Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de MéditerranéeMarseille, Pouzzoles, Cumes, Kition et Sidon

Christophe Morhange

▶ **To cite this version:**

Christophe Morhange. Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de MéditerranéeMarseille, Pouzzoles, Cumes, Kition et Sidon. Géomorphologie. Université de Provence - Aix-Marseille I, 2001. tel-00269281

HAL Id: tel-00269281
https://theses.hal.science/tel-00269281

Submitted on 2 Apr 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MOBILITE LITTORALE DE QUELQUES SITES PORTUAIRES ANTIQUES DE MEDITERRANEE

MARSEILLE, POUZZOLES, CUMES, KITION ET SIDON

DIPLOME D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

présenté par

Christophe Morhange

CEREGE

Équipe Géomorphologie et Tectonique

Institut Universitaire de France

Faculté des Lettres et des Sciences Humaines

UFR des sciences géographiques

Université Aix-Marseille 1

Qu'est-ce que la Méditerranée ? Mille choses à la fois. Non pas un paysage, mais d'innombrables paysages
Non pas une mer, mais une succession de mers. Non pas une civilisation, mais des civilisations entassées
les unes sur les autres. Voyager en Méditerranée, c'est trouver le monde romain au Liban,
la préhistoire en Sardaigne, les villes grecques en Sicile, la présence arabe en Espagne,
l'islam turc en Yougoslavie. C'est rencontrer de très vieilles choses, encore vivantes,
qui côtoient l'ultra-moderne.
Tout cela, parceque la Méditerranée est un très vieux carrefour.
Dans son paysage physique comme dans son paysage humain,
la Méditerranée carrefour, la Méditerranée hétéroclite se présente
dans nos souvenirs comme une image cohérente, comme un système où tout se mélange
et se recompose en une unité originale.

Fernand Braudel, 1977

Diplôme d'habilitation à diriger des recherches

présenté par

Christophe Morhange

CEREGE
Équipe Géomorphologie et Tectonique

Institut Universitaire de France

UFR de Géographie de l'Université de Provence
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines
Université de Provence

Diplôme soutenu le 2001 devant le jury suivant :

Mireille PROVANSAL, géomorphologue, Professeur, Université de Provence, U.F.R. de géographie, CEREGE, Aix-en-Provence : *directeur*

Paul AMBERT, géomorphologue, Directeur de Recherches au CNRS, UMR 150, Centre d'Anthropologie, Université de Toulouse-Le-Mirail : *rapporteur*

Paolo Antonio PIRAZZOLI, géomorphologue, Directeur de recherches au C.N.R.S , Laboratoire de géographie physique Pierre Birot, UMR 8591, Meudon : *rapporteur*

Jean VAUDOUR, géomorphologue, Professeur émérite, Université de Provence, U.F.R. de géographie, Aix-en-Provence : *rapporteur*

Edward J. ANTHONY, géomorphologue, Professeur, Département de géographie, Université du Littoral, Dunkerque : *examinateur*

Philippe LEVEAU, archéologue, Professeur, département d'Histoire de l'Art et des Sciences de l'Antiquité, Université de Provence, MMSH, Aix-en-Provence : *examinateur*

Plan du diplôme

Remerciements P. 1

Introduction P. 6

Premier chapitre : Paléobathymétrie des ports antiques de Pouzzoles et de Marseille, éléments d'historiographie critique P. 12

I. Rappels historiques et positions scientifiques des débats P. 12

I. 1. Historique des restitutions, des premiers voyageurs aux grandes synthèses holistiques du XIX° siècle P. 12

I. 2. Impacts des premières restitutions P. 14

I. 3. Positions scientifiques des débats P. 17

II. Historiographie des variations du niveau de la mer à Pouzzoles P. 19

II. 1. Le site de Pouzzoles P. 19

II. 2. Progrès récents de la recherche P. 35

III. Progrès de la connaissance sur la mobilité des lignes de rivage du Vieux Port. Etat de la question au début des fouilles archéologiques en 1992 P. 41

III. 1. Eléments de "préhistoire" de l'archéologie marseillaise P. 42

III. 2. Travaux postérieurs à la Seconde Guerre Mondiale P. 45

III. 2. 1. Quartier de la Vieille Poissonnerie P. 45

III. 2. 2. Coupe de la plage de la rue de l'Araignée P. 50

III. 2. 3. Quai de la consigne de Saint-Jean P. 50

III. 2. 4. Equipements portuaires au sud de la place Vivaux P. 55

III. 3. Travaux en relation avec le chantier de La Bourse P. 57

III. 3. 1. Surinterprétation fixiste d'Euzennat et Salviat P. 57

III. 3. 2. Argumentation des mobilistes P. 57

Conclusions du premier chapitre P. 64

Deuxième chapitre: Méthodologie et principaux résultats P. 66

Introduction P. 66

I. Mobilité relative verticale du niveau de la mer P 68

I. 1. Indicateurs biologiques P. 69

I. 1. 1. Corniches à *Lithophyllum lichenoides* P. 71

I. 1. 1. 1. Rappels méthodologiques P. 71

I. 1. 1. 2. Principaux résultats P. 74

I. 1. 1. 3. Limites et perspectives P. 78

I. 1. 2. Bioconstructions à vermets P. 79

I. 1. 2. 1. Rappels P. 79

I. 1. 2. 2. Validation de la méthode P. 82

I. 1 3. Limites des peuplements sur structures archéologiques P. 88

I. 1. 3. 1. Rappels méthodologiques P. 88

I. 1. 3. 2. Démarche et applications P. 89

I. 2. Indicateurs sédimentologiques P. 96

I. 2. 1. Indicateurs biosédimentaires P. 96

I. 2. 2. Indicateurs granulométriques P. 99

I. 2. 3. Indicateurs exoscopiques P. 102

II. Impacts d'origine anthropique P. 108

II. 1. Rappels historiographiques P. 108

II. 2. Impact géomorphologique P. 109

II. 2. 1. Problèmes de détermination des lignes de rivage P. 111

II. 2. 2. Application de la stratigraphie séquentielle à l'étude des milieux portuaires P. 116

II. 3. Exemples d'impacts granulométriques P. 121

II. 4. Exemples d'impact sur la vitesse du détritisme P. 123

II. 5. Exemples d'impacts biologiques P. 125

II. 5. 1. Arrêt de la bioaccumulation de maërl P. 125

II. 5. 2. Contenu malacologique des sédiments P. 128

Conclusion P. 129

Troisième chapitre : principaux programmes de recherches et encadrement d'étudiants P. 133

I. Principaux programmes P. 133

II. Direction d'étudiants en maîtrise, DEA, DESS P. 138

Conclusion générale P. 146

Références bibliographiques P. 149

REMERCIEMENTS

Marseille, Cumes, Pouzzoles, Naples, Kition, Alexandrie, Byblos, Sidon..., sites magiques, villes parfois désertées ou métropoles millionnaires, capitales de Méditerranée, escales et ports antiques, ces lieux ont fait l'objet de mes recherches depuis quelques années. Des rencontres, des liens d'amitié, mais aussi le hasard m'ont guidé vers ces destinations prometteuses. Au terme de ce premier bilan, il m'est agréable de remercier un nombre important de personnes qui m'ont aidé.

Pour les côtes rocheuses de Provence, de Grèce ou de Campanie, les intuitions et l'expérience de Jacques Laborel (Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos, Université de la Méditerranée, Marseille Luminy) ont été essentielles. Dans le cadre de différents projets européens, pilotés par Mireille Provansal ou Paolo Pirazzoli, nous avons pu développer des méthodes biologiques précises de mesure des variations relatives du niveau de la mer. J'ai toujours beaucoup apprécié les discussions avec Jacques Collina Girard (MMSH, LAPMO, Université de Provence) sur les replats d'érosion de Provence et de Corse et Stéphane Sartoretto (Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos, Université de la Méditerranée, Marseille Luminy), spécialiste des concrétions coralligènes.

En ce qui concerne les sites archéologiques de la rive nord du Vieux port de Marseille, je tiens à remercier particulièrement Antoinette Hesnard (CNRS, CCJ, MMSH, Aix) pour sa confiance. Assisté par Michel Pasqualini (SRA PACA, Aix) dans le cadre du chantier Jules Verne, puis de Frédéric Conche (AFAN) pour l'opération de la place Villeneuve Bargemon, nous avons pu faire de ces deux importants chantiers urbains de sauvetage un "laboratoire pluri-disciplinaire". Que toutes les équipes de fouille trouvent ici l'expression de ma reconnaissance, en particulier les topographes, les dessinateurs, les photographes et les responsables de secteur. Les organismes sollicités ont été nombreux. La liste suivante mentionne les principaux :

- Atelier du Patrimoine de la ville de Marseille, particulièrement L.-F Gantes et M. Bouiron, Directeur des chantiers archéologiques de la place de Gaulle et de l'Alcazar-Providence.
- B.R.G.M. de P.A.C.A à Marseille Luminy.

- Centre Camille Jullian (MMSH, Université de Provence), particulièrement les bibliothécaires.
- Département de Géologie et d'Océanographie de l'Université de Bordeaux I.
- Direction Régionale des Antiquités de P.A.C.A (SRA) à Aix.
- Direction Régionale des Antiquités Sous-marines à Marseille.
- Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos de Marseille-Luminy, particulièrement M. Verlaque.
- Laboratoire de Géologie Appliquée de l'Université de Provence, particulièrement Cl. Arlaque.
- Laboratoire de Géologie Marine et de Sédimentologie Appliquée de Marseille-Luminy, particulièrement J.-J. Blanc et Cl. Degiovani. Je n'oublie pas Pierre Weydert, qui aurait tant aimé continuer notre collaboration.
- Service Commun de Microscopie Electronique et de Microanalyse de l'Université de Provence, particulièrement R. Nottonier.
- Station Marine d'Endoume, Centre Océanologique de Marseille, tout particulièrement Y. Bentozella.
- Capitainerie du Vieux Port de Marseille.

Sur les sites archéologiques napolitains (Pouzzoles et Cumes), j'ai eu la chance de travailler au sein de l'équipe archéologique franco-italienne de fouilles du port antique de Cumes (projet européen Kyme), avec Michel Bats puis Jean-Pierre Brun (Centre Jean Bérard, Naples) comme directeurs pour la partie française, assistés de M. Pasqualini. Nous avons pu bénéficier de nombreuses missions sur les différents terrains et du financement des datations ^{14}C. Nous tenons à remercier le personnel du Centre Jean Bérard pour son efficacité (particulièrement Maria Francesca, Tonia et la bibliothécaire Maria Giovanna Canzanella). Nous avons beaucoup apprécié l'accueil que nous ont réservé nos collègues italiens des Universités Frédéric II et de l'Orientale, particulièrement dans les départements de Géographie, des Sciences de la Terre (L. Brancaccio et A. Cinque), de Zoologie (G. Russo de la Station Zoologique A. Dhorn), de Paléontologie (particulièrement l'équipe du Professeur Bonaduce et de D. Barra), de Géophysique et Volcanologie (particulièrement G. Orsi et G. Luongo) et d'Archéologie (B. D'Agostino). La liste suivante mentionne les principaux organismes et établissements sollicités :

- Bibliothèque de la Stazione Zoologica Anton Dohrn (Naples).
- Soprintendenza archeologica di Napoli-Caserta (Naples).
- Archivio di Stato (Naples).
- Biblioteca della Storia della Patria (Naples).
- CETE Méditerranée à Aix-en-Provence (en particulier M. Guillemard qui a réalisé les carottages de la campagne de 1996).
- Istituto Idrografico della Marina (Naples).
- Osservatorio Vesuviano (Naples), particulièrement L. Civetta (Directrice), M. Di Vito, F. Giudicepietro et G. Mastrolorenzo.
- Aeromap data SpA (Pouzzoles) pour les photographies aériennes.
- Société Tecno In (Pouzzoles) pour les carottages de la mission 1997 (en particulier L. Amato).
- Commune di Pozzuoli, Ufficio tecnico, Ufficio Beni Culturale, Ufficio del Bradisismo (Pouzzoles).
- Atelier de photographies Manduca (Pouzzoles).

Nous tenons à remercier M. Iaccarino (Pouzzoles) pour l'aimable prêt de quelques cartes postales anciennes des falaises de Rione Terra. Sans la complicité de la population du Vieux Pouzzoles, nos recherches auraient été beaucoup plus difficiles.

Sur le site archéologique de Bamboula, à Larnaca (Chypre), j'ai eu le privilège de travailler sous la direction de Marguerite Yon, directrice du chantier archéologique de Kition-Bamboula (Maison de l'Orient Méditerranéen, Institut F. Courby, Lyon). J'ai pu travailler dans de bonnes conditions avec Jean-Christophe Sourisseau (Centre Camille Jullian, Université de Provence puis Ecole Française de Rome), responsable de la fouille portuaire, et Olivier Callot (Maison de l'Orient Méditerranéen), architecte et topographe. Je remercie la Direction des Antiquités de la République de Chypre, sous la direction de Monsieur Dimos Christou, ainsi que Monsieur Andreas Savva, directeur du district archéologique de Larnaca, qui a simplifié efficacement tous les problèmes administratifs liés au transfert d'une tonne de sédiments vers Marseille. Nous remercions pour son travail de carottages efficace, et gratuit, le Cyprus Geological Survey (G. Constantinou, Directeur ; G. Petrides et E. Kiriakou, géologues). La liste suivante mentionne les principaux organismes et établissements sollicités :

- Ambassade de France à Nicosie, en particulier M. Capdevielle, conseiller culturel.
- Maison de l'Orient Méditerranéen (Lyon).
- Fisheries Department à Nicosie (N. Hadjistephanou).
- Cyprus Meteorological Service à Nicosie (L. Hadjioannou).
- Cyprus American Research Institute, en particulier la bibliothèque Claude Shaeffer.
- Cyprus Port Authority (Capt. Demetris Petrou).
- Société Petrolina-Bridgestone à Larnaca (en particulier M. Kallis Lefkaritis, Directeur).
- Société Aphrotextile à Larnaca.

Sur les sites portuaires libanais, sans l'expérience d'Honor Frost (chercheur libre, Londres) et la pugnacité de Claude Doumet-Serhal (University College, Londres et CEREPHOR, URA 995, CNRS, Paris), rien n'aurait été possible dans ce pays en reconstruction. Nous avons pu en 1998-2000 travailler sur quatre principaux sites : à Byblos dans le cadre du programme du patrimoine Mondial de l'Humanité de l'UNESCO et à Sidon grâce au programme du Bristish Museum (Western Asiatic Department, J. Curtis dir.) et au financement de l'association "The Lebanese Bristish Friends of the National Museum" relayé par le programme franco-libanais CEDRE n° 99 Eb F36/L6 ("5000 ans de dégradations de l'environnement côtier dans quatre ports antiques du Liban : Sidon, Byblos, Beyrouth et Tyr") à partir de l'an 2000 dans l'étude de Beyrouth et Tyr. Paul Sanlaville nous a toujours chaleureusement conseillé et sa thèse a été une mine de renseignements sur le terrain.

Je tiens enfin à remercier chaleureusement :

Paolo Pirazzoli pour ses conseils et sa bienveillance.

Michel Bourcier, malacologue, Station Marine d'Endoume, Centre Océanologique de Marseille, qui a bien voulu déterminer les principales faunes marines rencontrées.

Pierre Carbonel, micropaléontologue, Laboratoire de Micropaléontologie de l'Université de Bordeaux, qui a déterminé les faunes d'ostracodes.

Georges Clauzon, géomorphologue, CEREGE, Université de Provence, qui m'a initié à la géomorphologie puis à la stratigraphie séquentielle.

Joël Le Campion, biologiste (Station Marine d'Endoume, Université de la Méditerranée, Marseille Luminy), qui a déterminé les foraminifères jusqu'à la dernière semaine avant son départ en retraite.

Christine Oberlin, Laboratoire de datation par le radiocarbone, Université Claude Bernard, Lyon, qui a effectué les mesures ^{14}C et discuté longuement les résultats.

Patrick Pentsch, cartographe à l'Institut de Géographie d'Aix, qui a redessiné avec soin toutes les figures. Son aide, comme toujours, a été capitale.

André Prone, géologue, Laboratoire de Chimie de l'Environnement de l'Université de Provence, qui m'a fait découvrir les possibilités du MEB et de l'étude exoscopique des quartz.

Au laboratoire de sédimentologie du CEREGE, le travail de mes étudiants de Maîtrise et de DEA en géographie physique a été une aide technique très importante. Je pense particulièrement à F. Blanc, C. Laverdure et S. Schmitt pour les fouilles marseillaises, à J.-P. Goiran et W. Mangematin pour le site de Kition-Bamboula, à L. Vecchi, P. F. Blanc et S. Francou pour les carottes de Cumes, à O. Dubuquoy, N. Prunet et E. Ribes pour le port antique de Sidon.

Enfin, je remercie les bibliothécaires qui m'ont beaucoup aidé dans mes requêtes bibliographiques, tout particulièrement Y. Bentosella (Station Marine d'Endoume), B. Crubezy (CEREGE), M. Ginoux puis C. Sevin (UFR de géographie) et toute l'équipe de la bibliothèque de l'Institut Océanographique de Monaco.

Cette recherche est une contribution aux programmes de recherche du PICG 367 (Late Quaternary coastal records of rapid change) et 437 (Coastal environmental change during sea-level highstands) et au Research Topic 4 (Past settlement/sea-level) de la commission de l'INQUA (Sea-Level Changes and Coastal Evolution).

Cette recherche a été partiellement financée par :

- Le projet de recherche européen "*Climate change, sea level rise and associated impact in Europe*", sous la direction de D. E. Smith, Coventry University. programme : *Sea-level changes in seismic area* (dir. P. Pirazzoli, Paris) et *Biological indicators of relative sea-level rise* (dir. J. Laborel, Marseille).

- Le projet européen "*The impact of climatic change and relative sea-level rise on the environmental ressources of european coast*", sous la direction de R. J. Devoy, Cork University. Programme : *Impacts des variations relatives du niveau marin sur l'environnement littoral en Provence occidentale* (dir. M. Provansal, Aix).

- Les chantiers archéologiques de la place Jules Verne et Villeneuve Bargemon à Marseille, Kyme (MAE et CE) en Campanie et Bamboula (MAE) à Chypre.

- Le programme franco-libanais CEDRE (n° 99 Eb F36/L6) sous ma direction avec M. Beydoun (Université Libanaise, Beyrouth) depuis 2000.

- L'association "The Lebanese Friends of the National Museum" (Londres).

- L'équipe Géomorphologie et Tectonique du CEREGE (CNRS).

- L'UFR de Géographie de l'Université de Provence.

Sans le soutien et les multiples conseils de Mireille Provansal et de Jacques Laborel, ce travail n'existerait pas. A tous, je renouvelle mes remerciements les plus chaleureux, particulièrement ma relectrice Odile Lounnas.

Introduction

Tout a commencé sur les côtes rocheuses d'une île grecque : Zanthe. Paolo Pirazzoli, avec qui j'avais eu des relations épistolaires lors de mes séjours dans les îles tropicales de Polynésie et de La Réunion, m'avait invité à participer à une mission de géomorphologie dans les îles Ioniennes durant l'été 1991 afin de me familiariser avec les techniques d'étude des littoraux soulevés de Grèce et de me faire connaître un biologiste marin : Jacques Laborel. Cette rencontre fut décisive. Elle explique que je me sois spécialisé dans l'approche biologique de l'étude des littoraux, qu'il s'agisse de la recherche d'indicateurs paléobathymétriques ou de la détermination des biocénoses afin de mieux préciser les milieux de sédimentation étudiés.

Cela motiva, dans le cadre de ma thèse, deux thèmes principaux (Morhange, 1994) :

- La montée relative du niveau de la mer Méditerranée depuis 6000 ans, par l'étude et la datation de bioconstructions littorales sur les côtes de Provence et de Corse. En effet, les indicateurs biologiques apportent une bien plus grande précision dans les mesures paléobathymétriques que les traditionnels marqueurs géomorphologiques que sont les formes d'érosion indatables comme les encoches (Dalongeville, 1986 ; Pirazzoli, 1986b) ou les formations superficielles indurées plus qu'approximatives dans la détermination des paléoniveaux marins, comme les affleurements de beach-rock (Dalongeville et Sanlaville, 1984 ; Bernier et Dalongeville, 1996 ; Fouache et Dalongeville, 1998 ; Neumeier *et al.*, 2000 par exemple). La précision des bioindicateurs marins est le corollaire d'un étagement bionomique extrêmement précis sur substrat dur et en domaine microtidal, grâce à la détermination et à la comparaison des limites actuelles d'étage avec les limites supérieures subfossiles des peuplements marins.

- L'étude sédimentologique des faciès de colmatage de la rive nord du Vieux Port de Marseille m'a permis, dans un second temps, de préciser grâce aux bioindicateurs le type de mode plus ou moins calme des milieux étudiés, les degrés de confinement, ainsi que les impacts de l'anthropisation puis de l'urbanisation coloniale, ce que n'auraient jamais pu apporter les seules classiques analyses granulométriques, par exemple.

Grâce à l'appui et à l'engagement de Mireille Provansal dans l'étude intégrée des paléoenvironnements provençaux en collaboration avec des archéologues travaillant sur les époques historiques, j'ai eu l'opportunité de participer dès 1992 à deux fouilles archéologiques importantes des rives nord et est du Lacydon, la première dirigée par Antoinette Hesnard, la seconde par Marc Bouiron. Ces fouilles m'ont alors permis d'appliquer les méthodes d'analyse biologique mises au point sur les côtes rocheuses dans le cadre de bassins portuaires, les structures archéologiques ayant alors joué le rôle de falaise.

J'ai pu aussi développer des techniques d'étude des sédiments meubles, en me concentrant principalement sur les indicateurs biologiques (surtout la macrofaune et la microfaune). L'apport des fouilles s'est malheureusement trop souvent limité à des datations archéologiques précises, difficilement accessibles par la méthode du radiocarbone (problème de l'âge réservoir de l'eau de mer de l'océan mondial et de ses variations spatiales importantes ; Morhange et Oberlin (2000), pour le cas de Marseille ; Siani *et al.*, (2000), pour la Méditerranée). Le déroulement des fouilles par décapages successifs en unités stratigraphiques a aussi permis un relevé très fin (parfois en trois dimensions) des différents corps sédimentaires en insistant sur la limite supérieure de ces unités. Nous avons donc pu appréhender le problème de la vitesse du détritisme en un lieu géomorphologique de premier intérêt : le niveau de base.

Mes recherches actuelles, comme ma thèse, se situent donc au carrefour de plusieurs problématiques, géomorphologique, biologique et archéologique. En effet, plusieurs thèmes ont guidé ces études de la mobilité des littoraux de quelques ports antiques de Méditerranée : les variations relatives verticales du plan d'eau, les modifications latérales des lignes de rivage dans le cadre d'une anthropisation croissante, ainsi que les dynamiques paléoenvironnementales. Cette recherche se situe donc au contact des Sciences naturelles et de l'Histoire (Guilaine, 1991 ; Leveau et Provansal, 1993a ; Leveau, 1999). Elle s'inscrit dans le cadre d'une recherche pluridisciplinaire par la mise en œuvre de marqueurs différents des variations des milieux littoraux (approches biologique, sédimentologique, archéologique, géochimique...).

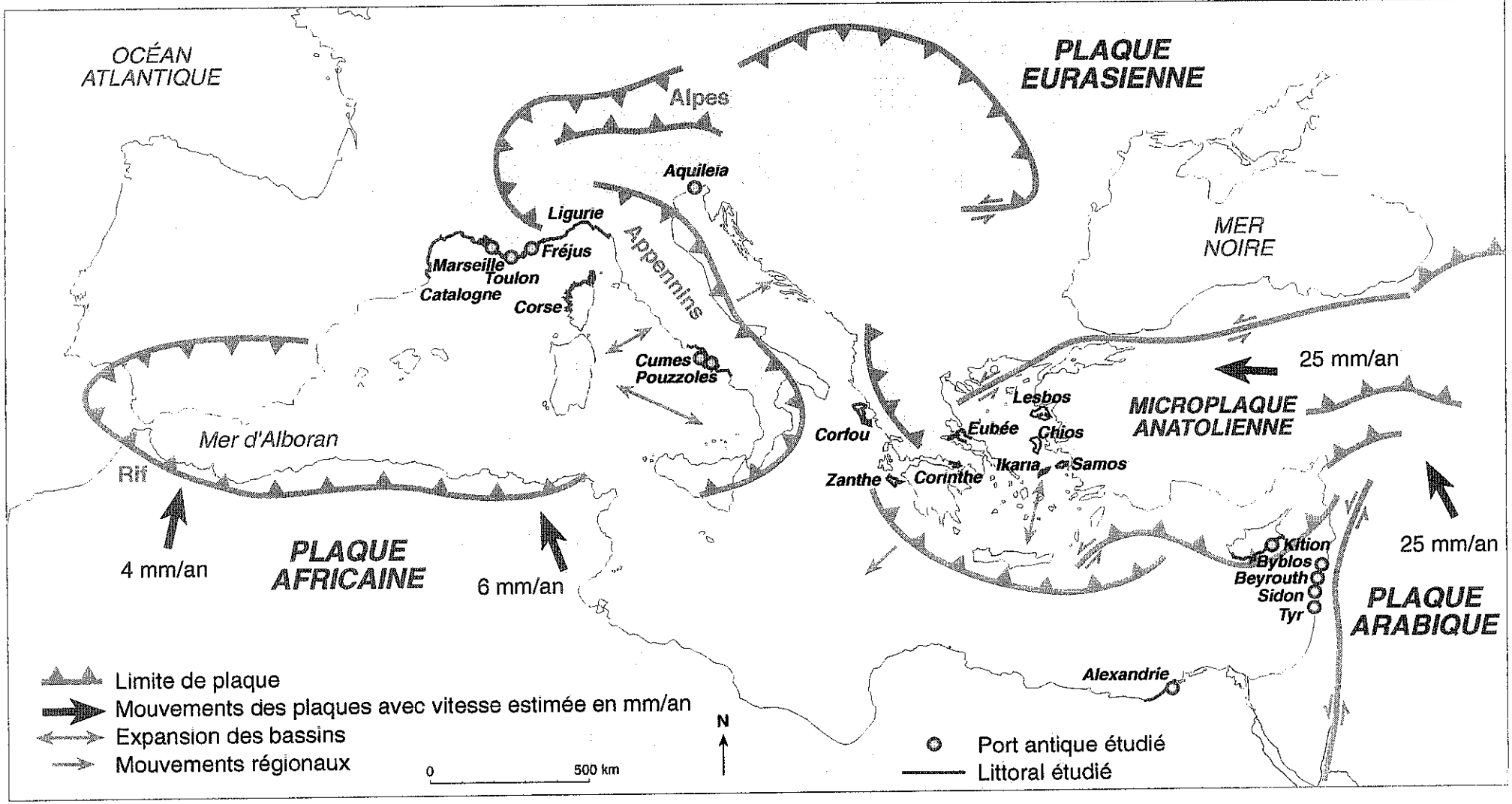
Depuis une dizaine d'années, quatre axes de recherche ont principalement retenu mon attention (figure 1) :

1. La mesure, avec la plus haute précision possible, de la mobilité relative du niveau de la mer depuis environ 6000 ans. J'ai travaillé principalement sur les côtes de Provence, de Corse, le long de certaines îles grecques et du littoral du Liban, ainsi que dans le cadre des fouilles archéologiques de Marseille et de la caldeira de Pouzzoles en Campanie (Italie).

La recherche de la plus grande justesse altimétrique et chronologique des mesures m'a conduit à poser la question du filtrage des données et à privilégier les indicateurs biologiques au détriment des marqueurs archéologiques qui indiquent le plus souvent une submersion ou offrent des fourchettes d'incertitude altimétrique du même ordre de grandeur que la mobilité absolue mesurée. L'apport de mes recherches paléobathymétriques tient donc surtout dans la démonstration méthodologique de l'intérêt du croisement de l'information bathymétrique des organismes marins avec la précision chronologique des structures archéologiques, qui a pu être effectuée à Marseille.

Dans l'actuel, nous avons aussi pu valider pour la première fois l'utilisation des indicateurs biologiques (dans le cas de Pouzzoles, les vermets) pour estimer correctement les variations relatives du niveau de la mer et nous avons pu montrer que la mémoire biologique inscrite et lisible sur substrat dur correspond de façon

Fig.1 : Localisation des ports et des secteurs côtiers étudiés (1991-2000)



satisfaisante à l'histoire de la mobilité relative du plan d'eau, même si elle n'enregistre pas les variations de trop courte durée.

Je me suis aussi intéressé à la comparaison de différentes stations entre elles, afin d'essayer d'extraire le signal océanique global des signaux plus locaux en tentant de mettre en évidence une mobilité tectonique différentielle (Morhange *et al.*, 1998 b pour les côtes de Provence ; Pirazzoli *et al.*, 1994 pour les îles Ioniennes).

2. Les variations latérales des traits de côte. Cette recherche paléogéographique a pu être développée particulièrement à Marseille, Cumes (Campanie), Kition-Bamboula (Chypre) et Sidon (Sud Liban). Les résultats obtenus ont toujours été plus précis dans le cas de sondages archéologiques extensifs (comme à Marseille) que lors des campagnes de carottages. Il est de toute façon extrêmement difficile d'identifier des paléolignes de rivage dans un cadre urbain et portuaire, du fait de la précocité et de la densité d'équipements, de la tendance à l'artificialisation et au durcissement de ces lignes, des multiples remblais et décharges diverses et du problème du déferlement des vagues à la côte qui remanient perpétuellement les sédiments.

Cette problématique répond le plus souvent à une demande de nos collègues archéologues. A l'échelle d'une agglomération, nous avons ainsi tenté de cartographier la mobilité des paléolignes de rivage par rapport aux dynamiques spatiales d'organisation urbaine (tout particulièrement pour Sidon, Doumet-Serhal, 2000) ou militaire (en ce qui concerne l'arsenal de Bamboula) en posant les problèmes en terme d'accessibilité et d'attractivité (abri côtier...). A l'échelle des parcelles de prospection comme à Sidon ou à Cumes, il s'agissait aussi de tenter de délimiter rapidement les espaces les plus potentiellement aptes à être fouillés et pouvant révéler des structures archéologiques d'interface comme des quais.

3. La reconstitution des paléoenvironnements a été effectuée à deux échelles :

- A l'échelle du bassin portuaire et concernant le plus souvent des milieux infralittoraux, nous avons mis en oeuvre dans différents laboratoires, des techniques d'analyse précises des sédiments, de la fraction lithoclastique (exoscopie des quartz au MEB, granulométrie mécanique et laser au CEREGE, minéralogie des argiles, des évaporites, des carbonates ou des tephras) et de la fraction bioclastique (détermination des assemblages d'ostracodes, de foraminifères et des organismes marins). Nous avons essayé de répondre à quelques questions principales comme la position des sources sédimentaires et la vitesse du détritisme en insistant sur les spécificités des milieux portuaires étudiés, les degrés de confinement et les problèmes de connexion avec le large (principalement dans les cas de Bamboula et de Cumes) ainsi que le problème du piégeage des sédiments par les structures portuaires diverses (môles enveloppants de Sidon, démultiplication artificielle de la ligne de rivage à Marseille...).

- Concernant la reconstitution des paléopaysages à l'échelle microrégionale, nous avons surtout employé les indicateurs polliniques (analyses de Bui Thi Mai du CRA de Sophia-Antipolis, de D. Vivent (Université de Bordeaux 1) et de J. L. de Beaulieu, IMEP, Université Aix-Marseille 3), comme à Cumes, Marseille ou Sidon,

qui nous ont fourni une très riche information sur les dynamiques du couvert végétal environnant (Vivent, 1996) ainsi que la reconnaissance des premiers impacts anthropiques (surtout en ce qui concerne le bassin de Marseille).

4. Les impacts d'origine anthropique sur les milieux de sédimentation ont été appréhendés par la mise en oeuvre de multiples indicateurs. C'est probablement un des thèmes les plus novateurs bien que, paradoxalement, il soit peut-être assez mal mis en valeur jusqu'à présent dans le cadre de nos publications. Comme cela a déjà été clairement démontré en domaine continental, on ne peut pas considérer séparément le poids des facteurs humains et celui des facteurs naturels dans la mobilité des paysages, tant ils sont étroitement liés (Neboit, 1983 et 1990).

On peut enfin être surpris qu'un géomorphologue ait fait des bassins portuaires antiques l'objet principal de ses recherches. Je tiens à justifier ce choix par deux raisons.

D'une part, il s'agit d'un environnement soumis à de multiples contraintes physiques naturelles comme la mobilité du niveau relatif de la mer, les agents météo-marins, le détritisme continental à l'origine de l'envasement..., mais surtout l'intérêt principal est le positionnement de ce piège sédimentologique au niveau de base. On peut donc étudier finement, du point de vue chronologique et stratigraphique, les logiques de colmatage de cet "espace d'accommodation", encore plus modeste qu'une lagune ou une ria.

D'autre part, les bassins portuaires sont des milieux particulièrement modifiés par les sociétés, à l'aval des principales villes de l'Antiquité. Les logiques de protection-confinement et de rupture de charge des petits cours d'eau vont expliquer principalement l'évolution et la dégradation des paléoenvironnements côtiers. Cette problématique de recherche, typiquement géographique ou "géoarchéologique", avait rarement été étudiée pour différentes raisons (intégration très tardive et partielle des approches naturalistes par les antiquisants, coût des opérations de fouilles en milieu amphibie, notamment). En ce qui concerne les ports antiques, l'état d'avancement des recherches des quelques chercheurs naturalistes qui s'y intéressent (Brückner pour l'étude de ports sur les côtes de l'Egée turque, Rheinhardt pour Césarée de Palestine, Paskoff en ce qui concerne les ports de Tunisie, Pirazzoli pour quelques ports grecs, Sivan sur les côtes d'Israël...) n'est pas aussi abouti que les récents travaux pluridisciplinaires portant sur les dynamiques fluviales (Leveau, 1999 par exemple). Il me semble en particulier que nos collègues archéologues n'ont pas encore tous saisi l'intérêt extrême qu'apporte la problématique des relations entre le milieu portuaire et les sociétés urbaines à l'histoire antique des rives de la Méditerranée.

Dans ce contexte urbain et portuaire, nous n'avons pas développé de recherches paléoclimatiques pour des raisons méthodologiques et épistémologiques. En effet, le signal climatique est complètement brouillé par les impacts d'origine anthropique (détritisme accéléré en particulier). De plus, il ne me semble pas que l'entrée climatique soit la plus féconde pour l'étude de tels "lieux de mémoire" aussi marqués par la présence des sociétés et par leur projet de fonder et d'entretenir des plans d'eau marins à la fois calmes et en communication avec le large pour leurs

flottes de guerre et de commerce (Rougé, 1966 et 1978 ; Reddé, 1986). Ma recherche est donc une contribution à l'étude des rôles pluriséculaires des sociétés dans la gestion de leur environnement et la mobilité des paysages littoraux. L'intention majeure est de montrer l'intérêt que présente l'application croisée des trois approches géomorphologique, biologique et archéologique à l'étude des ports antiques.

Cet essai de réflexion, première partie de ce dossier, porte sur dix années de recherche dans différents secteurs de Méditerranée et se présente en deux parties.

- Dans un premier chapitre, nous présentons et critiquons les sources bibliographiques concernant Pouzzoles et Marseille. Les ports antiques ont en effet depuis longtemps fasciné géographes et géologues par leurs possibilités de calage chronologique précis. Les particularités d'une recherche géomorphologique en milieu urbanisé et donc très "transformé" m'ont incité à effectuer un décryptage des données historiques et, plus particulièrement, une relecture critique des textes scientifiques antérieurs qui permet d'esquisser une réflexion sur les préjugés intellectuels de leurs auteurs et replacer ces interprétations dans le cadre plus large de l'histoire des sciences, et particulièrement de la géologie.

- Dans un second temps, nous présentons les deux principales thématiques qui nous ont intéressé (mobilité du niveau marin, impacts de l'anthropisation) et nous discutons différents résultats obtenus sur les sites étudiés dans le cadre de programmes de recherche qui sont rappelés. Ces travaux m'ont aussi permis de diriger plus d'une trentaine d'étudiants de maîtrise et de DEA depuis 1992. Je présenterai rapidement quels ont été leurs rôles dans cette étude et ce qu'ils ont pu en retirer pour leur formation de jeune chercheur.

Enfin, le corps principal de ce dossier est constitué par le classement raisonné de treize articles publiés, sous presse ou soumis à différentes revues françaises ou étrangères, représentatifs de ma production scientifique depuis une décennie.

PALEOBATHYMETRIE DES PORTS ANTIQUES DE POUZZOLES ET DE MARSEILLE ÉLEMENTS D'HISTORIOGRAPHIE CRITIQUE

Au fil de dix années de recherches bibliographiques, j'ai pu étudier les principales publications scientifiques anciennes concernant les sites de Pouzzoles et de Marseille. J'ai ainsi décidé de présenter quelques travaux remarquables de nos prédecesseurs, géologues ou archéologues, sur ces deux sites portuaires car il me semblait important de faire un état critique des sources bibliographiques, ce que font rarement les naturalistes par rapport aux historiens, le plus souvent par manque de formation ou de culture.

Les publications anciennes (plus de 20 ans d'âge le plus souvent !) sont considérées comme obsolètes du point de vue des techniques et des méthodes. Seuls quelques rares géologues comme Gohau ou Ellenberger, en France, s'intéressent au problème de l'imprégnation des chercheurs par les idéologies, les modes et les dogmatismes.

Il s'agit de savoir ce qu'un chercheur de terrain, sans se métamorphoser en historien des sciences, peut tirer des textes historiques et plus précisément des textes fondateurs de sa discipline. Faut-il suivre le courant dominant qui méconnaît la bibliographie ancienne (Ellenberger, 1994) ou tenter de prendre en compte parfois plusieurs siècles d'observations, le plus souvent précises, et d'interprétations, parfois biaisées par des hypothèses réductrices et des systèmes unicausaux ?

I. Rappels historiques et positions scientifiques des débats

I. 1. Historique des restitutions, des premiers voyageurs aux grandes synthèses holistiques du XIX° siècle

Dès la Renaissance, le développement des musées et des collections, dans le cadre de cabinets privés, ainsi que la visite de ruines archéologiques ont attiré les voyageurs. Le voyage en Italie, indispensable tournée des grands sites, permettait à l'honnête homme de se familiariser avec les principaux lieux de l'Antiquité classique

dans leur cadre "naturel". Rome, Naples, Paestum, mais aussi Cumes, furent des étapes indispensables dans la formation des élites européennes, avides de savoir global, dès le XVI° siècle (Gusdorf, 1985 ; Ellenberger, 1988).

A l'époque moderne, les voyageurs français (Savary, Volney...) vont profiter de la présence de consuls dans les principales cités péri-méditerranéennes et des liens politiques qui unissaient la France à l'empire ottoman en Méditerranée orientale. Forme sécularisée du pèlerinage vers les lieux saints, le voyage est alors voué à la recherche de médailles et de monnaies ainsi qu'à la vérification des traditions véhiculées par les auteurs anciens (Bourget, 1998). Les voyageurs et antiquaires vont laisser de multiples travaux, souvent cités, réutilisés et parfois surinterprétés du fait des destructions nombreuses des vestiges et des modifications des milieux aux XIX° et XX° siècles.

Les expéditions militaro-naturalistes françaises en Egypte (1798-1801), en Morée (1829-1831), puis en Algérie (1839-1842), vont vivifier et métamorphoser la démarche scientifique, héritée des Encyclopédistes, qu'est l'approche naturaliste et archéologique croisée dans le cadre de sites archéologiques (Bourguet *et al.*, 1998). On est donc progressivement passé d'une quête de curiosités et de descriptions pittoresques par les voyageurs, les antiquaires et les diplomates à une approche classificatoire beaucoup plus rigoureuse par les savants. Ces expéditions vont de même transférer vers un horizon proche un dispositif naguère réservé aux voyages transocéaniques et à la découverte de rivages lointains. Leurs projets de description raisonnée des climats, des flores, des paysages et des vestiges archéologiques apparaissent comme un moment fort de la constitution des disciplines au XIX° siècle. Ainsi l'expédition de Bonaparte va laisser cette prodigieuse encyclopédie qu'est la Description de l'Egypte, née des recherches menées par la commission des Sciences et des Arts de l'armée d'Orient (Bernand, 1988 ; Spary, 1998).

Ce désir de possession complète de la nature (Ellenberger, 1988 et 1994) va perdurer avec des œuvres holistiques majeures, mais si différentes, que sont par exemple *Cosmos* d'Alexandre von Humboldt (1847-1859) ou *La Face de la Terre* d'Eduard Suess (1908-1918). Humboldt (1769-1859), exceptionnel savant-voyageur en Europe, en Amérique Latine, en Russie et en Sibérie, va produire des ouvrages aux dimensions cyclopéennes. Le *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent par A. de Humboldt et A. Bonpland* fait par exemple 30 volumes... Suess (1908-1918), plus centré sur des problèmes purement géologiques (surtout les mouvements actuels de la croûte du globe) et qui, lui aussi, a mis plus de 25 ans à rédiger son principal ouvrage, s'est beaucoup intéressé aux mécanismes des transgressions et des régressions marines dans une optique actualiste (Gohau, 1990a ; Beckinsale et Chorley, 1991). Il définit l'eustasie, mouvements absolus de l'océan mondial, comme un des piliers de la géomorphologie moderne (Fairbridge, 1961a). Il insiste surtout sur la tectono-eustasie. "L'écorce terrestre s'effondre, la mer la suit" (Suess, 1831-1914). Cet auteur s'est alors logiquement intéressé aux vestiges archéologiques dans la mesure où ils permettaient un calage chronologique de la mobilité verticale du niveau de la mer (à Pouzzoles et à Alexandrie par exemple). Suess a même visité Pouzzoles et en a paradoxalement déduit la stabilité du niveau de la mer Méditerranée aux périodes historiques, prise de position ensuite relayée et imposée tel un dogme par ses nombreux disciples (dont le célèbre géologue français

L. Cayeux) qui vont ainsi stériliser tout un pan de la recherche pendant près d'un demi-siècle.

I. 2. Impacts des premières restitutions

Comme l'archéologie pendant très longtemps ne s'est intéressée qu'à la recherche d'objets et de monuments, on n'a guère étudié l'évolution géomorphologique des sites. Les questions paléoenvironnementales sont restées absentes des préoccupations des archéologues, particulièrement en Méditerranée orientale si riche en sites. Dans le cadre des monographies, un chapitre introductif permettait le plus souvent de localiser la fouille et d'émettre des spéculations rapides sur la mobilité des paysages, illustrées le plus souvent par des gravures ou des cartes anciennes.

Par exemple, les gravures qui illustrent les voyages de l'Anglais Pococke sont intéressantes et ont fréquemment joué un rôle dans la définition de problématiques paléoenvironnementales récentes en Méditerranée orientale (Nicolaou, 1976 ; Gifford, 1978 et 1985 en ce qui concerne Kition à Chypre). Avant notre intervention à Kition-Bamboula (Larnaca, Chypre), l'équipe de fouilles, dirigée par Marguerite Yon, présupposait la présence d'un bassin militaire phénicien de type cothon, relié directement à la mer par un chenal rectiligne. Cette problématique était partiellement fondée sur la localisation d'une lagune résiduelle sur les gravures des voyageurs du XVIII° siècle comme Pococke ou Mariti (figures 2 et 3). Ce marécage côtier correspondait en fait beaucoup plus à l'état contemporain de colmatage quasi final d'une dépression littorale, avant la bonification entreprise par l'administration coloniale britannique, qu'à l'état initial d'un bassin militaire fermé (le cothon), invagination d'une vaste lagune semi-ouverte vers le large (Morhange *et al.*, 1999a et 2000a).

Ce type d'altération de la problématique est fréquent du fait de la force d'évocation des dessins, gravures, cartes anciennes et de nos représentations. Par exemple, dans le marais des Baux, à proximité d'Arles, les historiens et les archéologues ont ainsi longtemps imaginé le paysage antique comme un vaste marais et présenté la vallée des Baux presque comme un lac à l'époque romaine alors que cette forme du paysage correspond beaucoup plus à la période du Petit Age Glaciaire (Leveau, 1997). Les archéologues se sont trop souvent contentés de l'état du paysage au siècle dernier ou d'un état dérivé des cartes ou de documents assez récents (la carte dite de Cassini pour la France par exemple), sans toujours se rendre compte qu'il ne correspondait pas plus au paysage antique qu'au nôtre. On ne saurait trop insister avec Leveau (1999) sur le caractère exagéré de ces premières restitutions qui affectent ces lieux particulièrement suggestifs que sont les ports antiques et les "cités englouties".

Ce genre de dérive, sur des lieux de mémoire aussi prestigieux que les ports antiques (Alexandrie et son phare ; Byblos et son port d'exportation des cèdres ; Tyr, mère de Carthage ; Rhodes et son colosse...), est, de plus, exacerbé par la concurrence internationale et la quête d'un certain sensationalisme en archéologie.

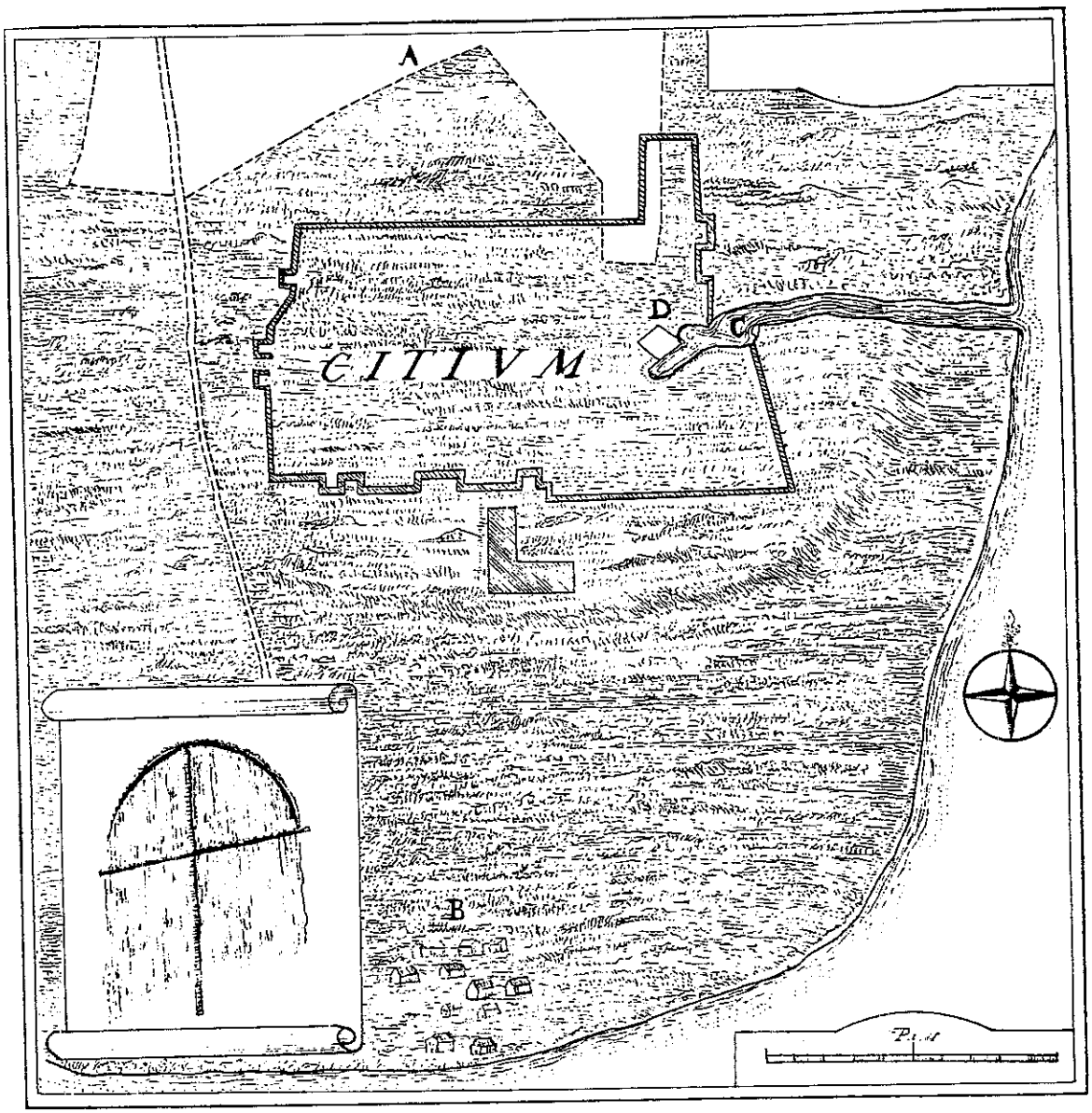


Figure 2 : Gravure de la cité antique de Kition (Chypre, Pococke, 1738), *in* Nicolaou, 1976. La lettre C correspond au port antique. On distingue nettement un chenal d'accés rectiligne.

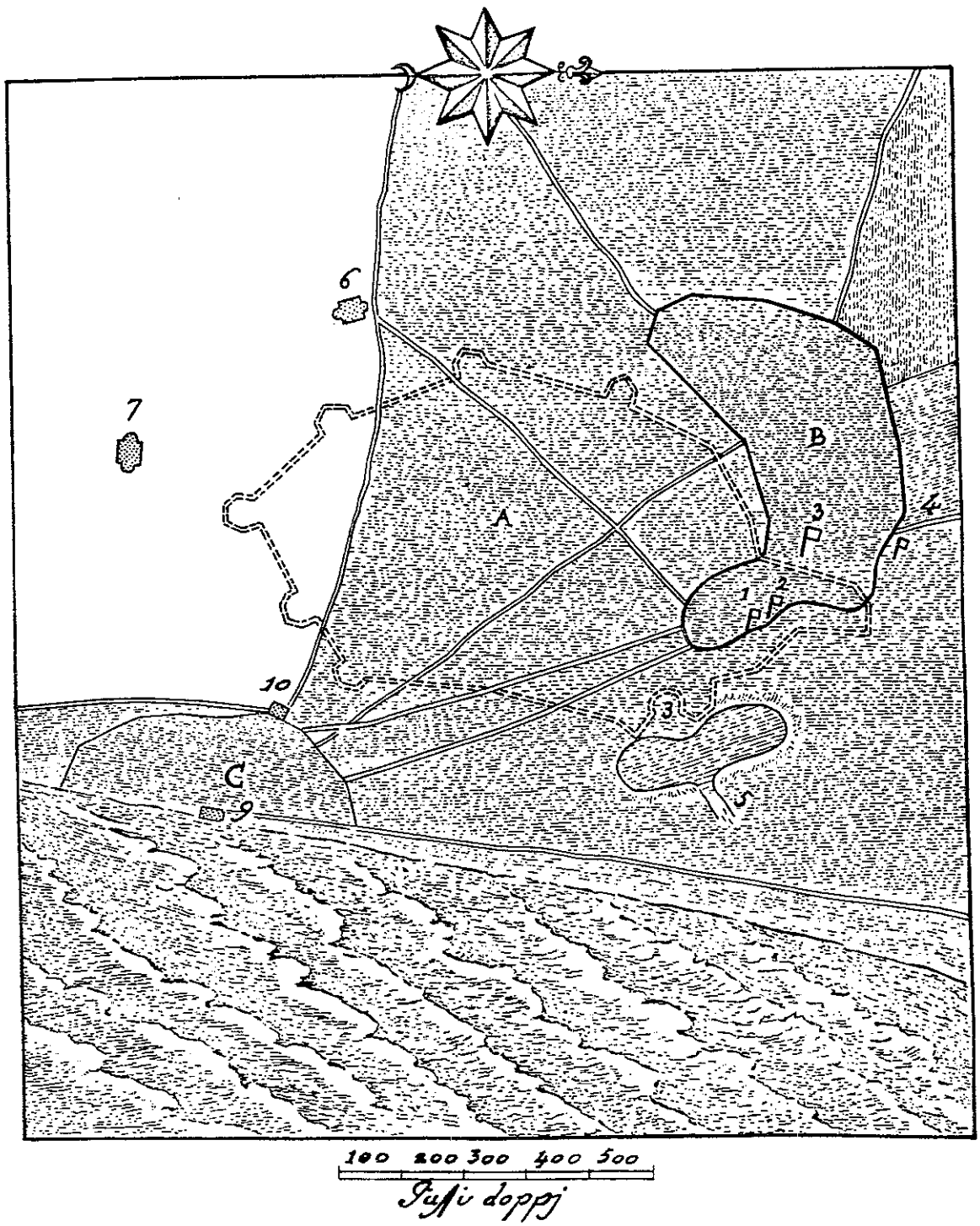


Figure 3 : Gravure de la cité antique de Kition (Chypre, Mariti, 1787), *in* Nicolaou, 1976. La lettre 5 correspond au port et au chenal qui semble colmaté.

On peut rapidement rappeler le déchaînement médiatique suscité à propos de la "découverte" du phare d'Alexandrie par les chercheurs du Centre d'Etudes Alexandrines et des "ports de Cléopâtre" et des villes enfouies sous les eaux à l'embouchure de la branche canopique du Nil, par les membres de l'Institut Européen d'Archéologie Sous-Marine.

I. 3. Positions scientifiques des débats

De la fin du XVIII° siècle jusqu'au milieu du XX° siècle, la recherche géologique est traversée par un vif débat qui oppose plusieurs courants de pensée. Le lecteur intéressé par plus de détails pourra se reporter aux synthèses récentes de Gohau (1990a et b), de Beckinsale et Chorley (1991) et d'Ellenberger (1994).

Grâce aux travaux des Britanniques James Hutton (1788), John Playfair (1802), puis Charles Lyell (1873), la géologie a progressé en partie en suivant la démarche prônée par les uniformistes qui rejettent le temps court de la Bible et les explications catastrophistes des néo-diluvianistes. Ils insistent sur l'importance de l'action cumulée des agents quotidiens dans un cadre conceptuel que l'on peut qualifier d'actualisme strict (*the present is the key to the past*).

Nous rappelons les progrès exceptionnels de la connaissance des océans à partir de la deuxième moitié du XIX° siècle, en particulier avec la mission transocéanique du Challenger entre 1872 et 1876 qui va développer les mesures en mer et permettre de tester des hypothèses de recherche (Devoy, 1987). Maclaren (1842) semble être le premier chercheur occidental à préciser la notion générale d'eustasie. Darwin (1842) a précocement insisté sur le rôle de la tectono-eustasie après son voyage dans le Pacifique, manifestant un intérêt particulier pour le développement des récifs de coraux dans l'archipel de la Société. Mais c'est au charismatique Autrichien Suess (1908-1914) que l'on doit de définir précisément le terme d'eustasie (*eustatisch*) qu'il forge pour caractériser des mouvements verticaux, absolus et simultanés de l'océan mondial. Il insiste sur le rôle de la tectono-eustasie et de la sédimento-eustasie, Tylor (1868) ayant, semble-t-il, été le premier à relier les variations eustatiques aux cycles glaciaires. En revanche, c'est Bravais (1840) puis Jamieson (1865) qui définissent les mouvements compensatoires de l'écorce terrestre lors des glaciations et des déglaciations. La théorie des mouvements isostasiques est liée à des transferts de masse comme l'a montré, dès 1836, l'astronome Herschel à propos des réajustements de la croûte terrestre aux changements de charge sédimentaire (Deparis et Legros, 2000). Le terme d'isostasie est enfin introduit en 1892 par Dutton. Daly (1934) puis Baulig (1935) seront ensuite parmi les tout premiers chercheurs à essayer de faire la part à la fois des mouvements eustasiques et isostasiques.

Dans ce contexte de foisonnement des notions et des concepts, c'est le thème de la variation verticale du niveau marin qui a surtout retenu l'attention des chercheurs. Par exemple, il y a près d'un siècle, un débat opposait le Grec Phocion Negris (1903a, 1903b, 1904a, 1904b) au Français Lucien Cayeux (1907), secrétaire de la Société Géologique de France, très influente à l'époque, à propos des différents

positionnements des vestiges archéologiques submergés des côtes de Grèce et de leur interprétation paléobathymétrique (à Leucade, Egine, Délos...). Negris (1921) indique que la mer a submergé les ports antiques de l'île de Pharos (Alexandrie) et que la mer s'est élevée de 3 m environ depuis l'époque romaine (3 m en 2000 ans, 3,5 m en 2500 ans, 3,8 m en 4000 ans). Le débat qui l'oppose à Cayeux est principalement lié à un problème d'échelle. Pour Négris, ces submersions sont liées "à un phénomène d'une grande généralité et d'une grande régularité d'un bout de la Méditerranée à l'autre, incompatible avec des causes locales, et ne pouvant être attribué qu'à un mouvement ascensionnel de la mer, sauf quelques rares exceptions" (Négris, 1904a, pp. 341). En revanche pour Cayeux, très influencé par le fixisme de Suess, ces submersions ne reflètent que des situations locales. Ses conclusions sont formelles : "Le niveau de la Méditerranée n'a pas varié depuis plusieurs milliers d'années" (Cayeux, 1907, p. 97). A Délos, Cayeux identifie à la fois des preuves de fixité et des preuves d'instabilité du niveau marin. Il interprète les structures immergées comme le résultat d'un affaissement local car les constructions sont assises sur des dépôts de plage qui se sont tassés ou affaissés localement. Cayeux nie l'évidence du port soulevé de plusieurs mètres à Phalasarna en Crète occidentale, refusant d'admettre la possibilité d'une mobilité régionale du niveau marin relatif aux temps historiques.

Ce débat va partiellement se clore avec la multiplication des travaux postérieurs à la Seconde Guerre Mondiale et la diffusion de la technique de datation absolue par le radiocarbone qui va enfin permettre un calage chronologique plus systématique des niveaux marins (Shepard, 1964). De nos jours, l'objectif des chercheurs est un peu différent. Il s'agit de déterminer la part des facteurs plus globaux (glacio-eustasie), des mouvements du substrat plus localisés (tectonique, subsidence, isostasie...) et des tassements ponctuels des formations superficielles par compaction ou glissement des couches. Les comparaisons entre différentes stations de mesure de variations relatives du niveau de la mer doivent permettre d'apprécier la contribution respective de chacun de ces facteurs à la variabilité verticale globale du niveau marin depuis environ 6000 ans. On remarquera que certaines équipes postulent un rôle encore important de la glacio-eustasie dans la montée fini-holocène du niveau marin (Mörner, 1996a ; Fleming *et al.*, 1998 ; Nakada et Lambeck, 1998), soulignant le rôle de la fonte des glaciers de type alpin et de la calotte antarctique, alors que d'autres insistent surtout sur la redistribution de masses d'eau et le rebond glacio-isostasique (Pirazzoli, 1997 ; Peltier, 1999).

Nous présentons donc quelques éléments des débats qui ont occupé géologues et archéologues dans deux secteurs littoraux de Méditerranée que j'ai pu étudier. (1) Le site volcanique très mobile de Pouzzoles en Campanie, à proximité de Naples, a précocement fasciné voyageurs, puis chercheurs. Les différents positionnements des vestiges archéologiques sous l'eau et hors de l'eau sont à l'origine d'un conflit entre mobilistes et fixistes. (2) Puis nous présentons les progrès de la connaissance sur la variation relative du niveau de la mer du Vieux Port de Marseille, avant le démarrage des grandes fouilles d'archéologie préventive de la décennie 90 et dans un contexte tectonique beaucoup plus stable.

II. Historiographie des variations relatives du niveau de la mer à Pouzzoles

II. 1. Le site de Pouzzoles, icône de la démarche uniformiste ou du catastrophisme ?

La ville de Pouzzoles, située dans les Champs Phlégréens, une zone volcanique active de la région napolitaine, a été affectée pendant les 2000 dernières années par d'importants mouvements verticaux du substrat, d'une amplitude de plusieurs mètres, appelés localement bradysisme (bibliographie ancienne dans Dubois, 1907 ; Parascandola, 1947 et, plus récente, dans Dvorak et Mastrolorenzo, 1991 ; Giudicepietro, 1993 ; Orsi *et al.*, 1998). Depuis plus de deux siècles, des coquilles marines perforantes (du genre *Lithophaga*) ou fixées (des genres *Chama* et *Ostrea*) ont suscité la curiosité des touristes et ont été souvent récoltées sur des vestiges romains bien au-dessus du niveau marin actuel. Cette curiosité a bien vite attisé l'intérêt de nombreux savants de toute l'Europe. Ce site va donc logiquement cristalliser les débats entre les tenants des différentes théories (uniformisme, catastrophisme, fixisme, mobilisme...) pendant 150 ans, avant de tomber paradoxalement dans le quasi-oubli alors que les méthodes de datation par le radiocarbone permettent enfin une étude chronologique précise des variations du niveau de la mer.

Le marché romain, appelé à tort temple de Serapis ou Serapeum, est le monument le plus remarquable de Pouzzoles en raison de son intérêt archéologique et géologique (figures 4, 5 et 6). "A proximité du littoral, il constitue le plus précieux et le plus parfait graphique qui permette d'étudier le phénomène d'abaissement et de soulèvement de la croûte terrestre" (Maiuri, 1984). Vers 1500, les colonnes partiellement émergées attirent déjà l'attention de l'enlumineur à l'origine des vignettes du codex d'Edimbourg (Giamminelli, 1996 ; figure 7). Mais c'est surtout à partir des premières fouilles de 1750 que les visiteurs remarquent les impressionnantes perforations des colonnes. Ainsi, Julie Pellizzone peut admirer en 1787 "chacun de ses trous garni en dedans d'une ou plusieurs coquilles qui semblent être là pour attester que le temple a été dans l'eau".

La question de l'exhaussement et de l'affaissement successifs des rives du golfe de Pouzzoles a donné lieu à des discussions intéressantes auxquelles Goethe s'est mêlé activement (Goethe, 1824 ; Faivre, 1862). Toujours en 1787, Goethe visite le marché romain de Pouzzoles. Il constate aussi que les trois principales colonnes de l'édifice ont été rongées par des mollusques marins. Il propose une hypothèse explicative à ces perforations et spécule sur la possibilité de l'installation d'une lagune dans la cour intérieure du marché, en relation avec un colmatage partiel de l'édifice lors de l'éruption du Monte Nuovo en 1538 (figure 8). Cette hypothèse lagunaire tarabiscotée va avoir un grand succès du fait de la renommée de son inventeur et va embrouiller un peu plus les chercheurs, impressionnés par les déductions suggestives du grand homme allemand.

Dans un contexte de développement des voyages en Italie au début du XIX° siècle, l'archéologue napolitain Andrea De Jorio décrit alors dans un petit guide

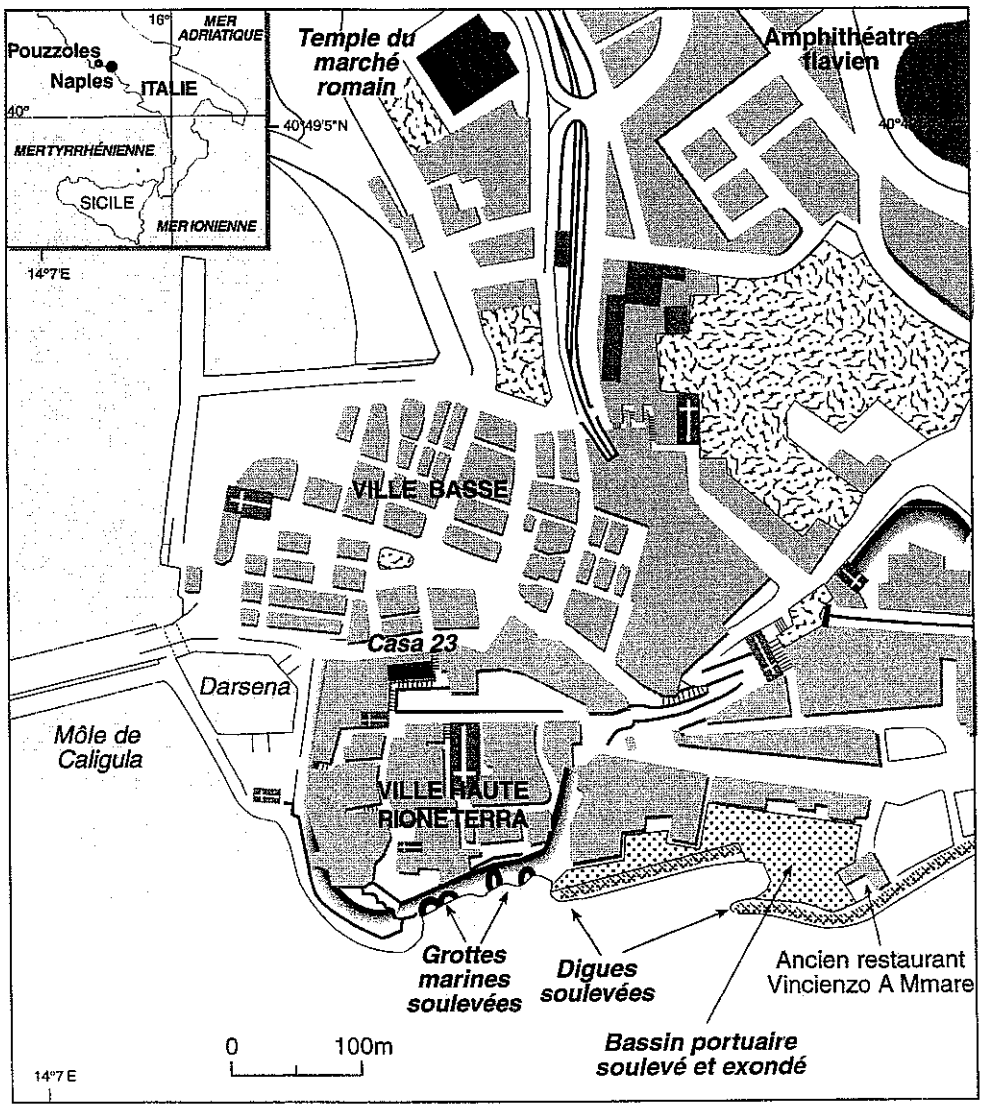


Figure 4 : Localisation des sites étudiés à Pouzzoles.

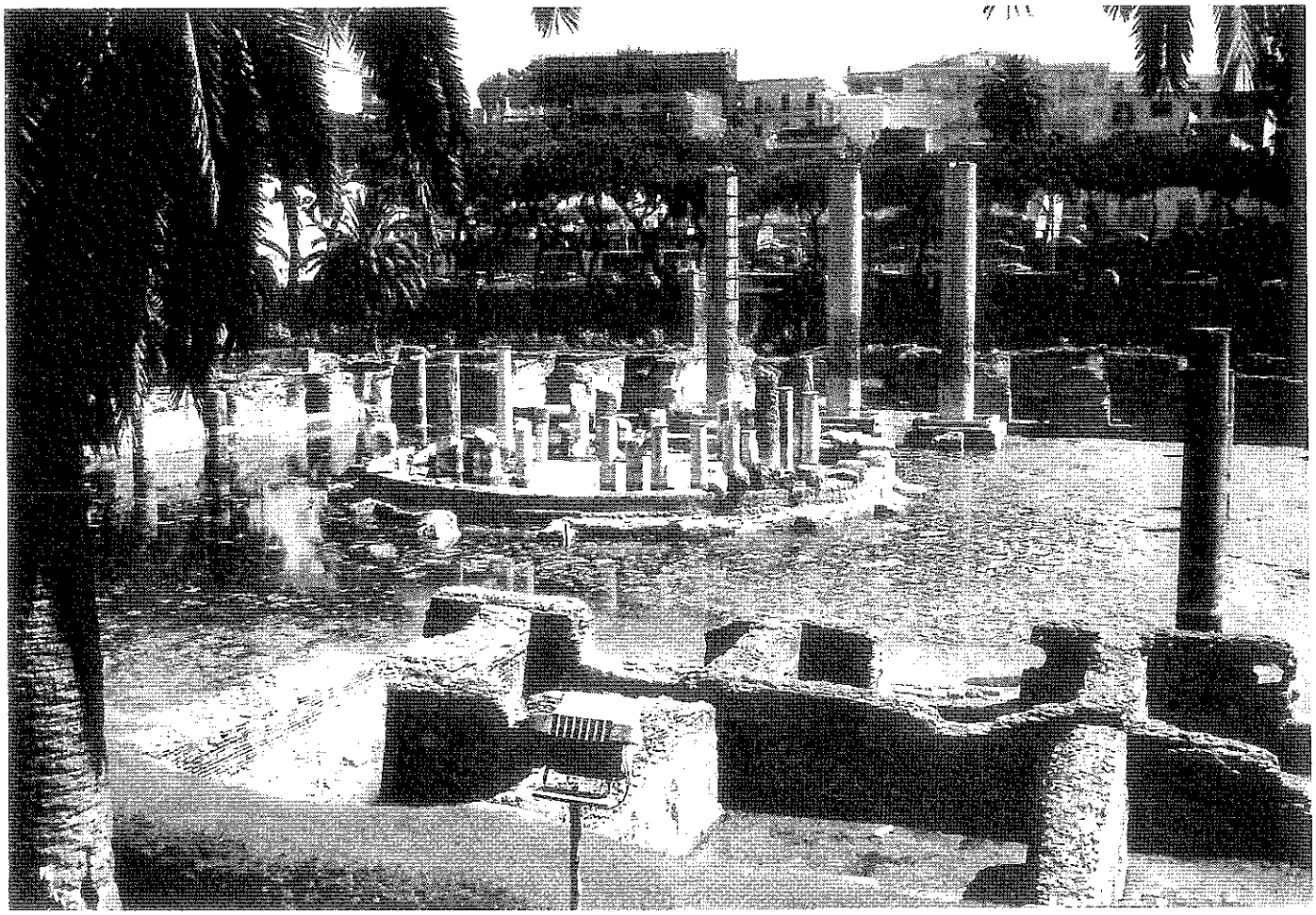


Figure 5 : Marché romain de Pouzzoles (Serapeum),
fondé vers le II°- I° siècle avant J.-C (cliché Morhange).

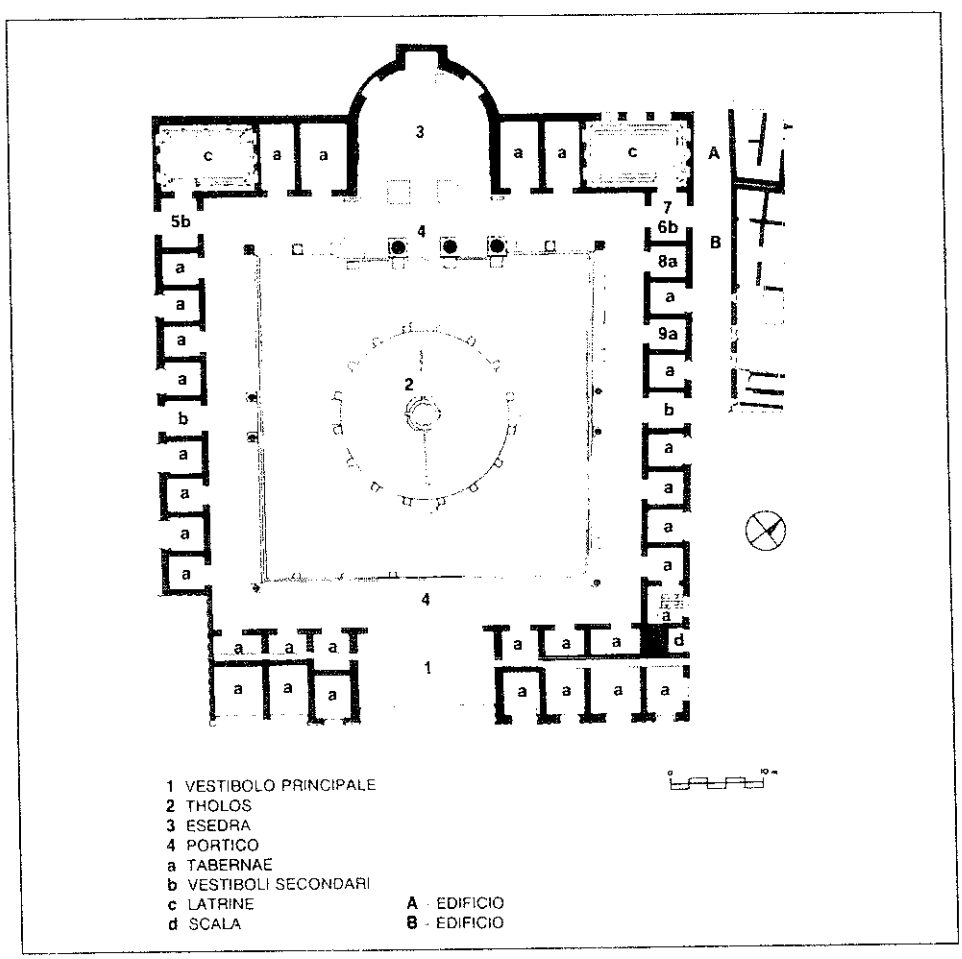


Figure 6 : Plan du marché romain de Pouzzoles (Amalfitano *et al.*,1990).

touristique les différents monuments caractéristiques des Champs Phlégréens (De Jorio, 1817), ce qui semble l'avoir ensuite amené à une étude plus détaillée du marché romain de Pouzzoles (De Jorio, 1820). De Jorio utilise alors quatre indicateurs pour préciser la mobilité du niveau relatif de la mer. Il étudie à la fois l'organisation stratigraphique des différentes couches de sédiments et les perforations de lithophages sur les colonnes antiques. L'évolution de la cartographie (cartes topographiques des XV° et XVI° siècles) comme les témoignages écrits lui permettent aussi de préciser une émersion des terres entre 1441 et 1524, qui traduit un soulèvement d'origine bradysismique (de type soulèvement pré-éruptif) avant la grande éruption du Monte Nuovo.

En 1829, le Britannique Forbes, en conflit avec De Jorio, publie une note très documentée sur ce sujet. Passionné d'épigraphie, il propose une synthèse des connaissances archéologiques, historiques, biologiques et géologiques de l'époque. Il montre que certaines colonnettes en granite n'ont pas été affectées par la bioérosion. Il précise aussi que la profondeur et la taille des perforations sont importantes et induisent donc "a long-continued immersion in sea water (p. 273)". Il souligne que les vestiges supportent des faunes fixées (dont des serpules et des vermets) et que d'autres bâtiments antiques de Pouzzoles ont été bioperforés. Enfin il présente une synthèse des principales explications possibles : une mobilité absolue du plan d'eau marin (thèse de Niccolini), une mobilité du substrat en relation avec l'activité volcanique (qu'il privilégie, ainsi que les chercheurs partisans du vulcanisme huttonien) ou un plan d'eau lagunaire confiné à l'intérieur du temple (hypothèse de Goethe et Pini). Il ajoute enfin que certains auteurs ont même proposé des solutions imaginatives comme l'utilisation par les Romains de colonnes de récupération auparavant perdues en mer lors d'un naufrage... (hypothèse de Spallanzani). Forbes estime enfin la période de stationnement du niveau marin à 50 ans minimum vers la fin du XII° siècle (sans fournir beaucoup d'arguments chronologiques).

Depuis les travaux de l'écossais Charles Lyell, le marché romain de Pouzzoles est devenu une icône de la géologie moderne (figure 9). Frontispice du célébrissime *Principes de Géologie ou illustrations de cette science empruntées aux changements modernes de la Terre et de ses habitants*, l'édifice n'a cessé d'être cité dans un nombre exceptionnellement important de publications. Il est d'ailleurs tout à fait curieux de noter, comme l'a d'ailleurs fait remarquer Ager (1989 et 1995), que les colonnes de Pouzzoles évoquent beaucoup plus des phénomènes épisodiques et brutaux (associés au catastrophisme) que des changements lents et graduels comme semblaient le penser Lyell et ses disciples uniformistes. Lyell estimait que la période de submersion importante était antérieure à la fin du XV° siècle, avant l'éruption du Monte Nuovo de 1538. Après sa visite de 1829, il rassemble et synthétise des observations précises de terrain, compile les données de ses collègues (Forbes, Niccolini, Babbage...) et propose sa solution : "Je ferai remarquer que les controverses interminables auxquelles ont donné lieu les phénomènes du golfe de Baia, sont dues à la répugnance extrême qu'on éprouve à admettre que la terre ferme est plus sujette que la mer à s'élever et à s'abaisser alternativement" (p. 230, vol. 2, Lyell, 1873). C'est à Cappocci (1835) que l'on doit cependant la première formulation de l'hypothèse d'une mobilité du substrat pour expliquer les perforations biologiques du marché romain.

Figure 7 : Codex d'Edimbourg, dessin représentant la ville de Pouzzoles (actuel quartier de Rione Terra). On distingue nettement deux colonnes de taille importante derrière les deux baigneurs. Il peut s'agir des ruines encore immergées du marché romain (Giamminelli, 1996).

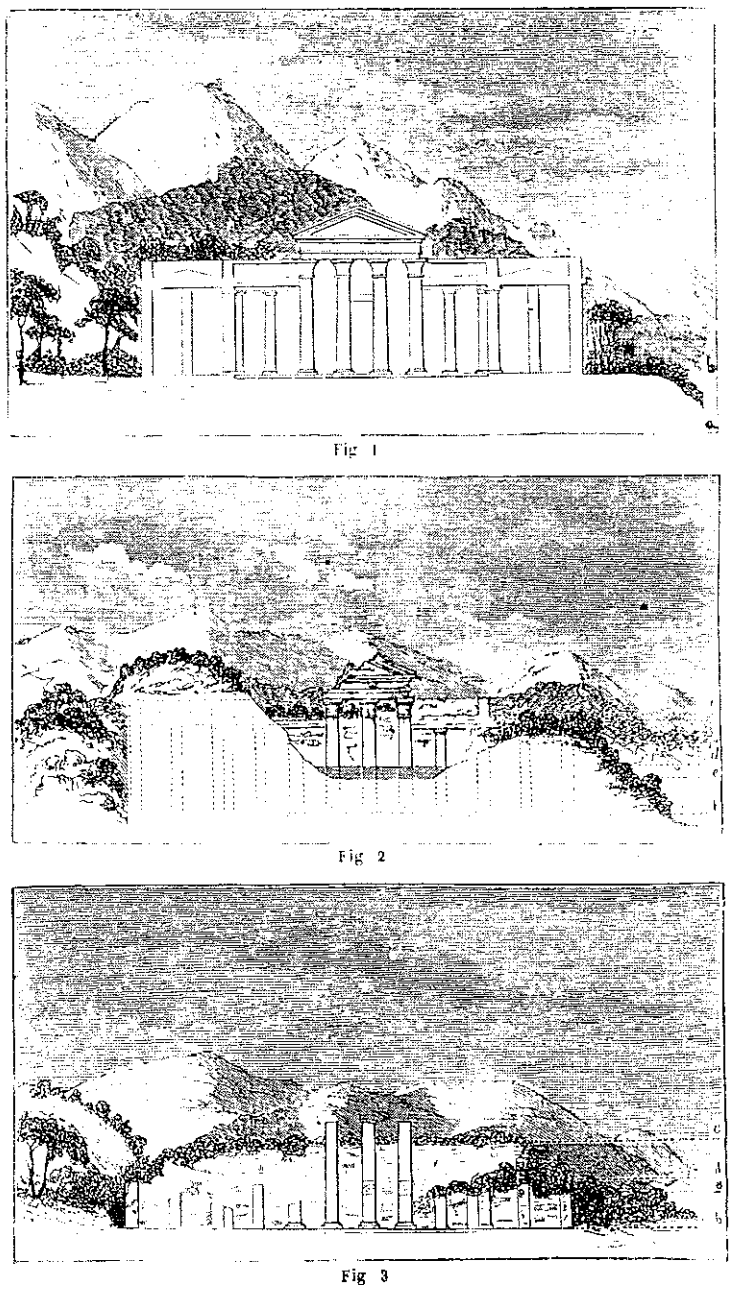


Figure 8 : Planche dessinée d'après les indications de Goethe (1824) indiquant l'évolution du bâtiment en 3 étapes.

- 1 : Position initiale du bâtiment (b) au dessus du niveau de la mer (a).

- 2 : Bâtiment partiellement recouvert de cendres volcaniques. Une lagune se serait formée dans la cour intérieure et les lithophages se seraient développées dans ces eaux.

- 3 : Etat du temple lors de la visite de Goethe (mai 1787). La lagune est desséchée et les amas de cendres volcaniques partiellement détruits. L'étage entre (c) et (d) correspondrait à la hauteur de la colonne d'eau de la lagune.

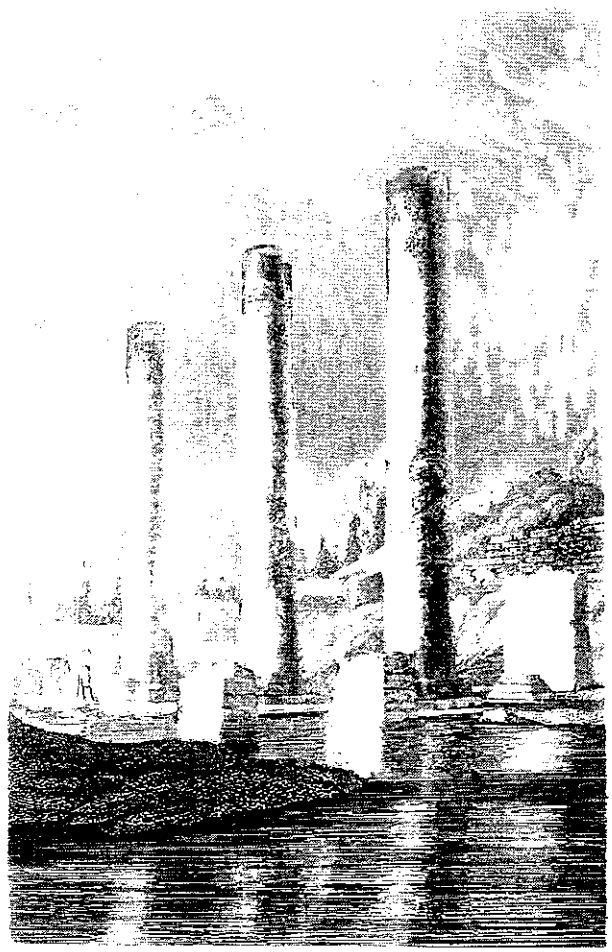


Figure 9 : Gravure frontispice des trois colonnes du marché romain de Pouzzoles (Lyell, 1873)

L'architecte napolitain Niccolini (1839 et 1846) va "révolutionner" les recherches sur le marché romain en mesurant régulièrement le niveau instantané du plan d'eau (marin ?) sur le site du marché romain de 1822 à 1838. La tendance, par régression linéaire montre une montée relative de ce niveau d'environ 7 mm/an (figure 10 ; Dvorak et Mastrolorenzo, 1991). Alors que jusque vers 1800, le sol du bâtiment n'était qu'occasionnellement inondé par des sources thermales sulfureuses, à partir de cette date, de nombreux observateurs indiquent une ingression marine de plus en plus fréquente (Parascandola, 1947). Niccolini démontre donc, grâce à la multiplication de mesures bathymétriques, que les mouvements persistent à l'époque contemporaine. Cependant, certains chercheurs (Platania, 1930) font remarquer que les mesures en temps réel du niveau de l'eau au pied du Serapeum sont particulièrement ambigües. En effet, ces évaluations peuvent correspondre aussi à des apports massifs d'eaux minérales par des sources ou à des variations de hauteur de la nappe phréatique, qui relativisent la fiabilité des mesures et estimations anciennes.

Niccolini indique aussi, sans argument précis, que la période de haut niveau marin relatif doit être les IX°-X° siècles, à mi-chemin entre la fin de l'Antiquité et le début de la période d'abaissement du niveau "absolu" de la mer au début du XVI° siècle (Nicolini, 1846). Il s'intéresse même à d'autres bâtiments antiques présentant des faunes fixées et des perforations marines (figure 11). Ses spéculations paléobathymétriques seront reprises et popularisées par Parascandola, "ébloui" par les mesures précises de Niccolini et la symétrie presque parfaite de son diagramme paléobathymétrique (figure 12). Il propose d'expliquer les perforations par la mobilité absolue du niveau de la Méditerranée.

Babbage, qui a visité Pouzzoles en 1828 (Babbage, 1834), publie en 1847 une coupe stratigraphique détaillée (mais fausse, figure 13) du secteur du marché romain. En particulier, les colonnettes n'ont pas été retrouvées en position verticale lors de la fouille, comme l'attestent par exemple de nombreuses gravures datées de la deuxième moitié du XVIII° siècle montrant toutes les colonnettes en vrac sur le sol (Lacerenza, 1991 ; figure 14). Paradoxalement, c'est le dessin de Babbage qui a encore servi à illustrer une excursion de la quatrième conférence internationale de géomorphologie dans la baie de Naples en 1997 ! (Cinque *et al.*, 1997), ce qui démontre la modestie des progrès de la connaissance sur ce site antique depuis 150 ans. Babbage (1847) avait mis en évidence un étagement des encroûtements et des perforations biologiques. Trois strates principales correspondaient à trois milieux de sédimentation bien distincts (lagunaire, marin puis d'eau douce ; figure 13). A la base de l'édifice, il individualisait une couche de sables correspondant à un fond marin transgressif, qui expliquait l'absence de traces de bioérosion marine à la base des trois principales colonnes. Sa position dans le débat le place du côté des mobilistes qui insistent sur le rôle du substrat. "The ground on which the temple stood subsided slowly and gradually" (Babbage, 1834, p. 73). Il rappelle aussi l'hypothèse de Goethe et retient l'idée d'une lagune au cœur de l'édifice.

Un zoologue anglais, Günther (1903 et 1993) va pour la première fois effectuer une recherche archéologique de précision en domaine immergé, mais son travail concerne principalement le littoral du Pausilipe, au nord-ouest de Naples. Il étudie aussi les indicateurs morphologiques soulevés (comme les encoches littorales)

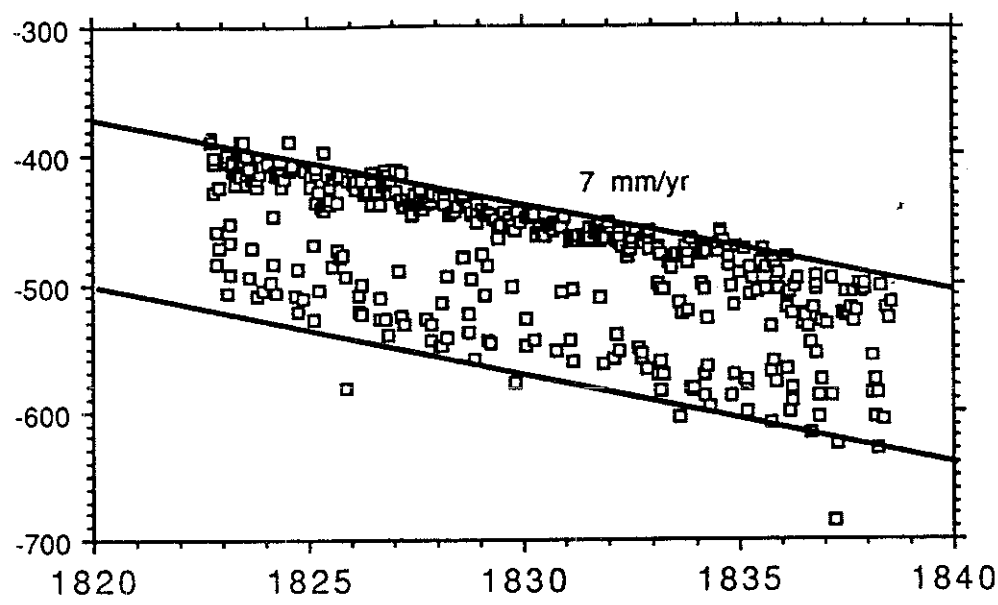


Figure 10 : Mesures hebdomadaires de la hauteur de la colonne d'eau effectuées par Niccolini entre le 6 octobre 1822 et le 1 juillet 1838 (figure *in* Dvorak et Mastrolorenzo, 1991).

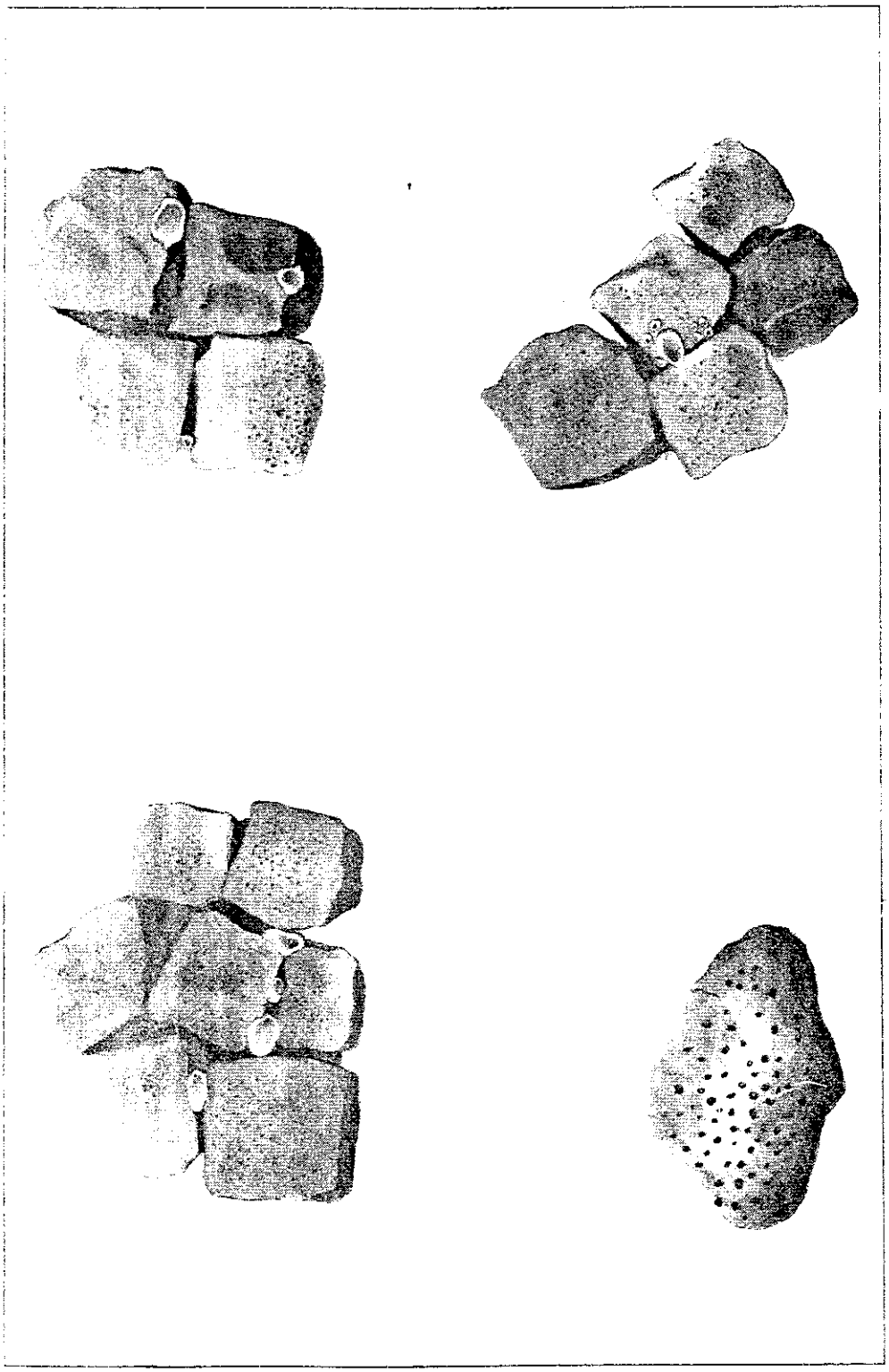


Figure 11 : Faunes marines fixées et blocs bioperforés par des cliones (?) (Niccolini, 1846).

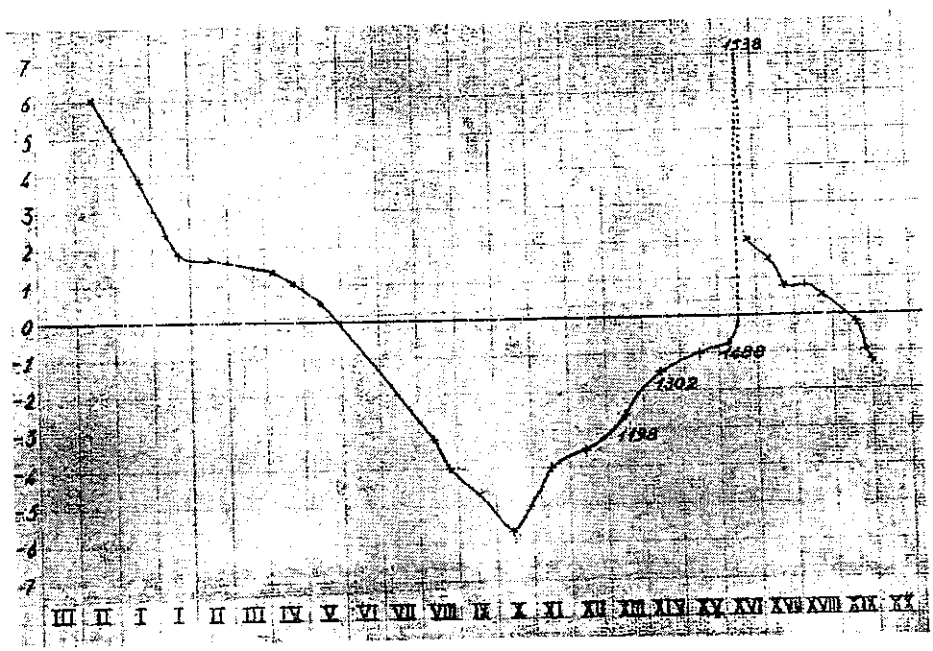


Figure 12 : Variations relatives du niveau de la mer à Pouzzoles
d'après les indications de Niccolini, graphique dessiné par Parascandola (1947).

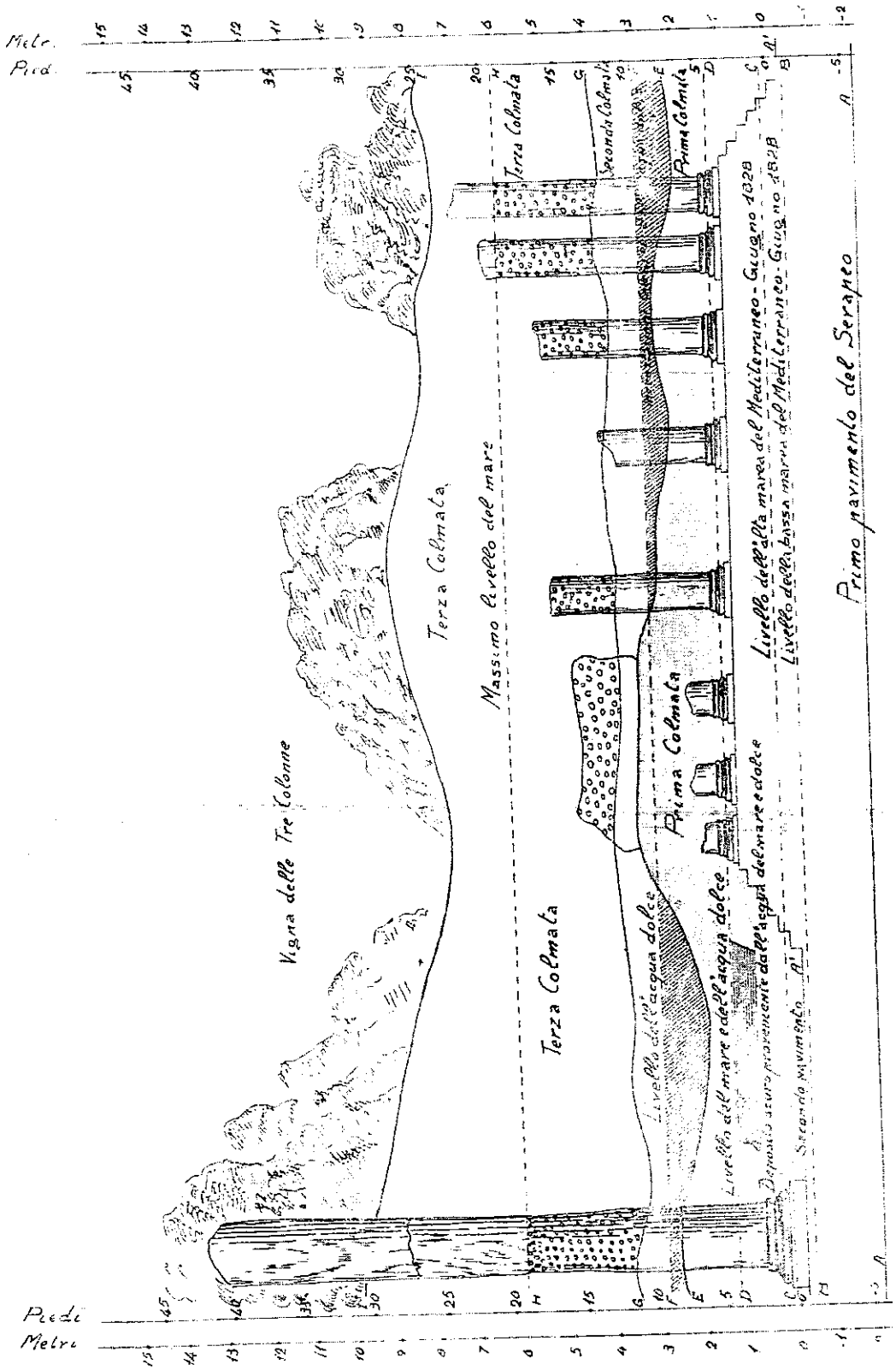


Figure 13 : Coupe du marché romain de Pouzzoles d'après Babbage (*in* Parascandola, 1947).

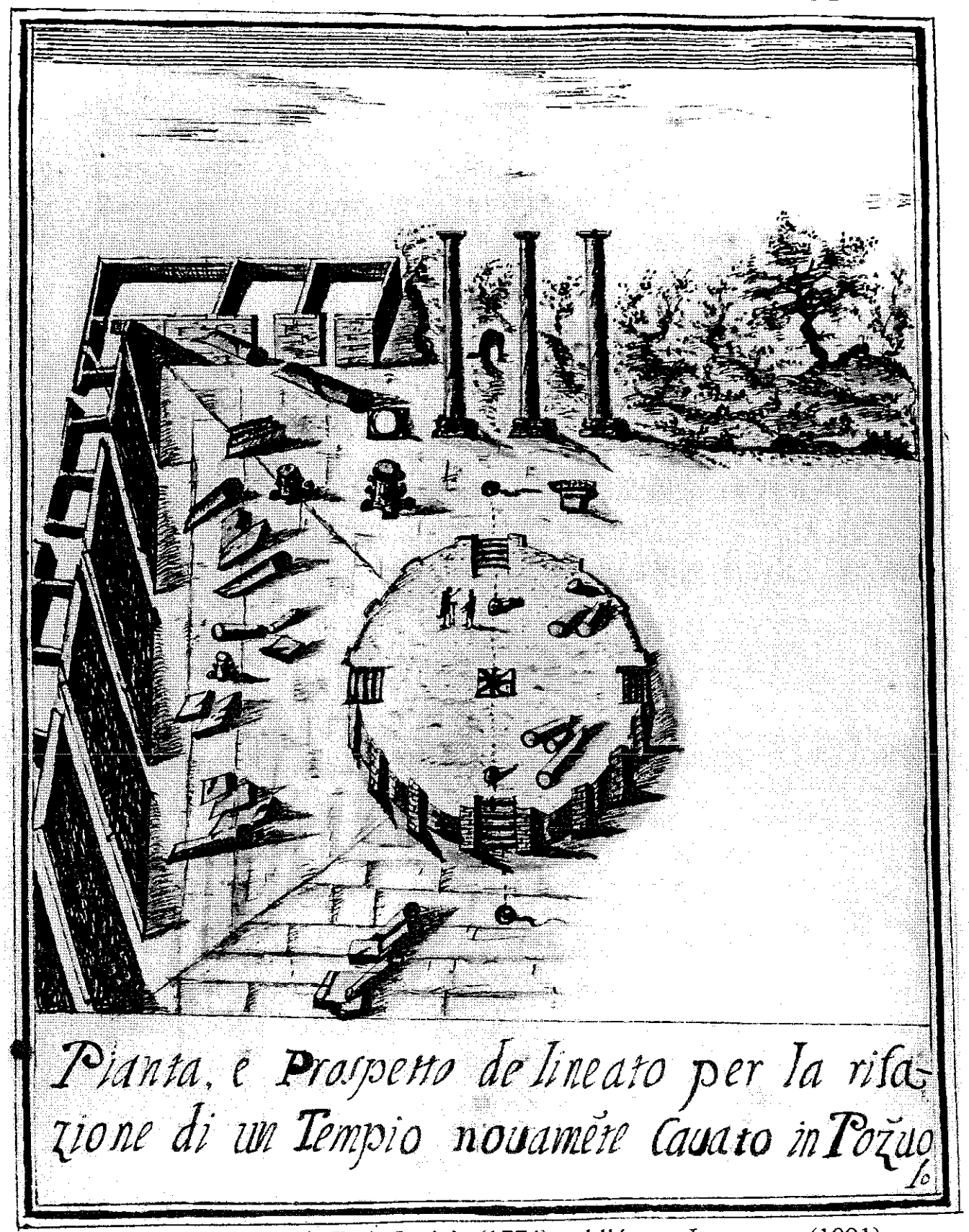


Figure 14 : Gravure de F. A. Letizia (1774) publiée par Lacerenza (1991) montrant l'état de conservation du marché romain peu après sa découverte et le début des fouilles archéologiques. Seules les trois grandes colonnes sont en place.

de la baie de Naples, particulièrement sur l'île de Capri et la presqu'île sorrentine. Il fait un excellent travail de relevé de terrain et se garde de trop spéculer sur les causes possibles de telles situations qu'il interprète comme fondamentalement d'origine tectonique. L'archéologue Dubois (1907) synthétise ces résultats et décrit plus précisément les différents monuments antiques de Pouzzoles, en particulier le môle soulevé de Caligula et d'éventuelles structures portuaires d'époque romaine sous Rione Terra (aujourd'hui réinterprétées comme des piles de protection sous-marine de la falaise de Rione Terra, N. Severino, comm. pers.). Le principal problème lié à ces publications est la compilation de données paléobathymétriques obtenues dans des contextes géologiques différents, ce qui aboutit à des courbes composites sans réelle signification, alors que les mesures sur le terrain ont été exécutées avec soin et rigueur.

Parascandola (1947 et 1952) publie une synthèse considérée pendant un demi-siècle comme définitive. Son travail méticuleux, pluridisciplinaire, compilatoire et précis va polariser la recherche sur l'étagement de deux zones de circulation (pavements du "temple" séparés par environ 2,1 m) censé correspondre à une élévation relative du niveau de la mer. Ces résultats sont encore repris tels quels près d'un demi-siècle plus tard (Giacomelli et Scandone, 1992 ou Bartolini et Carobene, 1996). Parascandola propose d'identifier trois phases principales qu'il relie clairement à une mobilité pré- et post-éruptive (figure 15) :

- du II° siècle avant J.-C. au début du X° siècle après J.-C., période caractérisée par un mouvement bradysismique descendant, avec une vitesse d'1 m/siècle.

- du X° siècle après J.-C. à 1538, période caractérisée par un mouvement bradysismique ascendant, avec une vitesse d'environ 1 m/siècle. L'éruption de la Solfatare, en 1198, aurait été précédée d'un soulèvement du substrat pendant les deux siècles précédents (Caputo, 1979). Le début du XVI° siècle est la période la mieux documentée avec la publication de deux édits royaux qui concèdent de nouvelles terres émergées en 1501 et 1503 et de nombreux textes qui décrivent l'abaissement du plan d'eau en relation avec l'éruption du Monte Nuovo de 1538.

- de 1538 à 1947, période caractérisée par un mouvement bradysismique descendant, avec une vitesse d'environ 0,6 m/siècle jusqu'au XVII° siècle. La vitesse s'établirait à 1,5 m/siècle au XVIII° siècle.

Nous pouvons retenir trois points de tous ces travaux, dont nous n'avons présenté que les principaux (la plupart des géologues italiens et européens ayant visité le site et exposé brièvement leur point de vue comme Suess ou Mercalli dans le cadre de synthèses ou de colloques) :

1. Comme le souligne Parascandola (1947), les auteurs décrivent tous une période de haut niveau marin, aux IX°-X° siècles pour Niccolini, vers 1300 pour Suess, vers 1500 pour Lyell et Günther... L'imprécision des fourchettes chronologiques tient à l'absence de données précises sur les périodes étudiées. Seul, Signore (1935), qui semble surtout s'intéresser aux affaissements du sol, suppose

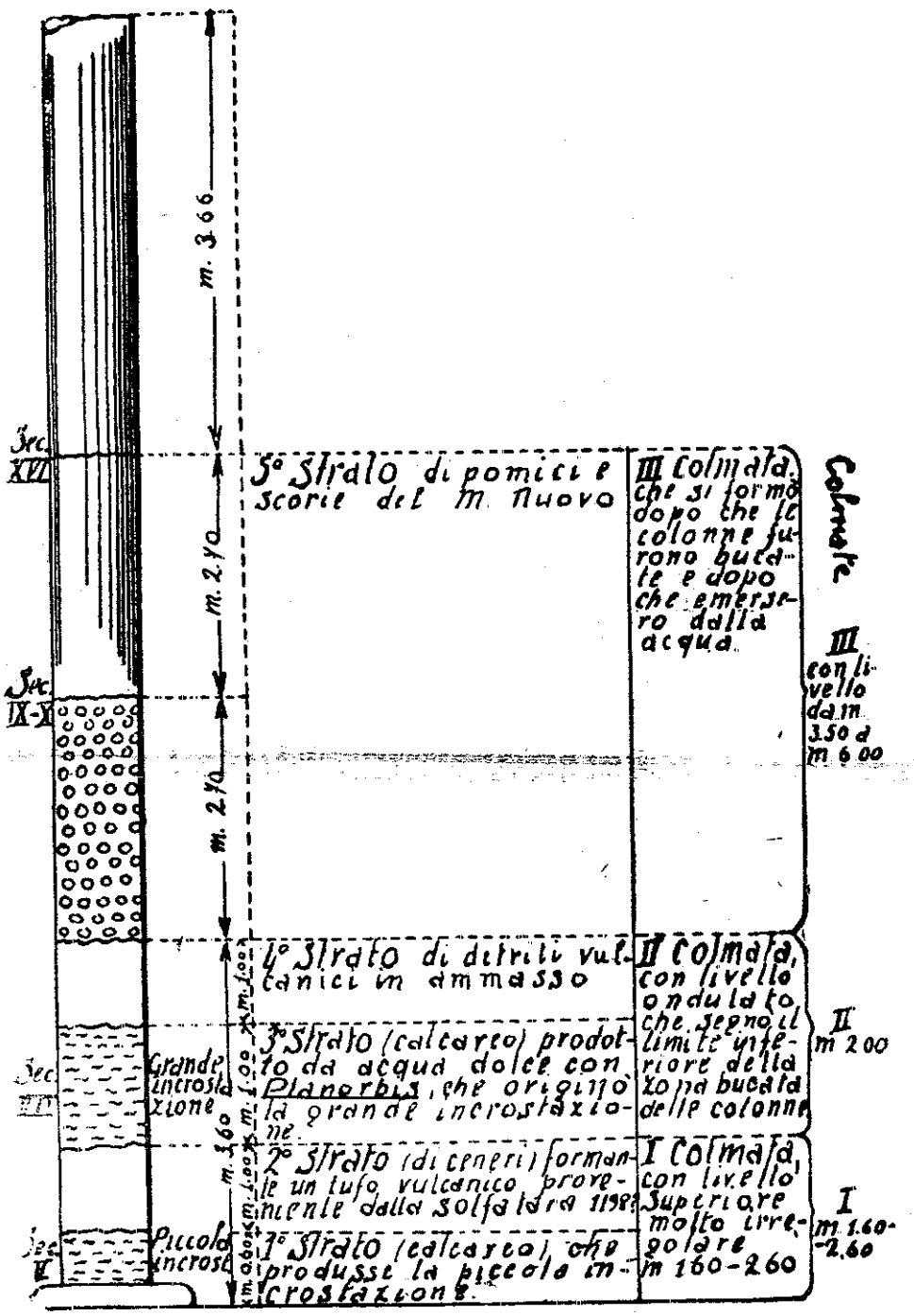


Figure 15 : Coupe schématique d'une colonne du marché romain de Pouzzoles, d'après Parascandola, 1947

deux oscillations bradysismiques entre l'époque romaine et l'éruption de 1538. Un premier haut niveau marin relatif correspondrait aux XI°-XII° siècle, précédant l'éruption de la Solfatare de 1198. Un deuxième haut niveau marin relatif s'achèverait vers 1500, un peu avant l'éruption du Monte Nuovo. Ces affirmations ne sont guère documentées (Signore, 1935).

2. Concernant les positions scientifiques, on remarquera que le rôle de la mobilité du substrat, et particulièrement de la mobilité volcano-tectonique, devient prépondérant au cours du temps dans l'explication des hauts niveaux marins relatifs. La thèse de Goethe (lagune au cœur du "temple") ou le système unicausal de mobilité absolue du niveau marin (thèse de Niccolini) ont été progressivement abandonnés, non sans avoir considérablement brouillé les débats du fait de la stature scientifique de leurs auteurs.

3. Depuis la synthèse de Parascandola, la majorité des géologues évoquent cet édifice célèbrissime qui figure, telle une enluminure, dans quasiment tous les manuels universitaires de géologie, même si ce secteur n'est plus sérieusement étudié depuis près de 50 ans. On compte cependant de nombreuses publications récentes, mais superficielles, comme celles du néo-catastrophiste Ager (1989 et 1995). Les chercheurs déplorent l'absence totale de coquilles de mollusques perforants, emportées par les touristes amateurs de souvenirs du XIX° siècle (Dvorak et Mastrolorenzo, 1991), ce qui est d'ailleurs complètement faux. Flemming (1969 et 1996) conclut en rappelant que la date précise de la submersion est inconnue, soulignant la faiblesse des progrès de la recherche dans cette région.

Des datations absolues des coquilles de lithophages n'ont finalement été effectuées qu'à partir des années 90, vraisemblablement pour cause de trop faible fréquentation du site par les chercheurs, sous l'influence de leurs préjugés. On ne peut donc qu'être admiratif des travaux précis de terrain de nos prédécesseurs, alors que les Champs Phlégréens et Pouzzoles, aux portes d'une des plus anciennes et plus grandes facultés d'Europe, vont être visités et étudiés par les plus importantes personnalités de la volcanologie mondiale lors des deux crises bradysismiques récentes de 1969-1971 et 1982-1984, qui ont affecté ce quartier et entraîné le drame humain de l'évacuation du centre historique.

II. 2. Progrès récents de la recherche sur le site de Pouzzoles

Les progrès proviennent de plusieurs champs disciplinaires :

a. La paléographie, avec les travaux de Frederiksen (1984), qui réinterprète les actes apocryphes des apôtres Paul et Pierre. Il s'agit d'un texte grec, datant originellement du IV° siècle après J.-C. mais remanié au IX° siècle, qui décrit l'arrivée de Paul à Pouzzoles et l'immersion de cette cité dans la mer. Les historiens locaux, recompilant à nouveau les mêmes données, apportent assez peu d'éléments nouveaux (Annecchino, 1960 et Lopez, 1986), alors que pour les périodes récentes, les nombreux textes et documents iconographiques sont des témoignages

particulièrement riches sur la variation latérale du trait de côte et la mobilité verticale du niveau relatif de la mer (Pagano, 1997 ; Giamminelli, 1987 et 1996 ; figure 16).

Toutes les gravures montrent une progradation de la ligne de rivage depuis le milieu du XV° siècle après J.-C. (figure 17). En particulier, le codex d'Edimbourg, daté de 1450-1500, est un document exceptionnel. Une des vignettes présente en effet le golfe de Pouzzoles et deux colonnes à moitié hors d'eau qui évoquent les colonnes du temple romain (figure 7). A partir de 1500 et en relation directe avec l'éruption de 1538, on assiste à un soulèvement du sol sans précédent, bien illustré par la gravure de 1539 qui accompagne le texte décrivant l'éruption du Monte Nuovo par da Toledo (figure 18).

b. L'archéologie sous-marine (figure 19) qui s'est principalement concentrée sur le secteur de Portus Julius (Gianfrotta, 1988, 1993 et 1996), de Baia (Di Fraia *et al.*, 1988 ; Di Fraia, 1993 ; Scognamiglio, 1997), de Bacoli (Benini, 1997) et de Misène (Caputo, 1995-96 ; Gianfrotta, 1996). La côte rocheuse de Rione Terra a fait l'objet de plus rares prospections et publications, vraisemblablement du fait d'une intense pollution et d'une moins grande richesse apparente des structures immergées (Sommela, 1978). Les résultats montrent que de nombreuses structures archéologiques, à l'origine émergées, sont par 8 m de fond au maximum (Dvorak et Mastrolorenzo,1991 et plongées personnelles).

c. Les mesures de **géodésie terrestre** entreprises par les chercheurs de l'Osservatorio Vesuviano, sont mises en relation avec la chronologie des tremblements de terre (Liviera Zugiani, 1972 ; Caputo, 1979 ; Berrino *et al.*, 1984 ; Berrino et Corrado, 1991 ; Dvorak et Berrino, 1991 ; Dvorak et Gasparini, 1991). Les soulèvements du substrat sont systématiquement associés à des évènements pré-éruptifs de remplissage de la chambre magmatique phlégréenne. La connaissance des mécanismes (remplissage des cavités magmatiques par des gaz et des liquides...) progresse principalement grâce à l'étude des deux crises bradysismiques récentes en 1969-1971 et 1982-1984 (Luongo et Scandone, 1991 ; Barberi *et al.*, 1991). Les recherches géophysiques récentes insistent sur le rôle des fluides au sein du système géothermal en tentant une approche modélisante (Gaeta *et al.*, 1998). En revanche, la déformation historique du sol reste mal précisée (Dvorak et Mastrolorenzo, 1991 ; figure 18).

d. La stratigraphie et la géomorphologie, avec les travaux des chercheurs de l'Université Frédéric II (Barra, 1991 ; Cinque *et al.*, 1985 et 1991). Cette équipe démontre l'existence de trois transgressions marines entre 8400 et 4000 ans BP à Pouzzoles ainsi que deux oscillations post-romaines sur le site antique des thermes de Misène, avec deux bas niveaux marins relatifs vers le début du V° siècle après J.-C. et vers les VIII°-IX° siècles après J.-C. Ces travaux montrent, d'une part, la grande diversité spatiale de la mobilité topographique des différents lieux le long de la caldeira de Pouzzoles et, d'autre part, la complexité des mouvements verticaux (et latéraux) qui sont rarement unidirectionnels pendant plusieurs siècles mais sont caractérisés par des variations de vitesse et des renversements de direction.

Dans le cadre des programmes CUMA 1 et 2 du Centre Jean Bérard (Ecole Française de Rome à Naples) et en accord avec la Surintendance Archéologique de

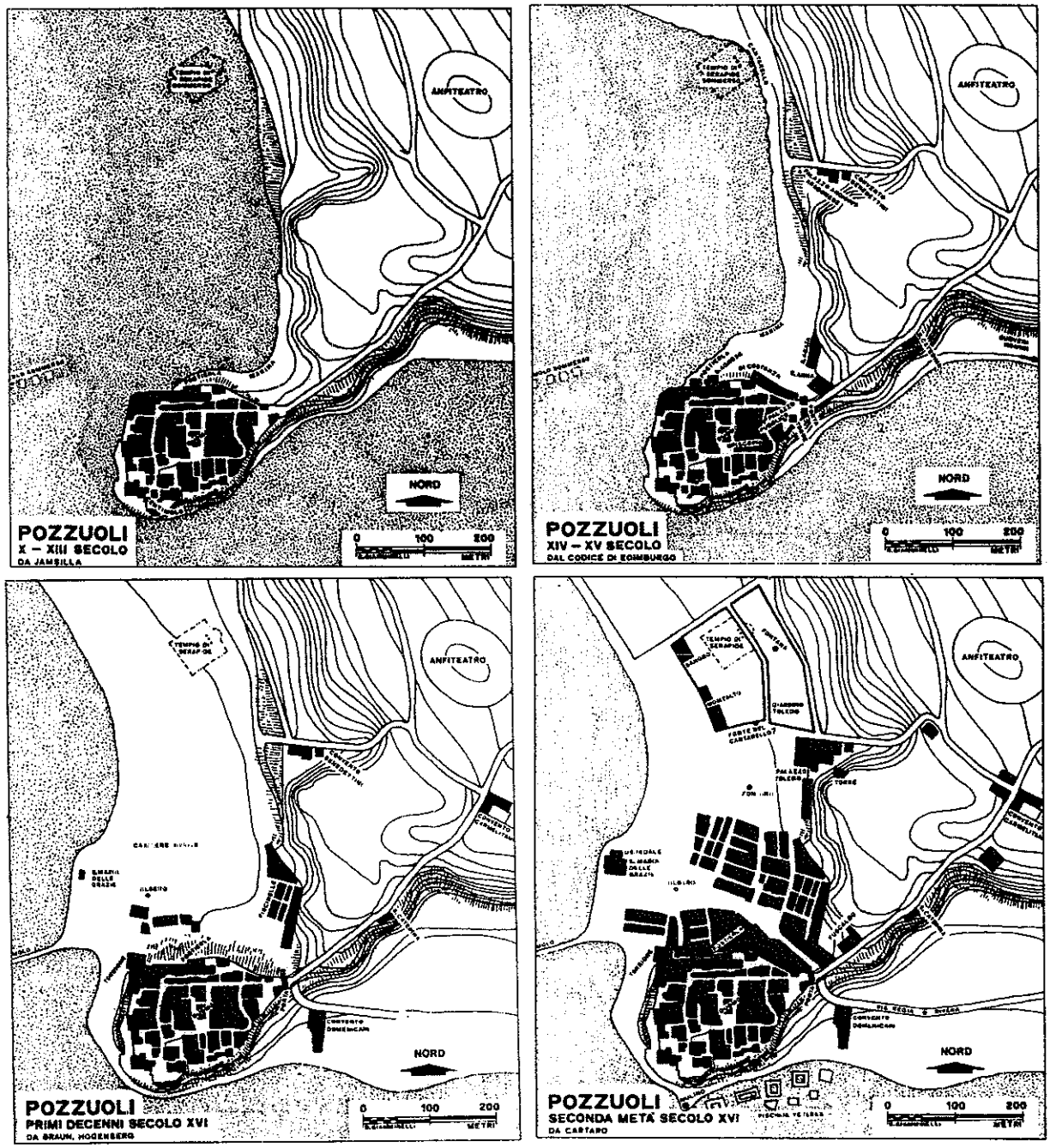


Figure 16 : Progradation de la ligne de rivage à Pouzzoles, d'après Giamminelli, (1996), du 5° siècle après J.-C.à la deuxième moitié du 16° siècle.

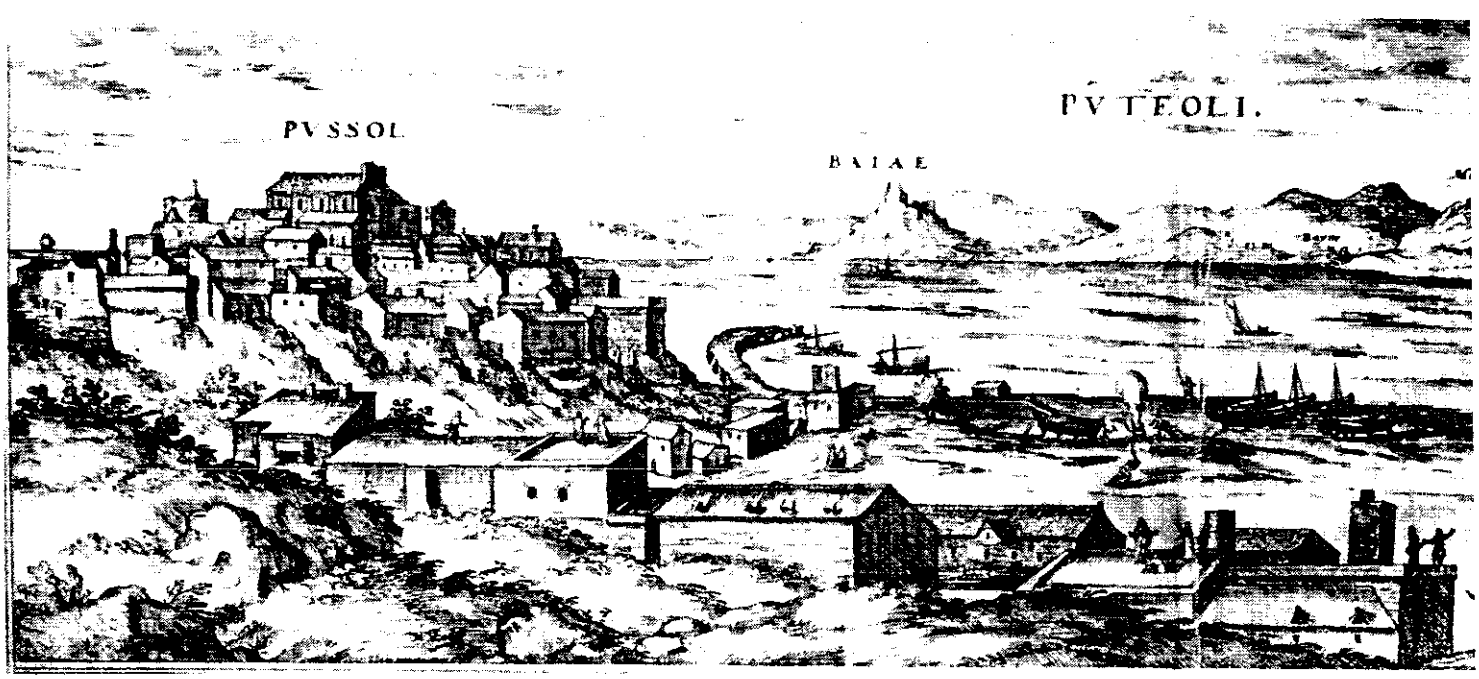


Figure 17 : Gravure de G. Braun et de F. Hogenberg, éditée à Cologne en 1572.
On peut observer le bourg en expansion au pied de la cité de Rione Terra.

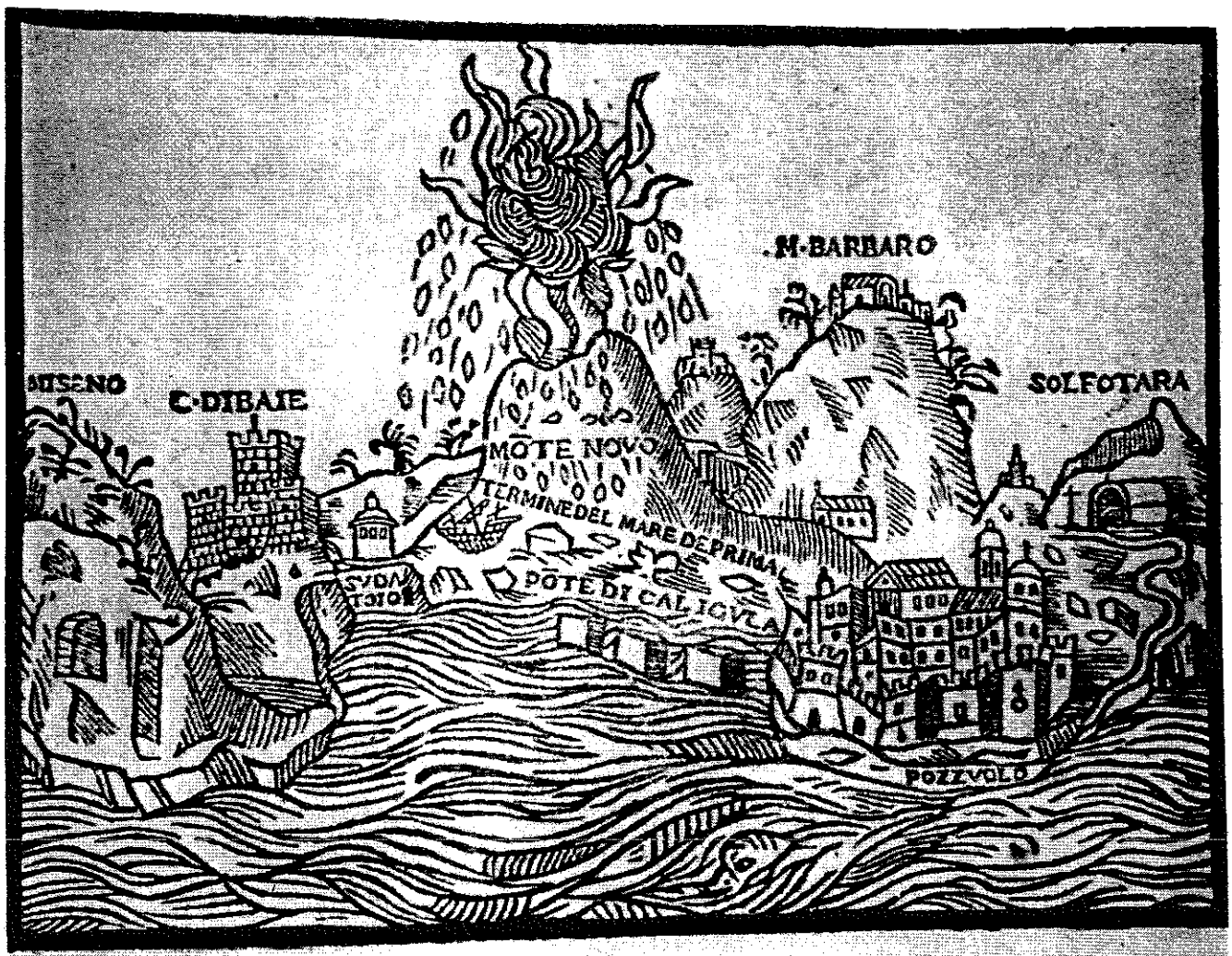


Figure 18 : Gravure de Delli Falconi datée de 1539, accompagnant la description de l'éruption de da Toledo. On observe l'ancienne ligne de rivage antérieure à l'éruption de 1538 du Monte Nuovo et un navire à proximité.

Naples, nous avons pu effectuer des prélèvements de lithophages et de faunes fixées ainsi qu'un nivellement précis qui permettent de progresser sensiblement sur la mobilité paléobathymétrique du secteur de Pouzzoles. Les résultats obtenus ont fait l'objet de trois publications récentes (Giudicepietro, 1993 ; Morhange *et al.*, 1998a et 1999b) et de récentes datations qui seront discutées plus loin (deuxième partie).

Les recherches anciennes étaient méticuleuses, mais limitées technologiquement du point de vue chronologique (impossibilité de datation isotopique des coquilles marines avant la Seconde Guerre Mondiale et les travaux pionniers de Libby). De plus, les interprétations ont longtemps été biaisées, au moins jusque vers 1850, par des débats pseudo-scientifiques et mal argumentés entre les tenants d'une mobilité d'origine volcanique et les adeptes de la variation absolue du niveau de la mer Méditerranée. De nos jours, on pourra remarquer, alors que nous disposons de nombreux moyens précis de datation (AMS entre autres), que ce site a été "oublié" pour diverses raisons. Suess (1908-1918), déjà à la recherche d'indices d'une mobilité eustasique globale, avait pressenti que les vestiges romains de Pouzzoles n'avaient qu'un intérêt méthodologique et local. Il réussit à imposer à la communauté des géologues, pour plus d'un demi-siècle, le mythe de la stabilité du niveau de la mer Méditerranée (et de l'océan mondial) aux temps historiques.

De nos jours, si les techniques de mesure de la mobilité relative du niveau de la mer au cours de l'Holocène et de modélisation ont beaucoup progressé, on remarquera que les débats interprétatifs n'opposent plus les fixistes aux mobilistes ou les catastrophistes aux uniformistes, mais que chaque institut (celui de Toronto sous la houlette de Peltier, les Australiens de Canberra avec Lambeck, l'équipe du Lamont avec Fairbanks, ou celle du CEREGE avec Bard....) propose des scenarii et des systèmes multicausaux un peu différents, le poids de chacun des facteurs étant variable (rôles différents de l'eustasie et du rebond isostasique par exemple...). On peut donc surtout en conclure un progrès en ce qui concerne l'acquisition et la multiplication des données sur tous les rivages du globe (Pirazzoli, 1991). Les conflits sont aussi devenus moins manichéens, mais l'extraction des différents signaux océaniques reste toujours assez problématique (Le Provost, 1991), comme en témoignent les tentatives récentes de comparaison entre données mesurées sur le terrain et estimation des modèles (pour la Provence par exemple : Pirazzoli, 1997 et 1998a ; Lambeck et Bard, 2000 ; Morhange *et al.*, 2001).

III. Progrès de la connaissance sur la mobilité des lignes de rivage du Vieux Port de Marseille. Etat de la question au début des fouilles archéologiques en 1992

Parallèlement à ma recherche géomorphologique et stratigraphique sur les chantiers archéologiques du Vieux Port (fouilles du Carénage, Jules Verne, de Gaulle, Alcazar-Providence) dont les principaux résultats sont présentés et discutés dans la deuxième partie, j'ai éprouvé le besoin de "redécouvrir" les données antérieures, en particulier celles liées aux grands travaux d'urbanisme du XIX° siècle et à la reconstruction du centre urbain après la Seconde Guerre Mondiale. J'ai pu, en particulier, travailler sur le fond d'archives de l'archéologue Fernand Benoit, directeur scientifique de la plupart des opérations de fouilles du quartier du Panier (rive nord du Vieux Port de Marseille) lors de sa reconstruction après la Seconde Guerre Mondiale. J'avais deux problématiques :

D'une part, je souhaitais à la fois faire un état bibliographique de la question et vérifier si le "fixisme strict" (dogmatique) développé par Cayeux et le "fixisme mou" (pragmatique) de Denizot avaient eu des répercussions dans l'interprétation paléobathymétrique des structures archéologiques découvertes à l'époque.

D'autre part, un certain nombre de bruits circulaient dans la communauté des archéologues marseillais à propos des fouilles de Fernand Benoit et de son fameux fonds d'archives pluridisciplinaires. Benoit aurait fouillé de multiples lignes de rivage et effectué des relevés très précieux..., mais malheureusement ses publications restent trop elliptiques et Gouvernet, son collègue géologue, a très peu publié sur ce sujet (une rapide note à la Société Linnéenne de Provence en 1948). Il était donc impératif d'essayer de retrouver les carnets et les notes de terrain de ces chercheurs. Mon enquête n'a pas été facilitée du fait que le fonds d'archives Benoit n'est pas catalogué et qu'il est, de plus, dispersé entre le dépôt du Service Régional d'Archéologie à Aix (sous la forme de documents en vrac dans quelques cartons !) et le Centre de Documentation Méditerranéenne du Palais du Roure à Avignon.

On verra que les résultats de mes investigations ont été assez décevants du point de vue des résultats paléobathymétriques concrètement utilisables de nos jours, mais qu'il est intéressant de constater que le poids des dogmes de la science académique de l'époque (le fixisme de Suess et Cayeux) a empêché toute interprétation objective des données recueillies.

Enfin, si nous avons choisi de travailler sur la montée relative du niveau de la mer à Marseille, c'est parce que ce lieu est de première importance car c'est en effet ici qu'ont été déterminés les principaux zéros de référence du territoire français :

- Le zéro de l'échelle des marées de l'entrée du canal Saint-Jean est le plus ancien. Ce niveau de référence était constitué d'une échelle de marbre et il indiquait le 0 des plus basses mers connues. Il a longtemps servi de niveau repère aux ingénieurs hydrographes pour les cartes marines de Provence, mais a disparu

lors de la construction du pont transbordeur à la fin du XIX° siècle. Il ne semble pas qu'il subsiste de catalogue de mesures (Woppelmann, comm. pers).

- Le zéro Bourdalouë date, par décision ministérielle, du 13 janvier 1860 . Il est défini comme "le point d'où partira le plan horizontal de comparaison pour toute la France, c'est-à-dire la mer moyenne la plus basse de toutes nos côtes, celle de Marseille". Une échelle de bronze est donc localisée à proximité de l'échelle Saint-Jean. Il se positionne à + 40 cm au-dessus du 0 de Saint Jean. Il a longtemps été adopté comme 0 de référence pour les nivellements des compagnies de chemin de fer. Cette échelle a malheureusement aussi disparu lors de la construction du pont transbordeur.

- Le zéro Lallemand ou zéro NGF (zéro du Nivellement Général de France ou zéro normal du réseau de nivellement) a été défini à l'anse Calvo, d'après les enregistrements du marégraphe fondamental, au cours d'une période de douze années comprise entre le 3 février 1885 et le 1er janvier 1897 (Lallemand, 1890 ; Guéry *et al.*, 1981 ; Moussion *et al.*,1996 ; Vincent, 1997). Ce niveau moyen cumulé se positionne 32,9 cm au-dessus du 0 de Saint-Jean et 7,1 cm au-dessous du zéro Bourdalouë estimé trop haut (Pulligny de, 1890).

Des recherches paléobathymétriques étaient donc intéressantes afin de prolonger dans le temps les connaissances marégraphiques. La mesure d'indicateurs caractérisés par une précison altimétrique (fournie par les limites supérieures des peuplements infralittoraux) et chronologique (fournie par la datation archéologique des structures supports des faunes fixées ou perforantes) la plus grande possible devait être envisageable dans le plus vieux et plus grand port antique de France. Les résultats antérieurs à la décennie 90 semblaient très prometteurs.

III. 1. Eléments de "préhistoire" de l'archéologie marseillaise

Nous ne rappellerons pas le rôle des collectionneurs et des "antiquaires" de l'époque Moderne qui ne nous apportent rien sur la connaissance des littoraux antiques. A partir du XIX° siècle, un nombre important de publications traite de deux thèmes :

- Un premier courant "classique" abordait les données textuelles afin de proposer une hypothèse plausible de la topographie et de l'urbanisme des origines de la cité (Morel-Deledalle 1991 et 1999). Différents auteurs tentèrent alors de définir les différents contours et enceintes des villes successives établies autour du Vieux Port. Sous le Second Empire, ces chercheurs sont particulièrement motivés par l'intérêt de Napoléon III pour les sièges de Jules César. Un géomorphologue ne peut pas tirer grand chose de ces textes dépassés, à la fois trop généraux et trop spéculatifs.

- Dans un contexte de bouleversement sans précédent du tissu urbain marseillais, entre 1829 (construction du bassin de carénage sur la rive sud) et 1913 (découverte du mur dit "de Crinas", élément du rempart hellénistique dominant la

corne de La Bourse lors du percement de la rue Colbert, Trousset, 1984), un deuxième courant de chercheurs va interpréter, souvent de manière allusive, les données de l'archéologie. Une commission de fouilles est même nommée à l'occasion des grands travaux. Son objectif est de surveiller les aménagements urbains. Cette commission a surtout joué un rôle dans la récupération d'objets, et surtout de stèles, provenant de nécropoles grecques et romaines. Comme le font remarquer Euzennat et Salviat (1968), "on se borna à recueillir les objets les plus importants et en bon état sans procéder à aucune observation".

Les rivages sont donc peu étudiés d'autant plus que toute observation est rendue difficile du fait de la nappe phréatique. Les variations du niveau de la mer, en relation avec des découvertes archéologiques éparses, ne sont pas précisées par rapport au 0 NGF et les datations restent approximatives.

Les auteurs insistent surtout sur la découverte des restes de deux navires romains lors du percement de la rue Impériale entre 1862 et 1864. La seule épave étudiée se localise sous l'immeuble qui porte les numéros 1 et 3 de l'actuelle rue de la République. Elle se positionne vers 2 mètres sous le niveau actuel de la mer et est datée des Ier - IIème siècles de notre ère (figure 19 ; synthèse *in* Varoqueaux, 1968-70). Deux tronçons d'un alignement de blocs de pierre, sur une longueur de 30 mètres, sont localisés à proximité de l'épave. Ils ont été interprétés comme des quais. Nous n'avons aucune donnée sur la profondeur de cette structure attribuée à l'époque romaine (Varoqueaux, 1968-70). La deuxième épave, qui est un navire de grande dimension, a été observée sur une quinzaine de mètres de long, à proximité, sous la rue Coutellerie. Elle n'a pas été étudiée (Vasseur, 1911).

Sous le grand magasin des Nouvelles Galeries, le long de la Canebière, une petite barque attachée par une chaîne à un pieu (Clerc, 1927-1929) n'offre aucun intérêt paléobathymétrique, car elle se positionnait le long de la berge d'un ruisseau à environ + 4 mètres d'altitude au-dessus du plan d'eau marin (Denizot,1957).

La pose des égouts et des travaux de voirie à la fin du XIXème siècle (entre 1892 et 1902) permettent à Monsieur L. Lan, Chef de division des Travaux Publics à la Mairie, de faire de nombreuses observations sur les formations superficielles et les indentations de la ligne de rivage (Vasseur, 1914). Par exemple, il a observé sous la place Vivaux un sédiment marin sableux vers 3,5 à 4 mètres de profondeur (sous la surface du sol ou sous le niveau de la mer ?). Aucune précision n'est fournie sur la granulométrie et la faune marine contenue dans le sédiment. Cet indice ne permet donc pas de retrouver avec certitude un rivage antique (Vasseur, 1914 et Clerc, 1927-29). Les éléments recueillis par Lan n'ont d'ailleurs pas été publiés par cet auteur, mais réinterprétés par Vasseur (1914) d'après un manuscrit aujourd'hui introuvable.

Ces différents éléments ont ensuite été surinterprétés et les multiples cartes publiées concernant les lignes de rivage du Lacydon sous l'Antiquité correspondent beaucoup plus à des spéculations graphiques qu'à un travail de terrain et de laboratoire méticuleux (Duprat, 1935), la plupart des auteurs confondant variation de la ligne de rivage et mobilité du niveau de la mer (Vasseur, 1914 ; Bouchayer, 1931).

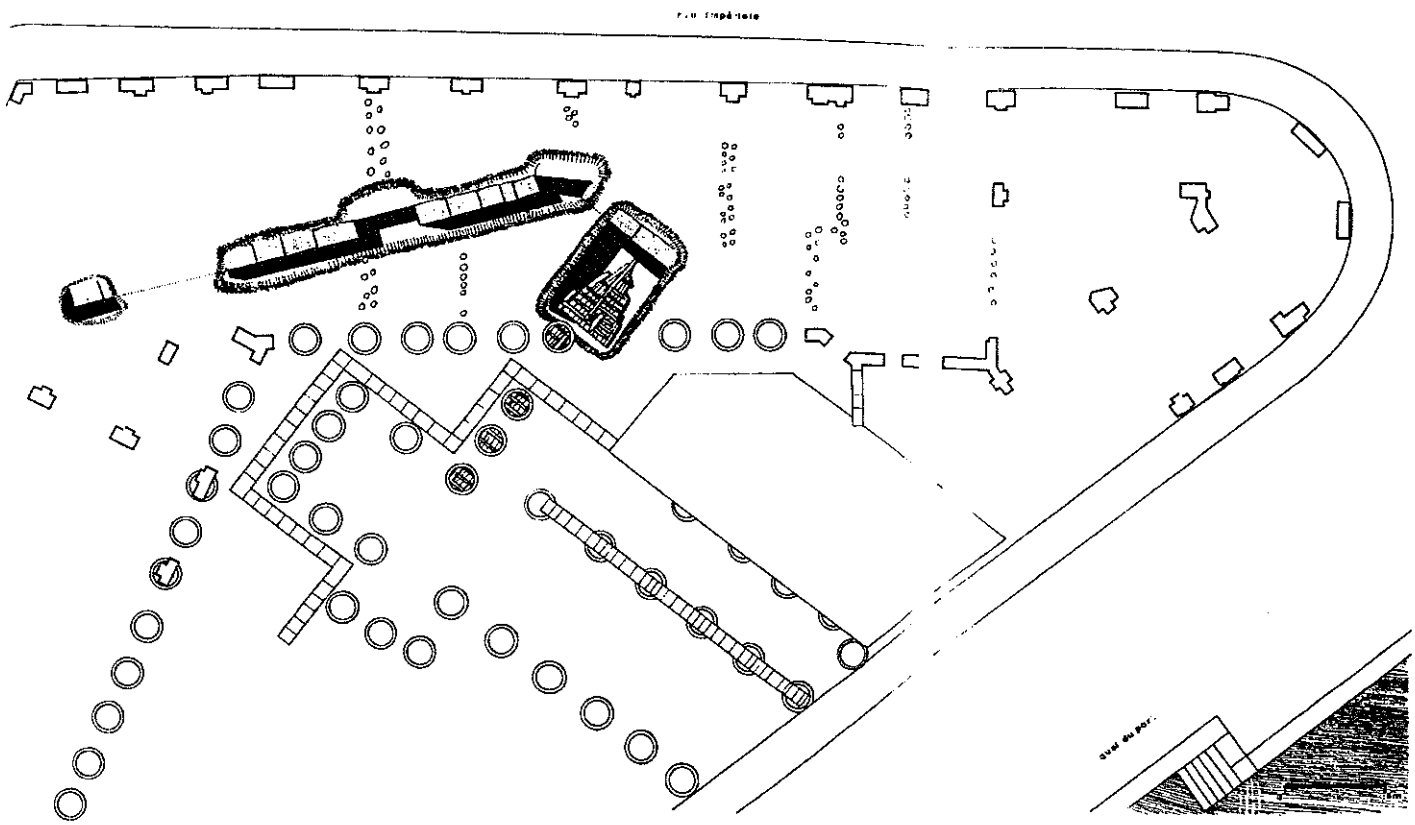


Figure 19 : Plan des fouilles de la rue Impériale (Varoqueaux, 1968-70).

On ne pourra donc quasiment rien retenir, concernant les rivages, de cette période d'intenses découvertes liée à l''haussmannisation" d'une grande partie du Vieux Marseille. Les érudits locaux estiment encore beaucoup les ouvrages de cette époque, particulièrement la synthèse de l'épigraphiste Michel Clerc (1927-1929), considérée jusqu'à ce jour comme "la référence pour connaître les origines et le développement de la ville antique" (Drocourt, 1999). Cet ouvrage est d'ailleurs régulièrement retiré en télécopie et l'on ne peut s'empêcher de penser que derrière cet enthousiasme transparaît surtout le goût de bibliophiles attachés à leur ville.

III. 2. Travaux postérieurs à la Seconde Guerre Mondiale (1945-1960), le dogme triomphant du fixisme

Au cours des fouilles archéologiques de sauvetage, effectuées dans un premier temps par H. Rolland, puis sous la direction de F. Benoit, dans le quartier au nord du Vieux Port détruit par les Allemands pendant la Seconde Guerre Mondiale, deux zones côtières ont fourni des résultats intéressants : le quartier de la Mairie et les environs de la consigne de Saint-Jean (figures 20 et 21). Un embryon d'équipe pluridisciplinaire s'était même mis en place avec Cl. Gouvernet pour la sédimentologie, P. Mars pour la malacologie et R. Molinier pour la botanique. Malheureusement, la plupart des résultats sont restés inédits et ont été dispersés. Nous avons péniblement essayé de rassembler toute la documentation disponible pouvant intéresser l'étude des niveaux marins.

En 1946 et 1947, Gouvernet a en effet observé et étudié à l'est (quartier de la Vieille Poissonnerie), puis à l'ouest de la Mairie (rue de l'Araignée, au sud de la fouille des docks romains, en 1947 et 1948), des formations de plage caractéristiques d'une côte abritée et d'un faible marnage (Gouvernet,1946, 1947 et 1948). Nous présentons et commentons les découvertes secteur par secteur, par souci de clarté et d'utilité pour les lecteurs.

III. 2. 1. Quartier de la Vieille Poissonnerie

En juin 1947, Benoit avait déjà découvert "une construction en grand appareil, avec incrustations de coquillages, paraissant appartenir à un quai romain" (Benoit, non daté, 1947 ?). La figure 22 illustre cette découverte qui, à notre connaissance, n'a pas été précisément localisée ni positionnée par rapport au 0 NGF. Pour Benoit, cet élément "tendrait à indiquer un léger exhaussement du niveau de la mer depuis l'époque grecque. Cet exhaussement est inférieur à un mètre" (Benoit, non daté, 1947 ?). Ces résultats n'ont jamais été publiés.

Dans le secteur proche de la Vieille Poissonnerie, le creusement d'une fosse (2ème sondage du secteur II = coupe II 1), au nord de la rue Saint-Christophe, sous la chaussée de la rue de la Daurade, a permis de mettre au jour une stratigraphie caractérisée par quatre types de sédiments (figure 23 ; Gouvernet, 1946). Les

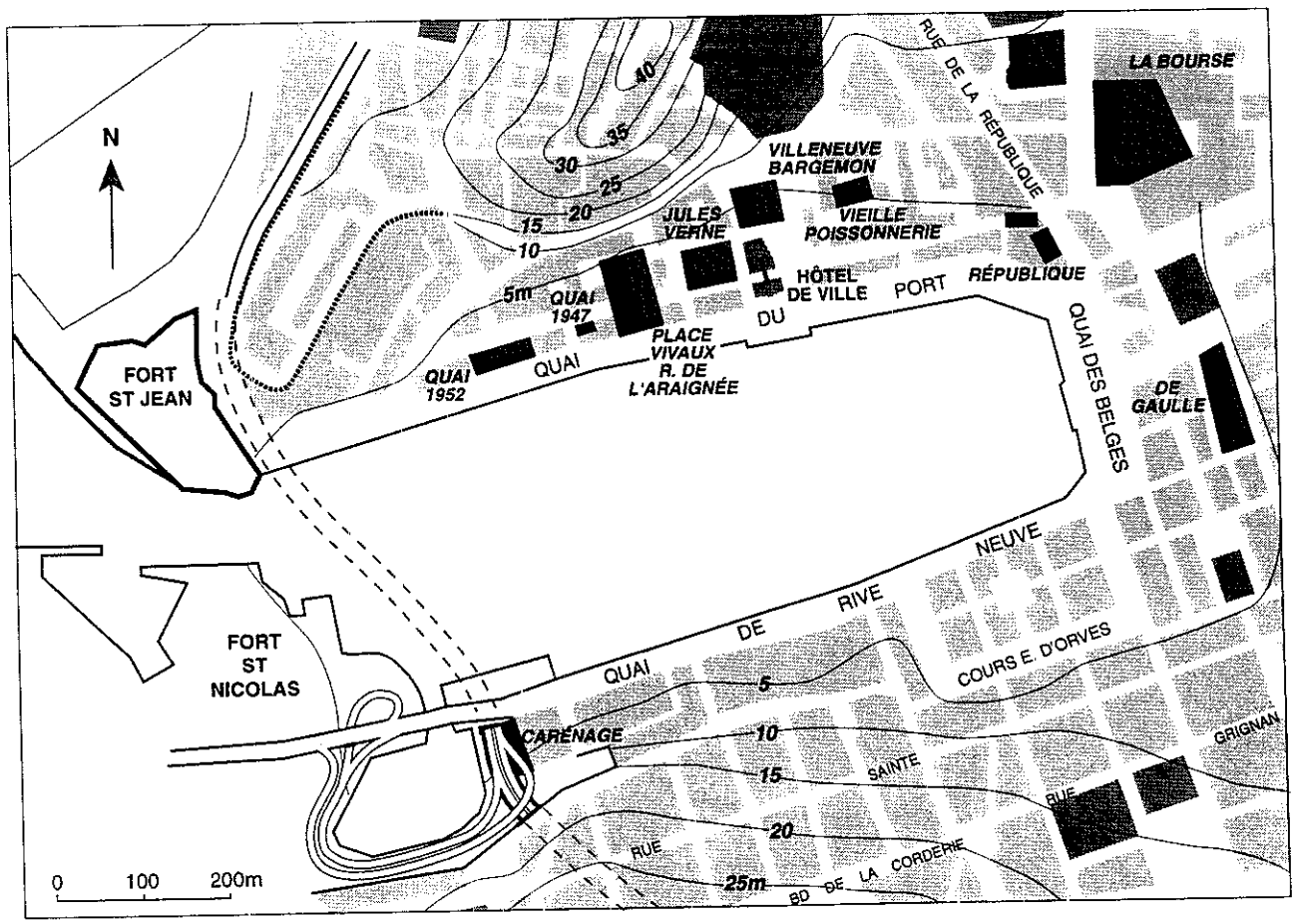


Figure 20 : Localisation des principales fouilles archéologiques sur les rives du Vieux Port de Marseille.

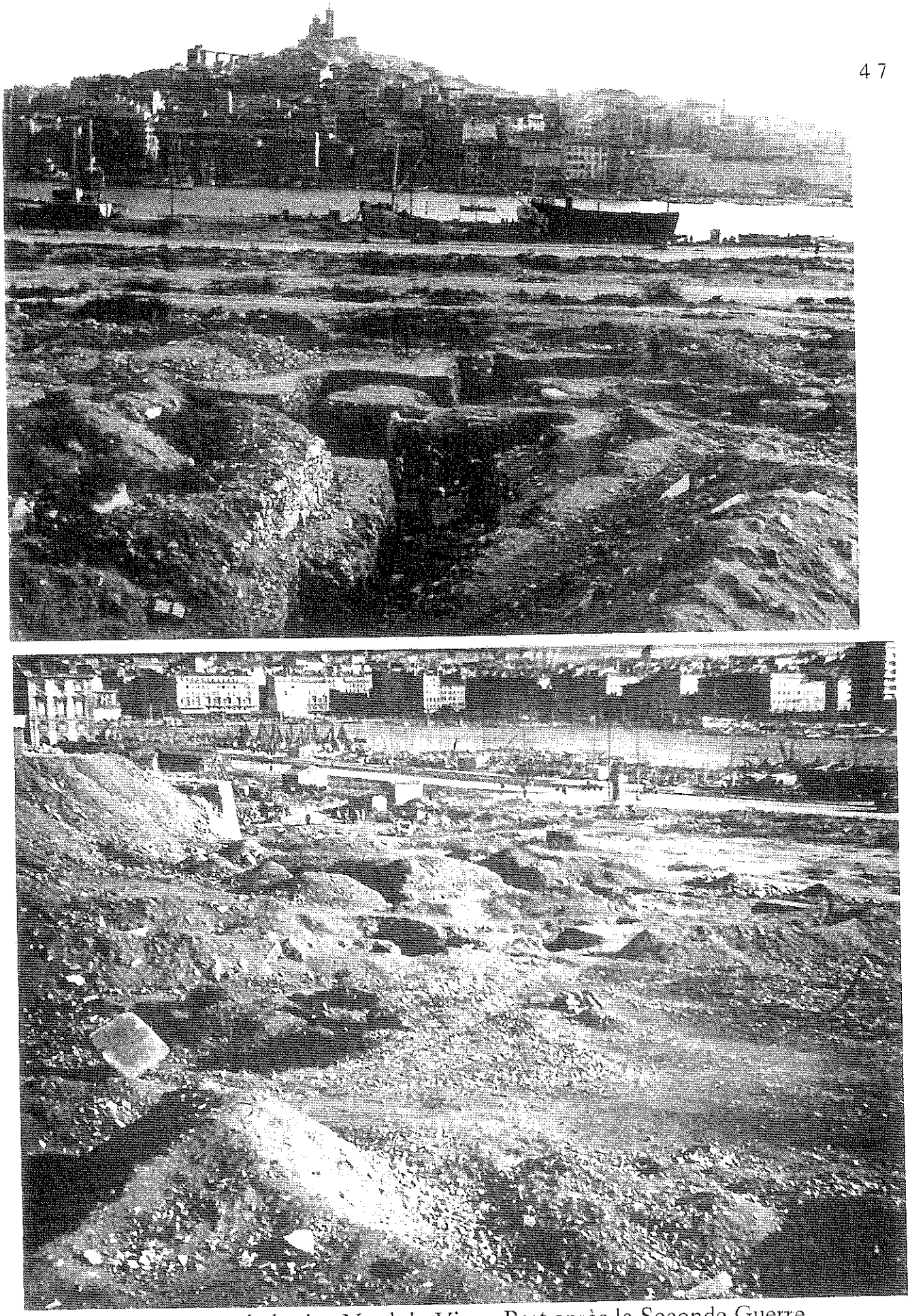


Figure 21 : Vues de la rive Nord du Vieux Port après la Seconde Guerre Mondiale. Coll. Benoit, SRA, Aix-en-Provence.

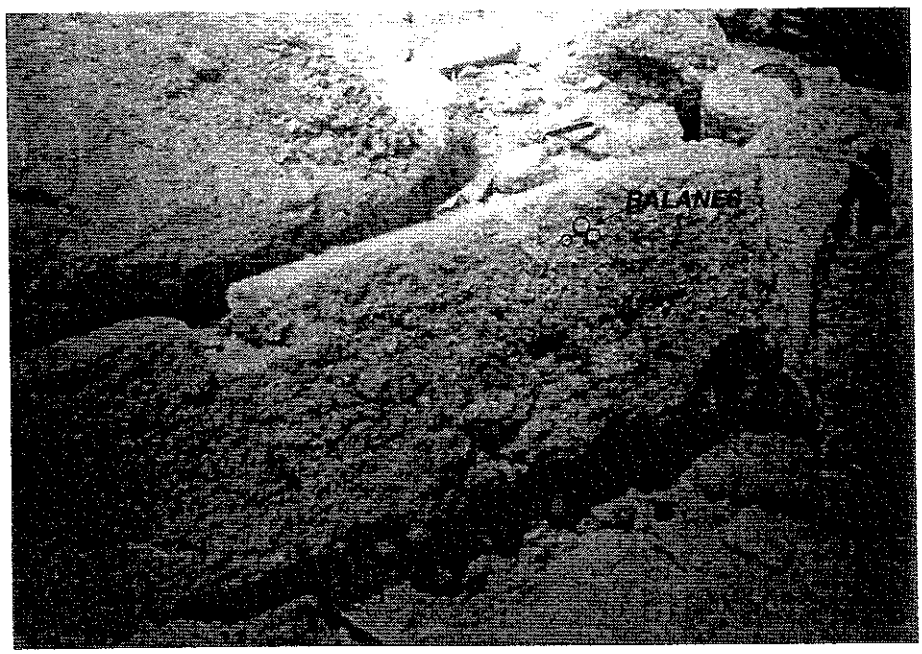


Figure 22 : Bloc présentant des incrustations de coquillages (balanes) découvert en 1947.

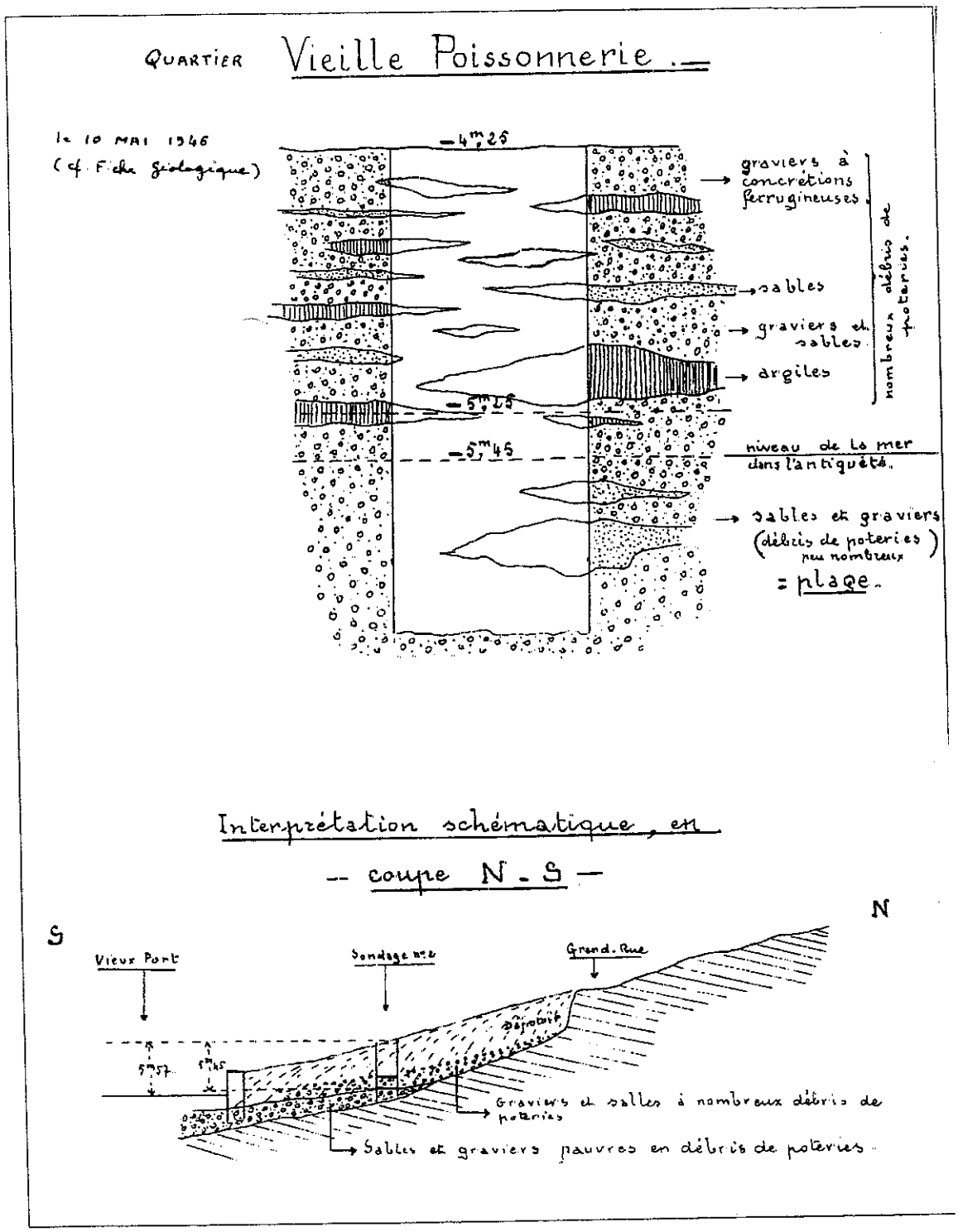


Figure 23 : Secteur de la Vieille Poissonnerie, 2ème sondage du secteur II = coupe II.1., stratigraphie caractérisée par quatre types de sédiments (Gouvernet, 1946).

tessons ayant été mélangés, cette stratigraphie n'est pas calée dans le temps. Gouvernet a individualisé quatre strates du sommet à la base de la coupe :

- au sommet, des sédiments divers de remblayage sous les fondations et les caves des immeubles.

- des bancs de graviers grossiers et roulés, enduits de concrétions ferrugineuses. Ces sédiments évoquent un milieu bien drainé de type torrentiel. Ils sont riches en débris de poteries.

- des masses lenticulaires étalées de graviers et de sables correspondant à une formation de plage de mode calme. Les sables, les limons et les argiles "révèlent, par leur distribution en petits amas, l'action constante et puissante des eaux de ruissellement sur des formations littorales non soumises à l'action brutale de la vague, ni à celle de la marée" (Gouvernet, 1946). Il s'agit d'une plage contenant des coquilles marines (*Cardium, Lima*) et terrestres (*Helix nemoralis*, gastéropode caractéristique des terrains marécageux susceptibles de s'assécher en été).

- à la base, un "complexe fossilifère de plage" pauvre en débris de poteries est constitué principalement de lentilles de sables et de galets quartzeux et calcaires. Il contient de nombreux morceaux de bois et de débris osseux d'animaux domestiques et d'élevage. Cet horizon révèle une action constante de la mer et localise la ligne de rivage. La limite supérieure de cette couche correspond à peu près au 0 NGF.

Ces observations ont permis à Gouvernet d'affirmer, dès 1946, que le niveau de la mer n'avait pas varié depuis l'époque antique à Marseille. Ces premières conclusions fixistes ont été précisées par la découverte d'une plage antique à l'ouest de la Mairie, sous l'ancienne rue de l'Araignée.

III. 2. 2. Coupe de la plage de la rue de l'Araignée

Le long d'une coupe nord-sud, d'une quarantaine de mètres de long, dans l'alignement de l'ancienne rue de l'Araignée (secteurs IX, XII et XIII de F. Benoit), Gouvernet (1947 et 1948) distingue deux principaux types de sédiments à proximité de la ligne de rivage (figure 24).

A la base de la coupe, les sédiments marins sont constitués par des sables jaunes et des graviers s'appuyant contre une petite falaise oligocène ravinée. Gouvernet insiste sur deux indicateurs de niveau de la mer :

- morphologique et sédimentologique. La falaise est en léger surplomb et domine graviers et sables grossiers (secteur IX 2). Elle recelait sous sa voûte et dans ses anfractuosités une faunule caractéristique de ce milieu (murex, trochus, patelles, cérithes, ruditapes...). Ce "rocher représente bien l'un de ces nombreux promontoires rocheux que la vague cisèle profondément lorsqu'elle rencontre, dans sa course, des formations géologiques" (Gouvernet, 1947). Il peut donc s'agir d'une encoche d'érosion marine au niveau de base.

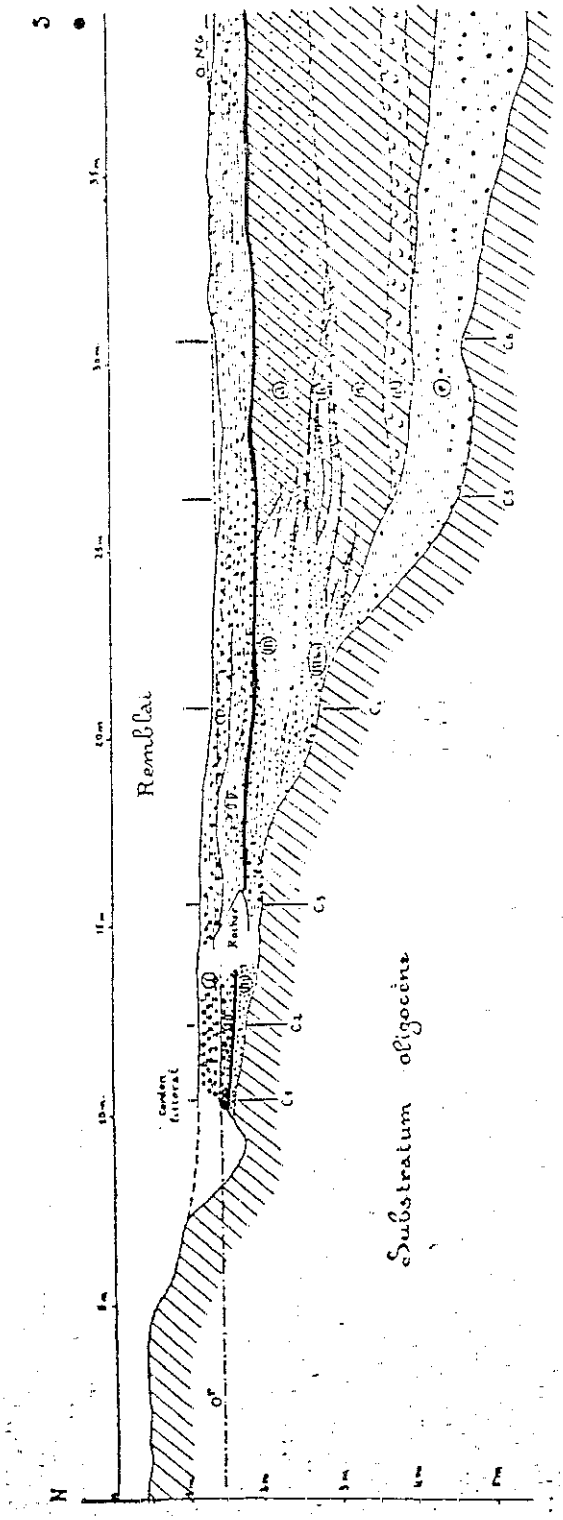


Figure 24 : Coupe stratigraphique de la rue de l'Araignée (Gouvernet, 1948).

- sédimentologique. Au pied de la falaise, la formation littorale est constituée de petits bancs irréguliers, inclinés vers le sud. Elle est interprétée comme un cordon littoral miniature, haut de 20 à 30 cm. Les faunes ont été déterminées en vrac, sans distinction stratigraphique (Mars, 1947). Mars distingue 34 espèces de mollusques qui caractérisent un environnement marin à légère tendance saumâtre, typique des calanques de Provence.

Les dépôts sont d'origine torrentielle et marine. "Ils résultent de la mise en place par la mer de matériaux transportés par les eaux de ruissellement". Ces formations "révèlent l'action permanente d'une mer s'étalant dans le Vieux-Port, au voisinage du 0 actuel" (Gouvernet,1948). Cette plage antique est "parfaitement caractérisée par ses faciès détritiques littoraux et ses faunes marines de rivage". Benoit date ces dépôts du début du VI^{ème} siècle avant J.-C.

Au sommet de la coupe, la limite supérieure de la formation littorale est scellée par des éléments détritiques torrentiels, à intercalations ferrugineuses. Cette limite est interprétée comme le "niveau moyen du plan d'eau antique sous lequel se déposaient les graviers et les sables de la plage" (Gouvernet,1948) qui correspond au "niveau supérieur atteint par la vague lors de l'ultime phase de comblement de la zone côtière par la mer" (Gouvernet,1948).

Gouvernet conclut sur trois points importants :

- Ce niveau correspond approximativement à la cote 0 NGF au début du VI^{ème} siècle avant J.-C. "Il en résulte que le plan d'eau du Lacydon antique s'étalant, par temps calme, jusqu'à la base du cordon littoral, était sensiblement au niveau de la mer actuelle".

- Etant donné la continuité parfaite de la sédimentation marine sur plus de 5 mètres d'épaisseur, il exclut toute régression marine entre la période grecque et le Moyen-Age.

- Il confirme la thèse, en vogue à l'époque, de la fixité du niveau de la mer Méditerranée au cours des temps historiques depuis les travaux de Suess (1908-1918) dont les conclusions sont reprises par Cayeux, 1907, 1914, et Denizot, 1939, 1951, 1957 et 1959.

En lisant attentivement Gouvernet (1947 et 1948), on perçoit que cet auteur positionne le niveau marin relatif vers - 30 cm NGF, à la base d'un "cordon littoral" émergé par temps calme, mais ces conclusions sont amoindries par l'absence de calage chronologique précis. Ces travaux représentent donc un progrès important dans la connaissance des rivages du Vieux Port, sur l'histoire du colmatage historique de la rive nord et sur la mobilité relative du niveau de la mer. Pour la première fois, est positionné avec précision un niveau marin du Lacydon antique, même si les interprétations fixistes restent soumises au dogme scientifique de l'époque.

III. 2. 3. Quai de la consigne de Saint-Jean

En mars 1952, au pied de la butte Saint-Laurent, en bordure du quai du Port et à environ 30 mètres en retrait par rapport à l'angle nord-est du pavillon oriental de la consigne de Saint-Jean, le creusement d'un collecteur a permis de "reconnaître les substructions d'un quai antique" (Benoit, 1953). Ce quai a été dégagé sur 20 mètres de long. Il est constitué de blocs juxtaposés sans mortier ni fondation, en calcaire rose de la Couronne. Benoit a noté que les faces latérales des dalles étaient incrustées de balanes, donc baignées par l'eau de mer. Ces faunes marines fixées sont d'ailleurs visibles sur les photographies d'époque (figure 25). Il date cette structure de la seconde moite du 1er siècle de notre ère. Ces dalles reposeraient vers - 0,25 m sous le 0 NGF (Benoit, 1972). Les notes de fouilles sont beaucoup moins précises et moins catégoriques (Benoit, 1952). La fouille de ce quai semble en effet avoir posé de multiples problèmes du fait de la présence de la nappe phréatique toute proche de la surface du sol (vers + 1,54 m NGF). Les blocs du quai se positionneraient vraisemblablement un peu plus profondément que la cote publiée en 1952 (?). Les notes de fouille sont beaucoup trop elliptiques pour en dire plus, F. Benoit s'étant plutôt intéressé à un important chapiteau ionique en réemploi dans le quai. Nous n'avons pu retrouver aucun plan clair de cette structure qui s'étendrait sur 20 mètres de long.

Plus d'une vingtaine des dalles du quai ont ensuite été réutilisées pour confectionner un bassin dans le jardin lapidaire du Musée Borelly, actuellement à l'abandon. Nous avons pu inspecter ces blocs qui ne présentent malheureusement plus d'incrustations biologiques ni de traces d'érosion biologique. Benoit insistait d'ailleurs beaucoup plus, avec raison, sur le rétrécissement important du plan d'eau en quelques millénaires que sur la montée modeste du niveau de la mer (Benoit, 1972).

Nous avons pu examiner le chapiteau ionique, taillé dans du calcaire blanc de Saint-Victor (Theodorescu et Tréziny, 2000). On distingue sur trois faces une micro-encoche d'érosion ainsi qu'une marque nette de réemploi. Cette ligne d'érosion correspond aussi à une zone de faiblesse lithologique (microlitage marqué). De plus, cette micro-encoche de 13 à 15 cm de hauteur et de quelques centimètres d'épaisseur présente une micromorphologie en cupules (d'érosion granulaire par le vent ?). Cette ligne est cependant morphologiquement très proche de l'encoche d'érosion marine visible le long du quai romain de la Bourse, celle-ci étant beaucoup moins marquée. Il est difficile de conclure en l'absence de toute faune marine fixée ou perforante.

On pourra donc conclure à propos de la découverte et de la destruction de cette structure archéologique, qu'il s'agit véritablement d'une occasion perdue du fait de techniques de fouille inappropriées et de l'obsession de la quête des objets. Au total, nous ne possédons aucune datation sûre, aucune cote bathymétrique précise et aucun plan détaillé dans ce secteur fondamental du Vieux Port, à proximité de la passe.

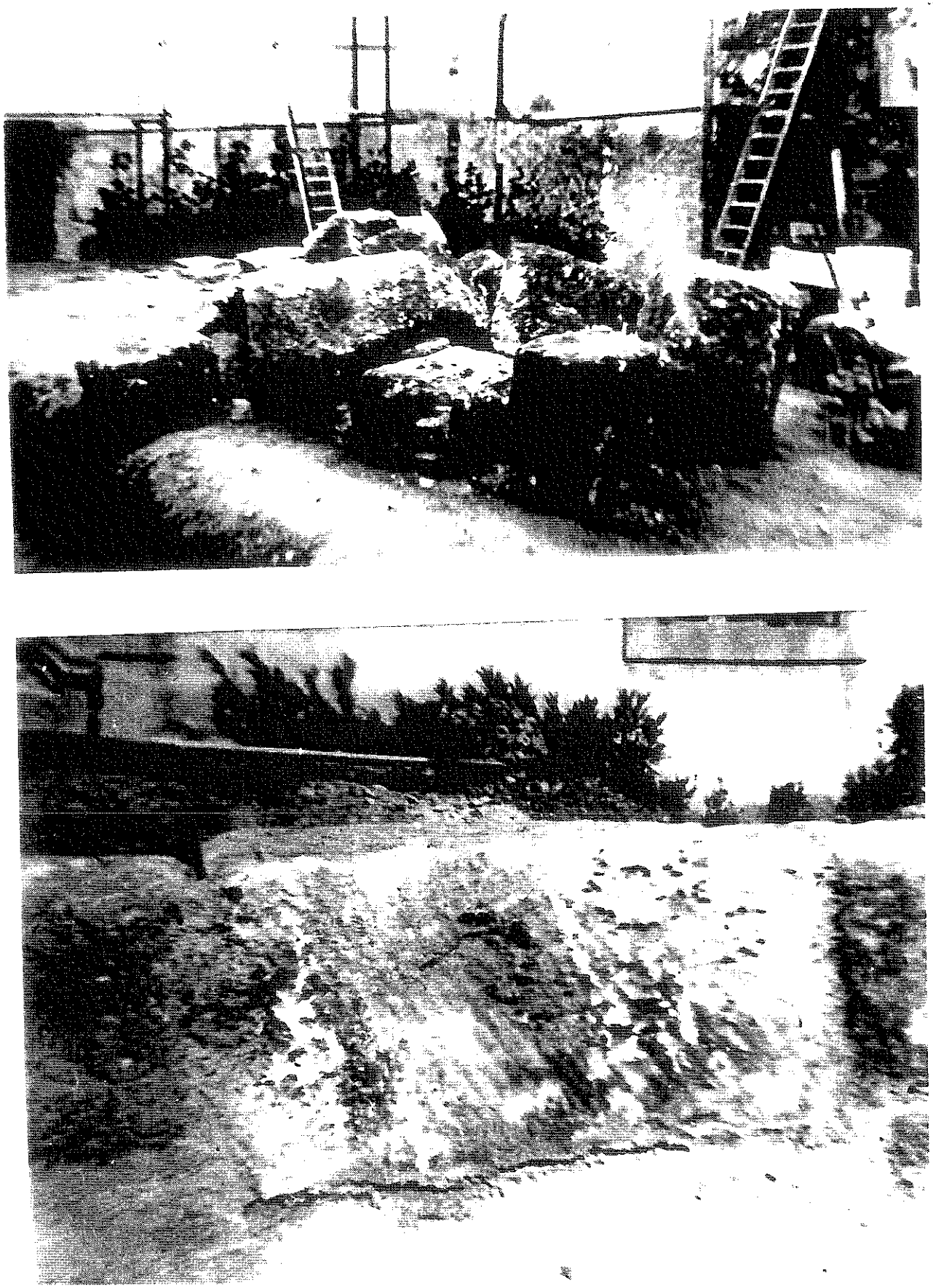


Figure 25 : Blocs du quai antique trouvé en 1952. Les blocs ont été transférés au palais Longchamps pour permettre l'édification d'un petit bassin d'eau douce. On peut encore observer des balanes sur les faces des blocs même après les opérations de fouille, de transport et de remontage. Coll. Benoit, SRA. Aix-en-Provence.

III. 2. 4. Equipements portuaires au sud de la place Vivaux

Benoit (1948) a décrit à l'aval des entrepôts romains (conservés *in situ* dans le Musée des docks romains) une zone de halage constituée de quatre poutres de bois horizontales et posées sur la plage antique sableuse vers - 0,20 m NGF (sondage IX 5 de 1947, figure 26). Les céramiques étudiées par Gantes (comm. pers.) la datent du deuxième siècle avant J.-C. Le problème est de savoir s'il s'agit de la partie émergée ou immergée de cette structure, ce que l'auteur ne précise pas. On peut penser qu'il s'agit de la partie aérienne car le sédiment semble surtout composé de sables, les fonds marins du secteur de la Mairie étant constitués de vases hétérogènes (Morhange, 1994).

Benoit et Molinier (1948) ont aussi décrit un appontement, constitué de pieux en pins d'Alep et en chênes. Benoit indique en outre que "des huîtres de grande taille sont restées collées aux pilotis après leur mort, auxquelles adhèrent de petites huîtres" (Benoit, non daté, 1947 ?). La profondeur de cette structure n'est malheureusement pas indiquée.

Benoit mentionne à proximité une estacade constituée de "six files de piliers de bois, ayant conservé à la partie supérieure les traces d'un cercle de métal, alignés parallèlement au port" (Benoit, 1972). Il date cette structure d'époque romaine, mais Gantes (1992) a démontré qu'il s'agissait des fondations d'un mur d'époque moderne.

Bonifay (1962) a décrit superficiellement des dépôts de "plage" de galets holocènes vers - 7 m, au large de la plage du Prado et - 10 m à l'anse de la Joliette et sur le pourtour du Vieux Port. Il identifie ce type de corps sédimentaire près de l'Hôtel de Ville, où il a pu observer trois sondages lors de la reconstruction du quartier. Ces formations n'ont malheureusement pas été datées.

On retiendra de ces travaux les difficultés de localisation spatiale précise, le calage altimétrique plus que médiocre et les problèmes de chronologie. Tous les indices recueillis montrent cependant que la mobilité verticale du niveau de la mer n'a pas été nulle depuis 2600 ans. Cette montée a été modeste, de l'ordre de quelques décimètres. Les préjugés fixistes de Gouvernet ont empêché toute interprétation fine des mesures et limité son engagement dans le suivi des sondages archéologiques puisque de toute façon, il n'y avait rien à trouver ni à prouver, Suess (1831-1914) puis Cayeux (1907) ayant érigé en dogme infaillible la stabilité du niveau de la mer depuis 3000 ans, alors qu'ils admettent de nombreuses oscillations relatives à l'époque préhistorique et aux temps géologiques avec toutefois plus de prudence que Depéret (1906).

La découverte fortuite des vestiges de La Bourse allait cependant permettre enfin de se faire une idée plus précise de l'étendue de Marseille et de son organisation portuaire. Les fouilles exceptionnelles qui vont se dérouler à partir de 1967 vont donc préciser ces premières données.

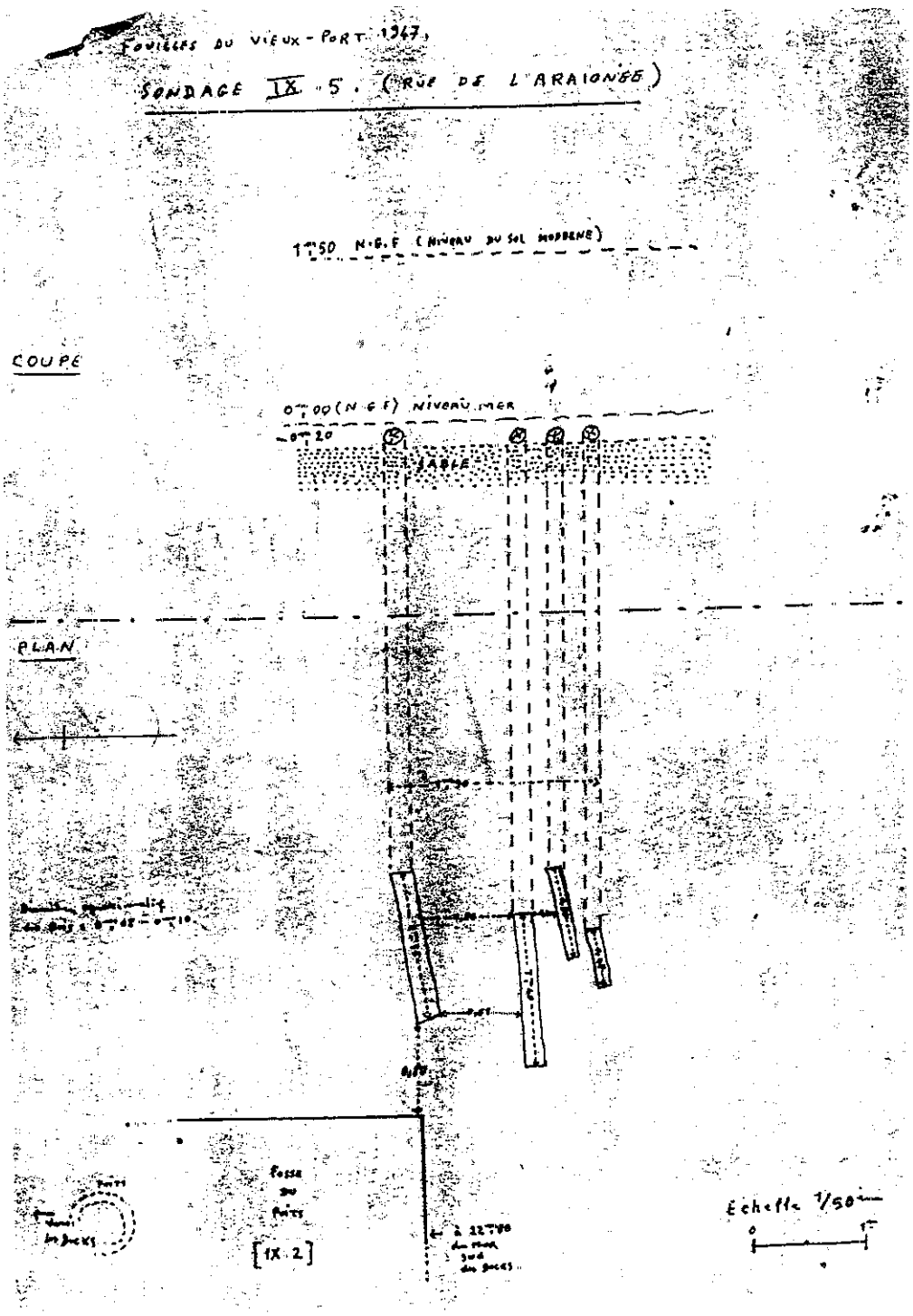


Figure 26 : Schéma de F. Benoit de la zone de halage, au Sud de la place Vivaux. On observe 4 madriers de bois constituant une zone de halage attribuée à l'époque hellénistique vers - 20 cm NGF

III. 3. Travaux en relation avec le chantier archéologique de La Bourse, du fixisme au mobilisme

Les fouilles de la Bourse, qui durèrent de 1967 à 1976 (Euzennat, 1976 ; Gassend, 1982 ; Tréziny, 1996), vont permettre de faire progresser nos connaissances paléobathymétriques. Il s'agissait de la première grande opération nationale d'archéologie de sauvetage en milieu urbain (plus de 10.000 m^2) qui a permis d'élargir la connaissance topographique de la ville, avec la découverte majeure de la Corne du Port, actuellement transformée en Jardin des Vestiges.

Les fouilles de La Bourse furent le dernier site où des opinions fixistes furent exprimées de manière aussi unicausale.

III. 3. 1. Surinterprétation fixiste d'Euzennat et Salviat (1968a et b)

"Le niveau marin est comme gravé sur la quatrième assise du parement (du quai) : on y voit une bande horizontale fortement érodée sous l'action de l'eau et des organismes marins destructeurs ("trottoir" des lithophages), à partir de laquelle des coquilles de crustacés (balanes) et de mollusques sont encore attachées à la pierre. Il est aisé de constater que ce niveau correspond à peu près à la hauteur moyenne de la surface des eaux dans l'actuel Vieux-Port (cote 0 NGF). Ainsi se trouve résolue, pour cette région du littoral méditerranéen, la question parfois soulevée à propos de Marseille même, et traitée souvent avec trop de hardiesse, des variations du niveau marin aux époques historiques" (Euzennat et Salviat, 1968a). Cette affirmation est reprise dans Euzennat (1969).

On pourra regretter la description biologique très approximative, le vocabulaire mal maîtrisé ainsi que les grossières estimations altimétriques des auteurs. Par des observations trop hâtives, l'absence de collaborateurs originaires d'autres disciplines et, vraisemblablement, des préjugés plus ou moins inconscients, la conclusion évoquant le titre du célèbre article de Cayeux (1907) : "Fixité du niveau de la Méditerranée à l'époque historique", ces deux archéologues se fourvoient dans leurs conclusions. Mais là n'est cependant pas l'essentiel de leurs recherches. Les études paléoenvironnementales resteront très modestes sur un site aussi potentiellement riche, les archéologues provençaux restant très "classiques" et les naturalistes encore très concentrés sur des reconstitutions paléoclimatiques à l'échelle de l'Holocène.

III. 3. 2. Argumentation des mobilistes

Heureusement, les relevés de terrain des fouilleurs permettront de remettre en cause les conclusions préliminaires mais péremptoires des "patrons". Les fouilles du bassin portuaire vont ainsi mettre en évidence la présence d'une invagination marine dans l'angle nord-est du Lacydon (Guéry, 1992). On a malheureusement peu

d'informations concernant les vestiges archéologiques préromains. Les équipements mis au jour (drain, canalisation, quai "primitif"....) sont difficilement utilisables pour estimer la variation verticale du niveau relatif de la mer, faute de cote d'altitude précise publiée (Guéry, 1992). En revanche, une partie du port romain a été reconnue sur 180 mètres de long environ (figure 27). La darse, creusée dans le substrat oligocène, s'ouvre en direction du sud vers le Vieux Port.

Pirazzoli et Thommeret (1973) sont les premiers chercheurs à dater les balanes fixées sur le quai et à démontrer précisément l'existence d'une légère submersion depuis l'époque romaine à Marseille. Ils ont étudié les balanes incrustées sur le quai ouest et ils distinguent deux principales couches de répartition des balanes sur 70 mètres de longueur du quai (figures 28 et 29) :

- De -20 à -25 cm NGF, rares exemplaires de balanes (horizon a)
- De - 25 à -37 cm NGF, couverture dense de balanes (horizon b)

La ligne de -25 cm correspond donc à la limite supérieure du peuplement de balanes. La détermination la plus probable est *Balanus amphitrite* (Darwin). La limite supérieure de fixation de ces cirripèdes, petits crustacés assez communs dans les ports de Méditerranée et à Marseille, indique le niveau de la mer à 5 cm près (Leung Tack Kit, 1971-72 ; Specchi *et al.*, 1976 ; Guéry *et al.*, 1981 ; Morhange, 1994).

Deux échantillons de balanes de l'horizon b ont été datés par la méthode du radiocarbone au Laboratoire de radioactivité appliquée du Centre Scientifique de Monaco. Les résultats obtenus sont 1820 +/- 80 ans BP (MC 697 A) et 1890 +/-80 ans BP (MC 697 B). "Ces deux résultats concordants indiquent que les balanes ont cessé de vivre vers 100 +/- 75 ans après J.-C. Le moment où la darse interne du port antique de Marseille a cessé d'être en communication avec la mer se trouve ainsi daté" (Pirazzoli et Thommeret, 1973).

Nous avons pu bénéficier de la publication de Guyot-Rougemont et Varoqueaux (1976) qui montre que le secteur étudié par Pirazzoli et Thommeret (1973) a été définitivement colmaté au V° siècle après J.-C. Cette datation céramique doit être comparée à la calibration des dates radiocarbone en utilisant des tables récentes (Stuiver et Braziunas, 1993). Nous obtenons une fourchette chronologique entre 35 ans avant. J.-C. et 344 ans après J.-C. pour l'échantillon MC 697 A et entre 132 ans avant. J.-C. et 252 ans après J.-C. pour l'échantillon MC 697 B.

La comparaison des dates ^{14}C recalibrées avec les dates archéologiques montre donc des différences importantes. Les datations radiocarbone recalibrées sont plus vieilles d'au moins 100 ans, ce qui n'est pas négligeable à l'échelle des temps historiques. On remarquera que, comme pour les balanes du quai grec de la fouille Villeneuve Bargemon, la technique du radiocarbone est peu précise par rapport aux datations céramiques (Morhange et Oberlin, 2000). Le niveau moyen marin se positionnait donc vers - 0,30 m NGF vers 100 ans après J.-C. (Pirazzoli et Thommeret, 1973). Il se positionne plus sûrement à cette cote vers 450 +/- 50 après J.-C.

Figure 27 : Vue aérienne oblique de la Corne du Port et du bassin romain (fouilles archéologiques de la Bourse). Cliché CCJ, Aix-en-Provence.

Figure 28 : Photographie des faunes marines fixées sur le quai romain de la Bourse On distingue clairement l'étagement classique des balanes médiolittorales dominant les huîtres au sommet de l'étage infralittoral supérieur (cliché CCJ, MMSH, n° 24.401).

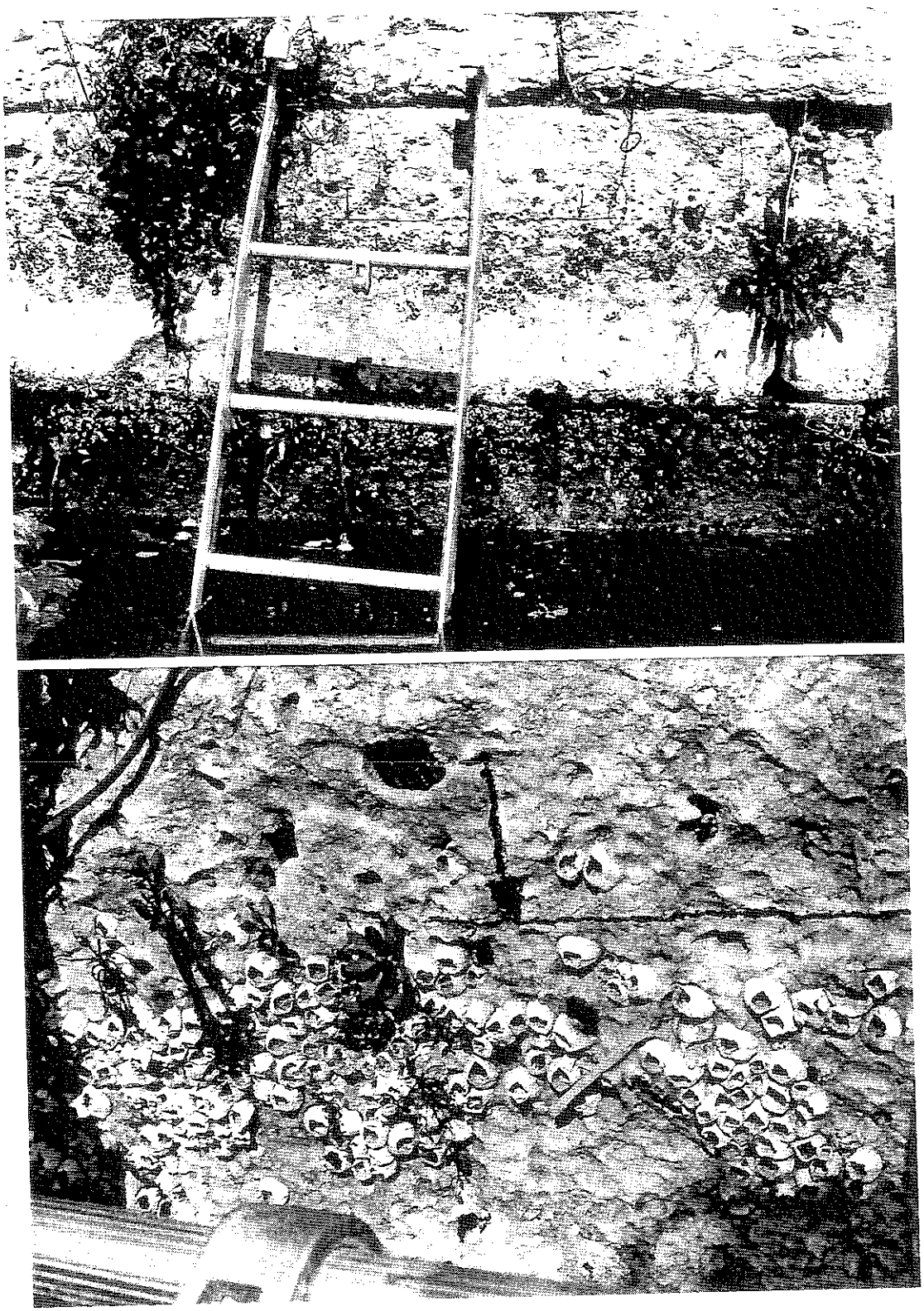


Figure 29 : Fouilles de la Bourse. Photographies de la zone de prélèvement de balanes, effectuées par P. Pirazzoli. Le trait noir sur le quai romain (à - 25 cm NGF) correspond à la limite entre peuplement dense et individus isolés.

Pour l'époque romaine, on dispose de quatre autres mesures de mobilité relative du niveau de la mer, que nous rappelons brièvement (Guéry et *al.*, 1981):

- La base du trop-plein du réservoir d'eau douce, daté de la première moitié du IIème siècle de notre ère, se situe à - 0,2 mètre NGF. Cette structure indique un niveau moyen relatif de la mer inférieur d'au-moins 30 centimètre au 0 NGF, pour que l'orifice du trop-plein soit entièrement dégagé et fonctionnel.

- Une surface de circulation, à proximité du quai est, se positionne vers 0 NGF. Cette aire serait aujourd'hui entièrement ennoyée. Elle est datée du début du IIème siècle de notre ère.

- Une roue à aubes, datée des IVème-Vème siècles après J.-C. et alimentée par des eaux de source, a son berceau à - 0,08 mètre NGF. Le fossé d'évacuation, à - 0,35 mètre NGF, dirigeait l'écoulement vers le niveau de base.

- Les surfaces d'utilisation émergées, datées du VIème siècle après J.-C., se positionnent entre 0 et + 0,2 mètre NGF (M. Bonifay, 1983). En supposant un niveau marin identique à l'actuel, ces surfaces seraient aujourd'hui partiellement ennoyées.

Nous pouvons donc retenir deux progrès importants en relation avec les fouilles de la Bourse :

- La preuve d'une légère submersion depuis l'époque romaine, de l'ordre décimétrique.
- La preuve de l'arrivée du niveau marin relatif au 0 NGF après le VIème siècle après J.-C. et de stabilisation au niveau actuel depuis environ quinze siècles.

Le tableau et le diagramme âge/profondeur (figure 30) récapitulent les différents résultats obtenus au début des années 90, avant le démarrage des grandes opérations d'archéologie préventive des places Jules Verne, Villeneuve Bargemon et de Gaulle. On peut comparer ce nuage de points avec les nouveaux résultats afin de mesurer l'importance des progrès dans ce domaine (deuxième partie), même si les problèmes d'interprétation restent entiers (eustasie, tectonique, mobilité endogène, isostasie ?). Nous aborderons ce thème dans la deuxième partie.

Du point de vue épistémologique, on pourra conclure que les préjugés fixistes disparaissent donc vers la fin des années 60. Cette évolution correspond à plusieurs changements que l'on peut évoquer, comme le passage à d'autres méthodes scientifiques de fouille plus exigeantes et l'émergence d'une nouvelle génération de chercheurs. On remarque aussi que l'archéologie française est très en retard par rapport aux progrès effectués par les anglo-saxons (Etienne *et al.*, 2000), comme si l'exceptionnelle richesse en vestiges concentrés sur les rives de la Méditerranée était plus un inconvénient qu'un atout pour les élites hellénisantes ou latinistes, qui ont trop longtemps conservé le culte du texte ou du bel objet.

SITE	INDICATEUR	PROF. NGF (m)	CHRONOLOGIE	DATES CALIBREES	REF. BIBLIO.
Vieille Poissonnerie	S	0	Antiquité		Gouvernet, 1946
Rue de l'Araignée	S	0,3 < Y < 0	VI° siècle avant J.-C.		Gouvernet, 1947 et 48
Consigne Saint Jean	A + B	0,25 ou 0,8 < Y < 1 25	50-100 ans après J.-C		Benoit 1953
Sud place Vivaux	A (halage)	0,2	II° siècle avant J.-C		Benoit 1948
Sud place Vivaux	A (pieux)	Y < 0	Antiquité		Benoit, 1948
Bourse (quai)	B	0,25	1820 et 1890 +/-80 ans BP	100 ans après J.-C	Pirazzoli et Thommeret, 1973
Bourse (réservoir)	A	0,3	100-150 ans après J.-C.		Guéry et al, 1981
Bourse (roue)	A	0,35	300-500 ans après J.-C.		Guéry et al., 1981
Bourse (surface)	A	Y < 0	500-600 ans après J.-C.		Bonifay, 1983

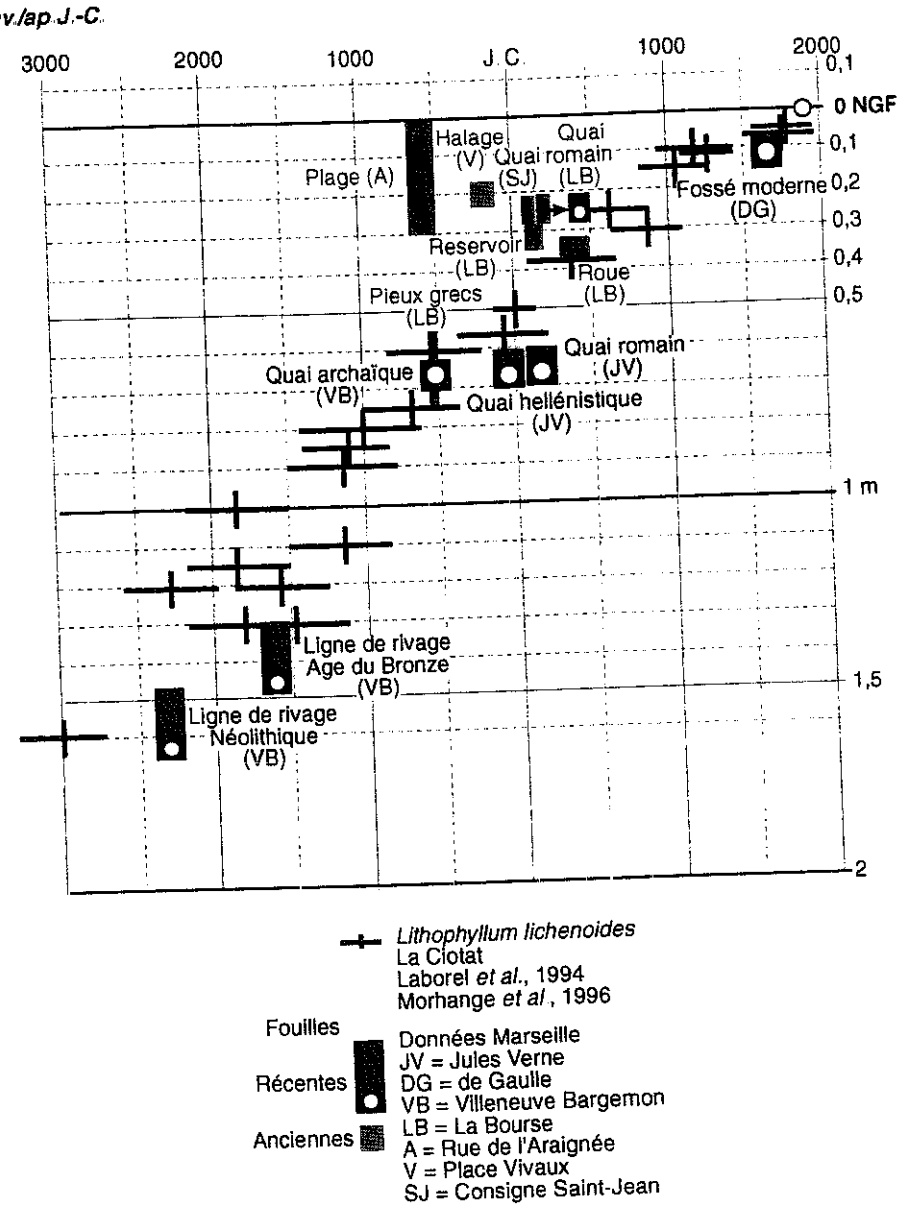


Figure 30 : Diagramme et tableau récapitulatif âge/profondeur, données antérieures aux fouilles des places Jules Verne et Villeneuve Bargemon.

Conclusions

Du côté des sciences de la Terre, la géomorphologie littorale "classique" des élèves de Pierre Birot, très littéraire et paysagère, reste en grande partie descriptive et superficielle jusque dans les années 80 (par exemple Bousquet et Péchoux, 1980b ; Bousquet *et al.*, 1983 et 1987 ; Bousquet, 1999...). Les campagnes de terrain se succèdent sans un réel approfondissement des recherches. La cartographie géomorphologique, à l'échelle régionale, reste déterminante dans l'étude de la mobilité des côtes, qui ne sont d'ailleurs interprétées que du point de vue continental. Les analyses de laboratoire sont quasi absentes et les interprétations s'apparentent à des intuitions... On pourra regretter qu'une partie de la géomorphologie littorale française soit restée aussi stagnante et qualitative pendant des décennies en Méditerranée où l'influence d'André Guilcher n'a certainement pas été assez marquée. Encore en 1999, Fouache privilégie une approche traditionnelle. "Cette priorité accordée aux méthodes géomorphologiques de terrain et à la recherche patiente en bibliothèque constitue, je crois, notre originalité par rapport à la plupart des études géoarchéologiques, notamment anglo-saxonnes, où la part des techniques de laboratoire est souvent prédominante. Non pas que nous refusions l'apport scientifique décisif de ces méthodes, mais nous souhaitons au contraire que, eu égard au coût de ces techniques, elles ne soient utilisées que lorsqu'elles sont vraiment irremplaçables et susceptibles d'apporter une information scientifique décisive."

En conservant trop longtemps ces postulats, les géomorphologues littoralistes, sauf exceptions, ont en partie raté la révolution de la haute-résolution des mesures et de la quantification des données qu'ont connues les sciences de la Terre depuis plus de trente ans. On comprendra alors aisément que les résultats issus de la conjugaison d'une archéologie classique, crispée sur ses conservatismes, avec une géomorphologie littorale allergique aux analyses de laboratoire, dans un contexte de travail de terrain plus que techniquement difficile et coûteux (fouille et relevés stratigraphiques dans la nappe phréatique, cadre urbain dense...), soient particulièrement maigres jusque dans les années 80.

Dans un deuxième chapitre, nous montrerons comment une approche pluridisciplinaire en association avec la multiplication des analyses de laboratoire, peut contribuer à une étude plus précise de la mobilité des environnements portuaires antiques. Nous développerons particulièrement les méthodologies utilisées pour l'étude des variations relatives du niveau de la mer durant la deuxième moitié de l'Holocène. Nous montrerons aussi comment la conjugaison des indicateurs bathymétriques biologiques et des indicateurs chronologiques archéologiques permet d'obtenir des mesures inégalables par d'autres méthodes pour la période historique (comme les carottages dans les corps sédimentaires littoraux ou les récifs coralliens, par exemple).

En tant que géomorphologue, j'aborderai les implications que peuvent apporter mes nouveaux résultats, comme une meilleure connaissance de la mobilité géodynamique du substrat par comparaison des stations entre elles (Morhange *et al.*, 1998b ; Pirazzoli *et al.*, 1994a), ou des conséquences océanographiques de

l'étude des vitesses de montée du niveau de la mer à la période historique (Millet *et al.*, 2000).

Mais c'est aussi à une "autre histoire" des ports antiques que j'ai essayé de contribuer, en tant que pourvoyeurs de sources bathymétriques et sédimentologiques spécifiques. Notre propos n'est pas d'illustrer l'idée que "l'analyse du sédiment n'est plus seulement une contribution à l'archéologie, mais qu'il est devenu un objet archéologique", comme Philippe Leveau l'a affirmé, mais il s'agit de contribuer à l'étude des relations entre l'évolution des paléomilieux littoraux, d'une part, et les dynamiques des sociétés antiques, d'autre part. Nous nous sommes à la fois beaucoup intéressé aux contraintes physiques (niveau de la mer, détritisme...) mais aussi aux processus de spatialisation et à leurs impacts écologiques, c'est-à-dire la mise en espace humain des littoraux au sens pinchemelien du terme (Pinchemel et Pinchemel, 1988 et 1990-1991).

METHODOLOGIE ET PRINCIPAUX RESULTATS

Introduction

Comme nous l'avons déjà entrevu dans le chapitre précédent, on peut percevoir au moins trois étapes dans l'étude des environnements portuaires antiques par les géographes depuis environ un siècle :

1. Les toutes premières générations de chercheurs ne devenaient géographes qu'après avoir franchi l'étape d'une thèse de géographie historique (Carré, 1991 ; Claval, 1988 et 1998). Edouard Ardaillon (1867-1926) en est un exemple emblématique. Élève de Paul Vidal de la Blache, Ardaillon est l'un des derniers géographes à être passé par l'Ecole d'Athènes et à avoir préparé une thèse sur la façon dont les Grecs anciens ont implanté et construit leurs ports (Ardaillon, 1898). Ardaillon entreprend même des sondages dans l'île de Délos et parvient à reconstituer les jetées, les entrepôts et la configuration des bassins (Ardaillon, 1896 ; Pâris, 1916). Au début du XX° siècle, il parcourt la Crète en compagnie de Cayeux et effectue en particulier un gros travail cartographique et pétrographique dans l'ouest de l'île, ainsi que de nombreuses observations sur la variation des lignes de rivage. Ces missions resteront malheureusement inédites (V. L., 1901 ; Carré, 1991). Du fait de l'autonomisation de la discipline géographique par rapport aux sciences historiques et par suite des différentes réformes de la formation universitaire des géographes français, ce premier courant ne persistera pas au-delà de la Première Guerre Mondiale. On peut cependant noter qu'une des problématiques traditionnelles de validation des textes classiques par des études géomorphologiques et sédimentologiques va perdurer jusque dans les années 70 (par exemple, Servais, 1961 dans le cas du port de Cyllène ou Kraft *et al.*, (1980) pour Pylos).

2. Jusque dans les années 1970, une deuxième génération de géographes s'assigne comme objet principal de recherche, l'étude des relations des sites portuaires antiques avec leur environnement naturel. Ces recherches privilégient souvent deux angles d'approche :

- Paléobathymétrique, en collaboration étroite avec les archéologues, les structures archéologiques étant utilisées comme indices de mobilité relative verticale du niveau de la mer, selon un étagement archéologique précis (carrières, habitats, quais, viviers.... en position non-fonctionnelle par rapport au niveau marin actuel, Flemming, 1969 ; Blackman, 1973 ; Schmiedt 1972 par exemple ; figure 31). Sur quelques sites, l'analyse de la faune fixée sur les structures archéologiques comparée aux étagements biologiques actuels permettait de préciser

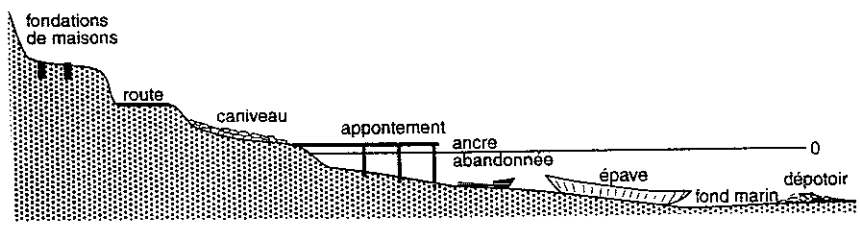


Figure 31 : Exemples d'indicateurs archéologiques utilisés dans la détermination des niveaux marins, exemple des ports antiques de Marseille (Morhange *et al.*, 1998b).

les mesures des variations verticales du plan d'eau, comme à Marseille par exemple (Pirazzoli et Thommeret, 1973).

- Paléogéographique, avec l'étude de la mobilité latérale du plan d'eau et du trait de côte. Les recherches mettaient en évidence deux principaux types d'évolution géomorphologique par utilisation et souvent surinterprétation de photographies aériennes comme, par exemple, pour les côtes d'Italie les travaux pionniers de Schmiedt (1975). Un premier type de site, localisé sur les côtes meubles, est souvent caractérisé par une progradation d'origine terrigène (par exemple Carthage jusqu'au II° siècle après J.-C., Paskoff *et al.*, 1985), liée à une régularisation du trait de côte (cas de Kition à Chypre, Colombier, 1988) en relation avec une morphogenèse active sur les versants et de fréquentes défluvations des cours d'eau côtiers avant qu'ils n'aient été fixés par l'action humaine. Dans d'autres cas, l'érosion marine l'emportait, entraînant un recul de la côte (cas de Sagonte ou d'un bassin romain à Ampurias en Espagne ; Nieto et Raurich, 1998). Les travaux de Bousquet *et al.* (1987) illustrent parfaitement ce type d'approche classificatoire des ports antiques et des lignes de rivage.

Rarement ces deux approches étaient reliées alors que la relation transgression-immersion, régression-émersion est loin d'être évidente à l'échelle de l'Holocène (Curray, 1964) et des temps historiques. On peut enfin remarquer que nombre de directeurs actuels de fouilles archéologiques en sont encore parfois restés à cette étape. Leur demande se limite trop souvent à un problème d'estimation du "niveau marin antique" et à un cadre géomorphologique introductif en présentation des fouilles, avorton du traditionnel tableau géographique vidalien.

3. Plus récemment, une approche géoarchéologique globale a été appliquée avec succès dans le cadre de quelques fouilles, principalement à Carthage, Gifford *et al* (1992), à Caesarea Maritima, Raban et Holum (1996), à Narbonne, Ambert (1995) ou sur les côtes de l'Egée turque, Brückner (1997) et Zangger *et al.* (1999). Ces travaux ont entraîné un travail à plus grande échelle sur ces sites et un dialogue plus poussé entre archéologues et naturalistes. Les contraintes naturelles des sites et leur maîtrise par les sociétés ainsi que les impacts des aménagements portuaires et urbains sur le milieu physique ont alors été plus finement analysés.

Nous développerons ici deux thèmes de recherche que nous avons privilégiés : la mobilité relative verticale du niveau de la mer et les impacts d'origine anthropique.

I. Mobilité relative verticale du niveau de la mer

Comme nous l'avons vu précédemment, c'est ce thème de la variation verticale du niveau marin qui a surtout retenu l'attention des chercheurs. Depuis dix ans, nous nous sommes assigné comme objectif la mesure de la mobilité récente de différents secteurs de la mer Méditerranée, dans différents contextes tectoniques et isostatiques (secteur provençal considéré comme "stable", zone volcanique mobile des Champs Phlégréens, contact lithosphérique sur la côte sud de l'île de Chypre,

littoral levantin caractérisé par un morcellement tectonique...). Dans un premier temps, nous avons principalement travaillé sur les côtes de Provence et de Corse ainsi que dans le cadre des fouilles archéologiques de Marseille et de Pouzzoles.

Ces études impliquaient la recherche d'indicateurs chronologiques et altimétriques précis car la mobilité verticale du niveau de la mer reste généralement modeste depuis 6000 ans (Fleming *et al.*, 1998). Une rigueur dans la méthodologie de la mesure était donc indispensable aussi bien pour la composante chronologique que pour la composante altimétrique.

L'association entre la biologie marine, la géomorphologie littorale et l'archéologie nous a permis d'obtenir à la fois des mesures paléobathymétriques précises et de les dater, dans la mesure du possible, grâce aux structures archéologiques ou aux céramiques contenues au sein des sédiments. Nous avons ainsi pu analyser trois types de marqueur de variation relative du niveau de la mer, biologique, archéologique et sédimentologique, dont les critères les plus performants ont été préalablement précisés et calibrés sur les littoraux actuels de Méditerranée (Morhange, 1994).

Notre méthodologie est donc fondamentalement basée sur le croisement des données et des indicateurs. Notre problématique générale est d'essayer de distinguer le rôle de la mobilité endogène du substrat (tectonique et isostasie), de celui de la variable eustatique, dans la mobilité verticale du plan d'eau (Lambeck et Johnston, 1995 ; Lambeck et Bard, 2000 ; Peltier 1994, 1996 et 1998 ; Pirazzoli 1997 et 1998a...).

I. 1. Indicateurs biologiques de mobilité du niveau de la mer sur substrat dur

C'est principalement aux biologistes de l'école de la Station Marine d'Endoume, à Marseille, que l'on doit le renouveau des analyses et interprétations écologiques des assemblages marins, faites en termes d'étagement biologique en domaine méditerranéen (Pérès et Picard, 1952 ; Molinier et Picard, 1954 ; Pérès et Picard, 1964 ; Pérès, 1982 ; Picard, 1985 ; Masse, 1988 ; Bellan-Santini *et al.*, 1994...).

Ces chercheurs ont défini qu'un étage bionomique est l'espace où les conditions écologiques sont fonction de la position par rapport au niveau de la mer et sont sensiblement constantes ou varient d'une façon régulière entre les deux niveaux critiques marquant les limites de l'étage. La division de la zone littorale en étages (supralittoral, médiolittoral, infralittoral...) est basée sur la répartition des organismes. Cet étagement possède, tant pour les milieux actuels que fossiles, une valeur générale, car il s'appuie sur deux facteurs physiques permanents et universels qui se réfèrent au plan d'eau : la durée relative des temps d'immersion et d'exondation qui détermine le bilan d'humectation, et l'éclairement qui conditionne le développement des organismes photosynthétiques. Les limites des étages sont donc précises et peuvent être utilisées comme des références pour des reconstitutions paléobathymétriques. Une notion importante à retenir est celle de la

réversibilité entre étage et peuplement marin. Les conditions physiques ambiantes des étages déterminent les peuplements et inversement la présence de ceux-ci est révélatrice qu'ils se situent bien à l'intérieur de l'étage considéré.

D'autres chercheurs, provenant de disciplines parfois différentes, comme la géomorphologie, feront aussi progresser la recherche en Méditerranée orientale (Lipkin et Safriel, 1966) ou sur certaines bioconstructions caractéristiques comme les trottoirs de vermets (Fevret et Sanlaville, 1966 ; Sanlaville 1973 et 1977 ; Safriel, 1966, 1974 et 1975 ; Kelletat, 1974 ; Laborel 1979-80, pour ne citer que quelques travaux pionniers) ou les corniches algaires (Guilcher, 1954 ; Blanc et Molinier, 1955 ; Laborel *et al.*, 1983 ; Kelletat, 1988....).

L'association entre la biologie marine et la géomorphologie littorale s'avère rapidement très riche, l'un des objectifs étant de définir un zéro de référence (ou zéro biologique au sommet de l'étage infralittoral et à la base de l'étage médiolittoral, Picard, 1954 ; Laborel, 1961 ; Dalongeville, 1986). Pirazzoli (1976a) a mis rapidement l'accent sur l'importance d'une analyse intégrée. Les deux références méthodologiques de base sur le domaine méditerranéen sont Laborel et Laborel-Deguen (1994), et Pirazzoli *et al.* (1996a). Nous avons ainsi pu utiliser deux types différents d'indicateurs biologiques en fonction de leur rapidité d'installation (sensibilité) et de leur résistance à la destruction (résilience) selon la terminologie de Laborel (2000) :

- des indicateurs à faible sensibilité et haute résilience. Ces espèces ne se fixent que sur des surfaces ayant subi une préparation biologique assez longue, plusieurs années en général. Elles montrent ensuite une croissance continue, mais plutôt lente, et elles sont assez résistantes pour compenser l'érosion biologique. Ces indicateurs sont indispensables pour l'étude des phénomènes de longue durée. Il s'agit essentiellement des algues calcaires, des vermets, des mollusques perforants et des coraux.

- des indicateurs à haute sensibilité et faible résilience. Ces espèces se développent sur des surfaces peu préparées et croissent rapidement, comme les serpules, certains vermets solitaires ou les balanes. En contrepartie, ces espèces sont fragiles et sont rapidement décapées. Elles peuvent cependant se révéler d'un grand intérêt, en particulier dans des régions à forte activité sismique ou bradysismique.

Nous avons travaillé sur trois principaux types d'indicateurs biologiques (les bioconstructions à *Lithophyllum*, les bourrelets à vermets et les faunes perforantes et fixées sur structures archéologiques). Il est bien évident que la période nécessaire à la formation d'une structure caractéristique (bioconstruite ou bioérodée) utilisable comme indicateur n'est pas la même suivant les types d'organismes utilisés. Certains (perforations d'annélides par exemple) peuvent s'installer beaucoup plus rapidement que d'autres. Les perforations de lithophages nécessitent une préparation biologique du substrat de plusieurs années (Kleeman, 1973). La précision des estimations paléobathymétriques sera donc d'autant meilleure que l'étude biologique de terrain sera précise et prendra en compte des indicateurs variés.

I. 1. 1. Corniches à *Lithophyllum lichenoides*, sur les côtes de Catalogne, de Provence et de Corse (Morhange *et al.*, 1993 ; Laborel *et al.*, 1994 ; Morhange, 1994)

I. 1. 1. 1. Rappels méthodologiques

Nous avons essayé de mesurer, le plus précisément possible, la montée relative du niveau de la mer depuis environ 6000 ans sur côtes rocheuses grâce aux bioconstructions à *Lithophyllum*. En effet, une multiplication des datations au radiocarbone pouvait permettre de faire progresser nos connaissances sur la montée relative du niveau de la mer dans différents types de substrat en Méditerranée occidentale (sur les côtes de Provence, de Corse ou de Campanie).

Nous avons donc étudié les bioconstructions à *Lithophyllum lichenoides* (Zimmermann, 1982 ; Woelklerling *et al.*, 1985) sur une dizaine de sites de Catalogne, Provence et Corse, car elles sont un indicateur biologique précis des variations du niveau de la mer Méditerranée nord-occidentale. Nous ne décrirons pas ces constructions organogènes maintenant bien connues (Péres et Picard, 1952 ; Laborel *et al.*, 1983 ; Dalongeville, 1986 ; Laborel, 1987 ; Laborel et Laborel-Deguen, 1994 ; Morhange, 1994) ; en revanche, nous insisterons sur les problèmes méthodologiques liés à l'utilisation du *Lithophyllum* comme indicateur paléobathymétrique.

Les bioconstructions à *Lithophyllum* sont un indicateur précis des variations relatives du niveau de la mer car leurs conditions de développement sont strictement localisées au sous-étage médiolittoral inférieur. L'algue, très résistante au choc des vagues, édifie un bourrelet ou une corniche saillante, cimentée et résistante, dont le bord externe se situe légèrement au-dessus du niveau marin biologique, donc de la limite supérieure de l'étage infralittoral. La présence de chicots fossiles, sous le niveau actuel de la mer, témoigne donc de paléoniveaux marins (figures 32, 33 et 34).

Les bioconstructions à *Lithophyllum* offrent deux intérêts majeurs :

- une indication précise du niveau de la mer, car l'amplitude verticale de développement du *Lithophyllum* est relativement faible en mode calme. La précision dans la détermination de niveaux fossiles est égale à la demi-valeur de l'amplitude verticale de l'espèce, à laquelle vient s'ajouter l'incertitude de mesure estimée à environ trois centimètres dans le cas de mesures sous l'eau (Laborel *et al.*,1983). Dans la plupart des cas, nous avons obtenu une précision de l'ordre de +/- 10 cm.

- Une facilité de datation des prélèvements par le ^{14}C comme pour la plupart des organismes encroûtants. La matrice hétérogène des échantillons pouvait poser un problème et il a fallu s'assurer qu'il ne pouvait s'agir d'un remplissage postérieur ou d'une recristallisation qui risquait donc de rajeunir la datation de l'échantillon. Ce travail minéralogique a été effectué par E. Verrecchia (*in* Morhange

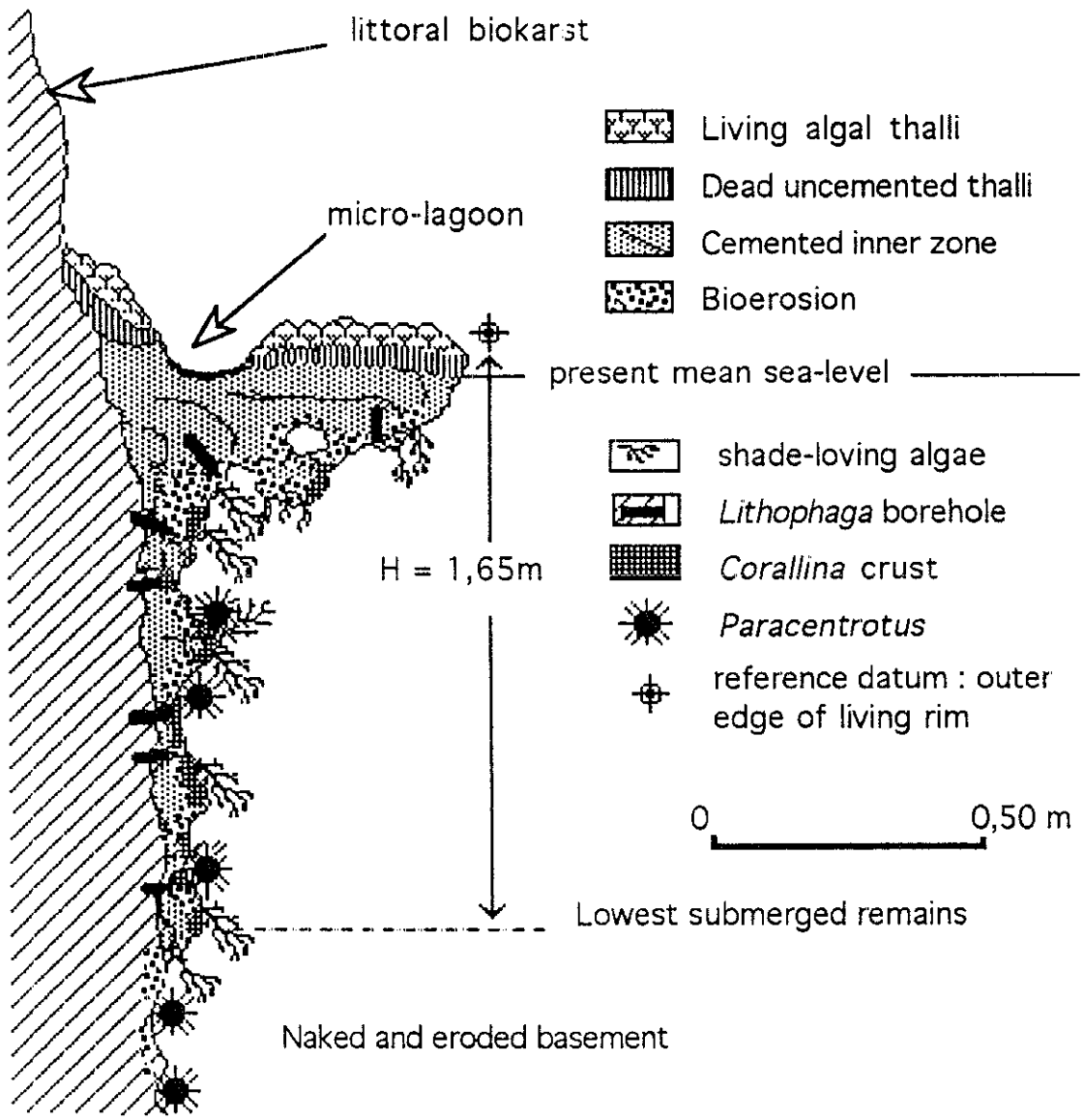


Figure 32 : Coupe simplifiée de la corniche à *Lithophyllum* et des chicots immergés, secteur de La Ciotat (Laborel *et al.*, 1994).

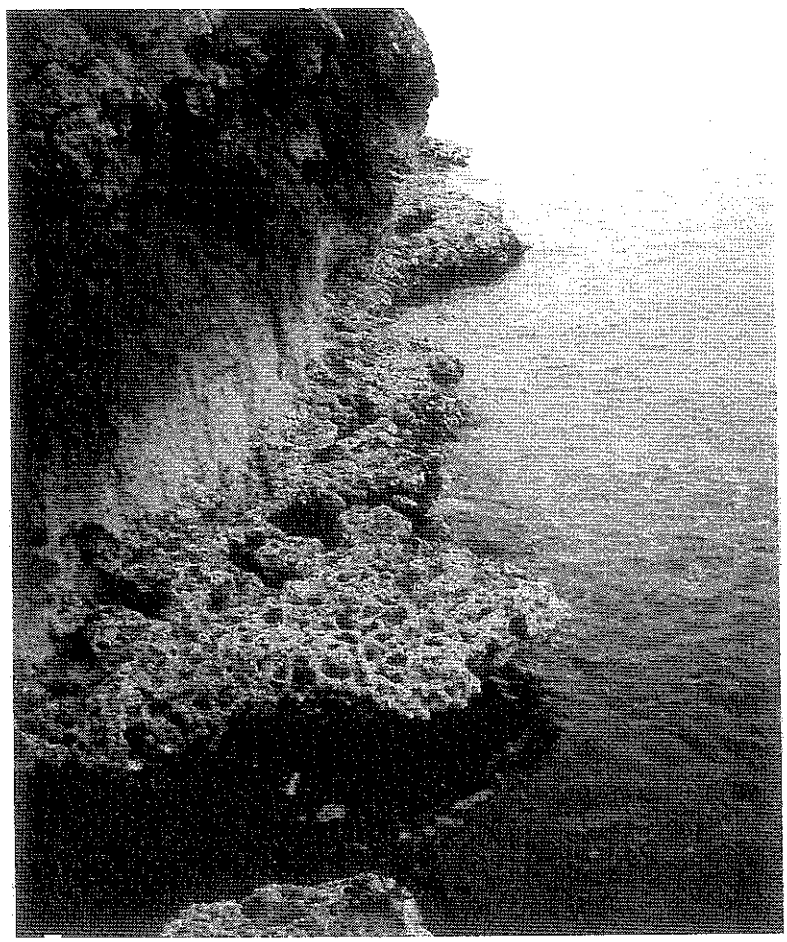


Figure 33 : Corniche à *Lithophyllum*, Pointe des trois Frères, Bandol (cliché Morhange, 1991)

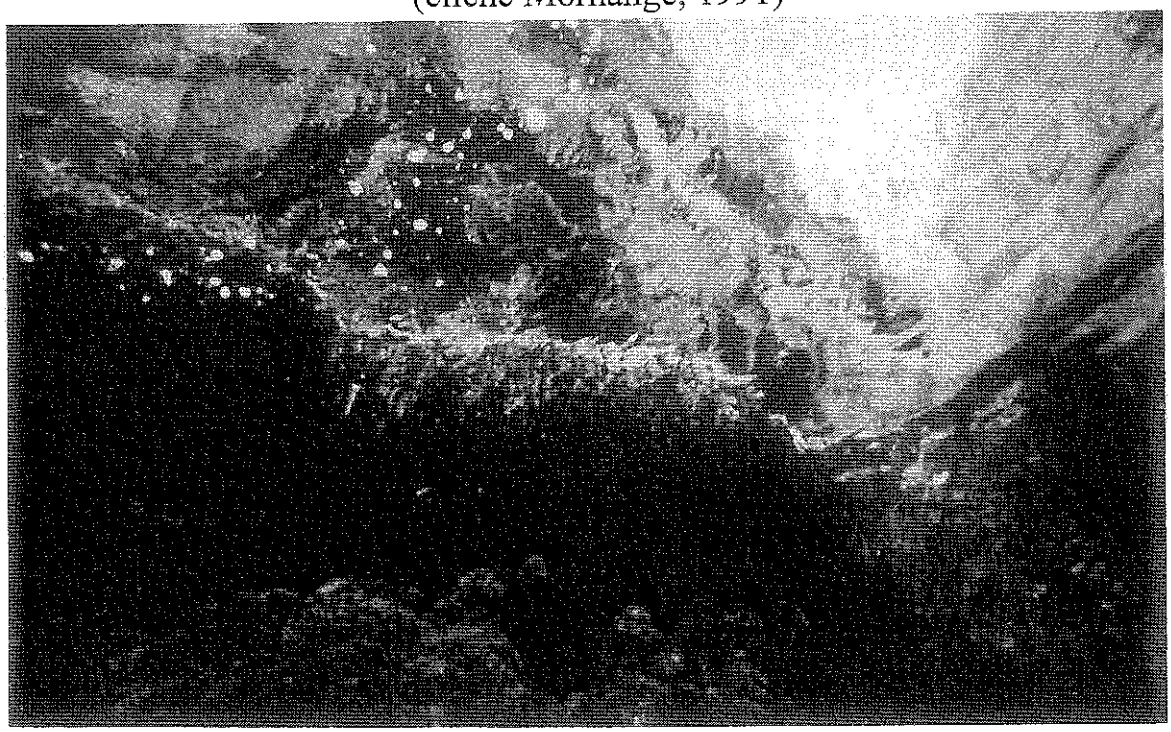


Figure 34 : Corniche à *Lithophyllum* , vue sous-marine montrant le surplomb de la bioconstruction, Scandola (cliché Laborel, 1983)

et al., 1993). Les datations ont toujours porté sur le carbone total de la formation, comprenant les thalles et la matrice synsédimentaire.

Le principal problème méthodologique rencontré a été celui de l'établissement d'un niveau de référence. De nombreux auteurs ont étudié la question de la détermination du niveau de la mer (Pirazzoli,1976a ; Pinot, 1979 ; Kidson et Heyworth, 1979 ; Kidson 1986 ; Jardine 1986 ; van de Plassche, 1986...). Sa définition la plus simple est la mesure, à un endroit précis du niveau instantané de la mer. Une difficulté est liée aux variations rapides et importantes de ce niveau instantané sous l'influence de divers facteurs et agents météo-marins (marée, vent, conditions barométriques, agitation du plan d'eau). De plus, comme le niveau marin moyen est une valeur statistique difficilement mesurable (niveau de la mer sans marée) et une notion abstraite (Faure, 1977), il convenait de rechercher un niveau de référence "stable" et facile à mesurer sur le terrain. Nous avons donc choisi de mesurer la dénivellation entre le bord externe de la corniche algale vivante et les témoins fossiles immergés de *Lithophyllum* (figures 32, 35 et 36).

Il faut rappeler que ce niveau n'est pas horizontal mais fluctue en fonction du mode plus ou moins battu. Contrairement à ce qu'écrivent Lambeck et Bard (2000), nous n'avons pas pris volontairement pour niveau de référence la limite supérieure des thalles vivants. On remarque en effet qu'un placage supérieur de *Lithophyllum* domine la bioconstruction principale. Ce mince placage ne peut pas être à l'origine de chicots fossiles immergés d'épaisseur et de volume parfois importants. En effet, en cas de montée du niveau de la mer, la croissance des thalles suit la vitesse de cette montée, alors à l'origine de la formation d'un placage superficiel. Les bourrelets immergés correspondent donc plutôt à des périodes de ralentissement ou de stationnement du niveau marin.

Le développement actuel, à composante verticale, du placage supérieur de thalles peut correspondre à la montée séculaire du plan d'eau, enregistrée par le marégraphe de Marseille (Pirazzoli, 1986a ; Blanc et Faure, 1990 ; figure 32). Ce placage traduirait donc une variation positive du plan d'eau à l'échelle du siècle.

I. 1. 1. 2. Principaux résultats

Sur les côtes rocheuses de Provence, de Martigues à Menton, nous n'avons jamais retrouvé de vestiges de bioconstructions à *Lithophyllum* émergés. Nous avons donc insisté sur l'absence d'indice biologique et morphologique de stationnement marin historique supérieur au niveau marin actuel. Contrairement à de nombreux auteurs ayant travaillé sur les côtes méditerranéennes françaises (Denizot, 1922 ; Aloisi *et al.*, 1978 en Languedoc ; Ambert *et al.*, 1982 pour le Languedoc occidental ; Bellaiche *et al.*, 1969 dans le golfe de Fréjus ; L'Homer *et al.*, 1981 et L'Homer, 1992 pour la Camargue ; Provansal, 1989 et 1993 à Martigues et à Berre et Provansal, 1991 à Porquerolles ; synthèse dans Pirazzoli, 1991), nous avons démontré l'absence d'indice biologique de stationnement marin historique supérieur au niveau actuel sur les côtes de Provence. Ce constat peut être mis en relation avec les peintures rupestres de la grotte marine Cosquer datées

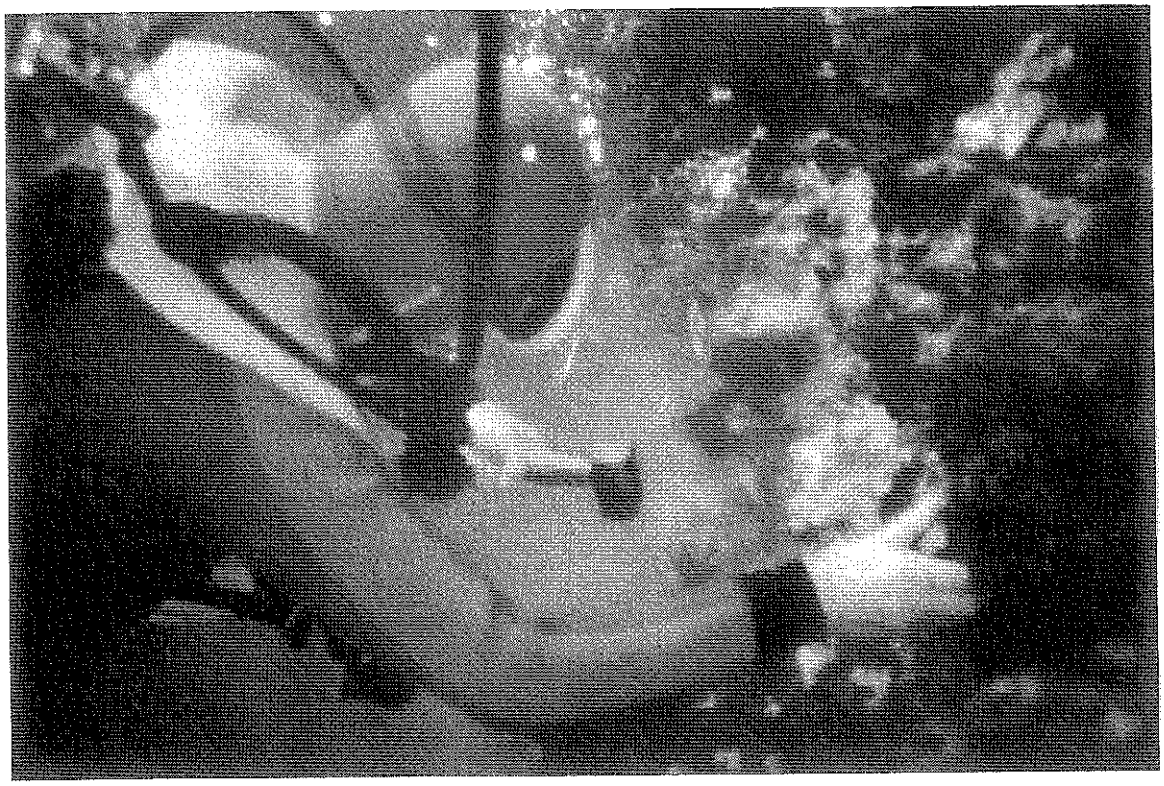


Figure 35 : Jacques Laborel décroûtant un tombant à La Ciotat (cliché Morhange, 1992).

Figure 36 : Chicot de *Lithophyllum* . On observe la structure interne vermiculée (cliché Laborel, 1992).

d'environ 15.000 ans et qui ne présentent pas de traces d'effacement au-dessus de la limite supérieure du marnage actuel (Cosquer, 1992 ; Vouvet *et al.*, 1996). Le problème d'un niveau marin holocène supérieur à l'actuel, en relation avec l'encoche "soulevée" du Cap Romarin a été étudié. Il ne s'agit pas d'une encoche holocène mais d'un niveau beaucoup plus ancien, daté entre 26.000 et 39.000 BP (Laborel *et al.*, 1998). En revanche, le littoral de l'arc de Nice semble affecté par un soulèvement au cours de l'Holocène, en relation avec l'orogenèse alpine (Dubar 1987 et 1988 ; Dubar *et al.*,1992 ; Dubar et Anthony, 1995), même si Michel Dubar invoque une origine eustatique (Dubar, colloque de Nice, 2000).

Nos résultats ont montré que la montée relative du niveau marin, d'environ 160 cm en 4500 ans, est caractérisée par un ralentissement de sa vitesse. La décélération constante de celle-ci se traduit par une quasi-stabilisation du plan d'eau depuis 500 ans. Il n'existe pas de réelle rupture dans la mobilité relative du plan d'eau, mais cette montée s'est vraisemblablement ralentie de manière progressive car l'évolution des rapports âge-profondeur dévie du modèle linéaire à l'approche de l'actuel (figure 37 et 38).

Les nuages de points sont superposables, ce qui laisse penser que les différences de mobilité tectonique des différents sites entre la Corse et la Provence sont soit très faibles, soit inférieures aux fourchettes d'incertitude chronologique et bathymétrique de nos mesures.

Malgré les premières affirmations de Laborel *et al.* (1983), aucun indice de stationnement du niveau marin relatif au cours des 4500 dernières années n'a pu être mis en évidence. Nous ne pouvons pas décider si cette apparente régularité est réelle ou un artefact dû au pouvoir de résolution limité des méthodes de datation utilisées. Nous remarquons cependant que l'édification d'un bourrelet, plus ou moins horizontal, nécessite par définition une stabilité relative du niveau de la mer pendant quelques siècles. Nous reviendrons sur ce problème dans le paragraphe suivant à propos des limites d'erreur des mesures.

Cette tendance au ralentissement puis à la quasi-stabilisation du plan d'eau apparaît plus simple, mais aussi plus lissée, que l'histoire des modestes variations paléoclimatiques oscillantes depuis 5000-6000 ans (par exemple : Fairbridge 1960 et 1987 : Mörner, 1976 et 1996a ; Kidson, 1986 ; Colquhoun et Brooks, 1987 ; Thomas et Anderson, 1993 ; Warrick, 1993 ; Nydick *et al.*, 1995 ; Van de Plassche *et al.*, 1998...). Ce ralentissement, d'origine glacio-eustatique, peut traduire l'effet d'une diminution de la fusion glaciaire, correspondant éventuellement à la réponse tamponnée à un climat légèrement plus frais (?) depuis l'optimum climatique Atlantique (environ 5000 BP, Bond *et al.*, 1997 ; Antonioli *et al.*, sous presse).

En revanche, de nombreux auteurs ont montré, par modélisation et compilation des données, que les variations du niveau marin sont principalement marquées par les mouvements de la croûte terrestre depuis environ 6000 ans (Walcott, 1972 ; Clark *et al.*, 1978 ; Peltier, 1986 ; Pirazzoli, 1991 ; Tooley, 1993...). Au stade d'avancement de notre recherche, il est encore difficile d'évaluer la part respective des facteurs tectonique, isostatique ou eustatique qui superposent leurs effets à des échelles de temps et d'espaces variables (Mörner, 1971 et 1996b). Nous

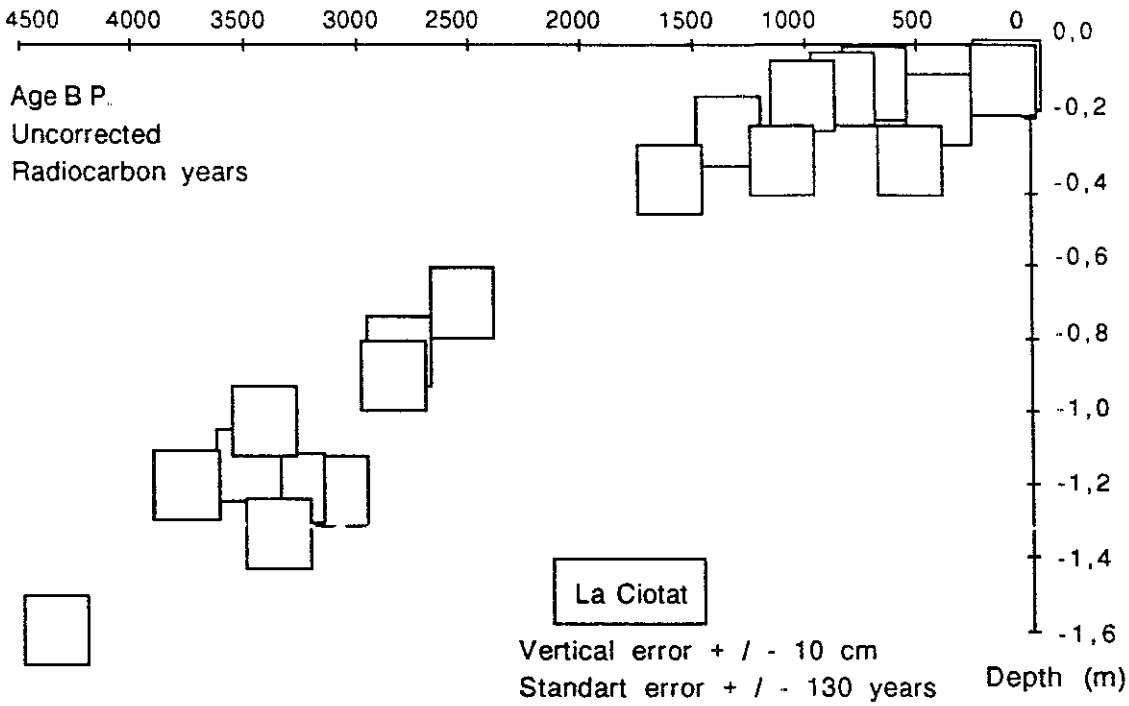


Figure 37 : Diagramme âge/profondeur, station de La Ciotat (Laborel *et al.*, 1994).

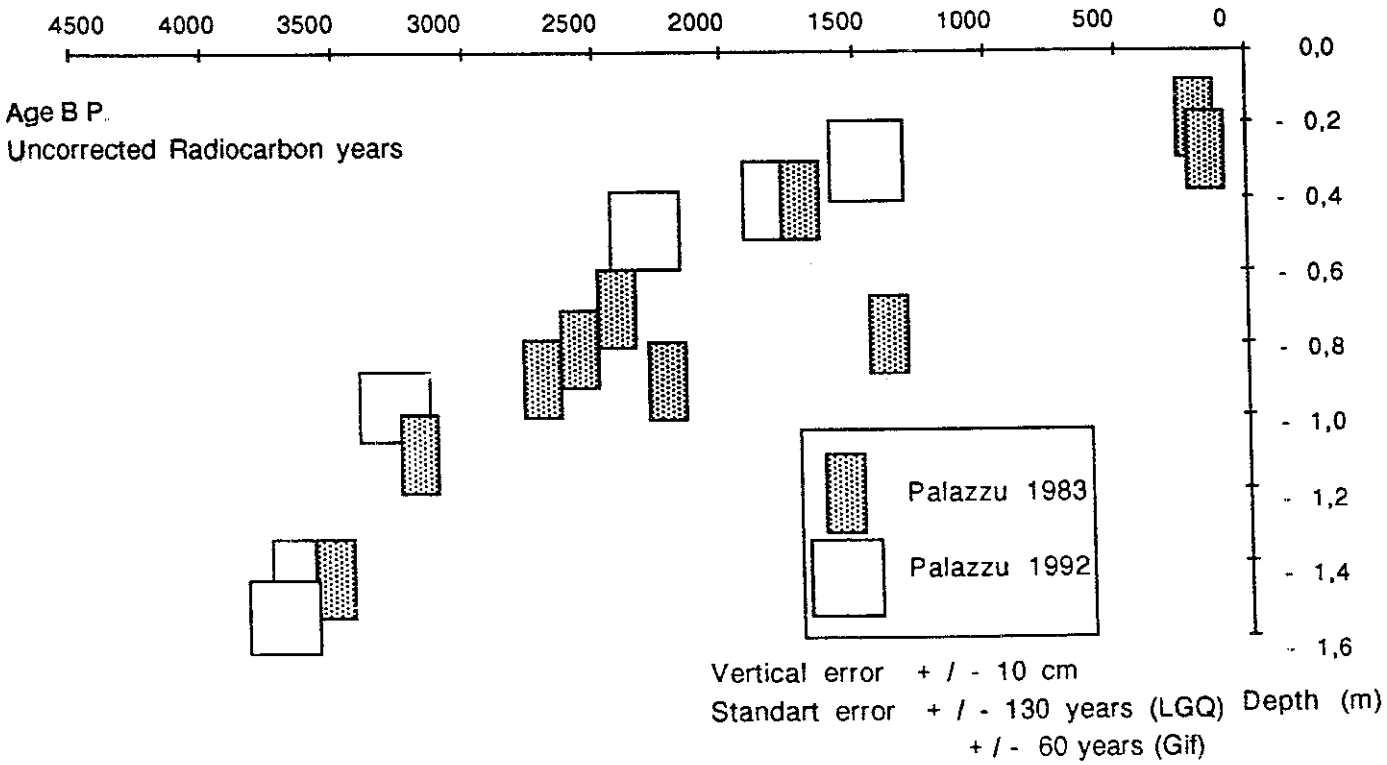


Figure 38 : Diagramme âge/profondeur, station de Scandola (Corse du Sud, Laborel *et al.*, 1994).

commençons à entrevoir une solution à cette question difficile. Nous avons en effet deux clefs de lecture possibles :

- la comparaison des stations entre elles qui permet de dissocier les tendances régionales des évolutions locales (Morhange *et al.*, 1998b). Le principal problème est le faible nombre de stations précisément documentées (Fos, Marseille, La Ciotat, Giens, Dramont pour les côtes de Provence et le secteur de Nice).

- la comparaison des données mesurées avec les tendances proposées par les différents modèles isostatiques (Lambeck et Johnston, 1995 ; Lambeck et Bard, 2000 ; Peltier 1998 ; Pirazzoli, 1997 et 1998a).

D'autre part, nous rappelons que le débat n'est pas clos entre certains chercheurs qui pensent que, depuis environ 6000 ans, la montée du niveau de la mer est encore marquée par la variable glacio-eustasique d'origine antarctique (par exemple, Nakada et Lambeck, 1988 ; Lambeck, 1997 ; Fleming *et al.*, 1998) et d'autres qui excluent cette hypothèse, insistant sur le fait que nous n'avons aucune certitude (Mary, 1982 ; Tooley, 1993 ; Pirazzoli, 1998a). De plus, nous ne pouvons faire la part des effets possibles des variations du géoïde marin (Barlier *et al.*, 1983 ; Larnicol *et al.*, 1995 ; Cazenave, 1999) qui peuvent brouiller la lecture et l'interprétation des résultats obtenus. Nous insistons donc sur cette difficulté de décomposition du rôle des facteurs généraux, régionaux ou locaux qui interagissent à différentes échelles de temps (Giresse, 1987 ; Le Provost, 1991).

I. 1. 1. 3. Limites et perspectives

On peut percevoir deux limites principales à l'utilisation des bioconstructions à *Lithophyllum*. D'une part, il s'agit de la bioérosion des bioconstructions par les oursins, les lithophages, les cliones... à partir du moment où elles se trouvent immergés. D'autre part, il faut tenter de progresser du point de vue de la datation radiocarbone des chicots de *Lithophyllum* qui nécessitent une stabilisation relative du niveau de la mer pendant quelques siècles pour se développer.

- Concernant les impacts de la bioérosion infralittorale, on ne peut que constater l'absence de tout vestige de construction médiolittorale datée de plus de 6000 ans. Les falaises immergées sont, soit raclées et décapées par différents agents marins bioérodeurs, soit recouvertes par des bioconstructions de corralligène (Laborel, 1961). Il faut donc tenter de travailler sur d'autres bioindicateurs. C'était l'objet de la thèse d'écologie marine soutenue par Sartoretto (1996). Ces travaux ont montré que les concrétions à *Mesophyllum corralloides* surestiment de plusieurs mètres les mesures paléobathymétriques : en effet la profondeur minimale d'installation des concrétions se situe vers six mètres environ sous le niveau de la mer. Il est donc peu réaliste d'envisager des progrès importants en utilisant ce type d'indicateur du fait des contraintes physiques de prélèvement sous-marin.

- Concernant le problème de l'édification d'un bourrelet de *Lithophyllum* à niveau relativement stable, on pourrait envisager la multiplication de

datations AMS qui permettraient de progresser rapidement sur ce problème, les datations radiocarbone conventionnelles nécessitant des échantillons sains trop volumineux.

I. 1. 2. Bioconstructions à vermets

I. 1. 2. 1. Rappels méthodologiques

Après avoir intrigué de nombreux chercheurs aux Bermudes pendant près d'un siècle, les gastéropodes *Vermetidae* ont été de plus en plus utilisés comme indicateurs biologiques fiables et précis des variations relatives verticales du niveau marin (Van Andel et Laborel 1964 ; Fevret et Sanlaville, 1966 ; Fevret *et al.*, 1967 ; Focke, 1978 ; Laborel, 1986 ; Laborel et Laborel-Deguen, 1994 ; Pirazzoli *et al.*, 1982a et b, 1989a, 1994a et b, 1996 ; Sanlaville, 1973 et 1977 ; Thommeret *et al.*, 1981 ; bibliographie assez riche dans Antonioli, 1999...). En effet plusieurs genres de vermets, présents dans les mers tropicales et subtropicales, sont caractérisés par une limite de bioconstruction qui correspond à la limite supérieure de l'étage infralittoral (Péres et Picard, 1952 ; Molinier, 1955 ; Delibrias et Laborel, 1971 ; Laborel et Delibrias, 1976 ; Laborel, 1979-80 et Laborel, 1986...). Les bourrelets de vermets se développent donc à un niveau immédiatement inférieur à celui des corniches de *Lithophyllum* (figures 39, 40 et 41).

Contrairement à l'indicateur précédant, les mesures de hauteur ou de profondeur doivent s'effectuer par rapport à la limite supérieure des formations de vermets vivants ou, en l'absence de celles-ci, par rapport à la limite supérieure des peuplements infralittoraux. Notons qu'un certain nombre d'auteurs (Kelletat, 1980 ; Firth *et al.*, 1996), peu familiers avec les indicateurs biologiques fixés, ont confondu cette formation à vermets avec les corniches de *Lithophyllum* et ont comparé les altitudes des unes avec celles des autres, sans tenir compte de la différence de niveau dans l'étagement de ces deux types d'indicateurs.

Leur répartition géographique est complémentaire du *Lithophyllum* puisque l'on trouvera surtout des bioconstructions à vermets en Méditerranée méridionale et orientale alors que le *Lithophyllum* se développe particulièrement bien en Méditerranée occidentale (Laborel, 1987).

Nous avons principalement travaillé sur les îles Ioniennes (Pirazzoli *et al.*, 1994a), à Samos (Stiros *et al.*, 2000) en Grèce, à Pouzzoles (Morhange *et al*, 1999b) et sur les côtes du Liban, où un programme de recherches est en cours en collaboration avec Paolo Pirazzoli. Que retenir de l'utilisation de cet indicateur sur nos sites ? Nous avons publié un article sur ce thème, que nous présentons dans la deuxième partie (Morhange *et al.*, 1998a). Nous souhaitons reprendre et développer ici un point méthodologique important, celui des fourchettes d'erreur des mesures estimées par cet indicateur.

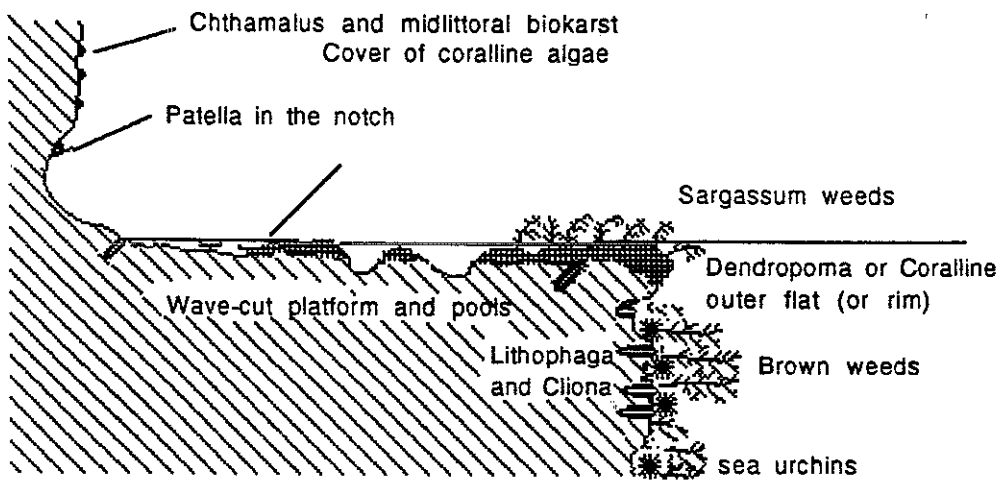


Figure 39 : Coupe d'un trottoir à vermets, toujours en position infralittoral supérieur (d'après Laborel et Laborel-Deguen, 1994).

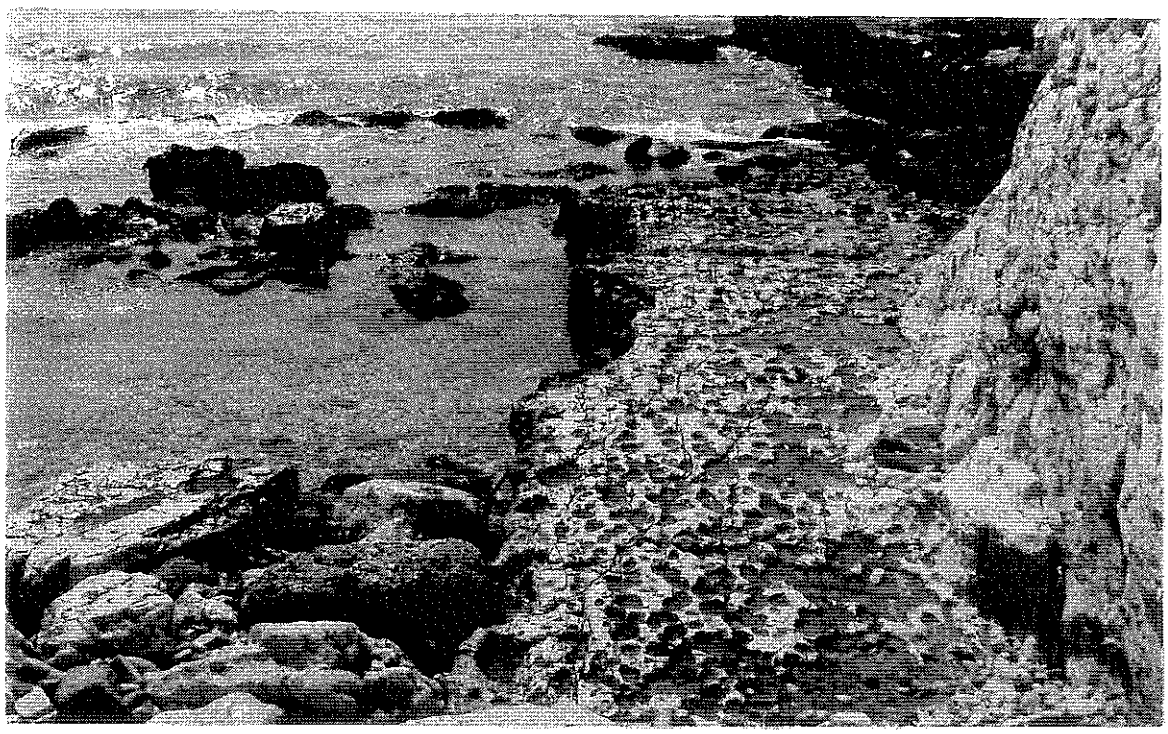


Figure 40 : Calanque de Figuar, région de Byblos (Liban). Trottoir soulevé et bourrelet de *Dendropoma petraeum* à + 40 cm au dessus des vermets vivants. La datation ^{14}C de la bioconstruction donne 3020 +/- 35 BP (Ly 9832) soit une fourchette chronologique calibrée de 900 à 775 cal. BC. Ce soulèvement est donc bien antérieur à l'épisode de l'Early Byzantine Tectonic Paroxysm.

Figure 41 : Ile du Palmier (Tripoli), bioconstruction de *Dendropoma petraeum* à + 80 cm (échantillon LIB 2000/21, une datation ^{14}C est en cours).

I. 1. 2. 2. Validation de la méthode et étalonnage des mesures biologiques estimées

Malgré leur popularité, les mesures de mobilité relative du plan d'eau fournies par les vermets n'avaient jamais été pu être étalonnées par rapport à des nivellements de précision en temps réel. L'étude directe effectuée par les chercheurs de l'Osservatorio Vesuviano de l'activité bradysismique de Pouzzoles (Champs Phlégréens) était donc une occasion exceptionnelle pour tester la précision de nos méthodes sans avoir à se préoccuper des problèmes de datation (figure 42).

En effet, depuis plus de 30 ans, de nombreuses campagnes de mesure de déformation du sol ont été régulièrement effectuées dans le cadre d'un réseau de surveillance régionale. L'Osservatorio Vesuviano mesure ainsi les mouvements du sol afin d'identifier les soulèvements et les affaissements éventuels du substrat, signes précurseurs d'une activité volcanique (mouvements pré-éruptifs). La courbe des déformations mesurées montre en effet quatre périodes de tendances différentes entre 1970 et 1995 (Barberi *et al.*, 1984 ; Berrino *et al.*, 1984 ; Berrino et Corrado, 1991 ; Dvorak et Gasparini, 1991 ; Civetta *et al.*, 1995 ; figure 43).

Nous avons pu observer, le long des falaises de Rione Terra, deux lignes de rivage soulevées nettes et fraîches, marquées par des bioconstructions de Vermets (*Vermetus cf. gregarius*). Leurs hauteurs respectives par rapport au niveau marin biologique de juillet 1996, étaient de + 2,38 (+/- 0,05 m) pour la plus haute et de + 0,87 (+/- 0,05 m) pour la plus basse. L'épaisseur des bioconstructions, de l'ordre de 3 à 4 cm pour la ligne supérieure, un peu moins pour la ligne inférieure, implique une stabilité du niveau marin relatif de l'ordre d'une dizaine d'années pour chaque ligne de rivage (Morhange *et al.*, 1998a, figure 44).

Ces deux lignes de rivage ont été abandonnées très rapidement par la mer car aucune trace d'érosion biologique ou mécanique n'a pu y être observée. En particulier, le péristome des tubes ne présente aucune trace de perforation par des Cyanobactéries (figure 45). Ceci signifie que lors du soulèvement du rivage, au moment des crises, ces formations n'ont pas séjourné plus de quelques mois à l'intérieur de la zone d'érosion médiolittorale.

Ces observations, effectuées le long d'un linéaire de plus d'un kilomètre, permettent donc de tracer une courbe de la mobilité estimée qui se superpose assez bien avec celle de l'Osservatorio Vesuviano (figures 46 et 47).

- Entre 1969 et 1972, l'estimation du soulèvement lié à la première crise bradysismique est excellente. Il y a superposition des deux courbes. Cependant, le maximum du soulèvement mesuré (+1,80 m) est légèrement supérieur à notre estimation (+1,51 m). Le court pic de 1972, bien mis en évidence par la méthode de mesures directes a été cependant trop rapide pour être enregistré par les organismes constructeurs qui n'ont pas eu le temps de réagir.

- Entre 1973 et 1981, la faible mobilité relative du plan d'eau autour d'un niveau mesuré vers 1,50 m permet la construction d'un second bourrelet de

Figure 42 : Variation relative verticale du niveau de la mer, vues des falaises de Rione Terra vers 1900, 1970 et en 1995.

(Cliché· C Morhange)

Printemps 1995:
Falaises et aménagements portuaires ont été soulevées de + 2.38m entre1969 et 1995
Les darses sont exondées et transfomées en parc de stationnement. On note un affaissement de ce secteur depuis 1984 d'environ 90cm

(Cliché· anonyme)

Vers 1970

Les contreforts des quais sont nettement hors d'eau. La darse est encore fonctionnelle
Une baisse relative du niveau marin a affecté ce secteur depuis 1969
La digue a été construite sous la période mussolinienne afin de protéger les quais de l attaque des vagues

(Source collection M Iaccarino)

vers 1900 (carte postale):

Falaises et quais sont battus par la mer
Les contreforts des quais sont au niveau marin moyen

↙ Contrefort des quais

○ Pierre de référence

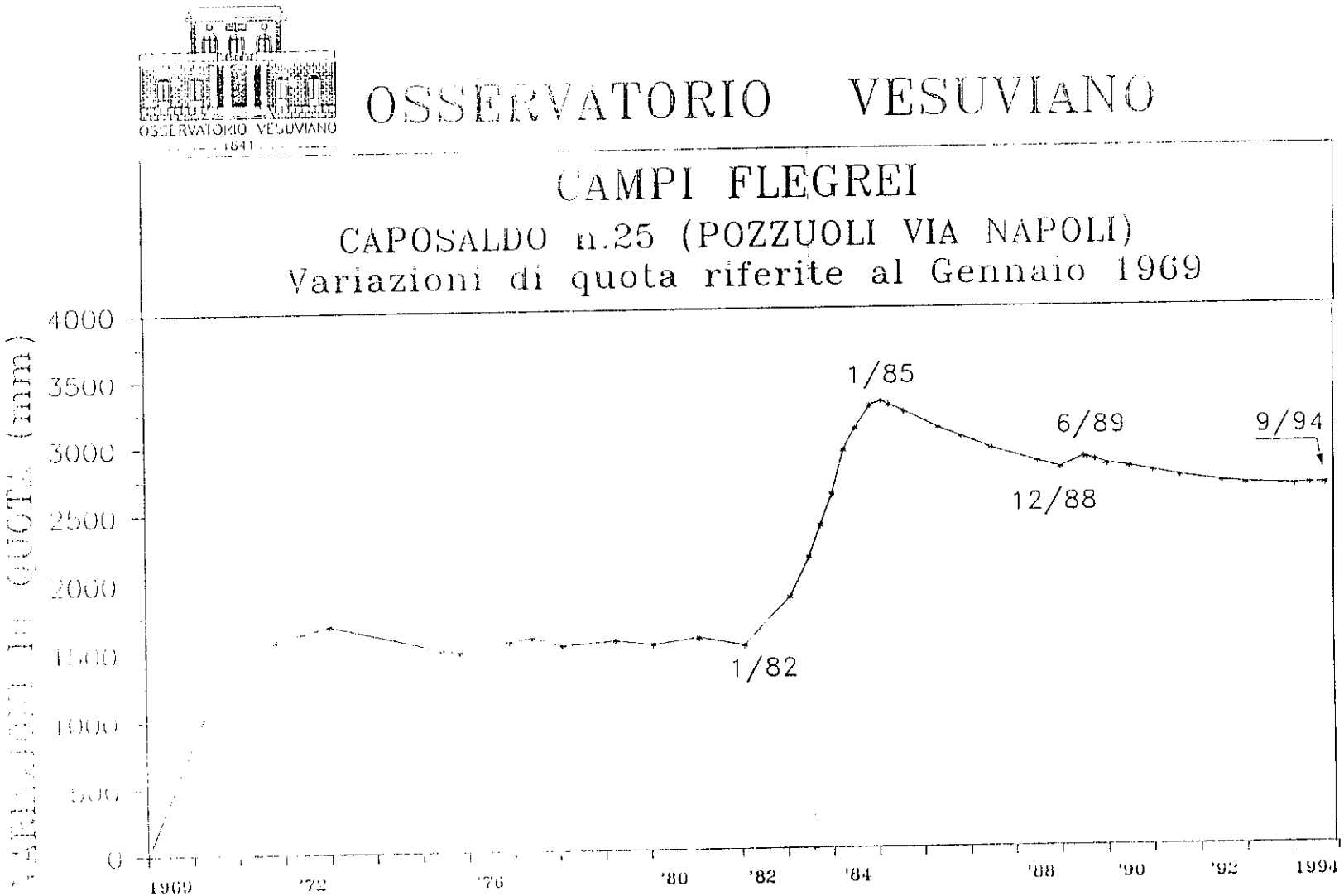


Figure 43 : Mobilité verticale du substrat du centre de Pouzzoles par rapport au zéro marégraphique de 1969. Station de mesures de la Via Napoli (document Osservatorio Vesuviano).

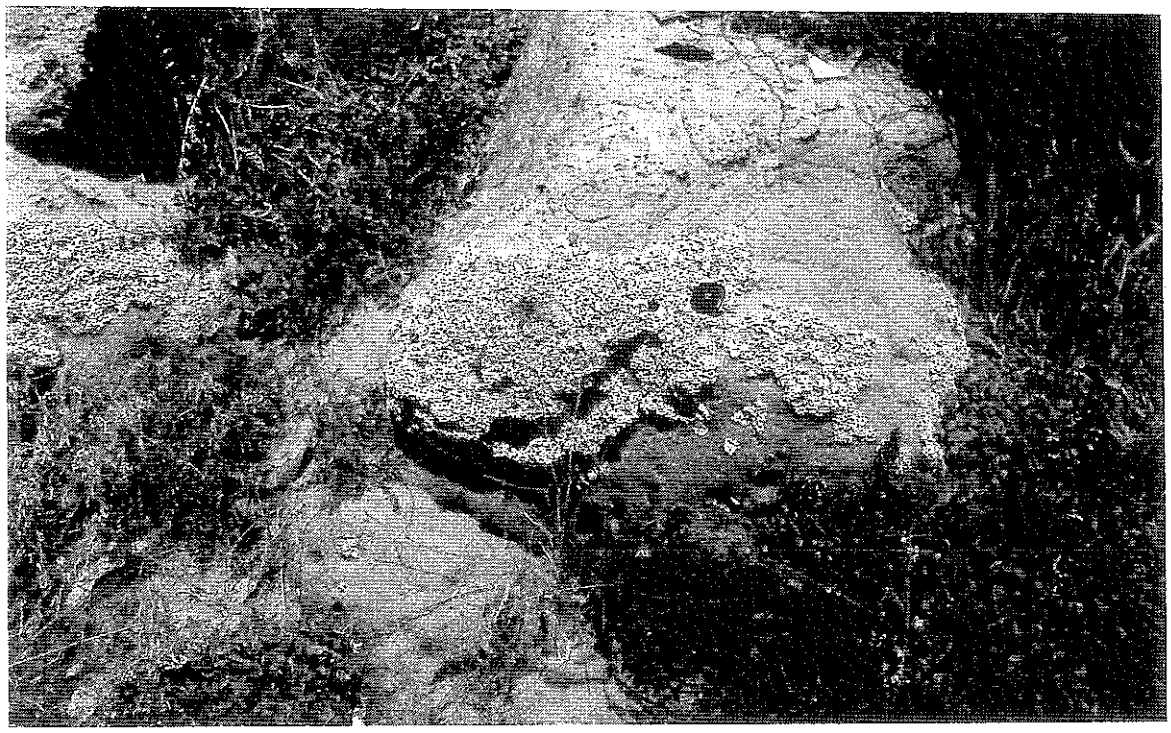


Figure 44 : Bourrelet de *Vermetus cf. gregarius* soulevé à + 2,38 m (± 0,05 m) au dessus du zéro biologique de 1996 (cliché Morhange, 1995).

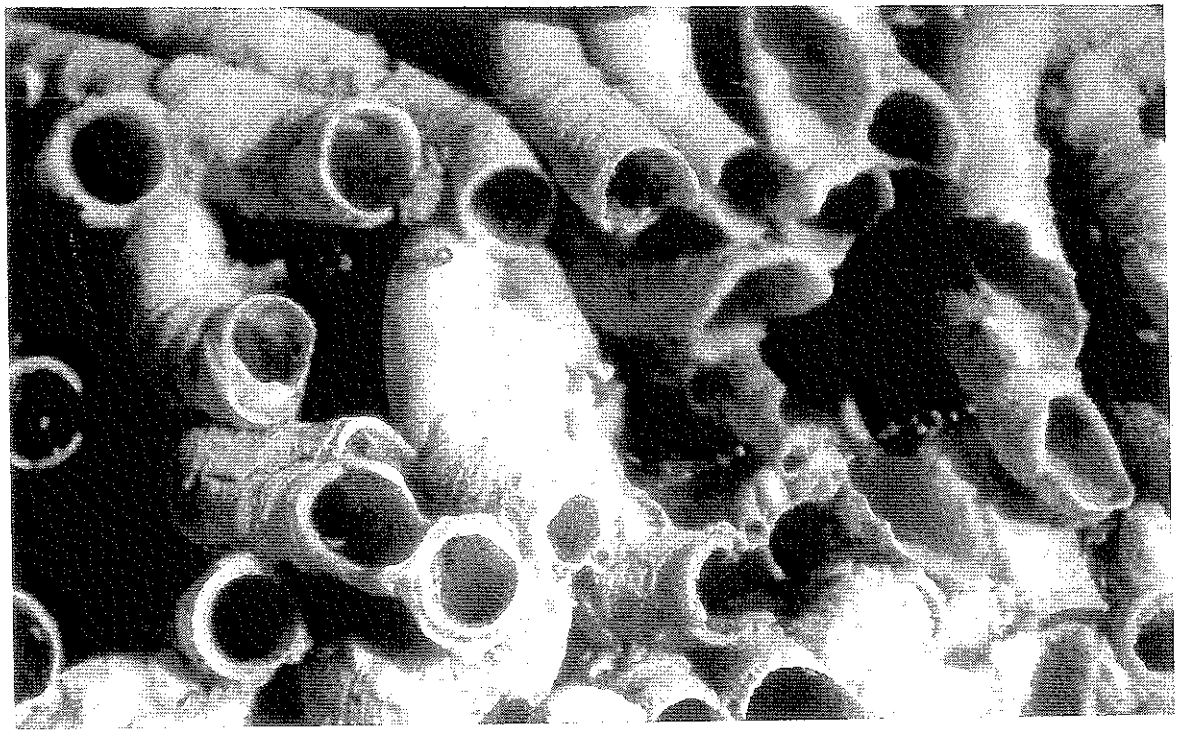


Figure 45 : Les péristomes des tubes de *Vermetus cf. gregarius* ne présentent aucune trace de perforation par des Cyanobactéries. Les bioconstructions n'ont donc pas séjourné plus de quelques mois à l'intérieur de la zone d'érosion médiolittorale (cliché Laborel, 1995).

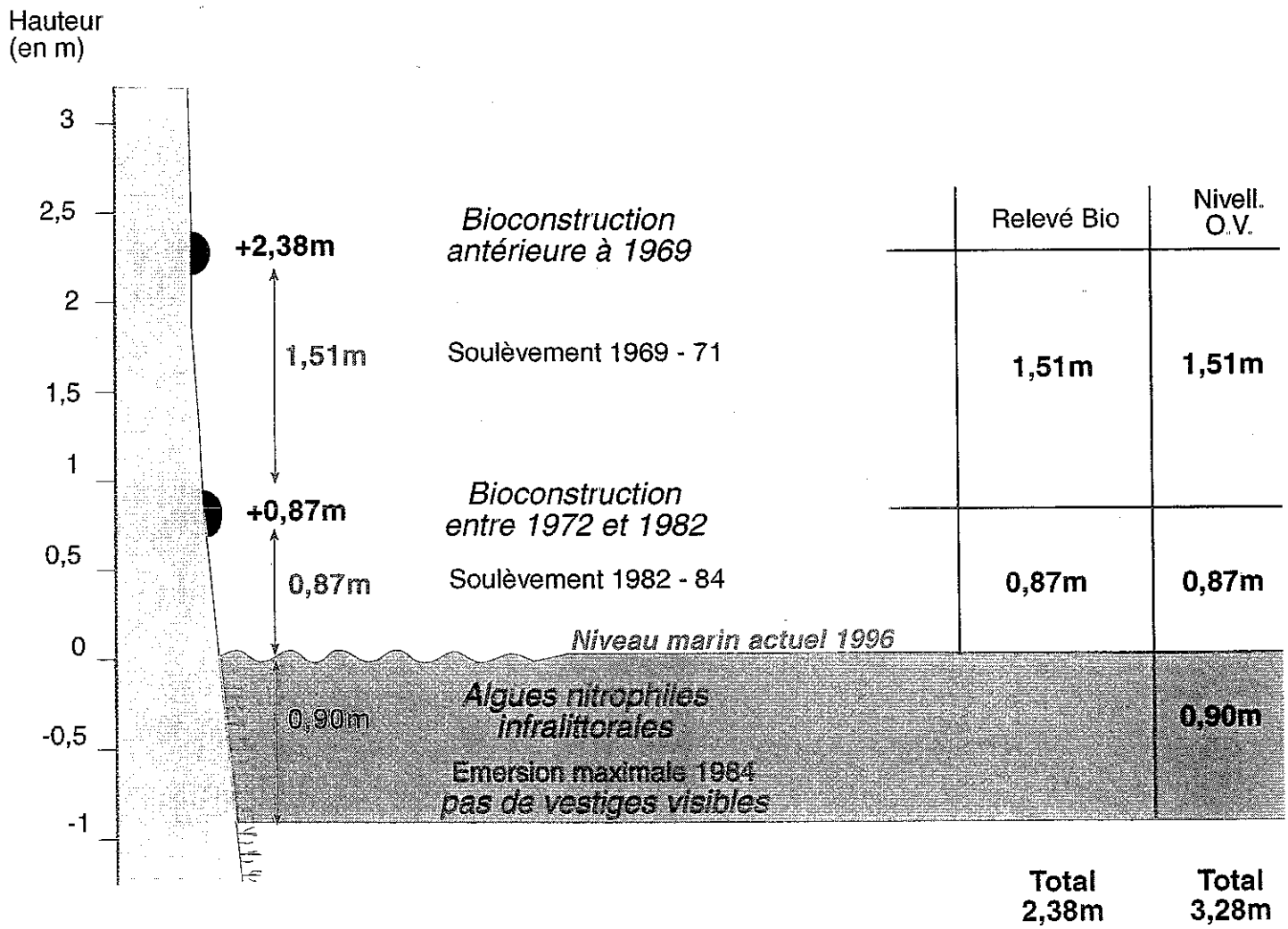


Figure 46 : Comparaison des mesures estimées et observées par nivellement (Osservatorio Vesuviano) de la mobilité relative du niveau de la mer à Pouzzoles depuis 1969.

Mobilité verticale relative du trait de côte au centre de Pouzzoles. Courbe mesurée Via Napoli (Osservatorio Vesuviano) et courbe estimée par la méthode des indicateurs biologiques sur les falaises de Rione Terra.

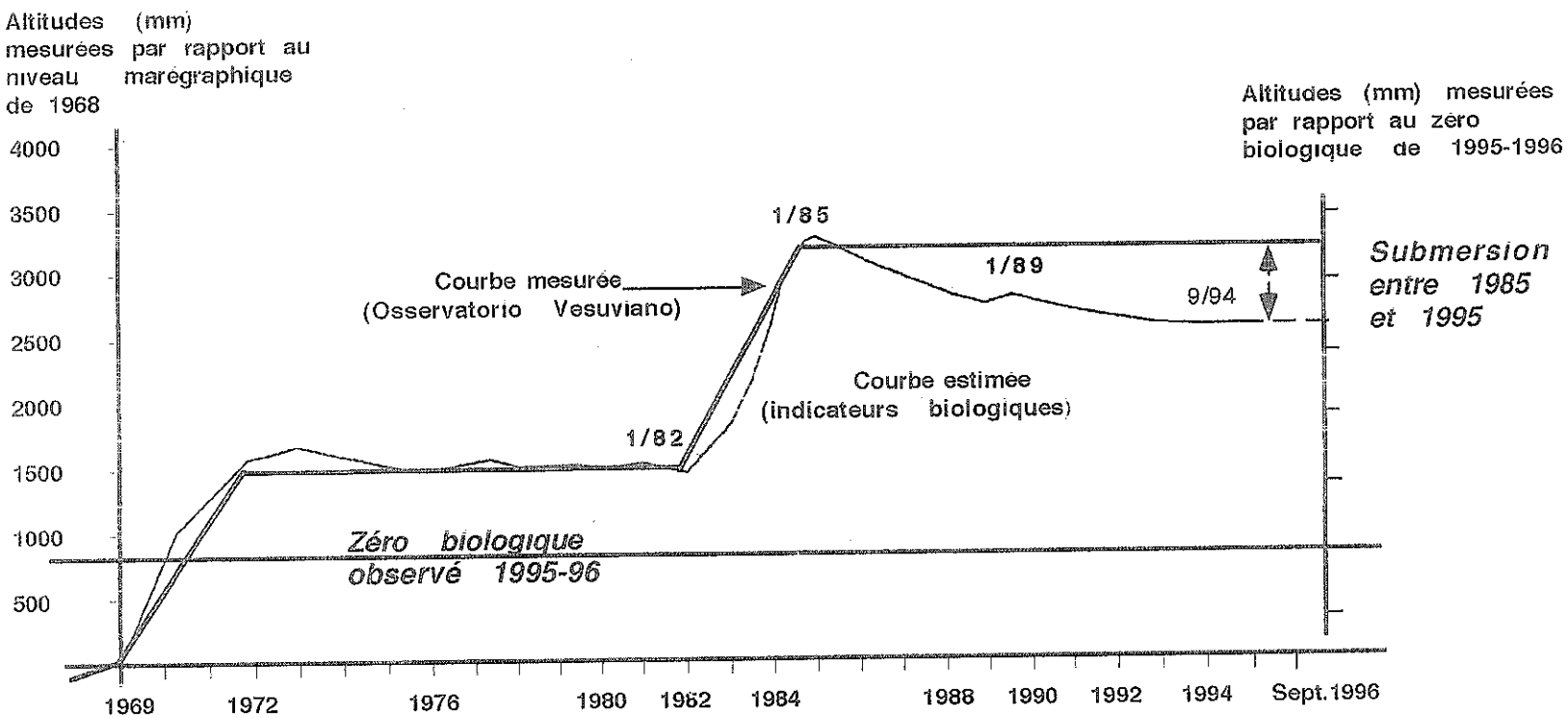


Figure 46

vermets (+0,87 m). Les petits mouvements mesurés du substrat (inférieurs à 20 cm) n'apparaissent pas, pour la raison citée plus haut.

- Entre 1982 et 1995, notre estimation de la mobilité est médiocre. En effet, la crise de 1982-1984 n'est pas immédiatement suivie par une stabilisation du plan d'eau, qui aurait permis le développement d'une bioconstruction, mais par un affaissement du substrat. Il n'y a pas de construction d'un bourrelet de vermets au niveau actuel de la mer car celui-ci est à la fois trop mobile et trop pollué. Notre évaluation du soulèvement du sol, lors de cette deuxième crise est sous-estimée d'environ 90 cm. (+3,30 m mesuré contre +2,38 m estimé). Cette sous-estimation vient du fait que le pic de 1984 étant suivi par un affaissement progressif, les vermets qui avaient pu se développer en 1985 se trouvaient en 1996 à près de 90 cm sous le niveau actuel de la mer et déjà détruits par 10 années d'érosion infralittorale.

L'estimation des hauteurs est donc correcte, même si la courbe apparaît lissée. Les résultats sont les meilleurs chaque fois que des périodes de stationnement à niveau constant ont eu une durée suffisante pour permettre l'établissement de constructions ou d'érosions biologiques suffisantes (environ cinq années dans le cas des vermets) pour être conservées et identifiées. Cette méthode permet donc d'estimer la hauteur résiduelle des mouvements par rapport au niveau marin biologique actuel. Il s'agit cependant d'une mémoire globale dont la limite de résolution est liée à celle du développement des peuplements superficiels.

Il est parfois difficile de différencier l'enregistrement biologique des vitesses de mobilité de type bradysismique, à l'échelle du mois, de celui des vitesses "rapides" de type sismique, à l'échelle de l'heure. Enfin, les épisodes co-séismiques, entraînant parfois des oscillations importantes et instantanées du niveau relatif de la mer, risquent d'être sous-estimés, surtout si ces mouvements dépassent l'amplitude de vie de l'espèce ou sont si rapides qu'ils n'autorisent aucun développement biologique. Ils ne sont alors pas enregistrés.

Au total, nous avons validé l'utilisation des vermets pour estimer les variations relatives du niveau de la mer. Ces indicateurs sont fiables et précis à la simple condition que les mouvements du plan d'eau soient séparés par des périodes de stationnement d'une durée suffisante pour que les organismes aient le temps de se développer. Nous estimons cette durée minimale à quelques années au plus.

I. 1. 3. Limites supérieures des peuplements sur structures archéologiques

I. 1. 3. 1. Rappels méthodologiques généraux

Comme nous l'avons montré plus haut, les indicateurs archéologiques ont été précocement utilisés pour mettre en évidence des submersions ou des émersions (Blackman, 1973 et 1982a et b ; Bousquet *et al.*, 1987 ; Flemming, 1969, 1971, 1979-80 et 1992 ; Flemming et Webb, 1986 ; Kayan, 1996 ; Lehmann-Hartleben,

1923 ; Oleson, 1988 ; Pirazzoli, 1988 ; Raban, 1985 et 1988 ; Schmiedt, 1972 ; Sherwood Illsley, 1996 ; Viret, 1998... pour ne citer que quelques titres riches de références bibliographiques).

Nous avons classiquement distingué trois principaux types de structures (figure 31) : les vestiges émergés (habitat, rue, zone de stockage, entrepôt, élévation d'un mur...), partiellement émergés (appontement, quai, cale de halage, fondation...) et immergés (épave, ancre, dépotoir sous-marin...). Ces structures indiquent une position maximale ou minimale du niveau marin. Il faut donc tenter de retrouver la position originelle et fonctionnelle du vestige analysé par rapport au niveau moyen de la mer et du trait de côte. Le vestige permet alors d'obtenir une position verticale et une datation plus ou moins précise du paléoniveau (exemples *in* Pirazzoli, 1976a et b, 1979-80, 1982, 1987b, 1988 et 1996...). Nous avons essayé systématiquement d'étudier des structures dont les fondations reposaient sur le substrat et n'avaient donc pas pu être affectées par des tassements et des compactions des formations superficielles.

Certaines structures posent des problèmes d'interprétation. Par exemple, les rampes de halage sont souvent constituées de madriers de bois posés parallèlement à la ligne de rivage pour permettre le halage des embarcations et leur stockage au sec (figures 48, 49 et 50). Ces rampes passaient sous le niveau marin de l'époque pour hisser plus facilement les navires hors de l'eau. Une rapide comparaison avec des structures fonctionnelles actuelles en Méditerranée montre les limites de précision d'un tel indicateur (figure 51). Il est, par exemple, difficile de distinguer une partie immergée, théoriquement caractérisée par des bois bio-érodés et une partie émergée avec des bois "sains" sur la plage aérienne. Les bois étaient régulièrement remplacés, les cales ayant une assez grande longévité (Blackman, 1993). Elle étaient rechargées en bois et des madriers bio-érodés pouvaient se retrouver sur la plage émergée alors que des bois neufs, non attaqués, étaient installés sous l'eau. De plus, les plages émergées et immergées étaient de véritables dépotoirs et il devient impossible de les dissocier par des critères sédimentologiques classiques. Dans ce cas, la mesure d'un niveau marin est à la fois délicate et peu précise (Morhange *et al.*, 1995).

I. 1. 3. 2. Démarche et applications

L'originalité de notre démarche a été la systématisation de l'utilisation des limites supérieures de peuplement biologique sur les structures archéologiques de deux principaux sites : Marseille et Pouzzoles (voir deuxième partie). Nous avons donc privilégié l'étude des structures archéologiques d'interface, utilisées comme des falaises vives, en abandonnant les structures immergées et émergées dans la mesure du possible, car, le plus souvent, les fourchettes d'incertitude altimétrique de ces indicateurs sont supérieures à l'amplitude de la mobilité.

Les quais, les jetées, les appontements et les pieux sont des supports idéaux car ils servent alors de surface de fixation (ou de perforation) pour les organismes marins. La méthodologie utilisée est alors identique à celle élaborée sur côte rocheuse par Laborel et Laborel-Deguen (1994). Il s'agit de mesurer l'écart

Figure 48 : Plage aménagée en zone de halage constituée de bois parallèles à la ligne de rivage (époque hellénistique). Chantier Jules Verne, Marseille (cliché Morhange, 1993).

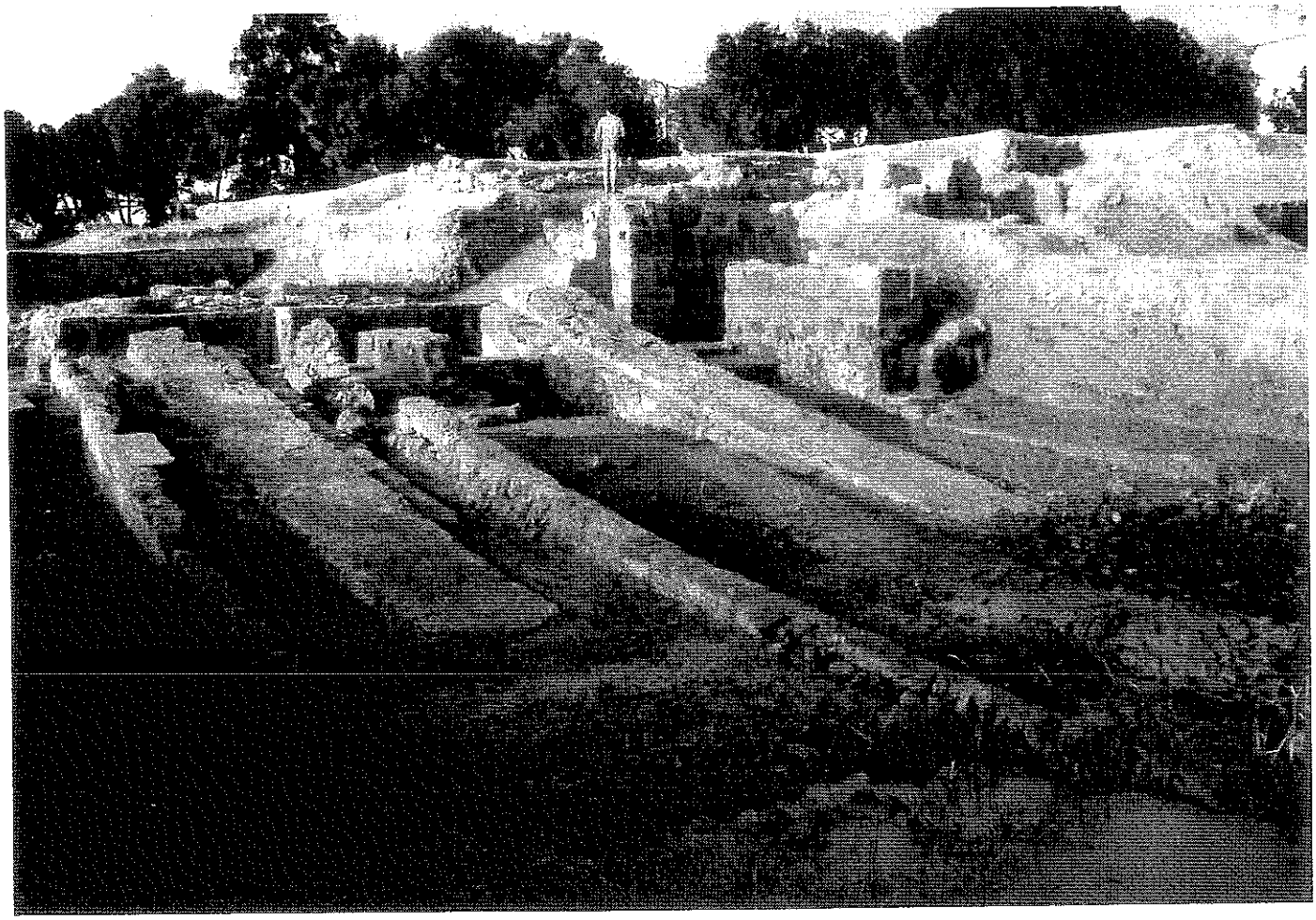


Figure 49 : Rampe de halage hellénistique du port de guerre de Kition Bamboula, Chypre (cliché Morhange, 1997).

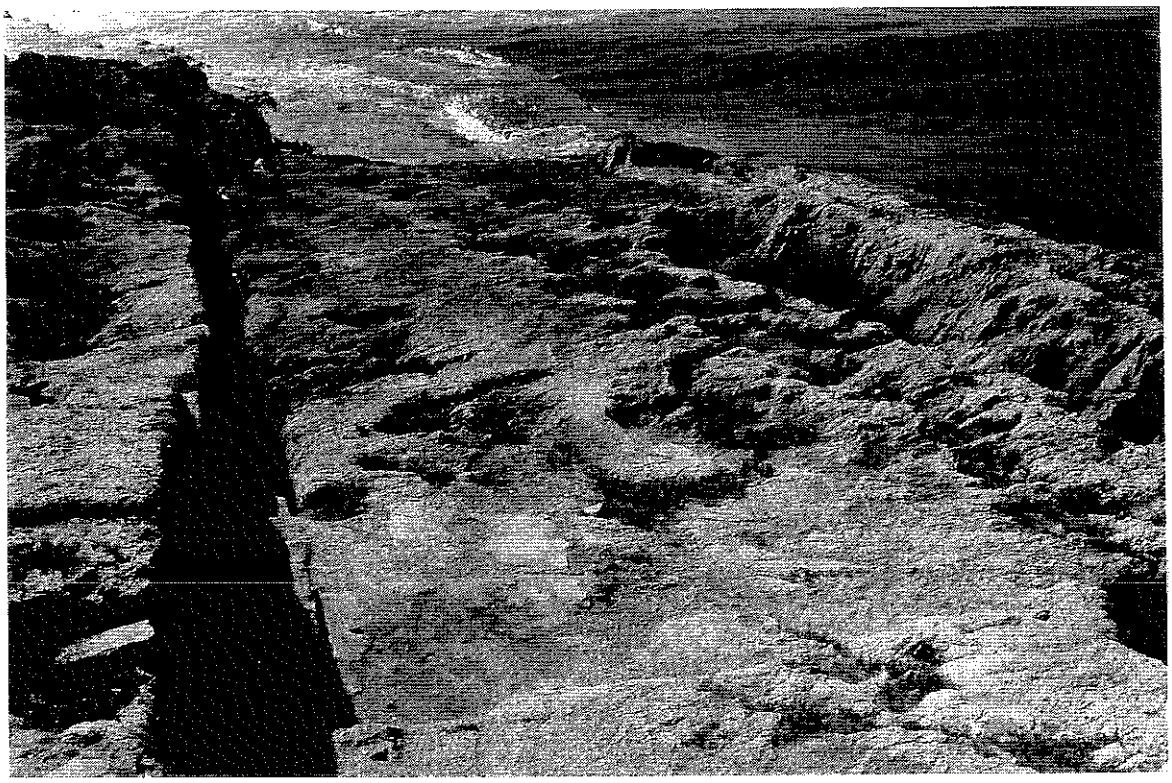
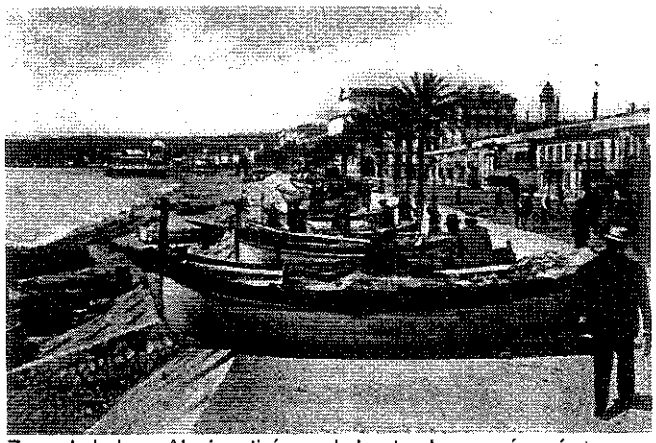


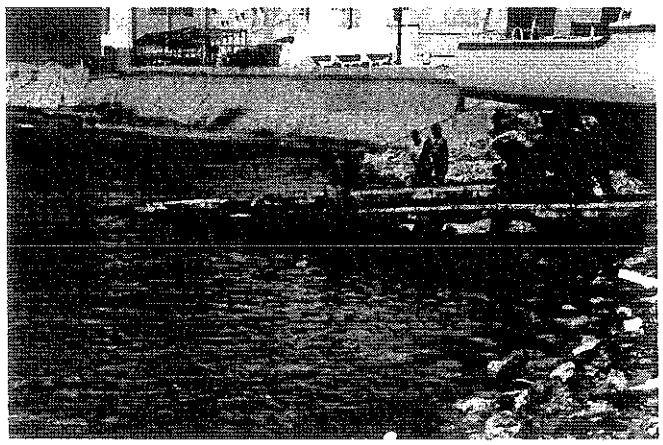
Figure 50 : Rampe de halage creusée dans la roche calcaire (époque antique ?)
Enfé, Liban (cliché Morhange, 2000).

Figure 51 : Exemples de zone de halage moderne, comparables aux équipements portuaires antiques.

Zone de halage composé de madriers parallèles au trait de côte. île de Samos, Grèce
Cliché C.M. 1995

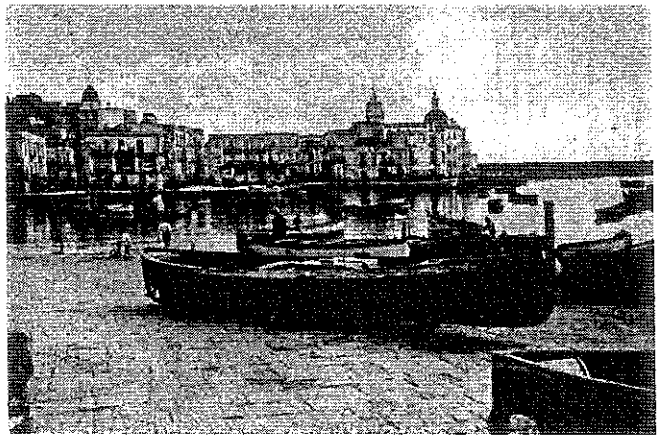


Zone de halage. Navires tirés sur la haute plage aménagée. Quai des États-Unis, Nice
Carte postale ancienne

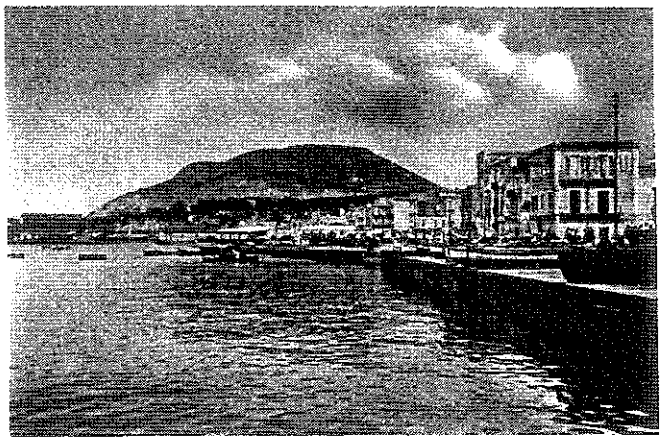


Zone de halage émergée et immergée. Plage d'Anfushi, Alexandrie, Egypte. *Cliché C.M. 1997*

Zone de halage émergée et immergée. Samos, Grèce
Cliché C.M. 1995



Navires halés sur les quais. Darsena de Pouzzoles, Campanie, Italie.
Carte postale ancienne



Navires halés sur les quais. Port de Pouzzoles, Campanie. Italie.
Au deuxième plan, volcan du Monte Nuovo crée en 1538.
Carte postale ancienne

altimétrique entre la limite supérieure de peuplement des indicateurs fossiles et la limite supérieure de peuplement des indicateurs vivants, si possible sur un même profil de façon à minimiser les erreurs dues à la topographie et à l'hydrodynamisme. Du fait de l'importance de la pollution dans les zones portuaires actuelles, on a souvent pris comme niveau de référence la limite supérieure de peuplement dense d'algues nitrophiles (comme les corallines par exemple) qui correspond au sommet de l'étage infralittoral. Nous avons principalement utilisé quatre indicateurs biologiques, dont les marges d'erreur sont centimétriques, pourvu que l'on applique notre méthode avec précaution (figure 52) :

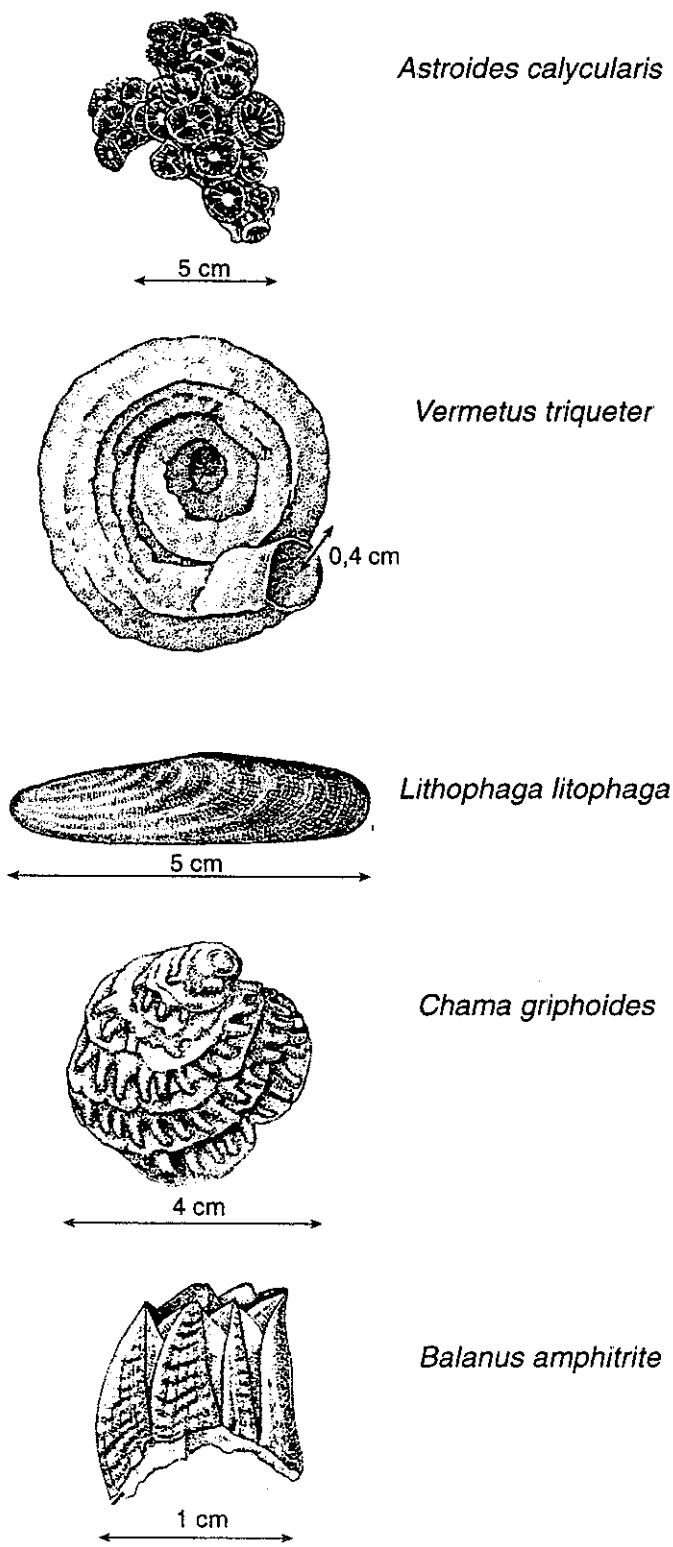
- les **balanes** à Marseille. Leur limite supérieure correspond à l'étage médiolittoral et indique le niveau de la mer à +/- 5 cm près. Par exemple, sur les quais actuels du Vieux Port de Marseille, les plus hautes balanes vivantes (*Balanus amphitrite*) sont à une altitude maximale moyenne de +8 cm NGF (+/- 1 cm). Cette mesure correspond au niveau marégraphique moyen actuel à Marseille (+11 cm au-dessus du 0 NGF ; Guéry *et al.*, 1981). L'écart entre ces deux moyennes correspond intrinsèquement à deux types d'enregistrement fondamentalement différents (niveau marin moyen marégraphique et zéro biologique correspondant à un triple bilan d'humectation, d'éclairement et d'énergie).

La balane, ce crustacé qui se fixe sur les quais, les pieux ou les roches, a été assez peu utilisée du fait de sa fragilité et de ses faibles possibilités de conservation (bibliographie sur les travaux pionniers dans Pirazzoli *et al.*, 1985). Nous considérons que c'est un des indicateurs paléobathymétriques les plus précis en milieu portuaire, car on peut souvent suivre la limite supérieure de ses populations sur au moins plusieurs mètres le long des quais ou des appontements. Elle est de plus assez facile à identifier lors de fouilles archéologiques portuaires, car cette limite est rapidement fossilisée par des vases de décantation et des ordures diverses. On pourra donc la dater, en prenant la précaution de lui attribuer l'âge d'abandon de la structure et non celui de sa fondation. Ce type de démarche a aussi permis de progresser dans l'estimation de l'âge apparent local de l'eau de mer à Marseille en comparant l'âge radiocarbone des balanes à leur âge archéologique (Morhange et Oberlin, 2000).

- les **Lithophages** (bivalve perforant), les ***Chama*** (pélécypode fixé) et les coraux de l'espèce ***Astroides*** *calycularis* (madréporaire, Zibrowius, 1995) à Pouzzoles. Ces trois espèces se développent dans l'étage infralittoral. La limite supérieure de développement de ces organismes marins correspond donc au sommet de l'étage infralittoral. La marge d'erreur est d'environ +/- 5 cm pourvu que l'on puisse suivre sur un linéaire de quelques mètres la limite supérieure de colonisation. Logiquement, plus le mode est calme, plus la précision sera bonne, ce qui est particulièrement le cas des bassins portuaires.

Les lithophages sont très fréquemment utilisés car leurs coquilles se conservent particulièrement bien à l'intérieur de la perforation (exemples d'utilisation dans Stiros *et al.*, 1992, 1993 ; Laborel et Laborel-Deguen, 1994 ; Pirazzoli *et al.*, 1994a et b...). À notre connaissance, c'est la première fois que l'on utilisait l'espèce *Astroides calycularis* comme indicateur paléobathymétrique.

Figure 52 : Illustrations des principaux indicateurs biologiques utilisés (d'après Riedl, 1991).



C'est donc en multipliant les mesures sur des indicateurs biologiques différents et en les comparant que l'on est susceptible d'obtenir l'information paléobathymétrique la plus précise et la plus fiable. Ces résultats croisés sont des repères qui devraient permettre une étude comparative des variations du niveau de la mer sur côte meuble, en utilisant d'autres indicateurs.

Dans un deuxième temps, nous proposons une réflexion sur quelques critères sédimentologiques permettant d'identifier des variations du niveau marin sur côte meuble, ces marqueurs étant toujours beaucoup moins précis que sur substrat dur.

I. 2. Indicateurs sédimentologiques sur côte meuble

La recherche des positions successives du niveau marin a nécessité de croiser l'analyse granulométrique et stratigraphique, les assemblages faunistiques avec les caractéristiques exoscopiques des grains de quartz (exemples provençaux dans Morhange, 1994 ou Vella, 1999). En effet, il subsiste encore des plages résiduelles au sein des ports antiques et il ne faut pas imaginer les paysages portuaires antiques à l'image de nos marinas modernes. De plus nous avons principalement étudié les plages avant l'installation des ports, comme à Marseille ou à Bamboula par exemple (Morhange *et al.*, 1999a).

Comme sur substrat dur, nous avons tenté de croiser le maximum de paramètres. Les applications ont été décevantes en terme de précision des résultats. En effet, les marges d'erreur sont dix fois supérieures (au mieux de l'ordre décimétrique sur côte meuble en mode calme contre centimétrique sur substrat dur) et les mesures intègrent des évolutions postsédimentaires difficilement quantifiables comme le tassement, conséquence de la compaction.

Nous avons donc principalement retenu les mesures sur substrat dur dans le cadre de nos publications. Les évolutions post-sédimentaires (tassement par compaction) étant parfois importantes et surestimant largement la montée relative du niveau de la mer, nous avons cependant tenté d'utiliser trois types d'indicateurs : biosédimentaire, granulométrique et exoscopique.

I. 2. 1. Indicateurs biosédimentaires

Les interprétations paléoécologiques des assemblages sont toujours faites en termes d'étagement biologique. Nous avons utilisé la macrofaune et les microfaunes d'ostracodes et de foraminifères. Malheureusement la pertinence de ces indicateurs est réduite en milieu portuaire pour deux raisons principales :

- Les biocoenoses portuaires sont peu variées et leur souplesse écologique induit une précision bathymétrique moindre que pour les faunes fixées. Les limites d'étage sont donc floues et il s'agit le plus souvent de gradients et de variations latérales de faciès.

- Les risques de remaniements sont importants car les organismes non fixés sont souvent soumis au transport après leur mort. Carbonel (1980) a proposé, en ce qui concerne les assemblages d'ostracodes, de distinguer les allothanatocoenoses, caractérisées par des faunes déplacées, des thanatocoenoses en place. Beaucoup d'auteurs assimilent d'ailleurs la thanatocoenose en place à la biocoenose (Peypouquet, 1971), la différence étant l'absence de parties molles pour la thanatocoenose en place. Les remaniements se manifestent souvent par des traces d'usure et un mélange des associations faunistiques (Vella, 1999). De nombreux auteurs ont d'ailleurs montré que les organismes recueillis dans un échantillon sont très rarement entièrement autochtones (bibliographie *in* Henaff, 1997).

Les interprétations paléoécologiques doivent donc tenir compte aussi bien de l'écologie des espèces vivantes que de l'énergie nécessaire à la fragmentation des coquilles mortes ou à leur éventuel remaniement. Par exemple, une analyse morphoscopique permet d'identifier assez facilement deux types de stock, des organismes en place, aux tests lisses, et des coquilles corrodées, émoussées, voire brisées, qui ont été transportées. Cette première estimation associée aux déterminations permet de distinguer les principaux types d'assemblage correspondants aux trois étages infralittoral, médiolittoral et supralittoral qui nous intéressent ici. Nous pouvons donc distinguer (figure 53) :

- Des assemblages purement détritiques correspondant souvent à des dépôts remaniés et déposés dans les étages médiolittoral ou supralittoral de plus haute énergie que l'étage infralittoral.

- Des assemblages à faune en place (valves souvent en connexion) de milieux toujours immergés correspondant souvent à l'étage infralittoral. Il s'agissait donc de mesurer la limite stratigraphique supérieure de cette formation pour rechercher la position fossile du niveau marin.

Nous pensons qu'il aurait fallu traiter statistiquement les centaines d'échantillons déterminés afin d'évaluer la significativité des stocks présents dans chaque prélèvement. Ce travail de traitement statistique de l'information est en cours, en ce qui concerne le site de Marseille, avec la collaboration de Michel Bourcier, dans le cadre d'une analyse factorielle (Blanc *et al.*, 1972, 1975 et 1976) et d'un classement arborescent en biofaciès (Grimm, 1987 ; bel exemple *in* Reinhardt *et al.*, 1994 et 1998 dans le cas des foraminifères du port antique de Césarée de Palestine).

Quel que soit le traitement des données, la marge d'imprécision des mesures paléobathymétriques reste importante, de l'ordre décimétrique au mieux, du fait des incertitudes de détermination des milieux, du flou des limites stratigraphiques, des problèmes de remaniement et des tassements post-sédimentaires. On se méfiera donc de mesures paléobathymétriques obtenues seulement par des mesures sur côte meuble, dont les fourchettes d'incertitude ont toutes les chances d'être supérieures aux mobilités réelles du niveau de la mer.

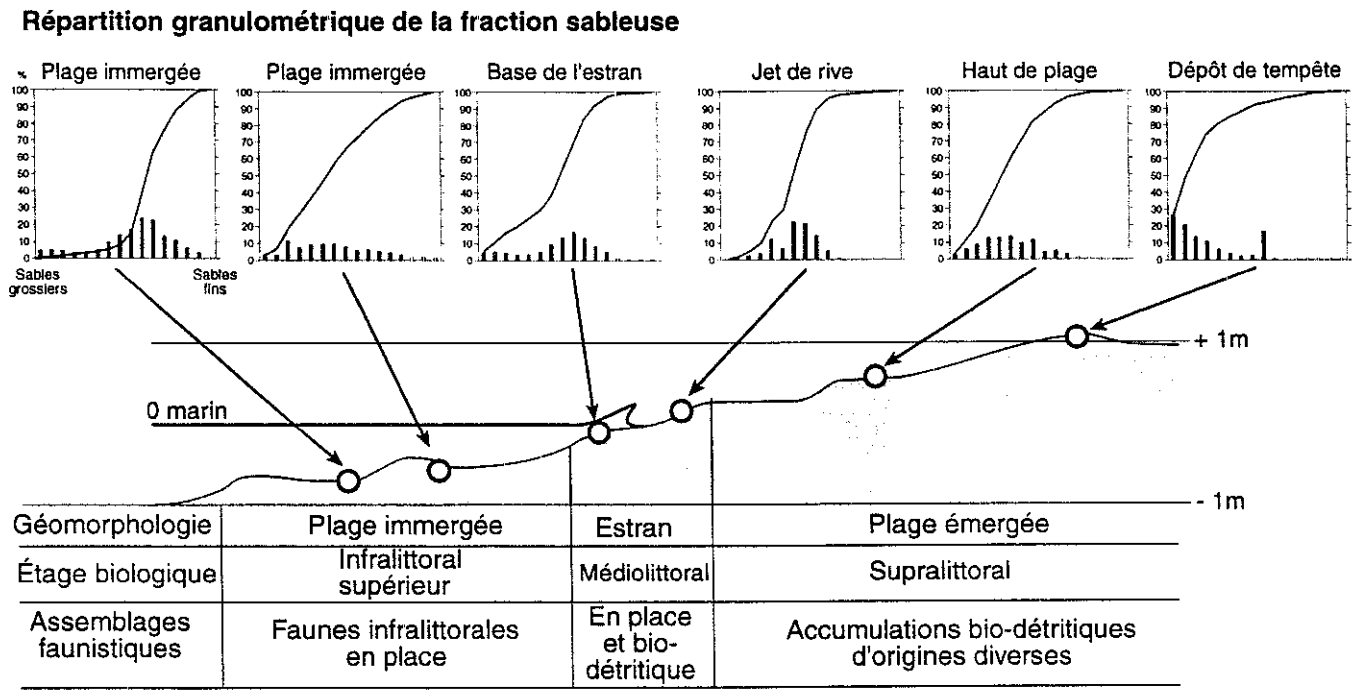


Figure 53 : Répartition granulométrique de la fraction sableuse sur une plage de Provence (Morhange *et al.*, 1998b)

I. 2. 2. Indicateurs granulométriques

La granulométrie des sédiments portuaires a toujours logiquement beaucoup plus intéressé les ingénieurs (Caldwell, 1939) que les chercheurs (études pionnières de Déverin, 1920 pour le port de Monaco ; Ottmann et Nobrega Coutinho, 1963 pour le port de Recife...) dans le cadre de la lutte séculaire contre l'envasement des bassins. Les paramètres granulométriques (texture, grain moyen et indices de tri et d'asymétrie), déjà peu précis dans le cadre de littoraux "naturels" (mise au point récente in Otvos, 1995 et 1999 ; Donoghue *et al.*, 1998 ; figure 53) sont inefficaces dans un milieu aussi calme et perturbé qu'un port antique.

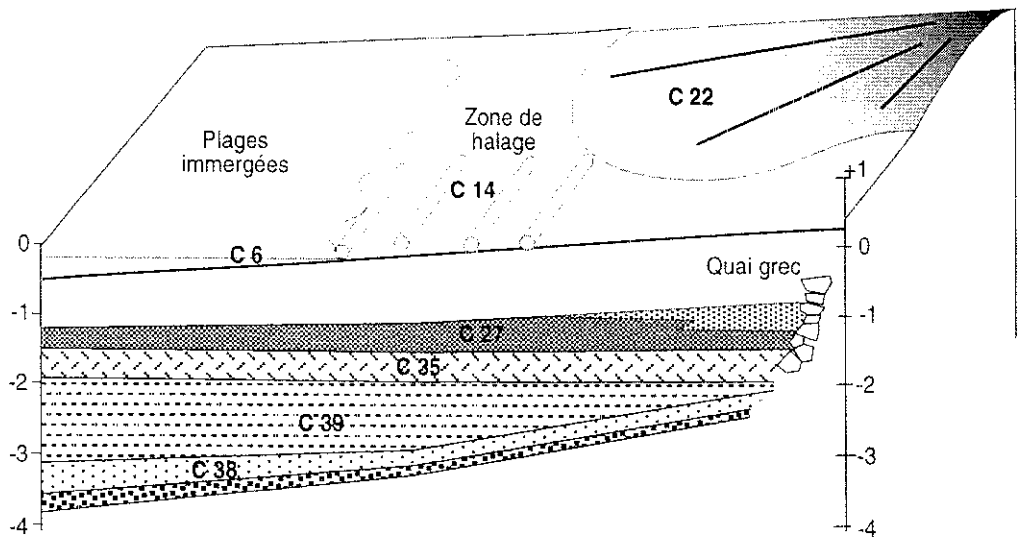
Les processus de sédimentation sont bouleversés par les équipements portuaires et les modifications de la ligne de rivage. Ceux-ci induisent une perte de compétence des courants et donc un piégeage accéléré des éléments fins. De plus, le ruissellement à l'amont sur des surfaces nues et des remblais entraîne un enrichissement à la fois en sables grossiers et en ballast. Les sédiments portuaires sont donc caractérisés par une forte hétérométrie granulométrique qui se traduit à la fois par un enrichissement en particules limoneuses et en ballast (Morhange, 1994 ; figure 54).

De plus, l'estran est souvent inexistant car il est remodelé à intervalles de temps plus ou moins réguliers, pour servir de support à de nouveaux équipements portuaires. Il se caractérise par une charge importante en ballast, souvent plus du cinquième du poids des prélèvements. Ce ballast est composé de coquilles marines brisées, de fragments de bois roulés, sous la forme de laisses biodétritiques. On recontre aussi de nombreux tessons plus ou moins roulés et des remblais en vrac. L'estran et les plages émergées se définissent donc par une texture beaucoup plus grossière que les fonds marins envasés un peu plus au large, où les limons et les argiles représentent de 50 à 90 % du poids total à sec des prélèvements. La charge en ballast des fonds vaseux infralittoraux est alors beaucoup plus faible (généralement inférieure à 10 % du poids total à sec des prélèvements), sauf au pied des équipements portuaires d'où étaient jetés ou perdus beaucoup de débris et objets variés au moment des ruptures de charge. La part en ballast est alors souvent supérieure à 20 % du poids total à sec des prélèvements (figure 55).

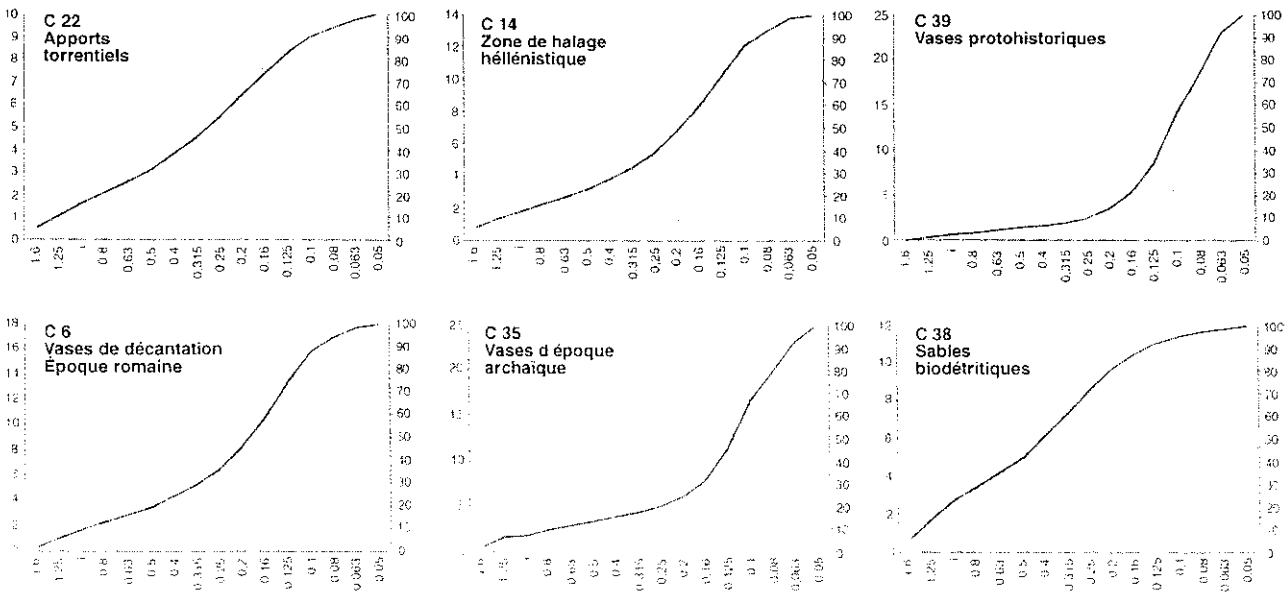
Contrairement aux côtes extra-urbaines, caractérisées par des profils granulométriques assez bien identifiés en milieu microtidal (Miller et Zeigler, 1958 ; Degiovanni, 1972 et 1973 ; Carobene et Brambati, 1975 ; Fumanal *et al.*, 1982), on ne peut donc pas identifier de talus prélittoral séparant les plages immergées des plages émergées. En revanche, les textures granulométriques renseignent à la fois sur les compétences des courants et l'aménagement des rivages (Millet *et al.*, 2000).

Au total, la granulométrie est d'un bien maigre secours dans la détermination des paléoniveaux marins, surtout quand les lignes de rivage ont été largement artificialisées. Les milieux, difficiles à déterminer, intègrent de plus trop de dynamiques post-sédimentaires, pour livrer des mesures fiables.

Figure 54 : Schéma granulométrique de quelques milieux de sédimentation caractéristiques des paléoenvironnements de la rive Nord du Vieux Port de Marseille



Granulométrie de la fraction sableuse



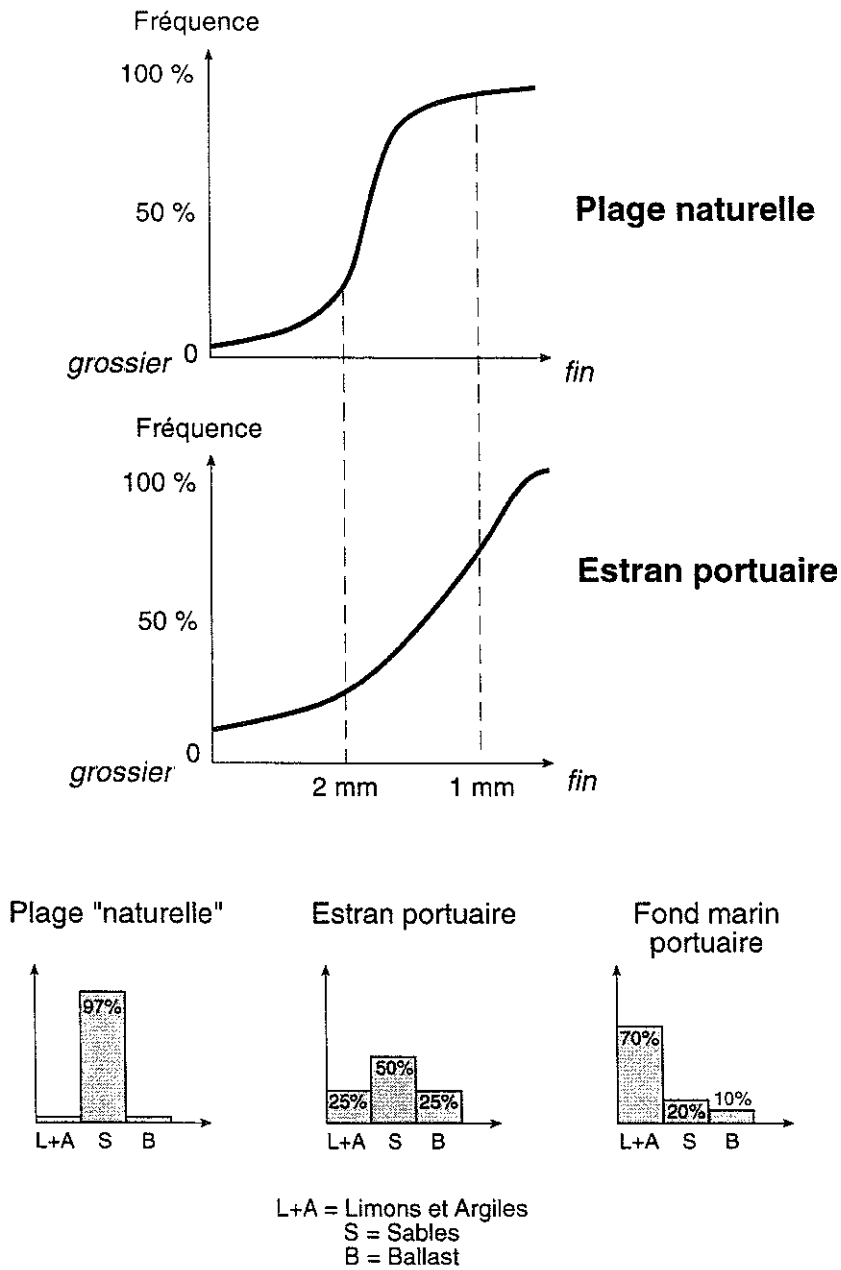


Figure 55 : Comparaison des textures et de la répartition granulométrique des plages " naturelles " et des estrans portuaires.

I. 2. 3. Indicateurs exoscopiques

Les caractères de surface des grains de quartz sont déterminés par les différents agents physiques, chimiques, mécaniques ou biologiques qui interviennent au cours de leur histoire sédimentaire. Leur superposition et leurs modifications reflètent la chronologie relative des évènements auxquels les quartz ont été soumis.

Nous avons essayé de distinguer des faciès exoscopiques différents en fonction de l'étagement et des processus de sédimentation dominants. Avec l'aide déterminante d'André Prone (Laboratoire de géochimie de l'environnement, Université de Provence), en partant des premiers atlas exoscopiques déjà publiés (Krinsley et Doornkamp, 1973 ; Le Ribault, 1975 et 1977 ; Prone 1980...), nous avons tenté d'élaborer une nouvelle amorce de banque de données portant sur les caractères exoscopiques des quartz au sein des bassins portuaires antiques à partir des exemples de Marseille (annexe 1), de Kition Bamboula (Morhange *et al.*, 1999a et 2000a) ou d'Antibes (Georges et Prone, 2000). Cette approche se développe dans le cadre des monographies en cours sur Alexandrie (thèse de J.P. Goiran) et les ports levantins (programme CEDRE 2000-2001) et a débouché sur un premier essai de mise en évidence du mode plus ou moins battu des sédiments, dans le cadre de la thèse de Carole Bruzzi sur les tempêtes (Bruzzi, 1998). Elle continue avec l'analyse des dépôts sableux corrélatifs des tsunamis, comme celui de Lisbonne (1755) et ceux qui ont affecté les côtes du Levant (Phalasarna, Sidon...).

Ces premiers travaux montrent que si l'exoscopie est une technique utile pour différencier les milieux de sédimentation (en particulier le mode plus ou moins battu), elle ne fournit pas assez d'informations pour interpréter fiablement les sédiments en terme de niveau marin (figure 56 et annexe 1).

- Les quartz des vases marines de décantation, déposées dans l'étage infralittoral, sont très souvent caractérisés par des pyritosphères révélatrices de milieux marins confinés. Certaines faces présentent aussi des formes de dissolution orientée et des décapages d'origine infralittorale comme des figures de frottement. D'anciennes traces de choc ont été polies par le brassage aquatique.

- Les quartz des plages médiolittorales se distinguent par des traces de chocs, sous la forme de cupules et de croissants, qui témoignent du déferlement des vagues et donc d'un hydrodynamisme plus marqué. Les arêtes sont polies et de petits globules de silice sont coalescents dans les cupules. Des figures de dissolution signent le caractère intertidal du dépôt, avec souvent des traces antérieures d'éolisation reprises par un polissage aquatique. On note souvent des formes d'érosion typiques de l'étage médiolittoral inférieur, comme des débuts de réseau de dissolution anastomosé dans les dépressions et sur les faces planes. Les cassures conchoïdales sont émoussées et l'on constate surtout la prépondérance de la dissolution sur la précipitation.

- Les rares plages antiques supralittorales que nous ayons pu analyser montrent des figures correspondant à l'étage médiolittoral supérieur. Les

dépressions et les traces de frottement ou de broyage sont emplies par des fleurs de silice à forme de croix sur le site de Kition Bamboula (Morhange *et al.*, 1999a) :

- Les milieux lagunaires montrent une forte domination des quartz Non Usés Evolués parmi les sables grossiers et moyens. L'étude exoscopique met en évidence trois stades dans l'évolution des quartz des paléolagunes d'Antibes (Georges, 1999 ; Georges et Prone, 2000 ; figure 57).

- Le premier stade est caractérisé par une morphologie d'immobilisation pédologique avec formation d'une pellicule d'altération en coulée ou un faciès d'éolisation avec des traces d'amorphisation des grains. On note également la présence de kaolinite dans les dépressions ou les parties sommitales de certains grains, liée à cet épisode pédologique (figure 58).

- Dans un second temps, on observe un décapage par la dissolution marine avec la présence d'un réseau anastomosé typique. Certains grains sont aussi caractérisés par des croissants et des cupules de chocs pouvant correspondre à l'action des vagues (figure 59).

- La néogenèse polie constitue le dernier stade d'évolution typique d'un milieu lagunaire. Celle-ci recouvre, selon les cas, des reliquats de pellicule d'altération ou s'installe à partir de l'ancien réseau anastomosé (figure 60)

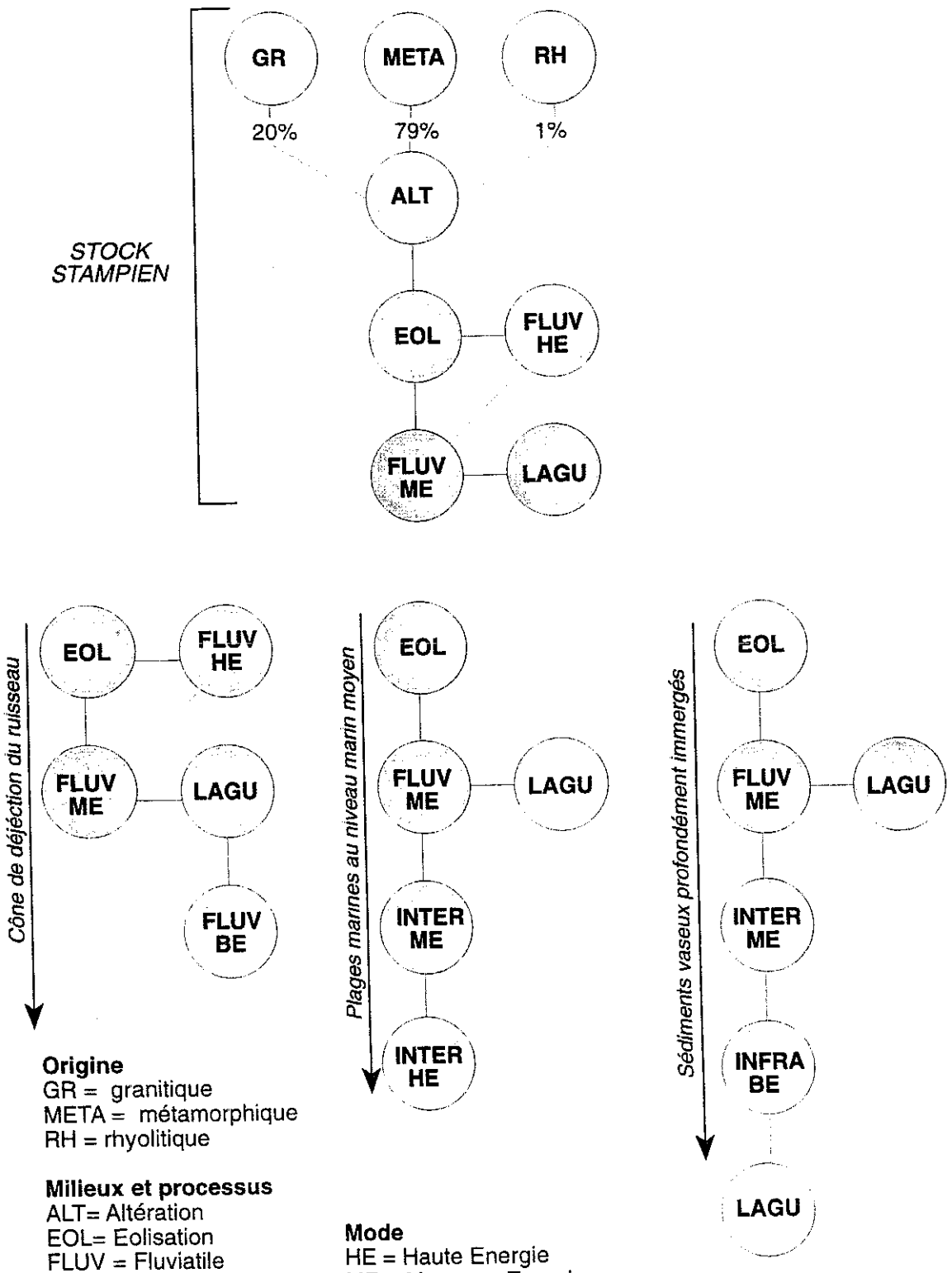
L'analyse exoscopique des quartz fournit donc surtout une estimation des milieux de sédimentation. Dans le contexte d'un littoral microtidal et portuaire, aux dynamiques météo-marines assez peu variées, ce type d'approche n'apporte pas de mesures paléobathymétriques précises.

La comparaison de ces différents indicateurs bio-sédimentaires permet donc de définir, de façon médiocre, la position maximale du niveau de la mer qui correspond alors à la limite supérieure d'un fond marin à fleur d'eau. Cette démarche, qui croise l'approche sédimentologique et biologique, n'aboutit évidemment pas à des résultats paléobathymétriques aussi précis que sur côtes rocheuses. On l'aura compris, tenter une comparaison des mesures obtenues de la détermination de lignes, comme un niveau marin biologique, avec celles acquises de l'analyse d'une surface de contact, limite entre des milieux sédimentaires différents, est plus que difficile. Du point de vue dynamique et intrinsèque, ces mesures expriment des réalités différentes, qu'il faut évaluer avec précaution.

On pourra aussi remarquer, qu'avant l'aménagement des plages par les sociétés antiques, la précision des mesures chronologiques est très limitée par l'absence d'équipements d'interface ou de matériel dans les sédiments. Le chercheur est alors totalement dépendant des multiples approximations liées à l'utilisation du ^{14}C.

Enfin, ces années de recherche sur la mobilité relative du niveau de la mer ont permis de progresser dans l'appréhension de la vitesse de mobilité du niveau marin (Pirazzoli, 1993). Cette notion est forcément relative et variable en fonction des

Figure 56 : Evolution morpho-exoscopique des quatre principaux stocks de quartz présents sur le site de la fouille archéologique de la place Jules Verne.



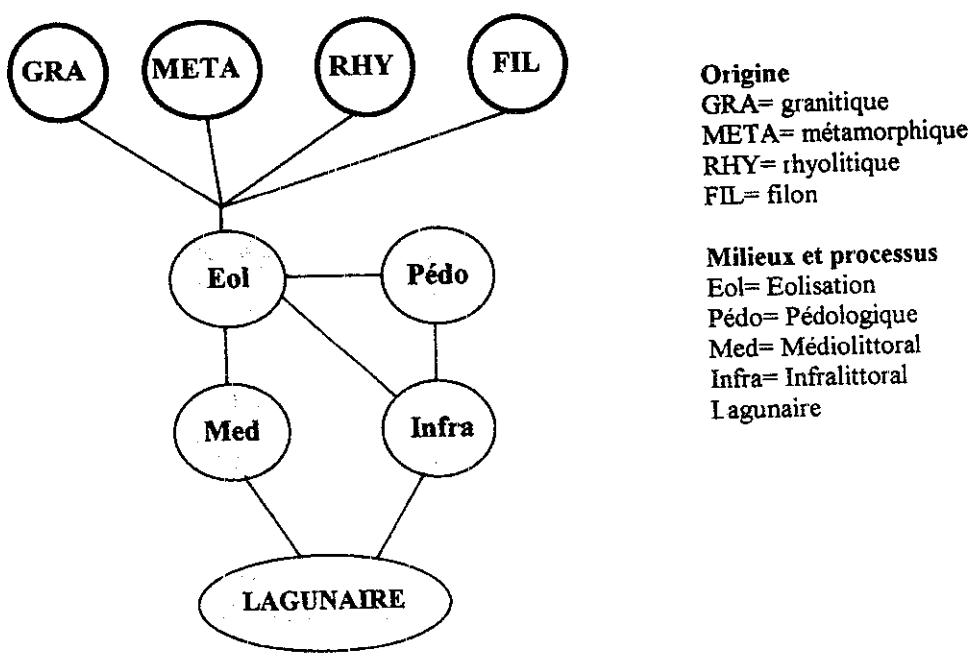


Figure 57 : Schéma d'évolution exoscopique des quartz présents dans la paléolagune de l'anse Saint-Roch, datée vers 3000 ans avant J.-C. (Antibes, fouille archéologique de Port Prestige, Georges et Prone, 2000).

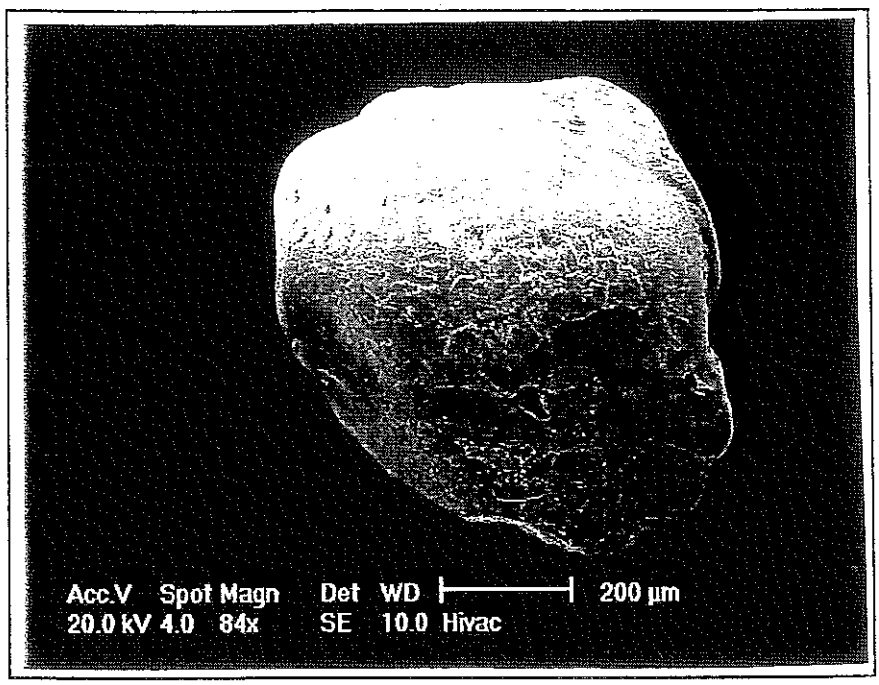


Figure 58 : Cliché MEB d'un quartz Rond Mat amorphisé et entamé par la dissolution marine (paléolagune de l'anse Saint-Roch, datée vers 3000 ans avant J.-C., stade 1, cliché Prone).

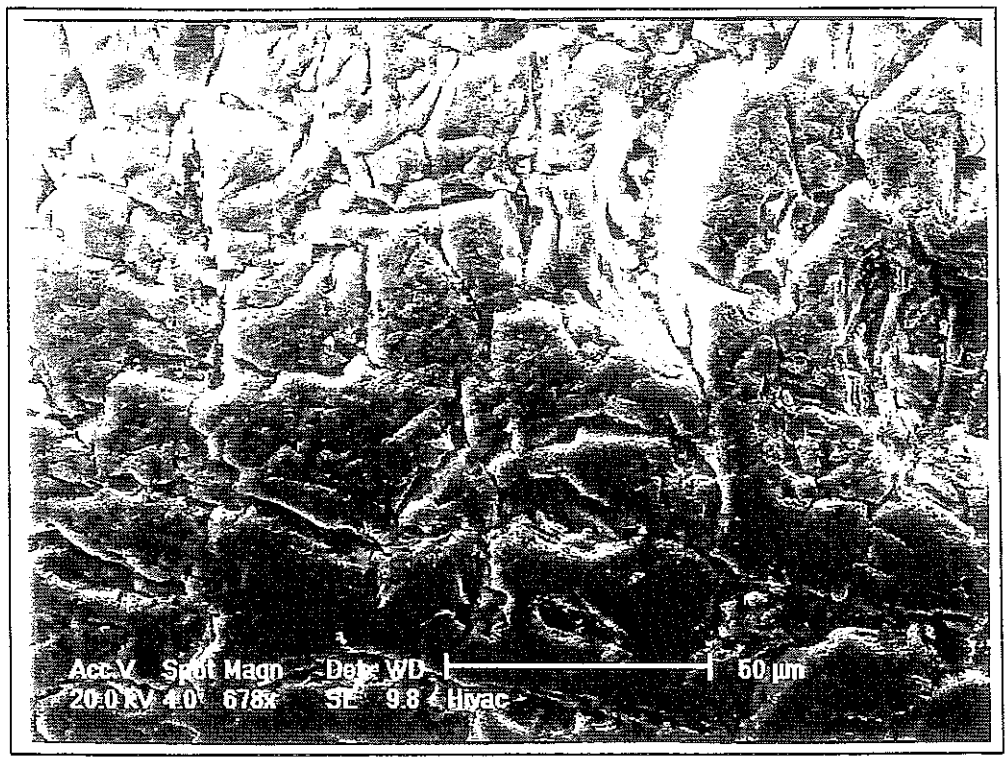


Figure 59 : Cliché MEB d'un quartz Rond Mat caractérisé par un réseau de dissolution marine anastomosé (paléolagune de l'anse Saint-Roch, datée vers 3000 ans avant J.-C , stade 2, cliché Prone).

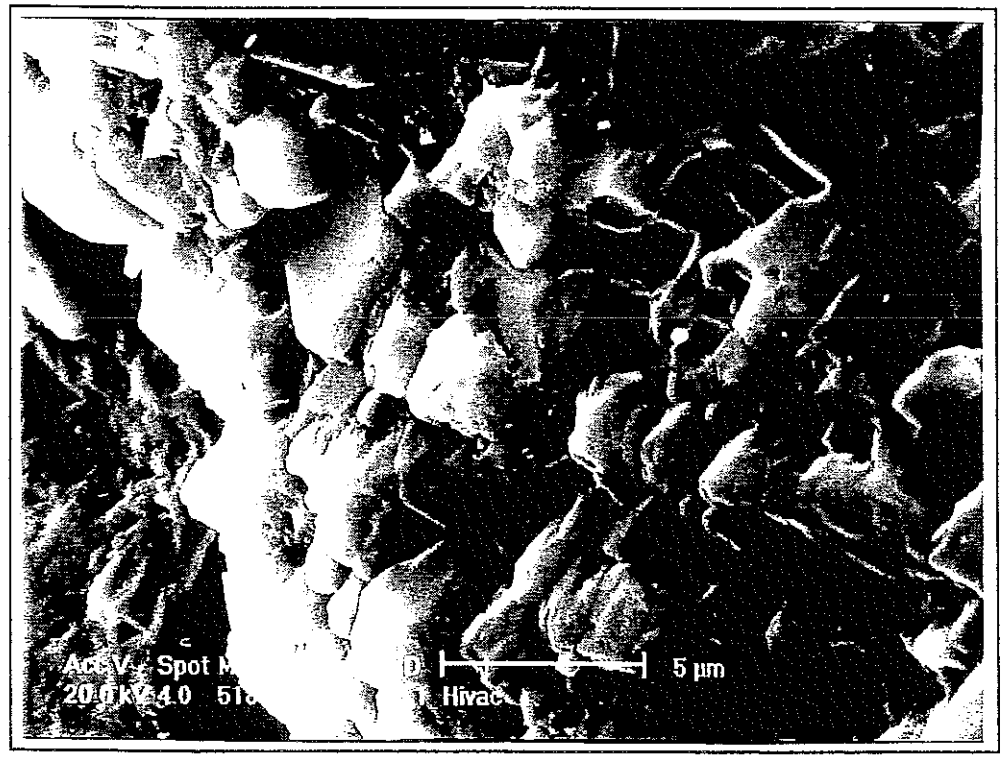


Figure 60 : Cliché MEB d'un quartz Rond présentant un faciès frais de néogenèse polie (paléolagune de l'anse Saint-Roch, datée vers 3000 ans avant J.-C., stade 3, cliché Prone).

objets de recherche considérés. On peut ainsi distinguer au moins quatre principales catégories de vitesse (Mörner, 1996 ; Laborel, 2000) :

- Vitesses de montée relative du niveau de la mer enregistrées par de nombreux marégraphes dans le monde depuis environ un siècle (Nakiboglu et Lambeck, 1991, par exemple) et se traduisant par le développement d'un placage à composante verticale au-dessus de la bioconstruction à *Lithophyllum*, de l'ordre de **1 mm/an**.

- Vitesses liées à des mouvements de type glacio-eustatiques de l'ordre de **10 mm/an** (soit 100 m en 10.000 ans), parfois caractérisées par des accélérations (*melt water pulse* des publications anglo-saxonnes, vers 14.000 BP, avec des vitesses de plus de 20 mm/an, Fairbanks, 1989 et Bard *et al.*, 1996).

- Vitesses liées à des mouvements bradysismiques de l'ordre de **1000 mm/an** (Morhange *et al.*, 1998a).

- Vitesses exceptionnelles co-sismiques ou sub-instantanées, de l'ordre de **1000 mm/h** (Pirazzoli 1986c ; Pirazzoli *et al*, 1996b pour l'Early Byzantine Tectonic Paroxysm de Méditerranée Orientale par exemple).

La sélection d'articles présentés dans la deuxième partie de ce dossier montre que notre objectif d'arriver à séparer ces différents types d'évènements, dans des conditions favorables, est partiellement atteint. Cette recherche paléobathymétrique peut devenir encore plus intéressante si elle est croisée, dans la mesure du possible, avec la mobilité spatiale des anciens traits de côte. La variation relative du niveau de la mer est cependant rarement le facteur explicatif déterminant de la mobilité de la ligne de rivage sauf dans de rares cas très particuliers comme à Pouzzoles lors des deux dernières crises bradysismiques de 1969-1971 et 1982-1984 où le soulèvement du sol d'environ 3,3 mètres a abouti rapidement à l'émersion totale d'un bassin portuaire sans apport sédimentaire (figure 61).

II. Impacts d'origine anthropique et modifications des lignes de rivage

II. 1. Rappels historiographiques

Depuis les travaux pionniers de Marsh (1864) qui insistait sur le rôle des sociétés comme facteur d'évolution géomorphologique, puis de Sherlock (1922 et 1931, analyse *in* Nir, 1983 et, pour les travaux plus anciens, dans Glacken, 2000), la géomorphologie a, parmi ses objectifs, celui de caractériser des formes, des dépôts et des processus contemporains de périodes historiquement définies. Elle s'attache à préciser quelle a pu être, dès l'origine, l'influence de l'implantation d'établissements humains sur le modelé et son évolution. Comme l'ont clairement montré les travaux de Pouquet (1951) ou de Neboit, (1983), l'érosion est naturelle et les sociétés pèsent surtout sur la dynamique érosive en l'accélérant. Les sociétés influent donc à la fois sur la morphogenèse comme facteur d'érosion et comme agent d'équipement des

lignes de rivage. On pourra trouver des références bibliographiques récentes dans les thèses de Fouache (1999) et Lespez (1999) pour les publications de langue française et dans Hooke (2000) et Messerli *et al.* (2000) pour les publications en anglais.

Le domaine méditerranéen a logiquement concentré ce type de recherches (Birot, 1984 ; Bousquet, 1999 ; Bousquet et Péchoux, 1980a et b ; Bousquet *et al.*, 1983 ; Brückner 1986 et 1990 ; Brückner et Hoffmann, 1992 ; Davidson 1971 et 1980 ; Jorda et Provansal, 1996 ; Lespez 1998 ; Neboit 1977, 1980 et 1984 ; van Andel et Zangger, 1990 ; van der Leeuw, 1995, Wagstaff, 1981... pour ne citer que quelques exemples). Les auteurs insistent, en fonction des situations, sur le rôle des facteurs anthropiques, climatiques, tectoniques, lithologiques et sur l'importance des évènements exceptionnels (Neboit-Guilhot, 1989, 1990 et 1991) comme les crises détritiques lors de la fondation des cités coloniales.

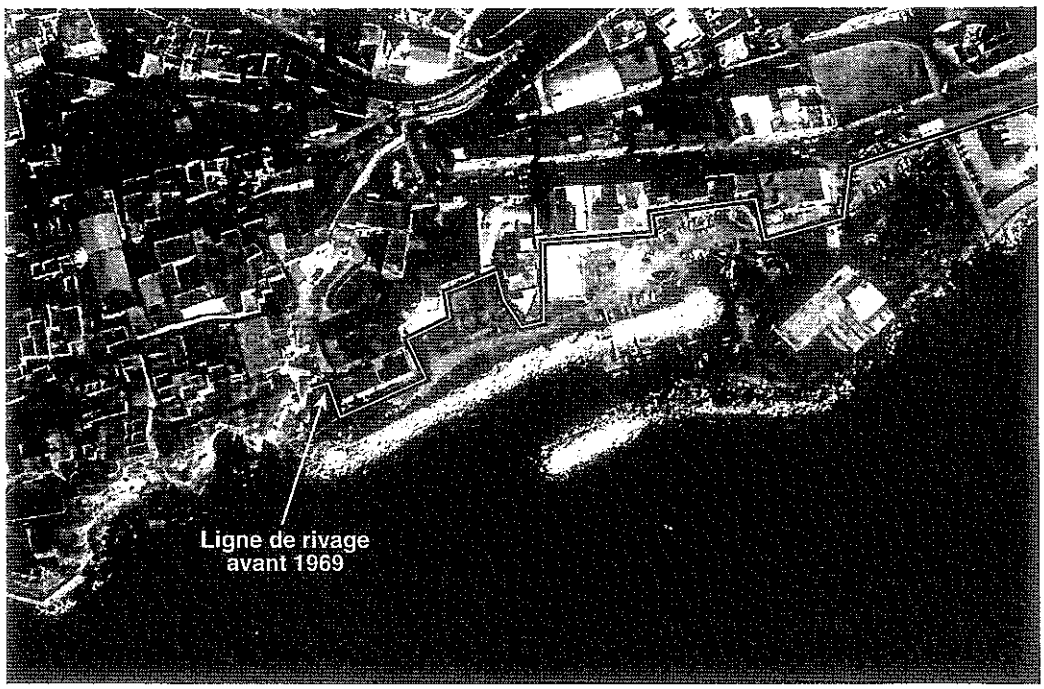
L'originalité de notre recherche est intrinsèquement liée à notre objet d'étude, un milieu portuaire dans un environnement urbain surchargé d'histoire, qui nous a incité à négliger l'analyse paléoclimatique. En effet, au cours d'une fouille archéologique d'un tel type de milieu, l'objectif consiste à établir, à partir de coupes ou de carottages, une stratigraphie dont la chronologie découle des datations isotopiques pour les périodes les plus lointaines ou se déduit, pour les époques les plus récentes, des mobiliers archéologiques, tessons ou monnaies. Le colmatage des bassins portuaires compte, parmi les principaux facteurs d'évolution, les sociétés humaines. Il ne s'agit pas de réduire celles-ci au seul rôle passif de marqueurs chronologiques intégrés à une évolution dont le déroulement conserverait le rythme des temps géologiques. Il ne s'agit pas non plus d'en faire les seules responsables d'une dégradation des milieux, dont la cause serait uniquement d'origine humaine (Bousquet et Péchoux, 1980b). Il s'agit plutôt de considérer les sociétés humaines comme un agent d'accélération des dynamiques et de dégradation des milieux marins (Neboit-Guilhot, 1999). Nous avons donc insisté sur le rôle décisif de l'anthropisation, depuis environ 6000 ans, dans la mobilité des paysages littoraux méditerranéens qui se prêtaient d'ailleurs particulièrement bien à cet objectif.

Dans un contexte de stabilisation du niveau marin depuis 6000 ans BP qui va permettre à d'autres facteurs naturels (isostasie, tectonique...) ou anthropique de s'exprimer, nous avons donc tenté de présenter une esquisse de typologie des impacts d'origine anthropique en milieu côtier et portuaire sur les littoraux méditerranéens depuis l'Age du Bronze (figure 72, p. 132). Les impacts d'origine anthropique sur les milieux de sédimentation ont été appréhendés par la mise en oeuvre de plusieurs indicateurs (texture granulométrique, vitesse d'accumulation, indicateurs palynologiques et macrofaunistiques...). Nous présenterons quatre thèmes plus ou moins bien développés dans le cadre des publications.

II. 2. Impact géomorphologique, progradation de la ligne de rivage

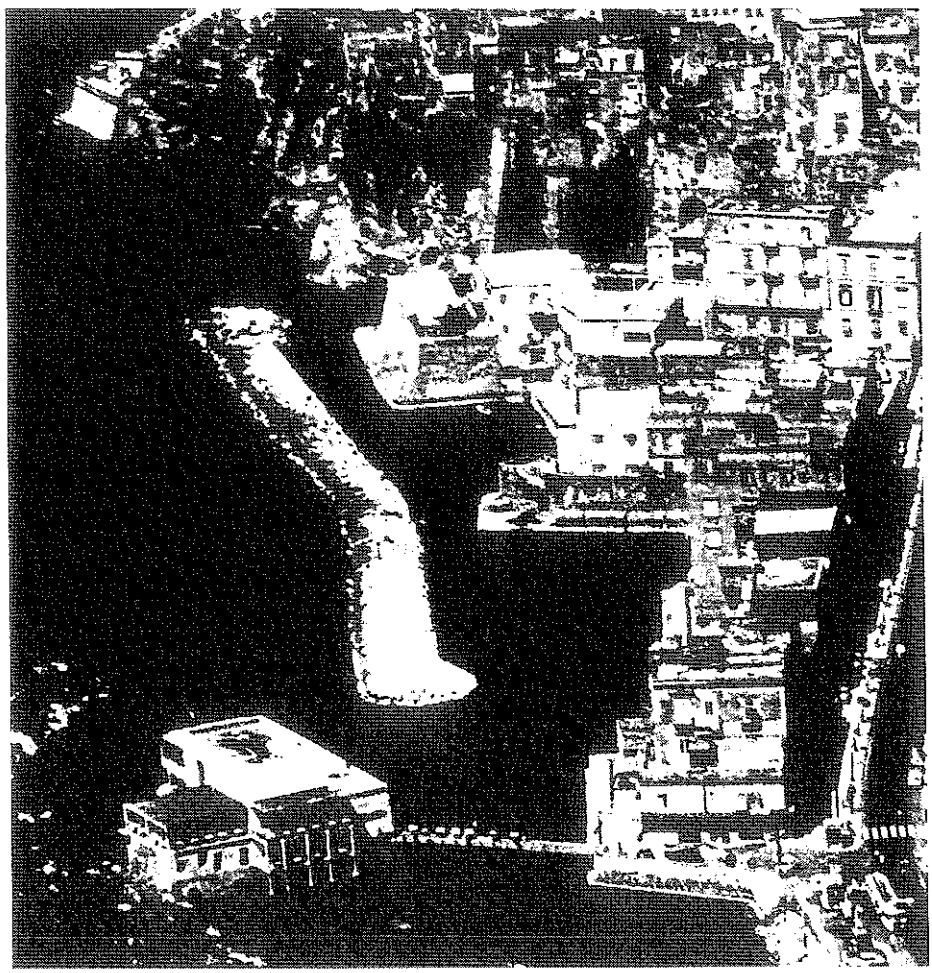
Vers la fin du XIX° siècle, John W. Powell a défini le concept de niveau de base général (*base level*) après sa mission de reconnaissance physiographique et

Figure 61 : Variations de la ligne de rivage à Pouzzoles depuis 1969, secteur de Rione Terra.



Cliché aimablement fourni par SpA Aeromapdata, Pozzuoli

Photographie aérienne verticale du centre ville de Pozzuoli.
Cliché pris en 1991 après les deux crises bradysismiques de 1969-1971 et de 1982-1984. Les bassins portuaires de Rione Terra sont exondés.
Des automobiles en stationnement ont remplacé les barques de pêche



Photographie aérienne oblique du centre ville de Pozzuoli
Cliché pris avant la crise bradysismique de 1969-1971.
Les bassins portuaires de Rione Terra sont en eau.
Des barques de pêche sont accostées aux quais.

hydrographique le long du Colorado. Il définit cette notion comme la limite théorique d'érosion, représentée par le niveau marin. Ce travail pionnier va permettre de progresser rapidement sur le thème des transgressions-régressions à l'origine de modifications de la ligne de rivage, (Tylor, 1868 ; Gulliver, 1899 ; Davis, 1902 ; Johnson, 1928 ; Bourcart, 1938 ; Curray, 1964 ; Inman, 1983...). Les chercheurs ont pris de plus en plus conscience que la réponse du système sédimentaire aux changements du niveau de base déterminait l'agencement des dépôts. On est donc passé du concept de niveau de base géomorphologique à celui de niveau de base stratigraphique.

L'étude du colmatage des bassins portuaires antiques montre que les facteurs qui peuvent déterminer les déplacements de rivage sont nombreux et procèdent de phénomènes d'origine climatique, eustatique, tecto-isostatique et historique. Nos recherches attirent surtout l'attention sur la nature des apports sédimentaires d'origine terrigène et des biodépositions. Nous avons aussi travaillé sur l'intensité des phénomènes marins de redistribution et de dispersion des matériaux.

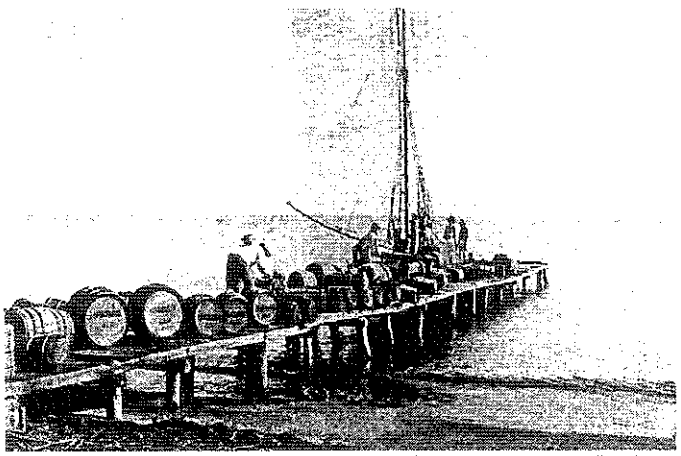
Cette recherche paléogéographique a pu être développée particulièrement à Marseille, Cumes, Kition-Bamboula et Sidon. Les résultats obtenus ont toujours été plus précis dans le cas de sondages archéologiques extensifs (comme à Marseille) que lors des campagnes de carottages. Il est de toute façon extrêmement difficile d'identifier des paléolignes de rivage dans un cadre urbain et portuaire du fait du nombre et de l'intensité des remaniements de toutes sortes.

II. 2. 1. Problèmes de détermination des lignes de rivage

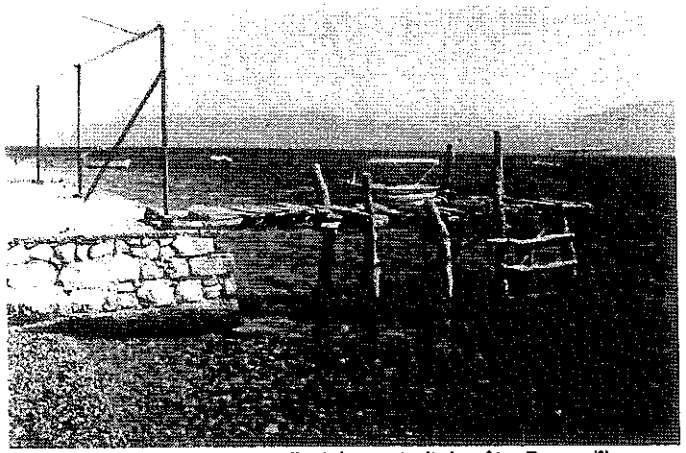
Jusqu'à ces dernières années, les publications d'archéologues traitant des rivages antiques simplifiaient souvent le problème posé par la mobilité latérale du plan d'eau au cours des siècles. Il y est généralement question d'un "trait de côte antique" sans que cette notion soit précisée dans le temps et dans l'espace. Nous avons pu apporter quelques précisions concernant les critères d'identification des traits de côte fossiles grâce au croisement de différentes méthodes d'étude. Par exemple, une des surprises des fouilles littorales marseillaises a été la variété des équipements côtiers, non seulement dans le temps, mais à la même époque. Par exemple, la rive nord du Vieux Port peut être une plage équipée ou non par un quai à parement en pierres, un quai en bois ou une zone de halage..., ces différentes structures fournissant des indications plus ou moins précises quant à leur position par rapport au trait de côte.

Les quais sont en majorité construits sur l'estran et entraînent une artificialisation de la plage émergée (figures 62 et 63). A Marseille, nous avons pu retrouver grâce à une étude des archives photographiques de la médiathèque de la Chambre de Commerce, le quai d'époque Moderne de la rive nord du Vieux Port (figure 64 et 65). A Toulon, les équipements d'époque romaine peuvent parfois être rudimentaires comme les remblais de pierres et de terre, maintenus vers l'aval par d'importants troncs de chêne au contact du plan d'eau (fouilles de la ZAC Besagne-

Figure 62 : Exemples d'appontements et de quais modernes comparables aux équipements antiques.

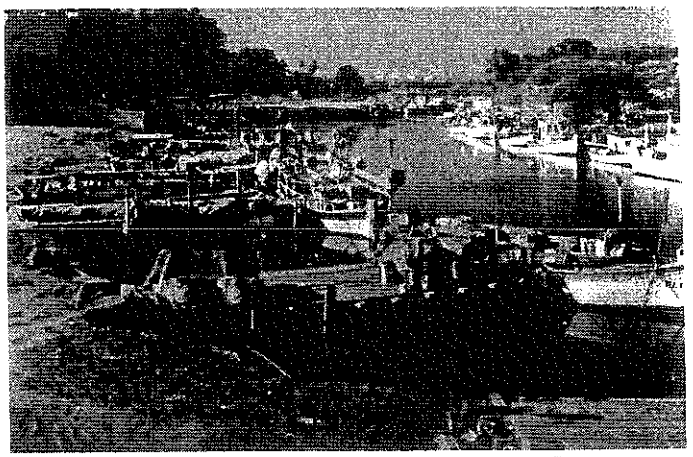


Appontement perpendiculaire au trait de côte pour permettre l'embar--quement des barriques de rhum à la Martinique
Carte postale ancienne

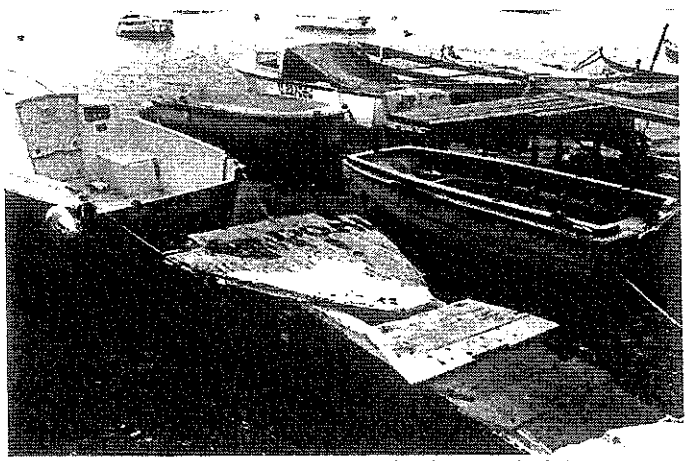


Quai et appontement perpendiculaire au trait de côte Presqu'île d'Eubée, Grèce.
Cliché C M 1994

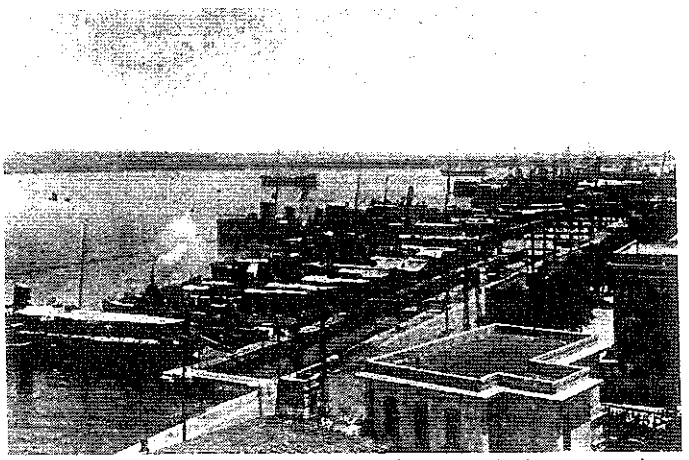
Quai en bois comparable aux équipements portuaires antiques Plage des Capucins, La Ciotat.
Carte postale ancienne vers 1870



Appontements perpendiculaires au trait de côte Port de Potamos en position estuarienne, côte sud-est de l'île de Chypre
Cliché C M. 1996

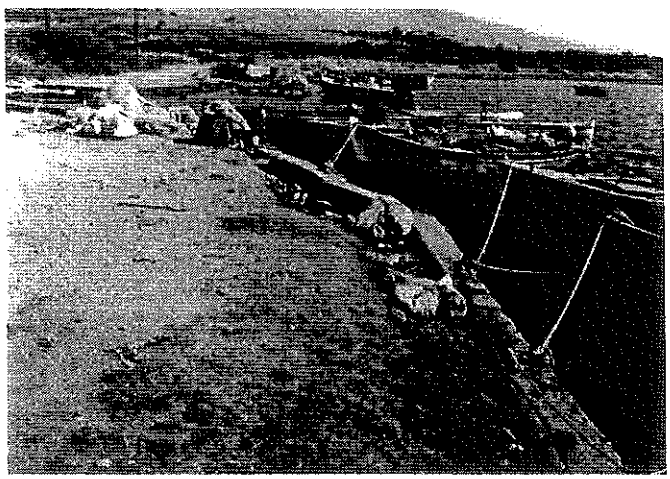


Appontements perpendiculaire au trait de côte constitué de morceaux d'épaves. Port de la lagune du Brusc
Cliché C M. 1993



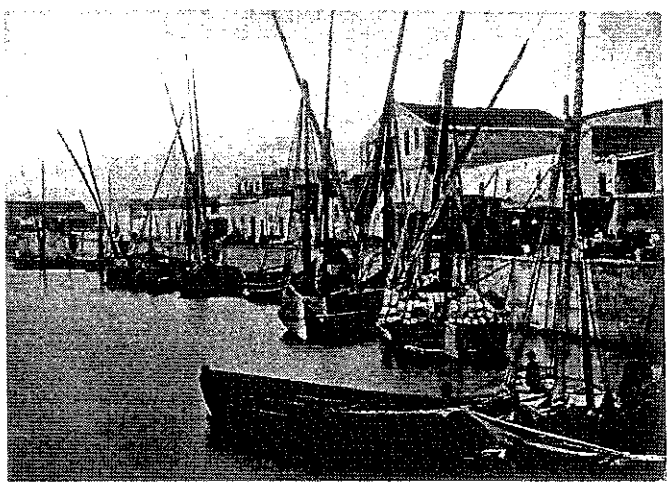
Quai et appontement en bois parallèles à la ligne de rivage, pour la grande navigation. Port de Tarente, Italie.
Carte postale ancienne

Figure 63 : Exemples de quais et de môle modernes comparables aux équipements antiques.



Quai aménagé par remblaiement sur la plage émergée et immergée, Grèce. *Cliché C.M., 1995*

Quai du vieux port de Toulon légèrement au-dessus du plan d'eau. *Carte postale ancienne*



Vue des quais du port fluvial d'Alexandrie, Egypte. *Carte postale ancienne*

Môle du port de Pouzzoles, quartier des Capucins Campanie, Italie *Carte postale ancienne*

Figure 64 : Photographies du quai d'époque Moderne, Ouest de la mairie de Marseille, clichés G. Rouard, 1950. Alignements constitués de bois jointifs, d'environ 4 mètres de hauteur, dont une des extrémités est épointée, pouvant correspondre à un quai d'époque moderne

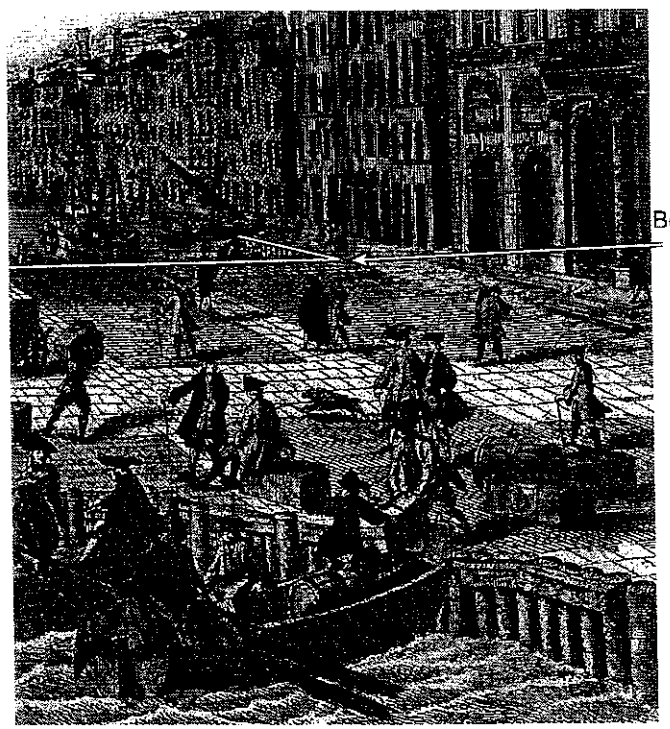
Cliché CCiMP n° PHO 3961

Cliché CCiMP n° PHO 3970

Cliché CCiMP n° PHO 3968

Figure 65 : Photographie du quai d'époque Moderne, Ouest de la mairie de Marseille, (cliché G. Rouard, 1950) et comparaison avec une vue du XVIII° siècle.

Cliché: G. Rouard, 1950. Chambre de Commerce de Marseille-Provence
CCiMP n° PHO 3965



Vue d'optique destinée à être projetée, gravée par LEIZELT,
d'après un tableau de VERNET (musée du vieux Marseille, in BERTRAND, 1998)

Dutasta, Pasqualini, 1987, et fouilles de l'îlot de l'Equerre, Borréani, 1998 ; figure 66).

Les cales de halage reposent sur une plage partiellement émergée et inclinée. Parfois des rouleaux de bois sont posés ou fixés sur la plage pour sortir les navires de l'eau (figure 67). Cependant, rien ne matérialise précisément le passage sous l'eau de la structure, car les madriers sont assez fréquemment remplacés. L'analyse des zones de halage actuelles encore en service dans diverses régions de Méditerranée et d'autres cales antiques montre que ces aménagements ne sont cependant pas construits profondément sous l'eau. Ils matérialisent assez bien la plage émergée et la zone du talus prélittoral si celui-ci est présent.

Les débouchés des caniveaux et des égouts déversent les ruissellements et les eaux usées dans la mer. Soigneusement construits, leurs exutoires permettent de situer grossièrement le trait de côte. Ils sont moins précis que les quais car ils peuvent déboucher entre la base de l'étage supralittoral et le sommet de l'étage infralittoral (Morhange, 1994).

L'estimation de la position des traits de côte fossiles reste donc relativement bonne, de l'ordre du mètre. Dans certains cas, une accumulation biologique (comme le maërl à Marseille) peut permettre de préciser ces résultats.

Nous avons surtout essayé de montrer que les rives des ports présentent un cas particulier d'évolution morphogénique d'un littoral, les aménagements urbains et portuaires infléchissant l'évolution détritique naturelle, en abaissant considérablement les seuils de compétence des courants par démultiplication de la ligne de rivage (notion de marina) et confinement du bassin. En effet, la courantologie est entravée par de multiples structures archéologiques qui encombrent le fond marin. L'action des courants marins est donc fortement diminuée. On passe ainsi d'un système côtier naturel à un piège artificiel.

II. 2. 2. De l'intérêt de l'application de la stratigraphie séquentielle dans l'étude des milieux de sédimentation portuaire

Lorsque nous avons rédigé notre thèse en 1993, nous avions encore une vision restreinte de l'analyse stratigraphique qui se limitait à définir, dans le temps et dans l'espace, une série de corps sédimentaires caractérisés par différents critères descriptifs (Boulin, 1977 ; Campy et Macaire, 1989). Nous ne portions qu'un faible intérêt aux discontinuités, aux surfaces limites et à l'interprétation dynamique des corps sédimentaires. Il s'agissait fondamentalement de différencier et classer des objets, la logique de succession des unités stratigraphiques permettant de préciser pour chacune d'entre elles le niveau maximum atteint par la mer.

C'est grâce à Georges Clauzon, un des premiers chercheurs à associer l'analyse des surfaces repères, sédimentaires en domaine marin et morphologiques en domaine continental (Clauzon 1979-80 et 1996), que nous avons réalisé tout l'intérêt que cette démarche pouvait apporter à notre objet d'étude. A la lecture des

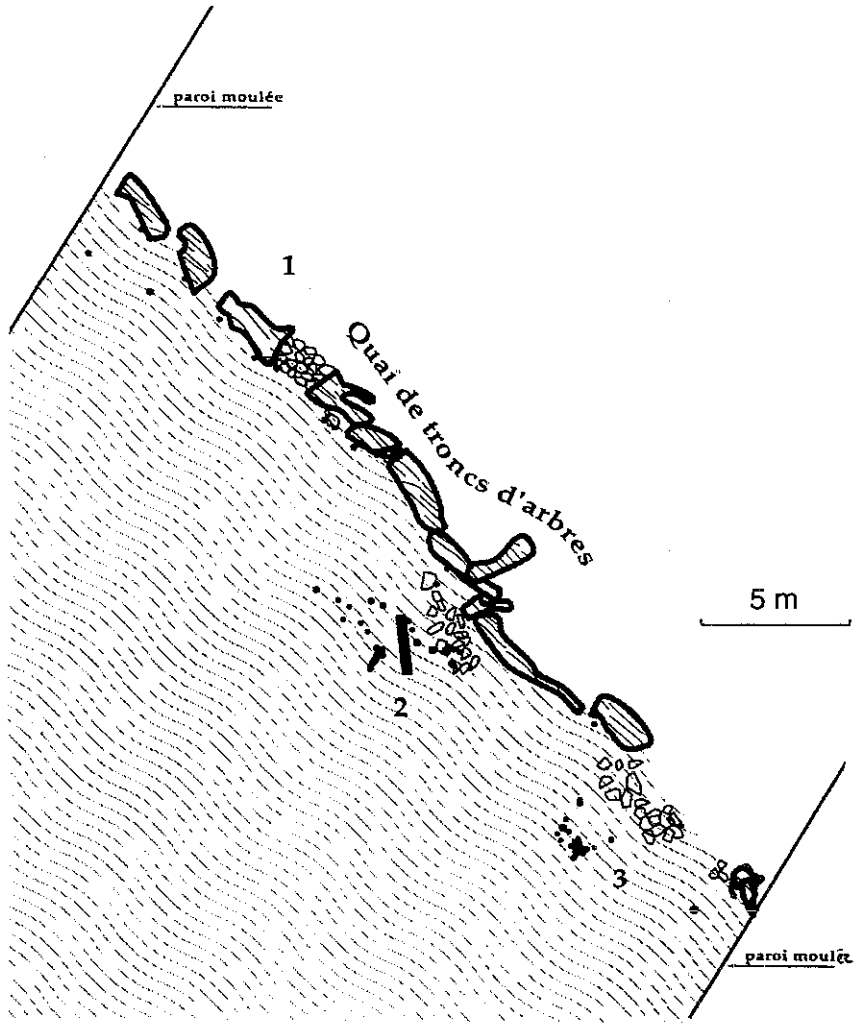
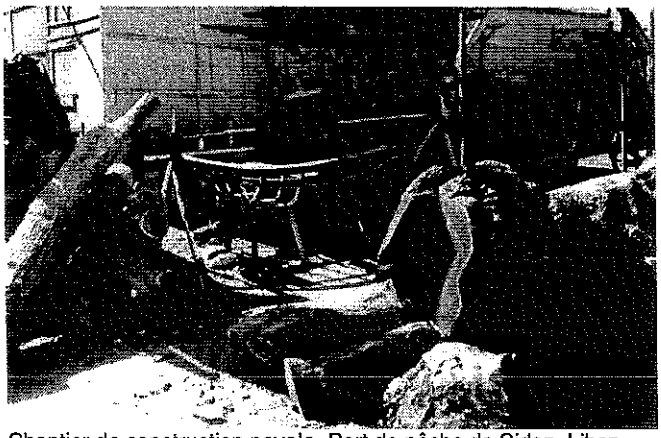
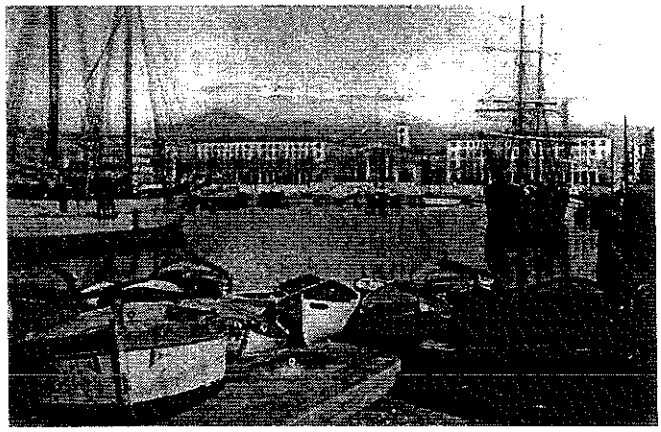


Figure 66 : Fouilles archéologiques de l'îlot de l'Equerre à Toulon. On distingue une ligne de rivage, datée du premier siècle après J.-C., constituée de troncs de chênes liège stabilisant le trait de côte. A l'amont des troncs, des remblais permettent d'aménager des surfaces de circulation plus au sec (Borréani, 1998).

Figure 67 : Exemples de paysages et d'équipements portuaires modernes comparables aux structures portuaires antiques.

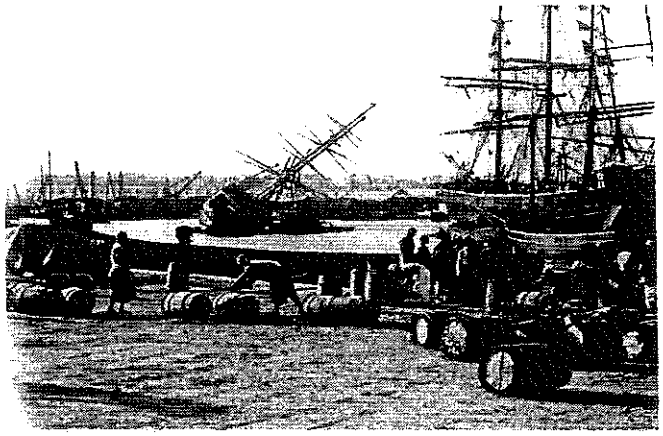


Chantier de construction navale. Port de pêche de Sidon, Liban.
Cliché C.M. 1997



Zone de halage et quai. Port Lympia, Nice
Carte postale ancienne

Port des pêcheurs d'éponges. Limassol, Chypre.
Carte postale ancienne collection S. Lazarides



Bassin de radoub du port d'Allexandrie. Egypte.
Carte postale ancienne

travaux des pionniers (Vail *et al.* 1991 par exemple) et des recherches récentes de collègues italiens sur le delta du Tibre (Bellotti *et al.*, 1994 et 1995 ; Milli, 1997), nous avons compris que cette démarche était applicable avec difficulté - du fait des différences spatio-temporelles entre les milieux étudiés - à l'analyse des bassins portuaires.

Cette approche permet en particulier de corréler les variations verticales du niveau de la mer à l'histoire du colmatage sédimentaire dans le cadre d'espaces d'accommodation modestes. La darse, la lagune ou le cothon représentent des volumes extrêmement réduits, partiellement déconnectés du large, mais en relation directe avec le niveau de base. Ces pièges vont donc pouvoir servir d'enregistreurs précis des modifications de la mobilité relative du niveau de la mer et du détritisme continental et marin.

Même si les sédiments de colmatage des ports antiques ne s'insèrent que dans la partie haute du modèle d'une séquence sédimentaire (*i. e.* prisme de bas niveau, intervalle transgressif, prisme de haut niveau), nous avons constaté un renversement des tendances stratigraphiques à partir d'environ 6000-5000 ans BP, période de ralentissement très important de la montée glacio-eustatique. Cette métamorphose se traduit par des dépôts de type *onlap* de rétrogradation, rapidement remplacés par des *toplap* progradants.

La notion de Surface Maximale d'Immersion est particulièrement éclairante (*maximum flooding surface* des auteurs anglo-saxons). Sur les côtes de Méditerranée occidentale, cette surface correspond grossièrement à la période du Bronze qui est aussi caractérisée par des impacts d'origine anthropique de plus en plus nombreux (comme à Marseille ou Cumes). A partir de cette période charnière, certains secteurs littoraux vont donc connaître une double métamorphose :

- stabilisation du niveau relatif de la mer et de ses impacts stratigraphiques corrélatifs.

- anthropisation de plus en plus importante avec ses conséquences au niveau de base (accumulation accélérée, pollutions diverses...).

A Marseille, par exemple, on constate que la date de la surface d'immersion maximale, qui correspond à la transgression maximale du plan d'eau vers 3700-3400 ans BP, coïncide avec l'apparition massive des dépotoirs coquilliers et l'arrêt de la bioaccumulation à maërl (Morhange *et al.*, 1996b ; Morhange *et al.*, soumis ; figure 68).

Le colmatage des bassins portuaires diffère donc de la régularisation naturelle des littoraux de plusieurs façons :

- La vitesse de colmatage est plus rapide pour deux raisons. Le bilan détritique est très positif, en relation avec l'histoire de l'occupation urbaine et agricole des sols des bassins versants à l'amont. A cette échelle spatiale, le forçage détritique induit par l'anthropisation est déterminant. De plus, la course des sédiments est interrompue au niveau de base et les dépôts sont piégés au cœur du

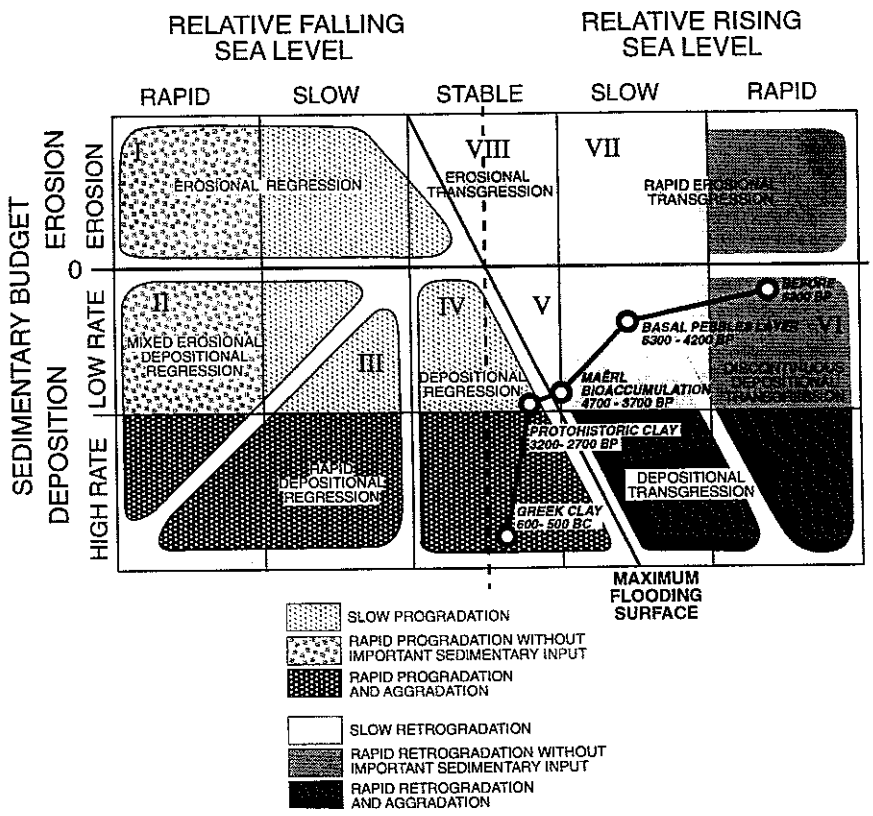


Figure 68 : Diagramme de Curray (1964), Marseille.

bassin, évitant le phénomène de dilution des plus petites particules en direction des fonds océaniques.

- Le faciès est surtout composé de limons du fait de la baisse de compétence des milieux à mettre en relation avec le confinement artificiel de l'espace portuaire. On peut donc décrire une aberration faciologique des *toplaps* de colmatage des bassins. Ceux-ci apparaissent en effet caractérisés par des textures particulièrement fines, en contradiction avec la grossière granularité de la majorité des *toplaps* au niveau de base des systèmes sédimentaires côtiers naturels.

Cette relecture "séquentielle" de l'agencement des faciès nous a permis de progresser dans la compréhension des dynamiques de colmatage des bassins et de pondérer le rôle de la mobilité du niveau de base qui détermine l'architecture des dépôts dans un premier temps (avant 6000 ans BP), puis s'efface devant l'intensité et la diversité des impacts d'origine anthropique. A partir de cette période, il n'y a plus de relation linéaire directe entre mobilité verticale du niveau de la mer et variation latérale du trait de côte. Le rapport de force entre la vitesse de montée relative du niveau de la mer et la vitesse de sédimentation et d'artificialisation des rives, sous l'effet conjugué de facteurs anthropiques et climatiques, s'est inversé en faveur de ces derniers, sauf cas exceptionnel comme à Pouzzoles ou dans certains secteurs de Méditerranée orientale, particulièrement "chahutés" par la néotectonique (comme le port de Phalasarna soulevé à plus de 6,5 mètres en Crète occidentale, Pirazzoli *et al.*, 1992 ; Hadjidaki, 1996 ; Dominey-Howes *et al.*, 1998). Dans le cas des secteurs réputés "stables" de Méditerranée occidentale, les facteurs géologiques (tectonique, isostasie) et océanographiques (eustasie) apparaissent donc souvent comme secondaires par rapport aux impacts des différentes formes d'anthropisation, à l'origine de budgets sédimentaires très positifs. L'évolution du trait de côte reflète donc principalement l'histoire de la mise en valeur humaine d'un abri côtier, le rôle de l'affectation des sols et la distance par rapport au centre-ville jouant un rôle déterminant dans la fourniture, le transport et le piégeage des sédiments.

II. 3. Exemples d'impacts granulométriques

Nous avons déjà un peu abordé ce thème qui est lié à l'équipement des ports dans un souci de protection des agents météo-marins (houle, vagues, vent...). Quand les sites portuaires ne sont pas naturellement protégés ou directement localisés dans des milieux confinés (lagunes de Corinthe-Lechaion, Kition-Bamboula ou de Carthage, cothons phéniciens, fonds de calanques abrités...), on assiste à une amélioration artificielle de l'abri côtier qui a des impacts directs et immédiats sur les milieux de sédimentation.

Les historiens ont longtemps insisté sur le fait que les Grecs avaient souvent deux ports "naturels" par cité qui permettaient une protection optimale en fonction du secteur exposé au vent (Lehmann-hartleben, 1923, exemples d'Ischia, Mythilène, Alexandrie...). Comme le rappellent Etienne *et al.* (2000), le cas, particulièrement célèbre, du môle enveloppant de Pythagorion (Samos) est rare. Il a en effet longtemps suffi d'un bon abri et d'une plage pour tirer les bateaux de l'eau.

C'est surtout à partir de la fin du III° siècle avant J.-C., que l'on assiste au développement de ports "artificiels" caractérisés par des digues de protection, grâce à la révolution technologique du béton hydraulique (Oleson, 1988 ; Felici, 1993 ; Brandon, 1996 ; Blackman, 1996 ; Felici et Balderi, 1997). Cette innovation va permettre la création de ports artificiels à môles enveloppants du type Césarée de Palestine, Amathonthe de Chypre, Cosa ou Anzio.

Les conséquences de la protection des ports vont être la baisse de compétence des courants marins et l'envasement accéléré des bassins par des faciès vaseux (figure 55). Les sédiments portuaires sont en effet particulièrement fins. Cette caractéristique granulométrique reflète l'intensité de la turbidité, qui peut d'ailleurs entraîner la remontée d'espèces malacologiques circalittorales dans un milieu très peu éclairé (Morhange, 1994). Par rapport aux textures et aux granulométries habituelles des plages des milieux ouverts, les dépôts portuaires sont donc à la fois plus fins et aussi plus grossiers. En effet, le bassin portuaire, le plus souvent à l'aval d'un espace urbain, va concentrer et piéger tous les sédiments issus des surfaces artificielles de ruissellement (rues, cours...) et les écoulements issus des égouts et des réseaux de drainage des eaux usées et pluviales. Cette sédimentation en vrac transforme les fonds marins portuaires en véritables dépotoirs.

Par exemple, à Marseille, avant 600 av. J.-C., les rivages sont définis par la biocénose des sables fins de haut niveau. A partir de la date de fondation, on passe brutalement à des vases hétérogènes marquées par un double enrichissement en limons et en ballast. Tous les ports "fermés" en cours d'étude présentent le même faciès. A Caesarea Maritima, le port intérieur est caractérisé par des vases organiques et une microfaune en place de foraminifères adaptés à des conditions lagunaires euryhalines (Reinhardt et Raban, 1999). Le problème majeur de gestion des bassins antiques va donc être l'envasement et le colmatage accéléré des darses. Dans le cas de ports en position deltaïque, comme Ephèse ou Milet, sur les côtes actuelles de Turquie, ce problème se double d'un isolement du domaine marin par les apports détritiques des fleuves.

Un faciès portuaire peut donc être mis en évidence par trois caractéristiques :

- une granulométrie définie par une surreprésentation des limons qui traduisent un milieu protégé.

- des assemblages malacologiques et microfaunistiques de type lagunaire.

- une composition minéralogique comprenant souvent la présence de cristaux de gypse tabulaires et maclés, caractéristiques d'un confinement marqué.

En retour, cette diagnose peut permettre de progresser dans l'identification de la paléogéographie des bassins portuaires dans le cas où des fouilles archéologiques sont trop coûteuses ou difficiles à organiser. Par exemple, à Saida ou à Tyr, au Liban Sud, nous avons pu délimiter et commencer à dater les bassins portuaires de l'Age du Bronze (Morhange *et al*., 2000b). La technique du carottage permet alors assez rapidement, et à moindre coût, d'obtenir de nouvelles données sur des sites

longtemps stérilisés par l'absence de toute recherche archéologique du fait des conflits régionaux.

Le problème de l'identification sédimentologique des lignes de rivage est particulièrement ardu, surtout quand il s'agit d'une campagne de carottages. Par exemple, à Sidon, nous avons buté lors du carottage BH VII sur des niveaux résistants difficiles à interpréter (Morhange *et al.*, 2000b). S'agissait-il de structures archéologiques que nous avions perforées ? d'amas de remblais ? De plus, l'étage médiolittoral, défini comme la zone du déferlement des vagues sur l'estran, est caractérisé par trois processus qui brouillent l'interprétation du mode plus ou moins calme du milieu :

- l'absence de processus de décantation et donc de dépôts corrélatifs de type vaseux.
- le remaniement et le mélange permanent des sédiments marins et terrestres.
- le dépôt de multiples déchets et leur accumulation au niveau de base sous la forme de laisses.

Nous recommandons donc de privilégier la technique des carottages au cœur des bassins et d'essayer de faire exécuter des sondages en extension à proximité des paléotraits de côte.

II. 4. Exemples d'impact sur la vitesse du détritisme

Ce type de travaux est souvent abordé dans les recherches sur les milieux actuels (bibliographie et nombreux exemples de morphogenèse accélérée *in* Miossec, 1998) ; en revanche les données sont beaucoup plus rares et imprécises pour les paléoenvironnements côtiers. Les bassins portuaires, véritables pièges à sédiments, offrent la possibilité de pouvoir tenter une quantification des volumes et des vitesses de dépôt des particules sur une durée de plusieurs millénaires, dans le cadre de fouilles en extension par décapage des surfaces.

A Marseille, nous avons pu, dans un premier temps, travailler en deux dimensions en relevant les coupes les plus intéressantes de la fouille archéologique de la place Jules Verne (Morhange, 1994 ; Morhange *et al.*, 1996b). Nous avons donc obtenu une première estimation des vitesses de sédimentation (entre 13-14 mm/an entre 600 et 450 ans avant J.-C.) et définir une crise détritique, mise en relation avec la fondation de Marseille et caractérisée par plusieurs critères (faciès à texture limoneuse, épaisseur des dépôts, transformations écologiques).

Dans le cadre du chantier Villeneuve Bargemon, nous avons appliqué une méthodologie de modélisation numérique de terrain que nous rappelons brièvement (Cambray, 1997). Les données planimétriques étaient acquises grâce à l'utilisation d'un tachéomètre (Leica TC 600) sur les surfaces repères puis transférées sur ordinateur. Ce théodolithe permettait de mesurer en trois dimensions les différents points de visée d'une surface. Les données ainsi acquises étaient enregistrées et

traitées grâce à deux logiciels, Autosurf, pour le traitement des données, et Autocad pour la mise en forme des données. Nous avons donc pu obtenir des mesures de vitesse d'accumulation plus fiables et plus précises.

Ainsi, l'estimation de la vitesse d'accumulation des vases d'époque grecque est passée de 13 mm à 14 mm par an entre 600 et 450 ans avant J.-C. (Morhange, 1994 ; Morhange *et al.*, 1996b) à environ 22 mm par an pour la même période (Cambray, 1997 ; Laverdure et Schmitt, 1997 ; Morhange *et al.*, soumis). Ces progrès dans la mesure ont été permis à la fois par une utilisation d'outils plus performants mais aussi par une meilleure connaissance de la chrono-stratigraphie, en particulier la mise en évidence d'une couche de limons protohistoriques datés entre 3255 +/- 50 ans BP à la base et 2680 +/- 40 ans BP au sommet (Morhange *et al.*, soumis).

La date de 600 ans avant J.-C. correspond donc au démarrage d'une crise détritique sans précédent, liée à la fondation de la cité. On passe de vitesses d'accumulation de l'ordre de 0,5 mm/an pendant l'Age du Bronze Final à une vitesse de l'ordre de 20 mm/an durant les V° et IV° siècles avant J.-C. La vitesse d'accumulation est donc multipliée par 40 à l'aval de la cité grecque alors qu'en dehors des murs, sur le site de la place du général de Gaulle, elle est seulement multipliée par 10. Cette érosion "urbaine" accélérée traduit un bouleversement des versants liés à la fondation d'une ville nouvelle, mais peut aussi correspondre à l'érosion d'habitat en adobe (Brochier, 1994) et au rôle de l'aménagement et de la préparation des terrains en relation avec la croissance urbaine. Les impacts sur les milieux de sédimentation sont de deux types : on assiste à une aggradation importante des fonds marins et à la progradation rapide de la ligne de rivage (Morhange *et al.*, soumis).

Par comparaison, ce type de démarche est beaucoup plus difficile à entreprendre dans le cadre de campagnes de carottages (à Bamboula, Sidon ou Cumes...). En effet, l'estimation des volumes accumulés est beaucoup moins fiable et précise quand on ne dispose que de rares points de comparaison. De plus, de multiples interrogations subsistent concernant l'éventualité de travaux de curage et de dragage qu'il est déjà extrêmement compliqué de démêler lors de sondages archéologiques en extension. En effet, les dragages au moyen de navire de servitude permettaient de curer les bassins. Les fouilles de la place Jules Verne ont permis de dégager trois épaves abandonnées au Ier et au II° siècles après J.-C. Ces navires se caractérisent par la présence d'un puits central rectangulaire, ouvert sur la mer. Ce puits est la base d'un caisson montant vraisemblablement jusqu'au niveau du pont du navire (Pomey, 1995). Pomey définit ces navires comme des bateaux-dragues et restitue un système de drague à godets selon le principe des machines hydrauliques romaines. Cette technique peut aboutir à la resédimentation rapide et quasiment *in situ* des dépôts et des objets (dont les utiles céramiques...). A la différence des maries-salopes modernes, qui sont des chalands à fond mobile destinés à transporter et à évacuer en haute mer les sédiments et les produits dragués, ce type d'intervention sur les fonds peut aboutir à des inversions stratigraphiques et des mélanges de tessons de différentes époques. On comprendra aisément combien il est difficile d'étudier cet impact en sondages et encore plus illusoire en carottages.

A notre connaissance, l'application 3D que nous avons pu mener place Villeneuve Bargemon (Cambray, 1997), assez commune en domaine continental, est beaucoup plus rare au sein de fouilles littorales. Par exemple, la plupart des interventions sédimentologiques récentes dans le cadre de ports antiques sont encore extrêmement spécialisées, comme la mise en évidence de dépôts de tsunamis à Phalasarna (Dominey-Howes *et al.*, 1998), la recherche d'une ville disparue comme Helike (Soter et Katsonopoulou, 1998), l'étude pluridisciplinaire haute résolution de secteurs spatialement très limités comme à Caesarea Maritima (Raban et Holum, 1996 ; Holum *et al.*, 1999). Par comparaison, nous avons bénéficié de fouilles préventives très étendues à Marseille, ce qui a favorisé cette approche spatiale.

II. 5. Exemples d'impacts biologiques

Ce type d'objet de recherche est à la fois au cœur de notre projet mais aussi en marge de notre discipline et de nos compétences. Nous souhaitons évoquer deux travaux en cours de collaboration avec des biologistes marins sur le site du Vieux Port de Marseille, qui ont bien complété l'approche sédimentologique.

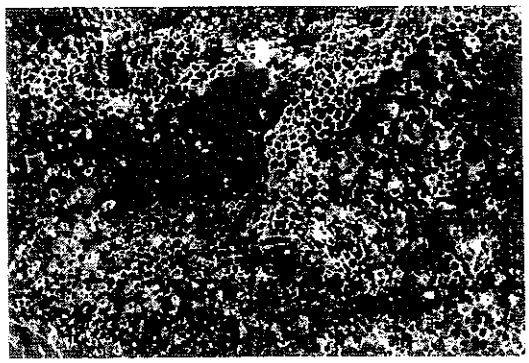
II. 5. 1. L'arrêt brutal de la bioaccumulation de maërl

Comme nous l'avions déjà montré dans notre thèse, l'arrêt de la bioaccumulation à maërl correspond à une crise biologique d'origine anthropique vers 3700 ans BP. En effet, l'arrêt de la bioaccumulation de thalles de *Mesophyllum lichenoides* par dépôt d'huîtres et envasement s'est fait particulièrement rapidement. Nous avons pu le prouver par l'étude exoscopique des thalles de maërl. Cette recherche a été menée en collaboration avec V. Chazottes (Laboratoire de Géologie de l'Université de Provence).

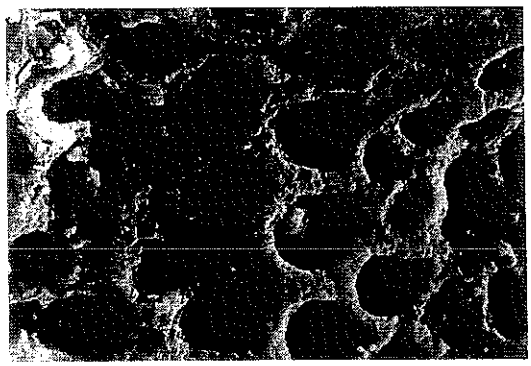
Nous avons montré que les thalles n'ont pas été affectés par des microperforants. On observe de rares galeries tangentielles par rapport à l'organisation cellulaire (figure 69). Leurs surfaces présentent le dessin régulier des cellules sans montrer de perforations endolithes. Les thalles ont donc été rapidement recouverts par un voile de sédiments. Ces observations montrent la rapidité de l'impact et permettent de le qualifier de crise.

Par comparaison avec les milieux actuels, nous avons pu étudier les thalles calcaires de *Mesophyllum lichenoides* du site de la calanque de Port Miou (Cassis, figure 70). La bioaccumulation est scellée par une couche de vase putride dont le dépôt a commencé avec l'aménagement du fond de la calanque en port de plaisance dans les années cinquante. On ne distingue pas non plus de microperforations biologiques. Ces constatations sont un indice de rapidité des changements écologiques qui ont affecté le Vieux Port de Marseille à l'Age du Bronze et la calanque de Cassis à l'époque contemporaine.

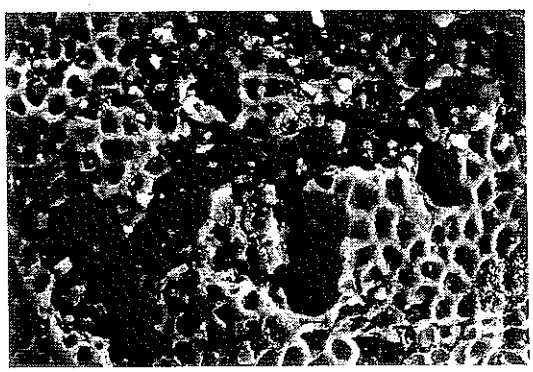
Figure 69 : Aspects des thalles de maërl, chantiers César et Villeneuve Bargemon (Marseille).



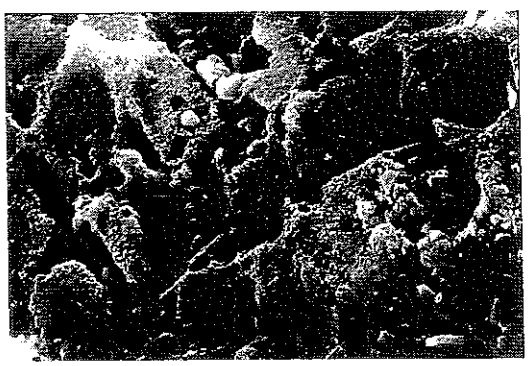
Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle, on distingue nettement l'organisation cellulaire
Grossissement x240
Cliché V. Chazottes



Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle, on distingue nettement l'organisation cellulaire
Grossissement x2000
Cliché V. Chazottes

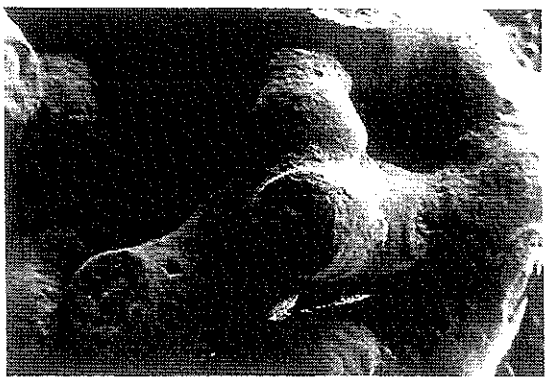


Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle
L'organisation cellulaire est perturbée par des galeries tangentielles liées à la bioérosion
Grossissement x600
Cliché V Chazottes

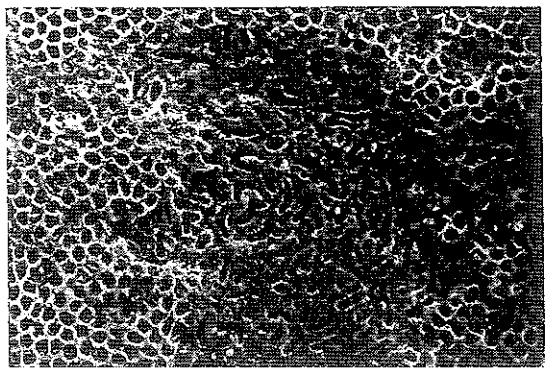


Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle
L'organisation cellulaire est perturbée par des galeries tangentielles liées à la bioérosion
Les parois des cellules sont érodées et la surface du thalle est déchiquetée par des microperforations
Grossissement x3000
Cliché V Chazottes

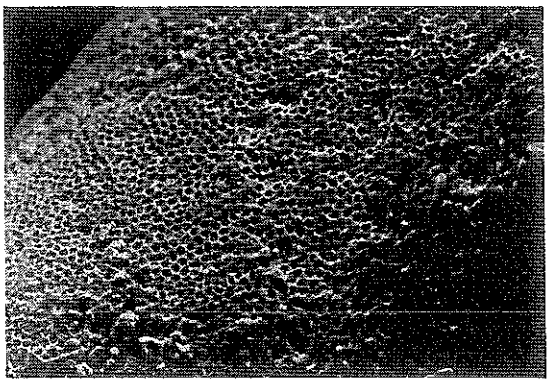
Figure 70 : Aspects des thalles de maërl, calanque de Port Miou (Cassis).



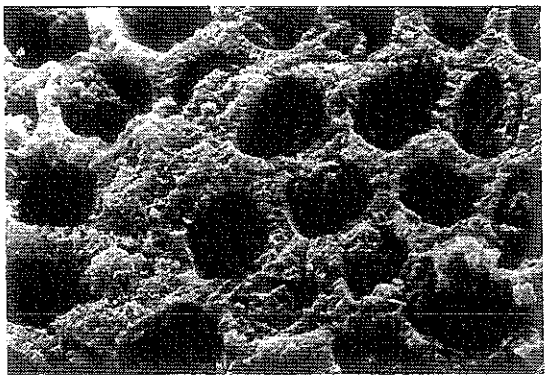
Cliché microscope électronique à balayage
Vue générale
Surface d'un thalle vivant de
Mésophyllum coralloïdes
Grossissement x20
Cliché V. Chazottes



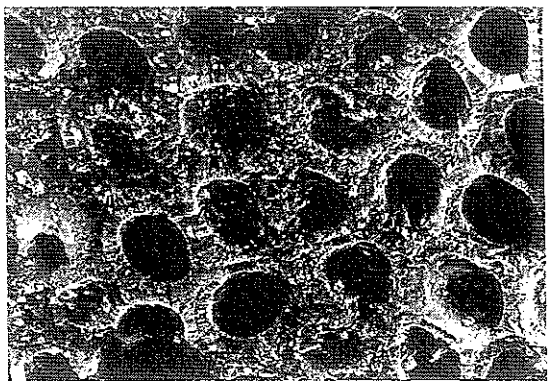
Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle vivant de
Mésophyllum coralloïdes
On distingue l'organisation cellulaire et
des traces d'usure mécanique
Grossissement x300
Cliché V. Chazottes



Cliché microscope électronique à balayage
Vue générale
Surface d'un thalle vivant de
Mésophyllum coralloïdes
On distingue l'organisation cellulaire
Grossissement x200
Cliché V. Chazottes



Cliché microscope électronique à balayage
Vue de détail
Surface d'un thalle vivant de
Mésophyllum coralloïdes
On distingue l'organisation cellulaire
Grossissement x2000
Cliché V. Chazottes



Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle mort de
Mésophyllum coralloïdes
recristallisations secondaires
On distingue l'organisation cellulaire
Pas de microperforations biologiques
Grossissement x1800
Cliché V Chazottes

Cliché microscope électronique à balayage
Surface d'un thalle mort de
Mésophyllum coralloïdes
recristallisations secondaires
On distingue l'organisation cellulaire
Peu de microperforations biologiques
Grossissement x2400
Cliché V Chazottes

Dans un deuxième temps, nous avons essayé d'expliquer l'arrêt de la bioaccumulation à maërl par deux facteurs principaux (Morhange *et al.*, soumis).

- la multiplication des défrichements, bien marquée par la baisse des pollens arboréens (Morhange *et al.*, soumis) qui se traduit par un début d'envasement du Vieux Port, la vase empêchant toute photosynthèse.

- le remaniement d'un dépôt coquillier constitué de valves d'huîtres (*Ostrea edulis lamellosa*) qui ont été consommées par des populations de l'Age du Bronze et étalées à proximité de la côte. Ces coquilles vont sceller la couche de thalles et empêcher, par enfouissement de ceux-ci, tout développement ultérieur de la bioaccumulation.

Nous n'avons pas eu la possibilité d'appliquer ce type d'approche sur un autre site portuaire du fait de la singularité du cas marseillais. En revanche, l'étude du contenu malacologique et microfaunistique des sédiments pour les différents sites étudiés permet de préciser les impacts d'origine anthropique sur les biocénoses littorales.

II. 5. 2. Contenu malacologique des sédiments

Les premiers travaux de Mars (1947), Granier (1969), d'Arnaud et Leung Tack (1971) sur le comblement du port antique, puis du bassin romain de La Bourse ont montré une diversité spécifique assez faible en malacofaune marine durant l'Antiquité. Par exemple, Mars détermine 34 espèces de mollusques marins dans les sédiments antiques des fouilles de la place Vivaux et de la rue de l'Araignée. Granier identifie 40 mollusques marins sur le site de la Bourse pour la période du Bas-Empire. Quand à Arnaud et Leung Tack Kit, ils dénombrent 46 espèces à l'époque romaine.

De nos jours, le Vieux Port est caractérisé par la présence de 64 espèces vivantes de mollusques (Leung Tack, 1971-72 ; Arnaud et Leung Tack, 1971). Par rapport à la période antique, on constate plusieurs évolutions :

- une diminution du nombre d'espèces adaptées aux sables vaseux de mode calme et aux vases terrigènes côtières. La réduction qualitative et quantitative de ce stock traduit les changements du milieu, en particulier l'envasement et le durcissement de la ligne de rivage.

- le deuxième stock des espèces des milieux portuaires indicatrices de pollution est en nette progression, de 3 à 8 espèces, confirmant le développement de la pollution dans le Vieux Port. Avec Michel Bourcier (Station Marine d'Endoume), nous avons pu préciser l'adaptation des faunes à un enrichissement en matières organiques, avec des espèces bio-indicatrices de pollution comme *Corbula gibba, Parvicardium exiguum*... et des espèces vasicoles strictes comme *Diplodonta rotundata, Haminea hydatis, Retusa truncatula*... Nous n'avons d'ailleurs pas noté

de différences importantes entre les fonds d'époque grecque et ceux d'époque romaine.

- la prolifération de quelques espèces résistantes comme des espèces sciaphiles, circalittorales et même la présence de certaines espèces cavernicoles exigeant une atténuation marquée de la lumière (Leung Tack, 1971-72).

- le développement d'espèces de substrats durs, en relation avec l'artificialisation croissante des lignes de rivage depuis 2600 ans.

Un travail en cours, avec Michel Bourcier, tente de mieux préciser la composition malacologique des fonds marins en fonction de la chrono-stratigraphie depuis 6500 ans environ (figure 71 ; Bourcier 1980 et 1982). On peut d'ores et déjà indiquer quelques évolutions très nettes. Avant 3700 ans BP et l'arrêt de la bioaccumulation à maërl, on observe que les assemblages malacologiques sont près de deux fois plus riches qu'après cette date (63 et 60 espèces pour les deux niveaux antérieurs à cette date, contre 23 et 37 espèces après). On note en particulier le déclin des espèces inféodées aux herbiers de posidonies et aux algues photophiles ainsi que le recul des espèces des eaux lagunaires. On assiste aussi à la disparition des espèces sensibles à la pollution qui sont remplacées par des espèces vasicoles et surtout par des espèces vivant sur les quais.

De multiples autres questions auraient pu être soulevées comme les problèmes de remaniements et d'apports de faune liés aux activités de pêche dès la Protohistoire. Nous n'avons pas voulu étudier ces questions, principalement faute de temps et d'interlocuteur intéressé.

Conclusion

Une nouvelle étape s'offre à notre recherche. Après la discrimination analytique des impacts de l'anthropisation et leur caractérisation géormorphologique, stratigraphique, granulométrique ou biologique.... (figure 72), on peut tenter de classer et de hiérarchiser les impacts d'origine anthropique non seulement en fonction de leurs conséquences sur les milieux mais aussi en fonction de leur intensité. Nous pouvons ainsi faire trois remarques conclusives :

- Les premiers impacts "indirects" semblent relativement faciles à identifier, par exemple à partir des résultats des études palynologiques qui traduisent les défrichements. En revanche, il devient plus hasardeux de mettre en relation ces phénomènes, jouant à l'échelle micro-régionale, avec des amorces d'accélération du détritisme à la côte (accumulation ménagée). Il peut s'agir de la diffusion des manifestations rapides de la morphogenèse, naguère confinées dans certains sites (Neboit-Guilhot, 1999).

- Les premiers impacts directs d'aménagement des bassins sont très caractéristiques et plus ponctuels, surtout s'ils sont liés à une fondation urbaine. Comme nous l'avons montré, nous avons pu mettre en évidence un faciès portuaire

Figure 71 : Malacofaune des sédiments étudiés lors des fouilles Jules Verne et Villeneuve Bargemon.

	A	B	C	D	E	F
1		Pebbles layer	Maërl	Proto. clay	Hist. sed.	Interpretation
2	**ALGAE**					
3	*Mesophyllum coralloides*					Well oxygenated and renewed waters
4	**SPONGIARIA**					
5	*Cliona sp.*					Boring sponge, well oxygenated and renewed waters
6	**ECHINODERMATA**					
7	*Paracentrotus lividus*					Hard substrate, algae and Posidonia meadows
8	**PELECYPODA**					
9	*Abra alba*					Silty or muddy sand
10	*Acanthocardia paucicostata*					Silty or muddy-sand
11	*Acanthocardia tuberculata*					Fine, well-sorted sand assemblages
12	*Anomia ephippium*					Hard substrate, wide repartition
13	*Barnea parva*					Boring shell
14	*Cerastoderma edule*					Upper muddy-sand assemblages in sheltered areas
15	*Cerastoderma glaucum*					Lagoonal and estuarine
16	*Cerastoderma lamarckii*					Euryhaline
17	*Chama gryphoides*					Hard substrate
18	*Crassostrea angulata*					Hard substrate
19	*Diplodonta rotundata*					Upper muddy-sand assemblages in sheltered areas
20	*Gafrarium minimum*					Gravel assemblage
21	*Gastrana fragilis*					Uppermuddy-sand assemblages in sheltered areas, low salinity
22	*Kellia suborbicularis*					Hard substrate
23	*Lasaea rubra*					Hard substrate, low salinity
24	*Loripes lacteus*					Uppermuddy-sand assemblages in sheltered areas
25	*Loripinus fragilis*					Uppermuddy-sand assemblages in sheltered areas
26	*Macoma tenuis*					Fine, well-sorted sand assemblages, surface water
27	*Mytilus galloprovincialis*					Hard substrate
28	*Ostrea edulis*					Hard substrate
29	*Ostrea lamellosa*					Hard substrate
30	*Ostrea stentina*					Hard substrate
31	*Paphia (Ruditapes) aurea*					low salinity
32	*Parvicardium exiguum*					Low salinity, slight organic pollution
33	*Parvicardium minimum*					Gravel to mud, wide repartition
34	*Parvicardium papillosum*					wide repartition
35	*Tapes decussatus*					Upper muddy-sand assemblages in sheltered areas
36	*Ruditapes geographica*					Upper muddy-sand assemblages in sheltered areas
37	*Ruditapes pullastra*					Posidonia meadows
38	*Ruditapes rhomboides*					Channels in Posidonia meadows
39	*Solen marginatus*					Fine sands assemblage
40	*Tellina balaustina*					Gravel to mud, wide repartition
41	*Tellina fabuloides*					Fine, well-sorted sand assemblages
42	*Teredo navalis*					Wooden boring shell
43	*Timoclea (Venus) ovata*					Gravel to mud, wide repartition
44	*Venus cf. verrucosa*					Posidonia meadows
45	**GASTROPODA**					
46	*Alvania cf. lanciai*					Algal and seagrass meadows
47	*Architectonidae sp.*					No special meanning
48	*Astralium rugosum*					Hard substrate
49	*Bittium reticulatum*					Hard substrate
50	*Calliostoma conulum*					No special meanning
51	*Calliostoma granulatum*					Mud
52	*Calliostoma zizyphinum*					Soft to hard bottom
53	*Cerithium rupestre*					Hard substrate
54	*Cerithium vulgatum*					Hard substrate with sediments
55	*Chitonidae sp.*					Hard substrate
56	*Clanculus cruciatus*					Hard substrate
57	*Conus ventricosus (mediterraneus)*					Hard substrate, algal and seagrass meadows
58	*Cyclichna cylindracea*					Mudy sands
59	*Cymatium cutaceum*					Hard substrate
60	*Cythara pacinlana*					Hard substrate
61	*Diodora graeca*					Hard substrate
62	*Diodora italica*					Hard substrate
63	*Diodora gibberula*					Hard substrate
64	*Epitonium commune*					Hard and sandy-muddy substrate
65	*Erosaria spurca*					Hard substrate
66	*Gibbula albida*					Hard and sandy substrate
67	*Gibbula magus*				?	Hard and sandy-muddy substrate
68	*Gibbula turbinoides*					Hard substrate and Posidonia meadows
69	*Gibbula varia*					Hard substrate
70	*Hadriana craticulata*					Hard and muddy substrate
71	*Haminea hydatis*					Mud
72	*Hexaplex (Murex) trunculus*					Hard substrate
73	*Nassarius incrassatus*					Sands
74	*Nassarius reticulatus*					Sands
75	*Jujubinus sp.*					No special meanning
76	*Jujubinus striatus*					Shaded rock bottoms
77	*Littorinidae sp.*					No special meanning
78	*Lunatia guillemini*					Active sediment movements
79	*Lunatia (Natica) pulchella*					Sands
80	*Mangelia albida*					No special meanning
81	*Mangelia purpurea*					No special meanning
82	*Marginella miliaria*					Posidonia meadows
83	*Monodonta turbinata*					Hard substrate
84	*Nassarius cuvieri*					No special meanning
85	*Nassarius reticulata mamillata*					Mud
86	*Nassarius semistriatus*					Sandy mud
87	*Natica sp.*					Wide ecological tolerance
88	*Neverita josephinia*					Fine, well sorted sand assemblage
89	*Ocinebra blainvillei*					Wide ecological tolerance
90	*Patella lusitanica*					Hard substrate
91	*Pholas Parva*					Boring hard substrate
92	*Pusia tricolor*					Sands and Posidonia meadows
93	*Retusa truncatula*					Mud
94	*Ringicula auriculata*					Muddy sands
95	*Rissoa auriscalpium*					Sands and algues photoph
96	*Rissoidae sp.*					No special meanning
97	*Scaphander lignarius*					Muddy sands
98	*Solianidae sp.*					No special meanning
99	*Skeneopsis planorbis*					Hard substrate
100	*Tricolia pulla*					Sands and hard substrate
101	*Tricolia speciosa*					Sands and hard substrate
102	*Tricolia tenuis*					Sands and hard substrate
103	**POLYCHAETA**					
104	*Pomatoceros lamarcki*					Hard substrate
105	*Serpula concharum*					Hard substrate
106	*Spirorbidae sp*					Hard substrate
107	**CRUSTACEAN**					
108	*Eriphia verrucosa*					Hard substrate, eulittoral and infralittoral zones
109	*Decapoda reptantia*					Hard substrate, midlittoral and infralittoral zones

typique caractérisé par une vitesse accélérée d'accumulation. Par rapport au type précédent, le problème se pose en des termes différents. Il s'agit d'une morphogenèse accélérée comme mutation d'un géosystème en un autre, faisant intervenir des processus nouveaux (Neboit-Guilhot, 1999). Cette dynamique ne relève plus de l'événementiel, mais répond à une conjoncture. En retour, la datation de la base de ce type d'unité permet de proposer une date de fondation du port comme dans le cas de Sidon par exemple (Morhange *et al.*, 2000b).

- En revanche, il est extrêmement difficile de différencier les milieux portuaires vaseux de périodes différentes, comme ceux des périodes grecque ou romaine à Marseille. Les indicateurs classiques que j'ai utilisés ne semblent pas assez précis. La "relève" de la géochimie m'apparaît indispensable comme en témoignent les prometteuses analyses sur les isotopes du plomb entreprises par J.-P. Goiran et A. Véron dans le cadre de l'étude paléoenvironnementale des ports antiques d'Alexandrie.

Figure 72 : Exemples d'impacts d'origine anthropique en milieu côtier et portuaire en Méditerranée depuis l'Age du Bronze.

Type d'impact	Processus principal	Exemples de dynamique	Archétype
Granulométrique	mode battu → mode calme	piégeage des fines ruissellement sur surfaces d'occupation dépotoir	Marseille Sidon Alexandrie
Détritique	vitesse érosion/accumulation accélérées	avant 600 BC: 0,5mm/an après 600 BC: 20mm/an crise érosive "urbaine": vitesse X 40 "périurbaine": X 10	fondation de Marseille vers 600 BC
Géomorphologique	progradation d'origine terrigène artificialisation	émersion démultiplication durcification de la ligne de rivage	Marseille Toulon
Biologique	confinement	"mort du maërl" impacts biocénotiques	Marseille Age du Bronze
Géochimique	pollution rejets de métaux lourds	contaminations ^{206}Pb ^{207}Pb	Alexandrie

PRINCIPAUX PROGRAMMES DE RECHERCHES

ET ENCADREMENT D'ETUDIANTS

I. Principaux programmes (1991-2001)

Ma recherche, depuis 1991, n'a été possible que grâce à des contrats européens, nationaux ou régionaux, qui ont permis un financement important des analyses de laboratoire et de nombreux contacts avec d'autres équipes scientifiques. Les principaux programmes, auxquels j'ai été amené à participer, ont été les suivants:

De 1991 à 1993, le programme européen EPOCH *"Climate change, sea level rise and associated impact in Europe"*, sous la direction de D. E. Smith, Coventry University. Nous avons pu participer à deux projets : le projet *"Sea level changes in seismic area"* dirigé par Paolo Pirazzoli et le projet *"Biological indicators of relative sea-level rise"* dirigé par le biologiste Jacques Laborel. J'ai dèjà écrit combien ces deux chercheurs m'ont aidé : P. Pirazzoli dans l'initiation à la recherche géomorphologique côtière dans le cadre d'une mission à Zanthe et à Corfou en juin et juillet 1991, en collaboration avec des géologues, des biologistes et une archéologue grecs, me montrant la technique d'investigation pluridisciplinaire. Jacques Laborel m'a véritablement formé à la reconnaissance des indicateurs biologiques en milieu émergé et immergé grâce à de multiples missions de terrain en Catalogne, en Corse et sur les côtes de Provence. C'est dans le cadre de ce programme, que nous avons publié les premiers nuages précis de points de variations relatives du niveau de la mer en Méditerranée occidentale depuis 6000 ans. Cette formation méthodologique initiale a été fondamentale pour la suite de mes recherches. Jacques Laborel a aussi été mon interlocuteur scientifique privilégié depuis 10 ans. Je n'ai pas rédigé un seul article sans en débattre longuement avec lui. De plus, il m'a incité à publier dans des revues internationales de langue anglaise. La qualité de notre relation a été en partie liée au fait que nous appartenions à deux disciplines et à deux générations différentes. Il avait rarement encadré des doctorants et je n'étais pas le sien. J'ai donc eu cette chance exceptionnelle.

De 1993 à 1995, le programme européen IMPACT *"The impact of climatic change and relative sea level rise on the environmental ressources of European coast"*, sous la direction de R. J. Devoy, Cork University. J'ai pu participer au programme "Impacts des variations relatives du niveau marin sur l'environnement littoral en Provence occidentale" sous la direction de Mireille Provansal. Ce programme, que j'ai pourtant négocié, a été pour moi moins important car ce fut

l'époque de la fouille archéologique de la place Jules Verne et de la rédaction de ma thèse. Avec Jacques Laborel, nous avons récolté beaucoup d'autres échantillons biologiques, qui n'ont pas modifié les résultats acquis lors du programme EPOCH.

De 1994 à 1995, le programme franco-hellénique PLATON, dirigé par Stathis Stiros, sur le thème des variations relatives du niveau de la mer en Grèce à l'Holocène, a permis de financer deux missions en Eubée, dans le golfe de Corinthe (mission 1994), à Mythilène, Samos, Chios et à Ikaria (mission 1995). Malheureusement, les littoraux étudiés étaient en partie ingrats (particulièrement les côtes de Chios et Lesbos) et n'ont pas donné lieu à de nombreuses publications (Stiros *et al.*, 2000). Ce programme m'a cependant permis d'enrichir mon catalogue personnel d'études de cas.

De 1993 à1998 le programme du PIGC 367 *"Rapid coastal changes in the Late Quaternary"*, sous la direction de David Scott, a été l'occasion de multiples échanges en particulier lors des colloques et des excursions organisées en Ecosse et en Grèce. J'ai pu progresser grâce aux conseils de N. Mörner, C. Zazo, A. Dawson ou de H. Brückner par exemple.

De 1992-1997, les fouilles archéologiques des places Jules Verne et Villeneuve Bargemon (Vieux Port de Marseille), sous la direction d'A. Hesnard (centre Camille Jullian, MMSH) ont été une véritable révélation. Ces travaux ont permis, grâce à des décapages en extension, d'effectuer une recherche paléoenvironnementale originale. La fouille de la place Bargemon a très utilement permis de valider et préciser nos premiers résultats acquis place Jules Verne.

De 1994 à 1996, le projet POPULUS *"Cross-disciplinary approaches to changes in demographic patterns in Mediterranean Europe (3000 BC-AD 1800)"* a surtout été l'occasion de publier nos premiers résultats en langue anglaise et de nous familiariser avec les travaux de nos collègues archéologues britanniques.

En 1994-1997, le programme transfrontralier de recherches géoarchéologiques sur les îles de Méditerranée française, sous la direction de M. Pasqualini (Aix, Service Regional de l'Archéologie de PACA.) a permis de contacter, sans grand succès, nos collègues archéologues de Ligurie.

En revanche, depuis 1994, le programme franco-italien CUMA 1 et 2, m'a permis de ne pas m'enfermer dans une problématique trop marseillaise. Les multiples péripéties "technico-juridico-financières" de ce programme de fouilles archéologiques du port grec de Cumes, sous la direction de M. Bats, puis de J.-P. Brun (Centre Archéologique Français de Naples J. Bérard), m'ont permis non seulement d'étudier les paléoenvironnements en effectuant pour la première fois une campagne de carottages mais aussi de travailler sur le secteur de Pouzzoles (Morhange *et al.*, 1998a et 1999b). Le point positif le plus important réside finalement dans les difficultés rencontrées qui ont été de trois ordres :

- un milieu sédimentaire volcanique, nouveau pour moi,
- des problèmes techniques de fouilles "insurmontables" dans des sables baignés par la nappe phréatique,

- trois campagnes de carottages, dont deux ont échoué du fait de la difficulté à forer et à prélever des échantillons sableux.

Sans un travail acharné au laboratoire, en collaboration avec mes étudiants que j'ai pu associer aux missions de terrain en Italie, et l'aide de multiples collègues spécialistes, les résultats seraient très pauvres. Une nouvelle campagne de carottages a été effectuée en février 2001. Elle s'est concentrée sur la zone lagunaire de Licola, la plus propice à avoir pu abriter un port à l'époque archaïque, au nord de la cité de Cumes.

Depuis 1996, le programme des fouilles archéologiques de Kition Bamboula à Chypre, sous la direction de M. Yon (programme de la Maison de l'Orient Méditerranéen et de la Commision des Fouilles pour l'Orient Ancien du MAE), m'a permis de découvrir les littoraux de Méditerranée orientale. Le travail de terrain (trois missions de prospection et de carottages en 1996 et en 1997) est achevé et le programme de publication est bien avancé (Morhange *et al.*, 1999a et 2000a). Contrairement à ce que j'avais pu penser en admirant les vestiges des cales de halage de l'arsenal phénicien, les structures archéologiques n'ont pas été très utiles dans la détermination des variations relatives du niveau de la mer. Dalongeville *et al.* (2000) ont publié des niveaux de plage supérieurs à l'actuel, en périphérie de l'agglomération de Larnaca, qui peuvent expliquer partiellement la fermeture du cothon de Bamboula.

Depuis 1996, le programme de recherches paléoenvironnementales dans le port antique d'Alexandrie (CEA, MAE, Conseil Suprême des Antiquités d'Egypte), sous la direction de J.-Y. Empereur, a été la source d'un véritable bonheur. En effet, j'ai pu reprendre une importante activité de recherches sous-marines en scaphandre autonome et travailler sur un site très diversifié (port ouest, port est, tombolo, presqu'île de Pharos...). De plus, j'ai pu encadrer Jean-Philippe Goiran, en collaboration avec M. Provansal, et apprécier ses rapides progrès et son autonomie dans la recherche sur le terrain comme en laboratoire.

Mais c'est surtout depuis 1998, dans le cadre du programme UNESCO/World Heritage, sous la direction d' Honor Frost, que j'ai pu démarrer une recherche sur les littoraux du Liban, avec une première mission de recherche de localisation du port de l'Age du Bronze de Byblos. A cette occasion, j'ai pu participer, puis "co-piloter", avec Claude Doumet-Serhal (Londres), un programme de recherches du Bristish Museum/Direction Générale des Antiquités Libanaises et de l'association LBFNM (*The Lebanese British Friends of The National Museum*) sur le port antique de Sidon (Liban). Enfin, depuis 2000, je co-dirige, avec Muntaha Beydoun (Beyrouth) un programme franco-libanais de coopération pour l'évaluation et le développement de la recherche (programme CEDRE) intitulé "5000 ans de dégradations de l'environnement côtier dans quatre ports antiques du Liban (Sidon, Byblos, Beyrouth et Tyr)". Nous avons déjà pu effectuer une mission de carottages et de prélèvements très prometteuse durant l'été 2000. Nous avons deux objectifs principaux :

1. Mesure et datation de la variation verticale du niveau de la mer au Liban depuis environ 6000 ans (indicateurs archéologiques, géomorphologiques,

sédimentologiques et biologiques), en essayant de faire la part des variables tectoniques et isostasiques. Les nouvelles datations permettront de tester l'hypothèse de l'Early Byzantine Tectonic Paroxysm (EBTP ; Pirazzoli, 1986c ; Kelletat, 1991 ; Pirazzoli *et al.*, 1996b). Plus de 20 datations radiocarbone en cours sur des échantillons de bioconstruction, au laboratoire de Lyon, vont donc préciser l'histoire paléobathymétrique de ce secteur côtier. De plus, nous prévoyons une nouvelle mission de collecte d'échantillons, en juillet 2001, avec P. Pirazzoli et avec D. Chardon, tectonicien au CEREGE, afin de comprendre dans quelles conditions se sont effectués les mouvements récents de l'écorce terrestre dans ce secteur.

2. Reconstitution paléogéographique des ports antiques (port "égyptien" ouvert de Byblos, bassins de Sidon, problème de l'édification naturelle et anthropique du tombolo hellénistique de Tyr par comparaison avec celui d'Alexandrie, port de Beyrouth). L'objectif principal est la reconstitution des paléoenvironnements littoraux dans le cadre de milieux précocement urbanisés (impacts des équipements portuaires, problèmes liés aux rejets et aux prélèvements, chronologie des premières pollutions...). Nous avons déposé deux demandes de financement complémentaire auprès de la Commission de l'Orient Ancien du MAE et de la Commision du Patrimoine Mondial de l'Unesco dans le cadre des sites archéologiques classés de Byblos et de Tyr.

Depuis 1998, j'ai aussi eu la possibilité de collaborer à un plus modeste programme franco-italien de fouille archéologique du port fluvial romain d'Aquileia (Frioul, Adriatique ; collaboration entre la Surintendance Archéologique, l'Université de Trieste, l'Ecole Française de Rome et le Centre Camille Jullian, sous la direction de M.-B. Carre, Aix). Cette recherche, qui a démarré avec une première mission durant l'été 1998 et l'encadrement d'une étudiante en Italie et à Aix, s'est avérée très formatrice car j'ai pu m'initier à la morphologie fluviale dans une région particulièrement dynamique.

A nouveau, en Provence, j'ai pu continuer à développer des recherches sur trois milieux portuaires :

- Depuis 1998, avec le Service Archéologique Municipal de la ville de Fréjus sur le port antique de Fréjus. Ce travail est en progrès.

- Durant l'été 1998, une étude géomorphologique de la fouille de sauvetage de Port Prestige (Antibes, AFAN). Cette intervention a débouché sur la soutenance d'un brillant mémoire de DEA (Georges, 1999) et la publication d'un article (Georges et Prone, 2000).

- Durant l'année 1999-2000, j'ai pu collaborer aux fouilles archéologiques du site de l'Alcazar-Providence à Marseille, sous la direction de M. Bouiron (Atelier Municipal de Marseille/SRA/AFAN). Les études géomorphologiques et sédimentologiques ont été menées par Pascale Chevillot (géomorphologue AFAN et une de mes premières étudiantes) et Séverine Schmitt-Mercury dans le cadre d'un DEA de géographie physique.

- Enfin, j'ai toujours suivi avec intérêt les fouilles portuaires récentes du centre ville de Toulon (interventions sur les îlots des Riaux, de l'Equerre et de Magnaque), même si les conditions d'intervention ont toujours été très difficiles et expliquent partiellement l'absence de publications.

Tous ces travaux s'inscrivent depuis 1999, dans le nouveau programme du PIGC 437 *"Coastal environmental Change during Sea Level Higstand"*, sous la direction de C. Murray-Wallace et de la commission de l'INQUA *"Sea Level Changes and Coastal Evolution"* dirigée par N. Mörner. Les principaux résultats seront présentés dans le cadre de cinq conférences prochaines :

- Colloque CNR/CJB/IUO de Naples (Italie), "Nuove forme di intervento per lo studio del sito antico di Cuma" (12 février 2001).
- UNESCO, Saïda (Liban), colloque "Small historical coastal cities" (28-31 mai 2001).
- CEDRE 2001, Beyrouth (Liban), colloque franco-libanais (7-8 juin 2001).
- EURESCO, Saint-Andrews (Ecosse), colloque "Glacial-Interglacial Sea-level Changes in Four Dimensions" (31 mars-5 avril 2001).
- IGCP 437, Durham (Angleterre), colloque "Sea level changes and neotectonics" (4-8 septembre 2001).

En conclusion, j'ai parfois eu l'impression que trop d'activités pouvait nuire à la qualité de mes travaux et que j'avais négligé quelques sites faute de temps (Toulon, fouilles de la place de Gaulle.....). J'ai pu, en quelques années, diriger plus d'une trentaine d'étudiants dans le cadre de mémoires de maîtrise et de DEA, me transformant parfois en ingénieur "qualité" d'une "petite usine à ports antiques", tiraillé entre l'enseignement supérieur, les excursions universitaires, la direction de mon équipe au CEREGE, la gestion de la recherche à l'étranger et la quête de crédits et de bourses.... Bien heureusement, ma nomination à l'Institut Universitaire de France, en septembre 2000, vient régler de nombreux problèmes et ménage un peu plus de temps à la réflexion.

II. Direction de recherches, d'étudiants en maîtrise, DEA, DESS

Depuis 1992, j'ai eu la possibilité de diriger plus de 30 étudiants dans le cadre de mémoires de maîtrise, de DEA et de DESS. Je présente rapidement, ci-dessous, les principaux résultats acquis par ces jeunes chercheurs et j'essaye de dresser un bilan de leurs travaux par rapport à ma problématique générale de recherche (figure 73).

1992-1993

P. Chevillot, stage et rapport final de recherches de DESS (géoarchéologie, Université de Dijon), *Recherches paléoécologiques d'un littoral précocement anthropisé, la calanque du Lacydon, Vieux Port de Marseille*, 60 p. et ann., mention AB.

Ce premier travail, durant la fouille archéologique de la place Jules Verne, a été une source de frustration. En effet, Pascale Chevillot, qui avait suivi au quotidien l'avancement de la fouille, n'a pas eu la chance de bénéficier des datations radiocarbone lors de sa soutenance de DESS. Elle n'a donc pas pu rendre un mémoire complètement abouti. Depuis sa réussite à cet examen, P. Chevillot a été recrutée comme géomorphologue à l'AFAN et nous continuons à avoir des collaborations scientifiques dans le cadre des fouilles marseillaises (chantiers de l'Alacazar-Providence et de La Major par exemple). Elle est chercheur associé à l'équipe de géomorphologie-tectonique du CEREGE depuis 1998.

1995-1996

F. Cambray, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Evolution morphosédimentaire de la plage de Sainte-Croix, Côte Bleue, France*, 95 p. et ann., mention TB.

F. Sabatier, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Variations morphosédimentaires de la plage du Rouet (Côte Bleue, France), essai d'analyse sur la mobilité du talus pré-littoral*, 90 p. et ann., mention TB.

E. Kiesslich, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Evolution morpho-sédimentaire d'une plage de la côte Bleue, la plage de La Saulce*, 63 p. et ann., mention passable.

Année / Site	1992 -93	1995 -96	1996 -97	1997 -98	1998 -99	1999 -2000	2000 -2001	Publications
Marseille	DESS P. Chevillot (Jules Verne)		Maîtrises C. Laverdure S. Schmitt (V. Bargemon)	Maîtrise F. Blanc / DEA Laverdure (V. Bargemon)		DEA S. Schmitt (Alcazar)		Morhange *et al* sous presse et soumis
Côte Bleue		Maîtrises F. Cambray F. Sabatier E. Kiesslich						
Argens Fréjus				Maîtrise K. Georges	Maîtrise M. Pocachard			
Chypre			Maîtrise J.P. Goiran	DEA J.P. Goiran / Maîtrise W. Mangematin				Morhange *et al* 1999a, 2000a
Cumes			Maîtrise J.P. Goiran	Maîtrise L. Vecchi	DEA L. Vecchi / Maîtrise P.F. Blanc	Maîtrise S. Francou		Vecchi *et al* 2000
Antibes					DEA K. Georges			Georges et Prone 2000
Sidon					Maîtrise O. Dubuquoy N. Prunet	Maîtrise E. Ribes	DEA K.Espic	Morhange *et al* 2000b
Byblos								Frost et Morhange 2000
Tyr							DEA Y. Ryks	
Beyrouth							DEA S. Francou	
Alexandrie					Thèse J.P. Goiran	Maîtrise K. Espic / Thèse J.P. Goiran	Maîtrise N. Mariner / Thèse J.P. Goiran	Goiran *et al* 2000
Polynésie française			DEA F. Cambray					

Figure 73 : Tableau synthétique des étudiants encadrés depuis 1992.

1997-1998

C. Laverdure, DEA de géographie humaine (DEA réseau, UFR de géographie, Université de Provence), co-direction avec J.-P. Ferrier, *Témoignage d'une tentative d'une géographie de communication, Marseille, fille de la mer*, 36 p. et ann., mention passable. Expérience intéressante, mais décevante du point de vue des résultats, d'un travail de vidéo sur une enquête paléoenvironnementale et archéologique à Marseille.

J.-P. Goiran, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Paléoenvironnements littoraux dans la région de Kition-Bamboula, Chypre*, 119 p. et ann., mention AB. Ce jeune chercheur a pu bénéficier d'une mission à Chypre et de deux campagnes de carottages du Cyprus Geological Survey. Cette collaboration a été très fructueuse car nous avons déjà publié deux articles (Morhange *et al.*, 1999a et 2000a).

W. Mangematin, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude géomorphologique du site portuaire antique de Kition-Bamboula, Larnaca, Chypre*, 61 p. et ann., mention TB. Willfried Mangematin a pu lui aussi être accueilli par la mission archéologique française de Bamboula. Le choix des sondages stratigraphiques s'est révélé malheureux. La comparaison avec les données des forages a été décevante.

F. Blanc, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *6000 ans d'évolution des paléoenvironnements du Vieux Port de Marseille (chantier César)*, 69 p. et ann., mention TB. A la suite de C. Laverdure et S. Schmitt, cette étudiante a analysé les sédiments provenant d'une coupe stratigraphique de la place Villeneuve Bargemon mais en se concentrant sur l'analyse exocopique des quartz au MEB de l'Université de Provence, avec la collaboration d'André Prone, et sur l'étude des minéraux argileux, avec la collaboration d'Yves Noack. Ce minutieux travail de laboratoire a été formateur et utile.

K. Georges, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude géomorphologique de la vallée de l'Argens et de la baie de Fréjus (Var)*, 87 p. et ann., mention TB. Ce travail dans l'actuel a permis d'accumuler de nombreuses données granulométriques sur le fleuve Argens, à proximité immédiate du port antique de Fréjus. Cette chercheuse était motivée, autonome et travailleuse. Pratiquant la plongée en scaphandre autonome, elle a pu prélever des sédiments marins dans l'étage infralittoral et au cœur du lit mineur dans des conditions un peu difficiles. Les résultats sont de très bonne qualité et seront utiles dans le cadre d'une démarche actualiste sur la basse vallée de l'Argens.

L. Vecchi, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude géomorphologique des sites de Pouzzoles et de Cumes, Campanie, Italie du Sud*, 74 p. et ann., Mention TB. Après Jean-Philippe Goiran, Laetitia Vecchi a pu bénéficier d'un séjour à Naples et Cumes. L'étude d'une carotte de la campagne de l'hiver 1997, que j'avais piloté avec les techniciens de la Techno-

In, a permis de nous initier aux diatomées, sous la direction de Françoise Gasse, et à l'altération des minéraux volcaniques avec Alain Demant. Ces travaux ont permis d'argumenter l'hypothèse de la localisation d'un milieu lagunaire au nord de la cité archaïque de Cumes ayant pu servir d'abri portuaire aux colons grecs (Vecchi *et al.*, 2000).

Le bilan de l'année universitaire 1997-1998 a donc été très positif en termes d'encadrement et de formation d'étudiants ainsi que d'accumulation de résultats nouveaux sur des environnements encore mal connus (Bamboula et Cumes en particulier). Je pense aussi qu'il est difficile d'encadrer sérieusement plus de six étudiants, surtout quand il s'agit d'étudiants en maîtrise, qui sont généralement très peu autonomes durant tout le premier semestre, et dont il faut corriger les manuscrits à la fin de l'année universitaire en même temps que les autres mémoires à lire et évaluer dans le cadre des jurys des différents diplômes.

1998-1999

K. Georges, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches paléoenvironnementales sur le port antique d'Antibes, opération Port Prestige, anse Saint-Roch (Alpes-Maritimes, France)*, 74 p. et ann., mention B. Cette recherche a été effectuée dans le cadre d'un contrat de recherche sédimentologique obtenu auprès de l'AFAN. La mise en évidence d'une lagune protohistorique dans le fond de l'anse Saint-Roch et l'absence de niveaux marins holocènes supérieurs au niveau actuel ont été des acquis importants dans ce secteur assez controversé du point de vue paléobathymétrique (Dubar et Anthony, 1995).

L. Vecchi, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches paléoenvironnementales et localisation du port antique de Cumes (Campanie, Italie)*, 74 p. et ann., mention B. En étudiant deux carottes supplémentaires au nord de Cumes, Laetitia Vecchi a pu préciser les données paléoenvironnementales, affiner ses interprétations et publier un premier article (Vecchi *et al.*, 2000).

P.-F. Blanc, maîtrise d'histoire, en co-direction avec Sophie Collin-Bouffier (Université de Provence), *Etude sédimentologique du site portuaire antique de Cumes (Campanie, Italie)*, 129 p. et ann., mention B. Cet étudiant, historien de formation, motivé mais désorganisé, a été difficile à diriger. Il a pu bénéficier d'un séjour à Naples mais son travail en sédimentologie est resté assez superficiel.

O. Dubuquoy et **N. Prunet**, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Paléoenvironnements du port antique de Sidon (Liban)*, 112 p. et ann., mention B. Ces deux étudiants, peu motivés par la répétition des analyses de laboratoire, ont rendu un mémoire un peu décevant. L'un est maintenant sous-officier dans l'Armée de Terre et l'autre a bifurqué vers la géographie urbaine.

M. Pocachard, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude sédimentologique du site portuaire antique de Fréjus (Var, France)*, 165 p. et ann., mention TB. Grâce à la collaboration de Maurice Taieb et de Laurent Pagni, nous avons pu effectuer un premier carottage d'une profondeur de 20 mètres au coeur du port antique de Fréjus durant l'été 1998. Marjolaine Pocachard a été une jeune chercheuse brillante. Malheureusement, nous avons eu des problèmes de vieillissement des dates conventionnelles et AMS. Marjolaine Pocachard prépare maintenant les concours de recrutement de l'enseignement public.

1999-2000

V. Bresson, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence),*L'étude des milieux fluviaux actuels de l'Isonzo dans sa plaine côtière appliquée à la reconstitution paléoenvironnementale du site d'Aquileia (Italie du Nord)*, 72 p. et annexes, mention TB. Ce travail préliminaire de géomorphologie fluviale a débouché en 2000-2001 sur un DEA de géographie physique dirigé par par G. Arnaud-Fassetta (Université Paris VII). Une demande de financement européen a été déposée en collaboration avec le Centre Camille Jullian, l'Université de Trieste et l'Ecole Française de Rome.

K. Espic, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude sédimentologique des milieux de sédimentation actuels et de deux carottes du port d'Alexandrie, Egypte*, 136 p et ann., mention TB. Devant la moisson exceptionnelle d'échantillons prélevés à Alexandrie, avec J.-P. Goiran en 1998, 1999 et 2000, il était important de nous faire aider, en particulier sur les milieux de sédimentation actuels, portuaires et périurbains. Cette minutieuse analyse a été très sérieusement réalisée par Kathia Espic qui aurait dû participer à une campagne de carottages durant l'été 2000 à Taposiris Magna, mission ajournée faute d'autorisation de la Sécurité Militaire Egyptienne.

E. Ribes, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude géomorphologique et sédimentologique du port de Sidon, Liban*, 243 p. et ann., mention TB. Emmanuel Ribes a repris le travail d'analyses, bâclé par O. Dubuquoy et N. Prunet et a analysé très finement le problème des sources sédimentaires, en étudiant les compositions minéralogiques avec Daniel Borschneck. Nous avons pu montrer que l'importance des sources nilotiques avait été très largement exagérée par certains chercheurs.

S. Francou, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches géomorphologiques à Toulon et à Cumes (Italie)*, 77 p. et ann., mention B Sylvain Francou a étudié les deux dernières carottes de la campagne de 1998. Il a pu montrer que le pied sud de la colline de Cumes n'avait jamais pu être aménagé en port lagunaire. Il a aussi pu bénéficier d'une mission de terrain à Naples.

S. Schmitt-Mercury, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Les apports de l'étude géomorphologique et*

sédimentologique de la fouille Belzunce-Providence à la paléogéographie de Marseille, 216 p., mention AB. Après son succès à l'agrégation de géographie en 1999, Séverine Schmitt a désiré compléter sa formation dans la recherche paléoenvironnementale en participant à la fouille archéologique de l'Alcazar-Providence, à Marseille. Avec Pascale Chevillot, elles ont pu mettre en évidence la présence de carrières de marnes, datées de l'époque archaïque, puis transformées en lagunes par la montée du niveau de la mer de quelques dizaines de centimètres.

2000-2001

K. Espic, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Etude sédimentologique des milieux portuaires de Sidon (Liban)*. Kathia Espic a entrepris d'étudier les sédiments de deux nouvelles carottes (campagne CEDRE 2000) qui sont très importantes pour préciser le mode plus ou moins battu de la crique sud de Sidon et valider la chronologie du port nord par de nouvelles datations au radiocarbone. Une mission de terrain est prévue au Liban après le colloque de l'UNESCO, où nous présenterons nos premiers résultats.

S. Francou, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches géomorphologiques à Beyrouth (Liban)*. Cet étudiant a déjà pu effectuer une première mission à Byblos et Beyrouth durant l'été 2000. Il étudie les sédiments de six carottages effectués dans les ports antiques supposés, dans le cadre du programme de reconstruction du centre-ville de Beyrouth.

Y. Rycx, DEA de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches géomorphologiques à Tyr (Liban)*. Cette étudiante a déjà pu effectuer une première mission à Tyr, Sidon et Beyrouth durant l'été 2000. Elle étudie les sédiments de trois carottages effectués dans le ports sidonien de Tyr, dans le cadre des programmes CEDRE et de la Commission du Patrimoine Mondial de l'UNESCO pour le site de Tyr. Ce DEA devrait déboucher sur une thèse d'étude des paléoenvironnements holocènes de la région de Tyr et du delta du Litani.

L. Stefaniuk, maîtrise de géographie physique (UFR de géographie, Université de Provence), *Recherches géomorphologiques à Byblos (Liban)*. Cette étudiante analyse les sédiments de six carottages effectués dans les ports ouvert et fermé de Byblos dans le cadre des programmes CEDRE et de la Commission du Patrimoine Mondial de l'UNESCO.

N. Marriner, B. Sc. of physical geography, en co-direction avec B. Horton, University of Durham (UK), *Sedimentology of Alexandria sector, Egypt*. Ce bon étudiant ERASMUS s'est rapidement intéressé à ce sujet. Il effectue ses analyses au CEREGE et au laboratoire de sédimentologie de l'Université de Durham.

Co-directeur avec M. Provansal de la thèse de **J.-P. Goiran** (1998-2001), *Recherches géomorphologiques sur les paléoenvironnements des ports antiques d'Alexandrie (Egypte)*.

Un point extrêmement positif pour la formation de nos étudiants a été l'organisation, avec M. Provansal, de séminaires réguliers au CEREGE (toutes les trois semaines) où deux ou trois jeunes chercheurs exposent pendant 20 minutes environ l'état de leurs travaux et où de multiples questions peuvent être débattues. Ces séances informelles jouent un rôle important pour nos étudiants dans l'apprentissage de la prise de parole et le problème central du questionnement et du doute en recherche.

Conclusion générale

Les milieux portuaires constituent donc des archives sédimentaires particulièrement riches. Mes recherches géomorphologiques, bathymétriques et sédimentologiques ont le plus souvent posé plus de questions aux archéologues qu'elles ne leur apportaient de réponses. Mon intervention sur les sites a en effet souvent été à l'origine de déplacement des problématiques. Le cas de Kition, traité plus haut, est exemplaire. Sur ce site, où les structures portuaires étaient bâties en *marmaro* (moellons de gypse...), nous n'avons pu identifier aucune faune fixée sur ces supports trop hostiles au développement de la vie. Appelé par Marguerite Yon pour un problème de niveau marin par rapport aux cales de halage de l'arsenal phénicien, je n'ai pas pu répondre à ses interrogations mais j'ai proposé, avec mon équipe, un nouveau schéma paléogéographique d'organisation de l'espace portuaire de Bamboula.

Au total, que retenir de dix années de recherches en Méditerranée : la "redécouverte" d'un objet d'études, la mise au point d'une méthodologie rigoureuse, mais aussi quelques faits nouveaux, le dépôt coquillier de l'Age du Bronze de la rive nord du Vieux Port de Marseille, la mobilité relative du niveau de la mer à Pouzzoles, la découverte de l'Egypte méditerranéenne puis du Liban..., en enfin un enrichissement personnel par la découverte de l'archéologie côtière et de la biologie marine ? Il me semble que ce travail pluridisciplinaire a le mérite de reformuler et préciser certaines questions sur des sites archéologiques assez bien connus (comme la variation du niveau de la mer à Marseille ou à Pouzzoles par exemple) et de relancer de nouveaux faits et indices dans le débat scientifique à propos de secteurs côtiers où des fouilles archéologiques lourdes ne sont pour l'instant guère envisageables dans le contexte urbain et politique actuel (côtes d'Egypte, sud du Liban...). J'ai aussi posé précisément la question des impacts d'une forme originale d'anthropisation.

Depuis trois ans, la qualité de ma recherche a largement bénéficié de mon intégration au sein de l'équipe des géosciences du CEREGE (Université Aix-Marseille III). J'ai d'abord et surtout beaucoup appris du point de vue méthodologique. Je vois ainsi beaucoup d'atouts scientifiques à l'intégration des géomorphologues aixois à l'UMR du CEREGE. Comme les autres géographes de mon équipe, j'ai pu nouer des collaborations très intéressantes avec des géochimistes (Alain Véron en ce qui concerne les pollutions au plomb à Alexandrie, Annie Michard pour l'étude des sources sédimentaires en Méditerranée orientale...), avec des tectoniciens (Dominique Chardon et Olivier Bellier) ou avec des spécialistes des bioindicateurs (Françoise Gasse et Françoise Challié pour les diatomées, Luc Beaufort pour les coccolithes). Ces nouvelles orientations sont prometteuses. J'ai aussi pris conscience de la "superficialité" de certains de mes travaux sédimentologiques, en particulier en ce qui concerne la stratégie d'échantillonnage et le traitement statistique de l'information. Mon passage à bord du navire océanographique *Marion Dufresne II* a été plus que profitable, grâce à Nicolas Thouveny et Ian Mac Cave.

Mes perspectives de recherche pour les cinq années à venir correspondent à une multiplication des sites de travail dans le cadre de programmes de recherche en cours ou déposés. J'ai cinq objectifs tendant à mieux décrypter des paysages littoraux surchargés d'histoire (figure 74) :

1. Mesurer, dater et interpréter la mobilité relative verticale du niveau de la mer sur différents sites et dans des contextes tectoniques variés, en particulier sur les côtes du Liban, dans le cadre du programme CEDRE (2000-2001, renouvellement demandé pour 2002-2003), et en Israël (projet franco-israélien Arc-en-Ciel/Keshet 2001-2002), dans le secteur de Dor et d'Athlit, où de superbes trottoirs à vermets laissent présager une bonne récolte de vestiges biologiques immergés. Nous tenterons d'associer les équipes des modélisateurs de R. W. Peltier et de K. Lambeck pour essayer de valider les données des modèles par rapport aux mesures de terrain (projet Arc-en-Ciel pour l'étude des littoraux de Galilée, projet franco-italien Galileo pour le golfe de Pouzzoles, projet ECLIPSE 2001 TRANSMED marseille-Djerba).

2. Préciser la variation latérale de la ligne de rivage. La plupart des secteurs étudiés sont caractérisés par une progradation rapide de la ligne de rivage depuis 5000 ans environ, dans un cadre de stabilisation de la montée du niveau de la mer d'origine eustatique. Je souhaite développer ce thème, particulièrement en ce qui concerne les bassins portuaires de Sidon et de Tyr au Liban (programmes CEDRE, MAE et IUF) et d'Ampurias en Espagne (projet franco-espagnol Picasso).

3. Identifier par carottage la localisation de ports antiques célèbres dont on connaît peu de choses, en particulier les ports de Byblos (Liban, programme CEDRE), de Cumes (Italie, programmes CJB/CEE et projet Galileo) et de Taposiris Magna sur le lac Mariout (Egypte, Programmes MOM et MAE). Nous voulons préciser la paléogéographie des bassins portuaires et des chenaux de communication entre les bassins et la mer.

4. Etudier les rythmes et la vitesse du détritisme et du colmatage des bassins antiques, en relation avec l'occupation du sol sur le bassin-versant et l'aménagement urbain et portuaire sur la longue durée, en particulier en ce qui concerne le port fluvial d'Aquileia (Italie, programmes EFR, MMSH), sur un ancien bras fluvial de l'Isonzo. A Fréjus (Var), en collaboration avec le Service Municipal d'Archéologie, nous voulons reconstituer l'histoire paléoenvironnementale du site par rapport au delta de l'Argens. Après une première campagne de carottage un peu décevante (Pocachard, 1999), nous allons commencer une prospection géophysique haute-résolution sous la direction d'André Revil (CEREGE)

5. Evaluer les premiers impacts d'origine anthropique sur les biocénoses marines et les pollutions et dégradations du milieu naturel littoral, par la mesure des isotopes stables du plomb et les indicateurs biologiques d'eutrophisation des bassins (macrofaune, ostracodes, foraminifères, diatomées ainsi que les traces des microperforants).

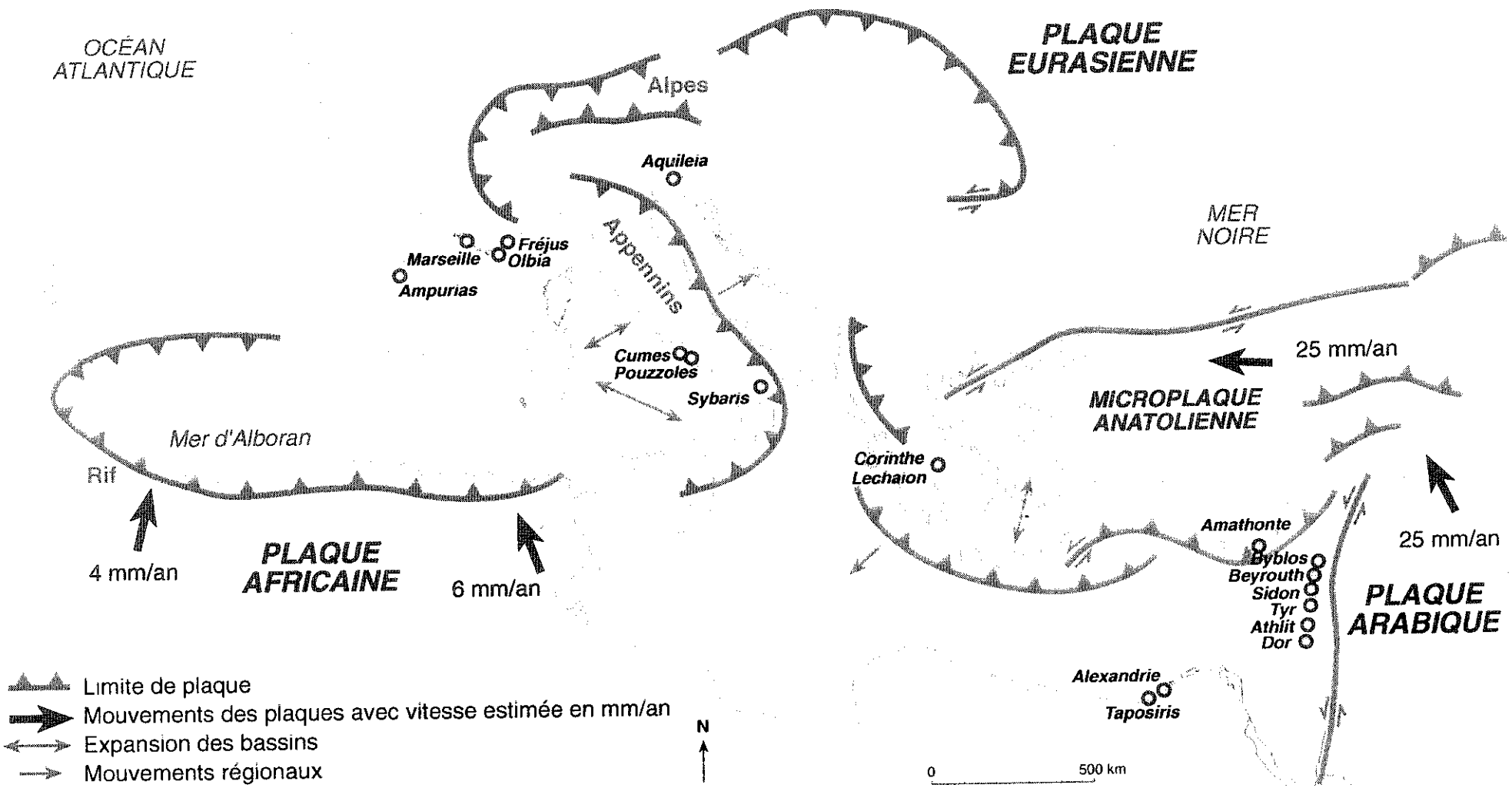


Figure 74 : Perspectives de recherches.

Références bibliographiques

ADEY W. H., (1986), Coralline algae as indicators of sea-level, *in "Sea-level research . a manual for the collection and evaluation of data*, O. Van de Plassche *ed*., pp. 883-904

AGER D., (1989), Lyell's pillars and uniformitarianism, *Journal of the Geological Society*, 146, pp. 603-605.

AGER D , (1995), *The new catastrophism, the importance of the rare event in geological history*, Cambridge University Press, 231 p.

ALOISI J. C., MONACO A., PLANCHAIS N., THOMMERET J , et Y. THOMMERET, (1978), The Holocene transgression in the golfe du Lion, Southwestern France : paleogeographic and paleobotanical evolution, *Géographie Physique et Quaternaire*, 32, 2, pp. 145-162.

AMALFITANO P , CAMODECA G. et M MEDRI, *eds*., (1990), *I Campi Flegrei, un itinerario archeologico*, Marsilio ed., Venise, 340 p.

AMBERT P., (1973), Recherches sur le Quaternaire marin de l'étang de Berre (Bouches du Rhône), *Bull. Asso. Fr. Et. Quat*., 4, pp. 255-266.

AMBERT P., (1991), *L'évolution du Languedoc Central depuis le Néogène (Grands Causses méridionaux, piémont languedocien)*. Thèse d'Etat, Université de Provence, Aix-en-Provence, 2 vols., 295 p. et ann.

AMBERT P., (1995), Le cadre géographique et géologique de Narbonne antique, *in "l'Homme préhistorique et la mer"*, 120° congrès CTHS, Aix-en-Provence, pp. 93-105.

AMBERT P., AMBERT M., et G. MAURIN, (1982), Littoraux miocènes et quaternaires du Languedoc occidental, *C.R. Acad. Sci Paris*, 295, 2, pp. 251-254

ANNECCHINO R., (1960), *Storia di Pozzuoli e della zona Flegrea*, Comune di Pozzuoli, 363 p.

ANTONIOLI F., CHEMELLO R., IMPROTA S. et S. RIGGIO, (1999), *Dendropoma* lower intertidal reef formations and their palaeoclimatological significance, NW Sicily, *Marine Geology*, 161, pp 155-170.

ANTONIOLI F., SILENZI S et S. FRISIA, (sous presse), Tyrrhenian holocene palaeoclimate trends from spelean serpulids, *Quaternary Science Reviews*.

ARDAILLON E., (1896), Rapport sur les fouilles du port de Délos, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, Ecole française d'Athènes, 20, pp 428-445.

ARDAILLON E , (1898), Quomodo Graeci collocaverint portus atque aedificaverint (Comment les Grecs établirent les ports et les construisirent), thèse latine de doctorat ès lettres, Paris, Le Bigot, 79 p.

ARNAUD P M., et K. LEUNG TACK, (1971), Faunes malacologiques du Lacydon antique et du Vieux Port de Marseille : Comparaison écologique et remarques sur la pollution, *Tethys*, 3, 1, pp. 105-112.

BABBAGE C., (1834), Observations on the Temple of Serapis at Pozzuoli near Naples ; with some remarks on certain causes wich may produce geological cycles of great extent, *Proceedings Geol. Soc. of London*, vol 2, *Geological Transactions*, série 1, vol. 4, pp. 72-76

BABBAGE C, (1847), Observations on the Temple of Serapis at Pozzuoli near Naples, with remarks on certain causes wich may produce geological cycles of great extent, *Quaterly Journal of the Geological Society of London*, 3, pp. 186-217.

BARBERI F., CASSANO E., LA TORRE P. et A. SBRANA, (1991), Structural evolution of Campi Flegrei in light of volcanological and geophysical data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, pp. 33-49.

BARBERI F., CORRADO G., INNOCENTI F. et G. LUONGO, (1984), Phlaegrean fields 1982-1984: Brief Chronicle of a volcano emergency in a densely populated area, *Bull. Volcanol*, 47, 2, pp. 175-185.

BARD E., HAMELIN B, ARNOLD M., MONTAGGIONI L., CABIOCH G., FAURE G., et F. ROUGERIE, (1996), Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Letters to Nature*, 382, , pp. 241-244.

BARLIER F. *et al.*, (1983), The geoid of the Mediterranean Sea deduced from Seasat data, *Proc 2nd. Intern. Symp. Geoid in Europe and in the Mediterranean area*, Rome, 1982, Ist. Geogr. Mil. Ital., pp. 14-35.

BARRA D., (1991), *Studio del Pleistocene superiore-Olocene delle aree vulcaniche campane*, Thèse de Géologie, Université des Sciences Federico II, Naples, 298 p.

BARTOLINI C. et L. CAROBENE, (1996), Italy's instability in the coastal domain, *Z. Geomorph N. F.*, Suppl.-Bd. 102, pp. 71-94

BAULIG H., (1935), *The changing sea level, four lectures given at the University of London in november 1933*, Institute of British Geographers, Publication n° 3, 46 p.

BECKINSALE R. P. et R. J. CHORLEY, (1991), *The history of the study of landforms or the development of geomorphology, Historical and regional geomorphology (1890-1950)*, vol. 3, Routledge, 496 p.

BELLAICHE G, VERGNAUD-GRAZZINI C., et L. GLANGEAUD, (1969), Les épisodes de la transgression flandrienne dans le golfe de Fréjus, *C.R. Acad. Sci*, Paris, 268, D, pp. 2765-2770.

BELLAN-SANTINI D., LACAZE J.C. et C. POIZAT, (1994), *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée*, Coll. Patrimoines Naturels, 19, Muséum National d'Histoire Naturelle, 246 p.

BELLOTTI P, CHIOCCI F. L., MILLI S., TORTORA P. et P. VALERI, (1994), Sequence stratigraphy and depositional settings of the Tiber delta : integration of high-resolution seismics, well logs and archeological data, *Journal of Sedimentary research*, B 64, 3, pp. 416-432.

BELLOTTI P, MILLI S., TORTORA P. et P. VALERI, (1995), Physical stratigraphy and sedimentology of the Late Pleistocene-Holocene Tiber Delta depositional sequence, *Sedimentology*, 42, pp 617-634.

BENINI A., (1997), Una villa marittima nelle acque di Bacoli, note preliminari, *Atti del Convegno Nazionale di Archeologia Subacquea*, Anzio, 30 mai-1 juin 1996, Edipuglia, Bari, Associazione Italiana Archeologi Subacquei, pp. 193-202.

BENOIT F., (1947 ?), Notes de terrain, Fonds F. Benoit, archives du Palais du Roure, Avignon.

BENOIT F, (1948), Marseille, *Gallia*, 6, pp. 207-209.

BENOIT F., (1952), Minute de terrain du 12 décembre 1952, archives F. Benoit, S.R.A., Aix-en-Provence.

BENOIT F , (1953), Marseille, *Gallia,* 11, pp. 100-102.

BENOIT F., (1972), L'évolution topographique de Marseille Le port et l'enceinte à la lumière des fouilles, *Latomus*, 31, pp. 54-70

BERNAND A., (1988), *Alexandrie la Grande*, Hachette, Paris, 430 p.

BERNIER P. et R. DALONGEVILLE, (1996), Mediterranean coastal changes recorded in beach-rock cementation, *Z. Geomorph. N F*, suppl. Bd. 102, pp. 185-198.

BERRINO G. et G. CORRADO, (1991), Tidal signal in the recent dynamics of Campi Flegrei caldera, *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* 48, pp. 93-101.

BERRINO G., CORRADO G., LUONGO G. et B. TORO, (1984), Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift, *Bull. Volcanol.*, 47-2, pp. 187-200.

BERTRAND R., (1998), *Le Vieux Port de Marseille*, éditions J. Laffite, Marseille, 223 p.

BIANCHI G. G., HALL I. R., I. N. MAC CAVE et L. JOSEPH, (1999), Measurement of the sortable silt current speed proxy using the Sedigraph 5100 and Coulter Multisizer IIe : precision and accuracy, *Sedimentology*, 46, pp. 1001-1014.

BIROT P., (hommage), (1984), La mobilité des paysages méditerranéens, *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Travaux, 2, 387 p.

BLACKMAN D. J., (1973), Evidence of sea level change in ancient harbours and coastal installations, *in "Marine Archeology"*, D. J. D. Blackman ed., Colston Papers, 23, pp. 115-139.

BLACKMAN D. J., (1982a), Ancient harbours in the Mediterranean, part 1, *The International Journal of Nautical Archaeology and underwater Exploration*, 11, 2, pp. 79-104.

BLACKMAN D. J. (1982b), Ancient harbours in the Mediterranean, part 1, *The International Journal of Nautical Archaeology and underwater Exploration*, 11, 3, pp. 185-211.

BLACKMAN D., (1993), Les cales à bateaux, caractéristiques des anciens ports militaires, *Dossiers d'Archéologie*, 183, pp. 32-39

BLACKMAN D., (1996), Further evidence for the use of concrete in ancient harbor construction, *in "Caesarea Maritima, a retrospective after two millenia"*, A. Raban et K. G. Holum, eds., Brill, pp. 41-49.

BLANC F., BLANC-VERNET L., LAUREC A., LE CAMPION J. et L. PASTOURET, (1972), Application paléoécologique de l'analyse factorielle en composantes principales : interprétation des microfaunes de Foraminifères planctoniques quaternaires en Méditerranée : I - Etude des espèces de Méditerranée occidentale, *Téthys*, 4, 3, pp. 761-777.

BLANC F., BLANC-VERNET L., LAUREC A., LE CAMPION J. et L. PASTOURET, (1975), Application paléoécologique de l'analyse factorielle en composantes principales : interprétation des microfaunes de Foraminifères planctoniques quaternaires en Méditerranée : II - Etude des espèces de Méditerranée orientale, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 18, pp. 293-312

BLANC F., BLANC-VERNET L., LAUREC A., LE CAMPION J. et L. PASTOURET, (1976), Application paléoécologique de l'analyse factorielle en composantes principales : interprétation des microfaunes de Foraminifères planctoniques quaternaires en Méditerranée : III - Les séquences paléoclimatiques. Conclusions générales, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 20, pp. 277-296.

BLANC J.-J., (1995-96), Réflexions sur l'érosion littorale et les variations du niveau marin, du Pléistocène supérieur à l'actuel, en Méditerranée, relations avec les données de la Préhistoire, *Bull. Mus. Anthropol. Monaco*, 38, pp. 29-40.

BLANC J.-J., et E. BONIFAY, (1957), Observations sur le quaternaire des îles d'Hyères (Var), *Bull. Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 4, pp. 123-150.

BLANC J.-J. et H. FAURE, (1990), La montée récente du niveau de la mer, exemples de Marseille, Gênes et Venise (Méditerranée), *Géologie Méditerranéenne*, 17, 2, pp. 109-122.

BLANC J. J et R. MOLINIER, (1955), Les formations organogènes construites superficielles en Méditterranée occidentale, *Bull. inst. océano.*, Monaco, 1067, pp. 1-26, 1 planche h. t.

BLOOM A. L., (1967), Pleistocene shorelines : a new test of isostasy, *Geological Society of America Bulletin*, 78, pp. 1477-1494.

BOND G., SHOWERS W., CHESEBY M. *et al.*, (1997), A pervasive millenial-scale cycle in North Atlantic Holocene and Glacial climates, Science, 278, pp. 1257-1266.

BONIFAY E, (1962), *Recherches sur les terrains quaternaires dans le sud-est de la France*, Thèse de sciences naturelles, Bordeaux, Delmas, 194 p.

BONIFAY E., (1973), Données géologiques sur la transgression versilienne le long des côtes françaises de la Méditerranée, *in "Le quaternaire, Géodynamique, Stratigraphie et Environnement"*, 9ème congrès de l'INQUA, Christchurch, *Suppl. Bull. A. F. E. Q.*, 36, CNRS, Paris, pp. 137-142.

BONIFAY E, (1980), Niveaux marins plio-pléistocènes et tectonique récente des côtes françaises de la Méditerranée, actes du colloque : *Actes du colloque Niveaux marins et tectonique dans l'aire méditerranéenne*, C.N.R.S., pp. 283-302.

BONIFAY E. et J. COURTIN, (1995), Les remplissages des grottes immergées de la région de Marseille, *in "l'Homme préhistorique et la mer"*, 120° congrès CTHS, Aix-en-Provence, pp. 11-29.

BONIFAY E. COURTIN J. et J. THOMMERET, (1971), Datation de la transgression versilienne dans la région de Marseille, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 273, D, pp. 2042-2044.

BONIFAY M., (1983), Eléments d'évolution des céramiques de l'antiquité tardive à Marseille d'après les fouilles de la Bourse, *Revue archéologique de Narbonnaise*, 16, pp. 285-346.

BORREANI M., (1998), Toulon (*Telo Martius*) : les aménagements portuaires antiques de l'îlot de l'Equerre, *Annales de la S. S. N. A. T. V.*, 50, pp. 139-151.

BOUCHAYER A., (1931), *Marseille ou la mer qui monte*, Editions des Portiques, Paris, 256 p.

BOULIN J, (1977), *Méthodes de la stratigraphie et géologie historique*, Masson, coll. Sciences de la Terre, 226 p.

BOURCART J, (1938), La marge continentale, essai sur les régressions et transgressions marines, *Bulletin de la Société Géologique de France*, Notes et Mémoires, 5° série, pp. 393-474.

BOURCIER M., (1980), Evolution récente des peuplements macrobenthiques entre La Ciotat et les îles des Embiez (Côte de Provence), processus de contamination du benthos entre bassins côtiers voisins, *Téthys*, 9, 3, pp. 197-206.

BOURCIER M., (1982), Evolution au cours des quinze dernières années des biocoenoses benthiques et de leurs faciès dans une baie méditerranéenne soumise à l'action lointaine de deux émissaires urbains, *Téthys*, 10, 4, pp. 303-313.

BOURGUET M.-N., (1998), De la Méditerranée, *in "L'invention scientifique de la Méditerranée (Egypte, Morée, Algérie)"*, M.-N. Bourguet, B. Lepetit, D. Nordman et M. Sinarellis eds., Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, pp. 7-28.

BOURGUET M.-N., LEPETIT B., NORDMAN D et M. SINARELLIS, (eds.), (1998), *L'invention scientifique de la Méditerranée (Egypte, Morée, Algérie)*, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 328 p.

BOUSQUET B., (1999), La mobilité du paysage lybien en Syrtique, *Géomorphologie, relief, processus, environnement*, 2, pp. 101-110.

BOUSQUET B. et P. Y. PECHOUX, (1980a), Le site d'Amathonte et son voisinage : étude de géomorphologie et de géographie historique, *Géodoc*, 11, Toulouse, 42 p.

BOUSQUET B. et P. Y. PECHOUX, (1980b), Géomorphologie, archéologie, histoire dans le bassin oriental de la Méditerranée : principes, méthodes, résultats préliminaires, *Méditerranée*, 1, pp. 33-45.

BOUSQUET B., DUFAURE J. J. et P. Y. PECHOUX, (1983), Temps historiques et évolution des paysages égéens, *Méditerranée*, 2, pp. 3-25.

BOUSQUET B., DUFAURE J. J. et P. Y. PECHOUX, (1987), Ports antiques et lignes de rivage égéennes, *in "Colloque international du CNRS, Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée d'après les données de l'archéologie"*, colloque d'Aix-en-Provence de 1985, Paris, CNRS, pp. 137-154.

BRANDON C., (1996), Cements, concrete and settling barges at Sebastos : Comparisons with other roman harbor examples and the description of Vitruvius, *in "Caesarea Maritima, a retrospective after two millenia"*, A. Raban et K. G. Holum eds., Brill, pp. 25-40.

BRAUDEL F., (1977), *La Méditerranée*, Arts et Métiers graphiques, Paris, 2 vols.

BRAVAIS A., (1840), Sur les lignes d'ancien niveau de la mer dans le Finmark, *in "Voyages en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feröe, pendant les années 1838, 1839 et 1840 sur la corvette La Recherche"*, vol. 1, part. 1, pp. 57-137.

BROCHIER J. L., (1994), Etude de la sédimentation anthropique, la stratégie des ethnofaciès sédimentaires en milieu de constructions en terre, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 118, pp. 619-645.

BRÜCKNER H., (1986), Man's impact on the evolution of the physical environment in the Mediterranean region in historical times, *Geo-Journal*, 13, pp. 7-17.

BRÜCKNER H., (1990), Changes in the Mediterranean ecosystem during antiquity, a geomorphological approach as seen in two examples, *in "Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean landscape*, Entjes-Nieborg et Van Zeist eds., Rotterdam, Balkema, pp. 127-137.

BRÜCKNER H., (1997), Coastal changes in western Turkey; rapid progradation in historical times, *in "Transformations and evolution of the Mediterranean coastline"*, Briand F. et Maldonado A. eds., CIESM Science Series, *Bulletin de l'Institut Océanograhique*, Monaco, 18, pp. 63-74.

BRÜCKNER H. et G. HOFFMANN, (1992), Human-induced erosion processes in Mediterranean countries, evidences from archeology, pedology and geology, *GEOÖKOplus*, 3, pp. 97-110.

BRUZZI C., (1998), *Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône*, Thèse de géographie physique, Université de Provence, Centre d'Aix, 325 p.

CAILLEUX A., (1952), Récentes variations du niveau des mers et des terres, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6° série, 2, pp. 135-144

CALDWELL J. M., (1939), Sedimentation in harbors, *in "Applied sedimentation"*, P. D. Trask ed., The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, pp. 291-299.

CAMBRAY F., (1997), *Recherche de géomorphologie littorale, typologie des hoa fonctionnels d'atoll, Tuamotu, Polynésie française*, DEA de géographie physique, UFR de géographie, Université de Provence, 39 p. et ann.

CAMPY M. et J.-J. MACAIRE, (1989), *Géologie des formations superficielles, géodynamique, faciès, utilisation*, Masson, 433 p.

CAPOCCI E., (1835), Nuove ricerce sul noto fenomeno delle colonne perforate dalle foladi nel tempio di Serapide in Pozzuoli, *Il Progresso delle Scienze, delle Lettere e delle Arti*, 11, Naples, pp. 65-75.

CAPUTO M., (1979), Two thousands years of geodetic and geophysical observations in the Phlaegrean Fields near Naples, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 56, pp. 319-328.

CAPUTO P., (1995-96), Attivita di tutela della soprintendenza archeologica per le province di Napoli e Caserta, *Bolletino di archeologia subacquea*, 1-2, pp. 237-241.

CAPUTO M. et L. PIERI, (1976), Eustatic sea variation in the last 2000 years in the Mediterranean, *Journal of Geophysical Research*, 81, 33, pp 5787-5790.

CARBONEL P., (1980), *Les ostracodes et leur intérêt dans la définition des écosystèmes estuariens et de la plateforme continentale, essais d'application à des domaines anciens*, Thèse d'Etat de Sciences, Université Bordeaux I, 350 p

CAROBENE L. et A. BRAMBATI, (1975), Metodo per l'analisi morfologica quantitativa delle spiagge, *Boll. Soc. Geol. It.*, 94, pp. 479-493.

CARRE F., (1991), Edouard Ardaillon (1867-1926), un géographe méditerranéen à Lille, *Hommes et Terres du Nord*, 2-3, pp. 113-119.

CAYEUX L., (1907), Fixité du niveau de la Méditerranée à l'époque historique, *Annales de Géographie*, 16, pp. 97-116.

CAYEUX L., (1914), Les déplacements de la mer à l'époque historique, *Revue Scientifique*, 52, pp. 577-586

CAZENAVE A., (1999), Les variations actuelles du niveau moyen de la mer, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 329, pp. 457-469.

CHAMBERS F. M., ed., (1993), *Climate change and Human Impact on the Landscape, studies in palaeoecology and environmental archaeology*, Chapman et Hall, Londres, 303 p.

CHELBY F., PASKOFF R. et P. TROUSSET, (1995), La baie d'Utique et son évolution depuis l'antiquité : une réévaluation géoarchéologique, *Antiquités africaines*, 31, pp. 7-51.

CINQUE A., ROLANDI G. et V. ZAMPARELLI, (1985), L'estensione dei depositi marini olocenici nei Campi Flegrei in relazione alla vulcano-tettonica, *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, 104, pp. 327-348.

CINQUE A., RUSSO F. et M. PAGANO, (1991), La successione dei terreni di eta post-romana delle terme di Miseno (Napoli) : Nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisisma puteolano, *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, 110, pp. 231-244.

CINQUE A., AUCELLI P. P. C., BRANCACCIO L. *et al.*, (1997), Volcanism, tectonics and recent geomorphological change in the bay of Napoli, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, suppl. 3, 2, pp. 123-141

CIVETTA, L., BIANCO, F., BERRINO, G., CAPUANO, P., CASTELLANO, M., DEL GAUDIO, C., DE VITA, S., DI VITO, M., GODANO, C., QUARENI, F., RICCIARDI, G. et C. RICCO, (1995), *La Sorveglianza delle aree vulcaniche napoletane*, Osservatorio Vesuviano

CLARK J. A., FARRELL W. E., et W. R. PELTIER, (1978), Global changes in postglacial sea level : a numerical calculation, *Quaternary Research*, 9, pp. 265-287.

CLAUZON G., (1979-80), Le canyon messinien de la Durance (Provence, France) : une preuve paléogéographique du bassin profond de dessication, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 29, pp. 15-40.

CLAUZON G., (1996), Limites de séquences et évolution géodynamique, *Géomorphologie : Relief, processus, environnement*, 1, pp. 3-22

CLAVAL P., (1988), Les géographes français et le monde méditerranéen, *Annales de Géographie*, Colin, 97, 542, pp. 385-403

CLAVAL P., (1998), Histoire de la Géographie française de 1870 à nos jours, Nathan, 543 p.

CLERC M., (1927-1929), *Massalia, histoire de Marseille dans l'Antiquité des origines à la fin de l'Empire romain d'occident (476 après J.-C.)*, 2 T., Réimpression Laffitte Reprints (1971), 489 p.

COLLINA-GIRARD J., (1997), Profils littoraux en plongée et niveaux d'érosion eustatiques près de la grotte Cosquer (Marseille) et en Provence, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 324, IIa, pp. 607-615.

COLLINA-GIRARD J., (1998a), Paliers bathymétriques observés en plongée au littoral occidental de la Corse. Conséquences néotectoniques, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 327, pp. 121-126.

COLLINA-GIRARD J., (1998b), Niveaux de stationnement marins observés cartographiquement et en plongée (0 à -60 m) entre Marseille et Cassis (Bouches-du-Rhône, France), *in "L'Homme préhistorique et la Mer"*, 12° congrès CTHS, Aix-en-Provence, pp. 31-52.

COLLINA-GIRARD J., DEGIOVANNI Cl. et R. LAFONT, (1996), Datation d'un paléorivage submergé (-100m) à l'Ouest de la grotte Cosquer (Marseille, Méditerranée française), *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 322, IIa, pp. 341-344.

COLOMBIER A.-M., (1988), Harbour or harbours of Kition on Southeastern coastal Cyprus, *in "Archeology of coastal changes"*, Proceedings of the first international symposium "cities on the sea-past and present", Raban A. ed., *BAR international series*, 404, pp. 35-46

COLQUHOUN D. J. et M. J. BROOKS, (1987), New evidence for eustatic components in Late Holocene sea levels, *in "Climate, history, periodicity and predictability"*, Rampino M.C., Sanders J. E., Newman W. S. et L. K. Königsson, eds., Van Nostrand Reinhold company, New-York, pp. 143-156.

COSQUER H., (1992), *La grotte Cosquer, plongée dans la préhistoire*, Solar, 119 p.

CURRAY J. R., (1964), Transgressions and regressions, *in "Papers in Marine geology"*, Miller R. L. ed., Shepard commemorative volume, Mac Millan, pp. 175-203.

DALONGEVILLE R., (1986), *Formes de corrosion et de construction organogène des littoraux actuels calcaire de Méditerranée, termes de comparaison pris en mer Rouge*, Thèse de doctorat d'Etat, Université de Bretagne occidentale, 2 vol., 374 p., ann. 149 p.

DALONGEVILLE R. et P. SANLAVILLE, (1984), Essai de synthèse sur le *beach-rock*, *in "Le beach-rock"*, R. Dalongeville et P. Sanlaville eds., Travaux de la Maison de l'Orient, 8, Lyon, pp. 161-167.

DALONGEVILLE R., BERNIER P., PRIEUR A. et T. LE CAMPION, (2000), Les variations récentes de la ligne de rivage du sud-est de Chypre, *Géomorphologie*, 1, pp. 13-20.

DALY R., A., (1934), *The changing World of the Ice Age*, Yale University Press, New Haven, 271 p.

DARWIN C. R., (1842), *The structure and distribution of coral reefs*, Smith, Elder, Londres.

DAVIDSON D. A., (1971), Geomorphology and prehistoric settlement of the plain of Drama, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 20, pp. 22-26.

DAVIDSON D. A., (1980), Erosion in Greece during the first and second millenium B.C., *in "Timescales in geomorphology"*, R. A. Cullingford et D. A. Davidson eds., pp. 143-158.

DAVIS W. M., (1902), Base level, grade and peneplain, *Journal of Geology*, 10, pp. 77-111.

DEGIOVANNI C. (1972), Essai d'interprétation hydrodynamique de la granulométrie des sédiments sableux, plage de Pramousquier, Var, (France), *in "The Mediterranean sea, a natural sedimentation laboratory,"* D. J. Stanley ed., pp. 305-320.

DEGIOVANNI C. (1973), *Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi-Ferruch (ouest d'Alger)*, Thèse de géologie marine et de sédimentologie, Université de Provence, 105 p. et ann.

DE JORIO A., (1817), *Guida di Pozzuoli en contorno*, Napoli, 151 p.

DE JORIO A., (1820), *Ricerche sul tempio di Serapide in Pozzuoli*, Napoli, 68 p. et ann.

DELIBRIAS G. et J. LABOREL, (1971), Recent variations of the sea level along the brazilian coast, *Quaternaria*, 14, pp. 45-49.

DENIZOT G., (1922), Les dernières variations du niveau marin sur les côtes de la basse-Provence, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 3 juillet, pp. 41-43.

DENIZOT G., (1939), Le niveau récent et les dernières variations, *in "Titres et travaux de Georges Denizot, notice sur les recherches de géologie"*, Imprimerie Marseillaise, Marseille, pp. 89-92.

DENIZOT G., (1951), les anciens rivages de la Mediterranée française, *Bull. Inst. Océanogr.*, Monaco, 992, 56 p.

DENIZOT G., (1957), le rivage de Provence et Languedoc au temps des ligures, la côte provencale, *Revue d'Etudes Ligures*, 1-2, pp. 5-50.

DENIZOT G., (1959), le rivage de Provence et Languedoc au temps des ligures, les Bouches du Rhône et la côte languedocienne, *Revue d'Etudes Ligures*, 1-2, pp. 24-86.

DEPARIS V. et H. LEGROS, (2000), *Voyage à l'intérieur de la Terre, de la géographie antique à la géophysique moderne, une histoire des idées*, CNRS éditions, 627 p.

DEPERET Ch., (1906), Les anciennes lignes de rivage de la côte française de la Méditerranée, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6, pp 207-230.

DEVERIN L., (1920), Note sur le sable du port de Monaco et sur quelques sédiments arénacés de la région, *Bulletin de l'Institut Océanographique*, Monaco, 371, 19 p.

DEVOY R. J. N., (1987), Introduction : first principles and the scope of sea-surface studies, *in "Sea Surface Studies"*, R. J N Devoy ed., Croom Helm, Londres, pp. 1-30.

DI FRAIA G., (1993), Baia sommersa. Nuove evidenze topografiche e monumentali, *in "Archeogia subacquea, studi, ricerche e documenti"*, Libreria dello Stato, Roma, pp 21-48

DI FRAIA G., LOMBARDO N. et E SCOGNAMIGLIO, (1988), Contributi alla topografia di Baia sommersa, *Puteoli studi di storia antica*, 9-10, pp 211-299.

DOMINEY-HOWES D., DAWSON A. et D. SMITH, (1998), Late Holocene coastal tectonics at Falasarna, western Crete : a sedimentary study, *in "Coastal tectonics"*, Geological Society, Londres, Stewart I. et Vita-Finzi Cl. eds, 146, pp. 343-352.

DONOGHUE J. F., STAPOR F W. et W. F. TANNER, (1998), Discussion of : Otvos E. G., 1995. Multiple Piocene-Quaternary marine highstands, northeast Gulf coastal plain-fallacies and facts, *Journal of Coastal Research*, 11, 984-1002, *Journal of Coastal Research*, 14, pp. 669-674

DOUMET-SERHAL C., dir., (2000), Sidon, *National Museum News*, 10, 78 p.

DROCOURT D., (1999), L'archéologie urbaine au temps de Michel Clerc, *in "Parcours de villes, Marseille, 10 ans d'archéologie, 2600 ans d'histoire"*, A. Hesnard, M. Moliner, F. Conche et M Bouiron eds., Musée d'Histoire de Marseille, Edisud, pp. 11-14.

DUBAR M., (1987), Données nouvelles sur la transgression holocène dans la région de Nice (France), *Bull. Soc. géol. France*, 8, 3, 1, pp. 195-198.

DUBAR M., (1988), La série transgressive côtière holocène de la région de Nice, un modèle sédimentaire, *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 1, pp. 11-15.

DUBAR M. et E. ANTHONY, (1995), Holocene environmental change and river-mouth sedimentation in the Baie des Anges, French Riviera, *Quaternary Research*, 43, pp. 329-343.

DUBAR M., GUGLIEMI Y et C. FALGUERES, (1992), Néotectonique et sédimentation côtière quaternaires en bordure de l'arc subalpin de Nice (A.-M., France), *Quaternaire*, 3, 3-4, pp. 105-110.

DUBOIS Ch., (1907), *Pouzzoles antique (histoire et topographie)*, Ecoles d'Athènes et de Rome, fasc 93, A. Fontemoing éditeur, 450 p. et ann.

DUPRAT E., (1935), Marseille, l'évolution urbaine, *in "Les Bouches du Rhône, Encyclopédie départementale"*, T. 14, 117 p

DUTTON C. E., (1892), On some of the greater problems of physical geology, *Bulletin of the Phisolophical Society of Washington*, 9, pp. 51-64.

DVORAK J. J et G. BERRINO, (1991), Recent ground movement and seismic activity in Campi Flegrei, southern Italy: episodic growth of a resurgent dome, *Journal of Geophysical Research*, 96, pp 2309-2323

DVORAK J. J. et P. GASPARINI, (1991), History of earthquakes and vertical ground movement in Campi Flegrei caldera, Southern Italy : comparison of precursory events to the AD 1538

eruption of Monte Nuovo and of activity since 1968, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, pp. 77-92.

DVORAK J. J. et G. MASTROLORENZO, (1991), The mechanisms of recent vertical crustal movements in Campi Flegrei caldera, southern Italy, *Special paper of the Geological Society of America*, 263, 47 p.

ELLENBERGER F., (1988), *Histoire de la géologie, des Anciens à la première moitié du XVII° siècle*, tome 1, Lavoisier, 352 p.

ELLENBERGER F., (1994), *Histoire de la géologie, la grande éclosion et ses prémices (1660-1810)*, tome 2, Lavoisier, 383 p.

ESCALON de FONTON M., (1979), La paléogéographie et l'évolution du paysage dans la région de Marseille, *in "Naissance d'une ville : Marseille"*, ouvrage coll., Edisud, pp. 5-20.

ETIENNE R., MÜLLER CH. et F. PROST, (2000), *Archéologie historique de la Grèce Antique*, Ellipses, 399 p.

EUZENNAT H., (1969), Marseille, *Gallia*, 27, pp. 426-427.

EUZENNAT H., (1976), Les fouilles de la Bourse à Marseille, *Comptes-Rendus à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, pp. 529-552.

EUZENNAT H. et F. SALVIAT, (1968a), *Les découvertes archéologiques de La Bourse à Marseille*, CRDP, Marseille, 50 p.

EUZENNAT H et F. SALVIAT, (1968b), Les fouilles de Marseille, *Comptes-Rendus à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, pp. 144-159.

FABRE G. et J. VAUDOUR, (1992), Géoarchéologie de l'eau : l'aqueduc romain de Nîmes et le Pont du Gard, *Annales de Géographie*, 568, pp. 609-621.

FAIRBANKS R. G., (1989), A 17 000-year glacio-eustatic sea level record; influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation, *Nature*, 342, pp. 637-642.

FAIRBRIDGE R. W., (1960), The changing level of the sea, Scientific American, 202, 5, pp. 70-79

FAIRBRIDGE R. W., (1961a), La base eustatique de la géomorphologie, *Annales de Géographie*, 381, pp. 486-492.

FAIRBRIDGE R. W., (1961b), Eustatic changes in sea level, *in "The Physics and Chemistry of the Earth"*, L. H. Ahrens *et al.* eds., 4, Pergamon Press Londres, pp. 99-185.

FAIRBRIDGE R. W., (1961c), Convergence of evidence on climatic change and ice ages, *Annals of the New-York Academy of Science*, 95, 1, pp. 542-579.

FAIRBRIDGE R. W., (1961d), Radiation solaire et variations cycliques du niveau marin, *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 2, 4,1, pp. 2-14.

FAIRBRIDGE R. W., (1987), The spectra of sea level in a Holocene time frame, *in* "Climate, history, periodicity and predictability", Rampino M.C., Sanders J. E., Newman W. S. et L. K. Königsson eds., Van Nostrand Reinhold company, New-York, pp. 127-142.

FAIVRE E., (1862), *Oeuvres scientifiques de Goëthe*, Hachette, Paris.

FAURE H. (1977), Problèmes paléophysiques et paléogéographiques posés par les niveaux marins quaternaires, *Bull. Ass. Fr. Et. Quat.*, 53, pp. 69-70.

FELICI E., (1993), Osservazioni sul porto neroniano di Anzio e sulla tecnica romana delle costruzioni portuali in calcestruzzo, *Archeologia Subacquea*, 1, pp. 71-104

FELICI E. et G. BALDERI, (1997), Il porto romano di Cosa : appunti per l'interpretazione tecnica di un'opera marittima in cementizio, *Archeologia Subacquea, Studi, Ricerche e Documenti*, 2, pp 11-19.

FEVRET M. et P. SANLAVILLE, (1965), L'utilisation des vermets dans la détermination des anciens niveaux marins, *Méditerranée*, 4, pp. 357-365.

FEVRET M., PICARD J. et P. SANLAVILLE, (1967), Sur la possibilité de datation de niveaux marins quaternaires par les Vermets, *C. R. Acad Sciences*, Paris, D, 264, pp. 1407-1409.

FEVRIER P.-A., BATS M., CAMPS G., FIXOT M., GUYON J. et J. RISER, (1989), *La provence des origines à l'an mil, Histoire et archéologie*, Ouest-France Université, 521 p.

FIRTH C., STEWART I., MACGUIRE W. J., KERSHAW S. et C. VITA-FINZI, (1996), Coastal elevation changes in eastern Sicily : implications for volcano instability at Mount Etna, *in "Volcano instability on the Earth and others planets"*, W. J. MacGuire, A. P. Jones et J. Neuberg eds., Geological Society Special Publication, 110, pp. 153-167.

FLEMING K., JOHNSTON P., ZWARTZ D., YOKOHAMA Y., LAMBECK K. et J. CHAPPELL, (1998), Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far- and intermediate-field sites, *Earth and Planetary Science Letters*, 163, pp. 327-342.

FLEMMING N. C., (1969), Archeological evidence for eustatic change of sea level and earth movements in the Western Mediterranean in the last 2000 years, *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.*, 109, 125 p.

FLEMMING N. C., (1971), *Cities in the sea*, Doubleday, New-York, 222 p

FLEMMING N. C., (1972), Relative chronology of submerged pleistocene marine erosion features in the Western Mediterranean, *The Journal of Geology*, 80, 6, pp. 633-662.

FLEMMING N. C., (1978), Holocene eustatic changes and coastal tectonic in the northeast Mediterranean : implications for models of crustal comsuption, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A, 289, 1362, pp. 405-458.

FLEMMING N. C., (1979-80), Archeological indicators of sea level, *Oceanis*, 5, hors-série, pp 149-166.

FLEMMING N. C., (1992), Predictions of relative coastal sea-level change in the Mediterranean based on archeological, historical and tide-gauge data, *in "Climatic change and the Mediterranean"*, L. Jeftic, J. D. Milliman et G. Sestini eds., pp. 247-281

FLEMMING N. C., (1996), Sea level, neotectonics and changes in coastal settlements : Threat and response, *in "The sea and History"*, E. E. Rice ed., Sutton pub., pp. 23-52.

FLEMMING N. C. et C.O. WEBB, (1986), Tectonic and eustatic coastal changes during the last 10.000 years derived from archeological data, *Z. Geomorph. N. F.*, 62, pp. 1-29.

FOCKE J. W., (1978), Limestone cliff morphology on Curacao (Netherlands Antilles) with special attention to the origin of notches and vermetid/coralline algal surf benches, *Z. Geomorph. N. F.*, 22, pp. 329-349.

FOLK R. L. et W. C. WARD, (1957), Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 1, pp. 3-26.

FORBES J. D., (1829), Physical notices of the bay of Naples, V, On the temple of Jupiter Serapis at Pozzuoli and the phenomena which it exhibits, *Edinburgh Journal of Science*, New Series, 1, pp. 260-286.

FOUACHE E., (1999), *L'alluvionnement historique en Grèce occidentale et au Péloponnèse*, Thèse de Doctorat, Université Paris IV-Sorbonne, 1994, *Bulletin de Correspondance Hellénique*, supplément 35, 235 p et ann.

FOUACHE E. et R. DALONGEVILLE, (1998), De la nécessaire prise en compte des sédiments dans la connaissance des variations récentes de la ligne de rivage, exemples d'Aghios Andreas (Grèce) et de Guverdjine Kaya (Syrie), *Géomorphologie*, 2, pp. 131-140.

FRANCO L., (1996), Ancient mediterranean harbours : a heritage to preserve, *Ocean and Coastal Management*, 30, 2-3, pp. 115-151.

FREDERIKSEN M., (1977), Una fonta trascurata sul bradisima puteolano, Acad. Naz. dei Lincei, *Atti dei Convegni Lincei*, 33, pp. 117-129.

FREDERIKSEN M., (1984), *Campania*, British School at Rome, 368 p.

FROGET Cl., (1974), *Essai sur la géologie du précontinent de la Provence occidentale*, thèse de sciences naturelles, 225 p. et planches en vol ann.

FROST H. et C. MORHANGE, (2000), Proposition de localisation des ports antiques de Byblos (Liban), *Méditerranée*, 1-2, pp. 101-104.

FUMANAL M. P., CARMONA P. et M. J. MEYER, (1982), Tres medios sedimentarios actuales en el Mediterraneo, *Cuad. de Geogr.*, Valencia, 31, pp. 97-128.

GAETA F. S., DE NATALE G., PELUSO F., MASTROLORENZO G., CASTAGNOLO D., TROISE C., PINGUE F., MITA D. G., et S. ROSSANO, (1998), Genesis and evolution of unrest episodes at Campi Flegrei caldera: The role of thermal fluid-dynamical processes in the geothermal system, *Journal of Geophysical Research*, 103, B9, pp. 20.921-20.933.

GANTES L.-F., (1992), La topographie de Marseille grecque. Bilan des recherches (1829-1891), collection *Etudes Massalètes*, 3, pp. 71-88.

GASSEND J.-M., (1982), *Le Navire antique du Lacydon*, Musée d'Histoire de Marseille, Marseille, 149 p. et ann.

GENNESSEAUX M. et Y. THOMMERET, (1968), Datation par la radiocarbone de quelques sédiments sous-marins de la région nicoise, *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 10, 2, pp. 375-382.

GEORGES K., (1999), *Recherches paléoenvironnementales sur le port antique d'Antibes, opération Port Prestige, anse Saint-Roch (Alpes-Maritimes, France)*, DEA de géographie physique, UFR de géographie, Université de Provence, 74 p et ann.

GEORGES K. et A. PRONE, (2000), Le site littoral de l'anse Saint-Roch à la fin de la montée marine holocène (fouilles de Port Prestige, Antibes, Alpes-Maritimes), résultats préliminaires, *Méditerranée*, 1-2, pp.53-59.

GIACOMMELLI L. et R. SCANDONE, (1992), *Campi Flegrei, Guida alle escursioni dei vulcani napoletani*, Liguori ed., 71 p.

GIAMMINELLI R., (1987), *Il centro di Pozzuoli, Rione Terra e Borgo*, Sergio Civita Editore, Naples, 203 p.

GIAMMINELLI R., (1996), Edilizia e urbanistica di Pozzuoli dal X° alla meta del XVIII° secolo dai documenti iconografici, *Bolletino Flegreo*, 3, pp. 42-88.

GIANFROTTA P. A., (1988), Les sites submergés : l'exemple de la côte napolitaine et des champs phlégréens, *Actes du Symposium International Thracia Pontica*, 4, pp. 385-398.

GIANFROTTA P. A., (1993), Puteoli sommersa, *in "Puteoli"*, Banco di Napoli, pp. 115-124

GIANFROTTA P. A., (1996), Harbor Structures of the Augustan Age in Italy, *in "Caesarea Maritima, a retrospective after two millenia"*, A Raban et K. G Holum, eds., Brill ed., pp. 65-76.

GIFFORD J. A., (1978), *Paleogeography of archaelogical sites of the Larnaca lowlands, southeastern Cyprus*. Ph D., Université du Minnesota, 192 p.

GIFFORD J. A., (1985), Post-Bronze age coastal change in the vicinity of Kition. *In "Excavations at Kition V"*, V. Karageorghis et M. Demas, eds., The Pre-Phoenician Levels, 1, pp. 375-387.

GIFFORD J. A., RAPP G. et V. VITALI, (1992), Palaeogeography of Carthage (Tunisia) : a coastal change during the first millenium BC, *Journal of Archeological Science*, 19, pp 575-596

GIRESSE P., (1987), Les changements du niveau des océans vers la fin du quaternaire. Causes et conditions : Essai de synthèse, *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 41, pp. 7-18.

GIUDICEPIETRO F., (1993), *La dinamica recente dell'area vulcanica flegrea*, Thèse de Sciences, Naples, 170 p.

GLACKEN C. L., (2000), *Histoire de la pensée géographique, l'Antiquité*, édité et présenté par Ph. Pinchemel, CTHS, 297 p.

GOETHE J. W., (1824), On the geognostical phaenomena of the temple of Serapis, *Edinburgh Philosophical Journal*, 11, 21, pp. 91-99.

GOHAU G. (1990a), *Une histoire de la géologie*, La Découverte, Le Seuil, 284 p.

GOHAU G. (1990b), *Les sciences de la Terre aux XVII° et XVIII° siècles, naissance de la géologie*, Albin Michel, Paris, 420 p.

GOIRAN J.-P., C. MORHANGE C., BOURCIER M, CARBONEL P et C. MORIGI, (2000), La mobilité des littoraux alexandrins à l'Holocène récent, marge occidentale du delta du Nil, Egypte, *Méditerranée*, 1-2, pp. 83-90.

GOODDFRIEND G. A. et D. J. STANLEY, (1999), Rapid strand-plain accretion in the northeastern Nile Delta in the 9th century A.D. and the demise of the port of Pelusium, *Geology*, 27, 2, pp. 147-150.

GOUVERNET Cl., (1946), Fouilles archéologiques exécutées dans les quartiers du Vieux Port à Marseille, rapports du 30 mars (2 p. et 1 planche) et du 10 mai 1946 (2 p.), archives F. Benoit, S.R.A., Aix-en-Provence.

GOUVERNET Cl., (1947), Fouilles archéologiques exécutées dans les quartiers du Vieux Port à Marseille, rapport du 8 décembre 1947 (6 p.), archives F. Benoit, Palais du Roure, Avignon.

GOUVERNET Cl., (1948), Une plage ancienne dans le Lacydon à Marseille, *Bull. Soc. Linn. de Prov.*, 16, pp. 13-19.

GRANIER J., (1969), Faune malacologique recueille au cours des fouilles archéologiques de la Bourse à Marseille, 21 p., inédit.

GRIMM E. C., (1987), CONISS : a FORTRAN 77 programm for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares, *Computers and Geosciences*, 13, 1, pp. 13-35.

GUERY R., (1992), Le port antique de Marseille, *in "Marseille grecque et la gaulle", Etudes Massaliètes*, 3, pp. 109-121.

GUERY R., PIRAZZOLI P., et P. TROUSSET, (1981), Les variations du niveau de la mer depuis l'antiquité à Marseille et à La Couronne, *Histoire et archéologie*, pp. 8-17.

GUILAINE J. (1991), *Pour une archéologie agraire*, Armand Colin, 576 p

GUILCHER A., (1954), Morphologie littorale du calcaire en Méditerranée occidentale (Catalogne et environs d'Alger), *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 241-242, pp. 50-58.

GULLIVER F. P., (1899), Shoreline topography, *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 34, 8, pp. 151-255.

GUNTHER R. T., (1903), *Contributions to the study of earth-movements in the bay of Naples*, Nichols and sons, Westminster, 2 fasc., 62 p et 49 p.

GUNTHER R. T., (1993), *Posilipo romana*, trad par D. Viggiani des différents textes publiés par Gunther entre 1903 et 1913, Electa, Napoli, 109 p.

GUSDORF G., (1985), *Les origines des sciences humaines (Antiquité, Moyen Age, Renaissance)*, Payot, Paris, 500 p.

GUYOT-ROUGEMONT Cl. et Cl. VAROQUEAUX, (1976), Coupe du port, *in "La faune du site gallo-romain et paléo-chrétien de La Bourse (Marseille)"*, L. Jourdan, Editions du CNRS, Aix-Marseille, 338 p.

HADJIDAKI E., (1996), The hellenistic harbor of phalasarna in Western Crete : A comparison with the hellenistic inner harbor of Straton's tower, *in "Caesarea Maritima, a retrospective after two millenia"*, A. Raban et K. G. Holum, eds., Brill, pp. 53-64.

HENAFF A., (1997), *Morphologie dynamique et budget sédimentaire des estrans meubles de la facade occidentale de la presqu'île de Crozon, de l'anse de Combrit et de l'anse du Pouldu*, thèse de Géographie physique, Université de Bretagne Occidentale, 2 vols., 441 p

HERMARY A., HESNARD A. et H. TREZINY, (1999), *Marseille grecque, la cité phocéenne (600-49 av. J.-C.)*, Errance, Hauts lieux de l'histoire, 184 p.

HESNARD A., (1994), Une nouvelle fouille du port de Marseille, place Jules Verne, *Comptes Rendus à l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres*, Janvier-Mars, pp. 195-217

HOLUM K. G., RABAN A. et J. PATRICH, eds., (1999), Caesarea Papers 2, *Journal of Roman Archaeology*, Supp. Series, 35, 440 p.

HOOKE R. L., (2000), On the history of humans as geomorphic agents, *Geology*, 28, 9, pp 843-846

HUMBOLDT A. (von), (1866), *Cosmos, essai d'une description physique du monde*, H. Faye et Ch. Galuski trad., Guérin, Paris, 4 vols.

HUTTON J., (1788), Theory of the earth or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1, 2, pp 209-304.

INMAN D. L., (1974), Ancient and modern harbors : a repeating phylogeny, *Proceedings of the 15th international conference on "coastal engineering"*, ASCE, New-York, pp 2049-2067.

INMAN D. L., (1983), Application of coastal dynamics to the reconstruction of paleocoastline in the vicinity of La Jolla, California, *in "Quaternary coastlines and marine archaeology, towards the prehistory of land bridges and continental sheves"*, P. M. Masters et N. C Flemming, Academic Press, pp 1-49.

JACQUOTTE R., (1962), Etude des fonds de maërl de Méditerranée, *Rec. Trav St. Mar. End*, 26, 41, pp 141-235.

JAMIESON T. F., (1865), On the history of the last geological changes in Scotland, *Quart J. Geol. Soc. Lond.*, 21, pp. 161-203.

JARDINE W. G., (1986), Determination of altitude, *in "Sea-level research : a manual for the collection and evaluation of data"*, O. Van de Plassche *ed.*, Geobooks, Norwich, pp. 569-590.

JOHNSON D W., (1928), Les variations du niveau de la mer et les modifications de la ligne de rivage, *Annales de Géographie*, 205, pp 25-34.

JORDA M. et M. PROVANSAL, (1996), Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du sud-est (Alpes du sud et Provence), *Bulletin de la Société géologique de France*, 176, 1, pp. 159-168

JORDA M., PARRON C., PROVANSAL M et M. ROUX, (1991), Erosion et détritisme holocènes en Basse Provence calcaire, l'impact de l'anthropisation, *Physio-Géo*, 22-23, pp. 37-47

JOURDAN J., (1976), *La faune du site gallo-romain et paléo-chrétien de la Bourse (Marseille)*, CNRS, Paris, 338 p.

KAYAN I., (1996), Holocene coastal development and archeology in Turkey, *Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd*, 102, pp. 37-59.

KELLETAT D., (1974), Beiträge zur regionalen Küstenmorphologie des Mittelmeerraumes, Gargano/Italien an den küsten Kretas, *Jahrbuch Akad. Wiss. in Göttingen*, pp. 122-124.

KELLETAT D., (1980), Formenschatz und Prozessgefüge des "biokarstes" an der Küste von Nordosk Mallorca (Cala Guya), *Berliner Geographische Studien*, Beitrage zur Geomorphologie und Länderkunde, 7, pp. 99-113.

KELLETAT D., (1988), Zonality of modern coastal processes and sea-level indicators, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 68, pp. 219-230

KELLETAT D., (1991), The 1550 BP tectonic event in the Eastern Mediterranean as a basis for assessing the intensity of shores processes, *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 81, pp. 181-194.

KIDSON C., (1986), Sea-level changes in the Holocene, *in "Sea-level research : a manual for the collection and evaluation of data"*, O. Van de Plassche O. ed., Geobooks, Norwich, pp 27-64.

KIDSON C. et A. HEYWORTH, (1979), Sea level, *Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, Sao Paulo, 1978, Brazil, pp. 1-27.

KIEN P., (1995), Holocene relative sea-level change and crustal movement in the southwestern Netherlands, *Marine Geology*, 124, pp. 21-41.

KLEEMANN K. H., (1973), Beitrag zur Kenntnis des Verhaltens von *Lithophaga lithophaga* (L) (Bivalvia), *Bohrloch. Sber. Ost. Akad. Wiss.*, 1, 182, 1, pp. 201-210

KRAFT J. C., KAYAN I. et O. EROL, (1980), Geomorphic reconstructions in the environs of ancient Troy, *Science*, 209, pp. 776-781.

KRAFT J.-C , RAPP G. et S. E. ASCHENBRENNER, (1975), Late Holocene paleogeography of the coastal plain of the gulf of Messenia, Greece, and its relationship to archaeological setting and coastal change, *Bulletin of the Geological Society of America*, 86, pp. 1191-1208.

KRAFT J -C., ASCHENBRENNER S. E. et G. RAPP, (1977), Paleogeographic reconstructions of coastal Aegean archaeological sites, *Science*, 195, pp. 941-947

KRAFT J -C., ASCHENBRENNER S. E. et G RAPP, (1980), Late Holocene Palaeogeomorphic reconstructions in the area of the bay of Navarino: Sandy Pylos, *Journal of Archaeological Science*, 7, pp. 187-210.

KRINSLEY D. H., et J. C DOORNKAMP, (1973), *Atlas of quartz sand surface textures*, Cambridge Univ. Press, 91 p.

LABOREL J., (1961), Le concrétionnement algal "coralligène" et son importance géomorphologique en Méditerranée, *Rec. Trav. Stat. Marine Endoume*, bull. 23, fasc. 37, pp. 37-60.

LABOREL J., (1979-1980), Les gastéropodes vermetidés : leur utilisation comme marqueurs biologiques de rivages fossiles *in "les indicateurs de niveaux marins"*, *Oceanis*, 5, hors-série, pp 221-239.

LABOREL J., (1986), Vermetid gastropods as sea-level indicators, *in "Sea-level research . a manual for the collection and evaluation of data"*, O. Van de Plassche *ed.*, Geobooks, Norwich, pp.281-310.

LABOREL J., (1987), Marine biogenic constructions in the Mediterranean, *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 13, pp. 97-126.

LABOREL J., (2000), Bioconstruction, biodestruction et niveaux marins, quelques données sur l'étude des mouvements lents ou rapides du niveau marin relatif, Compte-Rendu de deux séminaires donnés au CEREGE, 26 p.

LABOREL J. et G. DELIBRIAS, (1976), Niveaux marins récents à *Vermetidae* du littoral ouest africain, *Bull. liaison ASeQua*, 47, pp. 97-110.

LABOREL J., et F. LABOREL-DEGUEN, (1994), Biological indicators of relative sea level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region, *Journal of Coastal Research*, 10,2, pp. 395-415.

LABOREL J., DELIBRIAS G., et C. F. BOUDOURESQUE, (1983), Variations récentes du niveau marin à Port-Cros (Var, France) mises en évidence par l'étude de la corniche littorale à *Lithophyllum tortuosum*, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, t. 297, série II, pp. 157-160.

LABOREL J., MORHANGE C., LAFONT R , LE CAMPION J., LABOREL-DEGUEN F., et S. SARTORETTO, (1994), Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years, on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica, *Marine Geology*, 120, pp. 203-223.

LABOREL J., ARNOLD M., LABOREL-DEGUEN F., MORHANGE C. et N. TISNERAT-LABORDE, (1998), Confirmation de l'âge pléistocène de l'encoche marine de Cap Romarin, Port-La-Nouvelle, Languedoc, France, *Géomorphologie, relief, processus, environnement*, 2, pp. 125-129.

LACERENZA G., ed., (1991), *L'antichita di Pozzuolo nei disegni inediti di F. A. Letizia*, Sezione editoriale puteoli, Pozzuoli, 162 p.

LALLEMAND A., (1890), L'observatoire marégraphique de Marseille, *La nature, revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, Masson, 871, pp. 145-147.

LAMBECK K., (1997), Sea-level change along the French Atlantic and Channel coasts since the time of the Last Glacial Maximum, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 129, pp 1-22.

LAMBECK K. et E. BARD, (2000), Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years, *Earth and Planetary Science Letters*, 175, pp. 203-222

LAMBECK K. et P. JOHNSTON, (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 "Land Subsidence"*, Proc. Fifth Int. Symp on Land Subsidence, La Hague, Oct 1995, F. I. Barends *et al.*, eds, Balkema, Rotterdam, pp. 3-18

LARNICOL G., LE TRAON P.-Y., AYOUB N. et P. DE MEY, (1995), Mean sea level and surface circulation vriability of the Mediterranean sea from 2 years of TOPEX/POSEIDON, *Journal of Geophysical Research*, 100, C12, pp. 25,163-25-177.

LAVERDURE C. et S. SCHMITT, (1997), *Essai de reconstitution paléoenvironnementale de la rive nord du Vieux Port de Marseille*, Maîtrise de géographie physique, UFR de géographie, Université de Provence, 91 p et ann.

LEHMANN-HARTLEBEN K., (1923, réimpression de 1963), *Die antiken Hafenanlagen des Mittelmeeres*, Klio, Verlag, 14, 1, 304 p.

LE PROVOST C., (1991), Le niveau de la mer, un index fonfamental pour l'océanographie et la climatologie, *La Climatologie*, 40, pp. 3-12.

LE RIBAULT L. (1975), *L'exoscopie, méthode et applications*, C.F.P., Paris, 231 p.

LE RIBAULT L. (1977), *L'exoscopie des quartz*, Techniques et méthodes sédimentologiques, Masson, Paris, 150 p.

LESPEZ L., (1998), Le bassin-versant du Xéropotamos (Macédoine orientale), contribution à l'étude des rythmes de l'érosion holocène en Grèce, *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, 1, pp. 109-120.

LESPEZ L., (1999), *L'évolution des modelés et des paysages de la plaine de Drama et de ses bordures au cours de l'Holocène (Macédoine orientale, Grèce)*, thèse, Université de Clermont-Ferrand, 2, 539 p.

LEUNG TACK K. D., (1971-72), Etude d'un milieu pollué : le Vieux Port de Marseille. Influence des conditions physiques et chimiques sur la physionomie du peuplement de quai, *Téthys*, 3, 4, pp. 767-825

LEVEAU Ph., (1997), Sociétés historiques et milieux humides, un modèle systémique des données aplicable aux marais continentaux de cuvette, *Natures Sciences Sociétés*, 5, 2, pp. 5-18

LEVEAU Ph., dir., (1999), Le Rhône romain, dynamiques fluviales, dynamiques territoriales, *Gallia*, 56, pp. 1-75

LEVEAU Ph. et M. PROVANSAL, dir., (1993a), *Archéologie et environnement, de la Sainte-Victoire aux Alpilles*, Publications de l'Université de Provence, 551 p.

LEVEAU Ph. et M. PROVANSAL, (1993b), Systèmes agricoles et évolution du paysage depuis le Néolithique au nord-est de l'étang de Berre, *Actes du Colloque sur l'Histoire de l'Environnement et des phénomènes naturels, in "Pour une histoire de l'environnement"*, Beck et Delort eds., pp 173-199

L'HOMER A., (1992), Sea Level changes and impacts on the Rhône delta coastal lowlands, *in "Impacts of Sea-Level Rise on European Coastal Lowlands"*, M. J. Tooley et S. Jelgersema eds, Blacckwell, Royaume-Uni, pp 136-152

L'HOMER A., BAZILE F., THOMMERET J. et Y. THOMMERET, (1981), Principales étapes de l'édification du delta du rhône de 7000 B.P. à nos jours, variations du niveau marin, *Oceanis*, 7, 4, pp. 389-408.

LIPKIN Y. et U. SAFRIEL, (1971), Intertidal zonation on rocky shores at Mikhmoret (Mediterranean, Israel), *Journal of Ecology*, 59, 1, pp. 1-30

LIPPMANN-PROVANSAL M., (1987), Variations récentes du trait de côte sur les sites de Velia et Paestum (Italie Méridionale), *in "Déplacements des lignes de rivage en Méditerranée"*, Colloque international du CNRS, pp. 115-124.

LIVIERA ZUGIANI B., (1972), Controlli altimetrici dei capisaldi nell' area flegrea, *Quaderni de la Ricerca Scientifica*, CNR, 83, pp. 263-283.

LOPEZ P., (1986), *Pozzuoli nell'eta moderna, Quattrocento et Cinquecento*, Adriano Gallina editore, Naples, 223 p.

LUMLEY de H., (1976), Les lignes de rivage quaternaire de Provence et de la région de Nice, *in "La préhistoire française"*, H. de Lumley ed., CNRS, 1, pp. 323-325.

LUONGO G., (1987), I segni delle eruzioni, in *"Campi Flegrei"*, G. Macchiaroli ed., Naples, pp. 73-89.

LUONGO G. et R. SCANDONE, (1991), Campi Flegrei, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, 230 p.

LYELL Ch., (1873), *Principes de Géologie ou illustrations de cette science empruntées aux changements modernes de la Terre et de ses habitants*, trad. Ginestou, Garnier, Paris, 2 vols

MAC CANN A. M., (1987), *The Roman Port and fishery of Cosa, a center of ancient trade*, Princeton University Press, Princeyon, 353 p. et ann.

MAC CAVE I. N., (1995), Sedimentary processes and the creation of the stratigraphic record in the Late Quaternary North Atlantic Ocean, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B, 348, pp. 229-241

MAC CAVE I. N., MANIGHETTI B. et S. G. ROBINSON, (1995), Sortable silt and sediment size/composition slicing : parameters for paleocurrent speed and palaeoceanography, *Paleoceanography*, 10, 3, pp. 593-610.

MACLAREN C., (1842), The glacial theory of Professor Agassiz, *Am. J. Sci.*, 42, pp 346-365.

MAIURI A., (1984), *Les Champs Phlégréens du sépulcre de Virgile à l'antre de Cumes (histoire et monuments)*, 3° édition, Istituto Poligrafico et Zecca dello Stato, 180 p.

MARS P., (1947), Les mollusques des plages grecques et romaines du Lacydon à Marseille, *Bull. Mus. Hist. nat. Mars.*, 7, 4, pp. 194-195.

MARSH. G. P., (1864), *Man and Nature, or Physical Geography as modified by human action*, réed par D. Lowenthal, New-York.

MARY G., (1982), Rôle probable de l'isostasie dans les modalités de la transgression holocène sur la côte atlantique de l'Europe et de l'Afrique, *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 1, pp. 39-45.

MASSE J.-P., (1988), L'étagement bionomique des milieux benthiques néritiques actuels, signification bathymétrique et implications paléobathymétriques, *Géologie Méditerranéenne*, 15, 1, pp 91-102.

MAZZULLO J., SIMS D. et D. CUNNINGHAM, (1986), The effects of eolian sorting and abrasion upon the shapes of fine quartz sand grains, *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 1, pp. 45-56.

MAZZULLO J., ALEXANDER A., TIEH T. et D. MENGLIN, (1992), The effects of wind transport on the shapes of quartz silt grains, *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, 6, pp. 961-972.

MESSERLI B., GROSJEAN M., HOFER T. NUNEZ L. et C PFISTER, (2000), From nature-dominated to human-dominated environmental changes, *Quaternary Science Reviews*, 19, pp. 459-479

MILLER R. L et J. M. ZEIGLER, (1958), A model relating dynamics and sediment pattern in equilibrium in the region of shoaling waves, breaker zone and foreshore, *Journal of Geology*, 66, pp. 417-441

MILLET B., BLANC F et C. MORHANGE, (2000), Modélisation numérique de la circulation des eaux dans le Vieux Port de Marseille vers 600 avant J.-C., *Méditerranée*, 1-2, pp. 61-64.

MILLI S., (1997), Depositional setting and high-frequency sequence stratigraphy of the middle-upper Pleistocene to Holocene deposits of the roman basin, *Geologica Romana*, 33, pp. 99-136

MIOSSEC A., (1998), Rythmes et bilans dans les domaines littoraux, *in "L'érosion entre nature et société"*, Dossiers des Images Economiques du Monde, Y Veyret ed., 22, pp. 295-334

MOLINIER R., (1948), Rapport de R. Molinier chargé par la Direction Régionale des Antiquités de l'étude botanique des fouilles du Vieux Port, note sur les pieux, débris d'objets de bois divers et de fruits exhumés lors des fouilles du Vieux Port à Marseille, 3 p, archives F. Benoit, S.R.A., Aix-en-Provence.

MOLINIER R., (1955), Les plateformes et corniches récifales de Vermets (*Vermetus cristatus* Biondi) en Méditerranée occidentale, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 240, pp. 361-363.

MOLINIER R. et J. PICARD, (1954), Parallélisme dans la répartition des peuplements terrestres et marins benthiques du bassin méditerranéen occidental, *Rev. gén bot.*, 61, pp. 701-739.

MOREL-DELEDALLE M., (1991), Aux origines de l'archéologie marseillaise, *revue Marseille*, 160, pp 42-50.

MOREL-DELEDALLE M., (1999), Mais où est donc Marseille ?, *in "Parcours de villes, Marseille, 10 ans d'archéologie, 2600 ans d'histoire"*, A. Hesnard, M Moliner, F Conche et M. Bouiron eds., Musée d'Histoire de Marseille, Edisud, pp. 7-10

MORHANGE C., (1994), *La mobilité des littoraux provençaux Eléments d'analyse géomorphologique*, Thèse de doctorat en Géographie physique, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Provence, 269 p. et ann

MORHANGE C. et C. OBERLIN, (2000), Estimation de l'âge apparent local de l'eau de mer dans le cas du Vieux Port de Marseille vers 600 ans avant J.-C., *Méditerranée*, 1-2, pp 65-68

MORHANGE C., LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F., LOUNNAS V. et E. VERRECCHIA, (1993), Indicateur biologique et variations relatives du niveau de la mer sur les côtes rocheuses de Provence, *Géologie méditerranéenne*, 20, pp. 89-100.

MORHANGE C., HESNARD A., LABOREL J. et A. PRONE, (1995), Déplacement des lignes de rivages et mobilité du plan d'eau au Lacydon de Marseille, *Méditerranée*, 3-4, pp. 71-76.

MORHANGE C., LABOREL J., HESNARD A. et A. PRONE, (1996a), Variation of Relative Mean sea Level during the last 4000 years on the northern shores of the Lacydon, the ancient harbour of Marseille, *Journal of coastal research*, 12, 4, pp. 841-849.

MORHANGE C., HESNARD A., ARNAUD P., BOURCIER M, CARBONEL P., CHEVILLOT P., LABOREL J., LAFONT R., PROVANSAL M. et P. WEYDERT, (1996b), Anthropisation, sédimentation marine et morphogenèse sur la rive nord du Lacydon de Marseille depuis le Néolithique (chantier J. Verne), *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 40, 1, pp. 71-84.

MORHANGE C., LABOREL J. et F. LABOREL-DEGUEN, (1998a), Précision des mesures de variations verticales du niveau marin à partir des indicateurs biologiques, le cas des soulèvements bradysismiques de Pouzzoles, Italie du Sud (1969-1972 ; 1982-1984), *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 42, 2, pp. 143-157.

MORHANGE C., PROVANSAL M., VELLA C., ARNAUD P., BOURCIER M. et J. LABOREL, (1998b), Montée relative du niveau de la mer et mouvements du sol à l'Holocène en basse Provence (France, Méditerranée), *Annales de Géographie*, 600, pp. 139-159.

MORHANGE C., GOIRAN J.-P., BOURCIER M., CARBONEL P., LE CAMPION J., PYATT B., PRONE A., ROUCHY J.-M., SOURISSEAU J.-C. et M. YON, (1999a), 3000 ans de modifications des environnements littoraux à Kition Bamboula, Larnaca, Chypre, Méditerranée, *Quaternaire*, 2-3, pp 133-149.

MORHANGE C., BOURCIER M, LABOREL J., GIALANELLA C., GOIRAN J.-P., GRIMACO L. et L. VECCHI, (1999b), New data on historical relative sea level movements in Pozzuoli, Phlegrean fields, Southern Italy, *Physics and Chemistry of the Earth and solar system*, 24, 4, pp 349-354.

MORHANGE C., GOIRAN J.-P., BOURCIER M., CARBONEL P., LE CAMPION J., ROUCHY J.-M. et M. YON, (2000a), Recent Holocene Paleo-environmental evolution and coastline changes of Kition, Larnaca, Cyprus, Mediterranean sea, *Marine Geology*, 170, pp 205-230.

MORHANGE C., DUBUQUOY O., PRUNET N., RIBES E., de BEAULIEU J.-L., BOURCIER M., CARBONEL P., OBERLIN C. et C. DOUMET-SERHAL, (2000b), Etude paléoenvironnementale du port antique de Sidon, premiers résultats du programme CEDRE, *Méditerranée*, 1-2, pp. 91-100.

MORHANGE C., LABOREL J. et A. HESNARD, (2001), Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbour of Marseilles, Southern France, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeooecology*, 166, pp. 319-329.

MORHANGE C., BLANC F., BOURCIER M., CARBONEL P., PRONE A., SCHMITT S., VIVENT D. et A. HESNARD, (soumis), Biosedimentology of the late Holocene deposits of the ancient harbour of Marseilles (Southern France, Mediterranean sea), *The Holocene*.

MÖRNER N. A., (1971), Eustatic changes during the last 20.000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplifted area, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 9, pp. 153-181.

MÖRNER N. A., (1976), Eustasy and geological changes, *Journal of Geology*, 84, pp. 123-151.

MÖRNER N.-A., (1979/1980), The northwest European "sea-level laboratory" and regional holocene eustasy, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 29, pp. 281-300.

MÖRNER N.-A., (1996a), Sea level variability, *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 102, pp. 223-232.

MÖRNER N.-A., (1996b), Rapid changes in coastal sea level, *Journal of Coastal Research*, 12, 4, pp. 797-800.

MOUSSION Y., GOERGELIN Y., et S. ARZANO, (1996), Le niveau zéro des mers, *Marseille : revue culturelle*, 178, pp. 48-52.

NAKIBOGLU S. M. et K. LAMBECK, (1991), Secular sea-level change, *in "Glacial Isostasy, Sea-Level and Mantle Rheology"*, R. Sabadini *et al.*, eds., Kluwer Academic Publishers, pp. 237-258.

NAKADA M. et K. LAMBECK, (1988), The melting history of the Late Pleistocene Antartic ice sheet, *Nature*, 333, pp. 36-40.

NEBOIT R. (1977), Un exemple de morphogenèse accélérée dans l'Antiquité, les vallées du Basento et du Cavone en Lucanie, *Méditerranée*, 4, pp. 39-50.

NEBOIT R. (1980), Morphogenèse et occupation humaine dans l'Antiquité, *Bull. Ass. géogr. fr.*, pp. 21-27.

NEBOIT R. (1983), *L'homme et l'érosion*, Association des Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Clermont-Ferrand, 183 p.

NEBOIT R. (1984), Erosion des sols et colonisation grecque en Sicile et en Grande Grèce, *Bull. Ass. géogr. fr.*, pp. 1-13.

NEBOIT-GUILHOT R. (1989), Evolution géomorphologique et société, *in "La recherche française récente en géomorphologie"*, Groupe Français de Géomorphologie, pp. 149-158.

NEBOIT-GUILHOT R. (1990), Echelles spatio-temporelles et systèmes de causalité dans les rapports entre les sociétés et la morphogenèse, *in "Mélanges M. Derruau"*, Association des Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Clermont-Ferrand, pp. 495-510.

NEBOIT-GUILHOT R. (1991), Critères d'identification des facteurs d'orientation du sens de la morphogenèse fluviale en Italie du Sud et en Sicile, table ronde "Rythmes d'évolution des formes d'accumulation et de creusement en milieux tempérés", *Physio-Géo*, 22/23, pp. 61-66.

NEBOIT-GUILHOT R. (1999), Autour du concept d'érosion accélérée : l'homme, le temps et la morphogenèse, *Géomorphologie, relief, processus, environnement*, pp. 159-172.

NEBOIT R., BOUSQUET B. et J. J. DUFAURE, (1988), Données naturelles et données historiques comme facteurs d'évolution des bassins fluviaux en Italie du Sud (Capitanate et Lucanie Orientale), *Etudes Méditerranéennes*, Poitiers, 12, pp. 279-295

NEGRIS P., (1903a), Observations concernant les variations du niveau de la mer depuis les temps historiques et préhistoriques, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 137, 2, pp. 222-224

NEGRIS P., (1903b), Régression et transgression de la mer depuis l'époque glaciaire jusqu'à nos jours, *Revue universelle des mines, de la métallurgie, des travaux publics, des sciences et des arts appliqués à l'industrie*, 3, 4, pp. 249-281

NEGRIS P., (1904a), Vestiges antiques submergés, *Mitteilungen des Deutschen Archeologishen Instituts*, Ableitung Kairo, 29, pp. 340-363.

NEGRIS P., (1904b), Nouvelles observations sur la dernière transgression de la Méditerranée, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 2, pp. 379-381.

NEGRIS P., (1921), Les ports submergés de l'ancienne île de Pharos, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 21, pp. 161-164.

NEUMEIER U., BERNIER P., DALONGEVILLE P. et CH. OBERLIN, (2000), Les variations holocènes du niveau marin mises en évidence par les caractères et la diagenèse des beachrocks : exemple de Damnoni (Crète), *Géomorphologie*, 4, pp. 211-220.

NICCOLINI A., (1839), *Tavola metrica cronologica delle varie altezze tracciate dalla superficie del mare tra la Costa di Amalfi e il promontorio di Gaeta nel corso di XIX° secoli*, Naples, Flauntina, pp. 11-52.

NICCOLINI A., (1846), *Descrizione della gran terma puteolana volgarmente detta Tempio Di Serapide*, Naples, Stamperia Reale.

NICOLAOU K., (1976), The Historical topography of Kition, *Studies in Mediterranean Archaeology*, 153, Göteborg, pp. 1-373.

NIETO X. et X. RAURICH, (1998), La infrastructura portuaria ampuritana, actes *"III jornadas de arqueologia subacuatica, Puertos Antiguos y Commercio Maritimo"*, J. P. Ballester et G. P. Berlanga eds., Departament de Prehistoria i arqueologia, Universitat de Valencia, pp. 55-76.

NIR D., (1983), *Man, a geomorphological agent, an introduction to Anthropic Geomorphology*, Keter Publishing House, Jerusalem, 165 p.

NYDICK K. R., BIDWELL A. B., THOMAS E. et J. C. VAREKAMP, (1995), A sea-level curve from Guilford, Connecticut, USA, *Marine Geology*, 124, pp. 137-159.

OLESON J. P., (1988), The technology of Roman harbours, *The International Journal of Nautical Archeology and Underwater Exploration*, 17, 2, pp. 147-157.

ORSI G., DE VITA S., DI VITO M. et ISAIA R., (1998), Storia geologica e deformativa della caldera dei Campi Flegrei, *in "Archeologia e Vulcanologia in Campania, Atti del Convegno di Pompei"*, P. G. Guzzo et R. Peroni eds., Napoli, pp. 17-28.

OTTMANN F. et P. NOBREGA COUTINHO, (1963), Etudes sédimentologiques dans le port de Recife (Brésil), *Cahiers Océanographiques*, 3, pp. 161-169.

OTVOS E. G., (1995), Multiple Piocene-Quaternary marine highstands, northeast Gulf coastal plain-fallacies and facts, *Journal of Coastal Research*, 11, pp. 984-1002.

OTVOS E. G., (1999), Sediment and geomorphic criteria for reconstructing sea-level positions. Pliocene-quaternary marine highstands on the northeastern gulf of Mexico coastal plain ? Reply to a discussion, *Journal of Coastal Research*, 14, 2, 669-674 (1998), *Journal of Coastal Research*, 15, 4, pp. 1181-1187.

OUESLATI A., PASKOFF R., SLIM H. et TROUSSET P., (1987), Déplacements de la ligne de rivage en Tunisie d'après les données de l'archéologie à l'époque historique, *in "Colloque international du CNRS : déplacements des lignes de rivage en Méditerranée"*, CNRS, Paris, pp. 67-85.

PAGANO M., (1997), Sulla storia del bradisisma Flegreo, in *"Gli studiosi dei Campi Flegrei rendono omaggio a Raimondo Annecchino"*, Actes du colloque de Pouzzoles de 1997, R. Giamminelli ed., pp. 253-271

PALAUSI G., (1965), Observations sommaires concernant la variation du niveau de la Méditerranée depuis l'époque historique dans la région de Cannes, *Rec. Trav. Stat. Endoume*, 38, 54, pp. 269-273.

PAPAGEORGIOU S., ARNOLD M., LABOREL J. et S. C. STIROS, (1993), Seismic uplift of ancient Aigeira, Central Greece, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 22, 3, pp. 275-281

PARASCANDOLA A., (1947), *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*, Genovese, Napoli, 117 p.

PARASCANDOLA A., (1952), Ulteriori osservazioni sul Serapeo di Pozzuoli, *Bulletin of the Soc. Nat. Napoli*, 61, pp. 97-110.

PARIS J., (1916), Contributions à l'étude des ports antiques du monde grec, les établissements maritimes de Délos, *Bulletin de Correspondance hellénique*, 40, pp. 5-73

PASQUALINI M., (1987), *Telo Martius Portus, nouvelles recherches archéologiques à Toulon*, Mémoire de maîtrise, Université de Provence, 214 p.

PASKOFF R., HURST H. et F. RAKOB, (1985), Position du niveau de la mer et déplacement de la ligne de rivage à Carthage (Tunisie), *C.R. Acad. Sciences*, Paris, 300, II, 13, pp. 613-618.

PELTIER W., R., (1986), Deglaciation-induced vertical motion of the North American continent and transient lower mantle rheology, *J. Geophys. Res*, 91, pp. 9099-9123.

PELTIER W., R., (1994), Ice Age Paleotopography, *Science*, 265, pp. 195-201.

PELTIER W., R., (1996), Mantle Viscosity and Ice Age Sheet Topography, *Science*, 273, pp. 1359-1364.

PELTIER W. R., (1998), Postglacial variations in the level of the sea : implications for climate dynamics and solid-earth geophysics, *Reviews of Geophysics*, 36, 4, pp. 603-689.

PELTIER W. R., (1999), Global sea level rise and glacial isostatic adjustment, *Global and Planetary Change*, 20, pp. 93-123.

PERES J.-M., (1982), Major benthic assemblages, *in "Marine Ecology"*, O. Kinne ed., Vol 5, Part 1, Wiley.

PERES J.-M. et J. PICARD, (1952), Les corniches calcaires d'origine biologique en Méditerranée occidentale, *Rec. Trav. Stat. Marine Endoume*, bull. 1, fasc. 4, 33 p. et une planche h. t

PERES J.-M., et J. PICARD, (1964), Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée, *Rec. Trav. Stat. Marine Endoume*, bull. 31, fasc. 47, 137 p

PEYPOUQUET J. P., (1971), La distinction des biocénoses, thantocénoses, paléothanatocénoses, problème fondamental sur une plateforme continentale, *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, 11, 1, pp. 191-208

PICARD J., (1954), Les formations organogènes benthiques méditerranéennes et leur importance géomorphologique, *Rec. Trav. Stat. Marine Endoume*, fasc. 13, pp. 55-77.

PICARD J., (1965), Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise, *Rec. Trav. Stat. Marine Endoume*, 52, 36, 160 p.

PICARD J., (1985), Réflexions sur les écosystèmes marins benthiques : hiérarchisation, dynamique spatio-temporelle, *Téthys*, 11, 3-4, pp. 230-242.

PINCHEMEL Ph. et G. PINCHEMEL, (1988), *La face de la Terre, éléments de géographie*, Armand Colin, 519 p.

PINCHEMEL G. et Ph. PINCHEMEL, (1990-1991), La face de la Terre, sous toutes ses faces, *L'Espace Géographique*, 2, 158-168.

PINOT J.-P., (1979), Méthodes et techniques permettant de déterminer l'altitude relative des niveaux marins anciens en fonction de l'altitude absolue actuelle des divers indicateurs, *Oceanis*, 5, pp. 335-355.

PIRAZZOLI P., (1976a), Les variations du niveau marin depuis 2000 ans, *mémoire du laboratoire de géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 30, 421 p.

PIRAZZOLI P., (1976b), Sea level variations in the Northwest Mediterranean during Roman times, *Science*, 194, pp. 519-521.

PIRAZZOLI P. A., (1977), Sea level variations in the world during the last 2000 years, *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 21, 3, pp. 284-296.

PIRAZZOLI P. A., (1979-80), Les viviers à poissons romains en Méditerranée, *Oceanis*, 5, hors série, pp. 191-201.

PIRAZZOLI P. A., (1980), Formes de corrosion marine et vestiges archéologiques submergés : interprétation néotectonique de quelques exemples en Grèce et en Yougoslavie, *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, 56, pp. 101-111.

PIRAZZOLI P. A., (1982), Sea level relative variations in the world during the last 2000 years, *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 21, 3, pp. 284-296.

PIRAZZOLI P. A., (1986a), Secular trends of Relative Sea-Level (RSL) Changes Indicated by Tide-Gauge records, *Journal of Coastal Research*, Spec. Issue, 81, 1, pp. 1-26.

PIRAZZOLI P. A., (1986b), Marine notches, *in "Sea-Level Research : a manual for the collection and evaluation of data"*, Van de Plassche O. ed., Geo Books, Norwich, pp. 361-400

PIRAZZOLI P. A., (1986c), The Early Byzantine Tectonic Paroxism, *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, 62, pp. 31-49.

PIRAZZOLI P. A., (1987a), Sea-level changes in the Mediterranean, *in "Sea-level changes"*, M. J. Tooley et I. Shennan *eds.*, Basil Blackwell, Oxford, pp. 152-181

PIRAZZOLI P. A., (1987b), Submerged remains of ancient Megisti in Castellorizo island (Greece) : A preliminary survey, *Int. Journ. of Nautical archeology and Underwater Exploration*, 16, 1, pp. 57-66

PIRAZZOLI P. A., (1988), Sea-level changes and crustal movements in the Hellenic arc (Greece), the contribution of archeological and historical data, *in "Archeology of coastal changes"*, Proceedings of the first international symposium "cities on the sea-past and present", Raban A. ed, *BAR international series*, 404, pp. 157-184.

PIRAZZOLI P. A., (1991), *World atlas of holocene sea-level changes*, Elsevier, Oceanography Series, 58, 300 p.

PIRAZZOLI P. A., (1993), Global sea-level changes and their measurement, *Global and Planetary Change*, 8, pp. 135-148.

PIRAZZOLI P. A., (1996), *Sea-level Changes*, Wiley, 211 p.

PIRAZZOLI P. A., (1997), Mobilité verticale des côtes méditerranéennes à la fin de l'Holocène : une comparaison entre données de terrain et modélisation isostatique, CIESM Science Series, 3, Transformations and evolution of the Mediterranean coastline, F. Briand et A. Maldonado eds., *Bulletin de l'Institut Océanographique*, 18, pp. 15-33.

PIRAZZOLI P. A., (1998a), A comparison between Postglacial Isostatic Predictions and Late Holocene Sea-Level Field Data from Mediterranean and Iranian Coastal Areas, *in "Dynamics of the Ice Age Earth . A Modern Perspective"*, P. Wu ed., Trans TecA Publ., Zürich, pp. 401-422.

PIRAZZOLI P. A., (1998b), Lechaion harbour, canal entrance, inner basin and beach, *in "Late Quaternary Coastal Changes in the Gulf of Corinth, Greece, tectonics, earthquake, archaeology, Guidebook for the Gulf of Corinth Field Trip"*, 14-16 September 1998, Joint meeting UNESCO-IUGS IGCP 367 / INQUA on Rapid Coastal Changes in the Late Quaternary, S. C. Stiros et P. A. Pirazzoli eds., pp. 41-44.

PIRAZZOLI P. A., (1999), Les ports antiques soulevés de Méditerranée orientale, *in "Geoaarqueologia i Quaternari littoral"*, Memorial M. P. Fumanal, V. M. Rossello ed., Valence, pp. 391-401.

PIRAZZOLI P. et J. THOMMERET, (1973), Une donnée nouvelle sur le niveau marin à Marseille à l'époque romaine, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 277, D, pp. 2125-2128.

PIRAZZOLI P. A., MONTAGGIONI L. F., THOMMERET J., THOMMERET Y. et J. LABOREL, (1982a), Sur les lignes de rivage et la néotectonique à Rhodes (Grèce) à l'Holocène, *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, 58, 1, pp. 89-102.

PIRAZZOLI P. A., THOMMERET J., THOMMERET Y., LABOREL J. et L. F. MONTAGGIONI, (1982b), Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira (Greece), *Tectonophysics*, 86, pp. 27-43.

PIRAZZOLI P. A., DELIBRIAS G., KAWANA T. et T. YAMAGUCHI, (1985), The use of barnacles to measure and date relative sea-level changes in the Ryukyu islands, Japan, *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeooecology*, 49, pp. 161-174.

PIRAZZOLI P. A., MONTAGGIONI L. F., SALIEGE J. F., SEGONZAC G., THOMMERET Y. et C. VERGNAUD-GRAZZINI, (1989a), Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes island (Greece), *Tectonophysics*, 170, pp. 89-114.

PIRAZZOLI P. A., LABOREL J., SALIEGE J. F., EROL O., KAYAN I. et A. PERSON, (1991), Holocene raised shorelines on the Hatay coasts (Turkey) : Palaeological and tectonic implications, *Marine Geology*, 96, pp. 295-311.

PIRAZZOLI P. A., AUSSEIL-BADIE J., GIRESSE P., HADJIDAKI E. et M. ARNOLD, (1992), Historical environmental changes at Phalasarna harbor, West Crete, *Geoarcheology, An International Journal*, 7, pp. 371-392.

PIRAZZOLI P. A., STIROS S. C., LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F., ARNOLD M., PAPAGEORGIOU S. et C. MORHANGE, (1994a), Late holocene shoreline changes and seismo-tectonic displacements in the Ionian islands (Greece), *The Holocene*, 4, pp. 397-405.

PIRAZZOLI P. A., STIROS S. C., ARNOLD M., LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F. et S. PAPAGEORGIOU, (1994b), Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora peninsula, Corinth area, Greece, *Tectonophysics*, 229, pp. 201-209.

PIRAZZOLI P. A., LABOREL J. et S. C. STIROS, (1996a), Coastal indicators of rapid uplift and subsidence : examples from Crete and other Eastern Mediterranean sites, *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, Suppl. Bd. 102, pp. 21-35.

PIRAZZOLI P. A., LABOREL J. et S. C. STIROS, (1996b), Earthquake clustering in the Eastern Mediterranean during historical times, *Journal of Geophysical Research*, 101, B3, pp. 6083-6097

PLATANIA G., (1930), Alcune considerazioni sul bradisisma Flegreo, *Actes du XI° Congrés Géographique Italien*, Naples, vol. 2, p. 121.

PLAYFAIR J., (1802), *Illustrations of the Huttonian theory of the earth*, Londres, Cadell et Davies

POCACHARD M., (1999), *Etude sédimentologique du site portuaire antique de Fréjus (Var, France)*, maîtrise de géographie physique, UFR de géographie, Université de Provence), 165 p. et ann.

POMEY P., (1995), Les épaves grecques et romaines de la place Jules Verne à Marseille, *Comptes-Rendus de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres*, II, pp. 459-482.

POUQUET J., (1951), *L'érosion*, PUF, Que-sais-je ?, Paris, 128 p.

PRONE A., (1980), *Les quartz de la Provence occidentale, étude exoscopique et endoscopique, implications paléogéographiques*, Thèse d'Université de Sciences, Université de Provence, 2 vol., 446 p. et 215 p

PROVANSAL M., (1989), Géomorphologie du site de Martigues, *Dossiers Histoire et Archéologie*, 128, pp. 12-13.

PROVANSAL M., (1991), Variations verticales du trait de côte en Provence depuis 5000 ans, *Méditerranée*, 4, pp. 15-22.

PROVANSAL M., (1993), Les littoraux holocènes de l'étang de Berre, *in "Archéologie et environnement de la Sainte-Victoire aux Alpilles"*, sous la dir. de P. Leveau et M. Provansal, Publications de l'Université de Provence, pp. 279-284.

PROVANSAL M., ARNAUD P. A., VELLA C., OBERLIN Ch. et D. SISTACH, (1996), Les sédiments de l'étang de Berre (Provence, France), témoins de la mobilité du niveau marin holocène, *Bull. Soc. géol. France*, 169, 1, pp. 127-135.

PULLIGNY de J., (1890), Note sur les marées de la Méditerranée et le marégraphe de Marseille, *Bulletin Annuel de la Commission du département des Bouches-du-Rhône*, 9° année, date de publication : 1891, Marseille, Conseil Général, pp. 93-111 et carte.

RABAN A. (ed.), (1985), *Harbour archeology*, Proceedings of the first international workshop on ancient Mediterranean harbours, Caesarea Maritima, 1983, BAR International series, n° 257, 204 p

RABAN A. (ed.), (1988), *Archeology of coastal changes*, Proceedings of the first international symposium "cities on the sea-past and present", Haifa, 1986, BAR International series, n° 404, 252 p

RABAN A. et K. G. HOLUM eds., (1996), *Caesarea Maritima, a retrospective after two millenia*, Brill ed., Aladin Press, 693 p

RAPP G. J. Jr. et J. C. KRAFT, (1994), Holocene coastal change in Greece and aegean Turquey, *in "Beyond the site-Regional studies in the Aegean area"*, P. N. Kardulias ed., University Press of America, pp. 69-90.

REDDE M., (1986), *Mare Nostrum, les infrastructures, le dispositif et l'histoire de la marine militaire sous l'empire romain*, Bibliothèque des Ecoles françaises d'Athènes et de Rome, 260, Ecole Française de Rome, 737 p.

REINHARDT E. G. et A. RABAN, (1999), Destruction of Herod the Great's harbor at Caesarea Maritima, Israel, geoarchaeological evidence, *Geology*, 27, 9, pp. 811-814

REINHARDT E. G., PATTERSON R. T. et C. J. SCHRODER-ADAMS, (1994), Geoarcheology of the ancient harbor site of Caesarea Maritima, Israel : evidence from sedimentology and paleoecology of benthic foraminifera, *Journal of Foraminiferal Research*, 24, 1, pp. 37-48.

REINHARDT E. G., PATTERSON R. T., BLENKINSOP J. et A. RABAN, (1998), Paleoenvironmental evolution of the inner basin of the ancient harbor at Caesarea Maritima, Israel ; foraminiferal and Sr isotopic evidence, *Revue de Paléobiologie*, 17,1, pp. 1-21.

RIEDL R., (1991), *Fauna e flora del Mediterraneo*, Franco Muzzio, Padoue, 777 p.

RICKMAN G. E., (1988), The archeology and history of roman ports, *The International Journal of Nautical Archeology and Underwater Exploration*, 17, 3, p. 257-267.

ROUGE J., (1966), *Recherches sur l''organisation du commerce maritime en Méditerranée sous l'empire romain*, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre de recherches historiques, SEVPEN.

ROUGE J., (1978), Les ports romains de Méditerranée, *Dossiers d'archéologie*, 29, pp. 10-19

SAFRIEL, M. N., (1966), Recent vermetid formation on the Mediterranean shore of Israel, *Proc. Malac. Soc. London*, 37, pp. 27-33.

SAFRIEL, M. N., (1974), Vermetid gastropods and intertidal reefs in Israel and Bermuda, *Science*, 186, pp. 1113-1115.

SAFRIEL, M. N., (1975), The role of vermetid gastropods in the formation of Mediterranean and atlantic reefs, *Oecologia*, 20, pp. 85-101.

SANLAVILLE P., (1973), L'utilisation des vermets dans la datation des changements récents du niveau de la mer, *in "l'archéologie subaquatique"*, UNESCO, pp. 189-195.

SANLAVILLE P., (1977), *Etude géomorphologique de la région littorale du Liban*, Publications de l'Université Libanaise, 2 tomes, 859 p.

SARTORETTO S., (1996), *Vitesses de croissance et de bioérosion des concrétionnements "coralligènes" de Méditerranée nord-occidentale, rapport avec les variations holocènes du niveau marin*, thèse en Ecologie Marine de l'Université d'Aix-Marseille II, Faculté des Sciences de Luminy, 331 p.

SARTORETTO S., COLLINA-GIRARD J., LABOREL J., et C. MORHANGE, (1995), Quand la grotte Cosquer a t'-elle été fermée par la montée des eaux ? *Méditerranée*, 3, 4, pp. 21-24

SARTORETTO S., VERLAQUE M., et J. LABOREL, (1996), Age of settlement and accumulation rate of submarine "coralligène" (-10 m to -60 m) of the northwestern Mediterranean Sea ; relation to Holocene rise in sea level, *Marine Geology*, 130, pp. 317-331.

SAVOYE B. et D. J. W. PIPER, (1993), Quaternary sea-level change and sedimentation on the continental shelf and slope of Antibes, French Riviera, *Geo-Marine Letters*, 13, pp. 2-8

SCHERILLO A., (1977), Vulcanismo e bradisismo nei Campi Flegrei, Acad. Naz. dei Lincei, *Atti dei Convegni Lincei*, 33, pp. 81-116.

SCHMIEDT G., (1972), *Il livello antico del mar Mediterraneo*, Olschki, Florence, 323 p.

SCHMIEDT G., (1975), *Antichi porti d'Italia, gli scali fenicio, punici i porti della Magna Grecia*, Extraits de *l'Universo*, Istituto Geografico Militare, Florence, 152 p.

SCHMITT-MERCURY S., (2000), *Les apports de l'étude géomorphologique et sédimentologique de la fouille Belzunce-Providence à la paléo-géographie de Marseille*, mémoire de DEA, UFR de géographie, Université de Provence, 216 p.

SCOGNAMIGLIO E., (1997), Aggiornamenti per la topografia di Baia sommersa, *Archeologia Subacquea, Studi, Ricerche e Documenti*, 2, pp. 35-45.

SERVAIS J., (1961), Recherches sur le port de Cyllène, *Comptes Rendus à l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres*, 85, pp. 123-161

SHEPARD F. P., (1963), Thirty-five thousand years of sealevel, *in "Essays in marine geology in honor of K. O. Emery"*, T. Clements ed., University of South California Press, Los Angeles, pp. 1-10.

SHEPARD F. P., (1964), Sea level changes in the past 6000 years : possible archeological significance, *Science*, 143, pp. 574-576.

SHERLOCK R. L., (1922), *Man as a geological agent ; an account of his action on inanimate nature*, Londres.

SHERLOCK R. L., (1931), *Man's influence on the Earth*, Londres.

SHERWOOD ILLSLEY J., (1996), *An indexed bibliography of underwater archaeology and related topics*, International Maritime Archaeology Series, 3, Oxford, 360 p.

SIANI G., PATERNE M., ARNOLD M., BARD E., METIVIER B., TISNERAT N. et F. BASSINOT, (2000), Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean sea and Black sea, *Radiocarbon*, 42, 2, pp. 271-280.

SIGNORE F., (1935), Attivita vulcanica e bradisismi nei Campi Flegrei, *Annali R. Oss. Vesuviano*, 4, 3, p. 184

SOMMELLA P., (1978), Forma e urbanistica di Pozzuoli romana, *Puteoli, studi di storia antica*, 2, 98 p.

SOTER S. et D. KATSONOPOULOU, (1998), The search for ancient Helike, 1988-1995 : geological, sonar and bore hole studies, *in "Ancient Helike and Aigialeia"*, D. Katsonopoulou, S. Soter et D. Schilardi eds., Athènes, pp. 68-114.

SPARY E. C., (1998), L'invention de l'expédition scientifique, l'histoire naturelle, Bonaparte et l'Egypte, *in "L'invention scientifique de la Méditerranée (Egypte, Morée, Algérie)"*, M. N. Bourguet, B. Lepetit B., D. Nordman et M. Sinarellis eds., Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, pp. 119-138.

SPECCHI M., RELINI G., et L. FAMIANI, (1976), Osservazioni preliminari sull'insediamento di balani in acque portuali del golfo di Trieste, *Archo. Oceanogr. Limnol.*, Istituto di Biologia del Mare, Venezia, 18 suppl. 3, pp. 153-168.

STANLEY D. J. et A. G. WARNE, (1994), Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise, *Science*, 265, pp. 228-231.

STEPHENSON T. A. et A. STEPHENSON, (1949), The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts, *Journal of ecology*, vol. 37, pp. 289- 305.

STIROS S., ARNOLD M., PIRAZZOLI P. A., LABOREL J., LABOREL F. et S. PAPAGEORGIOU, (1992), Historical coseismic uplift on Euboea island, Greece, *Earth and Planetary Science Letters*, 108, pp. 109-117.

STIROS S. C., PIRAZZOLI P., LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F., ARNOLD M. et S. PAPAGEORGIOU, (1993), Holocene sea-level changes in Euboea, *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 1, pp. 435-445.

STIROS S. C., PIRAZZOLI P. A., ROTHAUS R., PAPAGEORGIOU S., LABOREL J. et M. ARNOLD, (1996), On the date of construction of Lechaion, Western harbor of ancient Corinth, Greece, *Geoarcheology, An International Journal*, 11, 3, pp. 251-263.

STIROS S.C., LABOREL J., LABOREL-DEGUEN F., PAPAGEORGIOU S., EVIN J. et P. A. PIRAZZOLI, (2000), Seismic coastal uplift in a region of subsidence : Holocene raised shorelines of Samos island, Aegean Sea, Greece, *Marine Geology*, 170, 1-2, pp. 41-58.

STUIVER M. et P. J. BRAZIUNAS, (1993), Modelling atmospheric ^{14}C influences and ^{14}C ages of marine samples to 10 000 BC, *Radiocarbon*, 35, 1, pp. 137-189.

SUANEZ S., PROSPER-LAGET V., et PROVANSAL M., (1997), Variations relatives du niveau marin dans le delta du Rhône et à Marseille, *C. R. Acad. Sciences*, Paris, 324, II a, pp. 639-646.

SUESS E., (1908-1918), *Das Antlitz der Erde, La face de la terre*, traduction et annotation sous la direction de E. de Margerie, A. Colin, Paris, 4 vols.

THEODORESCU D. et H. TREZINY, (2000), Le chapiteau ionique archaïque de Marseille, *in "Les cultes des cités phocéennes", Etudes Massaliètes*, 6, pp. 135-146.

THOMAS M. A. et J. B. ANDERSON, (1993), Sea-level controls on the facies architecture of the Trinity/Sabine incised-valley system, Texas continental shelf, *in "Incised-valley Systems : Origin and Sedimentary Sequences"*, SEPM Special Publication, 51, pp. 63-82.

THOMMERET Y., THOMMERET J., LABOREL J., MONTAGGIONI L. F. et P. A. PIRAZZOLI, (1981), Late Holocene shoreline changes and seismo-tectonic displacements in western Crete (Greece), *Zeitschrift für Geomorphologie, N. F.*, suppl. Bd. 40, pp. 127-149.

TOOLEY M. J., (1974), Sea-level changes during the last 9000 years in north-west england, *The Geographical Journal*, 140, 1, pp. 19-42.

TOOLEY M. J., (1993), Long term changes in eustatic sea level, *in "Climate and sea level change : observations, projections and implications"*, R. A. Warrick, E. M. Barrow et T. M. L. Wigley eds., Cambridge, pp. 81-107.

TREZINY H., (1996), Les fouilles de la Bourse à Marseille (1977-1994), *Comptes-Rendus à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, pp. 225-250.

TROUSSET P., (1984), *Marseille antique d'après les vestiges de La Bourse et les musées de la ville*, CRDP, Marseille, 102 p.

TYLOR A., (1868), On the formation of deltas and on the evidence and cause of great changes in sea level during the glacial period, *Geol. Mag.*, 5, pp. 576-577.

V L., (1901), Mission de messieurs Ardaillon et Cayeux dans l'île de Crète, *Annales de Géographie*, Colin, 10, 54, pp. 445-446.

VAIL R. P., AUDEMARD F., BOWMAN S., A., EISNER P. N. et C. PEREZ-CRUZ C., (1991), The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology, an overview, *in "Cycles and events in stratigraphy"*, G. Einsele, W. Ricken et A. Seilacher eds., Springer-Verlag, pp 617-659.

van ANDEL T., (1989), Late Quaternary sea-level changes and archeology, *Antiquity*, 63, pp 733-745

van ANDEL T., (1990), Addendum to "Late Quaternary sea-level changes and archeology", *Antiquity*, 64, pp. 151-152.

van ANDEL T. H et J. LABOREL J., (1964), Recent High Relative Sea Level Stand near Recife, Brazil, *Science*, 145, 3632, pp. 580-581

van ANDEL T. H. et E. ZANGGER, (1990), Landscape stability and destabilization in the prehistory of Greece, *in "Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape"*, S. Bottema, G. Entjes-Nieborg et W. Van Zeist eds., Balkema, Rotterdam, pp. 139-157

van ANDEL T H., RUNNELS C. N. et K. O. POPE, (1986), Five thousand years of land use and abuse in the Southern Argolid, Greece, *Hesperia,* 55, 1, pp. 103-128.

van de PLASSCHE O., (1986), Introduction, *in "Sea-level research : a manual for the collection and evaluation of data"*, O. van de Plassche *ed* , Geobook, Norwich, pp. 1-26.

van de PLASSCHE O., van der BORG K. et A. F. M. de JONG, (1998), Sea level-climate correlation during the past 1400 yr., *Geology*, 26, 4, pp. 319-332.

van der LEEUW S., ed. (1995), *L'homme et la dégradation de l'environnement*, Actes des 15° rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, ADPCA, 514 p.

VAROQUEAUX CL., (1968-70), L'épave du musée des docks à Marseille, *Etudes classiques, Publications Universitaires des Lettres et Sciences Humaine d'Aix-en-Provence*, III, pp. 25-50.

VASSEUR G., (1911), Nouvelles découvertes et observations relatives à Massalia, *Bull. Soc. Arch. de Provence*, 17, pp. 207-218.

VASSEUR G., (1914), L'origine de Marseille, *Ann. du Museum d'histoire naturelle de Marseille*, 13, pp. 201-224.

VAUDOUR J., (1991), La notion de géosystème appliqué à l'étude des aqueducs antiques concrétionnés, *in "L'aqueduc de Nîmes et le Pont du Gard, Archéologie, Géosystème et Histoire"*, Fabre G., Fiches J.-L. et J.-L. Paillet eds., CNRS, pp. 95-107.

VECCHI L., MORHANGE C., BLANC P.-F., BUI THI MAI, BOURCIER M, CARBONEL P., DEMANT A., GASSE F. et VERRECCHIA E., (2000), La mobilité des milieux littoraux de Cumes, Champs Phlégréens, Campanie, Italie du Sud, *Méditerranée*, 1-2, pp. 71-82.

VELLA C., (1999), *Perception et évaluation de la mobilité du littoral holocène sur la marge orientale du delta du Rhône*, Thèse de Géographie Physique, Université Aix-Marseille I, 225 p. et ann

VELLA C. et M. BOURCIER, (1998), Stades ultimes de la montée holocène du niveau marin et subsidence tectonique dans le golfe de Fos, *Géomorphologie*, 2, pp. 141-154.

VELLA C., BOURCIER M. et M. PROVANSAL, (1998), Montée du niveau marin et sédimentation holocène sur la marge orientale du delta du Rhône, Provence, France, *Bull Soc. géol. France*, 169, 3, pp. 403-414.

VINCENT R., (1997), Le zéro du Nivellement Général de France, *Revue XYZ, association française de topographie*, 73, pp. 84-89.

VIRET J., (1998), *Ports et installations portuaires en Méditerranée orientale des origines à la mort d'Alexandre (Age du Bronze-323 av. J.-C.)*, Mémoire de DEA "Mondes Anciens", J. F Salles dir., Université Lyon 2, 152 p et ann.

VITA-FINZI Cl., (1969), *The Mediterranean valleys, geological changes in historical times*, Cambridge, 139 p.

VIVENT D., (1996), *La palynologie appliquée à l'archéologie . nouvelles approches expérimentales, applications à quelques sites historiques de Tours*, Thèse de préhistoire et de géologie du quaternaire, Université Bordeaux 1, n° 1381, 3 vols.

VOUVET J., MALAURENT Ph. et J. BRUNET, (1996), Caractérisation physique et environnementale d'un sanctuaire préhistorique sous-marin, semi-noyé et orné préalablement à l'élaboration d'une démarche conservatoire. Cas de la grotte Cosquer, France, *C. R. Acad Sciences*, Paris, 322, 2A, pp. 935-942.

WAELKENS M., PAULISSEN E., VERMOERE M. *et al.*, (1999), Man and environment in the territory of Sagalassos, a classical city in SW Turquey, *Quaternary Science Reviews*, 18, pp. 697-709

WAGSTAFF J. M., (1981), Buried assumptions : some problems in the interpretation of the "younger fill" raised by recent data from Greece, *Journal of Archaeological Science*, 8, pp. 247-264.

WALCOTT R. I., (1972), Past sea levels, eustasy and deformation of the earth, *Quat. Res*., 2, pp. 1-14

WARRICK R. A., (1993), Climate and sea level change : a synthesis, *in "Climate and sea level change . observations, projections and implications"*, R. A. Warrick, E. M. Barrow et T. M. L. Wigley eds., Cambridge, pp. 3-21.

WEYDERT N., (1994a), *Le dépôt coquillier de la place Jules Verne à Marseille, étude malacologique et archéologique*, D.E.A., Université de Provence, L.A.P.M.O., 56 p.

WEYDERT N., (1994b), Le dépôt coquillier anthropique de la place Jules Verne : un témoignage de l'Age de Bronze à Marseille, étude malacologique et archéologique, *Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes*, 3, 177-189.

WOELKERLING W. J., CHAMBERLAIN Y. M. et P. C. SILVA, (1985), A taxonomic and nomenclatural reassessment of *Tenarea, Titanoderma* and *Dermatolithon (Corallinacee, Rhodophyta)* based on studies of type and other critical specimens, *Phycologia*, 24, pp. 317-337.

ZANGGER E., TIMPSON M. E., YAZENKO S. B. et H. LEIERMANN, (1999), Searching for the ports of Troy, *in "The Archaeology of Mediterranean Landscapes 2, Environmental Reconstruction in Mediterranean Landscape Archaeology"*, Leveau P, Trément F., Walsh K. et G Barker eds., Oxbow Books, Oxford, pp. 89-103.

ZIBROWIUS H., (1995), The "Southern" *Astroides Calycularis* in the Pleistocene of the northern Mediterranean - an indicator of climatic changes (*Cnidaria, Scleractinia*), *Geobios*, 28, 1, pp. 9-16.

ZIMMERMANN L., (1982), Anmerkungen zur Verbreitung, Bionomie und taxonomischen Stellung von *Lithophyllum tortuosum* (Esper) Foslie, *Senckenbergiana maritima*, 14, 1-2, pp. 9-21.

Liste des figures

Figure 1 : Sites étudiés en Méditerranée depuis 1991. P. 8

Figure 2 : Gravure de Kition (Chypre) par Pococke. P. 15

Figure 3 : Gravure de Kition (Chypre) par Mariti. P. 16

Figure 4 : Sites étudiés à Pouzzoles. P. 20

Figure 5 : Vue du marché romain de Pouzzoles. P. 21

Figure 6 : Plan du marché romain de Pouzzoles. P. 22

Figure 7 : Codex d'Edimbourg représentant Pouzzoles. P. 24

Figure 8 : Dessin d'après les indications de Goethe. P. 25

Figure 9 : Gravure du marché de Pouzzoles (Lyelll). P. 26

Figure 10 : Hauteurs de la colonne d'eau entre 1822 et 1838. P. 28

Figure 11 : Faunes marines fixées et blocs bioperforés (Niccolini). P. 29

Figure 12 : Variations du niveau à Pouzzoles (Parascandola). P. 30

Figure 13 : Coupe du marché de Pouzzoles d'après Babbage. P. 31

Figure 14 : Gravure du marché de Pouzzoles (Letizia). P. 32

Figure 15 : Marché de Pouzzoles, d'après Parascandola. P. 34

Figure 16 : Progradation de la ligne de rivage à Pouzzoles. P. 37

Figure 17 : Gravure de G. Braun et de F. Hogenberg. P. 38

Figure 18 : Gravure de Delli Falconi (1539). P. 39

Figure 19 : Plan des fouilles de la rue Impériale. P. 44

Figure 20 : Principales fouilles, Vieux Port de Marseille. P. 46

Figure 21 : Vieux Port après la Seconde Guerre Mondiale. P. 47

Figure 22 : Bloc présentant des incrustations de coquillages. P. 48

Figure 23 : Coupe de la Vieille Poissonnerie. P. 49

Figure 24 : Coupe de la rue de l'Araignée. P. 51

Figure 25 : Blocs du quai antique (1952). P. 54

Figure 26 : Zone de halage, sud de la place Vivaux. P. 56

Figure 27 : Corne du port de la Bourse. P. 59

Figure 28 : Faunes marines fixées sur le quai de la Bourse. P. 60

Figure 29 : Zone de prélèvement de balanes (P. Pirazzoli). P. 61

Figure 30 : Diagramme âge/profondeur, données anciennes. P. 63

Figure 31 : Indicateurs archéologiques. P. 67

Figure 32 : Corniche à *Lithophyllum* et chicots immergés. P. 72

Figure 33 : Corniche à *Lithophyllum*. P. 73

Figure 34 : Corniche à *Lithophyllum*, vue sous-marine. P. 73

Figure 35 : Jacques Laborel décroûtant un tombant. P. 75

Figure 36 : Structure interne d'un chicot de *Lithophyllum*. P. 75

Figure 37 : Diagramme âge/profondeur, station de La Ciotat. P. 77

Figure 38 : Diagramme âge/profondeur, station de Scandola. P. 77

Figure 39 : Coupe d'un trottoir à vermets. P. 80

Figure 40 : Figuar (Liban). Bourrelet soulevé de *Dendropoma*. P. 81

Figure 41 : Ile du Palmier (Liban) : Bioconstruction soulevée P. 81

Figure 42 : Variation du niveau de la mer, Rione Terra. P. 83

Figure 43 : Mobilité verticale du substrat de Pouzzoles depuis 1969. P. 84

Figure 44 : Bourrelet de vermets soulevé à + 2,38 m. P. 85

Figure 45 : Péristomes des tubes de vermets. P. 85

Figure 46 : Mobilité du niveau de la mer, Pouzzoles. P. 86

Figure 47 : Mobilité du niveau de la mer, Pouzzoles. P. 87

Figure 48 : Zone de halage hellénistique, Marseille. P. 90

Figure 49 : Rampe de halage hellénistique (Kition). P. 91

Figure 50 : Rampe de halage (?). Enfé, Liban. P. 92

Figure 51 : Exemples de zone de halage moderne. P. 93

Figure 52 : Principaux indicateurs biologiques utilisés. P. 95

Figure 53 : Répartition de la fraction sableuse sur une plage de Provence. P. 98

Figure 54 : Shéma granulométrique de quelques milieux de sédimentation caractéristiques du Vieux Port de Marseille. P. 100

Figure 55 : Plages " naturelles " et estrans portuaires. P. 101

Figure 56 : Evolution exoscopique des quartz (Marseille). P. 104

Figure 57 : Evolution exoscopique des quartz (Antibes). P. 105

Figure 58 : Cliché MEB d'un quartz, dissolution marine. P. 106

Figure 59 : Cliché MEB d'un quartz, réseau de dissolution marine. P. 106

Figure 60 : Cliché MEB d'un quartz, faciès de néogenèse polie. P. 107

Figure 61 : Variations de la ligne de rivage à Pouzzoles. P. 110

Figure 62 : Appontements et quais modernes P. 112

Figure 63 : Quais et môle modernes. P. 113

Figure 64 : Quai d'époque Moderne, Marseille. P. 114

Figure 65 : Quai d'époque Moderne, Marseille. P. 115

Figure 66 : Fouilles de l'îlot de l'Equerre (Toulon). P. 117

Figure 67 : Equipements portuaires modernes. P. 118

Figure 68 : Diagramme de Curray (1964), Marseille. P. 120

Figure 69 : Aspects des thalles de maërl (Marseille). P. 126

Figure 70 : Aspects des thalles de maërl, Port Miou (Cassis). P. 127

Figure 71 : Malacofaune des sédiments, fouilles de Marseille. P. 130

Figure 72 : Impacts d'origine anthropique en milieu portuaire. P. 132

Figure 73 : Tableau des étudiants encadrés depuis 1992. P. 139

Figure 74 : Perspectives de recherches. P. 148