

Le mâle (en rose) est plat, mais paraît cylindrique, car ses bords relevés forment un canal. La femelle (en vert), cylindrique, se loge dans ce canal, ce qui permet un accouplement quasi permanent tandis que les vers se déplacent dans le sang de leur hôte humain.

Ce ver n'a pas d'anus. Il régurgite les éléments non absorbés...

C'est sous la forme d'une larve de quelques dizaines de micromètres, le miracidium, que *S. mansoni* infecte l'escargot.

EN CHIFFRES

180 millions

d'individus environ sont atteints de la bilharziose dans le monde, principalement en Afrique. Cette maladie cause environ 280 000 décès par an.

12 heures

environ, telle est l'autonomie de la cercaire, la larve nageuse de *S. mansoni* qui infecte l'humain. Comme elle ne se nourrit pas, si elle ne trouve pas d'hôte durant cette période, elle meurt.

66,5 millions

de personnes ont été traitées contre la bilharziose en 2015.

D'après leurs caractères cytologiques, il les classe dans le genre *Nuclearia*, au sein d'un taxon maintenant proche des champignons. Vingt ans plus tard, dans le même laboratoire, un ancien étudiant d'Owczarzak montre par phylogénie moléculaire qu'il ne s'agit pas d'un *Nuclearia*, mais d'un organisme d'un nouveau genre qu'il nomme *Capsaspora*, dédiant le nom d'espèce à son professeur. Fait majeur: *C. owczarzaki* est proche non pas des champignons, mais des animaux pluricellulaires, les métazoaires. Plus précisément, le taxon des filastères auquel il appartient est le groupe frère de celui rassemblant les choanoflagellés (des organismes unicellulaires) et les métazoaires.

UNE AMIBE GRÉGAIRE

D'étranges observations réalisées au sein du système circulatoire de *B. glabrata* se trouvent vite confirmées par des cultures *in vitro*. Le cycle de *C. owczarzaki* présente trois phases au cours desquelles les cellules se différencient et apparaissent sous des aspects très différents: amibes munies de longs bras (filopodes), kystes flottants et agrégats de cellules (voir l'encadré page 120). Apparaît donc une phase multicellulaire – simple, car les cellules ne sont pas jointives, mais qui interpelle, vu la proximité phylogénétique de *C. owczarzaki* avec les métazoaires.

Construire une structure pluricellulaire et procéder à la différenciation cellulaire sont les deux propriétés essentielles des métazoaires. Or cela nécessite plusieurs caractéristiques. D'une part, les cellules doivent avoir une cohésion entre elles – c'est le rôle de la matrice extracellulaire. D'autre part, au cours de l'embryogenèse,

les cellules se différencient en cellules épidermiques, nerveuses, musculaires, hépatiques, etc. grâce à deux processus dynamiques: par interactions avec ses voisines, chaque cellule « connaît » sa situation dans l'embryon, ce qui orientera sa différenciation de manière harmonieuse; puis, par une régulation fine de l'expression des gènes via des régulateurs de transcription, la différenciation cellulaire sera effective. *C. owczarzaki* présenterait-il lui aussi ces caractéristiques? C'est ce qu'ont vérifié Iñaki Ruiz-Trillo et son équipe, à l'Institut de biologie évolutive de Barcelone.

Premier travail, scruter la structure du génome. Il s'agit en particulier d'y rechercher des gènes essentiels pour la mise en œuvre de ces caractéristiques – plus exactement des séquences ressemblant à celles qui codent les domaines essentiels de protéines des métazoaires impliquées dans la cohésion cellulaire. Les résultats sont impressionnants. *C. owczarzaki* produit les protéines qui structurent la matrice extracellulaire des métazoaires comme le collagène, les fibronectines ou les laminines. De plus, la machinerie d'adhésion des cellules à la matrice est complète; elle est orchestrée par les intégrines, des protéines transmembranaires qui, outre leur rôle de structure, transmettent des signaux de la matrice vers l'intérieur de la cellule. On trouve aussi les principaux composants d'un complexe qui joue un rôle charnière entre le cytosquelette interne et la matrice extracellulaire.

Ces études de génomique montrent également que de nombreux régulateurs de transcription, majeurs pour la différenciation cellulaire des métazoaires, sont présents chez *C. owczarzaki*. Ce dernier porte

➤ même les composants d'une voie de signalisation indispensable au développement de l'embryon chez les métazoaires, la voie Notch. Chez les métazoaires, l'activation d'un récepteur membranaire (Notch) par un ligand extracellulaire (Delta) entraîne une cascade d'activations qui régule la transcription de certains gènes. Or, chez *C. owczarzaki*, les composants de la voie Notch sont présents, mais Notch et Delta n'interagissent pas!

Iñaki Ruiz-Trillo s'est également penché sur les différents stades du cycle de *C. owczarzaki*. Pour cela, il a étudié et comparé leurs transcriptomes, c'est-à-dire l'ensemble des ARN messagers présents dans les cellules. On peut savoir ainsi quels gènes sont exprimés ou réprimés. Ici encore, le résultat est remarquable: plus de la moitié des 8637 gènes s'expriment différemment selon le stade. On a donc affaire à une véritable différenciation cellulaire...

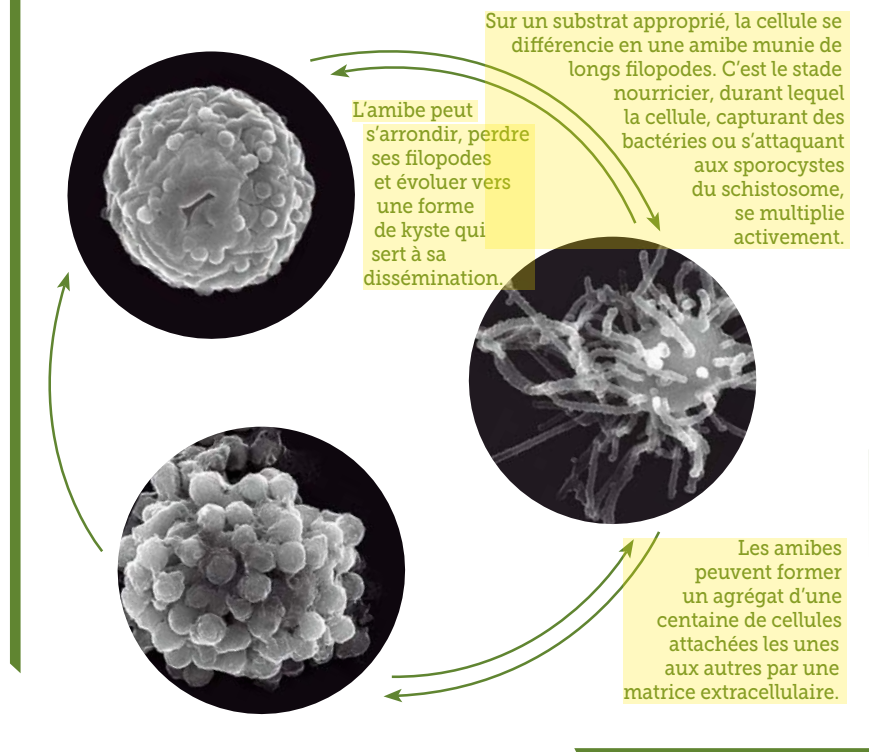
Ces résultats sont fascinants, car ils signifient que la plupart des gènes impliqués dans la multicellularité et le développement des métazoaires étaient déjà présents chez l'ancêtre commun unicellulaire des métazoaires et des filastères. Il y a donc eu cooptation de gènes ancestraux pour de nouvelles fonctions: les gènes qui semblent caractéristiques des animaux pluricellulaires actuels ont en fait d'abord évolué dans un contexte unicellulaire avant d'être réutilisés dans un contexte pluricellulaire. «En biologie, on fait du neuf avec du vieux», comme disait François Jacob!

DU TEMPOREL AU SPATIAL

Depuis que Charles Darwin a compris que classer les organismes revient à en chercher les relations de parenté, la question de l'origine des animaux s'est trouvée posée. Le naturaliste et embryologiste allemand Ernst Haeckel fut le premier à proposer, dès 1868, une succession de stades évolutifs copiée sur celle des stades embryologiques du cnidaire *Monoxenia darwini*: une simple cellule devient un agrégat de cellules simples (moraea), puis une vésicule sphérique constituée d'une couche de cellules identiques (blastaea), puis une structure à deux feuillets avec cavité intestinale (gastraea). On constate que, dans l'esprit de Haeckel, la multicellularité a été acquise avant la différenciation cellulaire.

Or on sait maintenant que les filastères, comme les métazoaires, présentent une différenciation cellulaire. Mais attention, pas la même! Chez *C. owczarzaki*, elle est successive – les stades se suivent –, tandis que chez les métazoaires, elle est simultanée – plusieurs types cellulaires

LE CYCLE DE *C. OWCZARZAKI*



coexistent en même temps dans l'organisme. Étant donné que l'ancêtre commun de *C. owczarzaki* et des métazoaires était unicellulaire, on peut faire l'hypothèse que d'un point de vue évolutif, la différenciation cellulaire a d'abord été successive avant de devenir simultanée. Autrement dit, la régulation de la différenciation est passée de temporelle à spatiale.

C'est maintenant que l'observation de la différence de la voie Notch décrite ci-dessus prend tout son sel. En effet, chez les métazoaires, cette voie est dite juxtacrine, c'est-à-dire qu'elle joue entre deux cellules en contact. Notch est une protéine transmembranaire, mais Delta aussi. Donc l'activation de la voie Notch d'une cellule est réalisée par une voisine. Chez *C. owczarzaki*, dans l'agrégat pluricellulaire, les cellules ne se touchent pas. La voie Notch est présente, mais elle est activée par des signaux de l'environnement. On voit donc que le passage successif/simultané s'est réalisé par complication d'un environnement qui intègre les autres cellules de l'organisme pluricellulaire.

Ainsi, la gastraea de Haeckel n'a jamais existé. L'ancêtre commun des métazoaires n'a jamais été «simple», car, dès l'origine, il a dû présenter une différenciation cellulaire élaborée. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Sebé-Pedrós et al.,
The origin of Metazoa : A unicellular perspective,
Nature Reviews Genetics,
vol. 18, pp. 498-512, 2017.

A. Sebé-Pedrós et al.,
The dynamic regulatory genome of *Capsaspora* and the origin of animal multicellularity, *Cell*,
vol. 165, pp. 1224-1237, 2016.

K. V. Mikhailov et al.,
The origin of Metazoa : a transition from temporal to spatial cell differentiation, *Bioessays*,
vol. 31, pp. 758-768, 2009.

A. Owczarzak et al.,
The destruction of *Schistosoma mansoni* mother sporocysts in vitro by amoebae isolated from *Biomphalaria glabrata* : An ultrastructural study, *J. Invertebr. Pathol.*,
vol. 35, pp. 26-33, 1980.

DÉCOUVREZ LES ARCHIVES DE **POUR LA SCIENCE**



RETROUVEZ TOUS
LES NUMÉROS
DEPUIS 1996

COMPLÉTEZ
VOTRE COLLECTION
SUR www.pourlascience.fr



L'AUTEUR



HERVÉ THIS
physicochimiste,
directeur du Centre
international de
gastronomie moléculaire
AgroParisTech-Inra, à Paris

DIVISER POUR MIEUX SE RÉGALER

Pour confectionner de meilleures charcuteries, on peut jouer sur la taille des divers ingrédients assemblés dans la préparation finale.

Changer les produits alimentaires traditionnels semble difficile, car ils sont définis par la réglementation. Ainsi, on sait produire des boissons faites de 89 % d'eau, 10 % d'éthanol et 1 % de sucres, composés phénoliques, divers acides, éléments minéraux et composés odorants, mais ces boissons ne seront jamais du vin, puisque ce dernier est défini comme le produit de la fermentation du jus de raisin.

Pour d'autres produits, la place à l'inventivité n'est pas grande, sous peine que le produit ne soit pas reconnu comme traditionnel. Pour les charcuteries, la tradition fossilise les recettes. Pourrions-nous trouver une issue ?

Nombre de charcuteries comportent de la chair (du tissu musculaire) et de la matière grasse. Ces deux matériaux sont souvent divisés, notamment à l'aide d'un hachoir. Par exemple, dans un saucisson, de petits cubes de gras (blanc) sont dispersés dans la chair broyée (rouge), à l'intérieur d'un boyau. La question est : quelle serait la taille « optimale » de ces petits cubes ?

Pour répondre à la question, souvenons-nous que les préparations pour glace font des granités quand elles sont refroidies lentement dans le compartiment à glace d'un réfrigérateur, alors que les mêmes préparations forment de petits cristaux quand elles sont refroidies plus rapidement, à la température d'un congélateur, avec, de surcroît, une agitation du milieu. C'est comme lorsqu'on évapore de l'eau salée rapidement ou lentement : dans le premier cas, on forme de petits cristaux, mais, dans le second cas, on forme de gros cristaux. Pour les glaces comme pour l'eau salée, la cristallisation

*Tiens, voilà
du boudin... Mais
son goût dépend
de la taille des
composants réunis
à l'intérieur
du boyau.*



se fait autour de « germes », qui peuvent être des particules (poussière, fibres, etc.), mais quand l'agrégation des molécules d'eau peut se faire tranquillement, elle favorise l'empilement régulier en gros monocristaux.

En quoi cela est-il important ? La question du goût est essentielle bien sûr et les composés qui donnent du goût sont dans une solution surfondue entre les cristaux. Or plus les cristaux sont petits, plus la surface exposée est grande (pour un même volume de produit) et plus le goût est perçu. La division permet un accès rapide des molécules sapides ou odorantes, par exemple, aux récepteurs sensoriels de la langue.

Pour la même raison, du pistou broyé au mixeur électrique a un goût plus net, quand on le met en bouche, que le pistou fait au mortier et au pilon, où la division des ingrédients est moindre. De même, la mayonnaise a plus le goût de l'huile dont elle est faite au mixeur que quand elle est produite à la fourchette : dans le mixeur, la taille des gouttes d'huile est environ 100 fois plus petite.

En charcuterie, dans la mesure où l'on doit disperser de la matière grasse et de la chair, on obtiendra plus de goût si l'on divise finement les deux composantes, chair et matière grasse. En revanche, on risque d'avoir moins de longueur en bouche. D'où la proposition de mêler deux types de préparations : les deux composantes, chair et gras,

finement broyées, et ces deux mêmes composantes divisées grossièrement, en particules un peu plus petites que la taille des dents, puisque ces dernières sont notre « mètre étalon » pour la détermination des tailles en bouche : l'homme est la mesure de toutes choses, disait Protagoras !

Ainsi, avec la division fine, nous aurons un goût en attaque ; puis, avec la division grossière, nous aurons de la longueur en bouche. Et c'est ainsi que nous aurons des charcuteries « traditionnelles » améliorées. ■



LA RECETTE

- 1 Mélanger de la chair fraîche de porc (épaule, jambon, échine, poitrine, par exemple) et du gras « dur » frais (lard dorsal de porc, gras de couverture des jambons...), puis hacher la mée.
- 2 Diviser le produit obtenu en deux parties (proportions selon votre goût).
- 3 Passer une des moitiés au cutter, puis mélanger cette partie à la partie simplement hachée.
- 4 Ajouter alors sel, sucre, épices, éventuellement salpêtre ou sel nitré et laisser reposer quelques heures.
- 5 Mettre en boyaux et entreposer dans une pièce fraîche (entre 10 et 15 °C) non ventilée.
- 6 Éventuellement, placer quelques heures dans une pièce où la température est supérieure à 20 °C.
- 7 Enfin, faire sécher dans un local légèrement ventilé.