER J.Y., 1971. Etude pédologique de Guarn Halfaya 1/100.000
- N° 414 FONTANIER R. 1972. Etude pédologique du périmètre de Ragusa Sud. 1/50.000
- N° 431 FONTANIER R., 1970. Périmètre de Razoua. 1/12.500
- N° 460 FONTANIER R., 1970-1971. Carte pédologique de El Hamma Nord. 1/100.000

2. Etudes spéciales

- ES 14 BUREAU P., 1959. Note sur les cartes de vocation des sols.
- ES 20 Légende des cartes de vocation des sols. 1961. (cf infra)
- ES 33 BUREAU P., BORDERER P., 1960. Contribution à l'étude des sols...
- ES 42 BORDERER P., SOURDAT H., 1962. Classification des sols gypseux.
- ES 59 COINTEPAS U.P., EL PEKIN H., FOURNET H., 1966. Légende des cartes d'oasis de Sud Tunisien

- ES 53 FLORET H., 1966. Mesures d'humidité sur les échantillons de sols
gypseux
- ES 67 COINTERAS J.P., 1966. Résultats d'une étude de l'évolution de la
salure du sol dans le Sud tunisien
- ES 70 FLORET H., 1967. Contribution à l'étude des croûtes et encroûte-
ments gypseux de nappe dans le Sud tunisien
- ES 81 BELKHEDJA K., 1972. Les critères de choix des sols à planter en
oliviers en Tunisie.
- ES 87 AMANI S., BEN SALAH A., FONTANIER R., 1973. Rénovation d'une
palmeraie littorale ancienne.
- ES 89 MARGES J., FLORET C., FONTANIER R., 1974. Etude d'une toposéquence
type du Sud tunisien.
- ES 93 MARGES J., FLORET C., FONTANIER R., 1975. Etude d'une toposéquence
type du Sud tunisien.

3. Légende des cartes pédologiques

Légende des cartes pédologiques utilisée en Tunisie, 1960-1970.



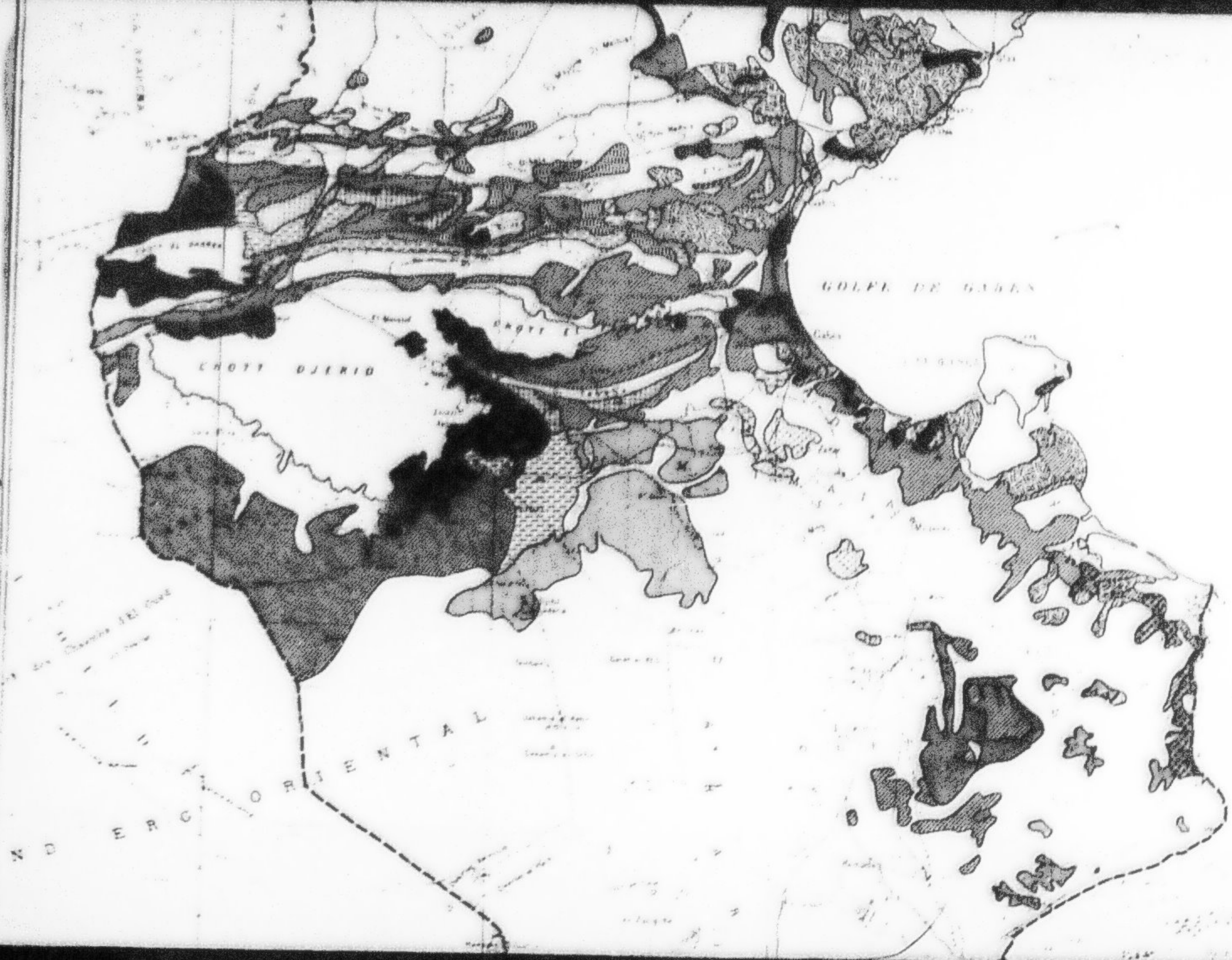




FIGURE 1

- I. Solonchaks des bords maritimes
- IIa. Solonchaks des bords maritimes d'origine
- IIb. Solonchaks d'origine marine
- III. Solonchaks d'origine marine
- IIIa. Solonchaks d'origine marine
- IIIb. Solonchaks d'origine marine
- IIIc. Solonchaks d'origine marine
- IIId. Solonchaks d'origine marine
- IV. Solonchaks d'origine marine
- IVa. Solonchaks d'origine marine
- V. Solonchaks d'origine marine
- Va. Solonchaks d'origine marine
- VI. Solonchaks d'origine marine
- VII. Solonchaks d'origine marine

REPARTITION GÉNÉRALE DES SOLS DE LA RÉGION DU PACIFIQUE NORD

FIN

... **92** ...

VUES