

paysans simples et grossiers, qui demeurent à une grande distance les uns des autres ; des laboureurs pleins de sens et de raison ; des ecclésiastiques respectables, des jeunes gens qui, ayant été militaires, sont à l'abri des illusions de la peur : toutes ces personnes, de professions, de mœurs, d'opinion si différentes, n'ayant que peu ou point de relations entre elles, sont tout à coup d'accord pour attester un même fait qu'elles n'ont aucun intérêt à supposer ; elles le rapportent toutes au même jour, à la même heure, au même instant, avec les mêmes circonstances, avec les mêmes comparaisons ; et ce fait, si universellement, si fortement attesté, n'est qu'une conséquence des preuves physiques rassemblées précédemment : il est tombé dans le pays des pierres d'une nature particulière, à la suite de l'explosion du 6 floréal.

Bien plus, on montre encore des traces des débris, qui attestent matériellement la chute de ces masses, dont on ne parle qu'avec effroi. On dit les avoir vues descendre le long des toits, casser des branches d'arbres, rejaillir en tombant sur le pavé ; on dit qu'on a vu la terre fumer autour des plus grosses, et qu'on les a tenues brûlantes dans les mains.

Ces récits ne se font, ces traces ne se montrent que dans une étendue de terrain déterminée. C'est là seulement, qu'il est possible de trouver encore quelques pierres météoritiques ; on n'en connaît pas un seul morceau qui ait été trouvé sur le terrain hors de cet arrondissement, et il n'y a pas un seul témoin qui prétende avoir vu tomber des pierres ailleurs.

Enfin une troisième espèce de preuve résulte de certaines particularités physiques unanimement racontées par les habitants du pays, qui sont trop peu éclairés pour en avoir prévu les conséquences : je veux parler des changements successifs observés dans la dureté de ces pierres et dans l'odeur qu'elles exhalaient ; changements qui, au rapport des témoins, [...] se sont opérés dans l'espace de quelques jours après l'explosion du météore ; changements dont j'ai moi-même observé très sensiblement les traces en cassant des morceaux de dimensions différentes ; et ce nouveau rapprochement des témoignages et des faits ne sert qu'à montrer entre eux un nouvel accord.

Ainsi toutes les preuves, soit physiques, soit morales, qu'il a été possible de recueillir, se concentrent et convergent pour ainsi dire vers un point unique ; et si l'on considère la manière dont nous avons été conduits, par la comparaison des témoignages, au lieu de l'explosion, le nombre de renseignements pris sur les



Les représentations les plus fantaisistes de l'origine des météorites ont été imaginées : ici des canons projettent des pierres, que le personnage du premier plan tente de déterrer.

lieux, et leur accord avec ceux qui avaient été recueillis à dix lieues de là, la multitude des témoins, leur caractère moral, la ressemblance de leurs récits et leur coïncidence parfaite, de quelque part qu'ils soient venus, sans qu'il ait été possible de découvrir à cet égard une seule exception, on en conclura sans le moindre doute que le fait sur lequel ces preuves se réunissent est réellement arrivé, et qu'il est tombé des pierres aux environs de L'Aigle, le 6 floréal, an 11.

Alors l'ensemble des témoignages donnera de ce phénomène la description suivante.

L'HISTOIRE RECONSTITUÉE

Le mardi 6 floréal an 11, vers une heure après midi, le temps étant serein, on aperçut de Caen, de Pont-Audemer et des environs d'Alençon, de Falaise et de Verneuil, un globe enflammé, d'un éclat très brillant et qui se mouvait dans l'atmosphère avec beaucoup de rapidité. Quelques instants après, on entendit à L'Aigle et autour de cette ville, dans un arrondissement de plus de trente lieues de rayon, une explosion violente qui dura cinq ou six minutes. Ce furent d'abord trois ou quatre coups semblables à des coups de canon, suivis d'une espèce de décharge qui ressemblait à une fusillade ; après quoi on entendit comme un épouvantable roulement de tambours. L'air était tranquille et le ciel serein, à l'exception de quelques nuages, comme on en voit fréquemment.

Ce bruit partait d'un petit nuage qui avait la forme d'un rectangle et dont le plus grand côté était dirigé Est-Ouest.

Il parut immobile pendant tout le temps que dura le phénomène ; seulement les vapeurs qui le composaient s'écartaient momentanément de différents côtés par l'effet des explosions successives. Ce nuage se trouva à peu près à une demi-lieue au Nord-Nord-Ouest de la ville de L'Aigle ; il était très élevé dans l'atmosphère ; car les habitants de la Vassolerie et de Boislaville, hameaux situés à plus d'une lieue de distance l'un de l'autre, l'observèrent en même temps au-dessus de leurs têtes.

Dans tout le canton sur lequel ce nuage planait, on entendit des sifflements semblables à ceux d'une pierre lancée par une fronde, et l'on vit en même temps tomber une multitude de masses solides exactement semblables à celles que l'on a désignées sous le nom de pierres météoriques. [...]

Je me suis borné dans cette relation à un simple exposé des faits ; j'ai taché de les voir comme tout autre les aurait vus, et j'ai mis tous mes soins à les présenter avec exactitude. Je laisse à la sagacité des physiciens les nombreuses conséquences que l'on peut en déduire, et je m'estimerai heureux s'ils trouvent que j'ai réussi à mettre hors de doute un des plus étonnants phénomènes que les hommes aient jamais observés.»

Marcel WEYANT est géologue et chargé de recherches au CNRS, à l'Université de Caen.

Le texte intégral de J.-B. Biot a été réédité dans la revue *Patrimoine normand* (n°3, juin-juillet 1995, Éditions Heimdal).

Fibres et confitures

La récupération des pectines par cuisson-extrusion.

Le spectre de la confiture qui ne prend pas hante les cuisinières et les cuisiniers dès l'hiver, quand se préparent les marmelades d'oranges : parfois le jus reste jus, au lieu de former la masse semi-solide attendue. Comment éviter cette Berezina culinaire ? Au Centre INRA de Nantes, Jean-François Thibault, Catherine Renard, Monique Axelos et Marie-Christine Ralet répondent à cette question, mais leur objectif et leur intérêt sont surtout industriels : ils montrent que la technique de cuisson-extrusion utilisée notamment pour préparer les petits biscuits pour apéritifs permet de récupérer une grande quantité de pectine, c'est-à-dire de la protéine gélifiante, de pulpes de citrons, d'oranges, de betteraves...

L'échec occasionnel des confitures semble paradoxal : les pectines sont des molécules qui, associées à la cellulose et à d'autres polysaccharides (de longues molécules formées par l'enchaînement de sucres simples), composent les parois végétales de la plupart des végétaux ; seules les céréales n'en comportent pas. Pourquoi ne parvient-on pas toujours à les extraire ? Parce que le chauffage modéré auquel on procède afin de ne pas évaporer les arômes volatils des fruits ne dissocie pas bien les parois cellulaires ; les pectines sont présentes, mais elles ne sont

pas libres et, de ce fait, ne s'associent pas en un réseau qui occupe tout le volume de la solution, formant un gel.

Industriellement un problème différent se pose : les résidus de la pression des pommes, lors de la fabrication du jus de pommes ou du cidre, les pulpes de citrons et d'oranges qui proviennent de la préparation des jus de fruits, ou, enfin, les pulpes de betteraves, après l'extraction du sucre, laissent une quantité considérable de fibres végétales, qu'on souhaiterait valoriser. Classiquement on récupère les pectines à partir de ces fibres en les traitant à l'acide, à chaud : on détache ainsi des pectines, que l'on doit ensuite purifier. La matière produite sert de gélifiant, d'épaississant ou d'enrobage des chips, et on envisage de l'utiliser pour dépolluer les eaux usées (les pectines se lient fortement aux ions métalliques qui polluent ces eaux).

Toutefois l'extraction à l'acide a plusieurs inconvénients : elle risque de dégrader les molécules de pectine, en coupant les liaisons entre les sucres constitutifs ou en modifiant les groupes chimiques portés par les sucres et responsables des propriétés de gélification, et elle pollue.

À Nantes, les physico-chimistes, qui étudient depuis plusieurs années la cuisson-extrusion pour le filage des viandes ou le traitement de l'amidon, ont

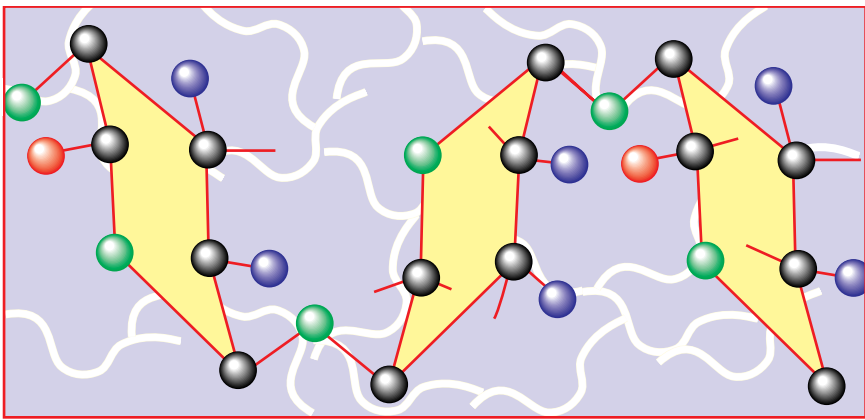
eu l'idée de reprendre le processus pour traiter les pulpes de fruits et extraire les pectines. Dans les appareils de cuisson-extrusion utilisés dans l'industrie agro-alimentaire (la méthode provient de l'industrie des polymères), une ou plusieurs vis d'Archimède à pas variable cisailent la matière en la convoyant vers une buse de sortie, où a lieu une détente rapide ; sur la longueur de l'appareil, plusieurs zones de chauffage portent la matière à des températures contrôlées.

Quelles matières végétales pouvaient fournir des pectines susceptibles de gélifier ? Les propriétés des pectines dépendent de leur composition chimique, qui varie selon les végétaux : si les pectines des citrons verts, des citrons, des oranges ou des pommes font de bons gélifiants, celles des pulpes de betteraves ne gélifient pas, mais permettraient de complexer les ions lourds ou de produire des gels superabsorbants après modification chimique. Les différences de propriétés des pectines tiennent surtout à leur méthylation : les sucres dont l'enchaînement forme le squelette de la molécule portent des quantités variées de groupes latéraux méthoxy $-COOCH_3$, qui s'associent en milieu acide. Cette association assure la prise en gel. En conséquence, toute extraction destinée à produire des pectines gélifiants ou épaississants doit respecter ces chaînes latérales.

La cuisson-extrusion a plusieurs atouts : non seulement l'équipement est bien plus simple et bon marché que les installations d'extraction classique (les vis testées à Nantes mesurent un mètre de long seulement), mais le traitement est rapide et automatisable. Elle procure autant de pectines que le traitement classique, à l'acide et respecte la composition des molécules. Les chercheurs nantais ont observé que, lors de la cuisson-extrusion des matières végétales, le cisaillement est le facteur principal ; en évitant le chauffage, on respecte les pectines.

Comment tirer parti de ces résultats dans votre cuisine ? À froid, séparez le jus des fruits de la matière fibreuse et broyez finement cette matière, qui renferme les pectines (en l'absence d'un cuiseur-extrudeur, utilisez le robot-coupe) ; puis ajoutez la matière broyée au jus et cuisez doucement. Enfin, comme les molécules de pectine risquent de se lier plutôt aux atomes de cuivre de votre bassine qu'entre eux, ne laissez pas refroidir votre confiture dans la bassine : faites la plutôt prendre dans des récipients en verre.

Hervé THIS



Les pectines sont de longues molécules composées par l'enchaînement de sucres simples (hexagones déformés). Les atomes de carbones, d'oxygène et les groupes hydroxyle (OH) sont respectivement en noir, vert et bleu ; les groupes méthoxy $-COOCH_3$ (représentés par des boules rouges) assurent des liaisons entre molécules adjacentes, ce qui assure la prise en gel des confitures. En fond, on voit un cuiseur-extrudeur à deux vis, ouvert.

Prochain rendez-vous *France Info* et *Pour la Science*, le 27 février 1995, avec la chronique *Info Sciences* de Marie-Odile Monchicourt.

Un reptile dans une souris

La mutation d'un gène qui commande le développement d'un os de l'oreille, chez la souris, fait apparaître un os spécifique des reptiles.

Les biologistes ont observé que les structures de l'embryon d'animaux supérieurs ressemblent à celles d'espèces d'animaux antérieurs à partir desquels ils ont évolué : l'embryogenèse, disaient-ils, retrace la phylogenèse. Filippo Rijli, Manuel Mark, Pierre Chambon et leurs collègues de l'École de médecine de Strasbourg ont vérifié expérimentalement cette idée, montrant que les mammifères ont conservé dans leur patrimoine génétique des programmes présents chez les reptiles.

L'équipe de Strasbourg s'intéresse aux gènes *Hox* de souris, apparentés aux gènes «homéotiques» de la drosophile, qui commandent le développement de l'embryon. Chez la mouche, par exemple, ces gènes sont répartis sur l'ADN dans le même ordre que les organes de l'animal dont ils commandent l'assemblage, le long de l'axe tête-queue. Des expériences sur la drosophile ont montré que certaines parties du corps se développent là où elles ne devraient pas quand les gènes homéotiques sont mutés.

Les biologistes moléculaires ont provoqué des mutations d'un gène homéotique de la souris, le gène *Hoxa-2*, en y introduisant un autre gène qui sert de marqueur : le gène de la résistance à la néomycine (un antibiotique). Le gène modifié étant placé au contact de cellules souches de souris, l'application d'un champ électrique permet à la séquence d'ADN constituant ce gène de s'introduire dans les cellules et de remplacer le gène normal, par le phénomène de recombinaison homologue. Reste alors à sélectionner les cellules ainsi modifiées. On ajoute pour cela l'antibiotique au milieu de culture : toutes les cellules sont tuées, sauf celles qui résistent, en raison du gène marqueur introduit dans le gène *Hoxa-2*. Quand on injecte ces cellules à un embryon de souris au stade blastocyte, les cellules modifiées sont intégrées

dans les tissus, et des souris «chimériques» se forment, avec une mutation dans l'un de leurs deux allèles *Hoxa-2*. Ces souris sont viables, parce que le gène muté est récessif, mais, quand on les croise, elles ont, parmi leur descendance, des souris dont les deux allèles du gène sont mutés : en observant ces souris «homozygotes», on déduit la fonction du gène, par la disparition de son activité.

Les souris homozygotes pour la mutation «*Hoxa-2* nulle» ne sont pas viables (elles meurent dans les 24 heures après la naissance), mais les biochimistes ont observé que le gène muté a de profondes conséquences sur le développement du deuxième arc branchial. Cette structure de l'embryon est responsable, chez les poissons, de la formation d'une paire de branchies ; chez les mammifères, elle com-

mande la genèse de certaines structures squelettiques de la face et du cou. Et chez les souris où le gène *Hoxa-2* est muté, certains éléments dérivés du deuxième arc branchial, tel l'étrier de l'oreille moyenne (un des osselets) sont absents et remplacés par d'autres os de l'oreille (l'enclume et le marteau), normalement formés à partir du premier arc branchial.

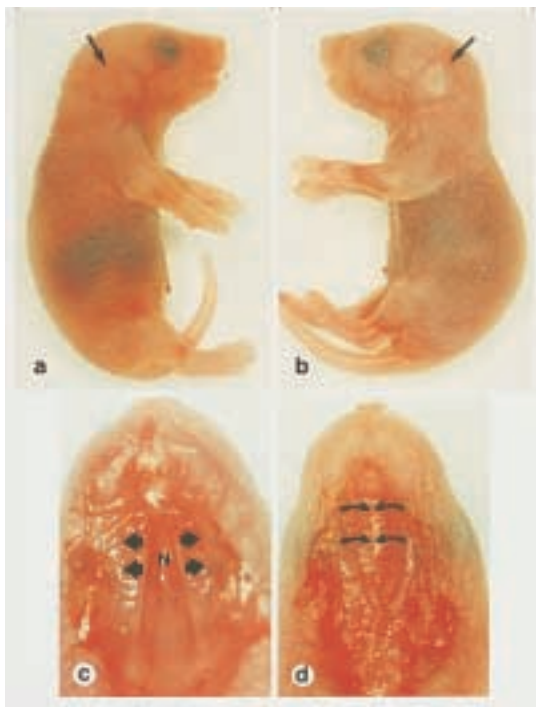
L'inactivation du gène *Hoxa-2* induit donc une transformation homéotique des éléments squelettiques dérivés du deuxième arc branchial en éléments du premier arc. Diverses autres anomalies ont été observées : une fente dans le palais empêche les souriceaux de téter et, plus généralement, les anomalies montrent que le deuxième et le premier arc branchial ont un programme morphogénétique commun. En l'absence du gène *Hoxa-2*, le deuxième arc branchial forme des structures identiques à celles du premier.

APPARITION DE L'OS REPTILIEN

Mieux encore, un os que le second arc branchial engendre chez les reptiles (le «palatocarré») apparaît chez les souris mutées, alors qu'il est normalement absent chez les mammifères, où l'enclume a pris sa place au cours de l'évolution. Cette découverte intéresse les paléontologues : les cellules ont une mémoire génétique des temps où les mammifères n'existaient pas encore ; nos programmes génétiques ataviques restent présents, mais ils ne sont pas réalisés, car ils ont été inhibés ou modifiés au cours de l'évolution.

Ces expériences livrent plusieurs autres conclusions : tout d'abord, le premier et le deuxième arc branchial ont un programme génétique commun ; d'autre part, les «homologies», c'est-à-dire les ressemblances entre séquences d'ADN, déjà connues entre la drosophile et l'homme, par exemple, correspondent à des ressemblances de fonction ; enfin le gène homéotique agit comme un gène qui effectue une sélection dans un programme de base.

Les études se poursuivent aujourd'hui par la réalisation de mutations du gène *Hoxb-2*, sur un des quatre autres complexes homéotiques. La séquence du gène *Hoxb-2* ressemble à celle du gène *Hoxa-2* ; il est probablement dérivé du même gène ancestral. Quelles anomalies engendra son inactivation ? Quelle structure ancestrale réapparaîtra-t-elle ? □



Une souris mutante (à gauche) et une souris normale (à droite). La flèche montre la partie externe de l'oreille, absente chez la souris mutante. En bas, les images montrent le palais des animaux : la fente palatine est restée ouverte chez la souris mutante.