



Big brother et IRM

YVES BURNOD

L'imagerie par résonance magnétique révèle-t-elle ce que nous pensons ?

L'imagerie cérébrale se perfectionne aujourd'hui très vite ; l'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique et la magnétoencéphalographie montrent le cerveau humain en activité. L'être humain est-il devenu transparent ? Devons-nous craindre qu'autrui lise dans notre cerveau ? Sans attendre, réfléchissons à ce qui est licite et à ce qui est abusif, tant dans l'emploi de l'imagerie que dans l'interprétation des résultats.

Certains redoutent que les nouvelles méthodes d'imagerie ne deviennent des machines à détecter le mensonge ou à lire dans l'inconscient. La justice aimerait déterminer à coup sûr la culpabilité ou l'innocence des suspects. Les industriels voudraient savoir si les consommateurs apprécient leurs produits...

Disons d'emblée que l'imagerie cérébrale montre l'activation des différentes parties du cerveau, mais ne permet en rien de lire dans l'esprit d'un individu. On doit surtout craindre les interprétations erronées des images d'activation cérébrale, qui risqueraient d'entraîner à leur tour des utilisations dangereuses. De même que l'on a abusivement attribué des gènes à des types de comportements (ont été ainsi annoncés des gènes de la fidélité, de l'homosexualité, de l'intelligence...), certains pourraient prétendre avoir identifié une région cérébrale avec un comportement, une faculté, ou un trait de caractère particulier (la région de la l'intelligence par exemple). Vers 1810, le médecin allemand Franz Josef Gall avait fondé la phrénologie, soutenant que la forme du crâne révélait l'état des diverses facultés d'un individu ; une forme modernisée de ce type de classification risque d'apparaître.

Pourtant, l'imagerie fonctionnelle est un outil remarquable pour mieux comprendre les circuits cérébraux qui sont à la base des fonctions sensorielles, motrices ou cognitives. Pour ces recherches, on fait passer des tests comportementaux à des sujets volontaires, et on compare les différences d'activation cérébrales quand on ne fait varier — c'est en tout cas ce que l'on désire — qu'un seul paramètre. On cherche alors des corrélations entre l'activation de zones précises du cerveau et ce paramètre. Par exemple, on compare l'activation céré-

brale pour des images de visage et pour d'autres stimuli qui ont les mêmes composantes visuelles élémentaires, mais ne sont pas des visages. On peut penser que les zones plus activées révèlent les circuits cérébraux qui participent à la reconnaissance des visages. Toutefois un nombre considérable de paramètres n'auront pas été testés et risquent d'activer ces mêmes zones. À une même carte d'activité cérébrale correspondent parfois de nombreux traitements sensoriels, moteurs ou cognitifs.

Tout l'art des spécialistes de l'imagerie cérébrale consiste à croiser les résultats d'expériences variées, afin d'obtenir une interprétation fiable. Quand l'imagerie fonctionnelle est apparue, les abus d'interprétation néo-phrénologiques n'ont pas tardé, mais, à mesure que les résultats se sont accumulés, on a compris que chaque région participait à de nombreuses fonctions. Par exemple, une même zone du cerveau peut participer à la commande d'un mouvement, à la vision du même mouvement effectué par une autre personne, à l'image mentale de ce mouvement, à des mémorisations, à des représentations mentales et à des traitements cognitifs plus ou moins associés, etc.

D'autre part, on a découvert que les analyses sont compliquées par la résolution des appareils actuels : quelques millimètres. Au mieux, on voit des populations de plusieurs centaines de milliers de neurones. Or la finesse des traitements cérébraux est bien supérieure, et des neurones très proches ont des fonctions différentes, certains neurones étant activateurs, d'autres inhibiteurs. Comme on est loin de distinguer les circuits activateurs et inhibiteurs par l'imagerie fonctionnelle, on risque d'obtenir la même image quand les sujets pensent une chose et son contraire ! L'imagerie fonctionnelle ne montre que la somme des activations neuronales, laquelle peut être obtenue de mille façons différentes.

Troisièmement l'activation de zones cérébrales n'est pas nécessairement un signe de la mise en œuvre d'une capacité : plus les sujets apprennent une tâche, plus l'activation de leur cortex frontal diminue. Le cerveau s'adapte ; les sujets font moins d'effort quand ils savent

résoudre un problème que quand ils le découvrent pour la première fois.

Enfin on découvre chaque jour de nouvelles propriétés de l'organisation des régions cérébrales qui traitent la perception, le mouvement, le langage, les émotions... Surtout, au delà de chaque région, on voit apparaître des réseaux d'aires cérébrales activées. Tous les individus activent la même chaîne de traitement, même si les zones intermédiaires activées ne sont pas identiques, tant la variation interindividuelle est forte.

La courte histoire de l'imagerie la rend encore très vulnérable aux erreurs d'interprétation. La découverte d'une aire cérébrale de la tristesse ou de la fidélité ne résisterait sans doute pas à des vérifications correctement effectuées : au prix d'une accumulation des résultats, on comprendra de mieux en mieux la logique neuronale de l'activation des diverses zones cérébrales. En revanche, on ne parviendra pas à savoir à quoi un sujet pense, à un instant donné. Si l'on est honnête, on ne peut envisager d'utiliser l'imagerie dans un cadre judiciaire, pour identifier un coupable, en regardant son cerveau, par exemple, ni pour dépister des instincts pervers qui conduiraient à une présomption de culpabilité. Les scientifiques ont le devoir d'expliquer clairement aux partenaires industriels ou institutionnels ce qui est possible et ce qui ne l'est pas.

Les abus d'interprétation de l'imagerie cérébrale, qui pourraient conduire à des abus d'utilisation, ressemblent un peu à ceux que l'on observe déjà en génétique. En raison de la compétition scientifique, des chercheurs risquent de dire plus qu'ils n'observent. La science n'a pas d'autre garde fou que l'honnêteté scientifique. Nous n'éviterons probablement pas l'annonce prochaine de la découverte d'une région cérébrale «de l'intelligence» ou «de la morale», mais la vigilance de la communauté scientifique, épaulée par les revues scientifiques, limitera les effets obscurantistes d'une telle annonce.

Yves BURNOD dirige le Laboratoire INSERM «plasticité cérébrale et adaptation des fonctions visio-motrices».



Le statut de l'animal : ni homme ni objet

GEORGES CHAPOUTHIER

L'Occident a mis près de 2 000 ans à admettre que l'animal n'est ni une sorte d'homme, tel le renard du Roman, ni un objet, comme le suggéra Descartes, mais une créature douée de sensibilité.

De nombreuses espèces vivantes, animales ou végétales, peuplent la biosphère et la partagent avec l'espèce humaine. Le statut des animaux, notamment de ceux qui, par leur morphologie, semblent se rapprocher de l'homme, a soulevé diverses questions : comment doit-on traiter ces êtres familiers, compétiteurs, voire ennemis ? Les différentes civilisations ont apporté à ces questions des réponses variées. Nombre d'entre elles «anthropomorphisent» l'animal, le concevant comme une sorte d'homme modifié, ou même de dieu conçu à l'image de l'homme. De cette approche sont nées les chimères, mêlant l'homme à l'animal et pourvues des vertus attribuées à l'animal composant la chimère. On en trouve des exemples aussi bien parmi les dieux hindouistes que chez les dieux à têtes d'animaux de la mythologie égyptienne. Comment les différentes conceptions morales de l'animal, de l'animal humanisé à l'animal réduit à l'état d'objet, ont-elles évolué dans la civilisation occidentale ? La réponse à cette question est d'un intérêt primordial pour la pratique scientifique, dans la mesure où elle guide les différentes conceptions de l'expérimentation animale pratiquée aujourd'hui.

La pensée occidentale repose essentiellement sur la pensée grecque et sur la pensée juive. Ces deux courants de pensée prônent le respect de l'animal. Schématiquement, on peut dire que, chez les Grecs, deux traditions philosophiques cohabitent. Pour les tenants du courant «rationnel», dont Aristote est sans doute l'exemple le plus célèbre, seuls semblent compter l'intérêt de l'homme et la connaissance scientifique. Toutefois, ce penseur, père, à la fois, de la philosophie et de la biologie, n'a jamais émis la moindre remarque sur une éven-

tuelle prise en compte de la douleur des animaux ! D'autres philosophes anciens, tel Pythagore, ou tardifs, tel Plutarque, voire même quelques philosophes de l'époque classique, par exemple le successeur d'Aristote, Théophraste, ont développé des thèses très favorables à l'animal.

LE STATUT DE L'ANIMAL DANS L'ANTIQUITÉ

Certains de leurs arguments sont dépassés, pour la pensée occidentale d'aujourd'hui : par exemple, les philosophes grecs soutenaient que les sacrifices animaux ne plaisaient pas aux dieux ou que, par la métempsycose, l'animal était une sorte de réceptacle de l'âme d'un parent décédé ; en revanche, d'autres arguments sont remarquablement modernes, car ils soulignent la parenté morphologique, et même comportementale, des animaux et de l'homme. Dans un savoureux traité qui lui est attribué, Plutarque imagine une conversation entre Ulysse, la magicienne Circé et Gryllus, un compagnon d'Ulysse, que Circé a transformé

en porc (voir l'illustration en haut à gauche). Ulysse souhaite voir ce dernier retrouver sa forme humaine, et Circé propose d'interroger Gryllus pour connaître ses souhaits. Ce dernier affirme qu'il souhaite vivement rester un porc et décrit dans le détail toute une série de vertus animales qui suggèrent, selon lui, que les animaux sont meilleurs que les hommes !

Dans leur ensemble, tous ces arguments aboutissent à une conception anthropomorphique des animaux, d'autant que la communication animale est alors souvent prise pour un langage. Il n'en reste pas moins vrai que certains passages de ces auteurs anciens ont des accents qu'un auteur moderne ne renierait pas. Ici encore, les Grecs ont été les précurseurs de l'Occident. Si l'on oppose le courant rationnel et ce courant zoophile, on peut même affirmer qu'existe déjà, en germe, dans l'Antiquité, une opposition entre expérimentateurs et partisans de la protection des animaux, opposition qui ne réapparaîtra en Occident qu'au XIX^e siècle.

Dans la pensée juive, source de la pensée chrétienne, un grand nombre de préceptes visent au respect de l'animal : interdiction de la chasse d'agrément ; abattage rituel avec un couteau parfaitement aiguisé afin de causer le moins de douleur possible à l'animal ; repos hebdomadaire du sabbat pour l'animal de travail, notamment. Avant qu'il ne soit chassé du paradis terrestre, l'homme était conçu pour vivre en harmonie avec les animaux.

Selon certains commentateurs modernes, le fondement de la relation entre l'homme et l'animal, dans le judaïsme, réside dans le commandement donné aux fils de Noé qui leur interdit de consommer la viande avec



En Égypte antique, les animaux sont déifiés : le dieu singe Thot protège le scribe royal Nebmertouf.

Photo Josse

son sang. L'interdit ne porterait pas tant sur le sang lui-même que sur le sang médiateur de la vie : aussi longtemps que le sang continue à circuler dans le corps, l'animal est vivant et doit être respecté ; lorsque le sang a cessé de circuler, le corps de l'animal devient semblable aux objets inertes et peut alors être utilisé. L'ensemble du discours distingue clairement l'animal de l'objet comestible.

La pensée européenne évolue au Moyen Âge vers des conceptions hétéroclites des rapports avec l'animal. Durant cette période, troublée par des guerres, des invasions, des épidémies, le respect de l'animal n'est pas un des principaux objets de préoccupation. Les esprits se réfugient dans un univers religieux ou mystique, qui adopte les dogmes aristotéliens. Dans cet univers centré sur Dieu, l'animal n'a guère de place et la pratique quotidienne le relègue au rang d'objet, même si un certain nombre de penseurs chrétiens ont plaidé pour un plus grand respect des animaux. Cependant, à côté de cette émergence d'un animal-objet cohabite une conception anthropomorphique, ainsi qu'en témoignent à la fois les fabliaux, comme le *Roman de Renart*, où les animaux sont humanisés, et les procès intentés à certains animaux. Ainsi, en 1314, un taureau est condamné à mort par un tribunal pour avoir tué un homme ; l'arrêt est confirmé par le parlement de Paris. Un peu plus tard, les rats dans leur ensemble furent défendus avec succès par l'avocat Chassanée contre une menace d'excommunication prononcée à leur endroit par l'évêque d'Autun ! Les exemples abondent : des ultimatums, des anathèmes ou des procès sont lancés par les autorités religieuses contre des insectes ou contre des sangsues.

À la Renaissance, le centre du discours quitte Dieu pour passer à l'homme. C'est la naissance d'un humanisme triomphant, mais le statut de l'animal n'en est guère amélioré. Notons cependant une exception chez Montaigne, qui prône le respect de l'animal en s'appuyant sur des arguments semblables à ceux des philosophes grecs. Montaigne, un Ancien au cœur de la Renaissance ?

Puis vient Descartes. En proposant le concept d'animal-machine, Descartes consacre sans équivoque l'assimilation de l'animal à un objet. Cette adoption a deux conséquences simultanées. Une conséquence favorable à la science : puisque l'animal (et le corps humain) sont des machines, on peut les analyser et en étudier le fonctionnement. Une conséquence très fâcheuse sur la morale : puisque l'animal est un automate, il ne ressent aucune douleur, et l'on ne doit pas se préoccuper de ce qu'il ressent. La pensée de Descartes est à l'origine d'un triomphe scientifique et d'un désastre

moral. Quelques siècles plus tard, les écrits de Claude Bernard – la charte de la biologie moderne – défendent la légitimité absolue de l'utilisation de l'animal comme un objet, qu'il faut disséquer vivant pour en comprendre le fonctionnement interne. La biologie moderne s'est construite sur ces bases cartésiennes.

L'ANIMAL-OBJET

La fin du ^{xix}e siècle marque le triomphe de cette conception de l'animal-objet. L'homme est le monarque absolu d'une nature conçue comme un simple « environnement » de l'espèce humaine. Cette conception est aussi liée au triomphe de l'Europe qui colonise le monde. Même si l'Occident a, depuis lors, nuancé son propos, nous sommes encore très influencés par cette vision du monde où l'homme s'est attribué tous les droits sur la nature. Notre système législatif et juridique napoléonien considère encore l'animal comme un bien meuble ou immeuble !

Si la conception de l'animal-objet s'est

peu à peu imposée en Occident, ce fut surtout parmi les penseurs et les philosophes. Même au temps de Descartes, certains êtres plus sensibles admettaient difficilement que l'animal soit « une machine ». Ainsi, Madame de Sévigné notait à propos des animaux : « Des machines qui aiment, des machines qui ont une élection pour quelqu'un, des machines qui sont jalouses, des machines qui craignent. Allez, allez, vous vous moquez de nous ; jamais Descartes n'a prétendu nous le faire croire ! »

Ce « bon sens » a été conforté par les connaissances scientifiques. Les biologistes ont montré que, si l'animal était considéré comme une machine, cette machine fonctionnait d'une manière très proche de la « machine humaine » : la physiologie, la biochimie, le comportement des animaux dits supérieurs sont extrêmement proches de ceux de l'homme. Toutefois, si l'on a réussi à enseigner des rudiments de langage à des singes anthropoïdes, il reste à l'homme, dans l'état actuel des connaissances, deux spécificités : le lan-



En Inde, les dieux étaient souvent des chimères mêlant l'homme et l'animal. Ici Nara-simha, la quatrième incarnation de Vishnou.

Jean-Louis Nou / AKG Paris



Photo Jesse



Jean-Loup Charnet

Dans le *Roman de Renart* (à gauche), l'animal est humanisé, tout comme l'étaient certains animaux, jugés à l'égal de l'homme. Ainsi cette truie de Falaise, suppliciée par pendaison en public (à droite).

gage articulé et la pensée symbolique. Toutefois, cela ne paraît pas devoir justifier le traitement de l'animal comme un simple objet. Mieux encore, la théorie de l'évolution, étayée par des preuves paléontologiques, anatomiques, génétiques et moléculaires, montre que, non seulement l'animal ressemble à l'homme, mais qu'il est son ancêtre et son cousin !

L'ANIMAL, ÊTRE SENSIBLE

Toutes ces raisons, auxquelles s'ajoutent de possibles influences de philosophies d'Extrême-Orient, ont conduit à la conception de l'animal-être sensible. Cette conception, défendue par des philosophes comme Schopenhauer ou Bentham, a connu un succès notable dans une branche de la philosophie anglo-saxonne nommée utilitarisme. Schématiquement, l'utilitarisme défend une thèse selon laquelle la morale a pour but de diminuer la quantité de douleur et de souffrance. Nombre de ses tenants considèrent qu'il n'y a pas lieu de séparer l'animal – qui peut éprouver de la douleur – de l'homme, dans cette lutte contre la douleur.

En extrapolant ces thèses, on mettrait sur le même pied (moral) l'animal et l'homme, avec des conséquences désastreuses pour notre espèce. C'est pourquoi de nombreux auteurs humanistes ont fait valoir, à juste titre, le danger de ces thèses. Réfuter l'animal-objet ne doit pas faire renaître l'animal humanisé.

Sans aller jusqu'à ces excès de l'utilitarisme anglo-saxon, la loi française a subi une série de transformations qui, dans certaines conditions, ont amélioré le statut de l'animal. Les mauvais traitements ont été interdits à l'égard des animaux domestiques ou en captivité (sauf dérogations particulières, par exemple pour les courses de taureaux ou les combats de coqs). L'expérimentation animale a été soumise à de nombreuses

contraintes administratives, telles la nécessité, pour les chercheurs, de posséder une autorisation d'expérimenter limitée à certaines espèces et à certains types d'expériences, l'amélioration de la qualité et du confort des animaleries, ou encore l'anesthésie obligatoire pour les opérations chirurgicales douloureuses chez les vertébrés. Enfin, une modification du Code civil (loi 99-5 du 6 janvier 1999, articles 24 et 25, modifiant les articles 524 et 528) distingue clairement, pour la première fois, l'animal et la chose. En outre, des lois d'inspiration écologique protègent aujourd'hui les espèces sauvages dans leur ensemble, grâce, par exemple, à la création de parcs nationaux, et aux interdictions ou moratoires de la chasse de certaines espèces protégées. Certes, ces mesures restent insuffisantes, comme en témoigne, par exemple, l'absence d'interdiction de disséquer, sans anesthésie, des animaux aussi évolués que la pieuvre ou le homard.

Un grand courant visant à davantage de respect des animaux, en particulier, et de la nature, en général, progresse en France et dans tous les pays occidentaux. Deux courants opposés, tout aussi forts, s'affrontent : un courant de pensée d'origine cartésienne, qui fait de l'homme le maître absolu de son « environnement » et des objets-animaux qui le peuplent, et un courant de pensée anticartésien et écologique, qui veut imposer des limites au pouvoir de l'espèce humaine sur la nature.

Comment concilier ces positions divergentes, voire contradictoires ? Comment s'éloigner de la conception napoléonienne de l'animal-objet, sans tomber dans les excès anthropocentristes ? En France, une conception originale de l'animal-être sensible a été proposée et nous semble répondre aux différentes objections faites tant à l'animal humanisé qu'à l'animal-objet. Ce courant de pensée, qui s'appuie sur une Déclaration universelle des

droits de l'animal, a souvent été mal compris par ses adversaires, qui ont voulu y voir des positions utilitaristes, analogues à celles des Anglo-Saxons. Pourtant, ce courant, depuis le début, s'est clairement démarqué de ces positions, puisque, tout en réclamant que l'homme attribue des droits à toutes les espèces animales, il affirme la spécificité des droits de l'homme. Lorsque les droits de l'homme sont en danger, il reconnaît leur priorité face aux droits de l'animal : l'espèce humaine a le droit de défendre sa survie en priorité. C'est le cas, notamment, dans la recherche biologique et médicale, qui vise, à terme, à l'amélioration de la santé humaine.

Toutefois, cette priorité ne doit intervenir que lorsque l'homme est menacé dans ses droits fondamentaux et dans sa survie. Il n'est pas moralement admissible, du fait même de la sensibilité des animaux, de les faire souffrir pour un simple amusement de l'homme, comme, par exemple, dans les jeux sanglants que sont la chasse d'agrément ou les courses de taureaux. Tout en préservant la spécificité de l'espèce humaine, ce courant oppose clairement l'animal à la chose et lutte pour une transformation de la législation napoléonienne, afin qu'à côté des hommes et des objets existe enfin pleinement une catégorie d'« êtres sensibles », protégés par des règlements spécifiques.

Georges CHAPOUTHIER est directeur de recherche au CNRS dans le laboratoire CNRS-Universités Paris 6 et Paris 7, Personnalité et conduites adaptatives.

G. CHAPOUTHIER, *Au bon vouloir de l'homme, l'animal*, Éditions Denoël, 1990.

Cl. COMBES et **Ch. GUITTON**, *L'homme et l'animal. De Lascaux à la vache folle*, Éditions Pour la Science, 1999.



Les quenelles

HERVÉ THIS

Cuisons-les à petit feu après les avoir fait reposer : elles seront meilleures.

Avez-vous déjà fait des quenelles de saumon ou de truite ? Les recettes sont innombrables, mais ce sont des variations sur un thème : à de la chair de poisson finement pilée, on ajoute de la matière grasse (graisse de rognons de bœuf, beurre, crème...) et, éventuellement, de l'œuf et une panade (soit du pain trempé dans du lait, soit une pâte faite par ajout de farine à de l'eau bouillante). Les ingrédients sont longuement travaillés, au point qu'Isabella Beeton, auteur d'un livre de cuisine célèbre en Angleterre depuis 1860, écrit que «les quenelles françaises sont les meilleures du monde, parce qu'elles gonflent davantage». Et elles gonflent, explique-t-elle, parce qu'elles sont plus travaillées.

Pourquoi le travail des quenelles détermine-t-il leur succulence ? Et, d'abord, pourquoi les quenelles «tiennent-elles» à la cuisson même quand elles ne comportent pas d'œuf ? À la Station INRA de Rennes, Florence Lefèvre et Benoit Fauconneau répondent indirectement à la question en explorant les «propriétés thermogélifiantes des myofibrilles de la chair de truite».

En quoi cette recherche consiste-t-elle ? La chair de truite est composée de cellules, les fibres musculaires, qui contiennent notamment des protéines «myofibrillaires» qui assurent la contraction musculaire. Or les protéines en solution dans l'eau forment un gel : comme dans le blanc d'œuf que l'on chauffe, les protéines de la chair de truite se lient, créant un réseau qui piège l'eau (dans une quenelle, ce gel piège également la matière grasse et les grains d'amidon gonflés qui ont été apportés par la panade).

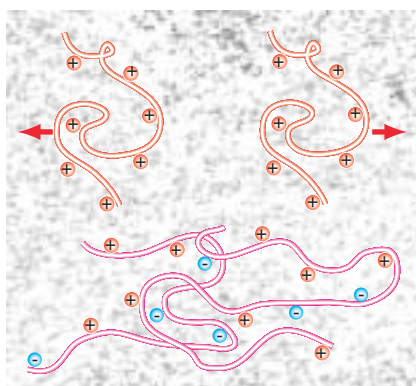
Bien maîtrisée, la gélification permet la confection des quenelles et de divers produits que des sociétés norvégiennes envisagent de produire à partir de salmonidés d'élevage : ces produits seraient culinairement voisins des produits à base de surimis ou des nouilles de poisson fabriquées en Asie. En France, où l'on élève surtout la truite, on cherche aussi à utiliser les protéines de ce poisson pour créer des produits originaux.

Quelles protéines de la chair de poisson forment-elles les gels ? Comme toutes les cellules, les fibres musculaires contiennent des protéines «sarcoplas-

miques», qui assurent leur entretien et leur fonctionnement général, et des protéines myofibrillaires variées ; les principales sont l'actine et la myosine.

F. Lefèvre a d'abord montré que, dans les solutions diluées qui étaient étudiées, c'est principalement la myosine qui gélifie ; l'actine seule ne gélifie pas, mais son incorporation à une préparation de myosine augmente la rigidité du gel.

Dans quelles conditions ce gel se forme-t-il ? Dans les quenelles comme dans les gels de protéines myofibrillaires, le problème est d'associer une grande tendreté (qui résulte d'une quantité d'eau notable) à une fermeté suffisante. Les paramètres qui déterminent la fermeté des gels sont la durée de stockage des



Les protéines s'associent (en bas) quand on minimise les répulsions électrostatiques.

solutions, la vitesse de chauffage, la température maximale de cuisson et, aussi, la concentration en protéines, l'acidité et la concentration en sels.

Pour étudier l'effet de ces divers paramètres, les biochimistes de Rennes ont effectué des tests de pénétrométrie : on enfonce une pointe dans la chair avec une force contrôlée et l'on mesure la déformation. Après avoir montré que ces mesures révèlent bien la fermeté telle que l'évalue le coup de dent, les chercheurs ont analysé les gels formés par cuisson de solutions de protéines isolées et découvert que les concentrations limites de gélification sont de l'ordre de dix milligrammes de protéines par millilitre.

La fermeté dépend du stockage : lors de ce dernier, des interactions entre protéines commencent à former le gel. Puis la fermeté de ce dernier évolue pen-

dant la cuisson. Quelques minutes à des températures comprises entre 70 et 80 °C stabilisent le gel initialement formé, mais la cuisson prolongée fait perdre de l'eau (et donc de la tendreté). Une vitesse de chauffage de 0,25 degré par minute conduit à des gels suffisamment fermes et élastiques.

Le comportement des protéines dépend notablement de l'acidité du milieu, parce que les molécules portent des groupes latéraux ionisables : en milieu acide, les groupes acides des protéines ne sont pas modifiés, mais les groupes basiques se lient à un ion hydrogène : ainsi chargées positivement, les protéines se repoussent et ne s'associent pas. Inversement, en milieu insuffisamment acide, les groupes acides des protéines sont ionisés, et les groupes basiques sont neutralisés, ce qui conduit également à une répulsion. Ainsi, l'acidité de la solution détermine les liaisons entre les protéines, ainsi qu'avec les molécules d'eau. Les acidités optimales pour la formation des gels dépendent des protéines considérées et des espèces animales dont ces protéines sont issues. Les chimistes de l'INRA ont montré que, dans le cas de la truite fario, on optimise la formation des gels quand les solutions de protéines sont placées en milieu plus acide (à un pH égal à environ 5,6) que pour la gélification des protéines d'autres poissons.

Les études permettent enfin de perfectionner la préparation classique des quenelles. Tout d'abord, on laissera la pâte à quenelle longuement reposer, au frais, afin qu'un gel se forme à partir des protéines libérées par les fibres musculaires broyées. Puis on gagnera à cuire les quenelles à four très doux, en chauffant doucement. Enfin, si l'on a un peu acidifié les quenelles, la fermeté conférée par l'acidification permettra d'augmenter la tendreté, par ajout d'eau supplémentaire (par eau, le cuisinier entend évidemment une eau puissamment parfumée : fumet de crustacés, fond de poisson...).

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