

Un geyser du
parc Yellowstone,
aux États-Unis.

Extrêmophile ? Vous avez dit extrêmophile ?

Passifs, actifs ou obligatoires, les organismes extrêmes partagent une même caractéristique : ils sont capables de résister ou d'exiger des conditions environnementales dans lesquelles on a longtemps cru la vie impossible. Une notion que leur découverte nous a obligés à relativiser. D'autant que ces êtres ont des choses à nous apprendre et même à nous offrir.

© R. TILLEY/BSIP

L'auteur

Daniel Prieur

Professeur émérite
Laboratoire de Microbiologie des
Environnements Extrême
UMR 6197, CNRS, Université de Bretagne
Occidentale, Ifremer
Brest

Tous les organismes vivant sur Terre sont le résultat d'une longue et complexe évolution, toujours en marche, débutée il y a plus de 3 milliards d'années. Leur répartition sur notre planète dépend de l'histoire géologique et climatique de cette dernière mais se situe, pour chaque espèce, population ou communauté, dans un espace (biotope) bien défini. Cet espace, dont la dimension va de quelques millimètres cubes pour une bactérie à la quasi-totalité d'un océan pour un grand mammifère marin, permet à chaque espèce d'y accomplir la totalité de son cycle vital. Elle doit y trouver, pour elle-même et sa descendance, les sources de carbone (organique ou inorganique) et les sources d'énergie indispensables (lumière, couples d'oxydoréduction), et bien sûr de l'eau. En outre, chaque espèce vit sous l'influence d'une grande quantité de paramètres biotiques (proies, prédateurs) et abiotiques (température, pression, concentration en sels et en divers éléments, pH, intensité et longueurs d'onde lumineuses...). Pour chaque espèce et chacun de ces paramètres, il est possible de

définir une valeur minimale et une valeur maximale entre lesquelles elle accomplit son cycle vital, et bien sûr, une valeur optimale.

Chaque organisme vivant a des bornes physico-chimiques bien particulières qu'il lui est impossible de franchir. Certaines de ces bornes atteignent des valeurs dites extrêmes (du latin *extremus*, qui est au degré le plus élevé, qui dépasse les limites normales), au-delà desquelles aucune vie n'est possible. C'est au voisinage de ces bornes que vivent les organismes dits « extrêmophiles ».

Il existe ainsi des êtres extrêmophiles parfaitement adaptés aux plus fortes ou aux plus faibles valeurs de chaque paramètre physico-chimique, valeurs qui restent donc compatibles avec la vie. On rencontre des extrêmophiles dans les trois domaines du monde vivant (*Bacteria*, *Archaea* et *Eukarya*) ainsi que chez les virus. L'extrémophilie revêt cependant des caractéristiques très différentes selon le paramètre ou l'organisme considéré. Trois catégories d'extrémophiles permettent d'illustrer cette diversité.

EXTRÊMOPHILES PASSIFS...

Pour une première catégorie d'extrémophiles que l'on pourrait qualifier de « passifs », le cycle vital se déroule dans des conditions « normales » : s'il arrive qu'un paramètre donné atteigne temporairement des valeurs supérieures ou inférieures aux valeurs maximale ou minimale convenant à l'espèce, cette dernière peut mettre en place une forme de résistance qui lui permet d'attendre, sans se diviser et avec un métabolisme très ralenti, un retour à des conditions plus normales. Le cas le plus connu est sans doute celui des spores de certaines bactéries Gram positif capables de survivre plusieurs dizaines d'années et même davantage : des cultures d'une bactérie du genre *Bacillus* (baptisée 2-9-3) ont ainsi été obtenues à partir de spores emprisonnées dans un cristal de sel pendant 250 millions d'années (1) ! Chez les eucaryotes, uni- ou pluricellulaires, on connaît des phénomènes d'enkystement*

*1 Pour se défendre dans des conditions défavorables, certains organismes sécrètent une gangue dure dans laquelle ils restent à l'état de vie latente.

ou de déshydratation, l'exemple le plus spectaculaire étant celui de la famille des Tardigrades. Ses représentants sont capables d'entrer en cryptobiose^{*2} et de survivre plusieurs années déshydratés à 99 % (2). Il ne faut pas non plus oublier que les plantes supérieures possèdent, grâce à leurs graines, plus qu'un mode de dissémination.

... EXTRÊMOPHILES ACTIFS...

Une seconde catégorie d'extrémophiles, que l'on pourrait cette fois qualifier d'actifs, a développé des mécanismes cellulaires et moléculaires qui leur permettent de résister à de modifications profondes des conditions environnementales. Ainsi, les bactéries radio-résistantes, comme la célèbre *Deinococcus radiodurans*, résistent à des doses de radiations très largement mortelles pour la majorité des organismes vivant grâce à des mécanismes sophistiqués de réparation de leur ADN. D'autres bactéries résistent à de très fortes concentrations en métaux lourds toxiques en les transformant en une autre forme chimique, en les expulsant ou, pour les bactéries à Gram négatif, en les concentrant dans l'enveloppe de polysaccharides qui entoure leur membrane externe. Mais ces bactéries n'ont en aucun cas besoin de telles conditions extrêmes pour réaliser leur cycle vital. Il existe aussi des eucaryotes extrémophiles « actifs », tels les invertébrés des sources hydrothermales océaniques, mais les mécanismes de résistance ou de détoxification qu'ils mettent en œuvre sont tellement complexes que la vie en conditions normales leur est pratiquement impossible.

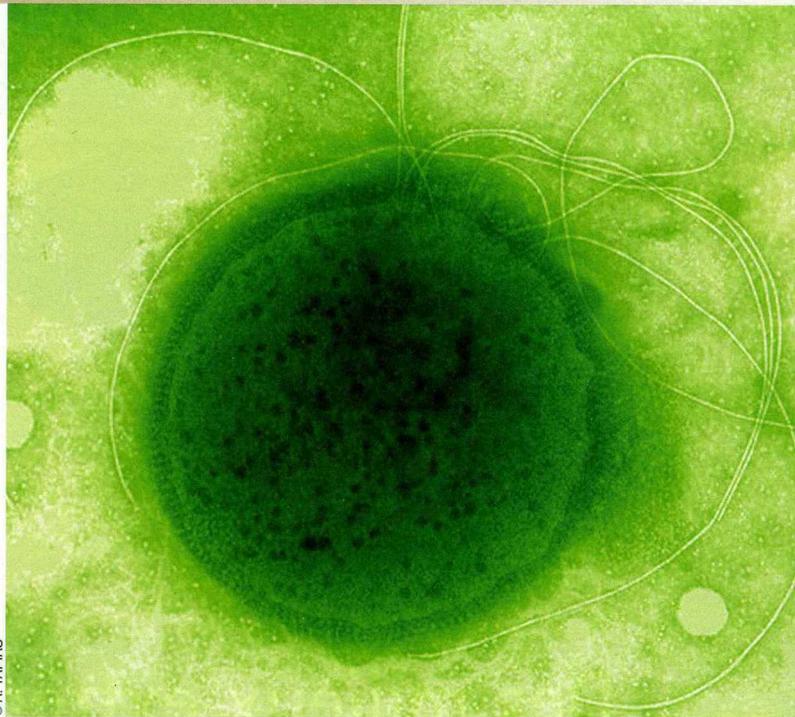
... ET EXTRÊMOPHILES OBLIGATOIRES

Les extrémophiles de la troisième catégorie sont dits « obligatoires », dans la mesure où ils ne peuvent accomplir leur cycle vital que lorsque certains paramètres atteignent les limites connues pour la vie. Ce sont tous des micro-organismes et plus particulièrement

des bactéries et des archées. Pour ne citer que quelques records, les archées du genre *Picrophilus*, isolées d'un solfatare^{*3} japonais, sont les organismes les plus acidophiles connus avec un pH optimal de 0,7. L'archée *Pyrolobus fumarii*, découverte dans une source thermale profonde, se développe, quant à elle, à une température optimale de 106 °C et se divise jusqu'à 113 °C. Mais le premier voit ses membranes se désagréger dès que le pH atteint 4 et le second ne peut se diviser lorsque la température est inférieure à 90 °C ! De nombreux organismes sont même bi-extrémophiles, cumulant deux caractéristiques extrêmes. C'est le cas de deux organismes isolés de sources hydrothermales océaniques : l'archée *Thermococcus gammatolerans* se divise ainsi jusqu'à une température de 95 °C et est capable de résister en même temps à des doses très élevées de rayons gamma, tandis que l'archée *Pyrococcus yayanosii* peut se développer jusqu'à 108 °C, mais exige une pression hydrostatique d'au moins 15 mégapascal pour se diviser.

UNE RECHERCHE NECESSAIRE

Si, pour de nombreux paramètres, les limites extrêmes compatibles avec la vie sont presque connues, il reste sans doute encore de nombreuses combinaisons à rechercher et des multi-extrémophiles à découvrir. Les limites géographiques de la vie sur Terre restent, en effet, à établir. Le biologiste américain Claude Ephraïm Zobell, pionnier de la microbiologie marine, écrivait en 1955 : « *la vie est impossible au delà de 7,47 mètres sous le fond des océans* ». En 2008, une équipe franco-anglaise détectait pourtant la signature moléculaire d'organismes hyperthermophiles^{*4} dans des sédiments marins profonds de 1 600 mètres, record repoussé à plus de 1 700 mètres en 2011 par la même équipe française (3). La nature exacte de ces nouveaux extrémophiles est encore inconnue à ce jour.



© A. TAPIAS

Alors que l'exploration du système solaire se poursuit, avec comme objectif majeur la découverte de traces de vie – d'extrémophiles ? –, en particulier sur Mars, il convient de constater que l'exploration de notre planète n'est pas achevée et que de nombreux biotopes, de nombreux organismes extrémophiles restent à découvrir. De plus, si l'on connaît malgré tout de nombreux extrémophiles, les mécanismes cellulaires et moléculaires qu'ils mettent en œuvre demeurent pour l'essentiel très mal connus.

Dans une période où de nombreux pays connaissent des difficultés économiques sérieuses, certains pourraient s'interroger sur l'opportunité de poursuivre ces recherches indéniablement coûteuses et dont le bénéfice à court terme est incertain. Ce n'est pourtant pas une raison pour renoncer. Dans les années 1960, le microbiologiste américain Thomas Brock découvrait les premiers organismes hyperthermophiles, dont la bactérie *Thermus aquaticus* dans les sources chaudes du parc de Yellowstone, au nord-ouest des États-Unis. À cette époque, qui pouvait imaginer que, près de 20 ans plus tard, la technologie nouvelle de la PCR, basée sur une enzyme thermostable issue de *T. aquaticus*, allait révolutionner la biologie et trouver des applications en écologie, en diagnostic alimentaire et médical, ainsi qu'en criminologie ? ■

^ Comme son nom l'indique, l'archée *Thermococcus gammatolerans* résiste à des doses très élevées de rayons gamma.

*2 Ou anhydrobiose : désigne l'arrêt complet du métabolisme ou un état dans lequel il est impossible de le mesurer

*3 Dépôt volcanique soufre

*4 Capables de vivre à des températures très élevées

(1) Vreeland RH et al. (2000) *Nature* 407, 897-900

(2) Sømme L, Meier T (1995) *Polar Biol* 15, 221-4

(3) Roussel EG et al. (2008) *Science* 320, 1046