

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE** EN TOUTE LIBERTÉ

OFFRE
SPÉCIALE
40
ANS

FORMULE
INTÉGRALE
-46%



8,20€*

FORMULE
PASSION
-34%



6,50€*

FORMULE
DÉCOUVERTE
-33%



4,90€*

EN CADEAU AVEC VOTRE ABONNEMENT LE LIVRE "RELATIVITÉ ET QUANTA : UNE NOUVELLE RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE..."

LHC, particules, trous noirs, cosmologie... Enfin un point clair et concis sur la dernière révolution scientifique ! Ces trois dernières années, les moissons scientifiques ont été exceptionnellement fructueuses, de la découverte du boson de Higgs à celles des ondes gravitationnelles émises lors de la coalescence de deux trous noirs massifs, et aux observations du fond cosmologique par le satellite Planck. L'humanité vient alors d'atteindre un nouveau palier dans la compréhension du monde quantique et du monde de la gravitation : nos bases théoriques, expérimentales et technologiques forment un socle scientifique solide pour aller plus loin et tenter de répondre aux nouvelles questions qui surgissent suite à ces découvertes... Enquête et mise au point sur une révolution en cours.

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ **OUI**, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** EN PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE, JE CHOISIS MA FORMULE ET JE COMPLÈTE L'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT CI-DESSOUS.

☐ **FORMULE INTÉGRALE**
12 n° de Pour la Science + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996
+ Le livre "Relativité et quanta :
une nouvelle révolution scientifique..."

8,20€
Par mois
-46%
IPV8E20K9

☐ **FORMULE PASSION**
12 n° de Pour la Science
+ 4 Hors-Séries
+ Le livre "Relativité et quanta :
une nouvelle révolution scientifique..."

6,50€
Par mois
-34%
PPV6E50K8

☐ **FORMULE DÉCOUVERTE**
12 n° de Pour la Science
+ Le livre "Relativité et quanta :
une nouvelle révolution scientifique..."

4,90€
Par mois
-33%
DPV4E90K2

MES COORDONNÉES

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____ @ _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

* Par mois et par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives et la valeur du livre. Vous pouvez également si vous le souhaitez acquérir séparément le livre "Relativité et quanta : une nouvelle révolution scientifique..." au prix de 10€, chaque n° de Pour la Science au tarif de 6,50€, notre n° spécial au tarif de 6,95€ et nos hors-séries au tarif de 7,50€. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/03/2018 en France métropolitaine uniquement et dans la limite des stocks disponibles. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science. Votre abonnement en prélevement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre. Photos non contractuelles.

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

PAG17481P

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse – 75014 Paris
N° ICS FR92ZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

Merci de joindre impérativement un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris

Sa bouche est une ventouse
en forme d'entonnoir.

LE VER, L'ESCARGOT ET L'AMIBE

Ou comment la lutte contre un ver parasite de l'homme a révolutionné notre vision de l'origine des animaux...

Il y a encore quelques années, *Capsaspora owczarzaki* n'était connu que de quelques zoologistes. Mais récemment, cet organisme unicellulaire au nom imprononçable est devenu la coqueluche des évolutionnistes : sa situation phylogénétique alliée à ses caractéristiques biologiques en font un organisme exceptionnel pour comprendre comment les animaux pluricellulaires ont pu apparaître.

UN ESCARGOT PARASITÉ

Comme souvent en biologie, cette découverte s'est produite à la suite d'un invraisemblable concours de circonstances. Tout commence par la lutte contre la bilharziose, une maladie parasitaire provoquée par les schistosomes, des vers plathelminthes hématophages sévissant dans les zones tropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud. Le parasite se reproduit suivant un cycle complexe nécessitant le passage par un hôte intermédiaire, un gastéropode pulmoné d'eau douce proche des planorbes. En Amérique du Sud et dans la Caraïbe, il s'agit de *Biomphalaria glabrata*, colonisé par *Schistosoma mansoni*. La forme infestante de l'homme est la cercaire, une larve nageuse évadée du

gastéropode et qui traverse la peau par effraction. Après des migrations dans le système cardiovasculaire et plusieurs métamorphoses, le parasite s'installe près du foie et y devient sexuellement mature. Les œufs pondus par la femelle passent dans l'intestin et sont évacués avec les fèces. Dans l'eau douce, l'œuf éclôt et donne le miracidium, une larve ciliée nageuse qui infeste *B. glabrata* et s'y transforme en sporocyste, d'où bourgeonnent les cercaires. La lutte contre la bilharziose nécessite donc la connaissance précise de la vie de cet escargot.

Plusieurs équipes se lancent donc dans l'étude de la biologie de *B. glabrata*. C'est ainsi qu'au cours des années 1970, certaines souches résistantes à *S. mansoni* sont découvertes, entre autres à Porto Rico. Alfred Owczarzak, zoologiste à l'université d'Oregon, aux États-Unis, découvre en 1979 que des cellules à l'allure d'amibes circulent dans l'hémolymphe du gastéropode, s'attaquent aux sporocystes du schistosome et s'en nourrissent. Réussissant à cultiver ces cellules, Owczarzak comprend qu'elles ne proviennent pas de l'animal (comme nos globules blancs) : ce sont des organismes unicellulaires symbiotes qui débarrassent *B. glabrata* de ses parasites.



Schistosoma mansoni
Taille : 1 cm env. (mâle)
1,4 cm env. (femelle)



Biomphalaria glabrata
Taille : 0,5 à 1 cm
(coquille)

Hermaphrodite
simultané (mâle et
femelle en même
temps), il pratique
l'autofécondation.

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...

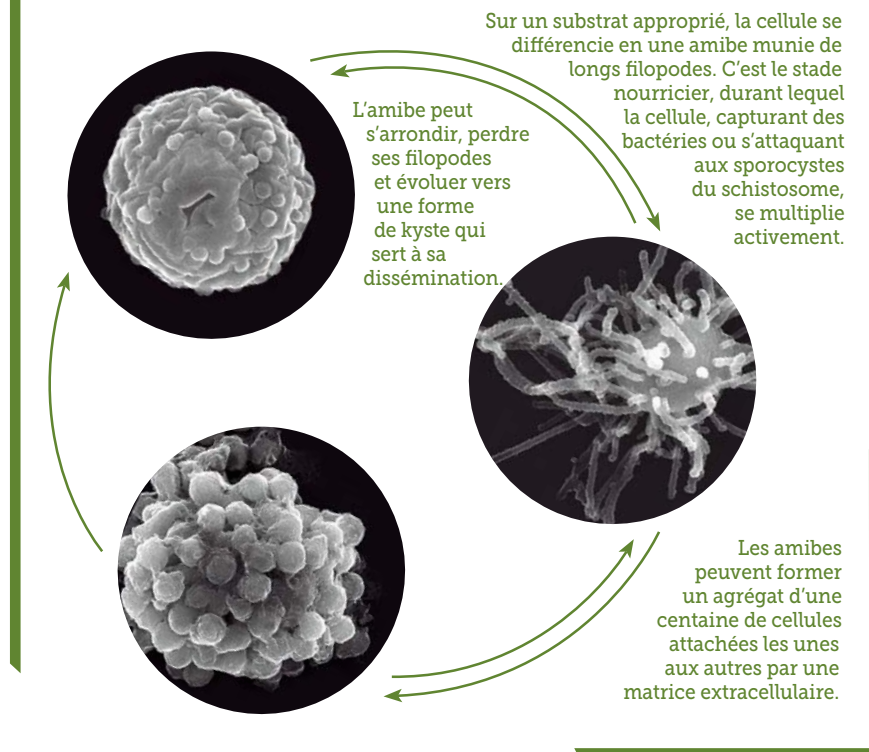
Ces résultats sont fascinants, car ils signifient que la plupart des gènes impliqués dans la multicellularité et le développement des métazoaires étaient déjà présents chez l'ancêtre commun unicellulaire des métazoaires et des filastères. Il y a donc eu cooptation de gènes ancestraux pour de nouvelles 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

