

EN CHIFFRES

1 238

espèces de tardigrades sont connues dans le monde.

2 millions

d'individus par mètre carré, c'est la densité de tardigrades que l'on observe parfois sur des mousses.

– 273 °C

Les tardigrades supportent cette température pendant 20 heures, et – 200 °C pendant 20 mois. Des tardigrades ont ainsi survécu à 2000 ans d'emprisonnement dans des calottes glaciaires. La chaleur ne les perturbe pas plus : ils supportent une température de 150 °C pendant quelques instants...

Le système nerveux est constitué d'un « cerveau » (protocérébron) à deux lobes qui innervent les yeux, connecté à un anneau qui entoure le pharynx et relié à quatre ganglions, un pour chaque paire de pattes. Chez les autres panarthropodes, le cerveau est moins connecté au reste du système nerveux.

Le tube digestif est constitué d'une bouche munie de stylets perforateurs (qui seraient des griffes transformées), d'un pharynx fonctionnant comme une pompe, d'un œsophage, d'un estomac large, d'un rectum court et d'un anus.

L'animal n'a que des muscles longitudinaux lisses, d'où son déplacement lent.

Pas d'organe respiratoire. Les gaz s'échangent à travers la surface humide de l'animal et diffusent jusqu'aux tissus.

zoologistes pour leur trouver une place logique dans la classification animale. La segmentation les rapprocherait des annélides (l'ensemble des vers annelés) ou des arthropodes, mais l'absence de tout système interne circulatoire, respiratoire et excréteur pose question.

COUSIN DES ARTHROPODES ?

Les phylogénies moléculaires les plus récentes placent les tardigrades dans l'embranchement des panarthropodes, avec les onychophores et les euarthropodes (les arthropodes actuels). Les onychophores – « porteurs de griffes » – sont de longs animaux segmentés, chaque segment étant pourvu d'une paire d'appendices marcheurs. Ils vivent dans des aires fragmentées, toutes au sud du tropique du Cancer, provenant de la fracturation du continent de Gondwana. Les euarthropodes regroupent des taxons bien connus – crustacés, arachnides, mille-pattes, insectes. Ils présentent eux aussi de nombreux segments.

Le regroupement de ces trois taxons – tardigrades, onychophores et euarthropodes – au sein du superphylum des panarthropodes implique que l'organisation de chacun soit héritée d'un ancêtre hypothétique commun, dont on devrait pouvoir reconstruire la structure. De nombreuses questions se posent alors. Notamment, l'ancêtre avait-il de nombreux segments ou seulement quatre, comme les tardigrades ? Répondre à une telle question revient à trouver l'homologie entre les différentes parties du corps

munies de griffes, mues par de seuls muscles longitudinaux (ils n'ont pas de muscles transverses). Ils portent une cuticule complexe, constituée de chitine (le principal composant de l'enveloppe externe des insectes), de protéines et de mucopolysaccharides (des groupements de glucides), avec des mues périodiques. Chez certaines espèces de tardigrades, elle forme des plaques qui soulignent les différents segments de l'animal.

On distingue ainsi, chez tous les tardigrades, un plan d'organisation homogène : une tête suivie de quatre segments portant chacun une paire de pattes. Pourtant, cette anatomie présente des énigmes, ce qui explique la difficulté des



Tardigrade
Hypsibius dujardini
Taille : 0,5 mm

> 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.

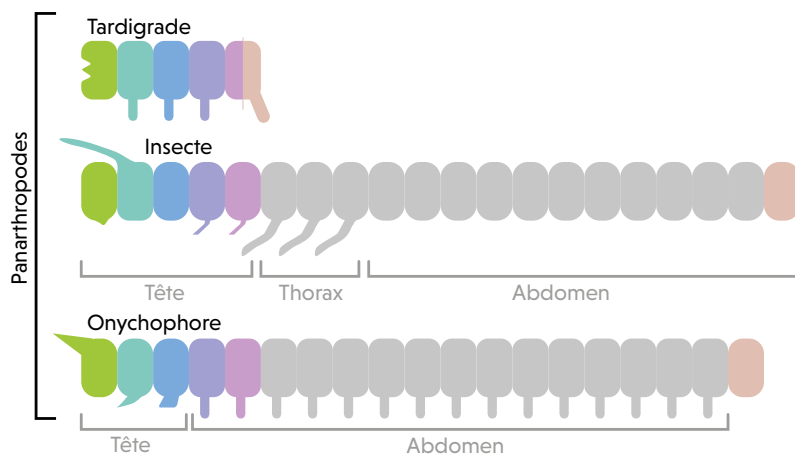
Si, à l'époque, il n'y avait pas d'autres outils à disposition que l'observation, il en est tout autrement aujourd'hui. Depuis une vingtaine d'années, on sait que l'organisation des animaux à symétrie bilatérale est contrôlée, suivant l'axe antéropostérieur, par des gènes particuliers dits homéotiques: 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.