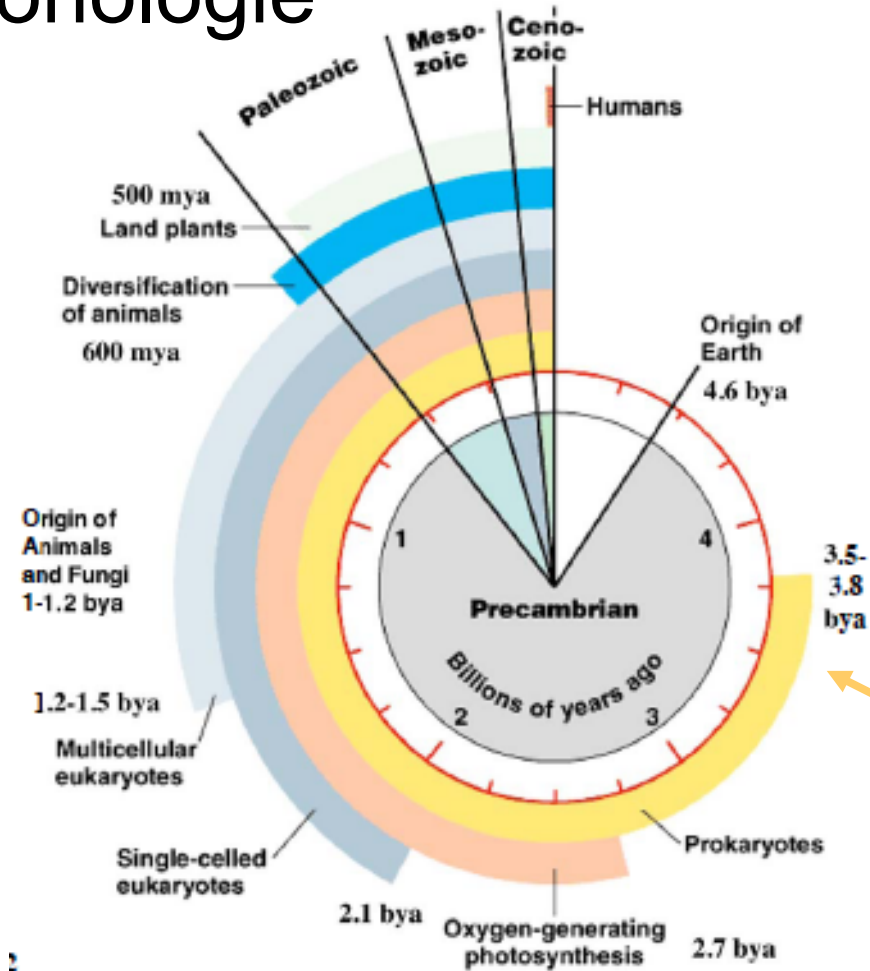


Catalyse et origine de la vie

- I. La terre lors de l'apparition de la vie
- II. Synthèse de matière organique à partir de matière minérale
- III. Polymérisation
- IV. Rôle des lipides
- V. Energie et métabolismes
- VI. L'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère

I. La terre lors de l'apparition de la vie

- Chronologie



Rappel: Big Bang il y a 12 milliards d'années

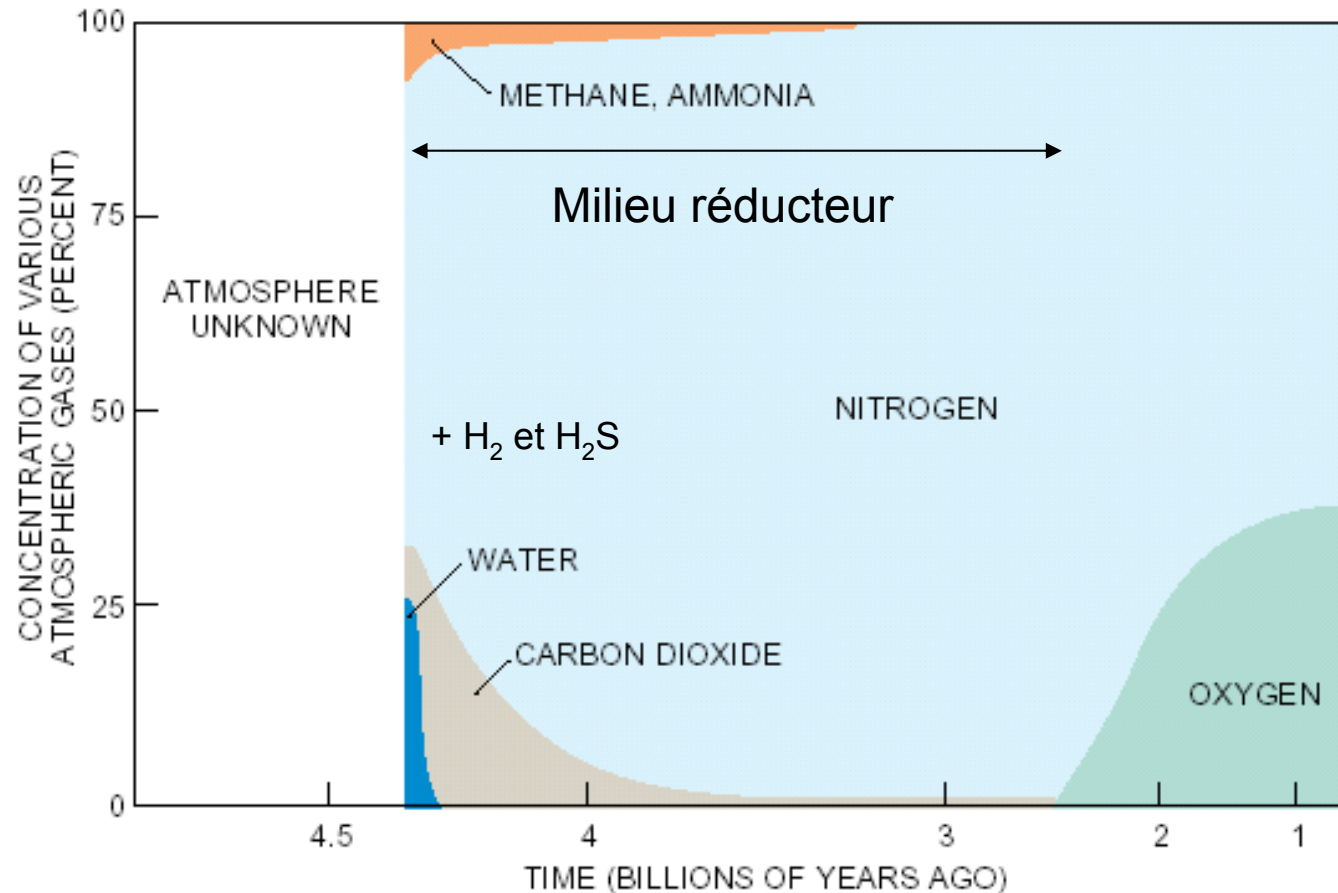
Origine de la vie:
Il y a entre 3.5 et 4 milliards d'années → Très tôt:
Immédiatement après que la terre aie refroidi suffisamment pour que H₂O liquide apparaisse

Environnement originel

- Chaud (activité volcanique intense)
- Impacts de météorites nombreux
- Bombardement UV (pas de couche d'ozone)
- Atmosphère réductrice



Composition de l'atmosphère



ATMOSPHERIC COMPOSITION, shown by the relative concentration of various gases, has been greatly influenced by life on the earth. The early atmosphere had fairly high concentrations of water and carbon dioxide and, some experts believe, methane, ammonia and nitrogen. After the emergence of living organisms, the oxygen that is so vital to our survival became more plentiful. Today carbon dioxide, methane and water exist only in trace amounts in the atmosphere.

Allegre &
Schneider
(1994)

Environnement originel

→ Environnement terrestre originel plutôt hostile: Origine de la vie très certainement sub-aquatique



Organisme unicellulaire, microscopique et aquatique (procaryote)

Etapes nécessaires à l'apparition de la vie

- Synthèse de **monomères** organiques à partir de matière minérale
- **Polymérisation**
- **Hérédité, réplication et protéines**
- **Compartmentalisation**

Etapes nécessaires à l'apparition de la vie

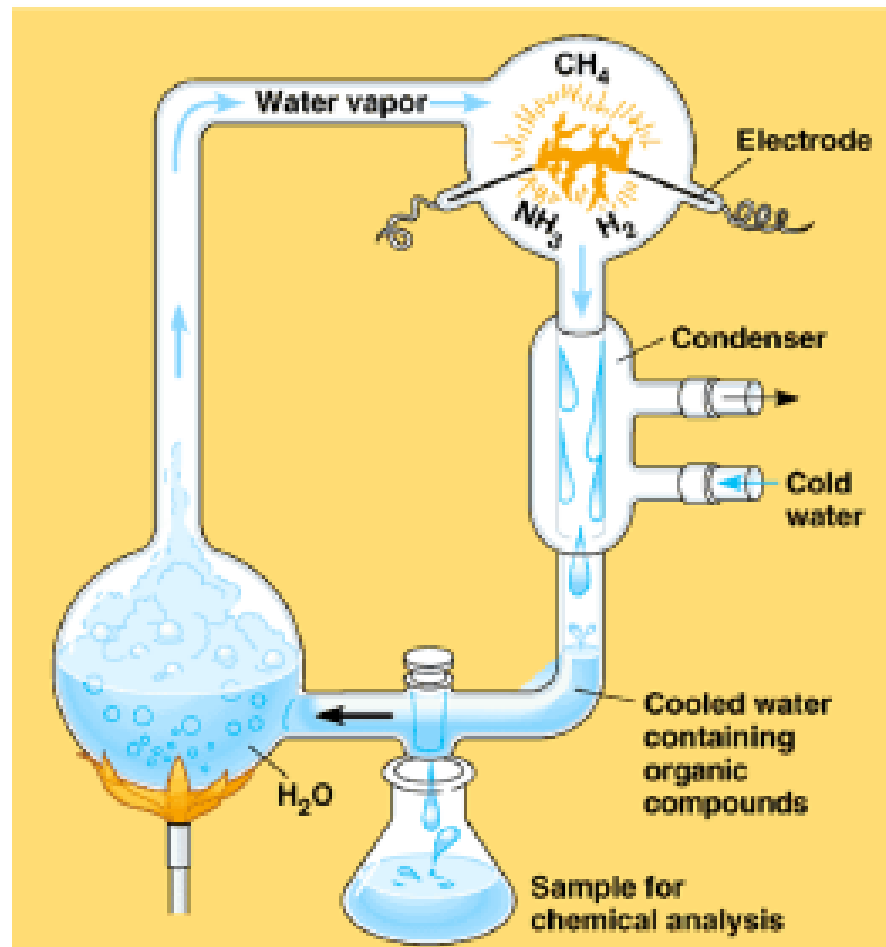
- Synthèse de **monomères** organiques à partir de matière minérale
- **Polymérisation**
- **Hérédité, réplication et protéines**
- **Compartmentalisation**

II. Synthèse de matière organique à partir de matière minérale

2 grandes théories:

- Expérience de Urey-Miller (1953):
 - Reproduire en laboratoire l'atmosphère primitive de la terre (atm réductrice, chaleur, arcs électriques) pour synthétiser les briques élémentaires
- Théorie de Wächterhäuser:
 - Sources hydrothermales procurent énergie et matière première

II.1 Expérience de Urey-Miller



Selon les conditions expérimentales

AMINO ACID	MURCHISON METEORITE	DISCHARGE EXPERIMENT
GLYCINE	• • • •	• • • •
ALANINE	• • • •	• • • •
α -AMINO-N-BUTYRIC ACID	• • •	• • • •
α -AMINOISOBUTYRIC ACID	• • • •	• •
VALINE	• • •	• •
NORVALINE	• • •	• • •
ISOVALINE	• •	• •
PROLINE	• • •	•
PIPECOLIC ACID	•	•
ASPARTIC ACID	• • •	• • •
GLUTAMIC ACID	• • •	• •
β -ALANINE	• •	• •
β -AMINO-N-BUTYRIC ACID	•	•
β -AMINOISOBUTYRIC ACID	•	•
γ -AMINO BUTYRIC ACID	•	• •
SARCOSINE	• •	• • •
N-ETHYLGLYCINE	• •	• • •
N-METHYLALANINE	• •	• •

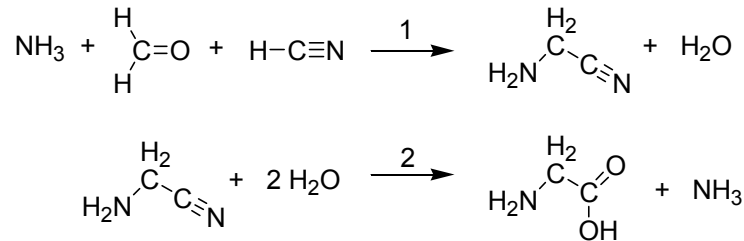
L.E. Orgel, *Scientific American* 10/1994

- 20 acides aminés
- Acides gras
- Sucres
- Nucléotides
- ATP (en présence de phosphates)
→ Tout ceci en faible quantité

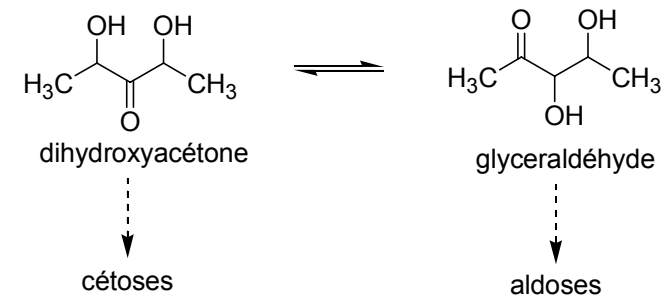
Bilan: H_2 , CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2O + $h\nu$ + chaleur → biomolécules

Voies de synthèse probables

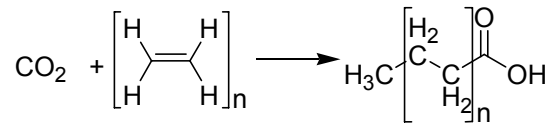
• Glycine



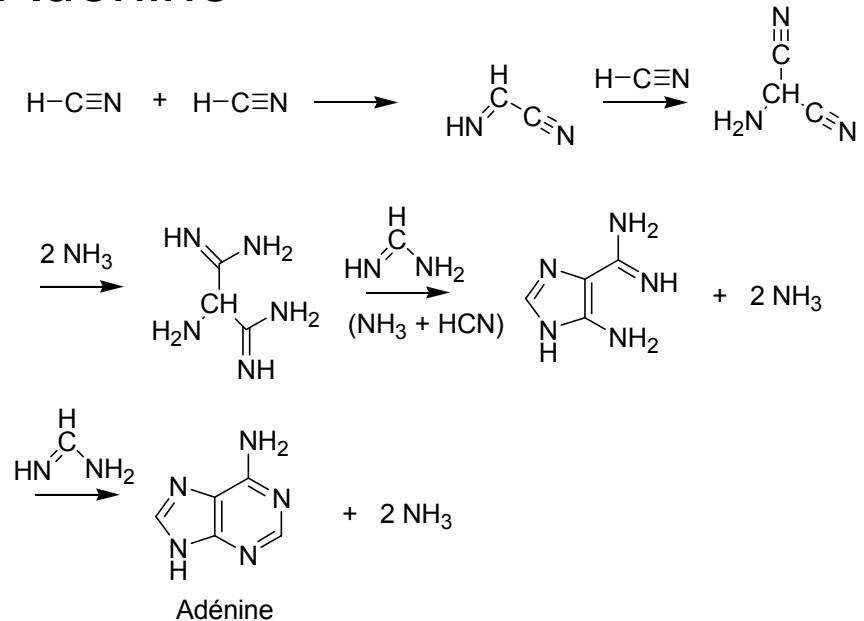
• Sucres



• Acides gras



• Adénine

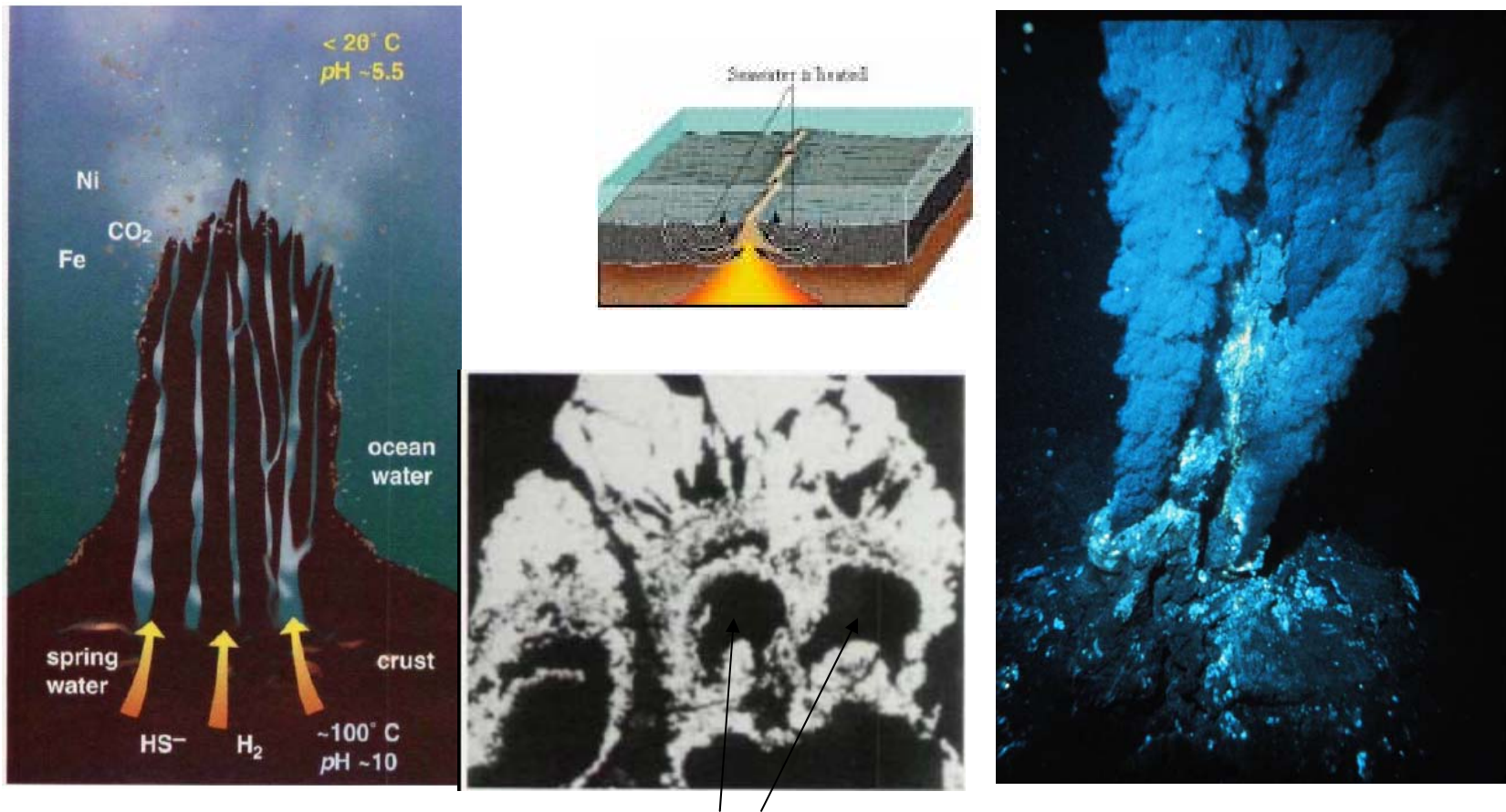


Rappel: ces réactions nécessitent de la chaleur (arc électrique) et les rendements sont faibles

II.2 Catalyse par des minéraux

- 1977: Une multitude d'organismes "anciens" sont découverts dans des sources volcaniques sous-marines. L'origine de la vie serait ces sources hydrothermales (donc premiers organismes sont hyperthermophiles) ?
Arguments:
 - Océan: Protection contre le bombardement massif en surface
 - Métaux abondants: Beaucoup des enzymes essentielles à la vie requierent des métaux se trouvant couramment dans les sources hydrothermales (Fe, Ni, Mo, Cu, Co, Zn)
 - Les minerais présents procurent des surfaces pour faire de la catalyse hétérogène (métal = catalyseur pour les réactions chimiques, surface des minerais = hôte pour des substrats) et de la polymérisation
- 1988: Günter Wächtershäuser suggère que les sulfures de Fe & Ni dans ces sources hydrothermales procurent les gabarits et catalyseurs pour la formation de molécules biologiques.

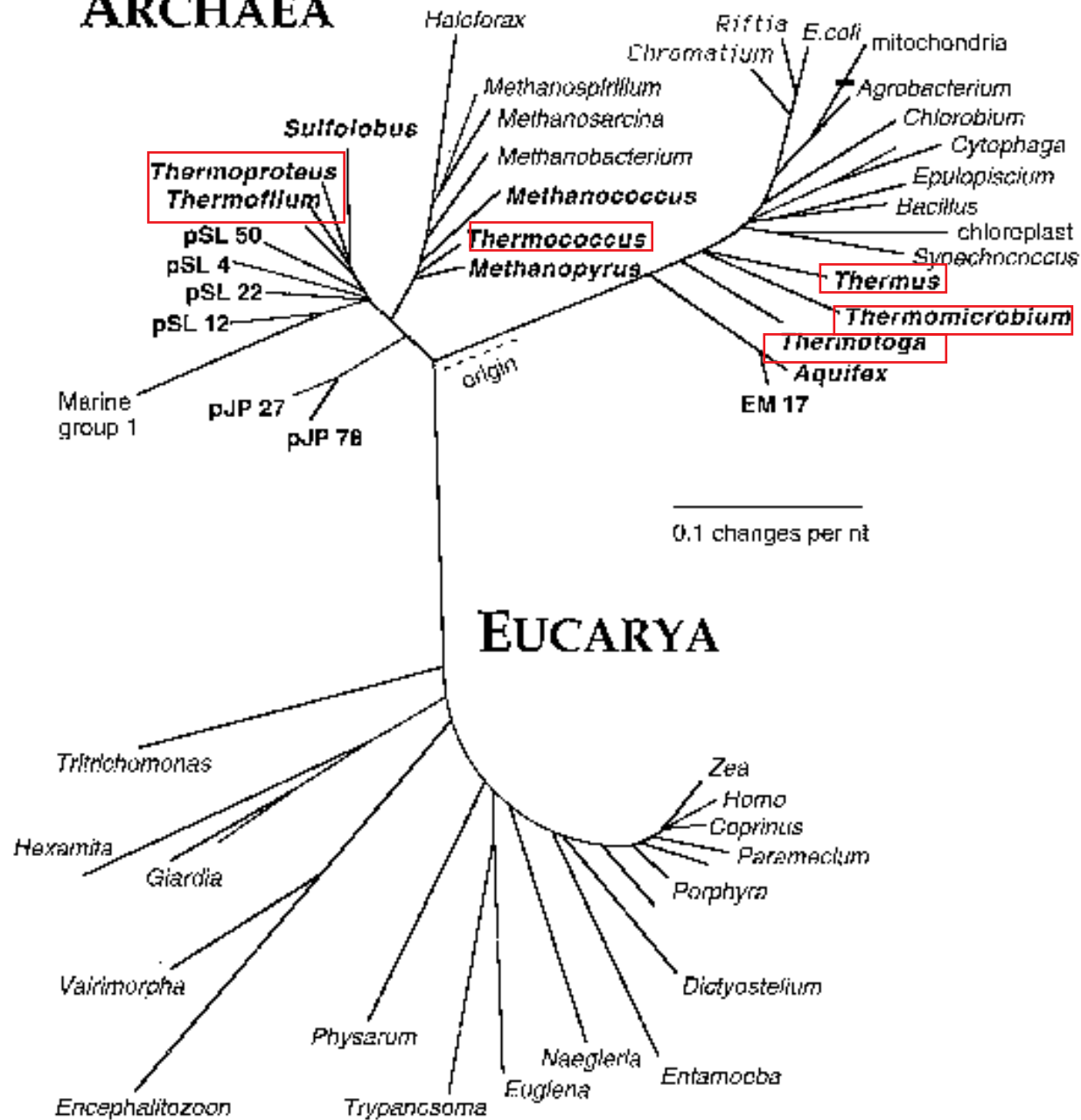
Sources hydrothermales comme réacteurs pour la catalyse prébiotique



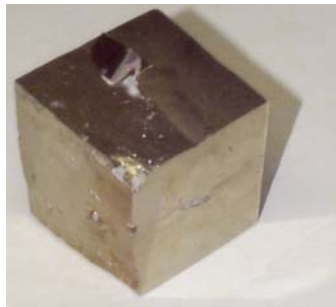
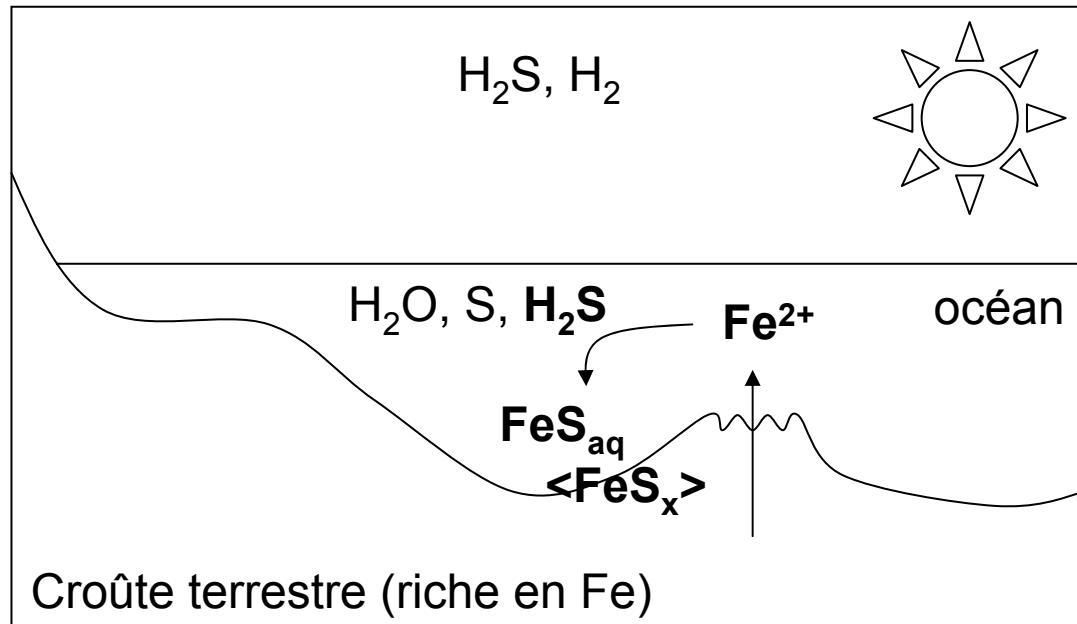
Bulles fossilisées sur un minéral de sulfure de fer (pyrite)

BACTERIA

ARCHAEA



Sulfures de fer



Cristal de pyrite (FeS_2)

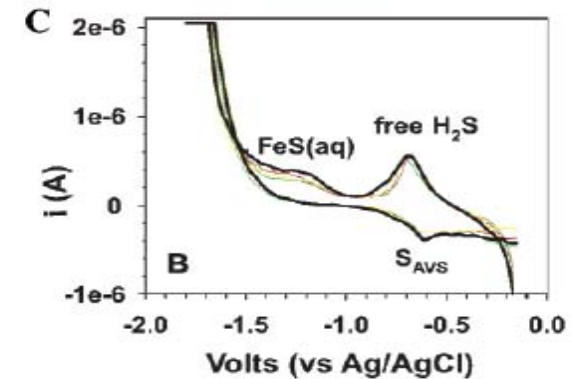
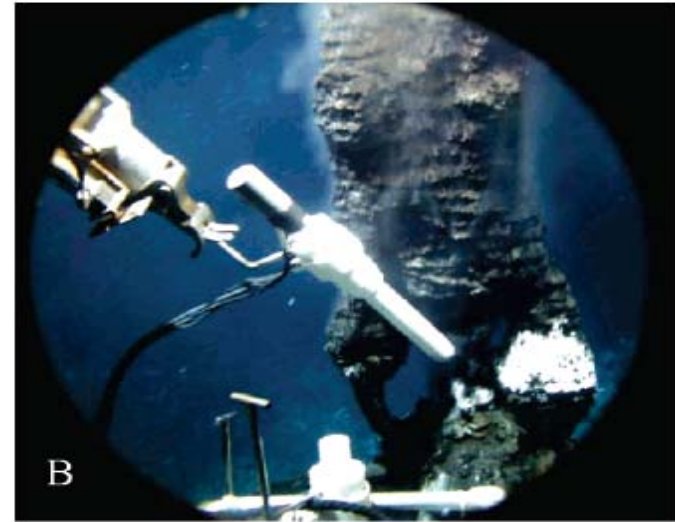


Figure 38. (A) Black smoker hydrothermal vent probed by an electrode wand 0.5 m above the vent chimney (≤ 360 °C) at a depth of 2.5 km on the North East Pacific Rise ($9^{\circ} 50' N$). (B) beehive structure from the North East Pacific Rise ($9^{\circ} 50' N$), and (C) Reproducible cyclic voltammetry scans (1 V/s) taken 0.5 m above the vent orifice (location is the wand tip in Figure 38A) where the temperature was 25 °C and the pH ≈ 6 . Only H_2S and $FeS(aq)$ were detected. The total sulfide (S_{AVS}) was recovered on the negative scan.

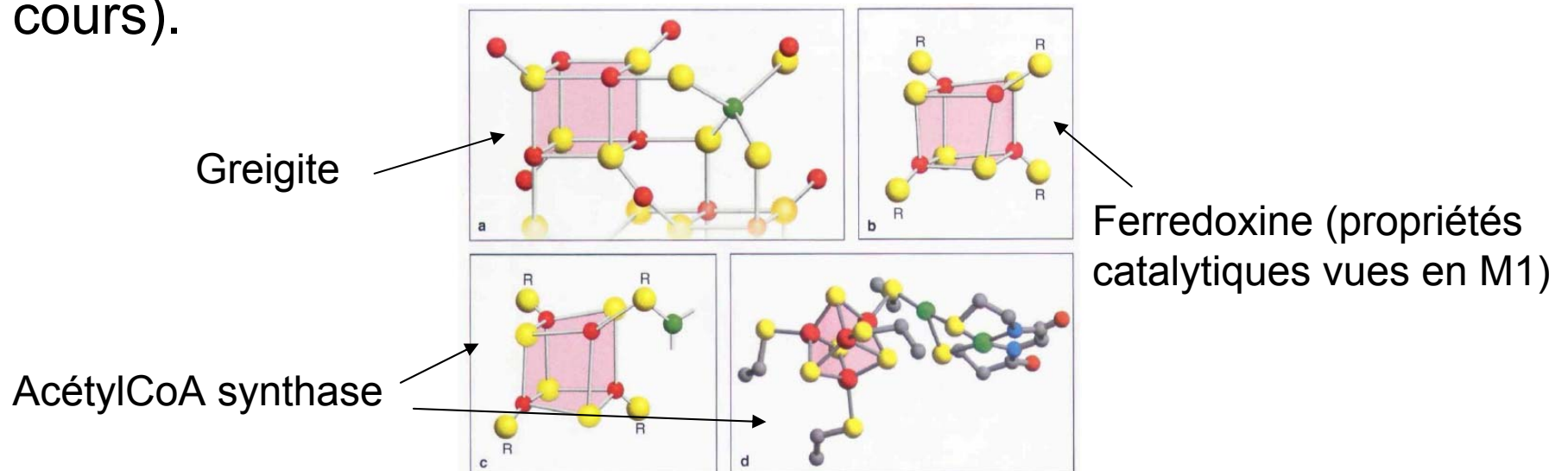
•Présence de FeS soluble qui favorise les réactions chimiques:

-Propriétés catalytiques proches d'édifices Fe_2S_2 ou Fe_4S_4

-Le Fe permet un échange de ligand facile

-Le S est réducteur vis-à-vis du C de CO (CO_2)

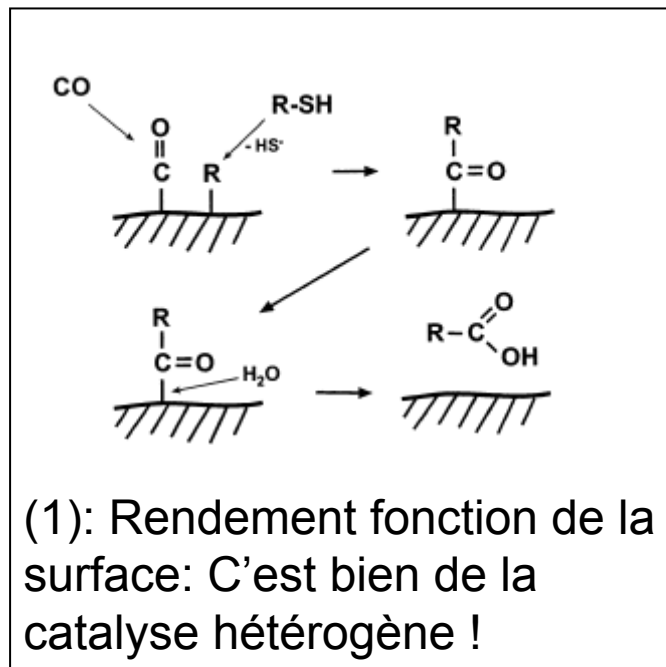
-Mélange FeS/NiS encore plus efficace pour catalyser la formation de composés organiques (ce mélange se retrouve dans le site actif de certaines enzymes anciennes Cf suite du cours).



Réactions observées en présence de sulfures de fer (+II car atmosphère réductrice)



(catalysée par les sulfures de fer)



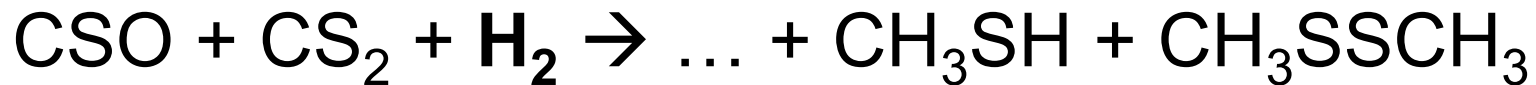
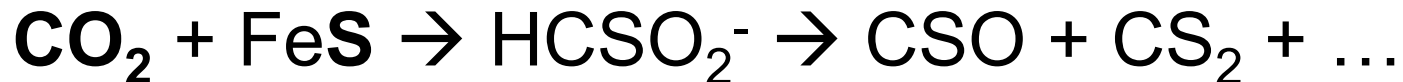
(2) Formation de $\text{CH}_4 \approx$ bactéries méthanogènes

(3) Formation de $\text{H}_2 \approx$ hydrogénases

La réaction (3): Formation de Pyrite à partir de Pyrrhotite. Voie probable de synthèse hydrothermale de FeS_2 .

Voies cataboliques?

- Réduction directe de CO_2 (pour l'incorporer dans des molécules « biologiques »):
- FeS_2 : NON
- FeS : NON, mais ...



Insertion de **CO** (réaction de Fischer Tropsch) \rightarrow
CH₃COSH

\approx AcétylCoA au centre de tous les métabolismes modernes.

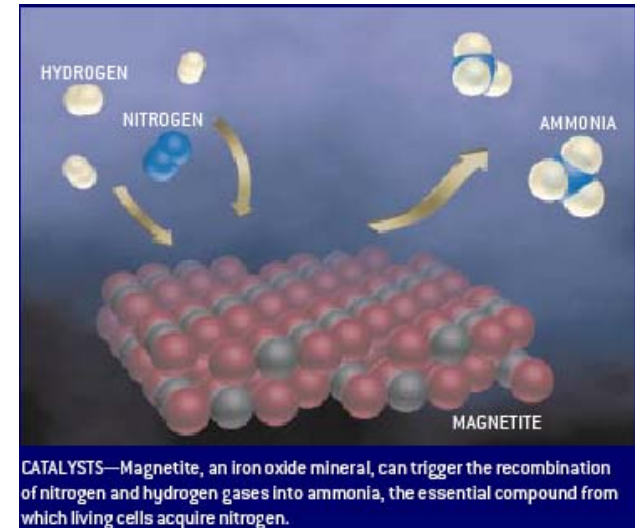
Potentiel de réduction de CO_2 (absence de catalyseur) : -2.22 V vs SCE

Plus tard

Conditions de température et pression typiques des sources hydrothermales:

- 1997: Jay Brandes (Carnegie Inst.):
 $N_2 + 3 H_2 \rightarrow 2 NH_3 + \dots$ Catalysée par Fe_3O_4 (magnétite)

NH_3 est la forme la plus facilement assimilable de l'azote par les organismes



- 2000: Cody et al.:
Synthèse du pyruvate en utilisant une catalyse minérale
Le pyruvate est au croisement de toutes les voies métabolique et biosynthétiques.

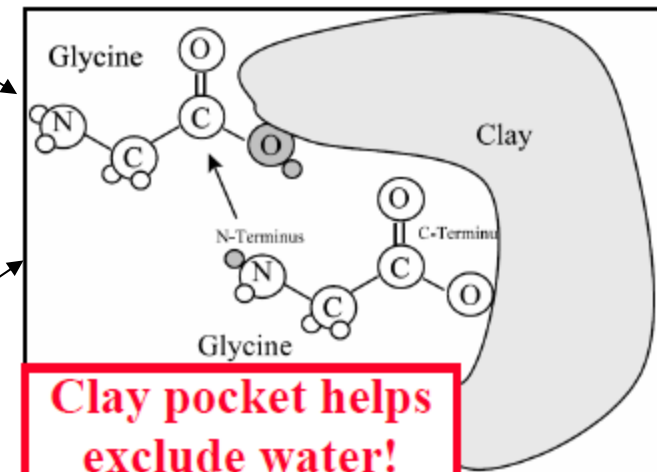
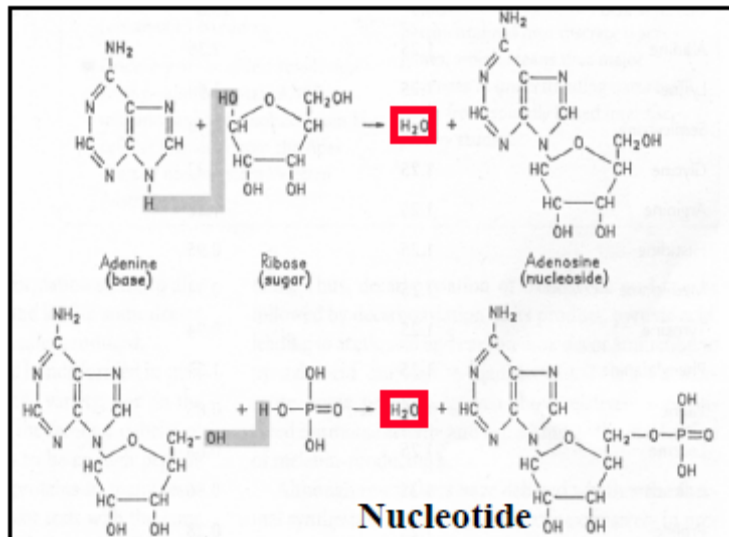
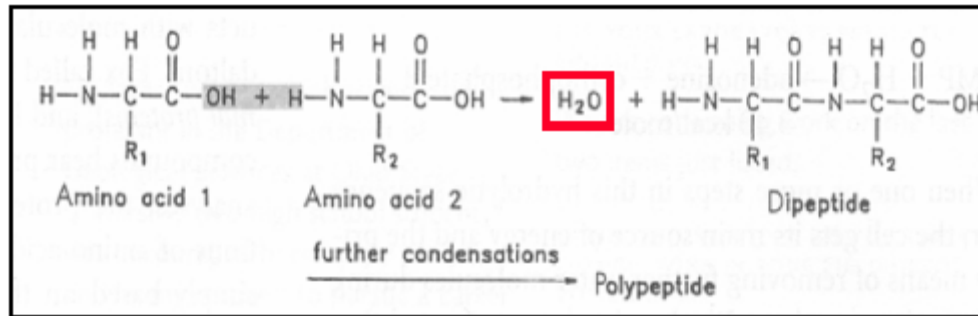
Etapes nécessaires à l'apparition de la vie

- Synthèse de **monomères** organiques à partir de matière minérale
- **Polymérisation**
- **Hérédité, réplication et protéines**
- **Compartmentalisation**

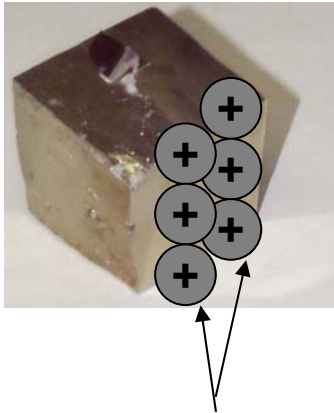
III. Polymérisation

- Pas d'enzyme pour catalyser la formation de liaisons chimique !
- De plus monomères en solution diluée (ne favorise pas les réactions intermoléculaires)
- Plusieurs catalyseurs possibles:
 - « Chauffage » sur bac à sable de solutions contenant des amino-acides (exp de Sidney Fox) → Formation d'oligopeptides. Mais chauffage \neq catalyse. En présence de métaux (Zinc, Fer) → Oligopeptides plus longs
 - Catalyse supportée: argile, minerais de fer

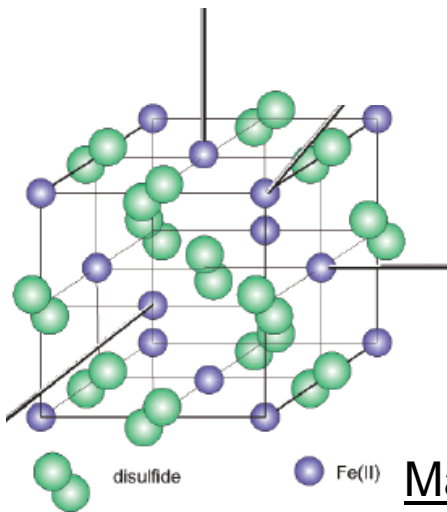
Argile: Les poches hydrophobes permettent d'éliminer plus facilement l'eau



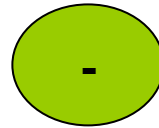
Amélioration de la polymérisation: Catalyse supportée sur sulfure de fer



Charges de surface positives en présence de Fe^{2+} aqueux et absence d' O_2

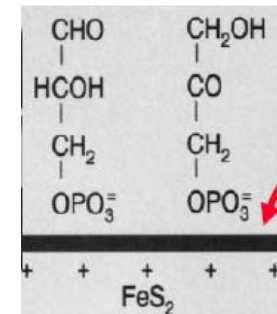
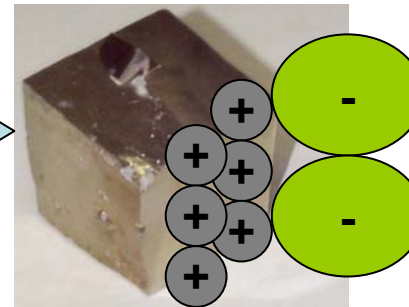
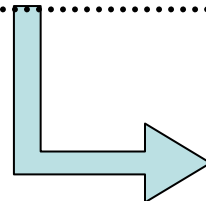
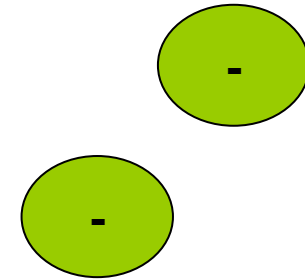


Maille cristalline de la pyrite



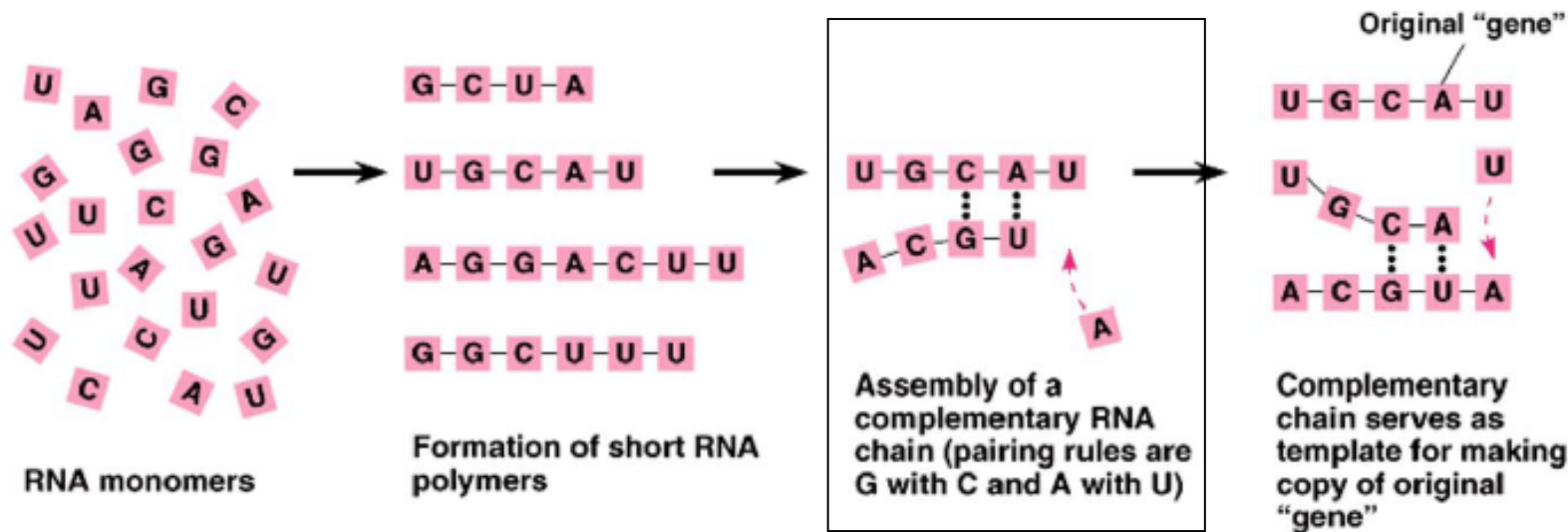
Milieu dilué (trop pour que la vie puisse commencer)

Anions formés in situ dont PO_4^{3-} , ATP, ADP, AMP, bases ...



Concentration de molécules autour de la pyrite: interaction intermoléculaires, et donc polymérisation, favorisées

Polymérisation de l'ARN



Réalisable au laboratoire sans enzyme!

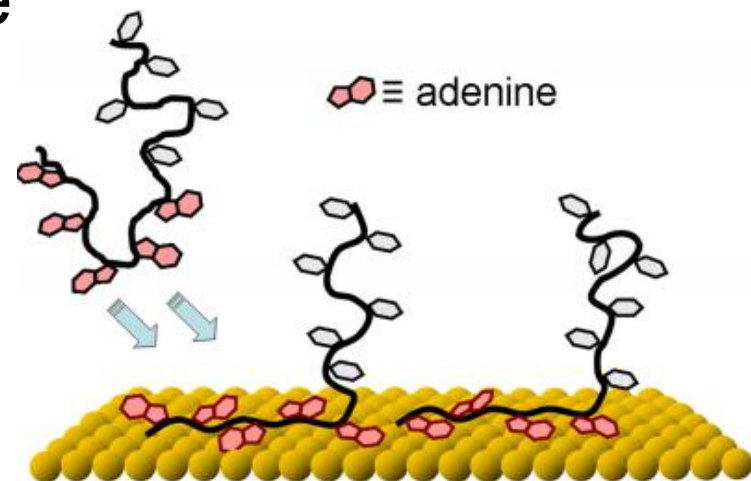
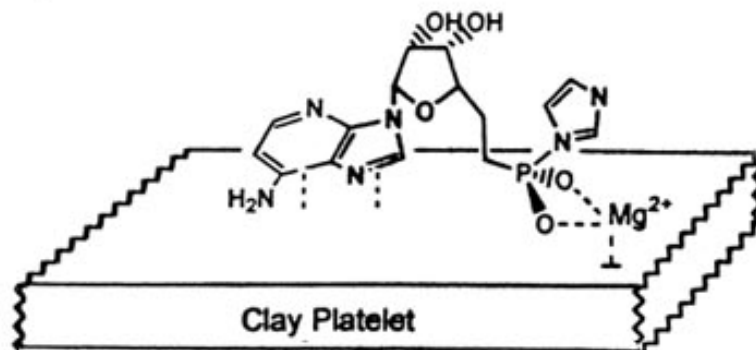
Sans enzyme, un brin d'ARN complémentaire de taille inférieure à 10 bases peut être synthétisé par auto-assemblage !!! En présence de métal (zinc): jusqu'à 40 bases avec < 1% d'erreur !

Polymérisation de l'ARN facile

Formation d'ARN catalysée sur argile

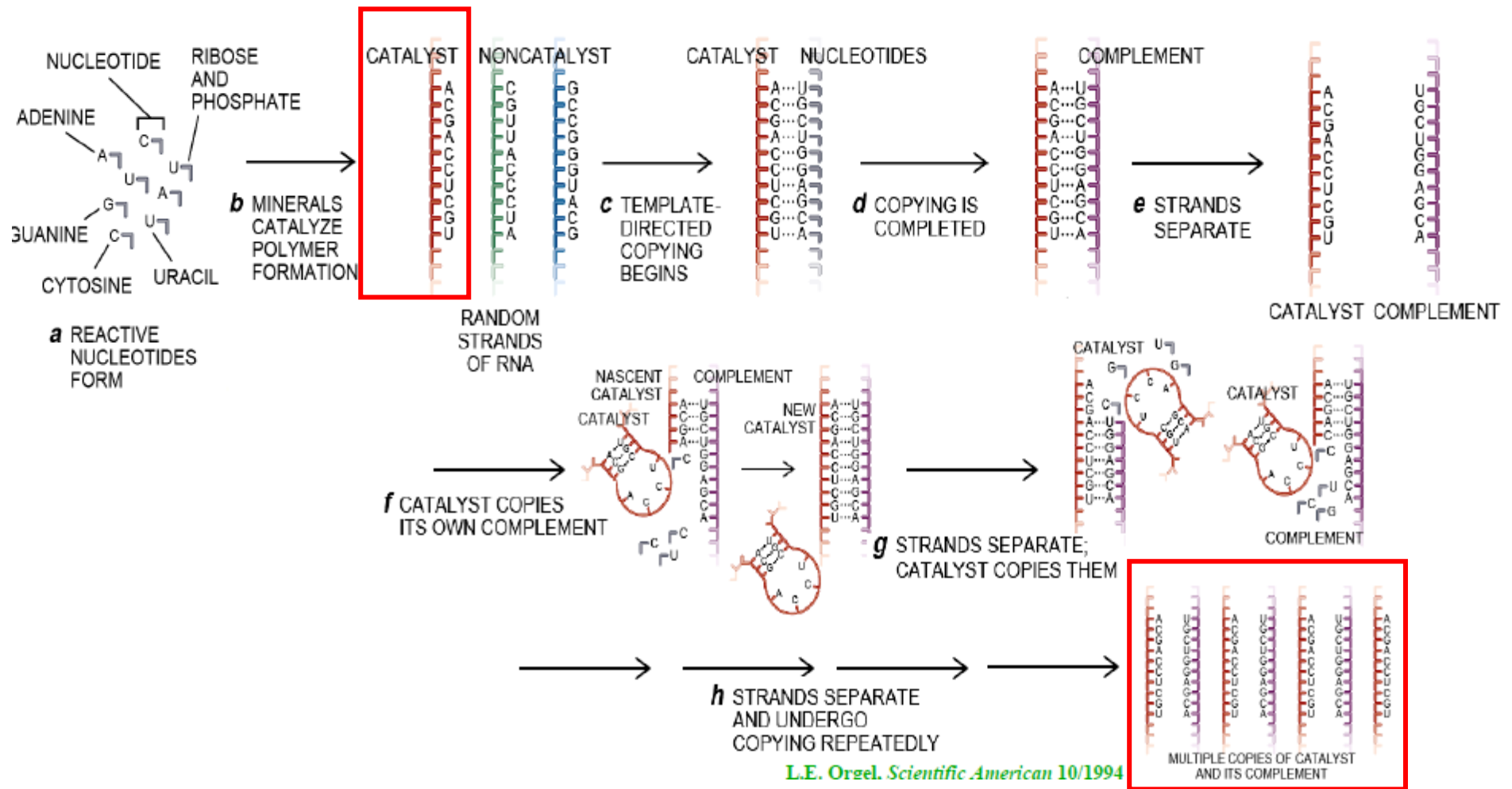
- Catalyse spontanée de polymérisation de nucléosides activés pour former des brins d'ARN d'environ 50 bases
- La réaction utilise l'interaction naturelle entre nucléosides, Mg^{2+} et l'argile

B. Hydrophobic Binding of Adenine (- - - -) and Ionic Binding Via Mg^{2+} - - -



Affinité importante de polyA pour les feuilles d'Au utilisée pour la conception de puces à ADN

Début de l'hérédité et de la sélection?



Étapes nécessaires à l'apparition de la vie

- Synthèse de **monomères** organiques à partir de matière minérale
- **Polymérisation**
- **Hérédité, réplication et protéines**
- **Compartmentalisation**

**Importance capitale de l'ARN pour la
création de la vie**

- L'ARN stocke de l'information génétique chez tous les êtres vivants.
- Faculté d'auto-réplication
- Dès les années 60: Woese (U. Illinois), Crick (England), Orgel (Salk Inst, San Diego) ont suggéré que l'ARN aurait précédé les protéines et catalysé toutes les réactions essentielles à la survie et à la réplication d'un ancêtre commun à toutes les espèces vivantes.

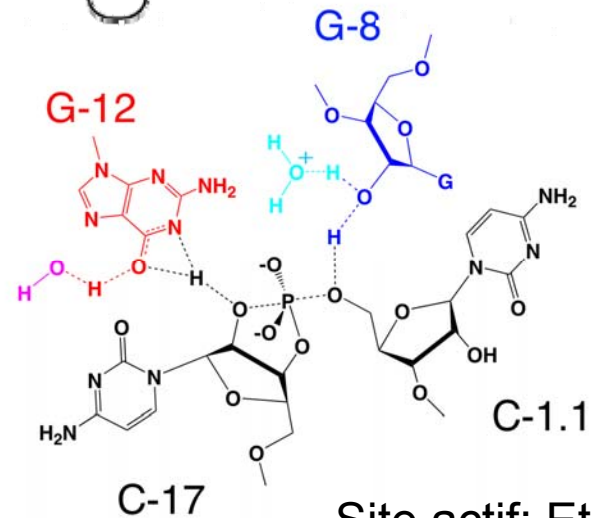
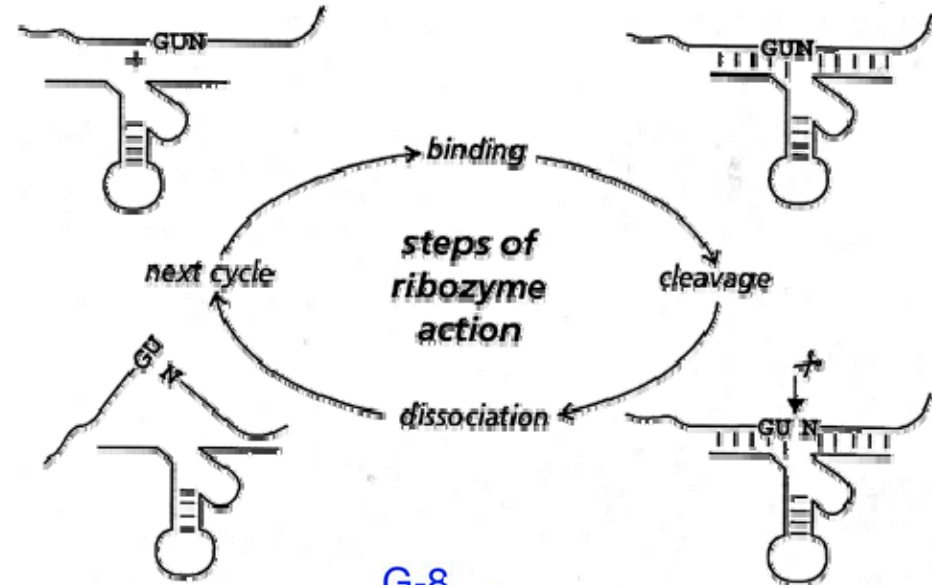
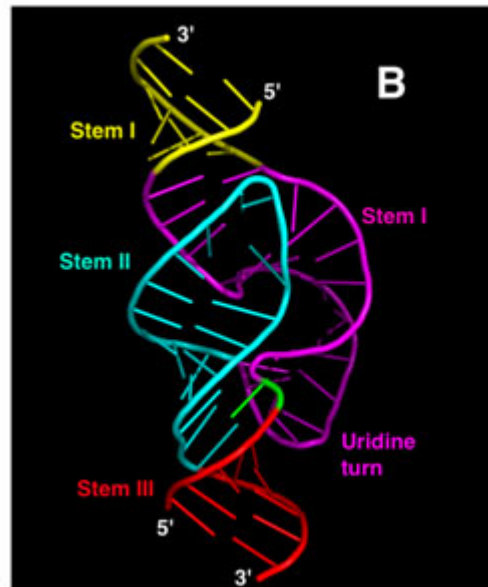
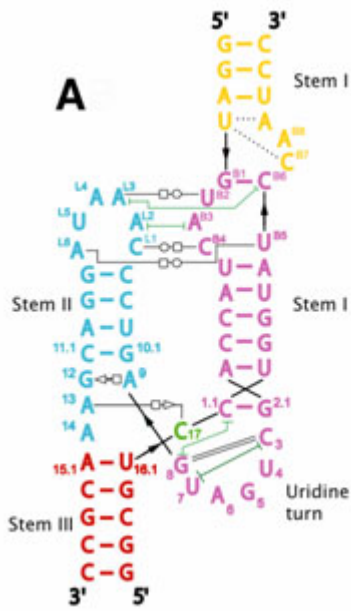
- 1989: Prix Nobel pour Thomas Cech (U. Colorado) & Sidney Altman (Yale) pour leur travaux sur le ribozyme. Démonstration que des ARN ont un rôle catalytique: Ces ARN sont appelés « ribozymes ».



ARN Replicase: copie plus efficace des brins d'ARN



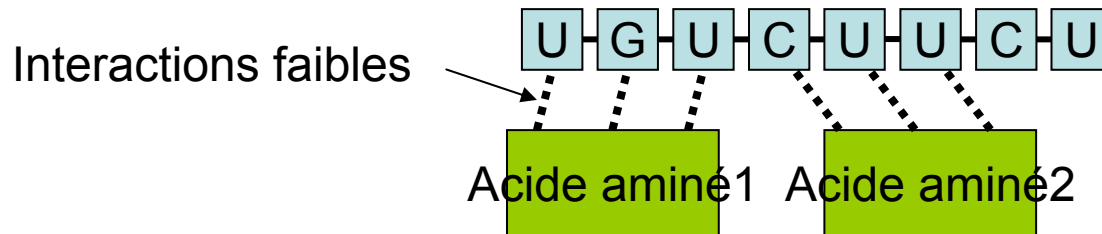
Exemples de ribozymes: « hammerhead » RNA



Site actif: Etat de transition

ARN → protéines ?

- Polymérisation de peptides vue précédemment peu intéressante en fait car l'ARN est apparu AVANT les protéines.
- La question est comment passer de l'ARN aux protéines.



Effet de gabarit : formation d'une liaison entre aa1 et aa2 favorisée

Réaction similaire à celle des ARNt avec l'ARNm
Mais réaction peu favorable ici car elle s'effectue en solution

Cristal de pyrite: ancêtre du ribosome

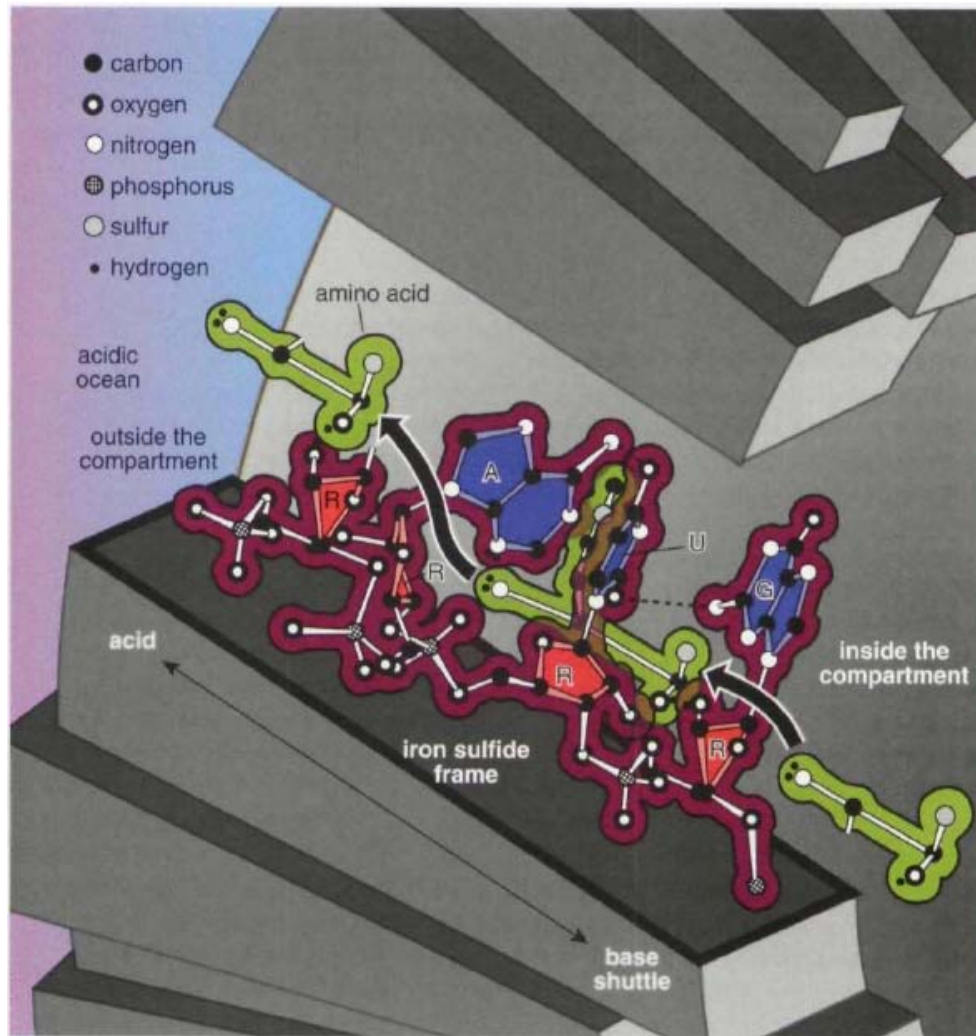
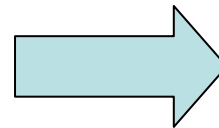
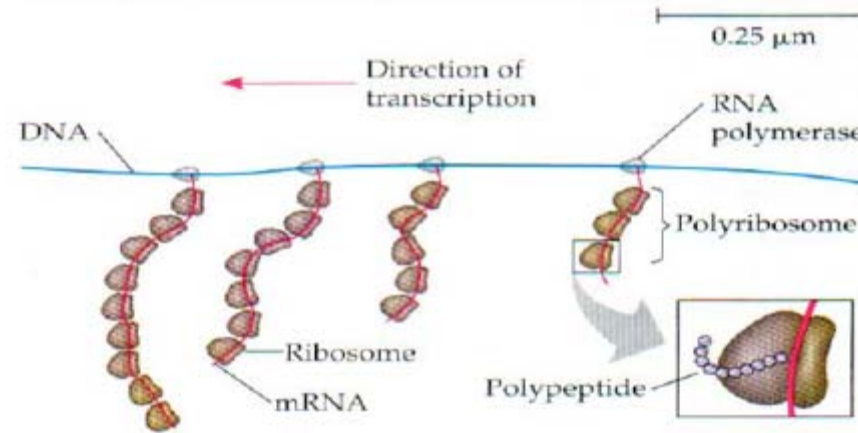
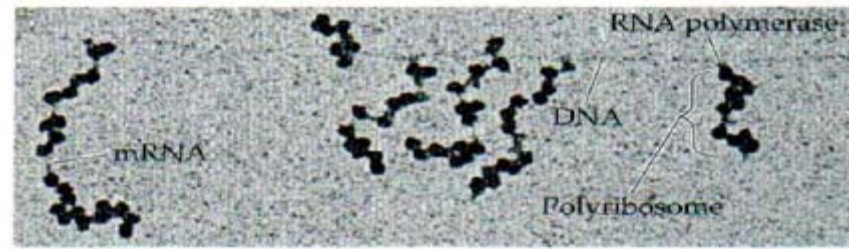
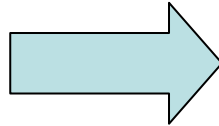
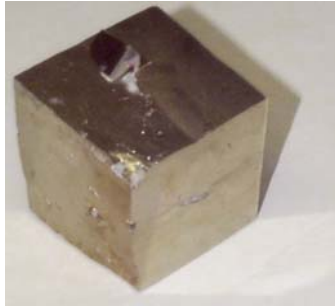


Figure 7. Short pieces of immobilized RNA (such as might form on a mineralized iron sulfide surface, gray) can act as templates for the formation of peptides. The specific amino acid depends in part on the sequence of the RNA, even in the absence of transfer RNA (the mechanism for specificity in modern organisms). Here, an RNA triplet (purple) of adenosine, uridine and guanosine (A, U and G, blue) grips the amino acid methionine (green molecule at center) and offers its nucleophilic amino group to the electrophilic thiocarboxyl group of an adjacent amino acid (green molecule at left). A peptide chain built incrementally in this way would be released by an acid influx from the ocean side of the inorganic membrane.

Le ribosome au travers les âges ...



Chiralité

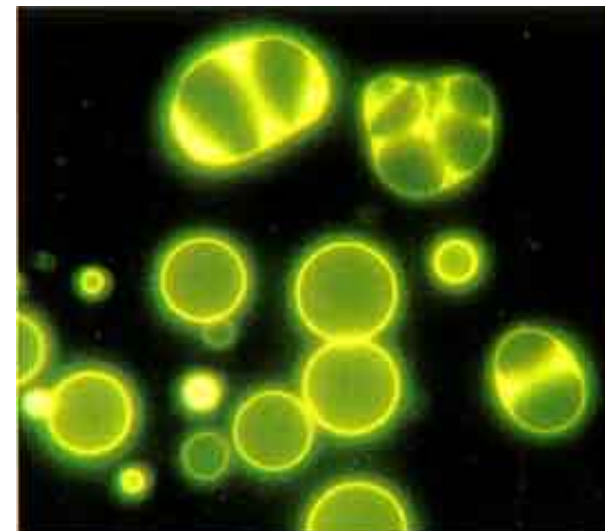
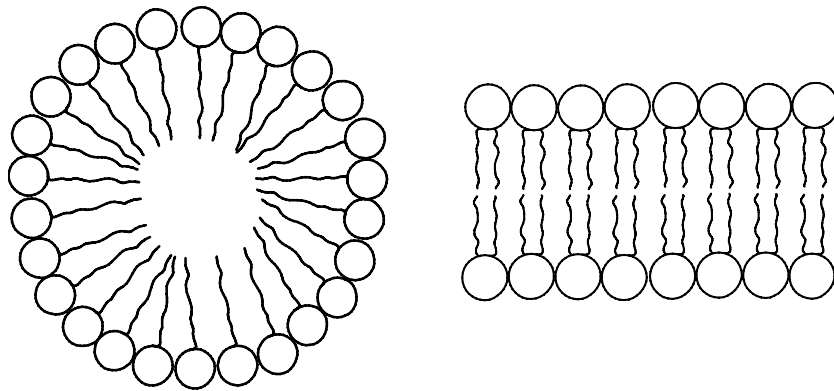
- Pas très clair, toutefois ...
- Les faces de cristaux ont des structures de surface qui sont des images dans le miroir. Des expériences ont montré que les faces des cristaux peuvent sélectionner les amino-acides L ou D assez efficacement (ee 40%, Hazen et al. 2001). Attention ! Cette expérience pourrait expliquer la propagation de la configuration D ou L, mais pas son origine.

Etapes nécessaires à l'apparition de la vie

- Synthèse de **monomères** organiques à partir de matière minérale
- **Polymérisation**
- **Hérédité, réplication et protéines**
- **Compartmentalisation**

IV. Membranes

- Mélange Phospholipides + eau = Arrangements spécifiques pour favoriser les interactions ionique-ionique et hydrophobe-hydrophobe.
 - Notion de vésicules et de compartiments
- Idem lorsque des fragments de protéines en solution avec des lipides et du phosphate → Liposomes



Acides gras en solution à pH 7

Membranes protéinoïdes

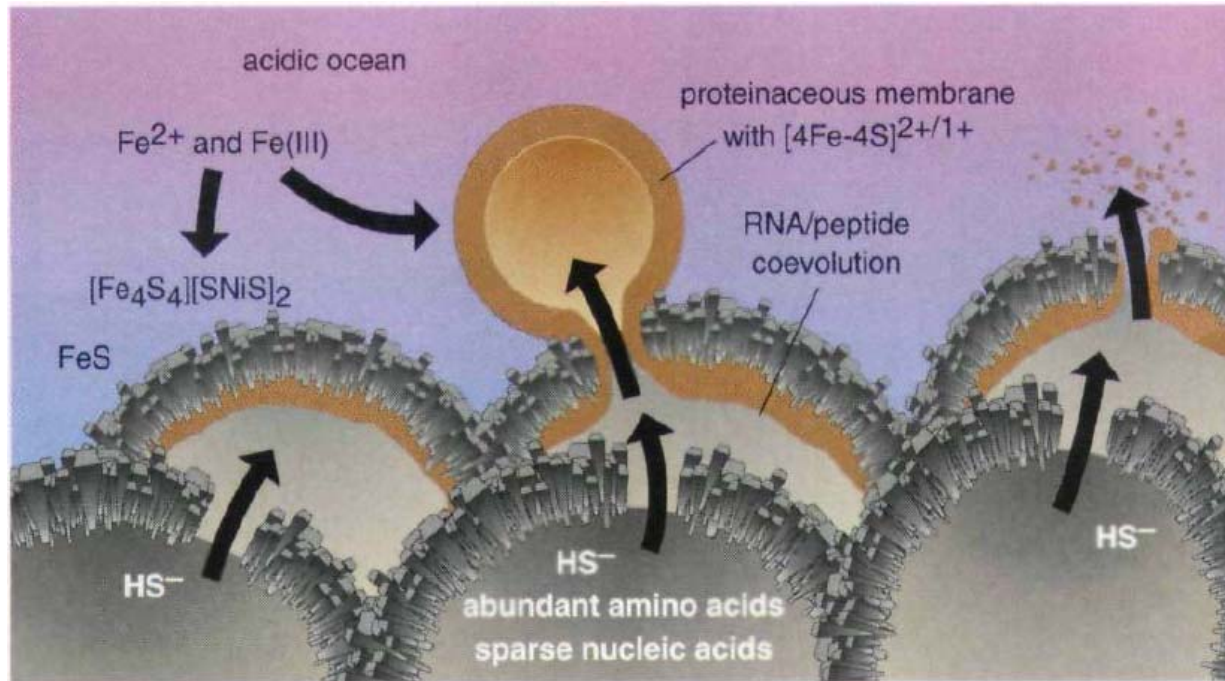
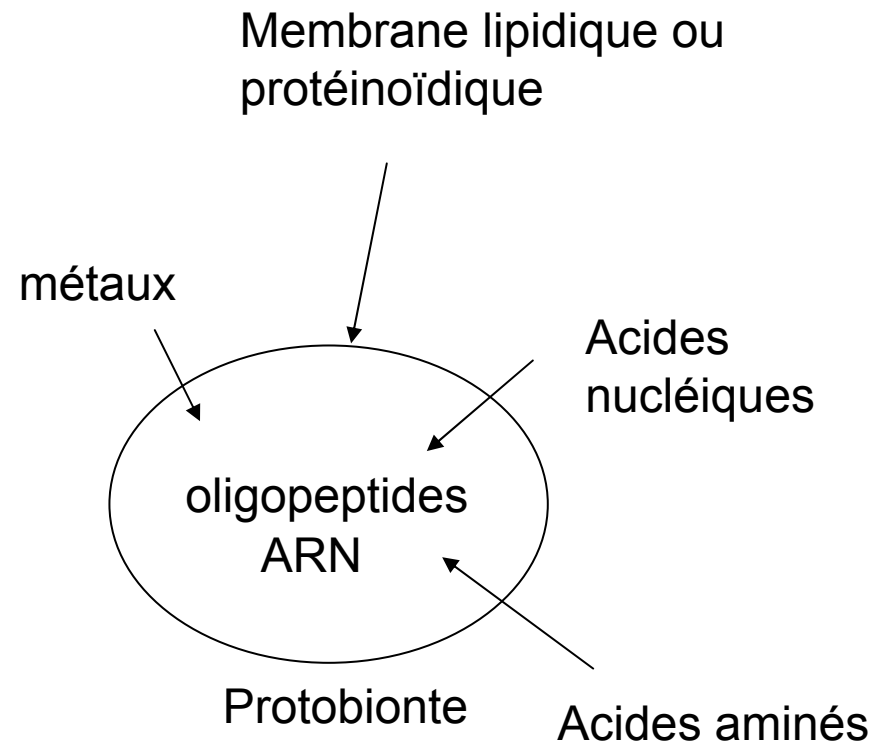


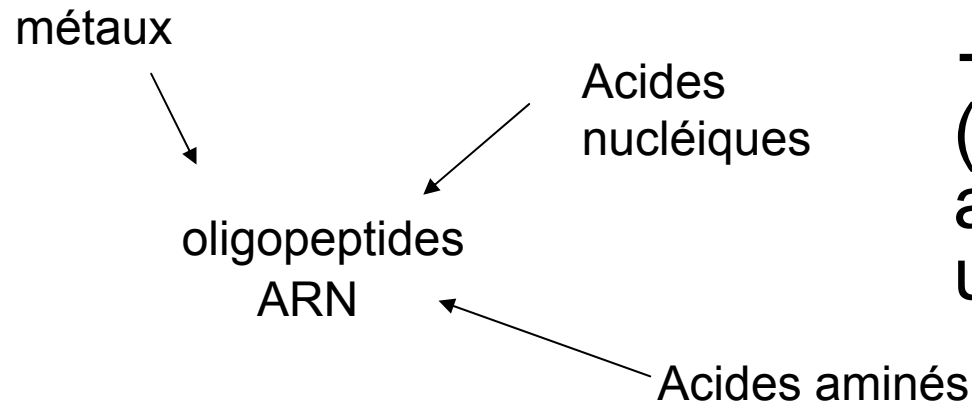
Figure 8. In the froth of iron sulfide bubbles around alkaline vents of the Hadean eon, simple organic molecules formed through the catalysis of iron-nickel sulfides would tend to diffuse from their source and bump into one another, accumulating as they became more complex. The result: Gummy, precipitated peptides were likely to have coated the inside surfaces of bubbles with more robust protein synthesis, a process that is believed to have led to the eventual assumption of membrane function by protein. This "organic takeover" represents an early step towards cellular autonomy from the confines of the iron sulfide incubator.

Rôle des membranes

- Possibilité de créer un potentiel de membrane:
Voie pour créer de l'énergie
- Pression osmotique
- Capacité d'isolation, concentration ou excrétion de molécules
- Stockage d'information (auparavant elle était disponible pour tout l'environnement)
→ Protobiontes (agglomérats de molécules biologiques)

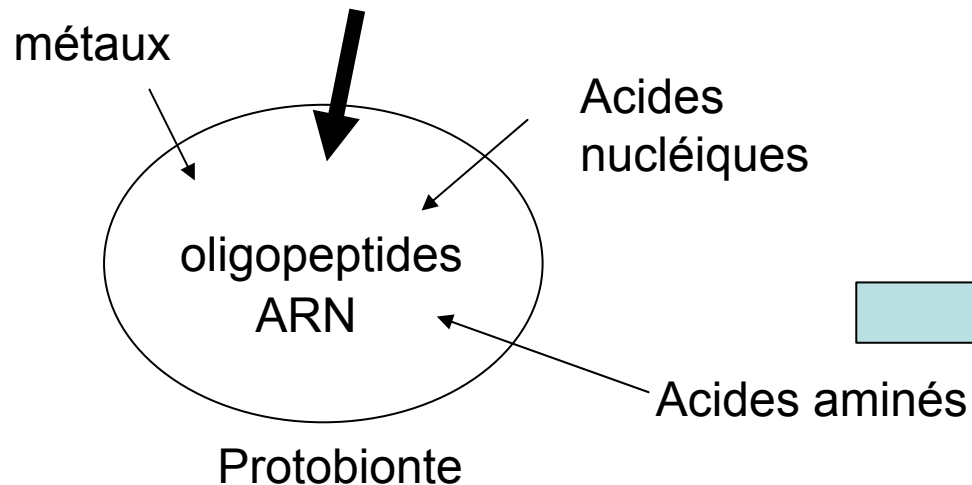


- **Coopération moléculaire**
→ réaction favorisée
(concentration en réactifs augmente), meilleure utilisation de l'énergie



Catalyse peu efficace, pas d'enzymes

Concentration ↑: Catalyse plus efficace, meilleure utilisation de l'énergie toujours pas d'enzymes



Adaptation à l'environnement

Meilleurs rendements

Stockage d'information

Bilan

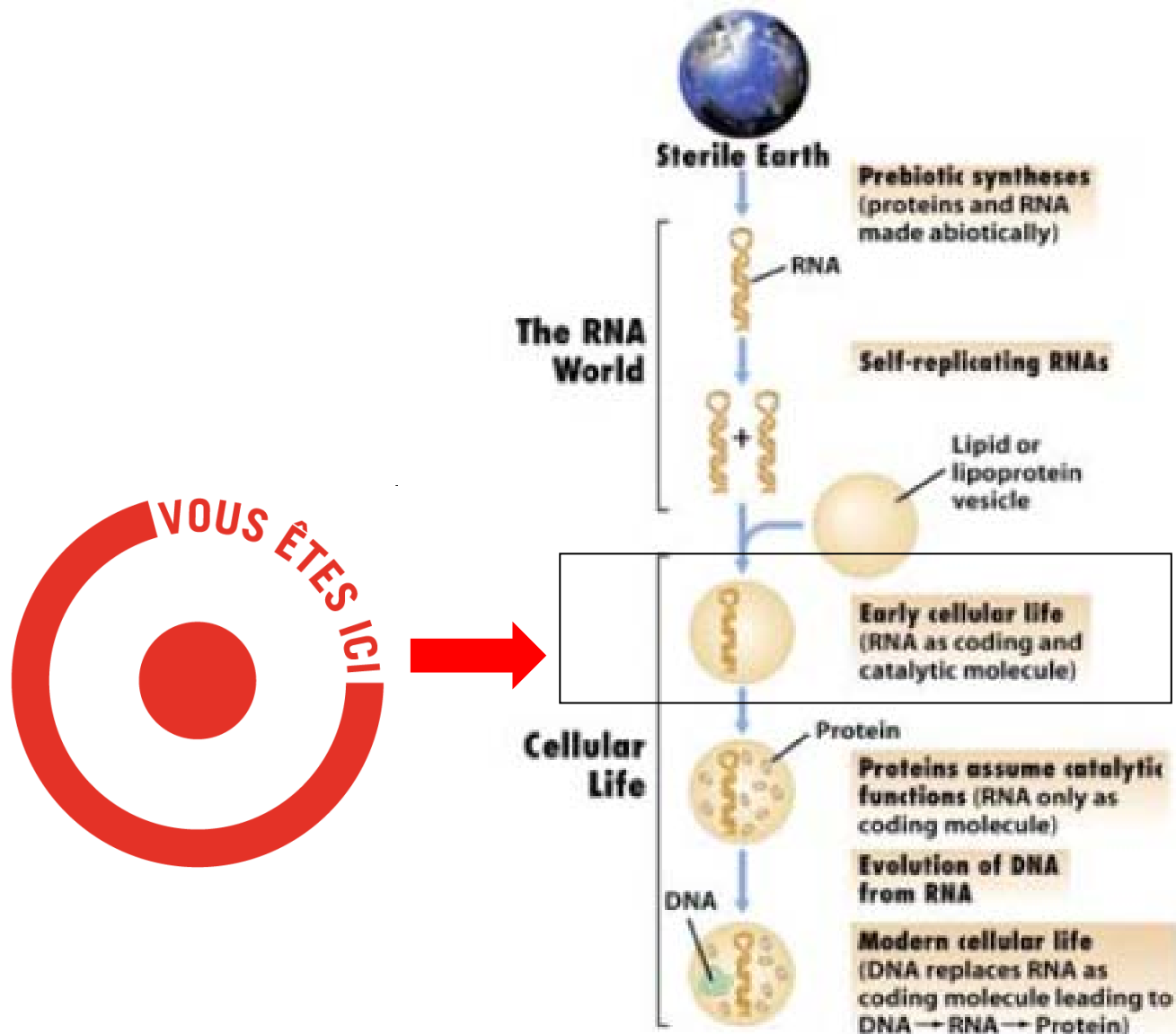


Figure 11-5 Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

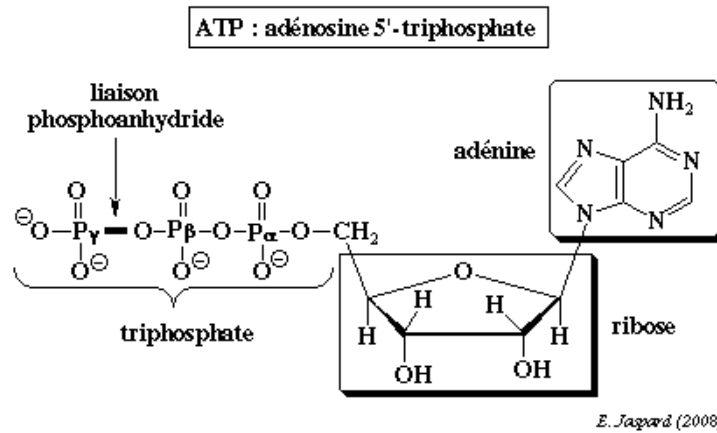
V. Energie et métabolismes

- Mode de fonctionnement des premiers procaryotes (thermophyles anaérobies) :
 - Source d'énergie:
 - ATP présent naturellement dans la soupe pré-biotique
 - Minerais soufrés et gazSelon la théorie ...
 - Source de C,N,O:
 - molécules organiques présentes dans la soupe pré-biotique (chimiotrophes)
 - molécules inorganiques (lithotrophes)

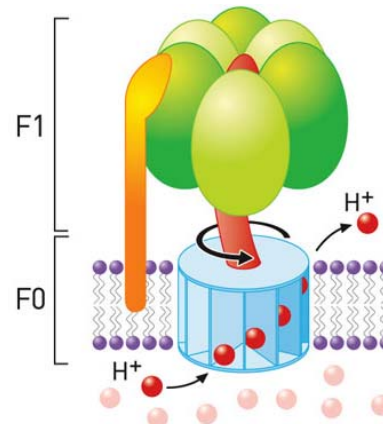
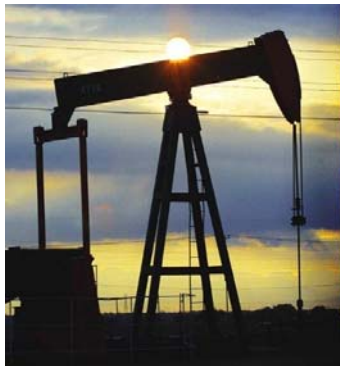
Rem: Photosynthèse développée bien après

ATP comme source d'énergie universelle

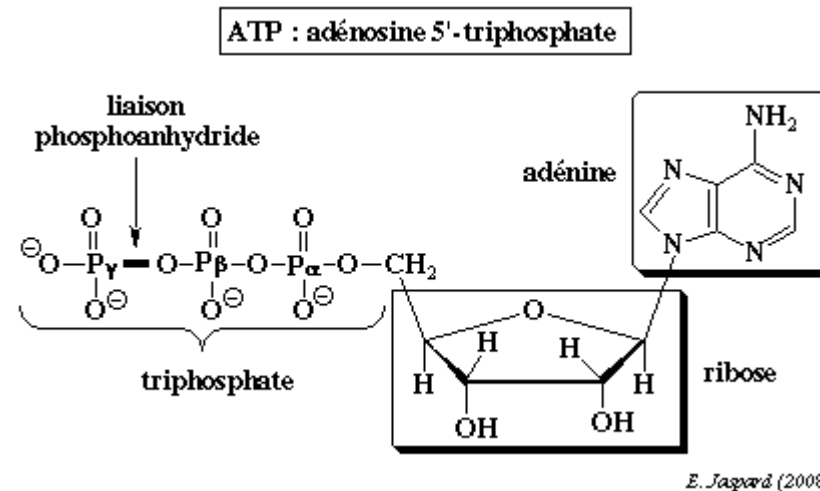
- 40 kg / jour sont hydrolysés par un humain pour ses besoins métaboliques.
- L'ATP est notre carburant: il est renouvelé en permanence



Remarquez qu'il s'agit d'un dérivé d'ARN, On est bien cohérent avec l'ARN à l'origine de la vie.



Thermodynamique

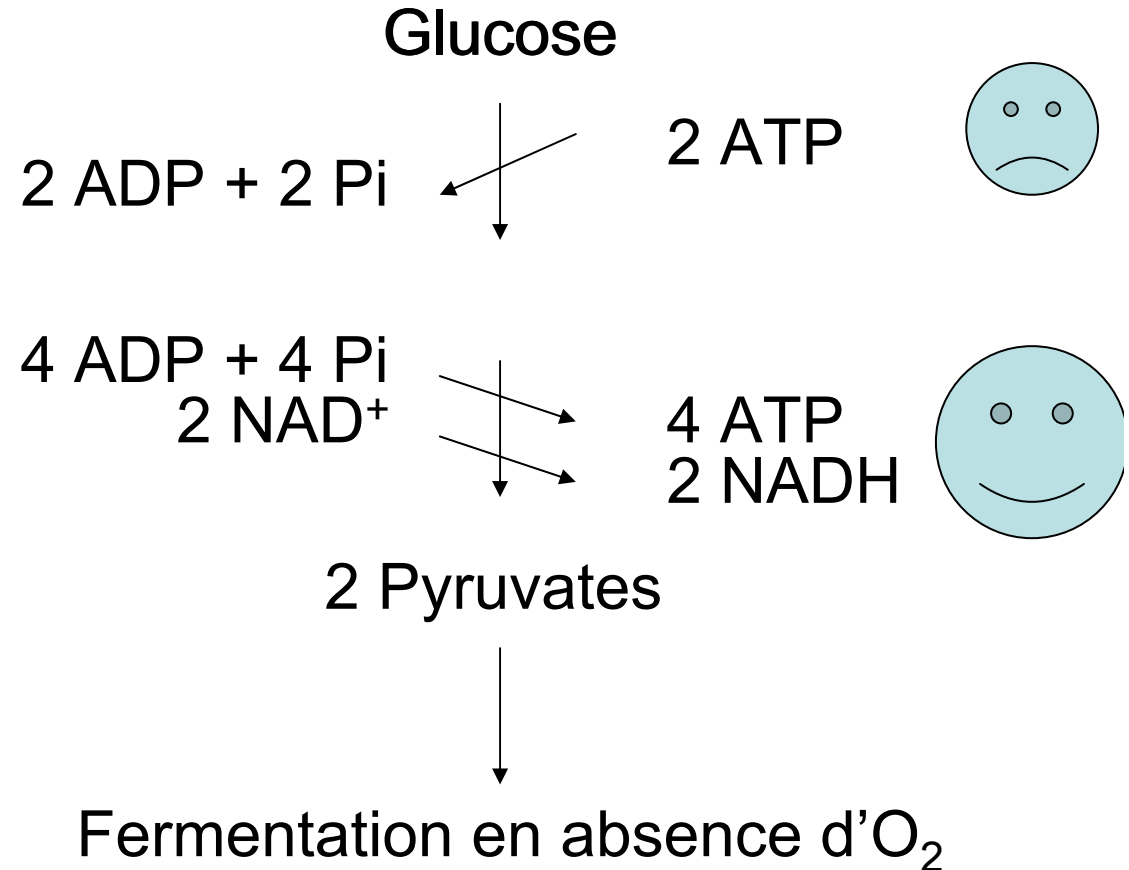


L'énergie libre de Gibbs contenue dans l'ATP est transférée au moment où les liaisons ester phosphate ou phosphoanhydrides sont hydrolysées:

- Chacune des 2 liaisons phosphoanhydride : $\Delta G^\circ = - 7,3 \text{ kcal/mol}$
- Liaison ester phosphate : $\Delta G^\circ = - 3,5 \text{ kcal/mol}$

Energie dans la théorie « soupe prébiotique »

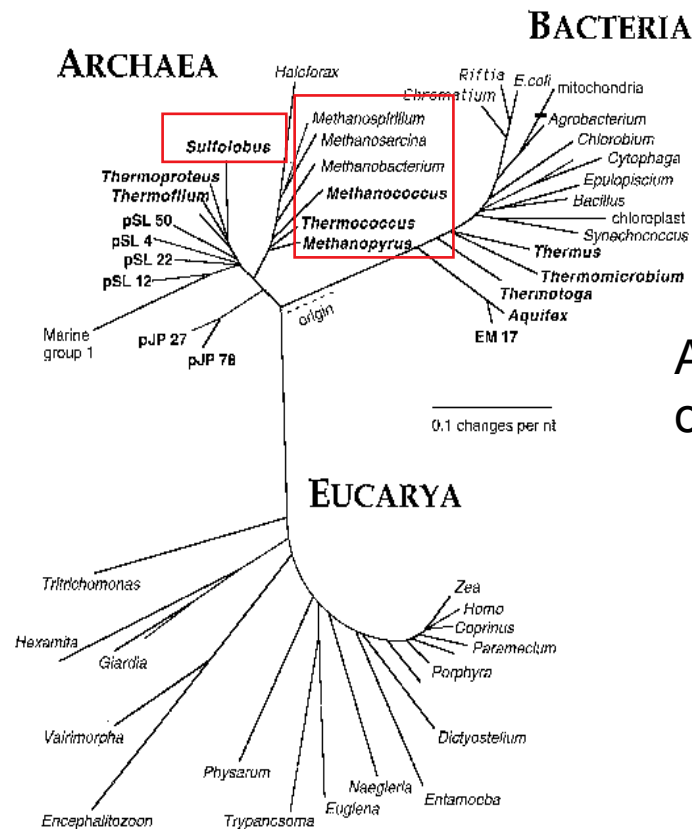
- Utilisation de l'ATP de la soupe
- Lorsque l'ATP de la soupe a été épuisé, les organismes ont dû le régénérer à partir d'ADP et de Pi: La glycolyse apparaît (ne consomme pas d'O₂ donc compatible avec l'atmosphère encore réductrice).



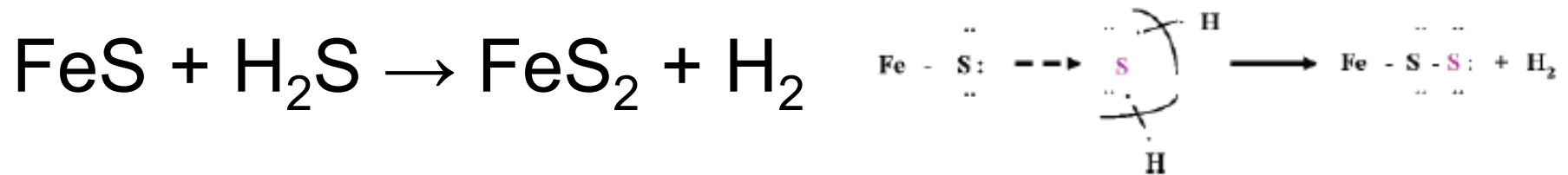
Toutes les évolutions se font au hasard des mutations

Energie dans la théorie « inorganique »

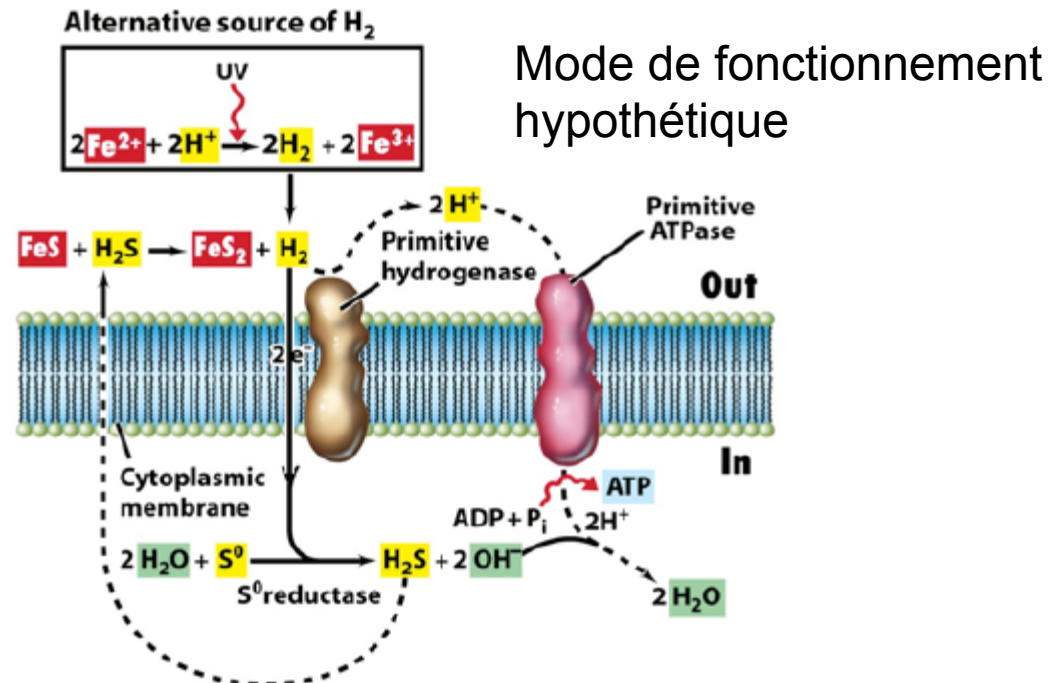
- $\text{FeS} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS}_2 + \text{H}_2$ sur pyrite (initial)
- Méthanogènes: $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie}$
- Réduction du soufre: $\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{énergie}$



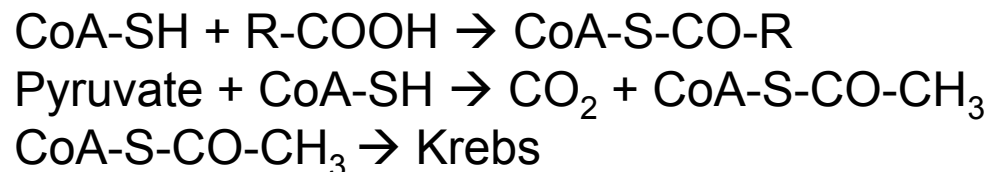
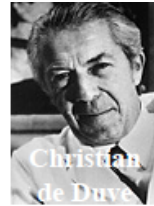
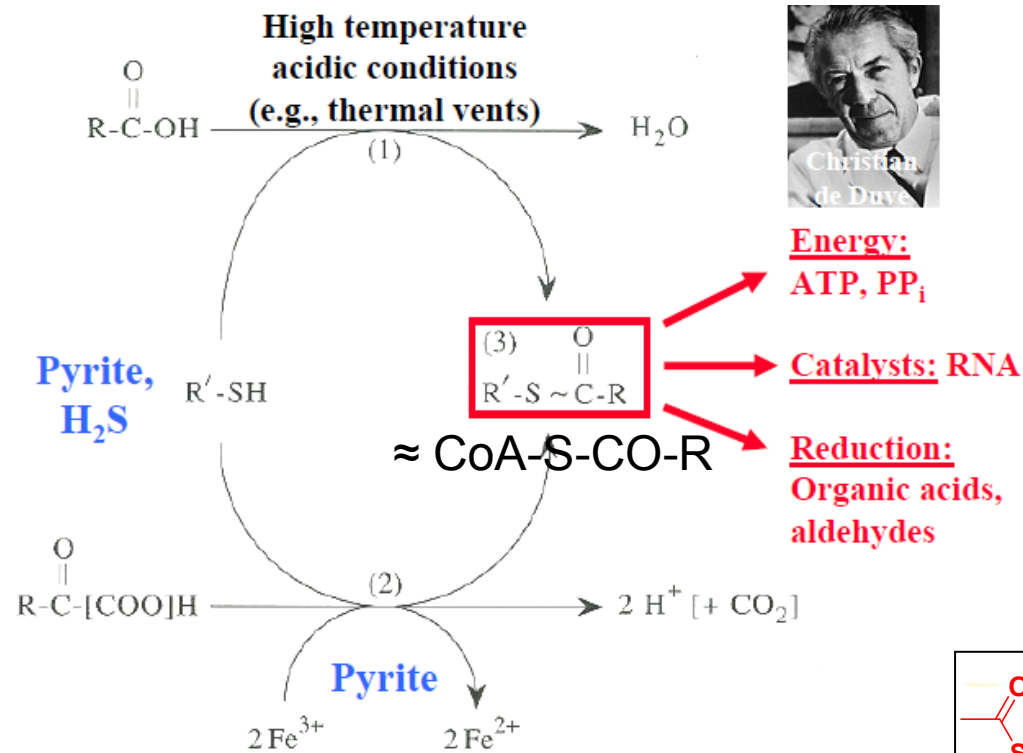
Formation de la pyrite à partir de FeS comme source d'énergie



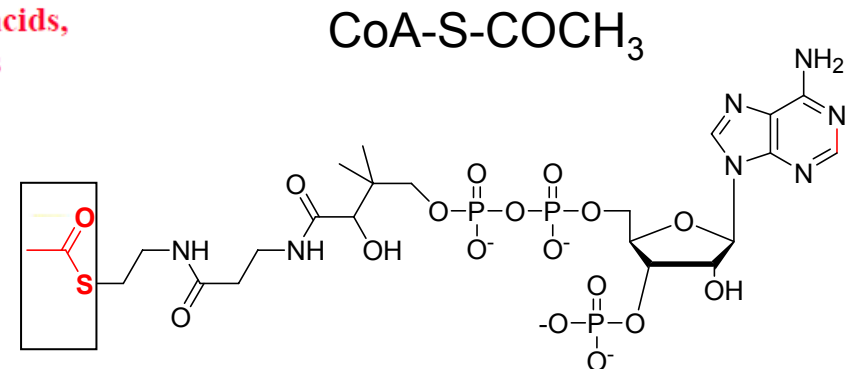
$$\Delta G^0 = -26.9 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ (25}^\circ\text{C, 1 bar)}$$



Minerais soufrés : Synthèse de briques élémentaires pour le métabolisme

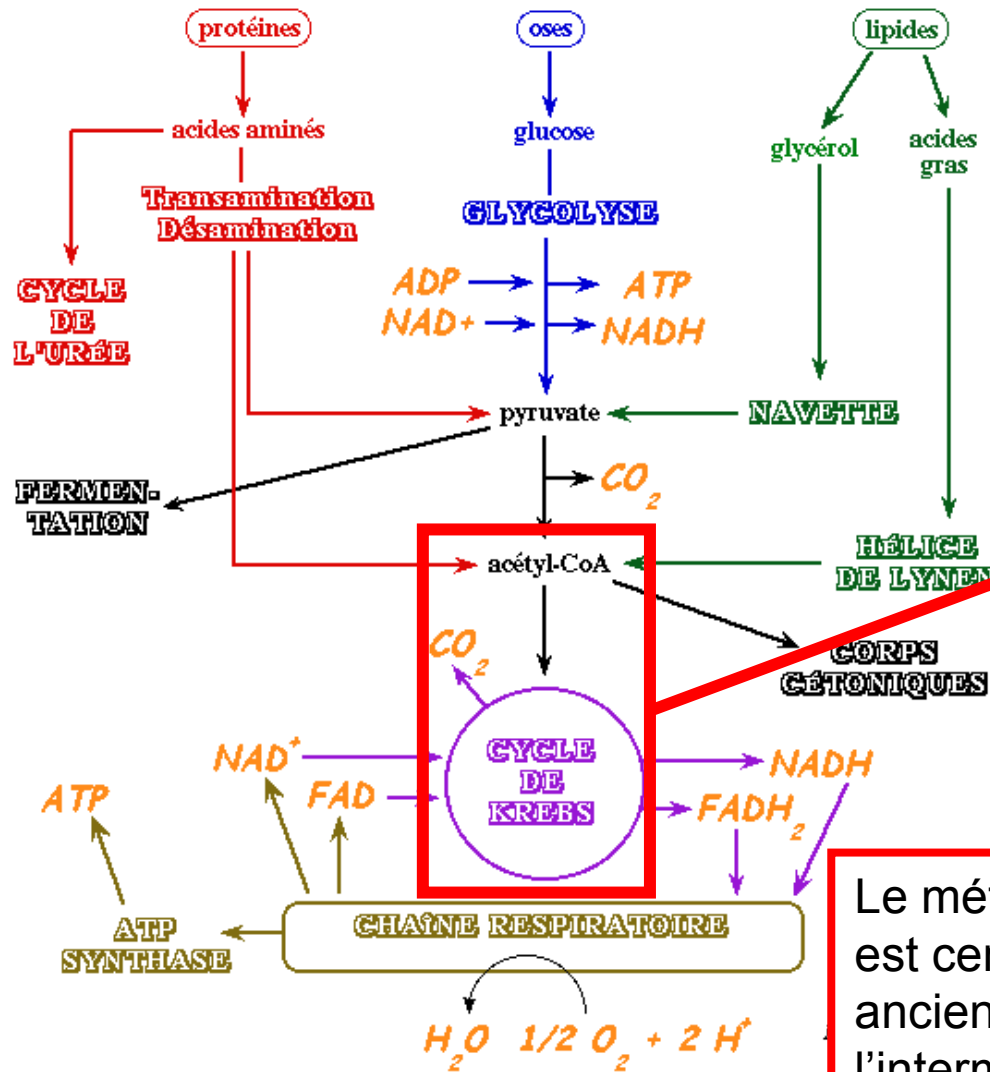


Réaction du Coenzyme A



Haut potentiel d'hydrolyse
 ΔG° (hydrolyse) = - 9 kcal/mol

Rôle fondamental de l'acétyl CoA



Au centre: Plaque tournante entre catabolisme et anabolisme

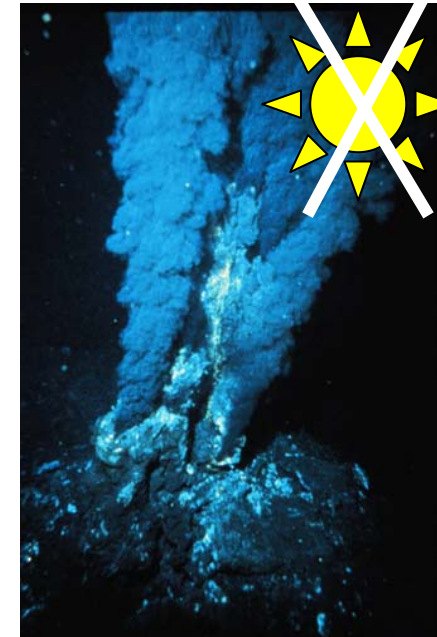
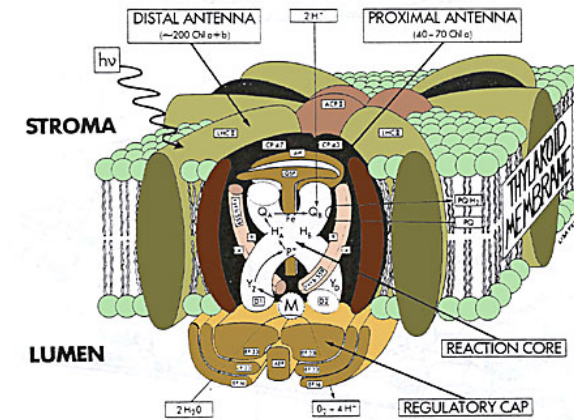
Le métabolisme moderne (cycle de Krebs) est certainement issu d'une version ancienne plus simple mais dont l'intermédiaire clé est un dérivé de CoASH et/ou pyruvate

Plus tard: Utilisation de la lumière comme source d'énergie (photoautotrophes)

- Pourquoi ce changement ?
 - Evolution vers des systèmes plus efficaces pour créer de l'énergie
 - Chute du volcanisme:
 - [Ni] chute
 - Les enzymes (ou leurs ancêtres) utilisent le nickel pour métaboliser les substrats inorganiques comme CO_2 , H_2 ...
 - Nécessiter de trouver un substitut

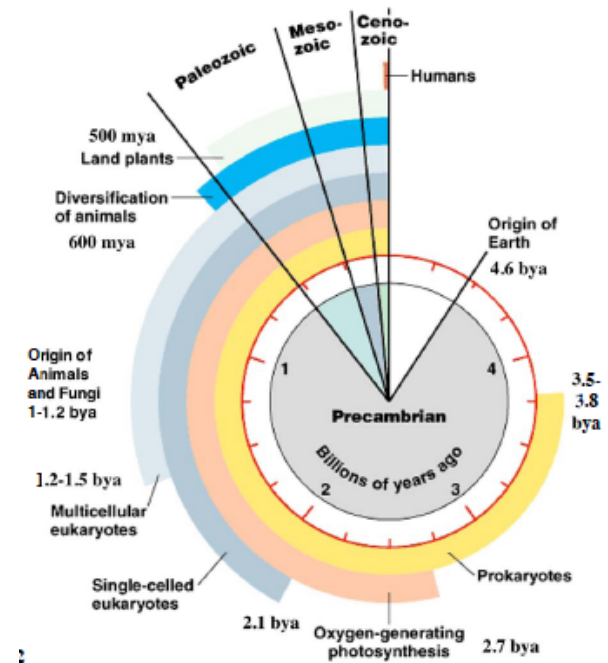
Plus tard: Utilisation de la lumière comme source d'énergie (photoautotrophes)

- Systèmes complexes
- En surface des océans

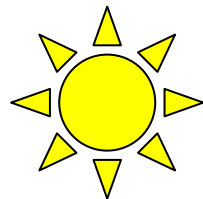
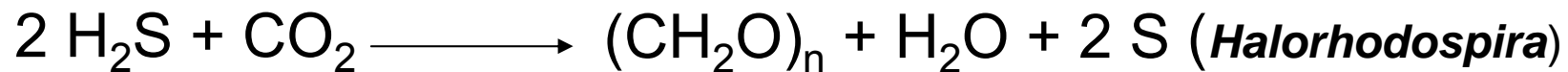


Photoautotrophes en anaérobiose

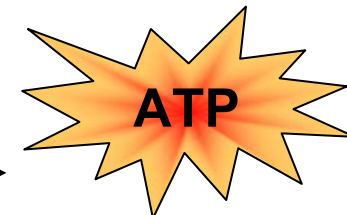
- Les organismes vont apprendre à synthétiser leur propres substrats à partir de matière inorganique présente en grande quantité (CO₂ comme source de C, H₂S...) et de lumière (énergie)



Conversion de la lumière en énergie par le PS I

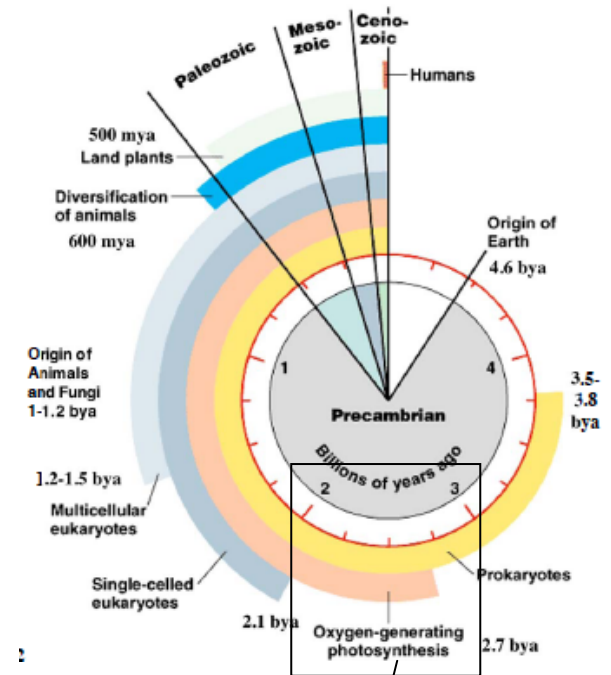


glycolyse

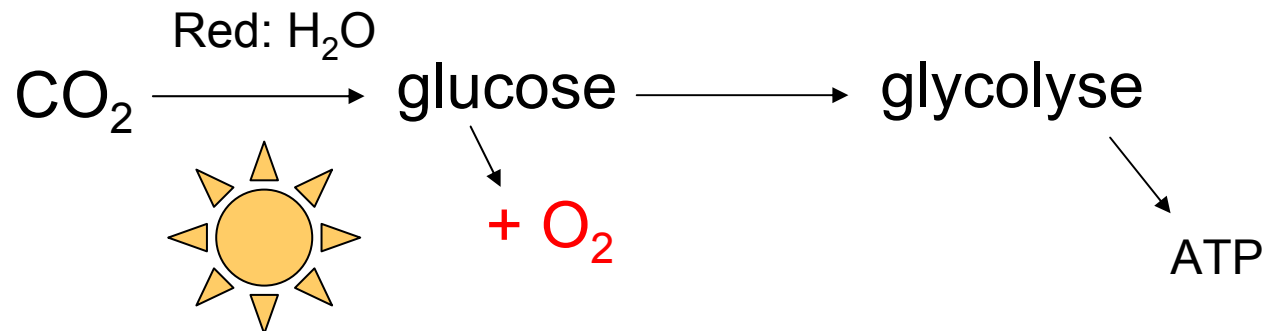


Photoautotrophes en aérobiose

- Source de C = CO_2
- réducteur = H_2O (et plus H_2S)
→ Monde des **cyanobactéries**



Conversion de la lumière en énergie par le PS I + PS II



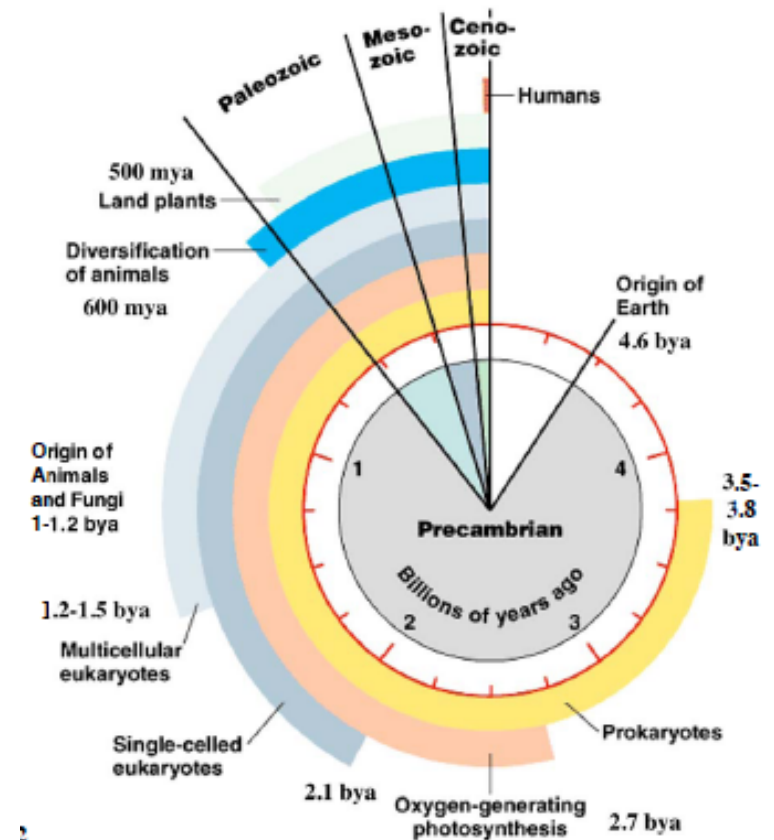
Apparition de O_2

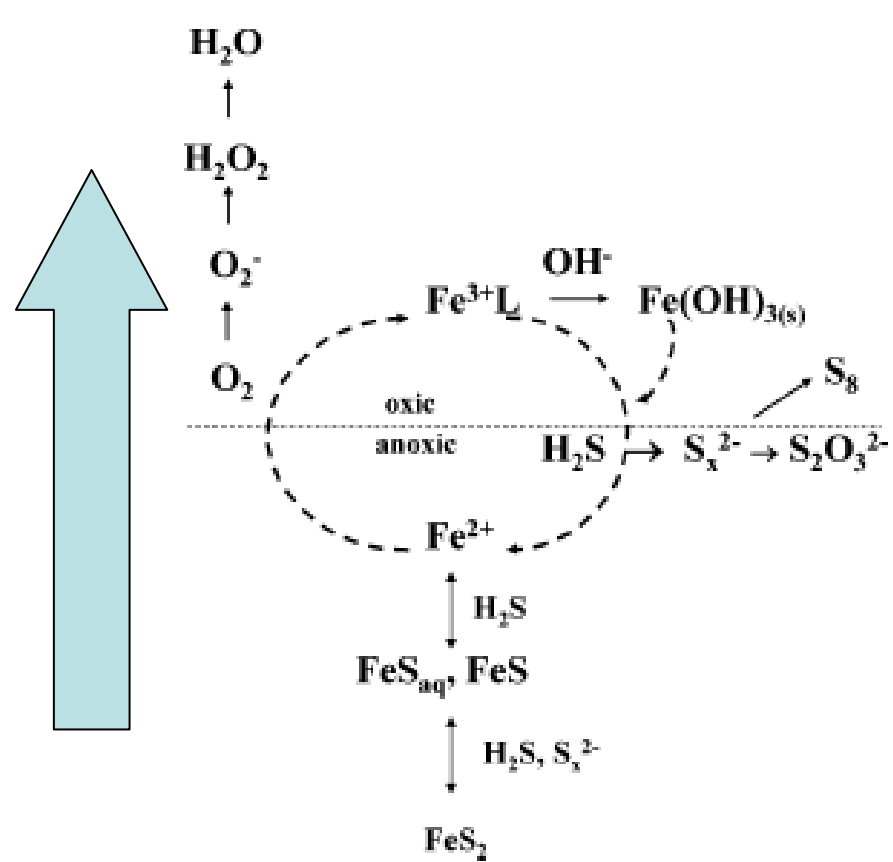
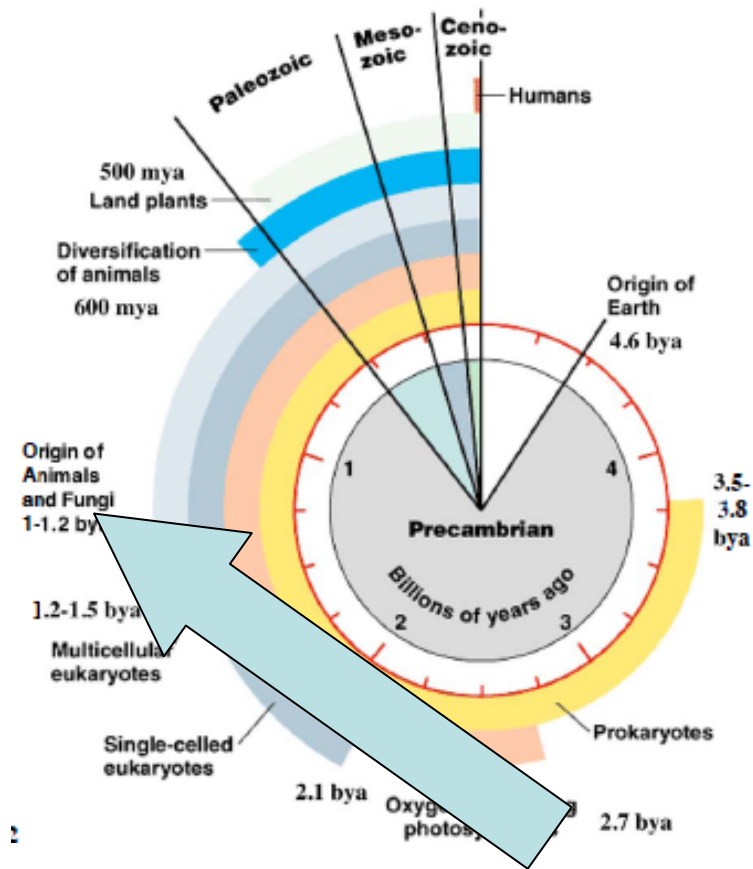
Cyanobactéries



VI. L'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère

- 0.1% d'oxygène après 0.1 milliards d'années (~2.4 Ba)
- 1% d'oxygène après 0.5 milliards d'années (~2 Ba)
- 10% d'oxygène après 1 milliards d'années (~1.5 Ba)
- 21% d'oxygène après 1.6 milliards d'années (~0.9 Ba)





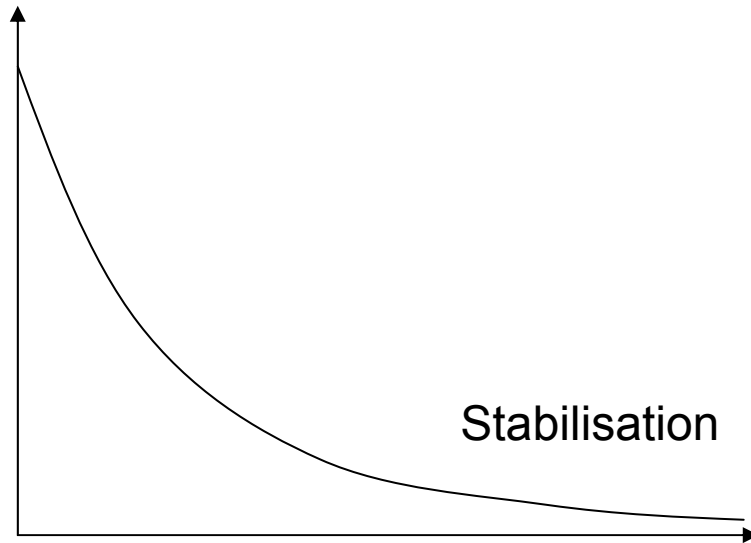
Influence de la concentration en oxygène sur le cycle catalytique du fer avec H_2S et O_2

Conséquences de l'apparition de O₂

- Extinction d'organismes par toxicité directe de O₂
- Anaérobies stricts dans des niches (ex: bactéries sulfato-réductrices dans les sources hydrothermales).
- Evolution de la biodisponibilité des métaux.
- Formation de la couche d'ozone ($3/2 \text{ O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O}_3$)
- Adaptation:
 - Perte de biodisponibilité du fer: Age du cuivre pour les enzymes
 - Conservation des enzymes les plus essentielles à fer
 - Mise en place de systèmes de défense contre O₂
 - Utilisation de O₂ (plus énergétique) comme accepteur final dans le processus de respiration

Impact éventuel sur les mutations

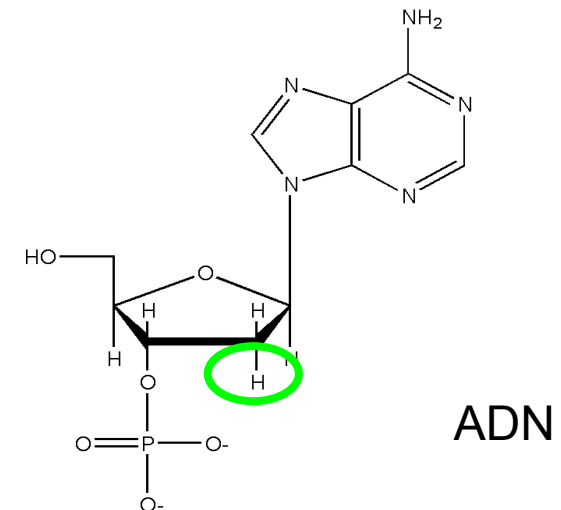
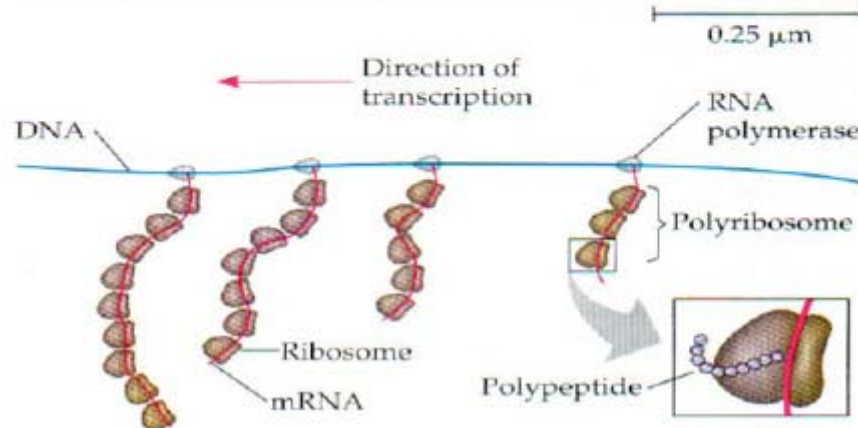
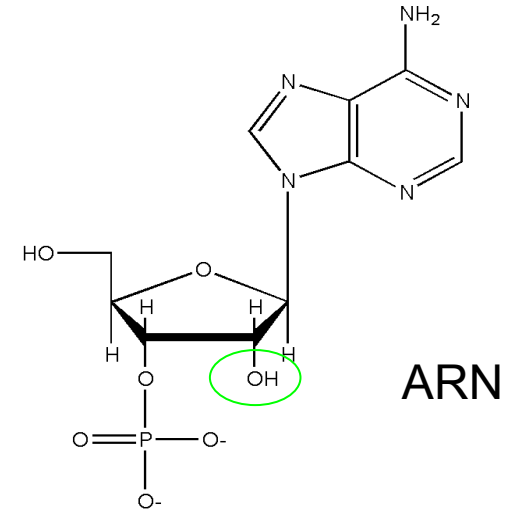
Taux de mutation → évolution



Teneur en O_2 (indirectement de la haute atmosphère en ozone O_3)

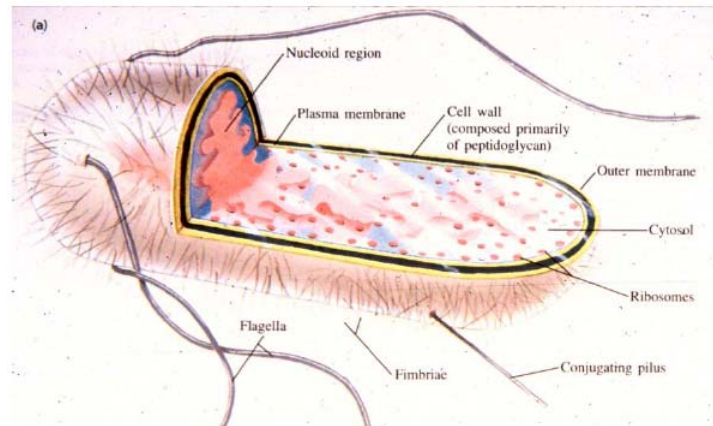
Evolution des cellules: ARN → ADN

ARN : Trop peu stable pour contenir une information génétique de plus en plus complexe → l'ADN fait son apparition; L'ARN polymérase synthétise de l'ARNm qui est traduit en protéine par les ribosomes.



Evolution des cellules: Pro → Eucaryotes

L'information génétique va être concentrée dans des chromosomes isolés du reste de la cellule par une membrane
→ Apparition du noyau et donc des EUCARYOTES



Prokaryote

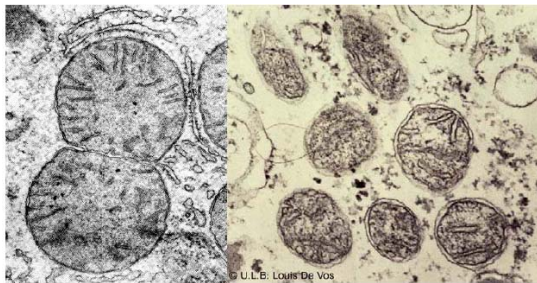


Eukaryote

Nucleus contains genetic material

Evolution des cellules: Endosymbiose

- De procaryotes: Formation des mitochondries (production d'énergie à partir de la respiration)



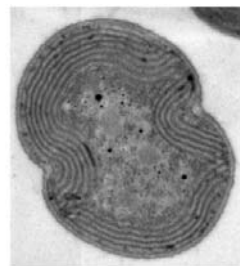
• Mitochondria

Prokaryote

- De procaryotes photosynthétiques: Formation de chloroplastes (production d'énergie à partir de la lumière)



• Chloroplast



Prokaryote

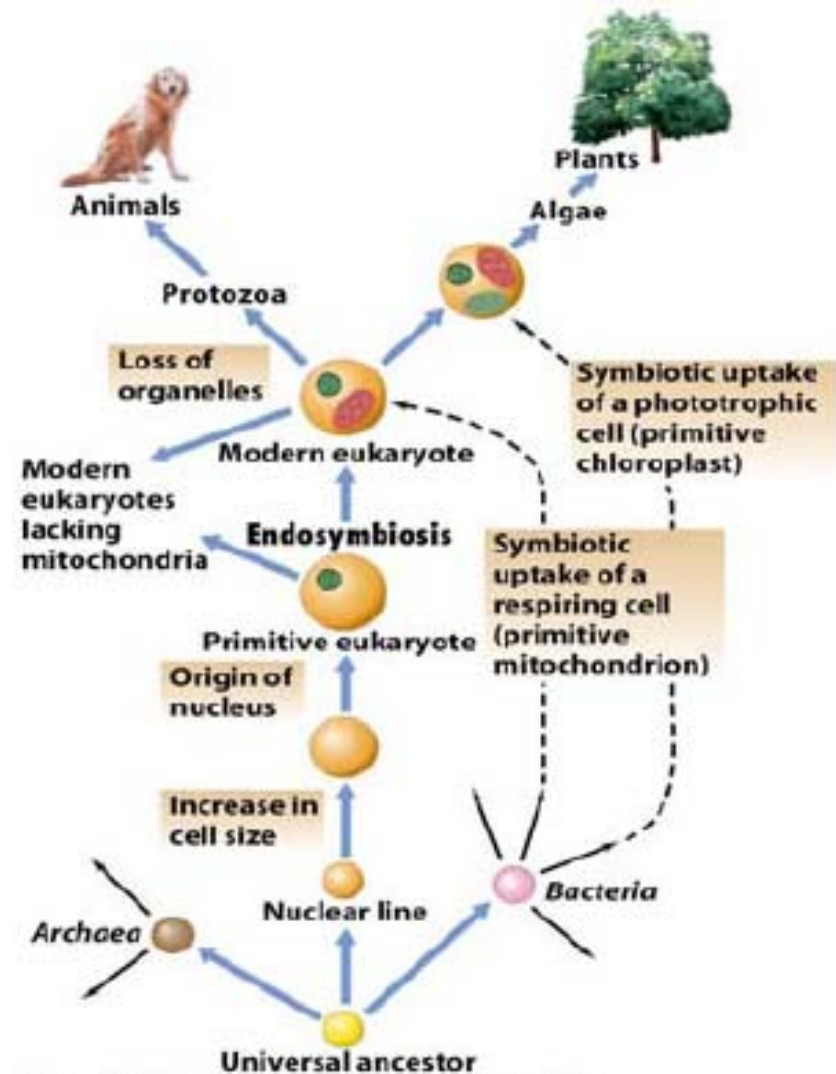
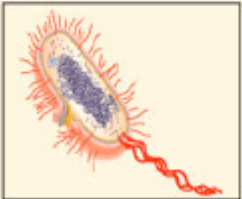
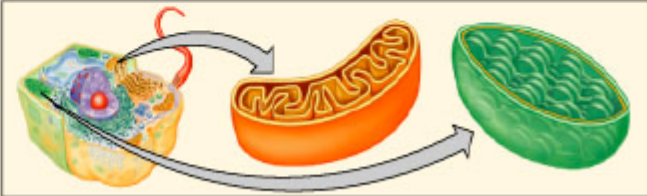


Figure 11-9 Brock Biology of Microorganisms 11/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

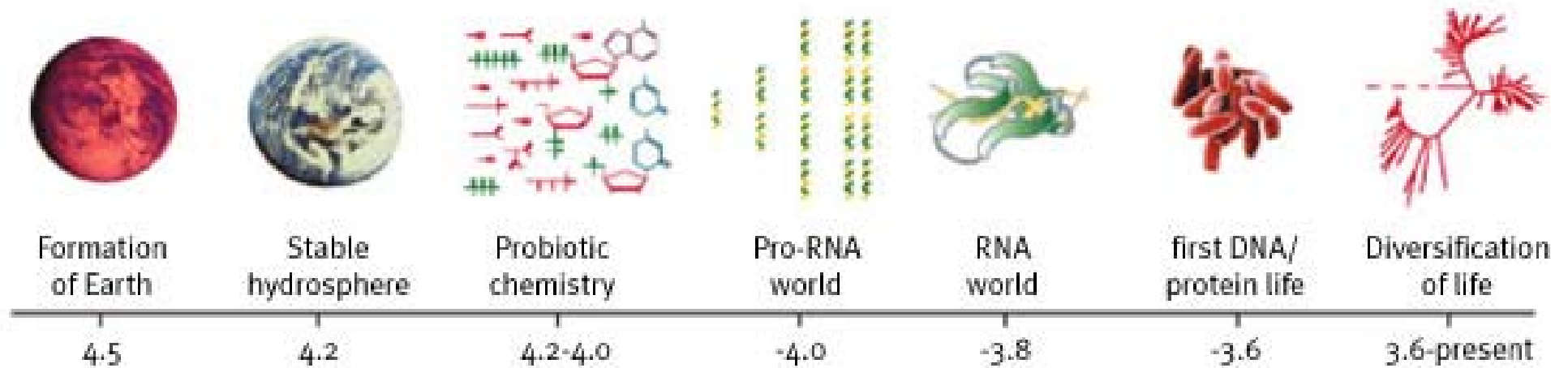
TABLE 10.2		Prokaryotic Cells and Eukaryotic Organelles Compared		
	Prokaryotic Cell	Eukaryotic Cell	Eukaryotic Organelles (Mitochondria and Chloroplasts)	
DNA	Circular	Linear	Circular	
Histones	No	Yes	No	
Ribosomes	70S	80S	70S	
Growth	Binary fission	Mitosis	Binary fission	

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

- Chloroplastes plus récents que les mitochondries
- Preuves génétiques de l'endocytose:
 - Double membrane lipidique
 - Capacité d'auto-réplication indépendante du noyau
 - Un chromosome d'ADN
 - Présence de ribosomes 70S pour la synthèse de protéines non-codées par des gènes nucléaires
 - ARNr 16S des mitochondries = Homologie forte avec les protéobactéries
 - ARNr 16S des chloroplastes = Homologie forte avec les cyanobactéries
- Autre exemple d'endosymbiose: Les flagelles et cils de bactéries = endocytose de spirochetes

Résumé



Annexes: Structure d'un ribosome de cellules procaryotes

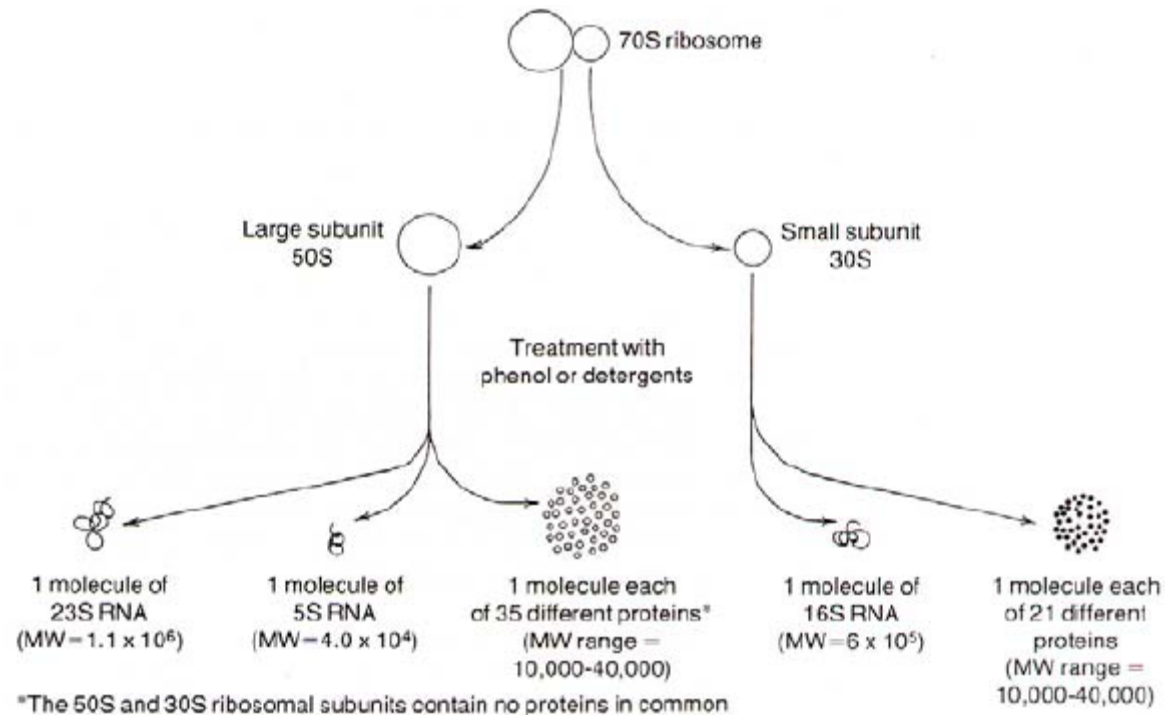


Table 11.3 Summary of major differential features among *Bacteria*, *Archaea*, and *Eukarya*^a

Characteristic	<i>Bacteria</i>	<i>Archaea</i>	<i>Eukarya</i>
Morphological and Genetic			
Prokaryotic cell structure	Yes	Yes	No
DNA present in covalently closed and circular form	Yes	Yes	No
Histone proteins present	No	Yes	Yes
Membrane-enclosed nucleus	Absent	Absent	Present
Cell wall	Muramic acid present	Muramic acid absent	Muramic acid absent
Membrane lipids	Ester-linked	Ether-linked	Ester-linked
Ribosomes (mass)	70S	70S	80S
Initiator tRNA	Formylmethionine	Methionine	Methionine
Introns in most genes	No	No	Yes
Operons	Yes	Yes	No
Capping and poly-A tailing of mRNA	No	No	Yes
Plasmids	Yes	Yes	Rare
Ribosome sensitivity to diphtheria toxin	No	Yes	Yes
RNA polymerases (see Figure 11.19)	One (4 subunits)	Several (8–12 subunits each)	Three (12–14 subunits each)
Transcription factors required (Section 7.11)	No	Yes	Yes
Promoter structure (Sections 7.10 and 7.11)	–10 and –35 sequences (Pribnow box)	TATA box	TATA box
Sensitivity to chloramphenicol, streptomycin, and kanamycin	Yes	No	No

^a Note that for many features only particular representatives within a domain show the property.

^b Environmental genomics studies of prokaryotes in marine waters strongly suggest that nitrifying *Archaea* exist (Section 18.6).

TABLE 10.1

Some Characteristics of Archaea, Bacteria, and Eukarya




	Archaea	Bacteria	Eukarya
			
	<i>Methanosarcina</i>	<i>E. coli</i>	<i>Amoeba</i>
Cell Type	Prokaryotic	Prokaryotic	Eukaryotic
Cell Wall	Varies in composition; contains no peptidoglycan	Contains peptidoglycan	Varies in composition; contains carbohydrates
Membrane Lipids	Composed of branched carbon chains attached to glycerol by ether linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by ester linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by ester linkage
First Amino Acid in Protein Synthesis	Methionine	Formylmethionine	Methionine
Antibiotic Sensitivity	No	Yes	No
rRNA Loop*	Lacking	Present	Lacking
Common Arm of tRNA[†]	Lacking	Present	Present
*Binds to ribosomal protein; found in all bacteria.			
†A sequence of bases in tRNA found in all eukaryotes and bacteria: guanine-thymine-pseudouridine-cytosine-guanine.			

Table 11.3 Summary of major differential features among *Bacteria*, *Archaea*, and *Eukarya*^a

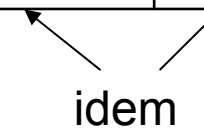
Characteristic	<i>Bacteria</i>	<i>Archaea</i>	<i>Eukarya</i>
Physiological/Special Structures			
Methanogenesis	No	Yes	No
Dissimilative reduction of S^0 or SO_4^{2-} to H_2S , or Fe^{3+} to Fe^{2+}	Yes	Yes	No
Nitrification	Yes	No ^b	No
Denitrification	Yes	Yes	No
Nitrogen fixation	Yes	Yes	No
Chlorophyll-based photosynthesis	Yes	No	Yes (in chloroplasts)
Rhodopsin-based energy metabolism	Yes	Yes	No
Chemolithotrophy (Fe, S, H_2)	Yes	Yes	No
Gas vesicles	Yes	Yes	No
Synthesis of carbon storage granules composed of poly- β -hydroxyalkanoates	Yes	Yes	No
Growth above 80°C	Yes	Yes	No
Growth above 100°C	No	Yes	No

^a Note that for many features only particular representatives within a domain show the property.^b Environmental genomics studies of prokaryotes in marine waters strongly suggest that nitrifying *Archaea* exist (🔗 Section 18.6).

- Abondances des éléments du métabolisme similaire aux éléments de réplication (RNA)

	Cosmic	Oceans	Bulk Bacteria	P-lipid	RNA	Metabolic Core
H	2.8×10^6	4.9×10^7	203	90	10	15.4
O	1400	2.5×10^7	71.7	8	7	9
C	680	974	116	46	9.5	9.5
N	230	633	15.5	1	3.75	2
S	43	12,400	0.19	0	0	0.05
P	1	1	1	1	1	1

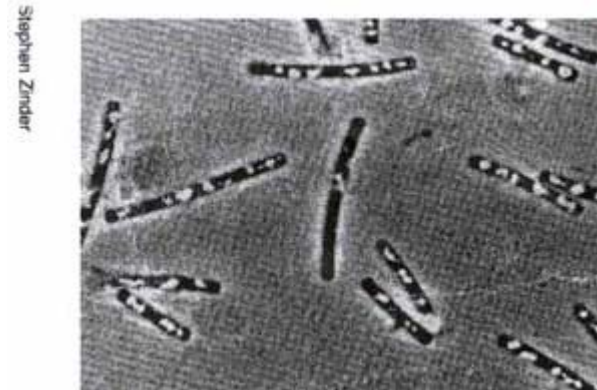
idem



Methanogènes (Archae)

- Anaérobies stricts se trouvant dans des milieux réducteurs (potentiel < -330 mV). Symbiose avec des bactéries qui fournissent en continu l'hydrogène et le gaz carbonique:
$$\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{énergie} (\Delta G_0' = - 136 \text{ kJ/mol})$$

(4 réductions successives à 2 électrons nécessitant des cofacteurs particuliers très sensibles à l'oxygène)
Aussi: $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ($\Delta G_0' = - 31 \text{ kJ/mol}$)
Rem: 1/3 du CH_4 (effet de serre) est produit par ces bactéries.



Methanotherx thermophila