

G. MAGLIONE

**PRESENCE DE GAYLUSSITE
ET DE TRONA DANS
LES NATRONIERES DU
KANEM**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE FORT-LAMY



II O M M A I R E

Description d'une espèce minéralogique, la gaylussite, non encore identifiée dans les salines du Kanem.

Associés au trona, mis en évidence dans cette région par LACROIX (1905), ces dépôts salins sont succinctement replacés dans leurs contextes géologique, hydrochimique et géochimique.

II N T R O D U C T I O N

Depuis les observations des premiers explorateurs et notamment celles de COURTET, FOUREAU, du C^{dt} MOLL, cités par LACROIX (1905), la présence d'évaporites au fond des creux interdunaires a été signalée comme un fait constant sur la bordure septentrionale du lac Tchad (Sud du Kanem).

Si les analyses chimiques des sels présents furent nombreuses (TILHO, PIAS, SCHNEIDER), contribuant ainsi à la dénomination de natronières qui s'attache à ces salines, aucune analyse physique (diffractométrie X, analyse thermique différentielle, analyse thermodérivée) n'avait été effectuée.

I. SITUATION GEOLOGIQUE ET GEOGRAPHIQUE.

Les dépôts salins se localisent au fond de dépressions interdunaires, improprement appelées ouadi (1), situées sur tout le littoral nord-est du Lac Tchad, sensiblement depuis la frontière avec le Niger jusqu'à Doum-Doum, sur une profondeur à l'intérieur des terres n'excédant pas 30 kilomètres.

Cette région correspond à un erg ancien, orienté NNW-SSE, dont les creux interdunaires furent envahis par les eaux d'une transgression lacustre au cours de laquelle des sédiments fins se déposèrent.

Ces cuvettes présentent des degrés de salinisation et d'alcalisation variés, allant des simples efflorescences de surface jusqu'aux salines activement exploitées dans lesquelles tout le profil au-dessus de la nappe phréatique est le siège d'une intense accumulation de sels.

Les salines actuellement exploitées se localisent entre 13° 40' et 14° de latitude nord et 14° 10' et 14° 20' de longitude est (fig. I).

Au point de vue climatique, la région étudiée appartient à la zone sahélo-saharienne de la classification d'AUBREVILLE (Pluviométrie : 300 mm ; Température moyenne : 28° ; Humidité relative moyenne : 38 % à 12 heures ; Evaporation de 1'ordre de 3.200 mm).

II. FACTEURS GENETIQUES DES CONCENTRATIONS SALINES

La salure des eaux souterraines et superficielles ainsi que les dépôts salins des régions arides relèvent essentiellement d'un processus actuel, dans lequel les causes climatique (net déficit pluviométrique) et morphologique (endo ou aréisme) sont les facteurs essentiels (ROBEAUX, 1952 ; SCHOELLER, 1941).

(1) Ouadi, dérivé de Oued est impropre puisque ce terme implique un drainage superficiel temporaire ; les cuvettes du Kanem sont aréiques.

PLAN DE SITUATION

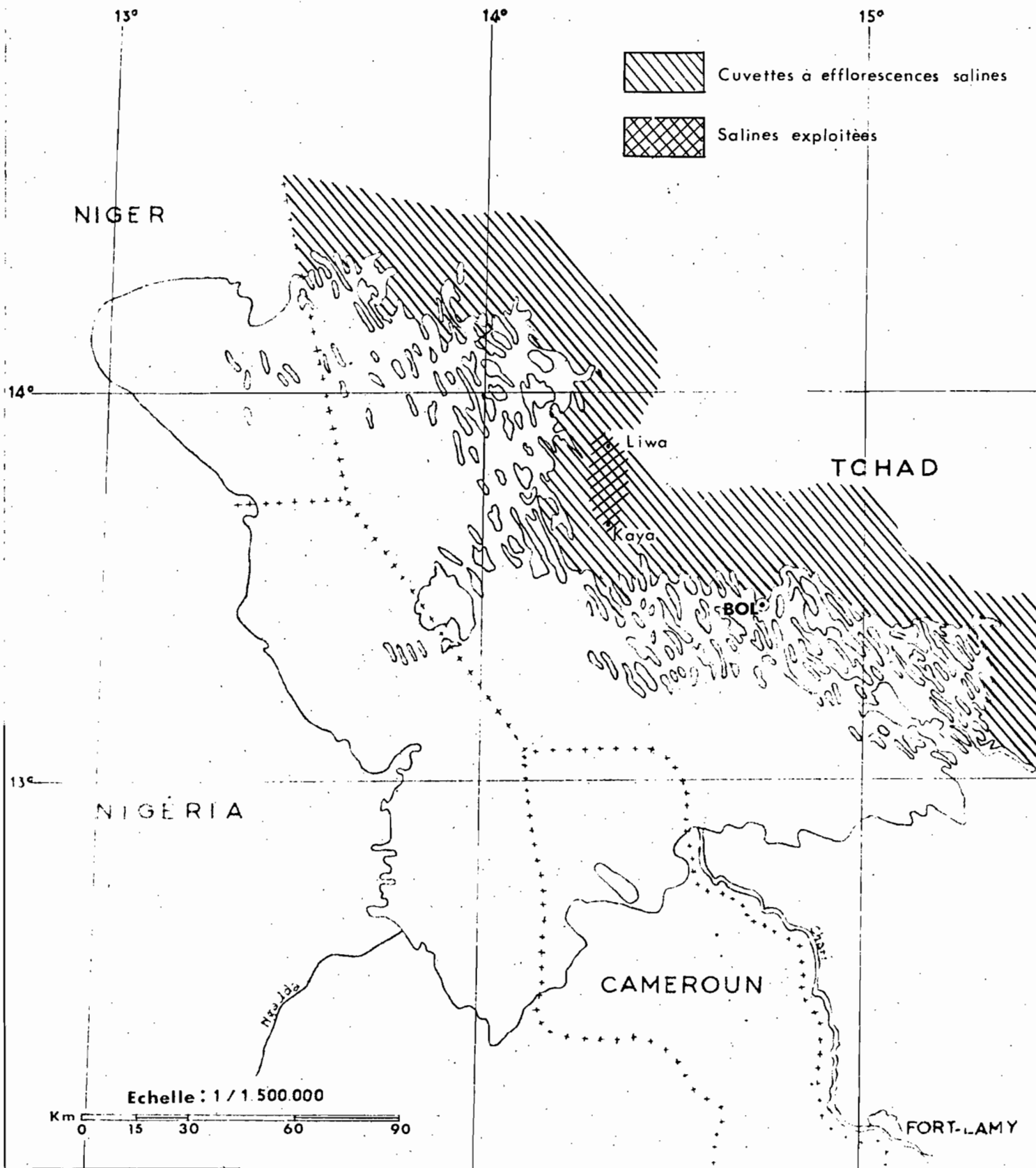


FIG. 1

Outre ces deux conditions représentées dans le Kanem, la présence au fond des dépressions interdunaires :

- . d'une nappe phréatique peu profonde (0 à 180 cm), alcaline (pH entre 8,6 et 10,5), très fortement salée (2 à 100 millimhos/cm), à drainage interne déficient (structure hydrogéologique fermée ; perméabilité faible de l'aquifère)
- . de sédiments limniques à dominance argileuse, permettant d'intenses remontées capillaires (soutenues et accentuées par une nappe en charge) conduit au cours de la saison sèche à une concentration très rapide des eaux de la nappe des bords vers le centre des salines. Certains sels dissous atteignent alors la saturation et précipitent au sein même du terrain aquifère.

En surface, les sels solubles exsudés des sédiments viennent former une croûte saline pulvérulente ; dans les puisards d'exploitation, les saumures exposées à l'évaporation directe déposent une dalle continue formée des sels ayant atteint leur limite de solubilité.

Ce phénomène se situe à la limite des domaines géologique et pédologique. Plus qu'une différence de nature, il représente en fait le terme ultime de la pédogénèse des sols salins à alcalis précédemment décrite dans les polders de Bol (CHEVERRY, 1965).

III. (4) PHYSICO-CHEMIE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

La nappe phréatique du Kanem est alimentée dans sa partie occidentale par l'inféroflux en provenance du lac Tchad (SCHNEIDER, 1966).

Sur le front d'infiltration, les eaux lacustres présentent le faciès bicarbonate calcique ; en se rapprochant du rivage, dans les bahrs (2) en plus d'une conductivité plus importante (600 à 1000 micromhos à 25°C), on assiste à une augmentation

(2) Bahr : bras du lac correspondant à d'anciens creux dunaires submergés, s'enfonçant profondément dans les terres.

des alcalins (surtout Na) qui égalent et parfois même dépassent les alcalino-terreux.

A mesure que l'on se rapproche de la zone des salines, cette évolution ne fait que s'accroître au sein de la nappe phréatique. La physico-chimie de celle-ci est influencée à la fois par sa profondeur par rapport au sol et par la nature lithologique de l'aquifère (qui détermine en dernier ressort l'intensité des remontées capillaires).

C'est ainsi que l'on passe au village de Liwa en moins de 500 m, de 970 micromhos/cm au puits du sommet de la dune à 2.300 micromhos/cm, valeur de la conductivité trouvée au puits de l'ouadi, situé à la rupture de pente sable-argile. Quel que soit leur état de concentration, les eaux de la nappe se regroupent dans la zone de l'alcalinité primaire, telle que la définit Piper dans sa représentation hydrochimique en losange ; elle résulte de la présence d'acides faibles (HCO_3^- , CO_3^{2-}) combinés aux alcalins (Na^+ , K^+).

L'intensité du phénomène augmente encore des bords vers le centre de la saline de Liwa : la nappe dans un puisard d'exploitation présente une conductivité de 108.115 micromhos/cm. Les eaux sont alors hypercarbonatées, une montée excessive des alcalins faisant tomber les alcalino-terreux à l'état de traces.

Ce phénomène est général comme le montre le tableau I où figurent les résultats des analyses chimiques de l'eau des puits et des saumures de 4 salines (Liwa, Kaya, Andjia et Bedarra).

Le tableau 2 où figurent les principaux paramètres caractéristiques ainsi que la figure 2 rendent compte de cette évolution.

On constate une montée plus rapide du Cl et du CO_3 combiné par rapport aux sulfates.

N°	Origine	Conduc- tivité à 25°C, micro- mhos/cm	pH	Résidu sec à 105°C mg/l	Teneurs en mg/l							
					Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃
1.	Lac Tchad à KARE-KATIA	644	8,0	458	50,0	20,67	52	31	3	0	6	408
2.	Puits de la dune de LIWA	970	8,1	642	28,06	6,08	138	78	14	76	0	469
3.	" de l'ouadi de LIWA	2.300	8,6	1.462	44,09	21,89	397	35	202	91	42	866
4.	Saumure de LIWA	108.115	9,5	(370.000)	16,0	19,46	69.000	5.357	14.180	2.458	75.900	31.415
5.	Puits de KAYA	2.868	8,6	1.808	6,0	3,65	602	105	124	312	75	1.232
6.	Saumure de KAYA	101.059	9,7	339.930	0	19,46	125.235	6.139	20.915	3.921	126.000	85.400
7.	Puits d'ANDJIA	1.046	8,3	640	20,0	6,08	188	23	85	100	12	396
8.	Saumure d'ANDJIA	108.357	9,8	372.640	0	19,46	129.720	11.730	49.360	5.116	120.000	62.525
9.	Puits de BEDARRA	1.800	8,5	1.220	46,09	18,24	296	37	99	220	24	665
10.	Saumure de BEDARRA	104.500	9,8	(350.000)	0	38,91	82.048	50.048	14.534	2.022	130.500	27.459

Tableau I : Analyse des eaux de la nappe phréatique du Kanem.

() Résidu calculé à partir de la conductivité.

N°	$\frac{SO_4}{Cl}$	$\frac{CO_3 + HCO_3}{SO_4}$	$\frac{Na + K}{Cl}$	$\frac{Na + K}{Ca}$	$\frac{Ca + Mg}{Na}$	S. A. R.	TH	TA	TN	TB
1	-	-	31,00	1,24	1,82	2,02	21	34,5	15,00	- 22
2	4,00	4,81	20,00	5,71	0,31	6,15	9,5	38,5	38,0	- 39,5
3	0,33	8,20	3,19	8,27	0,23	12,20	20	78,0	62,5	- 76,5
4	0,12	59,47	7,84	3.921	0,0008	2.732	12	15.235	13.685	- 15.475
5	1,85	3,49	8,25	96,30	0,02	47,89	3,0	113,75	127,6	- 145
6	0,14	68,00	9,50	-	0,0003	6.097	8,0	28.000	25.000	- 28.405
7	0,87	3,28	3,66	8,80	0,18	9,47	7,5	34,5	32,0	- 40
8	0,08	47,00	4,24	-	0,0003	6.316	8,0	25.125	22.700	- 20.655
9	1,60	2,54	4,94	6,02	0,3	9,3	19,0	58,5	55,0	- 70
10	0,10	11,40	11,90	-	0,0008	2.852	16,0	24.000	22.350	- 24.210

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques des eaux de la Nappe phréatique du Kanem.

Tous les paramètres ont été calculés à partir des résultats analytiques exprimés en milliéquivalents/litre.

SAR (Sodium Adsorption Ratio) = $\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$, d'après RICHARDS.

TH (Titre hydrotimétrique) = 5 (Ca + Mg)
 TA (" alcalimétrique) = 5 (CO₃ + HCO₃)
 TN (" natronique) = 5 (Na + K - Cl)
 TB (" de chloruration calcique) = 5 (Ca - (CO₃ + HCO₃ + SO₄)), d'après DELECOURT.

Les rapports concernant les cations traduisent la brutale montée des alcalins par rapport aux alcalino-terreux, dès que l'eau du lac s'infiltré dans la nappe dunaire ; il n'est cependant pas encore possible de dire si ce phénomène est dû, en partie, à un échange de bases entre l'eau et le matériau argileux de l'aquifère, ou bien uniquement à la soustraction des ions Ca par précipitation de Ca CO_3 .

Les valeurs élevées du "Sodium Adsorptio Ratio" indiquent le caractère alcalisant de la nappe.

Pour DELECOURT (1946), les eaux de type natronique, c'est-à-dire susceptibles de donner naissance par évaporation à des sels carbonatés ou bicarbonatés sodiques doivent présenter les caractères suivants (tableau 2) :

$$\begin{aligned} \text{TN} &> 0 \\ \text{TH} &< \text{TA} \text{ et } \text{TB} < 0 . \end{aligned}$$

On voit que l'eau du lac Tchad sur le front d'infiltration et toutes les eaux de la nappe phréatique du Kanem, cachées ou affleurantes, appartiennent à ce type ($\text{TN} > 0$).

Sur la figure 2, les résultats analytiques ont été portés en %, sur un diagramme losangique de Piper. L'évolution signalée apparaît très nettement.

Le déplacement du point A en B, puis C peut s'interpréter comme une tendance à la précipitation de Ca CO_3 ; il traduit en effet une diminution du CO_3 combiné et du Ca, et une augmentation du Cl.

.../...

A. Eau du front d'infiltration
 B. Eau des sables dunaires.

◊ Lac Tchad à Kare-Katia
 ◻ Puits de la dune de Liwa

C. Eau des puits des salines

○ Puits de Liwa
 ▱ Puits de Kaya
 △ Puits d Andjia
 □ Puits de Bedarra

D. Saumure des salines

● Saumure de Liwa
 ▩ Saumure de Kaya
 ▲ Saumure d Andjia
 ■ Saumure de Bedarra

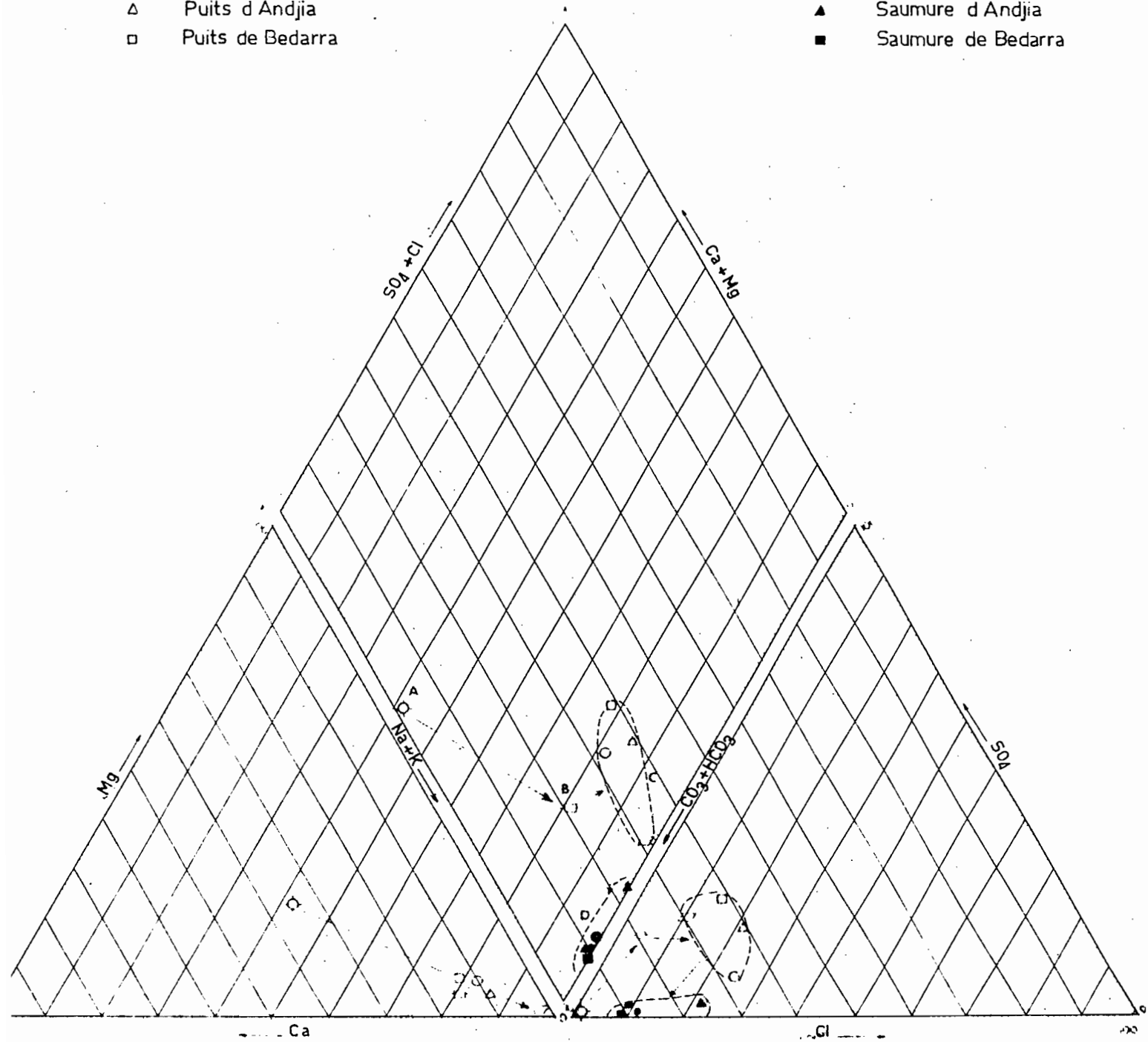


Fig. 2 Diagramme d'analyse des eaux de la nappe phréatique du Kanem

Le déplacement de la zone C (eau des puits) vers la zone D (eau des puits d'exploitation) peut s'interpréter soit comme une précipitation de Ca SO_4 , soit comme une réduction des sulfates (montée du CO_3 combiné, de Na et Cl ; baisse de Ca et SO_4).

Cependant, du fait de l'inégalité $\text{TH} < \text{TA}$, signifiant qu'il n'y a pas assez de Ca pour saturer le CO_3 combiné, il est vraisemblable que nous assistions au second phénomène.

IV. LA NATURE DES SELS CRISTALLISES.

La nature des sels minéralogiquement exprimés est évidemment fonction des caractères physico-chimiques de la nappe à partir de laquelle ils prennent naissance. Cette dernière présentant le faciès carbonaté sodique, des sels bicarbonatés et carbonatés sodiques, plus ou moins hydratés, seront présents.

Aucun dépôt de gypse n'est susceptible d'y être rencontré puisque les analyses montrent qu'il n'y a pas assez d'alcalino-terreux pour saturer les carbonates qui précipitent avant celui-ci.

Une zonation dans les dépôts apparaît tant latéralement (des bords vers le centre), que verticalement (depuis la nappe jusqu'en surface).

On distingue 4 variétés de sels :

1. - Monocristaux blancs, translucides, aux facettes bien dessinées.

Les analyses (Rayons X, A.T.D., A.T.P.) montrent qu'il s'agit de GAYLUSSITE, $\text{Ca CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, monoclinique (fig. 3 et 4 ; photo).

C'est le premier minéral représenté à la base de la colonne sédimentaire et sur le bord des cuvettes. Il est également le premier à cristalliser dans le temps.

Lorsque la nappe est trop profonde, les remontées capillaires étant plus ou moins bloquées, c'est alors le seul minéral présent (ouadi de Koulfa-Kama, nappe à 180 - 200 cm).

2. - Dans les salines où la nappe est subaffleurante, la gaylussite se maintient tout le long du profil, mais coexiste alors vers le centre des cuvettes avec d'autres dépôts salins, aux formes variées, disséminés dans l'argile : boules massives ou fibreuses, rognons à aiguilles rayonnantes pesant jusqu'à 3 kg. Toutes ces variétés se caractérisent par une couleur sombre et se rangent dans la catégorie du Natron noir que distinguent les sauniers indigènes. Les diverses analyses (chimique, diffractométrie X, A.T.P.) montrent qu'il s'agit de TRONA, $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, monoclinique, mélangé à de faibles quantités de gaylussite (fig. 3 et 5).
3. - En surface, dans les bassins évaporatoires où les saumures se concentrent, le Natron blanc cristallise sous forme d'une dalle continue de 30 à 40 cm d'épaisseur, dans laquelle les sauniers découpent des plaques ovales de 35 à 40 kg qu'ils laissent ensuite sécher au soleil. Cette couche est formée d'un empilement de lits contournés, de 1 à 2 cm d'épaisseur, correspondant à des cristallisations successives et variées (massive, fibreuse, en aiguilles ...). Là encore, il s'agit de trona mélangé à quelques grains de quartz ; aucune analyse n'a encore mis en évidence du NATRON, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$.
4. - Dans les parties non exploitées des salines et dans les cuvettes à nappe profonde, la surface se recouvre au cours de la saison sèche d'une couche pulvérulente de 15 à 20 cm d'épaisseur qui donne cette blancheur si caractéristique aux dépressions interdunaires de la bordure septentrionale du Lac Tchad. Il s'agit de l'exsudation, sous l'effet de l'intense évaporation, des solutions du sol qui, en cristallisant viennent se mélanger aux particules sableuses amenées par la déflation des dunes environnantes. Les analyses ont montré un mélange en proportion variée de trona et de quartz.

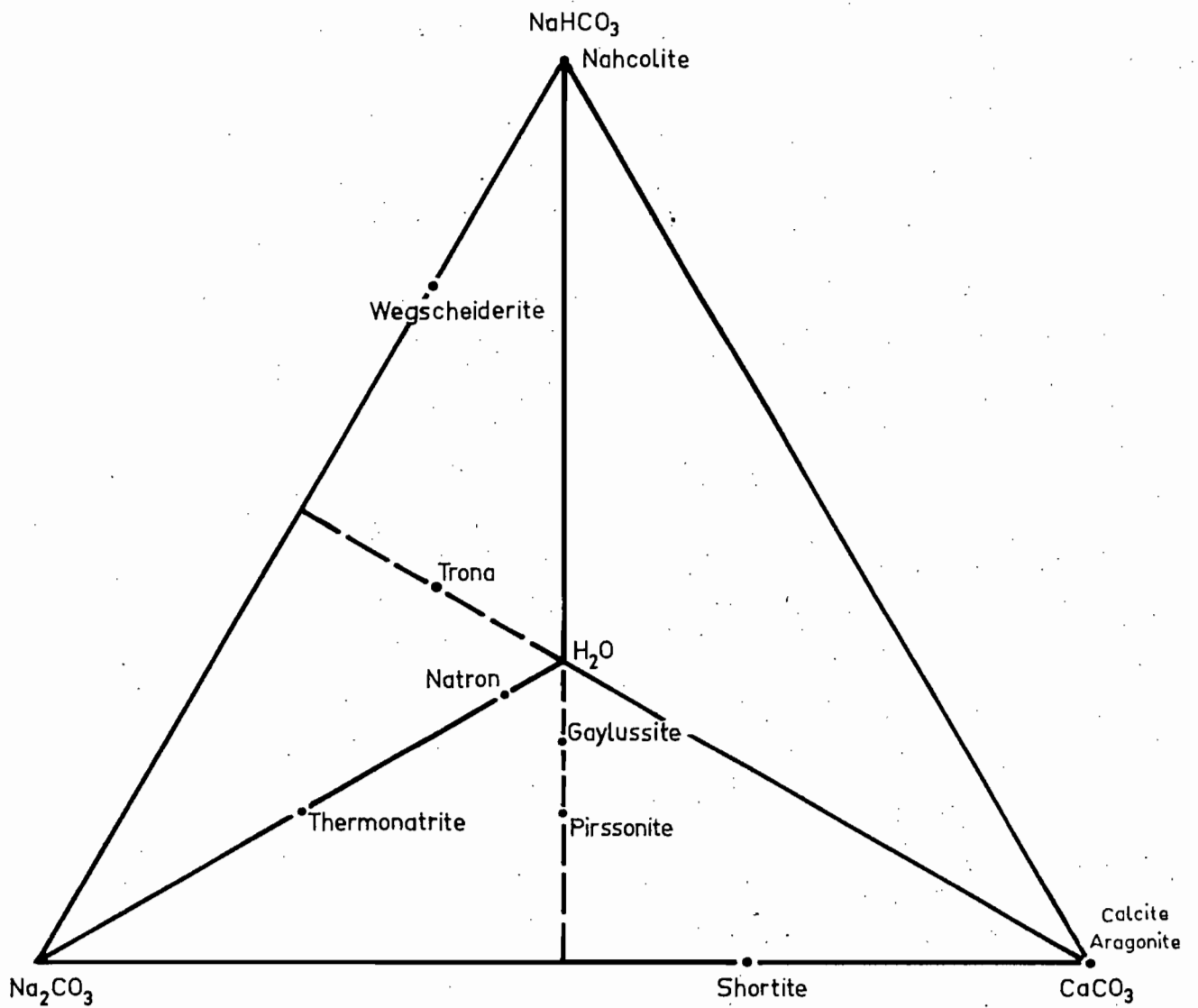


Fig. 3 Composition des minéraux (en mole %) dans le système $\text{NaHCO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$
 (d'après Eugster & Smith 1965)

DIFFRACTOGRAMME X:
Gaylussite

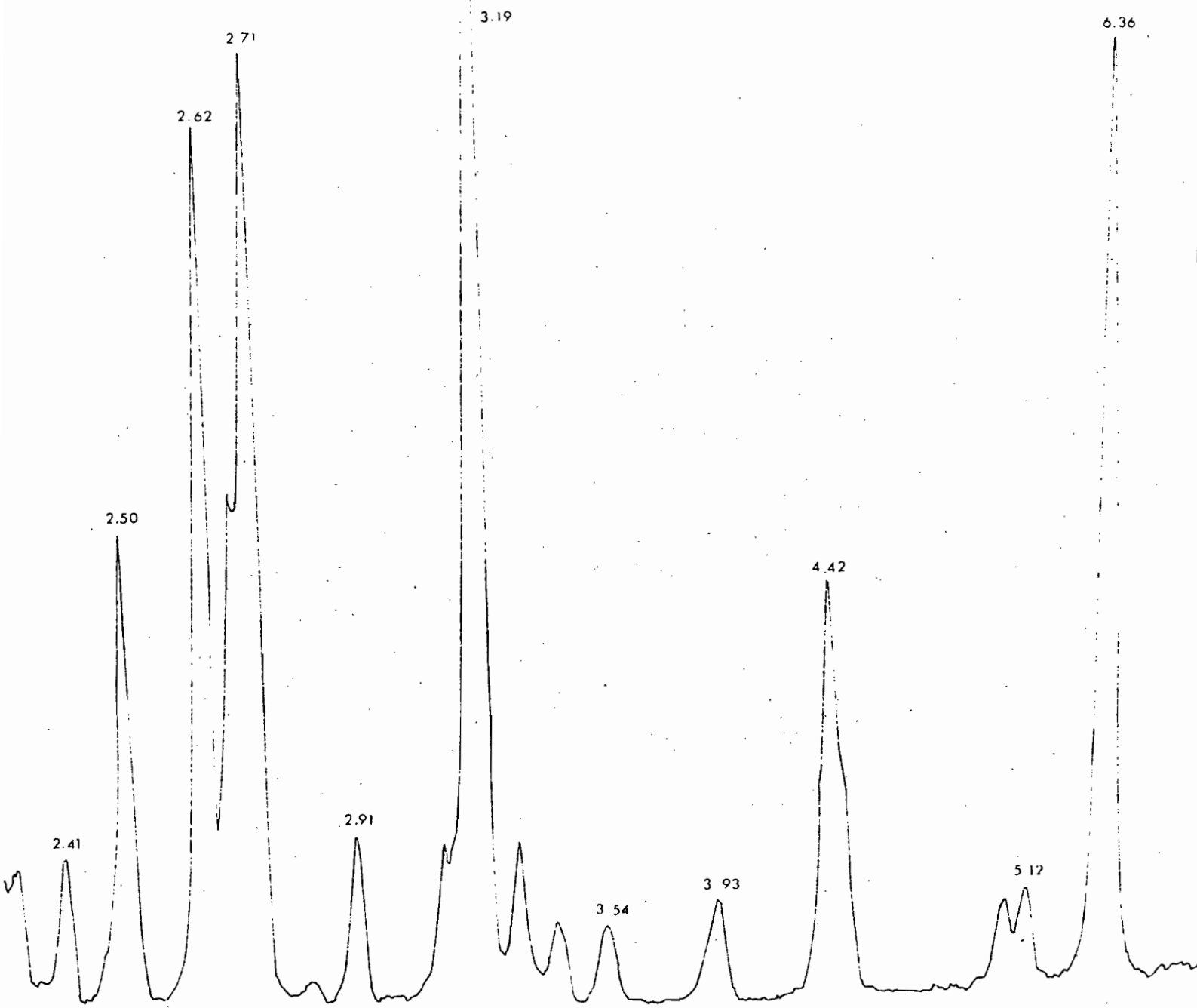


FIG. 4

DIFFRACTOGRAMME X : TRONA

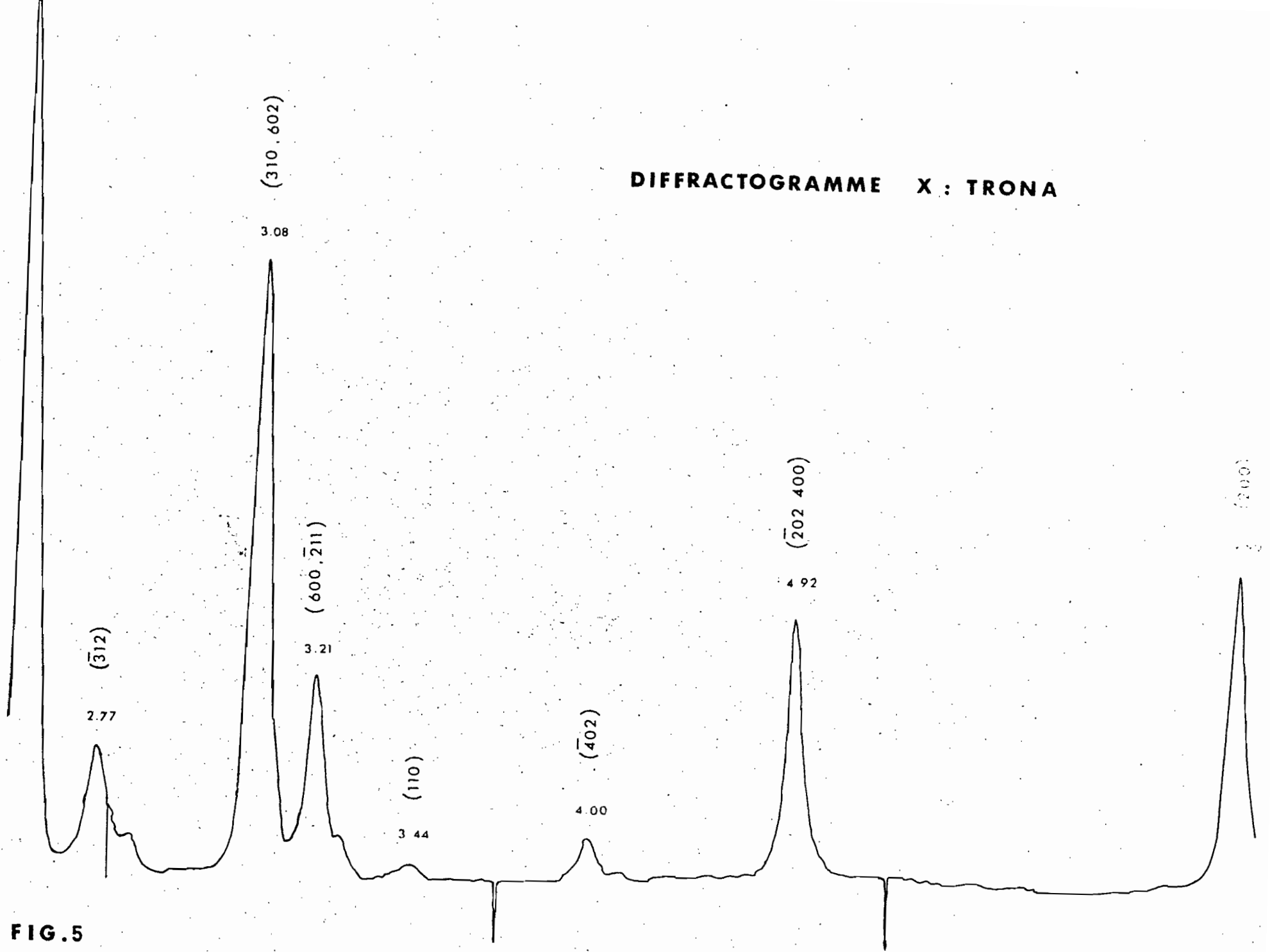


FIG. 5

V. IGNIFICATION GEOCHIMIQUE DES MINERAUX PRESENTS

La littérature (RANKAMA, 1954) s'accorde à reconnaître la gaylussite comme le premier minéral à cristalliser, étant parmi les carbonates sodiques, celui dont la solubilité est la plus faible.

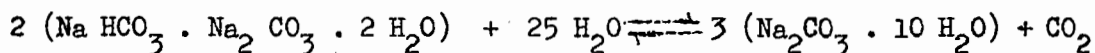
Sa présence, plutôt que celle de la pirsonnite ($\text{Ca CO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est sous la dépendance de l'état de concentration et de la température des solutions mères.

La gaylussite est une forme de moyenne température ($< 40^\circ\text{C}$) et de haute teneur en eau ; la pirsonnite, par contre, est une forme de haute température que l'on peut cependant rencontrer dans les conditions ordinaires mais seulement en l'absence de solution.

Cette condition n'est jamais réalisée dans les salines du Kanem, où les intenses remontées capillaires à partir de la nappe amènent une humidité forte et permanente du terrain.

Dans les conditions ordinaires de température et de pression, le trona est le second minéral à cristalliser.

L'équation suivante rend compte de l'équilibre entre les deux espèces :



trona

natron.

Les données physico-chimiques du système $\text{Na HCO}_3 - \text{Na}_2 \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ont été établies par FREETH (1923). Les domaines de stabilité des différents minéraux carbonatés et bicarbonatés sodiques, en équilibre avec leurs solutions, ont été discutés par MILTON et EUGSTER (1959) en fonction de la pression partielle de CO_2 et de la température.

.../...

ROSS (1961) a de son côté établi les domaines de stabilité de ces mêmes minéraux en fonction des pressions partielles de H_2O et CO_2 .

De ces divers diagrammes, il ressort que le trona est stable à des températures plus élevées ($> 32^{\circ}C$) et à des pressions partielles de vapeur d'eau plus faibles (c'est-à-dire en fait à des concentrations plus fortes des solutions mères) que le natron.

Dans les salines du Kanem, les saumures exposées à l'évaporation directe ont des températures toujours supérieures à $32^{\circ}C$ et des concentrations trop élevées pour que le natron soit la forme minéralogique stable.

Le trona, par contre, semble trouver dans ce milieu, les conditions nécessaires à sa stabilité.

CONCLUSIONS

La gaylussite, associée au trona, non signalée dans les salines de la bordure septentrionale du Lac Tchad a été identifiée. Ces évaporites ont été sommairement replacées dans leurs contextes géologique et géochimique.

Le travail en cours s'attache à définir dans leurs détails les conditions de genèse actuelle de ces concentrations salines. Il permettra par ailleurs de préciser si ces dépôts sont à eux seuls suffisants pour expliquer le remarquable processus de régulation de la salinité des eaux du Lac Tchad (TILHO, 1909 ; BOUCHARDEAU, 1957).

La discussion des équilibres minéralogiques, à la lumière des données géochimiques, ne pourra être valablement entreprise que lorsqu'un bilan complet des paragenèses salines aura été dressé.

0

0 0

Les analyses chimiques ont été réalisées par J. CHANUT, laboratoire de chimie du Centre ORSTOM de FORT-LAMY ; les analyses diffractométriques par C. PARENT du laboratoire de géologie appliquée de PARIS et M. PINTA du laboratoire de spectrographie des S.S.C. - ORSTOM de BONDY, que nous tenons à remercier ici.

B I B L I O G R A P H I E

- BOUCHARDEAU, A. et LEFEVRE, R. (1957) - Monographie du Lac Tchad - C.S.L.T. - O.R.S.T.O.M., Tome I, Edition provisoire, 112 p.
- CHEVERRY, C. (1965) - Essai de caractérisation des sols des polders de Bol (rives du Lac Tchad) - O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 120 p.
- COURTET, H. (1905) - Les sels de la région du Tchad - C.R. Ac. Sc. Paris, pp. 316-318.
- DELECOURT, J. (1946) - Géochimie des Océans, Bassins clos et Gites Salifères - Mém. Soc. Bel. Géol. Paléont. et Hydrologie, n° 1, 177 p.
- EUGSTER, H.P. et SMITH, G.I. (1965) - Mineral Equilibria in the Searles Lake Evaporites, California. Journal of Petrology, Vol. 6, Part. 3, pp. 473-522,
- FREETH, F.A. (1923) - The system $\text{Na}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$, considered as two four component systems. Phil. Trans, Roy. Sco. London, 223, série A, pp. 35-87.
- FAURE, H. (1963) - Inventaire des Evaporites du Niger (Mission 1963). Rép. du Niger, Min. des T.P., des Mines et de l'Hydr. Rapport BRGM DAK, 63 A7, 162 p. annexes.
- HEBERT (1905) - Contribution à l'étude chimique des sels, des eaux et des produits minéraux de la région du Chari et du Lac Tchad. C.R. Ac. Paris, t. 140, pp. 163-165.
- LACROIX, M.A. (1905) - Résultats géologiques et minéralogiques de récentes explorations dans l'Afrique Occidentale Française et dans la région du Tchad. Rev. Coloniale, N^{elle} série, n° 25, avril 1905, pp. 205-223.
- MARGAT, J. (1958) - Les Eaux Salées du Maroc - UNESCO, Actes du Colloque de Teheran : Problèmes de la salinité dans les régions arides, pp. 91-104.
- MILTON, C. et EUGSTER, H.P. (1959) - Mineral assemblages of the Green River formation in ABELSON P.M., ed., Researches in Geochemistry, New-York : John Wiley and Sons Inc., pp. 118-150.
- PIAS, J. (1963) - Les sols du Moyen et Bas-Logone, du Bas-Chari, des régions riveraines du Lac Tchad et du Bahr-El-Ghazal - Mémoires O.R.S.T.O.M., n° 2, 438 p.

- PIPER, A.M. (1944) - A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Trans. Amer. Geog. Union, pp. 914-929.
- POCHARD, P. (1943) - Contribution à l'étude des eaux souterraines, des sels et des nitrates de la région du Tchad. Rev. Sc. Med. Pharm. et Veter. de l'Afr. Fr. L. mars 1943.
- RANKAMA, K and SAHAMA, TH. G. (1964) - Geochemistry. The University of Chicago and London, 911 p.
- RICHARDS, L.A. (1964) - Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook, n° 60, U.S. Department of Agriculture, 160 p.
- ROBAUX, A. (1952) - Propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines dans les pays arides. Colloque CNRS, Ankara.
- ROCHE, M.A. - Première estimation des apports en sels au Lac Tchad par le Chari. Rapport O.R.S.T.O.M. à paraître.
- SCHOELLER, H. (1941) - L'influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines vadoses. Bull. Soc. Geol. Fr., (5), XI, pp. 267-298.
- SCHNEIDER, J.L. (1966) - Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500.000^e Feuille de Mao et Fort-Lamy ; rapport de synthèse. B.R.G.M.
- SOULA, L. (1950) - Sels du Manga (Niger) - La thenardite de Maïné - Soroa. Les Sels alimentaires, Dir. Gén. de la Santé Publique, Dakar, 107 p.
- TILHO, J. (1909) - Documents scientifiques de la Mission Tilho (1906-1909) Imprimerie nationale, Paris, 3 tomes.