

MORPHOLOGIE, FORMATION ET ASPECTS SÉDIMENTOLOGIQUES DE LA PLAYA SAN BARTOLO (SONORA), MEXIQUE (1)

Jean LECOLLE*

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

RÉSUMÉ

La lagune San Bartolo est une dépression endoréïque située à la base du versant oriental de la Sierra Seri. Individualisée à la fin du Miocène, elle fait partie du système « Basin and range » affectant l'ensemble du Golfe de Californie. Son affaissement progressif dû au jeu de failles qui l'entoure entraîne un remplissage limono-argileux rapide. Les apports sont essentiellement locaux et la nature endoréïque du milieu favorise la formation d'évaporites.

MOTS-CLÉS : Sédimentation endoréïque — Playas — Sonora — Mexique.

ABSTRACT

MORPHOLOGY, FORMATION AND SEDIMENTOLOGICAL FEATURES OF THE PLAYA SAN BARTOLO (SONORA), MEXICO

The endoreic area of San Bartolo lagoon is located to the foot of Sierra Seri east slope. Formed in the Late Miocene it is comprised in "Basin and range" system which affects the whole gulf of California. Its progressive subsidence induced by a surrounding fault system brings about a quick filling by siltyclayed sediments.

The provenance of detrital material was not far; the confined environment involves the formation of evaporite minerals.

KEY WORDS : Endoreic sedimentation — Playas — Sonora — Mexico.

RESUMEN

MORFOLOGÍA, FORMACIÓN Y ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DE LA PLAYA SAN BARTOLO (SONORA), MÉXICO

La laguna San Bartolo es una cuenca endorreica situada en la base de la vertiente oriental de la Sierra Seri. Esta depresión está relacionada con las estructuras del sistema de las « Cuencas y Sierras » (o « basin and range ») las cuales afectan todo el mar de Cortés.

Su hundimiento progresivo debido al juego de fallas que la rodean favorece el depósito de sedimentos limo-arcillosos de aspectos monotono. Los aportes son principalmente locales y la naturaleza endorreica del medio favorece la formación de evaporitas.

PALABRAS-CLAVES : Sedimentación endorreica — Playas — Sonora — México.

(1) Étude réalisée dans le cadre d'une Convention signée entre l'Institut de Géologie de l'Université autonome de Mexico et l'O.R.S.T.O.M.

INTRODUCTION

Le nord-ouest mexicain est caractérisé par de nombreuses déformations et fractures entraînant notamment la formation de blocs indépendants où l'érosion dessine des séries de montagnes parallèles séparées par des bassins étroits de même direction (NNW-SSE) (J. LECOLLE, 1979).

Ce type de tectonique a pris le nom de la région de « Basin Ranges » en Californie où elle a été étudiée (N. NORRIS and W. WEBB, 1976). Les « Playas » ou lacs secs et parfois salés, typiques des états de Sonora, d'Arizona et de Californie, se développent dans les parties basses et fermées des « Basin and Range » en climat désertique et aride. Sur la côte du Sonora central, au nord de Bahia Kino et à la hauteur de l'île de Tiburon, s'étend une région de ce type. L'un de ces bassins est occupé par la Playa San Bartolo qui demeure l'un des plus importants vestiges paléogéomorphologiques du Sonora côtier. Celui-ci est situé sur le flanc oriental de la chaîne montagneuse de la Sierra Seri, et cerné par un réseau de failles de direction (NNW-SSE). Cette dépression est endoréique, de forme ovale de 12,5 km de longueur selon un axe NNW-SSE et de 3,5 km dans la largeur maximale.

GÉOMORPHOLOGIE DE LA PLAYA SAN BARTOLO

La Playa San Bartolo est caractérisée par un système de cordons dunaires qui l'entourent et la délimitent avec précision (fig. 1).

Le Cordon oriental

C'est le plus important ; barre sableuse de 25 à 40 m de hauteur pour environ 1 km de largeur à la base, il est d'origine fluviale et recouvert de sables éoliens apportés par la déflation. Le vent l'a modelé et il présente un profil asymétrique avec une pente douce à l'ouest et abrupte à l'est ; de plus le niveau lagunaire (playa B) sur lequel repose le cordon dunaire sur son bord oriental est situé à une dizaine de mètres au-dessus de la surface de la playa principale. Ce décalage entre les deux fonds lagunaires traduit vraisemblablement l'existence d'une faille, à rejet vertical, la dune orientale s'étant développée sur l'escarpement ainsi créé. En outre l'érosion a raviné le flanc occidental formant des dénivelés et un ensemble de crêtes désignées sous le terme général de « bad-lands » (M. DERRUAU, 1966 ; C. SOTO-MORA, 1965).

Deux générations de dunes (voir plus loin) composent cet ensemble dunaire qui se prolonge vers le nord où il contourne la dépression lagunaire vers le nord-ouest. Au sud, il est recoupé par le cours

du rio Noriega (fig. 1) et il n'est plus représenté au sud de ce rio que par une ligne de petites dunes se développant sur le bord sud-est de la playa. Le rio Noriega, plus petit que le rio Bacoachi venant du nord, emprunte probablement le tracé d'une faille qui a ainsi stoppé la progression vers le sud, du cordon oriental.

Le cordon occidental

Très rectiligne, délimitant la marge occidentale de la playa, il est formé en réalité de plusieurs cordons de dunes parallèles entre lesquelles s'insinuent des cours d'eau temporaires (ou arroyos). Dans les bas-fonds l'évaporation y provoque le dépôt de croûtes de sels sur des sédiments généralement fins ; il est beaucoup moins important que le cordon dunaire formé à l'est : 4 m de hauteur moyenne. Entre le cordon occidental et la Sierra Seri, on observe une accumulation détritique formant un glaciais ; cette accumulation est désignée localement sous le terme de « bajada » et constitue sur environ 4,5 km de large, un ensemble de forme concave (W. D. THORNBURY, 1969) descendant de la Sierra Seri et venant s'appuyer sur les bords de la « playa ». La « bajada » que l'on retrouve dans toutes les zones arides, est ici colonisée par une végétation relativement dense de plantes telles que cactées, ocotillos et sahuaros.

Le fond de la playa

Les polygones de dessiccations marquent le fond de la playa ; celui-ci est représenté par une superficie parfaitement plane dont les dénivellations sont de l'ordre du 1/1000^e. Le bord nord-est, est occupé par des graviers et même des pierres allant jusqu'à des tailles de 10 à 15 cm. Ceux-ci ne peuvent être déposés que par le rio Bacoachi qui peut, temporairement, avoir un débit fluvial important, les arroyos ayant un écoulement trop faible pour contribuer à de tels apports. La nature de ces roches est très variée et représente tous les types d'affleurement répertoriés aux alentours : rhyolite, basalte andésite, tonalite (R. G. GASTIL *et al.*, 1977). Le bord nord-ouest est frangé par des dépôts salés, formant une croûte brillante et craquelée. Il faut noter qu'aucun fossile ou microfossile n'a été trouvé dans les sédiments de la playa.

Les sources d'apports

Comme nous venons de le voir, elles se font au nord, par le rio Bacoachi qui, en débouchant dans la lagune, se subdivise en de nombreux bras. L'ensemble du système fluvial est souligné par la végétation marquant ainsi la proximité immédiate de la nappe phréatique.

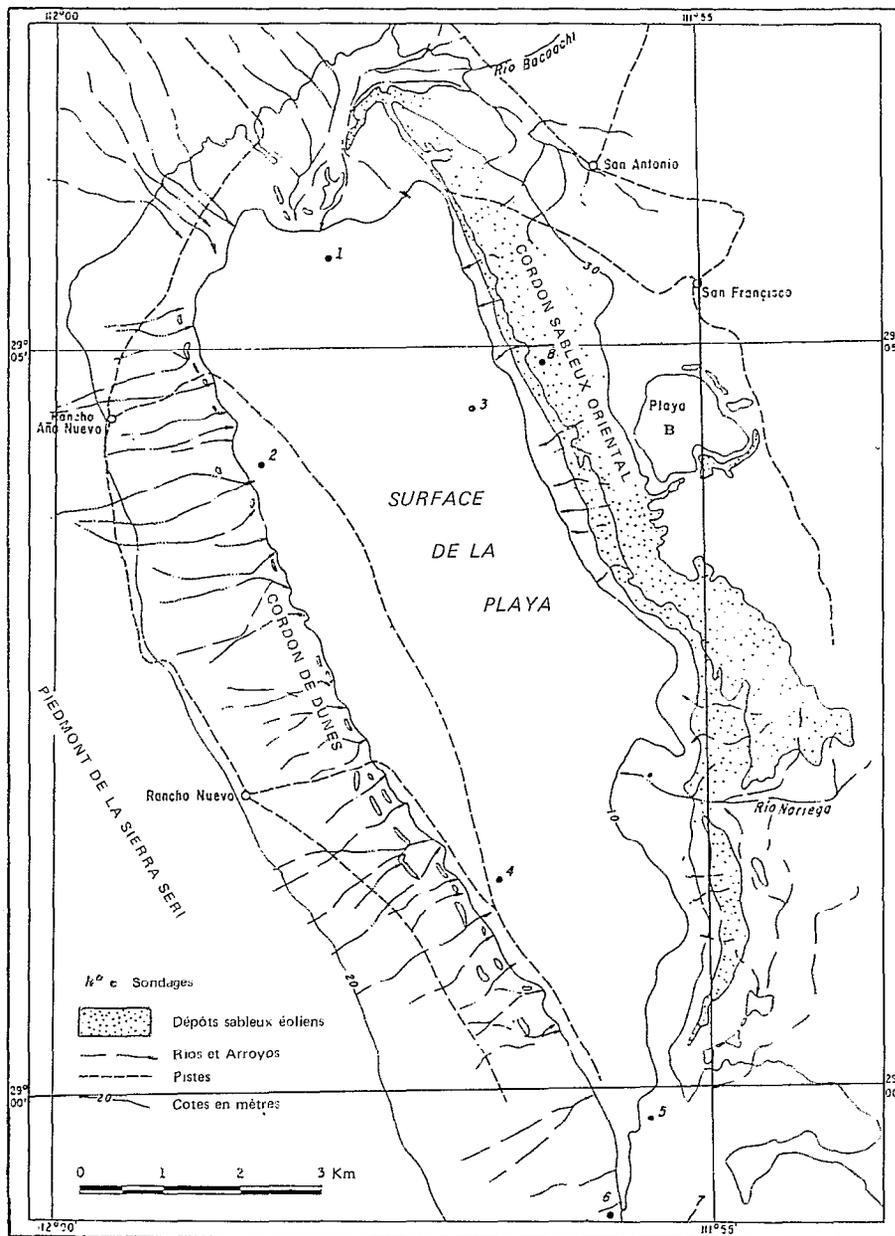


Fig. 1. — Carte géomorphologique de la Playa San Bartolo.

Par ailleurs, une multitude d'arroyos pénètrent dans la playa (surtout à l'ouest) venant de la Sierra Seri. La plupart n'ont pas de lit bien délimité, et, lors de pluies violentes, l'écoulement se fait en sheet-flood (W. D. THORNBURY, 1969).

Au sud-est, le rio Noriega n'influe que localement sur les apports.

LES SÉDIMENTS DE LA PLAYA SAN BARTOLO

Des sédiments ont été prélevés sur tout le périmètre lagunaire à l'aide d'une tarière de 7 m de longueur. Les sondages s'échelonnent approximativement sur 2 transversales NS et EW (fig. 1).

La première débute dans le delta du rio Bacoachi

et, après avoir traversé la playa, se continue au sud dans l'exutoire, actuellement non fonctionnel, qui se poursuit jusqu'à la mer.

La deuxième, perpendiculaire à la précédente, passe par l'axe le plus large et se termine dans les « bad-lands » du cordon oriental. Tous ces sédiments sont en majorité argileux ou argilo-limoneux, azoïques, et forment un ensemble monotone. Les montmorillonites sodiques et magnésiennes, ainsi que de l'analcime parfois très abondante, forment l'essentiel de la phase argileuse, celle-ci constituant 80 % du sédiment.

Fraction grossière

Elle est obtenue par tamisage, puis étudiée suivant le système américain de W. C. KRUMBEIN (1934) repris par la suite par D. L. INMAN et T. K. CHAMBERLAIN (1955), puis par R. L. FOLK (1966, 1974). Les paramètres utilisés ici sont $M\sigma$ (médiane arithmétique ou grain moyen) $\sigma\phi$ (coefficient de classification ou écart type) et $Sk\phi$ (coefficient d'asymétrie). Le rapport graphique de ces paramètres pris 2 par 2 révèle sept groupes de sédiments sur les 130 échantillons couvrant l'ensemble du système lagunaire (J. LECOLLE *et al.*, 1977).

— Les groupes I, II et III représentant des sables fins modérément classés, sont localisés sur les bords de la playa (base du cordon occidental et sédiments du cordon oriental (fig. 2).

— Le groupe IV constitué de sable fin à très fin, mais mal classé, serait d'origine fluviale et se rencontre à l'embouchure du rio Bacoachi et dans l'exutoire situé au sud de la playa. Il s'agit très certainement d'alluvions du Bacoachi marquant ainsi le tracé de son ancien lit selon le grand axe de la playa.

— Le groupe V est représenté par un limon mal classé à prédominance de fraction fine. Il est souvent localisé, dans les carottes de sondage, près de la surface de la playa.

— Les groupes VI et VII sont des argiles correspondants à une sédimentation régulière de formation lacustre. Ils sont abondants dans tous les sondages de fond de lagune. Ces deux derniers groupes sont très voisins, et seul le $M\phi$ (c'est-à-dire la dimension des particules) les différencie.

Une comparaison des sondages entre eux peut se faire en y plaçant dans chaque colonne correspondante et pour chacun des niveaux étudiés, les groupes définis ci-dessus et le pourcentage de sable, limon et argiles constituant chaque échantillon (fig. 2). On remarque ainsi que le faciès des sondages du sud de la playa (sondages 5, 6 et 7) est plus hétérogène en profondeur que ceux du centre et du

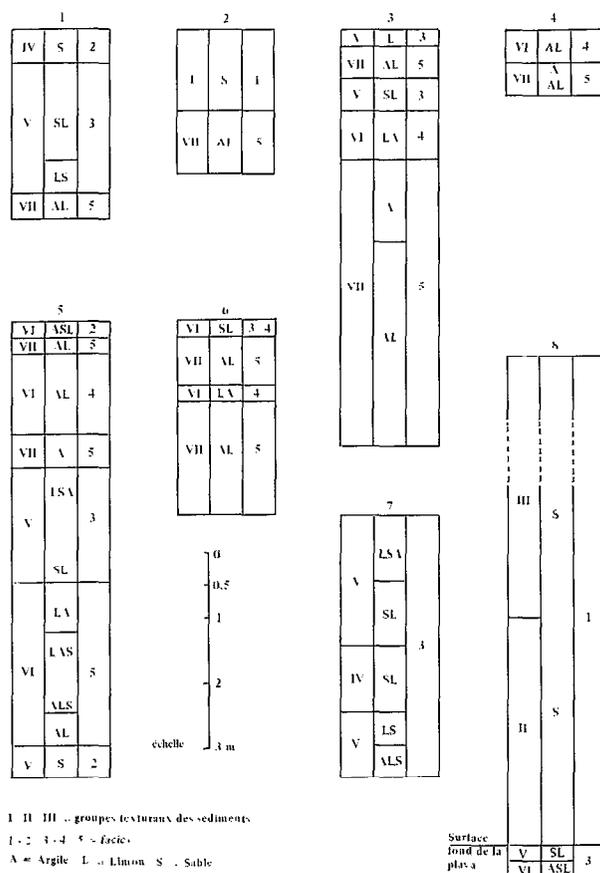


Fig. 2. — Sondages effectués dans la Playa San Bartolo.

nord. Les apports se sont succédés rapidement et une influence du rio Noriega n'est vraisemblablement pas étrangère.

Plus au nord, les faciès se succèdent plus régulièrement en épaisseur. Une couche à 70 % d'argile (fraction < 2 μ) occupe la base des sondages (les carottes ont 7 m de longueur) ; elle est surmontée par un niveau fortement argileux (jusqu'à 100 %) entre 2,50 m et 0,50 m, enfin le tout est recouvert par du sable fin d'origine éolienne sur le bord occidental et par un sédiment plus sablo-limoneux sur le bord oriental (LECOLLE *et al.*, 1977).

En résumé, on peut distinguer 3 types de sédimentation témoignant ou non de l'influence du Rio Bacoachi et, localement au sud, de celle du Rio Noriega.

— Le nord est uniformément couvert par 0,50 m de limon.

— Au centre, on observe, sous cette couche limoneuse, un horizon de limon argileux.

— Le sud présente, sous cette même couche limoneuse, un mélange de sable et d'argiles.

Ces changements tout à fait locaux, sont le fait d'un apport isolé, de courants ou de dépôts éoliens particuliers.

Mis à part les distinctions que l'on peut faire localement, l'ensemble est d'une manière générale constitué par un dépôt fin, de sédimentation calme et tranquille de type lacustre, où se décèle l'influence des apports de la Sierra Seri.

Fraction fine

Analysée par diffraction des rayons X, elle est composée de montmorillonite et d'alcaline principalement. Elle semble ne varier, ni dans l'espace, ni en épaisseur ; elle est spécifique de la playa et apparaît jusqu'au sud dans la sortie vers la mer, (sondage 7). La même composition de la fraction argileuse se retrouve sur le piémont de la Sierra Seri, mais en revanche, change totalement dans le rio Bacoachi et à l'extérieur de l'aire lagunaire par exemple à l'est du cordon oriental.

En cas de mise en eau par de fortes pluies, le rio Bacoachi s'étale dans la playa et dépose après évaporation un sédiment sablo-limoneux différent des argiles provenant de la Sierra Seri. Ces dépôts non uniformes sur toute la surface renforce cette hétérogénéité que l'on retrouve dans les sondages.

D'autre part, le piémont de la Sierra Seri qui descend jusqu'au cordon occidental de la Playa, fournit des argiles de même type minéralogique que celles décrites plus haut. Ce sont des produits d'altérations de roches éruptives de types acides, lesquelles constituent effectivement l'essentiel des matériaux de la Sierra Seri bordant ici la playa. Les « arroyos » dévalant la pente de la « bajada » seraient donc vecteurs des apports détritiques dans la lagune.

Le lit du Rio Bacoachi montre souvent des traces d'écoulement violent, témoins des pluies ou des tornades qui se produisent presque tous les ans. Les sédiments charriés par le fleuve et qui en tapissent le fond, ne sont pas du même type que ceux de la playa.

La phase argileuse est ici beaucoup moins importante et sa composition minéralogique, quoique voisine des argiles du fond de la playa, présente des disparités : moins d'Alcaline, mais un peu de Kaolinite. Le fleuve ne jouerait donc pas de rôle dans le transport des détritiques fins, bien qu'ayant certainement été le point de départ du modelé actuel de la playa.

ORIGINE - FORMATION

Une faille a probablement contrôlé le tracé du Rio Bacoachi. Au fur et à mesure de l'enfoncement

progressif de la dépression (formation « Basin and Range »), les alluvions apportées par le fleuve se sont accumulées sur l'une de ses rives amorçant l'édification du cordon oriental.

Actuellement, des vestiges de ces dépôts alluviaux, cimentés par de la halite, restent en prééminence à la surface du cordon. On y distingue très nettement des traces d'écoulement. Le climat est devenu aride, les écoulements ont cessé, et l'ensemble a été modelé par la déflation éolienne importante ; le cordon occidental caractéristique d'une playa s'est édifié du côté sous le vent (M. DERRUAU, 1966).

Par la suite, le Rio Bacoachi a contourné vers le Nord-Est la barre sableuse du cordon oriental qu'il a fini par entamer à cause de la subsidence, de la playa laissant sur sa rive gauche une falaise de 3 à 4 m de hauteur.

Il semble donc que l'ensemble lagunaire soit rattaché géologiquement à la Sierra Seri. L'association Montmorillonite-Alcaline est classique dans un contexte volcano-sédimentaire en climat tel qu'il a été décrit. Le dernier volcanisme date du miocène ; il aurait laissé des dépôts (cendres volcaniques) donnant naissance à des zéolites (comme l'Alcaline ou la Clinoptilote plus rare ici) (G. MILLOT, 1964). Bien entendu, ces sédiments contiennent également : feldspaths, quartz, et pour certains, de la calcite d'origine vraisemblablement secondaire.

La dépression endoréique que constitue la playa est également propice aux dépôts d'évaporites. Ceux-ci apparaissent le long de la marge occidentale mais une analyse plus fine relève également une présence de Halite sur le cordon oriental.

Notons qu'aucun dépôt coquiller n'a été trouvé dans la lagune. Or, sur le côté occidental de la Sierra Seri tourné vers le Golfe de Californie, on observe à +5 m, c'est-à-dire au niveau du fond de la lagune San Bartolo, des dépôts coquillers d'âge wisconsin. Cela signifie que la mer n'a donc pas pénétré d'une manière permanente dans la playa San Bartolo, malgré sa relative proximité (20 km environ). Cet état de fait pourrait être dû à plusieurs facteurs : débit important du Rio Bacoachi, ou altitude plus élevée de la dépression au moment des transgressions enregistrées dans la région (SANGAMON 100.000 ans B.P., WISCONSIN 30.000 ans B.P.).

COMPARAISON ENTRE DEUX LAGUNES FOSSILES - LA LAGUNE TEPOCA ET LA PLAYA SAN BARTOLO

Il est intéressant de comparer l'évolution de la lagune endoréique de San Bartolo avec celle que présente la lagune Tepoca, lagune ouverte située à la même latitude (LECOLLE, 1981).

Influence de la mer

— La lagune Tépoça a été recouverte par les transgressions du SANGAMON puis du WISCONSIN (dues à un léger réchauffement de la période glaciaire), qui ont laissé des vestiges.

— La Playa San Bartolo est azoïque dans son ensemble, des coquilles ont été remarquées sur les cordons fossiles, mais non en place ; elles ont été apportées et consommées sur les rives du lac de longue date par les populations locales.

Tectonique

— La lagune Tepoça résulte d'un retrait de la mer et d'un assèchement d'un tombolo appuyé sur « l'île Tepoça ».

— La playa San Bartolo est une fosse d'effondrement, et l'origine de ce paléolac est le résultat d'un jeu de failles.

La première a donc des contours peu précis alors que la seconde a des limites bien marquées.

Sédimentation

L'action de la mer a marqué la lagune Tepoça jusque dans ses sédiments qui, dans l'ensemble, sont grossiers.

D'une manière générale le fond de la playa San Bartolo est recouvert de sédiments fins, témoins d'une sédimentation calme.

D'un autre côté, des dépôts évaporitiques sont bien mis en évidence dans la dépression SAN BARTOLO, par des boursoufflures et bulles d'air sous la croûte de sel.

L'évaporation des eaux prend le pas sur l'écoule-

ment ou l'infiltration soulignant le caractère endoréique de la dépression.

S'il existe des composés évaporitiques dans l'autre lagune, ils sont moins visibles et n'apparaissent qu'aux RX.

Alimentation

Les apports sont moins visibles en lagune Tepoça, ou même presque inexistantes. La couche supérieure est occupée par des coquilles fossiles datées de 30.000 B.P.

En revanche, dans la playa San Bartolo, si les apports n'ont lieu qu'en cas de tornades ou pluies violentes, assez rares, ils ne sont pas négligeables. On peut y remarquer des témoins tels que arbres morts ou graviers et pierre envahissant le côté nord-est de la dépression.

CONCLUSIONS

La lagune San Bartolo résulte des accidents associés à la tectonique qui affecte l'ensemble du Golfe de Californie depuis le Miocène. Individualisée au moins dès la fin du Miocène (M. N. NICHOLS, 1965), elle a été très rapidement coupée du milieu marin pourtant proche. Son remplissage important accompagne l'approfondissement constant par jeu tectonique. Les apports sont essentiellement locaux et la nature endoréique du milieu favorise la formation d'évaporites.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,
le 6 mai 1981.*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DERRUAU (M.), 1966. — Géomorphologie. Masson édit., 442 p.
- FOLK (R. L.), 1966. — A review of grain size parameters. *Sedimentology*, 6 : 73-93.
- FOLK (R. L.), 1974. — Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's edit., Austin, Texas, 154 p.
- GASTIL (R. G.) and KRUMMENACHER (D.), 1977. — Reconnaissance geology of coastal Sonora between Puerto Lobos and Bahía Kino. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88, n° 2 : 189-198.
- INMAN (D. L.) and CHAMBERLAIN (T. K.), 1955. — Particle size distribution in nearshore sediments. *Soc. econ. Paleont. Min., Spec. Publ.* n° 3 : 106-136.
- KRUMBEIN (W. C.), 1934. — Size frequency distributions of sediments. *Petrology*, 4 : 65-77.
- LECOLLE (J.), 1979. — Influence de la tectonique et de la nature du substratum environnant dans la genèse de deux lagunes sèches de la bordure orientale du golfe de Californie (Mexique). 7^e Réunion ann. Sci. Terre, Lyon, *Soc. Geol. Fr. édit.* : 282.
- LECOLLE (J.), 1979-1980. — Morphologie, formation et aspects sédimentologiques de la lagune Tepoça (Sonora) Mexique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. XI, n° 2 : 205-223.
- LECOLLE (J.), LANGIN (M.) y CASTRO DEL RIO (A.), 1977. — Contribution al estudio del cuaternario reciente de la playa San Bartolo, Sonora. *Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. Geologia Revista*, I, n° 2 : 204-217.
- MILLOT (G.), 1964. — Géologie des argiles. Masson édit., Paris, 499 p.
- NICHOLS (M. M.), 1965. — Composition and environment of recent transitional sediments on the Sonoran coast, Mexico. *Univ. Calif. Los Angeles, Ph.D.*, 401 p.
- MORRIS (R. M.) and WEBB (R. W.), 1975. — Geology of California. John Wiley and Sons, New York, 365 p.
- SOTO-MORA (C.), 1965. — Vocabulario geomorfologico. *Univ. Nal. Auton. Mexico, Inst. Geografia*, 202 p.
- THORNBURY (W. D.), 1969. — Principles of geomorphology. John Wiley and Sons, New York, 594 p.