

> de ces animaux, c'est-à-dire la similitude qui correspond à l'héritage d'un ancêtre commun.

Au vu de la segmentation du corps et des mues de la cuticule, les zoologistes ont très vite rapproché les tardigrades des arthropodes. Logiquement, ils ont proposé que les têtes des animaux de ces deux taxons étaient homologues, avec pour conséquence l'homologie des quatre segments des tardigrades avec les premiers segments du corps des arthropodes. Pourtant, des difficultés ont immédiatement été notées, en particulier l'originalité du cerveau des tardigrades par rapport aux autres panarthropodes.

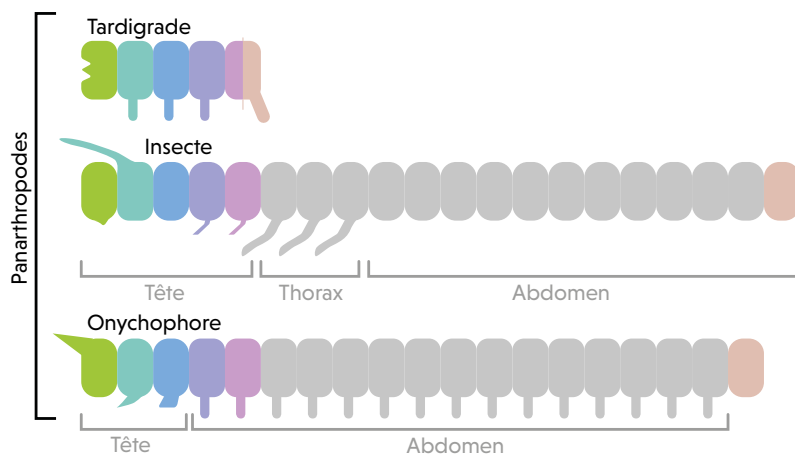
Si, à l'époque, il n'y avait pas d'autres outils à disposition que l'observation, il en est tout autrement aujourd'hui. Depuis une vingtaine d'années, on sait que l'organisation des animaux à symétrie bilatérale est contrôlée, suivant l'axe antéropostérieur, par des gènes particuliers dits homéotiques: des gènes homologues qui organisent le développement d'organismes aussi variés que les vertébrés, les arthropodes, les annélides, les mollusques... Bref, une même boîte à outils moléculaires permet la structuration d'animaux très différents. Or leur ordre sur le chromosome est identique à celui de leurs lieux d'action suivant l'axe antéropostérieur. Ainsi, en comparant les lieux d'expression de ces gènes chez les différents panarthropodes, il devrait être possible de déterminer si leurs têtes et segments sont bien homologues, en supposant que les lieux d'expression de ces gènes homologues sont homologues.

UNE TÊTE SUR PATTES

C'est le pari qu'ont fait Frank Smith et Bob Goldstein, de l'université de Caroline du Nord, aux États-Unis, en comparant le génome de *Hypsibius dujardini*, une espèce de tardigrade, et les transcriptomes (l'ensemble des gènes exprimés) de trois espèces (dont *H. dujardini*) avec ceux d'euarthropodes et d'onychophores. Les résultats sont étonnants. Autant euarthropodes et onychophores ont des panoplies géniques identiques, autant les tardigrades brillent par leur originalité: chez eux, il manque les gènes majeurs qui, chez les insectes, structurent le thorax et l'abdomen! Les segments du tardigrade seraient-ils homologues de la tête des insectes? Oui, ont montré les deux chercheurs (voir l'encadré ci-dessus). On comprend pourquoi Florian Maderspacher, éditeur à la revue *Current Biology* qui a publié ces travaux, a surnommé les tardigrades *walking heads*!

COMME DES TÊTES D'INSECTES

Les seuls gènes homéotiques dont disposent les tardigrades sont des gènes qui définissent la partie antérieure des autres panarthropodes (et celui qui code leur extrémité postérieure). Chez les insectes, cette partie antérieure représente la tête. Les tardigrades seraient-ils homologues de la tête des insectes? Pour l'affirmer, il restait une difficulté à résoudre: les gènes homéotiques ne s'expriment pas dans les deux premiers segments de la tête des insectes et ne peuvent donc servir de moyen de comparaison. Toutefois, un autre gène du développement – *otd* – s'exprime dans leur premier segment (en vert ci-dessous). Or son étude chez les tardigrades montre qu'il s'exprime dans toute leur tête. Ainsi, la tête du tardigrade est homologue non pas de la tête d'un insecte, mais de son premier segment! Et les quatre segments suivants sont homologues des quatre segments qui poursuivent la tête de l'insecte. Le tardigrade est donc homologue de la tête d'un insecte!



Par quel chemin évolutif en est-on arrivé là? La panoplie complète de gènes homéotiques se trouvant aussi chez les annélides et les vertébrés, cela signifie qu'elle est plus ancienne que l'ancêtre hypothétique commun aux panarthropodes. La version incomplète des tardigrades correspond donc à une perte secondaire, corrélée à la disparition d'une grande partie du corps de l'animal.

Chez les arthropodes, on connaît deux grands types de développement: celui à bandelette germinative longue et celui à bandelette germinative courte. Dans le premier cas, le très jeune embryon est constitué d'une bandelette qui va donner l'ensemble des segments de l'animal. Il en est ainsi, par exemple, chez la drosophile. Dans l'autre cas, la bandelette est courte, c'est-à-dire que seules les ébauches des premiers segments antérieurs sont présentes, les autres segments se constituant au fur et à mesure par croissance postérieure de l'embryon. On peut se représenter le tardigrade comme le résultat de l'embryogenèse d'une bandelette germinative courte qui n'a pas eu de croissance postérieure. L'évolution aurait favorisé une durée de développement courte, produisant des adultes de la taille de la jeune larve. Le mignon ourson d'eau n'a décidément rien à envier au *walking dead*... ■

BIBLIOGRAPHIE

F. W. Smith et B. Goldstein, **Segmentation in tardigrade and diversification of segmental patterns in Panarthropoda**, *Arthropod Structure & Development*, vol. 46, pp. 328-340, 2017.

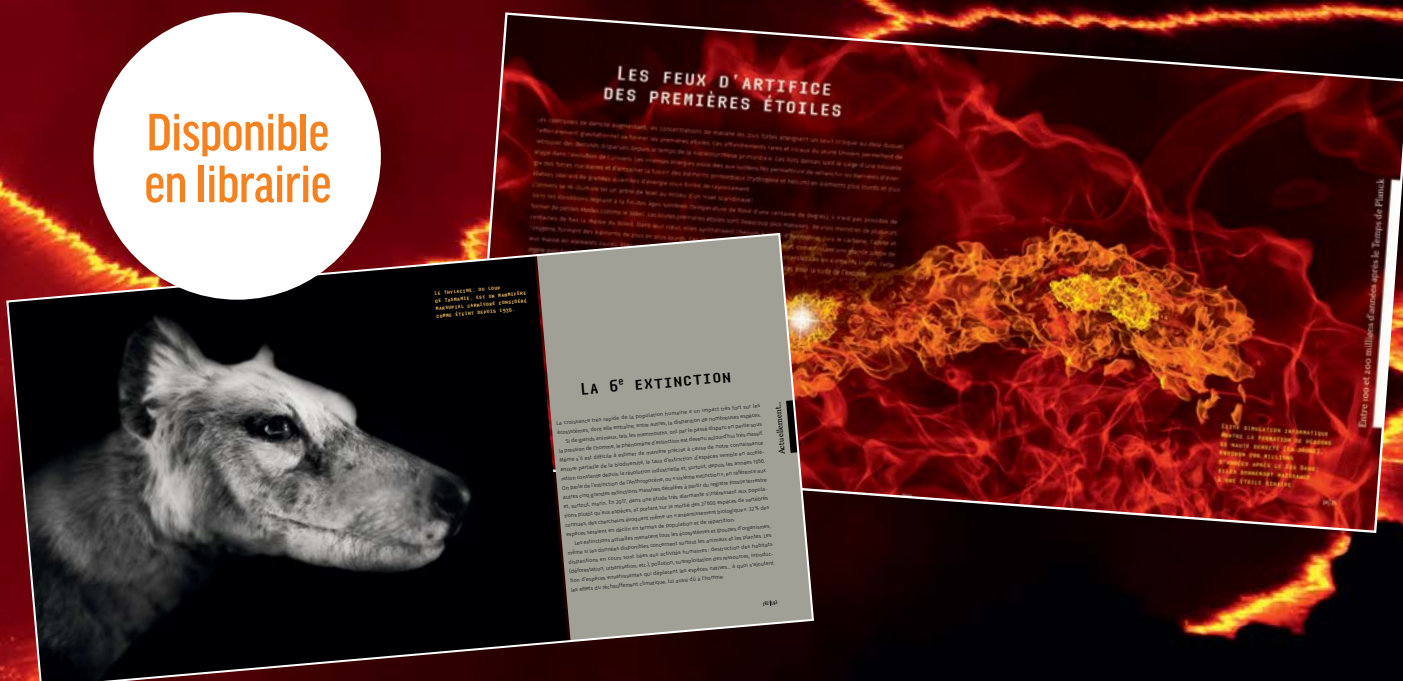
F. W. Smith et al., **The compact body plan of tardigrades evolved by loss of a large body region**, *Current Biology*, vol. 26, pp. 224-229, 2016.

F. W. Smith et E. L. Jockusch, **The metameric pattern of *Hypsibius dujardini* (Eutardigrada) and its relationship to that of other panarthropods**, *Frontiers in Zoology*, 11 : 66, 2014.



Un voyage unique dans l'histoire de l'Univers, de la Terre et du vivant

Disponible
en librairie



Belin:
ÉDITEUR

Suivez-nous et abonnez-vous à notre newsletter sur www.belin-editeur.com

/EditionsBelin • @editions_belin

L'AUTEUR



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

DES SQUELETTES CROUSTILLANTS

Les matières grasses empêchent les feuilletages de s'amollir, et permettent ainsi d'inventer de nouveaux mets croustillants.

La minceur des feuillets fait le croustillant des pâtes feuilletées: au lieu d'avoir le craquement unique d'une épaisse couche de pâte, on a en bouche une succession de petites ruptures, chacune associée à un son particulier, cette succession engendrant le son spécifique des croustillants.

Toutefois, on souhaite souvent associer à la pâte feuilletée une préparation qui a du goût et une consistance plus souple; hélas, l'eau qu'elle contient détrempe les feuillets, ce qui tue le croustillant. Comment protéger la pâte feuilletée? En imperméabilisant par de la matière grasse... Cela conduit à imaginer un système culinaire nouveau, que j'ai nommé «odier».

Analysons la question de la protection de la pâte feuilletée. La cuisson de la pâte la met dans un état dit vitreux, où les molécules forment un solide amorphe (non cristallisé): au refroidissement de la pâte, les chaînes de ces polymères que sont les amyloses et les amylopectines de l'amidon ne peuvent plus bouger suffisamment pour s'ordonner en cristaux et sont figées dans des positions désordonnées. La pâte cuite, dans son état vitreux, est cassante comme le verre, qui a donné son nom à cet état de la matière.

À l'air libre, les pâtes feuilletées s'amollissent, parce que l'humidité de l'air est absorbée et que l'eau joue alors un rôle de plastifiant, séparant les chaînes de polymères et leur permettant de bouger. Comment l'éviter? Si l'eau est une menace pour les feuillets croustillants, il suffit de protéger ces derniers par une couche qui fasse barrière. Or les cuisiniers savent que badigeonner des viandes avec de l'huile prévient l'évaporation de l'eau. Il est

d'ailleurs facile de vérifier que, dans un tube, de l'eau recouverte d'une couche d'huile, même mince, ne s'évapore pas (mon test a duré un an). En application de cette idée simple, chacun peut faire cuire un feuilletage en forme de tarte, puis badigeonner l'intérieur avec du beurre de cacao (chocolat blanc) fondu. Avec deux ou trois couches successives, histoire de bien recouvrir tout le feuilletage, on parvient sans difficulté à faire séjourner de l'eau dans le fond de tarte. Nous y avons même mis un poisson rouge!

Or l'éventail des matières grasses alimentaires ne se limite pas à l'huile ou au beurre de cacao. Pourquoi ne pas utiliser du beurre? Ou du chocolat? Ou de la graisse de foie gras, pour des plats salés?

Allons plus loin. Qu'avons-nous fait? Mis un peu de «chair autour des os». On peut faire plus. Par exemple, si nous immergeons un petit bloc de pâte feuilletée dans un parallélépipède de chocolat fondu, que nous laissons ensuite prendre par refroidissement, nous obtenons un squelette croustillant au centre du carré, ajoutant du croustillant dans le croquant.

Et en immergeant dans du beurre? À condition que ce beurre ait été clarifié, c'est-à-dire qu'on l'ait débarrassé de son eau, par chauffage lent, puis décantation de la matière grasse, on obtient à nouveau une armature, un échafaudage croustillant au

Immergés dans
de la matière grasse,
ces feuilletés
ne perdront pas
leur croustillant!



centre d'un solide mou (si la température n'est ni trop basse ni trop haute, bien sûr).

Dans de la graisse de foie gras? Dans de la matière grasse de fromage? Dans un glaçon d'huile d'olive? Dans du beurre noisette? Les voilà, ces systèmes que je propose de nommer des odiers, en l'honneur du chimiste français Auguste Odier, quiisola la chitine de l'exosquelette d'arthropodes en 1823... ce qui doit nous faire penser que le squelette croustillant peut tout aussi bien être à l'intérieur qu'à l'extérieur! ■



LA RECETTE

- 1 Avec 200 grammes de farine et un peu d'eau, faire de la pâte que l'on étale en un disque d'environ 1 centimètre d'épaisseur.
- 2 Y déposer 100 à 200 grammes de beurre malaxé, en un disque plus petit.
- 3 Replier la pâte sur le beurre en l'enfermant comme une lettre dans une enveloppe.
- 4 Au rouleau, étendre trois fois plus long que large, et replier en quatre. Répéter l'opération d'étalement et de repliement.
- 5 Cuire au four à 170 °C pendant 50 minutes, afin d'obtenir un feuilletage très sec, donc très croustillant.
- 6 Préparer un beurre noisette en chauffant du beurre dans une casserole, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles (de vapeur d'eau).
- 7 Tremper le feuilletage dans le beurre noisette et faire prendre le système en refroidissant.

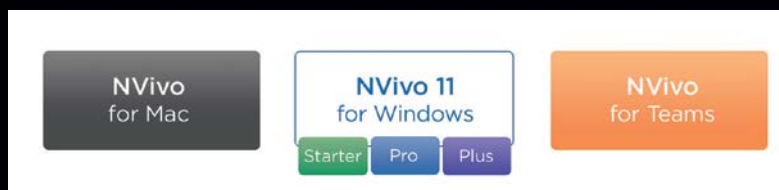


Le logiciel #1 de l'analyse qualitative de données

Le plus performant des logiciels d'analyse qualitative

La suite NVivo vous fournit les outils nécessaires pour parvenir à des interprétations probantes de vos données.

Ce logiciel vous aide à explorer, à analyser et à extraire l'information avec facilité dans les documents, les fichiers PDF, les vidéos, les réseaux sociaux, les photos et les fichiers audio.



www.ritme.com

Distributeur officiel en France, Suisse, Belgique et Luxembourg

RITME - 72 rue des Archives, 75003 Paris, France - +33 (0) 1 42 46 00 42

© 2017 RITME - NVivo est une marque déposée de QSR International. Toutes les marques déposées sont la propriété de leurs sociétés respectives.

A

PICORER



Retrouvez
tous nos articles sur
www.pourlascience.fr

P.80

15

C'est le nombre de formes de pentagones convexes qui pavent le plan, pas une de plus ! Le mathématicien français Michaël Rao a prouvé qu'on n'en trouverait jamais d'autres.

P.40

RAYONS

Les passagers d'une mission aller-retour vers Mars recevraient une dose de rayons cosmiques de 0,48 milligray par jour pendant un an. Au total, c'est près de 6 000 fois la dose absorbée au cours d'un vol de New York à Los Angeles (quelques heures), qui est de 0,03 milligray...

P.36

« Un retour d'échantillons martiens est envisagé, mais ne sera pas possible avant 2030 »

FRANCES WESTALL
membre de la mission ExoMars 2020

P.7

75 %

La biomasse d'insectes volants a diminué de 75 % durant ces 27 dernières années en Allemagne... et donc probablement aussi en Europe occidentale.

P.26

EXAPTATION

En biologie, certains traits simples peuvent évoluer et aboutir à des structures remplissant une autre fonction. Par exemple, les plumes ont d'abord servi de thermorégulateurs avant de favoriser l'adaptation au vol. Les paléontologues Stephen Jay Gould et Elisabeth Vrba ont nommé ce phénomène exaptation en 1982.

P.92

CRYPTOBIOSE

La très petite taille des tardigrades, des animaux de 0,1 à 1,7 millimètre, autorise leur déshydratation rapide. Ils entrent alors dans un état latent indestructible, la cryptobiose, qui leur permet de résister à des conditions extrêmes habituellement létales pour les organismes vivants, comme une température proche du zéro absolu.

P.56

FRUGAL

Un trou noir supermassif au centre d'une galaxie telle que la Voie lactée avale en moyenne une étoile tous les 100 000 ans. Un repas frugal, mais remarquable : l'événement produit pendant quelques mois un intense sursaut lumineux.

DU 12 DÉCEMBRE 2017 AU 19 AOÛT 2018

EXPO

PASTEUR



Palais

DÉCOUVERTE

L'EXPERIMENTATEUR

Ⓜ FRANKLIN ROOSEVELT Ⓜ CHAMPS-ÉLYSÉES CLEMENCEAU
PALAIS-DECOUVERTE.FR / #PASTEUR



AVEC LA COLLABORATION DE



Institut Pasteur

AVEC LE SOUTIEN DE
SANOFI PASTEUR

arte

20
ANIVERSAIRE

l'express

SCIENCE

l'éléphant

Usbek & Rica

Histoires VRAIES

Wondercity

HUFFPOST