

ORSTOM. Réunion annuelle des pédologues. 1968. Bondy.

ETUDE TYPOLOGIQUE DES SOLS SALES

DE TUNISIE

- 1968 -

*
*
*

par

J-P COINTEPAS et A. MORI

19 1968 1970

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

Collection de Référence

n° 138 57

I - INTRODUCTION

Les sols salés couvrent en Tunisie d'importantes surfaces. L'examen de la carte au 1/1.000.000^e montre qu'ils sont présents dans toutes les régions de ce pays mais que leur extension varie d'un point à un autre. On note cependant que leur importance va croissante, du Nord vers le Sud, où un certain nombre de facteurs naturels favorisent leur développement comme l'indique l'étude du milieu naturel.

A - MILIEU NATUREL

1^o) Climat

La Tunisie, par suite de l'allongement de son territoire sur près de 1.000 km entre 30° et 37° de latitude, bénéficie d'une large gamme de climats depuis le climat méditerranéen humide jusqu'au climat saharien (GOUNOT et LE HOUEROU 1958). La pluviométrie moyenne s'étage entre 1.600 mm (Aïn Drahem) et 70 mm (Remada). Les pluies tombent en automne et à la fin de l'hiver. Le caractère orageux des précipitations s'accroît du Nord au Sud. L'été est caractérisé par une saison sèche qui dure 3 à 4 mois dans le Nord mais peut s'étendre sur 5 ou 6 mois dans le Sud.

Les températures moyennes oscillent entre 15° et 20,5° C. Les écarts extrêmes atteints sont -5° et + 49° C. Il en résulte de fortes températures au sol (70° en été dans le Sud) qui influent sensiblement sur les mouvements des solutions du sol.

Il est difficile de cerner isolément l'influence d'un facteur aussi complexe que le climat sur la formation des sols salés. Il agit sur la morphogénèse générale, (sur le modelé du paysage), sur le drainage (par le régime des pluies) et aussi sur le développement et l'intensité de l'évaporation. Salure et composition chimiques des nappes sont également le

résultat de l'action du climat. Si la présence des sols salés n'est pas uniquement liée au climat, leur extension croissante du Nord au Sud de la Tunisie peut cependant être attribuée pour une part à l'accroissement de l'aridité.

2°) Le matériau originel

La Tunisie est le domaine des roches sédimentaires. Parmi elles, un certain nombre de roches, riches en chlorures et en gypse, constituent un inépuisable réservoir de sels solubles.

Citons :

- les argiles salifères du Trias,
- les argiles du Weald,
- les argiles et marnes danubiennes,
- les argiles et marnes de l'éocène moyen,
- les argiles et marnes du miocène.

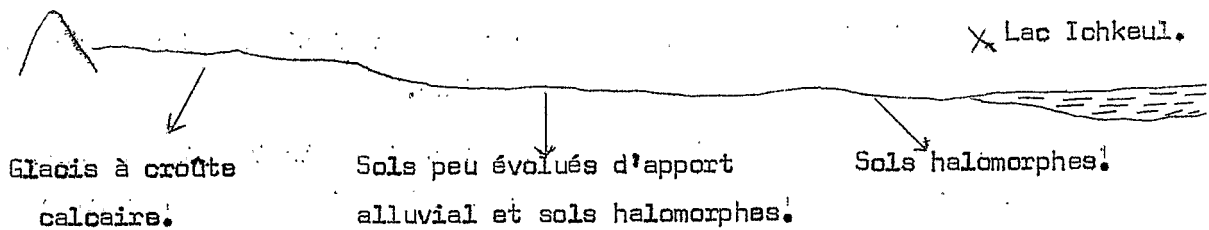
Les argiles des dépôts éoliens de Sebchas constituent également un cas particulier, néanmoins assez répandu, de matériau originel salé.

A tout affleurement de ces différentes roches on peut presque toujours associer une zone de sols salés dans les plaines voisines.

3°) Le modelé du paysage

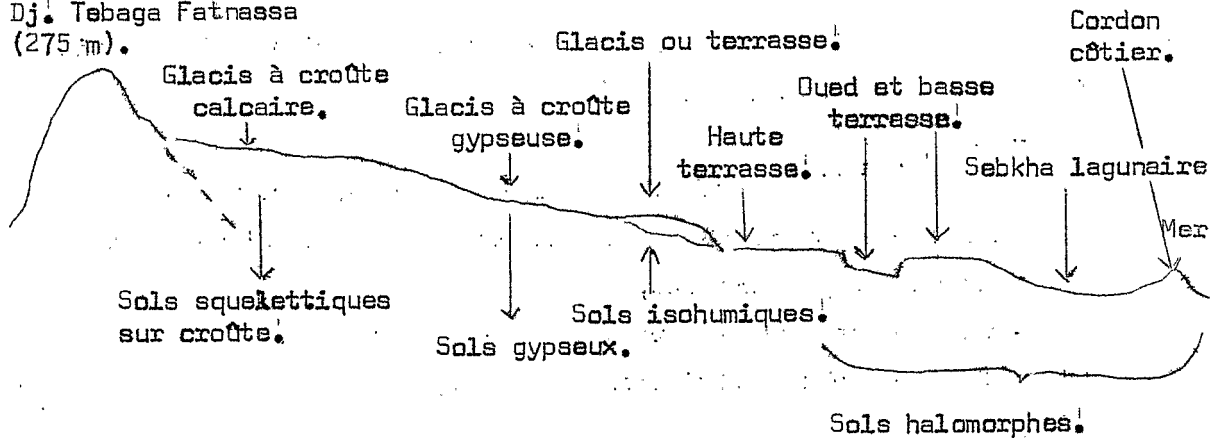
Trois coupes transversales dans les régions où ont été décrits les profils types de sols salés de ce rapport nous permettront de replacer ceux-ci dans le paysage qui présente, somme toute, une succession assez constante, dans ses éléments.

Région de Mateur.



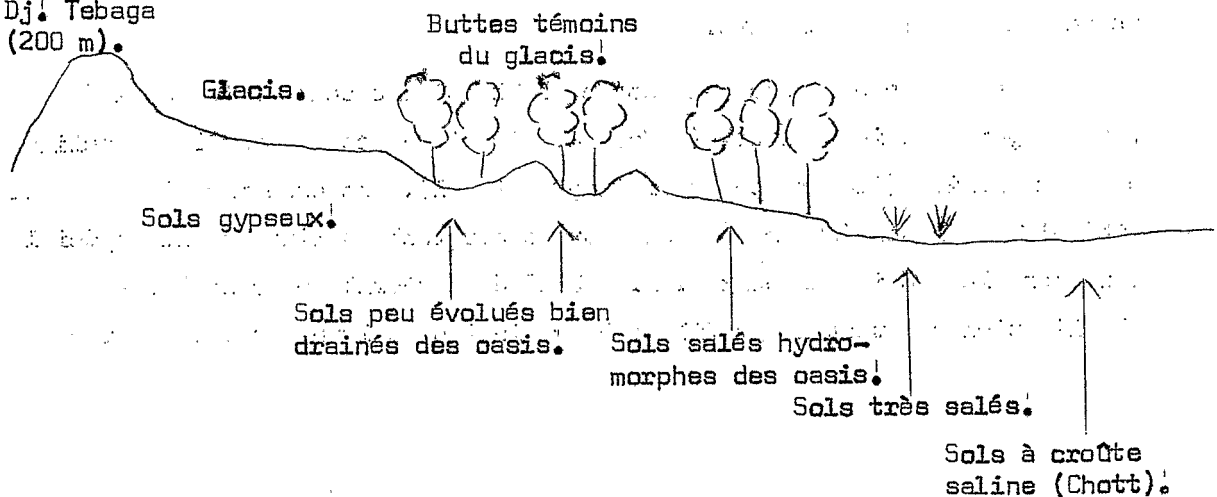
Région de Gabès.

Dj. Tebaga Fatnassa (275 m).



Région du Djérid. (Système endoréique)

Dj. Tebaga (200 m).



Les phénomènes de salure s'inscrivent donc dans un contexte morphologique assez constant sauf peut être sur la bordure du Djérid. Le schéma en est le suivant :

- A un "Djébel" d'importance variable s'adosse un glacis fossilisé par une croûte calcaire très importante et très dure.
- dans ce glacis, s'en emboîte un second, à croûte calcaire plus tendre. Dans le Sud, il est constitué par la surface de dégagement du premier glacis. Il est recouvert par une croûte gypseuse qui enveloppe aussi les surfaces de raccordement de ces deux glacis.
- une basse terrasse longe les oueds, qui selon les cas se déversent soit dans une dépression fermée ou Sebka (endoréisme), soit dans une lagune ou Sebka côtière à peine exondée.

Toutes les études cartographiques mettent en évidence la position quasi générale des sols salés :

- sur les terrasses,
- dans le lit des oueds tout au moins dans leurs cours moyens et inférieurs où on relève fréquemment la présence d'une nappe phréatique peu profonde,
- dans les sebkhas ou garaas du réseau endoréique,
- dans les sebkhas côtières.

Par contre la salure est presque toujours absente dans les sols sur croûte calcaire ou gypseuse, dans les sols isohumiques ou calcimorphes bien drainés, dans les sols peu évolués d'apport alluviaux et colluviaux situés en haut des bassins versants.

La salure est donc dans son ensemble située dans les zones liées au réseau hydrographique actuel (ou subactuel) où par conséquent le pédoclimat est plus humide (importance du drainage naturel). Une exception à ce principe général est présentée par les sols formés sur roche saline et plus spécialement sur bourrelet éolien de Sebka. K. BELKHODJA a décrit des sols à forte alcalisation sur tout le profil et à gradient de salure augmentant avec la

profondeur sur des bourrelets argileux de la région de Sidi El-Hani (Sahel de Soussé). Nous avons retrouvé des sols analogues mais sur bourrelets sableux dans la Sebka de Ben Gardane.

4°) Végétation

La diversité des climats entraîne pour la Tunisie une diversité du couvert végétal. Du Nord bien arrosé où la végétation initiale de type forestier (Chêne-Liège, Chêne-Zéen, Pin d'Alep) a considérablement reculé devant la culture, on passe au Centre, à une steppe à chaméphytes issue de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima*), Sparte (*Lygeum Spartum*) et *Rhantherium Suaveolens* également dégradée par la culture et le surpâturage et au Sud une autre steppe à chaméphytes (*Calligonum*,...), beaucoup plus ouverte que la précédente (LE HOUEROU, 1959).

Sur les sols salés se développe une végétation caractéristique, étroitement liée à ce milieu édaphique (G. NOVIKOFF, 1963).

B - DEFINITION

Les sols salés constituent une unité de sol facile à délimiter grâce à un ensemble de caractères physionomiques facilement observables : position dans le paysage, environnement lithologique, végétation particulière ; ou intrinsèques : présence d'efflorescences ou d'une croûte saline... Il est d'usage de définir les sols salés par leurs caractéristiques chimiques. A la limite en effet beaucoup de plantes réagissent à des taux de sels solubles suffisamment faibles pour qu'ils n'influencent pas sur les caractères morphologiques du profil de sol. En Tunisie, reprenant et adaptant la définition formulée par "U.S. department of Agriculture" (Hand Book n° 60), nous avons considéré comme sols salés, ceux dont la conductivité de l'extrait de pâte saturée dépasse 4 m-mhos/cm de 0 à 60 cm et 8 à 10 m-mhos/cm en profondeur et nous avons

regroupé ces sols dans la classe des sols halomorphes de la classification française. Les salures de profondeur ou les salures accidentelles d'un horizon ont été considérées comme des caractères secondaires qui ne conduisent pas à classer les sols comme sols halomorphes. Etudiant la répartition des sols salés et l'importance du phénomène de la salure nous avons pu constater au point de vue chimique deux types de répartition des sels solubles. Aux salures faibles et moyennes, le gradient de salure augmente avec la profondeur. Lorsque le phénomène s'accroît le profil de salure s'inverse et les conductivités décroissent de la surface vers la profondeur.

Notre étude sera donc divisée en deux parties :

- les sols salés à dynamique des sels dirigée vers le bas du profil,
- les sols salés à dynamique des sels dirigée vers le haut du profil.

I. - LES SOLS SALES (*) A DYNAMIQUE DES SELS DIRIGEE VERS LA BASE DU PROFIL

1°) Description des profils typiques

1.1.- Sols fortement ou moyennement salés sans différenciation du profil.

1.1.1.- Nord de la Tunisie.

Sol salé à alcalis sur alluvion fluviatile.

Profil n° 253 de la carte de l'Ariana 1/50.000° (Basse vallée de la Medjerdah) - (Etude pédologique 1/20.000° - MORI 1963-64).

Climat : P = 350 mm - T = 18°2 - Saison sèche = 6 mois (**).

Dépression salée située entre 2 bras de l'Oued Medjerdah. Plaquettes argileuses en surface.

- 0 - 8 cm Argilo-limoneux, faiblement humide, structure cubique à sous-structure litée. Pseudogley radiculaire. Nombreuses racines.
- 8 - 20 cm Argilo-limoneux, couleur olive, très faiblement humide, structure à éléments colonnaires de 5 cm ; compact ; très nombreuses racines.
- 20 - 40 cm Argileux, couleur olive, très faiblement humide, structure à éléments continus, faiblement plastique et compact. Racines rares.

(*) Dans tout ce chapitre, la désignation "Sols salés" se rapportera à des sols salés à dynamique des sels dirigée vers la base du profil.

(**) D'après "Climats de Tunisie" par P. ROEDERER et P. BUREAU.

40 - 80 cm Argilo-limoneux, couleur jaune olive, humide, structure à éléments continus, plastique et cohérent. On note une tendance à la structure prismatique avec faces de glissement, très nombreux amas salins blancs ; hydromorphie à pseudogley à taches diffuses.

80 - 130 cm Sablo-argileux, gorgé d'eau, présence d'une hydromorphie nette sous forme de nombreuses taches rougeâtres et grisâtres.

130 cm —> Plan d'eau.

Résultats d'analyses

Granulométrie, calcaire et gypse (%)

Profond.	A	L	STF	SF	SG	CO ₃ Ca %	Gypse %
0- 8 cm	9	43	22,5	13	7,5	24,1	1,0
8- 20 cm	38	29	12,5	12,5	5,0	28,7	1,0
20- 40 cm	52	29	12	2,5	1,0	26,2	1,0
40- 80 cm	45	38	12	3,0	tr	30,8	5,0
80-130 cm	47	40	10	2,5	tr	29,1	1,0

Sels solubles et complexe absorbant

Profond.	Sat.	Cord.	Sels solubles mé/1							Complexe absorbant mé %					
			Cl	CO ₃ H	SO ₄ (1) cal.	Ca	Mg	Na	Na Ca+Mg	Ca	Mg	K	Na	T	Na/T
0- 8 cm	59,2	18,5	180	1,8	-	34	39	103,5	1,4	8	8,8	1,4	5,2	23,4	22,2
8- 20 cm	52,8	21,5	210	1,4	-	35	40	123,5	1,6	14,8	2,4	1,4	7	25,6	27,3
20- 40 cm	54,8	33,0	345	1,3	5	45	71	235	2						
40- 80 cm	53,6	53,0	590	1,0	34	87	136	400	1,7						
80-130 cm	61,2	60,0	695	0,8	-	76	168	-							

(1) Faute d'une méthode appropriée le SO₄²⁻ soluble n'a pas été dosé, les valeurs indiquées dans ce rapport ont été calculées par différence entre teneur en cations et teneur en anions dosés.

1.1.2.- Centre de la Tunisie : Plaine de Kairouan.

Profil n° EA-12 (Etude pédologique de l'U.R.D. de Sbikha - 1/50.000° - 1967).

Sol salé sur alluvion fluviatile.

Le profil est situé à l'extrémité Nord de la plaine de Kairouan, dans la dépression alluviale située au débouché dans la plaine de l'Oued Nébana.

La limite Ouest de cette dépression coïncide avec les derniers affleurements de l'oligocène ; à l'Est, des sols fortement salés à horizon superficiel poudreux prédominent notamment en bordure de la Sebkhia Kelbia.

Climat : P = 286 mm - T = 18°5 - Saison sèche = 8 mois (station de Kairouan).

Topographie plane = pente nulle.

Végétation : petites buttes de 5 à 7 cm de hauteur - Halocnémum peu abondant.

Surface du sol : Squames polygonales de 20 cm de diagonale, 3 cm d'épaisseur ; à la surface de la Squame : pellicule argileuse vernissée de 2 à 5 mm d'épaisseur.

0 - 10 cm : Argileux, sec, 2,5Y 7/2, gris jaune clair, structure polyédrique bien développée, forte cohésion des éléments, nombreuses racines.

10 - 30 cm : Argileux, faiblement humide, fines fentes de retrait révélant une structure prismatique à sous-structure polyédrique grossière, au sommet de l'horizon une structure lamellaire est visible. Forte compacité, quelques taches. Très nombreuses racines.

30 - 70 cm : Argileux, structure à éléments continus avec par endroits une structure lamellaire, forte compacité, efflorescences salines sur la paroi desséchée. Absence de racines ; couleur 2,5Y 6/4.

70 cm : Alternances de strates sableuses et de strates argileuses. Les strates argileuses sont humides et contiennent de très nombreux amas salins. Taches 2,5Y 6/2 gris brun-jaune dans un fond 2,5Y 6/6 brun jaune.

Résultats d'analyses

Granulométrie, calcaire et gypse %

Profond.:	A :	L :	STF :	SE :	SG :	Calcaire :	Gypse :
0-10 cm :	58 :	38 :	2 :	1 :	tr :	28 :	2,1 :
10-30 cm :	64 :	28 :	3 :	2 :	" :	29,2 :	2,0 :
30-70 cm :	67 :	27 :	3 :	2 :	" :	31,2 :	1,6 :
70 → :	56 :	32 :	6 :	3 :	" :	35,2 :	1,9 :

Sels solubles et complexe absorbant

Bases échangeables mé/100 g

Profond.:	Sat. % :	Cond. ES m-mhos/cm :	pH :	Ca :	Mg :	K :	Na :	T :	Na/T % :
0-10 cm :	60 :	28,5 :	7,7 :	15,1 :	6,5 :	2,8 :	5,4 :	28,9 :	18,5 :
10-30 cm :	60 :	30,0 :	7,8 :	14,7 :	5,8 :	1,1 :	7,3 :	28,7 :	25,3 :
30-70 cm :	62 :	34,0 :	7,8 :	13,4 :	5,8 :	0,7 :	7,3 :	27,2 :	26,8 :
70 → :	60 :	28,5 :	7,8 :	10,5 :	6,4 :	0,5 :	7,2 :	24,6 :	29,5 :

1.1.3.- Sud de la Tunisie.

Sol salé à encroûtement gypseux en profondeur sur alluvion fluviale.

Profil n° 71 (Carte d'Hachichina 1/50.000°) - (Etude pédologique de Bled Sidi M'Heddeb MORI, 1961-64 - SSEPH n° 331)!

La dépression de l'Quadrane correspond au débouché de l'Oued Leben dans la plaine côtière de Graïba et d'Hachichina!

Les limites Ouest et Est sont constituées par des pointements (miopliocène) encroûtés par du calcaire et du gypse sur le sommet des dômes et par du gypse autour des dômes. Le passage aux terrasses alluviales récentes est marqué dans le paysage par de hautes terrasses à siérozems ou sols bruns jaunes isohumiques développés sur matériau sableux éolien superposé à un limon à accumulation nodulaire calcaire et accumulation gypseuse.

Dans la dépression elle-même, les sols salés sont localisés sur les bourrelets correspondant aux interfluves pendant que les sols peu évolués d'apport alluvial et sols peu salés se juxtaposent dans les dépressions occupées par les chenaux d'écoulement des eaux de ruissellement. De grandes surfaces sont couvertes de sols non évolués d'apport éolien dunaire.

Climat

P = 150 mm - T = 18°8 - Saison sèche = 8 mois environ.

Végétation

Salsola tetrandra
Salsola vermiculata
Atriplex
Nitroraria

Surface du sol

Blanche, lissée.

- 0 - 5 cm Limono-argileux, brun rouge, humide, absence de structure.
Calcaire. Nombreuses racines.
- 5 - 25 cm Limono-argileux, brun rouge foncé, sec, structure continue,
quelques tâches diffuses de calcaire. Nombreuses racines.
- 25 - 45 cm Limono-argileux, gris brun foncé, litages de sable fin,
structure continue, tâches et pseudomycélium gypso-calcaire
notamment le long des racines.
- 45 - 65 cm Limono-argileux, brun rouge foncé, structure polyédrique à
cubique, faiblement cohérent, non compact, pseudomycélium
et tâches gypso-calcaire. Tâches d'hydromorphie de couleur
brun-rouge. Calcaire. Nombreuses racines.
- 65 - 85 cm Sableux, jaune rouge, structure continue fragile à tendance
particulière. Pseudomycélium et tâches apparaissent par
endroits dans l'horizon.
- 85 - 100 cm Idem, plus compact et consistant.
- 100 - 120 cm Sable faiblement argileux, brun jaune foncé, structure continue,
compact et fortement consistant, abondant pseudomycélium
gypso-calcaire.
- 120 - 180 cm Horizon fortement compact, consistant, couleur jaune pâle,
présence de nombreux amas gypseux.

Résultats d'analyses

Granulométrie, calcaire et gypse %

: Profondeur :	A :	L :	STF :	SF :	SG :	:CO ₃ Ca % :	:Gypse % :
: 5- 25 cm :	31 :	29 :	18 :	12,5 :	6,5 :	18,4 :	1 :
: 25- 45 cm :	32 :	32 :	24 :	9 :	2 :	23,1 :	1,8 :
: 45- 65 cm :	34 :	25 :	13 :	23 :	4 :	23,1 :	6,5 :
: 65- 85 cm :	7 :	4 :	9 :	71 :	7 :	5,8 :	1,7 :
: 85-100 cm :	8 :	5 :	7 :	69 :	8 :	5,7 :	2,2 :
: 100-120 cm :	27 :	9 :	8 :	29 :	27 :	3,7 :	12,5 :
: 120-150 cm :	23 :	25 :	16 :	15 :	19 :	2,8 :	42,4 :
: 150-180 cm :	26 :	7 :	13 :	26 :	27 :	4,9 :	29,2 :

Sels solubles et bases échangeables

Profondeur	Sat.	Cond. ES m-mhos/cm	Sels soluble mé/l.						Bases échangeables/100 g					
			Cl ⁻	SO ₄ ⁻² cal.	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T	Na/T %
5- 25 cm	49,2	26	235	39	1,1	62	31,5	162	5,3	2,8	1,9	4,6	14,6	31,5
25- 45 cm	52,8	30,5	265	55	0,6	55	50	215	9,7	2,8	1	2,8	16,4	17,4
45- 65 cm	54,8	32,5	305	83	0,9	51	83	255	6,2	4,8	0,8	3,0	14,8	20,3
65- 85 cm	32	18	140	78	0,8	36,5	52,5	130	0	0,6	0,3	2,3	3,2	-
85-100 cm	36,8	23	195	87	0,5	39,5	65,5	177	0	0,6	0,3	2,3	3,2	-
100-120 cm	41,2	30,5	265	93	0,5	42	87	230	-	-	-	-	-	-
120-150 cm	41,2	25	195	92	0,2	42	63	182	-	-	-	-	-	-
150-180 cm	37,2	15	105	67	0,4	31	41	100	-	-	-	-	-	-

Un profil analogue mais plus sableux est décrit par M. POUGET
(Etude pédologique de la zone de Gabès-Nord - profil n° 191).

Climat : P = 175 mm - T = 19°3.

Position topographique : en bordure des Sebkhass littorales El Kaltiate et
Dubia, retombée du plateau de S'Bih, vallée de l'Oued Bou Saïd.

Cultures : orge et quelques palmiers.

Végétation : chiendent abondant.

Description :

- 0 - 10 cm Jaune sableux à sable grossier, très pulvérulent.
- 10 - 35 cm Marron jaune grossièrement sableux, très meuble, calcaire fin,
pseudomycélium blanc, racines.
- 35 - 100 cm Marron, sablo-argileux, très meuble, calcaire.
- 100 - 140 cm Marron-noir, finement sableux, meuble, calcaire, très fin
pseudomycélium, plages plus claires (hydromorphie), humide.
- 140 - 200 cm Marron, sableux, encroûtement gypseux de nappe très friable,
humide (niveau de la Sebkhha).

Résultats d'analyses

Granulométrie, Calcaire - Gypse et Matière Organique

Profondeur	A	L	STF	SF	SG	Calcaire	Gypse	M.O.
10-35 cm	5	5	8,5	59	18	7,3	0,5	0,78
35-100 cm	15	9	11	42	19	9,6	2,4	0,47
100-140 cm	13	4	8	49	21	6,5	4,6	-
140-200 cm	9	5	3	54	26	8,5	5,0	-

Sels solubles mé/l.

Profondeur	Satur.	Cond. m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄ ⁻ cal.	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SAR	Na/T cal.
10-35 cm	28,4	8,2	50	65	1,7	43	38	36	8	10
35-100 cm	41,2	13	60	110	1,7	35	64	73	10	11
100-140 cm	47,2	12,3	70	101	1,4	36	53	83	12	13
140-200 cm	33,2	16,5	110	111	1,3	42	70	110	15	17

La présence de gypse n'a pas permis de doser les éléments échangeables et le complexe absorbant. Il y a présomption d'alcalisation mais ses effets en milieu aussi sableux sont peu apparents.

En position haute un tel profil passerait à celui d'un sol à caractère de salure. Ainsi le profil n° 233 de la même étude se présente ainsi :

	Cond. m-mhos/cm	Gypse%	CO ₃ Ca%
0- 10 cm : Sableux à structure lamellaire en surface.	4,0	0,6	13
10- 30 cm : Beige, sable fin, pseudo-mycélium calcaire.	4,5	0,6	21
30- 50 cm : Beige, sable fin, pseudo-mycélium et nodules.	9,0	8,6	26
50- 80 cm : Jaune-marron, terch.	9,3	36,1	18
80-140 cm : Marron, terch plus humide.	8,2	32,7	16

En aval au contraire, le terch se rapproche de la surface, la nappe également et la conductivité devient plus forte en surface qu'en profondeur (profils n° 119 et 148 de la même étude).

1.2.- Sols peu salés ou moyennement salés et forte différenciation du profil.

1.2.1.- Nord de la Tunisie.

Profil n° 61 - Plaine de Mateur - Od Mellah (Etude n° 225^C - A. MORI, 1963). P = 538 mm (Mateur) - T = 18°2 - Saison sèche = 5 mois (Mai à Septembre).

Le profil est situé sur un cône alluvial dominant la dépression marécageuse de la "garaet", occupée par des sols fortement salés à horizon superficiel poudreux.

La pente est très faible.

La végétation est surtout marquée par l'absence d'halophytes = Phalaris - Hordeum maritimum - Festuca arundinacea.

Date de l'observation : 3/10/62.

Dernière pluie : 25/9/62.

Surface du sol : petites plaquettes polygonales.

Description :

- 0 - 5 cm Argilo-limoneux, très faiblement humide, plastique, structure continue. Calcaire. Très nombreuses racines.
- 5 - 40 cm Argilo-limoneux, couleur gris olive, sec, structure en prismes de 10 à 15 cm de hauteur, à compacité et consistance très fortes (les prismes ont l'aspect de colonnes). Fentes de retrait importantes par lesquelles s'infiltrent de nombreuses inclusions. Amas blanchâtres, semblant localisés le long de lignes verticales. Calcaire. Inclusions de petites cerithes. Racines à pénétration verticale.
- 40 - 60 cm Argileux, couleur olive, humide, structure continue avec fentes de retrait peu apparentes. Compact et faiblement plastique.
Amas blanchâtres identiques à ceux de l'horizon précédent mais paraissant moins abondants.
La couleur de l'horizon n'est déjà plus franche, quelques taches d'hydromorphie de couleur rouge commencent à apparaître.
Calcaire. Inclusions de cerithes.
Racines.
- 60 - 90 cm Argileux, brun olive, humide, structure continue avec faible tendance à la structure prismatique.
Racines plaquées contre les faces de la structure.
Hydromorphie à taches de couleur jaune rouge assez nettes.
Amas salins abondants, calcaire.
- 90 - 120 cm Argilo-limoneux, brun jaune, humide.
Nombreuses taches d'hydromorphie de couleur rougeâtres, mêlées à quelques canalicules grisâtres et taches grises. Calcaire.
- 120 - 150 cm Argilo-sableux, très humide, l'hydromorphie est encore plus marquée, les taches sont plus nombreuses et les taches de couleur grise sont très nettes.

Résultats d'analyses

Granulométrie, Calcaire et Matière Organique %

Profondeur	A	L	STF	SF	SG	CO ₃ Ca	pH	SO ₄ ⁼⁼ total	M.O.
0- 5 cm	49	40	3,5	2,5	1	22	8,8	0,3	2,64
5- 40 cm	48	43	3,5	2	1	21	8,7	0,35	2,64
40- 60 cm	56	37	3	0,5	1	22,6	8,3	1,1	-
60- 90 cm	54	39	2	1	0,5	23,5	8,6	0,7	-
90-120 cm	38	22	11,5	2,5	1,5	41,1	8,7	0,3	-
120-150 cm	28	13	8	4,5	4,5	51,6	8,9	tra.	-

Sels solubles (mé/l)

Profondeur	Sat. %	Cond. ES m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼ cal.	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SAR	Na/T cal.
0- 5 cm	56,4	1,6	10	-	-	-	-	-	-	-
5- 40 cm	54,0	9,6	85	25	0,8	29,5	2,4	56,2	14	15
40- 60 cm	70,0	16,8	105	94	0,7	49	36,5	11,5	17,4	19
60- 90 cm	80,0	22,0	155	100	2,8	51,5	47,0	160,0	22,8	25
90-120 cm	61,6	23,5	210	445	0,8	31,5	41,5	182,5	30,4	30
120-150 cm	51,2	29,0	260	64	0,4	40,5	56,5	212,5	30,3	30

1.2.2.- Centre de la Tunisie.

Profil n° 32 - Etude de l'URD de Sbikha (J-P. COINTEPAS)

Terrasse de l'Oued Hamida en bordure d'une petite garaet Sersouf.

Zone plane non cultivée à très nombreuses touffes de jujubiers probablement

submergée en période de crues de l'Oued!

P = 286 mm - T = 18°5 - Saison sèche = 8 mois (station de Kairouan).

- 0 - 8 cm Beige, sablo-limoneux, polyédrique, grossière, mal développée, localement lamellaire, poreux, très calcaire.
- 8 - 30 cm Beige gris, coloration peu homogène, argilo-sableux à argilo-limoneux, structure prismatique fine tendance cubique à faces horizontales lissées, tendance à un fauchage des prismes, porosité moyenne, consistance et cohésion fortes quelques points plus clairs. Un peu moins calcaire que le précédent. Racines nombreuses dans les fentes (chiendent).
- 30 - 60 cm Beige un peu plus clair, argilo-limoneux, même structure, amas calcaires type "torba" un peu diffus (Ø 2-3 cm), très calcaire. Racines un peu moins nombreuses, toujours dans les fentes.
- 60 - 80 cm Beige plus ocre, argileux, prismatique moyen, à faces lissées, très compact, frais, très cohérent et consistant, trainées plus foncées, très calcaire. Racines rares.
- < 80 cm Argile gypseuse, jaune, en gros prismes, à section souvent triangulaire, porosité nulle, pas de racines, très calcaire. La partie supérieure (80-100 cm) de l'horizon est bourrée de fins cristaux de gypse. Au-dessous le gypse forme des macles localisés dans les anciennes fentes de retrait.

Résultats d'analyses

Profon.:	Granulométrie %					Calcaire:	Gypse %	M.O. %	pH
	A	L	STF	SF	SG	%			
0-30 cm	37	11	5	20	24	12	-	1,41	9,2
30-60 cm	43	20	5	15	17	25	-	0,76	9,4
60-80 cm	48	17	8	10	13	22	-	-	9,1
< 80 cm	47	11	11	22	5	16	16,7	-	8,6

Sels solubles mé/1									Complexe mé/100 g					
Pro.	Sat%	Cond. ES m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ cal	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T	Na/T
8-30	41,6	1,9	15	12,5	3,2	3,0	8,5	19,2	0,4	7,6	0,2	2,6	10,8	24,1
30-60	49,2	3,5	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-80	52,4	9,5	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
< 80	47,2	11,0	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1.2.3.- Un cas particulier des sols formés sur bourrelet éolien de Sebka.

Nous donnons deux exemples de sols développés sur de tels matériaux.

1er exemple : profil n° 231 par K. BELKHODJA (Etude n° 272).

X = 546, Y = 264, Z = 66. Carte au 1/50.000° de Sidi el Hani.

Végétation : quelques touffes de Sparte.

- 0 - 18 cm Beige-jaune-fauve, sablo-limoneux, structure lamellaire, friable, poreux, débris de coquillages. Nombreuses racines.
- 18 - 50 cm Beige légèrement brunâtre, argilo-sableux, structure polyédrique fine, tendance à une macrostructure prismatique, cohésion moyenne, consistance forte, porosité tubulaire moyenne à faible. Enracinement moyen. Quelques pseudomycélium aplatis.
- 50 - 160 cm Beige-jaune, argilo-limoneux, structure large, prismatique friable se réduit en pseudo-sable. Présence de petits cristaux de gypse et de sel. Nombreux amas gypso-salins et filonnets gypseux jaunâtres.

Résultats d'analyses

Profon.	Granulométrie %					Cap.	pH	CO ₃ Ca	Gypse
	A	L	STF	SF	SG	réf. %			
0- 18 cm	12	8	1	43	33	10,0	8,0	17,1	tr.
18- 50 cm	38	12	1,5	22,5	26	25,5	8,7	22,5	"
50-160 cm	42	20	1,5	29	7,5	26	8,2	23,7	1,7

Profon.	Sels solubles mé/1								Complexe mé/100 g					
	Sat. %	Cond. m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼ calc.	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T	Na/T
0- 18	24	0,9	5	3,2	1,5	4,5	2,7	2,5	4,5	2,0	0,6	0,9	8,0	11,0
18- 50	48	1,6	10	2,2	0,5	2,5	1,2	9,0	9,1	3,6	0,7	3,6	17,0	21,0
50-160	54	11,5	89	-	3,5	37,0	39,2	-	7,5	3,2	1,1	6,2	18,0	34,5

2ème exemple :

Sebka de Zarzis, lieu-dit Chareb Bou Djemmal. - (Etude n° 308) -

J.P. COINTEPAS et A. FOURNET.

P = 200 mm environ.

Série de petits bourrelets déchiquetés par le vent.

Végétation à *Frankenia thymifolia*, *Zygophyllum album*, Armoise et *Salsola* sur le sommet de la butte.

- 0 - 20 cm Beige-clair sable fin, limoneux, éclats polyédriques, cohésion très faible, consistance faible, porosité moyenne!
- 20 - 80 cm Beige plus ocre sable fin, limoneux, massif, cohésion faible, consistance moyenne, porosité faible à moyenne, filaments verticaux de gypse.
- 80 cm Beige plus gris, sableux, massif cohésion faible, consistance moyenne, porosité faible, très nombreux filaments et taches en têtes d'épingle de gypse!

Résultats d'analyses

Profond.	CO ₃ Ca %	Gypse %	M.O. %	pH	Sels solubles mé/l								
					Sat. %	Cond. m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄ ⁻ cal.	CO ₃ H	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Na/ cal.
0-20 cm	3,2	tr.	0,2	8,7	32	15	105	64	5	52	20	102	18
20-80 cm	4,8	3,2	0,2	8,3	28	15,5	160	11	5	110	18	48	1
80 cm	3,2	7,3	0,05	8,3	28	24	225	50	5	112	48	120	15

2^a) Caractères morphologiques

2.1.- Les sols salés à alcalis observés dans le Nord de la Tunisie sont très fréquemment développés sur une alluvion fluviale à texture fine (au moins pour les horizons superficiels).

Les caractères de structure permettent de définir une succession classique d'horizons :

- horizon à structure à éléments cubiques (0-8 cm pour le profil de référence), surmonté par des squames argileuses.
- horizon à structure à éléments prismatiques typiques à forte cohésion (8-20 cm). Cette structure devient prismatique fine à colonnaire dans les

sols peu salés à alcalis de texture fine.

- horizon de couleur plus claire, constamment humide, plastique et adhésif, fortement compact, structure à éléments continus ou à faces de glissement.

Une faible hydromorphie à pseudo-gley y est visible. La présence de nombreux amas salins est constante (40-80 cm).

- horizon profond, gorgé d'eau, où si la texture est fine, l'hydromorphie à pseudogley est plus forte (80-180 cm).

2.2.- Dans le Centre de la Tunisie, le caractère alluvial du matériau original du sol est trop marqué pour que l'on puisse valablement donner une succession d'horizons comme caractéristique de ces sols.

La structure la plus communément observée sur matériau original à texture argileuse est une structure lamellaire assez bien développée.

Il faut noter qu'une surstructure polyédrique fine est souvent observée dans les profils de sols salés de la plaine d'El Alem ; au moins dans les horizons superficiels du sol (horizon 0-10 cm du profil n° EA-12).

Les horizons profonds sont parfois marqués par une faible hydromorphie.

2.3.- Cette structure polyédrique fine apparaît particulièrement caractéristique dans les sols salés à texture limono-argileuse ou argilo-sableuse de la plaine de l'Quadrane (Sud de la Tunisie) ; mais là encore le caractère alluvial trop marqué ou des textures trop grossières ne favorisent pas l'individualisation des structures caractéristiques et par conséquent, la définition de succession d'horizons.

2.4.- Plus au Sud encore, le matériau est si sableux qu'il n'y a plus aucune structure bien individualisée.

2.5.- Le gypse apparaît dans la Tunisie Centrale (Sidi El Hani près de Sousse).

Sa présence dans les sols salés se traduit par une précipitation sous forme d'amas, de pseudomycélium et surtout d'une masse finement cristallisée conférant aux horizons une compacité et une consistance plus forte et qu'on appelle localement "terch". Cependant, si la présence d'horizons profonds à encroûtement gypseux de nappe est très fréquente, elle n'est pas constante dans les sols salés de la Tunisie du Sud. (La présence ou l'absence d'un encroûtement gypseux de nappe est en relation, semble-t-il avec la position du profil dans le paysage et la composition chimique de la nappe).

3°) Caractéristiques physico-chimiques

3.1.- Les granulométries des sols salés observés en Tunisie sont très diverses :

- argileuses et argilo-limoneuses pour les horizons les moins profonds de nombreuses unités de sols salés à alcalis du Nord de la Tunisie : - sableuse... , sablo-argileuse... , limono-argileuse pour des unités de sols salés du Centre et du Sud tunisien. On note parfois un gradient d'argile en profondeur (lessivage de l'argile, solonetz ?) mais il est souvent difficile de faire la part entre un lessivage véritable et une hétérogénéité de dépôt.

3.2.- La teneur en calcaire est fréquemment élevée ; c'est un caractère quasi constant, sauf pour l'horizon d'accumulation gypseuse. On peut noter presque généralement une variation du taux de calcaire inverse de celle du taux de gypse.

3.3.- L'accumulation des sels solubles dans les profils salés se caractérise par un gradient de salure indiquant une dynamique des sels dirigée vers la base du profil, c'est une donnée quasi constante quelque soit les variations texturales présentes au sein du profil.

La conductivité ES (1), de l'horizon superficiel d'un sol salé (s.s.) est de l'ordre de 20 m-mhos/cm (il s'agit là d'une salure moyenne).

Pour les unités de sols peu salés dont certaines sont des unités de sols en voie de désalinisation (cf. 2^e partie) la salure minimum pour l'horizon superficiel est de l'ordre de 4 à 10 m-mhos/cm.

Ce sont essentiellement des chlorures qui sont présents dans les solutions du sol mais d'assez fortes quantités de sulfates (jusqu'à 80 à 90 mé/1) sont signalées dans les solutions des sols salés du Centre et du Sud (et notamment dans les horizons d'encroûtement gypseux).

Les quantités de bicarbonates sont généralement faibles : 1 à 3 mé/1 ES.

Parmi les cations, le sodium est toujours celui qui est présent en plus grandes quantités. Le magnésium, peu abondant quand la salure est faible, voit ses teneurs augmenter considérablement en même temps que la conductivité.

3.4.- La présence de fortes quantités de sodium dans les solutions du sol entraîne systématiquement la présence de fortes quantités de sodium échangeable. Le pourcentage de sodium échangeable est généralement en relation directe avec le degré de salure ; les valeurs, communément observées dans les sols salés, sont supérieures à 15%. Il existe cependant des sols faiblement salés dont le complexe reste encore très chargé en sodium.

A noter que la détermination du rapport Na/T reste aléatoire, aucune méthode de dosage n'ayant donné entièrement satisfaction par suite de la présence toujours abondante du calcaire. Dans les sols du Centre et du Sud la texture plus sableuse et la présence fréquente de gypse ôtent à peu près tout sens à la détermination de l'alcalisation.

(1) - Extrait de pâte saturée sous 0,5 atmosphère.

4°) Les conditions de formation

Nous envisageons successivement l'influence des différents facteurs de formation des sols salés. Nous commencerons par les facteurs dont l'influence peut être observée et partant connue :

- position dans le paysage : - position morphologique (position "en grand" dans le paysage).
- position topographique.
- drainage (influence du plan d'eau),
- matériau originel.

Puis l'influence de facteurs moins bien connus :

- climat,
- végétation.

4.1.- Position dans le paysage.

4.1.1.- Position morphologique "en grand".

La périphérie des dépressions salées (Sebkha ou lagunes) offre un site de prédilection pour les sols salés. Les dépressions salées à régime endoréïque sont le plus souvent localisées dans des fosses d'effondrement ou de subsidence dans lesquelles les eaux et les nappes ne peuvent s'écouler : Sebkha el Kourzia - Sebkha Sedjoumi... etc... dans le Nord ; Sebkha du Centre tunisien : Sebkha Kelbia, notamment, grande Sebkhas ou "Chotts" du Sud (Djérid, Fedjej).

En bordure du littoral, une sédimentation littorale active a provoqué la formation de cordons littoraux successifs ; à l'arrière de ces barrages, se sont installées soit des lagunes en liaison intermittente avec la mer (ex. Ghar El Mellah) soit des "Sebkha" (er Riana, el Bounta dans le Nord, Sebkha de Zarzis dans le Sud).

Les dépressions salées des plaines de Mateur et Bizerte sont aussi la conséquence d'effondrements, mais la proximité de deux lacs confère au site une certaine particularité.

Dans tous ces sites, les sols salés sont associés à des sols très salés à horizon superficiel marqué par un encroûtement salin, des efflorescences salines ou un horizon superficiel poudreux.

4.1.2.- Position topographique.

La périphérie des dépressions salées type "sebkha" ne constitue pas le site unique des sols salés.

a) Les sols salés apparaissent également dans les petites dépressions de la terrasse alluviale récente des plaines du Nord, chaque fois qu'un défaut de drainage provoque le maintien d'une nappe phréatique proche de la surface du sol.

Dans les plaines du Nord remblayées par des alluvions récentes, très généralement de texture fine, c'est entre les bourrelets alluviaux des grands oueds constitués d'alluvions de textures diverses et la bordure de la plaine que les sols salés apparaissent préférentiellement (Haute vallée de la Medjerdah, Merdja et Souk el Khémis, Plaine de Mateur).

b) Dans les gouttières du Sud (Séqui et zones diverses d'épandage) le lit actuel des oueds est localisé dans les zones d'écoulement marquées par de nombreux chenaux entrelacés et discontinus pendant que les sols salés occupent les "interfluves", vastes espaces, à profil topographique convexe, légèrement plus haut que les chenaux d'écoulement, alors que les sols salés à encroûtement gypseux de nappe n'apparaissent qu'à la périphérie de dépressions occupées par des sols fortement salés.

4.2.- Drainage.

Le drainage constitue un facteur essentiel dans la formation des sols salés.

a) L'étude du site des sols salés a montré que pour la plupart des sols salés, et notamment tous les sols salés du Nord de la Dorsale tunisienne, la présence de sols salés est directement liée à celle d'une nappe phréatique salée (cf. 2. partie).

b) Pour les régions du Sud tunisien, il est indéniable que la présence d'une nappe phréatique salée constitue un facteur constant de formation des sols salés à encroûtements gypseux de nappe.

Il en est de même pour les sols fortement salés à horizon superficiel marqué par un encroûtement salin, des efflorescences salines, ou un horizon superficiel poudreux.

Les oasis constituent un exemple typique de sols salés en milieu mal drainé. La plupart en effet se sont installées il y a quelques siècles au voisinage de sources naturelles. Ces sources sont elles-mêmes des résurgences d'une nappe profonde dont l'écoulement plus ou moins rapide crée à leur voisinage des zones d'hydromorphie avec apparition de sols salés.

En revanche, l'étude du site des sols salés localisés dans les vastes zones d'épandage (et les caractères du profil le confirment) révèle que l'accumulation des sels dans le profil ne semble pas liée à la présence d'une nappe phréatique bien que l'on observe un gradient des sels orienté vers la base du profil.

4.3.- Le matériau originel.

Nous réduirons l'étude de l'influence de ce facteur à quelques remarques :

a) Il est probable que lors de leur dépôt les alluvions fluviatiles sur lesquelles se sont développés les sols salés étaient déjà salées.

C'est ainsi que dans les casiers de l'Oued Medjerdah, les alluvions transportées par l'Oued (70 cm environ en 5 ans) le dépôt de la crue plus récente présentait une conductivité ES de 3,7 m-mhos/cm. Cela est encore plus vrai pour les alluvions fluviales déposées dans les zones d'épandage par des eaux faiblement salées.

b) Il semble que la nature de l'argile ait une certaine influence sur le développement des processus de salinisation.

En effet, ces processus semblent se développer préférentiellement dans des sites où le matériau originel est à montmorillonite, alors que dans les cuvettes remblayées par des colluvions rubéfiées ou tirsifiées dérivées de grès non calcaire, les nappes phréatiques sont peu chargées et leur mauvais écoulement provoque plutôt le développement d'encroûtement calcaire de nappe. (Dépression d'El Markine, Dépression de Tindja).

5^a) Le climat

Nous avons indiqué au début de ce rapport que le climat n'est pas un facteur particulier de formation des sols halomorphes en général.

6^a) Végétation

L'étude de l'influence du facteur "végétation" n'est ici indiquée que pour mémoire.

Il semble que la végétation joue un rôle actif dans la dynamique des sels solubles, notamment dans la genèse des encroûtements gypseux salés de nappe. On note l'augmentation fréquente de la conductivité au niveau de l'enracinement des plantes.

II. - LES SOLS FORTEMENT SALES (*); A DYNAMIQUE DES SELS

DIRIGEE VERS LE HAUT

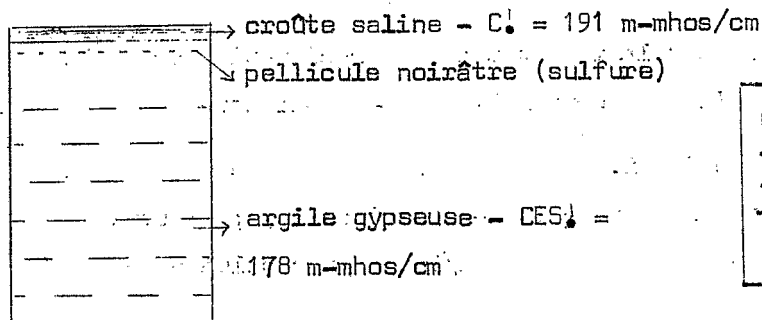
1°) Description des profils typiques

1.1. - Exemple de sol fortement salé à encroûtement salin superficiel.

1.1.1. - Sabkha el Kourzia (Observation GUYOT - MORI, Avril 1967).

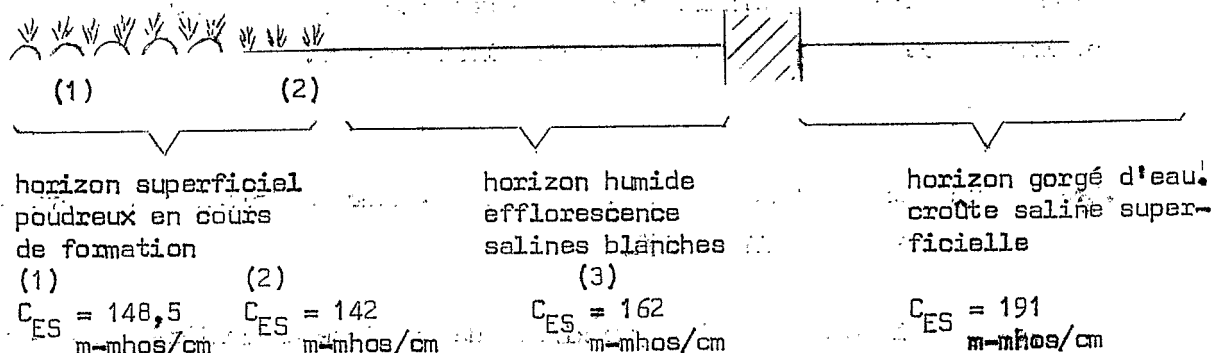
(P = 465 mm).

Station du Pont du Fahs.



Cl^-	CO_3H^+	SO_4^{--} cal.	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
400	20	3245	264	901	2500
302	30	2500	260	700	1932

Position dans le paysage



(*) - Dans tout ce chapitre, la désignation de "sols fortement salés" se rapportera aux sols fortement salés à dynamique des sels dirigée vers le haut du profil.

Commentaires

La Sebkhah constitue une cuvette elliptique de 15 Km² de superficie environ et dont la profondeur est inférieure à 1 m.

Le centre de la Sebkhah est recouvert dès le mois d'Avril d'une croûte saline de 3 à 5 cm d'épaisseur, de couleur blanche ayant pris naissance à partir d'une nappe d'eau qui a submergé la sebkhah pendant l'hiver.

La croûte saline superficielle recouvre une pellicule noirâtre mêlée à de gros cristaux de sels.

Les horizons du sol présentent généralement, sur matériau originel à texture fine, un gley de forte intensité.

L'accumulation des sels solubles atteint un degré élevé. Dans l'exemple ci-dessus, le sulfate de sodium est le sel le plus abondant dans la croûte saline.

La croûte saline est le résultat de la précipitation des sels contenus dans la nappe d'eau superficielle qui se concentre par évaporation.

Pour la sebkhah Sedjoui, A. FOURNET note la présence de deux nappes : l'une profonde, très salée (164-233 g/l de RS) ; l'autre superficielle, peu salée en hiver (5 à 6 g/l) et très salée en été (103-289 g/l de RS).

Les sols fortement salés à croûte saline passent vers la périphérie de la Sebkhah, là où il n'y a pas eu stagnation importante d'une nappe d'eau superficielle salée à des sols fortement salés à efflorescences salines ou croûte pelliculaire saline.

1.1.2. Chott Djérid (Observation R. PONTANIER - Etude pédologique du Nefzaoua S.P. n° 363, profil NZ-27).

Dans le Chott Djérid à proximité de la piste chamelière BLIDET-NEGGA à 1,5 km du rivage.

P = 91 mm - T = 22°C - Saison sèche = 6 mois (station de Kébili).

Le Chôtt Djérid est situé dans une cuvette synclinale complexe élaborée du Tertiaire au Quaternaire.

1.1.2.1.- Description du profil NZ-27.

Aucune végétation ; les dernières plantes rencontrées sont l'*Halocnemum Strobilaceum* et des *Limoniastrum Guyonatum* se développant en maigres touffes sur de petites Nebkhas à 500 m de là.

La surface en apparence très plate est boursoufflée en de nombreux endroits. Présence d'efflorescences salines entre les boursoufflures donnant à la surface un aspect marbré. Les cristaux de gypse sont là aussi très abondants.

- 0 - 1 cm Croûte saline soufflée blanche en surface très gypseuse, très humide. Efflorescences de NaCl entre les boursoufflures. Nombreux cristaux de gypse.
- 1 - 60 cm Très humide 10 YR 7/6, couleur hétérogène par suite du litage des apports successifs dus au vent ; taches blanches gypseuses et trainées rouilles. Très gypseux, sablo-limoneux, absence de structure. Tassé mais poreux. Très salé.
- 60 - 80 cm Très humide, 10 YR 6/4. Gypseux. Sablo-limoneux. Apparition d'une structure polyédrique moyenne peu cohérente. Nombreux canalicules soulignés par la présence de trainées rouilles. Dans cet horizon, entre 65 et 68 cm se développe un lit de cristaux de gypse d'une certaine cohésion. Ces cristaux ont un diamètre inférieur à 5 mm. Moyennement poreux. Salé.
- 80 - 100 cm Mouillé 10 YR 4/3, brun sombre avec trainées rouilles, non calcaire et non gypseux. Sablo-argileux. Structure polyédrique, moyenne, peu cohérente, en raison de la forte humidité. Très salé. Mauvaise porosité. C'est un pseudogley.

> 100 cm Mouillé, 10 YR 8/4, beige clair. Sable peu gypseux. Structure particulière. Poreux mais très tassé. Très salé. Ce sable non gypseux enveloppe d'énormes cristaux de gypse plus ou moins mâclés, mais très bien individualisés. (Gypse en fer de lance)!

La nappe se trouve à 105 cm.

1.1.2.2. Résultats d'analyse du profil n° NZ-17.

Profond.	Granulométrie % (*)					pH	CaCO ₃ : CaSO ₄ :	
	A	L	STF	SF	SG		%	2H ₂ O %
Boursouf-flures	8,5	4,5	9	59	1	7,6	0,8	50,2
Efflorescences	8,0	3,0	7	61	1	7,8	0,8	52,8
0-60 cm	7,5	4,5	7	65	-	7,9	0,8	30,2
60-80 cm	6,5	4,0	8	67	1	7,9	2,5	28,1
80-100 cm	15,5	6,5	12	62	-	8,0	0,8	1,0
100 cm	1,5	1,5	4	86	-	7,8	2,9	0,9

Profond.	Saturation pâte %	Cond. m-mhos/cm 25° C-E.S	Sels soluble (mé/l)							S.A.R	Na/T cal. %
			Cl ⁻	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		
Boursouf-flures	31,2	124	1900	4,0	-	155	30	-	1858	156	68,5
Efflorescences	24,4	194	5100	3,0	-	80	40	-	5270	680	-
0-60 cm	28,8	108	1520	3,0	68	110	100	52,3	1692	165	70,2
60-80 cm	28,0	124	2050	4,0	82	120	100	52,3	2212	210	75,1
80-100 cm	29,6	136	2685	3,0	53	90	180	84,7	2824	243	76,0
→ 100 cm	30,4	124	1945	3,0	53	110	95	47,0	2108	207	75,3

(*) - Mesures granulométriques effectuées par la méthode à l'oxalate ; la présence du gypse rend très aléatoires les résultats.

1.2. - Exemple de sol fortement salé à croûte pelliculaire de surface.

Profil n° 64 (Hachichina 1/50,000°) - P = 150 - T = 18°8 - Saison sèche = 8 mois environ.

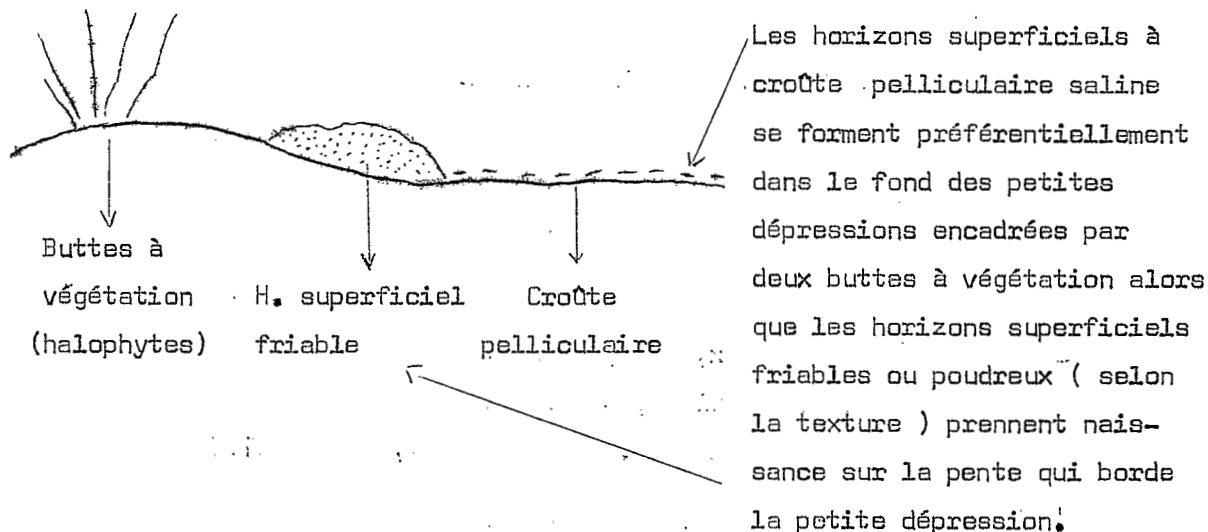
Surface du sol : croûte pelliculaire blanche.

Profondeur (cm)	Description	CO ₃ Ca	Gypse	CES
0 - 20	Argilo-sableux, brun ; humide structure continue, plastique, pseudomycélium gypso-salin abondant.	4,1 %	33,5 %	96 m-mhos
20 - 50	Sablo-argileux, brun, humide, structure continue, pseudomycé- lium moins abondant.	1,5 %	37,5 %	70 m-mhos
50 - 70	Limono-argileux, brun humide, structure continue, plastique, taches salines.	5 %	31,5 %	54 m-mhos
70 - 95	Encroûtement gypseux de nappe, consistance moyenne, grisâtre.	0,4 %	59 %	
95 - 120	Encroûtement gypseux, gris pâle consistant.	1,6 %	70,5 %	
120 - 140	Encroûtement gypseux, consistance et compacité très élevées.	5 %	59,8 %	
140 - 180	Encroûtement gypseux, très humide, consistance forte, abondants cristaux de gypse.			

Commentaires

La dynamique des sels solubles est dirigée vers le sommet du profil. Les horizons profonds sont marqués par la présence d'un encroûtement gypseux. Plusieurs autres profils semblables observés (sebkha en Noual notamment) nous

ont permis de remarquer qu'à la périphérie des sebkha, les sols fortement salés à efflorescence ou croûte pelliculaire se trouvent étroitement associés aux sols fortement salés à horizon superficiel friable.



1.3.- Les sols fortement salés à horizon superficiel poudreux.

a) Exemple du profil n° 277 (Plaine de Mateur, 225 A SSEPH).

Plaine de Mateur : P = 538 mm - T = 18° - Saison sèche = 5 mois.

Description du profil

Bordure Est de la plaine de Cheggaga.

CO₃Ca

C_{ES}

Cl

0 - 3 cm Plaquettes argileuses avec efflorescences salines blanches, recouvertes par endroits d'une "poudre argileuse".

3 - 7 cm Argileux, couleur brun olive clair, humide, structure à éléments

cubiques de 4 à 5 cm, à sous-structure

litée, présence de cristaux de sels. 24,8 % 70 m-mhos 890 mé/1

		CO ₃ Ca	C _{ES}	Cl
7 - 30 cm	Argileux, couleur brun olive, humide, structure à éléments continus, plastique!	23,2 %	70 m-mhos	919 mé/1
30 - 55 cm	Argileux brun olive clair, humide, structure à éléments continus, plastique! Nombreux amas salins.	22 %	60 m-mhos	715 mé/1
55 - 80 cm	Argileux, brun olive clair, très humide, structure à éléments continus, plastique, hydromorphie à gley, taches de couleur jaune-rouge, diffuses et taches de couleur gris-bleuâtre!	22,4 %	60 m-mhos	710 mé/1
80 - 115 cm	Argileux, très humide, structure à éléments continus, plastique, la couleur de l'horizon est gris bleuté, des taches ocres se détachant dans ce fond gris.	24 %	50 m-mhos	570 mé/1
115 - 180 cm	Argileux, gris très foncé (gley), structure à éléments continus plastiques!	24,4 %	40,5 m-mhos	460 mé/1

b) Exemple du profil EA-21 (Carte U.R.D. de Sbikha), 13 Août 1961.

Plaine d'El Alen (Nord de la plaine de Kairouan).

P. = 286 mm - T = 18°5 - Saison-sèche = 8 mois!

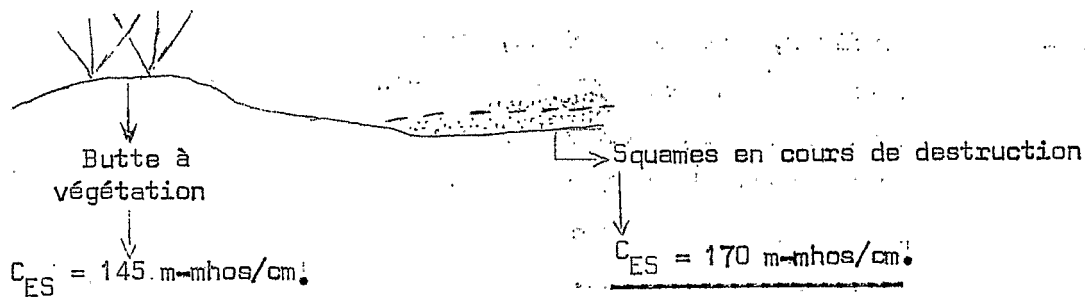
Site = Aboutissement des oueds latéraux dans la plaine alluviale.

Secteur faiblement déprimé par rapport au niveau de la plaine!

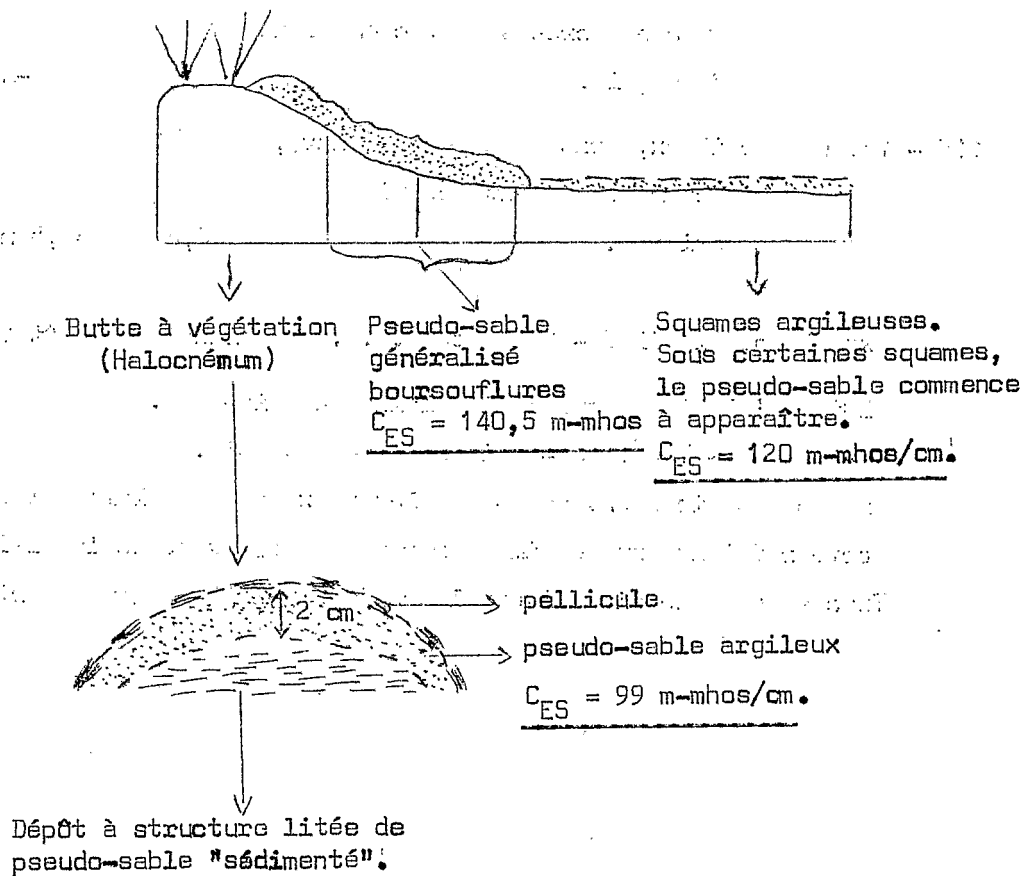
Traces de submersion hivernale repérées sur les photos aériennes!

Surfaces du sol EA-21 :

L'horizon superficiel poudreux est en cours de formation ; les squames argileuses sont complètement détruites, elles ne subsistent que par endroits, le "pseudo-sable" paraît "sourdre" d'entre les fentes séparant deux squames.



Autre observation EA-28 :



Description du profil EA-21

0 - 7 cm	Horizon poudreux.			
7 cm	→ Lit de cristaux de sels blancs.	CO ₃ Ca	Gypse	C _{ES}
7 - 27 cm	Argileux, sec structure en blocs séparés de fentes, sous-structure lamellaire très nette, notamment au sommet. Quelques taches,	29,7 %	9,4 %	99 m-mhos/cm
27 - 37 cm	Horizon de transition où l'humidité augmente.	28,9 %	10,3 %	73 m-mhos/cm
37 - 82 cm	Argileux, humide, plastique, structure continue, très abondant pseudomycélium en bâtonnets blancs. Racines.	25,7 %	9 %	75 m-mhos/cm
82 - 150 cm	Très humide, l'humidité augmente vers la base de l'horizon. Taches et bariolures d'hydromorphie, allant croissant d'intensité jusqu'à 140 cm où le gley typique (= gris blauté) apparaît. Absences de racines.			
(82 - 110 cm)		CO ₃ Ca = 28,9 %	Gypse = 13,1 %	C _{ES} = 35 m-mhos/cm.
(110 - 150 cm)		CO ₃ Ca = 28,9 %	Gypse = 9,6 %	C _{ES} = 22,5 m-mhos/cm.
150 cm	→ Plan d'eau.			

2°) Caractères morphologiques des sols fortement salés à horizon superficiel poudreux

Horizon superficiel : Cet horizon est caractérisé, pendant la saison sèche, par une poudre de grains argileux. L'observation à la loupe permet de distinguer :

- des grains argileux constitués de particules argileuses agglomérées les unes aux autres par de fins cristaux, semble-t-il.
- des petites macles cristallisées apparaissant translucides et de couleur claire.

A la base de cet horizon (3 - 7 cm dans le premier profil, 7 cm dans le second) il est fréquent d'observer de gros cristaux de sels, visibles à l'oeil nu, bien cristallisés.

Horizons profonds : Les horizons situés sous l'horizon superficiel possèdent généralement une forte humidité et contiennent de nombreux amas ou un pseudomycélium salin. L'hydromorphie de type glye se manifeste, avec une forte intensité, à partir de 80 cm environ de profondeur.

3°) Caractères chimiques des sols fortement salés à horizon superficiel poudreux :

Conductivité ES - gradient de salure.

Résultats d'analyses : Sels solubles du profil n° EA-21.

Profondeur	Taux de Saturation de la pâte %	G. ES m-mhos/cm	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃ H ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
			cal.	cal.	cal.			
0- 7 cm	40	170	3.112	112	2	443	1158	1625
7- 27 cm	56	99	1.295	170	2	250	567	650
27- 37 cm	64	73	895	106	2	165	303	535
37- 82 cm	60	75	961	137	2	178	372	550
82-150 cm	{	70	324	101	2	99	53	275
		62	196	77	2	90	26	160

Notons :

- le gradient de conductivité (ES) dirigé vers le sommet,
- la forte quantité de sulfates (teneur calculée par différence);
- la forte teneur en Mg soluble dans les horizons supérieurs.

Les sols fortement salés à horizon superficiel poudreux sont caractérisés, d'un point de vue chimique, par une dynamique des sels solubles dirigée vers le haut du profil.

D'une façon générale, le degré de salure de l'horizon superficiel est assez élevé = 70 m-mhos/cm, 170 m-mhos/cm. Nous avons pu observer des horizons superficiels poudreux qui présentaient un degré de salure correspondant à 40 m-mhos/cm (ES) ; c'est une salure que nous pouvons considérer comme minimum pour la manifestation d'un horizon superficiel poudreux. BOULAINÉ (1957) signale des teneurs en chlore de 30 à 70 ‰ ce qui correspond (avec un taux moyen de saturation de 50 %) à une conductivité de 150 m-mhos/cm.

4°) Conditions de formation des sols fortement salés

4.1.- Matériau originel.

La texture fine (argileuse ou argilo-limoneuse) du matériau originel est un facteur de formation assez constant.

Sur matériau de texture grossière (sableux, sablo-limoneux), il semble que ce soit plutôt un "horizon superficiel friable" qui prend naissance. La formation de cet horizon particulier nous paraît très proche de celle d'un horizon poudreux.

4.2.- Site ou position dans le paysage.

Pour l'ensemble des sols fortement salés, le site est caractérisé par un drainage (tant interne qu'externe) très déficient :

- submersion hivernale constante mais d'intensité variable selon qu'il s'agit de sol à croûte saline, à croûte pelliculaire saline, à horizon superficiel poudreux,
- hydromorphie de type gley de forte intensité, intéressant une épaisseur plus ou moins grande du profil, produite par la stagnation d'une nappe phréatique dont la remontée peut atteindre la surface du sol.

Il s'en suit que ce sont dans les secteurs où le degré de salure est le plus élevé, où les nappes phréatiques sont les plus proches de la surface, où une certaine submersion hivernale a lieu que les sols fortement salés à horizon poudreux, associés aux sols fortement salés à efflorescences salines (croûte pelliculaire), ou plus rarement aux sols fortement salés à croûte saline, sont observés.

Si les sols à croûte saline sont le plus souvent localisés dans la partie centrale des sebkhas où la submersion de longue durée a lieu, les sols à efflorescences et les sols à horizon superficiel friable, étroitement associés en fonction de la microtopographie (cf. ci-dessus) occupent la périphérie des dépressions.

Il existe cependant des sites exclusivement à sols fortement salés à horizon superficiel poudreux (Dépression périphérique du lac Ichkeul) et des sites où les sols à croûte saline prédominent largement (Sebkha el Kourzia, Sebkha Sedjoui).

4.3.- Drainage.

4.3.1.- La présence d'une nappe phréatique fortement salée est un élément fondamental de l'évolution de tous ces sols. L'intensité du gley, à 80 cm de profondeur environ, laisse supposer que c'est à ce niveau que le plan d'eau stagne le plus longtemps.

Il s'en suit une forte humidité de l'ensemble du profil en toutes saisons (les profils décrits ont été observés en été) ; cela nous apparaît essentiel pour que la remontée capillaire puisse avoir lieu.

4.3.2.- La submersion hivernale constitue également un élément constant de l'évolution de ces sols mais ses effets sont plus diversifiés.

Dans les secteurs centraux de certaines dépressions fermées (Sedjoui, Kourzia), la stagnation prolongée (du fait de l'absence d'évacuation des eaux) d'une lame d'eau entraîne par effet de l'évaporation, une concentration de cette nappe et la formation d'une croûte saline.

Dans les secteurs périphériques des dépressions, la submersion hivernale entraîne l'individualisation d'une fine croûte pelliculaire saline.

Dans les dépressions non fermées (ex : Gareet El Ichkeul), la submersion qui peut être forte en hiver cesse dès le début du printemps. Les conditions ne sont pas remplies pour qu'il y ait formation d'une croûte saline et c'est un horizon superficiel poudreux qui prend naissance.

A une plus grande échelle, nous observons que les sols fortement salés à horizon superficiel poudreux sont localisés dans une auréole périphérique aux dépressions, soumise à une faible submersion hivernale.

Au sein de cette auréole, l'horizon superficiel poudreux prend naissance préférentiellement (cf. schémas ci-dessus) à la lisière des micro-dépressions occupées par les sols à efflorescences, il y a là une influence certaine de la micro-topographie.

4.4.- Végétation

La végétation à base d'halophytes ne couvre que la périphérie des dépressions salées. C'est précisément dans la première auréole couverte de végétation que les horizons superficiels poudreux prennent naissance.

L'influence de la végétation s'exerce, semble-t-il, par le micro-modèle qu'elle produit. La végétation favorise, en effet, l'accumulation à la base de chaque touffe des éléments de l'horizon superficiel entraînés par le vent ;

il s'en suit l'individualisation d'une petite butte constituée par l'ancien pseudo-sable sédimenté et le pseudo-sable en formation. (cf. schéma ci-dessus p.36) c'est ce qui est à l'origine du micro-modèle caractérisé par la succession butte-micro-dépression.

5°) Processus de formation des sols

5.1.- Dynamique des sels solubles

La concentration des sels dans les horizons superficiels est vraisemblablement due à l'évaporation s'exerçant sur une nappe phréatique d'eau salée et sur sa frange capillaire, proches de la surface et à l'humectation du profil par des eaux salées pendant la saison humide.

L'humidité constante des horizons superficiels de ces sols est à l'origine de la concentration des solutions du sol dans les horizons supérieurs pendant la saison sèche.

5.2.- Horizon superficiel poudreux

L'individualisation des particules argileuses agglomérées semble le fait d'un "labourage" par des fins cristaux de l'argile Na flocculant en début de saison sèche.

C'est le site du sol tel qu'une faible pente ou une zone plane qui permet une saturation rapide de l'horizon superficiel suivie d'une dessiccation prolongée.

Lors de la phase de dessiccation, il y a flocculation de l'argile et microcristallisation des sels en des points particuliers de l'horizon et par suite individualisation des agglomérats argileux.

La microcristallisation et l'agglomération des particules provoquent une augmentation du volume apparent de l'horizon superficiel et en conséquence l'individualisation des boursoflures.

5.3.- Horizon à croûte pelliculaire.

Dans les secteurs où par suite de la microtopographie il y a stagnation d'un film d'eau pendant la saison hivernale la croûte pelliculaire peut se former. Il est infiniment probable que la salure de cette pellicule d'eau superficielle s'est produite au contact de l'horizon sous-jacent très salé.

5.4.- Horizon à croûte saline.

Il est dû à la précipitation des sels contenus dans la lame d'eau submergeant la sebka, sous l'effet d'une évaporation intense.

CONCLUSIONS

Nous sommes partis d'un principe simple : "un sol est dit salé lorsqu'il contient dans les horizons de son profil des sels solubles en quantité suffisante pour que la conductivité électrique mesurée sur l'extrait de la pâte saturée soit supérieure à 4 m-mhos/cm (à 25 °). Ce critère de la conductivité étant notamment choisi en raison de la corrélation existant entre conductivité et pression osmotique".

L'étude typologique de l'ensemble des sols salés a été conduite avec une ou deux hypothèses de travail simples tirées de la classification des sols halomorphes :

- il existe des sols salins à structure non dégradée et des sols salés à structure dégradée,
- il existe des sols salins et salés à alcalis à intensité de salure variable.

Une troisième hypothèse de travail a été tirée d'un ensemble d'observations montrant l'importance considérable jouée par le plan d'eau : (sa profondeur et sa salure) sur la différenciation des différentes unités de sols salés.

Il est en effet apparu rapidement qu'il existe trois grandes unités de sols salés :

- 1°) des sols fortement salés sur l'ensemble du profil, à cause de la présence d'un plan d'eau salé à faible profondeur, la dynamique des sels solubles est dirigée vers le sommet du profil. Il s'en suit que ces sols présentent un horizon superficiel particulier ; c'est, selon la position du sol dans le paysage : un horizon superficiel poudreux, un horizon à croûte pelliculaire saline ou, un horizon à croûte saline typique.

Les autres horizons de ces sols sont généralement marqués par une forte hydromorphie à gley ou à pseudogley lorsque le matériau originel est à texture fine (cas de la plupart des sols salés du Nord) alors que les horizons à encroûtement gypseux sont fréquents dans les sols salés du Sud tunisien, lorsque leur position dans le paysage le permet. (cf. étude POUGET c/c sols à encroûtement gypseux de nappe).

2°) des sols salés sur l'ensemble du profil ; les fluctuations de la nappe phréatique sont profondes ; les horizons superficiels subissent un lessivage hivernal et une dessiccation estivale, la dynamique des sels solubles est dirigée vers le bas du profil.

Ces sols présentent à une profondeur correspondant au niveau minimum de la nappe un horizon où les caractéristiques physiques sont nettement défavorables (porosité faible ou nulle). Les résultats d'analyses montrent une diminution brutale du Ca soluble et une augmentation de Na et Mg échangeables. La présence d'une salure de l'ordre de 10 m-mhos/cm à 50 cm de profondeur entraîne la présence d'une salure limitée (4-10 m-mhos/cm) dans les horizons de surface.

3°) Enfin, une troisième unité de sols où par suite de leur position dans le paysage (sommet de pente, plan d'eau relativement profond) et de leur matériau originel (argileux, argile montmorillonitique dominante probable) les horizons superficiels sont marqués par une salure et une alcalisation résiduelles à structure prismatique en colonnettes très caractéristique. Les sols peu salés à alcalis des bourrelets éoliens de sebkha paraissent appartenir à cette troisième unité.

*

* *