

Les espèces des grands fonds se nourrissent plutôt des restes d'organismes planctoniques qui tombent sur le fond. Certaines collectent les particules nutritives à la surface du sédiment avec leur réseau de pseudopodes qui s'étend jusqu'à plusieurs centimètres du test. D'autres, tels les astrophoridés, ont des tests arborescents grâce auxquels ils étendent leurs pseudopodes à plusieurs centimètres au-dessus du sédiment : ils capturent ainsi les particules en suspension dans l'eau. Près de dix pour cent de la matière organique arrivant sur le fond est ainsi recyclée par les foraminifères : ces organismes ont un rôle important dans la régulation du cycle du carbone.

Certaines espèces planctoniques, tel *Globigerinoides sacculifer*, ou certaines espèces qui vivent sur le fond, tel *Pillulina argentea*, sont des prédateurs redoutables qui capturent parfois des proies plus grosses qu'elles, notamment de petits crustacés, qu'elles fragmentent avant de les digérer. Elles utilisent leur réseau de pseudopodes à la manière d'un filet, où les proies sont piégées. *Pillulina argentea* creuse dans la vase une cavité dont l'ouverture est masquée par les pseudopodes recouverts de sédiment : les petits crustacés qui y tombent sont immobilisés par les pseudopodes, puis consommés.

D'autres se nourrissent peu, et consomment les composés organiques que les algues symbiotiques de leur cytoplasme synthétisent. Les foraminifères hôtes n'ont alors qu'à fournir l'azote

et le phosphore nécessaires aux symbiotes et à se procurer les métabolites non fabriqués par ceux-ci.

De grands foraminifères en forme de disques et abritant des algues dans le cytoplasme sont particulièrement adaptés aux environnements pauvres où ils vivent en associant plusieurs mécanismes : disposés à la surface du sédiment, ils bénéficient à la fois du flux de nutriments dissous, issus de l'action bactérienne sur la matière organique, et de l'activité photosynthétique de leurs symbiotes, favorisée par une bonne exposition à la lumière.

Enfin, les foraminifères herbivores, accrochés aux algues, captent les particules nutritives avec leurs pseudopodes, puis les rassemblent autour du test en un kyste de nutrition. Ils se nourrissent à partir de cet amas, qui en outre les protège, puis se déplacent et en reconstituent un nouveau (voir la figure 4).

Le cycle de vie des foraminifères dépend de la nourriture disponible : ainsi, dans le golfe d'Elat, au fond de la mer Rouge, un petit nombre d'individus de *Peneroplis planatus* vit habituellement dans le sédiment. Au printemps, ils se multiplient rapidement par reproduction asexuée et colonisent les feuilles des algues *Halophila*, alors en pleine croissance.

De nombreux animaux, essentiellement des invertébrés (crustacés, gastéropodes...), consomment les foraminifères. L'un des prédateurs le mieux étudié est le gastéropode *Olivella biplicata*, dont les larves se nourrissent de foraminifères

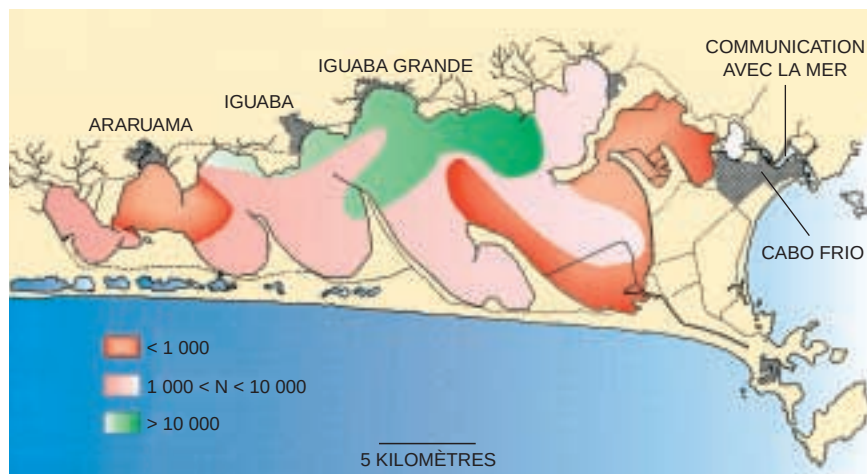
avant de changer de régime alimentaire pendant leur croissance. Leur tube digestif contient jusqu'à 60 pour cent de foraminifères, avec une concentration 1 000 fois supérieure à celle du sédiment. Cependant, les grands foraminifères qui constituent une ressource potentielle considérable sont peu consommés : des substances toxiques sécrétées par les symbiotes ou la faible quantité de matière organique par rapport au test minéralisé découragent peut-être les prédateurs.

De remarquables bio-indicateurs

Les foraminifères dont nous avons examiné ici les principales caractéristiques ont un intérêt qui dépasse la zoologie fondamentale. Dès 1839, d'Orbigny, qui relevait leur «admirable diversité et l'élégance de leur forme», insistait sur l'abondance de ces organismes qui «constituent une des classes les plus nombreuses du monde animal» et sur la facilité avec laquelle ils peuvent être récoltés et étudiés ; partout «l'observateur trouve sous ses pieds, et dans une seule pincée de sable, une grande quantité de foraminifères qu'il peut étudier avec le seul secours d'une loupe».

Une large répartition aussi bien spatiale que temporelle, ainsi qu'une grande diversité confèrent aux foraminifères la qualité d'indicateur biologique par excellence. Ils ont d'autres atouts : leur taille, comprise le plus souvent entre 0,05 et 0,5 millimètre, qui facilite une observation à la loupe sans préparation spéciale ; leur abondance dans la plupart des sédiments (jusqu'à 50 000 tests sur 100 centimètres carrés) fournit une base statistique fiable, même pour un petit volume de sédiment ; leur vie sur ou dans le sédiment, lequel reçoit et adsorbe les polluants auxquels les foraminifères sont directement exposés ; leur cycle de reproduction relativement court (quelques semaines à quelques mois), grâce auquel ils réagissent rapidement aux changements de l'environnement ; et, enfin, la conservation de leurs tests après la mort des cellules.

L'accumulation de ces tests donne une image moyenne des conditions écologiques qui règnent sur les lieux de récolte, en effaçant les variations de courtes périodes, tels les cycles de marée. Cette propriété est particulièrement intéressante dans les lagunes



5. LES MODIFICATIONS DES PEUPLEMENTS DE FORAMINIFÈRES révèlent l'impact des activités humaines sur l'environnement. Au Brésil, dans la lagune d'Araruama, les deux zones très urbanisées de Cabo Frio et d'Araruama ont un impact sur les peuplements de foraminifères, tandis que l'apport modéré d'effluents chargés de matière organique d'origine domestique au Nord de la lagune, favorise le développement de ces peuplements (les zones sont établies selon le nombre de tests dans 50 centimètres cube de sédiment).

côtières et dans les estuaires, où le milieu est extrêmement variable.

La composition des peuplements de foraminifères dépend des caractéristiques des environnements où ils vivent : à partir du peuplement contenu dans un échantillon, on peut donc reconstituer l'environnement où ils vivaient, qu'il s'agisse d'un environnement actuel ou fossile.

Notre équipe étudie les foraminifères qui vivent sur le sédiment près des côtes et, notamment, dans les estuaires, les lagunes et les ports. Dans ces environnements, les conditions changent constamment avec le cycle de la marée : les caractéristiques environnementales ne peuvent donc pas être définies par des analyses chimiques ponctuelles qui, de plus, ne détectent qu'une partie des éléments présents dans le milieu.

À l'inverse, les foraminifères que nous étudions se déplacent peu sur le fond : ils réagissent à l'ensemble des conditions qui se succèdent au cours de cycles de différentes périodes (marées, saisons). Les peuplements qui s'adaptent intègrent toutes les variables et donnent une image moyenne des conditions environnementales. C'est un des atouts majeurs des foraminifères.

Du peuplement à l'individu

À partir d'échantillons régulièrement prélevés, on établit un schéma de répartition des différentes espèces de foraminifères pour chaque type d'environnement, par exemple les estuaires. Grâce à ce schéma de référence, on situe les échantillons prélevés lors d'études ultérieures selon leur position écologique et l'on obtient une évaluation rapide des caractéristiques moyennes de l'environnement. Ces évaluations sont utiles aux projets d'aménagement ou de mise en valeur de ces milieux très changeants.

Au-delà de leur simple répartition, des espèces réagissent individuellement aux caractéristiques locales du milieu, devenant pour l'écologie des « espèces indicatrices », encore nommées « espèces index ». L'étude de ces espèces et des modifications des peuplements permet d'évaluer les caractéristiques globales de l'environnement et de détecter les stress d'origine naturelle ou humaine. Par exemple, notre équipe intervient en Guyane, dans le cadre du Programme

national d'écologie côtière (PNEC) : à partir des foraminifères, nous participons à l'exploration de la dynamique des bancs de vase, issus de l'Amazonie, qui se déplacent le long du littoral en modifiant constamment la morphologie côtière.

Dans la lagune d'Araruama, près de Rio de Janeiro, une étude menée en collaboration avec l'Institut océanographique de São Paulo a montré que le nombre d'espèces et le nombre d'individus diminuent fortement dans les sites soumis à l'impact des deux principales zones de résidence que sont Cabo Frio, d'une part, et Araruama et Iguabinha, d'autre part. Toutefois, au Nord de cette même lagune, des rejets modérés de zones de résidence de moindre importance ont un effet bénéfique sur les peuplements de foraminifères (voir la figure 5). En présence de rejets de matière organique ou de polluants, une espèce tolérante se développera, alors que des espèces sensibles disparaîtront.

Grâce aux mêmes méthodes, on reconstitue des environnements anciens à partir de foraminifères fossilisés. De plus, on retrace l'évolution historique des environnements, dont l'effet des activités humaines. Ainsi, les peuplements de foraminifères étudiés dans des forages effectués dans la baie de Bourgneuf, en Vendée, ont mis en évidence l'impact des activités ostréicoles.

Par ailleurs, les effets du développement industriel ont été étudiés dans l'estuaire de Bilbao, par une équipe espagnole. L'étude de carottes de forage a mis en évidence la raréfaction des peuplements de foraminifères depuis 40 ans. Néanmoins, dans l'estuaire, des zones refuges, protégées de la pollution, abritent quelques espèces prêtes à recoloniser le milieu lorsque la qualité de l'environnement s'améliorera.

Des anomalies

Une autre utilisation des foraminifères en tant que bio-indicateurs est fondée sur les anomalies morphologiques qui affectent parfois leur test à la suite d'un stress. On rencontre principalement des protubérances, des tailles de loges réduites, des formes anormales, des tests doubles ou triples... Ces anomalies sont soit d'origine mécanique, telle la régénération après cassure partielle du test par des prédateurs ou par