

## 5. L'émergence des eucaryotes : une mosaïque d'ADN

Dominique Joly, Evolution, Génomes, Comportement et Ecologie (EGCE, Gif-sur-Yvette) et Céline Brochier-Armanet, Biométrie et Biologie Evolutives (LBBE, Lyon)

**Tout organisme sur Terre appartient à l'une des trois branches du vivant : bactéries, archées ou eucaryotes. Au-delà de caractères qui lui sont propres, la lignée des eucaryotes, dont l'homme est issu, partage à la fois des caractères d'archées et de bactéries. La génomique révèle les multiples origines de l'ADN des eucaryotes.**

Les eucaryotes sont des organismes unicellulaire (e.g. la levure) ou multicellulaires ( $10^{13}$  cellules chez un être humain). Les cellules sont compartimentées par un système de membranes internes. Les principaux compartiments sont le noyau qui contient les chromosomes, le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi impliqués dans la fabrication et l'export des protéines, les mitochondries qui réalisent la respiration, et, chez les végétaux, les chloroplastes qui réalisent la photosynthèse. Outre le noyau, les mitochondries et les chloroplastes contiennent de l'ADN.

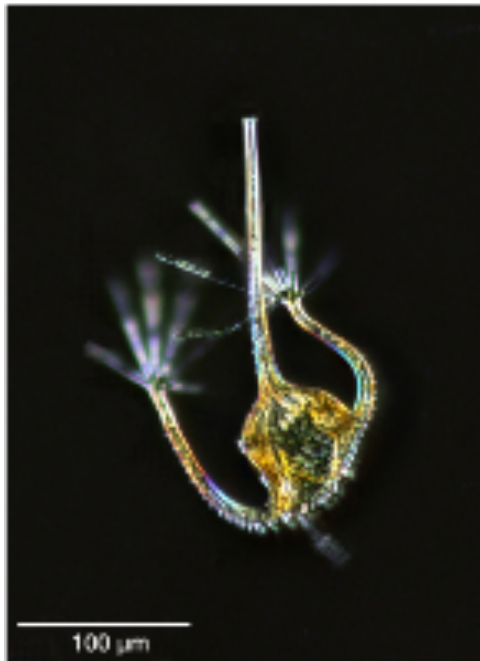
Les registres fossiles suggèrent que les eucaryotes sont apparus il y a 1,5 milliards d'années, soit plus d'un milliard d'années après les procaryotes. Les procaryotes appartiennent à deux branches différentes du vivant : les bactéries et archées. L'ADN des procaryotes est localisé dans le compartiment unique que constitue la cellule. Bactéries et archées diffèrent notamment par les systèmes cellulaires impliqués dans le traitement de l'information génétique (réplication, transcription, traduction), la nature des lipides composant leurs membranes, ainsi que par la composition chimique de la paroi des cellules.

Trois principales hypothèses tentent d'expliquer l'eucaryogénèse, c'est-à-dire la suite d'événements ayant accompagné l'émergence des eucaryotes et de leurs caractères spécifiques. Toutes s'accordent sur l'intégration d'une alphaprotéobactérie (bactérie) qui est à l'origine de la mitochondrie. Cet événement est appelé endosymbiose mitochondriale. Mais elles divergent sur la nature de la cellule chez qui l'endosymbiose a eu lieu. La première hypothèse considère que l'eucaryogénèse avait déjà débutée et que l'endosymbiose a été réalisée par un proto-eucaryote, qui posséderait déjà des compartiments interne comme le noyau et qui était capable de réaliser la phagocytose (la capacité à ingérer des particules étrangères solides), capacité qui aurait permis l'endosymbiose ; la seconde propose que l'endosymbiose ait été réalisée par une archée, ce qui aurait déclenché l'eucaryogénèse ; la troisième considère qu'une association entre une archée et une bactérie (non alphaprotéobactérie) aurait initié l'eucaryogénèse, mais que l'endosymbiose mitochondriale aurait eu lieu plus tard.

En 2014, une étude systématique a recherché l'origine la plus probable des gènes eucaryotes. Ce travail montre une fraction importante de gènes provenant du groupe des alphaprotéobactéries, ce qui conforte l'hypothèse d'une incorporation massive de gènes lors d'une endosymbiose mitochondriale. En revanche, les autres gènes d'origine bactérienne proviendraient de groupes bactériens très divers : il n'y a pas de trace d'une incorporation massive de gènes provenant de groupes bactériens autres que les alphaprotéobactéries. Cette observation contredit la troisième hypothèse de l'origine des eucaryotes. Cette étude retient les 2 premières hypothèses comme possibles. Elle montre aussi que les gènes eucaryotes d'origine archées, ne peuvent pas être rapprochés d'un groupe particulier

d'archées, suggérant une origine à partir d'une ou plusieurs lignées très anciennes d'archées.

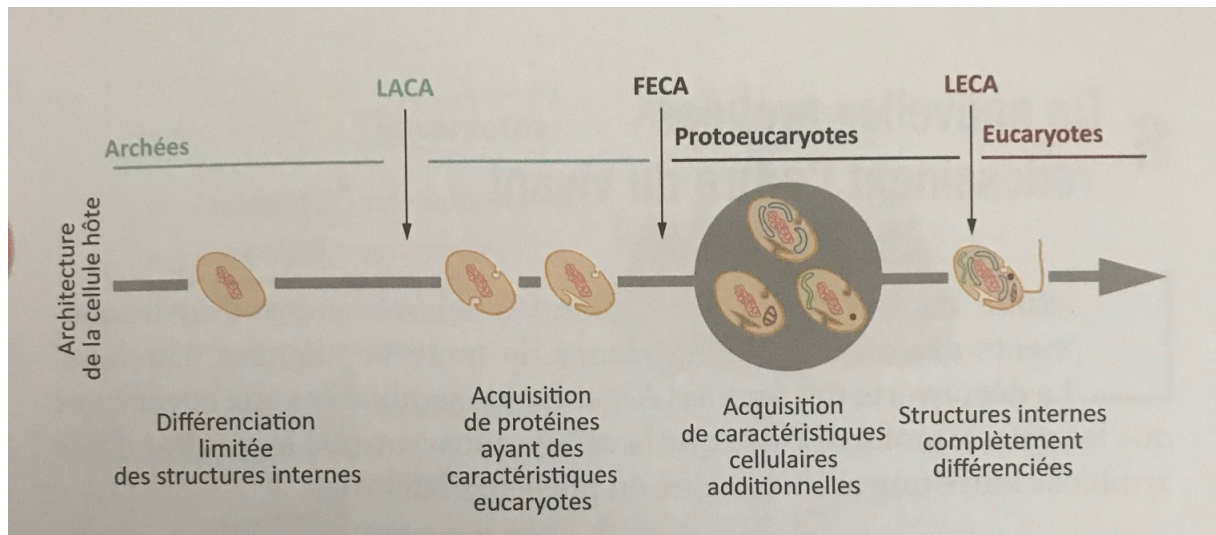
L'exploration systématique des écosystèmes terrestres et marins a permis d'étendre considérablement notre connaissance de la diversité des archées, notamment en révélant de nouvelles lignées majeures d'archées. L'analyse des génomes de ces archées a révélé qu'un groupe, le super-phylum des Asgard, contenaient de nombreux gènes considérés jusqu'alors comme spécifiques des eucaryotes, comme ceux impliqués dans le modelage membranaire et la formation de vésicules. Dans un futur proche, l'analyse fine de ces nouvelles données permettra peut-être de préciser l'histoire complexe de l'origine des eucaryotes.



Ce Dinophyte "*Ceratium ranipes*" est un petit eucaryote unicellulaire pourvu de flagelles pour se déplacer. Copyright : John DOLAN/LOV/CNRS Photothèque



Le cheval de Przewalski vit à l'état sauvage en Mongolie. Copyright : Ludovic ORLANDO / AMIS / CNRS Photothèque



Évènements majeurs conduisant à l'émergence de la cellule eucaryote à partir d'un ancêtre archée. LACA : dernier ancêtre commun des archées ; FECA : premier ancêtre commun des eucaryotes ; LECA : dernier ancêtre commun des eucaryotes.