Ass. sénégal. Et. Quatern. Afr., Bull. Liaison, Sénégal, n° 49, décembre 1976

DONNEES GEOCHIMIQUES PRELIMINAIRES SUR LA SEBKHA DE NDRHAMCHA (MAURITANIE)

par G MAGLIONE* et M. CARN*

Le comportement géochimique actuel de la sebkha de Nedrahamcha est en grande partie orienté par son héritage quaternaire des douze derniers millénaires. On gardera donc présent à l'esprit les paléogéographies qui se sont succédées au cours de l'Ogolien, du Tchadien, du Nouakchottien et du Tafolien (fig. 1 et 2).

I - GENERALITES

L'installation d'un milieu évaporatoire en une région du globe nécessite la convergence de plusieurs facteurs.

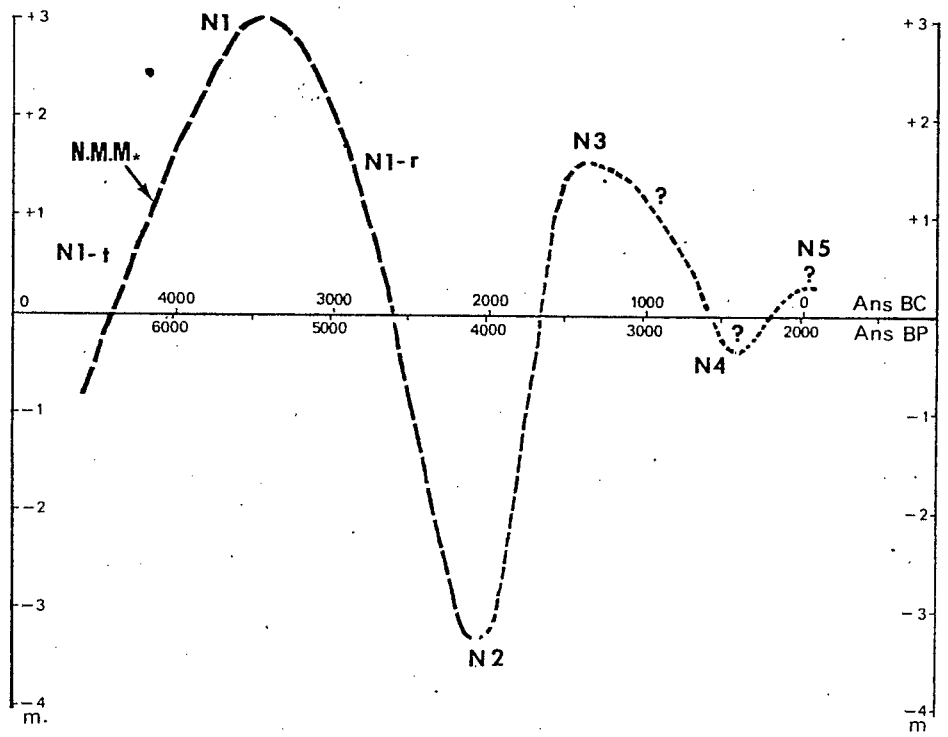
Le premier reste, bien évidemment, *le climat* ; les évaporites (ou roches salines) se sont formées et se forment dans des régions arides (chaudes ou froides d'ailleurs), à très fort *excédent évaporatoire*. C'est ainsi que l'on parle d'une "ceinture évaporitique" à l'échelle du globe pour une époque donnée.

Le deuxième facteur est constitué par la *morphologie* (sédimentaire ou tectonique) du milieu de sédimentation chimique ; un confinement, à diverses échelles, est nécessaire (sebkhas côtières, lagunes, fonds de baie, dépressions interdunaires ; rifts).

Enfin le troisième facteur est d'ordre *hydrologique* ; il faut qu'il y ait de l'eau à évaporer, soit de façon directe soit de façon capillaire ; mais un *déficit hydrique* est nécessaire, les pertes dominant les apports, pour que les sels initialement dissous se concentrent jusqu'à atteindre leurs seuils de saturation respectifs.

* *Laboratoire de Géochimie, Centre O.R.S.T.O.M., B.P. 1386, Dakar-Fann (Sénégal).*

26 NOV 1983
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 3881
Cote B



* **N.M.M** = Niveau moyen de la mer

- fig 1 - VARIATIONS DU N.M.M A L'HOLOCENE

[d'après P. ELOUARD ; H. FAURE ; L. HEBRARD]

II - CADRE PHYSIQUE DE LA SEBKHA

1. Cadre climatique

Nous le résumerons en quelques chiffres fournis par la station climatologique ASECNA de Nouakchott.

Température moyenne annuelle de 25°7 avec une moyenne des températures maxima et des températures minima annuelles de 32°4 et de 19°C. La température maxima absolue enregistrée a été de 48°C (juin), la température minima absolue de 3°9 (janvier).

L'humidité relative moyenne annuelle à 12 h 00 n'est que de 42 %.

La pluviosité moyenne annuelle se chiffre à 127,1 mm essentiellement regroupés sur les mois de juillet à octobre.

L'évaporation est l'élément mal connu de ce bilan climatique ; par comparaison avec le bassin tchadien, on peut retenir une ablation voisine de 2 m sur une nappe d'eau libre. Cette évaporation est notablement abaissée en régime capillaire, et d'autant plus qu'elle agit sur des saumures dont la tension de vapeur freine elle-même l'évaporation.

On retiendra donc de ces chiffres que l'évaporation est largement excédentaire dans le bilan hydrique.

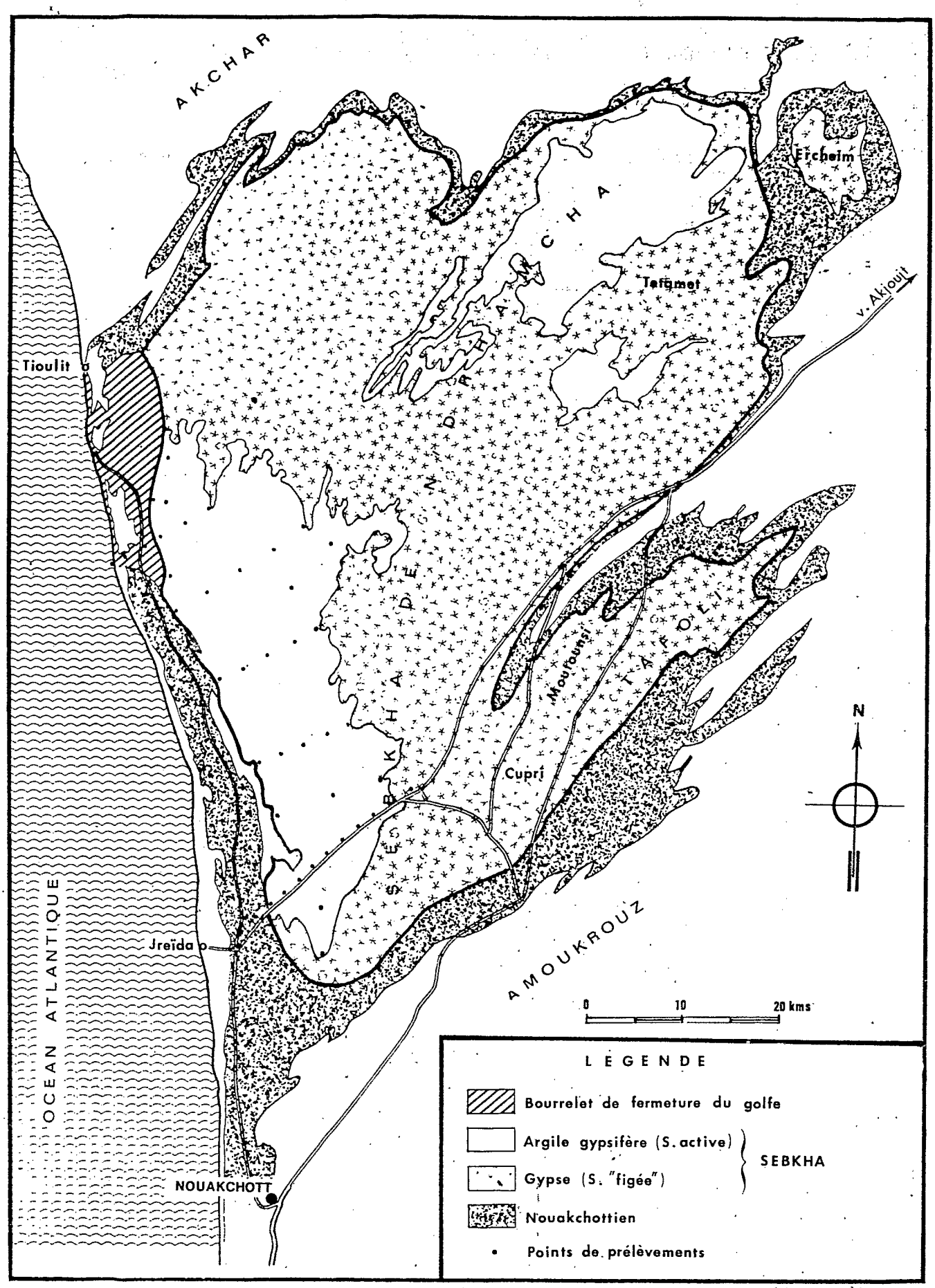
2. Cadre morphologique

La sebkha de N(drahamcha est située à 50 km au Nord-Est de Nouakchott. Elle s'étend sur 70 km en direction SW-NE et sur 50 km en direction NW-SE. Près de 4100 km^2 sont situés sous le niveau de la mer (entre 0 et -4 m), dont plus de 2400 km^2 sous le niveau moyen des basses marées.

Deux entités morphologiques et géochimiques peuvent être isolées :

- sebkha "morte ou inactive" (≃ 3.365 km ; 82 % de la surface totale). Elle dessine un vaste croissant autour de la zone des argiles gypsifères (fig. 2). Son soubassement est constitué par du gypse varvé, syngénétique, mis en place par évaporation directe des eaux progressivement emprisonnées derrière le cordon littoral, lors de la fermeture du golfe durant le Tafolien. Des remaniements éoliens et des phénomènes de dissolution masquent et perturbent en certains endroits la lamination originelle.

On ne possède que très peu de données sur la chimie de la nappe phréatique de cette zone. Il est toutefois vraisemblable que le niveau de gypse varvé, dont l'épaisseur varie de 0,50 m à plus de 3,50 m, constitue un écran protecteur vis-à-vis d'une possible évaporation capillaire. Aux points de vue, géochimiste et actualiste, nous sommes donc fondés à considérer cette zone comme *fossile et non évolutive*.



-fig 2 - CARTE DE SITUATION DE LA SEBKHA DE N'DRHAMCHA (d'après L. HEBRARD)

- sebkha "vivante ou active" (≈ 735 km^2 ; 18 % de la surface totale). Il s'agit de la zone des argiles salifères, pour laquelle nous préférons substituer le terme d'argiles gypsifères (fig. 2), le sel (halite) ne représentant qu'un très faible pourcentage au sein de la matrice argileuse. Elle constitue la partie la plus déprimée de la sebkha, immédiatement en arrière du cordon littoral qui la domine de quelques mètres et l'isole de la mer. Cependant, en période de grandes marées, son flanc occidental peut être inondé, notamment à la hauteur de Tioulit.

Son soubassement est également constitué par la formation du gypse varvé recouvert par une épaisseur de 50 à 120 cm d'argile gypsifère.

Les phénomènes qui se passent dans les argiles gypsifères de la sebkha "vivante" relèvent au contraire de processus diagénétiques par évaporation capillaire s'exerçant sur une nappe phréatique peu profonde (fig. 3, B).

III - LA NAPPE PHREATIQUE DES ARGILES GYPSIFERES

Si dans la mise en place des évaporites le climat représente le moteur des phénomènes, la nappe d'eau (affleurante ou souterraine) en constitue le vecteur. C'est en effet à partir du vecteur aqueux que les sels dissous vont se concentrer jusqu'à former les roches salines.

1. Relations de la nappe des argiles gypsifères avec la mer

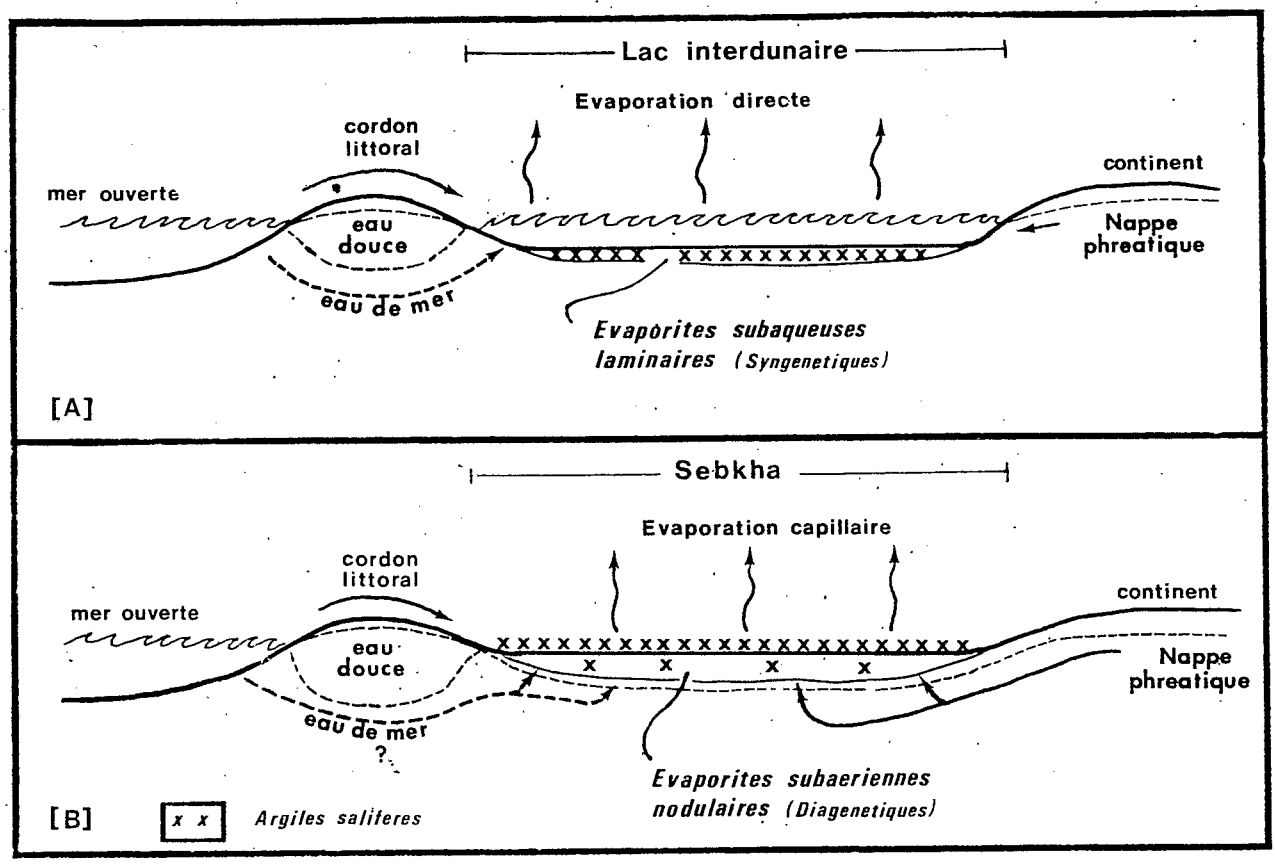
A ce stade de nos recherches, nous ignorons les relations qui existent entre ces deux entités hydrologiques. Cette ignorance doit être levée par une prochaine campagne de géophysique (prospection électrique) qui permettra de déterminer l'extension de la lentille douce abritée dans le cordon littoral (fig. 3), l'orientation et la pente du substratum inchirien sous ce même cordon.

On saura alors s'il existe des infiltrations d'eau marine à travers le cordon vers l'intérieur de la sebkha ou bien si la nappe phréatique représente une masse d'eau marine, emprisonnée lors de la fermeture du golfe nouakchottien et éventuellement rechargée par des venues actuelles d'eaux continentales en provenance des systèmes dunaires environnants.

2. Profondeur de la nappe

En l'absence de nivellement de précision, seules sont connues les profondeurs relatives du niveau piézométrique par rapport à la surface du sol.

La profondeur de la nappe est comprise entre 50 et 240 cm. En contrebas du cordon littoral, sur le flanc ouest de la sebkha, les profondeurs, oscillent entre 70 et 120 cm ; la nappe se rapproche de la surface en



- fig 3 - LES DEUX TYPES DE PARAGENESE ASSOCIES A DEUX TYPES D'EVAPORATION.

allant vers l'Est (≈ 50 cm) et s'approfondit ensuite au contact de la sebkha morte (200 à 400 cm). En fait ces différences de profondeur sont déterminées par le modelé de la surface de la sebkha.

3. Géochimie de la nappe

3.1. Les connaissances actuelles sur la géochimie de cette nappe résultent d'une récente campagne (janvier 1975) de forage et d'échantillonnage.

Elles sont schématisées dans la figure 4 où l'on a reporté les courbes isovaleurs de trois paramètres physico-chimiques caractéristiques : conductivité, pH, Eh.

On rappellera que la conductivité traduit la concentration totale en sels dissous, le pH le caractère acide ou basique et le Eh (potentiel d'oxydo-réduction) le caractère oxydant ou réducteur des eaux de la nappe.

Pour les 3 paramètres mentionnés on observe un gradient depuis le cordon littoral vers l'intérieur de la sebkha.

D'alcalins au voisinage de la mer, les pH diminuent régulièrement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 6,50 à la limite avec le gypse varvé. Les courbes d'isoconductivité isolent une zone fortement conductrice (zone de plus forte concentration en sels dissous) dans la partie centrale de la sebkha active. Les potentiels d'oxydo-réduction sont positifs sur le flanc ouest et négatifs sur le flanc est, là précisément où le dégagement d'H_2S est le plus intense lors du fonçage des puits.

Les résultats analytiques d'une transversale de prélèvements depuis la mer jusqu'aux premiers affleurements de gypse varvé (fig. 4,1), sont donnés dans le tableau I. On a reporté la composition chimique moyenne de l'eau de mer pour comparaisons.

Un net gradient de concentration s'observe selon cette transversale W-E.

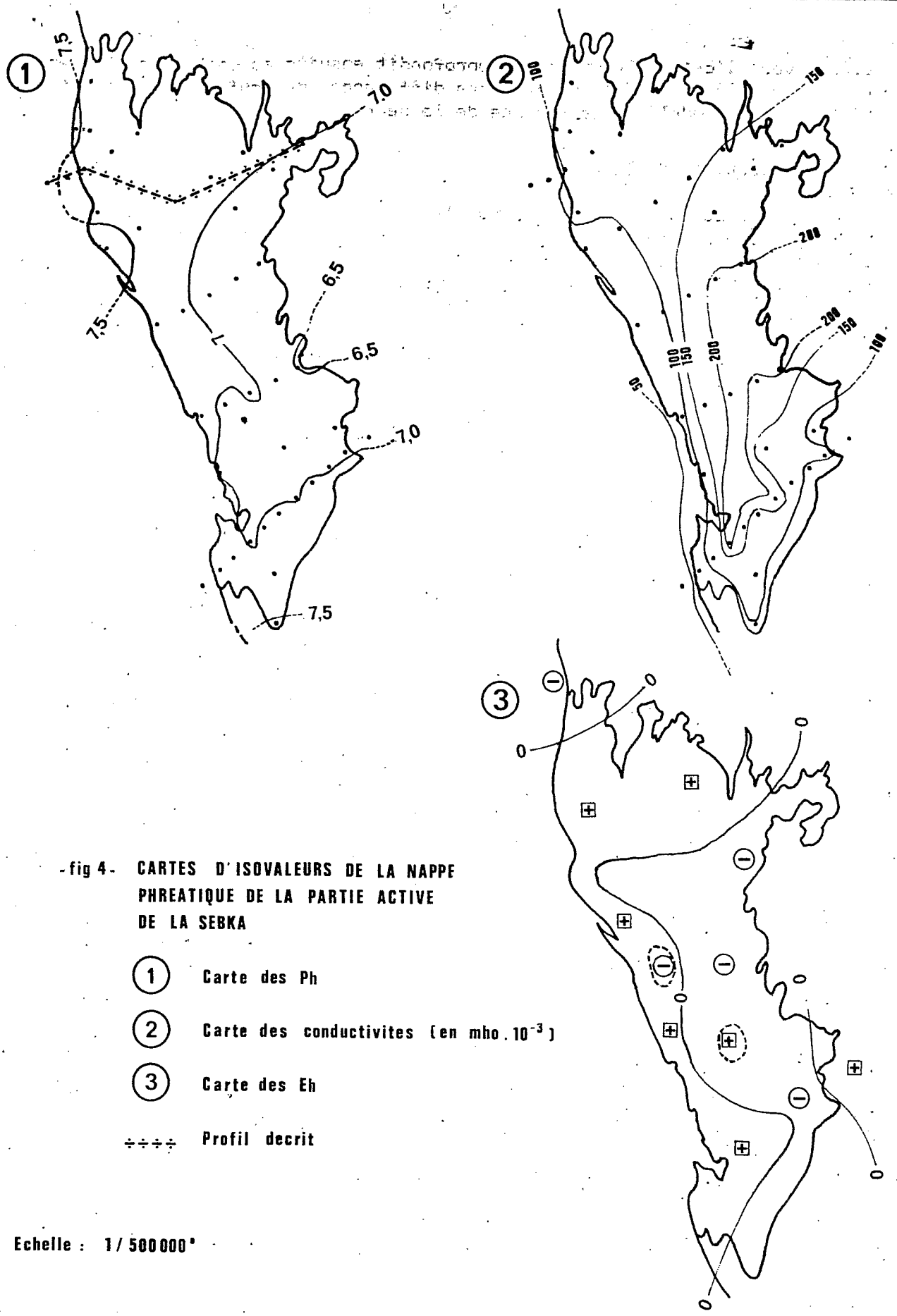
En prenant l'ion sodium, le plus inerte, comme traçeur de la concentration par évaporation, les coefficients de concentration entre l'eau de mer (Nd'49) et l'eau la plus minéralisée (Nd'24) sont respectivement de 5,38, 3,31, 2,09, 5,25, 4,80, 2,84, 4,67, pour Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, Na^+, K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}.

Ces variations dans les coefficients de concentration traduisent :

. la précipitation de carbonates alcalino-terreux

.. la précipitation de gypse, couplée, avec une réduction bactérienne des sulfates à l'état de sulfures métalliques.

Ces événements sont également enregistrés par les variations dans les rapports caractéristiques des ions entre eux (cf. tableau I).



-fig 4- CARTES D'ISOVALEURS DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA PARTIE ACTIVE DE LA SEBKA

(1) Carte des Ph

(2) Carte des conductivites (en mho.10^{-3})

(3) Carte des Eh

÷÷÷÷ Profil decrit

Echelle : 1/500000°

Dans son état actuel de concentration, l'eau la plus minéralisée (Nd'24) n'est sursaturée que vis-à-vis des carbonates alcalino-terreux et du gypse, mais pas encore vis-à-vis de la halite.

Chacun des échantillons d'eaux fait par ailleurs l'objet d'une analyse isotopique de l'oxygène et du deutérium. Le rapport $^{18}O/^{16}O$ est en effet devenu dans ce genre d'études un outil irremplaçable pour tracer et chiffrer l'évaporation que subissent les eaux.

IV - LES SEDIMENTS ET LES SELS

Nous n'avons que très peu de données sur la sédimentologie et la minéralogie des argiles gypsifères. Les études sont en cours.

En dehors des cristaux de halite (sel gemme) et de gypse aisément identifiables, une étude minéralogique de Millot (*in* Blanchot, 1957) a porté sur 4 échantillons d'argile salifère.

Au point de vue constitution on retiendra :

- sable (1,4 à 6,6 %)
- calcite (2 à 6 %)
- dolomite (6 à 28 %)
- sels solubles (3 à 79 %)
- argile (13 à 39 %).

Les sels solubles sont constitués par le NaCl dominant (11 à 71 %) et par du $CaSO_4$ (3 à 42 %).

Le spectre argileux montre l'association illite + montmorillonite, bien représentatif des milieux lagunaires à sédimentation chimique basique. Dans deux échantillons on note la présence de kaolinite, héritée selon Millot du lessivage des formations des bassins versants.

De nombreux points restent à éclaircir : nature de la dolomite et de la calcite, leur origine ; néoformation ou héritage des minéraux argileux,...

V - INTERETS ECONOMIQUES REELS ET POTENTIELS DES SEBKHAS

1. Intérêt économique réel

Les faibles valeurs du rapport P/E (Pluviosité/Evaporation) sont inhérentes à une région donnée ou bien consécutives à une péjoration climatique ; celle enregistrée par le Sahel au cours de ces dernières années en est un exemple.

Ces faibles valeurs présentent un aspect défavorable vis-à-vis du

maintien de l'activité biologique, animale, végétale et humaine.

Mais à côté de cet aspect négatif, l'accentuation des conditions d'aridité peut permettre le démarrage d'activités susceptibles de prendre le relais de celles touchées par la sécheresse. L'augmentation de l'exédent évaporatoire se traduit en effet par une concentration des eaux de surface et subaffleurantes. Cette concentration a donné au cours des temps géologiques, donne et peut donner lieu à des mises en réserves minérales exploitables (gypse, halite, sels potassiques ; éléments rares comme le magnésium, le brome, le lithium,...).

Dans une communication récente, Faure (1973) a proposé l'utilisation de la sebkha de N'drahamcha comme vaste table salante en réouvrant un chenal de communication avec la mer. L'intérêt ne résiderait pas dans l'exploitation du sel gemme, à faible valeur commerciale, mais dans la récupération par concentration évaporatoire d'éléments rares, actuellement très demandés par l'industrie, comme le magnésium, le lithium. Aux minerais traditionnels (giobertite, dolomite et carnallite) s'est en effet ajoutée l'eau de mer comme source nouvelle de magnésium ; c'est ainsi que le procédé américain Dow Chemical permet d'en obtenir 1,3 kg par mètre cube d'eau traitée.

Il va sans dire que des études préliminaires seraient indispensables pour apprécier les conséquences de tous ordres qu'entraînerait une telle modification de la sebkha de N'drahamcha.

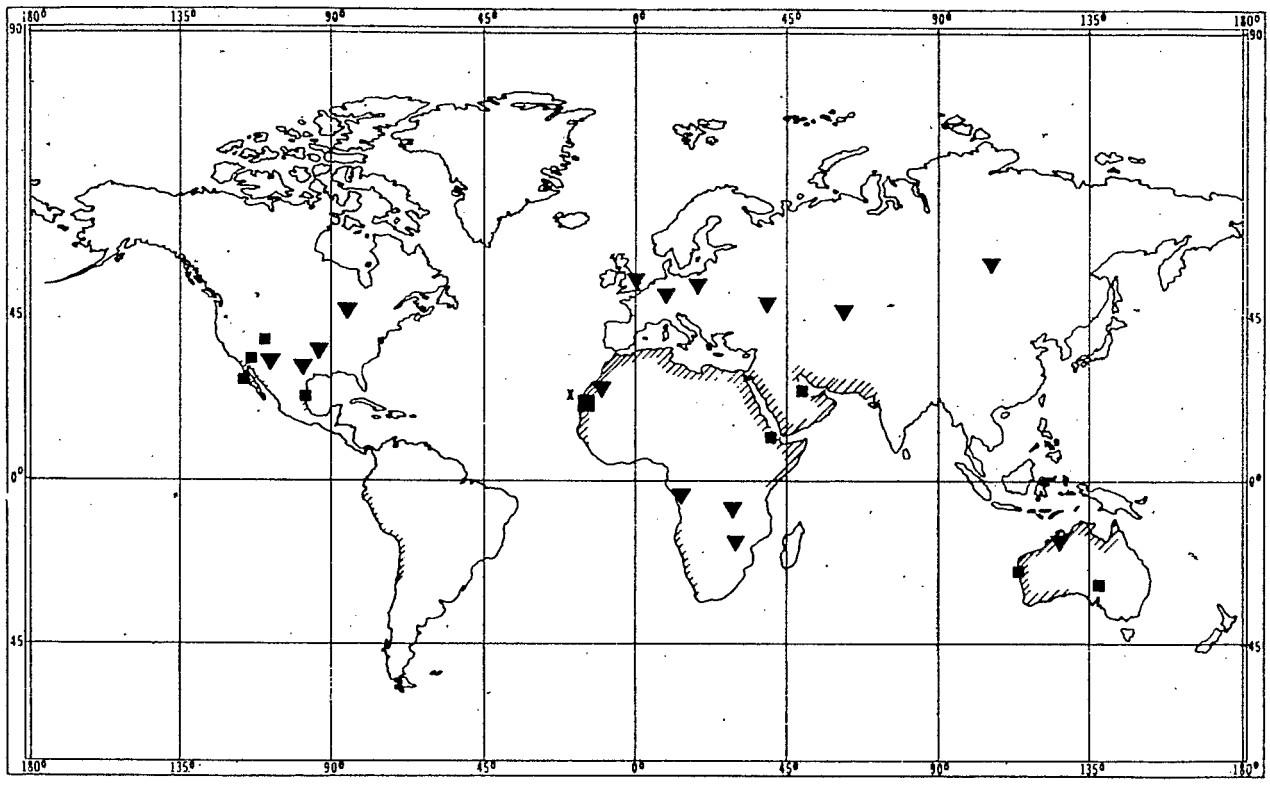
Une exploitation immédiate pourrait être celle des saumures des argiles gypsifères, déjà naturellement concentrées de plus de 5 fois en ce qui concerne les chlorures et le sodium et de 4 fois pour le magnésium. Un calcul très sommaire montre qu'une nappe d'une puissance de 2 m sur les 4.000 km^2 de la sebkha avec une concentration moyenne de 3 g/l de magnésium recèle quelques 24.000 T de ce métal, tandis que la production mondiale annuelle avoisine les 200.000 T.

2. Intérêt économique potentiel

La figure 5 représente la répartition mondiale des zones côtières favorables, d'un strict point de vue climatique, à la formation de roches salines. Les carrés noirs représentent les sebkhas actives reconnues, les triangles noirs correspondent aux régions dans lesquelles une association de gisements métallifères stratiformes avec des évaporites a été mis en évidence.

Environ 30 % de la production mondiale de cuivre provient de dépôts stratiformes intercalés entre des "red-bed" continentaux oxydés et des évaporites de faciès réduits. On peut citer les dépôts du Kupferschiefer d'Allemagne, du Roan de Zambie et de Rhodésie.

Les sebkhas côtières comme les régions à mangroves représentent des zones charnières à la limite continent-océan, lieu de mixtion entre les eaux marines et les eaux continentales. Ces milieux géochimiques sont favo-



- fig 5 - Repartition mondiale des sebkhas actives et des gisements metalliferes associes à un environnement evaporitique.

■ Sebkhas actives (x = Sebkha de N'Drhamcha)

▼ Gisements metalliferes stratiformes avec evaporites associees

//// Zones climatiquemement favorables au developpement de sebkhas

(d'apres A.R. RENFRO)

rables au piégeage en milieu réducteur d'éléments comme le cuivre, l'argent, le plomb et le zinc transportés dans le milieu de sédimentation à l'état de traces par les eaux continentales.

On saisit donc tout l'intérêt que représente l'étude géochimique de cette sebkha dans l'établissement d'un modèle génétique applicable à certains gisements métallifères stratiformes.

VI - CONCLUSIONS

Par ses dimensions, la sebkha de N'drahamcha est comparable à d'autres grands bassins évaporitiques plus connus : golfe du Kara-Bogaz (U.R.S.S.), Grand lac Salé (U.S.A.), Mer Morte.

C'est dire si ces quelques pages doivent être considérées comme des données préliminaires devant l'ampleur de l'objet à étudier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLANCHOT A. (1957). - Les formations récentes de Mauritanie occidentale. *Bull. Dir. Féd. Mines Géol. A.O.F.*, n° 20, p. 9-91.

ELOUARD P., FAURE H. (1967). - Quaternaire de l'Inchiri, du Tafoli et des environs de Nouakchott. Rapp. Lab. Géol. Fac. Sci. Univ. Dakar, n° 19, 75 p., 22 fig.

FAURE H. (1973). - Vers un projet futur de la sebkha de N'drahamcha : Evapex-Mauritanie. Coll. Scient. Nouakchott, déc. 1973. "Problèmes de la désertification au Sud du Sahara avec références particulières en Mauritanie.

HEBRARD L. (1973). - Contribution à l'étude géologique du Quaternaire du littoral de Mauritanie entre Nouakchott et Nouadhibou (18° - 21° latitude Nord). *Thèse* Univ. Lyon et Lab. Géol. Fac. Sci. Dakar, 3 t., 483 p.

MAGLIONE G. (1974). - Géochimie des évaporites et silicates néformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad, Afrique. *Thèse* doct. es-Sc. Nat., Univ. Paris VI, 331 p., C.N.R.S. A.O. 7906 et Collection "Travaux et Documents" O.R.S.T.O.M., n° 50, 1976, 340 p.

N°	C.E. mmhos	pH	Eh,mV	Densité 24°C	SiO_2	Cl^-	SO_4^{--}	CO_3^{--}	HCO_3^-	Ca^{++}	Na^+	Mg^{++}	K^+	Somme Anions + Cations
	*	8,20		1,024	3,0	18.966	2.651	0	140	400	1.270	10.560	380	34.367
Nd'49	61	8,35	+ 275	1,030	-	19.166	2.634	tr.	159	409	1.376	11.035	391	35.170
" 43	92	7,55	+ 290	1,040	6,0	31.295	4.446	0	134	709	2.031	17.932	626	57.173
" 34	102	7,45	+ 260	1,050	4,5	42.964	6.421	0	107	1.267	2.636	23.459	821	77.675
" 28	134	7,50	+ 248	1,080	5,0	66.833	6.997	0	153	1.435	3.843	35.864	1.212	116.337
" 24	172	6,55	- 82	1,120	27,5	103.032	8.726	0	333	1.162	6.425	57.935	1.877	179.490

N°	$\frac{Cl}{SO_4}$	$\frac{SO_4}{HCO_3}$	$\frac{Cl}{HCO_3}$	$\frac{Mg}{Ca}$	$\frac{Na}{K}$	$\frac{Na+K}{Ca+Mg}$
*	9,69	24,0	232,6	5,32	47,32	3,78
Nd' 49	9,86	21,1	208,0	5,55	48,00	3,67
" 43	9,54	42,1	401,3	4,72	48,75	3,93
" 34	9,06	76,4	692,6	3,43	48,57	3,72
" 28	12,94	58,3	754,1	4,41	50,32	4,10
" 24	15,99	33,33	533,3	9,11	52,50	4,38

Tableau I. Résultats d'analyses hydrochimiques (mg/l) et rapports caractéristiques (me/l) des eaux de la transversale W.-E dans la nappe des argiles gypsifères.

* L'eau de mer moyenne est donnée à titre de comparaison.

ASSOCIATION SÉNÉGALAISE POUR L'ÉTUDE DU QUATERNAIRE AFRICAIN

ASEQUA

BULLETIN DE LIAISON

N° 49 - DECEMBRE 1976

NOUVELLES DIVERSES

— Notice nécrologique 3

— Soutenances de thèses 3

— Colloque sur la géologie africaine 4

— VIIIe Congrès panafricain de Préhistoire et d'étude du Quaternaire 5

— IIIe Conférence sur l'étude du Cénozoïque supérieur 8

— Symposium on Quaternary soils, York University 8

— Références bibliographiques 11

TABLEAU DE L'ETAT DES RECHERCHES SUR LE QUATERNAIRE AFRICAIN

— *J.C. LEPRUN, C. MARIUS, E. PERRAUD.* — Caractérisation de la pédogenèse durant le dernier millenaire sur les amas coquilliers des îles du Saloum (Sénégal) 13

— *G. MAGLIONE et M. CARN.* — Données géochimiques préliminaires sur la sebkha de Ndrhamcha (Mautiranie) 27

— *J.P. CARMOUZE.* — Un modèle d'acquisition des substances dissoutes et particulaires des eaux fluviatiles d'un milieu continental cristallin à travers l'exemple du Chari (Thad) 41

— *R. POMEL.* — Processus épéirogéniques et eustatiques en basse Côte d'Ivoire depuis 5000 ans B.P. 67

— *R. BATTISTINI.* — Application des méthodes Th^{230}-Ur^{234} à la datation des dépôts marins anciens de Madagascar et des îles voisines 79

LISTE des membres de l'ASEQUA : nouveau membres 97

Changements d'adresses et rectifications 102

24 AVRIL 1977

BIBLIOTHÈQUE S.C.D-2 - O.R.S.T.O.M

B3881

B3884