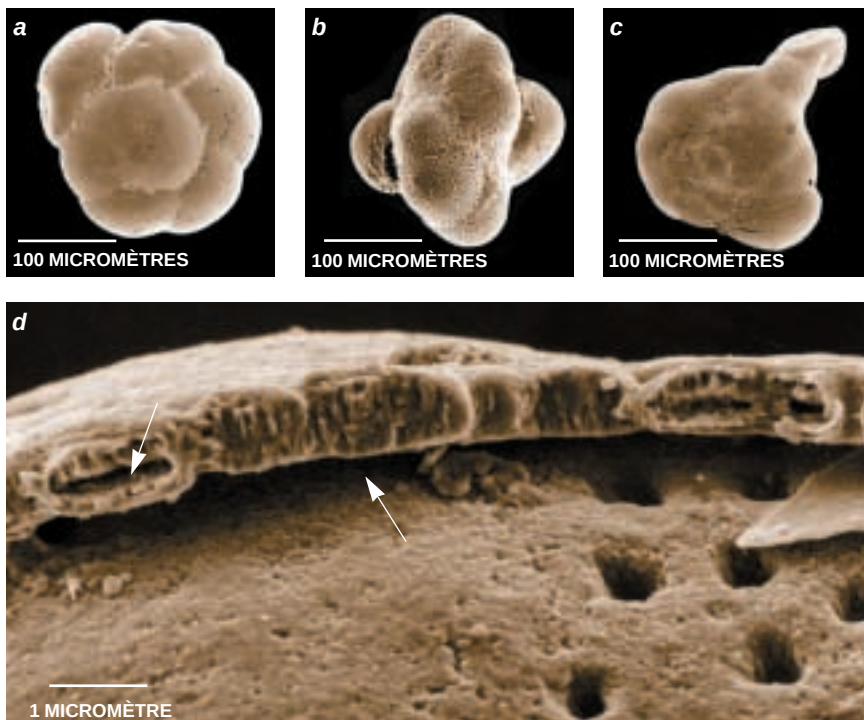




6. LES FORAMINIFÈRES sont sensibles aux stress environnementaux d'origine naturelle ou résultant d'activités humaines : le test d'*Ammonia tepida* normal est une spirale (a), alors que les tests prélevés dans la lagune d'Araruama, au Brésil, ont soit deux plans d'enroulement (b), soit des loges surnuméraires 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.



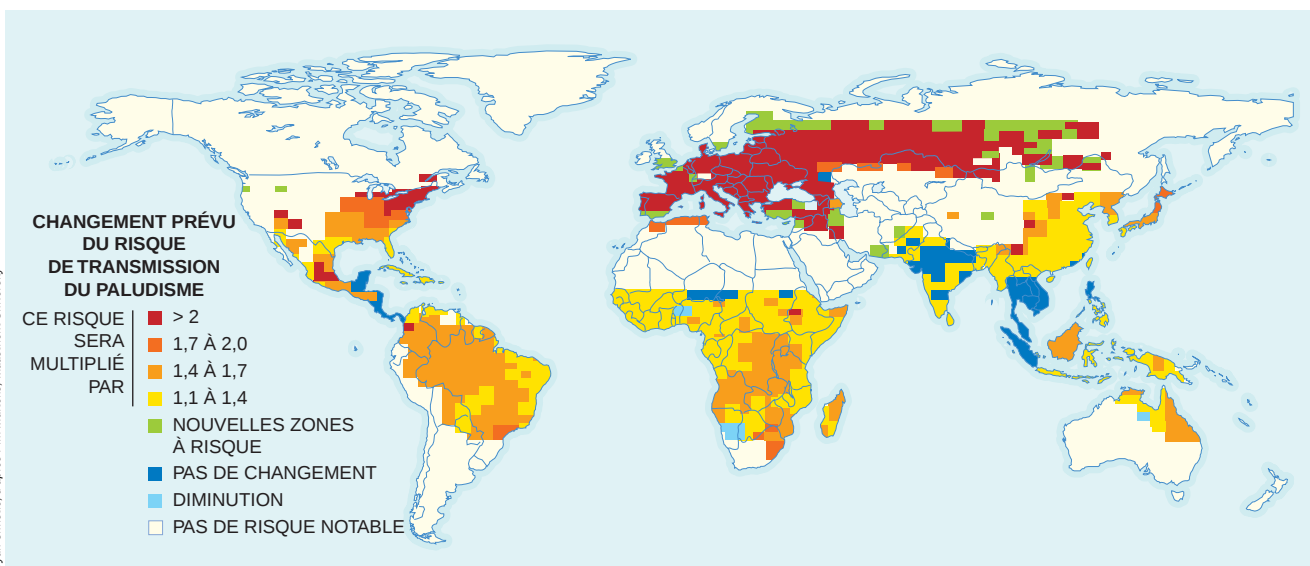
Jean-Marc Bouju, AP Photo



Karel Prinsloo, AP Photo



Jean-Marc Bouju, AP Photo



2. LE RISQUE DE TRANSMISSION DU PALUDISME aux alentours de 2020 aura augmenté dans de nombreuses parties du monde (en comparaison avec le risque moyen dans les années 1961 à 1990), selon

des projections fondées sur un accroissement de la température de 1°C. L'analyse ne tient compte que de la variation de température et pas des autres facteurs qui agiraient sur l'extension du paludisme.

et sa teneur en eau est supérieure à celle d'une atmosphère plus froide. Une plus grande quantité d'eau se condense dans les régions froides de l'atmosphère et se déverse en averses plus intenses. La chaleur extrême sur la Terre augmente parallèlement l'étendue des zones arides : cette désertification augmente les gradients de pression, ce qui engendre des vents de forte turbulence, des tornades et des tempêtes. De plus, les modifications de pression et de gradients de température qui accompagnent le réchauffement global modifieront la répartition géographique des tempêtes, des inondations et des sécheresses.

Nous évoquerons ici les effets néfastes sur la santé du réchauffement de la planète et des climats perturbés, mais les conséquences de ces modifications ne sont pas toutes fâcheuses. Des températures très élevées dans des régions chaudes réduisent les populations des parasites qui participent à la transmission de la bilharziose. Des vents forts dispersent la pollution. Des hivers plus chauds dans des zones normalement froides peuvent réduire les affections cardiaques et les maladies respiratoires dues au froid. Cependant, le bilan global du réchauffement sera probablement négatif et inclura plus d'effets indésirables que de bienfaits.

Température, moustiques et éléments pathogènes

Les maladies transmises par les moustiques, comme le paludisme, la dengue, la fièvre jaune et plusieurs sortes d'en-

céphalites se multiplieront en raison du réchauffement de la Terre. Les moustiques recueillent les micro-organismes responsables d'une maladie en prélevant le sang d'un animal ou d'une personne infectés. L'élément pathogène se reproduit à l'intérieur des insectes, qui l'inoculent aux autres individus quand ils les piquent.

Le froid diminue la dissémination de ces maladies : il limite la prolifération des moustiques à des saisons et à des régions où les températures restent supérieures à certains minima, et le gel hivernal tue de nombreux œufs, larves et adultes. Les moustiques anophèles, qui transmettent les parasites du paludisme (comme *Plasmodium falciparum*), ne disséminent cette maladie que dans les zones où les températures dépassent habituellement 15 °C ; les moustiques *Aedes aegypti*, responsables de la transmission de la fièvre jaune et de la dengue, ne véhiculent le virus que là où les températures franchissent rarement la barre des 10 °C.

Une chaleur excessive tue les insectes aussi efficacement qu'un froid intense. Néanmoins, à l'intérieur de la gamme de températures où ils survivent, les moustiques prolifèrent plus vite et piquent plus dans un air plus chaud. Parallèlement, un accroissement de la température augmente la vitesse à laquelle les éléments pathogènes parviennent à maturité et se reproduisent dans l'animal. À 20 °C, il faut 28 jours au parasite immature *Plasmodium falciparum* pour se développer complètement, et seulement

13 jours à 25 °C. Les moustiques anophèles ne vivent que quelques semaines ; des températures plus élevées augmentent les chances des parasites d'atteindre leur maturité à temps pour que les moustiques transmettent l'infection. Si toutes les régions se réchauffent, alors les moustiques envahiront des territoires qui leur sont interdits, transportant la maladie avec eux. En outre, des nuits plus chaudes et des températures hivernales plus élevées ont pour conséquences, dans les zones que les moustiques occupent déjà, plus de risques de transmission de maladies pendant des périodes plus longues.

La chaleur n'est pas seule responsable de l'accroissement du nombre des infections transmises par les moustiques. L'augmentation des inondations et des sécheresses, résultant du réchauffement de la planète, favorise, dans un cas comme dans l'autre, la reproduction des insectes en créant des terrains où les œufs desséchés restent viables et éclosent dans une eau calme. Lorsque les inondations se retirent, elles laissent en place des flaques. En période de sécheresse, les cours d'eau se transforment en mares stagnantes, et les populations stockent l'eau dans des récipients divers, qui deviennent des milieux d'incubation favorables pour les larves de moustiques. La prolifération est encore augmentée quand les changements de climat ou d'autres processus (comme les modifications de l'habitat) réduisent les populations des prédateurs des moustiques.

Les moustiques nous envahissent

Le paludisme et la dengue, transmis par les moustiques, diffuseront de manière dramatique si les températures de la planète poursuivent leur ascension. Le paludisme tue déjà quelque 3 000 personnes chaque jour dans le monde, en majorité des enfants. Certains modèles prédisent que, vers la fin du XXI^e siècle, le réchauffement aura augmenté de 45 à 60 pour cent la fraction de la population mondiale menacée par le paludisme. C'est une mauvaise nouvelle : aucun vaccin n'est disponible, et les parasites responsables de cette maladie sont de plus en plus résistants aux médicaments habituels.

Confirmant ces prévisions, le paludisme réapparaît au Nord et au Sud des Tropiques. Les États-Unis ont longtemps abrité les moustiques anophèles, et le paludisme y sévissait il y a des décennies ; autour des années 1980, des programmes de lutte anti-moustiques et d'autres mesures de santé publique ont limité les épidémies à la Californie. Depuis 1990, début de la décennie la plus chaude jamais enregistrée, le paludisme s'est étendu pendant les périodes de grosse chaleur, au Texas, à la Floride, à la Géorgie, au Michigan, au New Jersey et à New York (même jusqu'à Toronto). Chaque fois, un moustique voyageur ou un passager transportant les parasites du paludisme ont suffi à déclencher les épidémies. Les parasites trouvèrent des conditions hospitalières aux États-Unis : humidité et chaleur en quantités suffisantes, et de nombreux moustiques capables de les transporter vers des victimes locales. Le paludisme s'est implanté à nouveau dans la péninsule coréenne, dans certaines zones du Sud de l'Europe et de l'ancienne Union soviétique, ainsi que sur les côtes d'Afrique du Sud, le long de l'océan Indien.

La dengue, une grave maladie virale qui ressemble à une grippe et qui cause parfois des hémorragies internes fatales, s'étend aussi. La maladie touche aujourd'hui 50 à 100 millions de personnes dans les régions tropicales et Sud tropicales (essentiellement dans les zones urbanisées et dans leurs environs). Elle a élargi sa zone d'endémie aux deux Amériques au cours des dix dernières années et, vers le Sud, a atteint Buenos Aires à la fin des années 1990. Elle a aussi progressé dans le Nord de

l'Australie. Pour le moment, il n'existe ni vaccin ni traitement médicamenteux spécifique.

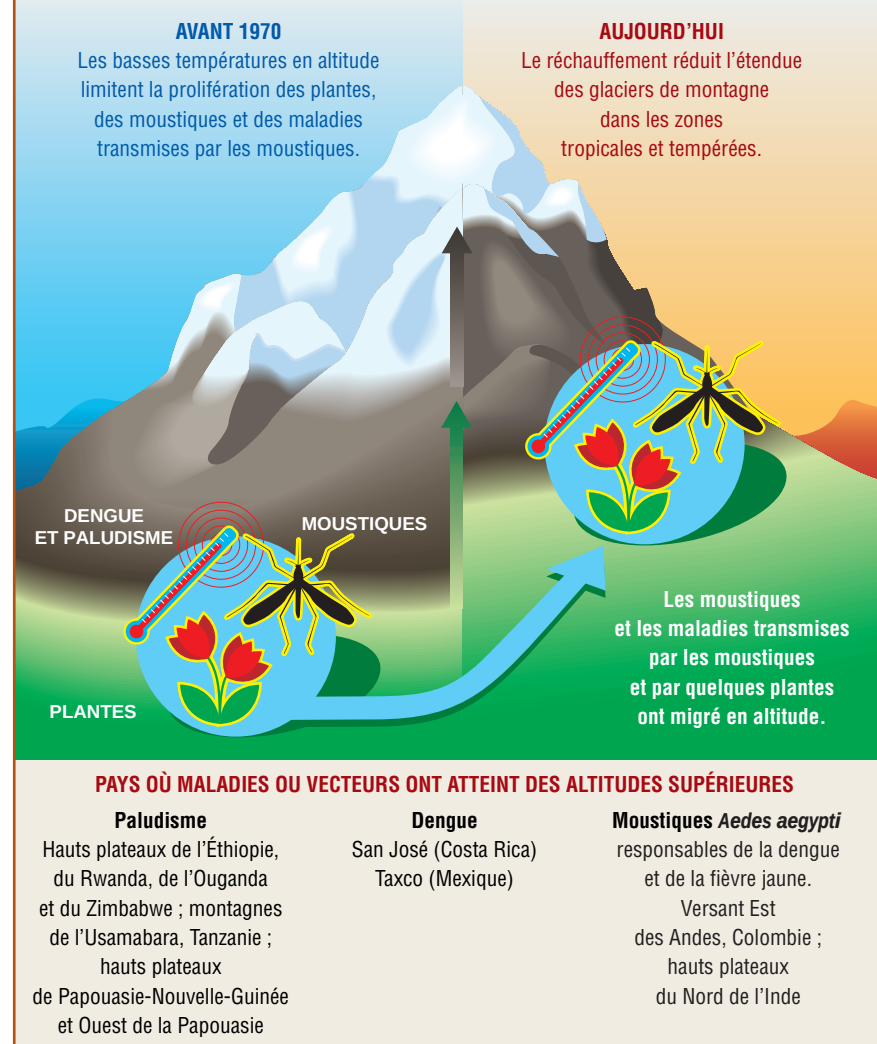
Bien que ces extensions du paludisme et de la dengue aillent sans aucun doute dans le sens des prévisions, elles ne peuvent être rattachées de façon absolument concluante au réchauffement de la planète. D'autres facteurs entreraient également en ligne de compte, comme un déséquilibre de l'environnement favorisant la prolifération des moustiques, une diminution des programmes d'éradication, une résistance accrue aux médicaments

et aux pesticides. Les arguments en faveur d'une origine climatique de la prolifération des moustiques sont confortés par d'autres conséquences du réchauffement de la planète.

Ainsi, comme on l'avait prévu, la chaleur augmente dans de nombreuses zones montagneuses, partout dans le monde, en même temps que les plantes et les papillons colonisent des zones de plus en plus élevées ; de surcroît, les glaciers qui recouvrent les sommets sont en train de fondre. Depuis 1970, l'isotherme de 0 °C a monté de 150 mètres dans les régions tropicales,

Les changements sont déjà manifestes

Des modèles numériques prédisent que le réchauffement de la planète entraînerait plusieurs changements dans les zones d'altitude : les glaciers (ainsi que la mer de glace du pôle Nord) commenceraient à fondre, et les plantes, les moustiques et les maladies transmises par les moustiques atteindraient des régions de haute altitude autrefois trop froides (*diagramme*). Toutes ces prédictions se réalisent. Ce faisceau de présomptions suggère que l'extension des moustiques et des maladies transmises par les moustiques en altitude, enregistrée depuis une quinzaine d'années (*voir ci-dessous*), résulte, au moins en partie, de l'élévation des températures.



accompagné dans son ascension par les moustiques et les maladies qu'ils véhiculent.

Au XIX^e siècle, en Afrique, les colons européens s'installèrent dans les montagnes plus fraîches pour échapper à l'air malsain (*mal aria*) des marécages où sévissaient les moustiques ; ces refuges disparaissent aujourd'hui. On signale des insectes et des infections qu'ils véhiculent à de hautes altitudes en Amérique du Sud, en Amérique centrale, en Asie, dans l'Est et le centre de l'Afrique. Depuis 1980, on a trouvé des moustiques *Aedes aegypti* au-dessus de 1 600 mètres dans les hauts plateaux du Nord de l'Inde et à 2 000 mètres, dans les Andes, en Colombie. Leur présence augmente le risque de dengue et de fièvre jaune. Des cas de dengue ont été signalés à 1 500 mètres d'altitude, à Taxco, au Mexique. Ces alertes peuvent indiquer l'extension du territoire de certaines maladies.

Les opportunistes aiment les successions d'extrêmes

La variabilité climatique croissante qui accompagne le réchauffement menace plus que l'augmentation des températures. Par exemple, des hivers chauds suivis d'étés chauds et secs (résultat probable d'un réchauffement de l'atmosphère) favorisent la transmission de l'encéphalite de Saint-Louis et d'autres infections qui touchent régulièrement les oiseaux, les moustiques urbains et les humains.

Une telle séquence aurait été la cause de l'émergence du virus *West Nile* à New York, en 1999. Personne ne sait comment ce virus s'est introduit aux États-Unis, mais l'une des explications raisonnables de sa persistance et de son extension est l'effet du climat sur les moustiques *Culex pipiens*, responsables de la transmission. Ces moustiques urbains pondent leurs œufs dans les sous-sols humides, les gouttières, les égouts et les mares d'eau polluée.

On suppose que l'hiver doux de 1998-1999 permit à de nombreux moustiques de survivre jusqu'au printemps, qui fut précoce ; en raison de la sécheresse du printemps et de l'été, les zones de reproduction se sont confondues avec celles où les matières organiques nutritives étaient concentrées ; des prédateurs de ces moustiques, tels que les chrysopes carnées

et les coccinelles, qui auraient contribué à limiter les populations de moustiques ont péri. La sécheresse regroupa également les oiseaux sur des points d'eau plus restreints et moins nombreux, également fréquentés par les moustiques.

Une fois les moustiques contaminés par le virus, la vague de chaleur qui accompagna la sécheresse accéléra la maturation virale à l'intérieur des insectes. Comme les moustiques infectés se nourrissent de sang, ils contaminèrent les oiseaux en un rien de

temps. Par cette contamination croisée entre oiseaux et moustiques, le nombre de moustiques infectés explosa, ainsi que le nombre d'êtres humains contaminés. Les pluies torrentielles de la fin août apportèrent de nouvelles flaques pour la reproduction de *Culex pipiens* et d'autres moustiques, augmentant encore les populations de vecteurs du virus.

D'autres vecteurs de maladies se reproduisent rapidement et prospèrent dans des conditions climatiques perturbées ne convenant pas à des

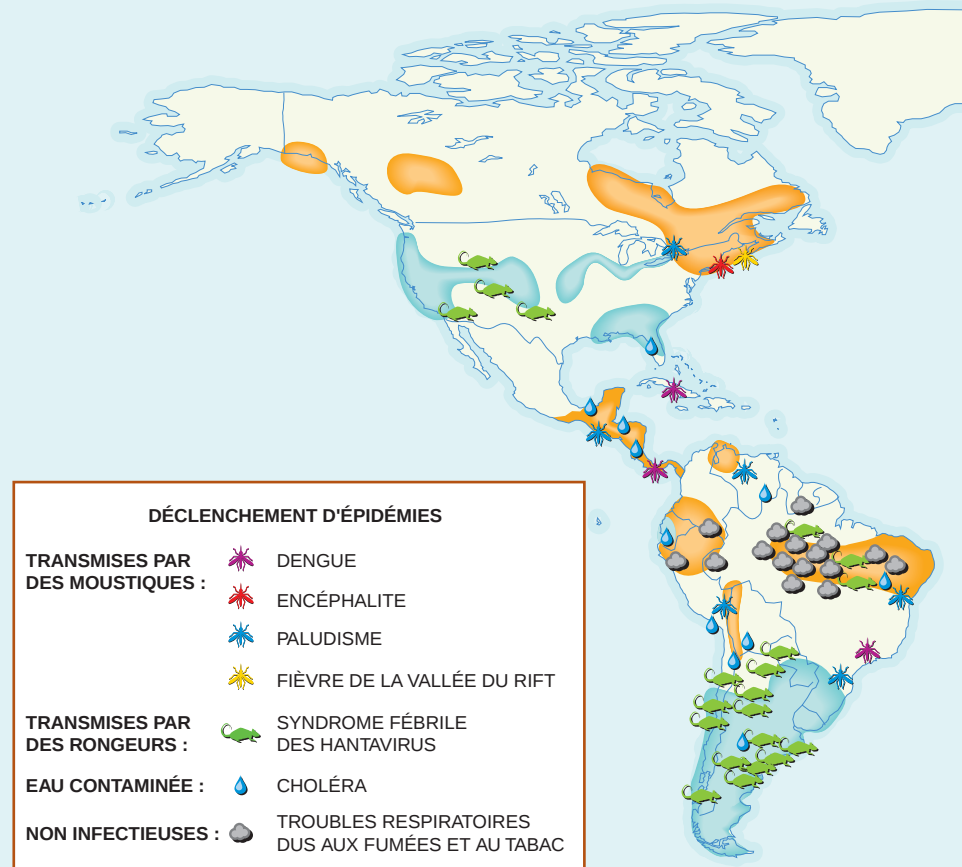
Le message d'El Niño

L'étude des sous-systèmes éclaire souvent le fonctionnement des systèmes compliqués. Ainsi, les chercheurs qui s'inquiètent des conséquences du réchauffement de la planète sur la santé évaluent les manifestations d'El Niño, qui engendre des anomalies climatiques identiques à celles que l'on prévoit pour un monde en réchauffement. Les conclusions ne sont pas rassurantes.

«El Niño» est un phénomène océanique qui prend naissance tous les cinq ans environ, dans le Pacifique, au niveau des Tropiques. Au large du Pérou, l'océan devient exceptionnellement chaud et le reste pendant des mois, avant de retourner à la normale ou de devenir très froid (La Niña). Il en résulte des changements atmosphériques qui accompagnent les évolutions du Pacifique vers des conditions plus chaudes ou plus froides.

Pendant un événement El Niño, l'eau qui s'évapore des eaux surchauffées de l'Est du Pacifique conduit à des pluies anormalement fortes dans certaines régions d'Amérique du Sud et d'Afrique ; pendant ce temps, d'autres zones d'Amérique du Sud et d'Afrique, et des

Bryan Christie, d'après NOAA Climate Prediction Center, <http://climate2.med.harvard.edu/enso/disease.html>



espèces plus spécialisées. Dans les années 1990, la variabilité du climat amena une nouvelle maladie transmise par les rongeurs : le syndrome fébrile dû aux hantavirus. Cette infection mortelle peut passer des animaux à l'homme lorsque les gens respirent les particules virales dissimulées dans les sécrétions et les excréments des rongeurs. Des sécheresses de longue durée entrecoupées de pluies torrentielles expliquent l'apparition chez l'homme de la maladie dans le Sud-Ouest des États-Unis en 1993.

D'abord, une sécheresse régionale réduisit les points d'eau des prédateurs des rongeurs, comme les rapaces (hiboux, aigles, faucons de prairie, faucons à queue rouge et faucons crécelles), les coyotes et les serpents. Puis la sécheresse fit place à des pluies exceptionnellement fortes, au début de l'année 1993 ; les rongeurs trouvèrent une manne sous la forme de sauterelles et de pignons de pins. Ils se multiplièrent rapidement, ce qui permit au virus, qui était resté inactif ou isolé dans un petit groupe, d'infecter de nom-

breux rongeurs. Quand la sécheresse revint durant l'été, les animaux recherchèrent leur nourriture dans les habitations et infectèrent les êtres humains. À l'automne 1993, le nombre des rongeurs avait diminué, et l'épidémie s'était éteinte.

Les épisodes ultérieurs du syndrome dû aux hantavirus ont été limités, en partie parce que les autorités sanitaires préviennent suffisamment tôt les populations menacées afin qu'elles intensifient leur lutte contre les rongeurs et qu'elles évitent tout

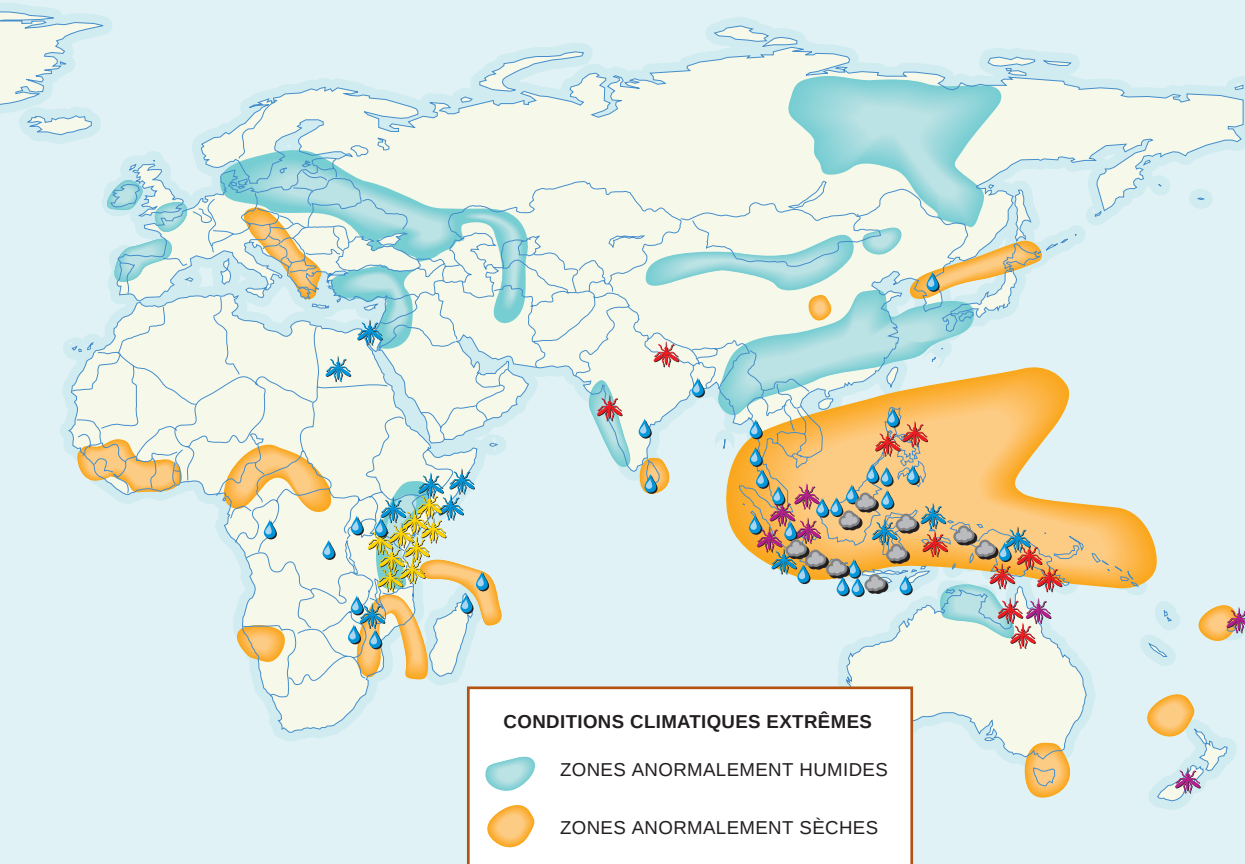
régions du Sud-Est asiatique et de l'Australie, souffrent de sécheresse. Des changements de pression atmosphérique au-dessus du Pacifique tropical ont aussi des effets de rebond tout autour du Globe, produisant généralement des hivers plus doux dans les régions Nord des États-Unis et dans l'Ouest du Canada. Pendant un épisode La Niña, les modèles climatiques dans les zones touchées peuvent évoluer vers des extrêmes opposés.

L'incidence des maladies transmises par un vecteur ou par l'eau s'élève pendant les années d'El Niño et de La Niña, spécialement dans les zones touchées par les inondations et les sécheresses. Des études à long terme en Colombie, au Venezuela, en Inde et au Pakistan révèlent, par exemple, que le paludisme fait son apparition dans le sillage des épisodes El Niño. À l'Université Harvard, nous avons montré que les régions frappées par les inondations pendant l'épisode El Niño de 1997-1998 (le plus fort du siècle) avaient dû faire face aussi à un ensemble de maladies transmises

par les moustiques, par les rongeurs et par l'eau (*voir carte*). De plus, dans de nombreuses zones sèches, les feux se sont propagés de manière incontrôlée, polluant l'air sur des kilomètres carrés.

El Niño n'est pas seulement annonciateur de troubles à venir ; il est probable qu'il soit le moteur même de ces troubles. Plusieurs modèles climatiques prédisent qu'avec le réchauffement de l'atmosphère et des océans, les phénomènes El Niño deviendront plus fréquents et plus intenses, ce qui signifie que les désastres climatiques qu'ils produisent et les développements de maladies qu'ils encouragent pourraient également s'amplifier.

Le modèle a déjà commencé à évoluer. Depuis 1976, l'intensité, la durée et l'allure des phénomènes El Niño se sont accrues. Et, pendant les années 1990, chaque année a été marquée par un événement El Niño ou La Niña extrême. Ces tendances laissent mal augurer de la santé de l'homme au XXI^e siècle.



contact avec leurs excréments. Hélas, la maladie est maintenant apparue en Amérique latine, où il semblerait qu'elle puisse être transmise d'une personne à l'autre.

Comme le démontre la fin naturelle du premier épisode de l'épidémie due aux hantavirus, des écosystèmes survivent à des situations extrêmes. De plus, les espèces qui vivent dans des conditions climatiques variables doi-

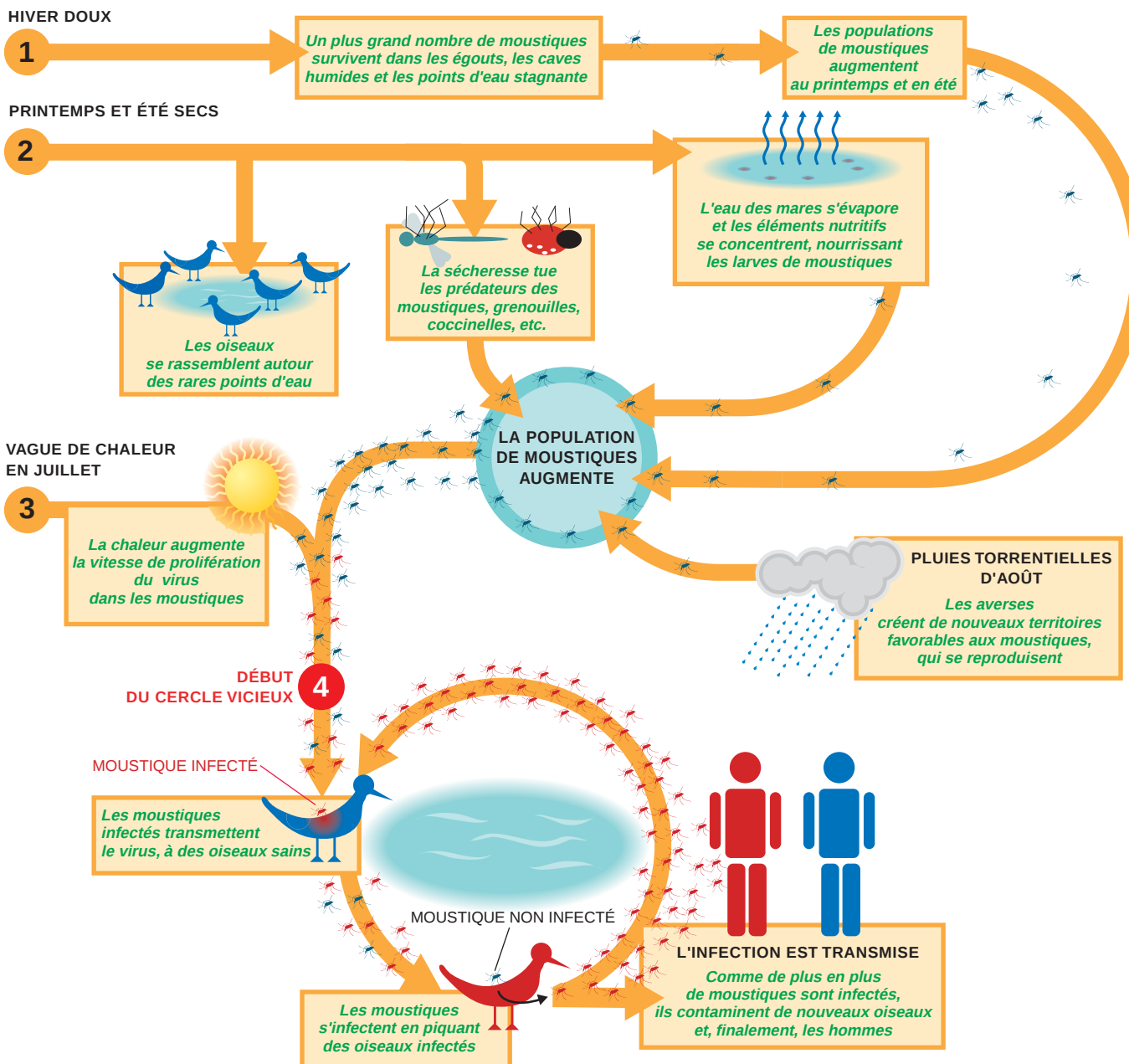
vent s'y habituer ou disparaître. Toutefois, des conditions extrêmes de longue durée et des fluctuations météorologiques de grande amplitude risquent de dépasser ce que l'écosystème peut tolérer. Un réchauffement persistant des océans, par exemple, menace les récifs coralliens, et les incendies de forêt déclenchés par la sécheresse détruisent parfois les habitats forestiers. La nature, en contrôlant les

populations d'animaux nuisibles, nous rend des services sous-estimés ; les écosystèmes, qui fonctionnent bien parce qu'ils comprennent diverses espèces, contribuent à tenir en échec les organismes nuisibles. Quand un réchauffement croissant et des extrêmes météorologiques perturbent les écosystèmes, des populations opportunistes se développent, ce qui favorise la diffusion des maladies.

Le climat et le virus West Nile

Ce schéma retrace comment la tendance au réchauffement et l'alternance de conditions climatiques extrêmes ont aidé le virus *West Nile* à s'établir aux alentours de New York en 1999. On ignore si le virus

est arrivé par l'intermédiaire de moustiques, d'oiseaux ou de voyageurs. Après son introduction, les interactions entre les moustiques et les oiseaux amplifièrent sa prolifération.



De l'eau mauvaise pour la santé

En plus d'exacerber les maladies mentionnées précédemment, un réchauffement de la planète élèvera probablement l'incidence des maladies véhiculées par l'eau, parmi lesquelles le choléra. Le réchauffement contribue à ce changement et aussi à une augmentation du nombre et de l'intensité des sécheresses et des inondations. Il peut sembler étrange que les sécheresses favorisent les maladies véhiculées par l'eau ! Le paradoxe n'est qu'apparent : les sécheresses raréfient les réserves d'eau potable et concentrent les éléments contaminateurs qui, autrement, resteraient disséminés. De plus, le manque d'eau pure pendant une sécheresse empêche une bonne hygiène et une réhydratation saine des personnes qui ont perdu de grandes quantités d'eau à cause de diarrhées ou de la fièvre.

Les inondations favorisent les maladies de diverses manières. Elles dispersent les eaux usées et autres sources d'éléments pathogènes, ainsi que les engrais qui souillent les réserves d'eau potable. Les engrais et les eaux usées peuvent, l'un comme l'autre, se mêler à des eaux chaudes pour déclencher d'importantes proliférations d'algues dangereuses. Certaines de ces algues sont toxiques pour les humains qui en respirent les émanations ; d'autres contaminent les poissons et les coquillages, qui, lorsqu'ils sont mangés, infectent les consommateurs. Des découvertes récentes ont révélé que le développement de ces algues menace la santé humaine en favorisant la prolifération de différents éléments pathogènes, parmi lesquels *Vibrio cholerae*, l'agent responsable du choléra.

Les pluies diluviennes qui tombèrent sur la corne de l'Afrique en 1997 et 1998 illustrent combien les populations seront menacées par les épisodes de réchauffement de la planète, qui déclencheront de fortes inondations. Les pluies torrentielles apportent des épidémies de choléra et aussi deux infections transmises par les moustiques : le paludisme et la fièvre de la vallée du Rift (une maladie qui ressemble à une grippe et qui peut être fatale au bétail, ainsi qu'aux hommes).

En octobre 1998, l'ouragan Mitch a tourbillonné pendant trois jours sur l'Amérique centrale. Alimentée en

énergie par la chaleur de la mer des Caraïbes, cette tempête libéra des torrents qui tuèrent au moins 11 000 personnes, mais ce n'était que le début de ses ravages. Des milliers de cas de choléra, de paludisme et de dengue frappèrent les habitants du Honduras. En février 2000, des pluies sans précédent et une série de cyclones inondèrent de grandes régions du Sud de l'Afrique. Des inondations au Mozambique et à Madagascar tuèrent des centaines de personnes, en déplacèrent des milliers et diffusèrent à la fois le choléra et le paludisme. De tels événements retardent aussi de plusieurs années le développement économique dans les zones touchées, et anéantissent les bénéfices fragiles obtenus par les campagnes sanitaires antérieures.

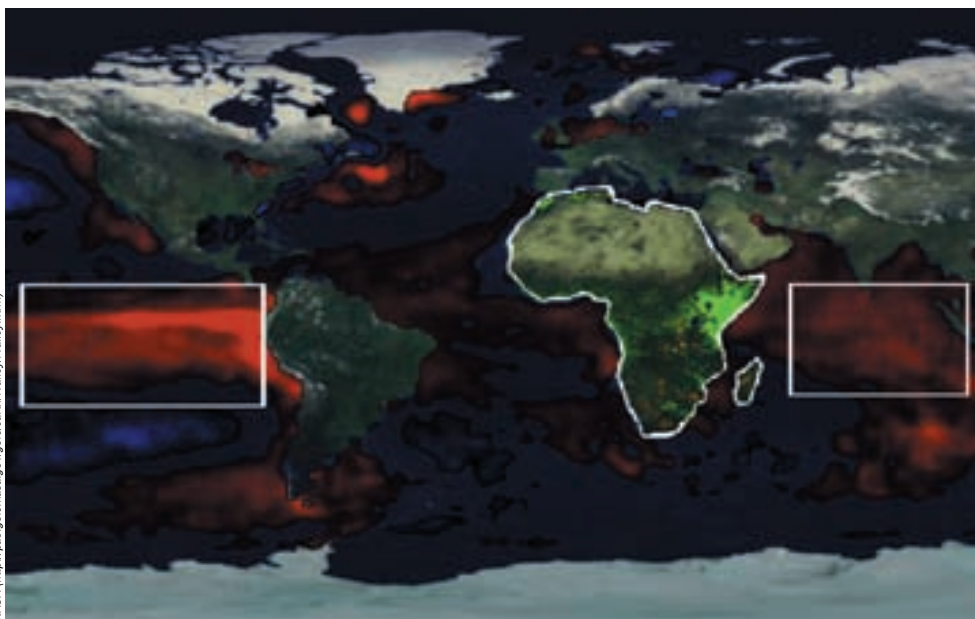
Les solutions

Que peut-on faire pour préserver la santé des populations humaines compromise par le réchauffement de la planète ? La stratégie de défense idéale aurait de multiples composantes.

La première consisterait à améliorer les dispositifs de surveillance qui repéreraient rapidement l'apparition ou la réapparition de maladies infectieuses ou de leurs vecteurs. Ces alertes déclencheraient des mesures de lutte contre la prolifération des vecteurs sans nuire à l'environnement ; on devrait informer le public sur les façons de se protéger, fournir des vaccins (quand ils sont disponibles) aux populations à risque et distribuer rapidement les traitements appropriés.

Au printemps dernier, on a tenté, de cette façon, de limiter l'extension du virus *West Nile* dans le Nord des États-Unis. En constatant que le virus avait survécu durant l'hiver, les responsables de la santé publique ont recommandé aux habitants de nettoyer dans leur jardin les récipients contenant de l'eau stagnante favorable à la reproduction des moustiques. Ils ont également introduit, dans les réserves d'eau, des poissons qui mangent les larves de moustiques et ont mis des insecticides dans les égouts.

Toutefois, les plans de surveillance restent souvent inefficaces dans de nombreux pays. De surcroît, même lorsque des vaccins et des traitements efficaces existent, de nombreuses régions n'ont aucun moyen de se les procurer et de les distribuer. Le respect



3. L'IMAGE SATELLITE révèle que la température de surface de la mer de la partie occidentale de l'océan Indien au niveau de l'Équateur et de l'est du Pacifique était élevée (*encadrés*) et que la corne de l'Afrique était couverte de végétation (*en vert*) à cause des fortes pluies. Ce modèle indique que cette région comportait un risque d'épidémie de fièvre de la vallée du Rift pour le bétail et pour les populations locales. La surveillance par satellite est de plus en plus utilisée pour détecter les conditions favorables au déclenchement de maladies ; on met en place beaucoup plus rapidement des mesures de prévention.

de telles mesures préventives et la distribution de traitements appropriés devraient pourtant être une priorité planétaire.

Afin de minimiser les risques, on devrait aussi tenter de prévoir le moment où les conditions climatiques liées aux contraintes locales risquent de déclencher des maladies. Si les modèles climatiques indiquent que des inondations se produiront vraisemblablement dans une région donnée, les responsables de la santé publique pourraient stocker dans des abris des réserves d'eau et de médicaments supplémentaires. Ou encore, si les images satellites et des échantillons d'eau prélevés sur les côtes indiquent qu'une prolifération d'algues liée au déclenchement du choléra commence, ils avertiront de la nécessité de filtrer l'eau contaminée et recommanderont aux équipes médicales de faire le nécessaire pour regrouper du personnel, des lits et des réserves de médicaments.

Les résultats de recherches décrites en 1999 illustrent les avantages possibles d'une surveillance par satellite : les images satellite détectant des eaux chaudes dans deux régions océaniques et une végétation luxuriante dans la corne de l'Afrique auraient permis la prévision, cinq mois à l'avance, de l'épidémie de fièvre de la vallée du Rift dans cette région. Si de telles

évaluations conduisent à des campagnes de vaccination sur les animaux, elles pourraient devancer les épidémies qui touchent à la fois le bétail et les hommes.

Un troisième composant de la stratégie s'attaquerait au réchauffement de la planète lui-même. Les activités humaines qui contribuent à l'augmentation de température ou qui amplifient ces effets doivent être restreintes. La combustion d'énergies fossiles joue un rôle notable dans le réchauffement global, en rejetant dans l'atmosphère du dioxyde de carbone et d'autres gaz absorbant de chaleur, les gaz à «effet de serre». Des

sources d'énergie plus propres devront être rapidement utilisées, à la fois dans le monde industriel consommateur d'énergie et dans les nations en développement, dont on ne peut attendre qu'elles réduisent leur consommation d'énergie. Procurer des installations sanitaires, des logements, des réfrigérateurs et des cuisinières utilisant de l'énergie, tout autant que le pompage et la purification de l'eau, ainsi que la désalinisation de l'eau de mer pour l'irrigation. Simultanément, les forêts et les marécages devront être restaurés, pour absorber le dioxyde de carbone et les eaux des inondations, et pour filtrer les éléments de contamination avant que l'eau n'atteigne les réserves.

Les dirigeants mondiaux devront trouver un moyen de financer ces solutions. Le climat, les systèmes écologiques et la société peuvent retrouver leur équilibre, à condition de ne pas être exposés sans arrêt à de nouvelles contraintes. La Commission sur le changement climatique, créée par l'ONU, a calculé que, pour arrêter l'augmentation des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre, il sera nécessaire de réduire leur émission de 60 à 70 pour cent.

Je crains que les mesures efficaces ne puissent être mises en place suffisamment tôt. Ce qui est périlleux, car le climat ne change pas nécessairement de manière graduelle : les multiples facteurs qui déstabilisent le système climatique mondial pourraient modifier brutalement son état actuel. À n'importe quel moment, le monde pourrait devenir beaucoup plus chaud. Un tel changement, brusque et catastrophique, est un risque majeur pour la santé.

Paul EPSTEIN est directeur adjoint de l'Institut pour la santé et l'environnement à l'École de médecine Harvard, aux États Unis.

Richard LEVINS, Tamara AUERBUCH, Uwe BRINKMANN, Irina ECKARDT, Paul R. EPSTEIN, Tim FORD, Najwa MAKHOUL, Christina DEPOSSAS, Charles PUCCIA, Andrew SPIELMAN et Mary E. WILSON, *The Emergence of New Disease*, in *American Scientist*, vol. 82, n° 1, pp. 52-60, janvier / février 1994.

Climate Change and Human Health, sous la direction d'Anthony J. McMichael, Andrew Haines, Rudolf Slooff et Sari Kovats, World Health Organization,

World Meteorological Organization, United Nations Environmental Program, 1996.

The Regional Impacts of Climate Change : An Assessment of Vulnerability, 1997, sous la direction de R.T. Watson, M.C. Zinyowera et R.H. Moss, Cambridge University Press, 1997.

Paul R. EPSTEIN, Henry F. DIAZ, Scott ELIAS, Georg GRABHERR, Nicholas E. GRAHAM, Willem J.M. MARTENS, Ellen MOSLEY-THOMPSON et Joel SUSSKIND, *Biological and Physical Signs of Climate Change : Focus on Mosquito-Borne Diseases*, in *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, pp. 409-417, 1998.

