

## Malformations chez un grand foraminifère, *Sorites orbiculus*, du Sud-Est de la France

*Malformations in a large foraminifer, Sorites orbiculus, of Southeastern France*

Martin Pêcheux

15 bis, rue des Roses, 06100 Nice, France

e-mail : martin-pecheux@wanadoo.fr

**Mots clés :** *Sorites*, grands foraminifères benthiques, Méditerranée occidentale, malformation, blanchissement.

**Key-words:** *Sorites*, large benthic foraminifers, Western Mediterranean, malformation, bleaching.

### RÉSUMÉ

Pêcheux M., 1998 - Malformations chez un grand foraminifère, *Sorites orbiculus*, du Sud-Est de la France. Mar. Life, **8** (1-2) : 3-9.

Les grands foraminifères symbiotiques sont à l'extrême limite nord de leur répartition en Méditerranée française. On décrit une population de *Sorites orbiculus* de Villefranche-sur-Mer. Une étude biométrique permet de la caractériser et d'estimer le taux de production de calcaire à  $150 \text{ g.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ . Plus du quart des individus présente des anomalies de croissance. Cette constatation est à rapprocher du phénomène de blanchissements de masse observé récemment dans les récifs coralliens du monde entier, et pose le problème de son origine.

### ABSTRACT

Pêcheux M., 1998 - [Malformations in a large foraminifer, *Sorites orbiculus*, of Southeastern France]. Mar. Life, **8** (1-2): 3-9.

Symbiotic large foraminifers are at their extreme Northern range limit in French Mediterranean Sea. A population of *Sorites orbiculus* from Villefranche-sur-Mer is described and characterized by biometric study. The  $\text{CaCO}_3$  production is estimated to be  $150 \text{ g.m}^{-2}.\text{year}^{-1}$ . Up to one quarter of the specimens display an abnormal morphology. This is related to the same phenomenon observed in association with recent worldwide mass bleaching in reefs, whose origin is controversial.

### INTRODUCTION

Les grands foraminifères symbiotiques sont un constituant majeur des écosystèmes récifaux (Langer *et al.*, 1997). Ils sont en Méditerranée à leur limite nord de répartition, comme les cnidaires symbiotiques. Très peu de travaux leur ont été consacrés, le principal étant celui de Blanc-Vernet (1969). Les Amphisteginidae, symbiotiques avec des diatomées, n'atteignent que la Méditerranée orientale (Leutenegger, 1977). Mis à part de petits Pénéroplidés résistants, assez fréquents, on ne rencontre sur la Côte d'Azur que très localement *Sorites orbiculus* (Forskål, 1775) (Soritidae, Miliolacea). Il peut atteindre 5 mm de diamètre et, comme les coraux, il héberge des zooxanthelles appartenant au genre *Symbiodinium*.

Le blanchissement de masse des récifs coralliens est un phénomène récent et mondial, qui affecte

te non seulement les coraux et autres cnidaires, mais aussi toutes les autres symbioses photosynthétiques, les grands foraminifères, les éponges, les mollusques et les ascidiens en association avec des dinoflagellés, des diatomées, des chlorophytes ou des cyanobactéries (revues de Williams, Bunkley-Williams, 1990 ; Smith, Buddemeier, 1992 ; Glynn, 1993, 1996 ; Pêcheux, sous presse/Internet).

Les grands foraminifères symbiotiques, en particulier les *Amphistegina*, apparaissent même plus sensibles que les coraux. Ils blanchissent avant eux et souvent en plus grande proportion ; d'importantes baisses de population ont été enregistrées (Hallock *et al.*, 1992, 1995 ; Hallock, Talge, 1993 ; Cockey *et al.*, 1996 ; Williams *et al.*, 1997 ; J. Erez, communication personnelle). Des anomalies spectaculaires du test sont associées au blanchissement (Hallock, Talge, 1993). Elles sont inconnues lors des précé-

dentes décades et au cours des temps géologiques (Pêcheux, sous presse).

C'est dans ce contexte global que les malformations de *Sorites* méditerranéens sont décrites sur un matériel récolté à l'origine dans le but d'expérimentations physiologiques (Tsimilli-Michael *et al.*, 1998 ; Pêcheux, sous presse) ; ils font aussi l'objet d'une première analyse biométrique.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Le site

La baie d'Espalmador, située au fond de la rade de Villefranche-sur-Mer (figure 1), est un site particulièrement abrité de la Côte d'Azur. Les *Sorites* y vivent en épiphytes, principalement sur des *Cymodocea nodosa* qui forment une pelouse peu profonde (1 à 2 mètres de profondeur), à une dizaine de mètres du bord et en arrière d'un herbier à posidonies. A l'automne 1996, contrairement à l'année précédente, des individus étaient présents sur d'autres algues, essentiellement *Laurencia obtusa*, *Padina pavonia* et même quelques posidonies. Divers transects à la benne jusqu'à 25 mètres de profondeur n'ont pas livré de *Sorites*.

Les températures relevées en surface au milieu de la baie de Villefranche depuis 1957 sont comprises entre 12,4°C et 27,5°C (Etienne *et al.*, 1991). On doit rajouter 1°C à 2°C l'été, mais non l'hiver pour notre site abrité, comme l'indiquent des mesures réalisées au débarcadère de Villefranche, de l'autre côté de la baie (J.C. Braconnot, communication personnelle). Les courants peuvent être violents lors d'une forte houle, et expliquent sans doute la rareté des tests dans le sédiment, constitué par un sable coquillier millimétrique.

Blanc-Vernet (1969) signale des *Sorites* (sous le nom de *S. variabilis*, voir synonymie Gudmundsson, 1994) dans deux sites, similaires quant à leur configuration, qui ont été visités : d'une part, la baie de Port-Cros en août 1996, où les *Cymodocea* sont maintenant très rares en arrière de la barrière à posidonies fortement dégradée ; d'autre part, à l'ouest du cap d'Antibes, en février 1996, dans une station caractérisée par un peuplement algal à *Penicillus mediterraneus*, à 50 mètres au sud de l'entrée du Port Crouton (A. Meinesz, communication personnelle). A ce jour, aucun *Sorites* n'a pu être retrouvé dans ces faciès, ni dans ceux équivalents à *Cymodocea* de la presqu'île de Giens (La Madrague) ou de la baie des Anges de Nice. Par contre, bien que non signalés par Blanc-Vernet (1969), ils sont depuis quelques années très abondants dans la lagune du Brusco (N. Vicente, communication personnelle).

### Méthodes d'étude

Le site a été visité depuis septembre 1995, environ tous les trois mois. Les collectes du 8 février et 18 octobre 1996 ont fait l'objet d'une étude biométrique des tests, et les différentes anomalies ont

été relevées. Lors de la dernière collecte, la densité a été calculée à partir d'un échantillon de 350 cm<sup>2</sup> et de trois autres de 100 cm<sup>2</sup> de pelouse de *Cymodocea*. Le traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel Statview. Les valeurs moyennes sont données avec l'écart-type des mesures.

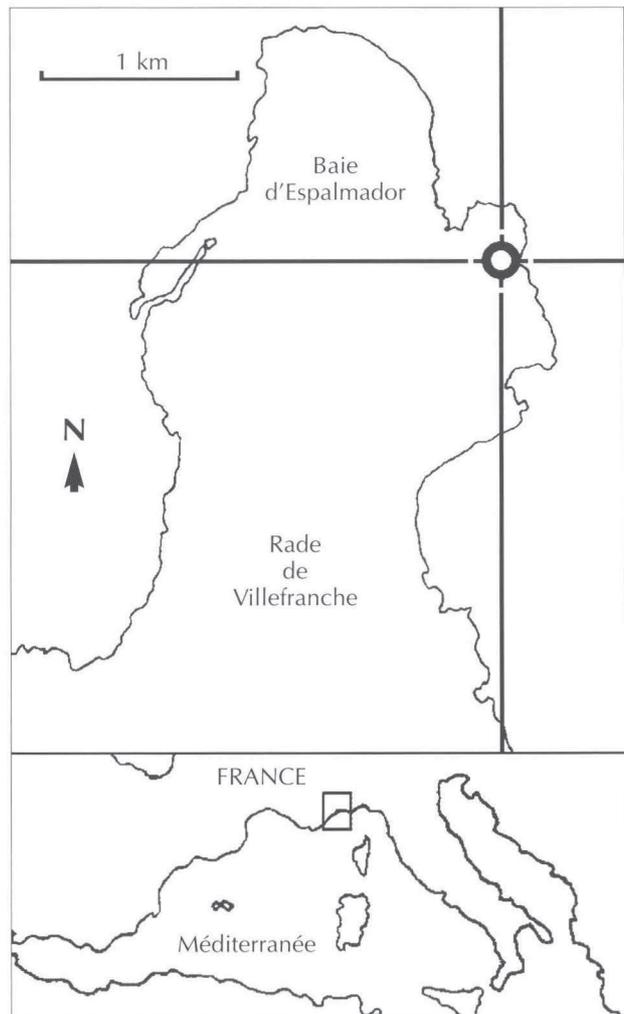


Figure 1 - Localisation de la population de *Sorites orbiculus* étudiée (43° 41' 59" N ; 7° 19' 28" E). / Localisation of the studied population of *Sorites orbiculus* (43° 41' 59" N ; 7° 19' 28" E).

## RÉSULTATS

### Densité et biomasse

Par mètre carré, le poids total des *Sorites* est de 35,8 g ± 5,5 (n=4 quadrats). Le nombre d'individus, comptés après fractionnement de l'échantillon de 350 cm<sup>2</sup> (1/8<sup>e</sup> pour les individus de plus d'environ 1,4 mm de diamètre, n=146 individus, et 1/32<sup>e</sup> pour les plus petits, n=210 individus), est de 2,25.10<sup>5</sup>.m<sup>-2</sup>.

### Biométrie

Les histogrammes de taille en hiver et à l'automne 1996 (figure 2) montrent une population

typique d'un grand foraminifère. Les individus de plus de 2 mm de diamètre à l'automne forment un groupe à part, correspondant aux spécimens adultes capables de se reproduire (diamètre = 2,73 mm  $\pm$  0,59, n=39). Seuls quelques individus possèdent des loges terminales de grandes tailles précédant de peu la formation d'embryons (diamètre de 2,5 à 4,4 mm, n=7) (figure 3a), phénomène observé en aquarium. L'absence de formes de moins de 0,5 mm au printemps indique une certaine variation saisonnière de la reproduction, absente l'hiver, mais assez faible à en juger par la dispersion des tailles. Ceci confirme la longévité annuelle de ce genre (Reiss, Hottinger, 1984 ; Kloos, 1984), tout comme les tailles des *Sorites* subadultes sur les *Laurencia* à l'automne 1996. Aucune forme microsphérique n'a été observée.

La relation entre le poids de la coquille et le diamètre est une fonction puissance d'ordre légèrement supérieur à deux chez cette forme discoïdale s'épaississant avec la taille. Ici,  $P(\text{mg})=0,168.D^{2,30}$  (mm), équation voisine de celle fournie par ter Kuile et Erez (1984) pour l'espèce voisine *Amphisorus hemprichii*,  $P=0,166.D^{2,28}$ .

#### Production de calcaire

La durée de vie étant annuelle, la production par an de calcaire est comprise entre le poids observé, 35,8 g.m<sup>-2</sup>, et celui obtenu en supposant que tous les individus deviennent adultes (D=2,73 mm, P=1,69 mg), soit 381 g.m<sup>-2</sup>. Une estimation simple consiste à multiplier la densité par la moitié du poids adulte (Hallock, 1981), soit 190 g.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>.

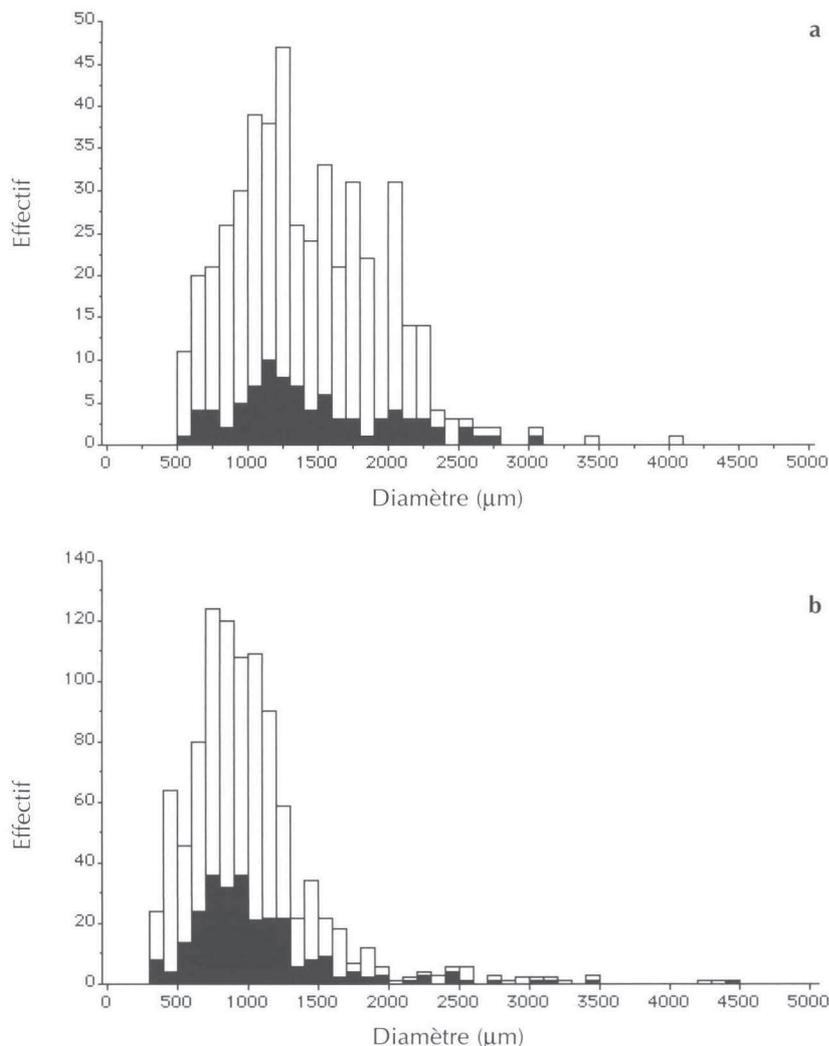


Figure 2 - Diamètre de *Sorites orbiculus* de la baie d'Espalmador en février (a) et octobre (b) 1996. En octobre, les effectifs des individus de moins de 1,4 mm de diamètre ont été multipliés par quatre, car ils ont été comptés sur une fraction quatre fois plus petite que les individus plus grands. Les spécimens anormaux sont indiqués en noir. / Diameter of *Sorites orbiculus* from Espalmador Bay in February and October 1996. In October, the histogram combines several counts by size fraction. Abnormal specimens are shown in black.

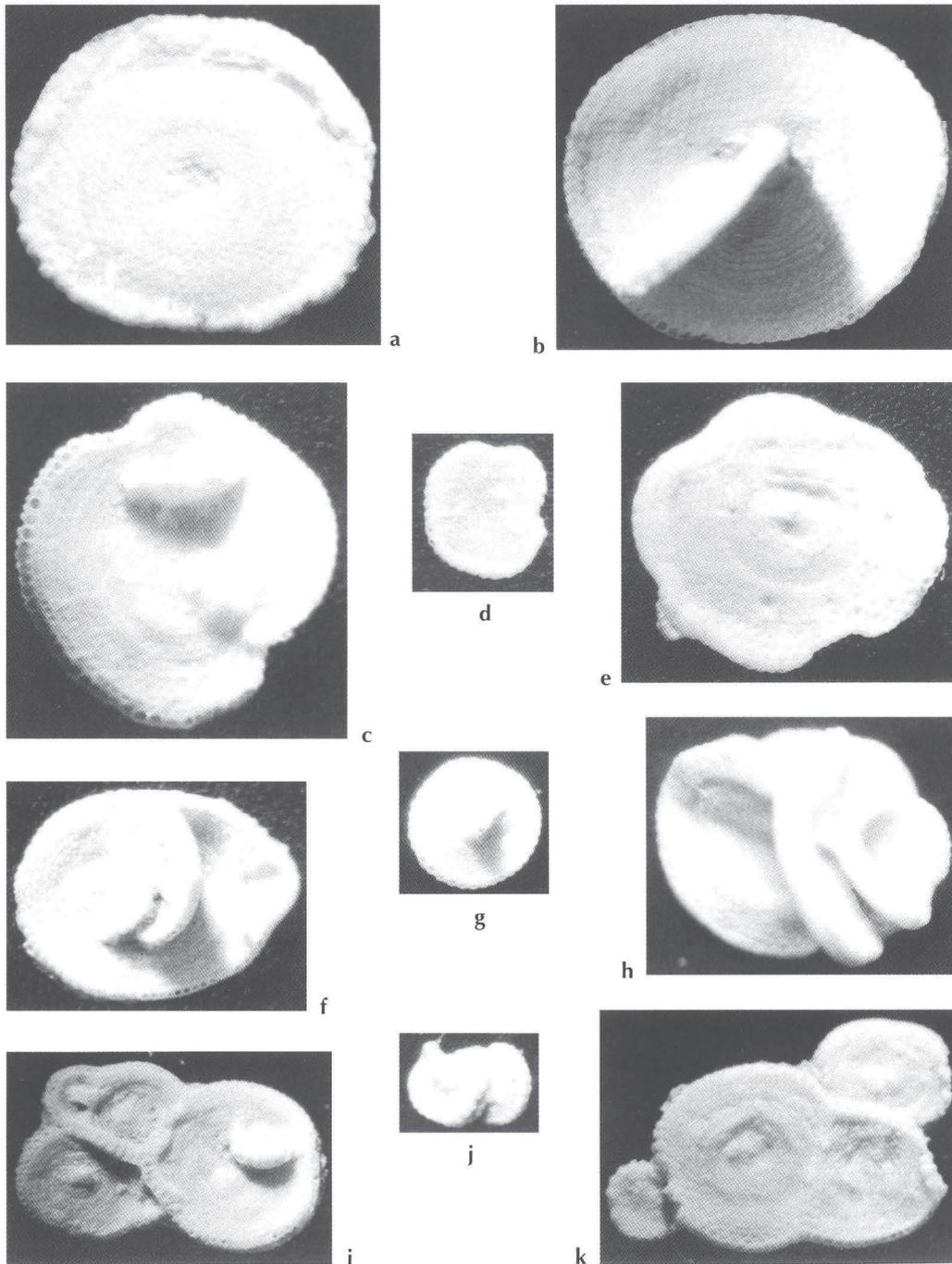


Figure 3 - Morphologies de *Sorites orbiculus* de la baie d'Espalmador (octobre 1996) grossissement x20. (a) : spécimen adulte normal à loges terminales reproductrices. (b) : individu à plan supplémentaire perpendiculaire. (c) : individu à plan supplémentaire périphérique et irrégularité périphérique. (d) : jeune individu à périphérie irrégulière. (e) : spécimen à périphérie irrégulière. (f) : individu avec deux plans supplémentaires. (g) : jeune individu à proloculus hors du plan de croissance. (h) : malformations multiples à plans supplémentaires et coniques. (i) : forme siamoise à quatre individus fusionnés et plans supplémentaires. (j) : individu juvénile fusionné hors plan et à plan supplémentaire. (k) : forme siamoise à quatre individus fusionnés. / *Morphologies of Sorites orbiculus from Espalmador Bay (October 1996) magnification x20. (a): normal adulte specimen with reproductive terminal chambers. (b): perpendicular supplementary plane. (c): peripheral supplementary plane and irregularity. (d): young individual with irregular periphery. (e): typical irregular periphery. (f): individual with two supplementary planes. (g): young individual with proloculus outside plane of growth. (h): multiple malformations with supplementary and conical planes. (i): twin form with four coalescent individuals and supplementary planes. (j): young coalescent individuals outside plane and supplementary plane. (k): twin form with four coalescent individuals.*

Chez les grands foraminifères, après le stade embryonnaire, la mortalité est faible et constante jusqu'à la reproduction (stratégie de vie K, Hottinger, 1982). En Floride, chez *Archaias angulatus*, appartenant à la même famille des *Soritidae*, ce taux de mortalité est de 0,24 pour les 8 classes de taille pré-adultes (Hallock *et al.*, 1986). Le même taux peut être déduit des données de Zohary *et al.* (1980, figure 10) pour les *Amphisorus* du golfe d'Aqaba.

Pour chaque individu, les taux de mortalité prévisibles pour chacune des huit classes de diamètre juvénile (de 0,3 à 1,9 mm, par classe de 0,2 mm) et pour la classe adulte peuvent être calculés. En multipliant ces taux par le poids correspondant et en sommant l'ensemble, une estimation raisonnable de 144 g.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> des *Sorites* est obtenue.

### Les anomalies de croissance

Les formes anormales ont été classées en quatre grandes catégories (figure 3) :

- celles avec des plans supplémentaires, situés soit près de la périphérie, et perpendiculaires, soit ayant parfois leurs origines dès le centre, formant trois, voire quatre ou plus, demi-plans en étoile, ainsi que quelques formes spiralées ;
- celles dont la périphérie est notablement irrégulière, présentant des échancrures ou des excroissances marquées ;
- les disques anormaux, en forme de cône à partir du proloculus ou en selle de cheval, ainsi que ceux montrant une région embryonnaire proéminente hors du plan de croissance ;
- les formes siamoises, fusionnant de deux à dix individus, de tailles similaires ou inégales.

Le tableau I donne le pourcentage de ces différentes anomalies dans les récoltes. Elles affectent entre 18% et 29% des individus. Des anomalies de plusieurs catégories sur un même individu sont fréquentes mais n'ont été comptabilisées qu'une fois. Les différences entre février et octobre 1996 sont significatives (Chi-carré=45,36, p=0,0001), mais une étude à long terme serait nécessaire pour leur attribuer un sens. Particulièrement frappante a été l'augmentation en automne de la fréquence des formes fusionnées pouvant réunir jusqu'à dix individus. La répartition par taille (figure 2) n'indique pas de période préférentielle d'occurrence des malformations.

Des individus blancs attachés aux *Cymodocea* ont été rencontrés (3,5% en septembre 1995 et 4,7% en octobre 1996), ainsi que quelques rares autres à moitié décolorés, donc encore vivants et peut-être en cours de blanchissement, mais il est possible qu'il s'agisse de mortalité normale.

## DISCUSSION ET CONCLUSION

Il est clair que ces *Sorites* vivent dans un milieu très particulier, se rapprochant le plus de conditions récifales : position abritée, températures élevées l'été, faible profondeur, ensoleillement opti-

Tableau I - Pourcentage de formes anormales de *Sorites orbiculus* de la baie d'Espalmador, rade de Villefranche-sur-Mer en février (n=475) et octobre (n=356) 1996. / Percentage of abnormal forms of *Sorites orbiculus* from Espalmador Bay, Villefranche-sur-Mer, in February (n=475) and October (n=356) 1996.

Type d'anomalie	Février	Octobre
Plan(s) supplémentaire(s)	10,1%	4,0%
Périphérie irrégulière	5,0%	9,8%
Disque anormal	1,3%	5,9%
Formes siamoises	1,5%	9,6%
Total	17,9%	29,3%

mal assurant la photosynthèse des symbiontes. Dans ce contexte, la taille, la densité et la production de calcaire sont similaires à celles des grands foraminifères symbiotiques des tropiques dans les endroits de haute productivité (de 50 à 500 g.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>, voir synthèse de Langer *et al.*, 1997). Nous nous attendions à une saisonnalité très marquée de la reproduction, à cause des grandes variations de température. Tandis que dans les Caraïbes celle-ci a lieu toute l'année (Kloos, 1984), dans le golfe d'Aqaba, plus froid, elle se concentre au printemps (Zohary *et al.*, 1980). En fait, elle se produirait ici du printemps à l'automne.

Notre surprise a été de constater la fréquence élevée d'anomalies qui justifie cette publication. Les travaux antérieurs n'en n'ont pas signalées, mais peu d'attention était portée à ce sujet. Nous avons recherché de manière systématique d'anciennes collections, mais nous n'avons trouvé que huit individus provenant de Port-Cros, de 1964, et un autre avec la seule mention "Villefranche", ceci dans la collection L. Blanc-Vernet (conservée par G. Kouyoumzakis), et deux du Port Crotton, Antibes, octobre 1968 (parmi les racines de l'herbier de A. Meinesz). Tous ces exemplaires sont normaux, bien qu'un spécimen, figuré par Blanc-Vernet (1969, Pl. XII, figure 2) présente des contours irréguliers. L'apparition de telles malformations semblerait donc récente. La disparition des *Sorites* à Port-Cros et au cap d'Antibes est inquiétante, mais des facteurs locaux pourraient être invoqués.

Chez les foraminifères, les malformations sont liées à des environnements très restreints, extrêmes ou fortement pollués (Boltovskoy, Wright, 1976 ; Alve, 1995). Chez *Sorites*, Reiss et Hottinger (1984) signalent quelques individus à plans supplémentaires dans le golfe d'Aqaba, dans les mers sujettes à de très fortes variations de la température et de l'évaporation. Des irrégularités dans la formation des loges peuvent être fréquentes, notamment comme chez *Operculina* (Pêcheux, 1995), mais sont très éloignées des malformations décrites ici.

Bien que les suivis de ces populations soient rares, les malformations de la coquille des grands foraminifères dans des milieux ouverts apparaissent comme récentes et liées au blanchissement de masse des récifs. Elles sont inconnues des temps géolo-

giques, en particulier chez les *Soritidae* (Pêcheux, sous presse). Le cas le plus étudié est celui des *Amphistegina* de Floride, suivies depuis longtemps par l'équipe de P. Hallock. Le blanchissement, en 1991, s'est accompagné d'un taux de malformation atteignant 6% de la population. Nous avons observé à l'île Maurice, en 1989, quelques mois après un épisode de blanchissement, des anomalies très spectaculaires chez plusieurs genres, jusqu'à 47%, alors que les échantillons de 1974 n'en montraient pas (Pêcheux, sous presse). Des malformations ont été observées également chez *Amphistegina* à Palau (Micronésie) en octobre 1995 (J. Hohenegger, communication personnelle) et chez *Amphistegina*, *Heterostegina* et *Sorites* à Panama, en juillet 1996 (obs. pers.). Aussi nous semble-t-il logique de considérer les malformations des *Sorites* de Villefranche comme révélatrices du même phénomène global.

S'il en est ainsi, quelle en est la cause ? Nous avons analysé les données locales disponibles sur la température, l'irradiance et les ultraviolets, souvent évoqués à propos du blanchissement. Il ne s'agit pas du réchauffement planétaire : les températures de l'eau de mer en 1995-1996 à Villefranche n'ont rien d'exceptionnelles, et aucune tendance depuis 1957 n'apparaît (M. Etienne, com. pers.). Le rayonnement global dans la région (station météorologique de Nice) montre peut-être une légère augmentation pour les mois de janvier, mars et août 1971-1996 (mais non significative,  $p > 0,06$ ) ou, au contraire, une baisse en octobre ( $p = 0,005$ ), mais de toute façon restant en 1995-1996 dans la fourchette normale (S. Dallot, com. pers.). Les ultraviolets ont bien augmenté l'hiver dans la région de Nice, à cause d'une diminution d'ozone de  $2,55\% \cdot \text{an}^{-1}$  pour les mois de janvier à avril 1978-1991 (données du satellite TOMS Nimbus 7), mais non sous les tropiques (Pêcheux, 1996). L'accroissement d'irradiance dû à plus de transparence de l'eau à cause d'un hypothétique accroissement de temps calme (suggéré par Gleason et Wellington, 1993) ne peut être ici qu'insignifiant à un mètre de profondeur. Reste l'augmentation de 30% du gaz carbonique (IPCC, 1995) qui acidifie l'eau de mer, et qui serait responsable, selon nous, du blanchissement de masse des récifs (Pêcheux, 1993, sous presse).

## ADDENDUM

Après décembre 1996, depuis mai 1997 jusqu'à août 1999 (huit visites), la population de *Sorites* de la baie d'Espalmador a subi une réduction drastique. Seuls 5 à 10 individus peuvent être récoltés par  $100 \text{ cm}^2$ . La quasi-disparition inexplicable de la pelouse à *Cymodocea* depuis 1997 semble, en première approche, la raison de ce phénomène. D'autre part, la vague de mortalité des gorgones, avec quelques blanchissements de coraux sur la côte provençale l'été 1999 (P. Francour, communication personnelle), apparaît comme proche du blanchissement global des récifs.

## REMERCIEMENTS

Nous voulons ici remercier les collègues qui ont apporté un intérêt et une aide à ce travail : G. Kouyoumouzakakis, A. Meinesz, J.C. Braconnot, M. Etienne et S. Dallot. Ce travail a été financé par le RMI n° 224397K.

## BIBLIOGRAPHIE

- Alve E., 1995 - Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *J. foram. Res.*, **25** : 190-203.
- Blanc-Vernet L., 1969 - Contribution à l'étude des foraminifères de Méditerranée. *Recl Trav. Stn mar. Endoume*, **64** (48) : 1-135.
- Boltovskoy E., R. Wright, 1976 - *Recent Foraminifera*. Junk Publ., The Hague, 515 pp.
- Cockey E., P. Hallock, B.H. Liz, 1996 - Decadal-scale changes in benthic foraminiferal assemblages off Key Largo, Florida. *Coral Reefs*, **15** : 237-248.
- Etienne M., M.C. Corre, S. Dallot, P. Nival, 1991 - Observations hydrologiques à une station côtière méditerranéenne, Point B - Rade de Villefranche-sur-Mer ( $43^{\circ}41'10''\text{N}-7^{\circ}19'00''\text{E}$ ). *Campagnes océanogr. fr. IFREMER*, **14** : 1-89.
- Gleason D.F., G.M. Wellington, 1993 - Ultraviolet radiation and coral bleaching. *Nature*, **365** : 836-838.
- Glynn P.W., 1993 - Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs*, **12** : 1-17.
- Glynn P.W., 1996 - Coral reef bleaching: facts, hypothesis and implications. *Global Change Biol.*, **2** : 495-509.
- Gudmundsson G., 1994 - Phylogeny, ontogeny and systematics of recent Soritacea Ehrenberg 1839 (Foraminifera). *Micropaleontology*, **40** : 101-155.
- Hallock P., H.K. Talge, K. Smith, E.M. Cockey, 1992 - Bleaching in a reef-dwelling foraminifer, *Amphistegina gibbosa*. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp.*, Guam, 1992, **1** : 44-49.
- Hallock P., H.K. Talge, 1993 - Symbiont loss ("bleaching") in the reef-dwelling benthic foraminifer *Amphistegina gibbosa* in the Florida Keys in 1991-92. In : *Global aspects of coral reefs: health, hazards and history*. Rosenstiel School Mar. Atmos. Sc., Miami, pp : 8-13.
- Hallock P., H.K. Talge, E.M. Cockey, R.G. Muller, 1995 - A new disease in reef-dwelling Foraminifera: implications for coastal sedimentation. *J. foram. Res.*, **25** : 280-286.
- Hottinger L., 1982 - Larger Foraminifera, giant cells with a historical background. *Naturwissenschaften*, **69** : 361-371.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 1995 - *Climate Change 1995: the science of climate change*. J.T. Houghton et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 539 pp.
- Kloos P., 1984 - Studies on the recent foraminifer *Sorites orbiculus* (Forskål) from Curaçao (Netherlands Antilles). *GUA Pap. Geol.*, **1** (19) : 1-158.
- Kuile ter B., J. Erez, 1984 - *In situ* growth rate experiments on the symbiont-bearing Foraminifera *Amphistegina lobifera* and *Amphisorus hemprichii*. *J. foram. Res.*, **14** (4) : 262-276.
- Langer M.R., M.T. Silk, J.H. Lipps, 1997 - Global ocean carbonate and carbon dioxide production: the role of reef Foraminifera. *J. foram. Res.*, **27** (4) : 271-277.
- Leutenegger S., 1977 - Ultrastructure de foraminifères perforés et imperforés ainsi que de leurs symbiontes. *Cah. Micropal.*, **3** : 1-161.

- Pêcheux M., 1993 - Is present coral reef mass bleaching due to CO<sub>2</sub> rise? In : 7<sup>th</sup> *Int. Symp. in Biomineralization 93*. D. Allemand, J.P. Cuif (eds), Proceedings of a symposium, 7-20 nov., at Monaco, pp : 174.
- Pêcheux M., 1995 - Ecomorphology of a recent large foraminifer, *Operculina ammonoides*. *Geobios*, **28** : 529-566.
- Pêcheux M., 1996 - Analysis of ozone satellite data: no relation between UV and reef mass bleaching. In : 8<sup>th</sup> *Int. Coral Reef Symposium, Abstract*, 1996, at Panama, pp: 155. Internet: [http:// coral.aoml.noaa.gov/pub/coramplists/archives/archives29/03/1996](http://coral.aoml.noaa.gov/pub/coramplists/archives/archives29/03/1996).
- Pêcheux M., sous presse - Review on coral reef bleaching. *Atoll Res. Bull.*, 214 pp. Internet: [http://www.essi.fr/~sander/articles/Misc/Coral\\_Reef.html](http://www.essi.fr/~sander/articles/Misc/Coral_Reef.html).
- Reiss Z., L. Hottinger, 1984 - The Gulf of Aqaba: Ecological micropaleontology. *Ecol. Stud.*, **50** : 1-354.
- Smith S.V., R.W. Buddemeier, 1992 - Global change and coral reef ecosystem. *A. Rev. Ecol. Syst.*, **23** : 89-118.
- Tsimilli-Michael M., M. Pêcheux, R.J. Strasser, 1998 - Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed *in hospite* by fast fluorescence kinetics. *Archs Sci. Genève*, **51** (2) : 1-36.
- Zohary T., Z. Reiss, L. Hottinger, 1980 - Population dynamics of *Amphisorus hemprichii* (Foraminifera) in the Gulf of Elat (Aqaba), Red Sea. *Eclog. geol. Helv.*, **73** (3) : 1071-1094.
- Williams D.E., P. Hallock, H.K. Talge, J.N. Harney, G. McRae, 1997 - Responses of *Amphistegina gibbosa* populations in the Florida Keys (U.S.A.) to a multi-year stress event (1991-1996). *J. foram. Res.*, **27** (4) : 264-269.
- Williams E.H., L. Bunkley-Williams, 1990 - The world-wide coral reef bleaching cycle and related sources of coral mortality. *Atoll Res. Bull.*, **335** : 1-71.

Reçu en mai 1995 ; accepté en décembre 1999.  
Received May 1995; accepted December 1999.