



Des nouvelles de la Terre

Année de la planète Terre : Des connaissances d'aujourd'hui aux prévisions de demain

Les Nations unies ont proclamé 2008, Année Internationale de la Planète Terre, avec pour objectif de faire le point de nos connaissances sur le système-Terre, qui comprend différentes enveloppes en interaction : la Terre solide, la biosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère. Les questions essentielles que posent à l'humanité le développement durable des sociétés, l'évolution du climat, les besoins accrus en énergie et en ressources naturelles, les risques naturels ou la protection de la biodiversité donnent aujourd'hui aux recherches scientifiques une orientation particulière. Sur le campus d'Orsay de l'université Paris-Sud, des recherches passionnantes sont menées par des chercheurs dans de nombreux laboratoires autour de ces questions. Le 9^e colloque pluridisciplinaire d'Orsay qui s'est tenu le 20 mars 2008 en a donné un aperçu représentatif à travers neuf conférences. Cette journée s'est conclue par une table ronde autour des crises climatiques et géologiques du passé, avec la participation exceptionnelle de Jean Jouzel, membre du GIEC. Ce dossier rédigé par le Centre de Vulgarisation de la Connaissance présente un aperçu des grands thèmes abordés lors de cette journée.

Christelle Marlin

Professeur, UMR 8148 IDES
Responsable scientifique du Colloque



© FRANÇOIS COSTARD

Berges du fleuve la Lena en Yakoutie Centrale. Cette berge de 22 m de hauteur est composée d'un pergélisol qui subit l'attaque thermique et mécanique du fleuve lors des débâcles de printemps.

Impact du réchauffement climatique sur le pergélisol

Les régions froides sont particulièrement touchées par le réchauffement climatique. Les signes les plus visibles en sont la diminution de la couche de neige, le recul spectaculaire des glaciers, la fonte de la banquise et des calottes glaciaires. Mais on l'observe aussi dans le pergélisol (en anglais permafrost), défini comme un sol qui ne dégèle pas pendant au moins deux années consécutives.

Le pergélisol représente 23 millions de kilomètres carrés, soit le quart des terres émergées de l'hémisphère nord, principalement en Sibérie, au Canada et au Groenland. On en trouve également sous la mer. C'est un milieu poreux congelé (typiquement, des grains de sable entourés de glace en proportion variable), extrêmement dur et imperméable. Il présente une inertie thermique considérable : la couche de pergélisol actuelle, qui atteint plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (jusqu'à 1,5 km en Sibérie), remonte à la dernière glaciation il y a 10 000 ans. Tandis que la température dans le sous-sol profond est sensiblement constante

tout au long de l'année (-7°C à 10 m de profondeur en Sibérie, par exemple), la température de surface est positive en été et négative en hiver. Le pergélisol est surmonté d'une « couche active », gelée en hiver mais boueuse en été, dont l'épaisseur va de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres selon les régions. Le réchauffement climatique se fait principalement sentir à travers l'augmentation de l'épaisseur de cette couche active (de 15 à 20 cm depuis 1960), avec des conséquences diverses. L'eau libérée par la fonte d'une partie du pergélisol, ne pouvant s'infiltrer dans le sous-sol gelé, s'accumule dans des lacs qui ont à la fois un effet thermique, accélérant le dégel au-dessous d'eux, et mécanique, provoquant des affaissements de terrain. En même temps, des lacs anciens disparaissent, leur eau s'écoulant à travers des passages libérés par le dégel.

La couche active est en grande partie composée de tourbe, végétaux en décomposition riches en dioxyde de carbone et surtout en méthane. Son dégel provoque la libération dans l'at-

mosphère de ces gaz à effet de serre, qui ne feront qu'accroître à leur tour le réchauffement.

Le dégel saisonnier de la couche active, au printemps, amène en très peu de temps une grande quantité d'eau dans les fleuves. L'accroissement de la couche active s'accompagne d'une augmentation du débit des fleuves au moment de la débâcle, avec un effet majeur sur l'érosion des berges et des îles.

Enfin, il ne faut pas oublier les conséquences directes sur les constructions humaines. Les fondations des habitations ou les oléoducs doivent être ancrés dans le sous-sol gelé et non dans la couche active pour rester stables toute l'année. Le réchauffement oblige à creuser de plus en plus profondément, et met en péril les installations existantes.

François Costard conclut en insistant sur l'importance des études pluridisciplinaires du pergélisol combinant biologie, thermique, géophysique, géochimie, et même planétologie, car la planète Mars possède également un pergélisol qui présente de nombreux points communs avec le nôtre. ■

François COSTARD, Interactions et dynamique des environnements de surface, Université Paris-Sud 11 - CNRS

Les forêts sont-elles des puits de carbone durables ?

Les forêts ont un rôle important dans la régulation climatique, en particulier par leur capacité à fixer le CO₂ en excès dans l'atmosphère. Des « puits de carbone » sont ainsi constitués dans le bois et la matière organique du sol. Les forêts pourraient alors jouer un rôle capital dans la lutte contre l'effet de serre et le réchauffement climatique, d'autant qu'elles occupent 30 % de la surface des continents hors glace.

En 150 ans, les émissions de carbone ont été multipliées par 6 avec une accélération exponentielle ces 5 dernières décennies due principalement à la combustion de carbone fossile. Cette augmentation va probablement se poursuivre, parce que les pays industrialisés tardent à réduire leurs émissions et que les pays émergents ne sont pas impliqués dans le protocole de Kyoto (adopté en 1997 mais ratifié seulement en 2005). Diverses voies sont explorées pour améliorer la séquestration naturelle du carbone et développer des techniques (naturelles ou artificielles) de capture et stockage du carbone. La photosynthèse est à ce titre le principal mécanisme de séquestration du carbone. Une forêt ayant atteint un état stable produit autant

de CO₂ (par la respiration) qu'elle en absorbe (par la photosynthèse), mais durant sa croissance le puits l'emporte sur l'émission. Pour une forêt gérée subissant des coupes, le puits de carbone moyen vaut un peu plus de la moitié de sa valeur maximale, celle qu'atteint une forêt au summum de sa croissance au bout de 25 ans environ. Les flux de CO₂ au dessus des forêts sont mesurés sur environ 140 sites forestiers sur toute la planète, dans le cadre du programme international « Fluxnet ». De plus, on a soumis de jeunes peuplements forestiers à de l'air enrichi en CO₂ : il en résulte une stimulation de la photosynthèse et un accroissement de surface foliaire et de production de bois. On observe ainsi que les forêts de la moitié Nord de la France produisent actuellement 30 à 40 % plus de bois qu'en 1950. Une partie seulement de cet accroissement provient de l'augmentation du CO₂, le reste étant dû aux dépôts azotés qui agissent comme un engrais et au réchauffement qui augmente la durée de la saison de croissance. Comme les coupes n'ont pas augmenté en conséquence, il en résulte une accumulation de bois sur pied. Doit-on considérer les forêts comme des puits de carbone durables ? Le

puits actuel est lié à un déséquilibre causé par les changements globaux et il devrait se poursuivre encore pendant plusieurs décennies, puis progressivement diminuer jusqu'à s'annuler voire se transformer en source si les conditions deviennent trop défavorables (canicule, sécheresse estivale...). Les sources d'inquiétude proviennent (1) des déforestations intenses, surtout en Afrique et Amérique du Sud —dans une moindre mesure en Asie grâce au reboisement en Chine— qui font encore disparaître 8 à 9 millions d'hectares de forêts par an, et (2) de l'augmentation mondiale de la population qui avoisinera les 9 milliards d'individus en 2050 (source FAO) et participera à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère et à la pression sur les forêts pour libérer des terres cultivables. Un accroissement des surfaces boisées pourrait limiter cet effet, mais des effets secondaires pourraient en contrebalancer le bénéfique dans les hautes et moyennes latitudes, notamment le réchauffement dû au piégeage accru du rayonnement solaire par les couronnes des arbres. Et les forêts jouent encore bien d'autres rôles dans le système climatique que celui de puits de carbone... ■

Bernard SAUGIER, Écologie, systématique et évolution, Université Paris-Sud 11 -CNRS-AgroPariTech



Image de déforestation dans le sud du Mexico.

Restitution de la paléohydrologie de l'Atlantique Nord à partir de la géochimie des coraux profonds



© LOUIS FERNÁNDEZ GARCÍA

Circulation thermohaline.

La circulation océanique joue un rôle essentiel dans le système climatique de la Terre, en assurant la redistribution de la chaleur des basses latitudes vers les hautes latitudes. Dans l'Atlantique Nord, la circulation des eaux de surface s'organise en deux systèmes principaux : la gyre subtropicale et la gyre subpolaire. Les eaux de la première, plus chaudes, sont transportées vers le Nord par de grands courants comme le Gulf Stream et la dérive Nord Atlantique. En se refroidissant, elles deviennent plus denses et plongent vers l'océan profond. Ces courants participent à la grande boucle de circulation dite « circulation thermohaline » qui circule dans le Pacifique et l'Océan Indien, pour revenir par les courants de surface en Atlantique Nord. On observe actuellement un ralentissement de la plongée des masses d'eaux au niveau des mers Nordique (qui pourrait s'arrêter complètement d'ici cent ans d'après certaines modélisations), vrai-

semblablement lié au réchauffement climatique global et à l'apport d'eaux douces aux hautes latitudes liées à la fonte des calottes et/ou à des changements de la circulation océanique. Afin d'affiner les modèles expliquant ce phénomène, Christophe Colin et ses collègues s'intéressent aux indicateurs permettant de suivre et caractériser la circulation des masses d'eau de l'Atlantique Nord participant à la plongée de masses d'eau dans les mers Nordiques. Parmi les nombreux éléments dissous dans l'océan, le néodyme présente un intérêt particulier. Cet élément, apporté principalement par les rivières, possède une composition isotopique (rapport $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ normalisé, dit epsilon-Nd) qui varie fortement d'un continent à l'autre. Or il reste dissous moins de 1000 ans dans l'océan, ce qui ne lui laisse pas le temps d'être homogénéisé par la circulation océanique. L'epsilon-Nd mesuré en un point de l'océan indique donc de façon fiable la provenance de la masse d'eau actuellement présente en ce point. À condition de savoir effectuer cette mesure extrêmement délicate, étant donné la faible concentration du néodyme : le laboratoire IDES d'Orsay (en collaboration avec le LSCE) est l'un des deux laboratoires dans le monde capables de réaliser de telles analyses. Restait à trouver un enregistrement des valeurs passées de cet indicateur. C'est

chose faite depuis quelques années, grâce à l'étude des coraux profonds. Ces organismes, qui vivent jusqu'à 5000 m de profondeur, construisent des récifs atteignant des centaines de mètres de haut et plusieurs kilomètres de long. En croissance continue, un récif conserve année après année une trace de la composition de l'eau qui l'entoure – y compris la valeur de l'epsilon-Nd.

Des carottages effectués dans un récif profond à la limite entre les gyres subtropicale et subpolaire ont ainsi permis de retracer tout au long de l'Holocène (10 000 dernières années) la provenance des eaux circulant dans cette zone. En corrélant ces mesures avec les variations climatiques connues par ailleurs, les chercheurs ont eu une surprise : durant les périodes les plus chaudes de l'Holocène, c'est la gyre subpolaire qui alimentait cette zone, et devait donc être plus étendue qu'actuellement dans l'Atlantique Nord, alors que durant les périodes froides c'est la gyre subtropicale qui dominait. Reste aux climatologues à expliquer cette découverte, qui semble être associée à la présence, au début de l'Holocène, d'une calotte résiduelle au niveau du continent Canadien. ■

Christophe COLIN, Interactions et dynamique des environnements de surface, Université Paris-Sud 11 -CNRS

Statistiques et climat : l'exemple de l'effet de serre et des événements extrêmes

L'évolution de notre climat est aujourd'hui une des thématiques les plus discutées et au centre de débats acharnés. Si l'on veut obtenir des réponses sérieuses, il faut favoriser le rapprochement de deux communautés différentes : les climatologues et les statisticiens. Les enjeux d'un travail de calcul de l'évolution de la température ou des tempêtes sont très importants, de l'agriculture à la sécurité nucléaire.

Si les modèles numériques de climats sont de plus en plus sophistiqués, l'analyse sous-jacente ignore trop souvent les

moyens mathématiques les plus récents. En effet, les modèles reposent sur des équations différentielles non stochastiques, c'est-à-dire qui ne prennent pas en compte les grandeurs aléatoires. Ils sont donc adaptés à la prédiction de valeurs moyennes, mais pas à celle des événements extrêmes tels que la tempête de 1999 ou la canicule de 2003. Des méthodes statistiques élaborées sont nécessaires pour répondre à des questions telles que : ces événements extrêmes sont-ils liés à l'effet anthropique sur le climat ? Quelle probabilité avons-nous d'observer dans les 100 prochaines années une

température supérieure à une certaine valeur ?

Les échelles spatio-temporelles posent également des problèmes : comment situer, sur les courbes de températures moyennes, le début de l'effet anthropique ? Comment alimenter un modèle d'évolution globale du climat – reposant sur une description à grande échelle spatiale, de l'ordre de 10 à 50 km – à partir d'observations locales ? Comment choisir au mieux les paramètres de calcul, notamment pour déterminer les tendances : définir la période sur laquelle on travaille et les paramètres de lissage ?

Qu'est-ce qui justifie l'utilisation habituelle d'une fenêtre de 15 ans pour étudier la « tendance moyenne » ?

Un programme européen baptisé PRUDENCE s'est attaché à la comparaison de différents modèles qui ont simulé le climat européen pour les périodes 1961-1990 et 2071-2100. L'évaluation portait sur leurs performances dans le domaine des événements extrêmes, en comparaison avec les statistiques connues sur la période passée et celles prédites par les mathématiciens pour l'avenir. Ainsi,

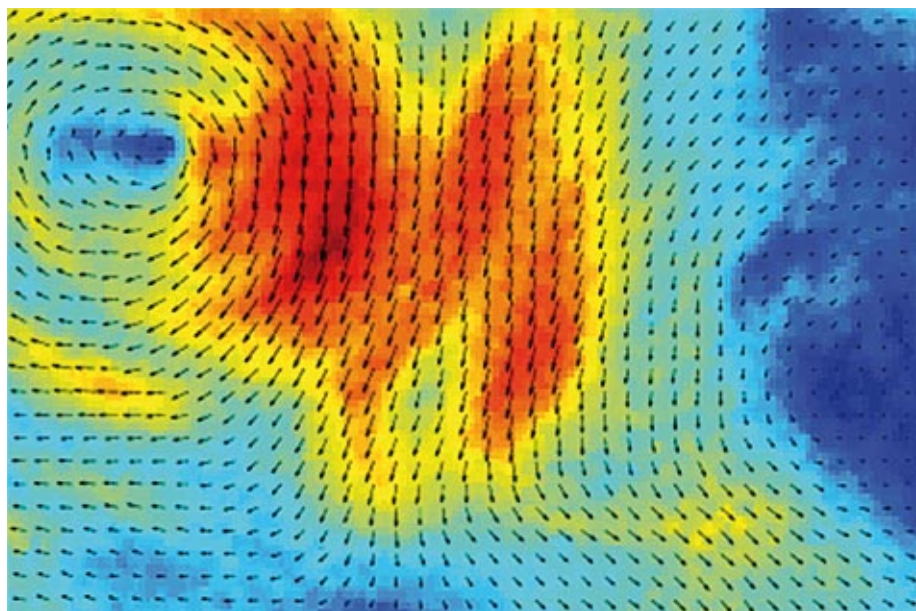
les statistiques montrent que la fréquence des événements extrêmes (comme la probabilité de survenue d'une canicule) augmente avec l'élévation de la température moyenne, mais que leur variabilité (par exemple l'intensité des canicules) n'en dépend pratiquement pas. Les climatologues peinent à expliquer cet effet et leurs modèles le reproduisent mal.

S'il ne fait pas de doute que les événements extrêmes vont devenir plus fréquents, la théorie mathématique des records permet d'affirmer que la canicule

de 2003 ne s'inscrit pas dans une série de records prévisibles. Contrairement à ce qui a été dit, elle n'était donc pas une conséquence directe du changement climatique en cours mais un événement « hors-norme » tout à fait exceptionnel, comme il s'en est produit par exemple en 1701. ■

Didier DACUNHA-CASTELLE, Laboratoire de mathématiques d'Orsay, Université Paris-Sud 11 -CNRS

Turbulences géophysiques en laboratoire



Turbulence en déclin influencée par la rotation de la cavité. Mesure expérimentale du champ de vitesse dans un plan transverse à la rotation. La couleur code le module des vecteurs vitesses.

© MARC RABAUD

L'équipe de Marc Rabaud du laboratoire FAST (Fluide, automatique, systèmes thermiques) s'intéresse à l'effet de la rotation sur les écoulements turbulents. Très concrètement, cette combinaison de turbulence et de rotation est impliquée dans de nombreux phénomènes naturels à grande échelle : ainsi l'apparition de bras dans les galaxies spirales, la tache rouge de Jupiter (qui est un anticyclone gros comme 3 fois la Terre), le mouvement des courants océaniques et des masses d'air, les déplacements de magma à l'intérieur de la Terre...

Pour aborder l'étude de phénomènes physiques aussi complexes, il faut essayer d'élaborer un modèle simplifié qui conserve les paramètres pertinents. Pour caractériser la turbulence d'un écoulement, on utilise le nombre de Reynolds, qui compare les forces de viscosité que le fluide oppose au mou-

vement aux forces d'inertie qui tendent à le maintenir en mouvement. À petit nombre de Reynolds, écoulement laminaire (par exemple, le miel qui coule régulièrement d'une cuillère); à grand nombre de Reynolds, écoulement turbulent : le sillage derrière une voiture, la fumée qui sort d'une cheminée – la turbulence aide ainsi à la dispersion des polluants – et encore davantage le panache d'une explosion volcanique. Les phénomènes turbulents s'accompagnent d'une grande dissipation d'énergie, les grands tourbillons se divisant en tourbillons plus petits et ainsi de suite... La modélisation est difficile car il faut prendre en compte de grandes disparités d'échelles : ainsi derrière une voiture de 1 m, la taille des petits tourbillons est de l'ordre du micromètre.

Venons en maintenant à l'influence de la rotation sur certains types d'écoulements. Ainsi la rotation de la Terre,

et la force – dite de Coriolis – qu'elle engendre, est un paramètre important pour comprendre la circulation des masses d'air dans les cyclones et les anticyclones. Là encore tout est question d'échelle : la force de Coriolis n'a aucun effet sur le sens de rotation de l'eau dans un lavabo ! La simulation numérique d'écoulements turbulents en 3 dimensions comme ceux de l'atmosphère est aujourd'hui irréalisable ; si la puissance des ordinateurs continue à doubler tous les 18 mois, on peut espérer s'y atteler en... 2040 ! En attendant, des approches expérimentales sont possibles. Elles consistent à étudier le mouvement de l'eau dans une cuve dont on contrôle la vitesse de rotation. A l'aide de différents appareils (qui utilisent des lasers pulsés et des caméra vidéo), on peut mesurer la vitesse de chaque petit domaine du liquide et ainsi en avoir une cartographie. Cette expérience existe en plusieurs tailles ! Au laboratoire FAST, c'est une expérience « de table ». À Grenoble, la plateforme Coriolis possède une cuve de 13 m de diamètre (150 tonnes d'eau). Les deux sont complémentaires : la première permet d'étudier les petits tourbillons pendant quelques minutes, la seconde des tourbillons plus gros pendant plusieurs heures. L'interprétation de ces expériences permet de mieux comprendre le rôle de la rotation : elle transforme progressivement l'écoulement en 3 dimensions en un écoulement bidimensionnel. Elle ralentit les transferts d'énergie et elle explique l'asymétrie entre les cyclones et les anticyclones, les cyclones pouvant devenir beaucoup plus puissants. ■

Marc RABAUD, Fluides, automatique et systèmes thermiques, Université Paris-Sud 11 -CNRS

Aucune raison de s'inquiéter? Pesticides et santé publique au XX^e siècle



© USDA PHOTO BY CHARLES O'REAR

Épandage aérien de pesticides. Ce mode d'épandage est celui qui est le plus susceptible de polluer l'air. Il est peu utilisé en Europe, mais fréquent aux États-Unis.

1 962 : Silent Spring, le best-seller de Rachel Carlson, alerte l'opinion sur les dangers des pesticides. Ce thème sera repris par les mouvements écologistes puis en 1972 par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement.

Les pesticides induisent de nombreux effets sur la santé : 20 000 à 30 000 décès directs et 200 000 à 300 000 intoxications leur sont attribués par l'OMS ! Parmi les plus touchés figurent les travailleurs agricoles et de l'industrie, tant dans les pays développés que dans le tiers-monde. Le problème des pesticides apparaît dès les années 1880 avec le développement des arsénicaux en agriculture à

grande échelle. Dès l'origine, on privilégie la mise en place de réglementations légitimées par une « expertise » scientifique. 1916 marque la première loi française sur les pesticides. Plus tard, le régime de Vichy met en place un système d'homologation encore en vigueur aujourd'hui ! L'après-guerre (1945-1960) voit apparaître les pesticides de synthèse : organophosphorés, organochlorés, agent orange et phytohormones. 54 000 substances sont commercialisées aux USA et quelques milliers en France.

Au début des années 1950 aux USA, des milliers de décès leur sont imputables : travailleurs des exploitations de coton et de l'industrie, population générale exposée lors de la désinsectisation des maisons. La régulation se met en place au sein d'instances internationales (OMS, FAO, BIT, Europe) ou nationales. Les acteurs politiques adoptent un raisonnement par le risque : les pesticides présentent peu de risque si leur usage est encadré. Entre les années 1970 et 1990, certains pesticides sont interdits mais d'autres, plus dangereux, sont autorisés et utilisés abondamment. Parallèlement, les mouvements de protestation prennent une ampleur planétaire.

Les réglementations tentent de prévenir les problèmes liés aux pesticides, mais sont prises dans des systèmes favorisant le développement de l'industrie phytosanitaire et l'agriculture intensive. En Amérique latine, en Afrique, en Asie, des populations entières naissent avec des malformations, souffrent de cancers, etc. Dans les pays occidentaux, face à une contestation publique impor-

tante, la régulation est renforcée grâce à des agences dédiées (Environment Protection Agency aux USA depuis 1972). Cependant, on ne se demande pas comment les réglementations sont appliquées sur le terrain – or on y retrouve des substances interdites !

La régulation est toujours justifiée par la science. Mais quelle science ? On privilégie la toxicologie expérimentale, éloignée des malades et du terrain, au détriment de la toxicologie clinique, l'épidémiologie ou l'écotoxicologie. On convoque des « experts » conciliants, liés aux industries. On construit des instruments ajustables, pour produire des normes favorables à l'industrie. On finance la production d'outils aux dépens de véritables recherches, par exemple sur les effets des faibles doses ou de long terme. Il faut aussi relativiser la place des connaissances scientifiques dans les décisions. Ainsi, on connaît l'arcénicisme depuis le début du XX^e siècle mais les produits phytosanitaires à base d'acide arsénieux n'ont été interdits qu'en 2006 !

Les travaux des sciences sociales ont mis en évidence l'échec de la régulation. Pour être efficace, elle doit passer par une volonté politique forte. Ainsi, grâce à une politique volontariste de taxation, la Suède a fortement diminué sa consommation de pesticides, sans baisse de rendement ! ■

Nathalie JAS, Études sur les sciences et les techniques, Université Paris-Sud 11

Les microbes en communication avec les plantes pour le secours de la planète

La population mondiale devrait croître de 40 % d'ici 2050 entraînant une augmentation critique des besoins alimentaires et énergétiques. Afin de pallier l'épuisement annoncé des ressources énergétiques fossiles, on peut utiliser les produits carbonés présents dans la biomasse. Les orientations actuelles qui consistent à détourner des terres cultivées de la chaîne alimentaire au profit des agrocarburants, comme la production de « bioéthanol »

à partir d'amidon de maïs ou celle de biofuel à partir d'huiles végétales, risque d'exacerber les pénuries alimentaires. Comment alors concilier besoins alimentaires et énergétiques ? D'autres solutions encore sous-exploitées existent, que ce soit l'exploitation de polymères végétaux (essentiellement cellulose et lignine) ou le polymère chitine (abondant chez les arthropodes et les champignons). Le travail de Jean-Marie Beau et son équipe vise à augmenter

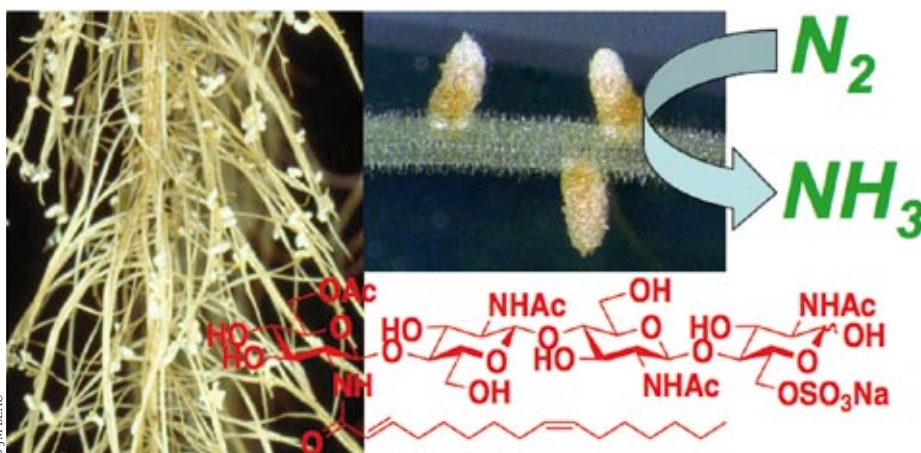
le rendement des surfaces cultivées et ce, de façon non polluante. Son projet, associant chimie et biologie, repose sur l'utilisation de stimulants de croissance naturels, les facteurs de nodulation (facteurs Nod), produits par des bactéries Rhizobia, vivant en symbiose avec des légumineuses. Au niveau des racines des légumineuses, ces facteurs Nod induisent la formation de nodules qui abriteront les bactéries Rhizobia et permettront la fixation de l'azote

atmosphérique, stimulant ainsi la croissance de la plante. L'équipe de Jean-Marie Beau, en collaboration avec des biologistes de l'INRA et du CNRS de Toulouse, a démontré que des facteurs Nod synthétiques seuls stimulent bien la nodulation et la croissance végétale à des doses extrêmement faibles. La production en grande quantité des facteurs Nod se fait ou par culture de Rhizobia sur-productrices (brevet INRA), ou par une autre bactérie (*E. coli*) génétiquement modifiée, ou par un procédé produisant des analogues très actifs, procédé protégé par un brevet déposé avec Bayer CropScience et l'INRA. Depuis 2006, plus d'un million d'hectares de légumineuses aux USA sont traités par ces stimulants de croissance naturels. Le rendement de ces cultures est augmenté de près de 11% tout en diminuant l'utilisation d'engrais azotés et de pesticides, pour un coût de préparation très faible et très économe en énergie. Les débouchés des stimulants naturels semblent donc très prometteurs et pourraient être élargis. En effet, ce procédé non polluant pourrait aussi être utilisé pour

stimuler la croissance d'autres légumineuses vivrières ou les acacias en zones semi-arides afin de faciliter la reforestation. D'autre part, le principe des stimulants naturels de la croissance végétale ne se restreint pas aux légumineuses. La majorité des plantes vivent en symbiose avec des champignons (mycorhizes) qui stimulent leur croissance par des petites

molécules qui restent à découvrir et exploiter cette possibilité est d'un enjeu économique et écologique majeur. ■

Jean-Marie BEAU, Institut de chimie moléculaire et des matériaux d'Orsay, Université Paris-Sud 11 -CNRS



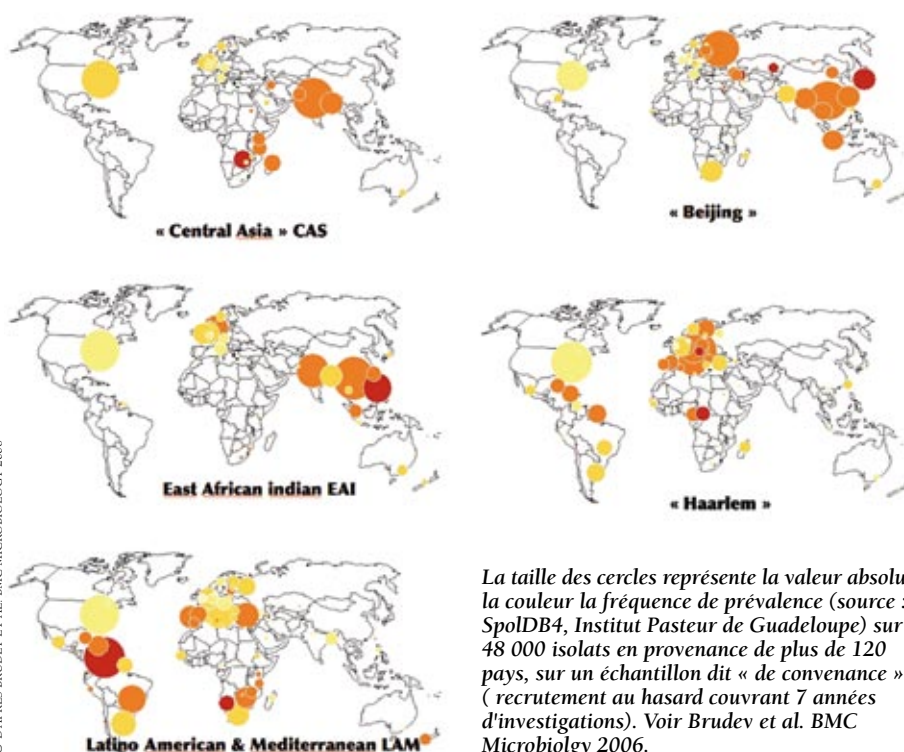
Nodosités portées par des radicelles de légumineuses où se fait la fixation biologique de l'azote. La molécule rouge est un facteur de nodulation produit par *Rhizobium meliloti* et nodulant la luzerne.

Dynamique globale et locale d'une maladie infectieuse en pleine mutation : la tuberculose

La tuberculose, due au bacille *Mycobacterium tuberculosis*, est une très ancienne maladie que l'on pourrait croire disparue. Pourtant, la prévalence de la maladie est très forte dans certaines régions du monde comme l'Asie et l'Afrique, en lien étroit avec la densité et les déplacements de population. En France, on note environ 6 000 nouveaux cas par an (10 nouveaux cas pour 100 000 habitants).

On sait aujourd'hui soigner la tuberculose en 6 mois par une quadrithérapie. Mais dans certains pays, les conditions socio-économiques et politiques ne permettent pas de mettre en place correctement ces traitements, entretenant ainsi des foyers de la maladie. Depuis les années 1990, on observe également l'apparition de formes multi-résistantes de la maladie (dites MDR) qui sont soignées par des antibiotiques de deuxième intention plus coûteux, pouvant entraîner eux-mêmes des phénomènes de résistances. Ainsi, 420 000 nouveaux cas de tuberculose MDR sont recensés chaque année dans le monde (dont 88 en France). Cela a conduit l'OMS à

Cartes de prévalence de certaines familles génotypiques majeures de bacille tuberculeux



La taille des cercles représente la valeur absolue, la couleur la fréquence de prévalence (source : SpolDB4, Institut Pasteur de Guadeloupe) sur 48 000 isolats en provenance de plus de 120 pays, sur un échantillon dit « de convenance » (recrutement au hasard couvrant 7 années d'investigations). Voir Brudev et al. BMC Microbiology 2006.

© D'APRÈS BRUDEV ET AL. BMC MICROBIOLOGY 2006

déclarer en 1994 que la tuberculose est une « urgence mondiale ».

La déclaration obligatoire de la maladie a permis son suivi par des méthodes d'épidémiologie classique. Les souches de bacilles sont maintenant aussi identifiées et suivies par des méthodes de génétique moléculaire. Plusieurs types de marquages génétiques (spoligotyping, RFLP, VNTR, SNP...) peuvent être utilisés pour caractériser les souches de bacilles et créer une sorte d'empreinte génétique de chaque souche. Christophe Sola s'est intéressé plus particulièrement au marqueur « DR », locus

répété qui représente 0,1% du génome. Avec l'Institut Pasteur de Guadeloupe, une étude regroupant 140 pays et caractérisant 45 000 souches avec ce type de marqueurs génétiques a permis de constituer des bases de données de très grande taille. On peut ensuite regrouper les souches selon leur proximité génétique. Il s'est avéré que toutes les souches actuelles étudiées pouvaient être regroupées en seulement 8 ou 9 grandes familles génétiques, la prévalence de chacune d'entre elles variant selon les régions du monde. Ainsi, la souche « Beijing » est très prévalente en Asie,

alors que la plus courante en Europe est la souche « Haarlem ». Ces résultats corroborent également les observations des praticiens qui notaient des variations dans la symptomatologie de la tuberculose selon les régions du monde.

Ce type de travail permet non seulement des études prospectives mais peut également éclairer d'un jour nouveau le passé. Les analyses moléculaires ont permis d'identifier l'ancêtre du bacille de la tuberculose et de retracer la répartition sur la planète des différentes souches descendantes en lien avec les migrations humaines. ■

Les micrométéorites : des neiges antarctiques à la formation du système solaire

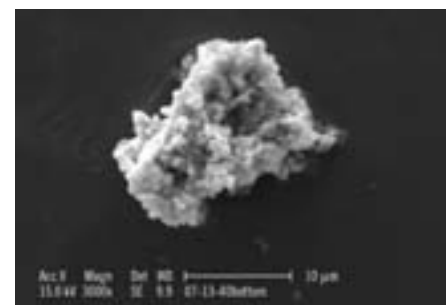


Jean Duprat et Catherine Engrand, prélevant la neige à la station Concordia au Dome C (Antarctique) pour en extraire les particules extraterrestres.

Chaque année, environ 30 000 tonnes de matière extra-terrestre tombent sur la Terre, sous forme d'imperceptibles micrométéorites. Ce sont des fragments d'astéroïdes ou de comètes dont l'orbite croise celle de la Terre. On peut voir les plus « grosses » d'entre elles sous forme d'étoiles filantes lorsqu'elles traversent l'atmosphère, mais leur taille moyenne se situe autour de 200 microns : même s'il en tombe en moyenne une par mètre carré et par an, vous avez peu de chances de vous en rendre compte... Or ces micro-

météorites sont de précieux témoins de la formation du système solaire. Les recueillir et analyser leur composition permet d'étayer ou de réfuter différents modèles de formation de notre étoile et de ses planètes. Contrairement aux météorites « macroscopiques », les micrométéorites ne brûlent pas toujours en pénétrant dans l'atmosphère terrestre et parviennent souvent intactes au sol. C'est dans les grandes étendues glacées et immaculées des pôles que les chasseurs de micrométéorites du CSNSM recherchent ce précieux butin. Au Groenland tout d'abord puis au pôle Sud, en faisant fondre de grandes quantités de glace. Plus récemment (en 2000, 2002 et 2006), une nouvelle collecte a débuté autour de la base scientifique Concordia, à l'intérieur des terres antarctiques : cette fois ce n'est plus la glace mais la neige qui a été fouillée. Loin de toute pollution humaine, préservées de la contamination des roches sous-jacentes par une couche de glace de 3,5 km d'épaisseur, les micrométéorites Concordia y sont particulièrement bien conservées et certaines particules friables y ont été détectées pour la première fois.

Il existe différentes classes de météorites, mais les micrométéorites forment une population assez homogène : elles ressemblent principalement à la classe de météorites, des chondrites carbonées (riches en matière carbonée et en éléments volatils), qui ne représente pourtant que 2% des chutes de météorites. Une analyse des échantillons recueillis par la sonde Stardust au voisinage de la comète Wild 2 a montré des similitudes avec certaines micrométéorites de la



Micrographie électronique d'une poussière extraterrestre collectée dans les neiges de l'Antarctique.

collection Concordia. On constate que la matière cométaire n'est pas très différente de la matière interplanétaire formée proche du Soleil. Avec les micrométéorites Concordia, on dispose donc probablement sur Terre d'échantillons cométaires qui seraient mieux préservés que ceux piégés dans les aérogels de Stardust. Cette observation remet en cause certains modèles de formation du système solaire supposant que la composition du monde astéroïdal (proche du Soleil) était très différente de celle des comètes (plus éloignées).

L'analyse des micrométéorites montre également qu'elles contiennent de l'eau. En bombardant incessamment la Terre primitive, auraient-elles été à l'origine des océans ? Elles contiennent également de nombreuses molécules carbonées et des catalyseurs minéraux. Peut-être ont-elles apporté les briques de la vie sur la Terre, et aussi sur Mars ? ■

Cécile ENGRAND, Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse, Université Paris-Sud 11 - CNRS-IN2P3