MORPHOLOGIE, FORMATION ET ASPECTS SÉDIMENTOLOGIQUES DE LA LAGUNE TEPOCA (SONORA), MEXIQUE*

Jean Lecolle

Laboratoire de Géologie, S.S.C. O.R.S.T.O.M., 70, route d'Aulnay, 93140 Bondy.

Résumé

Bordée à l'ouest par le Cerro Tepoca et à l'est par la Sierra Seri, la lagune Tepoca forme une dépression s'ouvrant au nord et au sud sur le golfe de Californie. Les processus tectoniques qui affectent cette région entrainant notamment l'existence d'un réseau de failles NNW-SSE, ont présidé à la formation et à l'évolution de cette lagune.

La lagune Tepoca présente une morphologie hétérogène : au nord se sont développés des systèmes dunaires, le centre et la partie sud correspondent à des zones inondées. Les bords occidentaux et orientaux sont couverts de cônes alluviaux.

Deux niveaux coquillers marins ont été mis en évidence ; ce sont les témoins de la transgression Sangamon et de la transgression Wisconsin, celle-ci étant la plus visible.

Du point de vue granulométrique les sédiments se regroupent en 5 familles loutes d'origine marine. Leur composition minéralogique reflète celle des massifs bordant la lagune (quartz, feldspaths et amphiboles); le minéral argiteux dominant est l'illite. Des niveaux riches en gypse indiquent que des conditions évaporitiques ont existé dans la partie nord de la lagune.

Ces sédiments, à caractère franchement détritique, ont été remaniés par la mer au dernier interglaciaire et à l'interstade Wisconsin.

Mots-clés : Sédimentation lagunaire - Quaternaire - Minéralogie - Sonora - Mexique.

Abstract

MORPHOLOGY, FORMATION AND SEDIMENTOLOGICAL FEATURES OF THE TEPOCA LAGOON (SONORA), MEXICO

The Tepoca lagoon which is bounded on the west by the Cerro Tepoca and on the east by the Sierra Seri forms a depression which opens to the north and the south on to the Gulf of California. This region suffers tectonic processes which gave birth mainly to a NNW-SSE fault system and led to the formation and development of this lagoon.

The Tepoca lagoon gets an heterogeneous morphology: the north is characterized by dune systems, while the center and the south correspond to flooded zones. The western and eastern sides are covered with alluvial cones.

Two marine shell-like levels were revealed as evidences of the Sangamon transgression and the Wisconsin transgression which is the most visible.

From the granulometric point of view, sediments are gathered together into five types whose origin is marine. Their mineralogical composition is similar to this of the massifs bordering the lagoon (quartz, feldspars and amphiboles) and the prevailing clay mineral is illite. Gypsum-rich levels show that evaporitic conditions existed in the northern part of the lagoon.

These sediments which are really detrital were reworked by the sea in the last interglacial period and the Wisconsin interstadial period.

KEY WORDS : Lagoonal sedimentation — Quaternary — Mineralogy — Sonora — Mexico.

^(*) Étude réalisée dans le cadre de la Convention O.R.S.T.O.M. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Resumen

MORFOLOGÍA, FORMACIÓN Y ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DE LA LAGUNA TEPOCA (SONORA), MÉXICO

La laguna Tepoca que está bordeada por el Cerro Tepoca al oeste y por la Sierra Seri al este presenta una depresión que desemboca en el Golfo de California en el norte y el sur. Esta región está afectada por procesos tectónicos que daron origen especialmente a una red de fallas NNW-SSE y conducieron a la formación y a la evolución de esta laguna.

La laguna Tepoca presenta una morfología heterogénea : el norte se caracteriza por unos sistemas de dunas, mientras que el centro y el sur corresponden a zonas inundadas. Se cubren las orillas occidentales y orientales con conos aluviales.

Se pusieron en evidencia dos niveles conchíferos marinos que son los testigos de la transgresión Sangamon y de la transgresión Wisconsin que es la más visible.

Desde el punto de vista granulométrico, los sedimentos se agrupan en cinco categorías cuyo origen es marino. Su composición mineralógica es similar a la de dos macizos que bordean la laguna (cuarzos, feldespatos y anfíboles); el mineral arcilloso dominante es la illita. Niveles abundantes de yesos indican que condiciones evaporíticas existieron en el norte de la laguna.

Esos sedimentos que son verdaderamente detríticos se vieron modificados por el mar en el ultimo interglacial y en el interstadio Wisconsin.

PALABRAS-CLAVES : Sedimentación lagunera — Período cuaternario — Mineralogía -- Sonora — México.

INTRODUCTION

La faille de San Andréas qui s'étend de Shelter Cove sur la Côte californienne au nord de San Francisco jusqu'à l'embouchure du Colorado, se prolonge vers le sud, dans le Golfe de Californie (NORRIS et WEBB, 1975).

Cet accident majeur est constitué par une série de fractures en « échelon » (Tj. VAN ANDEN, 1964) et d'accidents annexes toujours actifs qui gouvernent toute l'évolution géologique du Sonora, de la basse et de la haute Californie. Dans le Golfe de Californie, de nombreuses fractures dirigées principalement NO-SE, affectent les terrains qui le bordent, notamment au niveau de l'île de Tiburon proche de l'aire étudiée. Elles ont entraîné des basculements ou des enfoncements progressifs suivis de remplissage.

La présence de lagunes sèches ou « playas » est caractéristique de la région étudiée. Ces lagunes se situent, soit sur la côte plate et basse du Golfe de Californie, soit dans l'arrière-pays. D'origine marine ou continentale, elles présentent dans tous les cas des traces d'évaporites, et sont alimentées en sédiments détritiques par les massifs côtiers voisins.

La néotectonique et l'évolution des niveaux marins règlent, parmi d'autres facteurs tels que l'altération, l'érosion, la sédimentation, etc., l'évolution des playas du Golfe de Californie (LECOLLE, 1979).

Les recherches déjà effectuées sur ces lagunes ont porté sur la géochimie des évaporites (KINSMANN, 1969; PHLEGER, 1969), les aspects géodynamiques (LECOLLE *el al.*, 1977), ou sur des points particuliers (NICHOLS, 1965; PHLEGER et ERWING, 1962; POSTMA, 1965). Dans cette note, les aspects sédimentologiques et morphologiques de la lagune Tepoca seront abordés. Avec quelques précisions sur les variations des niveaux marins, une étude paléogéographique pourra être tentée sur l'origine et l'évolution de cette lagune située sur la côte du Sonora Central.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES

L'origine du Golfe de Californie a fait l'objet de plusieurs hypothèses ; la plus communément admise étant celle d'HAMILTON (1961).

Un mouvement de coulissage dextre, le long des failles longeant les côtes de l'actuel Golfe, a séparé la péninsule de Basse-Californie du continent. Cette théorie est basée sur la similitude de roches situées de part et d'autre du Golfe.

Des études récentes indiquent que la péninsule de Basse Californie s'est déplacée vers le N-O de quelques 260 km (CROWEL, 1962 *in* RUSNAK *et al.*, 1964) et ainsi le Golfe aurait été ouvert et en eau au miocène tardif (WILSON, 1949 *in* RUSNAK *et al.*, 1964).

Une série de failles majeures parallèles NO-SE coupe en effet la péninsule et se continue le long de la côte orientale (telles que Santa Rosalia, Sal si puedes, Agua Blanca).

La côte orientale actuelle est basse et sableuse et souvent bordée de lagunes en eau (Topolobampo, etc.).

La région du centre nord, près de l'île de Tiburon, qui fait l'objet de cette étude, est caractérisée par la présence d'un massif montagneux longiligne, bordant la côte sur environ 150 km : la Sierra Seri. Celle-ci est la source d'alimentation en sédiment



Fig. 1. - Lagune Tepoca.

des lagunes qui la bordent, en particulier la Lagune Tepoca située sur son flanc occidental.

Les relations étroites qui existent entre la nature des sédiments de ces lagunes ou des franges littorales et ces zones immergées qui les côtoient ont déjà été mises en évidence dans cette même région par VAN ANDEL (1964). En effet les minéraux lourds des sédiments marins du Golfe présentent une concentration en amphibole autour du Cerro Tepoca (petit massif tonalitique situé à l'est de la lagune Tepoca); par ailleurs ceux qui cernent l'île voisine de Tiburon sont pour leur part plus riches en Augite.

J. LECOLLE



Fig. 2. - Géologie de la lagune Tepoca et Sierra Seri. D'après R. G. GASTIL et al.

Généralités sur la lagune Tepoca

La lagune Tepoca est située entre 29° 15 et 29° 30 de latitude Nord et 112° 15 et 112° 30 de longitude Ouest. Elle est bordée à l'ouest par un petit massif : le Cerro Tepoca et à l'est par une ligne de crêtes : la Sierra Seri (fig. 1). La côte du Sonora à cette latitude est basse, bordée par la «Bajada» de la Sierra Seri, qui se termine sur le haut de plage, par une petite falaise pouvant atteindre une dizaine de mètres.

La végétation principalement composée de cactées, malgré l'aridité, colonise tous ces piémonts et cônes alluviaux. Les genres les plus courants sont : le sahuaro, l'ocotillo, le cholla, l'agave, le yucca, le sotol, etc. La côte est peuplée par endroits de mangroves.

Aperçu géologique

Les formations tertiaires et quaternaires ainsi que des affleurements de volcanisme secondaire, constituent l'essentiel de l'environnement de la lagune (GASTIL *et al.*, 1974) (fig. 2).

— A l'ouest, le Cerro Tepoca, rattaché au continent par un tombolo qui a donné naissance à la lagune, comprend surtout des tonalites tertiaires avec sur son bord un affleurement localisé de mésozoïque sédimentaire.

— A l'est, la Sierra Seri, composant la base du tombolo, longe la côte du canal de l'Infernillo; cet ensemble montagneux linéaire est composé principalement de roches volcaniques, de granodiorites, et de tonalites tertiaires; il présente également des parties volcaniques d'âge mésozoïque.

- Ces deux unités, qui encadrent la lagune, sont noyées par des alluvions indifférenciées, essentiellement constituées de surface de piémont des massifs environnants.

Une série de failles coulissantes dextres, de direction générale NO-SE, recoupe l'ensemble de ces formations.

Climat

Le climat de cette région est aride, la moyenne des précipitations annuelles est de 130 mm (CETENAL, 1975), pourtant la quantité de pluie est très inégale d'une année à l'autre. Le mois de juillet, considéré comme le plus « humide », a une moyenne de 3 à 5 jours de pluie (JAUREGUI-OTROS, 1970). Des trombes d'eau et des tornades sont fréquentes et provoquent des inondations, notamment dans les « playas ».

Les températures sont d'une moyenne supérieure à 22°C, mais avec des fortes variations (31° en juillet, 16° en janvier par exemple).

Les vents dominant viennent du Nord-Ouest (DUNBIER, 1968). D'autres vents importants venant du Sud-Sud-Ouest apportent l'air humide du littoral. L'évaporation importante est favorisée : par l'absence de nuages quasi permanente, les températures diurnes élevées, et la turbulence de l'air constante au niveau du sol.

La balance hydrique, évaporation/précipitation est donc en déficit, mais les condensations permettent à la végétation de subsister.

L'eau accumulée dans les bas-fonds, à la suite d'une tornade, est évacuée par infiltration jusqu'à la nappe phréatique, située dans la lagune Tepoca entre 2,50 m et 7 m, ainsi que par évaporation.

Géomorphologie

L'érosion en climat aride accumule le long des versants montagneux des masses de sédiments s'écoulant jusqu'à un bassin proche ou jusqu'à la mer. La partie inférieure de cette pente douce ou «Bajada» a pour origine, l'érosion mécanique. La partie supérieure plus redressée est appelée « Pédiment». Une coupure brusque apparaît lorsque le pédiment arrive en contact avec le front rocheux qui accuse une pente plus abrupte (W. D. THORN-BURY, 1969). La vraie «bajada» est composée de cònes alluviaux réunis entre eux. Le drainage est assuré par des arroyos (ou torrents intermittents) qui creusent la roche au sommet du cône alluvial. L'exportation des matériaux se fait en période de pluie par «Sheetflood», c'est-à-dire par coalescence des lignes de drainage au niveau de la «bajada». Ces phénomènes se vérifient de chaque côté de la lagune, à l'ouest, au pied du Cerro Tepoca, et à l'est, à la base de la Sierra Seri. Les bajadas de ces deux massifs arrivent jusqu'en bordure des parties basses inondables de cette lagune dont elles en recouvrent probablement les bords, donnant à l'environnement un aspect tout à fait typique de ces régions arides (Arizona, Californie, Sonora), (photogr. 1).

La Lagune Tepoca limitée par les «bajadas» à l'Est et à l'Ouest, présente grossièrement l'aspect d'un trapèze dont les 2 bases mesureraient 7,60 et 15,20 km et la hauteur 4,90 km, ce qui donne une superficie d'environ 56 km².

Description des différentes unités composant la lagune

La lagune Tepoca présente une morphologie complexe (fig. 3)

— Le Nord, bordant la mer est exclusivement une zone dunaire (photogr. 2). La partie la plus récente recouvre des formations détritiques plus anciennes. La plupart de ces dunes sont fixées par une végétation de cactées. La zone dunaire s'étend du village indien El Desemboque del Rio au Nord, jusqu'au premiers contreforts du Cerro Tepoca au Sud, où les derniers sables éoliens remontent sur son versant NO.

— Le Sud de la laguna Tepoca est une zone inondée, couverte de plantes aquatiques. Une flèche sableuse s'appuie sur un ilot rocheux de tonalite (La Punta Sargento) isolant ainsi une petite lagune ouverte sur la mer dont les bords sont colonisés par la mangrove. Un diverticule de cette lagune s'enfonce en doigt de gant vers le NO et épouse la faille Tepoca (photogr. 3).

— Le Centre est occupé par des zones basses où s'accumule l'eau après les précipitations (photogr. 4).



Photo 1. - «Bajada» du Cerro Tepoca.



Photo 3. — En arrière plan, le Cerro Tepoca. Au centre, la zone inondée et la mangrove de la lagune Tepoca, bordant le canal de l'infernillo. Au premier plan, le piémont de la Sierra Seri et le chemin menant à la lagune.



Photo 2. — Vue sur la partie dunaire (sondage 13) avec sa végétation d'ocotillo. Au fond, les dunes récentes et la mer.



Photo 4. — La lagune Tepoca (zone centrale). A l'arrière plan la Sierra Seri et sa «bajada » plantée de sahuaros. Au premier plan un sondage (nº 9).



Photo 5. — Partie de la lagune Tepoca formant un petit bassin entouré d'un cordon sableux éolien (sondages 1, 2, 3).



Fig. 3. — Lagune Tepoca. Aspect général, différentes unités.

Ces parties « lagunaires » ont des formes variables ; souvent étirées en longueur dans le sens NO-SE, elles suivent ainsi la faille Tepoca. Un cordon dunaire rectiligne, suivi d'une dépression marquant la base de la Bajada limite ces zones, allongées et rectilignes sur un côté. On peut rencontrer également des formes subcirculaires bordées d'un cordon dunaire sur le côté exposé au vent dominant (photogr. 5). Ces parties ne présentent aucune traces de végétation, mais des plaques de dessication (ou « mudcraks »).

La déflation éolienne, fréquente en climat aride, met à jour un niveau coquiller qui se situe entre 0,10 et 0,50 m de profondeur. De nombreuses coquilles jonchent le sol de ces parties basses.

— En alternance avec les zones précédemment décrites, des placages de sables éoliens ocres jaunes plus anciens que les dunes apparaissant par endroits, sont colonisés par la végétation habituelle de cactées et plantes des zones arides.

Des cônes alluviaux (« alluvian fans ») ou piémont des massifs montagneux bordant la dépression lagunaire, recouvrent partiellement les bords occidentaux et orientaux de la lagune.

— A l'Ouest, le piémont du Cerro Tepoca est souvent constitué en surface de blocs à contours anguleux pris dans une matrice de sable grossier (photogr. 1).

— A l'Est, le piémont de la Sierra Seri est plus ample que celui du Cerro Tepoca et présente une pente douce qui vient se terminer sur le cordon dunaire des zones basses rectilignes formant la lagune (photogr. 6).

Mis à part les zones inondables, basses, dénudées et plates de la lagune, qui sont bien délimitées, les autres unités sont souvent indistinctes sur leurs limites et les changements de faciès latéraux se font insensiblement (LECOLLE et ORTLIEB, 1978).

Niveaux marins el histoire de la lagune

Les récentes études dans cette région sur la variation du niveau marin au cours du Pleistocène, montrent que la transgression du dernier interglaciaire dans cette région (Sangamon) est représenté ici par des dépôts coquillers situés à environ 5 m au-dessus du niveau moyen de la mer actuelle (ORTLIEB et LECOLLE, 1980).



Photo 6. — Vue générale de la lagune Tepoca. Au premier plan la « bajada » de la Sierra Seri colonisée par une végétation de cactées typique des zones arides du nord du Mexique. La « bajada » recouvre en partie les bords de la lagune pléistocène et délimite actuellement les zones inondables à « mud cracks ». Au fond le « Cerro Tepoca ».

Les restes du Sangamon (environ 100.000 ans B.P.) ont été repérés en plusieurs endroits sur le pourtour du Cerro Tepoca (ORTLIEB, 1978), qui était vraisemblablement une île, proche de la côte, à cette époque. Avec la régression qui a suivi et le remplissage du passage entre l'ile et le continent, un tombolo s'est créé. On observe un phénomène semblable entre l'île du Tiburon et le continent où quelques flèches sableuses exondées, et certaines encore sous-marines, s'avancent pour combler le canal de l'Infernillo (fig. 2).

Une 2^e transgression a laissé un niveau coquiller, dans toute la lagune étudiée ici, datée d'un interstadiaire transgressif du Wisconsin (soit environ 30.000 ans B.P.), situé à environ 2 m au-dessus du niveau moyen de la mer actuelle. Il s'agit ici d'une oscillation positive du niveau marin pendant un interstade moins froid du Wisconsin. Une grande partie de ces dépôts ont été ensuite recouverts par un placage éolien holocène. La dérive littorale et les dépôts éoliens ont fermé définitivement la partie Nord du tombolo, et les dunes poussées par le vent remontent mème fortement sur les flancs septentrionaux du Cerro Tepoca.

Étude sédimentologique de la lagune

Prospection

Les sédiments ont été collectés à partir d'une vingtaine de sondages, disposés aux endroits représentatifs des différents types d'unités composant la lagune (dunes, pédiments, zones basses inondables, etc.).

Dans chaque sondage, conduit jusqu'à la nappe phréatique, les sédiments ont été récoltés en fonction : d'un changement de niveau visible dû à des variations locales de la granulométrie, ou des minéraux, des fossiles, de la couleur, etc.

Dans notre étude, 3 profils longitudinaux sont retenus (fig. 3) AB, CD, EF qui se recoupent en deux endroits C et E au niveau des sondages 9 et 19.

Résultats analyliques

Les échantillons sont lavés à chaud à l'eau oxygénée puis tamisés pour la fraction la plus grossière, ou passés au tube de sédimentation pour la fraction la plus fine.



Fig. 4. — Sondages effectués en lagune Tepoca jusqu'à la nappe phréatique.



Fig. 5. — Courbes granulométriques des sédiments prélevés dans un sondage en lagune Tepoca.



Fig. 6. - Courbes granulométriques des sédiments prélevés dans un sondage en lagune Tepoca.

La granulométrie est basée sur le système américain (KRUMBEIN, 1934) et permet, d'après les courbes, d'obtenir différents paramètres : le grain moyen M σ , la déviation standard ou écart type $\sigma \sigma$, et le skewness Sk σ ou asymétrie de l'histogramme (FOLK, 1966, 1974).

Une autre partie de l'échantillon est analysée aux RX par les méthodes habituelles sur une fraction brute et sur la partie inférieure à 2μ (GRIMM, 1968).

Une 3^e partie est broyée en vue de la recherche des éléments majeurs et des éléments en traces par le technicon, par spectographie d'émission ou quantométrie selon les éléments (étude à paraître).

Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol., vol. XI, nº 2, 1979-1980: 205-223

Étude des sondages

Une vingtaine de sondages représentatifs de la morphologie lagunaire ont été effectués (voir plus haut).

Les points de sondage s'alignent sur 3 transversales AB, CD, EF (fig. 4) recoupant les différentes unités composant la lagune. L'ensemble des différents types sédimentologiques que l'on a pu observer, est ainsi regroupé en quelques sondages symbolisés ici par les logs.

Chaque log a été réalisé à partir des courbes granulométriques (fig. 5 et 6) dessinées selon les données du tableau I et les fiches d'analyses. L'alti-

Cto 1)	no diácha dillea d	Profondeur	М ~	_~	GIZ ~		%	
Stations	s nº d'échantillons	de prise	MO	ι σσ	SKO	Sable	Limon	Argile
1	L.T-32	0.20	2.96	0.70	0.10	100.00		
	33	0.40	2.97	0.93	0.14	87.6	11.1	01.3
	34	1.50	1.73	1.23	0.13	100.00		
IIL	35	1.80	3.27	1.49	0.23	79.3	14.6	06.1
	36	2.00	3.42	1.98	0.26	76.5	17.0	06.5
	37	2.40	4.42	2.76	0.58	69.2	17.1	13.7
	38	3.70	3.86	1.56	0.56	77.8	14.7	07.5
	39	3.00	4.73	2.73	0.64	68.1	17.9	14.0
	LT-15	0.20	2.95	0.94	0.03	86.0	11.4	02.6
	16	1.00	3.86	2.06	0.36	69.3	21.9	08.8
1	17	1.50	5.60	2.60	0.23	25.1	56.5	18.4
	18	2.00	5.38	2.84	-0.04	36.4	46.2	17.4
	19	2.20	4.53	2.47	0.45	62.0	25.6	12.4
	20	2.40	3.99	1.91	0.38	72.7	20.0	07.3
	21	3.00	5.56	2.86	0.23	35.3	46.1	18.6
	<i>6</i> 9	3.50	4.72	2.62	0.46	56.3	30.5	13.3
II	53	4.30	3.03	1.60	0.37	80.6	15.1	04.3
	24	4.80	4.16	2.43	0.44	61.3	29.5	09.2
1	25	5.20	3.57	2.07	0.44	76.5	16.0	07.5
1 !	26	5.60	3.83	2.61	0.50	70.0	20.1	09.9
	27	6.00	2.74	1.97	0.38	80.9	10.4	08.7
	28	6.20	1.29	0.97	0.28	85.9	08.0	06.1
	29	6.40	1.54	1.15	0.19	90.9	05.7	03.4
	30	7.00	6.97	5.51	0.78	68.4	07.5	24.1
	31	7.10	4.64	3.45	0.66	74.3	15.4	10.4
	LT-3	0.20	4.71	2.38	0.43	55.7	30.5	13.8
Į	4	0.40	4.33	2.16	0.30	61.9	26.7	11.4
	[5	0.60	6.46	2.83	0.13	24.6	49.0	26.4
}	6	0.80	5.34	3.02	0.24	42.1	38.6	19.3
	6 X	1.80	4.08	2.36	0.42	60.1	33.3	06.6
I	7	2.10	3.57	1.59	0.50	74.2	18.9	06.9
	8	2.50	3.78	1.92	0.51	71.0	22.4	06.6
Ì	9	3.00	4.47	2.75	0.64	63.5	27.9	08.6
	10	3.30	4.20	3.19	0.49	53.7	30.2	16.1
	11	4.00	4.63	3.46	0.64	65.6	18.3	16.1
1	12	4.60	2.39	0.90	0.00	86.4	07.5	06.1
	13	4.90	3.48	1.71	0.68	78.1	12.5	09.4
	1-4	5.10	4.29	2.91	0.61	66.6	21.7	11.7
	LT-118	0.20	2.87	0.81	0.13	88.0	06.0	06.0
1	119	1.00	4.17	2.01	0.36	59.2	35.3	05.5
	120	1.50	4.20	3.77	0.44	65.7	22.8	11.5
1	121	2.60	5.58	2.98	- 0.04	32.2	43.8	24.0
	122	2.60	4.60	2.55	0.29	54.6	32.6	12.8
1	123	3.50	2.79	1.60	0.28	79.7	16.1	04.3
	124	4.00	2.83	2.13	0.34	74.9	17.5	07.6
XVIII	125	5.00	2.01	1.28	0.23	89.0	06.3	04.7
	126	5.50	1.87	1.09	0.16	89.5	06.1	04.4
1	127	6.30	2.43	1.47	0.36	84.2	12.5	03.3
	128	6.80	4.00	2.64	0.53	73.7	13.4	12.9
1								

TABLEAU 1Granulométries des sédiments de la lagune Tepoca

MORPHOLOGIE, SÉDIMENTOLOGIE DE LA LAGUNE TEPOCA, MEXIQUE

Station	s nº d'échantillors	Profondeur	Mø		Sh c		%	
-364100		de prise	M (2)	5 0	SK Ø	Sable	Limon	Argile
	LT-129	surf.	5.01	2.48	- 0.31	27.8	60.5	11.7
	130	0.25	4.59	1.97	-0.08	21.8	69.7	08.5
	131	1.00	2.67	2.35	0.40	78.8	15.1	05.1
	132	1.50	1.80	1.17	0.08	90.0	08.5	01.5
XIX	133	2.30	1.04	0.95	0.31	100.0	00.0	00.0
	134	3.00	2.05	1.51	0.15	87.8	10.5	01.7
	135	3.50	2.98	2.12	0.35	80.2	16.3	03.5
	136	4.00	3.39	1.92	0.25	76.5	14.3	09.2
	LT-64	surf.	0.65	3.25	0.15	100.0		
IX	66	1.00	0.25	2.81	0.29	100.0		
	LT-137	0.50	4.98	3.51	0.36	60.5	21.7	17.8
	138	1.00	3.18	2.82	- 0.13	69.4	21.1	09.5
$\mathbf{X}\mathbf{X}$	139	1.70	1.55	1.44	0.37	89.3	06.6	04.1
_	140	2.60	5.91	3.01	0.35	33.9	43.4	22.7
	LT-69	surf.	6.52	4.22	- 0.05	27.7	33.7	38.6
	70	0.40	1.19	4.14	0.11	100.0		
x	71	0.60	3.28	2.19	0.22	74.4	17.7	07.9
	72	1.00	3.29	2.47	0.37	76.8	16.8	06.4
	LT-73	0.20	3.41	2.66	0.39	77.0	14.3	08.7
	74	0.60	4.17	2.65	0.58	70.9	17.0	12.1
	75	1.40	3.86	2.78	0.45	73.2	14.0	12.8
XI	76	2.20	3.01	2.51	0.27	80.6	10.0	09.4
	77	2.60	2.73	2.03	0.43	81.9	09.9	08.2
	78	2.90	2.14	1.30	0.10	86.7	07.1	06.2
	79	3.10	1.49	0.97	0.08	100.0		
	80	3 70	3.19	2 37	0.38	79,3	09.6	11.1
	81	4.50	3.99	2.80	0.58	72.2	19.5	08.3
	82 83	$5.50 \\ 5.80$	$\begin{array}{c} 3.04 \\ 2.65 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2.34 \\ 2.14 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.53 \\ 0.44 \end{array}$	$\begin{array}{c} 79.3 \\ 81.0 \end{array}$	$\frac{11.3}{10.9}$	$\begin{array}{c} 09.4 \\ 08.1 \end{array}$
								<u></u>
	LT-84	surt.	1.83	1.10	0.35	100.0	00.0	00.0
	65 00	0.70	3.04 2.00	2.08	0.60	74.9	17.6	07.5
	00	0.80	0.9% 0.64	3.40 1.60	0.56	72.5	15.3	12.2
	82	1.30	2.04 9.70	1.00	0.30 0.20	83.0 81.1	U9.2 19 5	07.2
	80	2.00	2.10 2.60	2.11	0.00	51.± 81.0	17.0	07.2
хu	an 05	2.40	2.03	1.96	0.00	04.0 81.1	07.9	07.3
7211	91	3.00	2.46	1.18	0.17	04.4 86 Q	085	00.4
	92	4.00	3.41	2.49	0.50	79.9	12.3	07.8
	93	4.50	5.64	3.55	0.00	33.8	39.6	26 6
	94	5.10	4.59	3.25	0.38	53.5	31.5	15.1
	95	5.00	4.19	2.97	0.55	70.0	16.0	14.0
	96	6.40	4.33	3.06	0.28	70.9	15.2	13.9
	LT-96 X	surf.	2.22	0.75		100.0	00.0	00.0
	97	1.00	3.64	2.28	0.45	73.7	16.4	09.9
	98	2.00	3.80	2.11	0.31	73.0	16.3	10.7
	99	2.40	5.04	3.62	0.52	57.6	22.4	20.0
XIII	100	2.60	2.72	1.71	0.45	81.3	12.1	06.6
	1							

Stations nº d'échautillon		Profondeur	Ма	c د	Skø	%		
Station	s nº d'echantillons	de prise	M Ø	συ	SR Ø	Sable	Limon	Argile
	101	3.50	2.07	1.28	0.29	86.7	10.0	03.3
	102	4.00	2.72	1.66	0.38	83.2	10.2	06.6
	103	4.80	3.01	1.72	0.52	81.6	11.9	06.5
	104	5.10	3.18	2.09	0.57	80.3	13.8	05.9
	105	6.20	3.44	2.44	0.53	76.3	14.9	08.8
	106	6.80	3.47	2.30	0.49	77.0	13.5	09.5
	LT-48	surf.	5.48	3.61	0.23	46.3	27.1	26.6
	49	0.20	0.69	3.07	0.45	69.6	21.7	08.7
v	50	0.60	0.50	4.17	0.40	100.0		
	51	1.00	0.31	3.79	- 0.06	100.0		
	LT-40	0.20	4.04	3.30	0.55	63.4	22.7	13.9
	41	0.50	3.32	2.62	0.46	72.8	16.4	10.8
IV	42	1.00	2.17	2.04	0.25	83.8	08.3	07.9
	43	1.40	2,69	2.19	0.49	80.4	10.0	09.6
1	-14	2.00	1.25	1.14	0.53	86.3	06.6	07.1
	45	2.50	1.76	1.37	0.43	88.8	06.6	04.6
	46	2.80	0.10	2.83	0.48	100.0		
	47	3.10	0.30	3.08	0.03	100.0		
	LT-52	0.50	3.14	2.21	0.54	74.4	17.1	08.5
	53	1.00	5.13	3.97	0.20	47.7	31.0	21.3
	54	1.20	4.94	3.68	0.10	47.7	31.3	21.0
VI	55	1.50	4.77	3.83	0.42	57.7	24.7	17.6
	56	1.80	4.54	3.94	0.40	59.6	20.6	19.8
	57	2.60	4.20	3.50	0.50	70.0	15.0	15.0
	58	2.90	1.00	2.51	0.13	100.0		
	59	3.80	0.89	2.29	0.37	100.0		
	60	4.00	1.02	2.59	0.38	100.0		

tude zéro correspondant au niveau moyen actuel de la mer, a été repéré sur chaque sondage. La surface de la lagune est à $+2 \text{ m} \pm 1 \text{ m}$, altitude mesurée à l'aide d'un altimètre (photogr. 7) le zéro étant recalibré entre chaque mesure.

Les unités morphologiques ont été indiquées pour situer les lieux d'étude (piémont, Sierra Seri, mer, dunes, etc.). De même, les microfaunes et microflores examinées en lames minces sont repérées sur chaque sondage. Les couches qui présentent une certaine identité d'une colonne à l'autre ont été jointes par un trait repère (Ex. niveau induré à coquilles).

Remarques : Les séparations entre couches sont fictives car le passage temporel d'un faciès à l'autre se fait insensiblement : - par augmentation progressive du taux d'argile,

- par diminution insensible jusqu'à disparition complète des coquilles, fossiles, etc.,
- par prépondérance croissante des sables.

De même, latéralement, les variations de faciès sont peu caractéristiques et montrent une certaine hétérogénéité dans le remplissage et la sédimentation lagunaire.

Niveau repère.

Une couche de coquilles joue le rôle de niveaurepère ; datée de 30.000 ans B.P. environ par divers auteurs (RICHARD, 1973 ; LECOLLE, 1977 ; ORTLIEB, 1978 (*), elle permet de retrouver la transgression d'un interstade du Wisconsin sous des dépôts éoliens

^(*) Datations effectuées aux États-Unis et à Paris VI au Laboratoire de Géologie Dynamique (J. Ch. FONTES).



Photo 7. — Fond de la lagune montrant les « Mud-Cracks » et le niveau coquiller affleurant. Prise de l'altitude.

plus récents (Holocène). Dans les zones basses inondables de la lagune marquées par les « Mudcraks », le niveau à coquilles affleure, ou reste très proche de la surface (0,50 m maximum) (fig. 4). En effet, la déflation éolienne importante dans la lagune laisse par endroits, les coquilles à découvert, éparses en surface.

La faune est variable quantitativement. La matrice de cette couche est le plus souvent sableuse, et la concentration des coquilles est parfois telle qu'il devient impossible de creuser à la sonde. Par contre ce niveau est moins dense en coquilles dans d'autres sondages; celui-ci subit également des différences latérales de dépôts tout en état plus homogène que les autres.

Le dépôt des coquilles s'est fait de préférence sur le côté est de la lagune, au pied de l'actuel piémont de la Sierra Seri.

En s'éloignant du centre vers le nord ouest (point C) ou vers le Cerro Tepoca (point E), la densité et la compacité du niveau coquiller diminuent et la matrice sableuse apparaît bien. En approchant du Cerro Tepoca (sondages 6 et 4), la couche coquillère prend moins d'importance et la faune se trouve relativement « diluée » dans le sédiment.

La région de la lagune Tepoca, proche de la côte, est considérée comme tectoniquement stable depuis le Quaternaire (ORTLIEB et LECOLLE, 1980).

Il est alors possible de proposer l'hypothèse selon laquelle une différence d'altitude du fond de la lagune à l'époque du dépôt aurait entraîné une profondeur d'eau plus faible sur le côté Est que sur le côté Ouest, et selon un axe N-S. Les chiones et Turritelles sont des mollusques d'eau chaude peu profonde et auraient eu une prédilection pour le bord Est. Il y aurait eu un chenal ou un passage le long de la faille Tepoca (comme en témoigne encore ce diverticule de l'estero Sargento dirigé vers le N-O) alors que peu à peu le côté opposé émergeait.

La faune est variable qualitativement. Les chiones fluctifraga, dont le lot représente environ 95 % du total, apparaissent au nord (sondages 1.2.3.). Ce genre Chione se retrouve dans la transversale « E, F ». Par contre, le genre Turritella est présent et majoritaire en « CD » (sondages 13, 12, 11, 10 et 19) et vers le sud (sondage 20). Il s'agit donc là de faciès différents et, malgré la cohabitation fréquente des 2 genres, il y a toujours une prépondérance de l'un sur l'autre.

Distribution des sédiments

Les paramètres statistiques décrits plus haut vont être utilisés graphiquement pour définir plusieurs familles de sédiments, et de là, évaluer les possibilités de corrélation d'un puits à l'autre. Les indices d'asymétrie (ou skewness) et de classification (ou déviation standard) sont placés en ordonnée, le Mode M \emptyset (ou grain moyen) forme l'abscisse (fig. 7).

Les sédiments se regroupent ainsi en « 5 familles ». Près de l'axe des abscisses, les familles I-II-III correspondent à un sédiment « pauvrement classé » ($\sigma \sigma$ compris entre 1 et 2,5).

Les 2 autres familles (IV et V) traduisent un sédiment « mal classé » ($\sigma \sigma$ de 2,5 à 4).

-- Tous les skewness (sk \emptyset) sont positifs, ce qui signifie une courbe de fréquence asymétrique, la partie la plus importante (ou « tail of the curve ») se situant dans la fraction fine (FOLK, 1974), Avec un Sk \emptyset à 0,25 comme sur le graphique, la courbe est considérée comme peu asymétrique ou « fine skewed ».

Remarque : Les corrélations entre paramètres statistiques (fig. 7) ont été réalisés sur 5 sondages ; ceux-ci représentent la totalité des types de sédiments rencontrés en lagune, dont la fourchette granulométrique va des sables à 100 % jusqu'aux limonsargileux avec 35 % de sable et 65 % de fins ($<62,5 \mu$).

Description des Familles de sédiments

La famille nº I correspond à des sédiments de fond près de la nappe phréatique souvent grossiers et mal classés.

La famille nº II dont le sable est moins grossier présente les mêmes caractéristiques que la précédente; ces 2 groupes sont significatifs d'apports marins parfois dynamiques.

La famille nº III proche des limons, représente des sédiments plutôt de surface ou peu profonds.

La famille n^o IV franchement limoneuse est alors très variable en position. Des passées de sédiments fins sont effectivement nombreux dans toutes les colonnes stratigraphiques et se regroupent ici.

J. LECOLLE



Fig. 7. - Corrélations entre paramètres statistiques des sédiments de la lagune Tepoca.

La famille nº V correspond à des limons argileux qui peuvent dans certains cas constituer jusqu'à 75~% du total.

Ces 3 derniers groupes présentent des faciès marins d'eaux calmes, voire lagunaires (Y. LÉVY, 1974) avec entrées temporaires d'eau salées (organismes, algues calcaires).

Minéralogie des différents faciès

L'analyse aux RX, ainsi que l'examen au microscope polarisant des horizons lagunaires, montrent une relative diversité en pourcentages de la composition en minéraux ainsi qu'une hétérogénéité granulométrique des dépôts $(1 < M \otimes < 6)$.

L'observation des lames minces (sédiments meubles indurés dans la résine) confirme la détermination semi-quantitative faite à l'aide des diagrammes de RX (*). Un certain nombre de particularités apparaissent à la lumière des résultats consignés dans le tableau II.

Les pourcentages en quartz (de 13 à 64 %) et en feldspath (70 % à 36 %) sont variables d'un niveau à l'autre, mais la somme des 2 (83 % à 100 %) compose la quasi-totalité du sédiment, sauf exception, comme il apparaît dans l'examen des lames minces. Les feldspaths sont très souvent altérés et séricitisés, l'ensemble étant noyé dans un ciment argileux.

Le gypse est un composant notable dans certains niveaux du sondage 1 (petite « playa » nord) et dans le sondage 18 sous la dune (LT 121). La présence de gypse sur les diagrammes de RX (pics à 7,56 et 3,06, celui à 4,27 pouvant être confondu avec le quartz abondant ici) traduit la nature évaporitique des dépôts dans le nord de la lagune Tepoca. Le fond de la petite Playa Nord (Sondage 1) est d'ailleurs marqué par des boursoufflures craquelées très caractéris-

^(*) Cette détermination a été faile selon la méthode récemment mise au point au laboratoire de Géologie de l'O.R.S.T.O.M. (PARROT et VERDON, à paraître).

TABLEAU II

Sondage nº 1

S 1		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite*	Gypse	Illite	Argile < 2 μ Observations
LT 3	Microscopie	x	x	Hornblende	Coquilles			Coquilles visibles Biotite
	RX %	28,2	56,4	TR	10,9	0	4,5	Argile 13,8 %
	Microscopie	x	avec Séricite	Hornblende	-	x	-	Biotite pas de ciment Grains collés
LT 6	RX %	50	47,6	TR	0,4	2	TR	Gypse Argile 6,6 % Illite Kaolinite Minéraux interstratifiés
LT 9	Microscopie	x	Séricitisa- tion Albite Microcline	Hornblende		x		Biotite
	RX %	58,68	36,11	ΤR	0	5,21	TR	Beaucoup de gypse Argile 8,6 % Illite Kaolinite
	Microscopie	x	x	Hornblende				Biotite Stoupotide 2
LT 12	RX %	44	56	TR	0	0	0	Pas de Gypse Argile 6,1 % Illite Kaoilnite

(*) Mesurée également par acidimétrie pour tous les échantillons.

Sondage nº 6

S 6		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite	Gypse	Ill te	Observations
LT 53	Microscopie RX %	x 46,50	x 39,50	Hornblende TR	10,00	4,00	TR	Biotite Algues Argile 21,3 % Illite Kaolinite Calcite Carb. (TR)
LT 55	Microscopie RX %	x 12,8	Séricitisa- tion Albite Plagioclase 58,5	Hornblende TR	Coquilles 28,7	TR	TR	Algues, Foraminifères Test de coquilles Biotite Argile 17,6 % Illite Calcite Kaolinite CO.No. (Corr
LT 56	Microscopie RX %	x 32	Albite 37,5	Hornblende 1,50	Coquilles 29	0	TR	Tests de Coquilles Algues Foraminifères Argile 19,8 % Calcite Illite Minéraux interstratifiés Kaolinite (TR)

S 6		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite	Gypse	Illite	Observations
	Microscopie	x	x	Hornblende	Coquilles			Algues, Foraminifères, Co- quílles
LT 57	RX %	38,5	41,5	TR	20	0	TR	15 % Argile Illite Kaolinite Calcite Minéraux interstratifiés
LT 60	Microscopie	x	x	Hornblende	Coquilles			Algues, Coquilles
21 00	RX %	34,5	52	TR	13,5	0	0	0 % Calcite, Argile

Sondage nº 18

S 18		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite	Gypse	Illite	Observations
	Microscopie	x	x	Hornblende				Biotite, épidote
LT 118	RX %	31,5	67	1,5	0	0	TR	6 % Argile Illite Kaolinite
	Microscopie	x	x	Hornblende	_	x	_	
LT 101	RX %	58	38,5	TR	2,5	I	TR	24 % Argile Illite Kaolinite
	Microscopie	x	x	Hornblende	-			Quelques Tests de Coquilles
LT 123	RX %	35	62,5	TR	9,5	TR	0	4,2 % Argile Kaolinite Calcite
LT 195	Microscopie	X	Albite Péricline Sénicite	Hornblende	_			Biotite, Épidote
L1 100	HX %	27	70	0,5	2,5	0	0	4,7 % Argile Calcite Kaolinite
	Microscopie	x	Albite Séricite	Hornblende	Coquilles			Foraminifères Coquilles Biotite
LT 108	RX %	24	65,5	TR	10,5	0	0	Ephtote 12,9 % Argile Illite Calcite Gaylussite Kaolinite

Sondages nº 19 et nº 20

S 19		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite	Gypse	filite	Observations
LT 129	Microscopie RX %	x 63,5	Séricite 36	Hornblende TR	0,5	0	TR	11,7 % Argile Illite Kaolinite

S 19		Quartz	Feldspath	Amphibole	Calcite	Gypse	Illite	Observations
	Microscopie	x	Albite	x	Coquilles			Tests de Coquilles
LT 135	RX %	34,5	47,5	TR	18	0	TR	3,5 % Argile Illite Kaolinite Gaylussite Calcite
S 20	Microscopie	x	Plagioclase	x	Coquilles			Tests de Coquilles
LT 137	RX %	33,5	45	8	13,5	TR	TR	Épidote, Biotite Staurotide ? 17,8 % Argile Illite Kaolinite Calcite Gaylussite
	Microscopie	x	x	x	Coquilles			Tests de Coquilles Épidete Biotite
LT 138	RX %	22,5	69	3	5,5	0	TR	9,5 % Argile Illite Calcite Kaolinite Gaylussite
	Microscopie	x	x	x	Coquilles		_	Quelques Tests de Coquilles Ciment, argileux
LT 140	RX %	30	43,5	8,5	18	0	TR	22,7 % Argile Calcite Illite (peu) Minéraux interstratifiés

tiques des remontées capillaires d'évaporite. Ces éléments gypseux se retrouvent sous la dune en 18 et correspondent alors en altitude à la surface du 1.

La calcite apparaît, voire en abondance dans les niveaux riches en microorganismes, algues (de genre lithotamniées), foraminifères et débris coquillers qui se voient très bien en plaques minces. Elle est, par opposition absente là où la microscopie ne révèle aucune faune. Il existe cortainement une corrélation étroite entre le taux de calcite dans le sédiment, et la faune qu'il contient.

Les amphiboles (surtout la hornblende) sont présentes partout, mais sous un faible pourcentage, sauf dans le sondage 20. Il est possible ici que l'apport soit dû à l'arrivée d'un des nombreux arroyos descendant de la Sierra Seri.

La microscopie révèle également des grains de mica (biotite) ainsi que de rares épidotes et sphènes dans certaines plaques.

Les minéraux argileux, principalement l'illite et des interstratifiés, ne forment que de faibles pourcentages qu'il n'est pas possible de chiffrer.

Les diagrammes de RX effectués sur les argiles $(<2 \mu)$ montrent un pic de la kaolinite à 7,14 qui n'apparaît pas sur les graphiques de l'échantillon

Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol., vol. XI, nº 2, 1979-1980: 205-223

brut. Le pourcentage par rapport à l'ensemble est insignifiant et au-delà de la marge d'erreur, mais le fait qu'il y ait de la kaolinite est intéressant à noter.

Le minéral principal, l'illite, est probablement détritique, ainsi que la kaolinite, comme le sont les quelques minéraux ferro-magnésiens et accessoires, trouvés en lame mince, déjà signalés par Tj. VAN ANDEL (1964) qui apparaissent également aux RX.

Finalement, la composition totale du sédiment reflète un apport détritique, en rapport avec la composition minéralogique des sources d'apport les plus proches, Sierra Seri et Cerro Tepoca.

L'ensemble a été repris par les marées du dernier interglaciaire puis de l'interstade Wisconsin qui, selon la dynamique marine au lieu de dépôt, a laissé des sables ou des limons argileux.

Description des faciès de la lagune

Les faciès et les conditions de dépôts diversifiés permettent de diviser géographiquement la lagune en 4 zones (fig. 4).

-- Une zone I à chione fluctifraga, dans les petites parties basses du Nord (3-2-1-18) dont les sondages ne révèlent que peu ou pas de microfaune. — Une zone II à turritelles suivant l'axe C.D. avec des algues et des foraminifères dans les sédiments.

— Une zone III à chione suivant l'axe EF mais avec en plus, faisant la différence avec la zone Nord, des algues calcaires et des foraminifères.

— Une zone IV à Turritelles vers le Sud, autour du sondage 20 et jusqu'à l'estero Sargento suivant la ligne générale du piémont de la Sierra Seri, ne présentant, à l'inverse de la zone II, pas de microfaune.

- Ces quatre parties de la lagune décrites cidessus, qui ont fait l'objet de conditions de dépôts spécifiques, n'ont que peu de corrélations entre elles : par contre, une stratigraphie assez fine semble se préciser à l'intérieur de chacune d'entre elles.

Il faut noter néanmoins, qu'à grande échelle, le niveau à coquilles déposé dans la lagune à la même époque (datation) (ORTLIEB et LECOLLE, 1980) a été mesuré à la mème altitude.

— En résumé, nous sommes en présence de 2 types de classification. L'une basée sur la dynamique des apports : degré de classification du sédiment et dimension des grains (Familles), l'autre fait état des faciès : présence ou absence de certains types de faune (Zones).

La combinaison de ces 2 classifications permet de mettre en évidence la corrélation plus ou moins grossière qui existe entre elles, montrant par là l'existence d'une répartition concomitante des faunes et des faciès pétrographiques à laquelle elles sont associées.

En reprenant les zones définies d'après des critères faunistiques, on observe les associations suivantes :

Zone I

Sous une couverture éolienne récente (Holocène), une couche à chione fluctifraga de 0,20 à 0,50, se distingue, puis un sable fin argileux vert marron, sans faune, jusqu'à environ 1 m.

Un passage sableux apparaît ensuite jusqu'à 2,80 m, puis vers 3 m, une proportion d'argile non négligeable se présente dans le sédiment qui est toujours de couleur marron jusqu'à 4,50 m.

Le fond redevient sableux, modérément classé (Famille I), avec un léger taux d'argile au contact de la nappe phréatique à 5,10 m de profondeur. Sauf les macro-fossiles de la surface, il n'y a pas de faune dans toute la colonne stratigraphique.

Zone 11

Ici la couverture éolienne est également présente et de plus en plus épaisse vers la mer, puis apparaît la couche coquillère, ici des turritelles dans un ciment sableux-limoneux. Les couches sous-jacentes sont franchement sableuses avec des macrofossiles plus dispersés qu'en surface.

La nappe phréatique est atteinte vers 4 m, et insensiblement le sable (Famille II : pauvrement classée) jaune ocre rouge, devient vert au fur et à mesure de la profondeur. Toute la colonne à partir de la couche à turritelles montre de la faune et en particulier de nombreuses algues calcaires.

Zone III

Elle est très semblable à la précédente mais une couche de chione prend la place des Turritelles.

On retrouve de la microfaune à tous les niveaux : foraminifères, algues calcaires, débris de coquilles.

Le fond près de la nappe est toujours très sableux, pauvrement classé, grossier. Il faut noter un passage argilo-limoneux mal classé dans le sondage 6 entre 1,00 et 2,60 m, sans macrofaune; elle apparaît seulement en position sous-jacente. La nappe phréatique apparaît à environ 2,60 m, sous la surface qui est elle-même à 2 m \pm 1 m au-dessus du niveau moyen de la mer actuelle.

La zone centrale et la zone sud (19-4-6) présentent dans toutes les couches des débris coquillers, des algues calcaires (g. lithotammium) et des foraminifères.

Zone IV

Vers le sud de la lagune, près de l'estero Sargento, on distingue une couche à Turritelles très abondantes de 0,50 m dans un sable fin avec 40 % d'éléments fins (>4 ω soit <62,5 μ). Le sable sous-jacent devient grossier, mais la faune est moins dense, une influence marine est certaine.

Près de la nappe phréatique, le sédiment est fin, 34 % de sable seulement pour 66 % < 62,5 μ , et la faune disparaît. Une ambiance lagunaire a peut-être prédominée ici, à ce niveau du sondage.

CONCLUSION

Il est intéressant de noter une certaine disparité dans les sédiments de la lagune; de plus le paysage actuel a été surimposé à la fin du pleistocène ou à l'holocène (dunes, alluvions, piémonts...) et n'a donc pas de corrélation avec la lagune sous-jacente.

On peut retenir que la dernière transgression marine, puis la régression qui a suivi, s'est effectuée en plusieurs phases laissant des chiones, des Turritelles, des algues, des foraminifères. La granulométrie également reflète la qualité des apports : sédimentation fine, ou dérive littorale, argile de fond calme, ou sable grossier de plage se succèdent dans les profils.

Il est probable que la sédimentation a été lenticulaire, montrant une suite de bas-fonds à dépôts fins et de hauts-fonds plus grossiers, le tout dans une mer ou un fond de golfe peu profond. Des conditions semblables existent dans le canal de l'Infernillo (fig. 2) qui sera peu à peu comblé par engraissement des flèches sableuses. La stratification lagunaire apparaît ainsi hétérogène.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M., le 11 mai 1981.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CETENAL, 1975. Hoja Isla Tiburon 12 R III : Mexico D.F. Comision de Estudios del Territorio Nacional, Carta climatica, escala 1:5000.000°.
- CROWELL (J. C.), 1962. Displacement along the San Andreas fault, California : Geol. Soc. America spec. paper 71 : 1-61.
- DUNBIER (R.), 1968. The Sonoran desert, its geography, economy and people : *Tucson Univ. Arizona Press*, 426 p.
- FOLK (R. L.), 1966. A review of grain size parameters. Sedimentology, v. 6 : 73-93.
- FOLK (R. L.), 1974. Petrology of sedimentary rocks : Austin, Texas Hemphill's, 154 p.
- GASTIL (R. G.) et al., 1974. Reconnaissance geologic map of coastal sonora between Puerto Lobos and Bahia Kino. 1/150.000 Geol. Soc. Amer. M.C. 16.
- GRIMM (R. E.), 1968. Clay mineralogy 2nd ed. New York. Mc Graw Hill, 596 p.
- HAMILTON (W.), 1961. Origin of the Gulf of California : Geol. Soc. America Bull., v. 72, nº 9 : 1307-1318.
- JAUREGUI-OTROS (E.), 1970. Distribucion de la frecuencia de heladas, lluvias y tormentas electricas en México : Ing. Hidr. (México), v. 24 : 320-340.
- KINSMANN (D. J. J.), 1969. Modes of formation, sedimentary associations, and diagnostic features of shallow-water and supratidal evaporites. Am. Assoc. Petroleum Geologists. Bull., v. 53 nº 4 : 830-840.
- KRUMBEIN (W. C.), 1934. Size frequency distributions of sediments. Journ. Sed. Petrology, v. 4 : 65-77.
- LECOLLE (J.) et al., 1977. Contribucion al estudio del cuaternario reciente de la playa San Bartolo, Sonora. Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geologia, Revista, v. 1, nº 2: 204-217.
- LECOLLE (J.) et ORTLIEB (L.), 1978. Étude préliminaire de l'évolution paléogéographique au Quaternaire supérieur de la Laguna Tepoca, Golfe de Californie, Mexique.

In: X^e Congrès Inler. de Sédimenlologie, Jérusalem Abstr., vol. 1 : 372-373.

- LÉVY (Y.), 1974. Sedimentary reflection of depositional environment in the Bardawil lagoon (Northern Sinai) journ. Sed Petrology, v. 44, nº 1: 219-227.
- NICHOLS (M. M.), 1965. Composition and environment of recent transitional sediments on the Sonoran coast, Mexico. Univ. Calif. Los Angeles Ph. D., 401 p.
- NORRIS (R. M.) et WEBB (R. W.), 1975. Geology of California John Wiley and Sons, inc., 365 p.
- ORTLIEB (L.) et MALPICA CRUZ (V.), 1978. Reconnaissance des dépôts pleistocènes marins autour du Golfe de Californie, Mexique. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol., vol. X, nº 2 : 177-190.
- ORTLIEB (L.) et LECOLLE (L.), 1980. Résultats ¹⁴C d'environ 30.000 ans BP fournis par des coquilles laguno-marines émergées sur la rive orientale du Golfe de Californie (Mexique) (à paraître).
- PHLEGER (F. B.), 1969. A modern evaporite deposit in Mexico. Am. Assoc. Petroleum Geologists. Bull., v. 53, nº 4 : 824-829.
- PHLEGER (F. B.) et ERWING (G. C.), 1962. Sedimentology and oceanography of coastal lagoons in Baja California, Mexico. Geol. Soc. America Bull., v. 73: 145-182.
- POSTMA (H.), 1965. Water circulation and suspended matter in Baja Galifornia lagoons *Netherlands jour. Sea Research*, v. 2 : 566-604.
- THORNBURY (W. D.), 1969. Principles of geomorphology. 2nd ed. New York, John Wiley and Sons, 594 p.
- VAN ANDEN (Tj.), 1964. Recent marine sediments of Gulf of California in marine geology of the Gulf of California, a symposium A A P G, memoir 3 : 216-310.
- WILSON (I. F.), 1949. Buried topography, initial structures and sedimentation in the Santa Rosalia area, Baja California, Mexico. Am. Assoc. Petroleum geologists, v. 32: 1762-1807.