

difficultés posées par la diversité des êtres vivants, responsable des réactions de rejet ; la « fabrication » de tels organes fait certainement partie des objectifs médicaux.

Le clone représente la copie physique de soi : il est donc source de connaissance ou d'organes de réparation de l'organisme. Comment obtient-on un clone ? Il est extrêmement aisé, en laboratoire, de croiser deux animaux de la même portée et de sexe différent. En répétant ce croisement (frère – sœur), sur plus de trente générations, on obtient une « lignée pure », c'est-à-dire un ensemble d'animaux génétiquement semblables, et les greffes, au sein de cette lignée, sont bien tolérées. En dehors de folies eugéniques et de la propagande pour une race pure, l'idée de proposer chez l'homme de tels croisements consanguins successifs est à la fois prohibée et condamnée. Une deuxième méthode de clonage est employée chez l'animal : après fécondation *in vitro*, on cultive l'embryon et on sépare ses cellules avant le stade de 16 cellules. Chacune des cellules ainsi récupérées (jusqu'à huit cellules) peut être réimplantée séparément chez une femelle, donnant naissance à un organisme entier.

Ce cas de figure peut intéresser le médecin. Prenons le cas où une maladie familiale est connue. On pourrait alors pratiquer une fécondation *in vitro* et récupérer, après culture, quelques cellules de l'embryon pour les étudier. Le diagnostic, effectué sur une seule cellule grâce aux outils de la biologie moléculaire, indiquerait la présence ou non de la maladie redoutée. Ne seraient réimplantés que les embryons indemnes. Cette voie de « sélection » embryonnaire était interdite en France, hormis quelques cas particuliers : elle implique la culture et la manipulation de l'embryon, pratiques très encadrées. Cependant, cette méthode est autorisée, depuis peu, aux États-Unis et a été récemment utilisée à l'Hôpital Necker.

Une troisième méthode, celle qui a été employée pour créer Dolly, consiste à remplacer le noyau d'un ovocyte par celui d'une cellule provenant d'un autre animal de la même espèce. En effet, c'est dans le noyau qu'est contenue toute l'information génétique ; l'embryon ainsi formé est le sosie de l'individu dont est issu le noyau.

Cette technique ouvre la voie à la reproduction, sous la forme d'une copie conforme, de l'être qui a donné le noyau. Ce clonage reproductif chez l'homme est rejeté par les conseils éthiques. En revanche, si les cellules de ce même embryon, formé à partir du noyau donneur, étaient cultivées *in vitro*, elles auraient la capacité de donner différents



types de tissus (muscles, nerfs, peau, en fait, n'importe quel tissu). On produirait un embryon, mais il ne serait pas implanté chez une femme et ne donnerait que des cellules, identiques à celles du donneur de noyau. Ces cellules seraient strictement identiques, mais elles seraient « neuves » et pourraient remplacer les cellules vieillissantes et dégénérées d'un organisme sans risque de rejet, car elles auraient le même patrimoine génétique que le donneur du noyau. De telles cellules dérivées d'un clone, produisant des tissus de remplacement, seraient de précieux outils thérapeutiques.

Ces deux aspects du clonage, celui du diagnostic prénatal en cas de fécondation *in vitro*, et celui du traitement des maladies dégénératives par des cellules ou des tissus de remplacement, font que le médecin prête l'oreille lorsque les discussions portent sur le clonage humain. Dans tous les cas, il rejette catégoriquement l'idée de clonage reproductif, c'est-à-dire du clonage qui donnerait naissance à un sosie.

Toutefois, le débat ne s'arrête pas là. Au cœur de la discussion, se trouve l'embryon : quel est son statut ? La pression des patients qui attendent une amélioration de leur état, et celle des médecins qui veulent toujours aider les malades en détresse, n'imposent-elles pas une direction privilégiée au débat ? Déjà, l'on constate la diversité des règles interdisant ou autorisant les recherches sur les embryons surnuméraires non réimplantés après fécondation *in vitro* ; c'est dire que les avis sur le statut de l'embryon et sur la part de dignité et de respect qu'on devrait lui attribuer sont encore très partagés.

Ainsi, le statut de l'embryon cloné change selon que l'on considère que son unique finalité est de devenir un être

humain, ou qu'il est possible de passer par cette étape éphémère du clone, uniquement pour élaborer des traitements.

Toutes les craintes seront sans doute levées si l'existence de cellules indifférenciées chez l'adulte est confirmée. Si des cellules pluripotentes existent réellement dans l'organisme, les clones non reproductifs n'auront plus à être produits. Il suffira de prendre des cellules souches pluripotentes chez un adulte ayant une dégénérescence nerveuse pour les cultiver et de les faire se différencier en cellules nerveuses, lesquelles seront implantées dans le cerveau malade.

Alors, si le clonage est encadré par la loi, par les responsables éthiques ou par d'autres instances, mais s'il donne un avantage important pour guérir des maladies dégénératives, il est certain que les médecins chercheront à mettre en place des traitements par ce biais. Pour eux, aucun interdit ne vaut, face à la possibilité de sauver une vie. À charge ensuite aux hommes de loi et aux penseurs de l'éthique de trouver les arguments pour expliquer leurs actes et placer les limites. On est déjà passé, récemment, de l'interdiction à la permission de faire des recherches sur l'embryon, dans un contexte très surveillé.

Acceptera-t-on la constitution d'embryons humains, dans le cadre du clonage, en excluant toute finalité reproductive ? Ce serait là, comme dans le changement de la définition de la mort, la preuve que l'utilité scientifique et médicale est la valeur suprême en matière de droit. Sauver et aider une personne en danger serait notre premier commandement. N'y a-t-il pas de limites ? Cette fois, les hommes de lois auront, je pense, à cœur de proposer des lois avant que l'acte médical ne soit effectif plutôt que subir le diktat du fait accompli. Ils ont encore le temps, car le premier clone humain (à finalité reproductive ou thérapeutique) n'est pas pour demain. Quant à la question de savoir si l'on pratiquera un jour le clonage à visée reproductive, la réponse ne sera ni de la compétence des médecins ni de celle des hommes de loi ; elle dépendra surtout de l'idée que l'homme se fait de l'homme.

Laurent DEGOS dirige le Service d'hématologie de l'Hôpital Saint-Louis, à Paris.

Ce texte est extrait du chapitre signé par l'auteur dans *Les progrès de la peur, la Peur du progrès*, sous la direction de Nayla Farouki, à paraître en février 2001, Éditions Le Pommier.



Curieux jaune

HERVÉ THIS

Les structures insoupçonnées du jaune d'œuf.

Devant vous, un œuf, entier et cru, dans sa coquille. Où est le jaune ? Sans doute sur un axe vertical, pour des raisons de symétrie, diront les physiciens. Cependant, des possibilités demeurent : le jaune pourrait être dans la partie supérieure, au centre ou dans la partie inférieure. Comment le savoir ? Une expérience simple consiste à couvrir un jaune par plusieurs blancs d'œuf, dans un verre étroit et haut : on voit le jaune flotter et l'on déduit qu'il en est de même dans un œuf entier.

Les membranes qui entourent le jaune et le lient au reste de l'œuf évitent-elles l'ascension du jaune, dans un œuf entier, en coquille ? Il existe plusieurs façons de montrer que non. Par exemple, cuisez l'œuf debout, et vous verrez, dans l'œuf dur formé, le jaune logé dans la partie qui était la plus élevée. Vous craignez que la coagulation n'ait perturbé l'arrangement interne de l'œuf ? Placez un œuf entier, frais, avec sa coquille, dans du vinaigre : après deux jours environ, la coquille ayant été dissoute par le vinaigre, vous verrez le jaune flotter dans le blanc (l'œuf conserve sa forme parce qu'il est limité par des membranes et parce que les couches externes auront coagulé, sous l'action du vinaigre).

Ou bien, plus simple encore, décortiquez l'œuf frais, et regardez où se trouve le jaune.

À ces procédés de cuisine, on peut en ajouter de plus élaborés. Si la radiographie donne de mauvais résultats (parce que la coquille est un matériau opaque aux rayons X), l'échographie procure des images étonnantes. La figure a été obtenue par immersion d'une sonde à ultrasons dans un œuf décalotté : le jaune apparaît composé de couches concentriques, analogues aux cernes d'un arbre.

Pourquoi cette structure que ne soupçonne aucun mangeur d'œuf à la coque ? Le jaune est une alternance de couches nommées «jaune profond» et «jaune clair», dont l'épaisseur est respectivement de deux millimètres, et de 0,25 à 0,4 millimètre. Ces couches sont respectivement produites par la poule pendant le jour et pendant la nuit : la différence entre les deux types de couches provient du rythme de l'alimentation ; pendant la nuit, les pigments jaunes sont produits en concentration plus faible que pendant le jour.

Si nous continuons l'exploration au microscope, nous voyons que les deux couches, jaune clair et jaune profond, ne sont pas homogènes, mais composées de granules, dispersés dans une phase continue, nommée le plasma. D'où des questions sur les rôles respectifs de ces constituants en cuisine.

À la Station INRA de Nantes, Marc Anton et ses collègues explorent cette composition en séparant les granules du plasma par centrifugation. On constate ainsi que le jaune est composé pour moitié d'eau, pour un tiers de lipides (dont du cholestérol) et pour 15 pour cent environ de protéines. Protéines et lipides sont souvent associés en particules qui se distinguent par leur densité : lipoprotéines de faible densité (LDL) dans le plasma ou lipoprotéines de haute densité (HDL) dans les granules.



Échographie d'un jaune d'œuf. Le jaune apparaît composé de couches concentriques.

Comment ces constituants du jaune d'œuf interviennent-ils, en cuisine ? La séparation des divers constituants permet de tester leurs propriétés. Et c'est ainsi que l'on vérifie que les LDL s'associent en un gel, quand on les chauffe à environ 70 degrés : ces structures composées de protéines, de lipides et, notamment, de cholestérol, seraient responsables de la prise en masse du jaune, lors de la cuisson.

Et les mayonnaises, composées de gouttelettes d'huile dispersées dans l'eau (du jaune et du vinaigre) : sont-elles stabilisées, comme on l'a longtemps présumé, par les «lécithines» et autres

phospholipides du jaune ? Ou bien résultent-elles de l'action stabilisante des protéines ? M. Anton et ses collègues ont étudié cette question en cherchant d'abord si les propriétés émulsifiantes du jaune provenaient plutôt du plasma ou des granules. Comme les protéines ont une solubilité qui dépend de l'acidité, les biochimistes ont d'abord étudié leur solubilité selon le pH (qui mesure l'acidité) et selon la concentration en sel : les protéines du plasma sont complètement solubles, à tous pH et à toutes concentrations en sel, tandis que les protéines des granules ont des solubilités différentes, selon les conditions. Peu solubles à pH égal à 3 (celui d'une mayonnaise), elle ne le deviennent que partiellement à pH neutre, en milieu peu salé (l'ion sodium remplace l'ion calcium qui établit des ponts entre les protéines, de sorte que ces dernières sont libérées).

La solubilité des protéines n'est pas le fin mot de la confection des émulsions : celles-ci sont d'autant plus stables que le phénomène de crémage est réduit. Avec le plasma, le crémage est minimal à pH égal à 3, et la concentration en sel n'a pas d'effet en milieu acide, tandis que les émulsions obtenues à partir de granules sont sensibles à l'acidité et à la concentration en sel. Les émulsions obtenues à partir de jaune complet se comportent comme celles qui sont obtenues à partir de plasma.

Au total, les constituants du plasma sont principalement responsables de l'effet émulsifiant du jaune d'œuf complet, et les protéines préviennent mieux le crémage que les phospholipides. Comment les protéines qui figurent dans les LDL du plasma agissent-elles ? Par des répulsions électrostatiques ? Ou par leur encombrement (répulsion «stérique») ? À pH égal à 3, les protéines sont électriquement chargées, et elles se repoussent, mais à pH égal à 7, c'est l'encombrement des protéines qui stabilise les gouttelettes ; il reste à comprendre comment...

Tout cela pour un banal jaune d'œuf !

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 25 janvier 2001, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.