

Les premières bactéries ont-elles vécu dans l'eau bouillante ?

Autor(en): **Aragno, Michel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Actes de la Société jurassienne d'émulation**

Band (Jahr): **93 (1990)**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-550025>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les premières bactéries ont-elles vécu dans l'eau bouillante?

par Michel Aragno

INTRODUCTION

Le titre de cet exposé est intentionnellement provocateur. En principe, dans notre échelle de références, l'eau bouillante implique une stérilisation, en tout cas partielle, de ce qui y est plongé. On stérilise les conserves, les instruments, les aliments, les boissons en les plongeant dans l'eau bouillante ou en les portant à l'ébullition. Le monde végétal et le monde animal vivent en général à des températures n'excédant pas 40 à 50° C. Plonger un oeuf dans l'eau bouillante a pour effet, dix minutes plus tard, d'en ressortir un oeuf dur! La cuisson modifie considérablement les qualités, les propriétés des matières biologiques telles que protéines, lipides, etc. Il est pourtant vraisemblable qu'il n'en a pas toujours été ainsi. Au début de son histoire, la terre devait avoir, à sa surface, une température nettement plus élevée. Aujourd'hui encore, certains milieux, les uns proches de nous, les autres plus « exotiques », abritent à des températures élevées des organismes souvent bien différents de ceux qui nous sont familiers. C'est à ces organismes et à leur évolution que nous allons consacrer l'exposé qui suit.

1. LES MILIEUX À HAUTE TEMPÉRATURE

1.1 Dans notre entourage

Autour de nous, certains milieux peuvent être portés à des températures assez hautes. Par exemple :

- lorsque le soleil frappe un sol, un roc, voire même une petite couche d'eau, ces milieux peuvent s'échauffer au cours de la journée. Il s'établit là un cycle de température, qui peut dépasser 50 à 60° C de jour, mais qui redevient normale (et même assez froide souvent) durant la nuit;
- un compost est une masse aérée de matière organique, de déchets, principalement végétaux, qui se décompose sous l'effet des microorganismes qui s'y développent. Une partie (environ la moitié) de l'énergie libérée par cette décomposition est dissipée sous forme de chaleur. Si le compost atteint un certain volume,

et que la décomposition est assez rapide, cela se traduit par un échauffement, qui peut atteindre des températures voisines ou supérieures à 60° C. L'évolution de la température suit un cycle caractérisé par une montée rapide, puis par un palier proche du maximum, et finalement par une lente diminution de la périphérie du tas vers le centre;

- certains milieux sont chauffés artificiellement par l'homme, par exemple les conduites d'eau chaude, les systèmes de refroidissement industriels, etc. Ces systèmes sont aussi susceptibles d'abriter des microorganismes, s'ils ne dépassent pas des températures de 60 à 65° C.

La plupart de ces milieux atteignent des températures ne dépassant pas 70° C. En outre, la température y est le plus souvent soumise à de fortes variations (ex. : compost), et les plus hautes ne sont atteintes que durant des périodes limitées. Si des organismes se développent à ces températures élevées, c'est qu'ils s'y trouvaient avant. En principe, ces organismes devraient aussi pouvoir se développer à des températures plus basses, auxquelles le milieu est soumis durant de plus longues périodes. Il s'agit alors de thermophiles facultatifs, apparentés à d'autres organismes plus communs. Certains champignons, par exemple, peuvent croître jusqu'à plus de 60° C.

D'autres milieux, peu ou pas représentés dans nos régions, présentent des conditions bien différentes: ce sont les manifestations géothermales: sources chaudes, geysers, solfatares, fumerolles volcaniques etc (*fig. 1*). La température y est souvent plus élevée, elle dépasse fréquemment 80° C et elle se maintient à ce niveau durant de longues périodes. Certaines de ces sources sont bouillantes en permanence. On a découvert relativement récemment (il y a moins de vingt ans) que beaucoup de ces milieux, à plus de 80° C, étaient peuplés de microorganismes, certains formant parfois des tapis épais.

Comment s'expliquer l'apparition et le fonctionnement de ces manifestations géothermales? Un exemple typique nous est donné par la région de Larderello, en Toscane. Dans cette région, proche d'anciens volcans, se trouve une *anomalie géothermique*. Le magma s'y trouve à une distance relativement faible de la surface, ce qui a plusieurs conséquences. Tout d'abord, la température s'élève en fonction de la profondeur beaucoup plus rapidement que dans d'autres régions. Ensuite, cette région est soumise à de nombreux petits tremblements de terre (microséismes) qui entretiennent des fissures à travers l'écorce terrestre. L'eau des précipitations s'infiltrer peu à peu dans ces fissures, et finit par atteindre des roches à très haute température. Là, des réactions chimiques s'opèrent entre l'eau et la roche. Les calcaires réagissent avec la silice et du gaz carbonique est formé, tandis que le soufre de la pyrite (sulfure de fer) engendre de l'hydrogène sulfuré H₂S et du bioxyde de soufre SO₂. Enfin, l'eau se décompose à très haute température, l'oxygène réagit avec les roches ferreuses pour donner des oxydes de fer, et il reste de l'hydrogène moléculaire H₂. Le résultat est la production de vapeur d'eau à très haute température, qui contient



Fig. 1: Vue de la solfatare de S. Federigo, près de Monterotondo Marittimo, prov. de Grosseto (Italie).

du CO_2 , de l' H_2S et de l' H_2 . Cette vapeur, sous une pression élevée, va à son tour se frayer par convection un chemin ascendant à travers la croûte terrestre, pour parvenir finalement à la surface. Souvent, elle s'accumule sous des « couvercles » de terrains superficiels étanches, dont les « défauts » laissent passer de la vapeur qui s'échappe alors et se condense pour former des sources d'eau bouillante, des geysers, des fumerolles, des solfatares. Dans de telles régions, on a parfois réussi, par des forages, à drainer la vapeur en profondeur, à des températures de plusieurs centaines de degrés. On utilise alors cette vapeur pour fabriquer de l'électricité. C'est ainsi que la région de Larderello produit une puissance totale de plus de 500 MW uniquement par l'énergie géothermique.

D'autres régions du monde, presque toujours des régions de volcans ou d'anciens volcans, présentent de telles manifestations. C'est le cas de la région de Naples (Pozzuoli), de l'Islande, de certaines îles de la mer Egée (Santorin, Nisyros), des Açores, de la région de Yellowstone, aux USA, de certaines parties de la Cordil-

lère des Andes, du Kamchatka (URSS), du Japon, de la Nouvelle-Zélande (île du Nord), de l'Indonésie (Java, Sumatra), etc. etc. Il faut aussi mentionner les sources chaudes sous-marines, qui sont très abondantes. A proximité de la surface (quelques mètres ou dizaines de mètres de profondeur), on en trouve par exemple au large de l'île de Vulcano, dans l'archipel des Eoliennes, au nord de la Sicile. On en trouve aussi dans la région des Açores (qui ne sont rien d'autre que les sommets émergés d'immenses volcans du grand rift medio-atlantique). On trouve finalement des sources extrêmement chaudes dans les fonds sous-marins des rifts medio-océaniques, à des profondeurs de 2000 à 3000 mètres, c'est-à-dire à des pressions de 2 à 300 atmosphères ! A de telles pressions, l'eau est liquide à des températures très élevées, et certaines de ces sources sortent à 350°C.

Quelles conditions de tels milieux peuvent-ils offrir pour permettre le développement d'organismes vivants ?

Température: certains auteurs ont prétendu avoir réussi à cultiver des organismes à partir des échantillons des sources profondes à 350° C, et d'avoir obtenu leur croissance, sous haute pression, à 250° C. Ces travaux n'ont pu être confirmés. En revanche, on observe effectivement la présence d'organismes dans des sources chaudes sous marines à faible profondeur, jusqu'à 110-115° C. Ceci représente, dans l'état actuel de nos connaissances, la limite supérieure de température permettant la croissance d'un être vivant.

pH: certaines sources chaudes, par la présence d'acide sulfurique, sont aussi très acides, et on peut penser que cette acidité peut être un facteur limitant pour la vie. C'est ignorer les possibilités extraordinaires d'adaptation des microorganismes. On peut en effet rencontrer des bactéries poussant jusqu'à un pH voisin de 0. *Sulfolobus acidocaldarius* est précisément une bactérie spécialisée dans des milieux à la fois très chauds et acides. Il vient à des pH inférieurs à 2, et à des températures jusqu'à 90° C. En revanche, les sources les plus chaudes (eau bouillante) sont rarement aussi acides (en général, leur pH est supérieur à 6), tandis que les sources sous-marines sont neutres, étant tamponnées par l'eau de mer.

Oxygène: l'oxygène est un facteur important, car sa présence ou son absence vont déterminer quel type de métabolisme peut prévaloir dans de tels milieux. En présence d'oxygène, les bactéries présenteront une *respiration aérobie*, c'est-à-dire une respiration en tous points semblables, à l'échelle cellulaire, à la nôtre. L'oxygène est un oxydant très fort, aussi la respiration aérobie est-elle un moyen très efficace de produire beaucoup d'énergie utilisable par la cellule. En absence d'oxygène, les bactéries devront se « débrouiller » autrement, par exemple utiliser un oxydant autre que l'oxygène pour réaliser ce que l'on appelle une *respiration anaérobie*. Dans les sources thermales, l'oxygène est souvent très peu abondant. Sa seule origine est l'air, car les gaz produits en profondeur et entraînés par la vapeur n'en contiennent pas. Les étangs chauds étant continuellement parcourus par ces gaz sans oxygène, et la solubilité de l'oxygène dans l'eau étant très faible à basse température, très peu

d'oxygène parviendra à diffuser dans de tels milieux, et d'autant moins que la température sera plus élevée. Pratiquement donc, au-dessus de 85-90° C, on devrait s'attendre à ce que les conditions de vie soient essentiellement *anaérobies* (vie sans air, donc sans oxygène).

Lumière: de nombreuses manifestations géothermales, terrestres bien sûr, mais aussi sous-marines à faible profondeur, sont au contact de la lumière. Toutefois, le phénomène de la photosynthèse (transformation de l'énergie lumineuse en énergie utilisable par la cellule, comme chez les plantes chlorophylliennes, les algues et certaines bactéries) semble bien ne pas pouvoir exister à plus de 70° C. Et encore, à cette température, on ne connaît que très peu d'organismes qui puissent se développer, une cyanobactérie, ou algue bleue, du nom de *Synechococcus lividus*, ainsi que des bactéries filamenteuses du nom de *Chloroflexus*. Les parties plus chaudes n'en contiennent pas. Aux températures supérieures, qui nous intéressent ici, la lumière n'intervient donc pas comme source d'énergie utilisable pour les microorganismes.

Substances nutritives: dans tout écosystème complet, il y a des organismes producteurs (le plus souvent les végétaux) qui forment, par photosynthèse, de la matière organique à partir du gaz carbonique de l'air. Ensuite viennent des consommateurs primaires (herbivores, de toutes dimensions!) qui mangent la matière, vivante ou morte, provenant de la végétation; puis des consommateurs secondaires, qui mangent les consommateurs primaires, et ainsi de suite.

Dans nos sources à plus de 70° C, la lumière ne peut plus permettre la photosynthèse, nous l'avons vu. Dans certains cas, on peut imaginer que de très petites quantités de débris végétaux parviennent dans ces sources apportés par le vent. Mais cela ne suffit pas à expliquer la présence d'une flore bactérienne riche et diversifiée. Il doit bien y avoir ici aussi une *production primaire* d'un autre type.

Tout être vivant a besoin de deux choses essentielles pour assurer son développement et sa survie: de l'*énergie* et de la *matière*. Dans ces conditions, l'énergie provient essentiellement du phénomène de la *respiration*, évoqué plus haut.

Pour assurer une respiration, il faut un *réducteur* et un *oxydant*. Chez nous, par exemple, le réducteur est représenté par les aliments que nous mangeons, et l'oxydant par l'oxygène que nous respirons. On dira que, dans la respiration, nous «brûlons du sucre». En fait, une partie de l'énergie est récupérée par nos cellules. Eh bien, chez certaines bactéries, ce n'est pas du sucre, ou une autre substance organique, qui sera brûlé, mais une *substance inorganique*. Parmi les composés que l'on rencontre dans les sources géothermales, les *réducteurs inorganiques* qui peuvent servir de substrat respiratoire sont essentiellement le soufre, l'hydrogène sulfuré et l'hydrogène moléculaire. En présence d'oxygène, c'est celui-ci qui servira bien sûr d'oxydant. En son absence, d'autres substances pourront servir d'oxydants, en particulier le soufre élémentaire et le gaz carbonique. Bien sûr, ces oxydants sont beaucoup moins forts que l'oxygène, aussi la quantité d'énergie qui pourra être tirée

d'une telle respiration est-elle plus modeste. Mais elle est néanmoins suffisante pour permettre le développement de nombre d'organismes *anaérobies*.

La matière est représentée par les différents éléments chimiques qui entrent dans la composition des êtres vivants. Le plus important est le carbone, bien sûr. En utilisant l'énergie provenant de la respiration, certaines bactéries sont capables d'assimiler le gaz carbonique, comme le font les plantes en utilisant l'énergie de la lumière. On qualifie la faculté d'assimiler le gaz carbonique d'*autotrophie*.

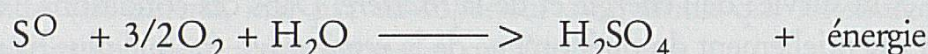
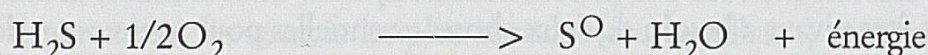
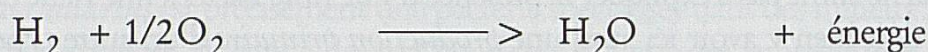
En combinant la respiration avec réducteur inorganique et l'autotrophie, on obtient ce que l'on peut appeler une «chimio-synthèse», en quelque sorte une «photosynthèse sans lumière» que réalisent ces bactéries. On aura donc une *production primaire bactérienne*, avec utilisation d'une source d'énergie chimique en lieu et place d'énergie lumineuse.

Il est bien évident qu'en aval d'une telle production primaire, on pourra avoir des consommateurs primaires, pas forcément des bactéries qui «mangent» les premières, mais qui plutôt se nourrissent de produits qu'elles excrètent ou qui résultent de leur décomposition.

A part les aspects nutritifs, qui permettent de définir la position d'un microorganisme en tant que producteur (autotrophe) ou que consommateur (hétérotrophe), c'est le *type de respiration* qui permettra en premier lieu d'établir une distinction parmi les organismes susceptibles de vivre dans un tel milieu.

Jusque vers 80-85° C, une *respiration aérobie* est donc possible. Ici, l'oxydant est l'oxygène de l'air, alors que différents réducteurs, «carburants» de la respiration, peuvent intervenir :

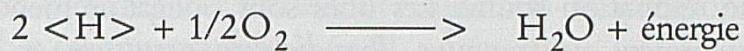
Carburants inorganiques (part. chez les autotrophes) :



On conçoit que cette dernière réaction a pour effet d'acidifier le milieu dans lequel elle se produit !

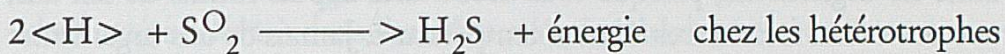
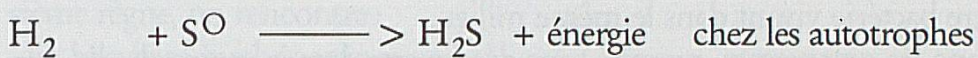
Ex : *Bacillus schlegelii*, une bactérie formant des spores à l'extrémité des cellules (fig. 2), ou *Hydrogenobacter thermophilus*, qui oxydent aussi bien le soufre que l'hydrogène ; *Sulfolobus acidocaldarius*, qui oxyde les composés du soufre seulement. Les deux premières vivent à des pH voisins de la neutralité, tandis que les dernières sont extrêmement acidophiles.

Carburants organiques: des quantités de substances, produites par d'autres organismes, peuvent fournir à la respiration des équivalents d'hydrogène:



Ex: *Thermus aquaticus*. Au-dessus de 80-85° C, les conditions sont normalement anaérobies. En absence d'oxygène, c'est donc le soufre élémentaire (S⁰) d'une part (rappelons que cet élément se trouve dans la même colonne du tableau de Mendeleïeff que l'oxygène !) et le gaz carbonique (CO₂) qui peuvent servir d'oxydants. Dans ces conditions, seul l'hydrogène moléculaire, ainsi qu'un nombre limité de substances organiques, peuvent servir de carburant:

Respiration soufre:



Respiration carbonate = méthanogénèse:

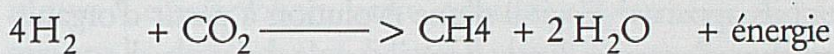


Fig. 2: *Bacillus schlegelii*, une bactérie thermophile oxydant l'hydrogène découverte par les chercheurs du laboratoire de Microbiologie de l'Université de Neuchâtel.

On n'a décrit jusqu'ici que peu de bactéries méthanogènes vivant à plus de 80° C. En revanche, la grande majorité des bactéries rencontrées dans ces milieux présentent une respiration soufre. Les unes sont obligatoirement autotrophes. Citons *Thermoproteus neutrophilus*, *Pyrodictium occultum* et *Thermodiscus maritimus*.

D'autres sont facultativement autotrophes, et peuvent aussi vivre aux dépens d'un substrat organique. C'est le cas de *Thermoproteus tenax*.

D'autres enfin sont uniquement hétérotrophes, et sont donc typiquement des consommateurs de substances fournies par les premières. Le cas le plus extrême est celui de *Thermofilum pendens*, une bactérie formant de longs filaments. Elle n'a longtemps pas pu être cultivée en laboratoire, jusqu'au jour où l'on s'est rendu compte qu'elle avait besoin pour vivre d'une substance unique, un lipide, produite par une autre bactérie vivant dans le même milieu.

Voilà donc les organismes, presque tous découverts depuis moins de dix ans, que l'on rencontre dans les sources à haute température. Jamais de tels organismes n'ont pu être isolés d'autres milieux. Ce sont de stricts spécialistes, qui vivent dans des conditions indépendantes du reste de la biosphère, indépendantes aussi de la lumière. Comment sont-ils apparus? S'agit-il d'une évolution à partir d'organismes «normaux», vivant dans d'autres milieux, dont ils seraient des proches «cousins des tropiques»? ou au contraire s'agit-il d'organismes ayant conservé des caractères ancestraux, très éloignés évolutivement des organismes vivant dans des milieux plus familiers de la Terre actuelle?

Faute de disposer de fossiles identifiables de bactéries, on est obligé de s'adresser aux organismes actuellement vivants pour essayer d'en établir la phylogénie, c'est-à-dire l'évolution.

L'évolution des bactéries

Si on compare un cheval, un âne et un zèbre, leur ressemblance frappe, quoiqu'il s'agisse d'espèces différentes. Il paraît évident, étant admis le principe de l'évolution des êtres, qu'ils ont un ancêtre commun assez rapproché. Une vache en paraît plus éloignée, et on peut penser que la lignée ayant donné les bovidés s'est séparée plus anciennement de celle ayant donné les équidés. Et ainsi de suite, si l'on pense à un rat, un koala, un merle, une tortue, une carpe ou une éponge.

Chez les bactéries, on a un problème supplémentaire: elles sont si petites, elles ont si peu de formes différentes, que l'on est bien en peine de les comparer par une simple observation. La meilleure comparaison que l'on puisse obtenir actuellement entre deux bactéries fait intervenir celle des ADN et des ARN, autrement dit la comparaison directe des «textes» de la mémoire génétique de l'espèce. Plus les séquences de nucléotides dans certains gènes de l'ADN ou dans certains ARN sont voisines, et plus les organismes qui les portent sont apparentés. C'est sur cette base

que, depuis une douzaine d'années, on a commencé à obtenir des «arbres» d'évolution, qui tentent de tracer l'évolution de l'ensemble des êtres vivants, et tout particulièrement des bactéries. Ces arbres sont basés sur la comparaison de ces séquences. Un tel arbre est présenté dans la fig. 3.

Les segments représentent la «distance évolutive» (le degré de différence) entre les organismes actuels et leurs ancêtres communs hypothétiques. Un tel arbre, établi pour un échantillon de l'ensemble des êtres vivants, montre quelque chose auquel on ne s'attendait pas de prime abord. Le monde vivant, que l'on croyait jusqu'en 1978 divisé en deux «superrègnes»: les Procaryotes et les Eucaryotes (les animaux et les végétaux étant deux subdivisions des Eucaryotes), apparaît divisé en *trois* branches principales. En effet, certaines bactéries apparaissent aussi différentes des autres bactéries qu'elles ne le sont des Eucaryotes. Parmi ces bactéries du troisième règne, on rencontre :

- les bactéries méthanogènes
- des bactéries vivant dans l'eau très salée, les halobactéries
- toutes les bactéries ultrathermophiles à respiration soufre.

Celles-ci occupent une position tout près de la base de l'arbre, donc très primitive. Ceci corrobore notre deuxième hypothèse, c'est-à-dire que ces bactéries seraient les descendantes directes de bactéries très primitives, ayant peu évolué de-

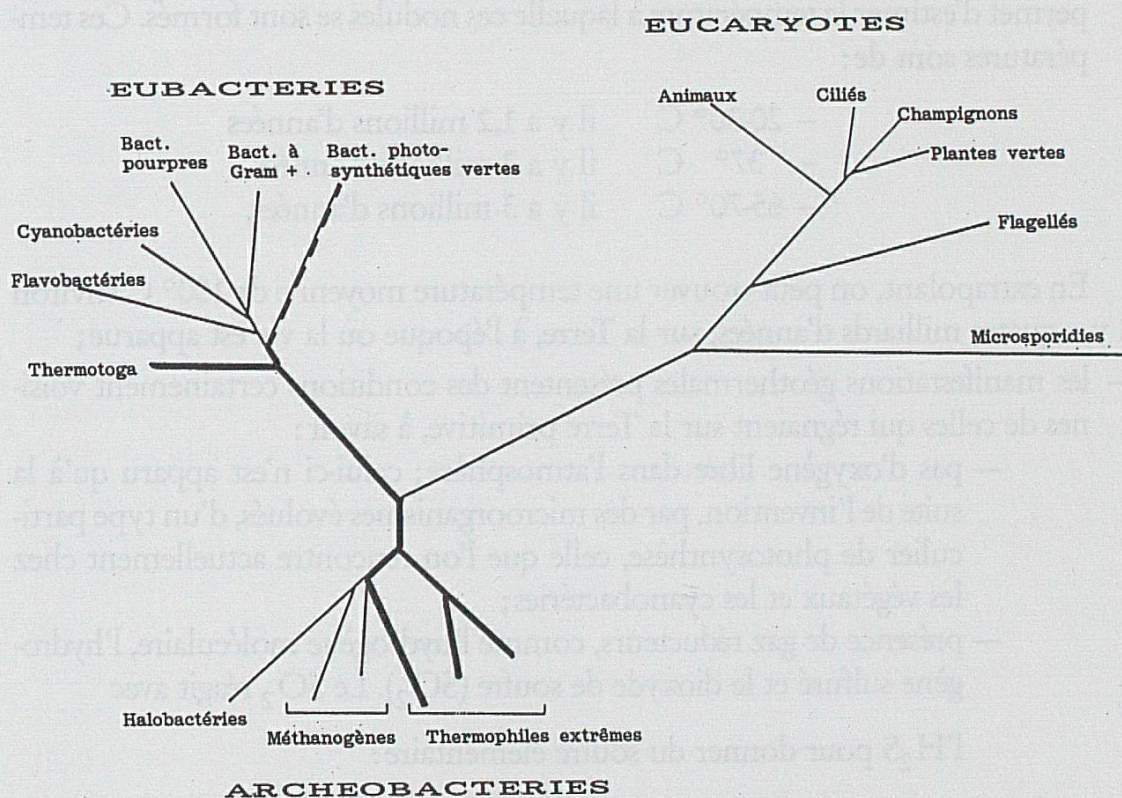


Fig. 3: Arbre phylogénétique de l'ensemble des êtres vivants, basé sur la comparaison des séquences de nucléotides dans les ARN des ribosomes. En traits plus épais: groupes thermophiles. D'après C. Woese.

puis les premiers temps de la vie sur la Terre. On peut donc se demander si la vie à haute température était une règle dans les premiers temps, il y a quelque 3,5 à 4 milliards d'années. Cette hypothèse est-elle corroborée par d'autres arguments? En voici quelques-uns:

- les enzymes des organismes thermophiles ne sont pas foncièrement différentes, dans leur structure, de celles des organismes mésophiles. En fait, une enzyme mésophile, inactivée par les températures élevées, apparaît plutôt comme une enzyme intrinsèquement thermophile, mais avec quelques points faibles. De nombreuses enzymes d'organismes mésophiles (poussant à des températures comprises entre 20 et 45 ° C) présentent en fait des optima d'activité bien supérieurs, souvent vers 60 à 70° C par exemple;
- il est relativement facile d'obtenir des mutants d'un organisme dont la température maximale de croissance est abaissée. Il est en revanche pratiquement impossible, par mutation, d'élever de plus d'un à deux degrés la température maximale de croissance d'un organisme. Il est donc beaucoup plus probable que l'évolution se soit faite des températures élevées vers les basses températures, plutôt que l'inverse;
- l'observation de certains nodules minéraux de roches précambriennes (des roches datant d'avant l'ère primaire, soit il y a entre 1 et 4 milliards d'années) permet d'estimer la température à laquelle ces nodules se sont formés. Ces températures sont de:

- 20-30° C il y a 1,2 millions d'années
- 37° C il y a 2 millions d'années
- 65-70° C il y a 3 millions d'années.

En extrapolant, on peut trouver une température moyenne de 100° C environ il y a quatre milliards d'années, sur la Terre, à l'époque où la vie est apparue;

- les manifestations géothermales présentent des conditions certainement voisines de celles qui régnaient sur la Terre primitive, à savoir:
 - pas d'oxygène libre dans l'atmosphère; celui-ci n'est apparu qu'à la suite de l'invention, par des microorganismes évolués, d'un type particulier de photosynthèse, celle que l'on rencontre actuellement chez les végétaux et les cyanobactéries;
 - présence de gaz réducteurs, comme l'hydrogène moléculaire, l'hydrogène sulfuré et le dioxyde de soufre (SO₂). Le SO₂ réagit avec l'H₂S pour donner du soufre élémentaire:



- présence probable de gaz carbonique (on en trouve sur Vénus, par exemple).

Ces manifestations sont donc une survivance de ces conditions primitives, et il ne faut pas s'étonner que l'on y trouve des organismes qui sont probablement les descendants peu modifiés de ces formes primitives. Dans de tels milieux, les organismes ancestraux n'ont pas rencontré d'organismes leur faisant concurrence. N'étant pas soumis au «struggle for life», ils ont pu ainsi se maintenir, et nous conserver le souvenir de ce qu'ont pu être les premières bactéries, vivant dans l'eau bouillante.

Michel Aragno

Michel Aragno est né en 1942. Il a passé son enfance à Neuchâtel, y a fréquenté les écoles primaire, secondaire, gymnasiale et a obtenu sa licence en biologie à l'université de sa ville. Ses études ont été couronnées par un doctorat ès sciences. Après des stages postdoctoraux à Paris et à Göttingen, il devient assistant à l'université de Neuchâtel, puis chef de travaux au laboratoire de microbiologie. Dès 1978, Michel Aragno est professeur de microbiologie en cette université et directeur du labo de microbiologie.

Les œuvres de Michel Aragno, publications personnelles ou collectives, sont si nombreuses que nous ne pouvons naturellement pas en donner la liste.

