

# Datation de dépôts littoraux du dernier interglaciaire (Sangamon) sur la côte orientale du Golfe de Californie, Mexique

par MICHEL BERNAT \*, CHRISTIANE GAVEN \*\* et LUC ORTLIEB \*\*\*

**Mots clés.** — Datation, Th (Th 230), Isotope, Veneridae (*Dosinia*), Pléistocène, Terrasse marine, Mexique (Golfe de Californie).

**Résumé.** — La composition isotopique de U et de Th a été analysée sur 15 échantillons de coquilles de *Dosinia Ponderosa* provenant de dépôts paléolittoraux pléistocènes situés de 4 à 5 m au-dessus du zéro actuel sur la côte du Sonora et l'île de Tiburon dans le Nord-Ouest mexicain. Ces dépôts de haut niveau marin étaient considérés comme appartenant au dernier interglaciaire, ce qui est confirmé par la majorité des datations obtenues (82 000 à 102 000 ans). Il est difficile de dire si l'étalement des dates correspond à un mélange de faunes couvrant la période interglaciaire ou s'il est provoqué par la contamination d'échantillons provenant d'un seul épisode de haut niveau de la mer.

Le choix entre ces deux hypothèses implique des conclusions différentes quant aux variations du niveau marin et à l'existence de mouvements tectoniques locaux.

## Radiometric ages of some pleistocene deposits from the East coast of the Gulf of California (Mexico)

**Abstract.** — We have dated fifteen samples of *Dosinia Ponderosa* from Pleistocene deposits of the Sonora coast and Tiburon island (East coast of the Mexican gulf of California). These deposits were suspected to be from the last interglacial periode (Sangamon), our data confirm this age but the scatter of the results does not allow us to relate these samples to one particular high sea level.

### I. — INTRODUCTION.

La côte du Sonora central (fig. 1) présente une succession de baies et de promontoires rocheux qui en font une zone favorable à la conservation de dépôts transgressifs anciens. En effet, au Sud du parallèle 28° N et au Nord du parallèle 30° N, les témoins laissés par de hauts niveaux de la mer pléistocène ont été beaucoup plus facilement érodés et enfouis soit sous les alluvions épaisses provenant de la Sierra Madre occidentale, soit sous les sables désertiques du Nord du Golfe de Californie.

Dans cette région, la très grande majorité des terrasses d'abrasion marine et des dépôts de plages fossiles témoignent d'un haut niveau marin à une altitude de + 4 à + 5 m par rapport au niveau moyen de la mer actuelle. La constance de cette altitude, la comparaison des degrés d'altération des dépôts sédimentaires et des faunes ainsi que certains arguments morphologiques ont suggéré que tous ces témoins de hauts niveaux marins correspondraient à la transgression du dernier interglaciaire, sauf en deux localités où des dépôts marins, d'altitude comparable, mais incontestablement plus

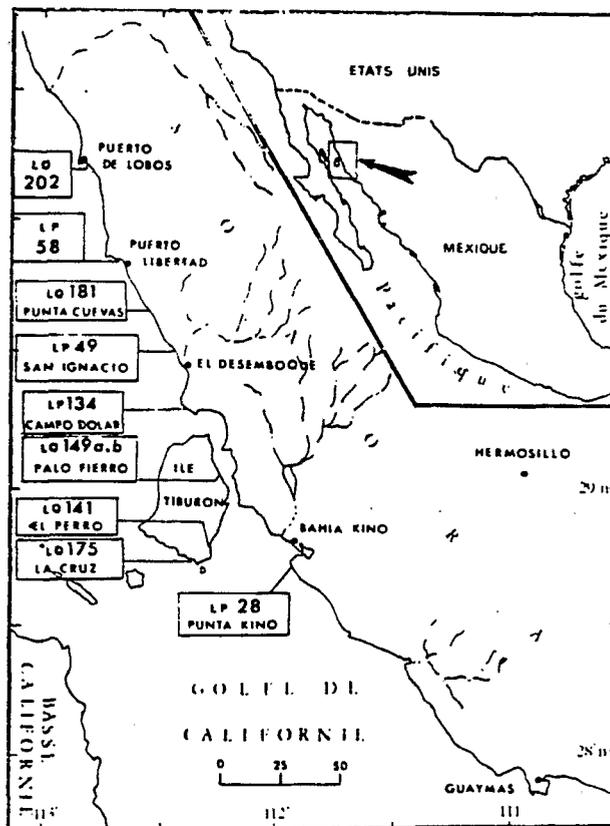


FIG. 1. — Côte de Sonora. Points de prélèvement des échantillons.

Bull. Soc. géol. Fr., 1980, n° 2

\* O.R.S.T.O.M., Fac. des sciences, Avenue Valrose, 06034 Nice.

\*\* C.N.R.S., Fac. des sciences, Avenue Valrose, 06034 Nice.

\*\*\* O.R.S.T.O.M. U.N.A.M. Hermosillo, Sonora, Mexique. Convention O.R.S.T.O.M., Univ. de Nice, n° 2.

Note déposée le 18 octobre 1979, présentée à la séance du 12 novembre 1979.

anciens, ont été retrouvés [Malpica et Ortlieb, 1976; Malpica *et al.*, 1978; Ortlieb et Malpica, 1979; Ortlieb, 1979].

D'une façon générale, les dépôts étudiés ici ont une faible épaisseur, de l'ordre du mètre, et reposent sur une étroite banquette d'abrasion littorale creusée dans des granodiorites mésozoïques et des roches volcaniques tertiaires. Ces dépôts littoraux sont souvent recouverts par plusieurs mètres de colluvions, accumulés au cours de la dernière période glaciaire, ou de sables éoliens consolidés.

Sur plus de 150 km, l'altitude de l'ancienne ligne de rivage en question se situe entre + 4 et + 5 m; elle est un peu plus basse (+ 2 m) au Sud de Bahia Kino, et disparaît sous le niveau actuel de la mer à la latitude de Guaymas (fig. 1). On considère que la côte de Sonora central au Nord de Bahia Kino et celle de l'île Tiburón ont été tectoniquement « stables » au moins depuis que s'est formée la terrasse de + 4 ou + 5 m [Ortlieb, 1978, 1979].

Les courbes de variations du niveau de la mer au cours des derniers 150 000 ans ont été établies par divers auteurs grâce à la datation lo-U de récifs coralliens émergés, notamment Mesolella *et al.* [1969] aux Barbades, Bloom *et al.* [1974] en Nouvelle Guinée. Parallèlement, l'étude des isotopes de l'oxygène sur les Foraminifères fournissait des informations sur la variation de la température océanique [Emiliani, 1966; Broecker et Van Donk, 1970; Shackleton, Opdyke, 1973]. A partir de ces données, ces auteurs considèrent généralement que la période du dernier interglaciaire (Sangamon) a été marquée par trois stades de hauts niveaux marins : vers 124 000 ans, 103 000 ans et 82 000 ans. Les cotes atteintes par rapport au niveau actuel auraient été de + 6 m, — 12 m, — 14 m. Si ce schéma n'est pas fondamentalement contesté, Stearns [1976] a fait remarquer qu'un examen plus serré des résultats obtenus ne permet pas d'être aussi affirmatif. A l'exception du niveau à 120 000 ans qui s'est probablement stabilisé légèrement au-dessus du niveau actuel, l'incertitude sur la position des deux autres est de l'ordre de plusieurs mètres. D'autre part, des travaux récents ont montré [Clark, 1978] que les effets isotopiques dus à l'accumulation ou à la fonte des glaces se faisaient sentir sous des latitudes très éloignées, ce qui, par conséquent, rend difficile la comparaison du niveau des mers en divers points du globe, pour une époque donnée, si l'on ne connaît pas l'état de déformation du géoïde pour cette période.

Dans le Golfe de Californie, aucune datation U/Th de terrasse marine n'avait été effectuée jusqu'à présent. Quelques mesures au radiocarbone, sur des dépôts marins de quelques mètres d'altitude, dans la partie septentrionale du Golfe, ont donné des âges supérieurs à 30 000 ans B.P. [Walker et Thompson, 1968, in Slandusky, 1969]. En Californie améri-

caine, de nombreuses datations U/Th de Coraux et Mollusques de terrasses marines ont été publiées, les plus basses ont donné des âges de 70 000 à 150 000 ans [Bradley et Addicott, 1968; Ku et Kern, 1974; Szabo et Rosholt, 1969; Sraba et Vedder, 1971; Thurber, 1965; Valentine et Veeh, 1967]. A San Diego, c'est-à-dire à la frontière même de la Basse Californie mexicaine, trois terrasses marines ont été reconnues à des altitudes variant de 0 à 60 m et datées de 120 000 ans, 102 000 ans et 80 000 ans [Ku et Kern, 1975; Kern, 1977].

Il est notoire que la côte californienne fait l'objet depuis le Pliocène d'importants mouvements tectoniques verticaux. La côte de Sonora, à l'Est du système de failles de San Andrea et du Golfe de Californie, constitue donc, à proximité de la Californie, une zone de comparaison particulièrement intéressante.

## II. — ÉCHANTILLONNAGE ET DÉTERMINATION DE L'ALTITUDE DU PALÉONIVEAU DE LA MER.

En l'absence de matériel corallien convenable, les datations de terrasses marines par la méthode U/Th ont été faites sur des coquilles de Mollusque. Des coquilles d'une seule espèce, *Dosinia Ponderosa* ont été récoltées dans les dépôts paléolithiques. Cette espèce a été choisie parce qu'elle présente le double avantage d'être relativement commune et de posséder l'une des plus grosses coquilles de la faune de la région.

Les coquilles des affleurements dont on voulait vérifier l'âge Sangamon se répartissent de la façon suivante : 5 échantillons provenant de cinq localités distinctes en Sonora, 6 échantillons provenant d'un même site, également en Sonora, et 4 échantil-

N° Echant.	LOCALITÉ	COORDONNÉES	ALTITUDE ECHANT.	ALT. PALÉONIVEAU DE LA MER
LP 28	Punta Kino (Sonora)	29° 45' N, 111° 56' W	+ 1.5 m	+ 2 m
LQ 175	Ensenada de la Cruz (I. Tiburón)	28° 46' N, 112° 20' W	+ 3.5	+ 5 m
LQ 141	Ensenada El Perro (I. Tiburón)	28° 48' N, 112° 17' W	+ 2.5	+ 4.5 m
LQ 149 (a et b)	Palo Pterro (I. Tiburón)	28° 04' N, 112° 14' W	+ 0.50	+ 3 a + 5 m
LP 134 (a, b, c, d, e et f)	Campo Dolar (Sonora)	29° 20' N, 112° 24' W	+ 3 a + 5 m	+ 4 m
LP 48	El Desemboque Rto San Ignacio (Sonora)	29° 34' N, 112° 27' W	+ 3.5 m	+ 4 m
LQ 181	Punta Cuevas (Sonora)	29° 49' N, 112° 33' W	+ 4.5 m	+ 4.5 m
LP 58	Puerto Libertad (Sonora)	29° 54' N, 112° 44' W	+ 3 a + 5 m	+ 5 m
LQ 202	Puerto Lobos (Sonora)	30° 16' N, 112° 51' W	+ 5 a + 6 m	+ 6 m

TABLE I. — Localisation et altitude des échantillons, altitude maximum atteinte par la mer dans chaque localité

- Voir section *In* Ortlieb et Malpica [1979].
- Voir section *In* Malpica *et al.* [1978].

lons provenant de trois affleurements dans l'île Tiburon. La localisation des points étudiés est indiquée figure 1 et tableau I.

Le tableau I rend compte à la fois des altitudes des échantillons et de celles de l'ancien niveau de la mer telles qu'elles ont été reconstituées.

Comme les coquilles récoltées proviennent de dépôts d'accumulation en zone médio-littorale et ne sont jamais *in situ*, il est nécessaire d'interpréter dans chaque cas l'altitude du niveau moyen de la mer correspondant (tabl. I). Lorsque les restes de la transgression sont des dépôts de plage sableuse caractéristiques, avec des figures sédimentaires telles que les stratifications obliques et les accumulations de grains de minéraux lourds, le niveau moyen de la mer est supposé avoir été légèrement inférieur au toit du dépôt. Dans le cas de terrasses ou de simples banquettes d'abrasion littorale recouvertes par un lit de quelques décimètres de puissance de galets très arrondis, de sables mal classés et de coquilles souvent roulées, on considère que le niveau moyen de la mer était à 0,5 ou 1 m au-dessus du plan d'abrasion. On fait l'hypothèse que le marnage au Pléistocène supérieur était comparable à l'actuel (1 à 2 m) du Sud au Nord de la zone d'étude.

### III. — HYPOTHÈSES PRÉALABLES. VALIDITÉ DES DATATIONS.

Une datation n'est généralement significative que lorsque le milieu étudié est resté fermé depuis sa formation. Or, les tests de Mollusques fossiles présentent des concentrations en uranium supérieures à celles que l'on signale dans les tests des Mollusques vivants où elles sont, dans certaines espèces, inférieures à 0,01 µg/g. L'examen d'un grand nombre de tests a montré que cet enrichissement atteint un maximum après quelques centaines d'années [Kaufmann *et al.*, 1971]. Il est probable que la dégradation de la matière organique de l'animal crée un milieu réducteur favorable au piégeage de l'uranium. Ce phénomène qui cesse plus ou moins rapidement selon les conditions de dépôt se traduit par une incertitude quant à l'origine, c'est-à-dire le moment exact de la mort du Mollusque. Les âges obtenus sont alors systématiquement trop jeunes, peut-être de quelques centaines d'années, ce qui est bien inférieur à l'incertitude provoquée par l'erreur analytique. Les atteintes à l'intégrité du système qui se produiront par la suite des pertes, ou qui entraînent des gains en uranium et en thorium, peuvent avoir des conséquences plus importantes. Elles sont quelquefois révélées par certains indices comme la recristallisation de l'aragonite en calcite, la présence de Th 228, de Th 232. Les deux premiers ne sont pas toujours réhibitoires. On sait par exemple qu'une certaine teneur en calcite [Gvirtzman *et al.*, 1973]

peut être due à la présence de ciments ou d'algues calcaires contemporains de l'animal. On sait également que la présence de Th 228 signale une contamination par le Ra 224, père direct de Th 228 (ce qui révèle une contamination récente puisque la période de Ra 224 est faible); le comportement de Ra 224 étant bien particulier, sa présence ne donne aucune information quant à une éventuelle contamination par U ou Th. Cependant, ces indices introduisent un doute sur un âge isolé et justifient son exclusion d'une collection d'âges concordants d'une population. En revanche, le Th 232 étant toujours accompagné de Th 230 — dans des rapports très variables — sa présence indique une contamination en Th 230 difficile à corriger puisque on en ignore l'importance et le moment; elle entraîne donc l'exclusion du résultat.

Un autre indice d'ouverture du milieu pourrait être la présence de rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  supérieurs au rapport isotopique de l'uranium de l'eau de mer (1.15). Or, il semble que l'uranium présent dans les coquilles fossiles soit presque entièrement dû à l'enrichissement *post-mortem* [Kaufmann *et al.*, 1971]. Dans ces conditions, les quantités présentes dans les coquilles vivantes et les quantités mises en jeu beaucoup plus tardivement sont très faibles; par conséquent, le rapport  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  mesuré est celui du milieu dans lequel l'enrichissement *post-mortem* a eu lieu. Si ce milieu est confiné, lagunaire, le rapport  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  sera généralement supérieur à 1.15, caractéristique des eaux continentales (rapport d'activités radioactives).

En fait, on ne possède aucun critère permettant de contrôler une éventuelle ouverture du système pour l'uranium. Cependant, des gains ou des pertes en uranium se traduiront par une dispersion des résultats, d'autant plus grande qu'ils seront récents et importants. C'est pourquoi un âge isolé sera sans signification; en dernier ressort, la dispersion des résultats indique sinon l'impossibilité de la datation au moins la nécessité de les utiliser avec réserves.

### IV. — MÉTHODE ANALYTIQUE.

Des fragments proches de la charnière, là où la coquille est la plus épaisse, ont été isolés. Après décapage superficiel, lavages à l'acide dilué et à l'eau distillée, puis passage en cuve à ultrasons, ces fragments ont été réduits en poudre.

Les échantillons ont été soumis à l'analyse diffractométrique aux RX pour déterminer la teneur en calcite. Le calcul du pourcentage de calcite par rapport à l'aragonite, en comparant la hauteur des pics de 3,035 et de 3,272° A, offre une précision de 1 à 3 %.

Le principe de la méthode de datation Io-U ainsi que les techniques d'analyse isotopique de l'uranium

et du thorium par la spectrométrie  $\alpha$  que nous employons dérivent de celles qui ont été mises au point par Goldberg et Koide [1962]. L'équation chronométrique a été proposée par Broecker [1963]. L'incertitude sur l'âge due aux erreurs statistiques de comptage est de l'ordre de 5 à 7 %.

#### V. — RÉSULTATS ET COMMENTAIRES.

Les résultats des mesures minéralogiques, radiochimiques et les âges obtenus sont reportés tableau II. Les échantillons sont formés d'aragonite à l'exception de LQ 181 (17 % de calcite). Les teneurs en uranium vont de 0.27 à 2,77  $\mu\text{g/g}$ ; la majorité des résultats se groupe entre 0.5 et 1  $\mu\text{g/g}$ ; ces valeurs sont comparables à celles que l'on observe généralement sur des tests de Mollusques fossiles.

Echant.	$\Sigma$ Arag Calc.	$^{238}\text{U}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	$^{234}\text{U}$ (dpm/g)	$^{235}\text{U}$ (dpm/g)	Age (ans)	$^{232}\text{Th}$ (dpm/g)
LP134a	< 1	0.85	1.22 (0.04)	0.769	0.416	83.000
LP134b	0	0.27 0.32	1.24 (0.04) 1.14 (0.05)	0.251 0.269	0.157 0.159	102.000 95.000
LP134c	< 1	0.38 0.43	1.39 (0.06) 1.14 (0.04)	0.397 0.357	0.740 0.243	96.000 120.000
LP134d	1	0.57 0.55	1.23 (0.04) 1.16 (0.05)	0.517 0.475	0.232 0.218	65.000 64.000
LP134e	< 1	0.92 1.02 0.95	1.15 (0.04) 1.17 (0.05) 1.17 (0.04)	0.779 0.883 0.830	0.439 0.484 0.447	88.000 84.000 83.000
LP134f	0	0.48	1.21 (0.05)	0.432	0.233	82.000
LP2e	3	2.66 1.53	1.25 (0.02) 1.28 (0.04)	2.42 1.44	0.454 0.231	22.000 19.000
LP49	< 1	0.60	1.26 (0.03)	0.565	0.334	93.000
LQ181	17	0.89	1.38 (0.05)	0.913	0.754	180.000
LP58	3	1.35	1.16 (0.05)	1.181	0.798	118.000
LG202	< 1	1.0	1.21 (0.04)	0.898	0.285	42.000
LQ175	< 1	0.92	1.26 (0.04)	0.866	0.475	83.000
LQ 141	< 1	0.71	1.21 (0.04)	0.639	0.350	86.000
LQ149 a	< 3	0.40	1.26 (0.05)	0.376	0.205	84.000
LQ149 b	< 3	0.46	1.18 (0.04)	0.407	0.250	100.000

TABLE II. — Teneur des échantillons.

L'échantillon LP 28 a été analysé deux fois, sa teneur en uranium varie nettement selon le morceau de coquille choisi, le morceau le plus épais ayant la concentration la plus faible; l'écart entre les deux âges obtenus est un peu plus large que les limites de l'erreur expérimentale. Cela est sans doute dû au fait que les parties superficielles des coquilles sont généralement plus riches en uranium [Lahoud *et al.*, 1966] (elles sont aussi par la force des choses les plus sujettes à subir des pertes).

Bull. Soc. géol. Fr., 1980, n° 2

Les rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  sont élevés et trahissent une influence continentale. Les tests analysés provenant de dépôts de plage marquant le maximum d'une transgression ont pu être soustraits très rapidement à l'influence marine à la suite de l'abaissement du niveau marin. Les teneurs en Th 228 et Th 232 sont nulles ou faibles ce qui indique l'absence de Th 230 à l'origine. L'examen des âges radiochimiques obtenus montre une large dispersion des résultats : 20 000 ans à 180 000 ans. Certains échantillons ont été analysés plusieurs fois (LP 28, LP 134 b, LP 134 c, LP 134 d, LP 134 e) l'écart obtenu sur ces doublets ou triplets est inférieur à 7 % sauf pour LP 134 e. Cet écart nous donne une idée de l'erreur analytique qui est de l'ordre de grandeur de l'erreur théorique statistique. Il existe donc une autre cause à la dispersion des âges obtenus.

Les six échantillons LP 134 ont été prélevés sur le même site; ils donnent des âges qui vont de 64 000 à 120 000 ans. L'âge moyen calculé sur ces six échantillons est de 87 450 avec un écart type de 17 330. Si l'on élimine les résultats de LP 134 d et du doublet sur 134 c que l'on suppose dus à une erreur analytique, on obtient 89 130 avec un écart type de 7 552, qui est de l'ordre de l'erreur expérimentale.

Les cinq autres échantillons de la côte de Sonora sont des prélèvements isolés, la dispersion des âges est très grande, de 20 000 à 180 000 ans. On éliminera LP 181 (180 000 ans) qui contient 17 % de calcite et a probablement perdu de l'uranium. L'âge de LP 49 (93 000 ans) est compatible avec la moyenne trouvée sur les quatre des échantillons LP 134 (89 130 ans). LP 58 (118 000 ans) est, en revanche, plus vieux de façon significative. LP 28 et LQ 202 qui ont été prélevés aux points extrêmes de la zone étudiée sont beaucoup plus jeunes (20 000 et 40 000 ans); leurs concentrations en uranium sont parmi les plus élevées et, dans la mesure où l'on peut supposer qu'il s'agit là des effets d'une contamination postérieure, cela expliquerait des âges apparents trop faibles.

Quatre échantillons ont été prélevés sur l'île de Tiburon, proche de la côte de Sonora, dans des dépôts apparemment identiques à ceux que l'on a échantillonnés sur le continent. LQ 175 et LQ 141 prélevés sur deux sites distincts ont respectivement 83 et 86 000 ans. LQ 149 a donne un âge proche d'environ 84 000 ans alors que l'échantillon LQ 149 b, du même site, donne un âge de 100 000 ans. Ces quatre échantillons donnent un âge moyen de 88 250 ans avec un écart type de 7 932 ans.

Si l'on élimine les échantillons qui donnent des âges extrêmes et si on compare les résultats au schéma classique de l'évolution du niveau marin, on est amené à émettre deux hypothèses :

1) la contamination des coquilles d'une même

époque qui ont subi des échanges avec le milieu extérieur disperse les âges apparents ;

2) la même terrasse renferme un mélange de dépôts de coquilles sédimentées pendant plusieurs stades de hauts niveaux.

Les échanges envisagés ici portent uniquement sur l'uranium, les résultats permettent d'éliminer cette possibilité pour le thorium. Ses conséquences peuvent être des gains ou des pertes aboutissant à des âges apparents trop jeunes ou trop vieux. Dans le premier cas, il faudrait rattacher ces âges à l'épisode à 120 000 ans, dans le second, à l'épisode à 82 000 ans. Les pertes d'uranium, pour des coquilles de ces âges et en l'absence de recristallisation, sont peu probables ; par contre, on pourrait concevoir que ces échantillons appartenant à des dépôts situés sur des banquettes d'abrasion d'un matériel granodioritique ont pu subir une contamination en uranium par les eaux circulantes. Un âge réel de 120 000 ans pour ces dépôts confirmerait l'hypothèse d'une côte stable jusqu'à nos jours puisque ce niveau se serait formé légèrement au-dessus du niveau actuel.

S'il s'agit d'un mélange de dépôts sédimentés pendant deux ou trois épisodes de haute mer du dernier interglaciaire (124 000, 100 000, 82 000 ans) il faut souligner que ces trois niveaux n'ont pas

atteint, selon le schéma classique, la même hauteur. Sur le terrain, toutes les observations sont en faveur de l'unicité de la terrasse d'abrasion. Il ne serait pas impossible pourtant que deux hauts niveaux marins successifs aient été portés à une altitude très voisine et qu'il y ait en superposition ou mélange avec remaniement des sables des galets et coquilles roulées. Compte tenu de la faible épaisseur des dépôts en général et de l'hétérogénéité de ce type de sédiment, cette interprétation d'une double transgression est délicate à mettre en évidence. Dans un secteur particulier du talus côtier, à Campo Dolar, l'interstratification d'une lentille de dépôts de pente continentaux, dans les sédiments de plage fossiles, pourraient ainsi correspondre à une régression momentanée de la mer. Si l'on relie cette dernière hypothèse, on est amené soit à envisager l'existence de mouvements verticaux, soit à contester le schéma classique des fluctuations altimétriques de la mer au cours du dernier interglaciaire. Ces dernières interprétations sont difficiles à admettre dans l'état actuel des recherches.

On ne tirera donc aucune conclusion quant à l'appartenance des dépôts de la côte de Sonora et de l'île de Tiburon à tel ou tel haut niveau marin. On confirme par contre leur appartenance au Sangamon, dernier épisode interglaciaire.

## Références

- BERNAT M., BOUSQUET J. C. et DARS R. (1978). —  $^{10}\text{B}/^{10}\text{B}$  dating of the oulgian stage from Torre Garcia (Southern Spain). *Nature*, vol. 257, n° 5678, p. 302-303.
- BLOOM A. L., BROECKER W. S., CHAPPEL M. A., MATTHEWS R. K. et MESOLELLA K. J. (1974). — Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast : New  $^{10}\text{B}/^{10}\text{B}$  dates from the Huon Peninsula New Guinea. *Quat. Research*, 4, p. 185-205.
- BROECKER W. S. (1963). — A preliminary evaluation of U series disequilibrium as a tool for absolute ages measurements of marine carbonates. *Journ. Geophys. Research*, 68, p. 2817-2834.
- BROECKER W. S. et VAN DONK J. (1970). — Insolation changes, ice volumes, and the  $\text{O}^{18}$  record in Deep-Sea cores. *Rev. of Geophysics and Space Physics*, vol. 8, n° 1, p. 169-197.
- BRADLEY W. C. et ADDICOTT W. O. (1968). — Age of the first marine terrace near Santa Cruz, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 79, p. 1203-1210.
- CLARK J. A., FARRELL W. E. et PELTIER W. R. (1978). — Global changes in Postglacial Sea level : a numerical calculation. *Quat. Research*, 9, p. 265-287.
- GOLDBERG E. et KOIDE M. (1962). — Geochronological studies of deep sea sediments by the  $^{10}\text{B}/^{10}\text{B}$  method. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26, p. 417-449.
- GVIERTZMAN G., FRIEDMAN G. M. et MILLER D. S. (1973). — Control and distribution of Uranium in coral reef during diagenesis. *J. Sedim. Petrol.*, vol. 43, n° 4, p. 985-997.
- KAUFMAN A. (1972). — Comment on the U series dating of mollusks from Southern California. *Earth Planet. Sc. Lett.*, vol. 14, p. 447-450.
- KAUFMAN A., BROECKER W. S., KU T. L. et THURBER D. L. (1971). — The status of U series methods of mollusk dating. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 35, p. 1155-1183.
- KERN J. P. (1977). — Origin and history of upper Pleistocene marine terraces San Diego, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 88, p. 1553-1566.
- KU T. L. et KERN J. P. (1971). — Uranium series of the upper Pleistocene Nestor terrace, San Diego, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 85, p. 1713-1716.
- LAHOUD J. A., MILLER D. S. et FRIEDMAN G. H. (1966). — Relationship between depositional environment and uranium concentrations of molluscan shells. *J. Sedim. Petrol.*, vol. 36, n° 2, p. 541-547.
- MALPICA V., ORTLIER L. et CASTRO DEL RIO A. (1978). — Transgresiones cuaternarias en la costa de Sonora, Mexico. *Rev. Inst. Geol. U.N.A.M.*, vol. 1978-1, p. 90-97.

- MESOLELLA K. J., MATTHEWS R. K., BROECKER W. S. et THURBER D. L. (1969). — The astronomical theory of climatic change : Barbados data. *J. Geology*, vol. 77, p. 250-274.
- ORTLIEB L. (1978). — Relative vertical movements along the Gulf of California, Mexico, during the Late Quaternary. *Geol. Soc. Amer. Abstr. Progr.*, vol. 10, n° 7, p. 466.
- ORTLIEB L. (1979). — Terrasses marines dans le nord-ouest mexicain : étude au long d'une transversale entre la côte Pacifique et la Sonora en passant par la péninsule de Basse Californie. In : Proc. 1978 Intern. Symp. coastal evolution Quaternary, Sao Paulo (sous presse).
- ORTLIEB L. et MALPICA V. (1979). — Reconnaissance des dépôts pléistocènes marins autour du Golfe de Californie, Mexique. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. Géol., 1978-2 (sous presse).
- SLANDUSKY C. L. (1969). — Sedimentology of Estero Marna, Sonora, Mexico. Master Sc. Thesis, Univ. Arizona, Tucson, 84 p. (inédit).
- STEARNS C. E. (1976). — Estimates of the position of sea level between 140.000 and 75.000 years ago. *Quat. Research*, vol. 6, p. 445-449.
- SZABO B. J. et ROSHOLT J. N. (1969). — Uranium series dating of pleistocene molluscan shells from southern California : an open model system. *J. Geophys. Research*, vol. 74, n° 12, p. 1253-1260.
- SZABO B. J. et VEDDER J. G. (1974). — Uranium series dating of some pleistocene marine deposits in Southern California. *Earth Planet. Sc. Lett.*, vol. 14, n° 4, p. 283-290.
- THURBER D. L. (1965). — The dating of mollusks from raised marine terraces. In : D. R. Schink, J. T. Cortess, ed., Symp. marine geochem., Rhode Island Univ. occasional Publ., n° 3, p. 1-27.
- VALENTINE J. W. et VEEH H. H. (1969). — Radiometric ages of Pleistocene terraces from San Nicolas Island, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 80, p. 1415-1418.
- VEEH H. et VALENTINE J. W. (1967). — Radiometric ages of marine terraces in California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 84, p. 2737-2742.
- WALKER T. R. et THOMPSON R. W. (1968). — Late Quaternary geology of the San Felipe area, Baja California, Mexico. *J. Geology*, vol. 76, p. 479-485.