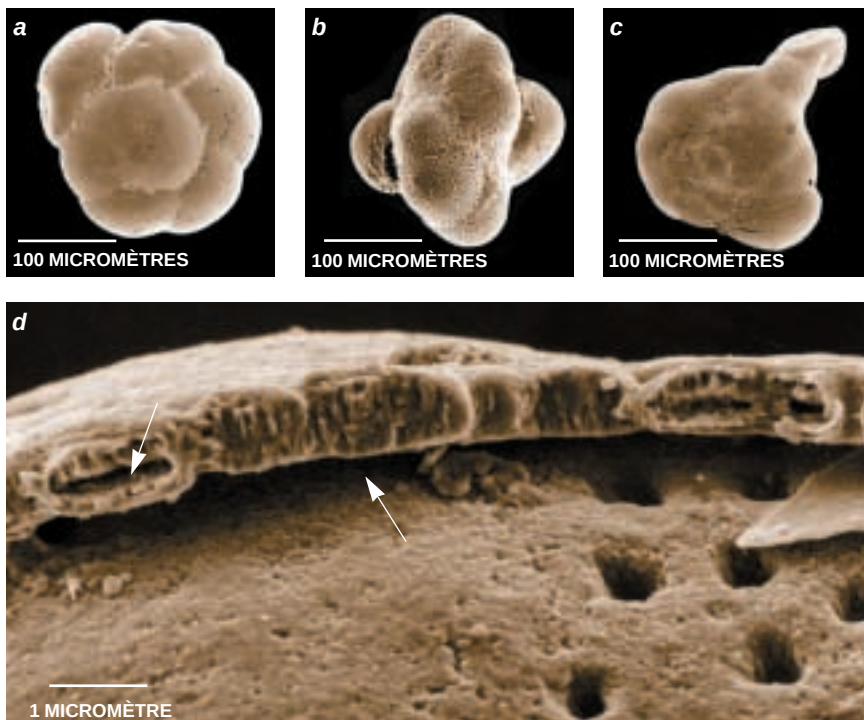




6. LES FORAMINIFÈRES sont sensibles aux stress environnementaux d'origine naturelle ou résultant d'activités humaines : le test d'*Ammonia tepida* normal est une spirale (a), alors que les tests prélevés dans la lagune d'Araruama, au Brésil, ont soit deux plans d'enroulement (b), soit des loges surnuméraires hors de l'enroulement normal (c). Les lacunes observées (flèches) entre les lamelles du test (d) d'un individu de la même espèce sont similaires à celles qui ont été observées à la suite de la marée noire de l'*Amoco Cadiz*.

les courants, soit d'origine écologique (voir la figure 6).

Dans les années 1960 à 1970, selon certains zoologistes, les anomalies morphologiques du test des foraminifères résultaient de variations environnementales naturelles, telles celles de la salinité. Toutefois, depuis les années 1980, la plupart des études mettent l'accent sur l'effet des activités humaines, telle la pollution par les métaux lourds ou par les hydrocarbures. Les tests anormaux sont reconnus comme des indicateurs de stress environnementaux dus à des causes naturelles ou à la pollution.

En collaboration avec l'Institut océanographique de São Paulo, nous avons étudié les anomalies morphologiques des tests de foraminifères dans l'estuaire de Santos-São Vicente, dans l'État de São Paulo (Brésil). Ce système côtier est très sensible aux activités industrielles, telles celles du parc industriel de Cubatão, aux activités portuaires (le port de Santos est le plus grand port d'Amérique latine) et aux activités touristiques. Parallèlement, des analyses chimiques du sédiment ont montré l'importance de la contamination du milieu par les rejets domestiques, par les hydrocarbures et par les métaux lourds.

Sur 59 échantillons étudiés, seuls cinq avaient des proportions de malformations supérieures à cinq pour cent. Ces fortes proportions ont été le plus souvent localisées dans les mangroves en amont du système estuarien, soit à proximité de la zone industrielle de Cubatão. Ces mangroves sont des lieux de stockage des substances contaminantes ; elles sont aussi soumises à de fortes variations de salinité et de température.

Jean-Pierre DEBENAY, Emmanuelle GESLIN et Véronique STOUFF travaillent au Laboratoire d'étude des bio-indicateurs marins de l'île d'Yeu, qui dépend du Laboratoire de géologie EA 2644 de l'Université d'Angers.

J.-P. DEBENAY, J. PAWLOWSKI et D. DECROUEZ, *Les foraminifères actuels*, Éditions Masson, Paris, 1996.

J.-P. DEBENAY, J.-J. GUILLOU et M. LESOURD, *Cristallogénèse de la calcite d'origine colloïdale dans les tests de foraminifères*, in *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. 323, série IIa, pp. 171-178, 1996.

E. GESLIN, J.-P. DEBENAY et M. LESOURD, *Abnormal textures in the Wall of Deformed Tests of Ammonia (Hyaline foraminifer)*,

Dans la même région, des études parallèles ont été effectuées dans une réserve écologique protégée de toute pollution humaine. Toutefois, jusqu'à 29 pour cent des tests observés avaient des formes anormales : un stress naturel, engendré par l'acidité des eaux saumâtres qui envahissent la zone pendant la saison des pluies, a été mis en évidence.

Caractérisée par son hypersalinité permanente, la lagune d'Araruama abrite des foraminifères dont 3 à 22 pour cent (selon les espèces) ont des tests anormaux. Ces valeurs élevées s'expliquent probablement par l'hypersalinité et les variations de salinité : les valeurs les plus faibles sont celles relevées dans la partie centrale de la lagune, alors que les valeurs les plus élevées ont été mesurées à l'Ouest et à l'Est, où se produisent les plus fortes variations physico-chimiques, car les apports en eaux douces ou en eau marine moins salée y sont les plus importants. Ainsi, des anomalies morphologiques révèlent un stress, mais n'en déterminent pas l'origine, naturelle ou humaine.

Une instabilité ou une modification brusque du milieu s'accompagnent toujours d'une forte quantité de malformations : des études effectuées après la catastrophe de l'*Amoco Cadiz*, sur le littoral des Côtes d'Armor, ont montré de telles anomalies des tests, notamment le décollement des lamelles successives qui les constituent et la formation de lacunes. Les foraminifères sont ainsi précieux dans le suivi d'épisodes catastrophiques telles les pollutions accidentelles de type marée noire.

in *Journal of Foraminiferal Research*, vol. 28, n° 2, pp. 148-156, 1998.

V. STOUFF, J.-P. DEBENAY et M. LESOURD, *Double and Multiple Tests in Benthic Foraminifera*, in *Marine Micropaleontology*, vol. 36, n° 4, pp. 189-204, 1999.

A. CEARRETA, M.J. IRABIEN, E. LEORRI, I. YUSTA, I.W. CROUDACE et A.B. CUNDY, *Recent Anthropogenic Impacts on the Bilbao Estuary, Northern Spain : Geochemical and Microfaunal Evidence*, in *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n° 50, pp. 571-592, 1999.

M.T. VÉNEC PEYRÉ, *Les foraminifères et la pollution : étude de la microfaune de la Cale de Dourduff (Embouchure de la rivière de Morlaix)*, in *Cahiers de biologie marine*, n° 22, pp. 25-33, 1981.

Oui, le réchauffement de la planète est dangereux

PAUL EPSTEIN

Des modèles indiquent que le réchauffement de notre atmosphère ouvrirait une boîte de Pandore. Des signes alarmants pour la santé apparaissent déjà.

Aujourd'hui, rares sont les scientifiques qui doutent encore du réchauffement de l'atmosphère. La plupart pensent que le processus s'accélère et que ses conséquences sont inquiétantes : l'eau des océans se réchauffe, les glaciers fondent, le niveau des mers s'élève et les zones littorales habitées pourraient être inondées. Les régions agricoles vont se déplacer, les fluctuations du climat vont s'amplifier, avec, pour conséquence, des tempêtes plus violentes.

À ces périls s'ajoutent des menaces cachées, mais tout aussi inquiétantes. Les modèles informatiques prédisent que le réchauffement de notre planète et les autres altérations climatiques augmenteront l'incidence et la répartition de plusieurs graves maladies. Ces prévisions semblent déjà se confirmer.

Un réchauffement de l'atmosphère a plusieurs conséquences. Directement, il entraîne des vagues de chaleur plus fortes, et les soirées ne pourraient plus apporter leur lot de fraîcheur bénéfique. Cette évolution vers une diminution du rafraîchissement nocturne paraît malheureusement vraisemblable ; l'atmosphère se réchauffe inégalement, et les pointes de réchauffement sont maximales la nuit, en hiver et à des latitudes supérieures à 50 degrés. Dans certaines zones, le nombre de décès liés aux vagues de chaleur pourrait doubler d'ici 2020. Une élévation de température prolongée peut en outre augmenter la formation de brouillards et la dispersion des allergènes. Des conséquences respiratoires sont associées à ces deux effets.

Le réchauffement de la planète perturbe le bien-être de l'homme, bien

que de manière moins directe, en amplifiant la fréquence et l'intensité des inondations et des sécheresses et en renforçant les oscillations du climat. L'atmosphère s'est réchauffée au cours du siècle précédent, les sécheresses ont persisté plus longtemps dans les zones arides, et, en contrepoint, les fortes précipitations sont maintenant plus fréquentes. Ces fortes fluctuations causent noyades et famines, tout en favorisant l'émergence, la réapparition et la diffusion des maladies infectieuses.

Changements climatiques et maladies infectieuses

L'ouverture de cette boîte de Pandore est particulièrement inquiétante : une maladie infectieuse est un génie maléfique très difficile à remettre dans sa bouteille. La maladie infectieuse tue immédiatement moins qu'une forte inondation ou une sécheresse prolongée, mais, quand elle s'est établie dans une communauté, son éradication est souvent difficile, donc elle se propage.

Le problème du contrôle d'une maladie endémique se pose surtout dans les pays en développement, où les moyens de prévention et de traitement sont limités. Cependant, les nations industrialisées ne sont pas à l'abri d'attaques surprises, comme en témoigne la première apparition en

Amérique du Nord du virus *West Nile*, qui tua sept New-Yorkais l'année passée. Le commerce et les voyages internationaux aidant, une maladie infectieuse qui apparaît dans une partie du monde peut se propager sur des continents éloignés si l'agent responsable de la maladie, ou agent pathogène, y trouve un environnement hospitalier.

Les inondations et les sécheresses associées à ces changements climatiques ont d'autres conséquences : elles détruisent souvent les récoltes et, quand ce n'est pas le cas, elles sont plus facilement infectées par des insectes nuisibles ou étouffées par les mauvaises herbes, réduisant ainsi les réserves de nourriture et aggravant la malnutrition. De même, elles peuvent déclencher le déplacement permanent ou semi-permanent de populations entières vers des pays industrialisés, avec pour conséquences, la surpopulation et les maladies qui lui sont associées, comme la tuberculose.

Avec le réchauffement atmosphérique, les amplitudes des variations du climat augmentent, en partie parce que toute élévation de température amplifie les phénomènes liés au cycle de l'eau : au cours de ce cycle, la vapeur d'eau des océans s'élève dans l'atmosphère avant de se condenser en précipitations, sur terre ou sur mer. Une atmosphère chaude évapore plus d'eau,

1. UNE FEMME RINCE SON RIZ DANS L'EAU D'INONDATION, à l'extérieur de sa case, à Madagascar. De fortes inondations, précoces cette année-là dans cette région et dans l'Ouest du Mozambique, furent la cause d'épidémies de choléra (transmis par l'eau) et de paludisme (transmis par les moustiques). Au Mozambique, une mère porte son enfant, dont on craint qu'il ne soit atteint de paludisme (*en bas à gauche*) ; à Madagascar, le corps d'une victime du choléra (*en bas à droite*) est placé dans un cercueil. On s'attend à ce que l'augmentation du réchauffement de la planète ait pour conséquences de plus fréquentes inondations dévastatrices et des sécheresses, ainsi que de nombreuses maladies infectieuses.