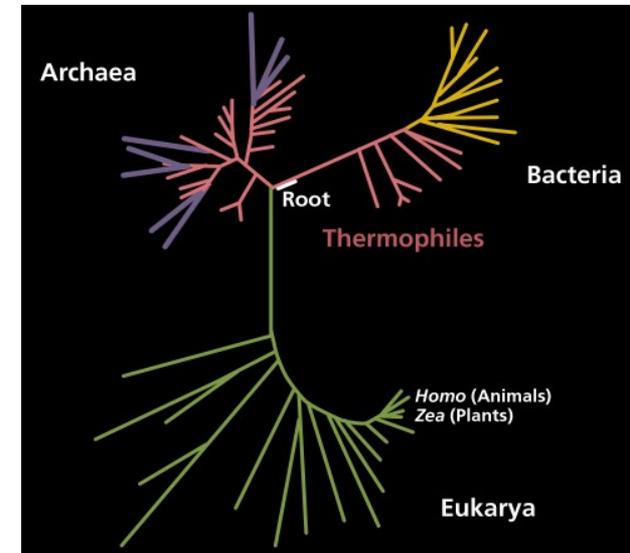




Exobiologie



Sébastien Rodriguez
Université Paris 7 / A.I.M.
sebastien.rodriquez@cea.fr

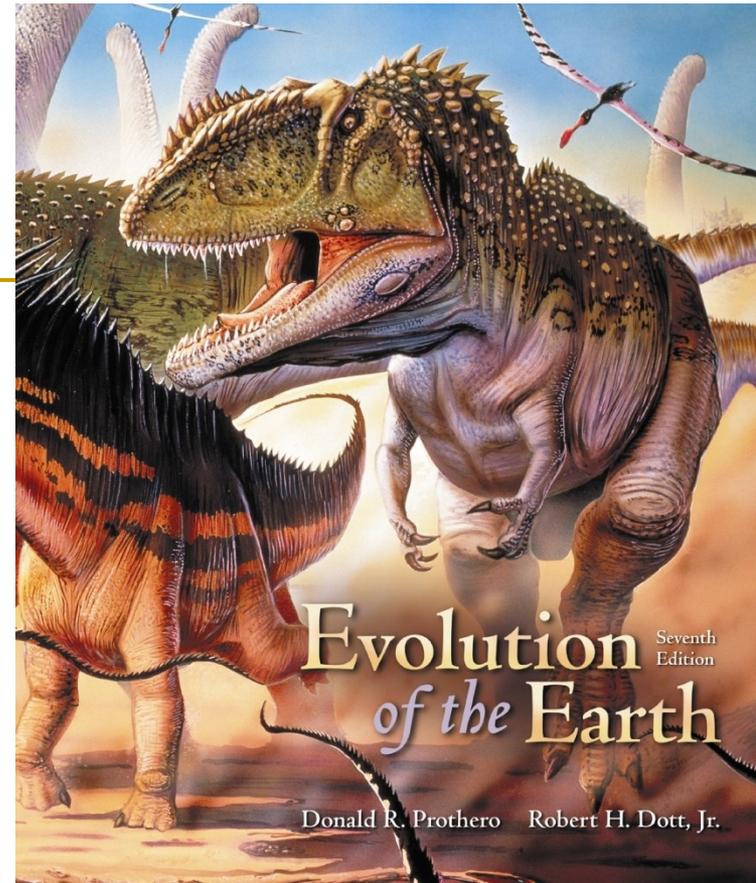




La vie sur Terre : un modèle à comprendre



Premières traces de vies sur Terre





Définition de la vie



- Cinq catégories :
 - ❑ **Physiologie** : vie = exécution de fonctions (manger, métabolisme, mvt, reproduction, réponse à un stimuli)
 - ❑ **Métabolisme** : Limite fixée et échange de matériau avec le milieu extérieur en maintenant un état d'équilibre.
 - ❑ **Biochimique** : vie = système capable de reproduire une information (hérédité, ADN).
 - ❑ **Génétique** : évolution par sélection naturelle. Duplication.
 - ❑ **Thermodynamique** : tous les êtres vivants n'ont de cesse de s'écarter de l'entropie maximale : les êtres vivants luttent farouchement contre l'inéluctable désorganisation de leurs structures.



Vie

Systeme complexe, comprenant une grande quantité d'**informations**, capable de **duplication** et d'**évolution** par mutation, et caractérisé par sa **reproduction**, son **métabolisme**, son homéostasie et sa **lutte contre l'équilibre** thermodynamique.

Carbone, Eau, Energie !!

Échelle de temps de l'apparition de la vie

- Origine de la vie sur Terre impossible avant la solidification de « l'océan magmatique » : au moins 100 Ma après fin accrétion.
 - Bombardement intense + impact de gros corps (évaporation océan) \Rightarrow conditions hostiles à l'apparition de la vie jusqu'à env. 3.8-3.9 Ga.
 - Traces fossiles ?
 - Stromatolite d'Afrique du Sud : dépôt carboné de 3 Ga \Rightarrow robuste !!
 - Stromatolite de 3.5 Ga ? Controversé, cf processus abiologique
 - Fossiles d'Apex Cherts en Australie : cyanobactérie de 3.5 Ga ? Controversé, cf possible origine hydrothermale.
 - Géochimie isotopique: $\delta^{14}\text{C}$ \Rightarrow vie sur Terre à 3.8-3.9 Ga.
-

Shark Bay, Western Australia







3.5-Ga
Stromatolites
(Warrawoona,
Australie)



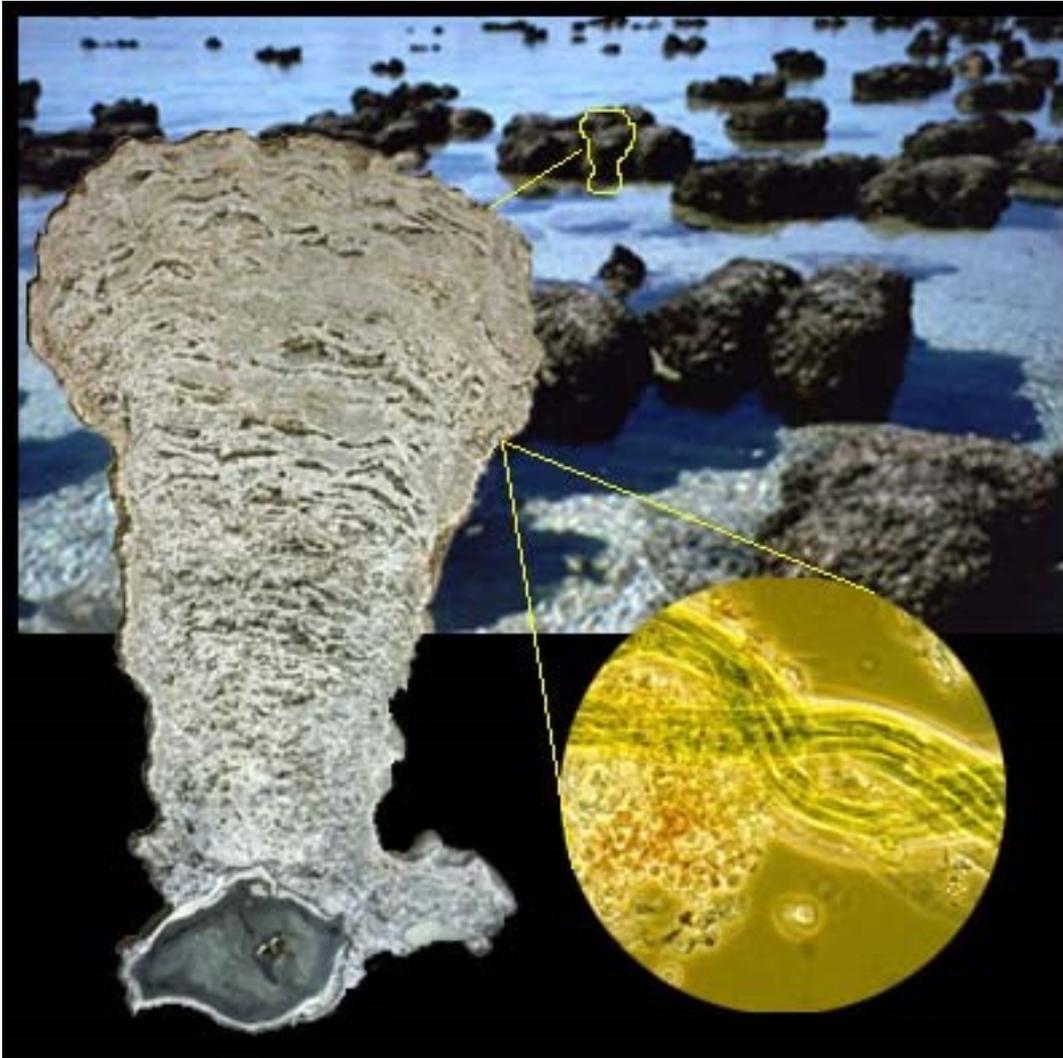
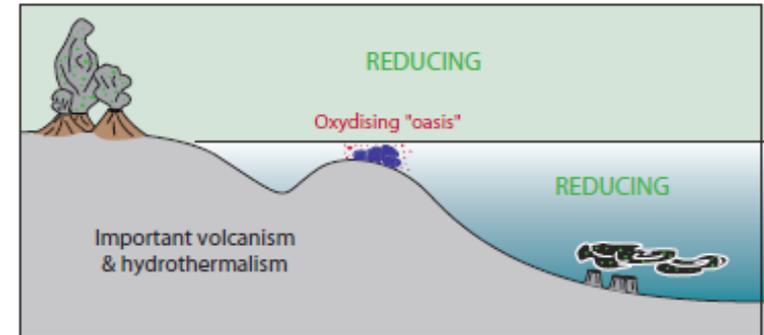


Image de Sharks Bay, Australie.
Stromatolite : coupe + zoom sur une cyanobactérie à l'origine de l'essentielle de ces structures.

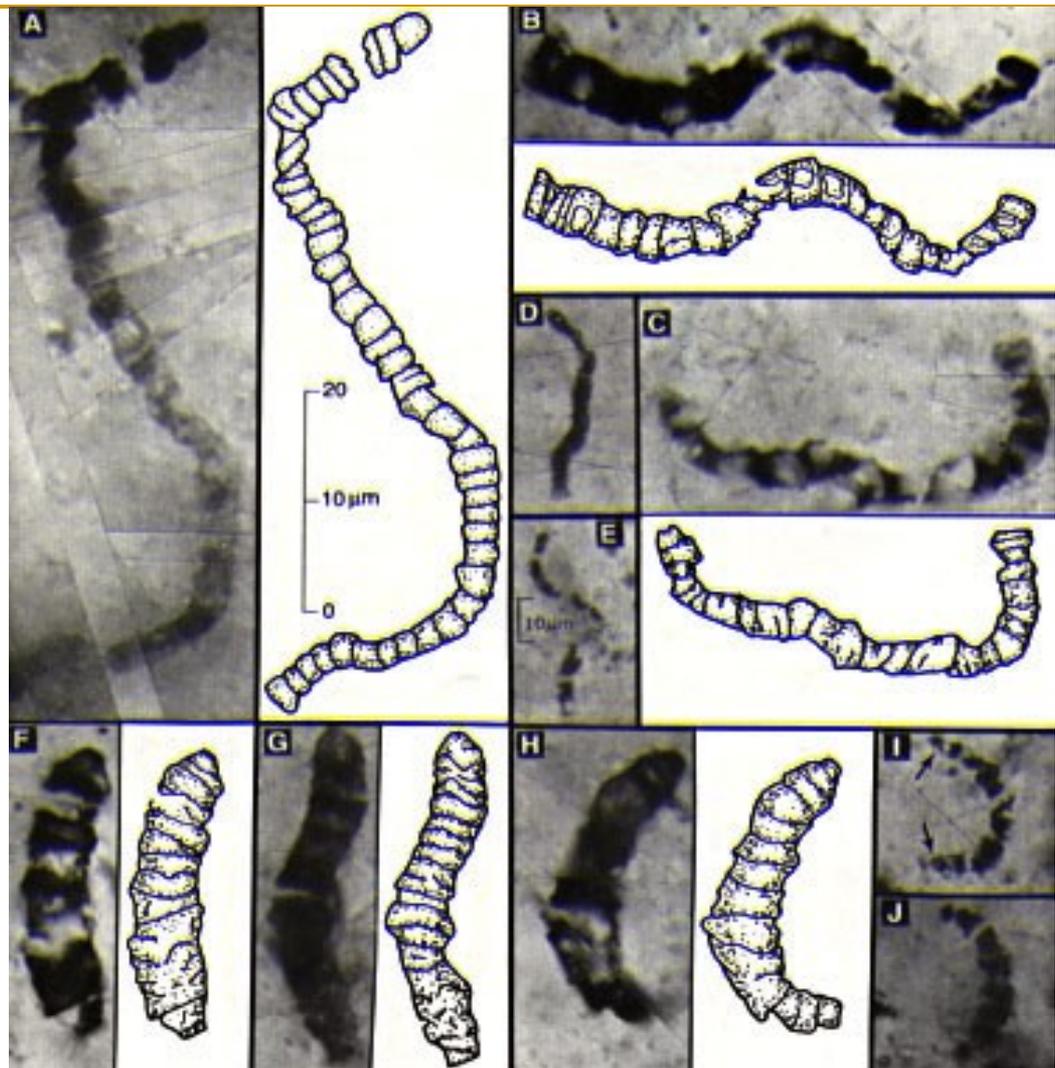
Stage I (4.1 - 2.7 Ga ?)



Un **stromatolithe** ou **stromatolite** (on parle aussi parfois de « thrombolites ») est une roche calcaire ou une structure marine biogénique et organique laminée.

- « **biogéniques et organiques** » : bio-construites par des communautés bactériennes, où dominent actuellement les cyanobactéries
- « **laminée** » : feuillets superposés de 0,1 à 5mm d'épaisseur, formant un tapis biominéral foncé produit par une colonie qui est une forme organisée d'un biofilm ; a priori la plus ancienne connue

Le stromatolithe *en tant que structure* n'est pas vivant, seules les bactéries qui le construisent le sont.



Microfossiles (Apex Chert, Australie). Archea, environ 3.465 milliards d'années, et ressemble à des procaryotes filamenteux.

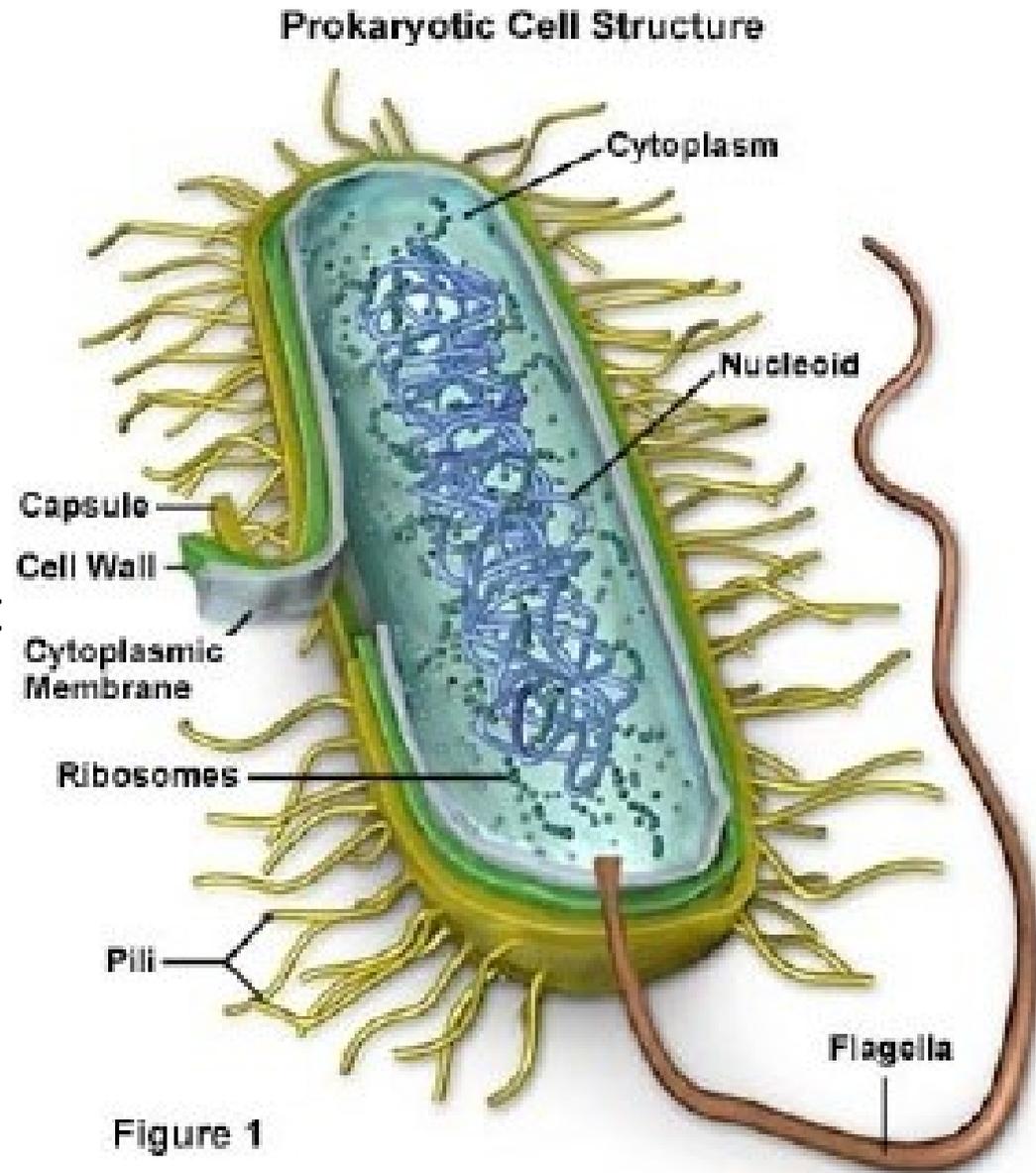
Diversité de la vie (sur Terre)

- Le monde vivant est segmenté en trois grands domaines :

- procarvotcs
- Les archæobactéries : organismes unicellulaires procaryotes capables de vivre dans des environnements extrêmes (chaud, acide, anaérobie, ...)
 - Les eubactéries (ou bactéries vraies)
 - Les eucaryotes : êtres unicellulaires ou pluricellulaires. Champignons, plantes, animaux,...
- Très grande diversité (taille, reproduction, récupération d'énergie, ...)

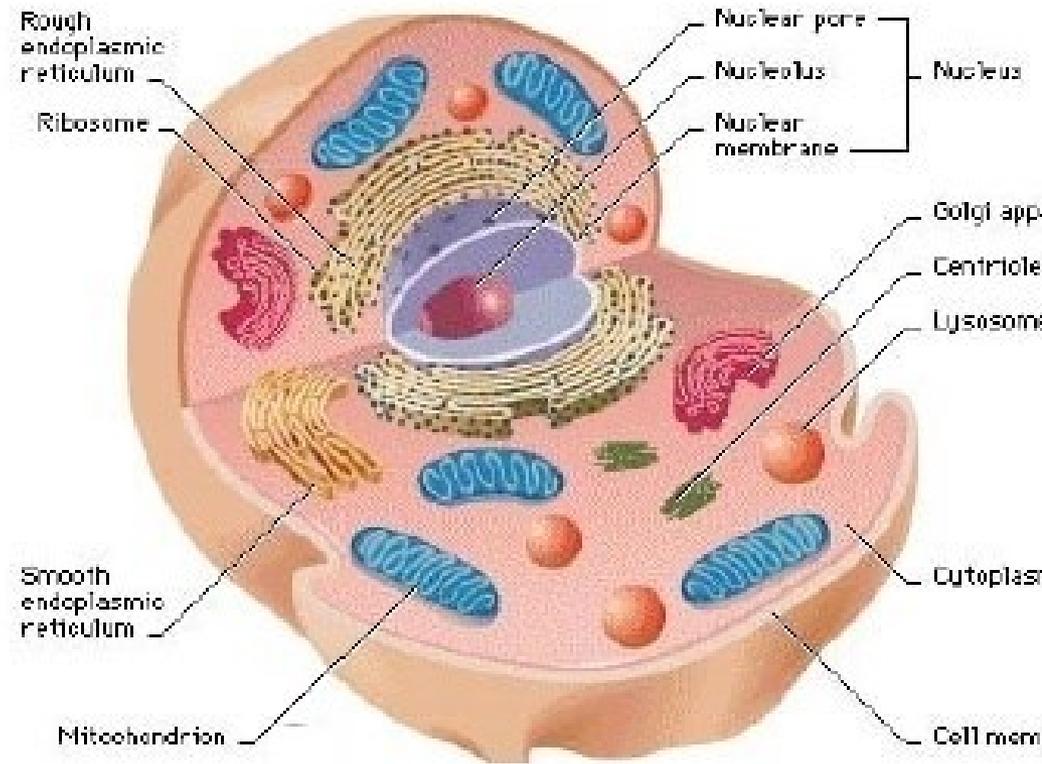
Les procaryotes

- Bactéries et Archées
- Apparition : 3 à 4 Ga
- Qq milliers de gènes
- Cellule à structure plutôt simple = cytoplasme + ADN. Pas de noyau.



Les eucaryotes

- Forme la plus familière
- Apparition : 1.5 à 2 Ga
- Qq $10^4 - 10^5$ gènes
- Cellule à structure complexe avec noyau.
- ADN enfermé dans le noyau.
- Synthèse des protéines plus complexe



Evolution biologique : analyse génétique

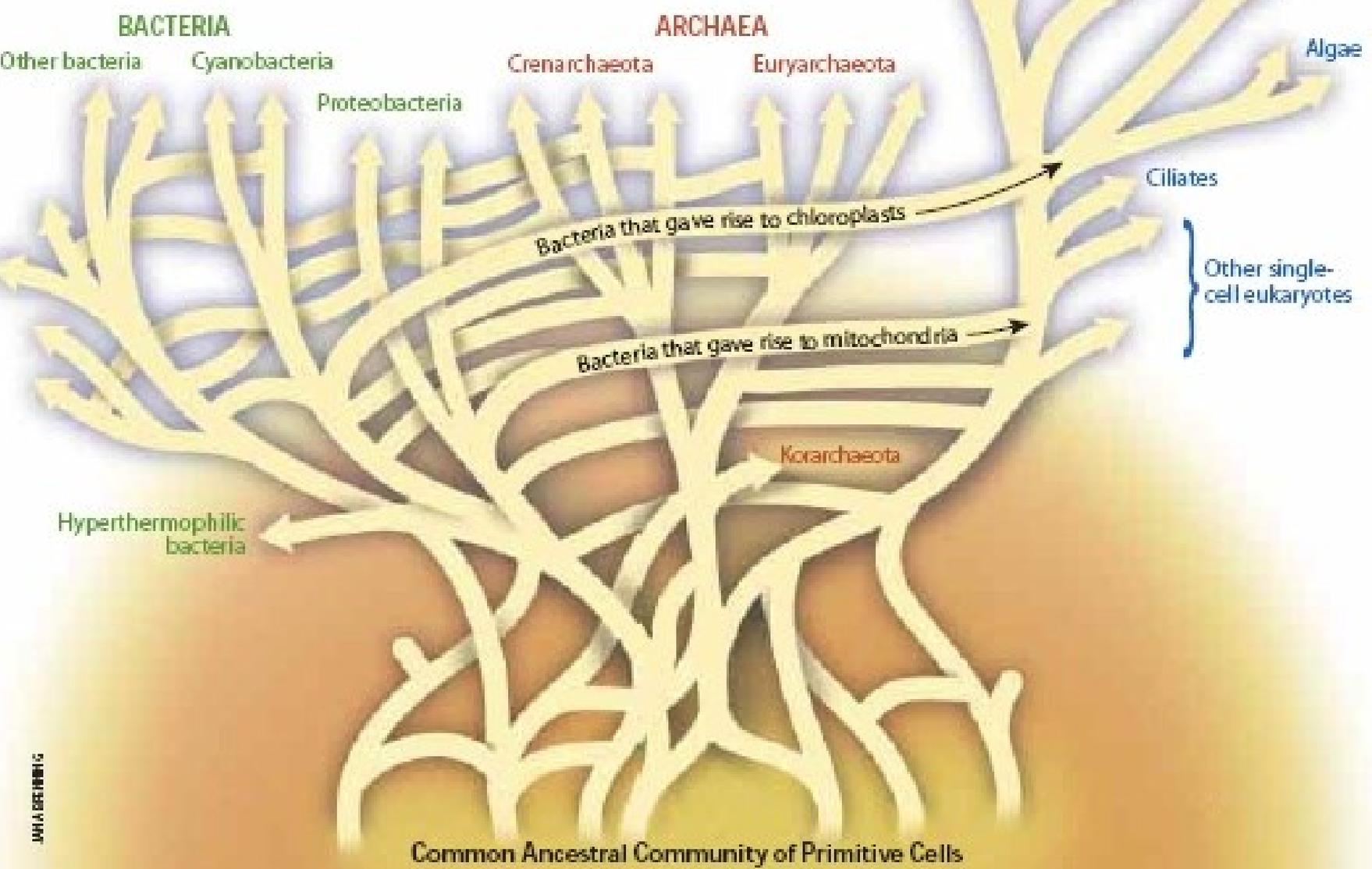
- Séquençage des acides nucléiques : informations sur la distance génétique entre espèces.

Exemple : ADN chimpanzé et homme similaire à 99%.

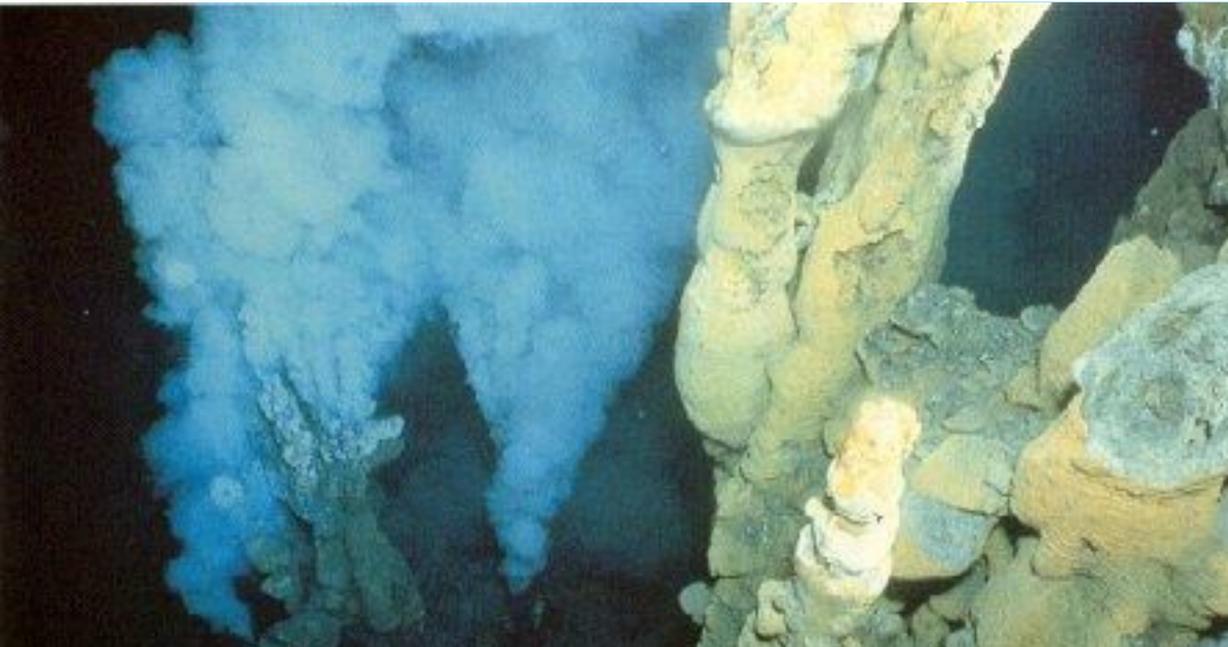
- Montre que les archæobactéries sont très différentes des vraies bactéries (eubactéries).
 - Racine de la vie entre archæobactéries et eubactérie. + proche des Archea.
-

-
- Partie de l'ADN codant la séquence 16S rRNA ⇒ distance génétique
 - LUCA : un organisme unique des milieux extrêmes ?
 - *Aquifex* : sources chaudes du Yellowstone
 - *Thermatoga* : sources chaude hydrothermales
 - Ou survie unique de ces organismes à cause d'un impact majeur sur Terre ?
 - **Mais**, attention au transfert latéral de gènes ?
 - *Deinococcus radiodurans* (bactérie) : contient des gènes de plantes !!
 - *Mycobacterium tuberculosis* (champignon) : contient au moins 8 gènes humains !!
 - Questionnement sur l'arbre de la vie ???
-

REVISED "TREE" OF LIFE retains a treelike structure at the top of the eukaryotic domain and acknowledges that eukaryotes obtained mitochondria and chloroplasts from bacteria. But it also includes an extensive network of untreelike links between branches. Those links have been inserted somewhat randomly to symbolize the rampant lateral gene transfer of single or multiple genes that has always occurred between unicellular organisms. This "tree" also lacks a single cell at the root; the three major domains of life probably arose from a population of primitive cells that differed in their genes.



La vie dans les milieux extrêmes – organismes primitifs ?



Les différents extrêmophiles

Halophiles
Sels 35%

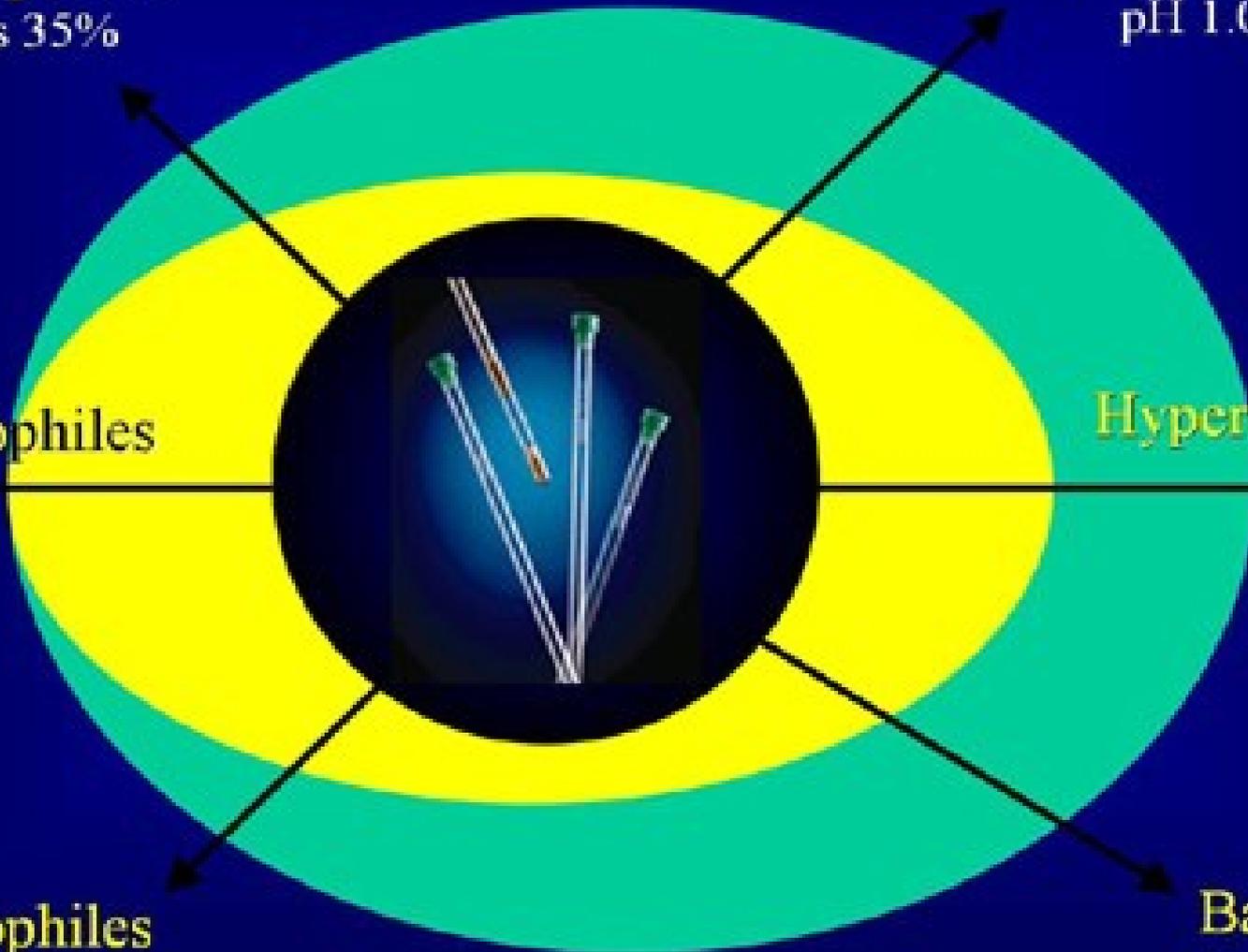
Acidophiles
pH 1.0

Psychrophiles
-0.5°C

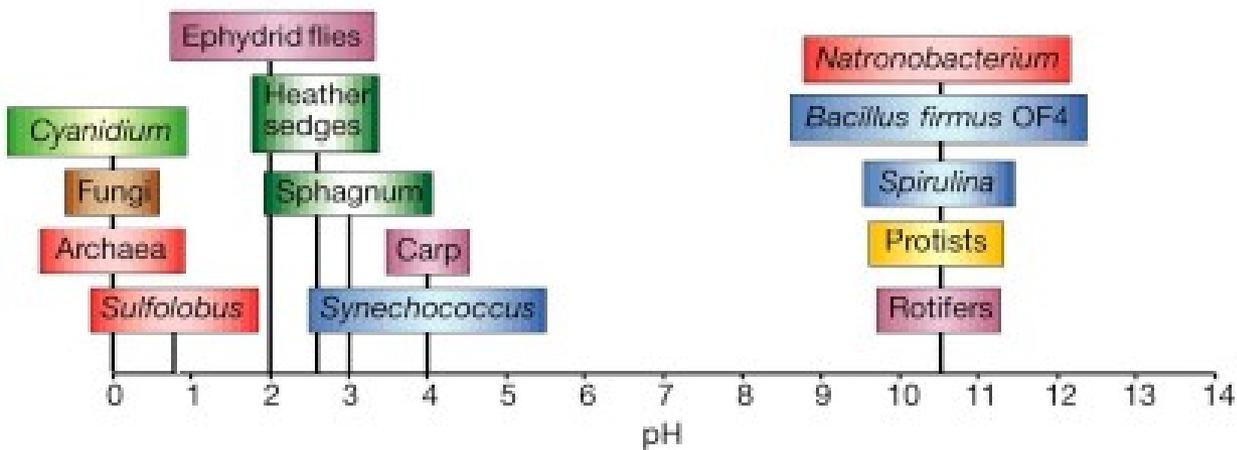
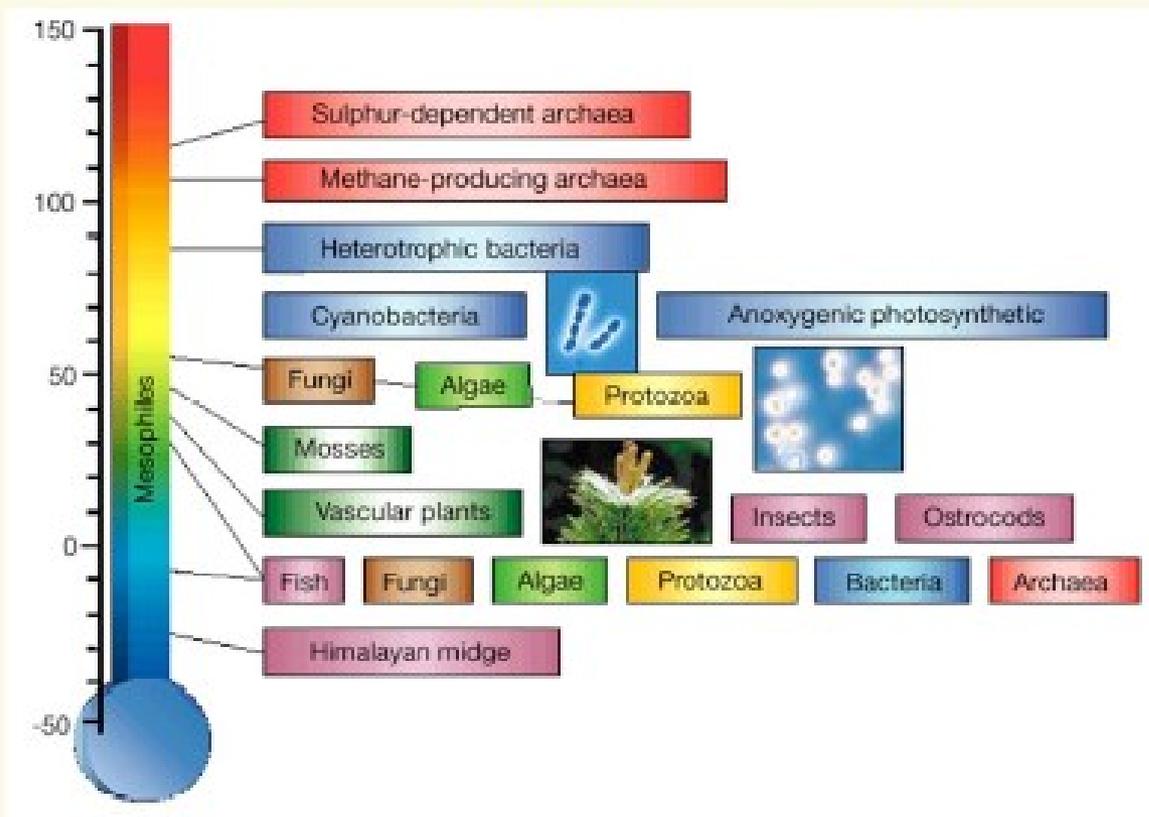
Hyperthermophiles
110°C

Alcalophiles
pH 11.0

Barophiles
4,5 Kbar



Temperature (top), pH (acid/base) (bottom)

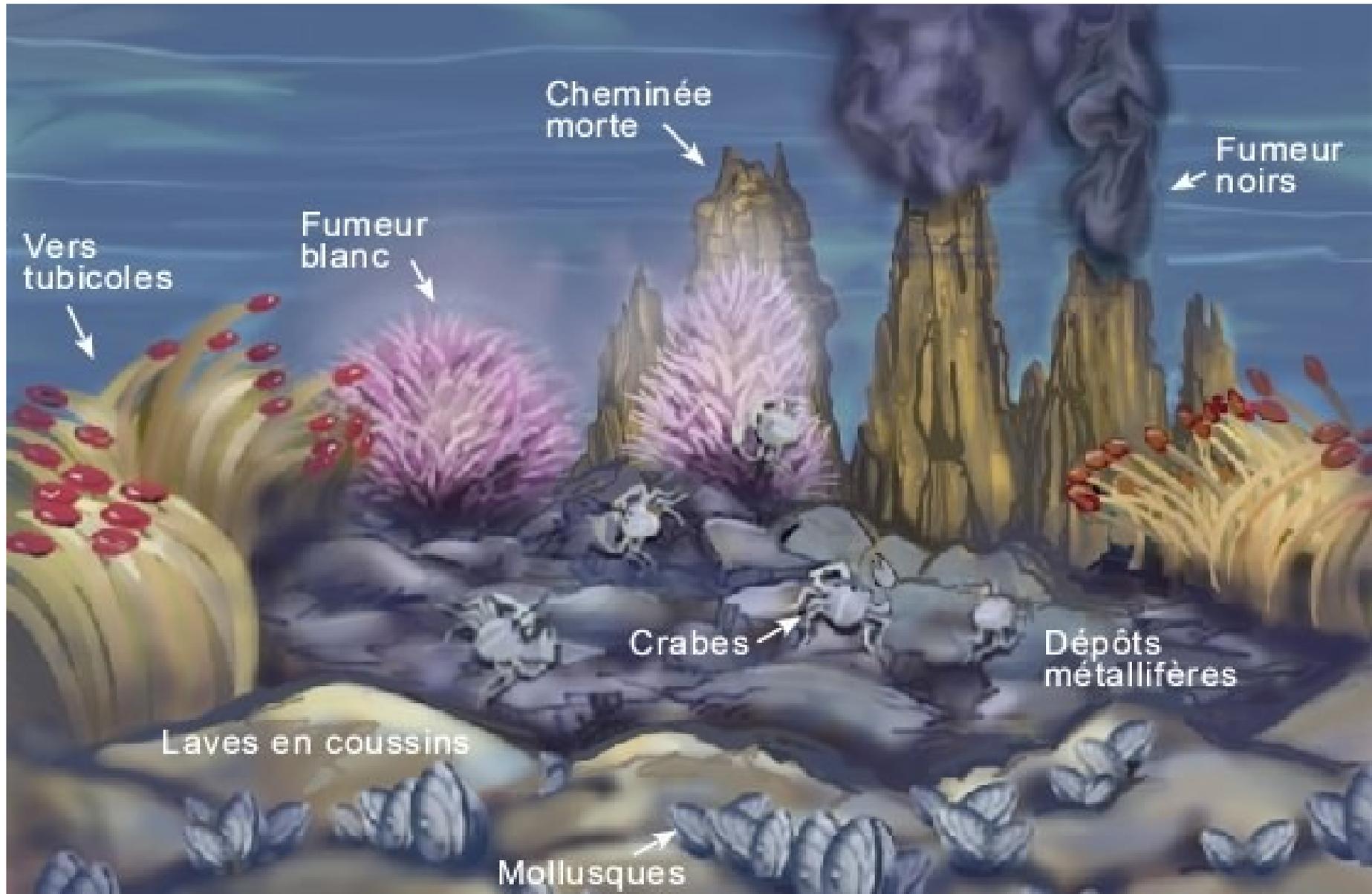


Extrêmophiles = organismes vivants dans des milieux considérés comme hostiles à la vie.

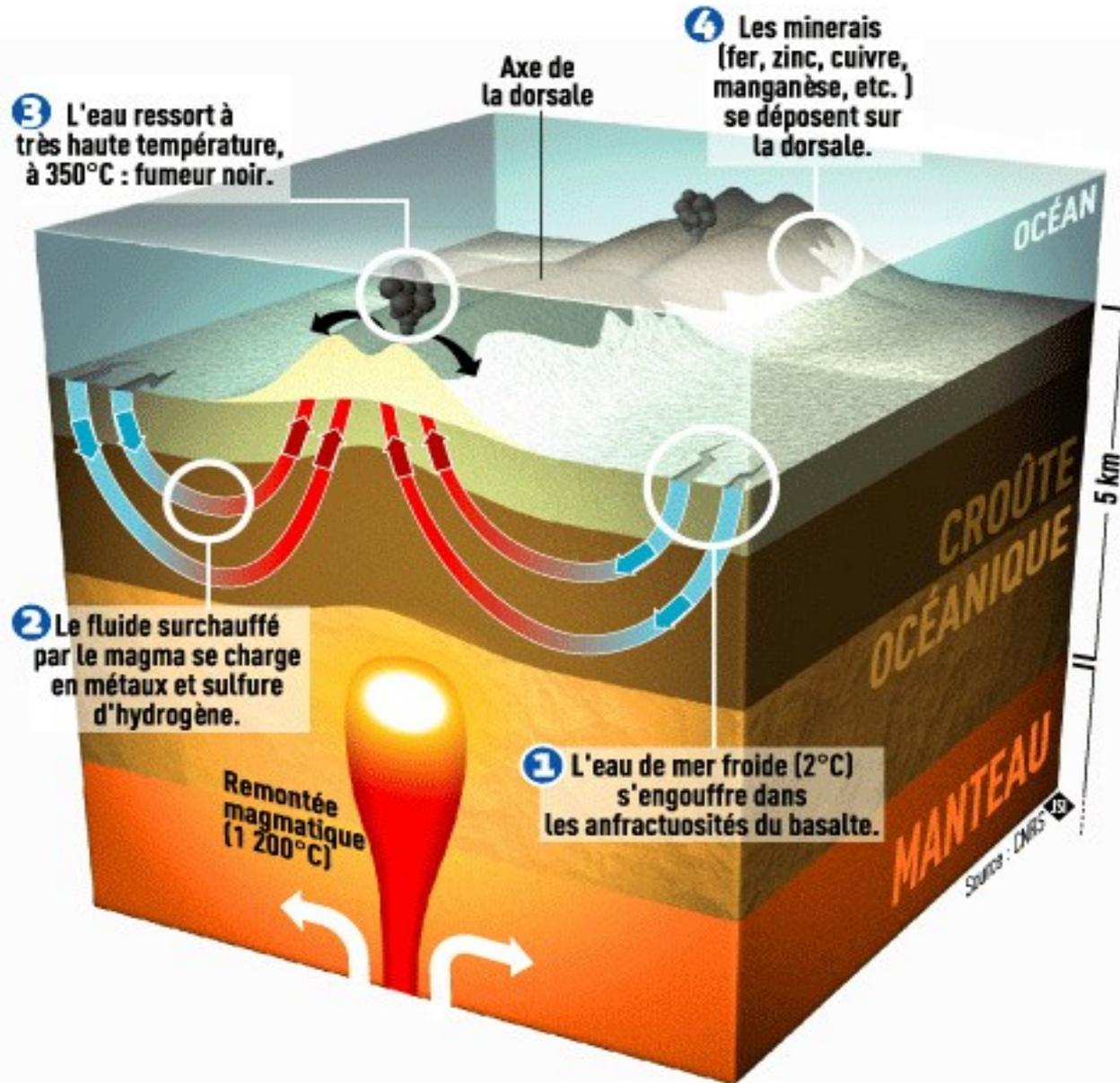
Les conditions extrêmes

- Plus chaud : 121°C, *Strain121* (fumeurs du Pacifique)
- Plus froid : -15 C°, *Cryptoendoliths* (Antarctique)
- Radiation : 5 MRad, *Deinococcus radiodurans*
- Gravité : 1 million de g, *Escherichia coli* (dans une centrifugeuse)
- Profondeur : 3.2 km sous la terre, 12 km sous la mer, *Bacillus Infernus*
- Acide : pH 0.0 (la plupart des organismes vivent dans un milieu 100000x moins acide), *Thiobacillus*
- Basique : pH 12.8 (la plupart des organismes vivent dans un milieu 1000x moins basique)
- Espace : 6 ans de survie dans le vide pour *Bacillus subtilis* retrouvé sur un satellite de la NASA
- Pression : 1200x la pression atmosphérique ou 12 km d'eau
- Salinité : 300 g/L en mer Morte, *Haloarcula*

Sources hydrothermales



Formation d'une cheminée hydrothermale

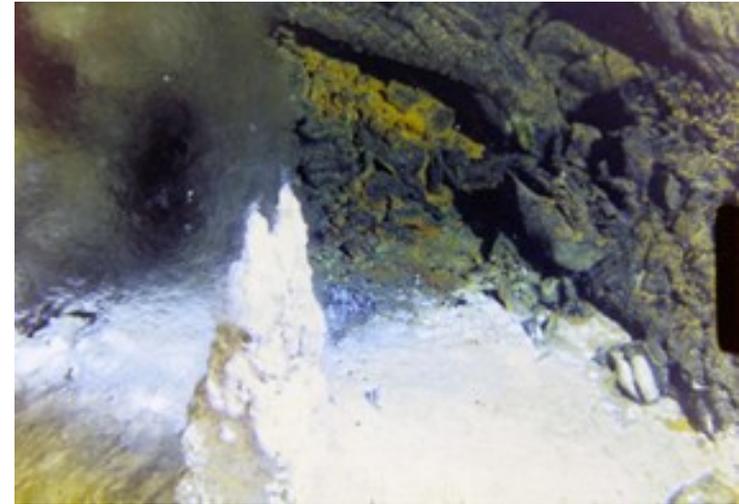


Les fumeurs des océans



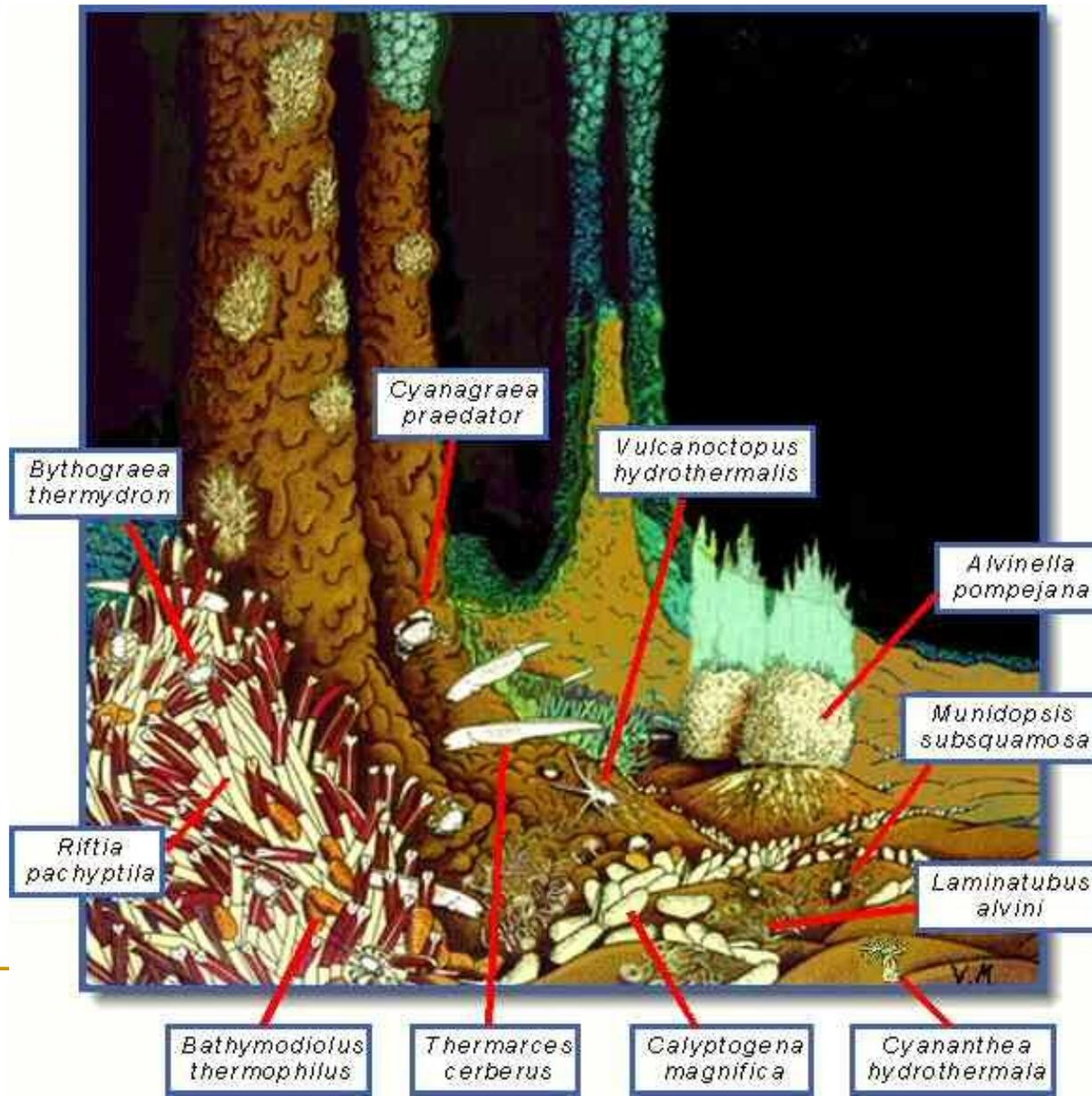
Noir

Blanc



- Très grandes profondeurs (plus de 1000 m, voire 2000 m)
- Hautes pressions (-1000 m, ≈ 100 bars)
- Monts hydrothermaux (hydrothermal vents), jusqu'à 380°C int., très forte concentration de nutriments inorganiques > fissures dans la lithosphère d'où de l'eau chauffée par la chaleur géothermale sort > geysers en surface, fumeurs dans les océans.
- Panaches noirs (sulfure métallique > 350°C , riche en H_2S) et panaches blanchâtres (baryum, sulfate de calcium > 150 à 270°C) qui sortent de cheminées volcaniques, plus précisément des fumeurs (noirs et blancs, les fumeurs transparents ne rejettent pas de particules)
- Développement d'une véritable oasis de vie au fond des océans > nouvelles perspectives dès la fin de 1970 (est Pacifique, rift)

La vie autour des sources hydrothermales



Alvinellidés



Vestimentifères Patelles



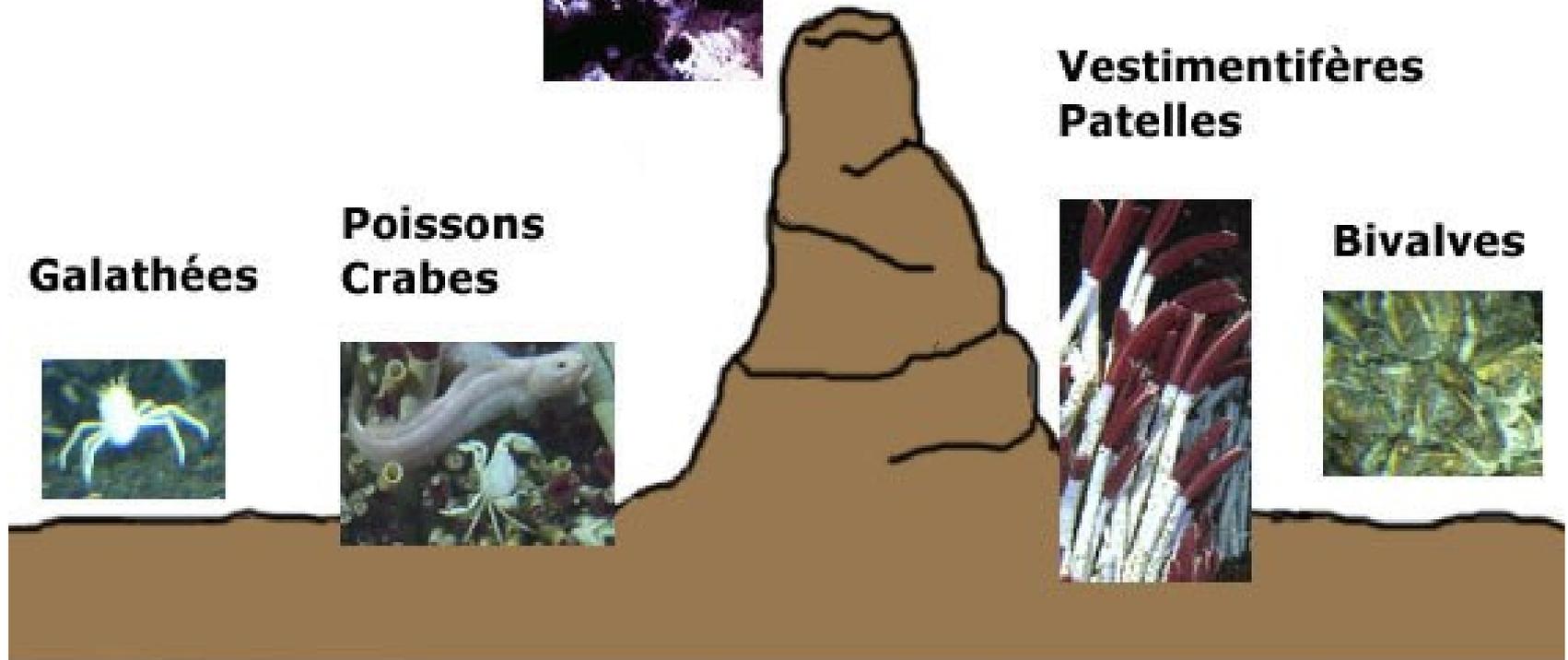
Bivalves



Galathées



Poissons Crabes

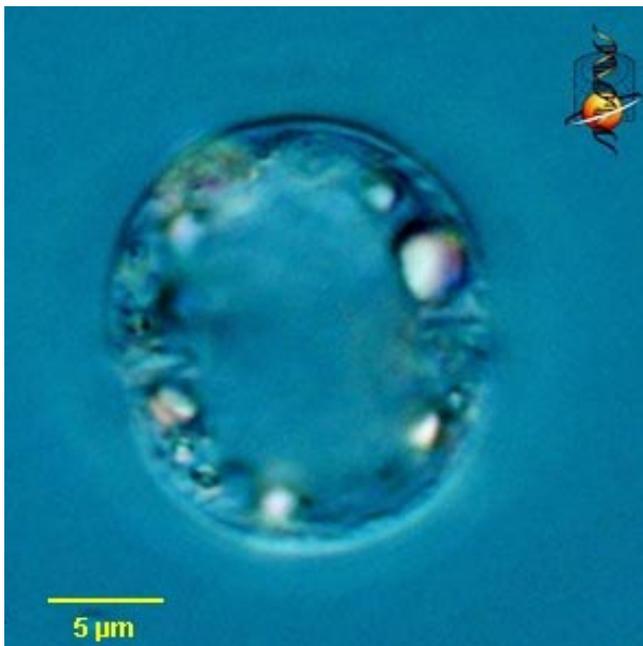




Brachyuran crabs



Galathée

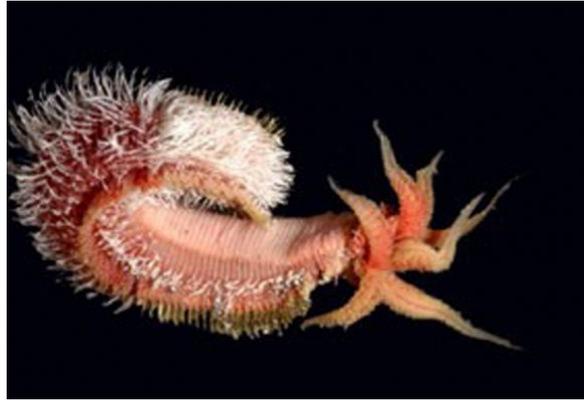


Thiovulum





Alvinella pompejana



Alvinella normale



Riftia pachyptila

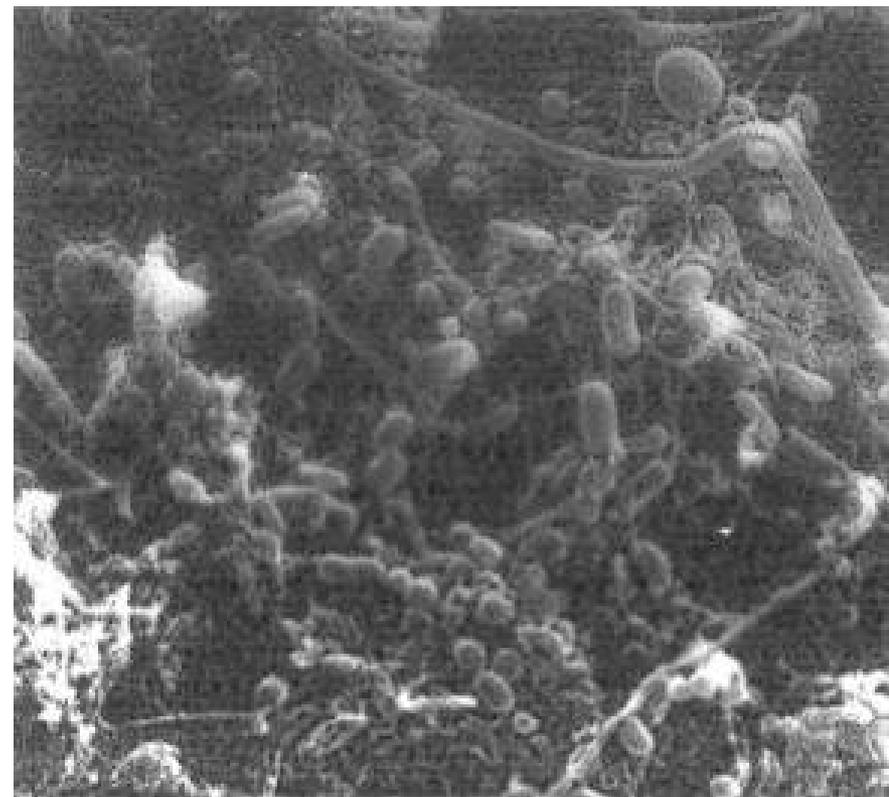
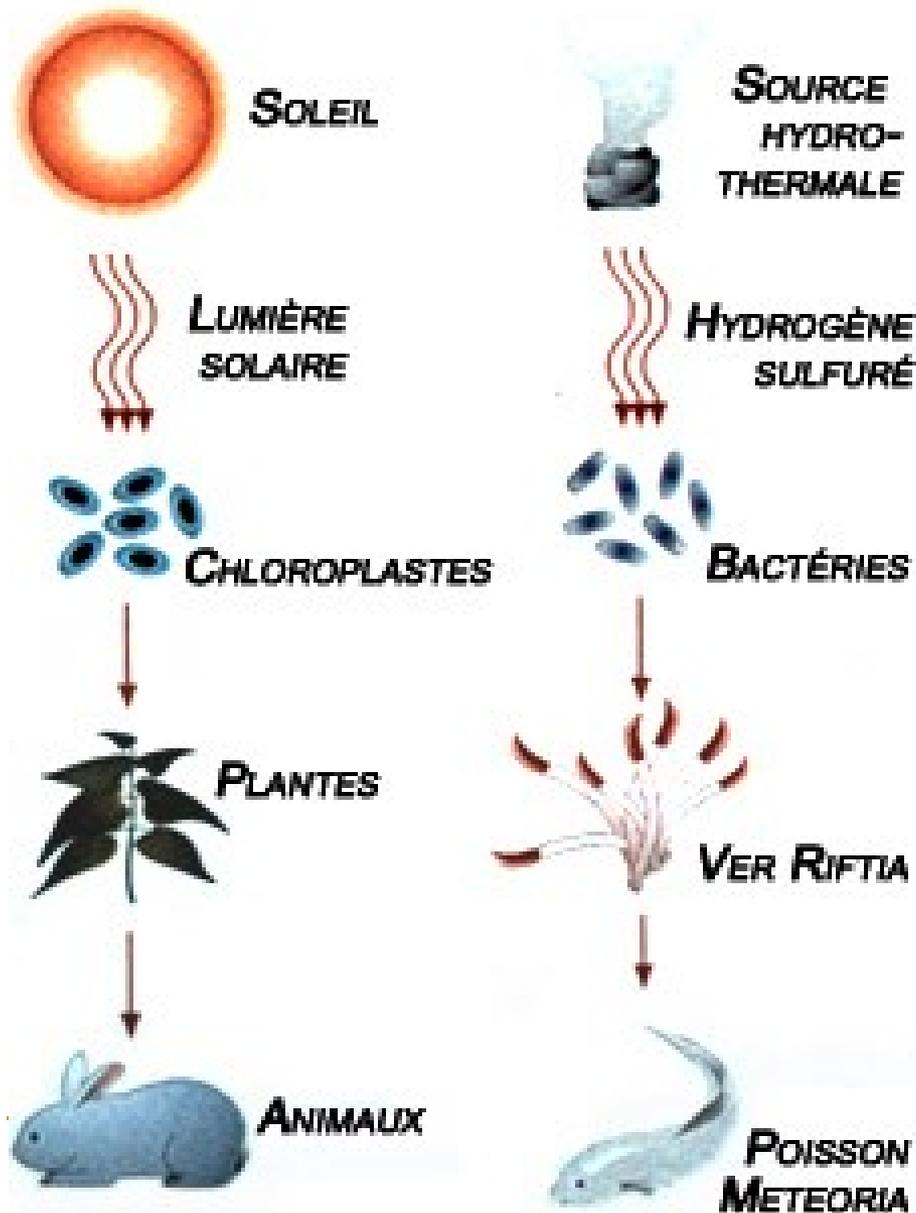


Bathymodiolus thermophilus



Rimicaris exoculata

PHOTOSYNTHÈSE CHIMIOSYNTHÈSE



- Chemosynthèse effectuée par les bactéries

Les vers tubicoles vestimentifères

Possèdent un trophosome rempli de bactéries.

