

[http://www.microbeworld.org/index.php?option=com\\_jlibrary&view=article&id=2269](http://www.microbeworld.org/index.php?option=com_jlibrary&view=article&id=2269)



**Professeur :**

Dr Alexandre Poulain

Bureau: Gendron 268; poste 2373

[apoulain@uottawa.ca](mailto:apoulain@uottawa.ca)

<http://www.science.uottawa.ca/~apoulain>

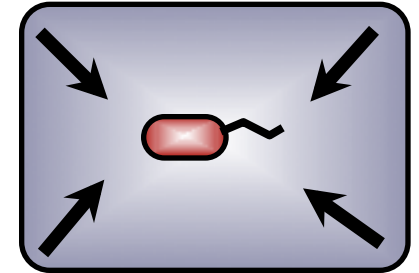
**Assistante à l'enseignement :**

Sophie Chiasson-Gould

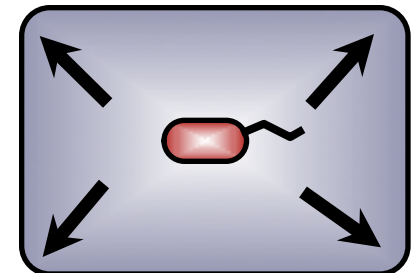
[Schia035@uottawa.ca](mailto:Schia035@uottawa.ca)

# Microbiologie environnementale

1. Caractériser les communautés microbiennes et prédire leur évolution en connaissant les variables qui façonnent leur environnement.



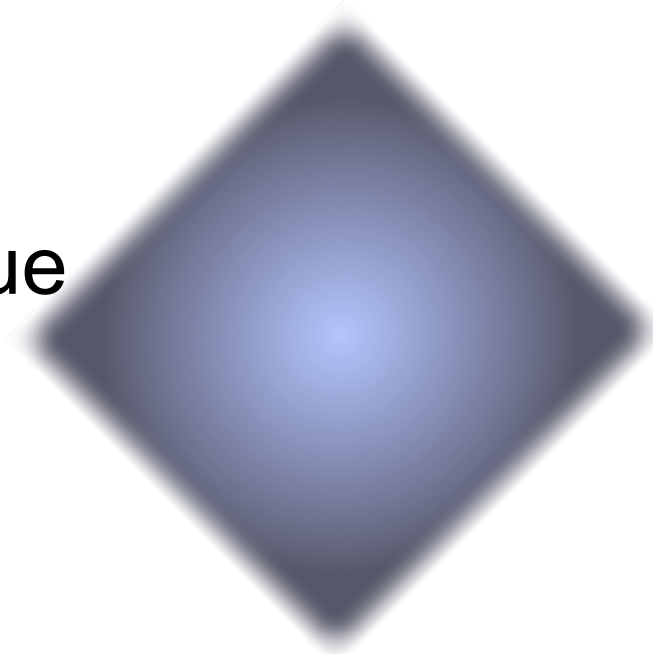
2. Utiliser les communautés microbiennes afin de modifier l'environnement



# Forces directrices de la microbiologie environnementale



Écologie (habitat et interactions)

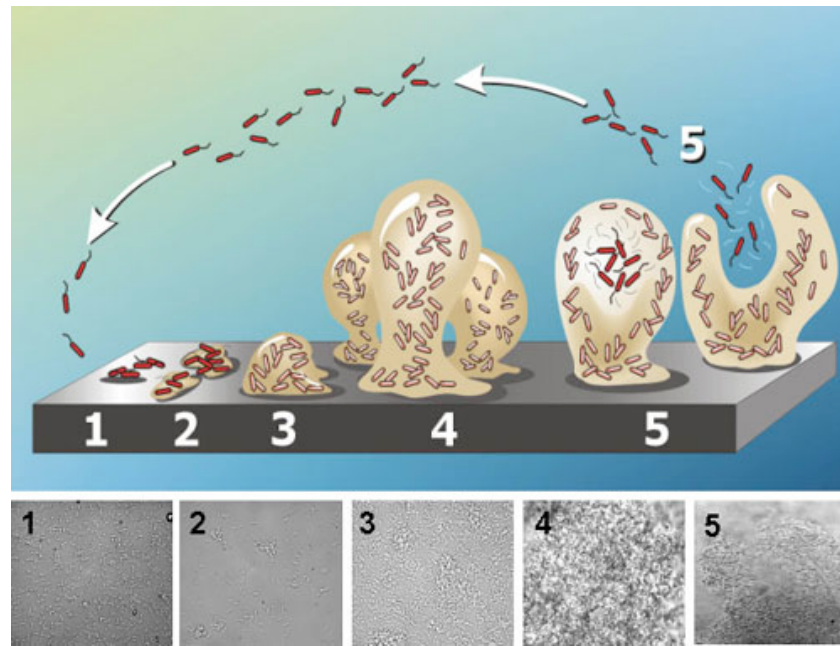


Thermodynamique  
(énergie)

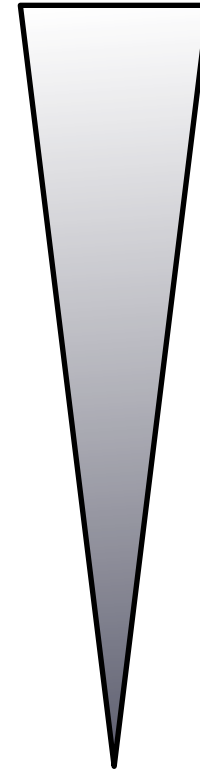
Physiologie  
(métabolisme)

Biogéochimie  
(impact sur le cycle des éléments)

# Applications médicales



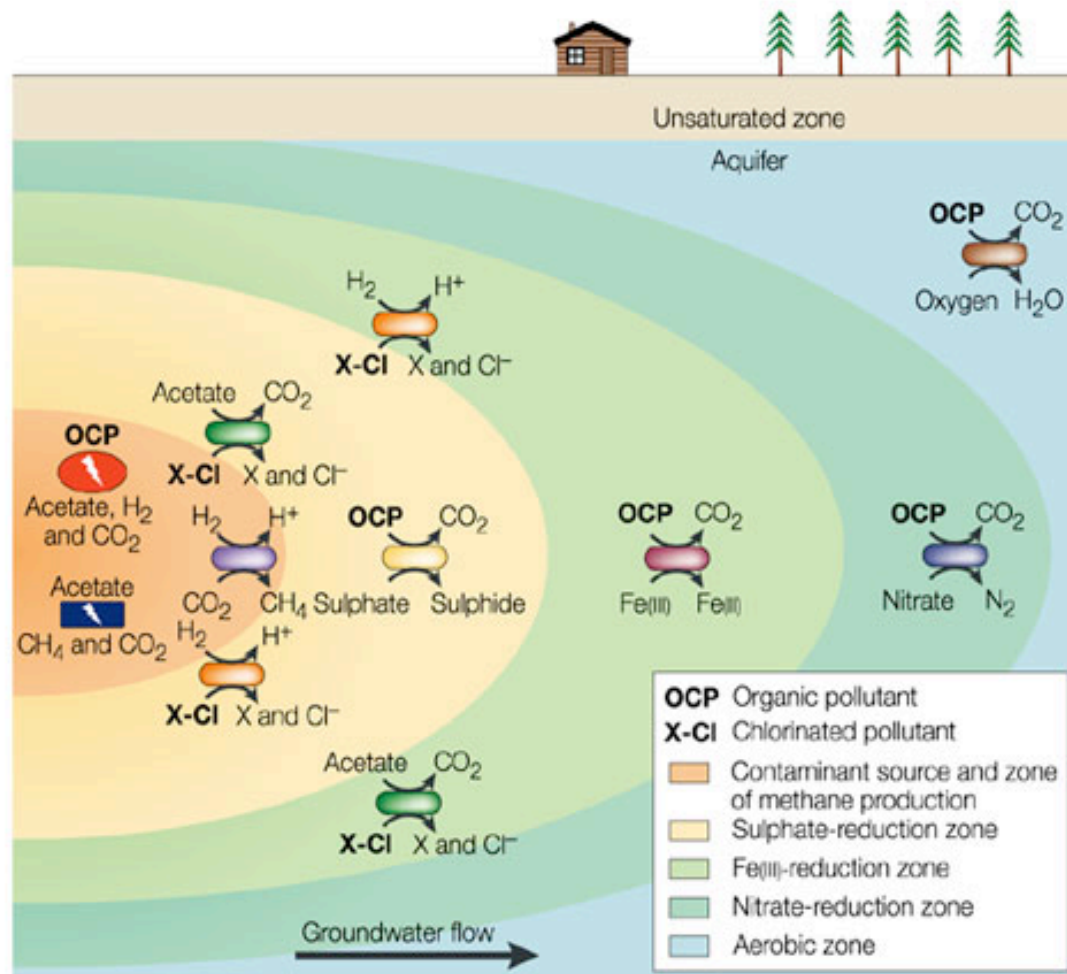
O<sub>2</sub>



*Pseudomonas aeruginosa* biofilm, microbe wiki

Prédire l'évolution d'une infection bactérienne et développer de nouvelles approches afin de contrecarrer cette évolution

# Bioremédiation



Nature Reviews | Microbiology

Utiliser les microbes pour protéger et nettoyer l'environnement

# Évaluation

|                      |            |
|----------------------|------------|
| - Question rapide    | <b>10%</b> |
| - Rapport écrit      | <b>20%</b> |
| - Présentation orale | <b>20%</b> |
| - Examen intra (x2)  | <b>50%</b> |

NB: Pas d'examen intra

# Travail de session (40%)

2.

Acidophile  
Alcalophile  
Endolithique  
Hypolithique  
Halophile  
Métalotolérant  
Osmophile  
**Piezophile - barophile**  
Xérophile  
Psychrophile  
Radioresistant  
Thermoacidophile  
Thermophile

1.

**Bactéries**  
Archées

3.

1. Variables géochimiques
2. Physiologie et métabolisme
3. Détection
4. Discuter de son potentiel pour développement durable (protection de l'environnement ou avancée médicale)

# Importance des microbes

- Seule forme de vie sur terre pendant 2 à 3 millions
- Présentent une extraordinaire diversité génétique et biochimique
- Représentent plus de 50% de la biomasse des océans
- Contrôlent le cycle de tous les éléments qui déterminent l'habitabilité de la terre.
- Peuvent vivre sans nous....

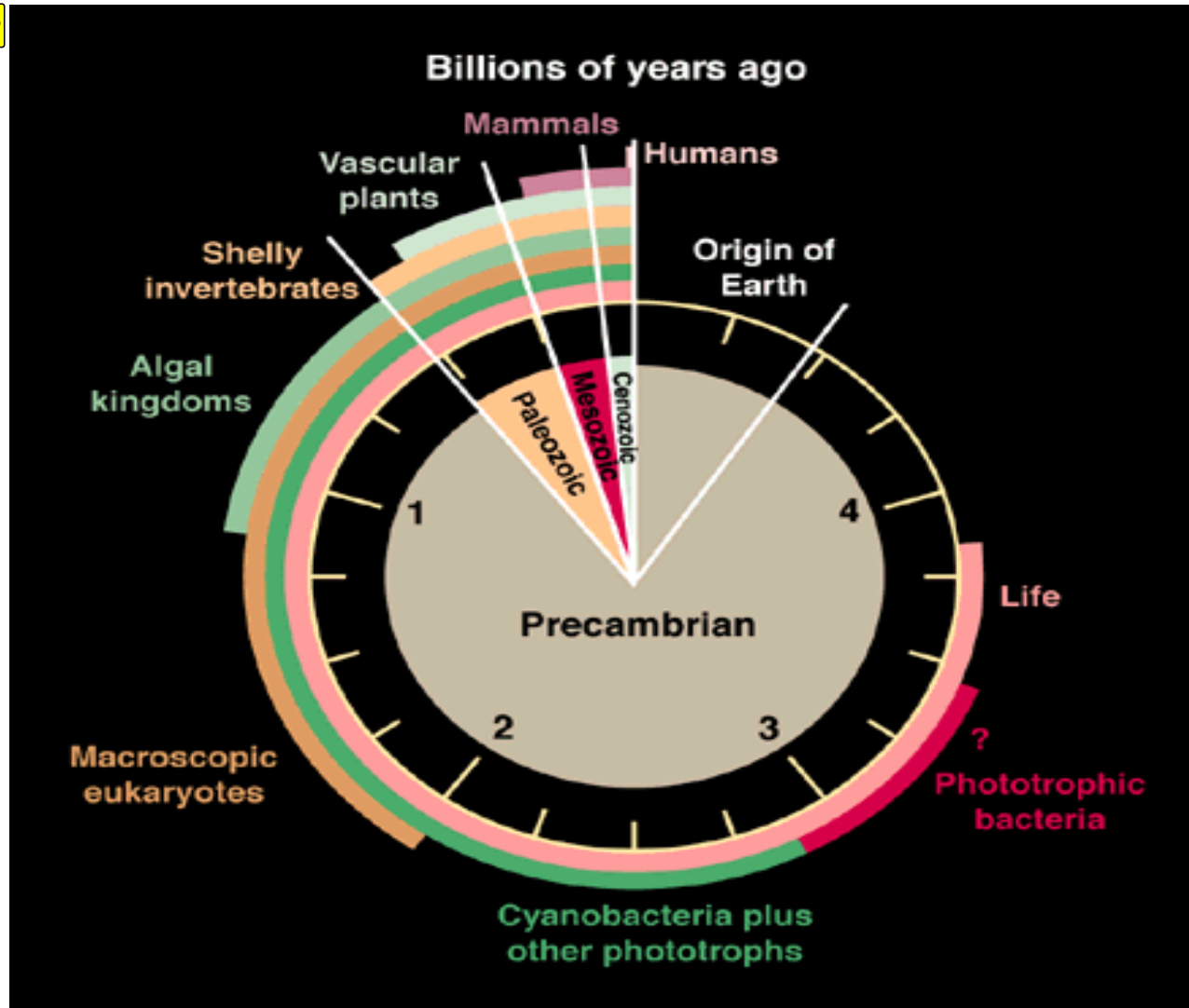
# Parlez-vous le bactérien?

[http://www.youtube.com/watch?v=TVfmUfr8VPA&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=TVfmUfr8VPA&feature=player_embedded)



Prof. Bonnie Bassler: The secret, social lives of bacteria

# Horloge biogéologique de la terre



# Microbial diversity and evolution

<http://www.ibioseminars.org/lectures/dev-bio-a-evolution/dianne-newman.html>

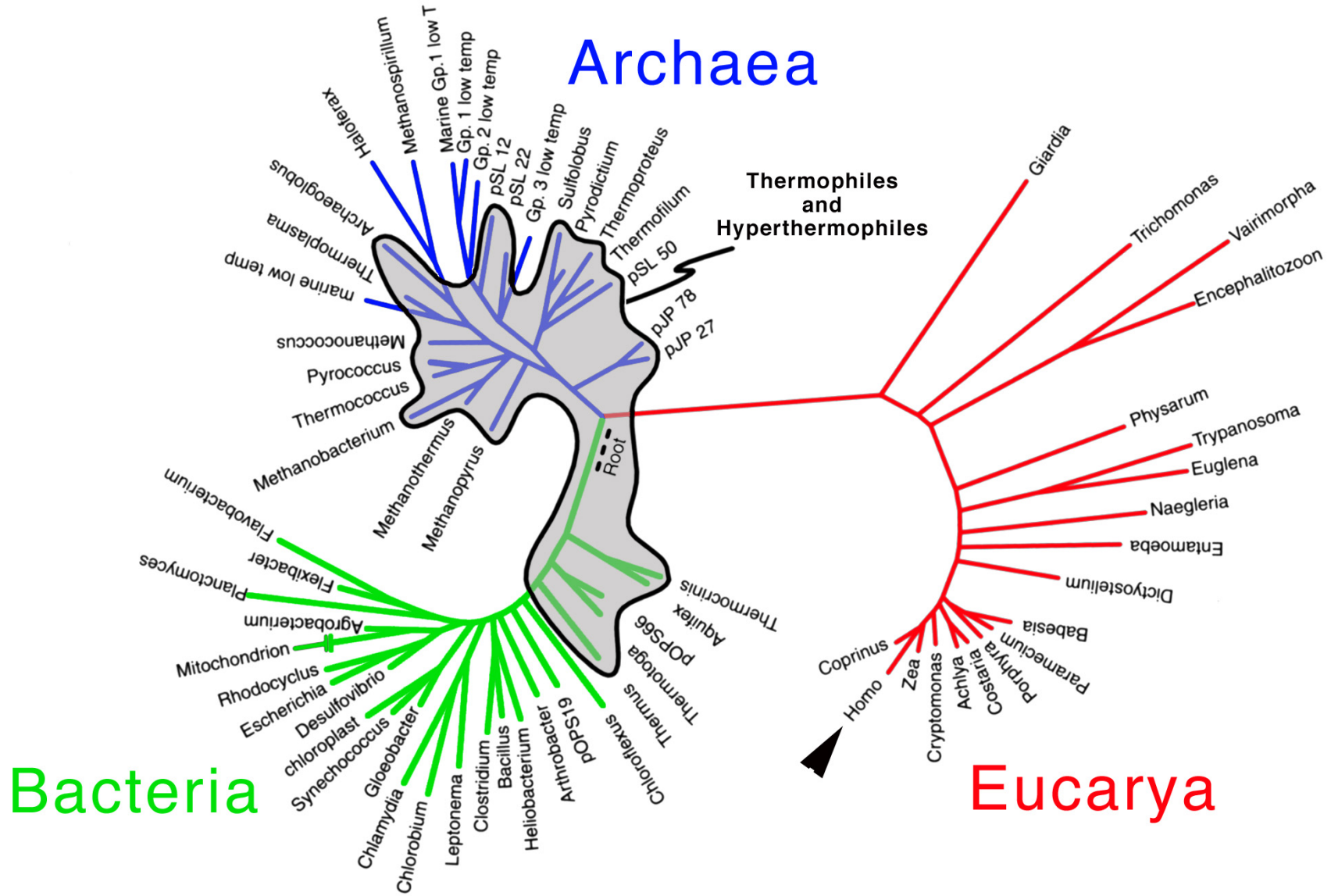


Prof. Dianne Newman: ibioseminar, an overview of microbial diversity and evolution

Les microbes sont anciens: Intro to 4:11 min

Les microbes sont nombreux, répandus et diverses de 13:14 à 42: min.

# The Tree of Life



Carl Woese discovered the Archeae

<http://www.astro.washington.edu/endsofworld/>

## 2.1. Les Bactéries et les Archées

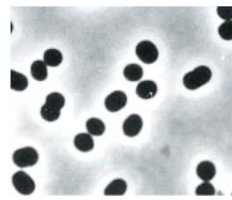
# Tailles et formes

## Morphologie cellulaire

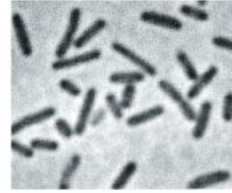
- forme circulaire et ovoïde = une coque (coccus)
- forme cylindrique = bâtonnet (rod)
- forme spiralée = spirille (spirillum)
- Formes caractéristiques: spirochètes et filaments
- Morphologie n'est pas un bon indicateur des propriétés cellulaires



# Morphologie



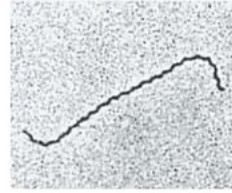
Norbert Pfennig



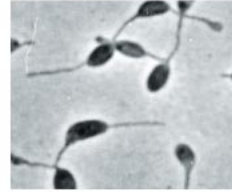
Norbert Pfennig



Norbert Pfennig



E. Canale-Parola

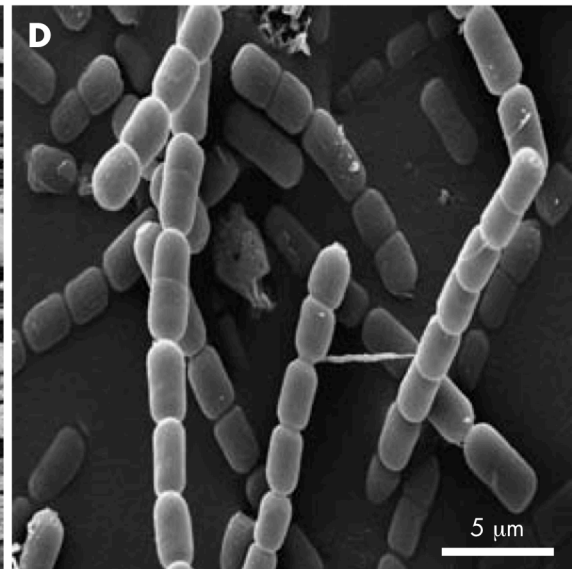
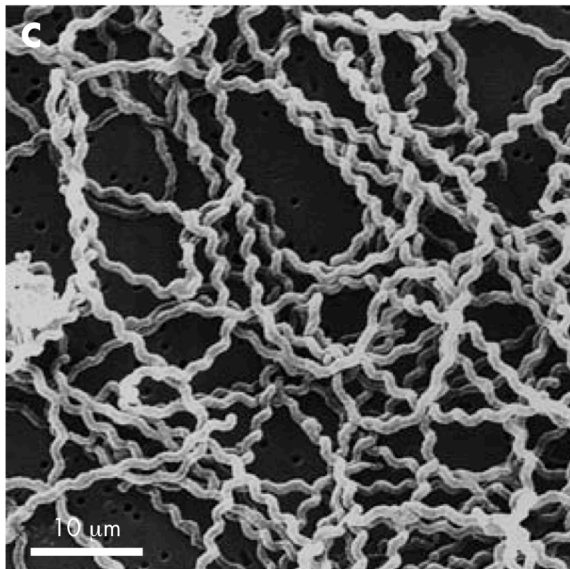
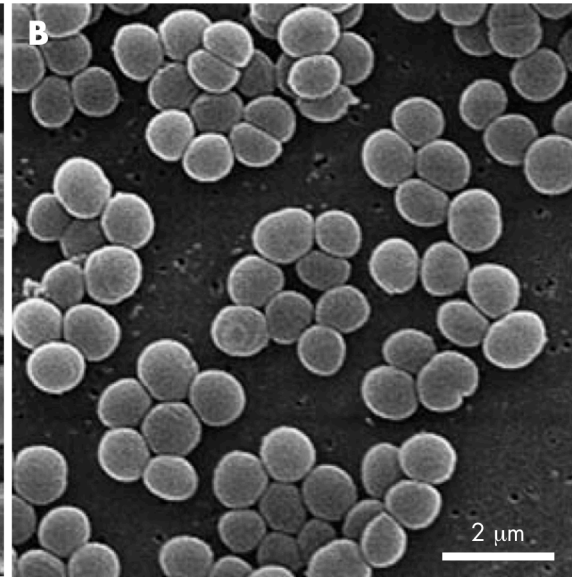
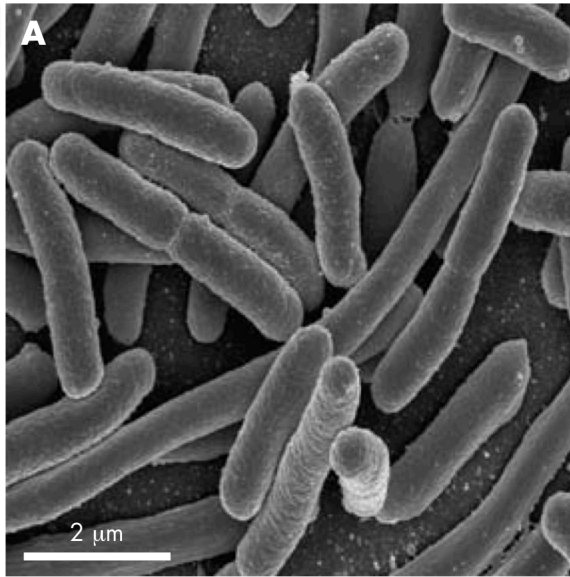


Norbert Pfennig



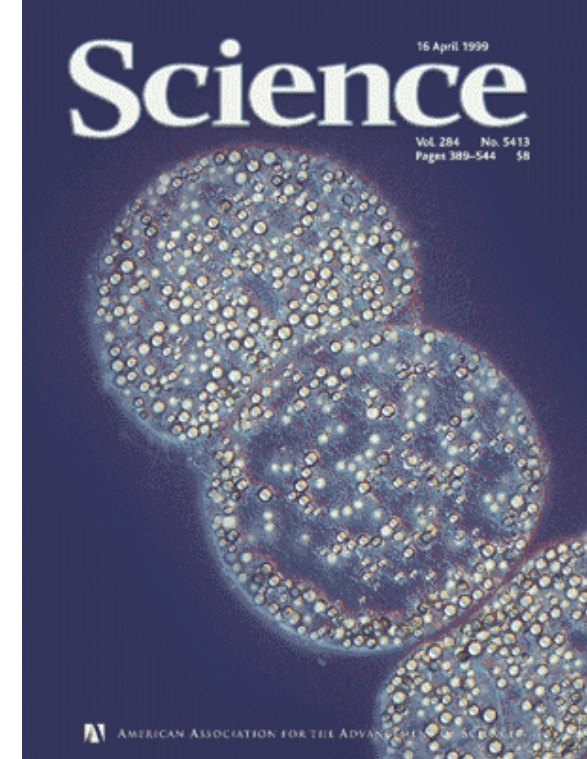
T. D. Brock

# Morphologie cellulaire

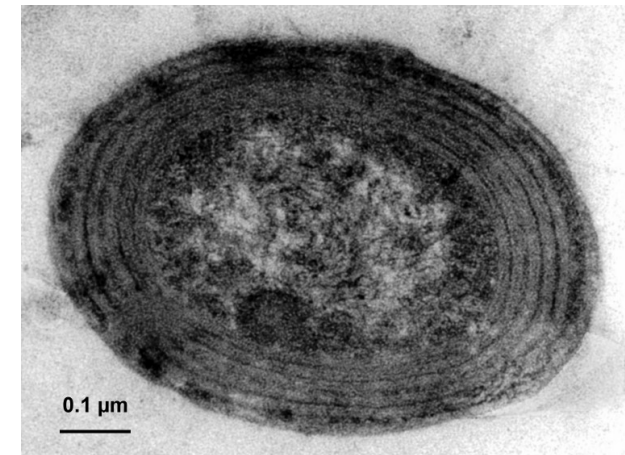


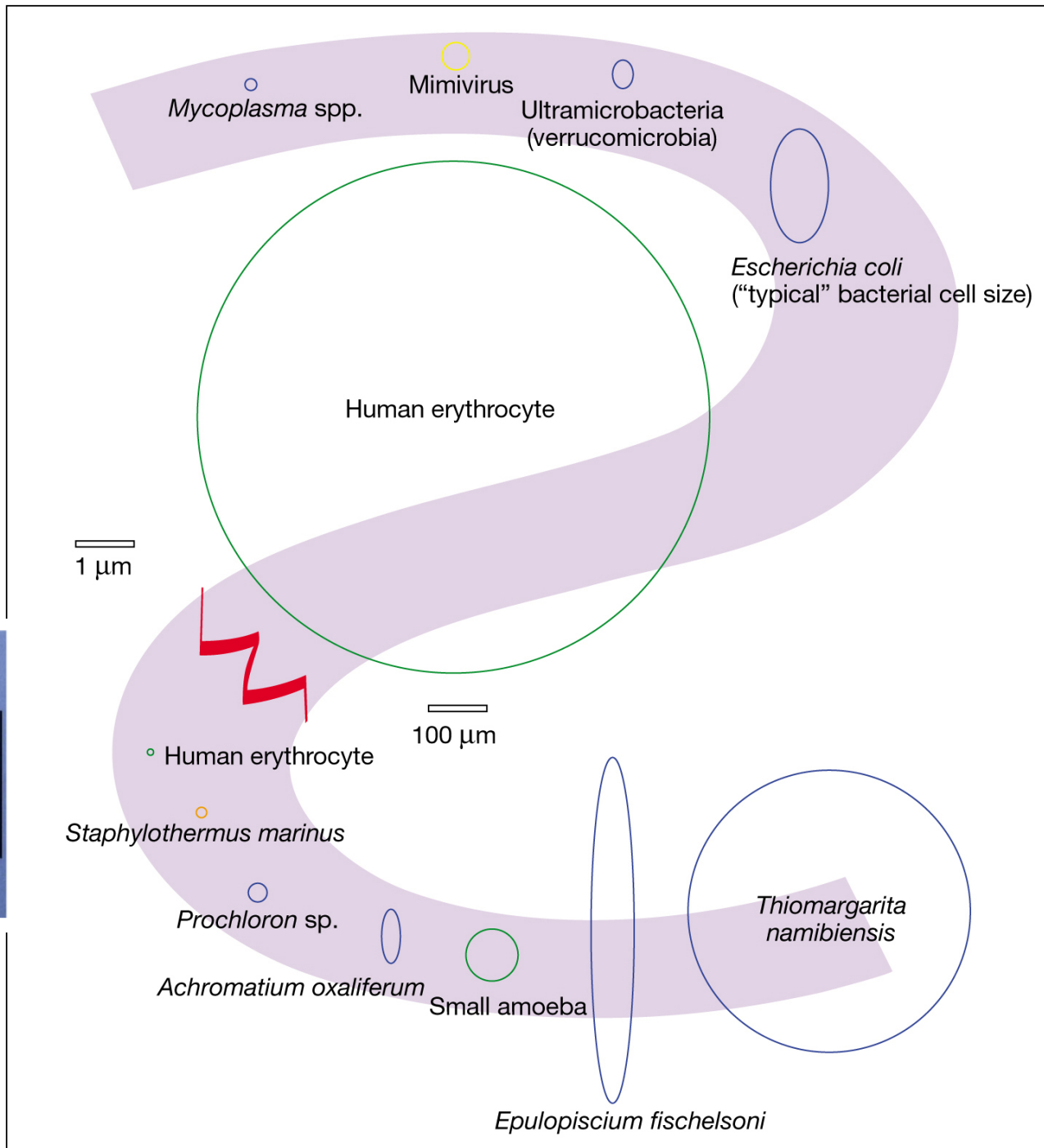
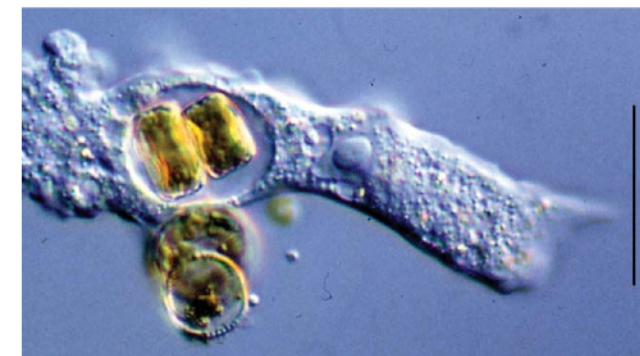
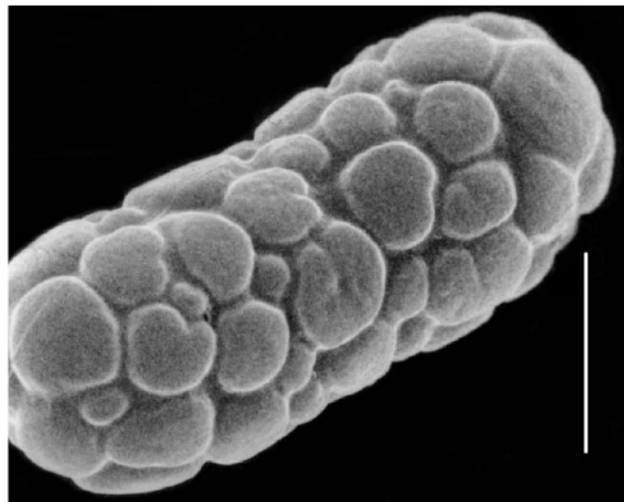
# Taille 🗨️🗨️🗨️🗨️

- Varie largement de 200 nm à 0.7 cm
- Les plus grandes cellules = *Thiomargarita* (chimolithotrophe) – sulfure et nitrate – bactérie non mobile – stocke les nitrates dans des vésicules. « perles de soufre de la Namibie ». Source de carbone non déterminée (acetate?).



*Prochlorococcus*



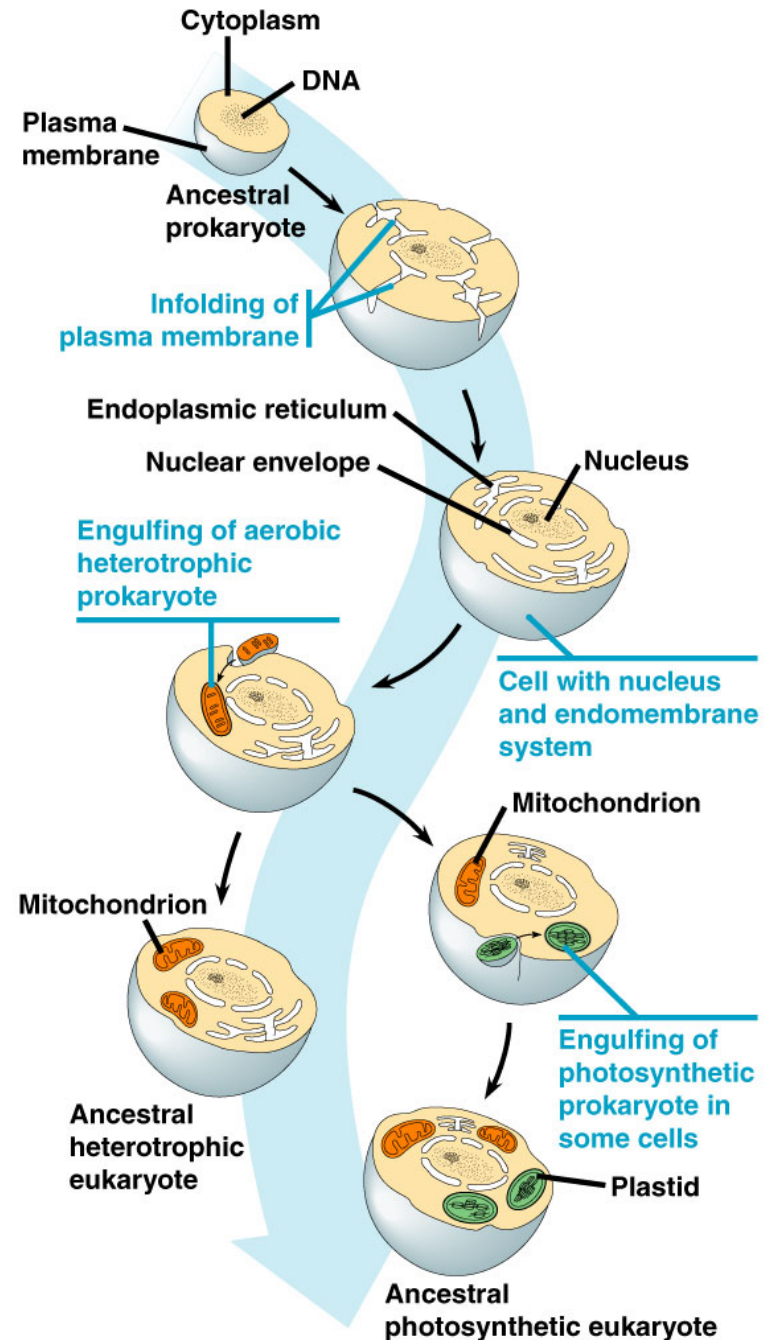


<http://www.bioone.org/doi/pdf/10.1525/bio.2009.59.4.11>

# La théorie endosymbiotique

Les bactéries ne possèdent pas de mitochondries ni de chloroplastes!

À l'origine, elles sont les mitochondries et les chloroplastes.



# Membrane cytoplasmique et transport

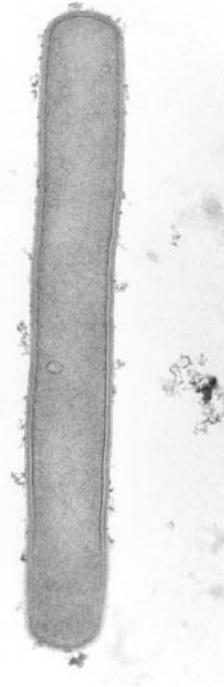


## Prokaryotes



John Bozzola and M.T. Madigan

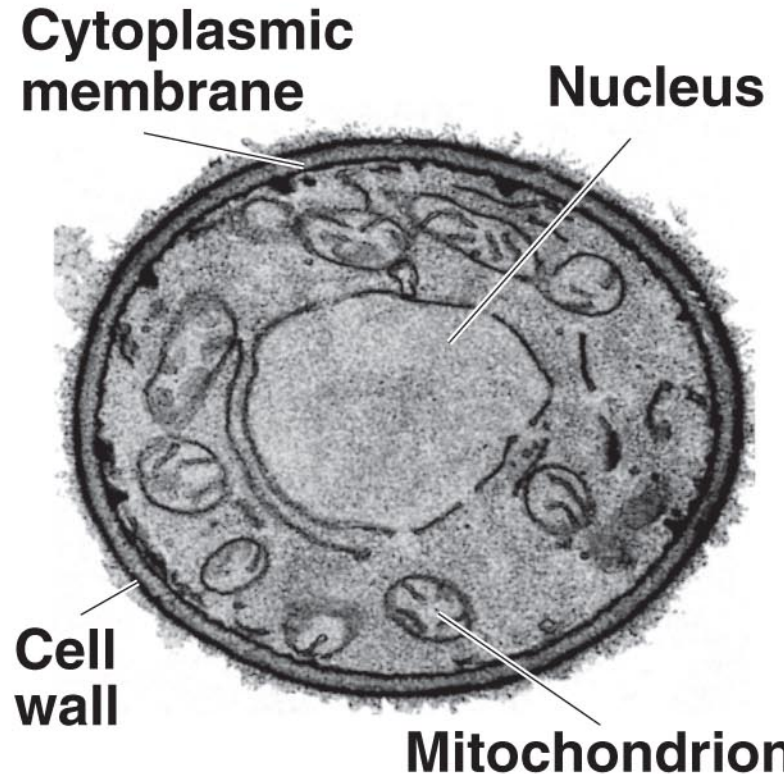
**(a) Bacteria**



R. Rachel and K.O. Stetter

**(b) Archaea**

## Eukaryote

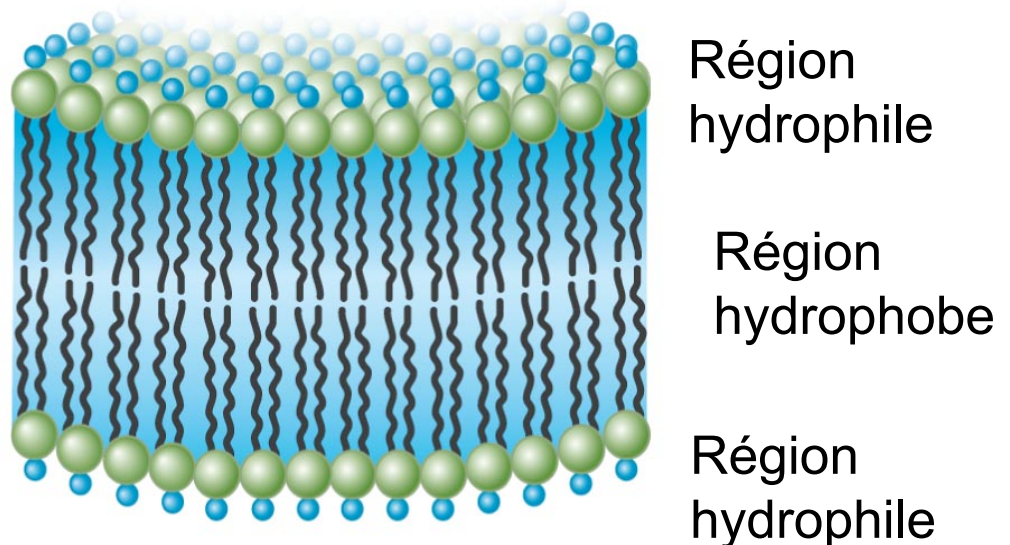


S.F. Conti and T.D. Brock

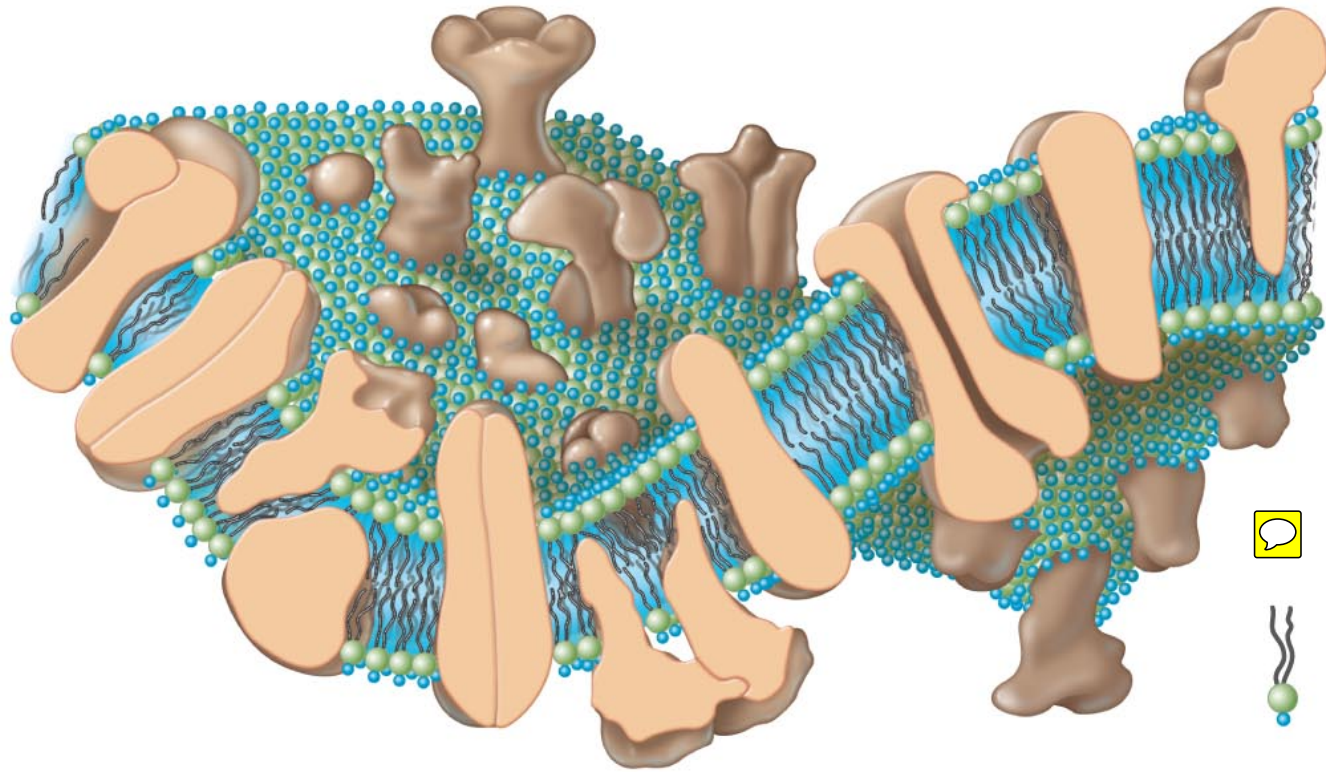
**(c) Eukarya**

# Membrane cytoplasmique

- La membrane plasmique est une structure fine composée de phospholipides qui entourent la cellule.
- Ces phospholipides sont organisés en une double couche au sein de laquelle des protéines peuvent s'insérer.
- La membrane cytoplasmique est « fluide ». Notion de **mosaïque fluide membranaire.**
- Les protéines membranaires ont des régions hydrophobes (insérées dans la membrane) et hydrophiles (exposées à l'environnement)



# Protéines insérées dans la membrane cytoplasmique



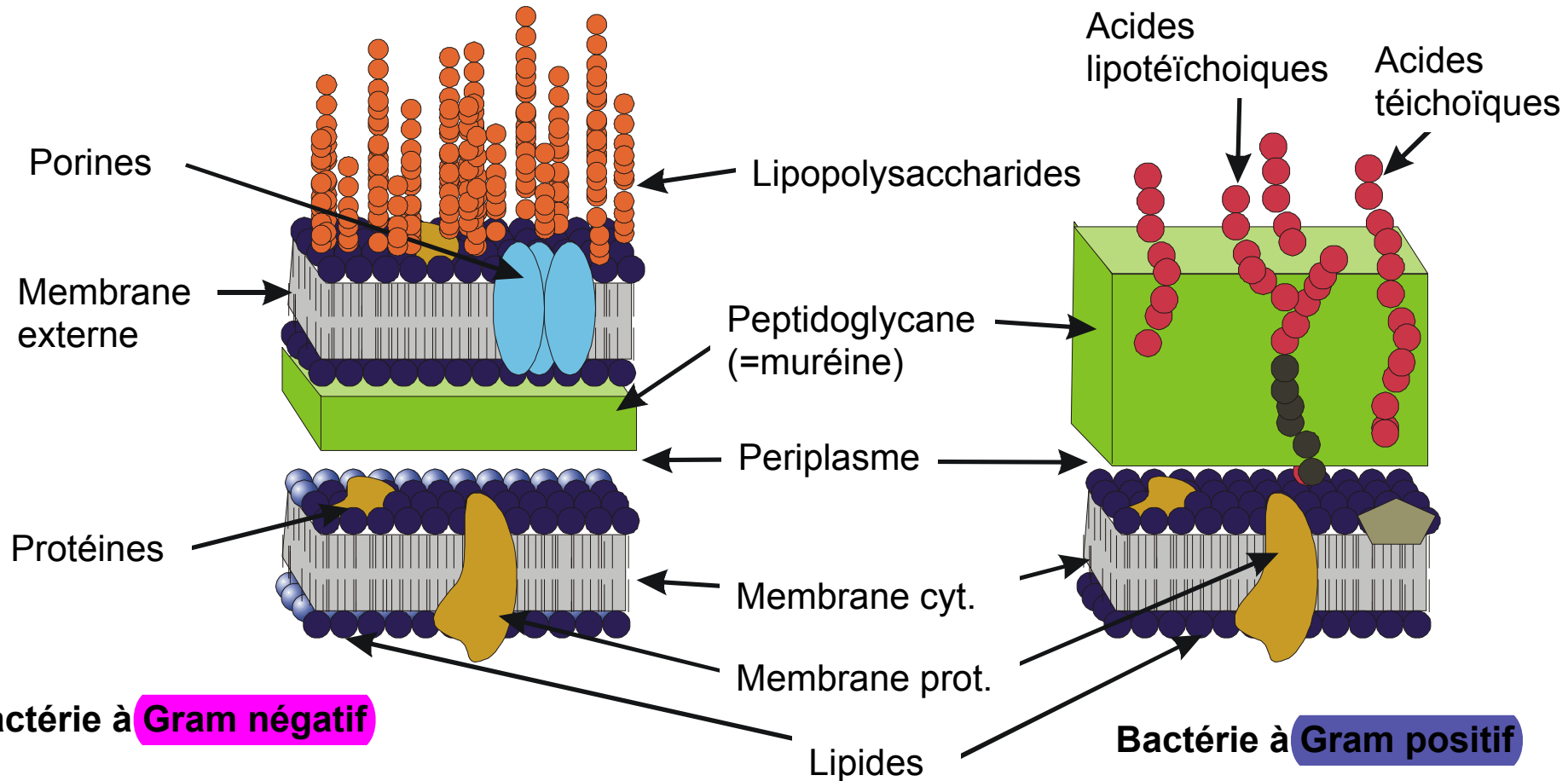
# Fonction des membranes

- Perméabilité cellulaire très limitée et **sélective** (diffusion)
- L'eau de traverse pas librement les membranes cytoplasmiques
- Il existe des protéines qui transportent activement les substances dissoutes en solution.
- **Support la machinerie cellulaire** responsable de la production d'énergie (chaîne de transporteur d'électron dans les invaginations de la membrane).

# La paroi des bactéries



Paroi = couche qui est responsable de la rigidité cellulaire composée de peptidoglycane



Les archées n'ont pas de peptidoglycane

# Le peptidoglycane

Chaines de polysaccharides liées par des liaisons peptidiques

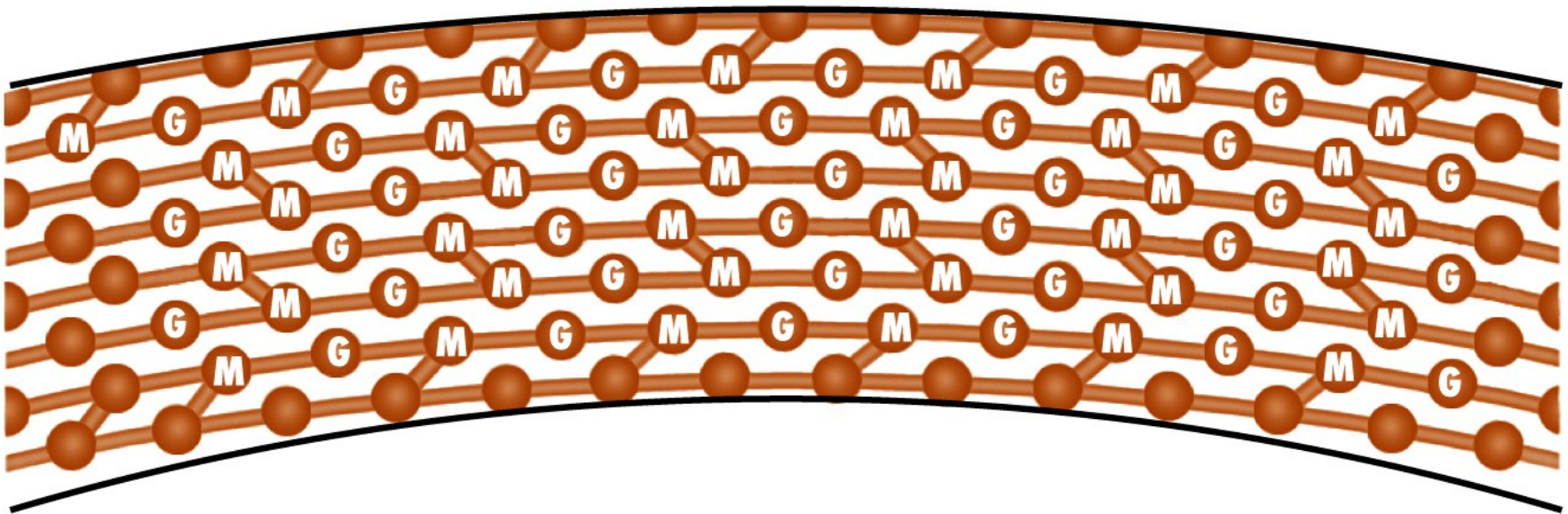


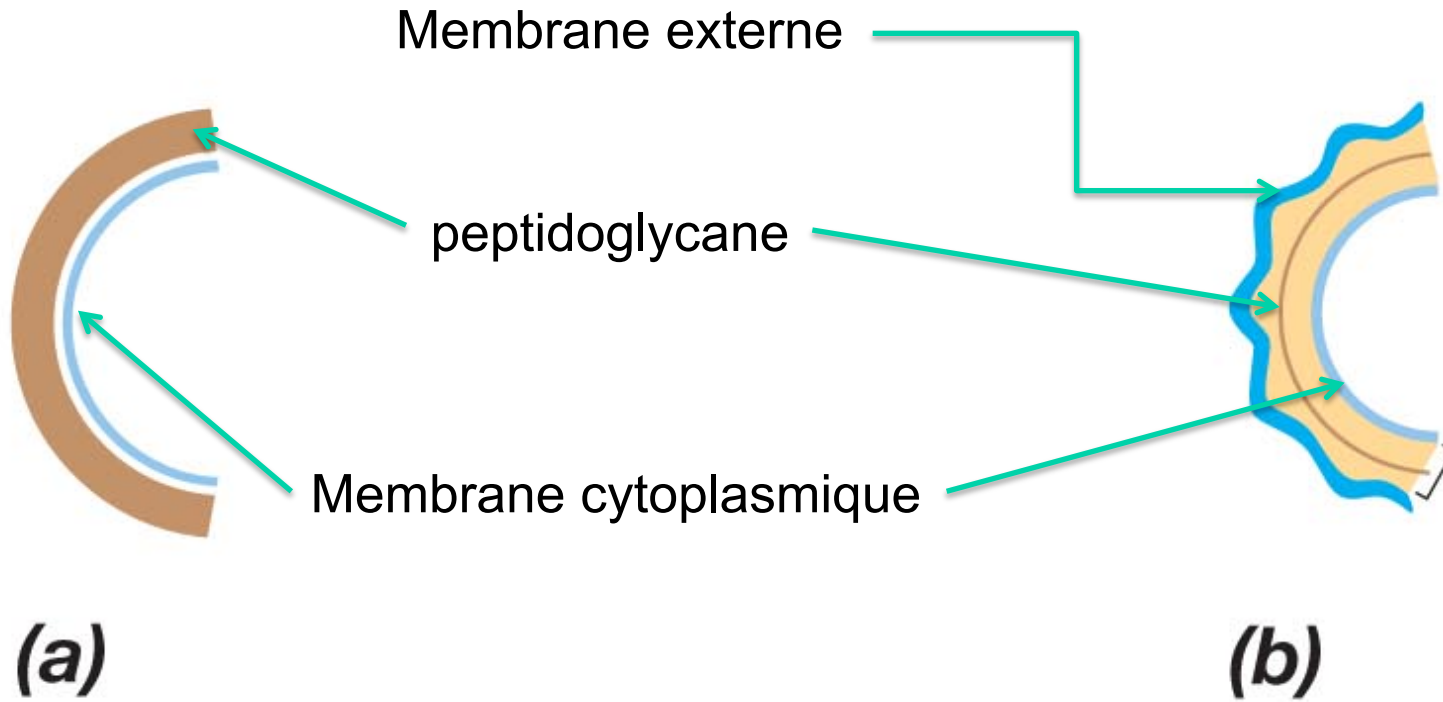
Figure 4-30c Brock Biology of Microorganisms 11/e  
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

G: N-acetyl-glucosamine

M: N-acetyl-muramic

**Gram +**

**Gram -**



# La paroi (suite)

Les bactéries peuvent être différenciées en fonction de la nature de leur enveloppe cellulaire (membrane externe + peptidoglycane)

Il existe des bactéries à gram positif et des bactéries à gram négatif.

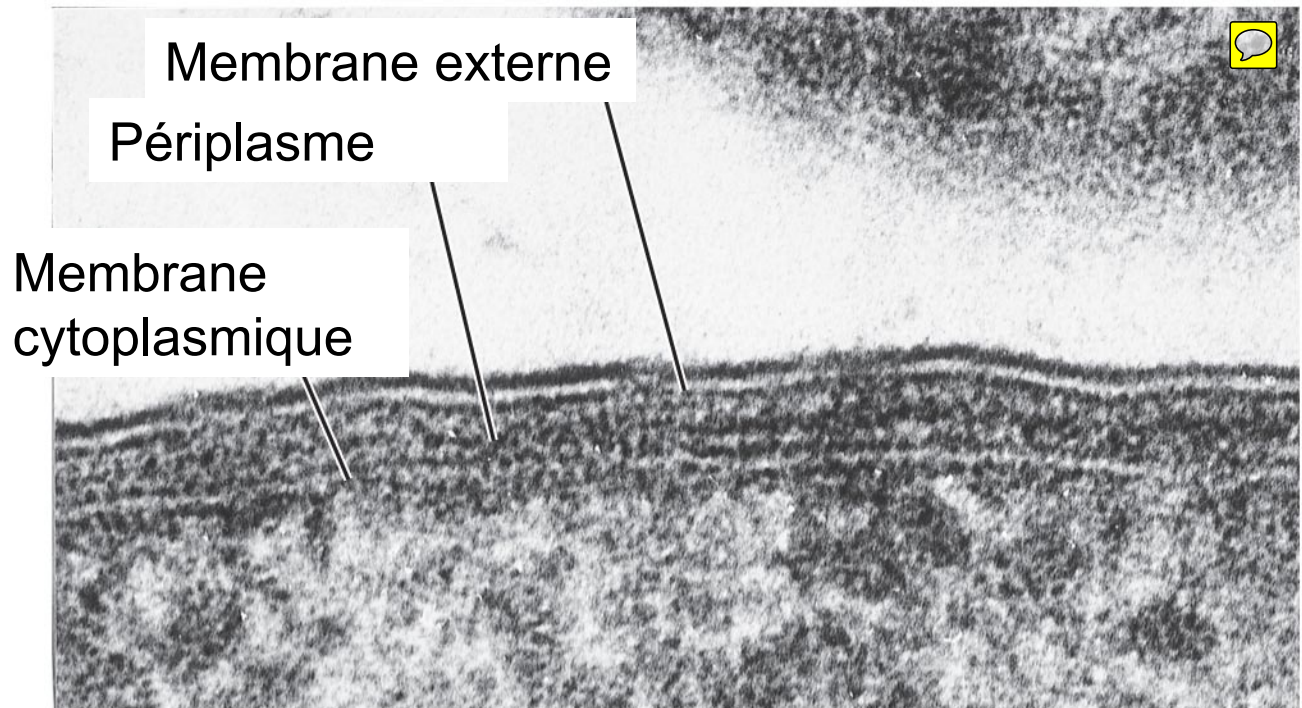
Cette différence architecturale contribue à définir les stratégies de survie dans l'environnement.



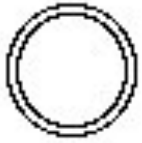
Exemple:

*Clostridium* et  
*Bacillus* (G+)

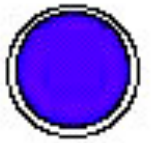
*Pseudomonas* et  
*Shewanella* (G-)



GRAM +



Fixation



Violet de  
Gentiane



Lugol

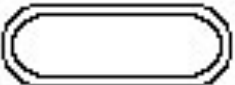
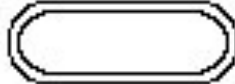


Décoloration

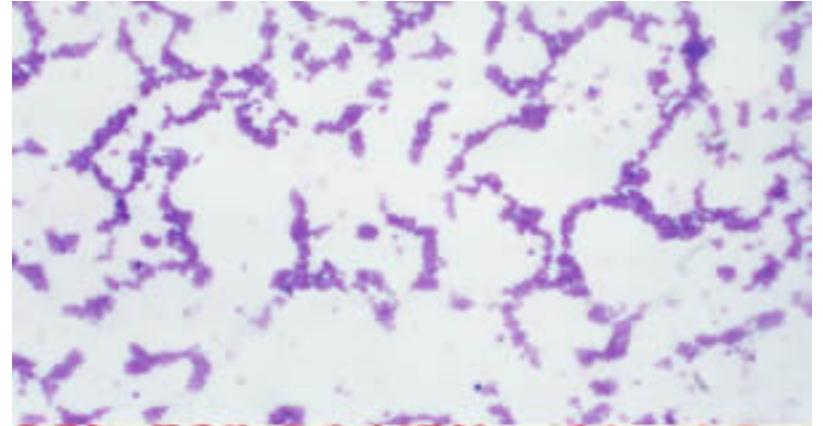


Recoloration  
Safranine

GRAM -



*Staphylococcus aureus*



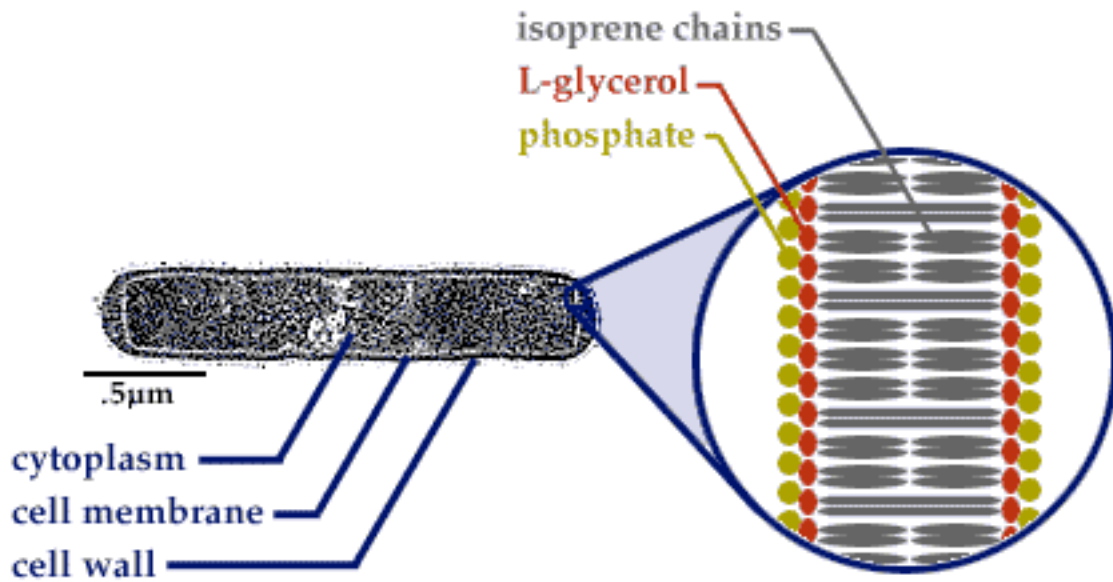
*Pseudomonas aeruginosa*

# La membrane externe

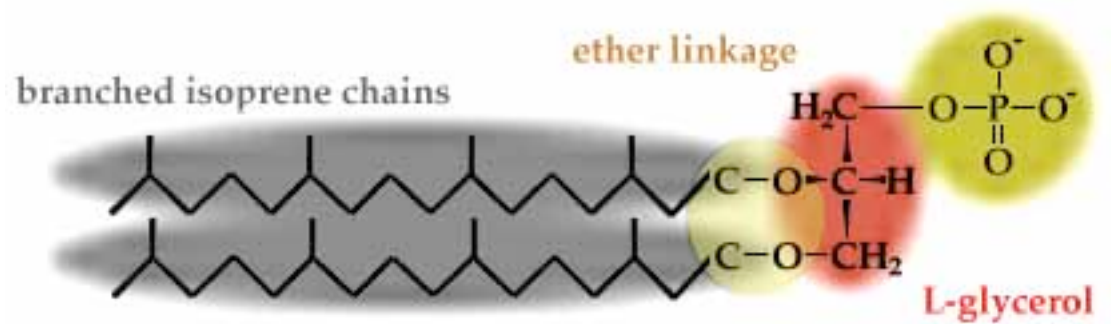
- Existe seulement chez les bactéries à gram négatif et chez certaines archées.
- Présente des lipopolysaccharides (LPS) qui peuvent présenter des propriétés toxiques (lipide A) = endotoxine.
- La membrane externe est relativement perméable aux espèces présentes en solution (ions, acides aminés, sucres)
  - limite exclusion = 1500 daltons. acide aminé  $\approx$  100 Da.
- Une des fonctions principale de la membrane externe est d'empêcher les protéines qui ne sont pas associées à la membrane cytoplasmique de s'échapper. Ces protéines sont localisées dans le périplasme.

# Les Archées

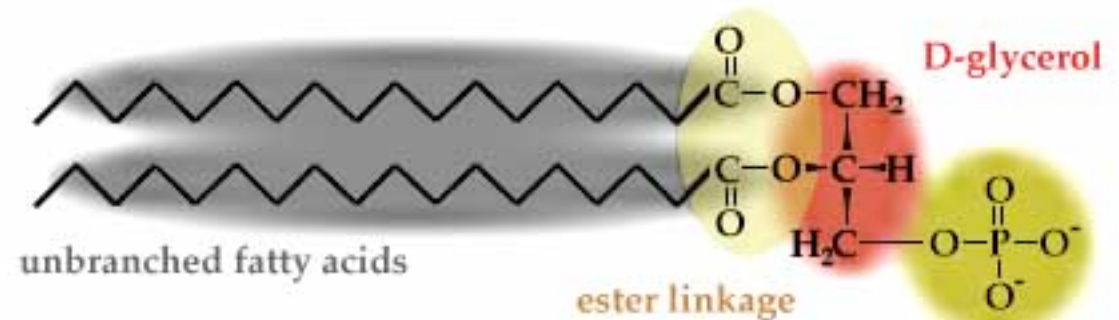
- Ressemblent aux bactéries de part leur forme
- Génétiquement (transcription et translation) et biochimiquement elles sont très différentes.
- De nombreuses espèces sont extrêmophiles; mais pas seulement sol, sédiments, eau de mer)
- Pas d'archées pathogènes (?)
- Divisés en 2 groupes
  - *Crenarchaeota* (thermophiles)
  - *Euryarchaeota* (halobacteries et méthanogènes)



Archées

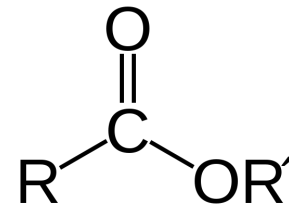
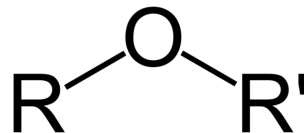


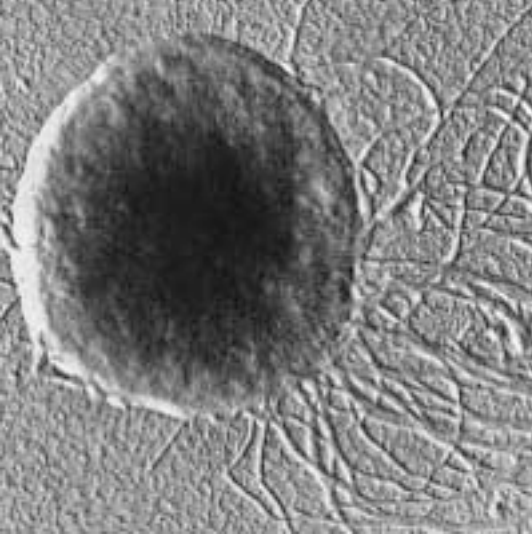
Bactéries



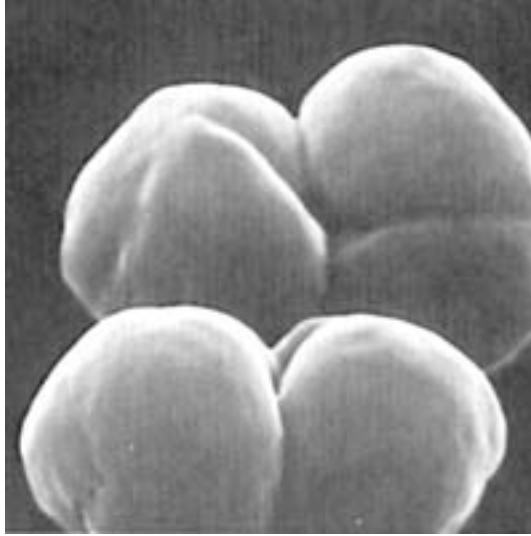
# Comparaison structurale des bactéries et des archées

| Structure  | Archées   | Bactéries                 |
|------------|---|---------------------------|
| Lipides    | Basés sur le glycérol (stéréochimie est différente) | Basés sur le glycérol     |
| Membranes  | Liaisons lipidiques éther                           | Liaisons lipidiques ester |
| Paroi      | Pas de peptidoglycane,                              | Peptidoglycane            |
| Chromosome | 1, circulaire                                       | 1, circulaire             |

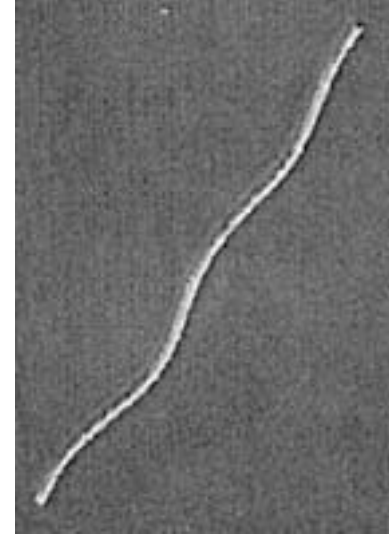




*Methanococcus janaschii*



*Methanosarcina barkeri*



*Methanobacterium  
thermoautotrophicum*



Vue très très simplifiée

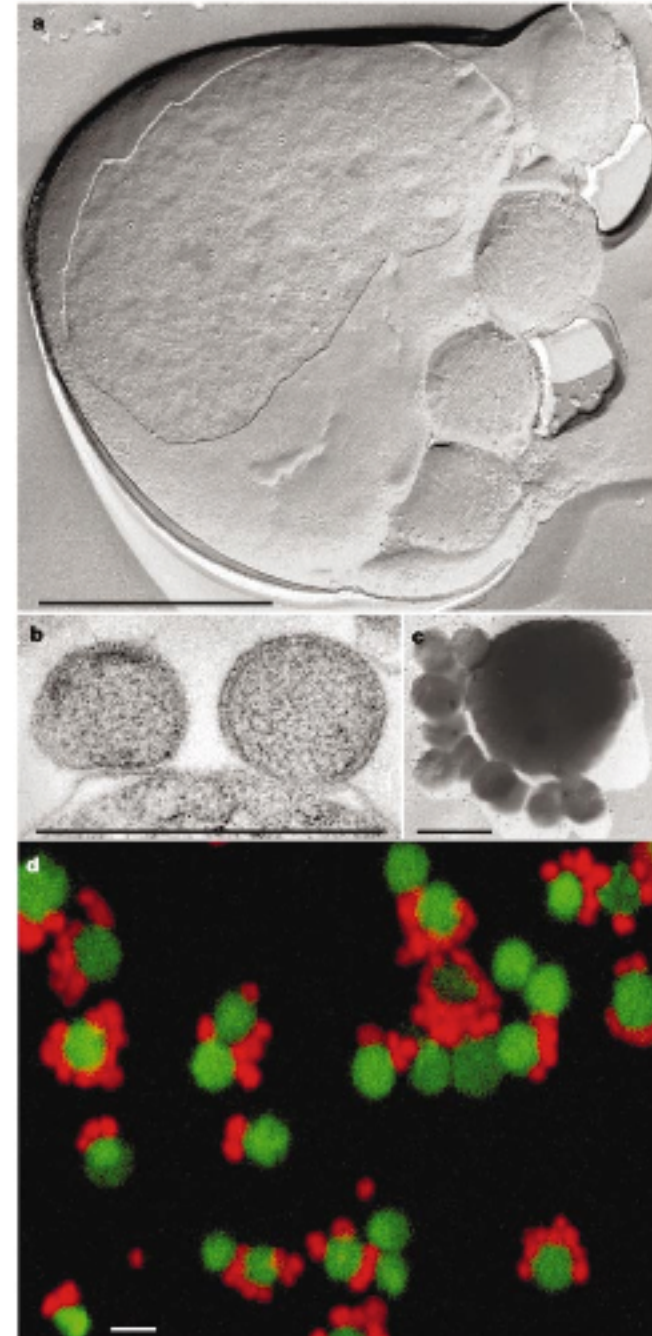
t-RNA  
r-RNA  
Proche de ceux des **eucaryotes**

Paroi cellulaire  
Membrane cytoplasmique  
Proche de ceux des **bactéries**

# Le 3<sup>eme</sup> groupe

## « nanoarchaeota »

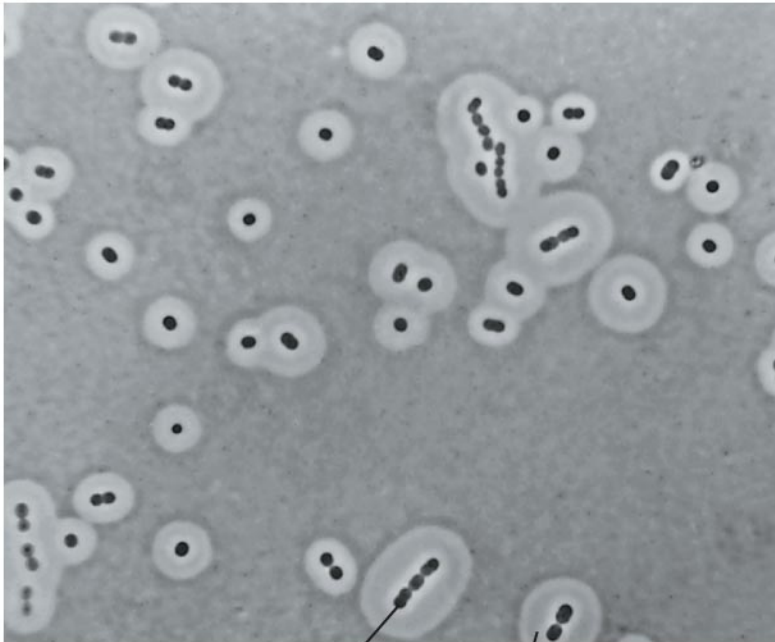
- Espèce découverte en 2002 dans une source hydrothermale au large des côtes de l'Islande.
- Cette espèce est un symbionte obligatoire d'« *Ignicoccus* » qui utilise le soufre comme un accep. term. elec. et utilise H<sub>2</sub> comme donneur d'électron.
- Son analyse génétique révèle qu'il ne peut pas synthétiser la plupart des nucléotides, acides aminés, lipides et cofacteurs.



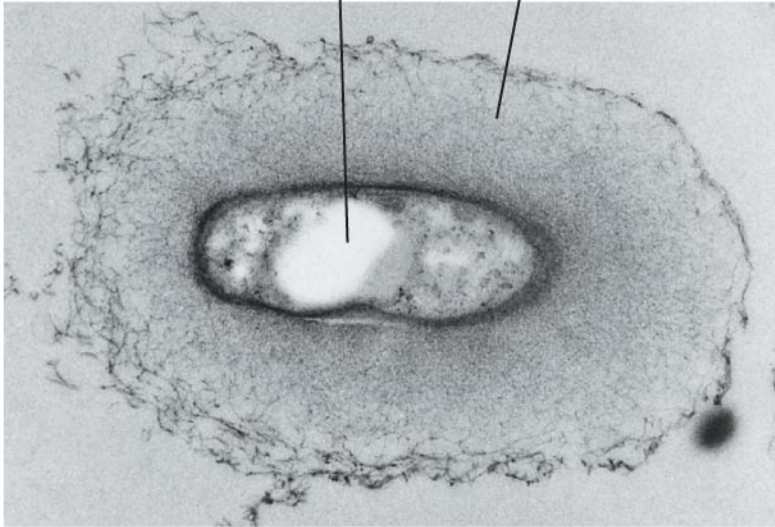
# Structures cellulaires de surface



- Les **capsules** (polysaccharides et polypeptides)
  - Les capsules peuvent être rigides/souples
  - Contribuent à l'attachement sur substrat
  - Protège contre la phagocytose et dessiccation
- Les **pili** et **fimbrias**
  - Structures filamenteuses composées de protéines qui hérissent la cellule.
  - Fimbrias impliquées dans attachement des cellules.
  - Seulement quelques pili présents (transfert de matériel génétique par congugaison)



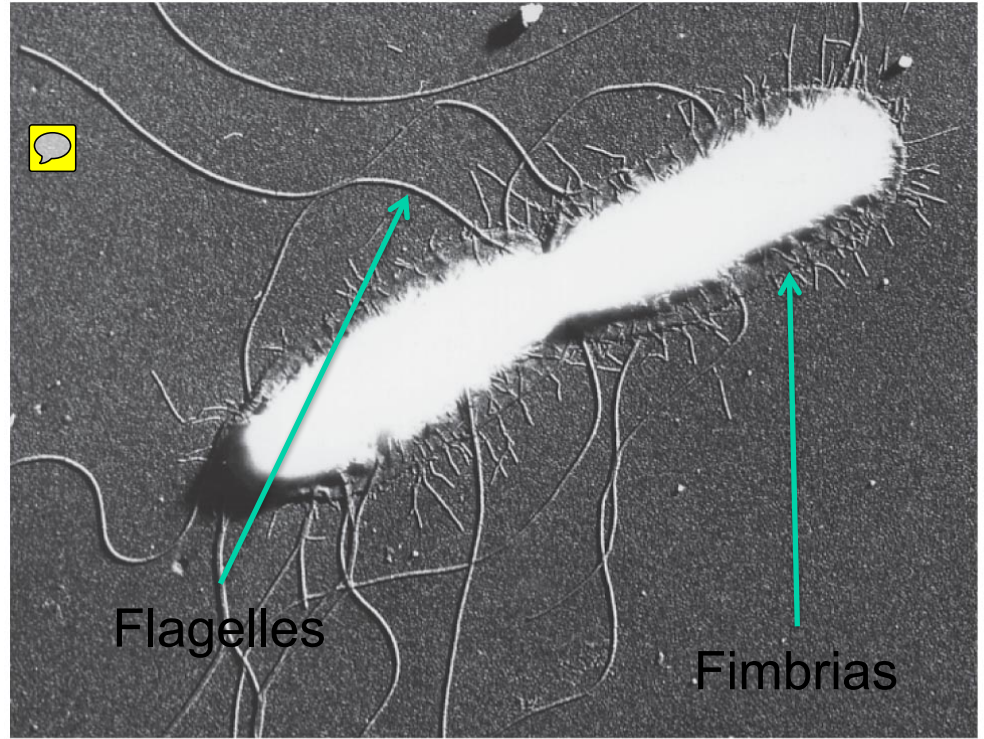
**(a)** Cell Capsule



**(b)**

Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Elliot Juni

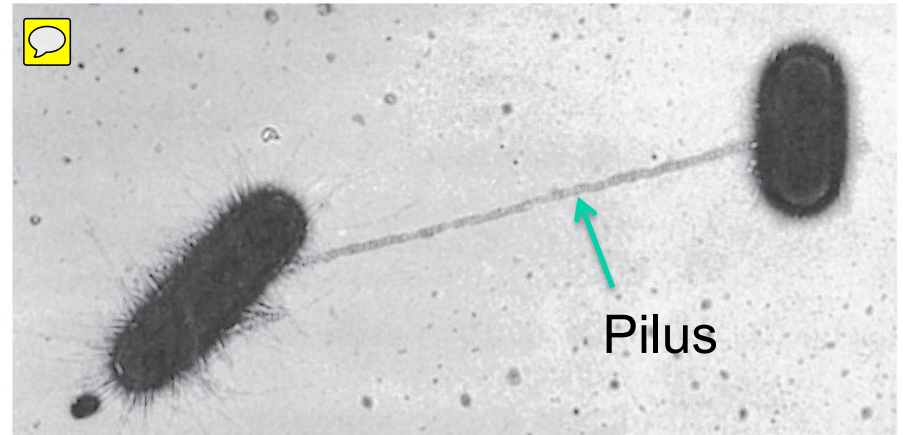


Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

J. P. Duguid and J. F. Wilkinson

Cellule se divisant

Frank Dazzo and Richard Heinzen



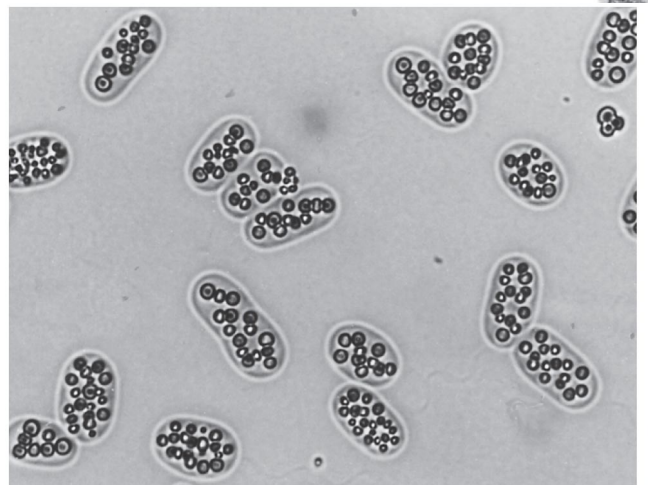
Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Charles C. Brinton, Jr.

# Les inclusions cellulaires



- La plus commune: stockage de composés carbonés (e.g. PHB ou glycogène)
- Stockage de polyphosphate ou de soufre élémentaire
- Stockage de magnétosomes (permettent aux bactéries de s'orienter) -
- Stockage de donneur et d'accepteur d'électron (e.g. *Thiomargarita*)
- <http://www.jensenlab.caltech.edu/coolmovies.html>



Norbert Pfennig

# Movie magnetosomes



# Les vésicules de gaz



Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

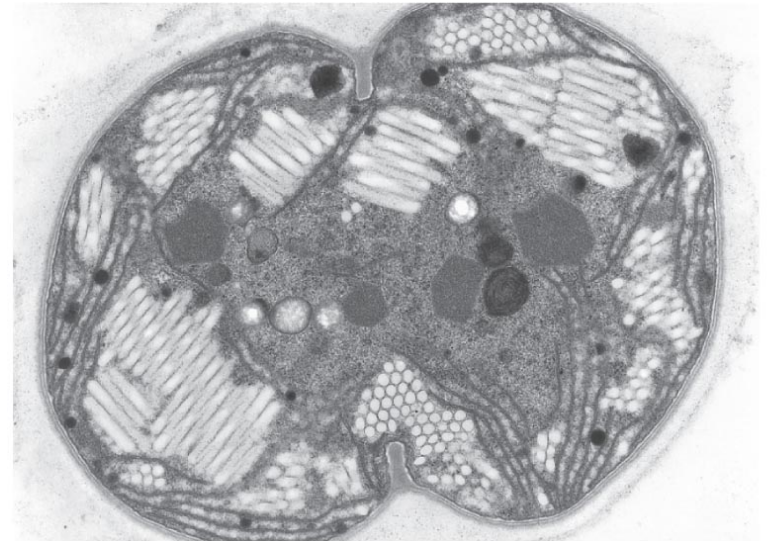
T. D. Brock

Permettent aux bactéries non motiles de se déplacer verticalement au sein de la colonne d'eau – avantage écologique – compétition pour la lumière.



A. E. Walsby

(a)



S. Pellegrini and M. Grilli Caiola

(b)

Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

# La formation de spores

- Ce sont des formes de résistances qui permettent aux bactéries de passer au travers de périodes difficiles.
- La formation d'une spore nécessite qu'une cellule végétative (vivante) soit convertie en une spore résistante aux chocs de température et à la dessiccation.
- Les endospores sont imperméables aux colorants.
- Environ 20 genres bactériens forment des spores (e.g. la bactérie à gram + *Clostridium botulinum* et certaines cyanobactéries)

Cellule végétative



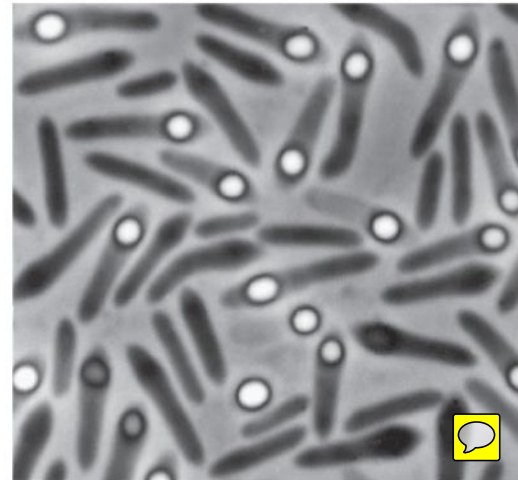
Spore en développement



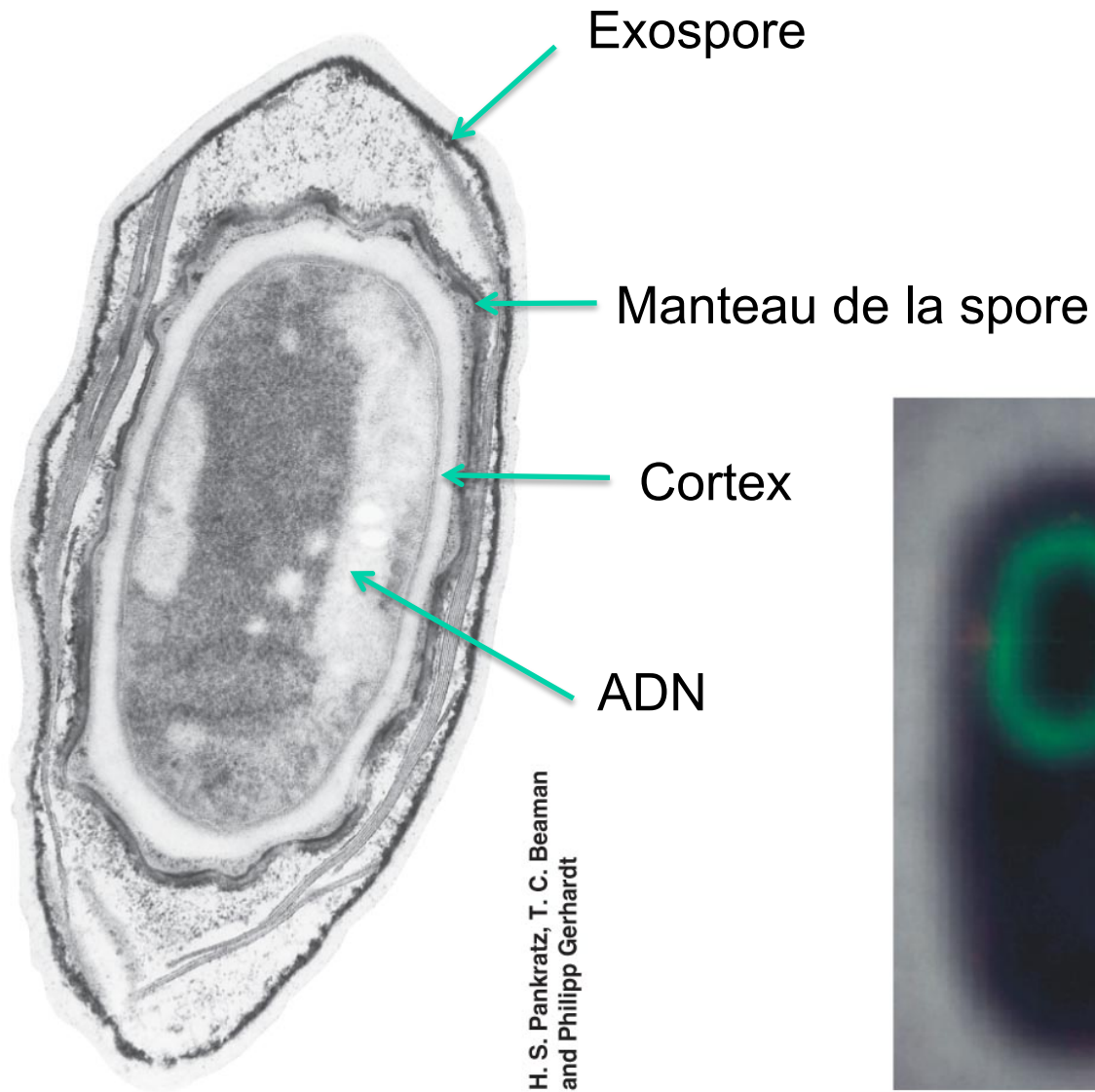
germination



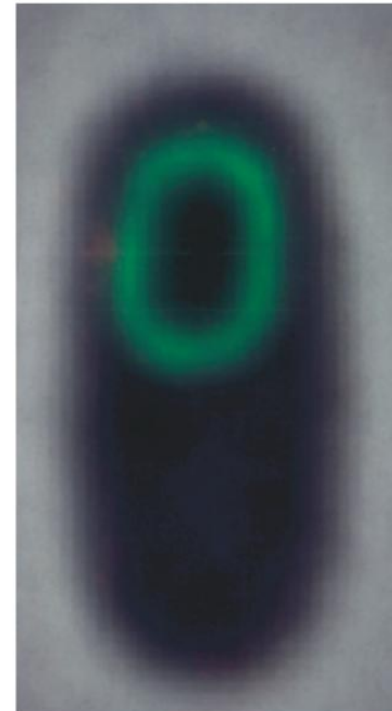
Hans Hippe



Hans Hippe



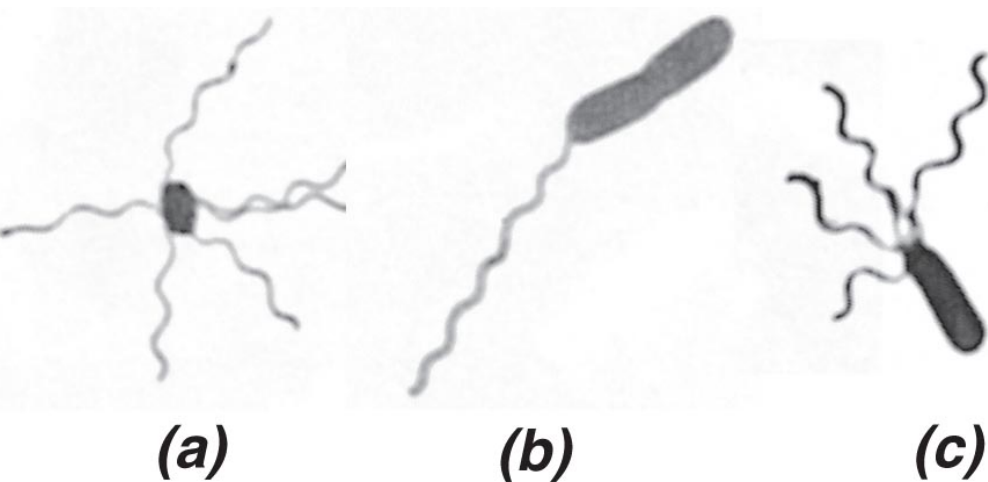
**(a)**



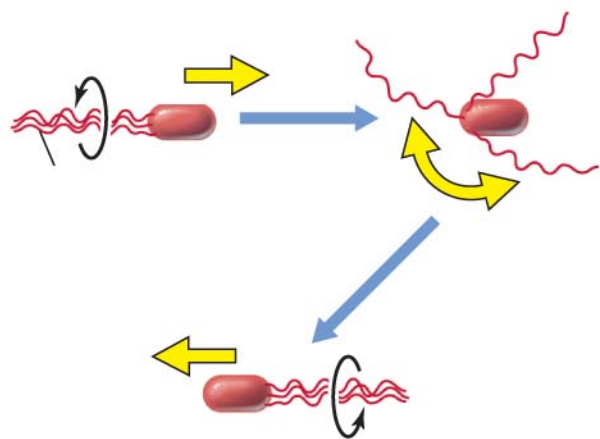
**(b)**

# La locomotion bactérienne (4 modes)

- Le **flagelle** des bactéries
  - Appendices longs et fins
  - Flagelles polaires ou peritriches
  - Petit moteur rotatif
  - Plusieurs protéines sont impliquées
- Le flagelle des archées fonctionne suivant le même principe mais est beaucoup plus fin

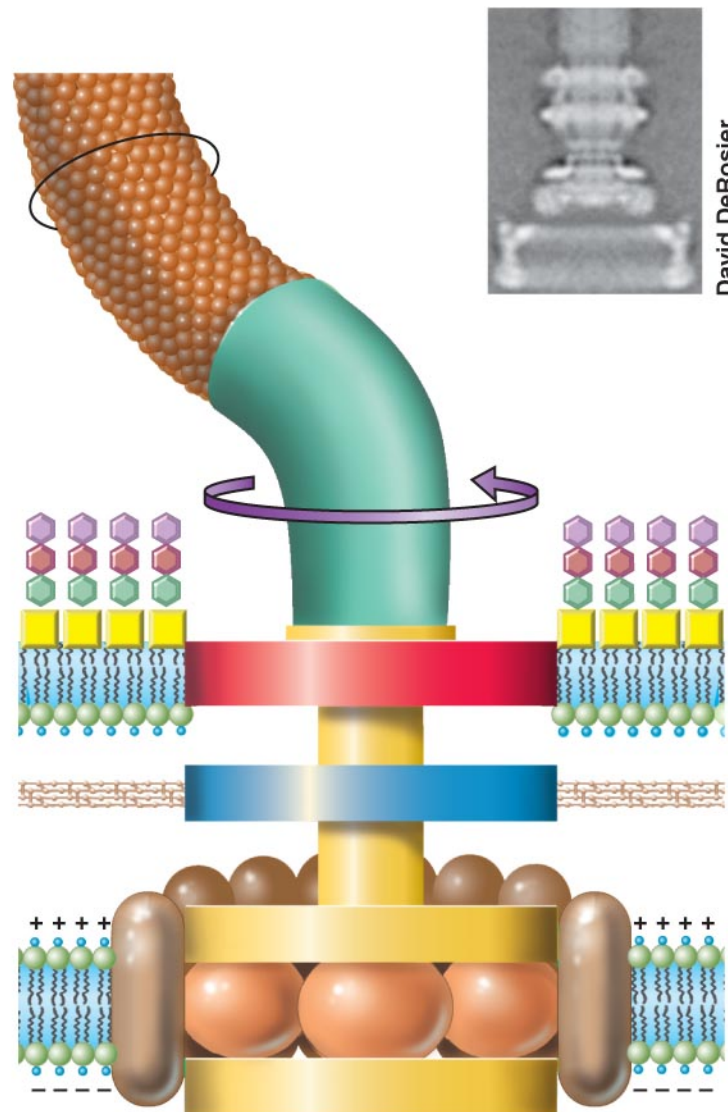


Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.



(a)

Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.



David DeRosier

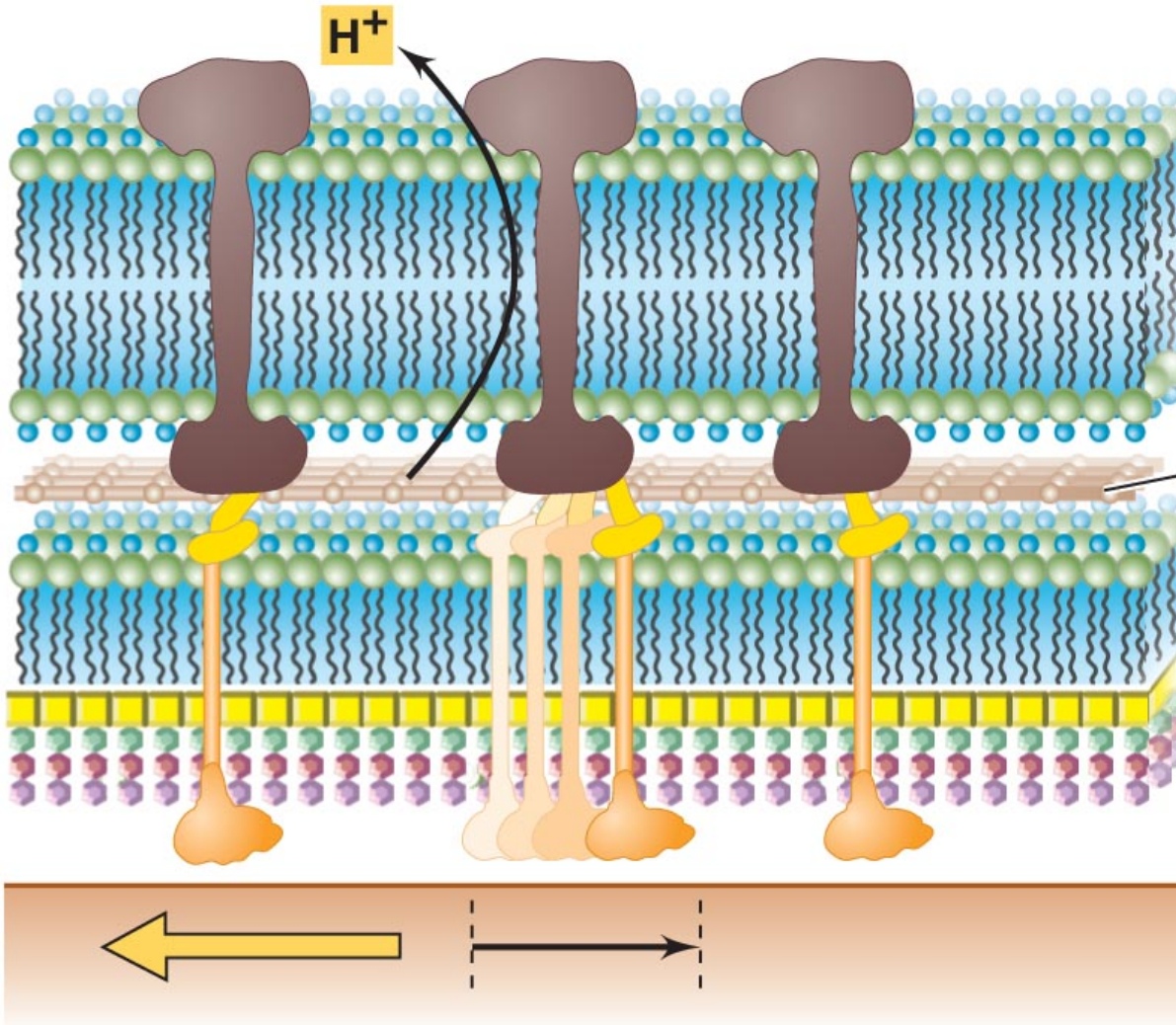
(a)

Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

# Motilité par **glissement**

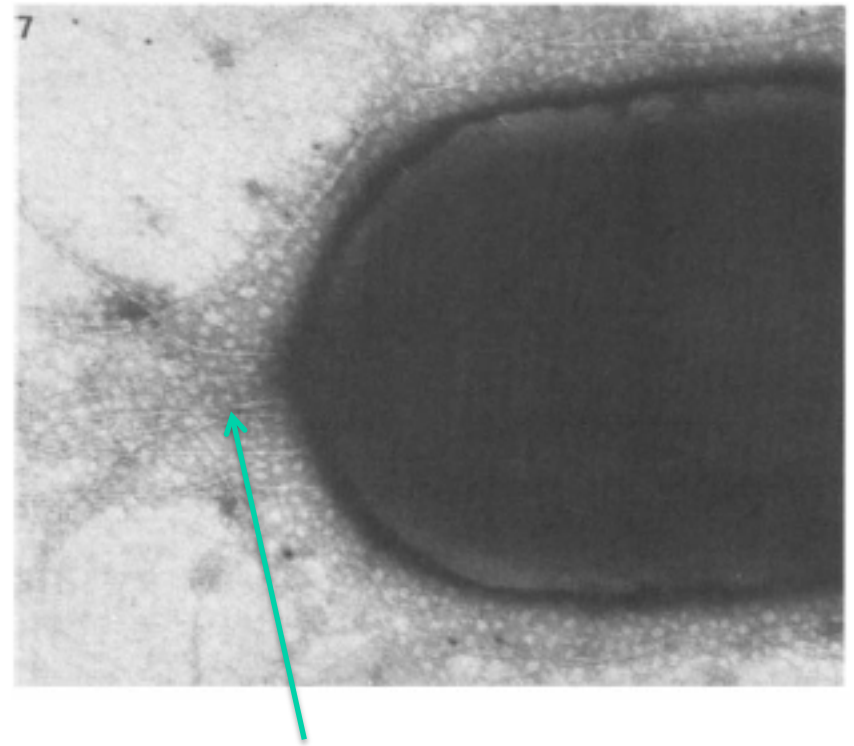


(chez les bactéries non flagellées; myxobacteria)



Motilité par **contraction**  
(chez les bactéries  
flagellées et non  
flagellées)

Utilisation les fimbrias  
pour se déplacer



Fimbrias en localisation polaire

Motilité par **flottation** en  
milieu aquatique (grâce  
aux vésicules de gaz)

# Les taxies bactériennes

- **Chimiotaxie**

- Réponse à un gradient temporel de concentration chimique

- **Phototaxie**

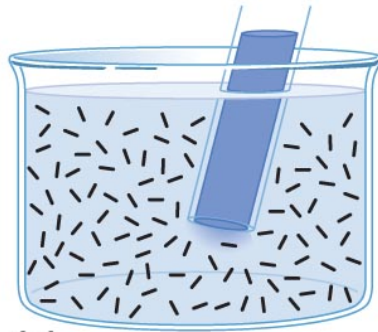
- Phototrophes peuvent se déplacer vers la lumière

- **Aérotaxie**

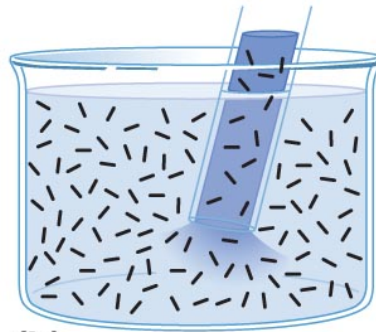
- Attraction ou repulsion par l'oxygène

- **Osmotoxie**

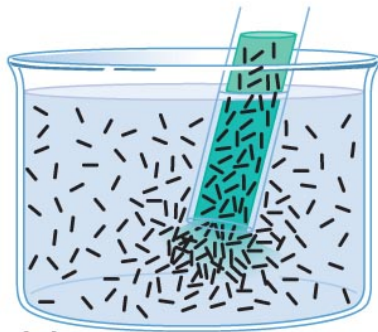
- Attraction ou répulsion par de fortes concentrations en sel.



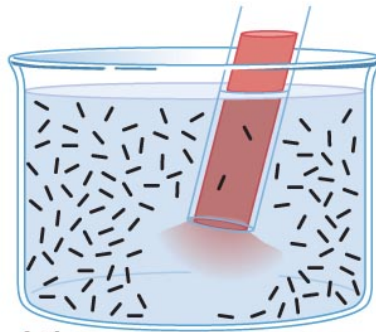
(a)



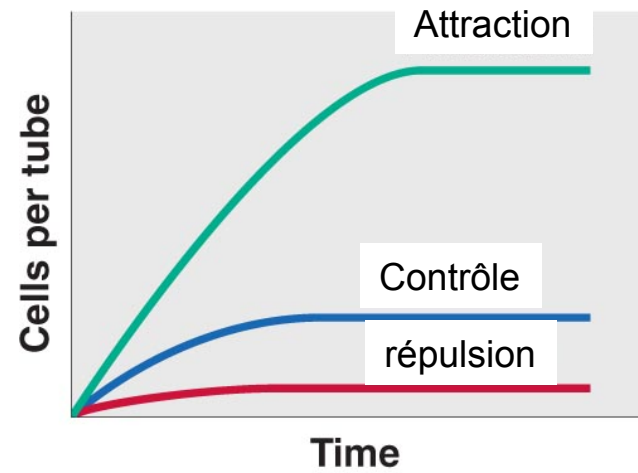
(b)



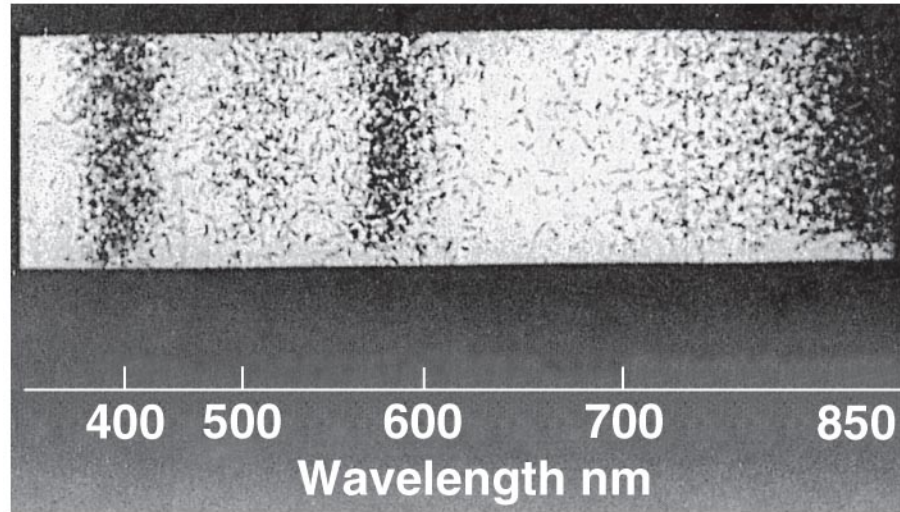
(c)



(d)

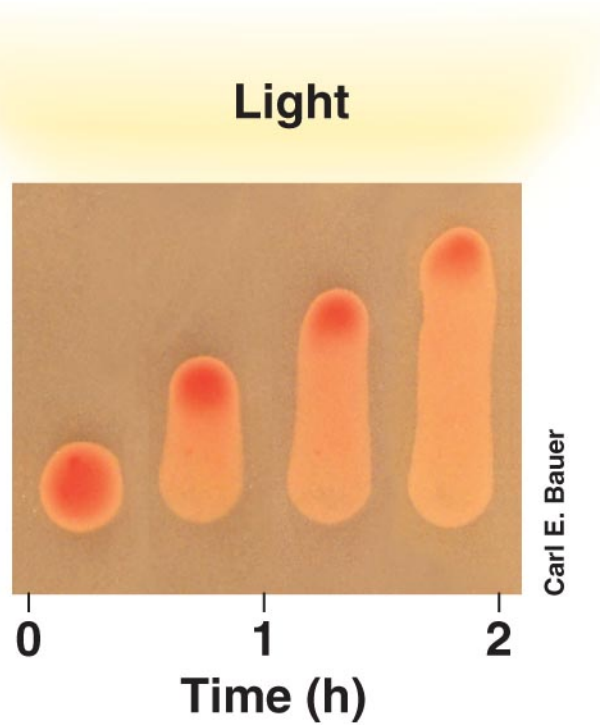


(e)



Norbert Pfennig

(a)



Carl E. Bauer

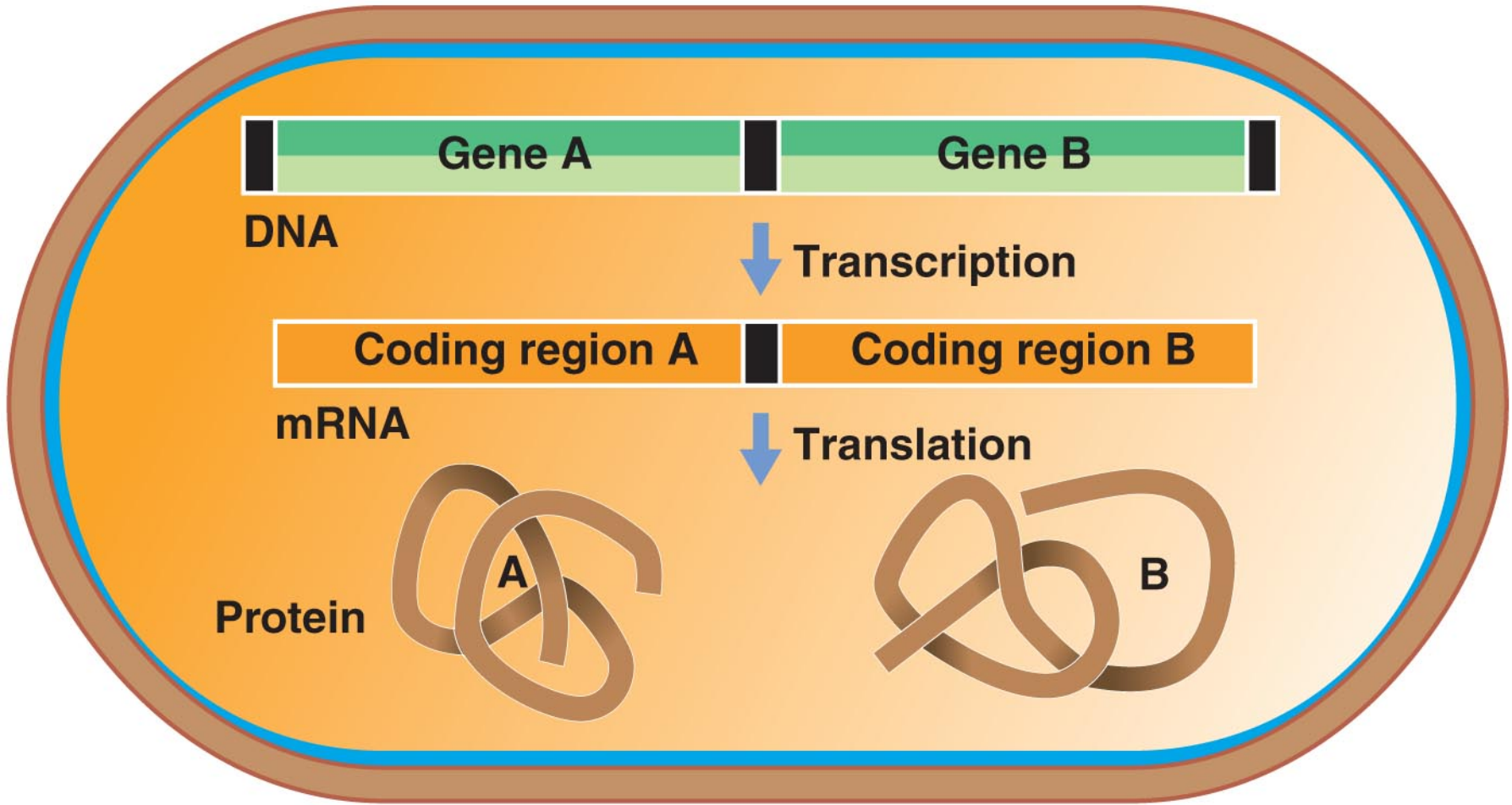
(b)

# La locomotion live

[http://www.rowland.harvard.edu/labs/bacteria/  
index\\_movies.html](http://www.rowland.harvard.edu/labs/bacteria/index_movies.html)

# L'information génétique

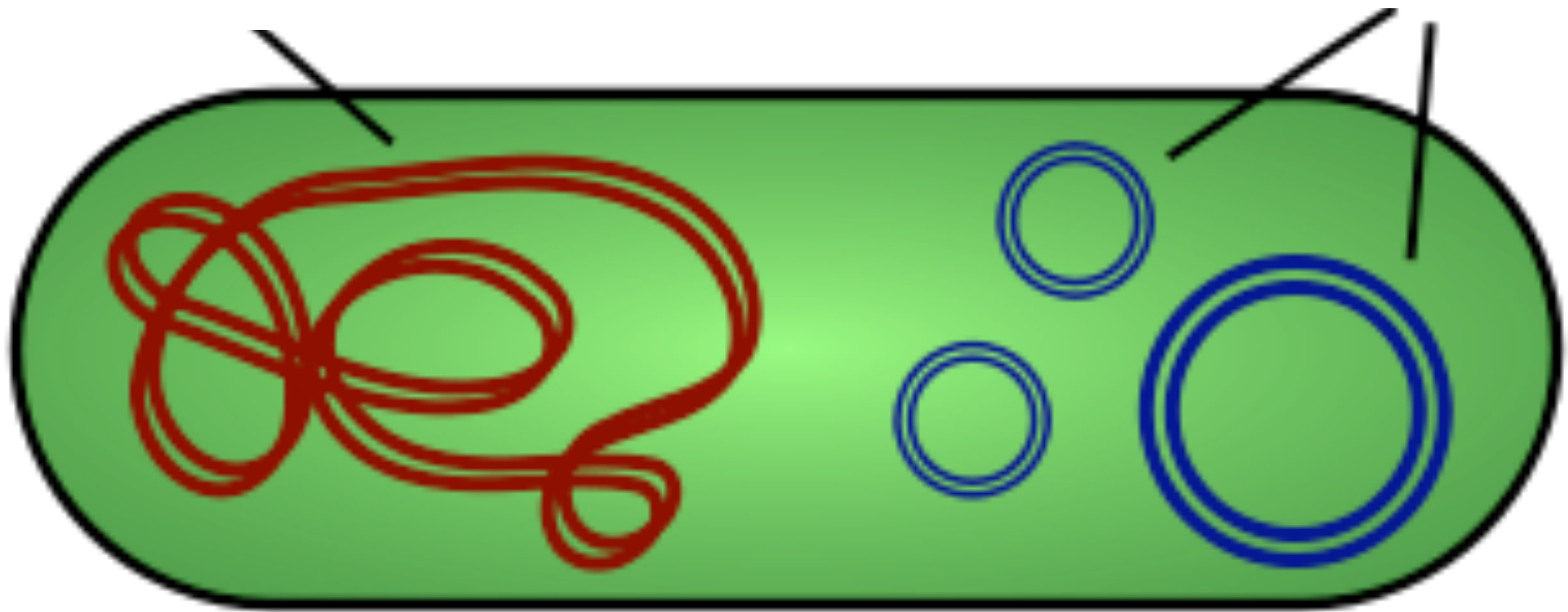






**Chromosome bactérien**

**Plasmides**



# Le transfert d'information génétique

Une des caractéristiques des bactéries est de répondre rapidement aux conditions changeantes de l'environnement.

Ceci peut être attribué à leur croissance rapide et à la flexibilité de leur matériel génétique.

Elle peuvent subir des mutations qui les rendent mieux adaptées à leur environnement

Elle peuvent incorporer de l'ADN étranger (mais codant pour des protéines utiles) par le processus de recombinaison homologue.

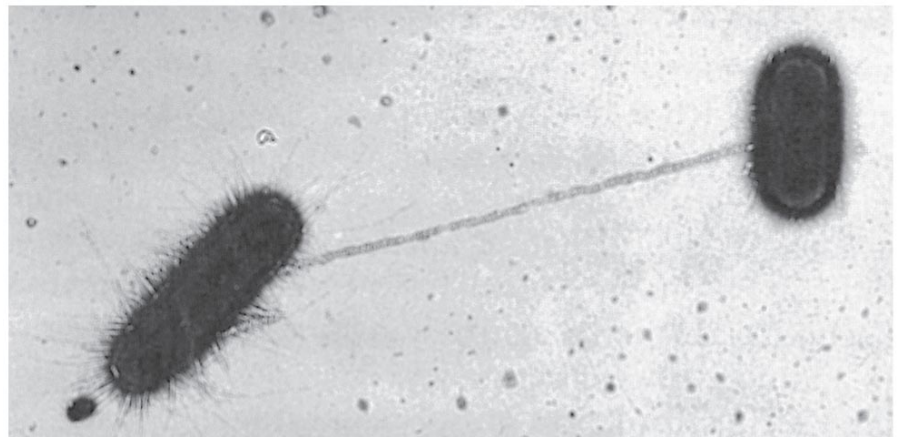
L'information génétique est échangée par transfert latéral ou horizontal de gènes.

1) Conjugaison



2) Transformation

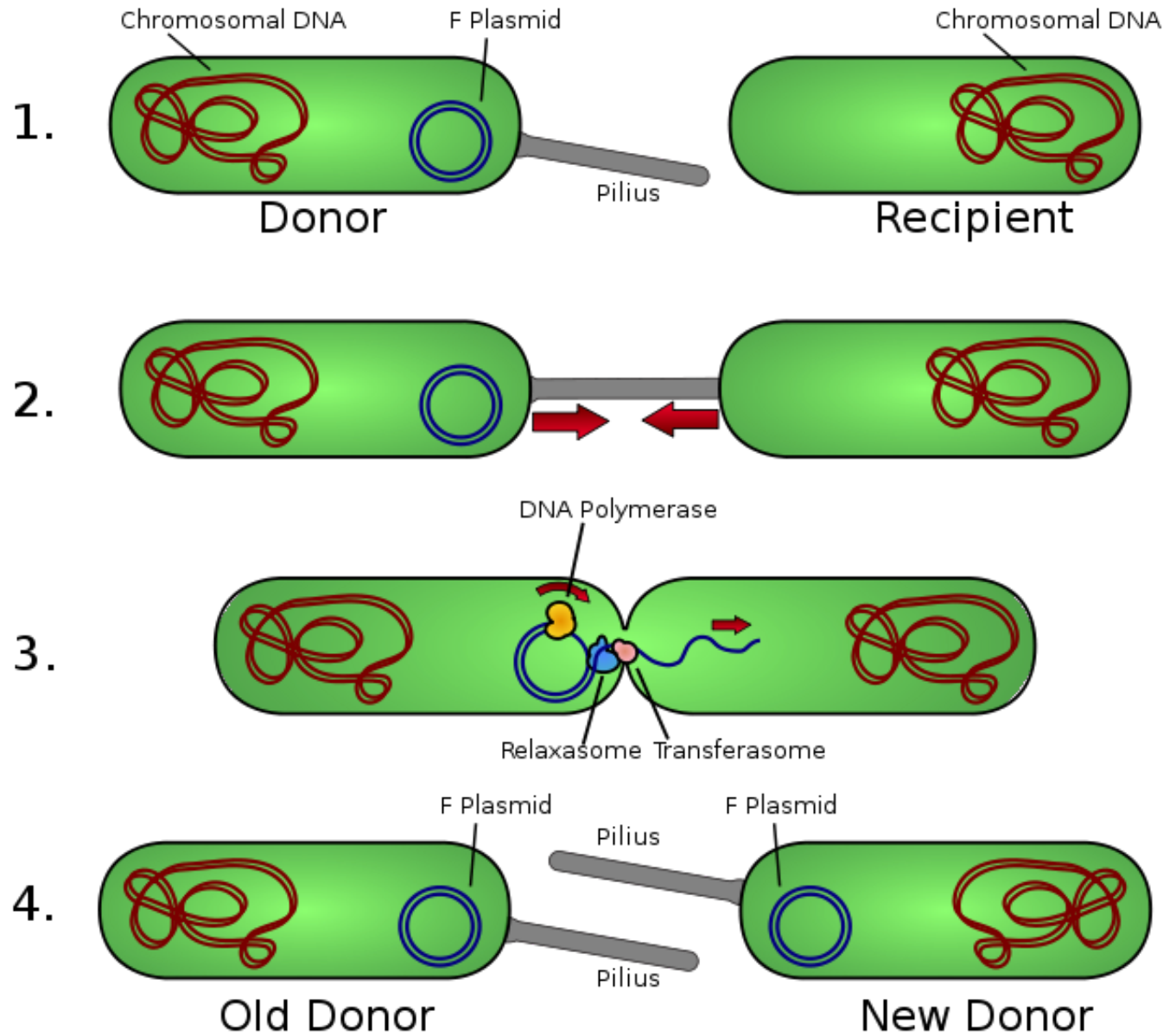
3) Transduction



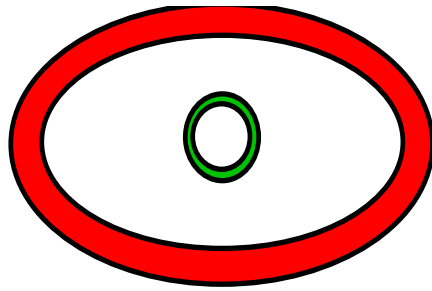
Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Charles C. Brinton, Jr.

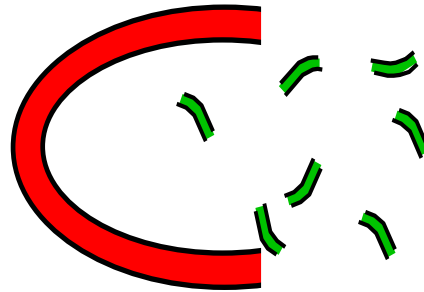
# 1. Conjugaison



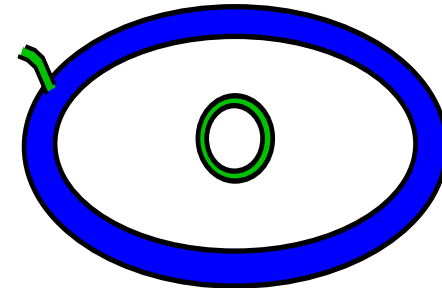
## 2. Transformation



**Donor cell**



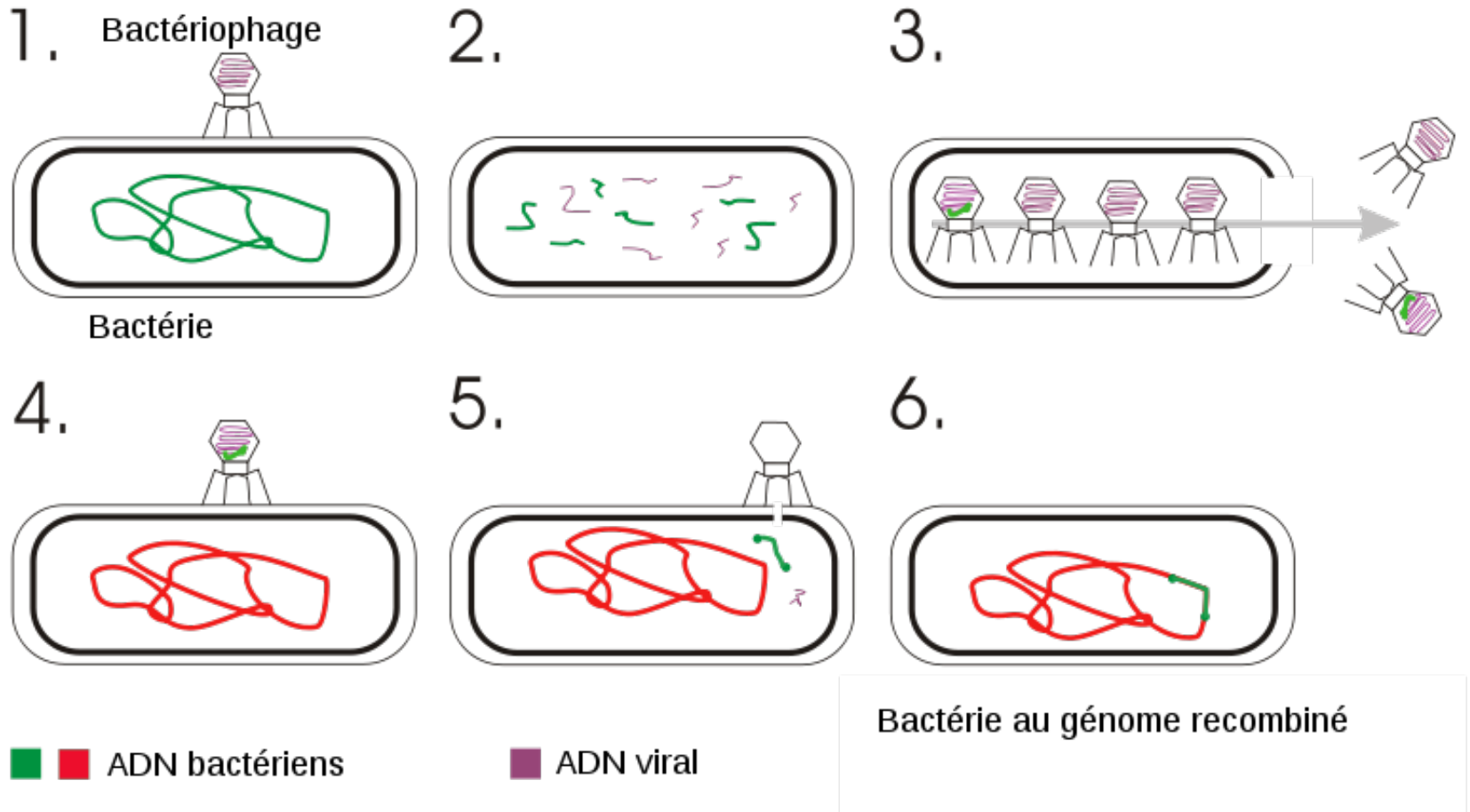
**Cell lysis  
and free DNA**



**Recipient cell**

Certaines bactéries sont naturellement compétentes et peuvent intégrer de l'ADN présent dans l'environnement.

### 3. Transduction



Destin de ADN transduit:

- Assimilation par la bactérie réceptrice
- Recircularisation (si plasmide)
- Incorporation par recombinaison homologue

Les **plasmides**: Petite molécule d'ADN extrachromosomique circulaire double brin, capable de se répliquer indépendamment, et portant des caractères génétiques non essentiels à la cellule hôte.

### Les types de plasmides

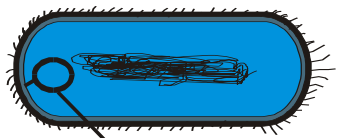
|                        |   |
|------------------------|---|
| Nombre de copie faible | 1-2 copies/cell, usually > 10 kb        |
| Nombre de copie élevé  | 10 – 100 copies/cell, usually < 10kb    |
| Conjugatif             | Transmissible entre espèces différentes |

### La fonction des plasmides

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Plasmides caché         | la plupart (fonction inconnue)                    |
| Plasmides de résistance | Protègent contre les antibiotiques, métaux lourds |
| Plasmide de dégradation | biodegradation de composés organiques             |

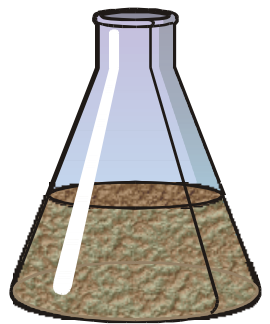


# *Alcaligenes eutrophus* JMP134



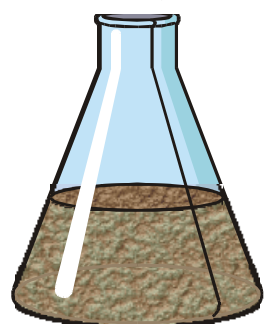
Gènes présents sur un plasmide de 80Kb codant pour la dégradation du 2,4-D

## Sol + 2,4-D



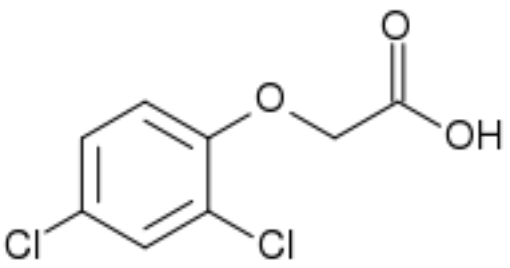
Dégradation lente et incomplète du 2,4-D durant 4 semaines

## Sol + 2,4-D + JMP134



Dégradation complète du 2,4-D en 4 semaines. La souche JMP134 n'a plus été retrouvée après une semaine.

De quelle manière s'est produit le transfert d'info?



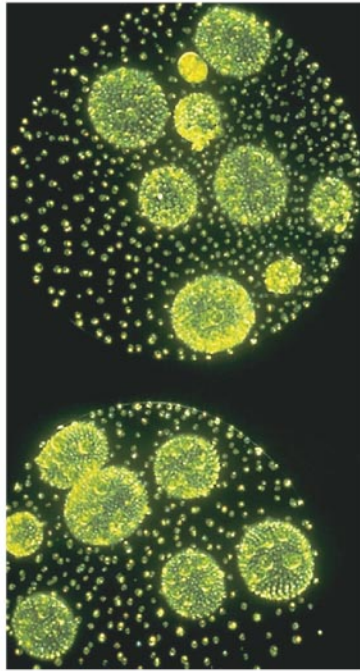
Herbicides

# 2.2. Les microbes eucaryotes

Collectivement connus sous le nom de  
protistes

Groupes majeurs : 

- Algues
- Mycètes
- Protozoaires



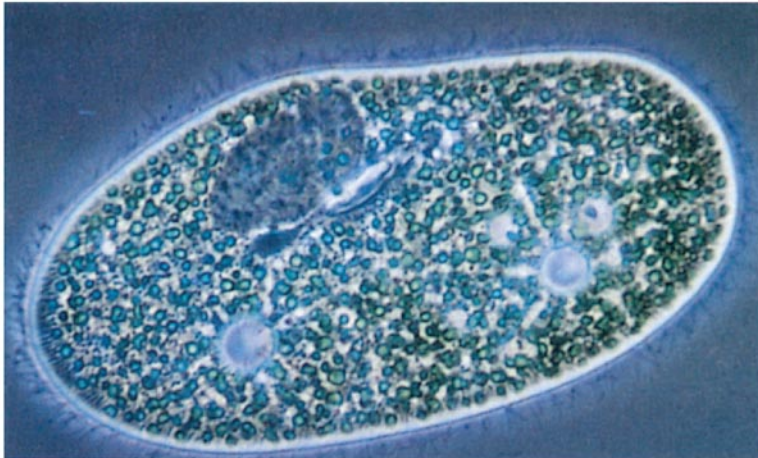
Dennis Kunkel

(a)



Barry Katz, Mycosearch

(b)



Sydney Tamm

(c)

# Les algues

Dans l'eau, l'abondance est de  $10^3$ - $10^4$  cellules/mL;

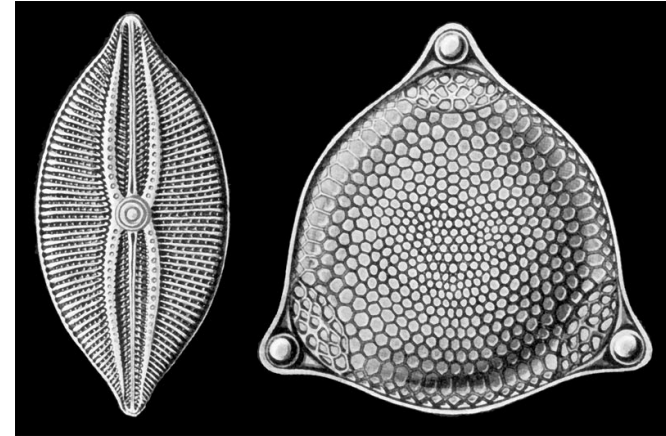
Vivent en suspension comme plancton ou attachées aux surfaces (roches, bois, plantes supérieures, tortues...) comme périphyton ou en symbiose avec protozoaires, invertébrés;

La diversité est très grande et plusieurs n'ont pas été identifiées

# Les algues (suite)

## Diatomées :

- Des milliers d'espèces existent
- Caractérisées par une paroi cellulaire de Si qui se préserve bien dans les sédiments et qui peut être utilisée pour reconstruire les conditions environnementales du passé;
- Quelques espèces sont toxiques.



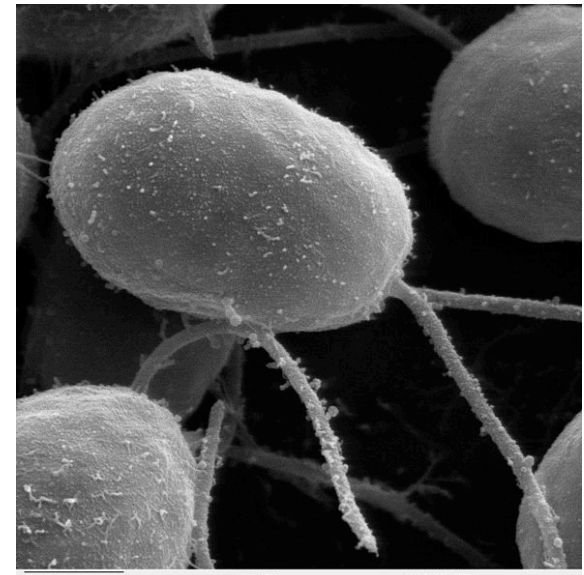
*Navicula*

*Triceratium*

## Algues vertes :

Source préférée de nourriture des invertébrés, abondantes dans les cours d'eau eutrophes, attachées aux roches;

Aucune espèce toxique mais certaines impliquées dans les problèmes de qualité d'eau potable (mauvais goût, odeur).



*Chlamydomonas*

# Les algues (suite)

## Chrysophytes:

- Algues jaunes et brunes typiques des lacs oligotrophes ou colorés;
- Quelques espèces toxiques marines (“marées brunes”), en eau douce responsables des problèmes d’odeur et de goût de l’eau potable.
- Heterotrophes facultatives



*Dinobryon*

## Cryptophytes

- Cellules avec flagelles, pigments accessoires similaires aux algues rouges et cyanobactéries;
- Abondantes dans les lacs et les cours d’eau.

## Dinoflagellés

- Cellules avec flagelles
- Plusieurs espèces toxiques, marées rouges en zones côtière sur tous les continents.

## Marées rouge



# Considérations physiologiques et écologiques

**Producteurs primaires** – responsable de la production d'oxygène et de la fixation du carbone inorganique. = rôle des plantes dans les écosystèmes terrestres.

Production de métabolites secondaires e.g. dinoflagellés  
*Gonyaulax* produit la toxine saxitoxin qui paralyse les muscles des vertébrés

Gestion du cycle des nutriments

# Les Mycètes

Les bactéries sont les plus abondantes en nombre, mais les mycètes ont la plus grande biomasse

Cellule eucaryote; majoritairement multicellulaire mais certains sont unicellulaires;

- moisissures
- champignons
- levures

Importants, particulièrement dans les milieux terrestres;

En compétition avec les bactéries pour la MO. Ils sont hétérotrophes

| <b>Mycète</b>                       | <b>Environnement</b>     | <b>Rôle</b>  |
|-------------------------------------|--------------------------|--|
| <b>Moisissures</b>                  |                          |  |
| <i>Rhizopus spp.</i>                | Nourriture avariée, sols | Dégradation de la MO et peut causer des maladies chez les plantes (e.g. riz)     |
| <i>Penicillium spp.</i>             | Nourriture avariée, sols | Dégradation de la MO et production d'antibiotiques                               |
| <b>Champignons (Basidiomycètes)</b> |                          |  |
| <i>Polyporus squamosus</i>          | Bois mort, les plantes   | Décomposition du bois  |
| <i>Cryptococcus neoformans</i>      | Sols, atmosphère         | Dégradation du bois, cause de la cryptococcose                                   |
| <b>Levures (Ascomycètes)</b>        |                          |  |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i>     | Fruits, sols, eau        | Fermentation, dégradation  |
| <i>Candida albicans</i>             | Microbiome animale       | Cause de Candidose (infection aux levures de la peau ou des membranes muqueuses) |



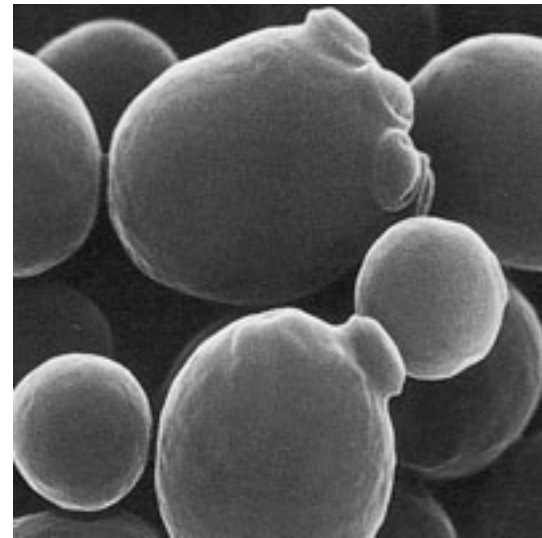
*Rhizopus*



*Penicillium*



*Polyporus*



*Saccharomyces cerevisiae*

# Les lichens

Symbiose entre un ascomycète et une algue ou une cyanobactérie

Importants car ils contribuent à l'érosion des roches au travers de la sécrétion d'acides organiques. La symbiose mycète-algue débute lorsque l'haustorium pénètre la cellule algale.

L'algue fournit oxygène et carbone organique et le mycète fournit l'eau, les minéraux et protection



# Considérations écologiques

Les mycètes sont chimiohétérotrophes – métabolisent des sucres simples. La compétition est grande pour ces sucres simples et les mycètes utilisent des **exoenzymes** qui contribuent à dégrader la matière organique récalcitrante.

Ils sont **saprophytes**, ils contribuent à la dégradation et au recyclage des plantes mortes (lignine et cellulose), des insectes (chitine), des cadavres d'animaux. Un mycète peut s'étendre sur de très grandes distances.

Ils peuvent dégrader de nombreux contaminants (e.g. une levure *Aureobasidium pullulans* dégrade les plastiques contenant du PVC (polychlorure de vinyle). *Penicillium* peut dégrader des hydrocarbures aromatiques présents dans les pétroles et les herbicides.

# Considérations écologiques (suite)

Un groupe important de mycètes forment des **mycorhizes**. Celles-ci sont des relations symbiotiques. Elles permettent d'augmenter la capacité d'absorption des plantes et préviennent la dessiccation de la plante.

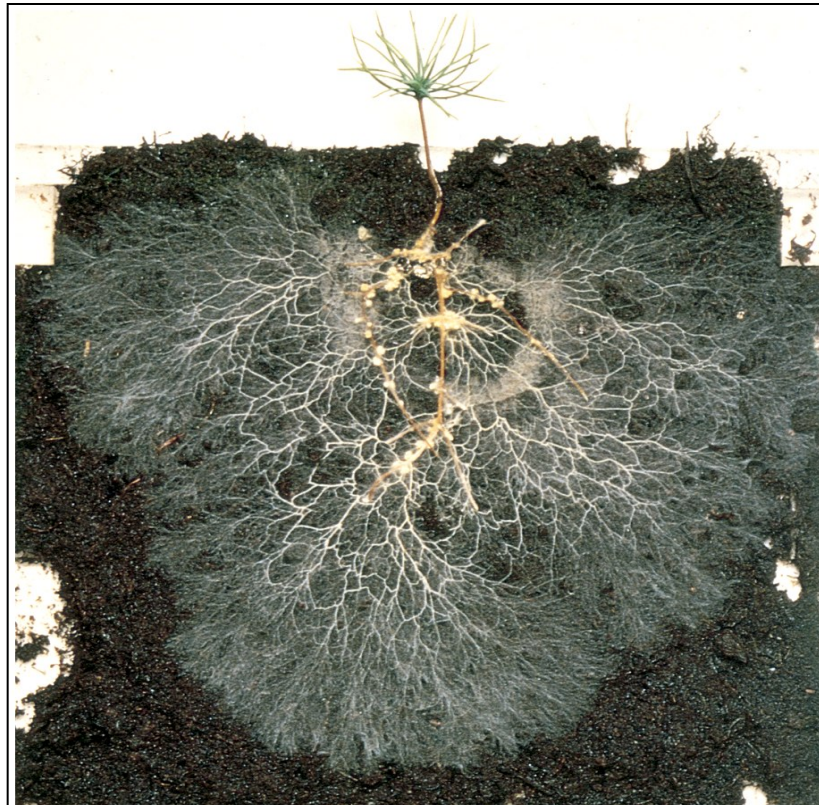


Figure 14-41  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
© 2005 W. H. Freeman and Company

# Les protozoaires

- Répandus dans l'eau ( $10 - 10^4$  /mL) et les sols;
- Affinité taxonomique avec les divisions d'algues (chrysophytes, cryptophytes sont re-classifiées dans le règne Protista);
- Forment la chaîne alimentaire microbienne ou "boucle" microbienne et sont bactéricivores et algivores;
- Quelques organismes pathogènes importants pour l'Homme transmis par l'eau: *Giardia*, *Cryptosporidium*. Certains sont résistants au chlore.



*Cryptosporidium*

# Considérations physiologiques et écologiques

Chimiohétérotrophes – respiration aérobie ou fermentation.

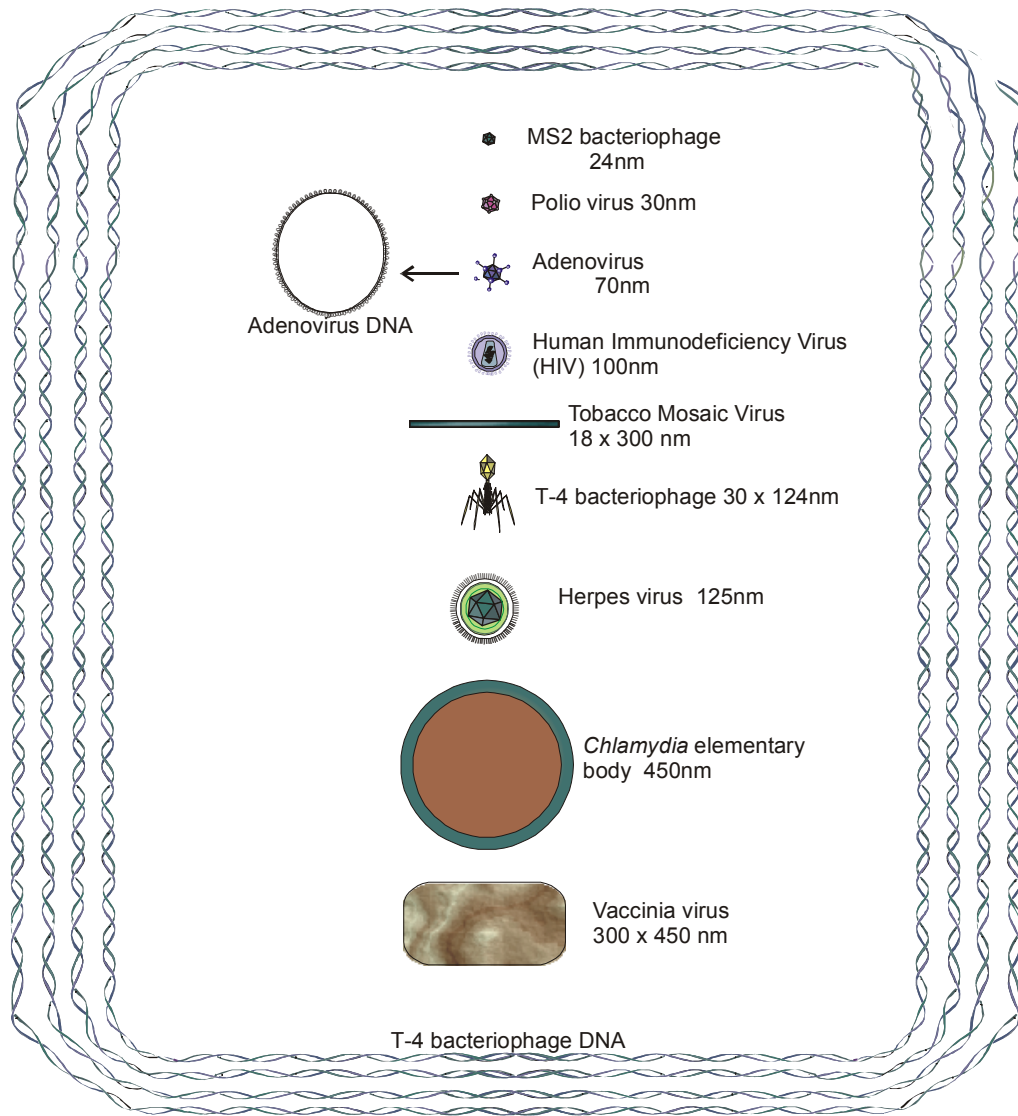
Certains protozoaires sont anaérobies ou microaerophiles; ils utilisent des hydrogénosomes (proton = accepteur terminal d'électrons); production d'hydrogène.

Contribuent à la dégradation de la matière organique (cellulose des plantes et le peptidoglycane des bactéries) en produisant des enzymes extracellulaires

## 2.3. Les virus



- Acide nucléique emprisonné dans une enveloppe protéinée appelée capside.
- Ils sont de tailles et de morphologies diverses.
- Acide nucléique est monocaténaire ou bicaténaire.
- Les virus sont des parasites obligatoires et requièrent la machinerie métabolique de l'hôte.



*E. coli* bacterium 0.5-2um



- Les 6 phases du développement d'un virus sont:

1. Adsorption

2. Pénétration

3. Décapsidation

4. Réplication (génomme et protéines)

5. Maturation (assemblage et encapsidation)

6. Libération

# La nature infectieuse de virus

Les virus requièrent, l'eau ou l'air comme agents de transport.

Trouve leur cible en utilisant des récepteurs à la surface de leur capsid.

Insérer de manière stable dans le chromosome des bactéries, il peut exister de l'ADN viral = **prophage**.

Ce phage reste en phase de latence durant de nombreuses générations, étant répliqué en même temps que l'ADN bactérien (**lysogénie**) – certaines conditions environnementales (notamment de stress) peuvent démarrer le cycle lytique.

# Écologie des virus bactériophages

- Les phages lytiques sont des prédateurs de bactéries. Les infections lysogéniques correspondent plutôt à des relations de parasitisme ou mutualisme.

| Environnement            | Nombre de phage (/g ou /ml)         | Ratio virus / bactéries |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Marin (fonds océaniques) | $10^4 - 10^5$                       | 5 - 10                  |
| Marin (eau de surface)   | $10^5 - 10^6$                       | 10                      |
| Environnement côtiers    | $10^6 - 10^7$                       |                         |
| Sédiments marins         | $0.03 - 11.71 \times 10^9$          |                         |
| Sédiments eau douce      | $0.65 - 2.90 \times 10^9$           | 20                      |
| Glace de mer             | $9 \times 10^6 - 1.3 \times 10^8$   |                         |
| Sol forestier            | $1.31 - 4.17 \times 10^9$           | 72                      |
| Sol agricole             | $8.7 \times 10^8 - 1.1 \times 10^9$ | < 1                     |

# Rôles des virus dans l'environnement

- Contrôle des populations de bactéries
- Contrôle de certains organismes pathogènes
- Contrôle des cyanobactéries marines (= cyanophages)
- Interaction avec les chaînes alimentaires
- Interaction avec les cycles biogéochimiques
- Augmentation de la diversité microbienne en favorisant les transferts horizontaux de gènes.