

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/30433914>

# Hausse relative du niveau marin a Delos (Cyclades, Grece): rythme et effets sur les paysages littoraux de la ville helenistique

Article in *Mediterranee* · January 2007

DOI: 10.4000/mediterranee.154 · Source: OAI

CITATIONS

5

READS

33

5 authors, including:



**Stéphane Desruelles**

Université Paris-Sorbonne - Paris IV

51 PUBLICATIONS 275 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Eric Fouache**

United Arab Emirates University

160 PUBLICATIONS 1,493 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Claire Hasenohr**

Université Bordeaux Montaigne

34 PUBLICATIONS 34 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Kosmas Pavlopoulos**

Université Paris Sorbonne Abu Dhabi

168 PUBLICATIONS 1,331 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Le commentaire de paysages en géographie physique [View project](#)



14th International Congress of the Geological Society of Greece [View project](#)

Rémi Dalongeville, Stéphane Desruelles, Éric Fouache, Claire Hasenohr  
et Kosmas Pavlopoulos

## **Hausse relative du niveau marin à Délos (Cyclades, Grèce) : rythme et effets sur les paysages littoraux de la ville hellénistique**

---

### **Avertissement**

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

**revues.org**

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

---

### Référence électronique

Rémi Dalongeville, Stéphane Desruelles, Éric Fouache, Claire Hasenohr et Kosmas Pavlopoulos, « Hausse relative du niveau marin à Délos (Cyclades, Grèce) : rythme et effets sur les paysages littoraux de la ville hellénistique », *Méditerranée* [En ligne], 108 | 2007, mis en ligne le 01 janvier 2009, consulté le 10 octobre 2012. URL : <http://mediterranee.revues.org/154>

Éditeur : Publications de l'université de Provence  
<http://mediterranee.revues.org>  
<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur : <http://mediterranee.revues.org/154>

Ce document est le fac-similé de l'édition papier.

Tous droits réservés

# Hausse relative du niveau marin à Délos (Cyclades, Grèce): rythme et effets sur les paysages littoraux de la ville hellénistique

*Sea-level rise in Delos (Cyclades, Greece): rhythm and effects on the coastal landscapes of the Hellenistic city*

**Rémi DALONGEVILLE**

Le Vouldy, 69550 Saint-Jean-la-Bussière, France

**Stéphane DESRUELLES**

Géonat EA 435 Université Paris 12  
Val de Marne, Créteil, France  
sdesruelles@free.fr

**Éric FOUACHE**

Géonat EA 435 Université Paris 12  
Val de Marne, Créteil, France  
LGP, UMR 8591 CNRS-Université Paris 1  
Meudon, France  
eric.g.fouache@wanadoo.fr

**Claire HASENOHR**

Ausonius UMR 5607 Université Bordeaux 3-CNRS  
Bordeaux, France  
hasenohr@u-bordeaux3.fr

**Kosmas PAVLOPOULOS**

Department of Geography, University of Harokopio  
Athens, Greece  
kpavlop@hua.gr

Recherches effectuées dans le cadre des programmes *RCP Cyclades* (dirigée par G. Rougemont) du MAE français, *Paysages littoraux* (R. Dalongeville), *MALRHO* (R. Dalongeville et É. Fouache), *L'eau à Délos* (M. Brunet) et avec la participation de l'Université Harokopio d'Athènes (K. Pavlopoulos).

**Résumé** - La reconstitution des variations de la ligne de rivage à Délos (Cyclades, Grèce) au cours des 4000 dernières années s'est longtemps appuyée, au cours du XX<sup>e</sup>, sur l'étude du site portuaire hellénistique. Mais l'approche archéologique ne suffit pas et ce sont les relevés de géomorphologie sous-marine qui permettent d'élaborer une chronologie à la fois relative et absolue, à partir de trois alignements de beachrock, à -3,60 m (vers 2000 av. J.-C.), -2,50 m (vers 400 av. J.-C.) et -1 m (1000 ap. J.-C.). La courbe de montée du niveau marin relatif montre des paliers de stabilisation, nécessaires à la gestation du beachrock, et des périodes intermédiaires de hausse accélérée. Il faut envisager la participation d'une eustasie positive très lente, alliée à une tectonique de subsidence saccadée, dominante. Ces résultats ont permis de proposer des hypothèses nouvelles sur l'évolution des paysages littoraux hellénistiques de Délos.

**Abstract** - The reconstruction of shoreline variations in the Cyclades (Greece) during the last 4000 years was based, during the 20th century, on the study of the Delos harbour's Hellenistic remains. However, this archaeological approach is not enough and underwater geomorphological surveys make it possible to propose relative and absolute chronologies of relative sea-level rise, based on beachrock lines, located at -3.6m (towards 2000 BC), at -2.5m (towards 400 BC) and at -1m (1000 AD). The relative sea-level rise shows periods of stability, allowing beachrock formation and intermediate periods of accelerated rise. It is necessary to consider the participation of a very slow positive eustasy, combined with rapid tectonic subsidence. According to these results, we propose new scenarios for the evolution of Delos' coastal landscapes during the Hellenistic period.

## I - Introduction

La « Grande Fouille » (fin du XIX<sup>e</sup> - début du XX<sup>e</sup> siècle) a ouvert, sur le site même de Délos (Fig.1 et 2), des débats entre Négris (1903, 1904a, b, c), tenant de la « mobilité » du niveau marin et Cayeux (1907, 1911, 1914), tenant de sa « fixité ». On sait aujourd'hui que la reconstitution, sur plusieurs millénaires, des variations de la ligne de rivage ne passe ni par le tout tectonique ni par le tout eustatique.

Trois alignements de beachrock immergés à -3,60 m, -2,50 m et -1 m, pour des âges moyens respectifs de 2000 av. J.-C., 400 av. J.-C. et 1000 ap. J.-C., ont été étudiés en 2002 dans l'archipel délien regroupant les îles de Délos, Mykonos et Rhénée (Fig.1) (DESRUELLES *et al.*, 2004 ; FOUACHE *et al.*, 2005). Or, la formation du beachrock exige une période de stabilisation de la ligne de rivage (DALONGEVILLE et SANLAVILLE, 1984).

Les trois alignements submergés indiquent que l'élévation du niveau marin au cours des 4000 dernières années s'est opérée de manière saccadée (alliant phases de stabilisation et accélérations intermédiaires) en raison de moteurs tant

eustatiques que crustaux Cette explication s'écarte des scénarios purement « eustatiques » de FLEMMING (1969, 1978) et de ceux purement « tectoniques » de PIRAZZOLI (1987, 1997).

En regard de la chronologie de l'anthropisation antique de Délos, l'affleurement intermédiaire de beachrock (à -2,50 m) est le plus intéressant. En effet, si les premiers vestiges d'habitations à Délos remontent à la fin du III<sup>e</sup> millénaire av. J.-C., la cité se développe à partir du VII<sup>e</sup> siècle av. J.-C. et surtout de 167 av. J.-C. Centre économique prospère jusqu'en 88 av. J.-C. (date du premier pillage de l'île), Délos perd son importance à l'époque impériale et s'éteint au VIII<sup>e</sup> siècle ap. J.-C. (BRUNEAU *et al.*, 1996 ; BRUNEAU et DUCAT, 2005).

Compte tenu de ces informations, il est important de savoir si les Déliens ont connu un niveau marin stabilisé (à -2,50 m) ou s'ils ont vécu le mouvement (relatif) de montée du niveau de la mer et si certains aménagements littoraux pourraient se rapporter à ce changement. Les résultats récents de l'étude géomorphologique des littoraux de l'archipel délien et leur comparaison aux informations issues de régions alentour, en Méditerranée orientale, apportent des éléments de réponse nouveaux, en complément des données archéologiques.



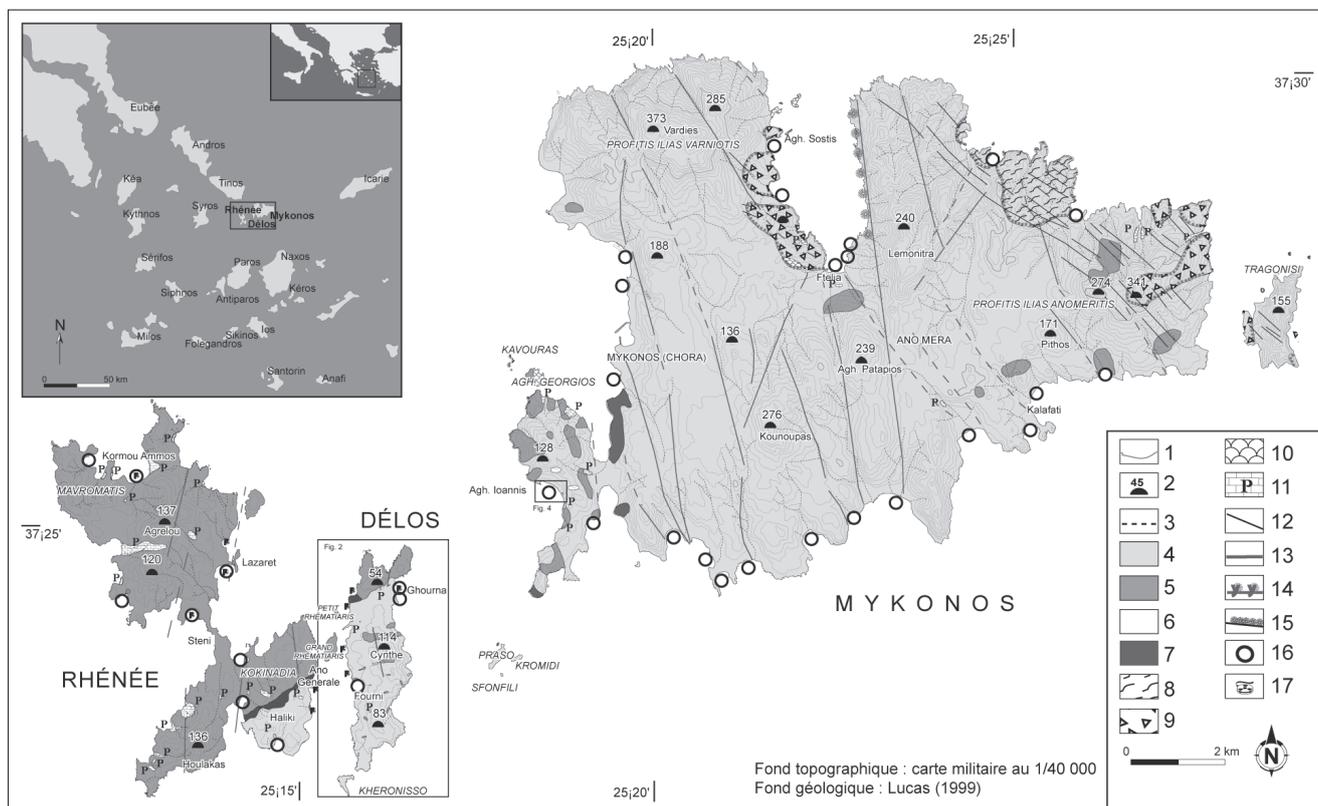


Fig. 1 - Géologie de l'archipel délien et localisation des vestiges et beachrocks submergés

1 : courbes de niveau équidistantes de 20 m ; 2 : cotes d'altitude en m ; 3 : rivières, ruisseaux temporaires ; 4 : granites ; 5 : gneiss ; 6 : marbres ; 7 : micaschistes ; 8 : métavolcanites ; 9 : molasses miocènes ; 10 : carbonates permo-triasiques ; 11 : calcarénites (pôros) ; 12 : filons de barytine ; 13 : failles, fractures parfois masquées ; 14 : failles normales ; 15 : failles de détachement du dôme métamorphique ; 16 : beachrocks, cordons de galets cimentés ; 17 : vestiges archéologiques submergés.

Fig. 1 - Geological map of the archipelago of Delos and location of the submerged archaeological remains and beachrocks

1: elevation contours, 20 m asl.; 2: spot height in m; 3: ephemeral flow; 4: granites; 5: gneiss; 6: marbles; 7: micaschists; 8: metavolcanics; 9: Miocene molasses; 10: Permo-triassic carbonates; 11: calcrenites ("pôros"); 12: barite veins; 13: faults, joints and hidden faults, hidden joints; 14: normal faults; 15: low-angle normal faults; 16: beachrocks, cemented pebble bars; 17: submerged archaeological vestiges.

## 2 - Les apports des études archéologiques et géomorphologiques

### 2.1- Les apports de l'archéologie

À Délos, de nombreux vestiges hellénistiques, partiellement ou totalement immergés, n'ont pas été bâtis en fonction d'un niveau marin semblable à l'actuel. Dans le secteur du « Flanc de la colline » (Fig. 2 et 7), un niveau inférieur d'occupation d'une habitation hellénistique a été repéré à -1,33m sous le niveau marin moyen actuel (DUCHÊNE et FRAISSE, 2001). Les mêmes observations sont à énoncer pour la nécropole de Ano Generale (façade est de Rhénée-Sud) (Fig. 1). Comme aucun indice de l'existence de protections puissantes (des môles par exemple), brisant les fortes houles de secteur nord, n'a été trouvé sur les sections littorales aménagées, il faut admettre que le niveau marin qu'ont connu les Déliens, au moins au début de leur installation, était plus bas que l'actuel.

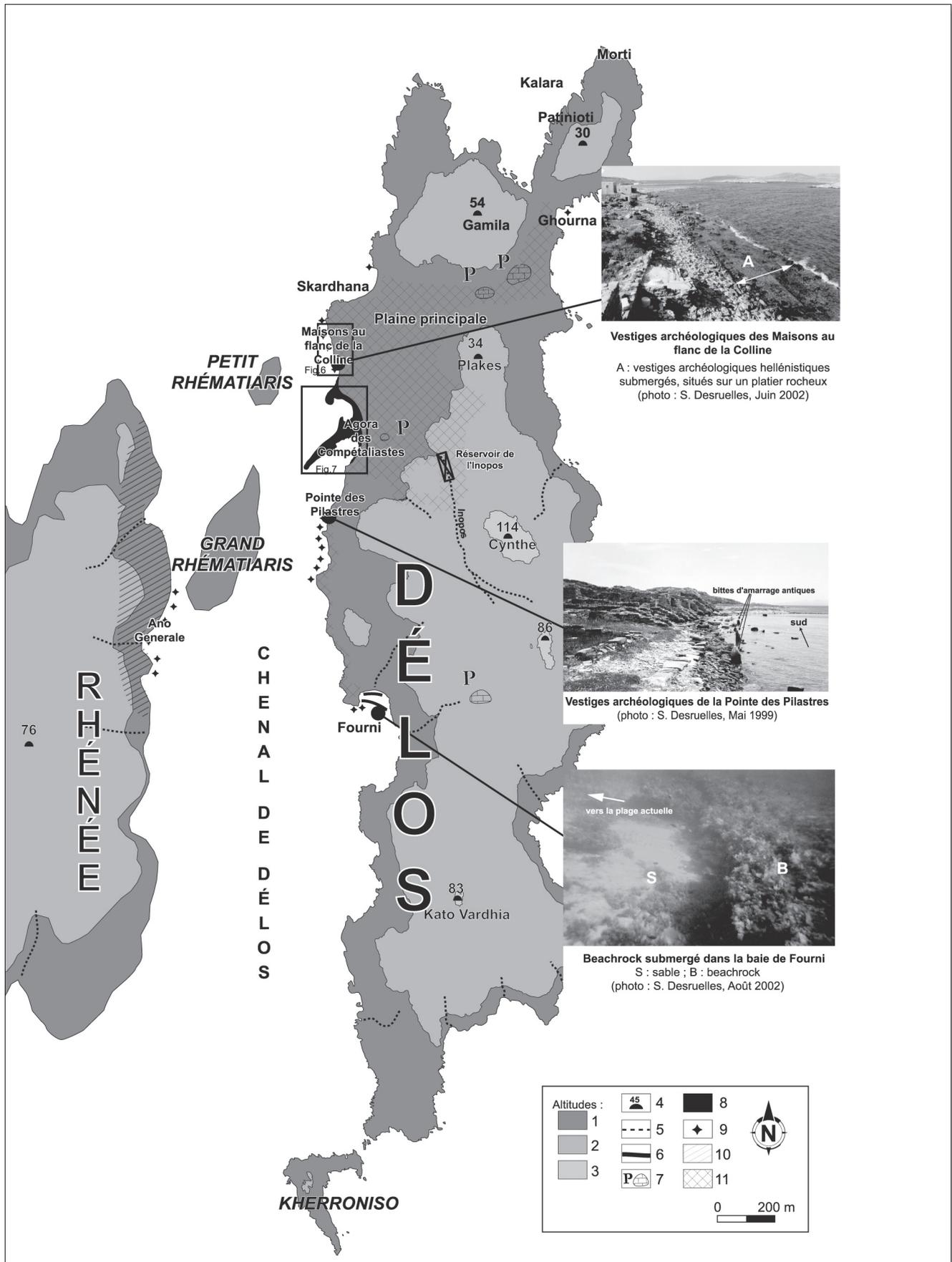
NÉGRIS (1904a) signale à Rhénée, au Lazaret (Fig. 1), un « quai romain » dont la surface, jalonnée de bittes d'amarrage, est à environ 1,30m de profondeur et la base apparente à -2,60m (Fig. 3). Ce vestige archéologique, qui a été observé en plongée en 2002, peut être mis en relation avec un niveau marin à -2,50m, soit 1,20m sous la surface du quai. Il permet une évaluation minimum du changement du niveau marin et donne une possible indication sur le temps durant lequel ce niveau s'est maintenu.

Les vestiges archéologiques déliens apportent peu d'autres indices précis. Dans la section littorale s'étendant de la Pointe des Pilastres aux Magasins (Fig.2), une structure pavée émergée, jalonnée de bittes d'amarrage, a longtemps été interprétée comme la partie supérieure d'un quai s'enfonçant dans la mer (BRUNEAU, 1981). Un niveau marin hellénistique inférieur de 2,50m au niveau actuel impliquerait donc de reconstituer des « quais » se tenant à 2,50m au-dessus du niveau de la mer. Cela aurait été possible sur les bords de côtes océaniques à fort marnage, cela ne l'était pas dans le secteur des Magasins de Délos, où le marnage moyen est de 0,20m: les embarcations de l'époque hellénistique n'auraient pu opérer un transbordement à plein bord. Il s'agissait plutôt, comme l'avait imaginé Pâris (1916), d'une rue de front de mer bordée d'une plage sur laquelle les bateaux étaient tirés au sec, dont la position altitudinale n'était pas directement en relation avec le niveau marin. Les « quais » n'en étaient donc pas (DUCHÊNE *et al.*, 1995 ; DUCHÊNE et FRAISSE, 2001).

Contrairement à ce qui est le cas dans beaucoup de sites archéologiques portuaires en mer Méditerranée, celui de Délos n'offre donc aucun vestige dont la fonction, directement en rapport avec le niveau marin, permettrait d'évaluer la valeur de sa variation.

Afin de repérer les limites antiques du Port sacré (Fig. 2) et de savoir si les Déliens avaient cherché à gagner de nouvelles zones urbaines aux dépens de la mer, des sondages ont été ouverts en





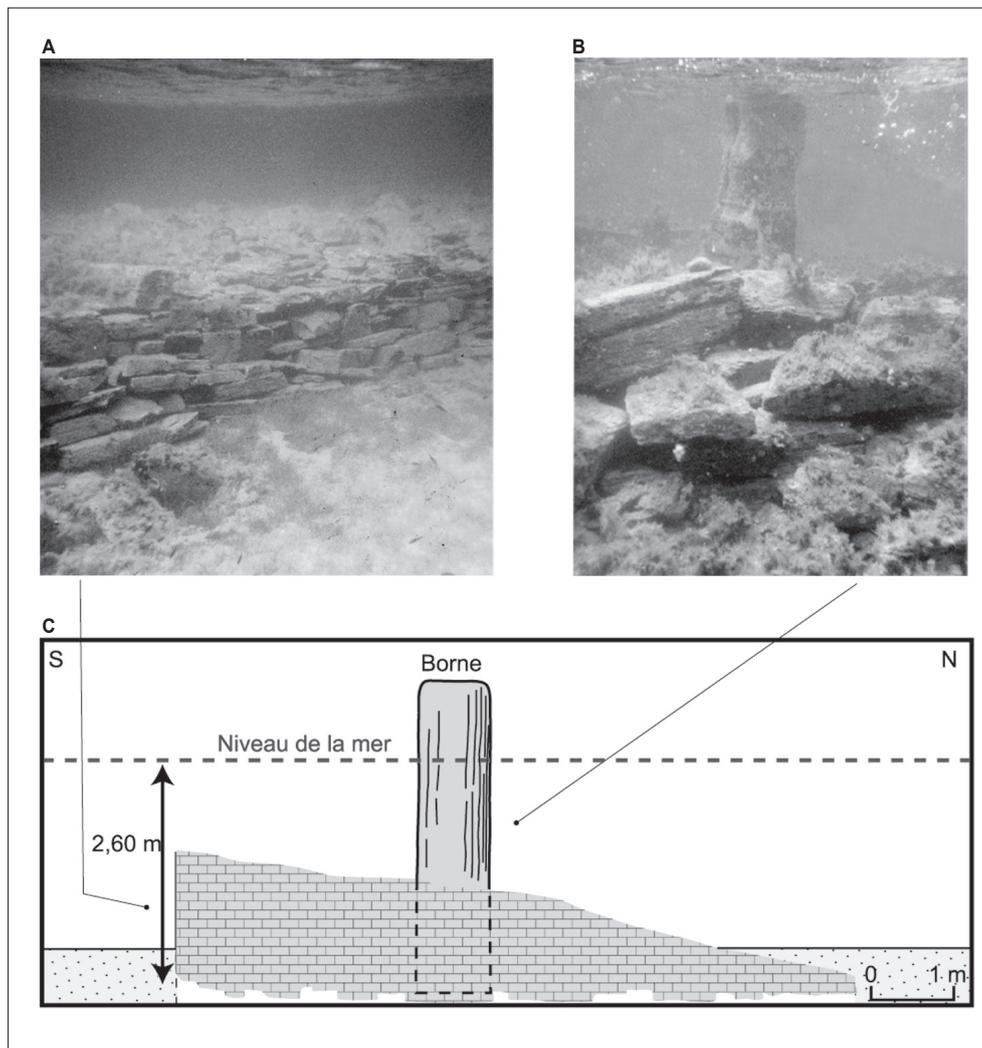
**Fig. 2 - Vestiges archéologiques littoraux et beachrocks à Délos**

1: altitudes inférieures à 20 m ; 2: altitudes de 20 m à 80 m ; 3: altitudes supérieures à 80 m ; 4: cotes d'altitude en m ; 5: rivières, ruisseaux temporaires ; 6: beachrocks submergés ; 7: calcarenites (pōros) ; 8: remblai ; 9: vestiges archéologiques submergés ; 10: aménagements de la ville antique.

**Fig. 2 - Littoral archaeological remains and beachrocks in Delos.**

1: altitude lower than 20 m; 2: altitude from 20 m to 80 m; 3: altitude higher than 80 m; 4: spot height in m; 5: ephemeral flow; 6: submerged beachrocks; 7: calcarenites ("pōros"); 8: fill; 9: submerged archaeological vestiges; 10: installations of the ancient city.





**Fig. 3** - Au sud du Lazaret (Rhénée), môle romain identifié par NÉGRIS (1904a).

A : môle vu du sud en septembre 2002 ; B : borne vue du nord en septembre 2002 ; C : profil dressé par NÉGRIS (1904a), modifié.

**Fig. 3** - South of Lazaret (Rhenia), roman pier identified by NÉGRIS (1904a).

A : jetty seen from the south in September 2002; B : mooring bitt seen from the north in September 2002; C : plotting made by NEGRIS (1904a), modified.

1995 et en 2002. Le sondage I, réalisé en 1995 dans l'Agora des Compétaliastes, a montré que la mer n'en a jamais occupé l'emplacement à l'époque hellénistique (HASENOHR, 1996) : des remblais reposent sur des vases peu épaisses pour lesquelles les analyses sédimentologiques et micropaléontologiques ont mis en évidence un milieu d'eau douce (rareté des foraminifères). Quatre autres sondages ouverts en 2002 sur un transect E.S.E./O.N.-O., passant par le centre de l'Agora des Compétaliastes (Fig. 8), ont confirmé et précisé la reconstitution de l'environnement physique de la baie avant l'aménagement de la partie sud du Port sacré à l'époque hellénistique (DES RUELLES *et al.*, sous presse ; HASENOHR, sous presse) (Fig. 8).

## 2.2 - Les beachrocks immergés

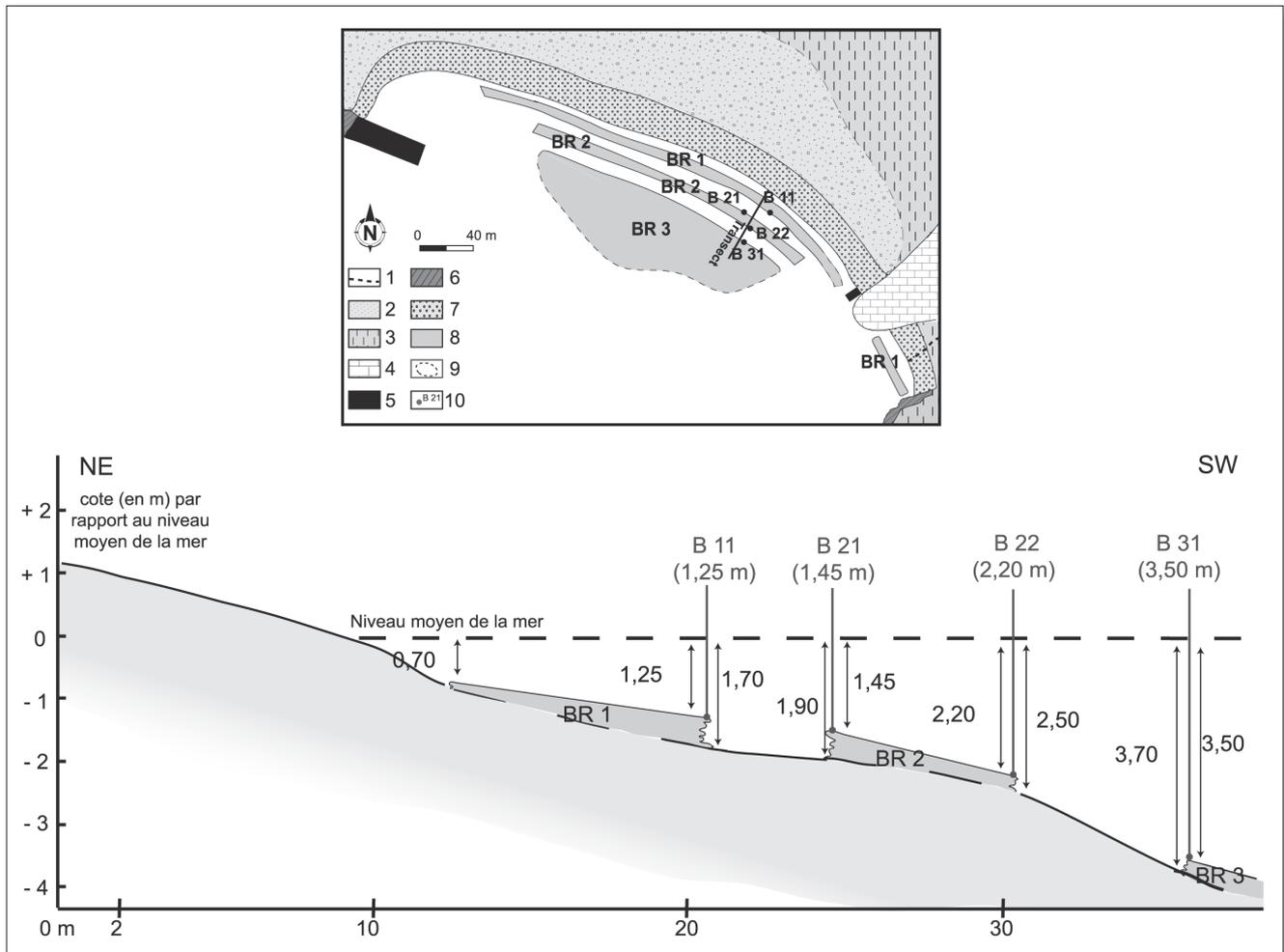
Le beachrock est une cimentation littorale carbonatée précoce qui nécessite, pour se former, une stabilisation verticale assez longue de la ligne de rivage, plusieurs siècles pour quelques dalles, semble-t-il (DALONGEVILLE et SANLAVILLE, 1984). De manière concomitante, elle nécessite une dynamique de progradation de la plage au sein de laquelle ce beachrock se formera. De l'importance du volume sédimentaire et de la durée de progradation dépendront la largeur et le nombre de dalles.

Il est à remarquer que, dans l'archipel délien, les beachrocks ne comportent jamais que quelques dalles, souvent moins de trois, elles-mêmes feuilletées, ce qui est en rapport avec la faible volume des sédiments de plage. Le beachrock sera mis au jour au cours d'un retour agressif de la mer dû à un bilan sédimentaire négatif ou à l'élévation du niveau marin.

La partie indurée (la dalle) matérialise l'étage médiolittoral d'origine, parce que c'est la partie qui a le mieux résisté à l'érosion. Le niveau marin moyen contemporain de la « fabrication » du beachrock passe donc, schématiquement et sur un même transect, par le milieu de la largeur apparente de toutes les dalles constituant l'ensemble du cordon fossile, de la dalle la plus ancienne (la plus en arrière, vers la terre) à la dalle la plus récente (la plus en avant, vers la mer). En présence de structures sédimentaires comme les keystone vugs, la reconstitution des niveaux marins peut s'effectuer à  $\pm 0,25$  m. Dans le cas de beachrocks submergés, comme dans l'archipel délien, dont les structures sédimentaires sont difficilement repérables, la précision est réduite à  $\pm 0,50$  m.

Les beachrocks immergés de l'archipel délien ont été étudiés sur le terrain en 2002, à l'aide des repérages effectués par Bernier et Dalongeville à Délos et à Rhénée (BERNIER *et al.*,



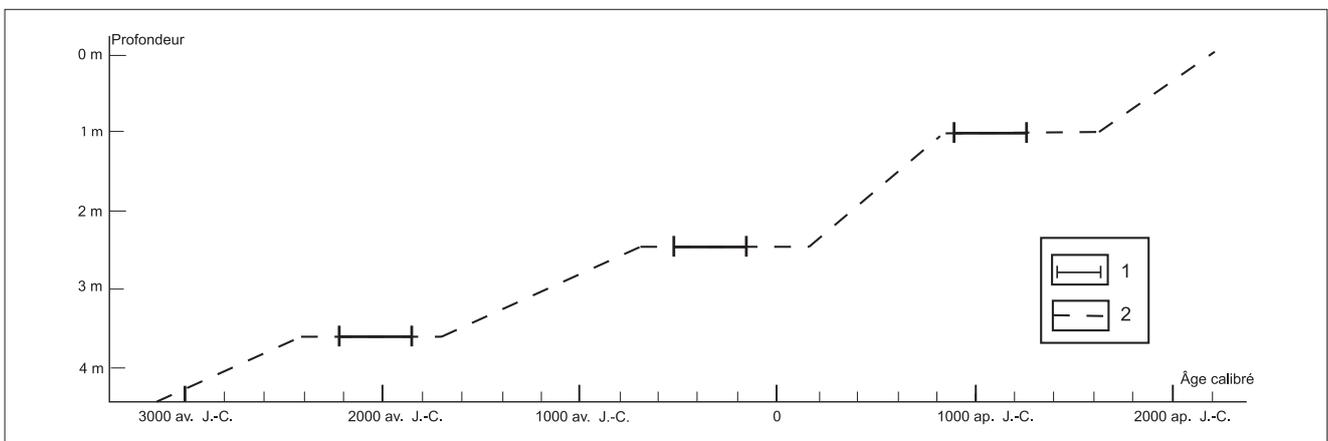


**Fig. 4** - Profil de trois beachrocks submergés (cas de la Baie d'Aghios Ioannis à Mykonos).

1: ruisseau temporaire; 2: dépression à couverture meuble épaisse; 3: versant à couverture meuble mince et discontinu; 4: calcarénites (pōros); 5: aménagement récent; 6: fausse falaise; 7: plage; 8: beachrock submergé; 9: limites probables; 10: échantillon prélevé en 2002.

**Fig. 4** - Profile of three submerged beachrocks (case of the Bay of Aghios Ioannis in Mykonos).

1: ephemeral flow; 2: surface covered with a thick coat of granitic sand; 3: surface covered by a thin and discontinuous layer of superficial deposit; 4: calcarenites ("pōros"); 5: recent installation; 6: pseudo-cliff; 7: beach; 8: submerged beachrock; 9: probable limits of beachrock; 10: sample taken in 2002.



**Fig. 5** - Phases de stabilisation et de hausse relatives du niveau marin à Mykonos-Delos-Rhénée depuis 5000 BP

1: phase de stabilisation du niveau marin attestée par la présence de beachrock; 2: évolution probable du niveau marin relatif

Remarque: les cotes de profondeur indiquées dans ce profil diffèrent de celles indiquées dans le texte, issues d'une représentation schématique et moyenne à l'échelle de l'archipel délien.

**Fig. 5** - Periods of relative sea-level stabilisation and sea-level rise in Mykonos-Delos-Rhenia since 5000 BP

1: periode of relative sea-level stabilisation attested by the presence of beachrock; 2: probable evolution of the relative sea level

Note: the depths indicated in this profile differ from those indicated in the paper, resulting from a schematic and average representation on the scale of the archipelago of Delos.



Code échantillon	Code laboratoire	Profondeur de la dalle (cote sup. "amont" - cote sup. "aval")	Profondeur de l'échantillon	Datation $^{14}\text{C}$ BP	Âge calibré avec la courbe de Hughen <i>et al.</i> (2004)	Rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$
A 11	Lyon-2050 (OxA)	0,5m - 1,3m	1 m	1330 ± 35	1032-1122 ap.J.-C.	+3,67 ‰
A 22	Lyon-2051 (OxA)	3 m - 3,8m	3,8m	3185 ± 45	1112-964 av.J.-C.	+3,70 ‰
B 11	Lyon-2052 (OxA)	0,7m - 1,25m	1,25 m	1775 ± 40	596-672 ap.J.-C.	+3,51 ‰
B 21	Lyon-2053 (OxA)	1,45m - 2,2m	1,45 m	2465 ± 45	235-82 av.J.-C.	+3,15 ‰
B 22	Lyon-2058 (OxA)	1,45m - 2,2m	2,2 m	2265 ± 30	36-123 ap.J.-C.	+2,76 ‰
B 31	Lyon-2059 (OxA)	3,5m - 3,7m	3,5 m	4860 ± 35	3309-3165 av.J.-C.	+3,42 ‰
C 12	Lyon-2074 (Poz)	0m - 1,3m	1,3 m	970 ± 35	1349-1423 ap.J.-C.	+3,35 ‰
C 21a	Lyon-2075 (Poz)	2,8m - 3,3m	3 m	1750 ± 25	628-680 ap.J.-C.	+3,06 ‰
C 21b	Lyon-2076 (Poz)	2,8m - 3,3m	2,8m	3745 ± 30	1770-1665 av.J.-C.	+2,72 ‰
D 11	Lyon-2079 (Poz)	0m - 1,2m	1,2m	440 ± 25		+2,33 ‰
D 21a	Lyon-2080 (Poz)	1,7m - 2,4m	1,8m	1700 ± 30	661-720 ap.J.-C.	+2,91 ‰
D 21b	Lyon-2081 (Poz)	1,7m - 2,4m	1,7m	2545 ± 25	330-228 av.J.-C.	+1,71 ‰
E 11	Lyon-2082 (Poz)	0,6m - 1,1m	0,6 m	1300 ± 25	1058-1140 ap.J.-C.	+2,80 ‰
E 22	Lyon-2083 (Poz)	1,1m - 1,5m	1,5 m	2175 ± 30	137-229 ap.J.-C.	+3,02 ‰
E 32	Lyon-2084 (Poz)	3,5m - 3,6m	3,6 m	3815 ± 30	1867-1764 av.J.-C.	+2,65 ‰
F 11	Lyon-2085 (Poz)	0,5m - 1,7m	1 m	1610 ± 30	723-811 ap.J.-C.	+3,20 ‰
F 12	Lyon-2086 (Poz)	2m - 2,1m	2,1 m	1380 ± 30	991-1055 ap.J.-C.	+2,82 ‰
F 21	Lyon-2087 (Poz)	3,4m - 3,6m	3,4 m	2595 ± 30	380-294 av.J.-C.	+2,94 ‰
G 12	Lyon-2088 (Poz)	1,4m - 1,6m	2 m	1635 ± 25	710-780 ap.J.-C.	+4,77 ‰
G 22	Lyon-2089 (Poz)	2,6m - 3,2m	3,2m	2775 ± 30	650-487 av.J.-C.	+1,66 ‰

Fig. 6 - Datations au Carbone 14 par AMS des échantillons de beachrocks prélevés en 2002 dans l'archipel délien.  
Fig. 6 -  $^{14}\text{C}$  AMS datings of beachrock samples collected in 2002 on the archipelago of Delos.

1987 ; BERNIER et DALONGEVILLE, 1996). Deux ou trois générations de beachrocks s'échelonnent sur un même profil (Fig.5). Des échantillons ont été prélevés sur les différents affleurements de beachrocks de sept baies sélectionnées dans l'archipel délien. Ils ont été observés au microscope polarisant, en cathodoluminescence et au MEB et, compte tenu de leur composition minéralogique et de l'épaisseur des ciments diagénétiques, datés sur « échantillon total » au Carbone 14 (DESRUILLLES *et al.*, 2004 ; FOUACHE *et al.*, 2005). Ces datations ont été calibrées au moyen de la courbe de HUGHEN *et al.* (2004). Les effets du réservoir marin, évalués à Ftélia (Mykonos, Fig.1) par FACORELLIS et MANIATIS (2002), n'induisent pas de différences importantes par rapport à la calibration des datations réalisée avec la courbe de HUGHEN *et al.* (2004).

Le beachrock le plus profond (BR3) et le plus éloigné du trait de côte, daté de 2000 av. J.-C. environ, se tient vers -3,60m. Le moins profond (BR1) et le plus proche du trait de côte, daté de 1000 ap. J.-C. environ, se tient vers -1m. L'alignement intermédiaire (BR2) est daté de 400 av. J.-C. environ et se tient vers -2,50m. Ces dates repères ne permettent pas de préjuger de la durée de stabilisation du niveau marin à ces mêmes cotes, nécessaire à la gestation du beachrock. Il s'agit d'une présentation schématique et moyenne qui prend en compte les écarts enregistrés entre les différentes baies étudiées. Il arrive en effet que les alignements de beachrocks ne soient pas parfaitement distincts. Comme il s'agit de gisements de fonds de baies, des différences notables dans le volume des sédiments et dans leur répartition verticale sont à noter entre l'amont et l'aval de la dérive littorale : l'ouverture de l'étage médiolittoral et donc l'épaisseur comme la cote altitudinale des sédiments concernés sont plus importantes à l'amont de la dérive, tandis que ces valeurs fléchissent vers l'aval. Des phénomènes de

résonance peuvent également perturber la position moyenne des beachrocks, d'une baie à l'autre. Par ailleurs, plus la pente de l'infralittoral supérieur est faible et moins la séparation des alignements de beachrocks est évidente. Les cotes moyennes de référence que nous avons retenues tiennent compte de ces paramètres fluctuants.

### 3 - Discussion

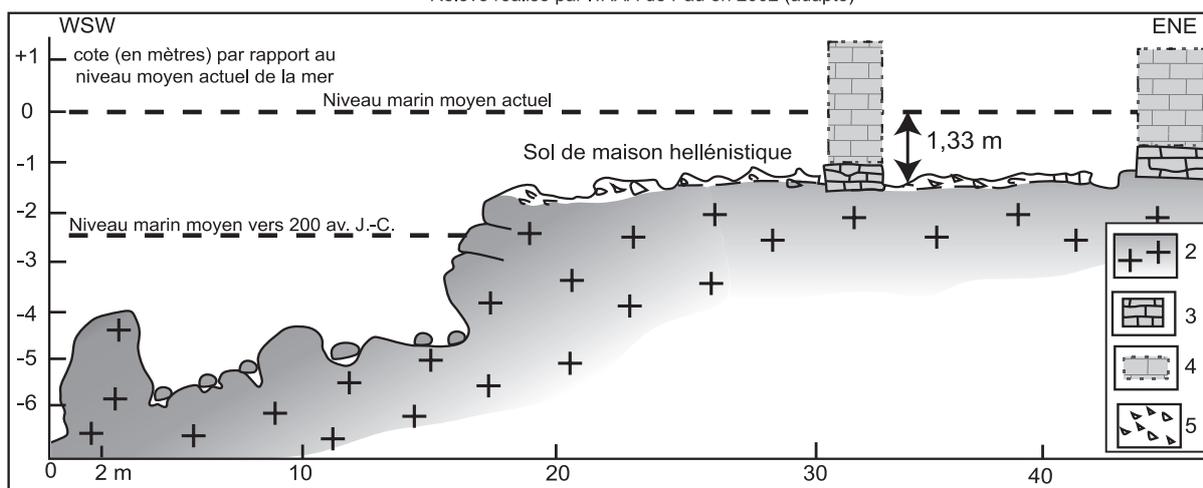
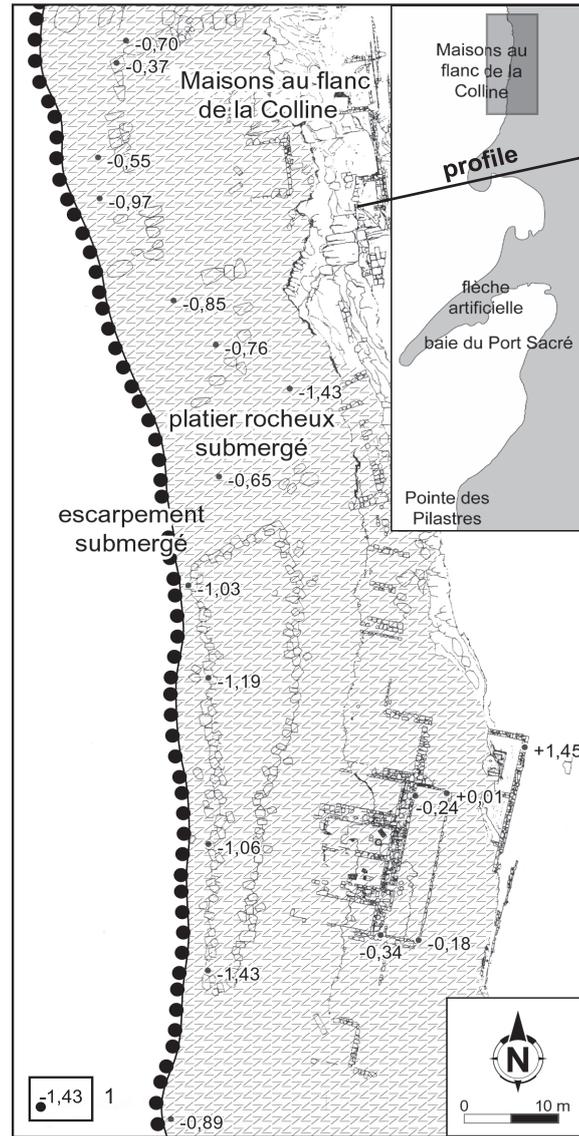
#### 3.1 - Rythmes et moteurs des variations de la ligne de rivage à Délos

L'élévation relative du niveau marin est de 3,60m en 4000 ans, soit un gradient de 0,9mm/an. Cette valeur est plus élevée que les taux enregistrés par LABOREL *et al.* (1994) en Provence et en Corse (0,4mm/an entre 4500 BP et 1500 BP et 0,2mm/an depuis 1500 BP) et par MORHANGE *et al.* (2001) à Marseille (0,7mm/an).

Cette vitesse, relativement lente en regard du gradient moyen de l'ensemble de la montée post-glaciaire (6mm/an à 11mm/an - Dalongeville et Fouache, 2005), conviendrait à une montée strictement eustatique au cours des six mille dernières années, correspondant à la phase asymptotique de la courbe. Cependant, il faut tenir compte des phases de stabilisation du niveau marin nécessaires à la genèse du beachrock (Dalongeville et Sanlaville, 1984). Chaque alignement de beachrock marque un palier dans la courbe d'élévation (relative) du niveau marin. Plusieurs siècles paraissent à chaque fois nécessaires pour qu'une plage se cimente en un beachrock épais et à dalles multiples.

La mise au jour de ce beachrock, c'est-à-dire la disparition des sédiments supralittoraux encaissants, s'explique





**Fig. 7 -** Paysages actuel et hellénistique du replat des "Maisons au flanc de la Colline"

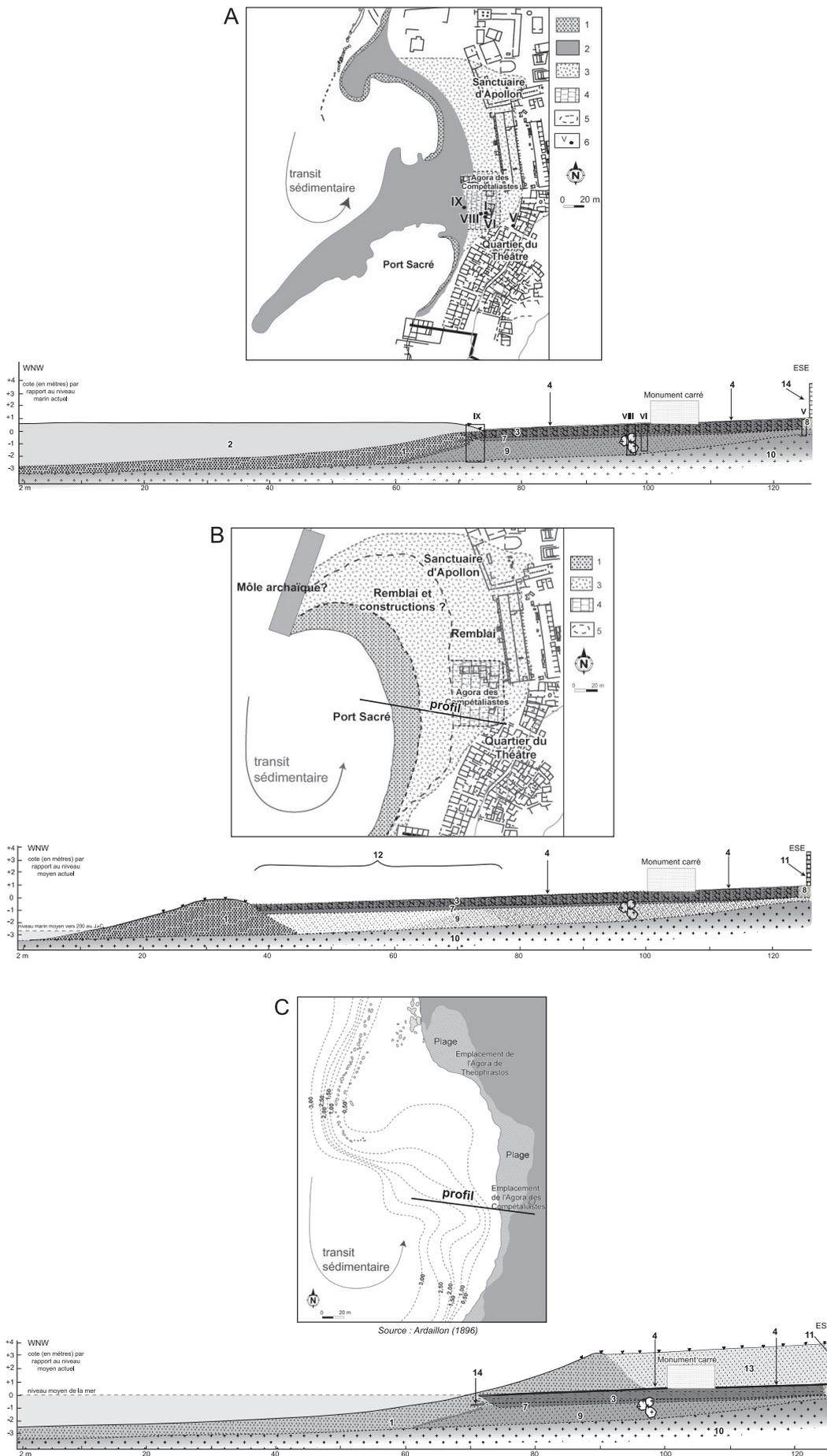
1 : cote en mètre par rapport au niveau actuel de la mer ; 2 : substrat cristallin ; 3 : vestiges de murs hellénistiques ; 4 : mur hellénistique reconstruit ; 5 : matériel archéologique indifférencié.

**Fig. 7 -** Present and Hellenistic landscapes of the "Maisons de la Colline" sector

1: spot height in m compared to the present sea-level; 2: crystalline basement; 3: wall of a hellenistic house; 4: hellenistic wall reconstructed; 5: various archaeological material.



Fig. 8



Cf. légende p. 25.  
For legend see p. 25.



obligatoirement par une reprise de l'agressivité érosive de la mer. Entre ces phases de stabilisation, les périodes intermédiaires connaissent en conséquence des vitesses de montée du niveau marin relatif plus importantes. Le caractère saccadé de cette courbe d'élévation du niveau marin s'explique par la subsidence de ce secteur de la mer Égée en position d'arrière-arc. Dans le cas de Délos et de son archipel, il est plus que probable que la montée du niveau marin au cours des derniers millénaires ait été actionnée par deux moteurs, d'inégales puissances.

L'eustasie positive, d'une part, est suffisamment lente à l'échelle humaine pour ne pas être perceptible, mais il n'est pas certain qu'un gradient de montée de 1mm/an ne perturbe pas la formation du beachrock au cours d'une phase qui réclame la stabilité du niveau de référence : 1mm/an sur trois siècles de fabrication du beachrock, donc de stabilisation, représente 0,30m de hausse du niveau marin, ce qui est plus important que le marnage moyen local. Il est possible alors que la couverture supralittorale primitive ait été limitée à sa plus simple expression et que le blocage du sédiment de plage ait été réalisé par des films bactériens, ce qui aurait permis une injection abondante de micrite dans les pores (BERNIER et DALONGEVILLE, 1996).

La tectonique de subsidence, d'autre part, est plus rapide, mais surtout ponctuée de phases de rémission au cours desquelles les plages peuvent être progradantes et la fabrication du beachrock peut s'exprimer, et entre lesquelles la transgression virtuelle est très rapide sans être de type co-sismique.

Des mouvements subsidants rapides et répétés peuvent, pour les petits impluviums et les talwegs courts et redressés des îles de la mer Égée, relancer l'érosion linéaire et aréolaire. Cela peut suffire à augmenter temporairement le volume des apports sédimentaires à la côte et donner naissance à des plages progradantes, comme à Mykonos et Rhénée. En revanche, à Délos, dont la topographie et la structure géologique sont moins propices à cette érosion, les volumes de sédiments transportés par les ruissellements linéaires principaux (dont l'Inopos à Délos, Fig. 2) sont infimes même après de fortes pluies (DES RUELLLES, 2004). Des apports exceptionnellement volumineux pourraient être d'origine humaine, comme cela s'est produit un peu partout autour de la mer Méditerranée (Espagne, Bithynie, Liban, Italie, Cyclades), à différentes époques, par abandon de terrasses de culture (MARTIN, 2001). Cela ne paraît cependant pas pouvoir se vérifier pour Délos et ne tiendrait que pour la période suivant immédiatement l'époque hellénistique, mais certainement pas pour les périodes qui l'encadrent plus largement, de moindre activité et de moindre occupation.

D'après les travaux menés par les géologues dans le centre des Cyclades, la néotectonique locale serait faiblement active, caractérisée par une tendance à la subsidence (HEJL *et al.*, 2002 ; Piper et Perissotaris, 2003). Cependant, la comparaison de la morphologie littorale de l'archipel délien avec celle de secteurs

situés en Méditerranée orientale connaissant un marnage aussi faible, élimine l'hypothèse d'une élévation relative du niveau marin exclusivement eustatique. On ne trouve pas, notamment en Syrie (DALONGEVILLE *et al.*, 1993 ; SANLAVILLE *et al.*, 1997), au Liban (SANLAVILLE, 1977 ; MORHANGE *et al.*, 2006), à Chypre (DALONGEVILLE *et al.*, 2000), en Algérie, en Espagne et en Sardaigne (DALONGEVILLE, 1986), de morphologies karstiques de transition, entre les repères (comme les encoches et les trottoirs de corrosion) de phases de stabilisation du niveau marin.

### 3.2 - Conséquences des variations de la ligne de rivage sur les espaces littoraux et leur aménagement antique

#### 3.2.1 - Reconstitution du paysage littoral de la Délos antique

Les principaux aménagements littoraux, situés dans la ville (au nord-ouest de l'île, Fig. 2), ont été mis en place à partir du IV<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (DUCHÈNE et FRAISSE, 2001). Le niveau marin de cette époque se tient à 2,50 m au moins sous le niveau actuel. Le versant ouest de la colline de Skardhana (Fig. 2) plonge dans la mer, mais il est entaillé par un replat d'âge tyrrhénien dont la surface irrégulière se situe alors au-dessus de la mer, à 1,50 m, voire plus. Ce replat est aménagé au début du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. pour la construction d'habitations (Maisons au flanc de la colline, notamment, Fig. 7). Il en est de même du replat d'Ano Generale, à Rhénée, sur lequel la nécropole est installée à la fin du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (Fig. 1).

Le secteur du Port sacré correspond à une grande alvéole taillée dans le substrat cristallin et habillée en partie de calcarénites tyrrhéniennes (DES RUELLLES, 2004). La partie basse de l'alvéole dessine une anse bien protégée des grandes houles de secteur nord par une échine rocheuse (Fig. 8). La partie haute, située alors à +3,50m, est occupée par un marécage alimenté par les écoulements temporaires de l'Inopos (DES RUELLLES *et al.*, sous presse). La réfraction de la dérive littorale nord-sud derrière la flèche de galets rejette les apports d'eau douce et donc les sédiments plus ou moins fins vers le nord de l'embouchure. L'anse a ainsi tendance à se colmater. Le marais temporaire est remblayé au II<sup>e</sup> siècle av. J.-C., permettant notamment la création de l'Agora des Compétaliastes (Hasenohr, 2002).

L'ancienne bathymétrie (Fig. 8), relevée par Ardaillon (1896), permet de reconstituer approximativement le trait de côte hellénistique. Celui-ci, situé 2,50 m plus bas et en avant de la ligne de rivage actuelle, réduisait notablement la distance entre Délos et les Rhématiaris, et cela d'autant plus qu'une plage s'étendait en avant du cordon littoral décrit ci-dessus. Le courant nord-sud dans le chenal devait être plus fort qu'aujourd'hui. Il faut envisager que cette contrainte obligeait les bateaux à s'ancre à l'abri des Rhématiaris (Fig. 2), laissant les opérations d'embarquement et de débarquement aux soins d'embarcations

**Fig. 8** - Paysages de la baie du Port sacré actuel (8A), à la fin du II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (8B) et à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ap. J.-C. (8C)

1 : sable de plage ; 2 : remblai récent ; 3 : remblai hellénistique sablo-argileux riche en tessons ; 4 : esplanade dallée de l'Agora des Compétaliastes ; 5 : limites probables ; 6 : sondages archéologiques effectués en 2002 ; 7 : vase (argile, charbons de bois, matière organique...) ; 8 : couches archéologiques (remblais et sols) postérieures au VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. ; 9 : sable généralement riche en tessons ; 10 : substrat cristallin ; 11 : boutique du Quartier du Théâtre ; 12 : extension possible de l'esplanade et de l'espace bâti ; 13 : formations superficielles (dont colluvions et couches archéologiques d'époque impériale) ; 14 : partie démantelée de l'esplanade dallée hellénistique ?

**Fig. 8** - Landscape of the Sacred Harbour bay at the present time (8A), at the end of the 2nd century BC (8B) and at the end of the 19th century AD (8C)

1: sand beach; 2: modern fill; 3: sandy-argillaceous Hellenistic fill rich in shards; 4: paved esplanade of the Agora of the Competaliastes; 5: probable limits; 6: archaeological excavations carried out in 2002; 7: mud (clay, charcoal, organic matter...); 8: archaeological layers (fills and soils) younger than the 6th century BC; 9: sand generally rich in shards; 10: crystalline basement; 11: shop of the Theater Quarter; 12: possible extension of the esplanade and built space; 13: surficial formations (colluviums and archaeological layers of imperial epoch); 14: dismantled part of the hellenistic paved esplanade?



locales, plus légères, tirées au sec sur la plage et arrimées, les jours de gros temps, aux bittes incorporées à la rue du front de mer (de la Pointe des Pilastres aux Magasins, Fig.2).

La reconstitution en trois dimensions proposée récemment (Duchêne et FRAISSE, 2001) des paysages portuaires de la Délos antique ne rejoint que très partiellement nos conclusions, même si elle est aussitôt corrigée (DUCHÊNE *et al.*, 2001), car elle situe le niveau marin de référence, à l'époque hellénistique, à seulement 1m sous le niveau actuel. De plus, la reconstitution de la baie du Port sacré reprend l'hypothèse de Cayeux (1911) restituant des quais plongeants gagnés sur la mer (alors qu'il s'agissait d'un marais littoral) et ne tient pas compte de la bathymétrie.

### 3.2.2 - Les Déliens et les variations de la ligne de rivage

Le niveau marin apparent est passé d'une phase de stabilisation vers -2,50m à l'époque hellénistique à une autre à -1m vers 1000 ap. J.-C. La question se pose de savoir si les Déliens ont connu le début de cette « montée » au cours de la période de pleine activité de l'île (167 av. J.-C. à 88 av. J.-C.). C'est peu probable. Mais si l'on accorde foi à Négris (1904 b) qui faisait état, au Lazaret de Rhénée-Nord (Fig.1) de la présence d'un quai « romain » dont la base apparente est à -2,60m, l'élévation du niveau marin serait postérieure à l'urbanisation de la cité antique de Délos et pourrait être contemporaine du « Early Byzantine Tectonic Paroxysm » (PIRAZZOLI, 1986). Au cours de l'urbanisation délienne, le remblaiement de certaines zones a surtout visé à assainir des secteurs insalubres de la zone portuaire, plus généralement du front de mer, mais ce n'est pas une réaction à une élévation rapide de la mer.

### 3.3 - Perspectives de recherches ouvertes par ces connaissances nouvelles

Une critique récente d'ouvrage, signée par HESNARD (2005), demande que le port de Délos soit enfin étudié. L'amélioration de la reconstitution des paysages portuaires antiques, qui a progressé grâce au croisement des données bathymétriques, géomorphologiques (datations de beachrocks notamment) et archéologiques (sondages de l'Agora des Compétaliastes), nécessite des sondages archéologiques profonds, voire des carottages, et surtout un appel à l'archéologie sous-marine.

Des résultats récents ont été obtenus en s'écartant du site de Délos, trop étroit pour une reconstitution pleine des événements survenus au cours de la phase terminale de la montée post-glaciaire. En effet, l'étude et les datations accomplies sur les beachrocks de l'archipel délien ont permis d'apporter des repères chronologiques nouveaux sur les variations relatives du niveau marin, en complément des informations fournies par l'archéologie. Cependant, la précision de ces informations n'est pas toujours satisfaisante en regard de l'échelle de temps (quelques décennies, voire quelques siècles)

à laquelle les reconstitutions sont proposées. Pour parvenir à cette amélioration, il faudrait progresser dans les techniques de datation au Carbone 14. Il faudrait notamment parvenir à une extraction et une datation des différents faciès de ciments parfois présents dans un affleurement de beachrock, qui témoignent de l'histoire de sa genèse. Ce protocole n'est pour l'instant pas envisageable pour les beachrocks de l'archipel délien, dont l'ensemble des ciments a une épaisseur totale rarement supérieure à 50µm. De telles datations permettraient aussi de mieux connaître la chronologie relative du beachrock et, par conséquent, les durées des phases de stabilisation du niveau marin relatives nécessaires à la genèse de ces structures.

Par ailleurs, les variations relatives du niveau marin depuis l'Antiquité, et surtout au sein même de cette période, seraient mieux connues en multipliant les études, dans la lignée de celles de BLACKMAN (1973), MORHANGE *et al.* (2001), GOIRAN et MORHANGE (2003), MARRINER et MORHANGE (2007), de sites portuaires antiques méditerranéens. Ceux-ci pourraient être localisés dans un contexte tectonique comparable à celui de l'archipel délien, afin de faciliter les comparaisons de l'évolution des lignes de rivages et de l'anthropisation des espaces littoraux, ou dans un contexte différent afin de mieux déterminer l'influence des moteurs eustatiques et crustaux sur l'élévation du niveau marin relatif (FOUACHE et DALONGEVILLE, 2001 ; FOUACHE, 2007).

## 4 - Conclusion

La géomorphologie sous-marine a mis en évidence, dans l'archipel délien, trois niveaux marins (relatifs) bien marqués, à -3,60m (vers 2000 av. J.-C.), -2,50m (vers 400 av. J.-C.) et -1m (vers 1000 ap. J.-C.), matérialisés sous forme de beachrocks. Cela indique que la montée de la ligne de rivage, au cours des 4000 dernières années, s'est effectuée de manière saccadée tenant à des crises tectoniques de subsidence séparées par des phases de stabilisation, le tout masquant une eustasie ténue. La Délos antique vit sa période de grande prospérité au cours d'une assez longue phase de stabilisation de la ligne de rivage puisque, repérée dès 400 av. J.-C., elle semble perdurer au moins jusqu'au cours du 1<sup>er</sup> siècle av. J.-C. (et probablement durant le début de la période romaine). En effet, aucun aménagement urbain hellénistique du domaine littoral ne paraît répondre à une exigence liée à une montée rapide ou même brutale du niveau marin. Toutefois, seule une étude fine du domaine archéologique, plus particulièrement du port antique de Délos, faisant appel tant à des sondages profonds, voire des carottages, qu'à l'archéologie sous-marine pourrait apporter les preuves d'une modification (verticale) de la ligne de rivage dans une fourchette chronologique aussi courte.

## 5 - Références

- ARDAILLON É., (1896), Rapport sur les fouilles du port de Délos, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 20, p. 428-445.
- BERNIER P., DALONGEVILLE R., (1996), Mediterranean coastal changes recorded in beachrock cementation, *Zeitschrift für Geomorphologie supplement band*, n° 102, p. 185-198.
- BERNIER P., DALONGEVILLE R., DUCHÊNE H., ROUGEMONT G., (1987), Les littoraux de Délos et de Rhénée, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 111, 2, p. 655.



- BLACKMAN D.-J., (1973), Evidence of sea level change in ancient harbors and coastal installations, *Colston Papers*, n° 32, p. 115-139.
- BRUNEAU P., (1981), Deliaça: 36, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 105, p. 107-113.
- BRUNEAU P., BRUNET M., FARNOUX A., MORETTI J.-C., (1996), *Délos : île sacrée et ville cosmopolite*, Paris, Éd. CNRS et Paris-Méditerranée, 124 p.
- BRUNEAU P., DUCAT J. (éds), avec la coll. de BRUNET M., FARNOUX A., MORETTI J.-C., (2005), *Guide de Délos 4<sup>e</sup> édition*, Athènes, École française d'Athènes, 339 p.
- CAYEUX L., (1907), Fixité du niveau de la Méditerranée à l'Époque historique, *Annales de Géographie*, n° 16, p. 107-109.
- CAYEUX L., (1911), *Description physique de l'île de Délos, Exploration archéologique de Délos IV*, Paris, Fontemoing, 216 p.
- CAYEUX L., (1914), Les déplacements de la mer à l'époque historique, *Revue Scientifique*, n° 19, p. 577-586.
- DALONGEVILLE R., (1986), *Formes de corrosion et de construction organogène des littoraux actuels calcaires de Méditerranée*, Thèse Doctorat d'État, Université de Brest, 2 vol., 530 p.
- DALONGEVILLE R., BERNIER P., PRIEUR A., LE CAMPION T., (2000), Les variations récentes de la ligne de rivage à Chypre, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 13-20.
- DALONGEVILLE R., FOUACHE É., (2005), *Les variations de la ligne de rivage en mer Méditerranée orientale du Pléistocène supérieur et de l'Holocène récent : réflexions, Paléorient*, n° 31/1, p. 27-38.
- DALONGEVILLE R., LABOREL J., PIRAZZOLI P.-A., SANLAVILLE P., ARNOLD M., BERNIER P., ÉVIN J., MONTAGGIONI L.-F., (1993), Les variations récentes de la ligne de rivage sur le littoral syrien, *Quaternaire*, n° 4, 1, p. 45-53.
- DALONGEVILLE R., SANLAVILLE P., (1984), Essai de synthèse sur le beach-rock, In: *Le beach-rock*, actes du colloque de Lyon, nov. 1983, coll. Travaux de la Maison de l'Orient, n° 8, Paris, De Boccard, p. 161-167.
- DESRUÉLLES S., (2004), *L'eau dans l'ensemble insulaire cristallin méditerranéen Mykonos-Délos-Rhénée (Cyclades, Grèce) et sa gestion dans la ville antique de Délos*, thèse de Géographie physique, Université de Paris-Sorbonne, 457 p.
- DESRUÉLLES S., FOUACHE É., PAVLOPOULOS K., DALONGEVILLE R., PEULVAST J.-P., COQUINOT Y., POTDEVIN J.-L., (2004), Beachrocks et variations récentes de la ligne de rivage en Mer Égée et dans l'ensemble insulaire Mykonos-Délos-Rhénée (Cyclades, Grèce), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 5-18.
- DESRUÉLLES S., FOUACHE É., DALONGEVILLE R., PAVLOPOULOS K., PEULVAST J.-P., COQUINOT Y., POTDEVIN J.-L., HASENOHR C., BRUNET M., MATHIEU R., NICOT É., (sous presse), Sea-level changes and shoreline reconstruction in the ancient city of Delos (Cyclades, Greece). *Geodynamica Acta*.
- DUCHÈNE H., BERNIER P., DALONGEVILLE R., (1995), « Les variations récentes de la ligne de rivage à Délos et à Rhénée », *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 119, 2, p. 699-701.
- DUCHÈNE H., DALONGEVILLE R., BERNIER P., (2001), Transformations du paysage naturel et évolution du littoral dans l'archipel délien, in: Duchêne H., Fraisse P., (éds), *Les paysages portuaires de la Délos antique: recherches sur les installations maritimes, commerciales et urbaines du littoral délien*, *Exploration archéologique de Délos XXXIX*, Athènes, École française d'Athènes, p. 165-176.
- DUCHÈNE H., FRAISSE P. (éds), (2001), *Les paysages portuaires de la Délos antique: recherches sur les installations maritimes, commerciales et urbaines du littoral délien*, *Exploration archéologique de Délos XXXIX*, Athènes, École française d'Athènes, 192 p.
- FACORELLIS G., MANIATIS I., (2002), Radiocarbon dating of the neolithic settlement of Ftelia on Mykonos: calculation of the marine reservoir effect in the Cyclades, In: SAMPSON A., (Ed.), *The neolithic settlement at Ftelia, Mykonos, Rhodes* Publication of the University of the Aegean, p. 309-315.
- FLEMMING N.-C., (1969), « Archaeological evidence for eustatic change of sea level and earth movements in the Western Mediterranean during the last 2000 years », Boulder, *The Geological Society of America Special Paper*, n° 109, 125 p.
- (1978), « Holocene eustatic changes and coastal tectonics in the northeast Mediterranean: implications for model of crustal consumption », *Philosophical transactions-Royal Society*, vol. A 289, n° 1362, p. 405-458.
- FOUACHE É., (2007), *10 000 ans d'évolution des paysages en Adriatique et en Méditerranée orientale (géomorphologie, paléoenvironnements, histoire)*, TMO 45, Lyon, Maison de l'Orient Méditerranéen-Jean Pouilloux, 223 p.
- FOUACHE É., DALONGEVILLE R., (2001), Problématique et méthodes d'étude des lignes de rivage holocènes le long de l'arc dinaro-helléno-taurique, *Topoi*, n° 11, 2, p. 579-597.
- FOUACHE É., DESRUÉLLES 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*, n° 137, p. 37-43.
- GOIRAN J.-P., MORHANGE C., (2003), Géoarchéologie des ports antiques en Méditerranée: problématiques et études de cas, *Topoi*, n° 11 (2001), p. 647-669.
- HASENOHR C., (1996), Agora des Compétaliastes, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 120, 2, p. 901-910.
- HASENOHR C., (2002), L'Agora des Compétaliastes et ses abords à Délos: topographie et histoire d'un secteur occupé de l'époque archaïque aux temps byzantins, *Revue des Etudes Anciennes*, n° 104, p. 85-110.



- HASENOHR C., (sous presse), L'Agora des Compétaliastes, rapport sur les campagnes 1999-2003, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 128-129, 2.
- HEJL E., RIEDL H., WEINTGARTNER H., (2002), Post-plutonic unroofing and morphogenesis of the Attic-Cycladic complex (Aegea, Greece), *Tectonophysics*, n° 349, p. 37-56.
- HESNARD A., (2005), À Johannès Pâris : en rade à Délos, un siècle après, *Topoi*, n° 12/13, p. 803-810.
- HUGHEN K.-A., BAILLIE M.-G.-L., BARD E., BECK A.-J.-W., BERTRAND C.-J.-H., BLACKWELL P.-G., BUCK C.-E., BURR G.-S., CUTLER K.-B., DAMON P.-E., EDWARDS R.-L., FAIRBANKS R.-G., FRIEDRICH M., GUILDERSON T.-P., KROMER B., MC CORMAC G., MANNING S., BRONK RAMSEY C., REIMER P.-J., REIMER R.-W., REMMELE S., SOUTHON J.-R., STUIVER M., TALAMO S., TAYLOR F.-W., VAN DER PLICHT J., WEYHENMEYER C.-E., (2004), MARINE04 marine Radiocarbon age calibration 26-0 ka BP, *Radiocarbon*, n° 46, p.1059-1086.
- LABOREL J., MORHANGE C., LAFONT R., LE CAMPION J., LABOREL-DEGUEN F., SARTORETTO S., (1994), Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica, *Marine Geology*, n° 120, p. 203-223.
- LUCAS I., (1999), *Le pluton de Mykonos-Délos-Rhénée (Cyclades, Grèce) : un exemple de mise en place synchrone de l'extension crustale*, Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 491 p.
- MARRINER N., MORHANGE C., (2007), Geoscience of ancient Mediterranean harbours, *Earth-Science Reviews*, n° 80, 3-4, p.137-194.
- MARTIN J.-M. (Ed.), (2001), *Zones côtières littorales dans le monde méditerranéen au Moyen Âge : défense, peuplement, mise en valeur*, Rome, École française de Rome, Madrid, Casa de Velázquez, 578 p.
- MORHANGE C., LABOREL J., HESNARD A., (2001), Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbour of Marseilles, Southern France, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, n° 166, p.319-329.
- MORHANGE C., PIRAZZOLI P., MARRINER N., MONTAGGIONI L.-F., NAMMOUR T., (2006), Late Holocene relative sea-level changes in Lebanon, Eastern Mediterranean, *Marine Geology*, n° 230, p. 99-114.
- NÉGRIS P., (1903), Régression et transgression de la mer depuis l'époque glaciaire jusqu'à nos jours, *Revue Universitaire des Mines*, n° 3, p. 249-281.
- NÉGRIS P., (1904)a, Vestiges antiques submergés, *Mitteilungen des Deutschen Archaeologischen Instituts*, n° 29, p.340-363.
- NÉGRIS P., (1904)b, Nouvelles observations sur la dernière transgression de la Méditerranée, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, II, n° 139, p.379-381.
- NÉGRIS P., (1904)c, Étude concernant la dernière régression de la mer (part. I et II), *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4<sup>e</sup> série, tome IV, p. 156-167 et 591-606.
- PÂRIS J., (1916), Contributions à l'étude des ports antiques du monde grec, II. Les établissements maritimes de Délos, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, n° 40, p. 5-73.
- PIPER D.-J.-W., PERISSOTARIS C., (2003), Quaternary neotectonics of the South Aegean Arc, *Marine Geology*, n° 198, p. 259-288.
- PIRAZZOLI P.-A., (1986), The Early Byzantine Tectonic Paroxysm, *Zeitschrift für Geomorphologie Supplement Band*, 62, p. 31-49.
- PIRAZZOLI P.-A., (1987), Sea-level changes in the Mediterranean, In: M. J. Tooley, I. Shennan, (Eds), *Sea-level changes*, Oxford, Basil Blackwell, p. 152-181.
- PIRAZZOLI P.-A., (1997), Mobilité verticale des côtes méditerranéennes à la fin de l'Holocène : une comparaison entre données de terrain et modélisation isostatique. In: Briand F., Maldonado A., (Eds), Transformations and evolution of the Mediterranean Coastline, Monaco, *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco*, n° spécial 18, p. 15-33.
- SANLAVILLE P., (1977), *Étude géomorphologique de la région littorale du Liban*, Thèse doctorat d'État, Université de Brest, Beyrouth, Publ. Univ. Libanaise, 2 vol., 859 p.
- SANLAVILLE P., DALONGEVILLE R., BERNIER P., ÉVIN J., (1997), The Syrian coast: a model for Holocene coastal changes, *Journal of Coastal Research*, n° 13, 2, p. 385-396.

