

COMMENTAIRES SUR LA PEDOGENESE ACTUELLE DES SOLS  
JEUNES DES POLDERS DE BOL, DU POINT DE VUE DE L'HALOMORPHIE.

C. CHEVERRY

avec la collaboration technique de R. SAYOL.



Communication présentée par P. AUDRY à la réunion des pédologues de l'ORSTOM, en Septembre 1968, à Bondy (réunion consacrée à l'étude des Sols Halomorphes).

## I. INTRODUCTION

L'étude est localisée à deux polders de bordure du Lac Tchad (Guini et Bérin), proches de la ville de Bol. De 1951 - 54 (création des polders) à 1963, les études de PIAS et alter (8) ont mis en évidence le phénomène d'accumulation progressive des sels dans la nappe et les sols de ces polders, ont dressé un premier inventaire de ses manifestations, et ont abordé le problème de son évolution quantitative globale. Depuis 1964, C. CHEVERRY a précisé l'étude de cette évolution quantitative et s'est attaché à l'étude des mécanismes en jeu.

## II. CADRE DE L'ETUDE

Ces polders sont des dépressions interdunaires isolées du lac Tchad par des barrages en sables; la nappe phréatique, partout présente à faible profondeur (moins de 2,5 m), se concentre en sels dissous. L'aridité du climat (précipitations 300 mm ; évapotranspiration potentielle annuelle supérieure à 2000 mm), la nature argileuse des sédiments occupant le fond de ces dépressions favorisent en effet l'évaporation par suite de remontées capillaires. Cette concentration saline se manifeste en particulier par la précipitation de sels dans les sédiments ou les sols avec lesquels cette nappe est en contact. Les sels observés sont du carbonate de calcium, du carbonate de sodium, du sulfate de sodium, du sulfate de calcium ; les chlorures sont très peu représentés.

Lors de l'étude en cours (CHEVERRY, 1966, 1967, 1968), il est apparu qu'il était arbitraire de traiter indépendamment du mode de concentration saline des eaux de la nappe phréatique d'une part, du mode d'accumulation saline dans les sédiments d'autre part. Dans ces milieux assez confinés les deux sont liés, et c'est l'étude du phénomène d'interaction nappe-sol et de sa variation latérale qui est approfondie, car c'est elle qui rend le mieux compte: - dans l'espace de la répartition, verticale et latérale, des divers dépôts salins; - dans le temps, de la vitesse de salinisation respective des sols et des nappes, des modifications de nature de cette accumulation saline si l'un des facteurs de la pédogénèse évolue.

Cette étude de l'interaction nappe-sol fournit des indications sur les conditions dans lesquelles deux pédogénèses actuelles, très différentes du point de vue de l'halomorphie, se développent à l'intérieur d'un même polder. Pédogénèses se traduisant par la formation :

- soit de sols salés à alcalis, à carbonate de sodium ("voie alcaline")
- soit de sols salés salins à sulfate de sodium, avec localement présence de gypse ("voie saline").

III. LA VOIE "ALCALINE". CONDITIONS DE FORMATION ET D'INDIVIDUALISATION DU CARBONATE DE SODIUM EN PAYSAGE MARECAGEUX.

21. Caractéristiques des paysages mal drainés, marécageux.

Ce sont les secteurs des polders où la nappe phréatique reste toute l'année proche de la surface du sol, ou même la recouvre (nappe superficielle), ceci par suite de la forte intensité des infiltrations d'eaux venant du Lac, sous les barrages en sable, compensant les pertes par évaporation et par fuite latérale. Une masse très dense de roseaux (Typha f. australis, Phragmites communis, Cyperus papyrus) s'est implantée, mais ne laisse en surface du sol qu'une litière peu épaisse, très finement fragmentée. Le matériau sédimentaire lacustre est argileux, humifère (10 % de matière organique d'origine sédimentaire, 20 à 25 % en tenant compte de la masse racinaire), de consistance vaseuse. A faible profondeur, dans le cas considéré, on observe un niveau sédimentaire semi-tourbeux dont l'épaisseur varie de 2 à 40 cm.

22. Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe, en fonction de sa concentration par évaporation, dans ce type de paysage.

Les eaux du Lac Tchad au pied des barrages sont caractérisées par leur faible concentration saline (conductivité de 0,12 à 0,30 millimho. cm<sup>-1</sup> à 25°C), la très large dominance des bicarbonates parmi les anions (moins de 0,1 milliéquivalent par litre de sulfates et de chlorures) ; les cations calcium, magnésium, sodium sont tous trois bien représentés; le potassium est présent à un degré moindre. (CARMOUZE J.P. 1968, ROCHE M.A. en cours de publication), De l'autre côté des barrages, (différence de niveau entre le Lac et la nappe superficielle de 3,50 m), les eaux ont une composition chimique voisine, encore que légèrement plus riches en calcium.

En s'éloignant de l'un de ces barrages (Bérim Sud), on observe un gradient de concentration croissante des eaux de la nappe superficielle, dont la conductivité passe de 0,2 à 8 mmhos - cm<sup>-1</sup> à 25°C (0,15 à 7 g de sel par litre). Le long de cet axe (résultats analytiques en annexe : planche n° 1), les caractéristiques de l'eau évoluent :

- le potentiel d'oxydo-réduction diminue et devient localement négatif (couple électrode de platine - électrode au calomel) ; les eaux sont pauvres en oxygène (test de WINKLER). Le pH est légèrement au dessus de 7,0, localement de 8,0 à 8,2.

VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA NAPPE PHREATIQUE EN FONCTION  
DE SA CONCENTRATION, EN PAYSAGE MARECAGEUX

1. Prélèvements effectués en Bérin Sud au voisinage du barrage Sud en Février 1968  
(repérés par rapport à ce barrage)

	Profondeur de la nappe /sol (cm)	pH	Eh mvolts	L mmhos	SO <sub>4</sub> me/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> me/l	Cl me/l	S <sup>-</sup> me/l	Ca me/l	Mg me/l	K me/l	Na me/l	S <sup>+</sup> me/l
100m Nord; nappe d'eau superficielle	-	6,9	+ 455	0,21	0	2,1	0,1	2,2	0,9	0,5	0,2	0,5	2,1
300m NW; en contrebas de la dune petite plateforme cultivée	30	6,7	+ 440	0,41	0,05	4,1	0	4,15	1,3	0,5	0,5	1,4	3,7
300 m N NW : roseaux	40			0,45	0,2	3,8	0,9	4,9	1,9	1,3	0,5	1,4	5,1
250 m N ; roseaux ; ruisseau coulant sud-nord	-	7,4	+ 420	0,78	0,1	8,5	0	8,6	1,1	0,6	0,4	6,5	8,6
350 m N.W ; nappe d'eau superficielle; roseaux	-	8,0	- 85	1,95	0,1	22,5	0	22,6	5,3	2,6	2,4	13,2	23,6
500m N.N.W ; roseaux brûlés	10	7,5	+ 75	3,45	6,1	40,6	0	46,7	4,1	1,9	1,4	35,6	43
600m N.N.W ; roseaux	9	7,7	+ 25	6,1	1,5	81,5	0	83	5,3	4,6	2,1	74	86,1

II. Prélèvements effectués en Berin Sud, le long d'une séquence W.E. (Jardin de Bol) en novembre 1967  
(Secteurs à taches de sols noirs, à accumulation superficielle de Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>)

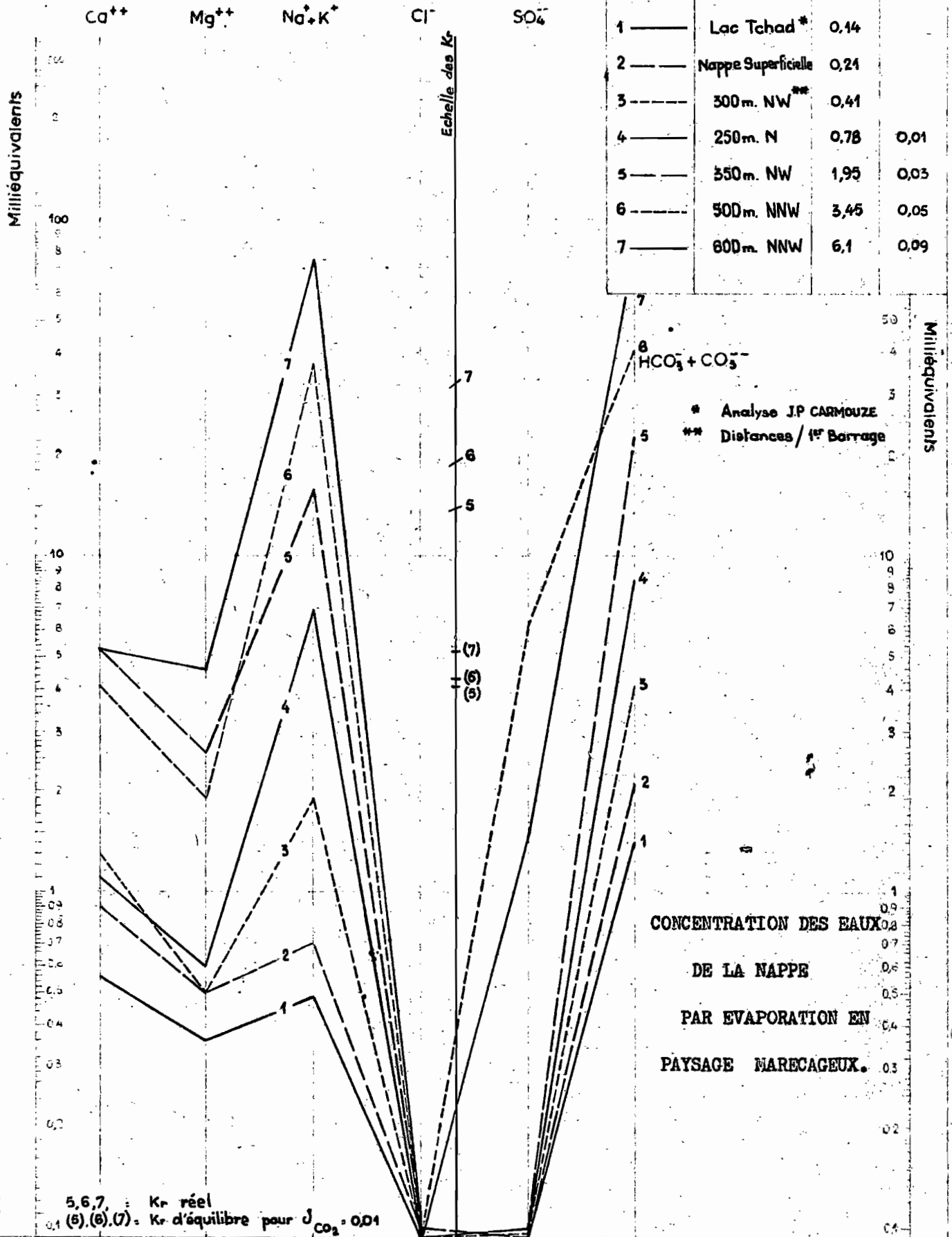
150m E dune ; prairie	20	7,1	+ 40	2,4	4,2	22	1,2	27,4	2,3	0,6	0,4	20	23,4
270m E dune ; repousses de roseaux	15			6,0	13	51,6	3,9	66,5	3,2	1,7	1,2	58	64,1
350m E dune ; nappe d'eau libre ; roseaux	-	7,5	- 35	2,35	3,5	21,6	0,3	26,4	3,8	0,5	0,9	19	24,2

# DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

1000  
500  
100  
50  
20  
10  
5  
2  
1  
0,5  
0,2  
0,1

## LEGENDE

Figure	Localisation	L mmol/l	$\mu$ cm <sup>2</sup> /s
1	Lac Tchad *	0,14	
2	Nappe Superficielle	0,21	
3	300m. NW **	0,41	
4	250m. N	0,78	0,01
5	350m. NW	1,95	0,03
6	500m. NNW	3,45	0,05
7	600m. NNW	6,1	0,09

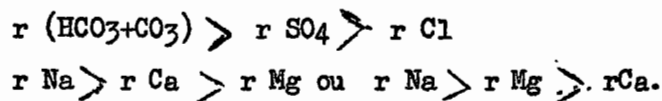


- chimiquement, le fait essentiel est que la teneur en bicarbonates augmente presque proportionnellement à la concentration globale, cet anion restant très largement dominant.

- la teneur en sulfates augmente pour les eaux dont la conductivité dépasse 2 mmhos - cm -I à 25°, mais, dans toute la gamme de concentration observée, la valeur du rapport  $r \text{SO}_4 / r (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$  (tous les ions étant exprimés en milliéquivalents par litre) reste inférieure à 0,2.

- les teneurs en calcium augmentent avec la concentration, mais un seuil semble atteint avec 5 à 6 me/l. Les teneurs en magnésium et surtout en sodium augmentent plus rapidement, la valeur du rapport  $r \text{Na} / r \text{Ca}$  dépassant 10, dans le cas des eaux les plus minéralisées, celle du rapport  $r \text{Mg} / r \text{Ca}$  devenant supérieure à l'unité.

Les eaux de la nappe superficielle ou de la nappe phréatique subaffleurante acquièrent donc en se concentrant par évaporation dans ces paysages marécageux un type "bicarbonaté - sodique", l'ordre des ions s'écrivant:



### 23. Caractéristiques des sols correspondants.

Lorsque la nappe est en permanence superficielle, le terme de sol peut certes être employé (car il y a présence d'une litière), mais les matériaux sédimentaires n'ont pas acquis de caractères pédologiques nets. Par contre, localement, avec une nappe à 5 - 20 cm de profondeur, on observe des plages de sols couvertes de salant noir. Ce sont des sols salés à alcalis, à carbonate de sodium :

- La croûte noire, dont le pH dépasse 10,0, est à très nette dominance de carbonate de sodium. Le pH très élevé favorise une véritable "extraction" de certains composés organiques, qui donnent au salant sa couleur.

- L'horizon immédiatement sous le salant (1-5 cm par exemple), argileux, a une structure massive, dégradée, avec des formes d'accumulation, localisée le long des pores, de carbonate de calcium. Son pH reste supérieur à 9,5. Le sodium occupe plus de 50% de la capacité d'échange.

- Les horizons suivants, dont l'un, correspondant au niveau sédimentaire semi-tourbeux, a plus de 25% de matière organique, sont argileux, gorgés d'eau, massifs. Leur pH est inférieur à 8,2; on observe d'assez nombreuses taches noires de sulfures (odeur d' $\text{H}_2\text{S}$  en acidifiant le milieu avec  $\text{HCl}$ ), notamment sur les débris végétaux; L'odeur d' $\text{H}_2\text{S}$  est localement décelable même sans acidifier le milieu. Le sodium occupe plus de 10%, et jusqu'à 35 %, de la capacité d'échange du matériau.

24. Interprétation : Les facteurs de cette pédogénèse - Hypothèses sur les mécanismes en jeu.

Le facteur essentiel de ce type de pédogénèse semble le fait que des eaux de température assez élevée séjournent au contact de matériaux humifères et enrichis en débris organiques très finement fragmentés. Il en résulte une fermentation intense de la matière organique, par voie bactérienne, qui se manifeste de deux manières :

- par une production de CO<sub>2</sub>, provoquant un net déséquilibre entre la pression partielle de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et la pression partielle de ce même gaz dans l'eau de la nappe (dont dépend sa solubilité), cette dernière devenant beaucoup plus élevée. Ce déséquilibre permet une certaine concentration en Ca<sup>++</sup> des eaux qui se concentrent par évaporation.

L'étude de l'équilibre du CO<sub>2</sub> dans les eaux naturelles (acide carbonique combiné, semi-combiné, équilibrant, agressif) est certes très complexe (SCHMITT, 1955). Mais l'emploi de la méthode graphique de SCHOELLER (1962) (calcul des valeurs de Kr\*) permet une approche de ce problème et met en évidence les très fortes pressions partielles de CO<sub>2</sub> (0,1 et plus) dans les eaux de la nappe se concentrant dans ces paysages marécageux; valeurs très supérieures à la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (0,0003 à 0,00045), ou même dans l'atmosphère des sols agricoles habituels (0,001 à 0,01).

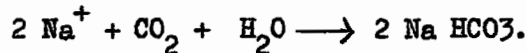
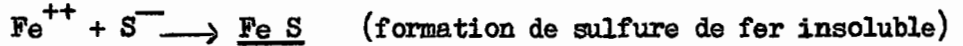
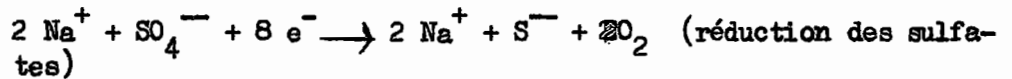
- la fermentation de la matière organique se manifeste simultanément par une consommation de l'oxygène initial, qui favorise la création d'un milieu réducteur et ainsi la réduction des sulfates. Ce phénomène joue avec une intensité très variable d'un point à l'autre, fonction notamment de la microtopographie, de l'importance du niveau semi-tourbeux. La suite de réactions présentée ci-dessous fournit une image, indicative, du déroulement du processus allant jusqu'à CO<sub>3</sub>H Na.

\*

La valeur  $Kr = \sqrt[3]{(HCO_3 + CO_3)^2 Ca}$  exprime, par suite de la série d'équilibres en jeu, la teneur en gaz carbonique d'équilibre dissous dans l'eau considérée. Cette valeur apparaît directement, sur le graphique de SCHOELLER, par l'intersection de la droite joignant r (HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>) à r Ca avec la verticale située à un tiers du chemin de r HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub> à r Ca. Ceci par suite de la construction semi-logarithmique du diagramme. On compare la position du point ainsi obtenu (Kr de l'eau prélevée) avec le Kr correspondant à la saturation en CaCO<sub>3</sub> pour une tension de CO<sub>2</sub> donnée : 0,0003 par exemple (tension de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère). Lorsque le Kr de l'eau est supérieur au Kr d'équilibre, c'est qu'il y a "sursaturation apparente" en CaCO<sub>3</sub> ou plus exactement que la tension réelle de l'eau en CO<sub>2</sub> est supérieure à la valeur considérée (0,0003). Une échelle mobile permet alors d'estimer cette tension réelle.

Matière organique + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O.

La matière organique représente également pour les bactéries sulfato-réductrices une source de carbone, d'énergie.



L'alcalisation de la partie supérieure du profil (remontée du bicarbonate de sodium jusqu'en surface du sol par capillarité, accumulation sous forme de carbonate de sodium, très forte fixation de sodium sur le complexe absorbant) apparaît donc comme une conséquence de la réduction des sulfates.

Le carbonate de calcium par contre s'individualise sub-superficiellement. En effet, dans l'eau remontée par la capillarité, la tension de CO<sub>2</sub> baisse brutalement au contact de l'atmosphère. Or le dessèchement du sol, sa structuration, permettent une aération sur quelques 2 à 8 cm, suivant la profondeur de la nappe : c'est sur cette tranche de sol que l'on observe la précipitation de calcium, le long des fissures, des pores.

## 25. Conséquences d'un début d'assèchement du paysage.

Lorsque la profondeur de la nappe par rapport à la surface du sol augmente (supérieure à 25 cm en saison sèche), variation progressive que l'on observe dans l'espace en s'éloignant des barrages, on note une évolution simultanée des caractères de la nappe et des sols que l'on peut résumer ainsi :

- à concentration saline globale équivalente, la valeur du rapport  $r \text{SO}_4 / r (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$  dans les eaux de la nappe est d'autant plus élevée que l'assèchement du paysage est accentué. La tension de CO<sub>2</sub> dissous, la " sursaturation en CaCO<sub>3</sub> " sont moindres.

- à la surface des sols, la couleur du salant n'est plus noire, mais brune ou même blanche, correspondant à du sulfate de sodium (sous forme de thénardite), avec même de petites quantités de gypse.

## 26. Conclusion.

Dans le processus d'accumulation des sels, par suite de l'évaporation, en paysage marécageux ( "voie alcaline " ), les phénomènes que l'on peut qualifier de " modificateurs " (production de CO<sub>2</sub>, réduction des sulfates), jouent un rôle très marqué. Ce rôle diminue lorsque le paysage s'assèche (baisse du niveau de la nappe).



IV.

LA VOIE "SALINE". PROCESSUS D'ACCUMULATION SALINE EN PAYSAGE DRAINE.

31. Caractéristiques des paysages " drainés ".

Ce sont les secteurs des polders où la nappe phréatique ne submerge jamais les sols et peut atteindre en certains points 2,50 m. de profondeur. Dans ce type de paysage, la nappe phréatique évolue dans un matériau à très forte perméabilité latérale (argile fissurée à fentes de retrait se conservant même au niveau de la nappe) et présente le plus souvent un gradient hydraulique. Aussi pour opposer ce type de paysages aux paysages marécageux le terme de "paysage drainé" a-t-il été choisi. Il s'agit évidemment de drainage naturel. Ces secteurs de polders sont cultivés ou en friche (végétation herbacée ou buissonnante) : mais les formations de roseaux ont disparu et le sol n'est plus couvert par une litière.

Les sels sont soumis à un cycle annuel : ils remontent et s'accumulent dans les sols en saison sèche ; sont redissous et lessivés, du moins partiellement, en saison des pluies. Les observations présentées ci-dessous correspondent toutes à des prélèvements effectués en fin de saison sèche.

32. Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe, en fonction de sa concentration par évaporation, dans ce type de paysage.

Les eaux d'infiltration faiblement minéralisées (conductivité inférieure à  $0,6 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $25^\circ$ ), en paysage drainé, sont caractérisées par leur potentiel d'oxydo-réduction nettement positif ( + 400 mvolts ), leur pH légèrement au dessus de la neutralité; l'anion bicarbonate domine largement ; le calcium est un peu plus représenté que le sodium.

Le long d'axes des polders où l'on observe, notamment par suite d'un gradient hydraulique, une concentration progressive des eaux, on note l'évolution suivante des caractéristiques physico-chimiques :

- les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$  augmentent avec la concentration globale, mais beaucoup moins rapidement que dans le cas des paysages marécageux.

- les teneurs en  $\text{SO}_4^{--}$ , au contraire, augmentent plus rapidement. La valeur du rapport  $r \text{ SO}_4 / r (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$  devient supérieure à l'unité pour une conductivité de  $5 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ , de 2 à 3 pour des conductivités supérieures à  $10 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ . Rappelons que dans les paysages marécageux, cette valeur restait inférieure à 0,2.

- le rapport  $r \text{ Na} / r \text{ Ca}$  augmente progressivement en fonction de la concentration ; sa valeur est supérieure à l'unité dès que la conductivité atteint  $0,75 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ , de 4 environ pour des conductivités de 3 à  $6 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ . Mais, en règle générale, à concentration globale équivalente, ces valeurs sont inférieures à celles notées en paysage marécageux; l'augmentation des teneurs en calcium avec la concentration étant due non plus à une "sursaturation en  $\text{CaCO}_3$ " mais à la présence de sulfates.

VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE  
EN FONCTION DE LEUR CONCENTRATION EN PAYSAGE DRAINE (Transversale Ouest-Est du Polder Guini)

I Premières étapes de la concentration (conductivité inférieure à 5 mmhos). Prélèvements en saison sèche.

	Profondeur de la nappe (cm)	L mmhos	Résidu	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Cl	S <sup>-</sup>	Ca	Mg	K	Na	S <sup>+</sup>
			sec g/l	me/l	CO <sub>3</sub> me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l	me/l
Bas de la dune Ouest	-	0,29	0,2	2,6	0,1	2,9	1,7	0,6	0,4	0,4	3,1	
100m Est dune	117	0,50	0,3	4,9	0,1	5,3	2,5	1,0	0,3	1,7	5,5	
400m Est dune	68	0,75	0,6	6,9	0,2	7,7	2,9	1,4	0,7	2,9	7,9	
600m Est dune	59	0,95	1,4	8,2	0,2	9,8	2,9	1,4	0,5	4,5	9,3	
700m -	45	1,4	2,8	13,1	0,1	16,0	3,0	2,2	0,6	8,2	14,0	
800m -	61	1,95	4,8	16,7	0,1	21,6	4,2	3,0	0,9	14,1	22,2	
900m -	92	3,65	13,4	31,9	0,1	45,4	7,7	3,9	1,6	29,5	42,7	

II. Etapes suivantes de la concentration (conductivité supérieure à 5 mmhos). Prélèvements en saison sèche.

( distances repérées par rapport à la bordure Est du polder )

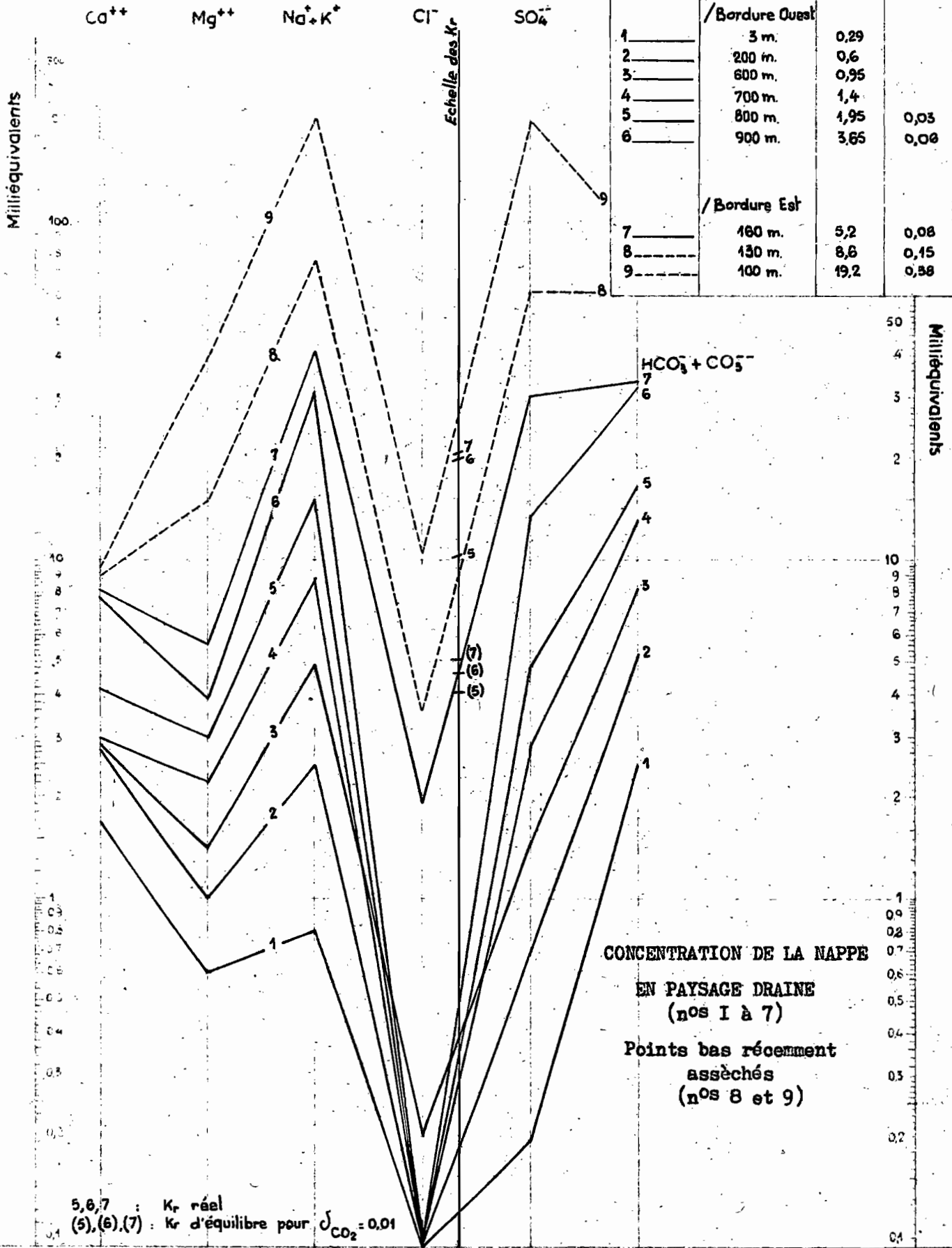
160 m	51	5,2	4,5	30,2	32,7	1,9	64,8	8,2	5,6	1,4	38,2	53,4
130 m		8,6	7,6	61,5	49,6	3,5	114,6	9,1	14,6	2,2	73	99
100 m	50	19,2	20,3	191,4	74,5	10,6	276,5	9,6	39,9	6,3	188	243,8
30 m	98	12,5	12,4	115,7	45,8	9,6	171,1	27,2	24,7	2,1	98,0	152
5 m	120	12,3	116	42	8,8	166,8	34,4	23,5	1,6	94,4	153,9	

# DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

Service de l'Énergie  
et des Ressources  
1987

## LEGENDE

Figure	Localisation	L mètres	$K_r$ force ionique
<b>/Bordure Ouest</b>			
1	3 m.	0,29	
2	200 m.	0,6	
3	600 m.	0,95	
4	700 m.	1,4	
5	800 m.	1,95	0,03
6	900 m.	3,65	0,08
<b>/Bordure Est</b>			
7	160 m.	5,2	0,08
8	130 m.	8,6	0,15
9	100 m.	19,2	0,38



**CONCENTRATION DE LA NAPPE  
EN PAYSAGE DRAINE  
(nos 1 à 7)**  
**Points bas récemment  
asséchés  
(nos 8 et 9)**

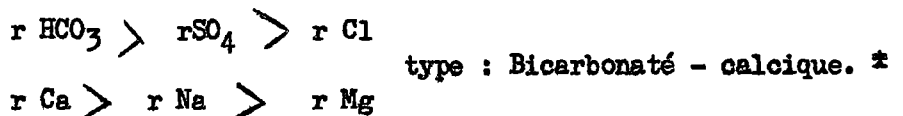
5,6,7 :  $K_r$  réel  
(5),(6),(7) :  $K_r$  d'équilibre pour  $\delta_{CO_2} = 0,01$

- le rapport  $r \text{ Ca}/r \text{ Mg}$  reste assez constant, sa valeur, comprise entre 4 et 1,0, diminuant avec la concentration mais restant supérieure à l'unité.

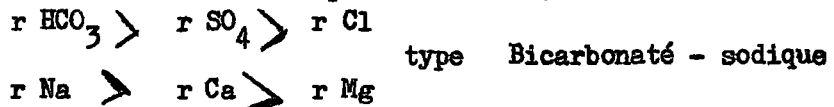
- le pH de toutes ces eaux est inférieur à 7,2, supérieur à 6,5 (mesures effectuées en place) ; leur potentiel redox positif.

Les eaux de la nappe phréatique se concentrant par évaporation (et par l'intermédiaire de phénomènes de remontée capillaire) en paysage drainé, changent donc de type chimique, l'ordre des ions s'écrivant successivement : (mesures effectuées en saison sèche) :

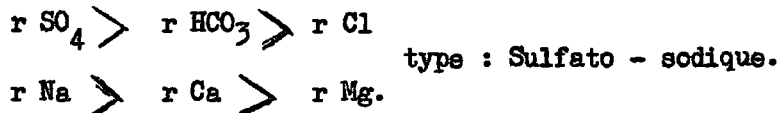
. pour des conductivités inférieures à 0,75 mmho -  $\text{cm}^{-1}$  à 25°C :



. pour des conductivités comprises entre 0,75 et 5 mmhos.  $\text{cm}^{-1}$  à 25°C :



. pour des conductivités supérieures à 5 mmhos  $\text{cm}^{-1}$  à 25°C :



### 33. Caractéristiques des sols correspondants.

A ces variations progressives des caractéristiques de la nappe, correspondent une séquence de sols, dont l'étude a été présentée par ailleurs (CHEVERRY, 1968) :

- Sols Hydromorphes, moyennement humifères, humiques à gley, salés à anmoor calcique, correspondant aux nappes faiblement salées, de type bicarbonaté - calcique.

La conductivité de l'extrait de saturation n'est en effet supérieure à 4 mmhos que sur la tranche très superficielle, de 5 à 10 cm d'épaisseur, du sol, et ceci uniquement durant la saison sèche. La proportion de sodium fixé sur le complexe est de 5 % environ.

\*

Ce terme indiquant simplement la nature de l'anion et cation dominants.

- Sols Sodiques (Halomorphes) , à structure non dégradée, salins, à accumulation saline superficielle.

Les sels exprimés sont surtout des sulfates de sodium (sous forme de thénardite), et localement du sulfate de calcium (gypse), ou des sulfates doubles de sodium et de magnésium (bloedite). La carbonatation (précipitation de  $\text{CaCO}_3$ ) est localisée, subsuperficielle, et peut atteindre 10 % entre 0 et 10 cm. La proportion de sodium fixé sur le complexe absorbant est fonction de la concentration saline globale de l'eau de la nappe et de la valeur du rapport  $r \text{ Na}/r \text{ Ca}$  de cette eau ( $\text{Na}/\text{T} \times 100$  supérieur à 12 pour des valeurs de ce rapport de 3 à 4).

Même dans le cas où cette valeur de 12 % est dépassée, les sols restent nettement des sols salins. Le caractère humifère du matériau, les fortes teneurs en sels solubles de tous les horizons, la nature de l'anion auquel est associé le sodium (sulfate et non bicarbonate ou carbonate comme dans les paysages marécageux), limitent en effet très fortement les effets de l'alcalisation sur la dégradation de la structure.

#### 34. Interprétation : Les facteurs de cette pédogénèse - Hypothèse sur les mécanismes en jeu.

Le facteur essentiel de ce type de pédogénèse semble le fait que dans ces paysages la nappe phréatique (du moins sa tranche supérieure) est aérée. Le phénomène de réduction biologique des sulfates ne joue pas, ou ne joue que partiellement dans certains points bas. En saison sèche, le sulfate de sodium, remonté par la capillarité, s'individualise en surface du sol (petites taches blanches sur la surface des éléments structuraux ou croûte saline suivant l'intensité du phénomène). Par contre, les phénomènes "générateurs" de  $\text{CO}_2$  jouent toujours un rôle et l'on observe encore une carbonatation subsuperficielle, au niveau du profil où la frange capillaire arrive dans la zone de sol très aérée parce que très structurée. Les valeurs de la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère de ces sols, (donc de la solubilité de ce gaz dans la nappe phréatique), sont en effet encore supérieures à celle de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère ( 0,01 \* contre 0,0003). Ceci est dû à la nature humifère du matériau.

Mais ces valeurs sont nettement plus faibles que dans le cas des paysages marécageux. Le fait que la nappe soit plus profonde, le sol moins engorgé, l'absence de niveau semi-tourbeux, de litière seraient les facteurs de cette moindre intensité des phénomènes "générateurs de  $\text{CO}_2$ ".

\*

Valeur estimée par la méthode des Kr de SCHOELLER déjà citée, à partir des concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{++}$  de l'eau de la nappe.

En paysage drainé, le mode de concentration des eaux de la nappe, d'accumulation de sels dans les sols, peut donc être qualifié de "salin". Mais la permanence des phénomènes "générateurs de CO<sub>2</sub>", associée à la nette dominance des ions sodium dans la solution du sol, font que la tendance à l'alcalisation est toujours sous - jacente et se concrétise localement (points plus bas, points où une accumulation organique est observée...).



## V. CONCLUSION.

Les voies "alcalines" et "salines" ont été ici succinctement décrites et présentées comme entièrement distinctes. Ceci ne traduit évidemment que grossièrement la réalité : un assèchement du paysage (dû par exemple à un abaissement de niveau du Lac) entraîne une modification des caractères chimiques de la nappe et des sols. Dans l'espace, à l'échelle d'un polder, la nappe et les sols étant un milieu continu, toutes les transitions existent. Par ailleurs, certains caractères chimiques des sédiments (caractères hérités de la sédimentation ou de pédogénèses anciennes), peuvent intervenir localement sur les phénomènes cités.

Les modifications de la nappe ont été nettement mises en évidence le long de certains axes des polders correspondant à une profondeur croissante de la nappe. Avec l'assèchement, le rôle des phénomènes "modificateurs" (production de CO<sub>2</sub>, réduction des sulfates) diminue et l'eau se concentre par évaporation en fonction des produits de solubilité des diverses combinaisons ioniques possibles. Dans la gamme de concentration saline observée, (maximum : 20 mmhos) le terme est alors, et cela obéit aux lois de la géochimie, une eau à dominance des ions sulfate et sodium. Ceci à condition que les sols correspondants aient gardé leur capacité d'aération (en fait leur stabilité structurale).

Car les matériaux originels peuvent avoir été marqués, d'une manière plus ou moins indélébile, par leur contact avec une nappe alcaline (extraction de la matière organique, fixation de sodium sur le complexe). Ce contact est observé en particulier dans les polders où la nature sableuse des barrages permet de très fortes infiltrations d'eaux du Lac, le maintien de conditions marécageuses pendant plusieurs années. L'évolution de ces matériaux, de ces sols, vers la voie saline en cas d'assèchement peut être ainsi légèrement modifiée ("hystérésis") ou ralentie (à profondeur égale de la nappe un sol "marqué" par l'alcalinisation est moins aéré par suite d'une certaine dégradation de la structure, qu'un sol qui n'est pas passé par cette voie, et les phénomènes réducteurs s'y prolongent.)

La poursuite de cette étude pédologique vise donc à fournir des indications sur les processus de carbonatation, d'alcalisation, de formation de carbonate de sodium, à renseigner sur cette étape des ions majeurs de l'hydrosphère au fond de la Cuvette Tchadienne, et à renseigner également sur les caractères de certaines formations superficielles, correspondant aux anciennes aires d'extension du lac Tchad, beaucoup plus vastes que l'actuelle.



## X. BIBLIOGRAPHIE

- I. CARMOUZE, J.P. - (1968) - Etude de la répartition des ions majeurs, phosphates et silicates dans les eaux du lac Tchad en avril 1968. ORSTOM, Centre de Fort-Lamy (à paraître).
2. CHEVERRY, C. (1966) - Etude préliminaire des processus d'hydromorphie et d'halomorphie dans les sols de polders de la région de Bol (Rives du lac Tchad); Cah. ORSTOM, ser. Pédologie, vol. IV, 3, 1966.
3. CHEVERRY, C. (1967) - Note sur la fertilité des sols des polders de Bol après dix ans de mise en culture ; Cah. ORSTOM, ser. Pédologie, vol. V, 2, 1967.
4. CHEVERRY, C. (1968) - Rôle de la pédogénèse sur la nature et le mode de l'accumulation saline dans les polders de Bol. ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 17 p. (à paraître dans "Science du Sol" en 1968, n° 2).
5. DIELEMAN, P.J. - DE RIDDER, N.A. (1963) - Expertise sur les mouvements des eaux et des sels dans le polder de Bol-Guini. Institut de Wageningen. Pays-Bas.
6. DUPONT, B. (1967) - Etude des formations sédimentaires du Kanem. Premiers résultats. ORSTOM, Centre de Fort-Lamy. 150 p.
7. MAGLIONE, G. (1967) - Présence de gaylussite et de trona dans les natronières du Kanem - ORSTOM, Centre de Fort-Lamy, 12 pages.
8. PIAS, J. - BARBERY, J. (1960) - Evolution de la salinité dans le polder de Bol-Guini, ORSTOM, centre de Fort-Lamy, 120 pages.
9. ROCHE, M.A. (1967) - Première estimation des apports en sels au lac Tchad par le Chari, ORSTOM, centre de Fort-Lamy.
10. SCHOELLER, H. (1962) - Les eaux souterraines. Masson et Compagnie (éditeurs) 642 p.
- II. SCHMITT, cl (1955) - Contribution à l'étude du système chaux-carbonate de calcium, bicarbonate de calcium - acide carbonique, eau. Annls. Ecole nat. Sup. mécan. Nantes. 156 p.

-----