

CHAPITRE VII : CINQ PHYLA d'ARCHAEA

3. Taxonomie

3.3. Phylum des *Thaumarchaeota*

La première preuve de ce qui devait devenir le phylum *Thaumarchaeota* fut la découverte d'un lipide archéen spécifique appelé à cette époque crénarchéol (Fig. 14). La détection de ce lipide couplée aux données métagénomiques montra ce qui se révéla être des crénarchaeotes mésophiles dans le plancton marin d'eau polaire, tempérées et tropicales. Ces organismes ont également été trouvés dans les rizières, les sols, les sédiments des lacs d'eau douce. Au moins deux espèces symbiotiques ont été isolés, l'une d'une holothurie (concombre de mer) des eaux froides et l'autre d'une éponge marine. Collectivement, ces microbes ont été appelés archées du groupe I ou *Creanarchaeota* mésophiles pendant de nombreuses années, mais l'analyse génomique comparée suggère que ces crénarchéol est désormais appelé thaumarchéol (Fig. 15).

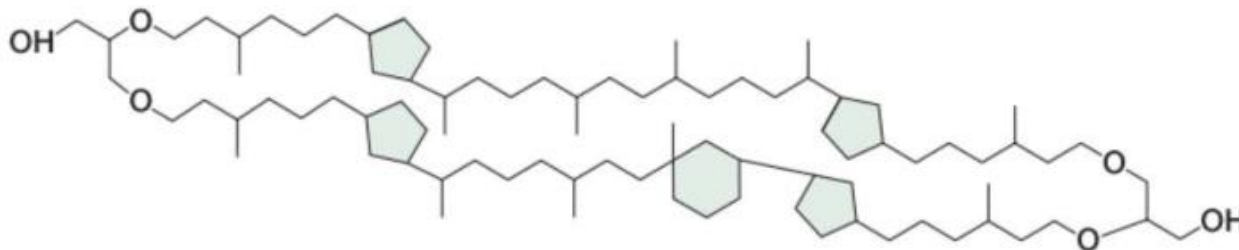


Figure 14: Thaumarchaéol.

(Ce lipide membranaire est composé de biphytane bicyclique et de biphytane tricyclique).

La purification et la mise en culture de l'éponge marine symbiotique *Creanarchaeum symbiosum* et de la thaumarchaeote libre *Nitrosopumilum maritimus* ont confirmé la notion selon laquelle les archées étaient capables de nitrifier. En effet, l'oxydation de l'ammoniac est la caractéristique qui définit *Thaumarchaeota*. *N. maritimus* croit en chimiolithoautotrophe, en fixant le carbone via le cycle HP/HB. Cependant, certaines thaumarchaeotes utilisent le carbone organique au lieu du CO₂ comme source de carbone, ainsi qu'il l'a été démontré grâce à deux souches récemment purifiées. Ces archées sont considérées comme des mixotrophes plutôt que des hétérotrophes parce qu'elles capturent l'énergie par l'oxydation d'ammonium en nitrite avec l'oxygène comme accepteur final d'électrons. La première étape dans l'oxydation de l'ammonium

est sa conversion en hydroxylamine (NH₂OH), une réaction catalysée par l'AMO (Ammonium Mono-Oxygénase). AMO est composée de trois sous-unités : AmoA, AmoB et AmoC : les versions archéennes de ces gènes encodant ces protéines sont phylogénétiquement très distinctes de leurs contreparties *amo* bactériennes. Ces observations ont permis de vérifier la présence et, *via* des études de PCR sur des transcrits obtenus à la transcriptase réverse, l'activité de la nitrification archéenne dans les sols et les eaux. Alors qu'on avait cru pendant longtemps que seules les α - et β -protéobactéries étaient responsables de la nitrification, de nombreuses études métagénomiques ont démontré que l'oxydation de l'ammonium par les thaumarchéotes était très importante. C'est particulièrement le cas pour les environnements marins.

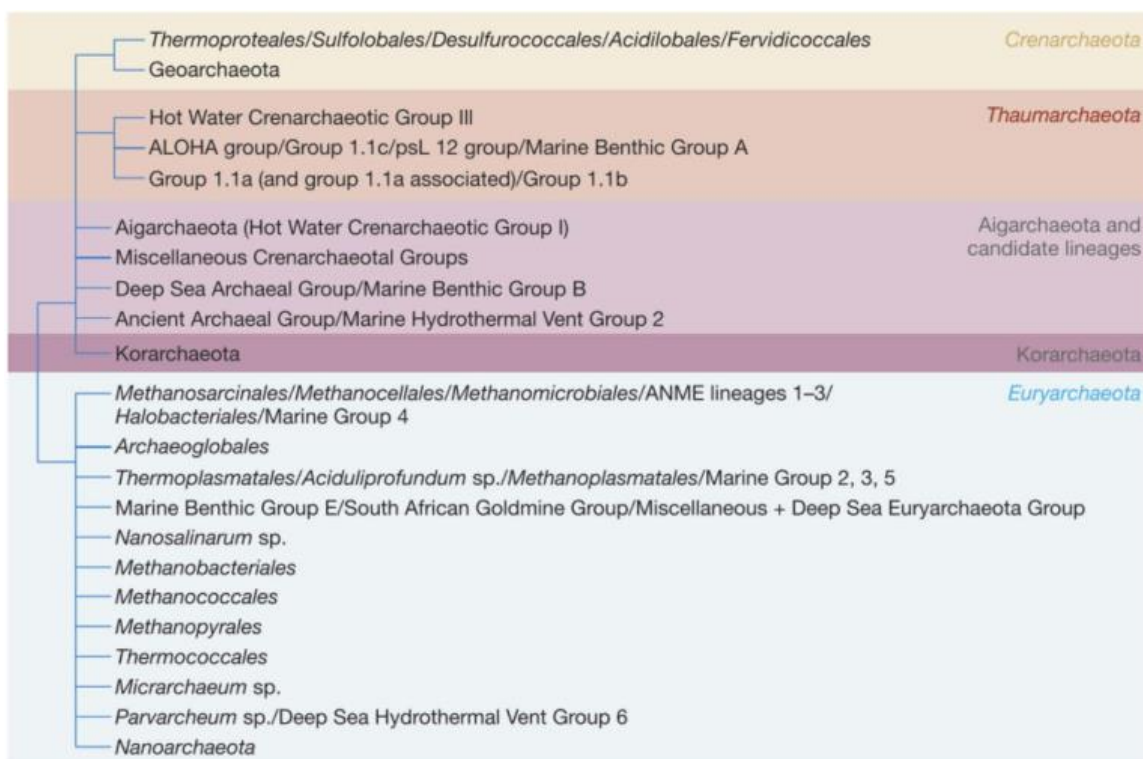


Figure 15: Arbre phylogénétique des Archées

(Cette représentation schématique montre la diversité phylogénétique des archées mais illustre aussi la nature dynamique de leur systématique. Les phyla en gris n'ont pas été acceptés comme étant validés. Les séquences des *Lokiarchaeota* n'étaient pas disponibles pour cette représentation).

3.4. Phylum des *Nanoarchaeota*

Des petites cellules parasites constituent une lignée unique au sein des *Archaea* : les *Nanoarchaeota*. Ces procaryotes fascinants présentent de surprenantes caractéristiques, avec notamment le plus petit génome procaryote connu.

Le genre *Nanoarchaeum* a de petites cellules, coques et vivent comme parasite et peut-être comme symbiotes de la *Crenarchaeota Ignicoccus*. Les cellules de *Nanoarchaeum* ont un diamètre de 0.4µm et leur volume cellulaire est équivalent à environ 1% de celui d'*Escherichia coli*. Les cellules de *Nanoarchaeum* ne se dupliquent que lorsqu'elles sont attachées à la surface des cellules d'*Ignicoccus*. Les cellules de *Nanoarchaeum* peuvent être présentes seules, par paires ou bien par plus de dix cellules par cellule d'*Ignicoccus* (Fig. 16a). La paroi cellulaire de *Nanoarchaeum* est constituée par une couche S (*S-layer*) qui entoure ce qui semble être un espace périplasmique (Fig. 16b).

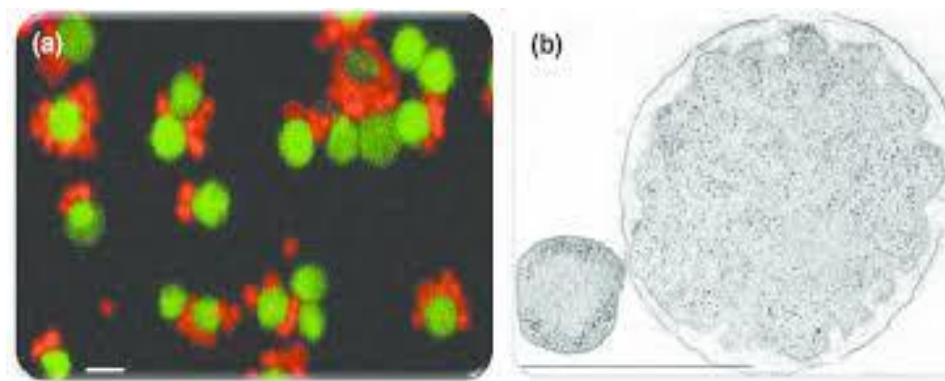


Figure 16 : *Nanoarchaeum*.

[Cellule *Nanoarchaeum* (en rouge) fixées aux cellules d'*Ignicoccus* (en vert)]

Nanoarchaeum ne peut se développer en culture qu'en présence d'*Ignicoccus* comme hôte. On ignore actuellement si *Ignicoccus* tire un bénéfice de cette association. *Nanoarchaeum* est hyperthermophile, avec une température optimale de croissance vers 90°C. Le métabolisme de *Nanoarchaeum* n'est pas connu, mais son hôte est autotrophe et utilise H₂ comme donneur d'électrons et S⁰ comme accepteur d'électrons. Des isolats de *Nanoarchaeum* ont été obtenus aussi bien à partir de sources hydrothermales sous-marines que de sources thermales terrestres, et ces organismes apparaît comme étant largement cosmopolite dans les environnements chauds qui lui conviennent. Il n'existe qu'une seule espèce connue, *Nanoarchaeum equitans*.

➤ **Phylogénie et génomique de *Nanoarchaeum***

Les *Nanoarchaeota* constituent une lignée profondément ancrée au sein l'arbre des *Archaea*, bien distincte des autres lignées (Fig. 15). Il a été difficile au départ de préciser l'exacte position phylogénétique de *Nanoarchaeum*, car les ARNr 16S de ce groupe sont uniques, comptant un grand nombre de substitutions de base, même dans les régions qui sont hautement conservées chez les

autres lignées d'*Archaea*. En fait, les amorces oligonucléotidiques utilisées (en PCP) pour l'amplification des gènes codants les ARNr16S de toutes les espèces d'*Archaea* connues, ne fonctionnent pas pour l'amplification des gènes de *Nanoarchaeum*.

Le génome de *Nanoarchaeum* a une taille de 0.49Mpb. C'est le plus petit génome cellulaire connu. Il est dépourvu de gène identifiable codant la plupart des fonctions métabolique, incluant la biosynthèse des monomères tels que les acides aminés, les nucléotides et les coenzymes. Le génome de *Nanoarchaeum* est également dépourvu des gènes codants les protéines enzymatiques du catabolisme, telles celles de la glycolyse. Ces fonctions sont probablement assurées pour *Nanoarchaeum*, par son hôte *Ignicoccus*. *Nanoarchaeum* contient une partie seulement des gènes codant une ATPase et on ignore si cet organisme possède ou non une ATPase active. S'il n'existe pas d'ATPase ni d'étape de phosphorylation des substrats, il semblerait donc que *Nanoarchaeum* soit un parasite, à la fois pour l'apport d'énergie et pour l'apport de carbone, de son hôte *Ignicoccus*. *Nanoarchaeum* serait donc dépendant de son hôte pour la plupart des métabolites dont il a besoin, et ce de la même façon que les *Rickettsia* et les *Chlamydia*, en infectant les cellules humaines.

Avec autant de gènes manquants, quels gènes demeurent donc chez *Nanoarchaeum* ? *Nanoarchaeum* possède des gènes identifiables pour toutes les enzymes nécessaires aux processus moléculaires centraux : la réplication de l'ADN, la transcription et la traduction. Ainsi, malgré un génome extrêmement réduit, *Nanoarchaeum* n'a pas (et de ce fait ne peut pas, restant ainsi une cellule) éliminé les gènes nécessaires pour satisfaire le dogme de la biologie moléculaire : ADN → ARN → protéines. En plus de sa petite taille, le génome de *Nanoarchaeum* est le plus compact (densité de gènes) de tous les organismes connus. Plus de 95% du chromosome circulaire unique de *Nanoarchaeum* code des protéines.

Il n'existe pas de *Nanoarchaeota* capable de vie autonome, et il semble donc, dans l'état de connaissance présente, que le parasitisme soit la caractéristique typique de cette lignée.

3.5. Phylum des *Korarchaeota*

Les organismes de cet embranchement, pour le moment si isolés ni cultivés, ont été découverts dans les sources d'eaux chaudes.

Leurs caractères phénotypiques restent donc inconnus mais leur étude génomique montre qu'ils sont distincts des autres embranchements.