

Le champagne dans la flûte

Les bulles de champagne sont plus stables dans des verres lavés sans produit de rinçage.

Le coup d'œil que l'on jette sur le vin avant de le boire est une promesse de bonheur, quand la robe est d'une parfaite limpidité. C'est pourquoi les vignerons évitent les «voltigeurs» qui troublent le vin. Dans le cas du champagne, le plaisir annoncé n'est parfait que si l'on voit une mousse fine, de quelques millimètres de hauteur, qui se rassemble sur la périphérie de la flûte pour former une collerette alimentée en permanence par des bulles de petite dimension (diamètre inférieur au millimètre).

L'absence de mousse est-elle le signe infaillible d'une mauvaise qualité ? Pas nécessairement : nous avons utilisé la technique des plans d'expériences pour étudier expérimentalement l'effet des verres sur la mousse du champagne. Un robot verseur, qui reproduit le geste de l'opérateur, versait du champagne dans des flûtes où nous suivions l'effervescence à l'aide d'un système de vision artificielle qui enregistrerait le temps de versement et la hauteur de mousse en fonction du temps, pendant et après le versement.

La théorie de la formation des bulles est simple : le champagne n'est pas en équilibre stable quand il est à l'air libre,

et le gaz s'échappe en formant des bulles sur les défauts présents à la surface du verre. La taille des bulles dépend de l'énergie de surface du récipient, c'est-à-dire de la facilité avec laquelle il accepte le contact avec d'autres matériaux (gaz ou liquide). Puis, une fois formées, les bulles grossissent par diffusion du dioxyde de carbone dissous, jusqu'à ce que la poussée d'Archimède devienne supérieure aux forces d'adhésion : la bulle se détache alors de la paroi.

Or l'énergie d'adhésion d'une bulle sur la surface du verre est proportionnelle à l'aire de la surface de contact de la bulle et du verre, aire qui dépend elle-même de l'énergie de surface. Cette dernière peut être évaluée à partir de l'angle de contact d'une goutte d'eau sur le matériau qui constitue le récipient : si le récipient a une forte énergie de surface, c'est-à-dire si le liquide mouille bien le verre, la surface de contact est faible et la bulle est quasi sphérique ; la bulle se détache alors dès que son diamètre atteint quelques dixièmes de millimètre. C'est le cas des flûtes propres en verre sodocalcique (le verre le plus ordinaire) ou en cristal. Au contraire, si l'énergie de surface est faible, c'est-à-

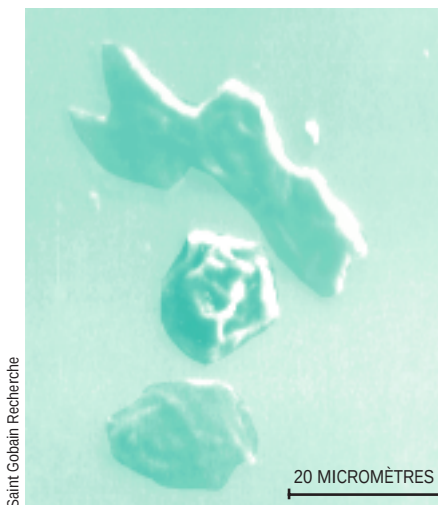
dire si le liquide mouille mal la surface, la bulle ne se détache que lorsqu'elle est assez grosse (plus de un millimètre de diamètre pour les parois en polyéthylène). On observe même des bulles pathologiques, de plusieurs millimètres de diamètre, quand la surface des flûtes est recouverte d'un polymère fluoré tel que celui qui tapisse les poêles anti-attachantes. Ce type d'analyses explique pourquoi les bulles sont fines quand le champagne est versé dans les flûtes en verre, et pourquoi elles sont plus grosses dans les gobelets en plastique.

Toutefois les surfaces de haute énergie se contaminent rapidement (en quelques heures, pour le verre), en fixant les molécules organiques de l'air (elles sont nombreuses dans les cuisines). Ainsi l'avantage du verre ou du cristal sur le plastique diminue quand les flûtes ont été salies par une longue station en atmosphère contaminée, tel le repos sur une planche de bois (qui libère des essences organiques).

Par diverses méthodes de microscopie, nous avons également étudié la naissance des bulles : contrairement aux idées reçues, elles ne se forment pas souvent sur des défauts du verre (les rayures sont rares), mais plutôt sur des dépôts de calcaire, de tartre, et sur les fibres de cellulose qui sont abandonnées sur la surface des verres par les torchons d'essuyage.

Les bulles qui se forment alimentent la collerette, dont la hauteur dépend du nombre et des dimensions des bulles, mais aussi de leur stabilité. Certains composés sont connus pour modifier celle-ci : on savait que les agents anti-moussant des rouges à lèvres nuisent à la mousse, mais nous avons découvert qu'il en était de même des produits de rinçage fréquemment utilisés dans les lave-vaisselle. Adsorbés par les surfaces de verre, ces produits organiques se dissolvent dans le champagne au cours du remplissage des flûtes. Ils ne perturbent pas l'effervescence, mais nuisent à la stabilité de la mousse : les bulles éclatent dès qu'elles arrivent en surface. Les produits de lavage sont également nocifs, mais ils sont moins gênants, car le rinçage les élimine en grande partie.

Patrice LEHUÉDÉ,
Saint Gobain Recherche
Bertrand ROBILLARD, Moët & Chandon



Deux des principaux sites de formation des bulles de champagne : les cristallisations (à gauche) et les fibres de cellulose laissées par les torchons, lors de l'essuyage (à droite).

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science, le 22 novembre 1996, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Relief dans un cube

Des lasers forment des images en trois dimensions dans un cube de verre.

Imaginez un film en relief. Vous tournez autour du cube-écran et, sans lunettes spéciales ni casque, l'image apparaît sous divers angles, comme si vous tourniez autour d'un objet réel. Cela n'est plus tout à fait de la science-fiction depuis qu'Elizabeth Downing, de l'Université de Stanford, et ses collègues ont mis au point un système qui affiche une image en trois dimensions à l'intérieur d'un cube de verre.

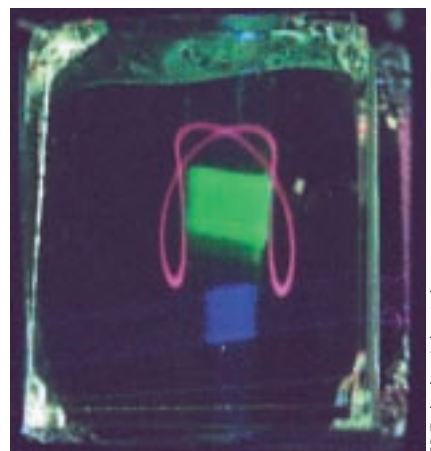
Sur un écran de télévision, un faisceau d'électrons excite des atomes qui émettent de la lumière en se désexcitant. Lorsque le canon électronique balaye l'écran, différents atomes s'illuminent : une image plane apparaît.

Dans le système d'affichage en trois dimensions, l'image est produite de manière analogue, par désexcitation d'atomes du matériau. Les atomes, de la famille des terres rares, ont la propriété de s'exciter lorsqu'ils absorbent simultanément deux photons infrarouges de longueurs d'onde différentes et de se désexciter ensuite rapidement en émettant un photon de longueur d'onde visible. Le nouvel écran est ainsi constitué d'un cube de verre,

transparent aux infrarouges, dopé avec des atomes de terres rares.

Les physiciens utilisent des verres fluorés dopés avec différents atomes, un par couleur d'émission : le praséodyme pour le rouge, l'erbium pour le vert et le thulium pour le bleu. Des miroirs orientables focalisent le point d'intersection de deux faisceaux lasers en une région donnée du matériau. Par exemple, lorsque l'on utilise deux lasers, dont les longueurs d'onde sont 1,5 micromètre et 0,85 micromètre, les atomes d'erbium absorbent ces deux photons et émettent un photon dans le vert, à la longueur d'onde de 0,545 micromètre. On utilise ainsi une paire de lasers différents pour chaque couleur : chaque paire de lasers, qui produit deux photons infrarouges de longueurs d'onde différentes, excite un type d'atome.

Le dispositif d'affichage, de la taille d'une assiette, permet d'illuminer jusqu'à 5 000 éléments d'images en trois couleurs dans un cube de 1,5 centimètre de côté. Les miroirs sont couplés à un dispositif mécanique qui fait osciller les miroirs, de sorte que le point d'inter-



Des lasers infrarouges dessinent des formes colorées à l'intérieur d'un cube de verre.

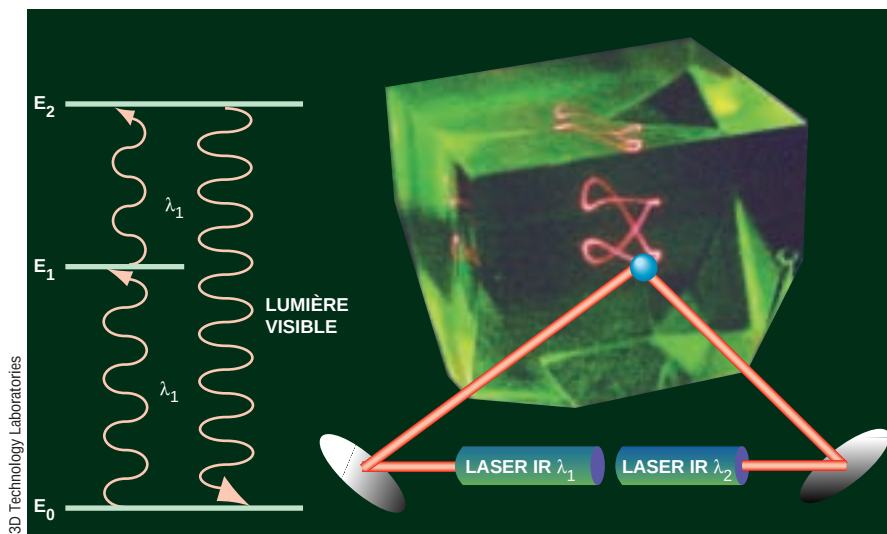
section des deux lasers balaye le cube et forme des figures tridimensionnelles simples, telles des surfaces colorées.

VERS LA TÉLÉVISION EN RELIEF?

En agrandissant la taille de l'affichage, on pourra envisager toutes les applications qui nécessitent la visualisation tridimensionnelle de données. Par exemple, plusieurs médecins pourraient observer, en même temps, l'image d'un cerveau prise par résonance magnétique. Les contrôleurs aériens pourraient voir les avions évoluer en trois dimensions.

Quand verrons-nous un film en relief par ce procédé? Pas tout de suite, car cet appareil ne peut pas encore afficher des images tridimensionnelles riches en informations : par rapport à un affichage de télévision de 300 points de côté, la quantité de données nécessaires à l'affichage tridimensionnel serait multipliée par au moins 300 (pour la troisième dimension). Ce procédé nécessite donc beaucoup plus de données que l'affichage stéréoscopique qui utilise deux images planes prises sous des angles légèrement différents. Ainsi, même en utilisant les techniques de compression les plus récentes, les disques de la nouvelle génération de disques optiques vidéo, les DVD, ne contiendraient que les données nécessaires à quelques secondes de film.

De même, la quantité de calculs nécessaires à la gestion de ces données est hors de portée des ordinateurs d'aujourd'hui. La solution viendra peut-être des ordinateurs à architecture parallèle qui généreraient des batteries de faisceaux lasers et, pour la gestion des données, de nouvelles techniques de compression ainsi que de l'utilisation de mémoires holographiques à cristaux, qui promettent des capacités accrues. □



Dans un cube de verre, des atomes de la famille des terres rares absorbent des photons infrarouges de longueurs d'onde différentes émis par deux lasers. Ainsi excité, chaque atome émet un photon visible (à gauche) qui illumine une région du cube. Des miroirs déplacent le point d'intersection des lasers à travers le cube, ce qui permet de tracer des formes tridimensionnelles.

Médicaments orphelins

Diverses mesures devraient inciter les industriels à produire des médicaments destinés aux patients atteints de «maladies rares».



Comment inciter les laboratoires pharmaceutiques à se préoccuper des patients «non rentables»? Que ce soient les habitants des pays en développement non solvables ou les patients atteints de maladies rares, c'est-à-dire touchant moins de une personne sur 1 000 habitants. Voilà une dizaine d'années que la plupart des laboratoires pharmaceutiques ont cessé nombre de recherches visant à combattre les fléaux qui accablent les pays en développement.

La mise sur le marché d'un nouveau médicament est le résultat d'une quinzaine d'années de recherche et de développement, et moins d'une molécule sur 10 000 synthétisées est commercialisée. Les recherches ne sont entreprises que si le laboratoire peut espérer des retours sur investissements suffisants. Quand le nombre des malades concernés ne dépasse pas quelques milliers dans le monde entier, ces personnes sont délaissées.

D'après l'Organisation mondiale de la santé, on dénombre environ 5 000 maladies rares, toujours graves, et 80 pour cent d'entre elles sont des maladies génétiques. La mucoviscidose, la myopathie de Duchenne, la maladie de Charcot, certains cancers rares et les maladies opportunistes liées au SIDA sont au nombre de ces maladies. La totalité des malades concernés représenterait huit pour cent de la population des pays industrialisés.

Sous l'influence des Associations de malades, les États-Unis se sont dotés, dès 1983 d'une loi qui a permis l'enregistrement de plus de 650 médicaments destinés aux patients atteints de maladies rares. De même, le Japon, a adopté des dispositions incitatives pour les industriels, dès 1993.

Quelles sont ces mesures? Pour les maladies «rares», qui menacent la vie du patient et pour lesquelles il n'existe aucun traitement, on accorde aux laboratoires intéressés des subventions de recherche et des dégrèvements fiscaux.

De plus, le laboratoire bénéficie d'une procédure accélérée pour obtenir l'autorisation de mise sur le marché et d'une exclusivité commerciale de son produit, sur tout le territoire, pendant sept ans pour les États-Unis et dix ans pour le Japon. Les médicaments susceptibles d'y être considérés comme des médicaments orphelins sont, soit des thérapeutiques nouvelles, soit des médicaments déjà connus dont on exploite des propriétés secondaires, soit des médicaments dont on a cessé la commercialisation et que l'on remet sur le marché. Même lorsqu'un médicament orphelin est commercialisé, les laboratoires pharmaceutiques continuent leurs recherches, pour obtenir des substances plus efficaces, ou déclenchant moins d'effets secondaires. L'État accepte que le prix de ces médicaments soit élevé, mais, en contrepartie, l'industriel ne peut arrêter unilatéralement leur production.

POUR UNE Législation EUROPÉENNE

Comme la recherche sur les médicaments orphelins bénéficie de mesures auxquelles les industriels ne peuvent prétendre lorsqu'il s'agit de maladies fréquentes, le statut de ces médicaments est régulièrement réexaminé. Ainsi, au début des années 1980, le SIDA était-il considéré comme une maladie rare, ce qui a permis la mise sur le marché de l'AZT. Aujourd'hui, le SIDA n'est plus considéré comme une maladie rare, sauf le SIDA pédiatrique. Or les antiviraux dont on dispose ne sont pas disponibles sous une forme administrable aux enfants. Les Associations de malades réclament aux laboratoires de préparer des formes galéniques adaptées.

Une politique européenne concertée des médicaments orphelins devrait intéresser quelque 2 000 laboratoires pharmaceutiques, en raison de la taille du marché (370 millions d'habitants), d'un fort potentiel industriel, de ressources financières supérieures à celles des pays

isolés, et d'un cadre légal européen assurant la protection juridique des industriels, promoteurs de médicaments orphelins.

En septembre 1994, Annie Wolf de l'INSERM, présentait un rapport qui préconisait la reconnaissance d'un statut européen du médicament orphelin. Ce rapport prévoyait des mesures incitatives en faveur des laboratoires pharmaceutiques mettant au point ces thérapeutiques et recommandait la création d'un Observatoire français et européen des maladies rares. En 1995, Simone Veil, alors ministre de la Santé, créait la Mission des médicaments orphelins.

Depuis, la responsable de la Mission, A. Wolf, a collaboré à l'élaboration d'un projet de règlement européen sur le statut des médicaments orphelins. La Commission européenne qui a rédigé le projet de règlement propose des critères pour l'obtention d'un statut européen des médicaments orphelins et demande que les laboratoires mettant sur le marché un médicament orphelin bénéficient d'une exclusivité commerciale, dans toute l'Europe, au moins égale à six ans, et d'une aide technique pour le développement de leur produit. Ce projet devrait être soumis au Parlement européen avant la fin de l'année 1996.

Par ailleurs, la Mission propose de développer une banque télématique de données nationales, ORPHANET, que le public pourra consulter. On y trouvera la définition des maladies rares, les lieux de prise en charge, les traitements, etc. Malades et médecins y trouveront des données souvent difficiles à rassembler.

Enfin, les associations de malades (l'Association française de lutte contre la mucoviscidose, AIDES, l'Association française contre les myopathies et la Ligue nationale contre le cancer) ont décidé de coordonner leur action avec celle des autres associations françaises et européennes pour être entendues lors des débats qui auront lieu à Strasbourg.

La parole sera bientôt au Parlement européen. □

Surfondu et congelé

Un lézard utilise deux stratégies de résistance au froid.

Le roseau de la fable l'a montré : les espèces qui font preuve de souplesse vis-à-vis de l'environnement réussissent mieux que les autres. Le lézard vivipare *Lacerta vivipara*, qui a colonisé des habitats variés, du Nord-Ouest de l'Espagne au Nord du Cercle polaire, et du niveau de la mer à des altitudes de 3 000 mètres, a tiré parti de cette logique : il pratique le double jeu dans plusieurs domaines. On savait déjà que ce reptile est majoritairement ovovivipare, les femelles conservant leurs embryons dans leurs oviductes jusqu'au développement complet, mais qu'il est ovipare dans le Sud de son aire de répartition. Selon Claude Grenot, du Laboratoire d'écologie de l'École Normale Supérieure, c'est aussi le seul vertébré capable de déployer deux parades physiologiques contre le froid : la surfusion et la congélation.

Le lézard vivipare est un animal ectotherme : sa température corporelle est fixée par la température ambiante. Lorsque celle-ci baisse, il se refroidit. Dans les régions tempérées, la plupart des vertébrés ectothermes passent l'hiver en vie ralentie dans un refuge à l'abri du gel.

Toutefois, sur de courtes périodes, quelques-uns survivent à des températures négatives. Certains entrent dans un état appelé « surfusion » : l'accumulation de substances antigel dans leurs fluides corporels abaisse le point de

congélation de ceux-ci. D'autres espèces sont adaptées au froid par leur capacité à congeler : l'eau des espaces intercellulaires gèle, mais pas le liquide cellulaire, grâce à des molécules cryoprotectrices, dont la plus répandue est le glucose, métabolisé à partir du glycogène hépatique.

La surfusion présente des avantages par rapport à la congélation : elle engendre peu de contraintes physiologiques et permet une réanimation et une récupération rapides au cours du réchauffement. C'est toutefois un état métastable : un animal en surfusion risque toujours de geler. C'est ce qui se produit pour les reptiles lorsque certaines muqueuses entrent en contact avec de la glace.

L'aptitude à la surfusion du lézard vivipare est bien connue. C'est même le vertébré qui peut s'y maintenir le plus longtemps : au moins trois semaines, à la température de $-3,5^{\circ}\text{C}$.

Comme il hiverne toutefois souvent dans des zones humides, où de la glace se forme, les biologistes se sont demandés s'il pouvait congeler sans dommages. Ils ont donc congelé des lézards en laboratoire : dans cet état, l'animal survit trois jours à la température de -3°C . La découverte, dans le Jura, à 850 mètres d'altitude, d'individus gelés, mais vivants, confirme l'utilisation naturelle de cette stratégie par le lézard.

Le glucose aurait un rôle clé dans les deux processus de conservation des tissus : il abaisse le point de congélation des fluides corporels, pour la surfusion, et il protège les cellules contre les dommages créés par la glace pendant la congélation. Au cours de l'hiver, la glycémie des lézards augmente régulièrement et atteint des niveaux record pour un reptile.

Le choix entre les deux états ne dépend pas des conditions extérieures, telles l'humidité ou la présence de glace. On a en effet retrouvé au

même endroit des individus congelés et d'autres en surfusion. En revanche, le niveau de déshydratation au début de l'hivernage et l'intensité des échanges hydriques entre chaque animal et son environnement, en cours d'hivernage, auraient une importance déterminante pour ce choix.

Catherine PERRIN

Privilège immunitaire

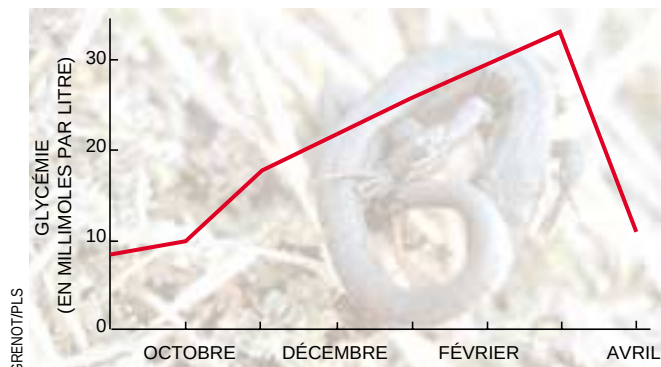
Des organes à l'abri du système immunitaire.

Certains tissus tolèrent bien les antigènes étrangers. La chambre antérieure de l'œil, les testicules, les ovaires, le cerveau, l'utérus ou même certaines tumeurs sont dotés de cette propriété, nommée le « privilège immunitaire ». Ces tissus ont notamment la propriété de bien tolérer les greffes. On a longtemps attribué cette tolérance du système immunitaire périphérique à une irrigation médiocre des organes concernés, plus précisément à une absence totale de réactions de défense. Aujourd'hui les mécanismes de l'immunosuppression qui assurent cette tolérance ont été partiellement élucidés.

Ainsi, le milieu de la chambre antérieure de l'œil est riche en facteurs solubles immunosuppresseurs. L'un de ces facteurs, le TGF- β , est l'une des cytokines indispensables à l'immunité des muqueuses, mais elle a aussi, dans ce tissu, des propriétés que l'on ne soupçonnait pas. Normalement, lorsqu'un lymphocyte T rencontre son antigène spécifique, il prolifère pour détruire le micro-organisme étranger. Au contraire, dans les tissus dotés du privilège immunitaire, le TGF- β inhibe la prolifération des lymphocytes T, bloquant la suite de la réaction immunitaire.

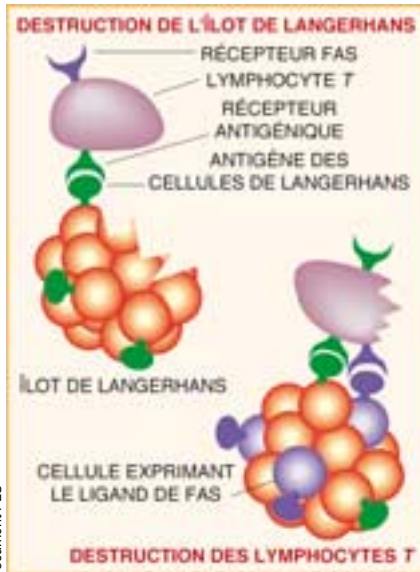
Un autre mécanisme participe au maintien du privilège immunitaire : le tissu oblige les cellules du système immunitaire à s'autodétruire, c'est-à-dire à subir un mécanisme d'apoptose. Cette mort cellulaire programmée est déclenchée lorsqu'une molécule, nommée le ligand de Fas, FasL, se fixe spécifiquement sur son récepteur Fas. En présence de FasL, une cellule qui exprime le récepteur Fas signe son arrêt de mort : le ligand s'y fixe, et les mécanismes d'autodestruction se déclenchent.

On a récemment montré que des cellules présentes dans les sites de privilège immunitaire expriment le ligand de Fas. C'est le cas des cellules de la chambre antérieure de l'œil de souris : quand un virus infecte ce tissu, des lymphocytes T y sont attirés pour combattre le virus, mais, comme ils portent le récepteur Fas, ils sont détruits. De même, FasL est exprimé par les cellules de Sertoli des testicules de souris (ces cellules



L'augmentation de la glycémie dans une population de lézards vivipares au cours de l'hiver leur permet de survivre aux températures négatives, par surfusion et par congélation (photographie).

Document PLS



Quand un îlot de Langerhans, constitué des cellules qui produisent l'insuline, est greffé, il est détruit par les lymphocytes T qui le reconnaissent comme un intrus. Quand l'îlot contient des cellules qui expriment le ligand FasL, les lymphocytes qui expriment le récepteur Fas s'y lient, et subissent un phénomène d'auto-destruction : la greffe n'est plus détruite.

assurent le soutien et la nutrition des cellules sexuelles). L'apoptose est l'un des principaux mécanismes à l'origine du privilège immunitaire.

En appliquant ces résultats aux greffes de tissus, les immunologistes devraient minimiser les risques de rejet. Quand des tissus de testicules de souris sont greffés sur d'autres souris en des sites où les greffes sont normalement rejetées, ils survivent, à condition que les cellules du greffon expriment le ligand FasL. Des lymphocytes T sont attirés par le greffon parce qu'ils reconnaissent que c'est un tissu étranger. Comme ils expriment le récepteur Fas et que les cellules du greffon portent le ligand FasL, l'interaction Fas-FasL déclenche l'apoptose des lymphocytes venus combattre l'intrus.

Afin d'améliorer les techniques de greffe de tissus, l'équipe de Henry Lau, à Philadelphie, a intégré des cellules exprimant ce ligand à un greffon constitué d'îlots de Langerhans (les cellules qui sécrètent l'insuline dégradant le sucre, et qui ne sont plus fonctionnelles chez les diabétiques). Le greffon n'a pas été rejeté, tandis qu'il l'aurait été sans la présence des cellules exprimant le ligand. Les «cellules porteuses» expriment durablement le ligand FasL.

Considéré, il y a peu de temps encore, comme une déficience de la défense de l'organisme, le privilège immunitaire est aujourd'hui un nouvel outil thérapeutique qui pourrait améliorer la survie des greffes, chez l'homme.

Catherine MARY

La forêt dans le monde

La superficie totale couverte par la forêt diminue.

Selon des paléontologues, l'espèce humaine a émergé après le remplacement naturel de la forêt par la savane, en Afrique de l'Est, il y a quelques millions d'années. Depuis, l'action de l'homme s'est ajoutée à celle de la nature pour transformer les paysages. Les hommes ont défriché dans presque tous les pays, pour créer des terres cultivables ou des pâturages, pour s'approvisionner en combustible et en matériau de construction. Depuis quelques décennies, la couverture forestière de la planète s'est considérablement réduite. Les pays les plus pauvres, sous les tropiques, sont les plus touchés par cette déforestation.

En 1990, les forêts couvraient environ un quart des terres émergées (sans compter 13 pour cent supplémentaires, couverts par une végétation arborée plus éparse). La Russie possède le cinquième de la forêt mondiale, le Brésil le septième, le Canada et les États-Unis environ sept pour cent chacun.

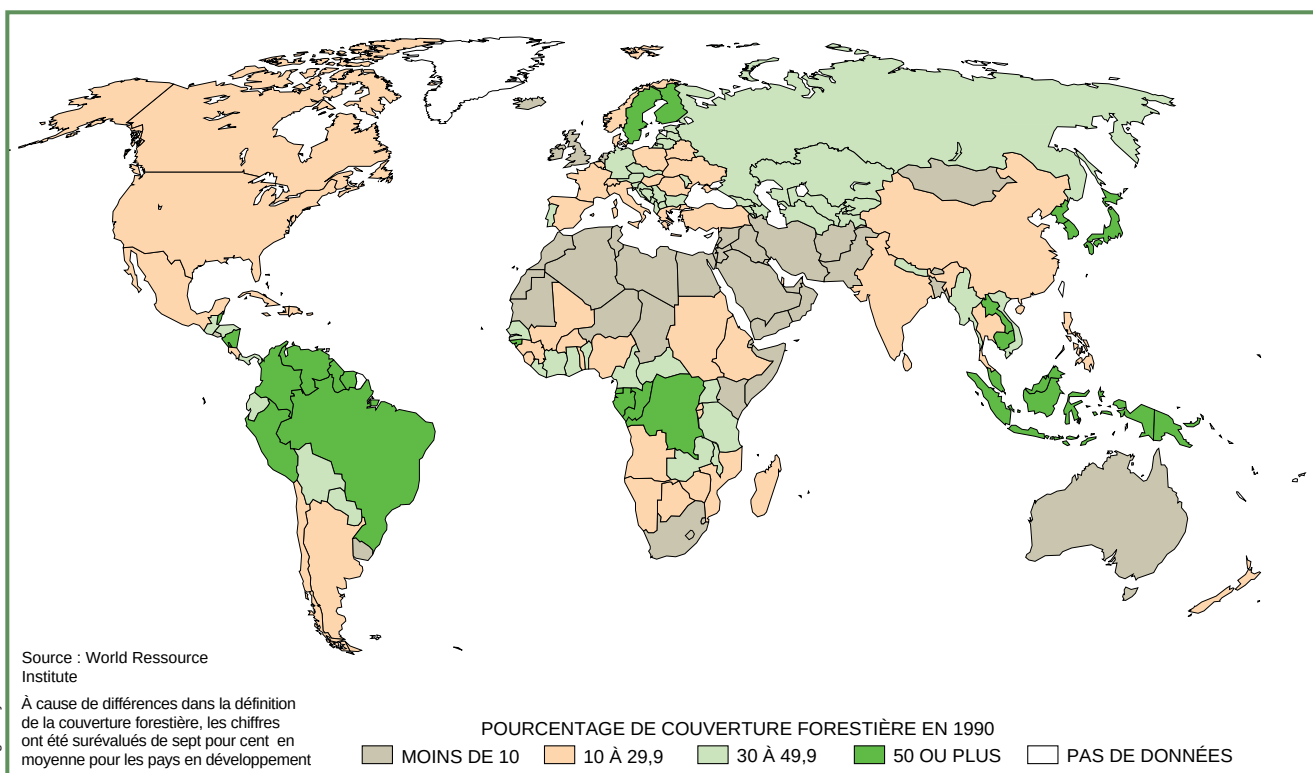
En Europe, la forêt couvre environ 30 pour cent du territoire des pays situés à l'Ouest de l'ex-URSS : l'homme a réduit son extension naturelle de moitié. Dans ces forêts, surtout en Europe de l'Est, de nombreux arbres sont malades et perdent leurs feuilles à cause de la pollution atmosphérique. Dans l'ex-URSS, la forêt recouvrait la moitié du territoire : elle n'en couvre plus qu'un tiers. Cette réduction provient aussi de la pollution atmosphérique, mais surtout de l'absence de politiques de conservation et de replantation.

Aux États-Unis, la forêt couvre aujourd'hui 22 pour cent des terres : sa superficie a été réduite d'environ 40 pour cent depuis l'arrivée des premiers Européens. La couverture forestière est toutefois restée stable depuis 1920, grâce à l'accroissement de la productivité agricole : la création de nouvelles terres agricoles est inutile depuis cette époque. Les principales difficultés qu'affronte aujourd'hui la forêt aux

États-Unis sont la réduction de sa biodiversité et la stagnation, voire la diminution, de sa productivité en bois d'ouvrage.

Parmi les autres régions tempérées de la Planète, on note un recul de la forêt dans les pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient depuis 1980 : elle ne couvrait plus, en 1990, que deux pour cent du territoire de ces pays. À l'opposé, la Chine, grâce à un programme de plantation massive, a récemment augmenté sa surface boisée : cette dernière atteint aujourd'hui 14 pour cent du territoire chinois.

Les plus grands bouleversements ont eu lieu sous les tropiques. La forêt naturelle s'y est réduite d'un cinquième entre 1960 et 1990, sous la pression des populations, des grands travaux liés à des projets de développement et de l'exploitation commerciale incontrôlée des ressources : 137 millions d'hectares de forêt tropicale ont disparu dans le monde, soit les superficies cumulées de la France, de l'Espagne et de l'Allemagne. L'extension des terres agricoles ne rend compte que de moins de la moitié de cette disparition. La réduction la plus importante a eu lieu en Asie tropicale : un tiers de sa forêt a disparu. Dans les années 1980, l'Inde est le seul pays tropical dont la superficie couverte de forêts a augmenté (de cinq pour cent). La forêt du Brésil, dont la superficie est environ le tiers de la forêt tropicale mondiale, a été réduite de cinq pour cent dans les années 1980.



Le bleu des Mayas

Pourquoi il résiste au temps.

Les façades de nos cathédrales gothiques ont aujourd'hui la couleur de la pierre : les peintures qui les ornaient autrefois ont disparu en quelques siècles (et sont même sorties de notre mémoire collective). Comment fabriquer des peintures qui résistent au temps ? La civilisation maya, qui domina une partie de l'Amérique centrale pendant près de 2 000 ans, avait surmonté cette difficulté, au moins pour la couleur bleue : des fresques et des poteries millénaires ont conservé cette couleur, malgré l'humidité et la chaleur. Hasard ou maîtrise technique, la structure de ce pigment ne ressemble à aucune autre : tout semble comme si les Mayas utilisaient les connaissances les plus récentes de la science des matériaux.

La peinture bleue des Mayas est un mélange d'indigo, colorant végétal, et d'ar-

gile, majoritairement de la palygorskite (un silicate d'aluminium et de magnésium). Une recette de préparation a été publiée dans les années 1960 : on chauffe à 150 °C, pendant une vingtaine d'heures, un mélange d'indigo synthétique et de palygorskite. Les Mayas extrayaient l'indigo des branches d'un arbuste nommé *xiquilit*.

Comment la peinture ainsi fabriquée et déposée sur des fresques a-t-elle résisté aux intempéries et aux attaques de la végétation ? Des expériences ont montré que le bleu maya résiste aux réactifs acides, basiques, oxydants ou réducteurs pas trop concentrés, et qu'il n'est pas altéré par la biocorrosion. La molécule d'indigo est pourtant beaucoup plus fragile.

Pour expliquer cette robustesse, une équipe de physico-chimistes mexicains a prélevé des échantillons de bleu maya sur des fresques de l'époque épique (entre 700 et 1 200 de notre ère) et les a observés au microscope électronique. Elle a découvert que les cristaux de palygorskite sont légèrement déformés par rapport aux cristaux de la palygorskite extraite d'une ancienne mine : les plans atomiques du réseau cristallin sont plus espacés. Les molécules d'indigo pourraient donc s'insérer dans l'argile, ce qui les protégerait contre les dégradations.

En outre, à côté des cristaux de palygorskite, la peinture bleue des Mayas contient des particules métalliques, plus ou moins oxydées, enrobées dans de la silice amorphe. Ces particules, de quelques nanomètres de diamètre, sont composées surtout de fer, apporté par le *xiquilit* qui en est riche.

Une suspension de particules de tailles inférieures aux longueurs d'onde de la lumière visible diffracte celle-ci différemment selon la taille et la dispersion des particules : Michael Faraday, en particulier, a montré, au milieu du XIX^e siècle, que la couleur de suspensions d'or passaient ainsi du vert-jaune au bleu. Les particules de fer présentes dans le bleu Maya contribueraient donc aussi à sa coloration. □



G. Dagli-Orti

La peinture bleue des fresques de Cacaxtla (aujourd'hui au Mexique), peintes par les Mayas vers 900, a résisté au temps grâce à une composition chimique originale.

Vers le Sri Lanka

Source de devises, le tourisme de masse vers les pays en développement a de multiples conséquences négatives et prévisibles.

Le tourisme mondial explose : en 1970, 160 millions de personnes ont voyagé de par le monde ; ces voyageurs ont été 455 millions en 1990. Ils devraient être 637 millions en l'an 2000.

Cette fièvre des voyages qui gagne surtout les pays industrialisés contraste avec la précarité des habitants de nombreux pays en développement, où règnent souvent une démographie galopante, la pauvreté, des ressources alimentaires insuffisantes et le chômage. À cela s'ajoute une dépendance vis-à-vis des marchés mondiaux, une dette extérieure élevée et un manque des capitaux. On comprend que ces pays pauvres, mais souvent dotés de richesses culturelles ou naturelles, encouragent le tourisme, source de devises et d'emplois. Ce choix occulte les conséquences socioculturelles et écologiques du tourisme de masse.

Sri Lanka, l'ancienne île de Ceylan (17 millions d'habitants), est l'une des destinations favorites des touristes occidentaux. En 1994, plus de 408 000 touristes ont passé leurs vacances sur cette île de l'océan Indien. Le gouvernement sri lankais voudrait que, d'ici 2001, la capacité d'accueil double et que les revenus du tourisme triplent, pour atteindre près de quatre milliards de francs.

Pour que ces prévisions se confirment, il faudrait que la guerre civile qui a commencé en 1983 entre la majorité des Cinghalais et la minorité des Tamouls s'achève. Quoiqu'il advienne, on peut déjà mesurer les conséquences de l'essor du tourisme international qui eut lieu au cours des années 1960.

Les conséquences du tourisme international dépendent du nombre des vacanciers, de l'argent qu'ils dépensent ainsi que du stade de développement du pays visité. Au Sri Lanka, en 1994, le tourisme a représenté la deuxième source de revenus, juste après l'industrie textile. Toutefois, ces ressources sont soumises à divers facteurs incontrôlables, tant internes qu'externes : elles dépendent de la stabilité sociale et politique du pays, de la conjoncture économique internationale, des destinations qui sont à la mode parmi les touristes et des prix pratiqués par les agences de voyages.

PROFITS MAL PARTAGÉS

Qui profite de ces devises ? Au Sri Lanka, les populations les plus pauvres n'en tirent guère avantage, car leur seul contact avec les touristes se limite souvent à la vente de souvenirs dans la rue. On estime qu'en 1994, environ 84 000 personnes de l'île ont été employées par l'industrie du tourisme, 35 000 directement (par exemple le personnel hôtelier ou les employés des agences de voyages) et 49 000 indirectement (les vendeurs des rues par exemple). Ce chiffre représente environ 1,5 pour cent des salariés. D'ici l'an 2001, 53 000 emplois supplémentaires devraient être créés.

Toutefois, durant cette période, le nombre total des salariés devrait quadrupler, de sorte que l'augmentation des salariés dans le secteur du tourisme ne représentera que 2,5 pour cent de la

croissance du marché du travail. En outre, les emplois de ce secteur sont soumis aux variations du nombre des touristes, le nombre d'emplois diminue pendant la mousson et la couverture sociale des employés est minimale. Devant le nombre des demandeurs d'emploi, les licenciements expéditifs sont fréquents.

Les salaires dans le secteur du tourisme vont de 1 700 francs par an (pour une femme de chambre) à plus de 40 000 francs pour un directeur d'hôtel. Sur le milliard de francs que les touristes ont dépensé en 1994, 240 millions de francs seulement (soit environ 24 pour cent) sont revenus aux employés, 170 millions de francs pour les 35 000 employés directs et 70 millions pour les 49 000 personnes qui bénéficient indirectement du tourisme. Le nombre de ces employés indirects suit la demande de la haute saison. Pendant la basse saison, la concurrence est féroce et les revenus s'effondrent. De surcroît, les prix augmentent dans les hauts lieux touristiques, ce qui diminue le pouvoir d'achat des populations locales.

Le tourisme entraîne également une augmentation de la consommation d'énergie, en raison des installations de climatisation ou des équipements frigorifiques dont s'équipent les hôtels. En deux semaines, un touriste consomme plus d'énergie qu'un habitant de l'île en une année ! Pour circuler sur l'île, 2 500 voitures particulières sont réservées aux touristes ; plusieurs milliers de taxis sont presque exclusivement utilisés par les étrangers.

Le tourisme sexuel est devenu un fléau pour le Sri Lanka qui attire particulièrement les pédophiles. On estime que 50 000 femmes et 30 000 enfants – surtout des garçons de 6 à 15 ans – se prostituent, poussés à cette extrémité par la misère. Cette situation favorise la propagation des maladies sexuellement transmissibles, notamment celle du VIH, le virus responsable du SIDA.

Outre l'alcool, diverses drogues dures sont disponibles, à la demande des tou-



Plage de Sri Lanka vierge (à gauche) et après son ouverture aux touristes (à droite).