

au sein de la lithomarge et de la couverture sédimentaire. – C. R. Acad. Sci., Paris, série II, 97–102.

WILLEMS, L., A. DOUGLET, F. LENOIR & J.-P. VIGAR (1996): Phénomènes karstiques en milieux non-carbonatés. Etude de cavités et problématique de leur développement au Niger Occidental. – Z. Geomorph. N.F., Suppl. 103: 193–214.

Addresses of the authors: Luc Willems, Department of Physical Geography, University of Liège, B11, B-4000 Liège, Belgium. – Philippe Couvreur, Laboratory of General Biology and Ultrastructural Morphology, University of Liège, Institute of Zoology, 22 Quai van Beneden, B-4020 Liège, Belgium. – Barbara Sponholz, Geographic Institute, University of Würzburg, Am Hubland, D-97074 Würzburg, Germany.

## Precision des mesures de variation relative verticale du niveau marin à partir d'indicateurs biologiques

### Le cas des soulèvements bradyseismiques de Pouzzoles, Italie du sud (1969–1972 et 1982–1984)

par

CHRISTOPHE MORHANGE, Aix-en-Provence, JACQUES LABOREL  
et FRANÇOISE LABOREL-DEGUEN, Marseille

avec 9 figures

**Résumé.** Depuis des années, les Gastéropodes *Vermoidae* sont de plus en plus utilisés comme de bons indicateurs biologiques des variations relatives verticales du niveau marin. Cependant, les mesures de mobilité relative du plan d'eau obtenues grâce à ces indicateurs n'avaient jamais pu être vérifiées et étalonnées par rapport à des nivellements de précision en temps réel. L'activité bradyseismique des Champs Phlégréens, en Campanie, bien connue et soumise à une étude précise offrait pour cela une remarquable opportunité.

Nos résultats valident l'utilisation des indicateurs biologiques, en particulier pour la mise en évidence des mouvements verticaux rapides mais en précisent aussi les limites. Les vestiges biologiques observés correspondent à des périodes de stabilisation du plan d'eau suffisantes pour permettre le développement de formes bioconstructives ou bioérodées. Si les périodes de mobilité ne sont pas espacées par des temps de stabilisation suffisamment longs (de l'ordre de quelques années au moins), la mémoire biologique inscrite sur le substrat dur ne correspond plus à l'histoire totale de la mobilité du plan d'eau et il y a perte d'information.

**Summary.** *Validity of biological indicators of sea level variations in a bradyseismic environment (Pouzzuolo, Italy).* – Fixed littoral plants and invertebrates (notably Vermoid Gastropods), the skeletons of which results in littoral bioconstructions of some extent, or in distinctive bio-erosive patterns, have been used for many years as biological indicators of the variation of relative sea level in Holocene and late Pleistocene times. This method displays a fair sensitivity for small scale events such as local earthquakes which leave few or no trace in the sedimentary record. It is nevertheless sometimes difficult to use in the case of rapid submersion of the shoreline or of rapid up and down relative sea level movements.

Taking advantage of the well known sequence of bradyseismic events in the Phlegraean Fields of Pouzzuolo, near Naples in Italy, we attempted to estimate the accuracy and reliability of the biological measurements, comparing them to the high precision levelling surveys of the Osservatorio Vesuviano which bear on more than 35 years.

A biological survey was done on the cliffs of volcanic tuffa of Rione Terra (Pouzzuolo). Two clear cut biological complexes of Vermoid tubes were put into evidence at the altitudes of 2.38 m and 0.87 m above present (1995–96) mean sea level corresponding to standstills anterior to 1969 and between 1973 and 1982. The rapidity of the bradyseismic rise of the substratum, with velocities from 45 to 85 cm per year during the crises, was clearly apparent from the total absence of biological midlittoral erosion on the tubes.

Our results are consistent with those obtained by levelling, except for the short vertical oscillation during the bradyseismic crisis of 1982-1984, which was too short to be clearly registered by plant or animal growth. In the same manner, the recent submerision between 1985 and 1990 was too rapid to be registered by marine organisms.

In conclusion, the limits of the biological method are linked to the minimum time required by organisms for completing a recognizable bioconstruction or bioerosion pattern. Episodes about 5-10 years long can be however detected if the remains have not been carried underwater by a downward movement of the substrate.

**Zusammenfassung.** Zur Präzision von Messungen der relativen vertikalen Meeresspiegelschwankungen nach Biondiktoren am Beispiel bradyseismischer Bewegungen in Pozzuoli, Sudlatien (1969-1972, 1982-1984). - Sessile Littoralpflanzen und Invertebraten, v.a. Gastropoden (Vermiden), deren Skelette in gewissen Umlang littorale Biostrukturen aufbauen oder die bestimmte bioerosive Muster schaffen, sind seit langem als Biondiktoren zur Bestimmung relativer Meeresspiegelschwankungen im Holozän und jüngeren Pleistozän eingesetzt worden. Diese Methode ist ausreichend empfindlich, um kleinräumliche Ereignisse wie etwa eng begrenzte Erdbeben zu erfassen, die sonst wenige oder keine Spuren im Sediment hinterlassen. Sie ist dennoch manchmal schwer einzusetzen, nämlich bei schnellem Abtauchen einer Küstenlinie oder bei schnellen relativen An- und Abstieg des Meeresspiegels.

Ausgehend von der gut bekannten Abfolge bradyseismischer Ereignisse in den Phlegäischen Feldern von Pozzuoli nahe Neapel, Italien, haben wir versucht, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der biologischen Messungen abzuschätzen, indem wir sie mit den über 35 Jahre umfassenden Hochpräzisionsmessungen des Osservatorio Vesuviano verglichen haben.

Eine biologische Bestandsaufnahme wurde an den Tuffhills von Rione Terra (Pozzuoli) gemacht. Zwei deutlich abgegrenzte Komplexe von Vermidentürmen wurden in 2,38 m und 0,87 m über dem heutigen mittleren Meeresspiegel (1995/96) gefunden, die Stillstände vor 1969 und zwischen 1973 und 1982 belegen. Die Schmellichkeit der bradyseismischen Hebung mit Geschwindigkeiten von 45 bis 85 cm während dieser Krisen ergab sich eindeutig aus dem völligen Fehlen biologischer Mittellittoralerosion an den Röhren.

Unsere Ergebnisse stimmen mit denen der Nivellements überein, mit Ausnahme einer kurzen vertikalen Schwankung während der bradyseismischen Krise von 1982-1984, die zu kurz war, um eindeutig durch das Wachstum von Pflanzen oder Tieren dokumentiert zu werden. Ebenso verliert die jüngste Absenkung zwischen 1985 und 1990 zu schnell, um von den Meeressorganismen registriert zu werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Grenzen der biologischen Methode in der Minimalzeit liegen, die von dem Organismen benötigt wird, um erkennbare Biostrukturen- oder -erosionsmuster zu schaffen. Etwas 5 Jahre lange Episoden können jedoch noch erkannt werden, falls deren Spuren nicht durch das Absinken ihres Substrats unter die Wasseroberfläche gelangt sind.

### Introduction

Depuis les travaux préliminaires de VAN ANDEU & LABOREL (1964) et méditerranéens de FEVREY & SANTI-VILLE (1966), les Gastéropodes Vermidés sont de plus en plus utilisés comme indicateurs biologiques des variations relatives verticales du niveau marin et sont considérés comme fiables et précis (LABOREL 1986, LABOREL & LABOREL-DEGUEN 1994, PRAZZOLI et al. 1994, 1996, THOMASSETTI et al. 1981).

L'étude en temps réel par les chercheurs de l'Osservatorio Vesuviano de l'activité bradyseismique des Champs Phlégréens (CIVETTA et al. 1995) était une occasion exceptionnelle de tester la précision de nos méthodes, sans avoir à se préoccuper de problèmes de datation.

### Présentation du site et mobilité tectonique

La côte rocheuse au pied du centre ancien de Pouzzoles (Rione Terra), en Campanie, est constituée de roches tendres (tufs volcaniques gris et jaunes d'âge pléistocène) appartenant à l'ensemble volcanique des Champs Phlégréens, mondialité commune pour la mobilité relative du substrat (Fig. 1).

En effet, les colonnes du marbre romain de Pouzzoles (souvent appelé Scirapeum ou temple de Scirapsis), datées du I<sup>e</sup> au II<sup>e</sup> siècle de notre ère, sont célèbres depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle pour les traces de bioérosion par des mollusques lithophages jusqu'à environ 7 mètres d'altitude au-dessus du niveau marin actuel, alors que d'autres quartiers portuaires de Pouzzoles et de Baia, de même époque, sont maintenant immergés par 7 mètres du fond (DVOŘAK & MASTROLORENZO 1991). L'amplitude relative de la mobilité verticale locale du plan d'eau est donc d'environ 14 mètres à l'échelle d'un millénaire.

Depuis 1970, de nombreuses mesures de déformation du sol du centre historique de Pouzzoles sont régulièrement effectuées dans le cadre d'un réseau géophysique régional par les services de l'Osservatorio Vesuviano. Ce laboratoire mesure les mouvements verticaux et horizontaux du sol (mouvements bradyseismiques), signes précurseurs éventuels d'une activité volcanique. En effet, 200 000 personnes de la périphérie nord-ouest de Naples sont directement exposées au risque d'une éruption des Champs Phlégréens (FERRUCCI 1995).

La courbe des déformations ainsi mesurées montre quatre périodes de tendance différente entre 1970 et 1995 par rapport au niveau marégraphique de 1969 (BARBERI et al. 1984, BERRINO & CORRADO 1991, DVOŘAK & GASPARRINI 1991, DVOŘAK & MASTROLORENZO 1991, CIVETTA et al. 1995, FERRUCCI 1995) (fig. 2):

- de 1969 à 1972, un soulèvement de +1,8 m (crise bradyseismique);
- de 1973 à 1981, une redescente légère (0,3 m), puis le sol se stabilise vers +1,5 m;
- de 1982 à 1984, un nouveau soulèvement (+1,8 m) jusqu'à +3,3 m;
- de 1985 à 1995, une relaxation: le sol s'affaisse (-0,7 m) et se stabilise à +2,6 m.

Ce dernier affaissement tend à se ralentir depuis 1990 (CIVETTA et al. 1995).

- On peut donc distinguer trois types de mobilité en fonction de la vitesse de soulèvement ou d'affaissement du substrat par rapport au niveau marin de 1969:
- deux crises bradyseismiques de 1969 à 1972 et de 1982 à 1984, avec une vitesse d'élévation de 45 à 85 cm/an;
  - une quasi-stabilité avec de petites oscillations de 1973 à 1981;
  - un affaissement lent de 1985 à 1995, de l'ordre de 7 cm/an.

### Observations biologiques sur la falaise de Rione Terra et les digues du port oriental

#### 1 Falaise de Rione Terra

La coupe observée est située entre la Darsena (petit port occidental de Rione Terra) et le petit port oriental (Vicenzo à Minare), à sec depuis 1984 (figs. 3, 4, 5, 6 et 7). La falaise de tuf volcanique tendre, moyennement battue, présente de nombreux vestiges subossiles de bioconstructions et bioérosions caractéristiques des étages médio- et infra-littoraux.

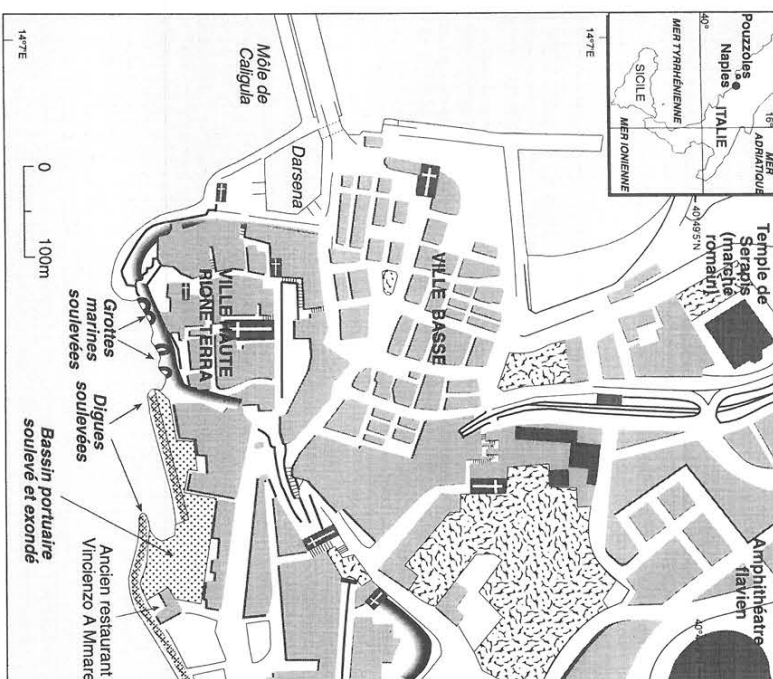


Fig. 1. Croquis de localisation du site de la ville de Pozzuoli et de nos stations d'observation.

Fig. 1. The city of Pozzuoli, with indication of our working stations.

Les mesures altitudinales ont été effectuées à l'aide d'un théodolite en prenant pour niveau de référence la limite supérieure des algues infralittorales *Corallina* spp. en juillet 1996. D'après les chercheurs de l'Osservatorio Vesuviano il n'y a eu aucune modification du niveau marin relatif entre 1995 et juillet 1996, période de notre série de mesures (Drs Di Vito et Orsi, communication personnelle).

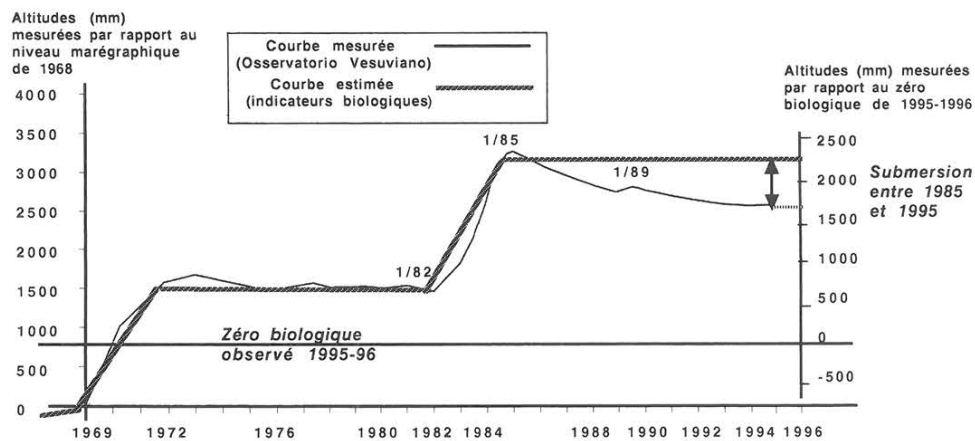


Fig. 2. Comparaison de la courbe de soulèvement du Vieux Port de Pozzuoli mesurée par l'Osservatorio Vesuviano et du soulèvement estimé par les indicateurs biologiques subfossiles.

Fig. 2. Comparison of the sea level curve of the Osservatorio Vesuviano levelling survey with that obtained by biological sea level indicators.

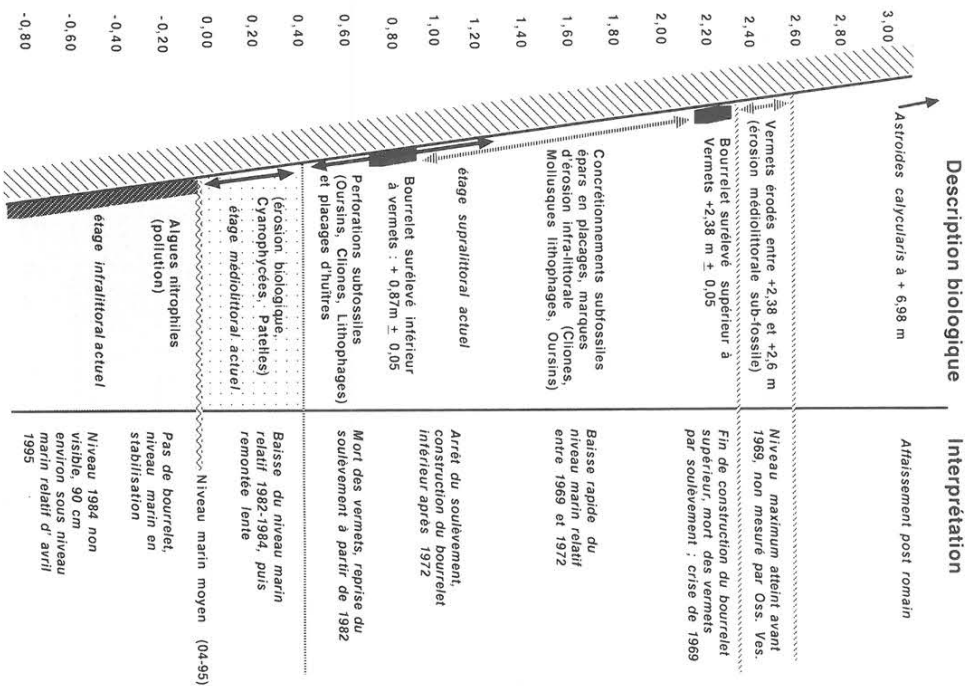


Fig. 3. Description et interprétation des vestiges biologiques marins sur les falaises et les digues de Rione Terra, Pouzzoles.  
 Fig. 3. Description and interpretation of elevated biological remains on cliffs and jetties of Rione Terra, Pozzuoli.

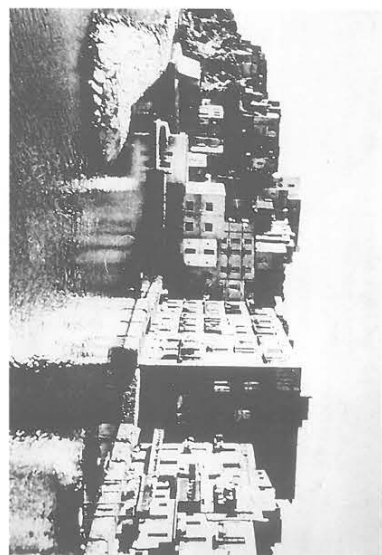


Fig. 4. Paysage de la falaise et des digues de Rione Terra avant la première crise bradyssimique de 1969-1972. On distingue nettement les bassins en eau (auteur inconnu).

Fig. 4. A general view of the cliffs and breakwaters at Rione Terra before the 1969-1972 uplevel crisis, displaying the original sea level in the harbour basins (unknown phot.).



Fig. 5. Paysage de la falaise et des digues de Rione Terra en 1995. Les bassins sont en grande partie hors d'eau après les crises de soulèvement de 1969-1984 (cliché C. MORHANGE).

Fig. 5. The present Rione Terra shoreline (1995). Harbour basins are dried after the elevation crises of 1969-1984 (phot. C. MORHANGE).

Un rivage surélevé supérieur à une hauteur maximale de 6,98 m ( $\pm 0,05$  m) est indiqué, sous les voûtes des grottes, par la limite supérieure d'un peuplement subfossile du madréporaire (Scléractiniaire *Dendrophyllide*) *Astroidea calycularis* (Pallas). Cette espèce infralittorale tend, notamment dans les grottes, à se développer jusqu'au voisinage immédiat du niveau moyen de la mer. Il est remarquable de noter que ce peuplement coïncide exactement avec la limite supérieure des perforations de *Lithophaga* des colonnes du marché romain de Pouzzoles ( $+6,94$  m  $\pm 0,05$  m), que nous avons mesurée à cette occasion. Une colonie d'*Astroïdes*, ainsi que des valves de *Lithophaga* sont actuellement en cours de datation au Laboratoire des Faibles Radioactivités de Gif-sur-Yvette (Dr. M. ARNOLD).

Deux lignes de rivage surélevées, très nettes et fraîches (fig. 6), sont marquées par des bioconstructions de *Vermis* (cf. *gregarius*) correspondant à la limite supérieure de l'étage infralittoral, c'est-à-dire à une zone toujours immergée, mais à



Fig. 6. Falaise de Rione Terra. On distingue les deux niveaux bioconstruits correspondant aux deux phases de soulèvement bradyseismique de 1969-1972 (niveau supérieur) et 1982-1984 (niveau inférieur), (cliché J. P. GORRANI).

Fig. 6. The cliff at Rione Terra, displaying two subfossil bioconstruction lines elevated by the bradyseismic crises of 1969-1972 (upper level) and 1982-1984 (lower level), (phot. J. P. GORRANI).



Fig. 7. Détail de la bioconstruction à vermetus supérieure surélevée par la crise de 1969-1972 (cliché C. MORHANGE).

Fig. 7. Detail of the upper bioconstruction line, elevated by the 1969-1972 crisis (phot. C. MORHANGE).

fleur d'eau (MOLINIER 1955, LABOREL & LABOREL-DEGUEN 1994). Leurs hauteurs respectives par rapport au niveau marin biologique à l'époque de nos mesures (juillet 1996), étaient de  $+2,38$  ( $\pm 0,05$  m) pour la plus haute et de  $+0,87$  ( $\pm 0,05$  m) pour la plus basse.

L'épaisseur des bioconstructions, de l'ordre de 3-4 centimètres pour la ligne supérieure, un peu moins pour la ligne inférieure, implique, pour chaque ligne de rivage, une stabilité du niveau marin relatif (avec une marge de quelques centimètres autour d'une valeur moyenne) de l'ordre d'une dizaine d'années ou plus.

Ces deux lignes de rivage ont été abandonnées très rapidement par la mer, car aucune trace d'érosion biologique ou dynamique médilittorale (même très faible) ne peut y être observée. En particulier, l'ouverture des tubes ne présente aucune trace de perforation par des Cyanobactéries. Ceci signifie que lors du soulèvement du rivage, lors des crises, ces formations n'ont pas séjourné plus de quelques mois à l'intérieur de la zone d'érosion médilittorale (LABOREL & LABOREL-DEGUEN 1994).

Entre les deux lignes de rivage, la roche est couverte par un peuplement épars d'invertébrés marins infralittoraux à squelette fossilisable (*Vermis triquetra*, Hautes et Baines) ainsi que par des marques cupuliformes d'érosion dues aux oursins (*Paracentrotus* et *Arbacia*) (fig. 8). Comme les bourrelets, ces peuplements, de type infralittoral banal, sont parfaitement conservés, signe d'une émerision très rapide sans trace biologique d'un stationnement intermédiaire.

La ligne de rivage actuelle ne présente aucun bourrelet de vermet vivant en raison de la pollution intense au niveau du trait de côte (renforcée par l'abaissement du niveau

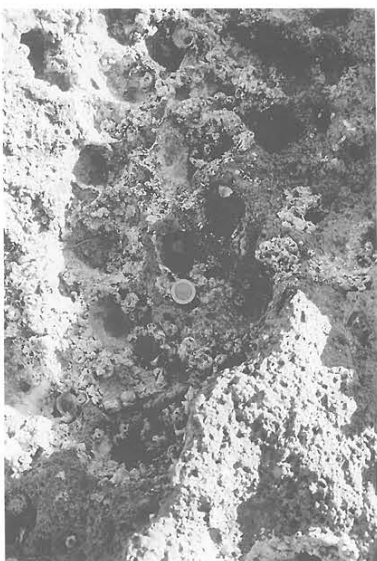


Fig. 8. Peuplement infralittoral de balanes et Vermetus épais avec cupules de bioérosion par les oursins, surélévé vers 0,8 m au-dessus du niveau marin moyen actuel (cliché C. MORHANGE).  
 Fig. 8. Sublittoral population of balanids and isolated vermetids displaying erosion cupulae made by sea urchins, elevated about 0.8 m above present mean sea level (phot. C. MORHANGE).

relatif qui diminue l'épaisseur de la tranche d'eau littorale et concentre les polluants). Le sommet de l'étage infra-littoral est caractérisé par un peuplement à corallines.

D'autre part, les restes émergés de constructions biologiques situées sur une hauteur de 30 à 40 cm au-dessus du zéro biologique actuel ont été sensiblement affectés, depuis 1990, par l'érosion médilittorale.

Nous n'avons pas trouvé, malgré nos recherches, de vestiges fossiles immergés au-dessous du niveau marin actuel.

## 2 Digue du port oriental de Rione Terra (Vicenzo a' Mare)

Formée de gros blocs de calcaire blanc, elle a été construite dans les années 1930 au moment du maximum de dépression du substrat (fig. 4).

Sur les blocs de cette digue, nous avons retrouvé les deux lignes de rivage précédemment décrites à +2,38 ( $\pm 0,05$  m) et +0,87 ( $\pm 0,05$  m) par rapport à la ligne actuelle (1996) et très bien conservées.

Nous avons de plus observé les traces d'une ligne de rivage un peu plus plus élevée, et presque totalement effacée par l'érosion marine, vers +2,60 ( $\pm 0,1$  m). Il s'agit de vestiges de tubés de vermetes isolés ou en placage et fortement érodés. Seule la dépression spiralee creusée dans la roche et correspondant à la fixation des Vermetus reste encore visible après disparition de la coquille (fig. 9).

Nous interprétons ces traces comme celles d'une élévation mineure du substrat, non répertoriée, antérieure à la première crise bradyssismique de 1969-72, avant le début des mesures précises de nivellement, mais postérieure à la date de construction



Fig. 9. Digue surélévée de Rione Terra, traces d'érosion médilittorale attaquant des vermetes plus anciens et indiquant un petit épisode d'émersion (amplitude 20-30 cm) non répertoriée entre les années 1920-30 et 1969 (cliché F. LABOREL-DEGUEN).

Fig. 9. The elevated breakwater at Rione Terra presents littoral erosion marks attacking vermetids and indicative of an unregistered minor elevation movement of the substrate (about 20-30 cm) between 1920-30 and 1969 (phot. F. LABOREL-DEGUEN).

de la digue. Sur les tufs volcaniques, trop tendres, les marques de cet événement ont disparu et l'on n'observe plus que les deux lignes les plus récentes.

## Comparaison des mesures

Les observations précédentes nous permettent de tracer une courbe que nous pouvons comparer avec celle de l'Osservatorio Vesuviano (fig. 2). Cette figure appelle un certain nombre de commentaires.

Entre 1969 et 1972, notre estimation du soulèvement lié à la première crise bradyssismique est excellente. Il y a superposition des deux courbes. Cependant, le maximum du soulèvement mesuré (+1,80 m/au zéro marin de 1969) est supérieur de 30 cm à notre estimation (+1,51 m) basée sur l'écart altimétrique entre le bourrelet supérieur (+2,38 m/au zéro biologique local de 1996) et le bourrelet inférieur (+0,87 m/au zéro biologique local de 1996). Le pic de 1972, bien mis en évidence par la méthode de mesures directes, a été trop court pour être enregistré par les organismes constructeurs.

Entre 1973 et 1981, la faible mobilité relative du plan d'eau autour d'un niveau mesuré moyen de 1,50 m, par rapport au zéro marin de 1969, a permis la construction d'un second bourrelet de vermetes épais de quelques centimètres (+0,87 m/zéro biologique local de 1996). Les petits mouvements secondaires mesurés du substrat (inférieurs à 20 cm) n'apparaissent pas, pour la raison citée plus haut.

Du point de vue biologique, on note qu'il faut environ une décennie pour construire un bourrelet de vermes (*N. cf. gregarius*) épais de 3-4 centimètres.

Entre 1982 et 1990, notre estimation de la mobilité du sol est médiocre. En effet, la crise de 1982-1984 n'a pas été immédiatement suivie par une stabilisation du plan d'eau, qui aurait permis le développement d'une bioconstruction, mais par un affaissement irrégulier du substrat ne permettant pas l'édification de lignes de Vermees. Notre évaluation du soulèvement du sol, lors de cette deuxième crise, est sous-estimée d'environ 90 cm (+3,30 m mesuré par rapport au zéro marin de 1969, contre +2,38 m estimé par rapport au zéro biologique local de 1996, fig. 2). Cette sous-estimation vient du fait que le pic de 1984 étant suivi par un affaissement, les vermes qui auraient pu se développer en 1985 se trouvaient donc en septembre 1996 à près de 90 cm sous le niveau de la mer. Une recherche au-dessous du niveau actuel s'est soldée par un échec, la bioérosion infralittorale ayant fait disparaître les bioconstructions qui auraient pu être emportées par la relaxation de 1985-95.

Entre 1990 et 1995, il n'y a pas de construction possible d'un bourrelet de vermes au niveau actuel de la mer car celle-ci est trop polluée. La stabilisation du niveau relatif se manifeste par une forte érosion des restes biologiques situés jusqu'à 30-40 cm au-dessus du niveau marin actuel (érosion médiolittorale).

### Possibilités et limites de la méthode biologique

#### 1 L'estimation des hauteurs

Elle est correcte si les périodes à niveau constant ont une durée suffisante pour se traduire par des constructions ou des érosions biologiques identifiables. Dans le cas contraire, la mobilité est sous-estimée, d'environ 30% par exemple pour la crise de 1982-84. Ce phénomène est aggravé à Pouzzoles par la pollution organique qui a affecté ce secteur littoral depuis la détérioration des systèmes d'évacuation des eaux usées par les derniers séismes, qui empêche la recolonisation du substrat par des vermes.

La période minimale nécessaire à la formation d'une structure (bioconstruite ou bioérodée) utilisable comme indicateur n'est pas la même suivant les types d'organismes utilisés. Certains (perforations d'Annélides) peuvent s'installer beaucoup plus rapidement que d'autres, alors que les perforations de *Lithobidaga* nécessitent, elles, une préparation biologique du substrat de plusieurs années (KLEBMAN 1973).

Rappelons que, contrairement aux suivis en temps réel, les estimations biologiques des variations du niveau marin, comme toutes les estimations a posteriori (qu'elles soient sédimentaires, archéologiques ou géomorphologiques...) ne permettent d'estimer que la hauteur des mouvements par rapport au niveau marin au moment de l'observation. Il s'agit d'une mémoire globale qui ne correspond pas obligatoirement à l'histoire totale de la mobilité relative du plan d'eau.

#### 2 Estimation de la direction des mouvements

Cette étude confirme que la méthode biologique se montre efficace pour les mouvements relatifs négatifs du niveau marin (régression marine ou soulèvement du substrat), mais qu'elle l'est moins dans le cas de bioconstructions de faible volume

immergées, rapidement détruites ou recouvertes par d'autres organismes infralittoraux. Elle reste cependant valable dans le cas de bioconstructions massives, algales par exemple (MORHANGE ET AL. 1993, LABOREL ET AL. 1994) ou algo-coralliennes (LIGHTY ET AL. 1982) qui peuvent résister suffisamment à l'érosion infralittorale pour être utilisables après plusieurs millénaires de submersion.

En revanche, si les soulèvements l'emportent sur les affaissements du substrat, certains détails biologiques très fins peuvent être conservés et apporter des précisions supplémentaires. Par exemple dans le cas de relaxation pré-sismique observée dans l'île de Céphalonie (STRROS ET AL. 1994).

#### 3 Estimation de la vitesse des mouvements

Les vitesses lentes (à l'échelle du siècle ou de la décennie) sont bien séparables des vitesses rapides. Dans l'état actuel des travaux, nous ne pouvons cependant pas différencier l'enregistrement biologique des vitesses de mobilité de type bradystrémique, à l'échelle du mois, de celui des vitesses de type co-sismique, à l'échelle de l'heure.

Les épisodes paroxysmiques, du type des mouvements co-sismiques, peuvent parfois entraîner des pulsations rapides du niveau relatif de la mer, qui risquent d'être sous-estimées, un peu à l'image de la crise de 1982-84 à Pouzzoles. De plus, si la durée des oscillations est inférieure aux limites nécessaires à l'installation des espèces, ces oscillations ne sont pas enregistrées.

### Conclusions

Notre étude valide l'utilisation des indicateurs biologiques pour estimer les variations relatives du niveau de la mer. Les indicateurs biologiques sont fiables et précis quand il s'agit d'une côte en voie d'émersion à condition que les mouvements soient séparés par des périodes de stationnement relatif du plan d'eau d'une durée suffisante pour que les organismes indicateurs aient le temps de se développer. En revanche, une succession en dents de scie de mouvements rapides, sans période à niveau constant, risque de ne pas être enregistrée.

### Remerciements

Ce travail entrainé dans le double cadre du Projet PFCG 367 et du programme CUMES. Il a été réalisé en partie grâce à un financement de la CEE (projet «IMPACT of relative sea level rise»). Nous remercions Madame le Professeur L. CIVETTA, Directrice de l'Osservatorio Vesuviano, ainsi que Monsieur le Professeur G. ORSI et le Dr. DI VITTO pour leur accueil et les nombreuses informations fournies. Nous remercions spécialement Messieurs M. BARRI, M. PASSAVANTI et toute l'équipe du Centre Archéologique français de Naples, en particulier Mesdames M. G. CANZANELLA, F. LAURIER et O. SENNONE.

## Références bibliographiques

- BARBERI, F., G. CORRADO, F. INNOCENTI & G. LUONGO (1984): Phlegrean fields 1982-1984: Brief Chronicle of a volcano emergency in a densely populated area. - *Bull. Volcanol.* 47: 2: 175-185.
- BARBERI, G. & G. CORRADO (1991): Tidal signal in the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (Italy) - *J. of Volcanology and Geothermal Research* 48: 93-101.
- CIVETTA, L., F. BIANCO, G. BERRINO, P. CAPANO, M. CASTELLANO, C. DEL GAUDIO, S. DE VITTO, M. DI VITTO, C. GONDANO, F. QUARENÌ, G. RICCIGLIARDI & C. RICCO (1995): I Campi Flegrei in La Sorveglianza delle aree vulcaniche napoletane, Osservatorio Vesuviano: 24-31.
- DI VITTO, M. A. & G. LUONGO (sous presse): Bradyseism and sea level variations in the Neapolitan Area over the last 12 000 years. - *J. of the European Study Group on Physical Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archeology (PACT)* 48: Dvovrak, J. J. & 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. - *J. of Volcanology and Geothermal Research* 48: 77-92.
- DVORAK, J. J. & G. MASTROLIENZO (1991): The mechanisms of recent vertical crustal movements in Campi Flegrei caldera, southern Italy. - Special paper of the Geological Society of America 263: 1-47.
- FERRUCCI, F. (1995): Fautra-e-il un jour évacuer Naples? - *La Recherche* 274: 305-309.
- FEVREY, M. & P. SANLAVILLE (1966): L'utilisation des vernets dans la détermination des anciens niveaux marins. - *Méditerranée* 4: 357-364.
- KLEMMANN, K. H. (1973): Der Gesteinsabbau durch Azimuscheln an Kalkkisten. - *Oecologia* 13: 377-395.
- LABOREL, J. (1986): Vermetid gastropods as sea-level indicators, in Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data. - In: Van DE PLASSCHÉ, O. (ed.): *Geobooks*. - Norwich: 281-310.
- LABOREL, J. & F. LABOREL-DEGUEN (1994): Biological indicators of holocene sea-level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region. - *J. of Coastal Research* 10: 2: 395-415.
- LABOREL, J., C. MORHANGE, R. LAFONT, J. LE CAMIRON, F. LABOREL-DEGUEN & 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 Geol.* 120: 203-223.
- LIGHTY, R. G., I. MC INTYRE & R. STRICKENYATT (1982): *Acropora palmata* Reef Framework: A reliable indicator of sea level in the Western Atlantic for the past 10000 Years. - *Coral Reefs* 1: 125-130.
- MOURNER, R. (1955): Les plateformes et corniches récifales de Vernets (*Vermetus cristatus* Biondi) en Méditerranée occidentale. - *C.R. Acad. Sc. Paris* 240: 361-363.
- MORHANGE, C., J. LABOREL, F. LABOREL-DEGUEN, V. LOUNNAS & E. VERRESCINA (1993): Indicateur biologique et variations relatives du niveau de la mer sur les côtes rocheuses de Provence. - *Géologie méditerranéenne* 20: 89-100.
- PRAZZOLI, P. A., S. C. STRIROS, M. ARNOLD, J. LABOREL, F. LABOREL-DEGUEN & S. PANGIORGIU (1994): Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece. - *Tectonophysics* 229: 201-209.
- PRAZZOLI, P. A., J. LABOREL & S. C. STRIROS (1996): Coastal indicators of rapid uplift and subsidence examples from Crete and other Eastern Mediterranean sites. - *Z. Geomorph.* N.F. 102: 21-35.
- STRIROS, S. C., P. A. PRAZZOLI, J. LABOREL & F. LABOREL-DEGUEN (1994): The 1953 Earthquake in Cephalonia (western Hellenic arc): coastal uplift and halotectonic faulting. - *Geophys. J. Int.* 117: 834-849.
- THOMMERET, Y., J. LABOREL, L. F. MONTAGIONI & P. A. PRAZZOLI (1981): Late Holocene shoreline and seismo-tectonic displacements in Western Crete (Greece). - *Z. Geomorph.* N.F. 40: 127-149.
- VAN ANDEL, T. H. & J. LABOREL (1964): Recent high relative sea level stand near Recife, Brazil. - *Science* 145 (3632): 580-581.

Adresses des auteurs: C. MORHANGE, Institut de Géographie de l'Université de Provence (CEREGE, CNRS), 29, avenue R. Schuman, F-13621 Aix-en-Provence, France. - J. LABOREL et FRANÇOISE LABOREL-DEGUEN, Laboratoire de Biologie Marine et d'Ecologie du Benthos (EP 75 du CNRS), Faculté des Sciences de Luminy, case 901, F-13288 Marseille, France.