

de tests. Les tests organiques sont sécrétés par la cellule ; les tests agglutinés sont construits à partir d'éléments prélevés au hasard ou triés par les pseudopodes dans le sédiment, puis cimentés par une colle organique ou par des dépôts minéralisés de silice, de calcite ou d'oxyde de fer ; les tests carbonatés sont composés généralement de calcite. Parmi ces derniers, on distingue les tests hyalins, percés de nombreux pores, et les tests porcelanés, qui en sont dépourvus.

Les tests hyalins, qui apparaissent translucides au microscope, se for-

ment par minéralisation de part et d'autre d'un moule de matière organique déposé par les pseudopodes. Lors de la construction d'une nouvelle loge, la paroi est ainsi constituée de deux lamelles de calcite séparées par le moule organique dont les glycoprotéines (des molécules composées d'une protéine liée à un sucre) commandent au moins partiellement la minéralisation. L'inhibition de la minéralisation forme, dans certaines zones, des pores par où des gaz et des substances dissoutes sont échangés. Chez certaines espèces, la lamelle externe des nouvelles loges recouvre l'ensemble des loges précédentes : chaque lamelle est alors séparée de la précédente par une couche organique très mince ; les pores qui se prolongent à travers les lamelles successives sont obstrués par ces couches organiques ainsi que par l'épais revêtement organique interne.

Lors de la construction d'un test porcelané, opaque, l'appareil de Golgi produit des aiguilles de calcite, pendant que les pseudopodes délimitent l'espace de la paroi à construire. Les

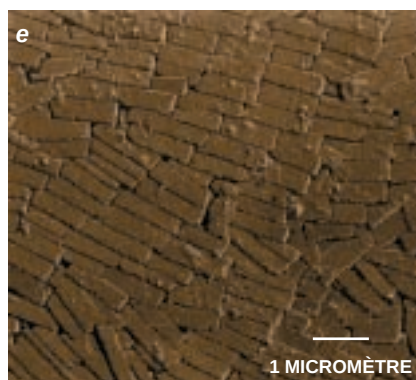
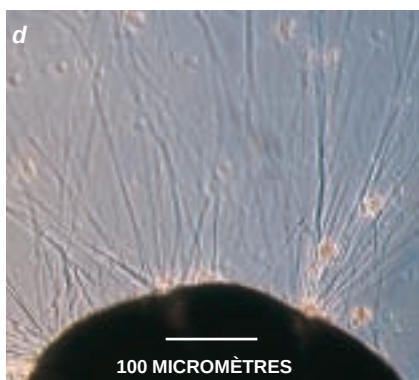
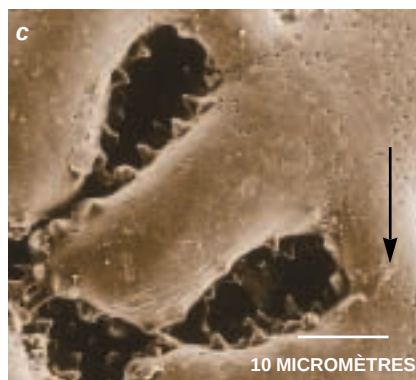
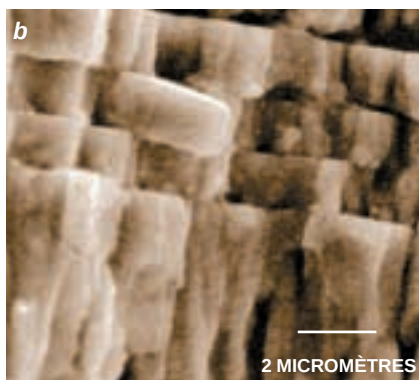
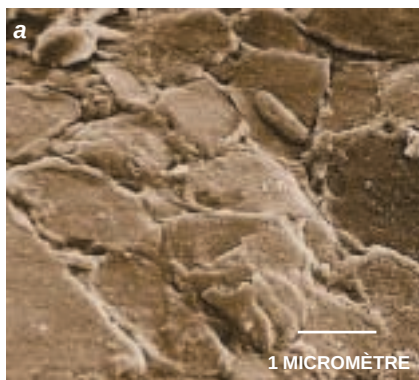
aiguilles de calcite sont transportées à l'intérieur de cet espace où elles sont déposées dans un ordre aléatoire. Une mince couche organique est ensuite déposée sur chaque face de l'amas d'aiguilles. Enfin, les éléments carbonatés externes se réorganisent et forment la surface du test, par exemple celle au pavage régulier d'une espèce de *Quinqueloculina*.

Les tests vides des foraminifères morts s'accumulent dans les sédiments et peuvent s'y fossiliser. Ils sont abondants en milieu tropical, où ils constituent parfois plus de 90 pour cent des sables des plages, et dans les fonds marins, où l'accumulation des tests planctoniques forme un sédiment nommé boue à globigérines, du nom d'un groupe de foraminifères très répandu (voir la figure 2).

Le grand nombre de fossiles préservés, leur petite taille et leur présence dans des environnements variés en font un outil précieux pour les géologues. Parmi les 50 000 espèces fossiles, certaines ont eu une évolution rapide au cours des temps géologiques : ainsi, on peut dater les couches géologiques et établir des échelles biostratigraphiques précises. D'autres espèces avaient des exigences écologiques très strictes : à partir d'échantillons fossiles, on reconstitue l'environnement et le climat de l'époque où les organismes vivaient. Avant le développement des techniques géophysiques (sismique réflexion, sismique réfraction, etc.), ces indications fournies par les foraminifères étaient utilisées pour guider l'avancée des forages pétroliers.

Une sexualité débridée

Pénétrons maintenant à l'intérieur du test, et examinons la vie cellulaire des foraminifères. Lors de leur cycle de reproduction, voisin de celui de certaines plantes, ces organismes alternent les générations de cellules haploïdes (leurs chromosomes n'existent qu'en un seul exemplaire), nommées gamontes, et de cellules diploïdes, les agamontes (les chromosomes sont en double, comme chez la plupart des êtres vivants dotés d'une reproduction sexuée). Les agamontes se reproduisent par division du noyau et fragmentation du cytoplasme, donnant naissance à des gamontes haploïdes. Les gamètes, formés par division de ces derniers,



3. LE TEST DES FORAMINIFÈRES, vu au microscope électronique, inclut parfois des grains agglutinés, maintenus par un ciment organique qui forme des boursouflures entre les grains (a). Coupé transversalement, les tests de type «hyalins» apparaissent formés d'un empilement de lamelles (b). Entre deux loges successives, le test d'*Elphidium* montre des espaces profonds, partiellement recouverts par des ponts suturaux (flèche, c). De ces espaces, la cellule, telle celle d'*Ammonia beccarii*, émet des prolongements, les pseudopodes (d). En (e), on voit le pavage régulier qui recouvre le test de certaines quinqueloculines.

fusionnent et forment des œufs diploïdes qui se développent en donnant des agamontes. Puis le cycle redémarre.

Les agamontes sont souvent plus grands que les gamontes et possèdent une première loge, nommée proloculus, plus petite. Par ailleurs, ils sont polynucléés, c'est-à-dire que leur cellule renferme plusieurs noyaux, alors que les gamontes sont souvent uninucléés. Les noyaux des agamontes sont de deux types : les noyaux germinaux, plus petits, participent à la reproduction ; et les noyaux somatiques règlent la vie de la cellule.

Pendant la reproduction sexuée, les gamètes fusionnent, soit à l'intérieur du test du foraminifère unique qui les a produits (on parle d'autogamie), soit à l'intérieur d'une chambre d'incubation formée des tests de deux ou de plusieurs gamontes (c'est la gametogamie), soit dans l'eau lorsqu'ils sont libérés (gamétogamie).

Toutefois, ce schéma général est souvent perturbé : l'alternance des générations n'est pas toujours régulière ; le nombre de chromosomes dans les noyaux peut varier ; enfin, les foraminifères existent sous une troisième forme, nommée schizonte, à gros proloculus, qui se reproduit toujours selon un processus asexué.

Des modes de vie diversifiés

Les modes de vie des foraminifères sont aussi variés que leurs formes. Certaines espèces encroûtantes construisent leur test sur des supports solides immobiles, tels des coquilles, des galets et des coraux, sur lesquels elles sont définitivement fixées. D'autres espèces croissent sur des algues, avec lesquelles elles sont parfois transportées. Par exemple, l'algue verte *Cladophora rupestris* qui porte des foraminifères *Elphidium pulvereum*, ou encore l'algue rouge *Gigartinia acicularis*, où s'installent des espèces de *Rosalina* (voir la figure 4). Des espèces se fixent temporairement grâce à une colle organique, qu'elles dissolvent ensuite, probablement à l'aide d'une enzyme, pour se libérer.

D'autres espèces encore vivent et se déplacent librement dans le sédiment, jusqu'à cinq millimètres par heure. Parmi ces formes, certaines ont un test allongé en fuseau, tel celui de *Quinqueloculina*, qui facilite la cir-

culatation entre les grains de sable. D'autres pénètrent dans le sable grâce à la spirale de leur test qui tourne en un mouvement de vis. Leur dispersion, par leur déplacement propre, très lent, est quasi impossible. Cependant, certaines formes libres qui vivent sur le fond deviennent planctoniques pendant la reproduction : les cellules filles colonisent alors d'autres zones. Les formes qui n'ont pas cette possibilité sont dispersées par les courants marins quand ceux-ci sont assez forts pour mettre en suspension le sédiment et les organismes qu'il contient.

Enfin, des formes en permanence planctoniques flottent à l'aide de gouttelettes de lipides réparties dans leur cytoplasme. Transportés passivement par les courants, ces foraminifères se dispersent à travers les océans. Ces différentes espèces occupent des zones parallèles à l'équateur et symétriques par rapport à celui-ci. Ces zones, dont les conditions de température sont similaires, sont parfois reliées par les grands courants océaniques qui bordent les continents : les échanges qui en résultent expliquent la présence des mêmes espèces dans l'hémisphère Nord et dans l'hémisphère Sud.

Les foraminifères se déplacent parfois à la faveur d'activités humaines : certains sont accidentellement importés lors de l'implantation de mollusques d'élevage, par exemple des huîtres, et d'autres sont transportés dans les eaux de ballast des navires.

La prédation joue également un rôle dans la dispersion des foraminifères : certains survivent au transit dans le tube digestif de leur prédateur et retrouvent leur activité après leur rejet

dans les pelotes fécales. Ils sont ainsi rejetés loin de leur milieu d'origine quand les prédateurs se déplacent sur de longues distances, tels les oiseaux.

À une telle diversité de modes de vie correspond une alimentation diversifiée. Certaines espèces sont «omnivores», d'autres sont très sélectives, mais toutes consomment des bactéries.

Les espèces qui vivent sur le sédiment, entre le littoral et la plate-forme continentale, consomment principalement les bactéries et les algues microscopiques, telles les diatomées et les chlorophycées, qu'elles trouvent sur le fond. Toutefois, certaines formes se nourrissent d'algues macroscopiques : par exemple, *Rotaliella elatiana* vit sur une espèce d'*Enteromorpha*, dont elle perfore les cellules afin d'en consommer les chloroplastes.



4. DES FORAMINIFÈRES, tels *Rosalina* (en haut) et *Calcarina* (en bas), vivent sur des algues. Pour se nourrir, ils amassent parfois de la nourriture dans un «kyste de nutrition» à la périphérie du test (flèche).