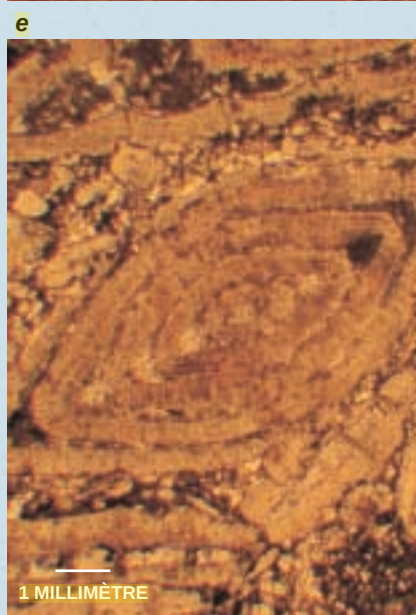
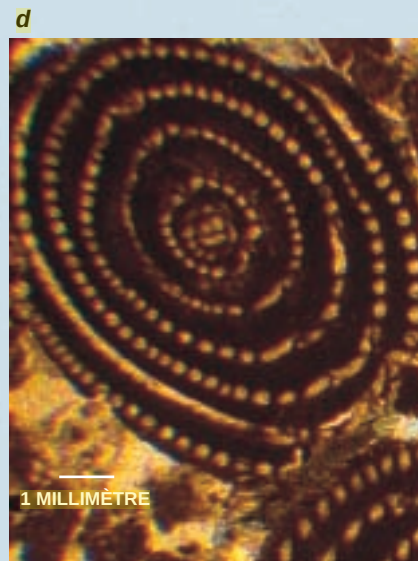
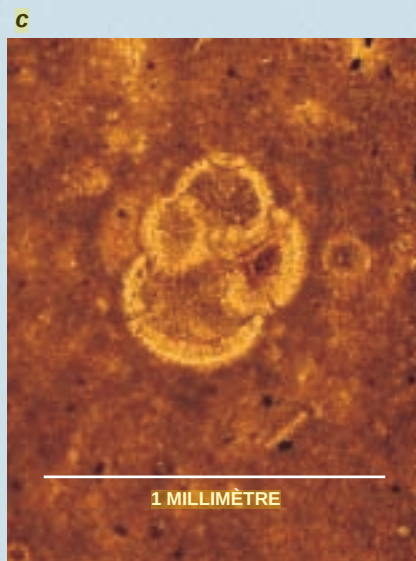


nements où le pétrole aurait pu se former ou s'accumuler, soit en repérant les couches connues pour contenir du pétrole), puis elle a été abandonnée au profit d'autres méthodes. Depuis une vingtaine d'années, elle connaît un regain d'intérêt pour ses applications écologiques. En examinant la vie des foraminifères, nous comprendrons pourquoi ces organismes ont été récemment reconnus comme d'excellents bio-indicateurs de la qualité et des variations de l'environnement. Par exemple, dans le port de Port-Joinville, sur l'île d'Yeu, ces organismes sont plus rares et les espèces sont différentes en face de deux aires d'entretien des navires qui sont à l'abri des courants, et où les rejets toxiques riches en zinc ou en cuivre sont notables (voir la figure 1).

Un test à trous pour géologues

Un foraminifère est une cellule dans une coquille. Appartenant au groupe des rhizopodes, des organismes unicellulaires qui se déplacent grâce à des extensions nommées pseudopodes, les foraminifères se distinguent par leur coquille minéralisée, nommée test. La cellule a un cytoplasme où baignent les organites (des éléments intracellulaires entourés par une membrane) habituels des cellules animales, tels le noyau, les mitochondries, l'appareil de Golgi et le réticulum endoplasmique, ainsi que des inclusions, tels des lipides et des pigments, et, parfois, des organismes, notamment des algues unicellulaires, qui vivent en symbiose avec leur hôte. Les pseudopodes des foraminifères forment un réseau complexe (voir la figure 3d) ; ils sont dotés d'une armature de microtubules composés d'une protéine, la tubuline. Ils participent à la locomotion, à la nutrition et à la construction du test. Ce dernier est composé d'une succession de loges de plus en plus grosses que l'organisme construit et où son cytoplasme s'étend à mesure qu'il croît, occupant toutes les loges. Pendant les premiers stades de la croissance, une nouvelle loge est construite en 24 heures en moyenne.

Les espèces de foraminifères sont définies selon la nature et la morphologie des tests, tels l'agencement des loges, la forme des ouvertures ou l'ornementation : on distingue trois types



2. LES FORAMINIFÈRES ont des aspects variés. Des fossiles de nummulites se dégagent d'un bloc de calcaire vieux de 60 millions d'années (a). Des boues à globigérines, prélevées dans le golfe de Guinée, montrent l'importance des foraminifères dans les sédiments marins (b). Une globigérine est fossilisée dans un sédiment (c). Des tests de foraminifères dépourvus de pores apparaissent opaques au microscope (d). Les tests perforés sont translucides (e). Malgré leur taille, les tests sont parfois des chefs-d'œuvre d'architecture (f).

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

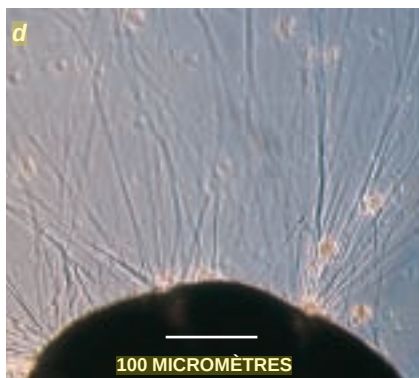
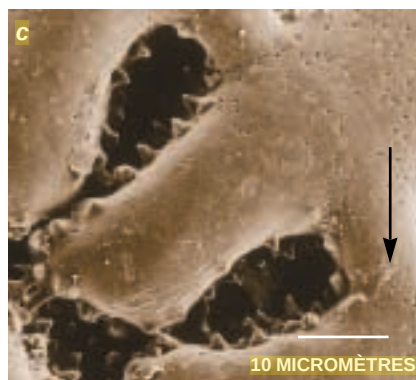
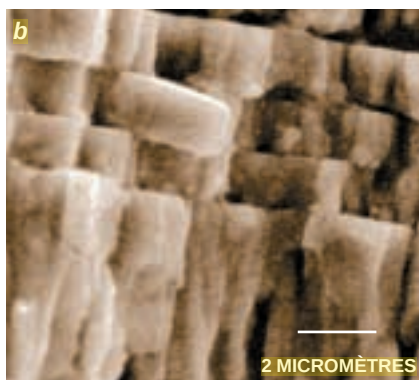
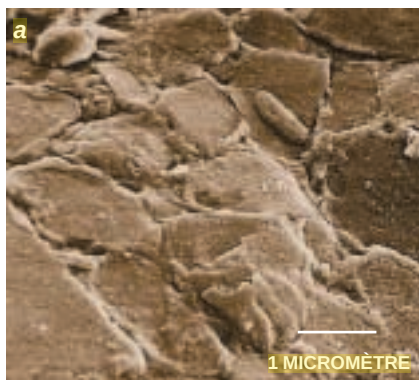
aiguilles de calcite sont transportées à l'intérieur de cet espace où elles sont déposées dans un ordre aléatoire. Une mince couche organique est ensuite déposée sur chaque face de l'amas d'aiguilles. Enfin, les éléments carbonatés externes se réorganisent et forment la surface du test, par exemple celle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