



AFM / L. Morvan

Parmi les généticiens qui ont particulièrement contribué au décodage du génome humain, citons, de gauche à droite, Jean Weissenbach, Ilya Choumakov, Daniel Cohen et Jean Dausset.

Biologistes et informaticiens doivent interagir : c'est la bio-informatique génomique. Les banques de données constituées, on cherche, par exemple, à mettre en évidence des homologues de séquences d'ADN ou de protéines entre organismes différents.

Jusqu'à présent, les biologistes étudiaient les pathologies de façon « artisanale » : ils essayaient de détecter des anomalies des protéines, puis recherchaient les gènes responsables. Depuis les années 1990, une stratégie à grande échelle a été mise en place : de grands centres de séquençage publics, des industriels et des associations caritatives participent à ce projet où génomique, postgénomique et bio-informatique se conjuguent pour créer un marché considérable centré sur les robots de séquençage, les tests génétiques et les nouvelles thérapies.

On espère beaucoup de la thérapie génique, mais, jusqu'à présent, les promesses n'ont pas été tenues : des moyens considérables ont été consacrés aux recherches sur la thérapie génique, mais un seul résultat positif a été obtenu par l'équipe de Marina Cavazzana-Calvo, dans l'unité INSERM d'Alain Fischer, à l'Hôpital Necker-Enfants malades, qui a réussi à réactiver le système de défense de bébés condamnés à vivre dans des chambres stériles. En se fondant sur un rapport de l'Institut américain de recherche médicale, on estime à près de 700 les « événements sérieux » (décès ou dégradation de santé) apparus lors de différents essais cliniques de thérapie génique.

La connaissance des anomalies liées au génome progresse, et, avec elle, la mise au point de tests de dépistage de ces anomalies. Parallèlement, les ques-

tions éthiques liées à l'usage de ces tests se multiplient : a-t-on le droit de révéler à une personne qu'elle porte des mutations pathogènes sans lui proposer ni prévention ni traitement, mais en la laissant seule avec son angoisse ? Par ailleurs, ne risque-t-on pas de subir une discrimination fondée sur des caractéristiques génétiques ? La Déclaration universelle concernant le génome humain et les droits de l'homme, élaborée en novembre 1997 par le Comité international de bioéthique de l'UNESCO, et adoptée par les 186 États signataires de la charte des Nations unies, auxquels se sont joints les États-Unis, repose sur plusieurs principes fondamentaux de déontologie et de responsabilité, et prend position contre le réductionnisme génétique. L'article 6 stipule : « Personne ne peut être soumis à une discrimination fondée sur des caractéristiques génétiques qui enfreindrait ou aurait pour conséquence d'enfreindre les droits de l'homme, les libertés fondamentales et la dignité humaine ». Toutefois, cette déclaration n'a aucune valeur contraignante pour les États signataires.

QUESTIONS ÉTHIQUES

En France, l'utilisation des tests génétiques par les employeurs est en contradiction avec le principe de non-discrimination des travailleurs pour handicap ou raison de santé (loi du 31 décembre 1992). En revanche, aux États-Unis, l'usage des tests est déjà généralisé : près d'une entreprise sur quatre procède à de tels tests avant embauche. Le Comité d'éthique européen a lancé une vaste étude pour recenser les pratiques des employeurs dans les pays de l'Union.

Les tests qui mettent en évidence des prédispositions aux maladies génétiques intéressent aussi les compagnies d'assurances, qui pourraient réévaluer le montant des primes. Le 30 mars 1999, la Fédération française des sociétés d'assurances a annoncé qu'elle renouvelait l'engagement pris en 1994 de ne pas tenir compte des résultats des études génétiques des candidats pour calculer le montant de leur assurance. Un moratoire de cinq ans a été décidé, mais ce n'est pas le cas dans tous les pays : des assureurs britanniques, par exemple, imposent déjà ces tests.

Alors pourquoi séquencer le génome ? Pour un mieux-être de la population mondiale, ou pour davantage de profit pour quelques uns et pour un contrôle grandissant de cette population ? Si, en France, des règles ont été mises en place par les lois de bioéthique de 1994, et si les assureurs français se sont imposés un moratoire, certains tests génétiques sont déjà pratiqués dans d'autres pays, et leur objectif n'est pas une amélioration de la santé...

A-t-on le droit de breveter le génome et le vivant ? En France, la loi du 29 juillet 1994 a expressément exclu la brevetabilité du corps humain, de ses éléments et de ses produits, ainsi que des gènes humains. Pourtant, aujourd'hui, un avant-projet de loi tenant compte de la directive européenne 98/44/CE du 6 juillet 1998 est à l'étude. Cette directive précise qu'une séquence, même partielle, peut faire l'objet d'un brevet si les trois critères de brevetabilité sont remplis : nouveauté, activité inventive et application industrielle. L'un des articles de l'avant-projet français stipule : « Un élément isolé du corps humain ou autrement produit par un procédé technique, y compris la séquence ou la séquence partielle d'un gène, peut constituer une invention brevetable, même si la structure de cet élément est identique à celle d'un élément naturel. » Le 13 juin 2000, le comité consultatif national d'éthique s'est prononcé contre cet avant-projet de loi et appelle à la tenue d'un débat international. Aucun des pays membres de l'Union européenne n'a encore fait évoluer sa législation dans le sens de la directive européenne. Les pays qui participent à la course au séquençage parviendront-ils à harmoniser leurs positions face aux questions éthiques soulevées par l'appropriation des gènes et par l'usage des tests génétiques ?

Brigitte CHAMAK, biologiste et historienne, mène ses recherches au sein de l'unité CNRS Centre de sociologie européenne de l'Institut de recherche sur les sociétés contemporaines, IRESO.



Les gnocchis

HERVÉ THIS

Est-il exact qu'ils flottent à la surface de l'eau quand ils sont cuits ?

Aimez-vous les gnocchis ? Les recettes sont nombreuses, du gnocchi de pomme de terre au gnocchi parisien, mais leur principe est commun : on constitue une pâte composée d'amidon, d'œuf et d'eau. Dans les gnocchis de pommes de terre, de l'amidon supplémentaire est apporté par les granules présents dans les cellules de la pomme de terre (en pratique, des pommes de terre sont cuites, pelées et écrasées), et, parfois, les recettes incluent du parmesan, du lait... La pâte est travaillée à la spatule, puis posée sur une plaque à pâtisserie farinée, roulée en cordons, lesquels sont débités en petits tronçons qui sont écrasés à la fourchette quand on souhaite leur donner une forme classique. Viennent alors la cuisson : les gnocchis sont versés dans une casserole d'eau salée ou de bouillon, et l'on dit qu'ils sont cuits quand ils remontent. Le dicton est-il fiable ? Et pourquoi le serait-il ?

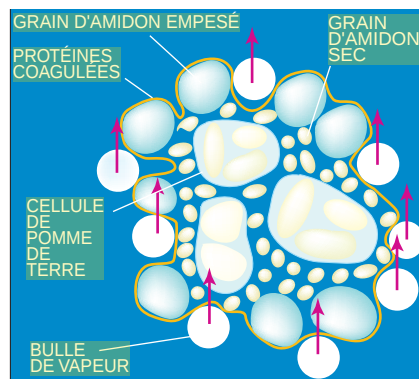
La question n'est pas anecdotique ; de nombreuses préparations ont le même type d'ingrédients et le même type de cuisson : les spätzles alsaciens, diverses boulettes d'Europe centrale... Commençons par une vérification. Dans de l'eau qui bout, déposons quelques gnocchis : ils tombent au fond de la casserole. Puis ils gonflent lentement et, progressivement, « s'allègent » : ils suivent d'abord les courants de convection dans la casserole, revenant vers le fond, mais vient enfin un moment, après quelques dizaines de secondes de cuisson, où ils flottent véritablement. Il est donc exact que les gnocchis remontent.

Sont-ils alors cuits, comme le dicton le prétend ? Si vous les goûtez, vous verrez qu'ils sont mangeables, mais la véritable question est : la remontée est-elle le signe de la cuisson ?

Analysons le problème pour des gnocchis classiques, composés de pomme de terre, de farine et d'œuf. Cette pâte conserve sa cohérence en cours de cuisson, parce que l'œuf coagule au contact de l'eau bouillante, la température étant supérieure à 68 degrés. La pomme de terre, elle, est déjà cuite : les grains d'amidon qui emplissent les

cellules ont gonflé lors de la cuisson. Enfin, la farine est composée de grains d'amidon et de gluten : ce dernier est formé de protéines, qui forment un réseau, lors du travail de la pâte, enchaînant les grains d'amidon et les cellules de pommes de terre. Enfin l'amidon de la farine, comme celui de la pomme de terre, est insoluble à froid, mais il s'« empèse » dans l'eau chaude : les molécules d'eau s'immiscent entre les molécules de l'amidon.

Ce mécanisme explique le gonflement des gnocchis à la cuisson. Et comme la densité de l'amidon est supérieure à celle de l'eau (quand on met de la farine avec de l'eau, elle tombe au fond du récipient), la densité totale



Un gnocchi gonfle à la cuisson, et il est sustenté par des bulles de vapeur.

des gnocchis diminue pour tendre vers celle de l'eau, mais en restant supérieure à elle.

Pourquoi les gnocchis finissent-ils alors par flotter ? Il faut qu'un corps de densité inférieure à celle de l'eau s'y agrège. Ce corps peut être de l'air ou de la vapeur d'eau, sous la forme de bulles. Quelle expérience corroborerait l'hypothèse ?

Cuissons d'abord des gnocchis dans de l'eau dont on a chassé l'air dissous en chauffant l'eau pendant longtemps (les bulles qui se forment au fond de la casserole et qui montent jusqu'à la surface de l'eau, en début de chauffage, sont des bulles d'air, et non de vapeur d'eau) : les gnocchis remontent néanmoins, et ce n'est donc pas l'air qui fait flotter les gnocchis.

La seule autre possibilité est que la vapeur d'eau forme des bulles qui s'accrochent aux gnocchis et en assure la sustentation. Pour le démontrer, sortons de l'eau un de ces gnocchis qui sont remontés dans de l'eau dégazée, roulons-le doucement sur un plan de travail afin d'éliminer les bulles de vapeur présumées et remettons le gnocchi dans la casserole : ils s'enfoncent à nouveau, et remontera plus tard, quand les anfractuosités de sa surface se seront à nouveau chargées de bulles microscopiques de vapeur d'eau.

À ce point, l'exploration du gnocchi n'est pas achevée, car pourquoi la flottaison des gnocchis serait-elle une garantie de leur cuisson ? D'ailleurs, qu'est-ce qu'un gnocchi cuit ? Un gnocchi où l'œuf a coagulé ? Dont l'amidon s'est empesé ? Pour déterminer l'ampleur de ces phénomènes, formons des gnocchis de diverses tailles : un demi-centimètre et dix centimètres de diamètre, par exemple. Cuissons-les ensemble, et mesurons la température à cœur, quand ils remontent à la surface : la température des petits gnocchis est bien supérieure à celle des gnocchis plus gros. C'est la preuve que la flottaison des gnocchis n'est pas une indication fiable de leur degré de cuisson ; ou, du moins, que les gnocchis des différentes tailles seront cuits différemment si l'on juge d'après ce critère.

Pis encore, la température des plus gros gnocchis est parfois inférieure à la température d'empesage de l'amidon et de coagulation de l'œuf. Autrement dit, la remontée des gnocchis est un critère insuffisant. Il faudra soit prolonger la cuisson après la remontée, soit créer un tableau indiquant les temps de cuisson en fonction de la grosseur des gnocchis, si l'on veut une précision digne des grands cuisiniers.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 29 août 2000, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Le récif corallien de Tahiti

Sa croissance continue, depuis 14 000 ans, est la plus longue qu'on ait jamais constatée.

Au milieu du Pacifique Sud, la Polynésie française se compose de 118 îles d'origine volcanique ou corallienne. Tahiti, la plus grande d'entre elles, s'entoure d'un lagon, dont les eaux, à 27 °C en moyenne, sont habitées par de nombreux poissons tropicaux. Une barrière de corail, de 80 mètres d'épaisseur sépare le lagon de l'océan. Comment cette barrière s'est-elle formée ? Guy Cabioch et ses collègues de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), du CNRS et de l'Université de Provence ont effectué des forages dans la barrière de corail de Tahiti : ils ont analysé les carottes et reconstitué l'histoire du récif corallien : après la dernière glaciation, il y a 20 000 ans, le réchauffement du climat a provoqué la fonte des calottes glaciaires et la remontée du niveau des océans ; ces conditions ont favorisé la croissance du récif corallien de Tahiti, qui se poursuit de façon continue depuis 14 000 ans.

Les coraux sont des animaux du groupe des polypes : leur corps est consti-

tué d'une cavité digestive, surmontée d'une couronne de tentacules, entourant la bouche. Ils vivent en colonie, dans un squelette calcaire qu'ils sécrètent : chaque polype occupe un calice de ce squelette. Les polypes absorbent les ions calcium de l'eau de mer et fabriquent des cristaux de carbonate de calcium, qui participent à la croissance du squelette calcaire. Ils se reproduisent soit par division asexuée, faisant croître la colonie et son squelette, soit par voie sexuée, engendrant des larves nageuses, qui fondent de nouvelles colonies.

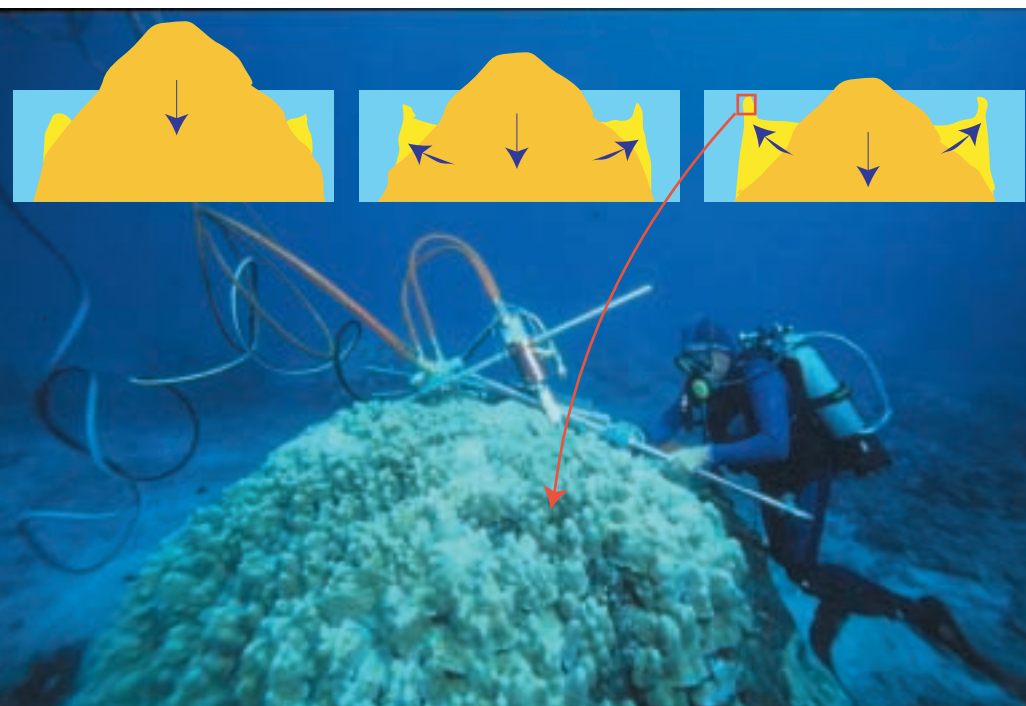
La symbiose des coraux de récifs avec des algues microscopiques explique que les récifs soient apparus après la dernière glaciation. Les algues symbiotiques, ou zooxanthelles, sont abritées dans la cavité stomacale. Pour accomplir la photosynthèse, ces algues ont besoin des déchets des coraux (des produits minéraux solubles, tels les sulfates, les nitrates...) et de lumière : les coraux de récif ne prospèrent que dans les eaux océaniques claires, dont la profondeur ne dépasse pas quelques dizaines de mètres. En outre, la forme des coraux, et leur association avec des algues et des mollusques dépendent du degré de luminosité et d'agitation des eaux. Cette particularité a été utilisée par les océanographes : en identifiant la faune et la flore fossiles dans les carottes prélevées au récif et en les datant (notamment par la méthode au

carbone 14), G. Cabioch et ses collègues ont reconstitué les étapes du développement de la barrière.

Il y a 20 000 ans, pendant la dernière période glaciaire, la mer était à son niveau le plus bas, soit 120 à 130 mètres au-dessous du niveau actuel. Puis, la fonte des calottes de glace a progressivement remonté le niveau des eaux. À Tahiti, il y a 14 000 ans, l'océan a submergé les roches volcaniques de la côte et d'un ancien récif corallien de l'ère quaternaire. Les premiers coraux sont apparus sur ces substrats, 200 à 300 ans plus tard, formant tout d'abord un récif «frangeant» : un récif qui s'est d'abord édifié dans des eaux profondes (de 6 à 15 mètres au-dessous de la surface), chargées en particules issues de l'érosion des roches volcaniques de l'île. Puis, il y a 11 000 ans, les conditions sont devenue plus favorables : emportée par la plaque tectonique qui la supporte, l'île s'est enfoncée, alors que le récif s'est soulevé, en s'écartant de la côte. Il s'est transformé en récif barrière, délimitant un lagon. Les coraux se sont développés dans des eaux plus agitées et mieux éclairées, juste sous le niveau de la mer. Puis, ils ont suivi la remontée des eaux, grâce à leur croissance verticale. Les assemblages de coraux robustes branchus et d'épais encroûtements d'algues rouges, caractéristiques des eaux peu profondes, en témoignent.

Pourquoi le récif de Tahiti a-t-il cru plus rapidement que les autres récifs de la région ? Afin de répondre à cette question, G. Cabioch et ses collègues étudient les variations passées de la température de l'eau, de l'apport en nutriments par l'océan ou par les roches volcaniques... Ils veulent ainsi modéliser la réaction du récif corallien à un éventuel réchauffement de la planète, sous l'action des gaz à effet de serre : le récif continuera-t-il de croître lors d'une nouvelle remontée des eaux, ou déperira-t-il, privant l'archipel de ces principales ressources, la pêche et le tourisme ?

En forant dans la barrière de corail de Tahiti et en analysant la faune et la flore fossiles dans les carottes prélevées, on a reconstitué la croissance de cette barrière : les coraux (en jaune) se sont d'abord développés dans des eaux profondes et peu éclairées, aux abords de la côte ; à mesure de l'enfoncement de l'île (en orange), le soubassement du récif corallien s'en est éloigné et s'est soulevé : dans des eaux mieux éclairées, les coraux ont suivi la surface des eaux, pendant la remontée du niveau des océans, lors de la déglaciation.



Joël Orempiller, IRD