

Comment le polyéthylène glycol bloque-t-il la cancérogenèse intestinale ? Il ne modifie certainement pas le métabolisme de l'agent cancérogène, puisqu'il agit bien après son administration. Le polyéthylène glycol agit peut-être en protégeant mécaniquement la muqueuse : il s'interpose entre la muqueuse et le flux fécal et a un effet lubrifiant. Peut-être, le polyéthylène glycol agit-il, comme les fibres alimentaires, en diluant le contenu du côlon.

En effet, le polyéthylène glycol, qui est hydrophile et qui ne peut traverser la paroi intestinale, attire l'eau vers l'intérieur de l'intestin, par augmentation de la pression osmotique : deux milieux sépa-

rés par une paroi semi-perméable tendent à équilibrer les concentrations des éléments qu'ils contiennent en laissant passer de l'eau vers le milieu le plus concentré ; le contenu de l'intestin est ainsi dilué.

À cette dilution, s'ajouterait un effet délétère pour les cellules tumorales. Nous pensons que la pression osmotique due au polyéthylène glycol présent dans l'intestin déclenche un stress dans les cellules qui, pour maintenir leur volume, «luttent» contre cette aspiration d'eau. Les cellules tumorales seraient peut-être moins efficaces que les cellules normales pour lutter contre la pression osmotique ; elles

se déshydrateraient rapidement, se détacheraient de leurs voisins et seraient balayées par le flux fécal.

Les chercheurs s'interrogent : serait-ce le traitement préventif miracle que les cancérologues recherchent activement partout dans le monde ? Pour savoir si le polyéthylène glycol permettra d'éviter les 100 nouveaux cas de cancers colorectaux détectés chaque jour en France, il faudra d'abord confirmer son effet chez l'homme dans les conditions rigoureuses d'un essai clinique en double aveugle.

Denis CORPET et Géraldine PARNAUD
ENVY et INRA, Toulouse

Glaciers tropicaux

La fonte des glaciers tropicaux dépend plus de l'humidité que de la température.

Cela pourrait être une devinette : quelle est la différence entre un glacier tropical et un glacier des régions tempérées, par exemple un glacier alpin ? Face aux variations saisonnières, leur comportement est exactement inverse : alors que le glacier alpin fond pendant l'été, les glaciers tropicaux fondent pendant la saison humide (de novembre à mars) en même temps qu'ils accumulent de la neige.

Bien que les glaciers tropicaux représentent moins de cinq pour cent des glaciers de montagne du Globe, leur influence socio-économique est importante : les eaux de la fonte de ces glaciers alimentent en eau potable plusieurs grandes villes telles, en Amérique du Sud, La Paz, Lima ou Quito ; elles actionnent également des usines hydroélectriques. Les autorités boliviennes inquiètes du recul de ces glaciers observé depuis plusieurs années, et dans un souci de gestion des ressources, ont demandé à l'Institut de recherche pour le développement, l'IRD, d'étudier ce phénomène. Après avoir observé un glacier bolivien pendant plusieurs années, l'équipe de Pierre Ribstein a montré que c'est l'humidité, et non la température, qui commande la fonte de ces glaciers.

Sur un glacier – tropical ou non –, la glace se dépose en amont dans une zone d'accumulation, puis elle descend lentement et rejoint une zone d'ablation où elle fond en un torrent. Les deux zones sont séparées par une ligne d'équilibre où l'apport de glace est égal à la perte. Depuis 1980, le recul de cette ligne, située de plus en plus haut, traduit un réchauffement global du climat.

Sous les tropiques, la température varie peu d'une saison à l'autre, même si, au cours d'une journée, l'amplitude des températures peut atteindre 20 degrés. En revanche, les variations de précipitations sont importantes : environ 83 pour cent des précipitations tombent pendant la saison humide.

Pour comprendre le comportement inverse des glaciers tropicaux, les glaciologues ont installé deux stations météorologiques automatiques sur les pentes du glacier bolivien du Zongo, qui s'étend de 4 900 à plus de 6 000 mètres d'altitude, au Nord de La Paz. Ils ont mesuré les précipitations, la température, la vitesse et la direction du vent, ainsi que la quantité d'énergie absorbée par le glacier. Ils ont également mesuré le débit du torrent issu du glacier : il est trois fois plus grand pendant la saison humide que pendant la saison sèche. Or, la fonte des glaciers des autres régions du Globe suit un rythme inverse : les glaciers alpins fondent en été lorsque l'ensoleillement est maximal.

Les données recueillies montrent que, pendant la saison sèche, l'énergie solaire absorbée par le glacier sert surtout à la sublimation de la glace, qui passe directement de l'état solide à l'état vapeur. Ce changement d'état, qui requiert huit fois plus d'énergie que la fusion, restreint la quantité d'énergie disponible pour la fonte et l'alimentation du torrent. En revanche, pendant la saison humide, l'atmosphère est saturée en eau : la sublimation est freinée et l'énergie solaire est utilisée pour la fusion.

En marge du comportement saisonnier normal d'un glacier tropical, les oscillations australes du phénomène El Niño expliquent aussi partiellement le recul des glaciers. En Amérique du Sud, ces oscillations provoquent souvent une baisse des précipitations (d'environ 25 pour cent) et par une faible hausse des températures. Selon les glaciologues, ces fluctuations climatiques provoquent la disparition rapide

du manteau neigeux à la surface du glacier. La quantité de rayonnement réfléchi, représenté par l'albédo, diminue, de sorte que l'énergie absorbée augmente : la fusion est alors favorisée.

Les climatologues s'intéressent aux glaciers tropicaux, parce qu'ils espèrent, grâce à des carottages, comparer la mémoire des glaces tropicales à celle des glaces prélevées au Groenland qui ont déjà fourni des informations sur l'histoire du climat de la Terre.



En Bolivie, le glacier du Zongo (cercle de rouge) s'étend de 4 900 à 6 000 mètres d'altitude entre des moraines (zones dégagées). Les glaciologues ont installé deux stations météorologiques automatiques sur le versant du glacier (rectangles verts) et mesuré le débit du torrent (carré rouge) issu des eaux de la fonte du glacier. La ligne violette sépare la zone d'accumulation où la glace s'amasse de la zone d'ablation où elle fond.

Souris alcooliques

L'alcool ou certains calmants favorisent l'activation des récepteurs du GABA qui s'ouvrent et laissent passer des ions chlorure à travers la membrane des neurones qui les portent. Ce flux d'ions entraîne une sensation de satisfaction, ainsi qu'une inhibition de l'envie de consommation. Une équipe de l'Université de San Francisco a montré qu'en l'absence d'une enzyme de la famille des kinases, les récepteurs du GABA d'une souris restent plus longtemps ouverts : les messages de plaisir et d'inhibition sont plus durables. Il faut donc moins d'alcool ou de calmants pour atteindre le même état, et la «soif» de l'individu est réduite. Des traitements qui inhiberaient cette enzyme pourraient lutter contre l'alcoolisme et l'anxiété.

La fin de l'acide

Depuis le début de la Révolution industrielle, les émissions de composés acides augmentaient : sulfures et composés azo-

tés (essentiellement des oxydes), principalement émis par les combustibles fossiles, étaient rejetés dans l'atmosphère ; redéposés par les précipitations, ils acidifiaient les sols et les eaux. Pourquoi parler au passé de ces «pluies acides»? Parce que les efforts de réduction des émissions de sul-

fures et d'oxydes d'azote, menés depuis 1985, semblent efficaces : une équipe internationale qui surveille des lacs d'Europe et d'Amérique du Nord a montré que l'acidification des sols et des lacs s'affaiblit lentement.

Simple ou double?

La plupart des mammifères sont diploïdes : leurs chromosomes s'organisent par paires, et presque tous les gènes sont présents en deux exemplaires. La polyploïdie, c'est-à-dire que les chromosomes ne sont pas présents par paire, mais en nombre supérieur, est normalement fatale. Or, en Argentine, des zoologistes ont découvert une espèce de rat tétraploïde, où la majorité des chromosomes sont présents en quatre exemplaires ; quelques-uns, notamment les chromosomes sexuels, ne sont qu'en double comme chez les organismes diploïdes. Selon les zoologistes, seule cette élimination génétique a permis à l'animal d'exister et de se reproduire

Chandelles standards

Les supernovae lointaines sont-elles semblables aux supernovae proches?

Bien qu'elles soient à l'autre bout de l'Univers, les supernovae causent bien du souci ici bas. Fin 1998, les astronomes découvrent que ces explosions stellaires sont moins lumineuses que prévu, vraisemblablement en raison de la structure même de l'espace : contrairement à ce que pensaient jusqu'ici les cosmologistes, plutôt que de ralentir, l'expansion de l'Univers s'accélérerait. Selon Adam Riess et ses collègues de l'Université de Berkeley, l'annonce de cette surprenante découverte a été un peu précipitée, «un peu comme l'annonce de la découverte de la vie sur la météorite martienne», s'amuse-t-il à dire.

Le débat sur l'accélération cosmique est fondé sur la mesure de deux quantités clés pour chacune des supernovae lointaines repérées : la luminosité maximale de l'explosion et son décalage vers le rouge. La luminosité maximale de l'explosion semblait dépendre uniquement des caractéristiques intrinsèques de la supernovae : elle donnerait accès à la distance de l'explosion, mais comment estime-t-on cette distance? Imaginons une bougie dont on connaîtrait les caractéristiques, donc la luminosité absolue, placée à une distance inconnue. À partir de sa luminosité observée et de sa luminosité absolue, on déduit la distance. L'autre mesure, le décalage vers le rouge, indique quelle a été l'expansion de l'Univers depuis l'explosion de la supernova.

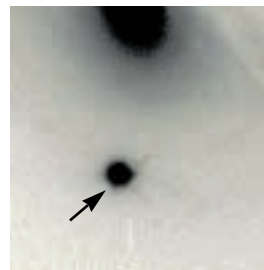
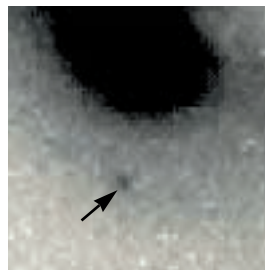
La supernova la plus ancienne connue a explosé voici 8,4 milliards d'années et, depuis, l'Univers a doublé de taille. Cependant, d'après le taux d'expansion actuel (déduit de l'observation de supernovae récentes), l'Univers devrait avoir triplé sa taille en 8,4 milliards d'années. Les astronomes en déduisent que l'expansion s'est accélérée.

Le déficit de luminosité sur lequel sont fondées ces conclusions est de l'ordre de 25 pour cent. Or, la variation naturelle de la luminosité maximale des supernovae, le paramètre utilisé par les cosmologistes, est du même ordre de grandeur, probablement en raison de différences dans la masse et dans la composition des étoiles progénitrices de l'explosion. Avec une telle disparité, les supernovae sont de mauvaises chandelles standards et, donc, de mauvais étalons de distances. Cependant, en étudiant des supernovae proches, les observateurs remarquèrent que plus la luminosité maximale est élevée, plus elle décroît lentement. En mesurant la décroissance de la luminosité des supernovae, les astronomes réussissent à compenser les variations dues aux disparités de composition. Les supernovae sont enfin des chandelles standards, des objets dont la courbe de luminosité indique leur luminosité intrinsèque.

La validité de ce concept de chandelle standard ne tient que si l'on suppose que ce qui est valide pour les supernovae proches l'est aussi pour les supernovae lointaines. Est-ce vraiment le cas? Le groupe d'A. Riess a remis cette hypothèse en cause en s'intéressant à une donnée habituellement négligée : le temps mis par une supernova pour atteindre son maximum de luminosité, le temps de montée de la courbe de lumière. En mesurant l'évolution de la luminosité de dix supernovae proches, les astronomes ont déterminé que le temps de montée moyen est de 20 jours, contre 17,5 jours pour les supernovae lointaines. Le scénario des explosions stellaires différerait selon l'époque de l'explosion.

Autre signal d'alarme : les différentes formules utilisées pour compenser les variations naturelles de la luminosité des supernovae engendrent des valeurs de la luminosité légèrement différentes.

De nombreux théoriciens pensent que ces désaccords ne sont pas fondamentaux. Le temps de montée de la luminosité dépend des premiers stades de l'explosion et il est très sensible aux caractéristiques de l'étoile progénitrice. À l'inverse, le maximum de luminosité et le temps de décroissance résultent de



Photographies d'une supernova dans une galaxie proche, avant l'explosion (à gauche), un jour après (au centre) et lors du maximum de luminosité (à droite).

B. Schmidt et C. Faranda

l'émission des restes de la supernova, longtemps après l'explosion ; cette émission est *a priori* indépendante des caractéristiques de l'étoile progénitrice.

Ces divergences pourraient indiquer que l'accélération de l'expansion de l'Univers n'est qu'un artefact ou qu'elle résulte d'un biais observationnel. Les supernovae distantes ont été découvertes à l'aide de détecteurs électroniques, alors que les supernovae proches l'ont été sur des photographies. Or, les films photographiques surexposent le centre des galaxies et masquent ainsi les supernovae qui pourraient s'y trouver. Les échantillons de supernovae ne sont donc peut-être pas représentatifs.

Seules de nouvelles études, conçues spécifiquement pour éviter de tels biais vérifieront si, oui ou non, les supernovae proches et distantes sont comparables, et si l'expansion de l'Univers s'accélère ou non.

Claustrophobie quantique

Des physiciens créent de la matière dans un état dégénéré, analogue à celle des étoiles à neutrons, dans un gaz ultrafroid.

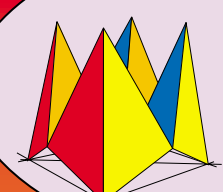
Au plus profond de la matière, les fermions : le proton et le neutron, constituants du noyau, sont des fermions, tout comme les électrons, et la structure du tableau périodique (et donc toute la chimie) repose sur ce fait. Si, récemment, l'attention s'est surtout portée sur leurs cousins, les bosons, c'est en raison d'une réalisation expérimentale marquante : la condensation de Bose-Einstein. Aujourd'hui, ce sont les fermions qui sont sous les feux de la rampe après que deux physiciens américains ont obtenu un «gaz de Fermi dégénéré», à la température de 0,3 microkelvin (0,3 millionième de degré au-dessus du zéro absolu).

Les bosons sont des particules élémentaires grégaires. Si grégaires que, dans un condensat de Bose-Einstein, un million de bosons s'assemblent dans le même état quantique, une sorte de super-particule. À l'inverse, les fermions sont individualistes : il est impossible d'en mettre deux dans le même état quantique au même endroit. Les fermions obéissent ainsi au principe d'exclusion de Pauli : la présence d'un fermion en un endroit exclu celle d'un autre fermion.

Les bosons ont des spins — le moment cinétique intrinsèque des particules — qui

Le Festival des Passions Technologiques

PROPOSE



Bourges
18 - 19 - 20
novembre 1999

LE

2^e

carrefour aux

Produits de Culture Scientifique

et les

LE SALON NATIONAL DE L'EXPOSITION ET DE L'ANIMATION SCIENTIFIQUE

(expos itinérantes, malles pédagogiques, cédéroms, sites internet...)

20 années d'animation scientifique en France.

5^{èmes}

RENCONTRES DE L'ANIMATION SCIENTIFIQUE de Bourges

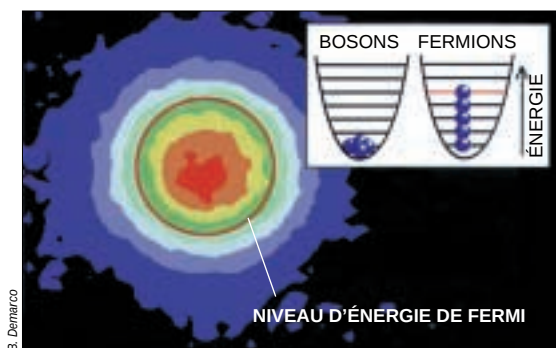
• Bilans et perspectives.

• Les nouvelles formes d'animation.

02 48 57 80 13

BOURGES





À basse température, les atomes de potassium au comportement de fermions se rassemblent. Au zéro absolu, tous devraient se trouver à l'intérieur du cercle rouge et remplir les niveaux d'énergie les plus bas du piège magnétique (à droite dans l'encart). Au contraire, les bosons se regroupent tous dans le niveau le plus bas (à gauche dans l'encart).

prennent des valeurs entières, alors que les fermions ont des valeurs de spins demi-entières (1/2, 3/2, etc.). De cette différence résulte leur différence de comportement de groupe, patente à basse température, lorsque les particules se mettent dans le plus bas niveau d'énergie disponible. À mesure que la température diminue, les bosons « tombent » brusquement tous ensemble dans l'état d'énergie minimale. Les fermions eux, se comportent plutôt comme des personnes qui descendent un escalier les unes derrière les autres : à mesure que l'on approche du zéro absolu, ils remplissent toutes les marches en commençant par la plus basse. Connu sous le nom de dégénérescence de Fermi, cet état joue un rôle essentiel dans les propriétés électriques des métaux et des semi-conducteurs, ainsi que dans la stabilisation des naines blanches et des étoiles à neutrons qui doivent résister à l'effondrement gravitationnel.

Pour créer un système de Fermi dégénéré, Deborah Jin et Brian de Marco, de l'Université de Boulder, ont utilisé le refroidissement par évaporation d'un gaz

d'atomes placés dans un piège magnétique, technique déjà utilisée pour créer un condensat de Bose-Einstein. Les physiciens ont choisi le potassium 40, composé de 40 protons et neutrons et de 19 électrons. Cet élément a un comportement de fermion, car il contient un nombre impair de fermions.

La création d'un état de Fermi dégénéré est délicate : il ne suffit pas de jeter quelques fermions dans un système qui produit des condensats de Bose-Einstein. En raison de

leur comportement, les fermions sont bien plus difficiles à refroidir que les bosons. Le refroidissement par évaporation est efficace à condition que l'on évacue les particules les plus chaudes et que les collisions entre particules dissipent en permanence l'énergie des chocs. Avec des fermions identiques, les collisions deviennent rares dans le régime quantique dégénéré. À chaque particule est associée une onde, dont la longueur caractéristique augmente à faible énergie. Le principe d'exclusion empêche une paire de fermions identiques de se rapprocher à une distance inférieure à cette longueur d'onde. Plus la longueur d'onde associée aux atomes augmente, plus la probabilité qu'ils entrent en collision diminue.

Pour pallier ce déficit de collisions, les physiciens ont utilisé un mélange à parts égales d'atomes dans deux états magnétiques proches, mais différents, des états Zeeman. Or, le potassium 40 possède deux états magnétiques qui peuvent être simultanément pris dans un piège magnétique. Deux atomes dans des états Zeeman différents peuvent

entrer en collision, même dans le régime dégénéré, car ils ne sont pas parfaitement identiques. Cette collision mixte autorise un refroidissement par évaporation efficace des deux variétés d'atomes.

Comment prouver que ces atomes sont bien dans un état dégénéré ? L'équipe américaine a montré qu'à une température inférieure à 0,3 microkelvin, les atomes ont plus d'énergie et une répartition des vitesses différente de ce que prévoit la physique classique. Cette particularité résulte du principe d'exclusion : lorsque les états atomiques les plus bas sont remplis, les atomes restant doivent se mettre dans des états d'énergie supérieure.

D'autres physiciens sont aussi en quête de cet état dégénéré. L'équipe de John Thomas, à l'Université Duke, a étudié le premier piège à fermions fondé sur des lasers. Ils espèrent refroidir un mélange de deux états du lithium 6 (au comportement de fermions) qui ne peuvent pas être retenus par un piège magnétique. Christophe Salomon et son équipe de l'École normale supérieure refroidiront un mélange de lithium 6 (fermion) et de lithium 7 (boson) à l'aide d'un piège magnétique. Le refroidissement d'un tel mélange permettrait d'obtenir un régime encore plus dégénéré, c'est-à-dire que toutes les marches les plus basses de l'« escalier » seraient occupées.

Le lithium 6 est particulièrement intéressant parce que ses atomes s'attirent à très basse température, et forment un autre état dégénéré : l'état de paires de Cooper, qui, lorsqu'il se produit avec des électrons, engendre la supraconduction (le transport d'électricité sans échauffement). Les atomes de lithium 6 s'apparieraient, devenant des bosons composites qui perdraient ainsi leur caractère de fermion et pourraient se retrouver dans un état condensé de Bose-Einstein.

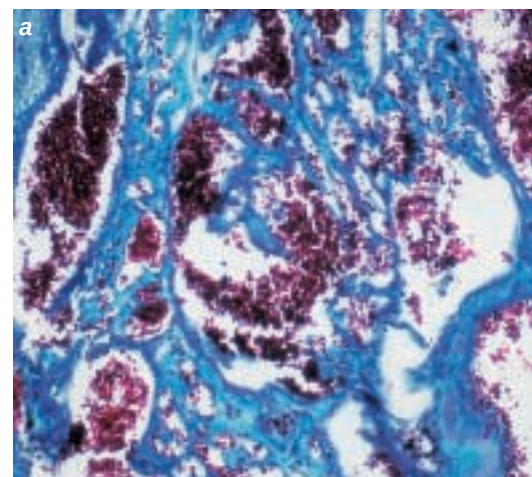
Des hémorragies cérébrales héréditaires

On a identifié une protéine responsable d'accumulations de sang dans le cerveau.

Certaines hémorragies cérébrales, parfois responsables de crises d'épilepsie, résultent d'une anomalie des petits vaisseaux qui sillonnent le cerveau : du sang s'accumule dans des sortes de cavernes, formant ce que l'on nomme des angiomes caverneux. En étudiant des familles où ces malformations vasculaires cérébrales sont fréquentes,

l'équipe d'Élisabeth Tournier-Lasserre (INSERM U25 et Hôpital Lariboisière) a trouvé un gène, localisé sur le chromosome 7, qui, lorsqu'il est muté, engendre cette maladie. En France, environ 30 000 personnes seraient atteintes, parfois sans le savoir.

Ces lésions cérébrales ne se manifestent parfois qu'après l'âge de 50 ans, voire plus tard. La découverte de la maladie se fait souvent par hasard au cours d'un examen par imagerie médicale (IRM) fait pour une raison quelconque. Quelque 20 pour cent des personnes atteintes ont une forme familiale de la maladie. L'autre forme, dite sporadique, touche des personnes en dehors de toute prédisposition familiale. Les personnes ayant une forme familiale ont parfois, en plus des angiomes



Lors de certaines hémorragies cérébrales, dues à une anomalie des capillaires, les globules rouges s'accumulent dans des cavi-

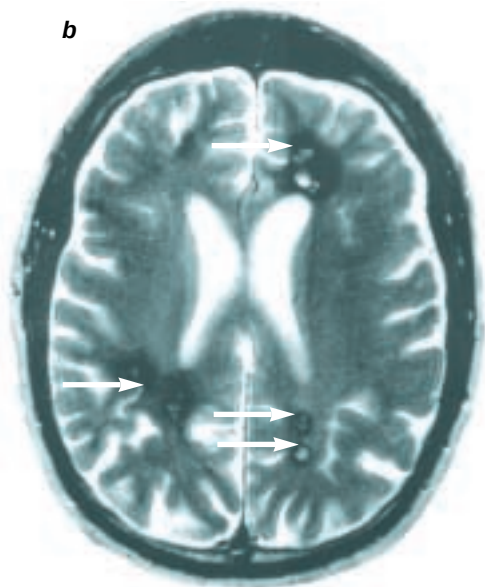
cérébraux, des angiomes de la rétine et de la peau. Les angiomes cutanés sont parfois déjà présents à la naissance. Dans les formes familiales, les personnes atteintes ont presque toujours (dans 85 pour cent des cas) plusieurs angiomes caverneux, une dizaine, voire davantage ; le nombre et la taille des angiomes caverneux augmentent à mesure que les personnes vieillissent. Les personnes ayant une forme sporadique ont une seule lésion cérébrale et n'ont jamais d'angiome cutané.

Les angiomes caverneux se traitent chirurgicalement. Si le traitement est généralement bien supporté et efficace, les neurochirurgiens sont parfois démunis, lorsque les lésions sont difficilement accessibles, notamment quand elles sont localisées dans le tronc cérébral.

En étudiant les formes familiales, des équipes américaines avaient déjà localisé trois gènes, sur les chromosomes 3 et 7, mais ils ne les avaient pas identifiés. En 1996, l'équipe d'É. Tournier-Lasserre a commencé, en collaboration avec les neurochirurgiens français et la Société française de neurochirurgie, une enquête nationale pour rassembler des familles atteintes de cette maladie. L'analyse clinique d'une cinquantaine de familles, menée Pierre Labauge, a été suivie de l'identification d'un des gènes incriminés, nommé *KRIT1* ; puis, Sophie Laberge a mis en évidence, sur ce gène, des mutations qui aboutissent toutes à la synthèse d'une protéine KRIT1 tronquée.

Cette protéine était connue, mais n'a quasiment pas été étudiée, de sorte qu'on ignore encore quel est son mode d'action. Toutefois, on sait qu'elle interagit

b



tés (a, en rouge) ; les anomalies sont révélées par imagerie par résonance magnétique (les zones noires, b).

avec la protéine Rap1A et que la région qui manque lorsque le gène *KRIT1* est muté est précisément la région d'interaction avec la protéine Rap1A. Lorsque ces deux protéines n'interagissent pas, les vaisseaux sanguins du cerveau sont anormaux. Cette protéine serait un élément important de l'angiogenèse.

Selon É. Tournier-Lasserre, les malades atteints de la forme familiale auraient hérité de leur père ou de leur mère une copie, ou allèle, du gène *KRIT1*

mutée (l'autre allèle étant normal) ; des lésions apparaîtraient lorsqu'à un moment donné de leur vie, quelques unes de leurs cellules vasculaires acquerraient une mutation sur le deuxième allèle *KRIT1*. Au contraire, dans les formes sporadiques, quelques cellules vasculaires devraient acquérir deux mutations *de novo*, pour qu'un angiome caverneux se forme. Cela expliquerait qu'une personne née avec un allèle *KRIT1* muté ait plus de risques

d'avoir des angiomes caverneux multiples qu'une personne née avec les deux allèles *KRIT1* normaux.

Avec cette protéine, on dispose d'une nouvelle molécule contrôlant l'angiogenèse. Pour concevoir un éventuel traitement, il faudra découvrir comment elle agit dans un mécanisme à plusieurs partenaires. Toutefois, cette maladie étant due à l'inactivation d'un seul gène (*KRIT1*), on peut imaginer la traiter, un jour, par thérapie génique.

Manque de forêts

L'homme conjugue son influence à celle de la nature pour transformer les paysages. Pour évaluer ce rôle, l'Organisation non gouvernementale *Population action internationale* évalue les ressources forestières disponibles par personne dans 157 pays.

Aujourd'hui, 1,7 milliard d'êtres humains vivent dans l'un des 40 pays où la couverture forestière est très faible (moins de 0,1 hectare par habitant). Parmi les pays dont la diminution des forêts est spectaculaire, la Guinée, qui est passée de 117 hectares par habitant en 1980 à 54 en 1995, et, selon les prévisions, tomberait à 26 en 2025. Au Gabon, ces chiffres sont respectivement de 28, 16 et 8 hectares. Autre exemple, la Bolivie, dont les ressources forestières par personne ont également chuté : 10,38 hectares, 6,52 et 2,59. Si le déboisement se poursuit au rythme actuel, en 2025, 4,6 milliards d'habitants risquent de vivre dans des pays en pénurie de forêts. L'Asie et l'Afrique sont deux continents qui risquent de manquer de ressources forestières d'ici à 2025. Dans 20 pays, qui comptent au total 250 millions habitants, la situation est critique, avec une pénurie à la fois de forêts et d'eau. Cette convergence de circonstances menace les écosystèmes et compromet le développement des pays pauvres.

Là où la croissance démographique est la plus forte, les phénomènes de déforestation sont les plus importants. Si aujourd'hui, le nombre d'hectares de forêt par habitant est à peu près identique en Inde et en Belgique, on estime qu'en 2025, la couverture par personne de l'Inde aura baissé de 30 pour

cent du fait que sa population aura augmenté de 300 millions d'habitants ; en Belgique, cette proportion restera inchangée puisque sa population est stabilisée.

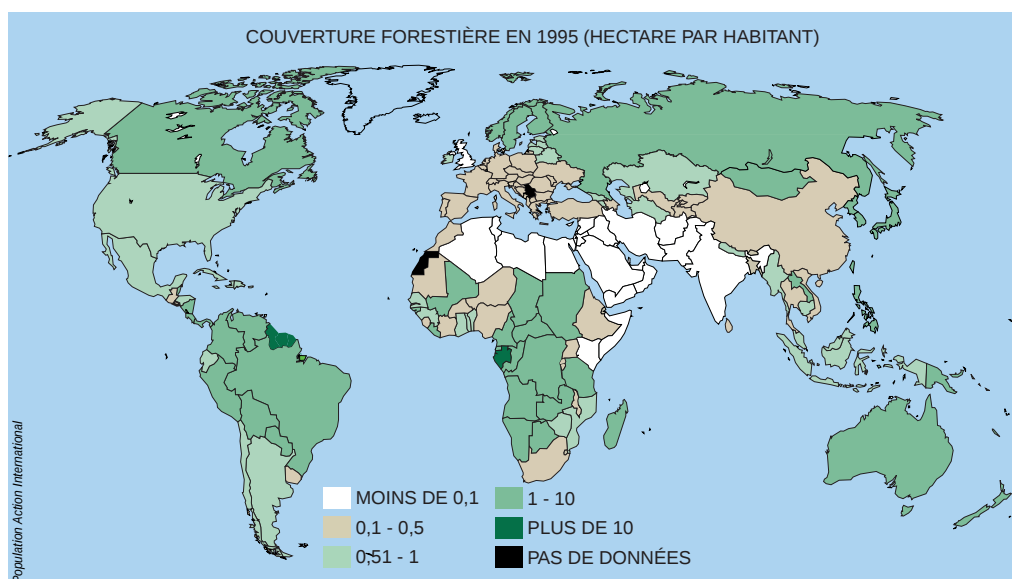
Même dans les pays où la superficie des forêts a augmenté, les ressources forestières par personne diminuent. En Chine, par exemple, la surface forestière a augmenté entre 1980 et 1995, tandis que, rapportée au nombre d'habitants, elle diminuait : les efforts de reforestation n'ont pas réussi à suivre la croissance démographique.

La surface des forêts augmente dans les pays industrialisés alors qu'elle diminue dans les pays en développement. Pourtant, en Europe, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les forêts qui couvraient la majorité du territoire ont été massivement détruites, en grande partie pour créer des surfaces arables. Ce n'est que récemment que les forêts européennes ont retrouvé une phase de croissance.

Dans les pays en développement, la déforestation répond parfois à une nécessité de survie, parfois au développement économique : près de trois milliards d'individus utilisent du bois comme source d'énergie principale. Quand les réserves forestières ne sont pas reconstituées à mesure de leur destruction, les populations vont couper du bois dans des zones toujours plus éloignées.

Dans ces pays, la disparition des forêts menace la biodiversité et réduit le bois utilisable pour produire du papier. On estime que huit personnes sur dix n'ont pas le papier nécessaire à leur alphabétisation, à leur éducation, ou celui qu'il

faudrait pour communiquer. De nouvelles diminutions des stocks de papier, dues à un manque de bois, anéantiraient les efforts que déploient les pays pauvres pour l'éducation de leur population. Or, leur développement économique en dépend. Dans le monde, la natalité est passée de cinq enfants par femme, il y a 30 ans, à trois aujourd'hui. Cette diminution démographique est de bon augure et sans doute, un espoir pour la préservation de la forêt.



Les fortifications de Nancy

Les remparts qui entouraient la ville avaient été oubliés. Ils ressurgissent au gré des chantiers de construction.

En 1990, des travaux sont entrepris en vue de l'extension du musée des beaux-arts de Nancy ; on découvre alors les vestiges particulièrement bien conservés d'une enceinte urbaine, oubliée depuis longtemps. Si la ville n'avait pas suscité un grand intérêt de la part des archéologues, car elle est de création récente, ces fouilles ont révélé les restes exceptionnels d'un bastion et d'une ceinture de pierre, démantelés au XVIII^e siècle.

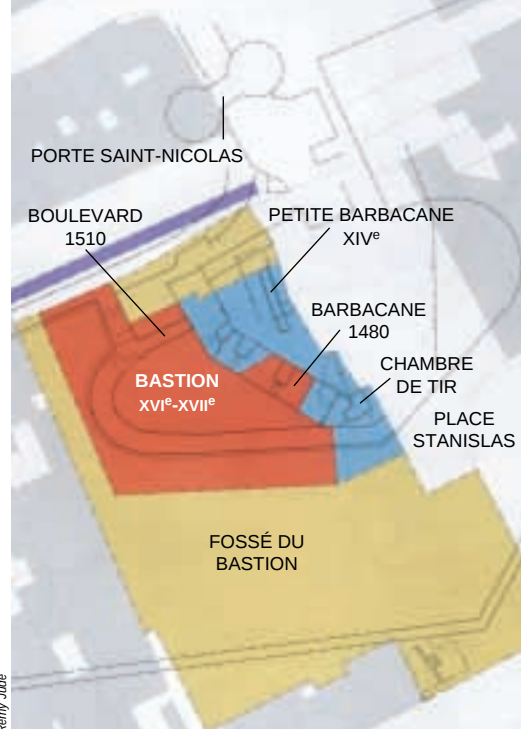
Les fouilles, commencées en 1990, ont été menées au cours de quatre campagnes. La mise au jour du bastion d'Haussonville, du nom du gouverneur de Nancy de 1560 à 1563, et le dégagement de son remparement ont révélé des ouvrages inconnus de l'historiographie nancéenne : une barbacane, c'est-à-dire un ouvrage de fortification avancé qui assure la défense d'une porte, datant des années 1480, et un boulevard d'artillerie, c'est-à-dire un ouvrage de fortification placé en avant d'une enceinte plus ancienne, construit en 1510. Les fouilles ont livré deux siècles d'architecture militaire, à quelques dizaines de mètres de la place Stanislas. L'étude de ces ouvrages et le dépouillement des archives ont renouvelé les connaissances sur la ville et sur ses fortifications. Les archéologues ont également découvert des objets qui, hormis quelques boulets de

pierre, ne sont pas liés à l'utilisation de la forteresse. Ce sont des objets de la vie quotidienne, jetés dans le fossé ou mêlés aux remblais : poterie culinaire, carreaux de poêles décorés, sifflets d'enfant, verrerie, objets métalliques tels épingles de vêtement, chaudron, cotte de maille, objets de cuir et morceaux de tissus. La plupart datent de la première moitié du XVI^e siècle.

Ces découvertes ont permis de retracer l'histoire de la ville. Au XII^e-XIII^e siècle, la porte Saint-Nicolas est élevée pour contrôler l'accès Sud de la cité. À la fin du XIV^e siècle, une barbacane est construite en avant de la porte et en renforce la défense. Vers 1480, le Duc de Lorraine René II (1473-1508) conforte le système défensif de la ville. La barbacane Saint-Nicolas est construite autour de celle du XIV^e siècle. Les fouilles ont révélé un ouvrage conservé sur 3,5 mètres de hauteur, qui atteignait sans doute 7 mètres à l'origine. Ses murs ont 6 mètres d'épaisseur et résistaient aux armes les plus puissantes de l'époque. Des chambres de guet et de tir y avaient été aménagées. Vers 1500-1510, la barbacane Saint-Nicolas est remaniée pour s'adapter aux progrès de l'artillerie.

Les boulevards d'artillerie qui doivent amortir l'impact des projectiles se caractérisent par un remplissage de terre ou par une maçonnerie épaisse. Ils ont été construits lorsque la poudre a commencé à être utilisée dans l'armement, au XIV^e siècle. Puis, les Nancéens ont adapté leur hauteur et leur forme à l'évolution de l'artillerie. Un fossé aménagé devant l'ouvrage complète le système défensif. Un enclos de bois y a été découvert : c'était peut-être une citerne ou un vivier qui, dès le milieu du XVI^e siècle, fut utilisé comme dépotoir.

Vers 1560, l'ensemble barbacane-boulevards a été englobé par la construction



Au cours des quatre campagnes de fouilles faites à Nancy depuis 1990 (la première en rouge, la deuxième en bleu, la troisième en violet et la quatrième en jaune), les vestiges du système défensif de la porte Saint-Nicolas ont été mis au jour.

du bastion d'Haussonville. Vers 1515, le bastion remplace la tour dans la défense des places fortes en Europe. Saillant sur l'enceinte, il a une base polygonale. Il est introduit dans le duché de Lorraine vers 1540 par les ingénieurs fortificateurs italiens. La ville s'étend au Sud-Est et on doit la défendre. Sur les conseils de l'Italien Antoine de Bergame, la duchesse de Lorraine Chrétienne de Danemark opte pour les bastions. L'ingénieur fait élever le bastion d'Haussonville et celui de Vaudémont. Seule la partie Ouest du bastion d'Haussonville a été mise au jour. Le soubassement est constitué de blocs de pierres surmontés de briques. Sur toute la hauteur du parement en briques, des chaînages verticaux renforcent l'ensemble.

En 1661, l'ensemble du front bastionné est démantelé sur ordre du roi de France, qui voyait dans cette construction prestigieuse une menace pour son pouvoir. Dix ans plus tard, lors des guerres de Hollande, le front est reconstruit, par Vauban, sur les parties du soubassement encore en place. Après reconstruction, le bastion d'Haussonville s'élève à 17 mètres de hauteur, alors qu'il n'en faisait que 14 avant sa démolition, en 1661 ; les vestiges mis au jour mesurent cinq mètres environ. L'ensemble sera ensuite progressivement démantelé lorsque la ville s'agrandira. Le front bastionné qui entourait Nancy est aujourd'hui au cœur de la cité qui, en le mettant au jour, a rouvert le livre de son histoire.

René ELTER – AFAN, Nancy



Vue du chantier archéologique du musée des Beaux-arts de Nancy, à proximité de la place Stanislas.