

# LES PRINCIPAUX FACIES SALINS ET LEUR EXPRESSION DANS LES SOLS DES REGIONS CHAUDES

Jean Yves Loyer  
José Luis González Barrios  
Jean Olivier Job

## Résumé

Les phénomènes de concentration dans les eaux et de remontées capillaires dans les sols, favorisent l'expression des sels solubles à la surface des sols naturels ou cultivés des régions chaudes. Ces sels subissent des évolutions, en particulier, sous l'influence des pratiques hydro-agricoles, qui peuvent induire une dynamique rapide de ces systèmes très évolutifs dans l'espace et dans le temps. La nature anionique des sels précipités ou susceptibles de se former à partir de la solution du sol est proposée comme critère pour différencier ces manifestations évaporitiques selon six faciès salins principaux : 1. Chloruré acide à très acide, 2. Chloruro-sulfaté neutre; 3. Sulfaté neutre; 4. Sulfaté acide; 5. Carbonato-sulfaté alcalin; 6. Carbonaté basique. Des exemples de ces faciès, identifiés dans divers pays arides sont montrés et une présentation en diagramme triangulaire est proposée.

## Resumen

Los fenómenos de concentración en las aguas y de ascenso capilar en los suelos favorecen la expresión de sales solubles en la superficie de los suelos naturales o cultivados de las regiones cálidas. Esas sales sufren evoluciones, particularmente bajo la influencia de prácticas hidro-agrícolas que pueden inducir una dinámica rápida de estos sistemas muy evolutivos en el espacio y en el tiempo. La naturaleza aniónica de las sales precipitadas o susceptibles de formarse a partir de la solución del suelo, es propuesta como criterio para diferenciar esas manifestaciones evaporíticas según seis facies salinas principales : 1. Cloruro ácida a muy ácida; 2. Cloruro-sulfatada neutra; 3. Sulfato neutra; 4. Sulfato ácida; 5. Carbonato-sulfato alcalina; 6. Carbonato básica. Se propone una presentación en diagrama triangular de esas facies y se muestran ejemplos, de ellas, identificados en diversas regiones áridas del mundo.

## Summary

Under tropical or mediterranean conditions, evaporation of soil water or soil solution, may lead to salt precipitations at the surface of natural or irrigated soils. All systems leading to surface evaporation of salts, are liable to rapid evolution mainly due to cultural practices.

A differentiation based on anionic concentration of surface deposits consisting of six different classes is proposed : 1. Soils with chloride and acid or very acid pH; 2. Soils with chloride, sulfate, and neutral pH; 3. Soils with sulfate and neutral pH; 4. Soils with sulfate and acid pH; 5. Soils with carbonate, sulfate and alkaline pH; 6. Soils with carbonate and basic pH. Data taken from examples in various arid countries are given. A triangular diagram is proposed.

### Introduction

A des degrés divers, 323 millions d'hectares de sols sont affectés par les sels sur la planète (Beck *et al.*, 1980), dont 20 à 25 millions d'hectares par influence anthropique (FAO). Répartis depuis les marais et deltas littoraux, jusqu'à 4 000 m d'altitude dans les plateaux andins, ce sont essentiellement les régions chaudes, arides, semi-arides, tropicales ou méditerranéennes qui sont touchées en raison d'un bilan évaporatoire positif toute ou partie de l'année, par rapport à des apports hydriques faibles. Ceci induit un drainage climatique déficitaire, des écoulements endoréïques, accompagnés de phénomènes de confinement et de concentration dans les eaux superficielles. Au niveau des sols, les importantes remontées capillaires qui s'y manifestent, conduisent à privilégier dans ces régions les processus ascendants et les accumulations salines de surface.

Les échelles de temps de ces phénomènes, qui en régime naturel sont de quelques dizaines de milliers d'années (B.P.) en relation avec les cycles climatiques quaternaires, deviennent très rapides (quelques années à quelques centaines d'années) sous intervention humaine (salinité dite secondaire). La conduite d'une irrigation répétitive essentiellement avec absence de drainage, soit après utilisation d'eaux de médiocre qualité, soit sans contrôle de la nappe phréatique, en est la cause la plus fréquente (Delta central du Niger en 25 ans, Aubert, 1977; N'Diaye, 1987), ou vallée de l'Euphrate et Mésopotamie en quelques siècles (Jacobsen, 1982).

### Critères de différenciation des sols salins

Les critères de différenciation des sols salins ne sont pas évidents pour le pédologue dont l'objet de préoccupation est composé d'au moins deux phases en présence, l'une liquide, l'autre solide, et entre lesquelles des échanges continus se manifestent :

- La simple réalisation d'un extrait aqueux de sol pour en extraire une solution représentative (extrait saturé normalisé) est déjà un artefact par rapport à la solution réelle existant dans le sol.

- Pour ces raisons, l'exploitation de données géochimiques telles que l'activité ionique, ou le produit d'activité, si elle est devenue plus facilement accessible, n'est pas totalement satisfaisante même si ces données représentent des notions plus efficaces que la seule expression de la concentration des solutions.

- L'observation, ou mieux l'analyse minéralogique fine de la phase solide du sol permet aussi de déterminer la présence ou l'absence d'une paragenèse ou d'un sel. Elle peut être employée pour différencier des types salins, mais elle n'est que représentative d'un équilibre des deux phases à un moment donné de leur histoire, sans relation obligatoire avec la dynamique actuelle du milieu.

- Dans le cas de cette étude nous avons utilisé les deux critères, géochimiques (Coll. F. Sondag, ORSTOM-Bondy) et minéralogiques : "Bilion" (JOB *et al.*, 1986) est par exemple un programme de calcul des bilans ioniques des différentes solutions du sol (extraits aqueux et eaux de nappes), qui permet d'interpréter les analyses chimiques des éléments majeurs en donnant les concentrations des ions libres et leurs activités, les concentrations en ions appariés et la force ionique de la solution, à partir d'une composition saline de départ (cf. tableau 5). Il permet ainsi de calculer le produit des activités de différents ions dans une solution et de le comparer au produit de solubilité de chaque minéral (test de saturation).

L'analyse par diffractométrie des rayons X a également été utilisée pour déterminer la nature des diverses espèces minérales reconnues à la surface des sols (poudres, croûtes, cristaux, efflorescences) (Coll. Mme G. Millot, ORSTOM-Bondy).

Par ailleurs, n'ont été considérés comme "salins" selon les normes de l'International Society of Soil Science (IRB, Loyer, 1989), que les sols contenant des sels plus solubles que le gypse et le calcaire, c'est-à-dire toute la série des sels minéraux évaporitiques dont le produit de solubilité exprimé en  $\log K$  à 25 °C, est supérieur à 4,85. Le tableau ci-joint exprime la solubilité de quelques sels minéraux purs concernés (Tableau 1). Celle-ci peut être modifiée par une plus ou moins forte hydratation ou par des mélanges de sels selon les solubilités des sels correspondants. A ce titre, ni les sols uniquement calcaires ou uniquement gypseux, ni les sols uniquement à jarosite, n'ont été pris en compte dans la série saline au sens pédologique. D'autres anions, phosphates et nitrates en particulier, bien que très solubles dans l'eau (880 g/l pour  $\text{NaNO}_3$  à 20 °C), et très mobiles dans les sols, ne sont pas non plus pris en considération parmi les sols salins.

TABLEAU 1  
 PRODUITS DE SOLUBILITE DE QUELQUES SELS MINERAUX EVAPORITTIQUES  
 (LOG K 25°C) (D'APRES AL DROUBI, FRITZ, RISACHER, VAN BREEMEN, WOOD)

Jarosite	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	- 24.89
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	- 17.02 (0,38 g/l. 20°C)
Calcite	$CaCO_3$	- 8,4
Magnesite	$MgCO_3$	- 8.0
Gypse	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	- 4.85 (2,00 g/l. 20°C)
Blödite	$Na_2Mg(SO_4)_2$	- 2.35
Epsomite	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	- 2.13
Arcanite	$K_2SO_4$	- 1.78 (109 g/l. 20°C)
Mirabilite	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	- 1.5
Trona	$Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$	- 1.3
Natron	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	- 1.1
Thenardite	$Na_2SO_4$	- 0.86 (209 g/l. 20°C)
Nahcolite	$NaHCO_3$	- 0.54
Thermonatrite	$Na_2CO_3 \cdot H_2O$	- 0,010
Sylvite	KCl	+ 0.78 (350 g/l. 20°C)
Halite	NaCl	+ 1.58 (360 g/l. 20°C)
-	$MgSO_4$	+ 4.27
Hydrophilite	$CaCl_2$	+ 11.49 (427 g/l. 20°C)
Chloromagnesite	$MgCl_2$	+ 22 (640 g/l. 20°C)

Parmi les cations majeurs, le sodium est le plus largement représenté dans ces solutions relativement au calcium, magnésium et potassium. Sa présence en grande quantité sous forme soluble, entraîne obligatoirement la fixation d'une certaine proportion de celui-ci sous forme échangeable sur le complexe adsorbant du sol mais la structure des agrégats reste stable et floculée tant que la solution du sol est salée, contrairement aux sols de la série alcaline.

En outre, les normes de concentration minimale admises pour considérer un sol comme salin n'ont pas été abordées ici, sachant qu'elles sont variables selon les pays, et aussi selon la nature des sels dominants (8 à 15 mS/cm de conductivité électrique sur l'extrait de pâte saturée). La relation de ce paramètre avec la concentration totale en sels d'une solution est bonne, exprimée en poids ou en mé/l, mais elle est variable selon les espèces minérales et selon les différents mélanges de ces sels. Elle doit donc être établie pour chaque grande unité géographique, comme par exemple la courbe moyenne réalisée pour les sols de la partie ouest des Etats Unis par le laboratoire de Riverside (USSR, 1954).

Selon l'extrait aqueux utilisé, les proportions des différents ions solubilisés sont variables, et doivent être mesurées pour chaque rapport sol-solution et pour chaque grande région considérée (Podwojewski et Petard, 1988, en Nouvelle-Calédonie; Le Brusq et Loyer, 1982; Fleuve Sénégal).

### **Principales manifestations salines dans les sols**

En régions chaudes à longue saison sèche, de fortes concentrations salines s'expriment à la surface des sols sous des formes diverses (poudres, croûtes, efflorescences), plus ou moins continues. Elles subissent du fait de la mobilité des sels, de fortes variations spatiales et temporelles dans leurs manifestations, soit saisonnières, soit même journalières. Il est difficile de considérer ces précipitations salines isolément, car elles appartiennent à des séquences géochimiques continues, verticales ou latérales, et les classifications monospécifiques aboutissent obligatoirement à des recouvrements (Fitzpatrick, 1980).

Néanmoins, en relation avec quatre facteurs d'évolution tels que le milieu biogéochimique, le climat et en particulier l'aridité, la texture du sol, la profondeur de la nappe, et selon trois grandes voies géochimiques (acide, neutre ou alcaline), nous avons distingué six faciès salins dans les sols des régions chaudes, représentés sur le diagramme triangulaire de la figure 1 (Loyer, 1989).

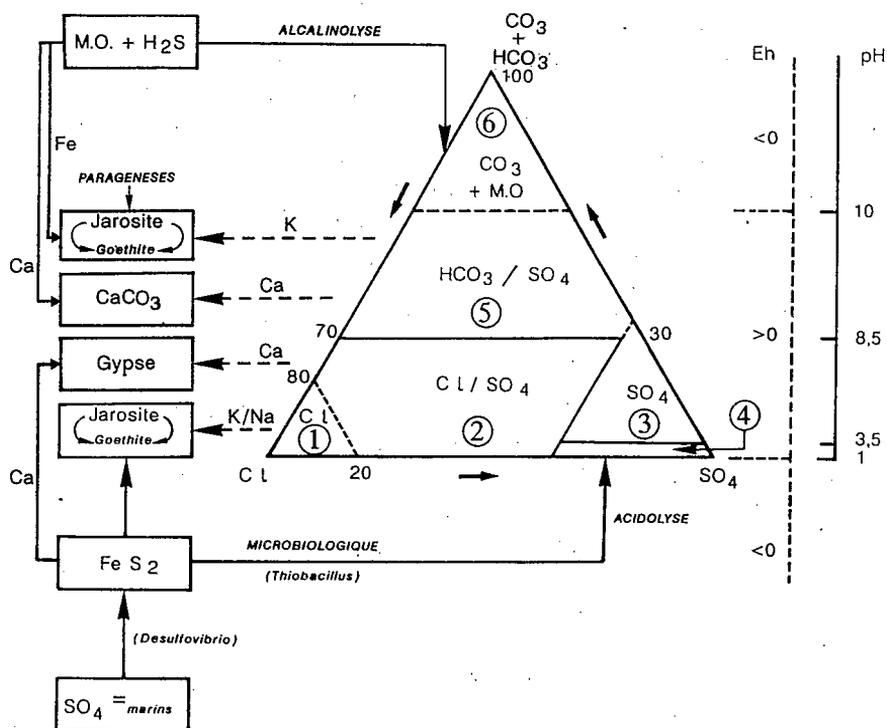


Fig. 1. Principaux faciès salins des sols.

- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 - Chlorurée acide à très acide | 4 - Sulfaté acide             |
| 2 - Chloruro-sulfaté neutre      | 5 - Carbonato-sulfaté alcalin |
| 3 - Sulfaté neutre               | 6 - Bicarbonaté basique       |

1. *Le faciès salin chloruré.*

Acide à très acide, car influencé par la mangrove (présence de jarosite métastable et de goethite) : pH 5 à 3.

Origine marine stricte, parfois agronomique (apport d'engrais KCl).

$\text{Cl} \gg \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$

$\text{Na} \gg \text{Ca}$  généralement, et NaCl dominant, sauf dans les horizons superficiels où des sels très hygroscopiques précipitent ( $\text{CaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$ ) en fin de séquence verticale. Ils se manifestent par de très fortes variations saisonnières des états de surface : poudres brunes pulvérulentes sensibles à la déflation éolienne (nebkas, dunes, lunettes), ou croûtes salines blanches.

Exemples : Delta du fleuve Sénégal, Basse Vallée de la Gambie; Sine Saloum, Casamance au Sénégal (cf. tableau 2).

TABLEAU 2  
FACIES SALIN CHLORURE (CASAMANCE, SENEGAL)  
(J.Y. LE BRUSQ *et al.*, 1987)

K60 Profondeur (cm)	Extrait 1/5 - Sels solubles - méq/l - Av. 1985							E 1/5	pH Extrait 1/2,5
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	Conduct. mS/cm	Extr. eau
0-5	4,3	35	162	3,1	180	29	5,3	19,5	5,1
5-26	3,5	34	164	2,3	186	18,5	3,9	19,5	3,5
26-90	3,8	28	169	2,8	191	17	3,3	20,5	3,4
90-110	2,6	15,5	79	1,6	91	15,8	3	11	3,1

## 2. Le faciès salin chloruro-sulfaté.

Neutre.

Les solutions chlorurées sont affectées par la présence de gypse d'origine sédimentaire dans le milieu, redistribué par les eaux superficielles ou souterraines.

$\text{SO}_4$  et  $\text{Cl} > \text{HCO}_3$ .

Na, Ca et Mg variables.

Salant blanc à  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{MgSO}_4$ .

Exemples : Vallée de l'Euphrate en Syrie et Irak, Laguna de Mapimi au Mexique, sols magnésiens de Nouvelle Calédonie (Podwojewski et Petard, 1988), Chott Djerid, Basse Medjerdah en Tunisie, Marismas du Guadalquivir en Espagne (cf tableau 3).

TABLEAU 3  
FACIES SALIN CHLORURO-SULFATE (LAGUNA DE MAPIMI, MEXIQUE)

LAG 18	Croûte saline - Extrait aqueux 1/500 - mé/l											
Surface	CE mS/cm	Ca	Mg	Na	K	$\Sigma^+$	$\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$	$\Sigma^-$	pH
	3.68	0,15	0,09	31.1	0.03	31.4	-	-	27.7	4.5	32.2	5.06
LAG 16	Sol - Extrait de pâte saturée - mé/l											
10-50 cm	80.9	33.0	10.8	1044	2.5	1171	-	52.9	720.2	295.0	1068	7.06
LAG 33	Nappe - mé/l											
	220.0	22.5	133.0	3103	0.6	3267	-	2.7	2113	688	2804	7.4

### 3. Le faciès salin sulfaté.

Neutre.

Origine continentale.

$SO_4 \gg HCO_3 > Cl$ .

$Na \gg Ca$ .

Expression des sels en surface sous forme de Thénardite et Mirabilite.

Salant blanc pulvérulent.

Exemples : Région Lagunera (Mexique), moyenne vallée du fleuve Sénégal (cf. Tableaux 4 et 5).

TABLEAU 4  
FACIES SALIN SULFATE NEUTRE (REGION LAGUNERA, MEXIQUE)

L 45	Croûte saline : Thénardite - Extrait aqueux 1/500 - mé/l - Fév. 1989												
	CE mS/cm	Ca	Mg	Na	K	$\Sigma^+$	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	$\Sigma^-$	pH	
Surface	2.66	0.50	0.18	24.1	0.02	24.8	-	0.23	0.1	25.2	25.5	6.65	
L 50	Sol - Extrait de pâte saturée - mé/l												
10-50 cm	39.7	21.0	28.6	522.0	23.4	595.0	-	5.0	45.6	462.0	512.6	8.17	
L 6	Eau de nappe - mé/l												
70 cm	11.07	11.7	8.5	123.9	0.5	144.6	-	8.1	10.4	142.7	161.2	7.8	

TABLEAU 5  
APPLICATION DU PROGRAMME "BILLION" AU SOL SULFATE  
DE LA REGION LAGUNERA (MEXIQUE) (TABL. 4)

Echantillon N° 45										
Force ionique : I[N-1] = 0.034 I[N] = 0.034										
Conc init :	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
(me/l) :	0.49	0.18	24.10	0.02	0.23	25.20	0.23	0.00	0.00	6.6
Ions lib. :	0.33	0.13	23.30	0.02	0.23	22.13	0.21	0.00	0.00	
Sels simp. :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
(corrigs) :	0.23	0.49	0.18	24.08	0.00	0.00	0.00			
:	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
:	0.00	0.22	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00			
Activits :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
(nbre) :	0.08	0.03	19.61	0.02	0.19	5.36	0.17	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
:	0.00	0.09	0.00	0.00	0.03	0.00	1.21	0.02	0.0	
EC (ds/cm) :	ECmin= 2.64	ECexp= 2.66	ECmax= 2.75	ECpol= 2.65	EClim= 3.15					
:	Σ+= 24.79	CO= 25.22	Σ-= 25.66	SO= 23.77	S*= 0.13					
Echantillon N° 50										
Force ionique : I[N-1] = 0.561 I[N] = 0.574										
Conc init :	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
(me/l) :	21.00	28.60	522.00	23.40	45.60	462.00	5.00	0.00	0.00	8.2
Ions lib. :	9.85	15.30	398.27	19.31	49.22	303.56	2.66	0.00	0.00	
Sels simp. :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
(corrigs) :	47.31	19.35	26.35	433.61	0.00	0.00	0.20			
:	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
:	0.27	4.93	0.00	1.96	19.82	0.00	0.00			
Activits :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
(nbre) :	0.94	1.29	294.95	14.28	36.28	25.02	1.62	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
:	0.00	4.82	0.03	0.02	5.64	0.00	84.87	2.69	2.4	
EC (ds/cm) :	ECmin= 38.03	ECexp= 39.70	ECmax= 41.82	ECpol= 50.64	EClim= 40.3					
:	Σ+=595.00	CO=553.80	Σ-=512.60	SO=442.8	S*= 13.15					
Echantillon N° 6										
Force ionique : I[N-1] = 0.179 I[N] = 0.179										
Conc init :	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	pH
(me/l) :	11.68	8.55	123.92	0.45	10.35	142.70	8.10	0.00	0.00	7.9
Ions lib. :	7.13	5.60	115.78	0.45	9.82	100.46	5.55	0.00	0.00	
Sels simp. :	NaCl	CaSO4	MgSO4	Na2SO4	CaCL2	MgCL2	Ca(HCO3)2			
(corrigs) :	9.79	11.73	8.58	114.62	0.00	0.00	0.62			
:	Mg(HCO3)2	NaHCO3	MgCO3	KCl	K2SO4	CaCO3	Na2CO3			
:	0.46	6.61	0.00	0.03	0.44	0.00	0.00			
Activits :	ACA	AMG	ANA	AK	ACL	ASO4	AHCO3	ACO3		
(nbre) :	0.94	0.74	86.90	0.33	7.37	13.20	4.17	0.00		
Paires :	CaCO3	CaSO4	CaHCO3	MgHCO3	MgSO4	Na(CO3)	NaSO4	NaHCO3	KSO4	
:	0.00	2.54	0.07	0.03	1.69	0.00	13.20	2.03	0.03	
EC (ds/cm) :	ECmin= 12.19	ECexp= 11.07	ECmax= 13.27	ECpol= 13.47	EClim= 11.3					
:	Σ+=144.60	CO=152.87	Σ-=161.15	SO=149.07	S*= 6.26					

#### 4. Le faciès salin sulfaté acide.

Hyperacide, pH < 3,5

Origine fluvio-marine issue de l'évolution de l'acidité potentielle des mangroves sulfurées, sous climat tropical sec; acidité exacerbée par la sécheresse des dernières années au Sahel africain.

$SO_4 > Cl \gg HCO_3$

$Na > Ca \# Mg$

Acidolyse et précipitations directes à partir de la solution du sol, de sels d'aluminium, de fer ou de magnésium très solubles (Alunite, Tamarujite, Pickéringite, Jurbanite, Coquimbite...); ou précipitations secondaires à partir des eaux de ruissellement.

Salants blancs pulvérulents (Le Brusq *et al.*, 1987)

Exemples : Sine-Saloum et Casamance au Sénégal, Guinée Bissau (Cf. Tableau 6).

TABLEAU 6  
FACIES SALIN SULFATE ACIDE (BAO BOLON, SENEGAL)  
(J.Y. LE BRUSQ *et al.*, 1987)

BB 20 Profondeur (cm)	Extrait 1/5 - Sels solubles - méq/l								E.S.	pH Extrait 1/2,5
	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO <sub>4</sub>	pH	Conduct. mS/cm	Extr. eau
0-10	1	2,2	4	0,04	8,5	4	11,5	3,3	21,4	3,2
40-50	0,8	1,4	2,7	0,1	3,4	4,6	4,8	3,3	4,5	3,1
90-100	2,4	2,8	6,4	0,16	8	7,8	12	3,3	12,5	3,2
130-140	3	3,3	7,1	0,13	8,6	4	18	3,2	-	3,1

5. *Le faciès salin carbonato-sulfaté.*

Alcalin, pH > 8,5

Continental (bassins lacustres endoréiques).

$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 \gg \text{Cl}$

$\text{Na} > \text{Ca}$

Lié à l'évolution aérobie des marécages continentaux après concentration des solutions.

Précipitations de Natron, de Thermonatrite, et de Thénardite.

Salant blanc.

Exemples : polders du lac Tchad (Cheverry, 1974), Durango, (Mexique) (Tableau 7).

TABLEAU 7  
FACIES SALIN CARBONATO-SULFATE ALCALIN (DURANGO, MEXIQUE)

Efflorescences salines (Thénardite - Trona) - Extrait 1/500 - mé/l												
Echant. Fév. 89	CE mS/cm	Ca	Mg	K	Na	$\Sigma^+$	$\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$	$\Sigma^-$	pH
D2 Surface	2.3	0.3	0.02	0.6	23.5	24.4	11.6	11.6	0.4	6.2	29.8	10.2
D3 Surface	1.2	0.05	0.06	0.2	11.5	11.8	3.2	5.5	1.7	2.9	13.4	9.8
Eau de nappe superficielle - mé/l												
D1 : 40 cm	1.6	0.7	2.9	1.2	19.0	23.8	1.0	15.7	0.6	2.1	19.4	8.6

6. *Le faciès carbonaté hyperbasique.*

pH > 8,5 et même > 10.

Milieu continental mal drainé, anaérobie, très riche en matière organique et en H<sub>2</sub>S, et très concentré en bicarbonates.

HCO<sub>3</sub>/CO<sub>3</sub> >> SO<sub>4</sub> >> Cl

Na >> Ca

Le pH très élevé à la surface de ces vases, permet une dissolution de la matière organique (alcalinolyse). Le salant prend une couleur noire, à croûte superficielle.

Salant noir riche en Trona et Gaylussite.

Exemples : vases des polders du lac Tchad (Cheverry, 1974, Tableau 8), Durango (Mexique).

TABLEAU 8  
FACIES SALIN CARBONATE BASIQUE (POLDERS DU LAC TCHAD)  
(Cl. CHEVERRY, 1974)

Croûte noire superficielle - Extrait 1/200 - mé/l												
Profil 1 Août 70	CE mS/cm	Ca	Mg	K	Na	S <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	S <sup>-</sup>	pH
0-3 cm	17.5	tr.	tr.	13	240	253	30	175	13.5	13	231.5	10
3-6 cm	12.5	0.2	0.2	10	185	195.4	26	130	12	16.5	184.5	9.7
Nappe superficielle, - mé/l												
10 cm	6.2	tr.	tr.	4.5	73	77.5	16.5	52.2	4.4	1.4	74.5	9.2

### Conclusion

La présence de sels en quantité suffisante confère aux écosystèmes arides, des caractéristiques particulières qui affectent les paysages de faciès typiques, influencent l'aspect du milieu édaphique, l'occupation des sols, et posent une problématique spécifique de mise en valeur agricole. Ces faciès salins ne sont pas figés, mais au contraire très évolutifs sous des influences naturelles, telle que la sécheresse qui affecte périodiquement ces milieux, ou bien sous des influences anthropiques qui peuvent modifier encore plus rapidement ces manifestations salines :

- En basse vallée de la Gambie et en Casamance au Sénégal, certaines vallées rizicoles sont en moins de 15 années devenues hypersalées, avec différenciation de croûte saline (halite) ou d'efflorescences (sulfates mixtes), et totalement incultes, sous l'effet de la sécheresse climatique récente.

- Sur le fleuve Sénégal, il a été montré que la riziculture irriguée pouvait déplacer sensiblement le type de salinité chlorurée préexistant dans les sols naturels, vers un type plus sulfaté, par élimination des sels les plus solubles (chlorures), et enrichissement relatif des sols cultivés en sulfate de calcium (Loyer, 1989). A plus long terme celui-ci pourrait devenir bicarbonaté calcique lorsque les eaux du fleuve lui-même seront en équilibre avec la solution du sol.

- Dans la région Lagunera du Mexique, l'utilisation d'eaux de forage riches en sulfate et en sodium, oriente par faute de drainage, les faciès des sols irrigués vers une forte salinité sulfatée sodique. L'utilisation d'eaux rééquilibrées en calcium grâce à des amendements locaux, devrait pouvoir réorienter ce faciès vers un type sulfaté calcique beaucoup moins nocif pour l'agriculture (González Barrios, 1986).

### Bibliographie

ACSAD. 1980. Tour guide. Soil Classification Workshop, Damas.

Aubert, G. 1977. Map of salty soils of Africa in 1976. International Salinity Conference. Lubbock, Texas.

Aubert, G. 1988. Communication Réunion Réseau Zones Arides - Montpellier, sept. 1988.

Beck K.J., W.A. Blokuis, P.M. Driessen, N. Van Breemen, R. Brinkman et L.J. Pons. 1980. Land reclamation and water management: development problems and challenges, IILRI, pub. No. 27, The Netherlands.

- Bouteyre, G. et J.Y. Loyer.** 1989. Sols salés, eaux saumâtres des régions arides, tropicales et méditerranéennes. Principaux faciès et problèmes de mise en valeur. A paraître RZA. ORSTOM, Montpellier.
- Cheverry, Cl.** 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. Th. Univ. Strasbourg.
- Fitzpatrick, E.A.** 1980. Soils, their formation, classification and distribution. Longman, London and New-York.
- Garrels, R.M., Christ, C.L.** 1965. Solutions, minerals and equilibria. Harper and Row, New-York.
- González Barrios, J.L.** 1986. Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endoreica, en el desierto de Chihuahua. Tesis de licenciatura FCB-Univ. Autónoma de Nuevo León. México, 280 p. + 4 cartas.
- Gueddari, M.** 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac Natron (Tanzanie) et du Chott el Jerid (Tunisie). Th. Univ. Strasbourg.
- Jacobsen, T.** 1982. Salinity and Irrigation in Antiquity. Dyala Basin archaeological projects: Report on essential results 1957-58. Undena publications, Malibu.
- Job, J.O., G. Cochonneau et N. Chevalier.** 1987. Calcul des activités des ions. Estimation de la conductivité électrique par la méthode des polynômes et celle des activités. ORSTOM, Montpellier.
- Le Brusq, J.Y., J.Y. Loyer.** 1982. Relations entre les mesures de conductivités sur des extraits de sols de rapport sol/solution variables dans la vallée du fleuve Sénégal. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 19(3).
- Le Brusq, J.Y., J.Y. Loyer, B. Mougénot et M. Carn,** 1987. Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium de fer et de magnésium, et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. *Sc. du Sol*, 25(3), Plaisir, France.
- Loyer, J.Y.** 1989. Les sols "Salic". International Reference Base for Soil Classification (IRB). ISSS, Rennes.
- Loyer, J.Y.** 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal. Caractérisation, distribution et évolution sous cultures. Et. et Th. ORSTOM, Paris.
- N'Diaye M.K.** 1987. Evaluation de la fertilité des sols à l'office du Niger (Mali). Contribution à la recherche des causes et origines de la dégradation des sols dans le Kouroumari. Th. Dr. Ingénieur INP, Toulouse.
- Podwojewski, P., J. Petard.** 1988. Expression des sels solubles et des bases échangeables sur un vertisol calcimagnésique à gypse et à carbonates (La Tamoá, Nouvelle Calédonie). ORSTOM, Nouméa.

**Risacher, F., B. Fritz.** 1984. Estimation des variations en fonction de la température des produits de solubilité des principaux sels des milieux évaporitiques. *Sc. Géol.* 37-3, Strasbourg.

**Tardy, Y.** 1980. Géochimie des interactions entre les eaux, les minéraux et les roches. Ed. Sarl. Eléments, Tarbes.

**USSLS (United States Salinity Laboratory Staff).** 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept. Agric. Handbook No. 60.