

y résister qu'en formant un tonnelet imperméable aux sels.

En 2007, le tardigrade est devenu le premier animal pluricellulaire ayant survécu dans l'espace. En effet, des spécimens ont été embarqués sur la capsule russe FOTON-M3, dans le cadre de l'expérience européenne BIOPAN 6. Pendant que la capsule était en orbite à 260 kilomètres de la Terre, les chercheurs ont déclenché l'ouverture de boîtiers contenant des tardigrades en état d'anhydrobiose, afin de les exposer directement au rayonnement solaire et au vide spatial. De retour sur Terre, les tonnelets ont été réhydratés. Quelques animaux se sont alors mis à bouger, à manger, à grossir, à muer et à se reproduire : ils avaient survécu.

Au cours de l'été 2011, dans le cadre du projet BIODIS, parrainé par l'Agence spatiale italienne, des tardigrades ont été embarqués à bord de la navette spatiale américaine *Endeavour* et ont été exposés à des rayonnements ionisants. Les résultats sont en cours d'analyse.

Préserver l'ADN

Les puissants rayonnements de l'espace devraient endommager irrémédiablement l'ADN, pourtant certains tardigrades y survivent. Comment ? Une possibilité serait l'existence d'un système de réparation de l'ADN très efficace, ou tout au moins particulièrement résistant, qui se déclencherait lorsque l'animal revient à un stade actif : ainsi, la bactérie *Deinococcus radiodurans* possède des protéines qui supportent de puissantes radiations et réparent ensuite l'ADN, très endommagé par ces dernières. Selon Daiki Horikawa, de l'INSERM, la résistance des tardigrades viendrait plutôt d'un système qui protège l'ADN et empêche sa destruction.

En outre, la résistance active de certaines espèces aux fortes salinités suppose un métabolisme vigoureux : l'animal maintient une salinité acceptable dans son milieu interne en pompant des ions vers l'extérieur, ce qui requiert une dépense d'énergie farineuse. Ainsi, les tardigrades semblent apporter deux types de réponse aux conditions environnementales extrêmes : la réponse passive qu'est l'état de dormance ou de cryptobiose, et l'hyperréactivité du processus de réparation de l'ADN – qui reste à prouver – et de l'osmorégulation. En matière de stratégie d'adaptation évolutive, les tardigrades sont des virtuoses.

Grâce à leurs capacités de survie, ces animaux minuscules ont conquis la quasi-totalité de la planète : de l'Arctique à l'équateur, des zones intertidales (la partie du littoral alternativement couverte et découverte par la marée) jusqu'aux profondeurs des océans... On en a même découvert au sommet des grands arbres, où ils ont probablement été apportés par le vent. À l'état de tonnelets, on les distingue à peine des particules de poussière.

Comme les spores, le pollen et les graines, les tonnelets risquent d'atterrir dans des microenvironnements qui ne leur conviennent pas. Toutefois, quand ils échouent dans un lieu peu favorable, ils n'ont qu'à attendre un changement de saison ou quelques précipitations : dès que les conditions climatiques sont plus clémentes, la vie peut reprendre son cours.

Si les tardigrades de mousses, de lichens ou d'humus sont de grands voyageurs, c'est aussi parce que nombre d'entre eux sont parthénogénétiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent se reproduire sans fécondation – ils produisent directement des œufs. Quelques-uns sont hermaphrodites – ils fabriquent à la fois des gamètes mâles et femelles, et sont capables de s'autoféconder. Un tardigrade isolé est alors en mesure de fonder une population là où il atterrit.

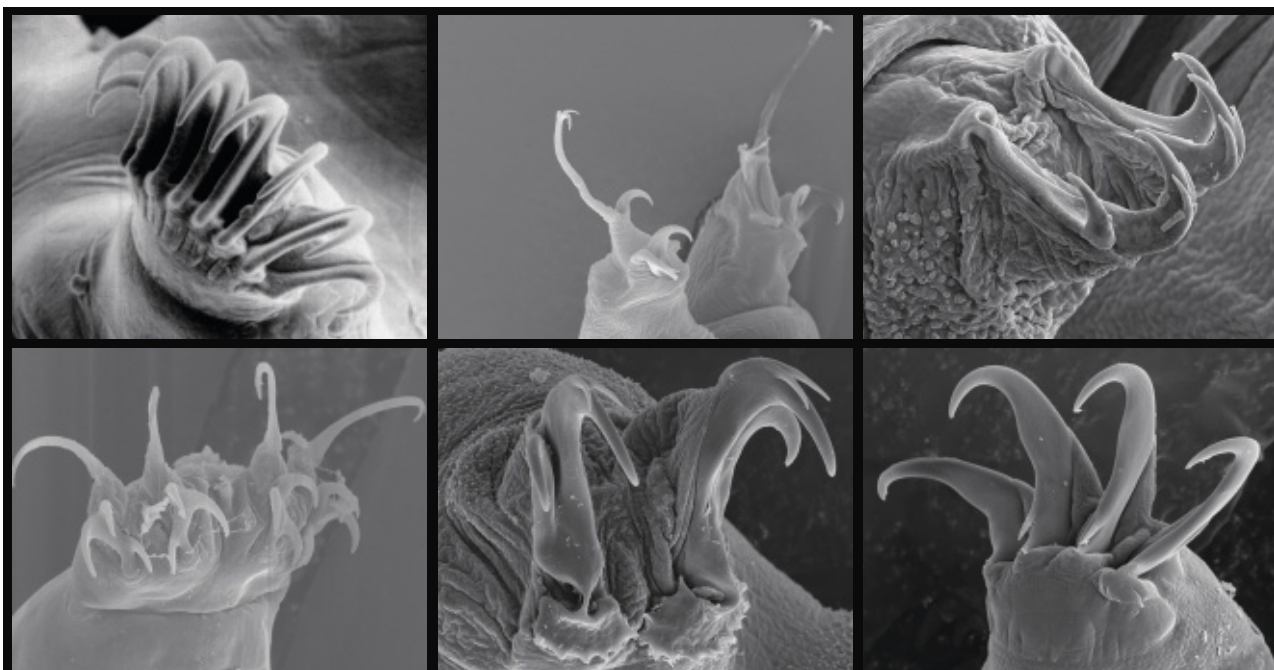
À ce jour, environ 1 100 espèces de tardigrades ont été décrites, mais toutes ne sont pas valables. Il existe des doublons ou des erreurs d'interprétation. En réalité, un millier d'espèces ont été correctement décrites et identifiées. Elles se répartissent en 300 formes marines, 100 d'eau douce et 600 espèces terrestres.



6. LORS DE LA CRYPTOBIOSE, le tardigrade se contracte – il divise sa taille par trois – et prend la forme d'un tonnelet. Dans cet état, il peut résister à des conditions environnementales extrêmes.



7. MULTIPSEUDECHINISCUS RANEYSI sera-t-il un jour le nom de ce tardigrade, vu ici au microscope optique ? C'est en tout cas ce qu'ont proposé l'auteur et son étudiante, Rachel Schulte. Ils ont découvert ce spécimen dans un endroit où son espèce n'avait jamais été repérée. Leurs observations les ont conduits à modifier son classement au sein de l'arbre des tardigrades.



William Miller et Clark W. Bassley, de l'université McMurry

8. CES GRIFFES DE TARDIGRADES sont grossies plusieurs milliers de fois. Leur étonnante variété suggère des adaptations en fonction du mode de vie. Les minuscules crochets sont ainsi très pratiques pour harponner de petits aliments, tandis que les griffes hérissées semblent servir à attaquer des proies plus grosses. Les

griffes pourraient aussi permettre aux mâles d'agripper les femelles lors de l'accouplement – celles situées sur les pattes antérieures de certains mâles sont plus robustes. Elles ont peut-être des formes optimisées pour former un tonnelet lors de la cryptobiose. Cela reste à confirmer.

✓ SUR LE WEB

J. Glime, *Bryophyte Ecology*, 2010 [chapitre sur les tardigrades].
www.bryocool.mtu.edu.

✓ BIBLIOGRAPHIE

R. Kristensen *et al.*, *Survival in extreme environments – on the current knowledge of adaptations in tardigrades*, *Acta Physiologica*, vol. 202, pp. 409-420, 2011.

D. Persson *et al.*, *Extreme stress tolerance in tardigrades: Surviving space conditions in low earth orbit*, *Journal of Zool. Syst. and Ev. Res.*, vol. 49, pp. 90-97, 2011.

W. Welnicz *et al.*, *Anhydrobiosis in tardigrades – the last decade*, *Journal of Insect Physiology*, vol. 57, pp. 577-583, 2011.

Y. Séméria, *Tardigrades continentaux : Oligohydrobiontes et Hétérohydrobiontes*, Fédération française des sociétés de sciences naturelles, 2003.

W. Miller, *Tardigrades : Bears of the moss*, *The Kansas School Naturalist*, vol. 43, pp. 1-16, 1997.

Ces dernières sont plus faciles à repérer et suscitent l'intérêt de nombreux chercheurs depuis longtemps.

La recherche de nouvelles espèces est un domaine très actif. Mes étudiants en ont découvert et décrit quatre, et nous sommes en train de travailler à la confirmation d'une demi-douzaine d'autres. Nous sommes persuadés qu'il en reste un grand nombre à découvrir, notamment dans les milieux non terrestres.

Parfois, une découverte conduit à réviser la classification. C'est ce qui s'est produit en été 2010, dans le cadre de notre programme de Master, conçu pour enseigner la recherche en explorant l'embranchement des Tardigrades en Amérique du Nord. Rachel Schulte, une étudiante, examinait des échantillons collectés quelques années auparavant en Californie. Après une semaine de travail, elle m'apporta un spécimen. Il semblait appartenir à la famille des Echiniscidae et au genre *Pseudechiniscus*, mais quelques caractéristiques ne correspondaient pas : le tube buccal, par exemple, était souple et recourbé, alors qu'il aurait dû être rigide ; en outre, la cuticule était divisée en un nombre inhabituellement élevé de plaques (voir la figure 7).

Nous avons alors consulté la littérature. L'animal ressemblait à une espèce nommée

Pseudechiniscus raneyi, découverte dans les années 1960. Elle avait été rangée parmi les *Pseudechiniscidae* en se fondant sur la description de ce genre, établie en 1911 par Gustav Thulin. Mais en 1987, Reinhardt Kristensen, de l'Université de Copenhague, au Danemark, a redéfini la famille des Echiniscidae, en y ajoutant des genres ainsi qu'en corrigeant et en détaillant la description des genres existants. Or notre tardigrade ne correspondait plus au genre *Pseudechiniscus* – et ne ressemblait pas non plus aux nouveaux genres. R. Kristensen n'avait probablement jamais vu de spécimen de *Pseudechiniscus raneyi*, espèce assez rare, sinon il aurait remarqué cette divergence.

Nous avons alors proposé un nouveau genre, nommé d'après l'un des traits caractéristiques les plus marquants de notre spécimen : la présence de nombreuses plaques cuticulaires. Nous ne pouvions pas changer le nom de l'espèce (le second terme dans le binôme latin), car nous n'en étions pas les découvreurs. Notre tardigrade serait donc un *Multipseudechiniscus raneyi*. L'article qui rend compte de nos travaux est en cours d'examen par une revue scientifique.

Les tardigrades ont donc encore beaucoup à nous apprendre. Outre leur exceptionnelle résistance, leur diversité reste un sujet d'étude et d'étonnement...