

Les thermophiles

Karine Alain, Claire Geslin, Anne Godfroy, Daniel Prieur

Les organismes thermophiles (du grec *thermê*, chaleur et *philein*, aimer) sont des organismes ayant besoin d'une température élevée pour se développer. Plusieurs définitions ont été proposées pour définir la thermophilie. La plus reconnue est celle qui a été proposée par Thomas Brock, le microbiologiste à l'origine de la découverte des micro-organismes thermophiles. Selon cette définition, un thermophile est un être vivant dont la température optimale de croissance se situe au-dessus de 60°C.



*Eruption d'un geyser dans le parc national de Yellowstone, Wyoming, USA.
C'est dans ce parc que Thomas Brock a découvert
les premiers micro-organismes thermophiles. © Wikimedia / Arad Mojtahedi*

Une définition plus pratique et plus large a été proposée par Karl Stetter et qualifie d'organismes thermophiles, tous les êtres vivants se développant à des températures supérieures à 45°C. Cette dernière définition est intéressante car elle définit 3 sous-catégories au sein des thermophiles :

- les **thermophiles modérés** dont les conditions optimales de croissance se situent entre 55 et 65°C
- les **thermophiles extrêmes** dont la température optimale de croissance est comprise entre 65 et 80°C

- et les **hyperthermophiles** dont la température optimale de croissance est supérieure à 80°C

Des organismes thermophiles ont été isolés d'environnements naturels soumis au volcanisme ou au géothermalisme (sources hydrothermales océaniques profondes, sources chaudes terrestres, etc.), mais aussi de biotopes artificiels où les températures sont élevées (canalisations domestiques d'eaux chaudes, installations industrielles, etc.).

Les thermophiles sont dans leur immense majorité affiliés aux 2 domaines de procaryotes (=micro-organismes unicellulaires ne possédant pas de noyau) que sont les Bacteria et les Archaea, mais quelques eucaryotes (=organismes possédant un noyau) thermophiles ont également été décrits. Chez les eucaryotes, les températures maximales de croissance recensées à ce jour se situent aux alentours de 50°C chez les plantes et les animaux, de 60°C chez les algues unicellulaires, de 60-62°C chez les champignons microscopiques et de 70°C chez les protozoaires. Chez les procaryotes, l'on compte un grand nombre d'hyperthermophiles dont beaucoup sont affiliés aux archées. Le micro-organisme le plus hyperthermophile connu à ce jour est l'archée *Pyrolobus fumarii* capable de se diviser à la température maximale de 113°C et incapable de se développer en dessous de 90°C. La croissance d'archées à des températures maximales de 121 voire 122°C a également été rapportée, mais ces résultats sont controversés. Néanmoins, il existe probablement des micro-organismes capables de se développer à ces températures voire même à des températures sensiblement plus élevées. Lors de la campagne BIG, les scientifiques tenteront d'isoler des micro-organismes se développant à des températures supérieures à 113°C en vue de repousser nos connaissances des limites de la Vie en termes de température.

Adaptations physiologiques à la thermophilie

La vie à haute température est rendue possible par un certain nombre de mécanismes adaptatifs et/ou de molécules que l'on retrouve uniquement chez les (hyper)thermophiles. Les protéines des thermophiles et hyperthermophiles sont plus thermostables que celles de leurs homologues mésophiles et fonctionnent de manière optimale à haute température. Néanmoins, il n'existe aucune règle générale permettant d'expliquer cette thermostabilité, chaque protéine adoptant sa propre stratégie de stabilisation. Cette thermostabilité intrinsèque des protéines en général et des enzymes en particulier est le plus souvent due à des modifications mineures de la séquence en acides aminés favorisant le repliement de la protéine sous une forme compacte, avec un nombre réduit de cavités internes, un nombre élevé de ponts ioniques contribuant à maintenir l'ensemble et à résister à la dénaturation. Dans certains cas, il a également été démontré que des protéines chaperonnes permettaient d'améliorer la thermostabilité. Chez certaines archées hyperthermophiles, la synthèse en grandes quantités de solutés osmocompatibles contribue également à protéger les protéines d'une dégradation thermique.

Chez les organismes vivants, la fluidité des membranes augmente avec la température. Les membranes cytoplasmiques des microorganismes thermophiles

possèdent une structure particulière leur permettant de rester stables et fonctionnelles aux températures élevées. Celles des bactéries (hyper)thermophiles sont composées d'une bicouche lipidique formée d'acides gras liés à un glycérol par une liaison ester et sont exceptionnellement riches en acides gras saturés. Cette richesse en acides gras saturés permet d'augmenter la température de fusion de la membrane tout en maintenant une stabilité et une fluidité optimales dans des conditions de thermophilie. Les membranes des archées hyperthermophiles sont, quant à elles, composées d'une monocouche lipidique de longues chaînes d'alcools isopréniques attachés au glycérol par des liaisons éther. Cette structure en monocouche est incontestablement plus thermostable que les structures en bicouche des bactéries.

Thermophilie et biotechnologie

Les enzymes et composés organiques des thermophiles sont convoités pour divers procédés se déroulant à haute température et intéressant des domaines aussi variés que la chimie, la pharmacie, l'agro-alimentaire, ou encore la biologie moléculaire. Les enzymes issus des microorganismes des sources hydrothermales présentent un potentiel important en raison de leur thermostabilité et leur aptitude à résister à la dénaturation sous pression du fait de la piézophilie ou de la piézotolérance de leurs hôtes. Les enzymes de thermophiles ont déjà trouvé ou pourraient trouver des applications dans le blanchiment du papier, la conversion de l'amidon en dérivés sucrés, la dégradation de composés protéiques résistants, l'industrie textile ou le travail de laboratoire sur l'ADN. Plusieurs enzymes provenant de thermophiles des sources hydrothermales sont commercialisées : nombreuses polymérases, ligases, diverses protéases, phosphatases alcalines, beta-mannanase, etc.

Les actions menées dans le cadre de BIG

L'une des particularités du bassin de Guaymas est que son fond est recouvert d'une couche de sédiments très épaisse où percolent des fluides chauds, à des températures pouvant atteindre 200°C. Cette singularité fait qu'il s'établit un gradient thermique très abrupt entre la surface sédimentaire en contact avec l'eau de mer froide et les premiers mètres ou centimètres de dépôts sédimentaires traversés par les fluides surchauffés. La température y passe donc de 5°C à 200°C sur quelques mètres ou quelques centimètres, alors que d'ordinaire, le gradient thermique moyen qui s'établit dans les sédiments marins est plutôt de l'ordre de 30°C/km. Les microbiologistes tenteront de mettre à profit cette singularité des sédiments chauds de Guaymas pour étudier sur des carottes sédimentaires de quelques (centi)-mètres, les communautés microbiennes et virales présentes le long du gradient thermique. Ils étudieront les communautés bactériennes, archéennes, eucaryotiques et virales à l'échelle de la cellule (cultures) et de ses macromolécules (ADN, ARN, etc). Le but ultime de ce travail sera de trouver la frontière thermique à partir de laquelle on ne retrouve plus de vie dans ces sédiments, la limite à partir de laquelle toutes les macromolécules des êtres vivants sont débobinées.