

tiques classiques, elle reste plus gourmande en énergie et libère par conséquent plus de gaz à effet de serre.

Que privilégier? La préservation des ressources? Le partage des surfaces cultivables? L'élimination des déchets solides? La réduction des émissions de gaz à effet de serre? La rentabilité? Quelle que soit l'approche choisie, l'utilisation d'énergie et les émissions qui en résultent dégradent l'environnement. On ne remplacera utilement les procédés pétrochimiques actuels que si l'on parvient à réduire les émissions de gaz à effet de serre et aussi à inverser le flux de carbone : pour piéger le carbone, on devra fabriquer des plastiques non dégradables à partir de sources ayant absorbé le gaz carbonique de l'atmosphère, les plantes par exemple. Le plastique serait enfoui après usage, ce qui piégerait le carbone dans le sol plutôt que de le renvoyer dans l'atmosphère. Certains plastiques biodégradables, y compris le PLA, pourraient même servir à piéger le carbone, car les décharges où aboutissent de nombreuses matières plastiques ne favorisent généralement pas la dégradation.

On ne peut pas demander à l'industrie du plastique de réduire la quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère, mais l'industrie tout entière, et pas uniquement celle du plastique, bénéficierait de l'utilisation de matières premières renouvelables et de sources d'énergie renouvelables. Un tel passage nécessiterait d'importantes modifications de l'infrastructure mondiale de la production de l'énergie, mais un tel effort mérite qu'on s'y intéresse. Après tout, l'énergie renouvelable est l'un des ingrédients essentiels pour construire une économie durable et, en tant que telle, elle reste l'obstacle principal à la production de plastiques vraiment «verts».

Tillman GERNGROSS est professeur au Dartmouth College. Steven SLATER est chercheur dans la Société Cereon Genomics, une filiale de Monsanto.

Y. POIRIER, D.E. DENNIS, K. KLOMPARINS et C. SOMERVILLE, *Polyhydroxybutyrate, a Biodegradable Thermoplastic, Produced in Transgenic Plants*, in *Science*, vol. 256, pp. 520-622, avril 1992.

Tillman U. GERNGROSS, *Can Biotechnology Move Us toward a Sustainable Society?* in *Nature Biotechnology*, vol. 17, pp. 541-544, juin 1999.

Une nouvelle rencontre de la science et de l'art.



LES SECRETS DE LA CASSEROLE

Comment préparer plus de 20 litres de mayonnaise à partir d'un seul jaune d'œuf ? En explorant la physique des émulsions. Comment obtenir un bon rôti ? En empruntant à la chimie ses études des sucres et des acides aminés. Comment obtenir de bonnes gelées ? En reprenant les résultats récents de la physico-chimie des gels. Code 1585-130 F 224 pages



RÉVÉLATIONS GASTRONOMIQUES

Encore un livre de recettes ! Oui, mais des recettes garanties par des expérimentations rigoureuses, par des analyses physico-chimiques des aliments et des tours de main culinaires. Chaque geste culinaire est ici disséqué, commenté du triple point de vue culinaire, physico-chimique et gastronomique. Code 1756-130 F 320 pages

Ces deux ouvrages ont obtenu le Prix de l'Académie nationale de Cuisine 1997.

LA CASSEROLE DES ENFANTS

Laissés seuls pour la soirée, deux enfants doivent cuisiner leur dîner. Mais leur sens aigu de l'observation et de l'expérimentation leur fait découvrir les bases de la chimie et de la physique. Ce livre pourrait être un manuel, s'il n'évoquait les molécules et leurs transformations de façon si simple et si amusante.

Code 2309-80 F-128 pages



BELIN

Voir bon de commande page 98

Les foraminifères

JEAN-PIERRE DEBENAY • EMMANUELLE GESLIN • VÉRONIQUE STOUFF

Avec plus de 50 000 espèces, les foraminifères forment un groupe d'une extrême diversité. Longtemps négligés par les biologistes, ils constituent aujourd'hui un outil performant dans l'étude de l'environnement.

Les roches calcaires, tels les falaises qui bordent la Manche ou les blocs des pyramides de Gizeh, en Égypte, contiennent toutes une proportion, parfois notable, d'éléments aux formes élaborées, souvent décelables seulement au

microscope : il s'agit de squelettes fossilisés d'organismes marins, les foraminifères.

D'une taille comprise entre 0,05 et 100 millimètres, ces organismes colonisent depuis le Cambrien, soit depuis plus de 500 millions d'années, tous les milieux saumâtres ou salés, des eaux glacées de l'Antarctique aux récifs de coraux, ou même aux lacs salés sahariens. Certains dérivent en

plein océan avec le plancton, d'autres vivent sur le fond.

Observés pour la première fois au V^e siècle avant notre ère par l'historien Hérodote (-484 ; -425) dans les pyramides d'Égypte, les foraminifères ne sont reconnus comme organismes vivants qu'au XV^e siècle, par Léonard de Vinci (1452-1519). En 1826, à partir de formes fossiles, le paléontologue français Alcide d'Orbigny établit une première classification de 552 espèces. Complétée partiellement en 1858 par le biologiste britannique William Williamson, elle compte aujourd'hui environ 50 000 espèces fossiles et 5 000 espèces vivantes.

Dans les années 1960 et 1970, l'étude des foraminifères était appliquée à la recherche pétrolière (soit en identifiant les environ-



1. DANS LE PORT DE PORT-JOINVILLE, sur l'île d'Yeu, les activités humaines modifient les peuplements de foraminifères : ces derniers sont rares en face de deux aires de carénage (en bleu foncé), plus abondants et avec des espèces différentes dans les zones où l'influence marine est plus forte (en bleu plus clair) et plus abondants encore à

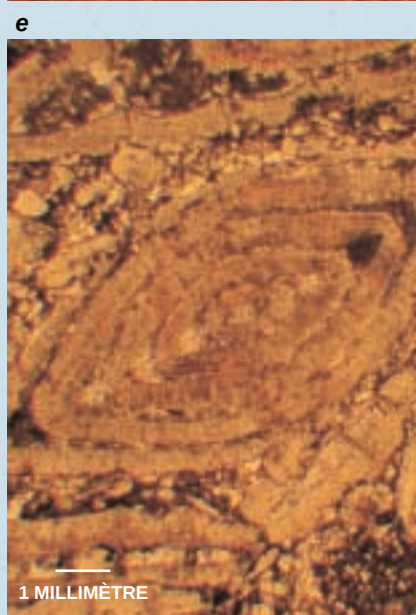
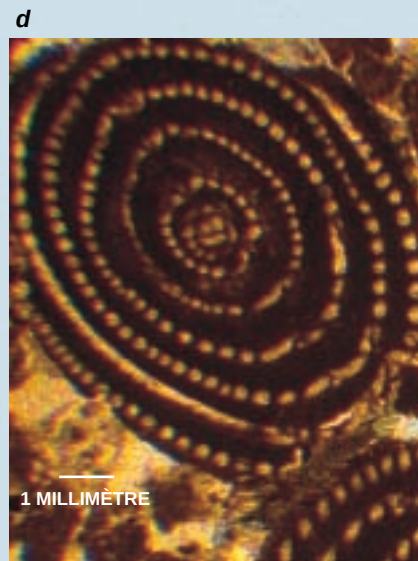
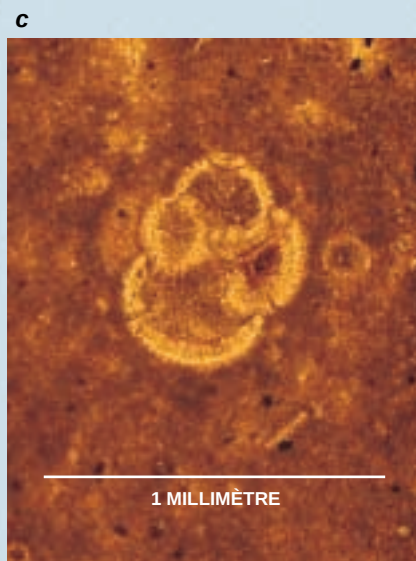
l'entrée du port où l'eau est souvent renouvelée (en bleu encore plus clair). Autour de la carte, quelques exemples de tests de foraminifères (ils mesurent quelques dixièmes de millimètre de diamètre) : une espèce de *Spirillina* (a), une espèce de *Quinqueloculina* (b) *Pseudononion atlanticum* (c), *Lagenaria striatinterrupta* (d) et *Eggerelloides scabrus* (e).

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).