

théorie, car la structure de certaines molécules d'archéobactéries différait de celle des molécules de bactéries et d'eucaryotes correspondantes. Par exemple, les lipides des membranes cellulaires d'archéobactéries et de bactéries n'ont pas les mêmes liaisons chimiques.

De même, les protéines des archéobactéries diffèrent des protéines correspondantes des bactéries, pour plusieurs processus fondamentaux, telles la transcription et la traduction. Pour fabriquer une protéine, la cellule copie (elle «transcrit») le gène qui code cette protéine sous la forme d'un brin d'ARN messager. Puis les ribosomes lisent l'ARN messager et assemblent la protéine, acide aminé par acide aminé (c'est la «traduction»). L'enzyme nommée ARN polymérase, qui transcrit les gènes dans les archéobactéries, ressemble davantage à la molécule correspondante des eucaryotes qu'à celle des bactéries, sur le plan de la complexité et de la nature de ses interactions avec l'ADN. De surcroît, les protéines qui traduisent les ARN messagers dans les ribosomes des archéobactéries sont également plus proches de celles des eucaryotes que de celles des bactéries.

Une fois l'existence des trois groupes reconnue, les biologistes se demandèrent si l'ancêtre de la première cellule eucaryote était une bactérie ou une archéobactérie. Ils conclurent, d'après la ressemblance de leurs systèmes de transcription et de traduction, que l'ancêtre des eucaryotes était une archéobactérie.

En 1989, cette affirmation fut validée par Peter Gogarten et ses collègues de l'Université du Connecticut, et par Takashi Miyata et ses collègues de l'Université de Kyushu. Pour mieux «enraciner» l'arbre du vivant, ces deux

groupes analysèrent des gènes qui codaient d'autres composants cellulaires que les ribosomes. Pour des raisons techniques, l'ARN ribosomal indique le degré de parenté entre deux organismes, mais il ne révèle pas lequel est le plus ancien. D'après les séquences d'ADN codant deux protéines cellulaires importantes, l'ancêtre commun universel a engendré les bactéries et les archéobactéries, qui ont elles-mêmes engendré les eucaryotes.

Depuis 1989, de nombreuses études ont confirmé ce résultat. Au cours des cinq dernières années, les biologistes ont séquencé le génome (l'ensemble des gènes) d'une demi-douzaine d'archéobactéries et de plus de 15 bactéries. Leur comparaison confirme que beaucoup de gènes d'archéobactéries utiles à la transcription et à la traduction ressemblent à ceux des eucaryotes : ces processus se déroulent de façon similaire chez les deux groupes. De plus, bien que les archéobactéries n'aient pas de noyau, leurs chromosomes ressemblent à ceux des eucaryotes : l'ADN s'enroule autour de protéines, nommées histones, et les chromosomes adoptent parfois une structure en «chapelet». La plupart des protéines qui assurent la réplication des chromosomes des archéobactéries se retrouvent sous une forme ou sous une autre chez les eucaryotes, mais pas chez les bactéries.

L'arbre du vivant qui s'imposa ces dernières années fut construit à partir de tous ces résultats. Les organismes vivants se sont d'abord scindés en deux groupes, les bactéries et les archéobactéries qui ont engendré les eucaryotes. Ultérieurement,

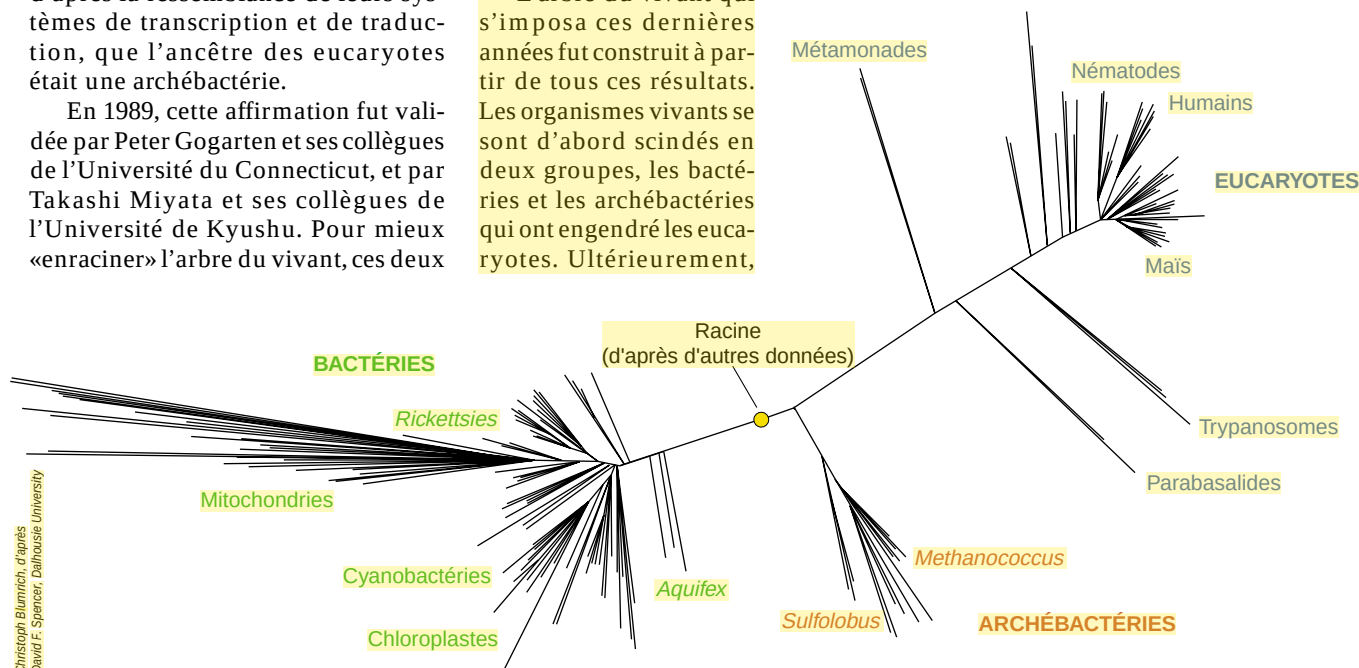
les eucaryotes ont absorbé deux types de bactéries : une alpha-protéobactérie qui engendra les mitochondries, et une cyanobactérie qui engendra les chloroplastes.

## Les doutes resurgissent

Toutefois, le séquençage de génomes de plus en plus nombreux a donné des résultats qui contredisent cette théorie. Notamment, les seuls gènes bactériens des eucaryotes auraient dû venir des mitochondries, des chloroplastes ou de leurs précurseurs alpha-protéobactériens et cyanobactériens. En outre, les gènes de ces précurseurs auraient dû intervenir dans la respiration ou dans la photosynthèse, mais pas dans des processus cellulaires déjà commandés par des gènes hérités des archéobactéries.

Ce n'est pas ce que les biologistes ont observé : les gènes nucléaires d'eucaryotes sont souvent d'origine bactérienne, et pas seulement archéobactérienne. Ces gènes n'interviennent pas toujours dans la respiration ou dans la photosynthèse. Beaucoup codent des protéines qui assurent des fonctions aussi essentielles à la survie des cellules que la transcription et la traduction.

D'après l'arbre du vivant, les gènes bactériens auraient migré vers les eucaryotes, mais pas vers les archéobactéries. Or, celles-ci semblent avoir des



**3. LES SÉQUENCES D'ARN RIBOSOMAL** de près de 600 espèces définissent les relations de parentés entre elles. Chaque trait de ce schéma représente l'ARN ribosomal d'une espèce ou d'un groupe. Certains ARN ribosomaux sont codés par des gènes nucléaires, mais d'autres le sont par des gènes mitochondriaux ou chloroplastiques.

Les branches mitochondriales sont longues, car les gènes correspondant évoluent rapidement. Les arbres construits par comparaison des ARN ribosomaux n'ont pas de racine. À partir d'autres types de gènes, on situe la racine au point jaune, qui correspond à la partie inférieure de l'arbre de la figure 1.