

# **SUR QUELQUES ASPECTS DE LA PEDOGENESE EN MILIEU HALOMORPHE: L'EXEMPLE DES SOLS SALES DE LA REGION MEDITERRANEENNE FRANÇAISE.**

par JEAN M. SERVANT

## **I. INTRODUCTION.**

Les terrains halomorphes se rencontrent dans toutes les parties du monde et leur étude a fait l'objet de très nombreux travaux scientifiques, plus particulièrement en ce qui concerne les sols salés situés à l'intérieur des continents.

En France, les terrains halomorphes ne présentent pas un caractère intra-continental mais maritime car ils se distribuent principalement dans les régions littorales de l'Atlantique et surtout de la Méditerranée.

Les informations pédologiques concernant ces terrains sont peu abondantes avant les années 60 et ce n'est qu'à partir de cette période que des recherches ont été entreprises dans ce domaine, avec des motivations qui sont non seulement d'ordre pédogénétique, mais également d'ordre agronomique, dans le cadre de l'amélioration et la mise en valeur des terres.

La présente note est extraite d'un travail de thèse (J. SERVANT - 1975) qui a eu pour objet d'apporter une contribution à la connaissance des caractéristiques originales de ces sols. Ce travail concerne l'étude des processus pédologiques de l'halomorphie, le diagnostic des sols salés et leur classification.

## **II. PRESENTATION DES TERRAINS HALOMORPHES.**

### **A - LES PAYSAGES HALOMORPHES.**

Les terrains soumis à l'excès de sel sont caractérisés par des traits spécifiques en relation avec la salinité et en particulier, par l'existence d'une végétation spécialisée, ou par l'absence totale de végétation, quand la salinité est trop élevée. On peut, dans le Midi de la France, séparer les paysages halomorphes suivants:

- 1) les bas lidos périodiquement submersibles du littoral du département de l'Aude, au nord de Leucate;

2) les terrains non soumis aux inondations marines et renfermant une nappe salée peu profonde:

a - les « enganes » et les « sansoufres » du littoral Languedoc-Roussillon et de la Camargue,

b - les dépressions intérieures du Roussillon  
avec le faciès halomorphe typique,  
avec le faciès sub-halomorphe,

c - les taches de salant, localisées, au sein de la zone des cultures.

## B - LE MATERIEL ALLUVIAL (cf. fig. 1).

Les terrains halomorphes étudiés sont formés d'alluvions récentes soumises aux effets d'une nappe salée peu profonde qui constitue la source de la salinité dans le profil.

Le matériel alluvial présente le plus souvent une texture moyenne limoneuse à limono-sableuse dans le cas des alluvions fluviales méditerranéennes. On remarque l'absence de différenciation du profil granulométrique qui est de type non lessivé.

Ces alluvions possèdent une texture fine, argileuse, ou argilo-limoneuse dans le cas des faciès palustre ou lagunaire que l'on trouve, par exemple, dans les dépressions intérieures du Roussillon.

L'étude minéralogique des fractions argileuses dans la roche-mère, montre l'existence d'un mélange de minéraux argileux (illite + chlorite + smectites + kaolinite) traduisant la diversité de l'héritage sédimentaire.

L'étude minéralogique détaillée, tranche par tranche, dans le profil pédologique, montre qu'il y a principalement conservation de l'héritage sédimentaire sans importantes transformations ni néoformations in situ.

Les véritables processus de la pédogénèse halomorphe doivent donc être principalement recherchés dans l'évolution des constituants salins.

## C - LES EAUX SALINES SOUTERRAINES (cf. fig. 2 et fig. 3).

Elles apparaissent à faible profondeur sous la surface du sol. L'étude chimique de ces eaux a été entreprise dans différentes stations du Languedoc-Roussillon et de la Camargue. En classant ces eaux en fonction de leurs salinités et de différents paramètres ioniques dont le rapport  $Cl/SO_4$ , il a été possible de séparer deux familles:

— une famille A qui renferme l'eau de mer et pour laquelle  $Cl/SO_4$  reste  $\geq 10$ . Les eaux de cette famille semblent dérivées de l'eau de mer par

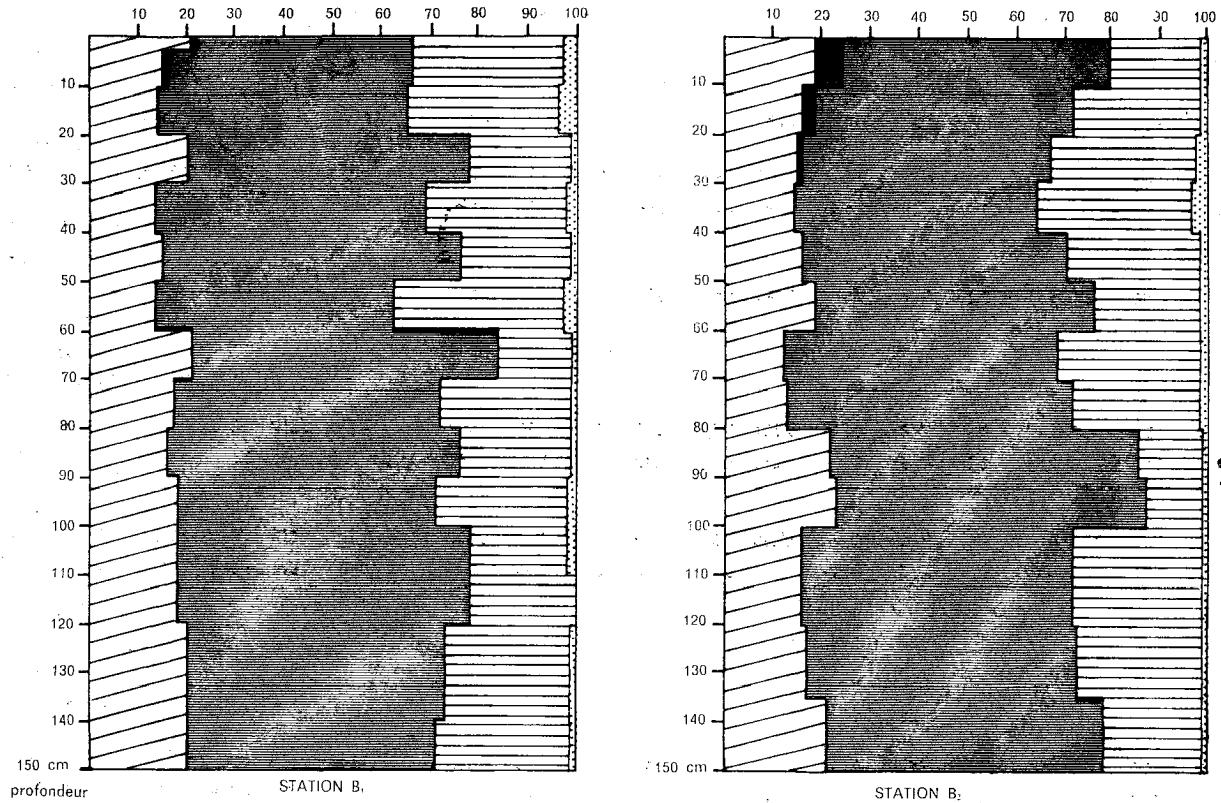


Fig. 1 - Profils granulométriques détaillés (en p. cent.).

Localisation	Anions me/l					Cations me/l					Paramètres							
	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	ΣA	Ca	Mg	Na	K	ΣC	Cl/SO <sub>4</sub>	S.A.R.	$\frac{Na+K}{Ca+Mg}$	$100 \frac{(Cl-Na)}{Cl}$	Ca/Mg	$\frac{100 HCO_3}{\Sigma A}$	(Ca × SO <sub>4</sub> )	
<b>I - EAUX DE SUBMERSION</b>																		
MD - Eau de Mer: Méditerranée	7,8	572	57	5	634	18	100	510	8	636	9,9	66,0	4,8	+ 9	0,18	0,78	32	
AT - Eau de Mer: Atlantique	8,0	525	48	3	575	20	97	448	9	574	10,9	58,6	3,9	+15	0,21	0,52	31	
<b>II - EAUX SOUTERRAINES</b>																		
<b>A) - Salinité voisine ou supérieure de celle de l'eau de mer</b>																		
a) - Cl/SO <sub>4</sub> ≥ 10																		
C <sub>12</sub> - Engane à salicornes (Cam.)	7,8	840	84,0	11,0	935	36	155	733	14,2	938	10	75,0	3,9	+12	0,23	1,2	55	
45 - Schorre du Verdon (Méd.)	8,1	610	41,9	20	671,9	31,2	136	488	12,2	667,5	14,5	53,4	3,0	+20	0,22	3,0	36	
b) - Cl/SO <sub>4</sub> < 6																		
<b>B<sub>1</sub> - Sansoutre du Bourdigou (Rous.)</b>																		
	7,8	480	107	9,4	597	43,2	108	440	3,7	595	4,5	50,6	2,9	+ 8	0,40	1,6	68	
119 - Palus (Méd.)	8,2	417,5	74,5	3	495,0	26,1	122	324	9,2	482,4	5,6	37,6	2,2	+20	0,21	0,6	44	
<b>B) - Salinité inférieure à celle de l'eau de mer</b>																		
a) - Cl/SO <sub>4</sub> > 10																		
47 - Palus Talais (Méd.)	8,7	156	12,6	26	194,6	5,2	22,2	155	4,4	186,8	12,4	41,9	5,8	+ 0,7	0,23	13,4	8	
b) - Cl/SO <sub>4</sub> < 6																		
<b>U - Engane du Mas d'Uston (Rous.)</b>																		
	8,4	146	29,7	13,6	189	12,5	26,5	149	1,1	189	4,9	33,7	3,8	- 2	0,47	7,1	19	
<b>CN - Pelouse dans la dépression de Canet (Rous.)</b>																		
	8,3	240	66,6	16,9	323	10,5	79	246	5	340	3,6	36,7	2,8	- 2	0,13	5,2	26	
19 - Palus Queyrac (Méd.)	8,4	47	78,4	16	141,4	14,3	39,5	91	2,5	147,4	0,60	17,5	1,7	-93	0,36	1,7	34	
110 - Mattes (Méd.)	8,5	70,0	13,6	17	100,6	5,3	13,2	78	2,7	99,3	5,1	25,6	4,4	-11	0,40	16,9	27	
10E - Pelouse salée (Cam.)	7,7	40	7,0	6,0	53,0	4	16	34	1,0	55	5,7	10,7	1,7	+15	0,25	11,3	5	

Fig. 2 - Caractéristiques des eaux de submersion et des nappes.

Concentration en chlorures	Eau hyper chlorurée $rCl > 700$	chlorothalassique $420 < rCl < 700$	chlorurée forte $140 < rCl < 420$	chlorurée moyenne $40 < rCl < 140$	oligo-chlorurée $15 < rCl < 40$
Concentration en sulfates					
Eau hyper-sulfatée $rSO_4 > 58$	$C_{12} *$	$B_1 *$	$CN *$	$B$ $Cl/SO_4 < 6$ $19$	
Sulfatée $rSO_4 < 6$		45 MD AT	$U *$		
Oligo-sulfatée $24 < rSO_4 < 58$	$A$ $Cl/SO_4 \geq 10$		47 *	$110 *$	10 E
Sulfatée normale $6 < rSO_4 < 24$					

Fig. 3 - Classification des nappes en deux familles A et B en fonction des caractéristiques anioniques (voir texte)  
(d'après normes SCHOELLER, complétées)

Le signe \* indique une eau hypercarbonatée ( $rHCO_3^- + rCO_3^{2-} > 7$ )

Le signe □ traduit un indice d'échange des bases négatif

de simples processus de concentration ou de dilution, sans intervention de processus géochimiques modifiant la composition en anions majeurs;

— une famille B pour laquelle  $Cl/SO_4 < 6$ .

Les eaux de cette famille se différencient des eaux de mer non seulement par une concentration ou une dilution (le plus fréquent) mais également par une modification du rapport des anions majeurs:

- soit par élimination préférentielle des chlorures au cours de la dilution,
- soit par enrichissement en ions  $SO_4^{2-}$ .

La séparation de ces deux familles d'eau se révélera importante dans la compréhension du processus de différenciation du profil des sels exposé plus loin.

L'étude de la composition cationique des eaux ne permet pas un découpage aussi net que dans le cas du rapport des anions majeurs. L'indice cationique le plus intéressant apparaît constitué par le paramètre S.A.R. qui apporte une information globale sur les possibilités de sodisation du complexe absorbant du sol au contact de ces eaux.

### III. LA PEDOGENESE EN MILIEU HALOMORPHE.

Cette caractérisation portera sur deux aspects principaux.

Le premier est constitué par l'étude des modalités de la distribution des produits de la phase saline dans le profil pédologique entre la nappe phréatique, source de sels et la surface du sol. Cet aspect intéresse le transfert et le stockage des produits solubles dans le sol.

Le second concerne les inter-actions entre la phase saline et le matériau pédologique et les transformations qui en découlent; deux cas seront envisagés:

- les interactions au plan physico-chimique et chimique;
- les interactions au plan physique et plus particulièrement mécanique.

#### A - LES MODALITÉS DE LA DISTRIBUTION DES PRODUITS SALINS DANS LE PROFIL PÉDOLOGIQUE.

1) Cette *étude* est abordée au travers du concept de profil salin qui rend compte de la distribution de la salinité dans la tranche de sol considérée.

En d'autres termes, le profil salin constitue la séquence verticale d'information concernant la salinité dans le profil pédologique.

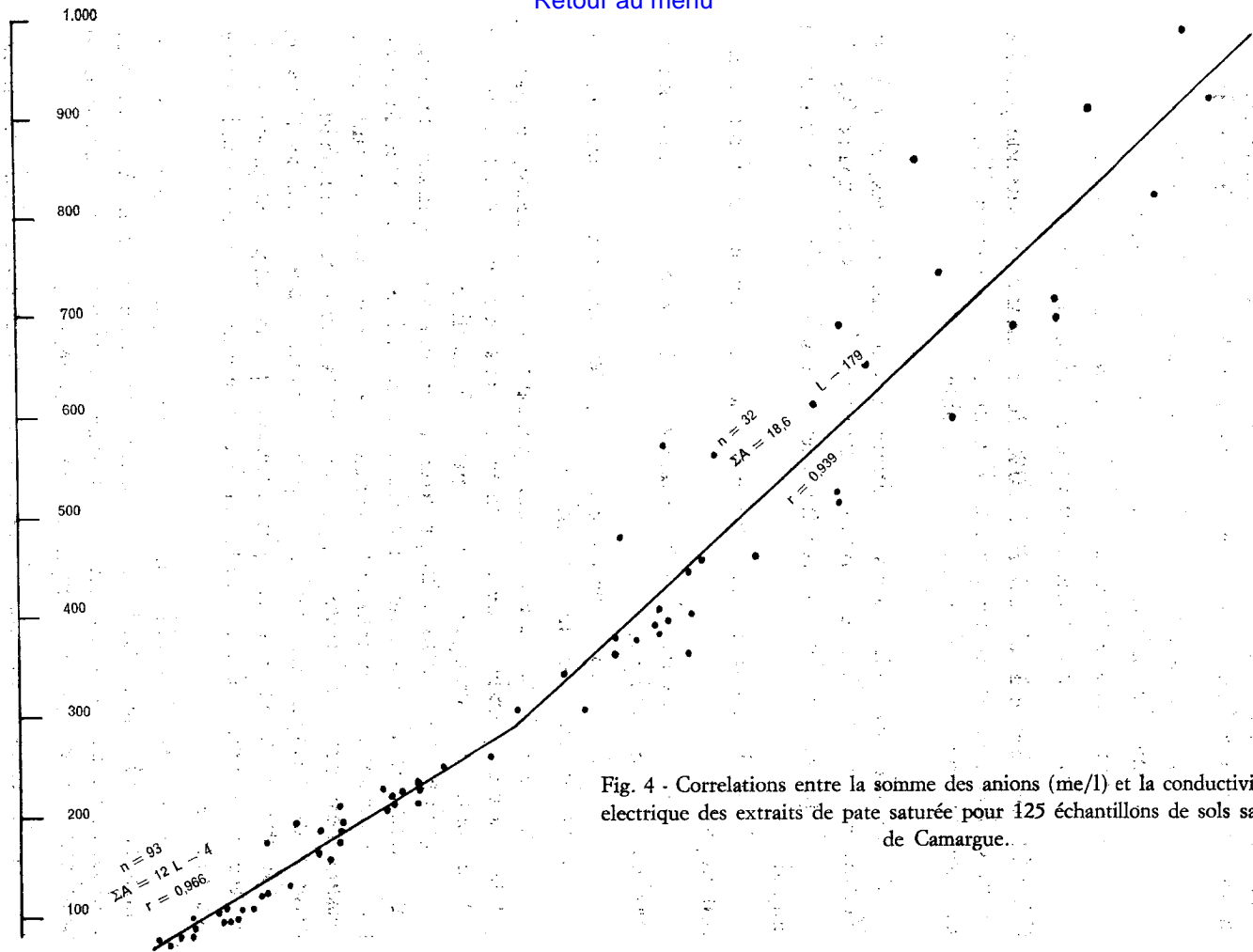


Fig. 4 - Correlations entre la somme des anions (me/l) et la conductivité électrique des extraits de pate saturée pour 125 échantillons de sols sales de Camargue.

Globalement, la salinité est mesurée par la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée exprimée en millimhos/cm. La conductivité est proportionnelle à la somme des ions en solution (en me/l) et les corrélations suivantes ont été établies pour des sols salés du Midi de la France (fig. 4):

- somme des anions =  $12L - 14$  avec  $4 < L < 27$
  - somme des anions =  $18,6L - 179$  avec  $L > 27$
  - somme des anions en me/l =  $Cl^- + SO_4^{2-} + HCO_3^- + CO_3^{2-}$
- L est la conductivité électrique en millimhos/cm.

(l'ion  $Cl^-$  représente à lui seul 70 à 90% de la somme; en seconde position se situe  $SO_4^{2-}$ ; en troisième position l'anion  $HCO_3^-$ ; l'anion  $CO_3^{2-}$  n'a été que très rarement trouvé en quantités dosables).

2) *L'étude* des profils salins de différents sols salés étudiés, et ce à différentes époques de l'année, conduit à distinguer 4 types principaux (fig. 5).

- Type A: gradient de salinité orienté vers la surface avec maximum épipédonique,

- Type B: maximum de salinité peu à moyennement profond: mésopédonique,

- Type D: gradient de salinité dirigé vers le bas et maximum profond: maximum hypopédonique,

- Type C: intermédiaire entre A et D; c'est une forme D sur laquelle vient se greffer un maximum de surface.

- Le type A est caractéristique, pendant la saison sèche, et parfois pendant la plus grande partie de l'année, des sols nus de type sansouire que l'on rencontre en Camargue et en Languedoc-Roussillon.

La genèse de ce profil salin procède d'une remontée capillaire des solutions salines et d'une accumulation des sels en surface sous l'effet de l'évaporation du sol nu. Le transfert ascendant des sels est possible tant que la cession d'eau par le sol reste compatible avec la demande atmosphérique. Il cesse quand l'évaporation devient trop importante et que le sol se dessèche.

Ce phénomène est d'autant plus accentué que la nappe est proche de la surface, fortement salée, et que le matériau présente une bonne conductivité hydraulique.

— Ce type de profil salin n'est jamais observé sous pelouse où l'on rencontre une forme D. La figure 6 montre côte à côte, le profil A sous sol-nu et D sous pelouse dans deux stations contigües. L'existence, sous pelouse, d'un profil salin de type D peut s'expliquer de la manière suivante:

a) Le terrain supportant la pelouse est plus élevé d'environ 20 cm par rapport au sol nu. La distance à la nappe est donc plus grande.



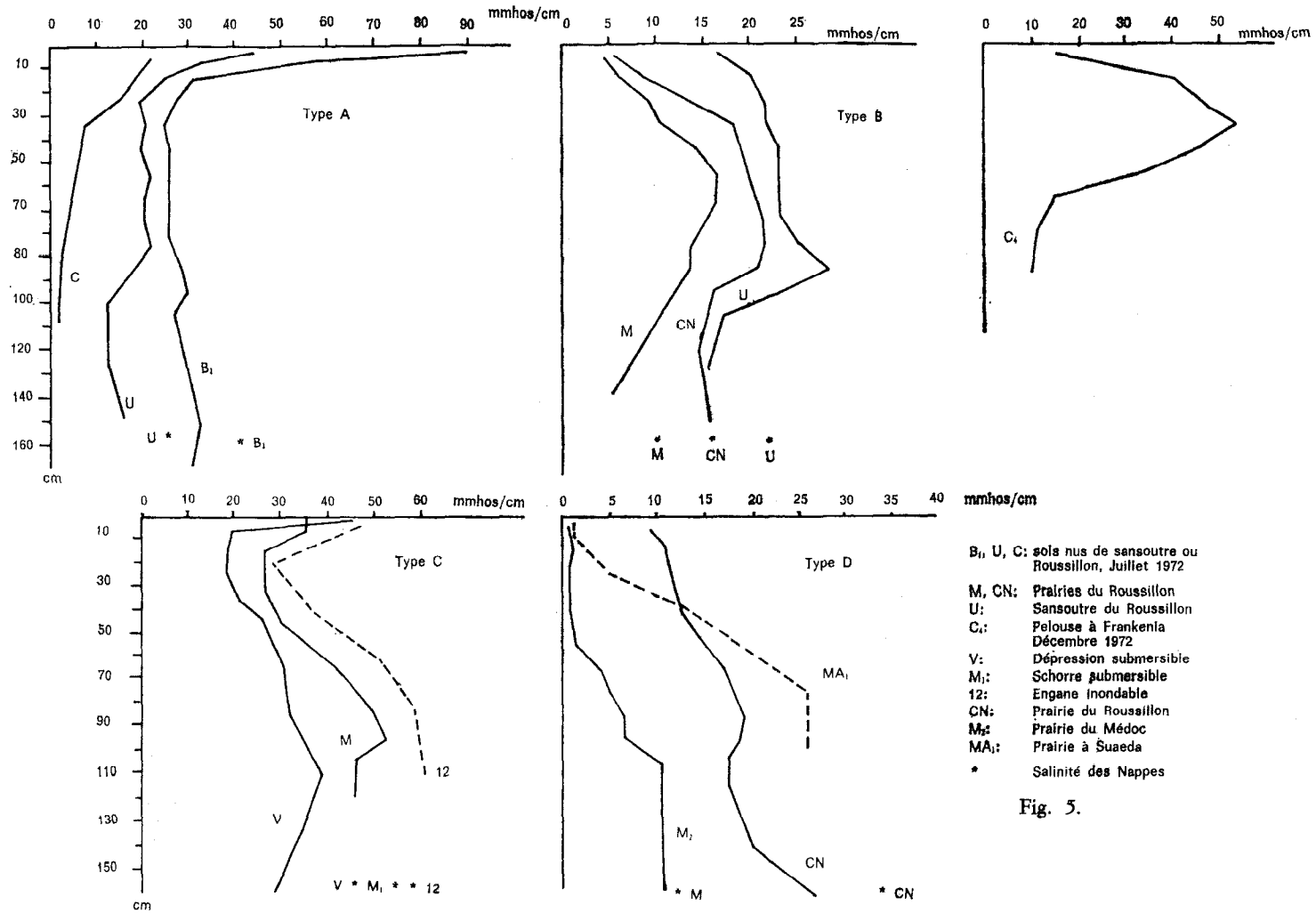


Fig. 5.

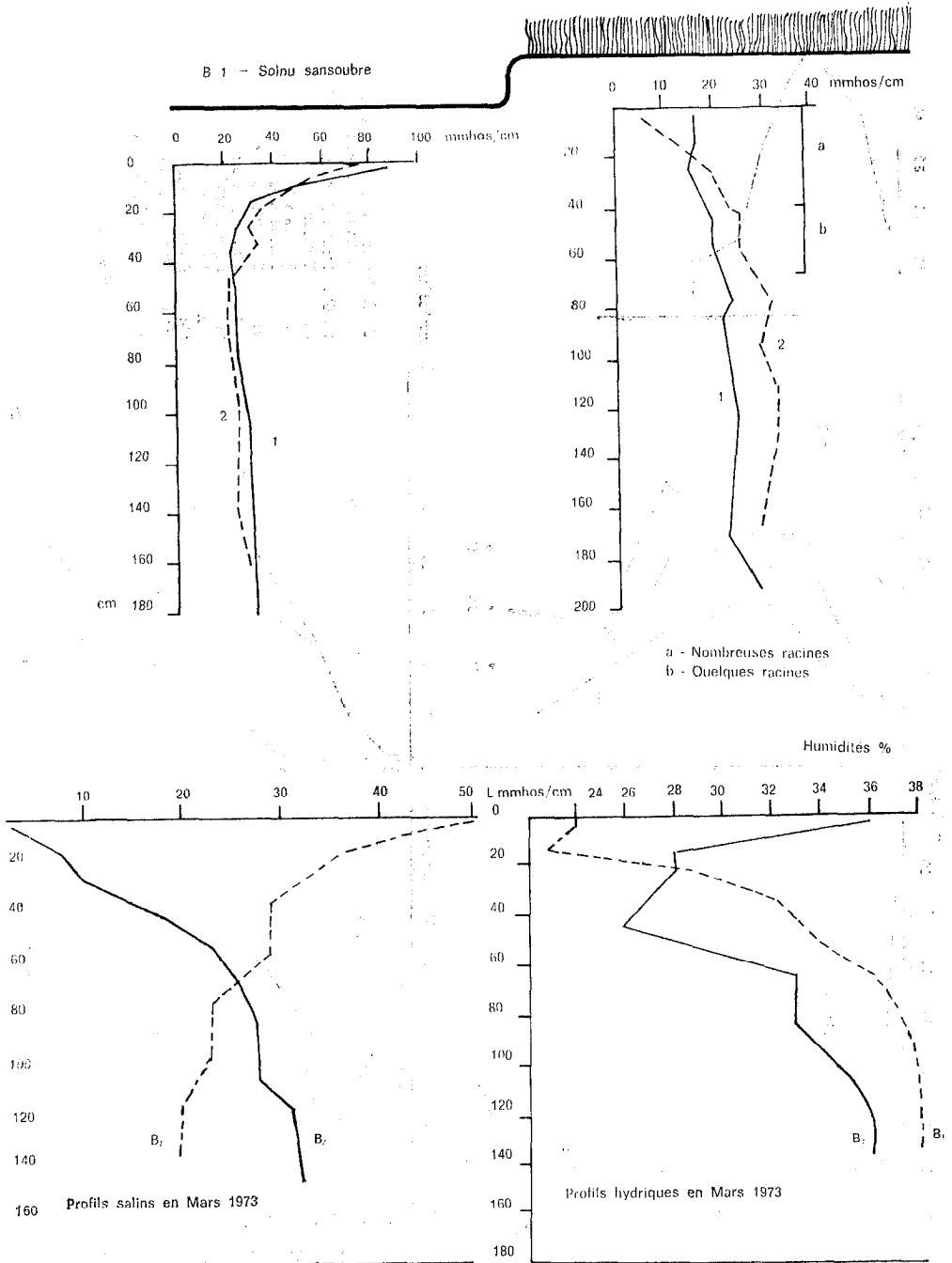


Fig. 6 - Profils salins comparés pour deux stations voisines dans la région du Bourdigou (Roussillon).  
1 Juillet 1972 - 2 Décembre 1972

b) Bien que possédant la même texture limoneuse, le sol de pelouse présente un caractère moins tassé, plus riche en matière organique et mieux structuré que le sol nu. Ces propriétés ralentissent la remontée des sels.

c) Le départ d'eau générateur de l'accumulation saline est localisé dans le cas du sol nu alors qu'il intéresse l'ensemble de la tranche de sol colonisée par les racines dans le cas de la pelouse, ce qui élimine toute accumulation saline concentrée en surface. En d'autres termes, sous pelouse, le départ d'eau n'implique pas un transfert ascendant des sels.

L'opposition entre les formes A et D apparaît très clairement sur le graphique de printemps. Les profils hydriques vérifient le fait que le sol nu est plus desséché en surface et plus humide en profondeur que le sol de pelouse.

— Le profil salin de type B apparaît comme une forme de désalinisation dérivant d'autres types après les pluies d'hiver (cf. fig. 7):

- il dérive d'une forme A dans le cas de la station U
- il dérive d'une forme D dans le cas de la station CN.

De ce fait, on peut le trouver en hiver, aussi bien sous sol nu que sous pelouse halophile.

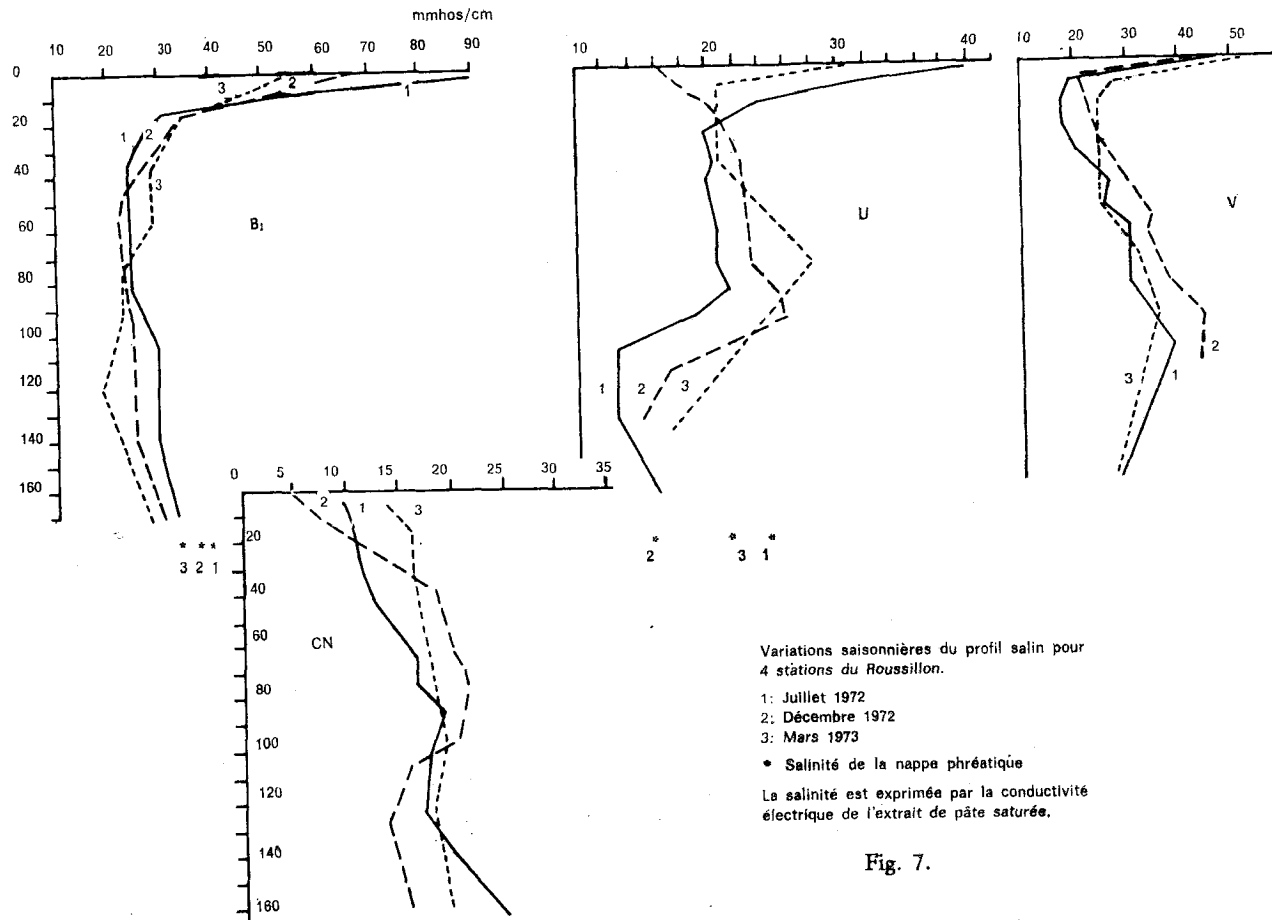
— Quant au profil salin de type C, je l'interprète comme traduisant la reprise d'une salinisation ascendante après une phase de désalinisation du sol nu. Il y a alors passage d'une forme B vers une forme C. La forme C peut évoluer à son tour vers une forme A par comblement du minimum sub-superficiel.

3) *L'étude* de la distribution des anions majeurs constitue un indice intéressant pour fixer le sens du transfert des sels dans le sol.

C'est ainsi qu'en étudiant les variations du rapport  $Cl/SO_4$  dans le profil, à deux saisons de l'année (été et hiver), on constate, que par rapport aux valeurs d'été, le paramètre  $Cl/SO_4$  diminue dans les horizons supérieurs appauvris en sels et augmente dans les horizons profonds enrichis en sels. Ce fait traduit la plus grande mobilité de l'ion  $Cl^-$  par rapport à  $SO_4^{=}$ .

L'étude des variations du rapport  $Cl/SO_4$  dans le profil permet donc de préciser le sens du transfert des sels, celui-ci se produisant des valeurs les plus basses vers les valeurs les plus hautes du paramètre.

4) *L'interprétation* de la distribution des cations majeurs en termes de transfert est plus délicate que celle des anions car il faut alors faire intervenir les interactions entre le matériau et la solution saline, échanges qui modifient considérablement la composition cationique de la solution au cours du transfert; ce point sera abordé dans la prochaine partie de la note.



Variations saisonnières du profil salin pour 4 stations du Roussillon.

- 1: Juillet 1972
- 2: Décembre 1972
- 3: Mars 1973

• Salinité de la nappe phréatique

La salinité est exprimée par la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée.

Fig. 7.

## B - LES INTERACTIONS ENTRE LA PHASE SALINE ET LE MATERIEL ALLUVIAL.

Au cours des processus de transfert et de stockage des sels dans le profil, deux types d'interactions entre la phase saline et le matériau pédologique peuvent être considérés :

— interactions chimiques et physico-chimiques se traduisant par des modifications de la composition cationique dans le sol et dans la solution du sol et donnant naissance à des différenciations du profil des sels,

— interactions physiques et plus spécifiquement mécaniques entre la phase saline cristallisée et le matériau pédologique.

1) *Les interactions chimiques et physico-chimiques.*

11. Le phénomène dominant est constitué par l'échange des cations entre la solution saline sodique et les minéraux argileux.

Au cours de cet échange, le complexe absorbant du sol s'enrichit en Na (phénomène de sodisation du complexe) et les cations libérés ( $\text{Ca}^{++}$ ) passent en solution.

Le phénomène de sodisation est réglé par la composition cationique de la solution saline imprégnant le sol. Le paramètre S.A.R. dérivé de l'équation de Gapon et appliqué à l'extrait de pâte saturée apparaît intéressant pour décrire ce phénomène.

J'ai en effet trouvé (fig. 8) une bonne corrélation entre les valeurs de ce paramètre déterminé dans les extraits de pâte saturée et les valeurs du taux de sodium échangeable déterminés par méthode spécifique.

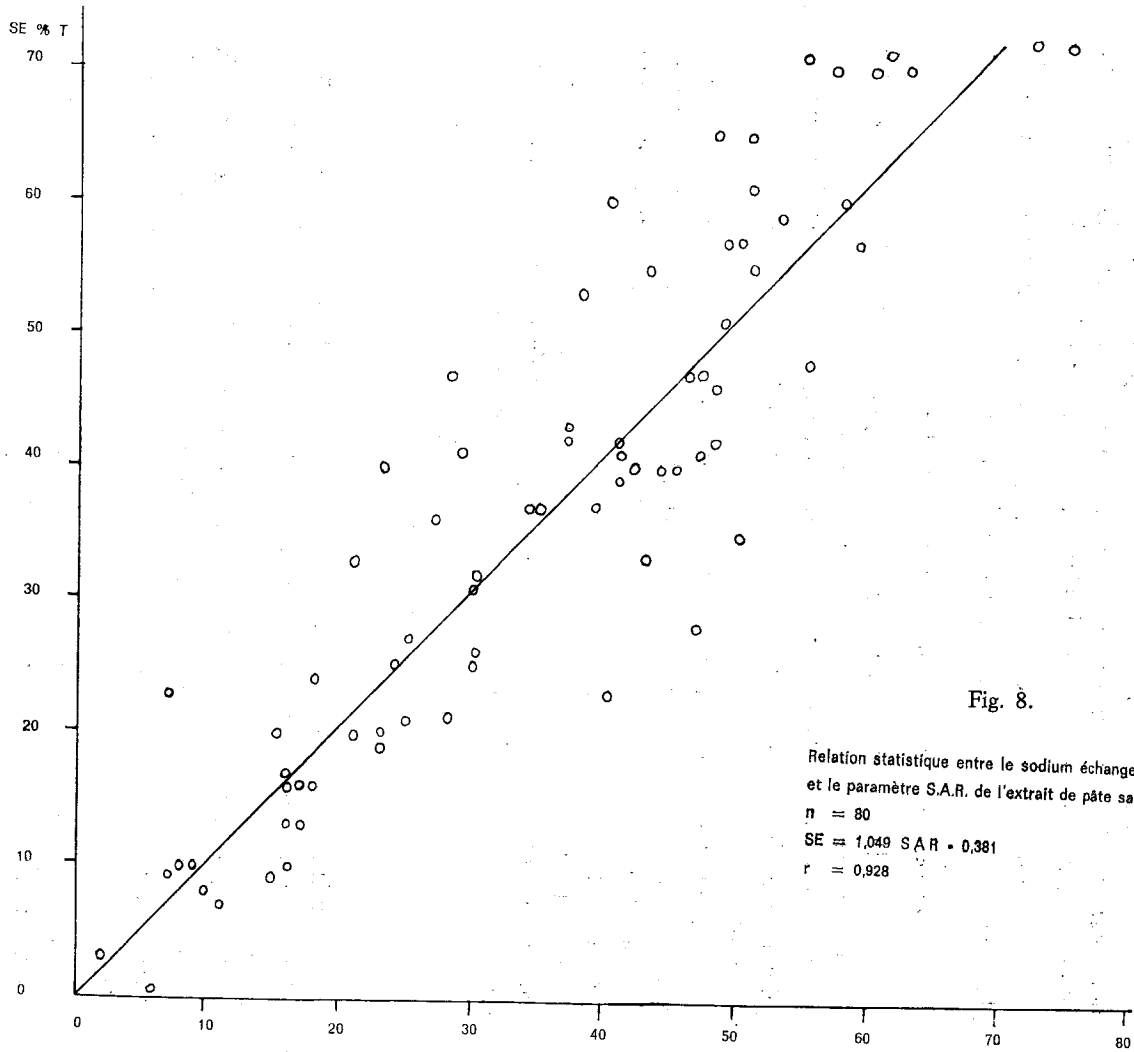
$$\begin{aligned} \text{S.E. (\% de T)} &= 1,049 \text{ S.A.R.} - 0,381 \\ n &= 80 \\ r &= 0,928 \end{aligned}$$

De même qu'il a été procédé à l'étude des variations saisonnières de la salinité, celle intéressant les variations saisonnières de la sodicité a été entreprise.

L'analyse de ces données montre que les valeurs de la sodicité sont très élevées dans les sols salés des basses plaines littorales, le taux de sodium échangeable étant supérieur à 25 % de T sur l'ensemble du profil, à toutes les saisons.

12. Dans la solution du sol, le phénomène de sodisation se traduit par l'apparition d'ions  $\text{Ca}^{++}$ , issus de l'échange et la tendance générale constatée est l'augmentation du taux de calcium soluble dans les horizons de surface.

Ce phénomène est particulièrement bien net dans les sols qui ne renferment pas ou peu de sulfates: sols caractérisés par des valeurs élevées du rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$ .



Dans les sols qui renferment du gypse et qui possèdent de faibles valeurs de  $\text{Cl}/\text{SO}_4$ , ce phénomène n'apparaît pas car le gypse est mal dissous dans l'extrait aqueux de sol. Cependant, si l'on procède à un dosage spécifique du gypse; et si l'on intègre ces données dans l'inventaire ionique, on retrouve une augmentation du taux de calcium en surface ainsi d'ailleurs qu'un autre maximum en profondeur.

### 13. Profil des sels.

Partant de la composition anionique et cationique des solutions salines, il apparaît intéressant de combiner ces ions en termes d'espèces salines pour constituer le profil des sels entre la nappe phréatique source de la salinité et la surface du sol.

Pour ce faire, la démarche utilisée consiste à former successivement les sels qui précipiteront par cristallisation de la saumure à 25 °C.

La séquence hypothétique de formation des sels est la suivante:



Dans certaines conditions (richesse du milieu en  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{=}$ ), on pourra également former  $\text{Na HCO}_3$  et  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ .

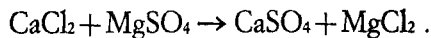
Cette méthode permet de mettre en évidence les différenciations salines apparaissant dans le profil.

Trois cas principaux ont été séparés:

*1er cas:* (fig. 9).

Dans un milieu fortement salé, à valeur élevée du rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  (pauvreté en ions  $\text{SO}_4^{=}$ ), le calcium issu de l'échange des cations apparaît sous forme de  $\text{CaCl}_2$  très soluble. L'accumulation saline superficielle renferme alors trois chlorures ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Mg Cl}_2$ ,  $\text{Ca Cl}_2$ ), le premier étant dominant.

Il est d'autre part intéressant de noter que la disparition de  $\text{MgSO}_4$  et l'apparition du gypse dans la partie supérieure du profil correspond à une réaction du type:



L'accumulation de chlorures alcalino-terreux hygroscopiques confère à l'horizon superficiel du sol un faciès humide et foncé.

Ce faciès apparaît également quand on examine les cristallisats d'extraits aqueux au microscope polarisant.

*2ème cas:* (fig. 10).

Dans un milieu fortement salé, à faible valeur de  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  (richesse en ions  $\text{SO}_4^{=}$ ), le calcium issu de l'échange participe à la formation du gypse.

## INVENTAIRE DES IONS (me/l)

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl/SO <sub>4</sub>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca % de la somme des cations
0-3	1640	32	20	51	976	398	320	24
3-10	365	30	12	12,3	280	70	55	17
10-20	287	28	12	10,3	230	48	47	15
30-40	288	30	10	9,7	268	19	41	6
50-60	310	30	10	10,3	310	11	30	3
70-80	325	29	12	11,2	320	10	29	2,5
90-100	380	34	10	11,2	370	11	40	2
110-130	425	32	10	13,4	424	10	42	1,5
Nappe	770	42	20	14,8	700	24	116	2,8

## ESPECES SALINES CHIMIQUES

Profondeur cm	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
0-3	20	32	976	0	0	320	345
3-10	12	30	280	0	0	55	28
10-20	12	28	230	0	0	47	8
30-40	10	9	268	0	21	20	0
50-60	10	1	310	0	28	0	0
70-80	10	0	320	0	29	tr.	0
90-100	10	0	370	0	34	5	0
110-130	10	0	424	0	32	tr.	0
Nappe	20	4	700	0	46	70	0

Fig. 9 - L'apparition et l'accumulation superficielle de CaCl<sub>2</sub> (station V, mars 1973).



## INVENTAIRE DES IONS (me/1)

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub>	Cl/SO <sub>4</sub>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Gypse
0-3	1860	541	20	4,0	1880	122	408	++
3-10	890	351	15	4,9	896	207	146	+++
10-20	540	172	12	4,4	565	90	66	+
30-40	325	90	10	3,9	360	27	43	
50-60	330	97	8	3,4	360	24	50	
70-80	215	90	8	2,4	250	21	33	
90-100	212	135	10	2,2	250	67	31	++
110-130	162	82	8	1,9	200	25	28	
Nappe	375	93	15	4,0	380	34	67	

## ESPECES SALINES CHIMIQUES

Profondeur cm	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
0-3	20	102	1860	20	408	0	0
3-10	15	182	890	6	146	0	0
10-20	12	78	540	15	165	0	0
30-40	10	17	325	35	32	0	0
50-60	8	16	330	30	50	0	0
70-80	8	13	215	45	32	0	0
90-100	10	57	212	38	20	0	0
110-130	8	17	162	38	27	0	0
Nappe	15	17	375	5	67	0	0

Fig. 10 - L'accumulation sulfatée des alcalino-terreux (station B<sub>1</sub>, mars 1973).

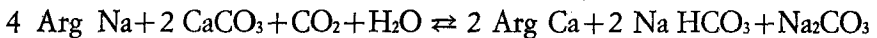
$MgCl_2$  et  $CaCl_2$  sont absents. On note un seul chlorure ( $NaCl$ ) et différents sulfates. Les principaux sels sont confirmés par l'étude des cristallisats d'extraits aqueux au microscope polarisant. Les cristaux de gypse sont facilement mis en évidence par l'examen des plaques minces de sols.

Ces deux premiers cas correspondent à des différenciations salines de la série neutre.

3<sup>ème</sup> cas: (fig. 11).

Il correspond à un stade de la différenciation saline qui se manifeste par l'apparition de sels alcalins de sodium en quantités dosables ( $NaHCO_3$  et  $Na_2CO_3$ ). Ce stade correspond au processus d'alcalisation des sols. On note que le calcium ne participe qu'à la formation de  $CaCO_3$  et n'entre pas dans la composition d'autres sels solubles.

L'apparition des sels alcalins procède d'une hydrolyse du complexe sodique selon la réaction suivante exprimée par BOWER:



14. Dans les deux premiers cas, en présence de sels neutres, les sols se classent comme des sols salins ou solontchaks à complexe sodique qui possèdent:

- un haut niveau de salinité,
- un profil pédologique peu différencié,
- une structure fragmentaire sous l'effet floculant des sels neutres,
- un pH qui n'excède pas 8,5 dans la pâte et 8,8 dans le rapport 1/2,5.

Dans le troisième cas, les sols sont du type salé à alcali et possèdent une structure massive et dégradée avec présence, dans certains cas, d'un horizon (B) structural, prismatico-columnaire. Dans ces sols, le pH est très élevé et peut voisiner 10.

2) *Les interactions physiques entre les cristallisations salines et le matériel alluvial. Deux exemples seront présentés.*

a - Influence des accumulations de chlorures dans la genèse d'une structure poudreuse à la surface de certains sols salés (cf. fig. 12).

J'ai observé sur le terrain, en Languedoc-Roussillon, l'existence de sols salés à structure poudreuse pseudosableuse passant latéralement à des sols dont la structure est lamellaire. Selon le cas, l'horizon superficiel poudreux est épais de 5 à 8 cm.

Le passage latéral entre les zones à structure poudreuse et celles à structure lamellaire s'effectue sur quelques dizaines de centimètres et les zones poudreuses correspondent aux points les plus hauts du terrain.

## INVENTAIRE DES IONS (me/l)

Profondeur cm	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
0-5	310	151	27	12	500	8	2
5-35	170	49	13	10	244	4	3
35-60	131	41	6	tr.	164	3	6
60-100	41	9	3	0	35	10	6

## ESPECES SALINES CHIMIQUES

Profondeur cm	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaCl	HCO <sub>3</sub> Na	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>
0-5	8	0	310	19	12	150	2	0	0
5-35	4	0	170	9	10	46	3	0	0
35-60	3	0	131	3	tr.	34	6	0	0
60-100	3	9	32	0	0	0	0	6	0

Fig. 11 - L'apparition du bicarbonate et du carbonate de sodium.

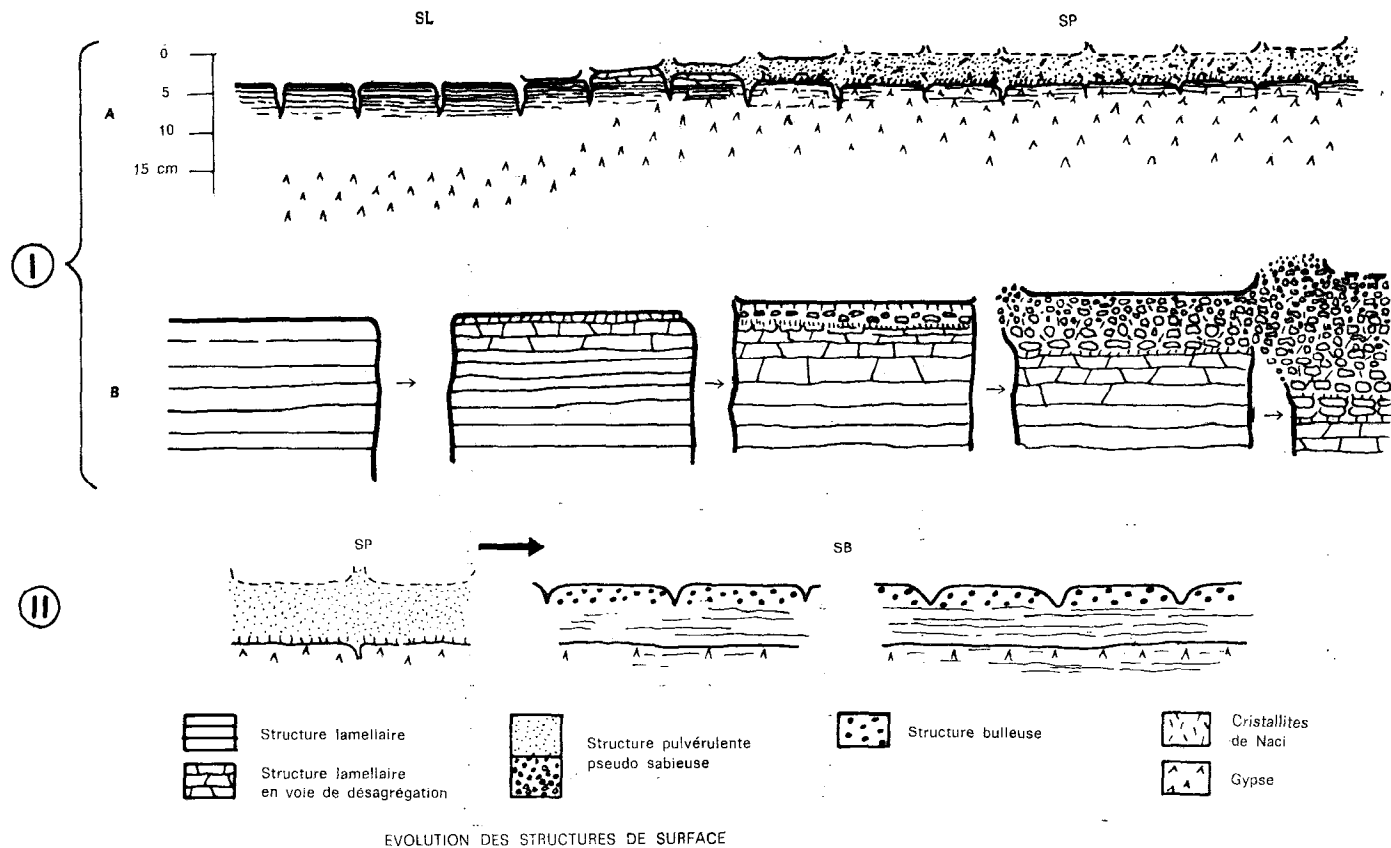


Fig. 12.

- I** Schéma du passage latéral de la structure lamellaire (SL) à la structure poudreuse (SP) pendant la saison sèche  
A: Vue d'ensemble B: Détail
- II** Après les pluies d'hiver reprise en masse de la poudre: structure bulleuse (SB) et érosion de la bordure des fentes conduisant à un pavage arrondi.

L'étude du profil salin montre que les zones poudreuses sont les plus riches en sels et que Na Cl y est le sel dominant.

L'étude microscopique montre que la structure poudreuse pseudosableuse est envahie par des cristallites allongées de NaCl qui soulèvent des particules de sol. Ces observations conduisent donc à considérer la structure poudreuse comme le résultat du démantèlement d'une structure lamellaire préexistante sous l'influence de la croissance des cristallites allongées de NaCl.

Les structures poudreuses n'ont été observées qu'au cours de la saison sèche. En hiver, sous l'effet des pluies, il y a effondrement de la poudre, reprise en masse et genèse d'une structure bulleuse.

Le phénomène a pu être expérimentalement reproduit au laboratoire (J. SERVANT - 1974).

#### b - Influence des cristallisations gypseuses.

L'invasion du gypse dans le matériau alluvial, provoque une division de la matière terreuse et une dilution de celle-ci au sein de la masse gypseuse.

Un autre aspect est celui présenté par les vides tubulaires d'un matériel limoneux envahi par le gypse. On assiste, sur la périphérie du vide, à une pédocompaction sous l'influence de la pression de cristallisation. Cette pédocompaction se traduit par un réarrangement des limons sur la bordure du vide.

### BIBLIOGRAPHIE

- SERVANT J., 1974 - *Sur le rôle des cristaux de Na Cl dans la genèse d'une structure poudreuse à la surface de certains sols salés*. C.R. Acad. Sc. Paris 278: 589-591.
- SERVANT J., 1975 - *Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France*. Thèse Doctorat d'Etat. Université de Montpellier (2 tomes).