
Les variations de la ligne de rivage en mer Méditerranée orientale
du Pléistocène supérieur et de l'Holocène récent : réflexions
Rémi Dalongeville, Eric Fouache

Citer ce document / Cite this document :

Dalongeville Rémi, Fouache Eric. Les variations de la ligne de rivage en mer Méditerranée orientale du Pléistocène supérieur et de l'Holocène récent : réflexions. In: Paléorient, 2005, vol. 31, n°1. Anciennes exploitations des mers et des cours d'eau en Asie du Sud-Ouest. Approches environnementales. pp. 27-38;

doi : <https://doi.org/10.3406/paleo.2005.4781>

https://www.persee.fr/doc/paleo_0153-9345_2005_num_31_1_4781

Fichier pdf généré le 24/04/2018

Abstract

A study of shoreline variations has to take into account both sea-level markers and dating indicators. If last interglacial (Tyrrhenian) and recent Holocene shores can be observed frequently, beaches and shores of the last glacial period have usually been destroyed by the last post glacial transgression. The Tyrrhenian has been linked to marine isotope stage (MIS) 5 and its subdivisions (5.e, 5.c, 5. a). These date between 130 000 and 80 000 BP. The last post glacial transgression is believed to have reached approximately the present sea-level position 6 000 years ago. Shores from periods between 80 000 BP and 6 000 BP are not generally visible. Nevertheless along present sea-shores, inherited sediments and morphology from this period are numerous and are often associated with prehistoric and archaeological sites. For example in Crete (Greece), laboratory methods have been developed alongside field observations in order to distinguish between different generations of calcarénites. Geophysical models have been proposed for the reconstitution of sea-level curves, but these models cannot easily be applied to the Holocene and many field observations contradict these findings. We have a greater variety of markers and date indicators, like corrosion platforms, notches, biotherms, beachrock and archaeological remains, for Holocene sea-shores than for any other older period.

Résumé

L'étude des variations de la ligne de rivage est celle des mouvements relatifs du niveau marin, que l'origine en soit eustatique, tectonique ou bien procédant des deux. Elle est en grande partie fondée sur les témoins chronostratigraphiques. Mais ce ne sont souvent que les termes supérieurs des niveaux pléistocènes qui sont facilement utilisables car la dernière transgression postglaciaire a englouti l'essentiel des plages et des formes de corrosion. Les marqueurs des lignes de rivage des 130 000 dernières années observables soit au-dessus soit au-dessous du niveau marin actuel, selon les régions, renvoient tous au dernier interglaciaire, appelé Tyrrhénien, ou bien à des fluctuations de niveau marin relatif au cours des 6 000 dernières années. Le Tyrrhénien a débuté il y a 130 000 ans. Il est corrélé avec le stade isotopique marin 5 (MIS-5) et les sous-stades qui le composent (5.e, 5.c, 5. a pour les hauts niveaux) jusqu'à 80 000 BP. Les littoraux des périodes comprises entre 80 000 BP et 6 000 BP échappent à l'observation, pour l'essentiel. Cependant, le long des lignes de rivage actuelles, les héritages sédimentaires et morphologiques de ces littoraux des 80 000 dernières années sont fréquents et souvent associés à des sites préhistoriques et archéologiques surtout, bien entendu, pour les périodes les plus récentes. Des protocoles d'étude en laboratoire, complémentaires de ceux du terrain, ont été mis en place pour reconnaître plus aisément les différentes générations d'affleurements de calcarénites, par exemple en Crète (Grèce). Des modèles géophysiques ont été élaborés qui restituent les positions des lignes de rivage aux différentes époques de bas et de hauts niveaux du Pléistocène mais qui rencontrent quelques difficultés à s'adapter aux événements holocènes, pour lesquels les données de terrain sont beaucoup plus nombreuses et précises. En effet, pour cette période, nous disposons d'une plus grande diversité de marqueurs-dateurs des lignes de rivage tels que les formes de corrosion, les constructions organogènes, les beachrocks et les vestiges archéologiques.

LES VARIATIONS DE LA LIGNE DE RIVAGE EN MER MÉDITERRANÉE ORIENTALE DU PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR ET DE L'Holocène RÉCENT : RÉFLEXIONS

R. DALONGEVILLE et É. FOUACHE

Résumé : *L'étude des variations de la ligne de rivage est celle des mouvements relatifs du niveau marin, que l'origine en soit eustatique, tectonique ou bien procédant des deux. Elle est en grande partie fondée sur les témoins chronostratigraphiques. Mais ce ne sont souvent que les termes supérieurs des niveaux pléistocènes qui sont facilement utilisables car la dernière transgression postglaciaire a englouti l'essentiel des plages et des formes de corrosion. Les marqueurs des lignes de rivage des 130 000 dernières années observables soit au-dessus soit au-dessous du niveau marin actuel, selon les régions, renvoient tous au dernier interglaciaire, appelé Tyrrhénien, ou bien à des fluctuations de niveau marin relatif au cours des 6 000 dernières années. Le Tyrrhénien a débuté il y a 130 000 ans. Il est corrélé avec le stade isotopique marin 5 (MIS-5) et les sous-stades qui le composent (5.e, 5.c, 5.a pour les hauts niveaux) jusqu'à 80 000 BP. Les littoraux des périodes comprises entre 80 000 BP et 6 000 BP échappent à l'observation, pour l'essentiel. Cependant, le long des lignes de rivage actuelles, les héritages sédimentaires et morphologiques de ces littoraux des 80 000 dernières années sont fréquents et souvent associés à des sites préhistoriques et archéologiques surtout, bien entendu, pour les périodes les plus récentes. Des protocoles d'étude en laboratoire, complémentaires de ceux du terrain, ont été mis en place pour reconnaître plus aisément les différentes générations d'affleurements de calcarénites, par exemple en Crète (Grèce). Des modèles géophysiques ont été élaborés qui restituent les positions des lignes de rivage aux différentes époques de bas et de hauts niveaux du Pléistocène mais qui rencontrent quelques difficultés à s'adapter aux événements holocènes, pour lesquels les données de terrain sont beaucoup plus nombreuses et précises. En effet, pour cette période, nous disposons d'une plus grande diversité de marqueurs-dateurs des lignes de rivage tels que les formes de corrosion, les constructions organogènes, les beachrocks et les vestiges archéologiques.*

Abstract : *A study of shoreline variations has to take into account both sea-level markers and dating indicators. If last interglacial (Tyrrhenian) and recent Holocene shores can be observed frequently, beaches and shores of the last glacial period have usually been destroyed by the last post glacial transgression. The Tyrrhenian has been linked to marine isotope stage (MIS) 5 and its subdivisions (5.e, 5.c, 5.a). These date between 130 000 and 80 000 BP. The last post glacial transgression is believed to have reached approximately the present sea-level position 6 000 years ago. Shores from periods between 80 000 BP and 6 000 BP are not generally visible. Nevertheless along present sea-shores, inherited sediments and morphology from this period are numerous and are often associated with prehistoric and archaeological sites. For example in Crete (Greece), laboratory methods have been developed alongside field observations in order to distinguish between different generations of calcarenites. Geophysical models have been proposed for the reconstitution of sea-level curves, but these models cannot easily be applied to the Holocene and many field observations contradict these findings. We have a greater variety of markers and date indicators, like corrosion platforms, notches, biotherms, beachrock and archaeological remains, for Holocene sea-shores than for any other older period.*

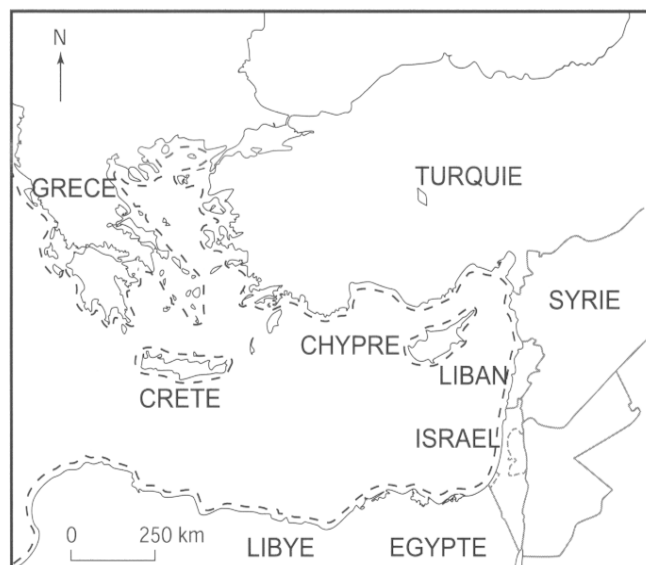
Mots Clefs : Méditerranée orientale, Pléistocène supérieur, Holocène, Lignes de rivage, Marqueurs, Dateurs

Key-Words : Eastern Mediterranean Sea, Upper Pleistocene, Holocene, Sea shorelines, Sea-level markers, Date indicators.

Les plans représentés par la mer et le continent sont sécants selon une ligne qui est la « ligne de rivage ». Cette étude expose quelques-uns des aspects que prennent les variations de la ligne de rivage sans obligatoirement se préoccuper de savoir, dans un premier temps, si la position de cette dernière procède de la tectonique, de l'eustatisme ou bien des deux, de phénomènes isostatiques ou non. Les variations de la ligne de rivage sont donc des mouvements relatifs, apparents, jusqu'à ce qu'ils aient été clairement identifiés comme issus de telle ou telle dynamique. L'étude des deltas a été volontairement écartée du propos car elle n'a d'intérêt que si elle est connectée avec celle des terrasses fluviatiles, ce qui aurait obligé à étoffer artificiellement le sujet.

Durant les phases climatiques les plus froides du Pléistocène, en mer Méditerranée orientale, pendant le maximum de froid du Tardiglaciaire par exemple, les paysages végétaux de l'intérieur des terres de la région étudiée, sous l'effet d'un fort déficit hydrique, d'un climat froid en hiver et brièvement chaud en été, se réduisent à des steppes froides à Armoise, tandis qu'à l'opposé les phases interglaciaires voient le retour de la forêt. Les régions littorales devaient se comporter en zones-refuges pour les espèces d'arbres, comme *Olea*, *Juglans*, *Pinus*, *Quercus*, etc., qui ont recolonisé, lors du Tardiglaciaire et de l'Holocène, ce qui est aujourd'hui le littoral même¹. La remontée du niveau marin d'environ 120 m, entre le dernier maximum glaciaire et l'optimum climatique de l'Holocène, a modifié considérablement les paysages et les conditions écologiques de ces deux périodes². Par ailleurs, peu de témoins de la ligne de rivage de la dernière période froide ont été conservés puisque la dernière transgression en a oblitéré l'essentiel, et cela malgré une tectonique positive importante (fig. 1 et 2).

Étudier les variations de la ligne de rivage, c'est en définir la nature, l'ampleur et le rythme. Pour cela, disposer de repères altitudinaux ne suffit pas ; il faut également pouvoir dater, et pas seulement de manière relative, les paléorivages. Parmi les marqueurs-dateurs, il faut citer les formes de corrosion et de construction organogène, les coquillages, tous les sédiments qui permettent la reconstruction d'une stratigraphie et d'une chronologie cohérentes, les vestiges archéologiques pourvu que ces derniers soient, par leur fonction ou leur stratigraphie, en relation avec la mer. C'est surtout à partir de l'âge du Bronze que les hommes ont construit des ports sur les



— Ligne de rivage actuelle
 - - - Ligne de rivage à 18 000 BP

Fig. 1 : Croquis de localisation (adapté de PETIT-MAIRE, 1999).

aménagements desquels peut être calé avec précision un niveau marin de référence. Pour les quelque 130 000 années qui précèdent, la tâche est beaucoup moins aisée car les informations relatives aux variations de la ligne de rivage se trouvent pour l'essentiel sous l'eau.

Le monde méditerranéen est, par définition, très compartimenté en petites unités spatiales et bassins de faible étendue, avec des côtes très découpées. Il est en même temps éclaté en de nombreux archipels, surtout dans sa partie européenne, ce qui aboutit, dans le domaine littoral, à une discontinuité des formes-repères et à la difficulté de regrouper celles-ci pour nourrir une vision de synthèse d'un bout à l'autre de la mer Méditerranée et pour passer des chronologies locales³ à des synthèses plus pertinentes⁴. De nouvelles techniques, fondées sur la reconnaissance des signatures diagénétiques, permettent de lever quelques-unes de ces difficultés⁵.

Il n'est pas possible de reconstituer l'histoire des paysages littoraux, de l'environnement et des hommes uniquement à partir des données visibles, directement accessibles. Les chercheurs se sont donc ingéniés à positionner les lignes de rivage en mettant au point des modèles simulant la position du

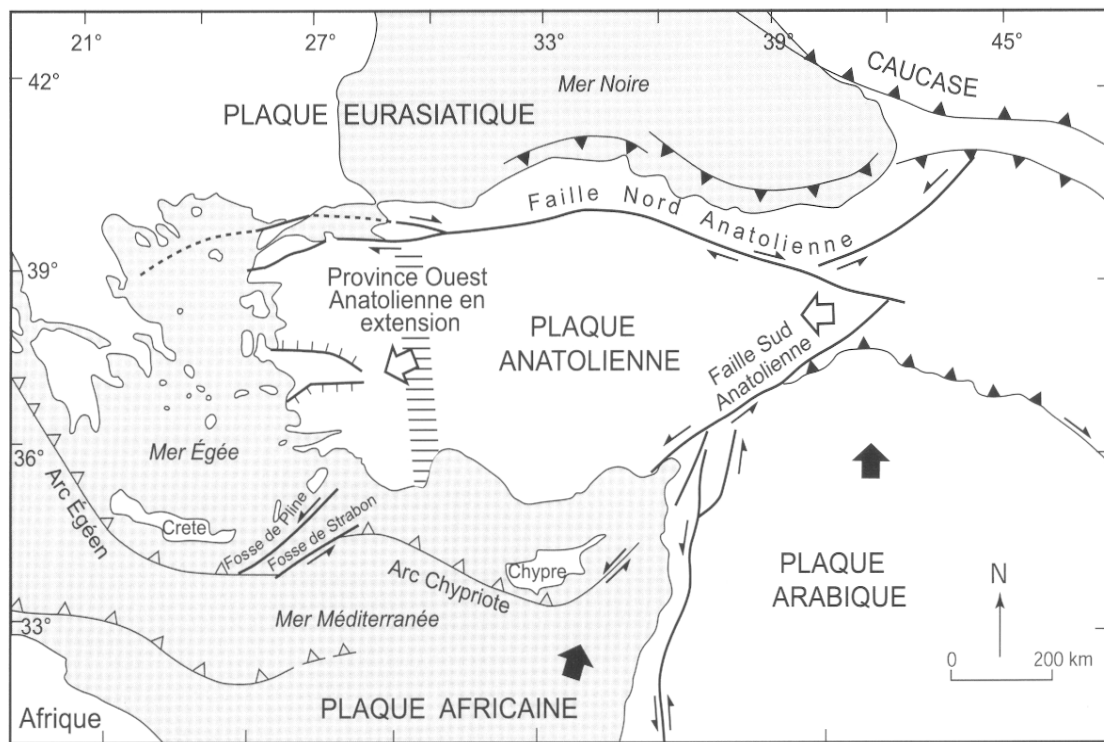
1. BOTTEMA and WOLDRING, 1990 ; PETIT-MAIRE, 1999.

2. MAGRI, 1995 ; ROSSIGNOL-STRICK, 1993, 1995, 1997, 1999 ; GUIOT et CHEDDADI, 2004.

3. STEWART and VITA-FINZI (eds), 1998.

4. DUFAURE 1977, 1983 ; DUFAURE et ZAMANIS, 1980 ; BOUSQUET *et al.*, 1983 ; MERCIER *et al.*, 1987, 1989.

5. CARON *et al.*, 1998.



(adapté de Bozkurt, 2001)

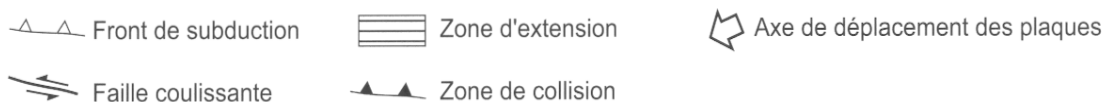


Fig. 2 : Contexte géodynamique régional (compilation).

niveau marin à un moment du passé et éventuellement du futur. Pour cela, un premier travail a consisté à la délimitation de zones où les variations eustatiques étaient considérées comme homogènes et à la proposition de courbes pour la dernière remontée eustatique post-glaciaire à l'intérieur de ces zones⁶ (fig. 3). Un deuxième travail est la prise en compte de l'isostasie, dans ses composantes glacio-isostatique et hydro-isostatique, provoquée par la fonte des glaces, qui concerne non seulement les zones proches des anciens inlandis mais également des zones situées à des latitudes plus basses comme le bassin méditerranéen, ce qui aboutit à la proposition de modèles géophysiques⁷ (fig. 4). Mais la tectonique lithosphérique régionale et la forte sismicité, font de la mer Méditerranée orientale un secteur où la reconstitution des variations réelles du niveau marin est particulièrement délicate, même si on multiplie les études de terrain pour valider et parfois corriger ces modèles géophysiques. Pour cela, on dispose de différents marqueurs-dateurs bien spécifiques.

LES MARQUEURS-DATEURS

La gamme des marqueurs-dateurs à la disposition des chercheurs pour étudier les variations de la ligne de rivage est étendue, mais elle ne l'est pas autant qu'on pourrait le penser ni le souhaiter car ce n'est pas leur nombre qui compte mais bien leur registre de signification, dans le temps et dans l'espace. Ces marqueurs-dateurs sont plus ou moins fiables et plus ou moins précis. Il faut donc étalonner leur valeur intrinsèque et leur valeur relative.

Les marqueurs-dateurs peuvent être rangés en trois grandes catégories :

- ceux qui doivent leur façonnement à la corrosion (bio-corrosion essentiellement) comme les encoches et les trottoirs, ou à la construction comme les consoles à vermet par exemple ;
- ceux qui sont fournis par l'archéologie, notamment portuaire ;
- ceux qui sont liés à une stratigraphie sédimentaire, comme les terrasses fluviatiles et marines, les calcarénites dunaires et marines plus ou moins consolidées, les *beachrocks*, dans la mesure où ces dépôts contiennent une faune

6. CLARK *et al.*, 1978 ; CLARK and LINGLE, 1979.

7. NAKADA and LAMBECK, 1988, LAMBECK, 1995 ; LAMBECK and JOHNSTON, 1995 ; PELTIER, 1998.

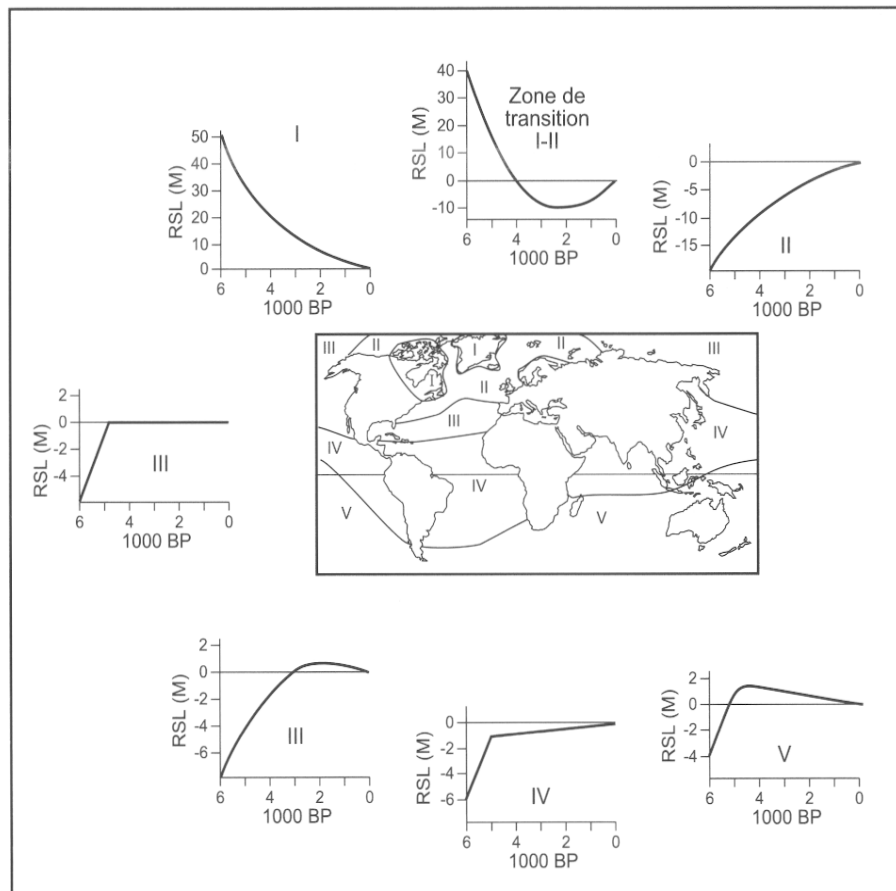


Fig. 3 : Courbes de CLARK et LINGLE, 1979.

ou une flore reconnaissables et présentent des ciments que l'on puisse rapporter au niveau contemporain de leur mise en place et de leur consolidation.

Le trottoir (*de corrosion*) est la forme la plus recherchée car il permet de caler parfaitement le niveau marin d'origine⁸. Il représente l'horizon supérieur du médiolittoral et, dans la plupart des cas, est accompagné sur sa bordure externe par une console à vermet qui représente la partie supérieure de l'infra-littoral. Le trottoir de corrosion apparaît donc dans une tranche altitudinale très étroite (0,20 m) qui définit fort précisément le niveau marin, en tout cas dans une mer sans marnage notable comme l'est la mer Méditerranée. L'encoche est un marqueur moins précis car sa forme (ouverture du profil transversal) et sa position altitudinale sont considérablement altérées par le mode plus ou moins battu de la mer. La présence d'un bioherme constitué de vermet associés à l'algue calcaire *Neogoniolithon* est non seu-

lement utile mais primordiale, car c'est ce support organogène qui permettra la datation au Carbone 14. Les consoles à vermet sont suffisamment épaisses pour que l'on puisse mesurer l'âge moyen de la construction et le temps pendant lequel le niveau marin est resté stable. L'algue mélobésiée *Lithophyllum tortuosum*, de l'horizon inférieur du médiolittoral, qui donne naissance à un autre type d'encorbellement organogène, n'est malheureusement pas présente dans le bassin oriental de la mer Méditerranée.

L'archéologie fournit quantité de très bons repères de la position du niveau marin, parce que la mer Méditerranée, sauf exceptions très localisées, ne connaît que des marnages négligeables. Les quais, les jetées, les môles, les digues, les hangars à bateaux sont des vestiges recherchés, encore faut-il qu'ils aient été parfaitement identifiés et que leur relation à un niveau marin précis soit prouvée⁹. Ainsi le site de Délos a posé quelques problèmes d'interprétation qui ne sont pas

8. GUILCHER, 1953 ; DALONGEVILLE, 1986.

9. NEGRIS, 1904.

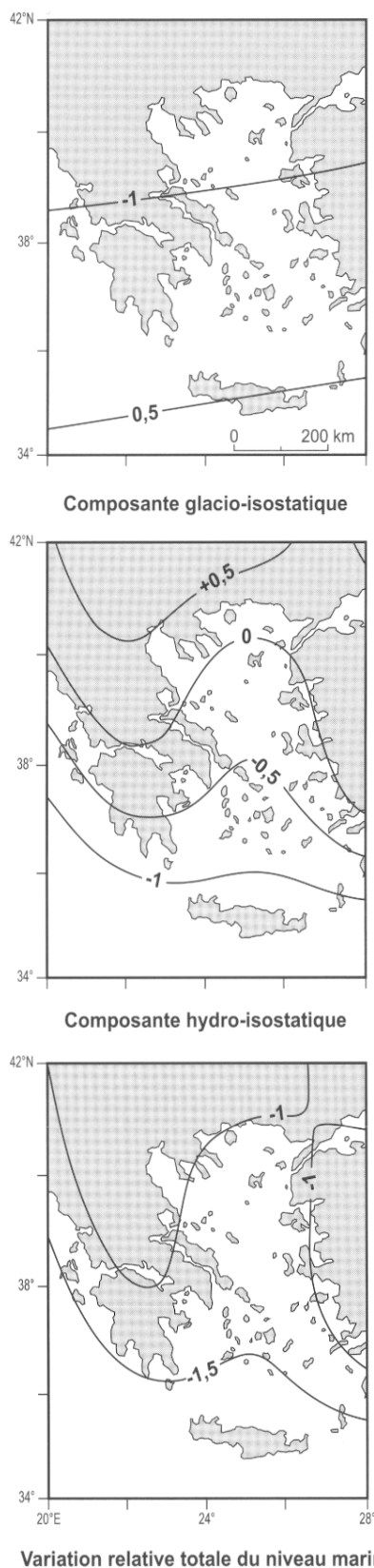


Fig. 4 : Modèle de LAMBECK, 1995. Les variations relatives du niveau marin sont exprimées en mètres par rapport au niveau actuel. Les mesures négatives indiquent donc une submersion de 2000 ans.

encore réglés dans leur totalité¹⁰. Par ailleurs, s'ils peuvent rendre compte d'une position précise du niveau marin¹¹, les sites portuaires présentent le défaut de n'avoir qu'un développement littoral limité, dans l'espace et parfois dans le temps, si bien qu'il est nécessaire d'étudier de longs segments de côte pour relier les ports à leur environnement¹².

Les *sédiments* transmettent des informations un peu différentes, ne serait-ce que parce qu'elles sont moins précises. Les terrasses fluviales et les deltas ont été écartés, comme cela a été indiqué plus haut. Deux types de dépôts seront traités en exemples : les calcarénites, pour les niveaux du Pléistocène supérieur, et la *beachrock* (grès de plage), pour les niveaux plus récents.

Les *calcarénites* sont des roches sédimentaires dont les éléments constitutifs sont essentiellement calcaires (bioclastes, intraclastes), mais qui contiennent également une fraction plus ou moins importante de grains de quartz. Le tout est lié par un ciment carbonaté¹³. Ces roches, présentes sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, qu'elles soient d'origine éolienne ou bien marine, sont très fréquemment associées au Tyrrhénien¹⁴. Cela signifie que les conditions de leur mise en place, de leur conservation et de leur position au-dessus du niveau marin actuel par la tectonique ont été particulièrement favorables : les variations climatiques planétaires et donc les grandes oscillations de la ligne de rivage ont libéré, au moment des régressions, de grandes quantités de sédiments, fluviaux et marins, qui ont été ensuite abandonnés en laisses volumineuses de plages et de dunes lors des maximums transgressifs ; leur composition, la circulation des eaux météoriques ou marines dans leur masse, ont favorisé leur cimentation, leur consolidation. Cela confère à ce type de roche des qualités particulièrement recherchées comme pierre à bâtir : c'est pourquoi, dans tout le domaine méditerranéen, les carriers lui ont donné des noms dans différentes langues. Ainsi, *mares* (espagnol), *panchina* (italien), *ammouda* ou *poros* ou bien encore *ammopetra* (grec), *ramleh* (arabe), *kourkar* (hébreu), etc. désignent ces roches légères à transporter, faciles à débiter et à assembler¹⁵. Cela étant dit, leur omniprésence ne fait pas qu'elles soient faciles à utiliser pour fixer un ancien niveau marin. C'est le passage d'une plage à la dune

10. DUCHÊNE *et al.*, 2001.

11. GOIRAN *et al.*, 2000.

12. FOUACHE and DALONGEVILLE, 1998, 2003.

13. FOUCAUT et RAOULT, 1988.

14. MIS 5, mais il existe bien entendu des calcarénites plus anciennes, par exemple des dunes du stade 7 à Corinthe.

15. DALONGEVILLE et MÜLLER-CELKA, 2003.

qui lui est liée qui permet une meilleure appréciation du niveau marin qui leur est contemporain. Les termes altitudinaux émergés les plus élevés des différentes phases du Tyrrhénien observables en mer Méditerranée sont ceux de mers à faune d'affinités sénégalienne : *Strombus bubonius* Lmk, par exemple, est un marqueur-repère permettant d'identifier assurément un niveau tyrrhénien et de le dater.

Le *beachrock* est une cimentation littorale carbonatée précoce de l'étage médiolittoral. Il se présente, lorsqu'il est mis au jour par l'érosion, sous forme de dalles plus ou moins nombreuses inclinées vers la mer¹⁶. Il appartient à une plage holocène dont les vestiges encaissants de l'étage supralittoral sont souvent reconnaissables en amont et en arrière de la plage actuelle. Pour qu'un *beachrock* se forme, il est nécessaire que se succèdent une phase de progradation, à l'origine du corps sédimentaire qui constitue la plage, une phase de stabilité durant laquelle s'opère la cimentation précisément à l'étage médiolittoral, et enfin une phase terminale de mise au jour par l'érosion marine qui peut très bien n'être que partielle, les dalles les plus en arrière et donc les plus anciennes étant encore couvertes de leur chapeau supralittoral¹⁷. Le *beachrock* s'élabore au sein de la plage. Le ciment, dans l'élaboration duquel l'activité cyanobactérienne joue un rôle, est constitué initialement de cristaux d'aragonite ou de calcite magnésienne¹⁸.

Le *beachrock* est un marqueur-dateur que l'on utilise pour les variations très récentes (les derniers 6 000 ans) de la ligne de rivage, donc depuis que le niveau marin s'est plus ou moins stabilisé. En effet, il est très difficile d'identifier des *beachrocks* immergés, sauf lorsqu'ils sont peu profonds¹⁹. La datation, habituellement au Carbone 14, peut s'effectuer sur le cortège faunistique accompagnant le sédiment, mais il n'est pas rare que les plages récentes soient polluées par des coquilles empruntées à des formations plus anciennes, d'âge tyrrhénien par exemple. Mieux vaut donc dater les ciments eux-mêmes, puisqu'ils sont carbonatés (aragonite, calcite). D'autres difficultés se font alors jour : plusieurs générations de ciments peuvent exister, les intraclasses et les bioclastes risquent de fausser la datation, la séparation physique des ciments de leur support (grains) est très délicate voire impossible. Si bien que, sauf dans le cas où les ciments sont monophasés et particulièrement épais, on se contente de broyer le tout-venant en prenant soin de

noter tous les paramètres possibles de vieillissement ou de rajeunissement, afin d'interpréter au mieux les résultats de la datation.

DES DONNÉES DE TERRAIN AUX COURBES DE VARIATION DE LA LIGNE DE RIVAGE

Il ne faut pas se servir de ces marqueurs-dateurs indépendamment les uns des autres mais au contraire les associer étroitement, chaque fois que cela est possible et bien qu'ils se présentent en général en des sites séparés. Toutefois, le littoral syrien²⁰ permet d'observer des bourrelets de vermetts collés à des dalles de *beachrock*. Cela s'explique par des modifications radicales enregistrées par le trait de côte : une fois mis au jour et sa couverture supralittorale meuble entièrement éliminée, le *beachrock* se comporte comme n'importe quelle roche calcaire dure : il devient un support carbonaté comme n'importe quelle roche du même type. Ailleurs, sur ce même littoral syrien, on peut à l'inverse observer des dalles de *beachrock* au pied de trottoirs de corrosion qui ne peuvent en aucune manière leur être contemporains²¹.

La discontinuité des formes-repères et la difficulté de les regrouper pour nourrir une synthèse sont la règle dans le domaine littoral méditerranéen. Plus on s'adresse à des formes anciennes et plus les discontinuités (en altitude notamment) s'affirment, car les paramètres tectoniques locaux ont eu le temps de marquer le paysage. Il a donc été nécessaire de mettre en place un protocole d'étude spécifique (voir ci-dessous), par exemple pour les vestiges tyrrhéniens.

LE TYRRHÉNIEN

Seules les trois dernières pulsations positives 5.e, 5.c et 5.a, pour la plus récente, sont prises en compte.

Classiquement, le niveau de la mer au cours du sous-stade 5.e (fig. 5)²² est réputé s'être trouvé à 6 m au-dessus du 0 actuel. Au cours des sous-stades 5.c et 5.a, le niveau de la mer était à - 19 m environ, selon des études déjà anciennes²³, mais qui n'ont pas été depuis radicalement remises en cause²⁴. Des

16. DALONGEVILLE et SANLAVILLE, 1984a ; NEUMEIER, 1998.

17. *Ibid.*, 1984b.

18. BERNIER et DALONGEVILLE, 1988, 1996 ; NEUMEIER *et al.*, 2000.

19. DESRUELLES *et al.*, 2004 ; FOUACHE *et al.*, 2005.

20. DALONGEVILLE *et al.*, 1993.

21. DALONGEVILLE *et al.*, 1993 ; FOUACHE and DALONGEVILLE, 1998.

22. WILSON *et al.*, 2000.

23. CHAPPELL and SHACKELTON, 1986.

24. SHACKLETON, 2000 ; WÄLBRÖCK *et al.*, 2002.

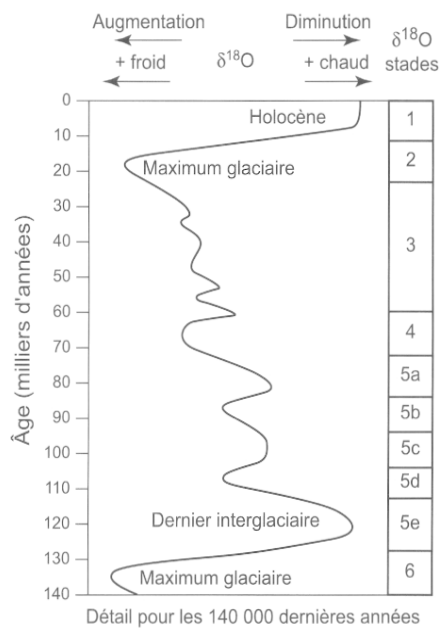


Fig. 5 : Courbes des températures des eaux de surface de l'océan mondial (WILSON R.C.L., DRURY S.A., CHAPMAN J.L., 2000).

valeurs du même ordre sont données pour la Corinthe²⁵. Les sous-stades 5.e et 5.a sont marqués par une faune chaude (voir plus haut). Au Liban, une seule phase à Strombes (5.e) a été reconnue²⁶, mais les trois hauts niveaux tyrrhéniens existent bien. D'ailleurs, une industrie lithique moustérienne, prise dans une fourchette de 100 000 BP à 40 000 BP environ, est associée aux dépôts tyrrhéniens dans plusieurs sites, en particulier à Naamé au sud de Beyrouth²⁷.

La Crète peut être prise comme exemple à plus d'un titre car elle condense la majorité des aspects que prend le Pléistocène supérieur en mer Méditerranée, ce qui ne signifie pas que la compréhension de la chronologie du Pléistocène récent y soit plus aisée. Le premier des niveaux tyrrhéniens identifiés sur cette île correspond vraisemblablement au stade isotopique 5.e, le second au stade isotopique 5.a²⁸. Mais la mise en œuvre de nouvelles techniques, à partir des signatures cimentologiques, a permis d'en mettre en évidence un troisième²⁹.

Dans la plupart des cas, les taux de surrection très variables, le compartimentage de la côte et les variations incessantes du faciès marin font qu'on ne peut suivre les

affleurements, les identifier d'une manière certaine et établir des corrélations utiles. C'est bien le cas de la Crète qui présente des façades dont les comportements ont été très différents selon les époques : puissant soulèvement au sud-ouest, gauchissement ouest-est, basculement sud-nord, etc. Mais il n'existe pas que des mouvements tectoniques d'ensemble : des études fines ont permis de retrouver, dans le secteur de Malia (côte nord-est de la Crète), une série de trois trottoirs de corrosion étagés, taillés dans les calcaires locaux (*sideropetra*) et recouverts d'une calcarénite marine du stade 5.a³⁰.

Les calcarénites tyrrhéniennes en mer Méditerranée orientale sont à des altitudes très différentes selon les régions et ne contiennent pas toutes des marqueurs caractéristiques du niveau marin. Il était donc urgent de mettre en place un protocole d'étude devant pallier les insuffisances du terrain³¹. Les calcarénites subissent une diagenèse pour laquelle il est possible de restituer la chronologie des ciments carbonatés et de reconnaître les environnements physico-chimiques correspondants. On aboutit à la courbe diagénétique ou *signature* d'un certain nombre de dépôts témoins qui fonctionnent comme n'importe quel marqueur-dateur. Mais, bien entendu, il est difficile d'en adapter les données à l'ensemble de la mer Méditerranée : les protocoles doivent être redéfinis localement, avant de pouvoir entamer des corrélations. On se heurte donc aux mêmes problèmes qu'avec la stratigraphie traditionnelle, mais on garde mieux le contrôle de l'aspect paléoclimatique.

LE MAXIMUM DE LA RÉGRESSION

Au début de la déglaciation, vers 18 000 BP, le niveau marin mondial se tient à 120 m au-dessous du 0 actuel. Le tracé littoral d'alors est par conséquent très différent de celui d'aujourd'hui. La surface marine diminue, la communication avec les mers bordières est plus réduite, les îles sont plus rapprochées et certaines sont liées au continent, les cours d'eau côtiers entaillent profondément leurs vallées en s'adaptant à un niveau de base situé beaucoup plus loin et plus bas que l'actuel. Les sites d'habitation des hommes et leurs itinéraires sont considérablement modifiés. La mer abandonne des dépôts, marins, dunaires et fluviaux, dont ne sont visibles au-dessus du 0 actuel que les termes supérieurs. La transgression tardiglaciaire et holocène ennoie ce paysage, redéfinit le

25. KERAUDREN et SOREL, 1984, 1987 ; SOREL *et al.*, 1992.

26. SANLAVILLE, 1977.

27. *Ibid.*, 1998.

28. ANGELIER, 1979 ; ANGELIER *et al.*, 1981.

29. CARON *et al.*, 1998 ; KERAUDREN *et al.*, 2000.

30. DALONGEVILLE *et al.*, 2000.

31. CARON *et al.*, 1998.

contour des rivages et envahit les basses vallées. Ainsi naissent les *calanques* dans les domaines carbonatés et leurs équivalents morphodynamiques dans les mers bordières de la péninsule Arabique³². Les points de comparaison entre espace méditerranéen et Moyen-Orient ne manquent pas, même si les relations terre-mer, en mer Méditerranée, ont été moins perturbées que dans les mers moins profondes comme le golfe Persique et la mer Rouge qui sont des lobes épicontinentaux communiquant avec leur mer nourricière, l'océan Indien, par des seuils suffisamment hauts pour les avoir complètement isolés.

LA REMONTÉE POST-GLACIAIRE ET L'HOLOCÈNE

Le niveau marin mondial s'est élevé, pour des raisons eustatiques, tout au long de la transgression post-glaciaire, à un rythme de 1 cm à 3 cm par an. Cela s'est achevé entre 6 000 cal. BP et 5 500 cal. BP, à un niveau proche de l'actuel, sans qu'il y ait stabilisation définitive³³. Les modèles géophysiques, proposés par Nakada et Lambeck³⁴ comme par Peltier³⁵, suggèrent que cette remontée s'est poursuivie très lentement au-delà.

Les littoraux de la mer Adriatique, de la mer Égée et de la mer Méditerranée orientale plus généralement donnent de nombreux exemples de littoraux fossiles situés au-dessous ou au-dessus du niveau moyen actuel au cours des 6 000 dernières années³⁶. La période historique est riche en témoins d'événements co-sismiques. Ainsi, en Crète, le séisme de 365 ap. J.-C. a soulevé le coin sud-ouest de l'île, déclenchant par contrecoup l'enfoncement de la partie nord-orientale (la subsidence serait de l'ordre de 4 m dans le secteur de Malia). C'est dire que les cotes auxquelles on retrouve les niveaux tyrrhéniens sont à corriger sérieusement...

De manière générale, pour l'ensemble de la mer Méditerranée, on s'accorde à considérer que cette aire géographique a connu un paroxysme tectonique³⁷ à l'époque proto-byzantine, qui a provoqué de nombreuses modifications littorales, dont la plus connue est le soulèvement du trottoir de corrosion : un « trottoir supérieur » domine le trottoir actuel

de 0,60 m à 0,80 m. Cette brutale poussée tectonique a soulevé de longs segments de côtes, vers 1 500 cal. BP, au Liban³⁸, en Syrie³⁹, en Turquie méridionale⁴⁰, en Grèce, mais aussi en Italie, en Espagne et en Afrique du Nord. Cette période paroxystique a produit bien d'autres manifestations, parfois beaucoup plus spectaculaires : le séisme de 365 ap. J.-C. s'est accompagné d'un tsunami dévastateur qui, né au sud-ouest de la Crète, s'est propagé jusqu'aux côtes croates et égyptiennes. En 6 000 ans, les côtes de la mer Méditerranée orientale ont gardé les traces, notamment en Syrie, de deux périodes d'intense activité qui se sont traduites par des soulèvements tectoniques parfaitement lisibles sur les littoraux, vers 6 000 cal. BP-5 500 cal. BP et vers 1 500 cal. BP, chacun d'une valeur de 0,60 m environ⁴¹. La rive africaine de la mer Rouge a également été affectée par de tels déplacements, ce qui fait penser que la plaque africaine est directement impliquée dans ces manifestations⁴².

Dans certains cas, rares il est vrai, les chercheurs ont accès à des témoins immergés de la ligne de rivage. En Israël, les traces d'un site archéologique, Atlit-Yam, datant du PPNC, soit de 8 000 BP à 7 500 BP pour les phases d'occupation les plus anciennes, ont été retrouvées à plus de 8 m sous la mer⁴³. Il faut faire la part des différents facteurs, eustatiques et tectoniques, qui ont contribué à cette immersion. Les études sont en cours.

À Mykonos, Délos et Rhénée, îles situées au centre des Cyclades, dans un contexte géologique de bassin d'arrière-arc réputé parfaitement stable, on observe trois alignements de cimentations littorales submergées⁴⁴. Ces dalles correspondent probablement à trois générations de *beachrocks* formées durant des phases de stabilisation relative du littoral au cours des 6 000 dernières années. Les datations au Carbone 14 réalisées avec la méthode AMS sur le ciment de ces dalles conduisent à proposer des courbes de variations relatives du niveau marin. Le niveau moyen se situait à -3,80 m aux alentours de 1 800 BC, à -2,50 m il y a 2 000 ans et à -1 m aux alentours de 1 000 AD. La valeur de 2,50 m, accordée à l'immersion dans les derniers millénaires, rejoint celle des

32. Voir SANLAVILLE et DALONGEVILLE, ce volume.

33. PIRAZZOLI, 1986 ; PIRAZZOLI *et al.*, 1996.

34. NAKADA and LAMBECK, 1988.

35. PELTIER, 1998.

36. BLACKMAN, 1973 ; FLEMMING, 1979 ; FOUACHE, 2001 ; FOUACHE *et al.*, 2002.

37. PIRAZZOLI, 1986 ; DALONGEVILLE, 1986.

38. FÉVRET et SANLAVILLE, 1965, 1966 ; SANLAVILLE, 1977.

39. DALONGEVILLE *et al.*, 1993 ; SANLAVILLE *et al.*, 1997.

40. KAYAN, 1988, 1997 ; BOZKURT, 2001 ; FOUACHE *et al.*, 1999.

41. La bibliographie traitant plus particulièrement de ce sujet et qui concerne essentiellement les côtes de Grèce, de Turquie et de la bordure levantine, est trop abondante pour être passée en revue ici. De nombreux auteurs sont cités dans la bibliographie générale de cet article.

42. DALONGEVILLE et SANLAVILLE 1981, 1989, 1992.

43. GALILI *et al.*, 1993 ; SIVAN, 2004.

44. DESRUELLES *et al.*, 2004.

observations relatives aux vestiges archéologiques à Délos et Rhénée et les conclusions des relevés sous-marins réalisés par Flemming en mer Égée⁴⁵, mais les moteurs de cette submersion ne sont pas les mêmes pour tous les auteurs⁴⁶. La présence de trois alignements impliquerait trois phases de relative stabilisation séparées de phases accélérées de remontée relative du niveau marin. Cela ne peut en aucune manière correspondre à un comportement strictement eustatique et l'on doit alors mettre en doute la stabilité tectonique du secteur. Le modèle mathématique ne se trouve donc pas vérifié ici puisqu'il intègre cette prétendue stabilité pour ne garder que l'aspect eustatique.

DISCUSSION, CONCLUSION

La démarche développée dans cette étude est celle de la géoarchéologie⁴⁷. C'est le travail concerté de chercheurs qui, relevant de disciplines différentes, font de la pluridisciplinarité la règle nécessaire de l'approche scientifique. Les problèmes inhérents à trois périodes bien distinctes sont affrontés, le Pléistocène supérieur, la remontée flandrienne et l'Holocène récent. Chacune de ces périodes a son individualité et doit être traitée en tant que telle, les différentes approches s'adaptant aux besoins de la compréhension : l'évaluation globale du niveau marin ou la lecture d'affleurements, par exemple. Les difficultés apparaissent lorsqu'il s'agit de passer de l'une à l'autre de ces périodes en conservant une réelle cohérence, en faisant en sorte que les différentes approches qu'elles réclament séparément les rendent quand même comparables. On se rend compte alors que, quoi que l'on fasse, la précision requise pour définir et dater un niveau marin qui, en mer Méditerranée, peut l'être à 0,20 m près, ne peut en aucun cas être maintenue lorsqu'on s'éloigne dans le temps.

Même pour des périodes très récentes, on le voit, la courbe de remontée du niveau marin, postérieurement à 5 500 cal. BP, reste à préciser. Méthodologiquement, c'est en comparant des marqueurs-dateurs complémentaires, sur des secteurs de côtes assez longs appartenant à des contextes géodynamiques et lithologiques différents, que l'on peut progresser. Les différences majeures observées entre les modèles géophysiques, notamment celui de Lambeck (fig. 4), et les

mesures de terrain semblent trouver leur origine majoritairement dans des facteurs néotectoniques qu'il faut nécessairement intégrer aux modèles⁴⁸. Un des moyens de tester la validité des modèles géophysiques⁴⁹ est de continuer à comparer⁵⁰ les observations de terrain avec les prévisions de ces modèles. Le foisonnement des études sur l'Holocène porte en germe le développement des connaissances sur les littoraux et leurs environnements pendant la dernière période froide. Les modèles géophysiques validés pour l'Holocène doivent être étendus aux périodes plus anciennes du Pléistocène. Les marqueurs-dateurs des lignes de rivage doivent être recherchés en plongée pour le même pas de temps et leur identification croisée avec des prospections préhistoriques et archéologiques.

Rémi DALONGEVILLE

UMR 5133 Archéorient
Université Lumière-CNRS
Maison de l'Orient Méditerranéen-Jean Pouilloux
7, rue Raulin
69007 Lyon
France
remi.dalongeville@mom.fr

Éric FOUACHE

EA 435 Géomat
UMR 8591, CNRS, Paris I, Paris XII
Université de Paris XII
61, avenue du Général de Gaulle
94010 Créteil cedex
France
eric.G.fouache@wanadoo.fr

BIBLIOGRAPHIE

- ANGELIER J.
1979 *Néotectonique de l'arc Égéen*. Lille : Société Géologique du Nord (Publication 3).
- ANGELIER J., DUMOND J.-F., KARAMANDERESI H., POISSON A., SIMSEK S. and UYSAL S.
1981 Analysis of fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the Late Miocene. *Tectonophysics* 75 : T1-T9.
- BERNIER P. et DALONGEVILLE R.
1988 Incidence de l'activité biologique sur la cimentation des sédiments littoraux actuels. L'exemple des îles de Délos et de Rhénée (Cyclades, Grèce). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, série II, 307 : 1901-1907.
- 1996 Mediterranean coastal changes recorded in beachrock cementation. *Zeitschrift für Geomorphologie* NF, suppl.-Bd. 102 : 185-198.
48. FAIVRE and FOUACHE, 2003 ; FOUACHE and DALONGEVILLE, 2003, 2004.
49. LAMBECK, 1995 ; LAMBECK and JOHNSTON, 1995 ; PELTIER, 1998.
50. FOUACHE and DALONGEVILLE, 2003.

45. FLEMMING, 1979.

46. DESRUELLES *et al.*, 2004.

47. FOUACHE, 1994, 1999.

- BLACKMAN D. J.
1973 Evidence of sea level change in ancient harbours and coastal installations. *Colton Papers* 32 : 115-139.
- BOTTEMA S. and WOLDRING H.
1990 Anthropogenic indicators in the pollen record of the eastern Mediterranean. In : BOTTEMA S., ENTJES-NIEBORG G. and VAN ZEIST W. (eds), *Man's role in the shaping of Eastern Mediterranean Landscape* : 321-264. Rotterdam : Balkema.
- BOZKURT E.
2001 Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta* 14 : 3-30.
- BOUSQUET B., DUFAURE J.-J. et PÉCHOUX P.-Y.
1983 Temps historiques et évolution des paysages égéens. *Méditerranée* 2 : 3-25.
- CARON V., BERNIER P., KERAUDREN B. et DALONGEVILLE R.
1998 Les séquences diagénétiques des calcarénites littorales du Pléistocène récent de Crète septentrionale : une aide à la résolution des problèmes de corrélation. *Bulletin de la Société Géologique de France* 169,3 : 415-424.
- CHAPPELL J. and SHACKLETON N. J.
1986 Oxygen isotopes and sea level, *Nature* 324 : 137-140.
- CLARK J. A., FAARRELL W. E. and PELTIER W. R.
1978 Global changes in postglacial sea level : a numerical calculation. *Quaternary Research* 9 : 265-278.
- CLARK J. A. and LINGLE C.S.
1979 Predicted relative sea-level changes (18 000 years BP to Present) caused by late-glacial retreat of the Antarctic ice sheet. *Quaternary Research* 11 : 279-298.
- DALONGEVILLE R.
1986 *Formes de corrosion et de construction organogène des littoraux actuels calcaires de Méditerranée, termes de comparaison pris en mer Rouge*. Rennes : Université de Bretagne Occidentale, Thèse de doctorat d'État, 2 vol.
- DALONGEVILLE R., KERAUDREN B., BERNIER P., CARON V. et RENAULT-MISKOVSKY J.
2000 Trottoirs de corrosion étagés d'âge tyrrhénien (stade 5.1) à Malia, Crète. *Géomorphologie* 1 : 21-24.
- DALONGEVILLE R., LABOREL J., PIRAZZOLI P.A., SANLAVILLE P., ARNOLD M., BERNIER P., ÉVIN J. et MONTAGGIONI L.-F.
1993 Les variations récentes de la ligne de rivage sur le littoral syrien. *Quaternaire* 4,1 : 45-53.
- DALONGEVILLE R. et MÜLLER-CELKA S.
2003 Les variations du niveau marin à Malia (Crète). In : *Des chercheurs à la découverte de l'Orient* : 30-33. Lyon : Maison de l'Orient / Mairie de Lyon.
- DALONGEVILLE R. et SANLAVILLE P.
1981 Les marsas du littoral soudanais de la mer Rouge. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie* 15,1-2 : 39-48.
1984a Réflexion sur les *beach-rocks* de la mer Méditerranée. In : DALONGEVILLE R. (éd.), *Le beach-rock* : 29-39. Lyon : Maison de l'Orient (TMO 8).
1984b Essai de synthèse sur le *beach-rock*. In : DALONGEVILLE R. (éd.), *Le beach-rock* : 161-167. Lyon : Maison de l'Orient (TMO 8).
- 1989 Récifs coralliens fossiles et glacis continentaux sur la côte soudanaise de la mer Rouge. *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS* 36 : 157-160.
- 1992 L'évolution de la côte soudanaise de la mer Rouge au Quaternaire. *Revue Tunisienne de Géographie* 21/22 : 30-59.
- DESRUILLLES S., FOUACHE E., PAVLOPOULOS K., DALONGEVILLE R. PEULVAST J.-P., COQUINOT Y. and POIDEVIN J.-L.
2004 Recent sea-level change and beachrock in the insular group of Mykonos-Delos-Rhenia (Cyclades, Greece). *Géomorphologie* 1 : 5-17.
- DUCHÊNE H., DALONGEVILLE R. et BERNIER P.
2001 Transformations du paysage naturel et évolution du littoral dans l'archipel délien. In : DUCHÊNE H. et FRAISSE P. (éd.), *Le paysage portuaire de la Délos antique. Recherches sur les installations maritimes, commerciales et urbaines du littoral délien* : 165-176. Athènes-Paris : EFA-De Boccard (*Exploration Archéologique de Délos* XXXIX).
- DUFAURE J.-J.
1977 Néotectonique et morphogenèse dans une péninsule méditerranéenne : le Péloponnèse. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* 19 : 37-58.
1983 La néotectonique méditerranéenne et ses relations avec la morphogenèse villafranchienne. *Association Française pour l'Étude du Quaternaire* : 102-121.
- DUFAURE J.-J. et ZAMANIS A.
1980 Styles néotectoniques et étagements de niveaux marins quaternaires sur un segment d'arc insulaire, le Péloponnèse. In : *Actes du Colloque sur les niveaux marins et la tectonique quaternaire* : 77-107. Paris : Éditions du CNRS.
- FAIVRE S. and FOUACHE É.
2003 Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2 000 years. *Zeitschrift für Geomorphologie* NF, 47,4 : 521-537.
- FÉVRET M. et SANLAVILLE P.
1965 Contribution à l'étude du littoral libanais. *Méditerranée* 2 : 113-134.
1966 L'utilisation des Vermets dans la détermination des anciens niveaux marins. *Méditerranée* 4 : 357-364.
- FLEMMING N.C.
1979 Archaeological indicators of sea-level. In : *Les indicateurs de niveaux marins*, séminaire du 2 décembre 1978. *Océanis* HS 5 : 184-191.
- FOUACHE É.
1994 *Recherches sur l'alluvionnement historique en Grèce (Epire, Acarnanie, Péloponnèse) : Géomorphologie et géographie historique*. Paris : Université de Paris IV, Thèse.
1999 *L'alluvionnement historique en Grèce Occidentale et au Péloponnèse : Géomorphologie, Archéologie, Histoire*. Athènes : École Française d'Athènes (BCH supplément 33).
2001 *Dynamiques holocènes continentales et littorales et variations de la ligne de rivage de l'Adriatique au sud de la Turquie*. Vol. III : *Approche Géoarchéologique en domaine balkanique et méditerranéen : géomorphologie, paléo-environnements, histoire*. Paris : Université de Paris IV, mémoire HDR.

- FOUACHE É. and DALONGEVILLE R.
1998 Neotectonics in Historical Times : the Example of the Bay of Aghios Andreas (Iliia, Greece). *Zeitschrift für Geomorphologie* NF, 42,3 : 367-372.
- 2003 The relative sea-level fluctuations : methodology and comparison with south Turkey and Croatia. In : *Mediterranean World : Environment and History. Actes du colloque Dynamiques Environnementales et Histoire en Domaines Méditerranéens*, Paris 24-26 avril 2002, Université de Paris IV : 467-478. Paris : Elsevier.
- 2004 Neotectonic impact on relative sea-level fluctuations over the past 6 000 years : examples from Croatia, Greece and southern Turkey. In : *Human records of recent geological evolution in the Mediterranean Basin – historical and archaeological evidence*. Santorini : CIESM (CIESM Workshops monographs 24).
- FOUACHE E., DESRUELLES S., PAVLOPOULOS K., DALONGEVILLE R.
COQUINOT Y., PEULVAST J.-P., POTDEVIN J.-L.
2005 Beachrocks as indicators of Late Holocene sea-level rise in Mykonos, Delos and Rhenia Islands (Cyclades, Greece). *Zeitschrift für Geomorphologie*, supplementary volume 137 : 37-43.
- FOUACHE É., FAIVRE S., DUFAURE J.-J., KOVACIC V. and TASSAUX F.
2002 New observations on the evolution of the Croatian shoreline between Poreč and Zadar over the past 2 000 years. *Zeitschrift für Geomorphologie* NF, Suppl.-Bd. 122 : 33-46.
- FOUACHE É., SIBELLA P. and DALONGEVILLE R.
1999 Holocene variations of the shoreline between Antalya and Andriake (Turkey). *IJNA* 28,4 : 305-318.
- FOUCAUT A. et RAOULT J.-F.
1988 *Dictionnaire de géologie*. Paris : Masson.
- GALILI E., WEINSTEIN-EVRON M., HERSHKOVITZ I., GOPHER A., KISLEV M., LERNAU O., KOLSKA-HORWITZ L. and LERNAU H.
1993 Atlit-Yam : A Prehistoric Site on the Sea Floor off the Israeli Coast. *Journal of Field Archaeology* 20 : 133-157.
- GOIRAN J.-P., MORHANGE C., BOURCIER M., CARBONEL et MORIGI C.
2000 Évolution holocène des littoraux d'Alexandrie. *Méditerranée* 1-2 : 83-90.
- GUILCHER A.
1953 Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire. *Annales de Géographie* 62,331 : 161-179.
- GUIOT J. et CHEDDADI R.
2004 Variabilité des écosystèmes terrestres et du climat sur un cycle glaciaire-interglaciaire. *C.R. Geoscience* 336 : 667-675.
- KAYAN I.
1988 Late Holocene sea-level changes on the Western Anatolian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 68 : 205-218.
- 1997 Bronze Age regression and change in sedimentation on the Aegean coastal plains of Anatolia (Turkey). In : DALFES N., KUKLA G. and WEISS H. (eds), *Third millennium BC climate change and Old World collapse*. Proceedings of the NATO Advanced Research workshop held at Kemer, Turkey, 1994 : 431-450. Berlin-New York : Springer (NATO ASI series I, Global Environment Change 49).
- KERAUDREN B., DALONGEVILLE R., BERNIER P., CARON V. et RENAULT-MISKOVSKY J.
2000 Le Pléistocène supérieur marin (Tyrrhénien) en Crète nord-orientale (Grèce). *Géomorphologie* 3 : 177-190.
- KERAUDREN B. et SOREL D.
1984 Relations entre sédimentation, tectonique et morphologie dans le Plio-Pléistocène de Karpathos (Grèce) ; mouvements verticaux et datations radiométriques. *L'Anthropologie* 88,1 : 49-61.
- 1987 The terraces of Corinth (Greece). A detailed record of eustatic sea level variations during the last 500 000 years. *Marine Geology* 77 : 99-107.
- LAMBECK K.
1995 Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey : a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions. *Geophys. J. Int.* 122 : 1022-1044.
- LAMBECK K. and JOHNSTON P.
1995 *Land subsidence and sea-level change : contributions from the melting of the last great ice sheets and the isostatic adjustment of the Earth*. In : BARENS F.B.J., BROUWER J. and SCHRODER F.H. (eds), *Land Subsidence* : 3-18. Rotterdam : Balkema.
- MAGRI D.
1995 Some questions on the late-Holocene vegetation of Europe. *The Holocene* 5,3 : 354-360.
- MERCIER J.-L., SOREL D. and SIMÉAKIS K.
1987 Changes in the state of stress in the overriding plate of a subduction zone : the Aegean Arc from the Pliocene to the present. *Annales Tectonicae* 1,1 : 20-39.
- MERCIER J.-L., SOREL D. and VERGÉLY P.
1989 Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Research* 2 : 49-71.
- NAKADA M. and LAMBECK K.
1988 The melting history of the late Antarctic ice sheet. *Nature* 333 : 36-40.
- NEGRIS P.
1904 Vestiges antiques submergés. *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts* 29 : 340-363.
- NEUMEIER U.
1998 *Le rôle de l'activité microbienne dans la cimentation précoce des beachrocks (sédiments intertidaux)*. Genève : Université de Genève, Terre et Environnement (Section des Sciences de la Terre 12).
- NEUMEIER U., BERNIER P., DALONGEVILLE R. et OBERLIN C.
2000 Les variations holocènes du niveau marin mises en évidence par les caractères et la diagenèse des beachrocks : exemple de Damnoni (Crète). *Géomorphologie* 4 : 211-220.
- PELTIER W.R.
1998 Postglacial variations in the level of the sea : implications for climate dynamics and solid-earth geophysics. *Review of Geophysics* 36 : 603-689.
- PETIT-MAIRE N.
1999 Variabilité naturelle des environnements terrestres : les deux derniers extrêmes climatiques (18 000 ± 2 000 et 8 000 ± 1 000 ans BP). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la terre et des planètes* 328 : 273-279.

- PIRAZZOLI P.
1986 The Early Byzantine Paroxysm. *Zeitschrift für Geomorphologie* NF, Suppl-Bd 62 : 31-49.
- PIRAZZOLI P. A, LABOREL J. and STIROS S. C.
1996 Earthquake clustering in the Eastern Mediterranean during historical times. *Journal of Geographical Research* 101, B3 : 6083-6097.
- ROSSIGNOL-STRICK M.
1993 Late Quaternary climate in the Eastern Mediterranean Region. *Paléorient* 19,1 : 135-152.
1995 Sea-Land correlation of pollen records in the Eastern Mediterranean for the Glacial-Interglacial transition : biostratigraphy, versus radiometric time-scale. *Quaternary Science Reviews* 14 : 893-915.
1997 Paléoclimat de la Méditerranée Orientale et de l'Asie du Sud-Ouest de 15 000 à 6 000 BP. *Paléorient* 23,2 : 175-186.
1999 The Holocene climatic optimum and pollen records of saptopel, in the eastern Mediterranean, 9 000-6 000 BP. *Quaternary Science Reviews* 18 : 515-530.
- SANLAVILLE P.
1977 *Étude géomorphologique de la région littorale du Liban*. Beyrouth : Université Libanaise, Section des Études Géographiques (Thèse Doct. État, Brest 1973).
1998 The deposits of Ras el-Kelb in the framework of the regional chronostratigraphy. In : COPELAND L. and MOLONEY N. (eds), *The Mousterian site of Ras el-Kelb, Lebanon* : 37-44. Oxford (*BAR Int Ser.* 706).
- SANLAVILLE P., DALONGEVILLE R., BERNIER P. and ÉVIN J.
1997 The Syrian coast : a model of Holocene coastal evolution, *Journal of Coastal Research* 13,2 : 385-396.
- SHACKLETON N.-J.
2000 The 100 000-year Ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. *Science* 289 : 1897-1902.
- SIVAN D.
2004 The Holocene sea level curve of the Israeli coast. In : *Human records of recent geological evolution in the Mediterranean Basin – historical and archaeological evidence*. Santorini : CIESM (*CIESM Workshop monographs* 24).
- SOREL D., MELO V., TAGARI D. et KERAUDREN B.
1992 Découverte de nouveaux replats littoraux transgressifs étagés d'âge pliocène-pléistocène inférieur dans le nord-ouest de l'Arc égéen (Grèce et Albanie) : intérêt géodynamique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 314,II : 1079-1083.
- STEWART I. and VITA-FINZI C. (eds)
1998 *Coastal Tectonics*. London : Geological Society (*Special Publication* 146).
- WAELEBROECK C., LABEYRIE L., MICHEL E., DUPLESSY J.-C., MCMANUS J.-F., LAMBECK K., BALBON E. and LABRACHERIE M.
2002 Sea-Level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews* 21 : 295-305.
- WILSON R.C.L., DRURY S.A. and CHAPMAN J.L.
2000 *The great Ice Age : climate change and life*. London : Routledge.