

RELATIONS BACTERIES-HÔTES

Florence JUDE (MCF)

[f.jude @epoc.u-bordeaux1.fr](mailto:f.jude@epoc.u-bordeaux1.fr)

05.56.22.39.11

UMR EPOC 5805 – Station Marine Arcachon

INTRODUCTION

Classification des bactéries en fonction de leur relation avec l'hôte

➤ **Saprophytisme** :

- matières en décomposition (environnement)
- présence éventuelle chez l'homme : transitoire

➤ **Commensalisme *** :

- produits du métabolisme cellulaire (hôte)
- présence constante, permanente (ex : homme)

➤ **Mutualisme *** (« symbiose ») :

- échanges de composés nutritifs (ou autres) : bénéfice réciproque
- coexistence obligatoire car survie impossible séparément

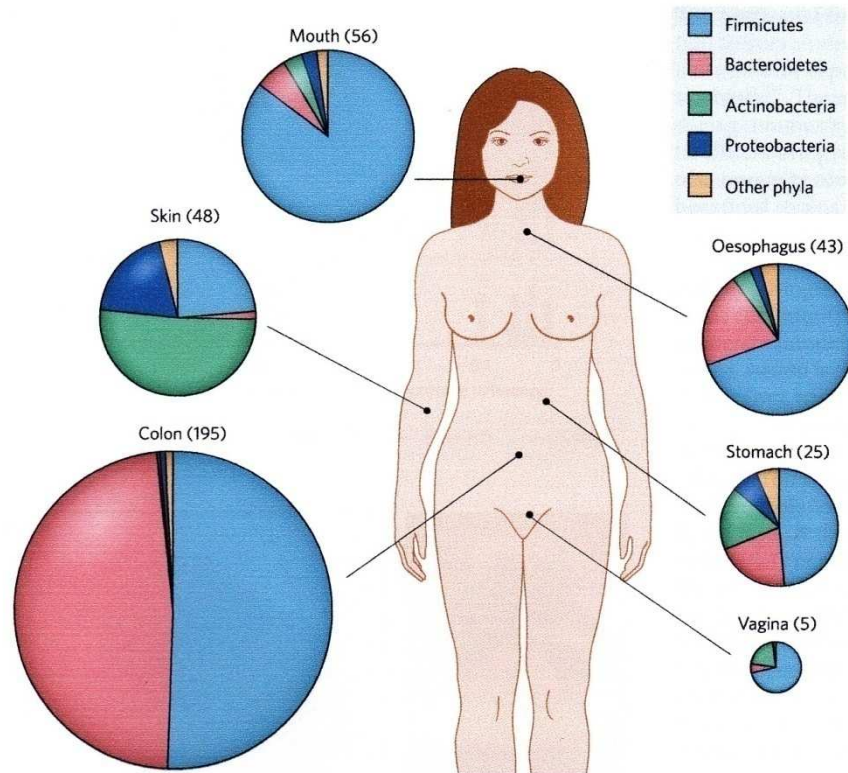
➤ **Parasitisme *** :

- vie aux dépens de l'hôte et généralement pathogènes
- présence occasionnelle

* symbiose (« vie ensemble »)

COMMENSALISME

100 000 milliards de cellules humaines / 100 000 milliards de bactéries (TD) + 1 000 milliards (peau) + 10 milliards (bouche)



Firmicutes : *Clostridium*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*
Bacteroidetes : *Bacteroides*
Actinobacteria : *Corynebacterium*, *Propionobacterium*
Proteobacteria : *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*,
Proteus, *Pseudomonas*, *Neisseria*, *Escherichia*

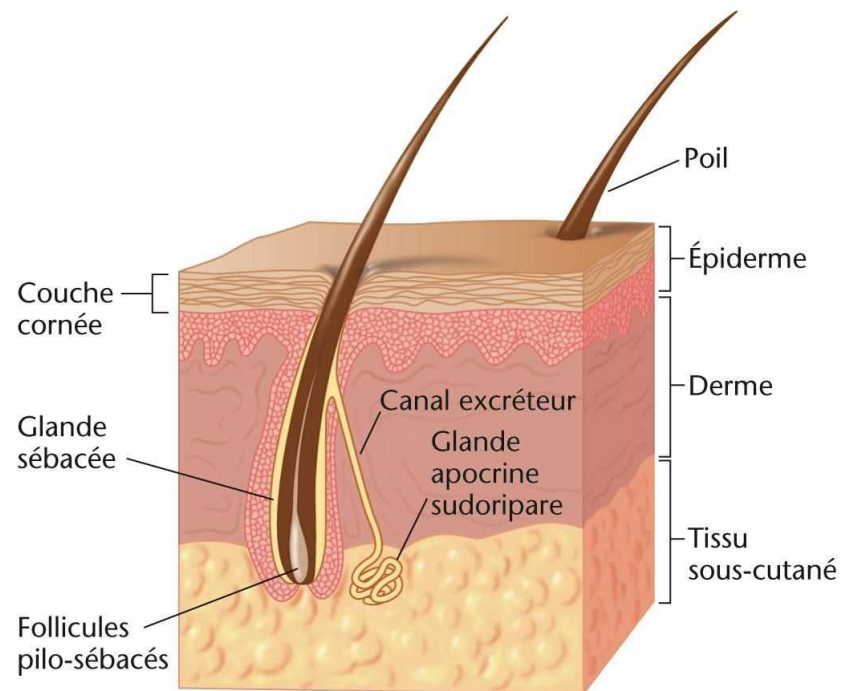
TABLEAU 21.1

PRINCIPALES BACTÉRIES PRÉSENTES
DANS LA FLORE NORMALE
CHEZ L'HOMME

Site anatomique	Genre ^a
Peau	<i>Acinetobacter</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Malassezia</i> (f), <i>Micrococcus</i> , <i>Pityrosporum</i> (f), <i>Propionibacterium</i> , <i>Proteus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Staphylococcus</i>
Bouche	<i>Streptococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Fusobacterium</i> , <i>Veillonella</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Neisseria</i> , <i>Actinomyces</i> , <i>Geotrichum</i> (f), <i>Candida</i> (f), <i>Capnocytophaga</i> , <i>Eikenella</i> , <i>Prevotella</i> , spirochètes (plusieurs genres)
Tractus respiratoire	<i>Streptococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Neisseria</i> , <i>Haemophilus</i>
Tractus gastro-intestinal	<i>Lactobacillus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Bacteroides</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>Eubacterium</i> , <i>Peptococcus</i> , <i>Peptostreptococcus</i> , <i>Ruminococcus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Proteus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Staphylococcus</i>
Tractus urogénital	<i>Escherichia</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Proteus</i> , <i>Neisseria</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Candida</i> (f), <i>Prevotella</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Peptostreptococcus</i> , <i>Ureaplasma</i> , <i>Mycoplasma</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Torulopsis</i> (f)

^a Cette liste n'est pas exhaustive. Toutes ces bactéries ne se retrouvent pas chez chaque individu. Pour plusieurs d'entre elles, la localisation varie. Certaines bactéries apparaissent plus fréquemment selon l'âge (spécifiquement pour l'adulte ou l'enfant) et selon le sexe. La plupart de ces germes sont des pathogènes opportunistes apparaissant dans certaines conditions. f = *fungi* (champignon).

FLORE COMMENSALE de la PEAU



© Pearson Education France

bactéries adaptées aux conditions de

déshydratation = souvent bG+

Corynebactéries et staphylocoques

- glandes apocrines sudoripares

- glandes sébacées (urée, sels, aa, acide

lactique, lipides, pH = 4-6)

FLORE COMMENSALE de la CAVITE BUCCALE

Salive : - nombreux nutriments en faible quantité
- enzymes à activité antimicrobienne :

lysozyme (paroi)

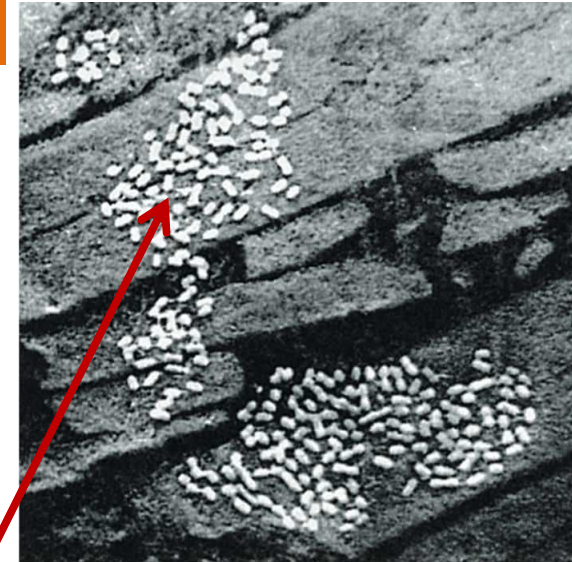
lactoperoxydase (oxydation)

=> Croissance microbienne locale (dents, gencives)
grâce aux débris alimentaires et à la desquamation
cellulaire buccale = glycoprotéines

microcolonies de streptocoques => plaque dentaire

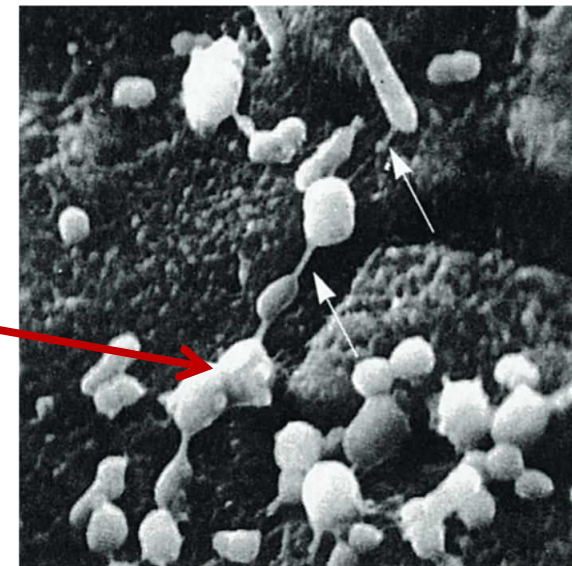
Fusobacterium, spirochètes, bG+, cG- avec fines
connections fibreuses => biofilm

=> Production de fortes [acides organiques] =>
décalcification de l'émail et dvpt **carie** dentaire
(*Streptococcus sobrinus* et *S. mutans*)



T. Lie

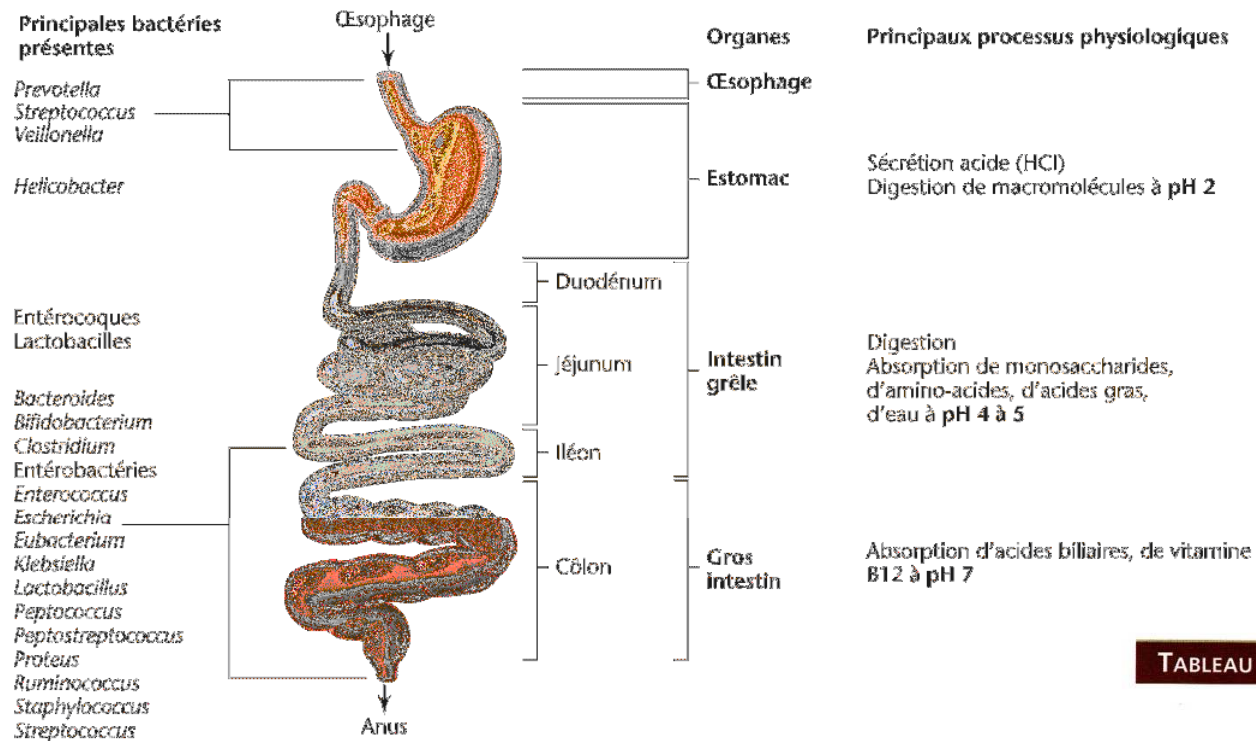
(a)



T. Lie

(b)

FLORE COMMENSALE du TRACTUS GASTRO-INTESTINAL



Iléon : 10^5 à 10^7 b./g de matières digestives
Colon : 10^{10} à 10^{12} b./g de matières digestives

TABEAU 21.2 APPORTS MÉTABOLIQUE ET BIOCHIMIQUE DES BACTÉRIES INTESTINALES

Synthèse de vitamine	Produit : thiamine, riboflavine, pyridoxine, vit. B12, vit. K
Production de gaz	Produit : CO_2 , CH_4 , H_2
Production d'odeur	Produit : H_2S , NH_3 , amines, indole, scatole (β -méthyl indole), acide butyrique
Production d'acide organique	Produit : acides acétique, propionique, butyrique
Réactions de glycosidase	Enzyme : β -glucuronidase, β -galactosidase, β -glucosidase, α -glucosidase, α -galactosidase
Métabolisme stéroïdien (acides biliaires)	Procédé : estérification, déhydroxylation, oxydation, réduction, inversion

MUTUALISME

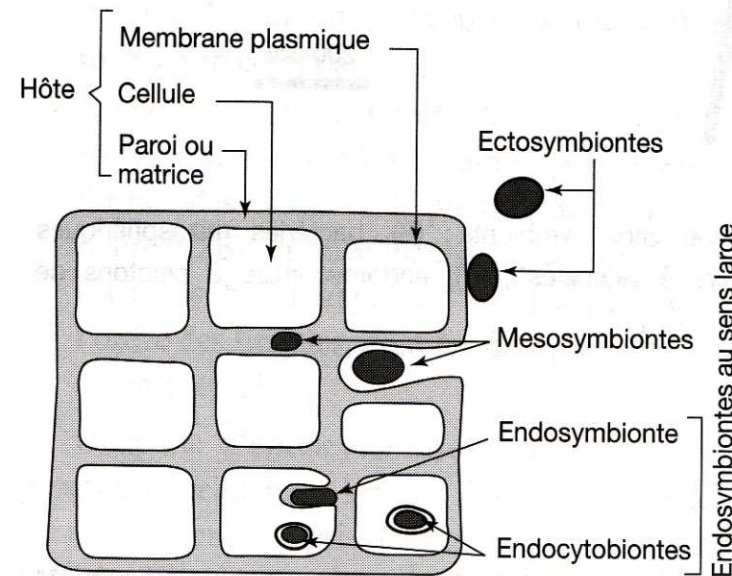


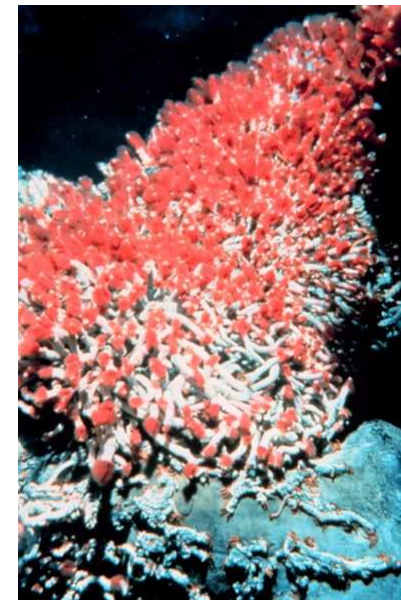
FIGURE 2.1. LES DIFFÉRENTS CONTACTS ENTRE SYMBIOTES.

1/ Échanges trophiques entre partenaires :

- composés glucidiques (organiques) contre substances minérales (symbioses racinaires / ver tubicole *Riftia pachyptila* / palourde *Codakia orbicularis*)
- échanges de C entre hétérotrophes (rumen / insectes)

EX de MUTUALISME : *Riftia pachyptila*

- *Riftia* = dépourvu de système digestif, mais organe interne appelé trophosome qui héberge des symbiotes bactériens.
- bactéries sulfo-oxydantes chimiolithoautotrophes qui transforment les molécules H₂S, CO₂, et O₂ en sucres que le ver peut assimiler.
- CO₂, O₂ et H₂S nécessaires à la chimiosynthèse des bactéries puisés par le ver au niveau des filaments branchiaux => transport vers les bactéries grâce à une hémoglobine particulière.
- H₂S étant très toxique, son transport sous une forme stable protège à la fois le ver et les bactéries.



cheminées hydrothermales

EX de MUTUALISME : *Riftia pachyptila* / *Codakia orbicularis*

Riftia pachyptila : ver tubicole / *Codakia orbicularis* : palourde (bivalve)

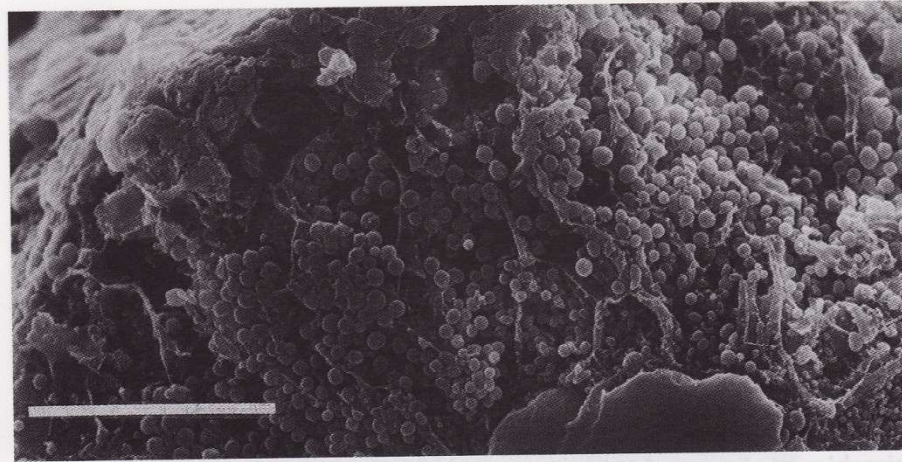


Figure 25.16 Tissue interne des vers tubicoles

Fragment de trophosome provenant de l'espèce *Riftia pachyptila* composé de cellules procaryotes coccoïdes irriguées par les vaisseaux sanguins du tissu de l'animal. Avec l'aimable autorisation de H. W. Jannasch.

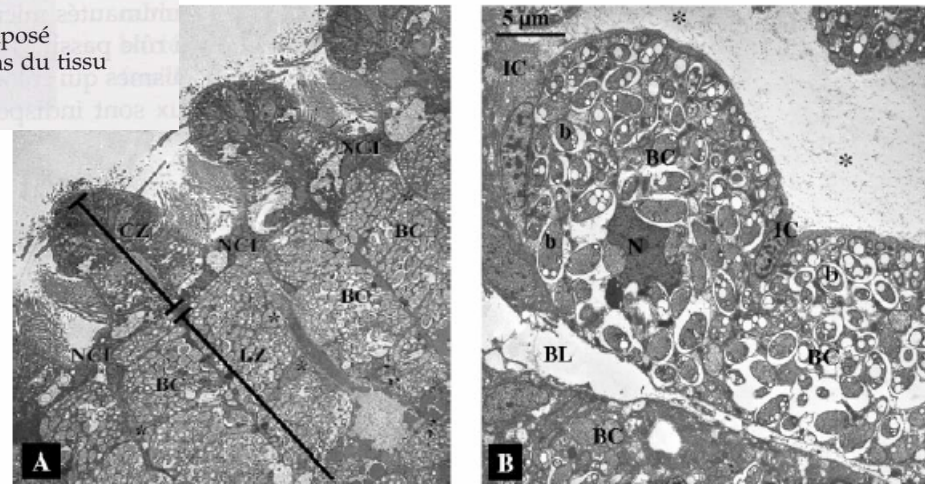


FIG. 1. TEM of ultrathin sections of *C. orbicularis* gill and bacteriocyte. (A) Low magnification of gill filaments from adult individuals dissected immediately upon recovery. Each gill filament was characterized by a ciliated zone (CZ) separated from the lateral zone (LZ) by several nonciliated intermediary cells (NCI). Bacteriocytes (BC) filled with chemoautotrophic symbionts were part of the lateral zone with numerous intercalary cells characterized by their nucleus in an apical position (asterisks). (B) Bacteriocytes (BC), which were the most prevalent cells in the gill filament, had a basal nucleus (N) and a rounded apical pole developing broad contact with pallial seawater (asterisks). The cytoplasm was crowded by envacuolated bacteria (b), which were usually individually enclosed inside bacteriocyte vacuoles. IC, intercalary cells; BL, blood lacuna. Sulfur globules appeared as electron-lucent bodies within the symbiont cells.

EX de MUTUALISME : RUMEN

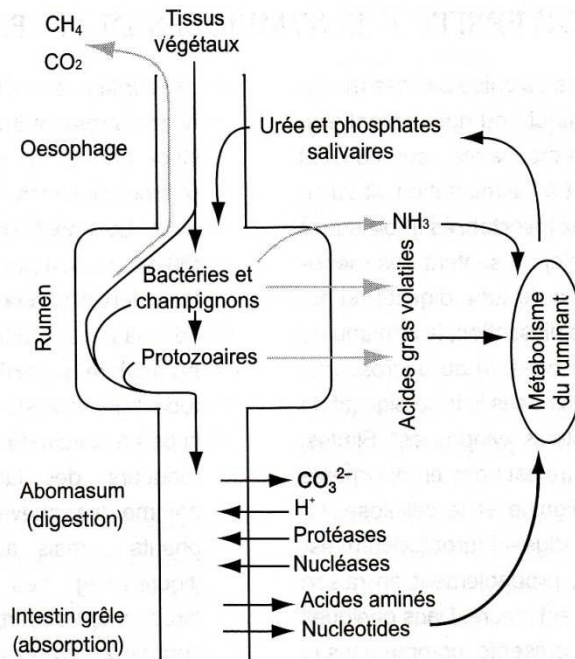


FIGURE 2.7. FONCTIONNEMENT DU RUMEN* ET ÉCHANGE AVEC LE RUMINANT.

➤ **Apports du ruminant :**

- matière végétale (broutage)
- salive : N (urée), carbonates et phosphates
- pH entre 5.8 et 6.8
- température à 40°C
- abaissement du potentiel redox (consommation O₂) entre -250 et -450 mV

➤ **Apports des microorganismes**

- énergie (80%) : acides gras volatiles (acétate, propionate, butyrate)
- biomasse microbienne = **nutriments**
- protection (pathogènes)
- dégradation toxines végétales (alcaloïdes)

EX de MUTUALISME : ENDOSYMBIONTES BACTERIENS D' INSECTES

- bactéries libres dans cytoplasme ou incluses dans cellules spécialisées
= bactériocytes regroupés dans une structure organ-like (bactériome)
- pas de culture des bactéries en dehors des insectes (réduction importante de la taille du génôme (spécialisation) / nécessité des bactéries pour croissance (aa, stérols, vitamines) et reproduction des insectes
- transmission verticale depuis la femelle vers la descendance
- ex : *Buchnera aphidicola* et les aphides (pucerons)

Table 1. Main genome features for all sequenced genomes of bacterial endosymbionts, its free-living relative *E. coli* and the obligate parasite *M. genitalium*.

	Chromosome (bp)	G+C content	CDS	RNA-coding genes	Pseudogenes	Protein-coding regions (%)	References
<i>E. coli</i> K-12	4 639 221	51	4308	171	64	87.8	Blattner <i>et al.</i> (1997) ^a
<i>Bl. floridanus</i>	705 557	27.38	583	42	6	83.2	Gil <i>et al.</i> (2003)
<i>W. glossinidia</i>	697 724	22	619	42	?	89	Akman <i>et al.</i> (2002)
<i>Bu. aphidicola</i> BAp	640 681	26.2	571	37	12	86.8	Shigenobu <i>et al.</i> (2000)
<i>Bu. aphidicola</i> BSg	641 454	26.3	559	37	33	84.5	Tamas <i>et al.</i> (2002)
<i>Bu. aphidicola</i> BBp	615 980	25.3	508	37	9	81.4	van Ham <i>et al.</i> (2003)
<i>M. genitalium</i>	580 070	32	485	39	0	88	Fraser <i>et al.</i> (1995) ^b

a. Up-to-date information can be found in <http://biocyc.org/ECOLI/> (Karp *et al.*, 2004).

b. Up-to-date information can be found in <http://www.stdgen.lanl.gov/stdgen/bacteria/mgen/>.

loss of DNA repair / recombination / repetitive and transposable elements / bias in codon usage

EX de MUTUALISME : *Buchnera* spp. et les aphides

Coévolution des espèces

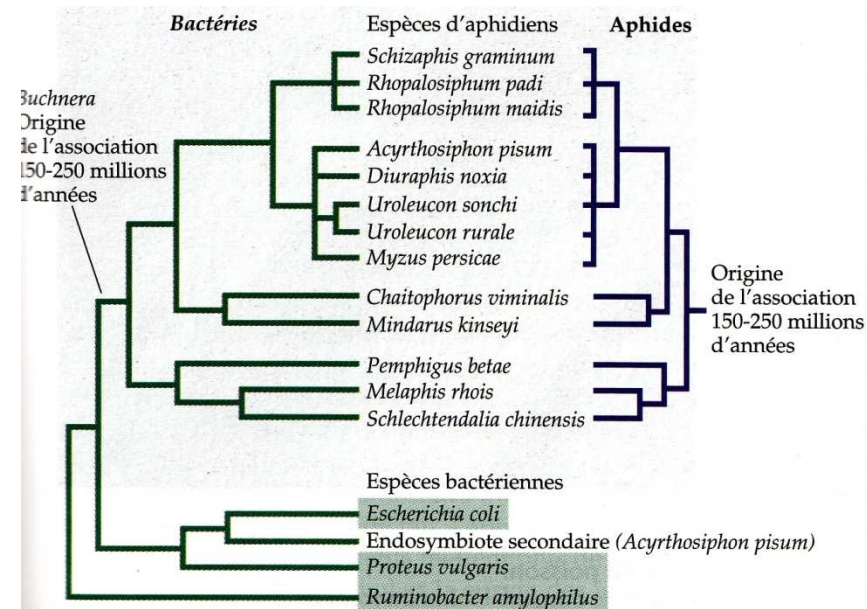
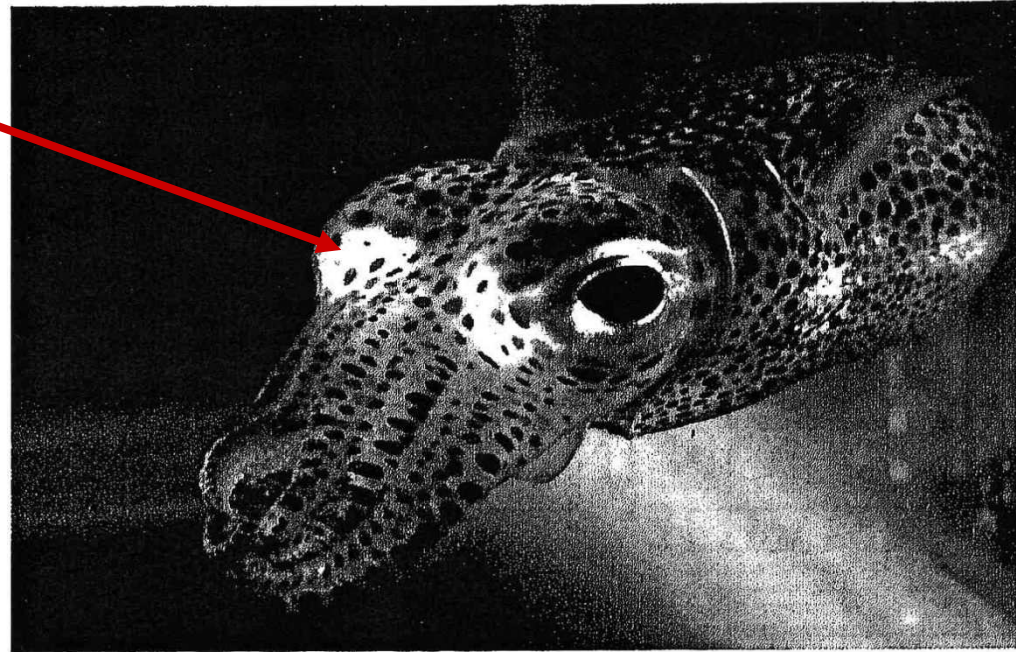


Figure 25.19 Comparaison des arbres phylogénétiques des espèces de *Buchnera* et d'aphides.

Ces arbres mettent en évidence l'harmonie de l'évolution entre les espèces de *Buchnera* et les aphides. L'arbre des endosymbiotes a été construit à partir des séquences de l'ARNr 16S, celui des aphidiens à partir des séquences des ARNr 18S. Les séquences issues de l'espèce fossile remontant à plusieurs millions d'années ont été utilisées comme racine. Les noms grisés correspondent à des bactéries vivant à l'état libre. Avec l'aimable autorisation de Paul Baumann.

EX de MUTUALISME : BIOLUMINESCENCE

organe lumineux :
 10^{11} *Vibrio fischeri* / ml



Euprymna scolopes (calamar)

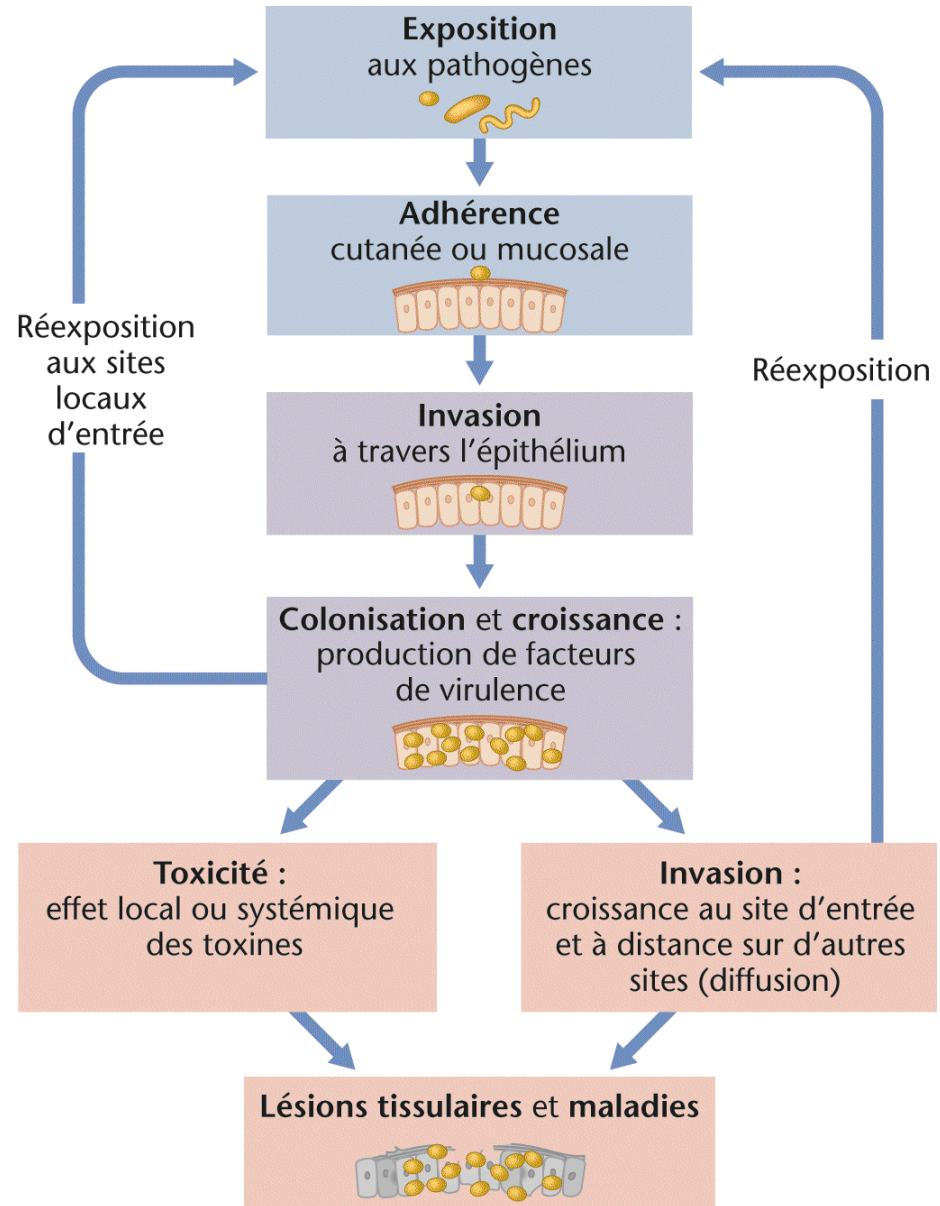
2/ Echanges **non trophiques** : production de **bioluminescence** contre fourniture de **nutriments**

=> stratégie d'antiprédation

PARASITISME

Relations hôte-parasite fonction de :

- pouvoir d'**invasion** (nbre et xion)
- pouvoir **toxique** (toxines)
- **résistance** de l'organisme (syst. immunitaire)



PARASITISME : ADHESION

muqueuses plus réceptives

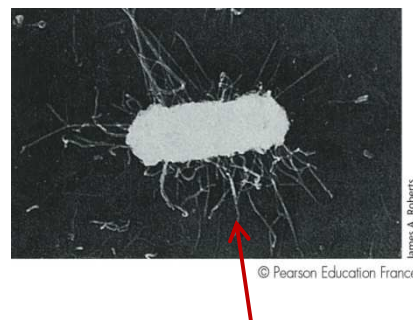
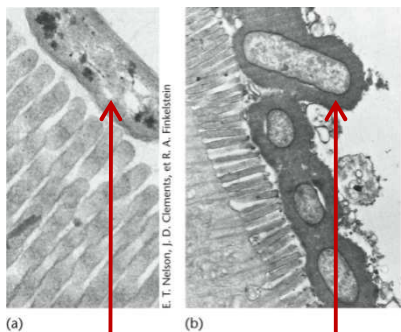
(respiratoires, digestives et génitales)

MAIS effet barrière des flores

résidentes commensales => compétition

(élts nutritifs)

Sécrétion de polysaccharides et de protéines (slime)



Vibrio cholerae / capsule d'*Escherichia coli* / fimbriae de type P chez *E. coli*

TABEAU 21.3

PRINCIPAUX FACTEURS D'ADHÉSION PERMETTANT L'ATTACHEMENT DES BACTÉRIES AUX TISSUS DE L'HÔTE^a

Facteur	Exemple
Capsule/dextrane (voir section 4.10, figures 21.4, 21.13 et 21.14)	<i>Escherichia coli</i> pathogène – capsule induisant l'adhésion à la bordure en brosse des villosités intestinales <i>Streptococcus mutans</i> – dextrane, couche collante favorisant l'adhésion à la surface dentaire
Protéines d'adhésion	<i>Streptococcus pyogenes</i> – protéine M se liant aux récepteurs sur la muqueuse respiratoire <i>Neisseria gonorrhoeae</i> – protéine Opa se liant aux récepteurs sur l'épithélium urogénital
Acide lipotéichoïque (voir section 4.8 et figure 4.31)	<i>Streptococcus pyogenes</i> – favorisant la fixation au récepteur de la muqueuse respiratoire (avec la protéine M)
Fimbriae et pili (voir section 4.10 et figure 21.15)	<i>Neisseria gonorrhoeae</i> – pili favorisant l'adhésion à l'épithélium urogénital Espèce <i>Salmonella</i> – pili type I favorisant l'adhésion à l'épithélium de l'intestin grêle <i>Escherichia coli</i> pathogène – colonisation facteur antigènes (CFA) favorisant l'adhésion à l'épithélium de l'intestin grêle

^a La plupart des sites récepteurs sur les tissus de l'hôte sont des glycoprotéines ou des lipides complexes tels que les gangliosides ou les globosides.

PARASITISME : **PENETRATION**

Pénétration passive : fissures, blessures, brûlures, ...=> système lymphatique

Pénétration active : production de substances lytiques

Tableau 26.3

Exemples d'enzymes facilitant l'invasion de l'hôte produites par des bactéries pathogènes

Enzyme	Organisme	Fonction
Collagénase	<i>Clostridia</i>	Dégradation du collagène des tissus conjonctifs
Coagulase	<i>Staphylococcus aureus</i>	Protection contre les défenses de l'organisme par formation de caillots
Elastase	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dissociation des membranes
Hyaluronidase	<i>Streptococcus</i>	Hydrolyse de l'acide hyaluronique et du ciment inter-cellulaire
	<i>Staphylococcus</i>	
	<i>Clostridium</i>	
Lécithinase	<i>Clostridium</i>	Dégradation de la phosphatidylcholine membranaire
Streptokinase	<i>Staphylococcus</i>	Digestion de la fibrine des caillots
	<i>Streptococcus</i>	

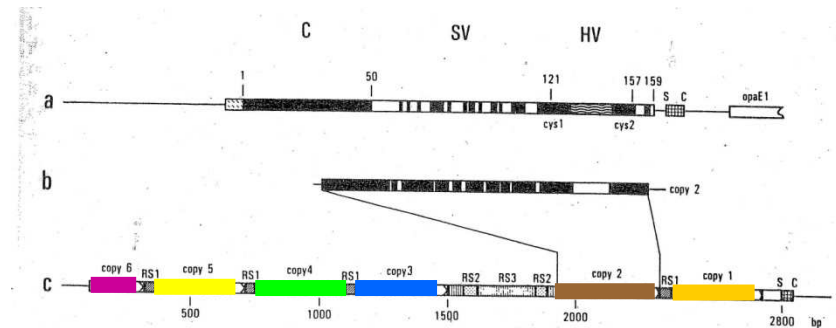
PARASITISME : COLONISATION et CROISSANCE

- chélation du fer (transferrine et lactoferrine) par production de sidérophores
- échapper aux moyens de défense :
 - camouflage **capsulaire** (protection contre phagocytose)
 - **neutralisation** du système immunitaire : leucocidines, hémolysines, ...
 - **variation antigénique** (fimbriae)

Tableau 26.5

Facteurs antiphagocytaires produits par des bactéries et leur mode d'action

Facteurs	Mode d'action
Leucocidines	Agent de lyse spécifique des leucocytes dont les phagocytes.
Hémolysines	Formation de pores dans les cellules hôtes dont les macrophages. La streptolysine O dégrade les stérols des membranes. La streptolysine S est une phospholipase.
Capsule (glycocalyx)	Long polymère d'hydrates de carbone. Protection physique contre l'enveloppement.
Fimbriae	(1) Fixation à des molécules de surface des phagocytes, évite le contact rapproché empêchant la phagocytose. (2) Changement de phase – modification de la composition antigénique.

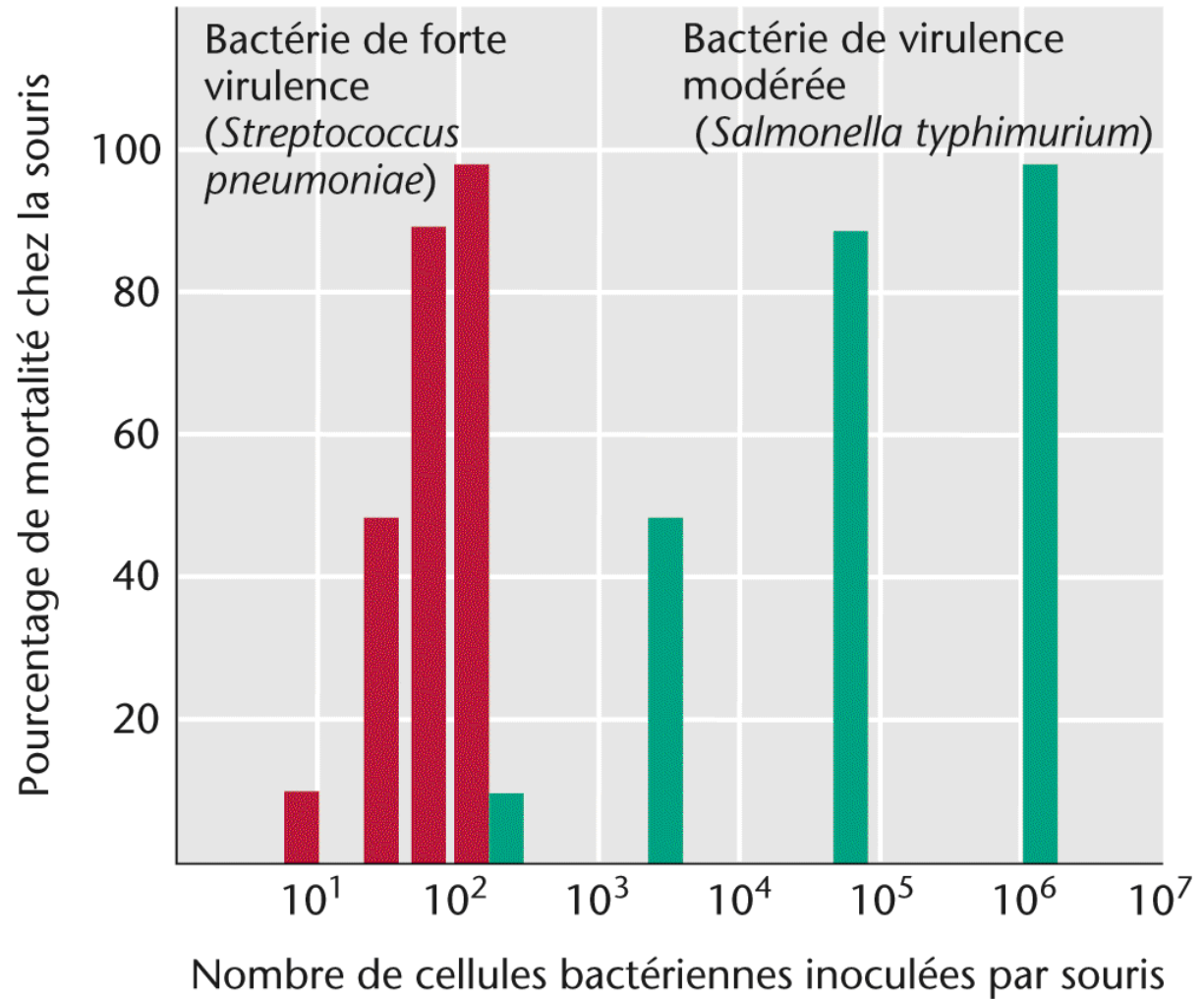


La piline de *Neisseria gonorrhoeae*.

a : organisation du gène de structure de la piline ; C : région constante ; SV : région semi-variable ; HV : région hyper-variable. Les surfaces en noir symbolisent les régions conservées dans les différents variants de la piline MS11. Les surfaces en blanc et en trait ondulé correspondent aux régions où surviennent respectivement une substitution d'un seul acide aminé, et de multiples insertions ou délétions. La séquence signal (constituée de 7 acides aminés), qui est symbolisée par une surface hachurée, est conservée chez toutes les molécules de piline. Cys 1 et cys 2, représentent les deux résidus cystéyl qui sont conservés dans toutes les molécules de piline, en position 121 et 157 respectivement ; b et c : organisation des séquences de piline (copies 1 à 6, séparées par des unités répétées SC, RS1, RS2 et RS3) dans le locus silencieux pilS1. Les régions de la copie 2 (b) conservées par rapport à la piline originelle MS11 (a) sont symbolisées en noir et les régions variables en blanc (dû à l'obligeance de S. Seifert, 1988).

PARASITISME : VIRULENCE

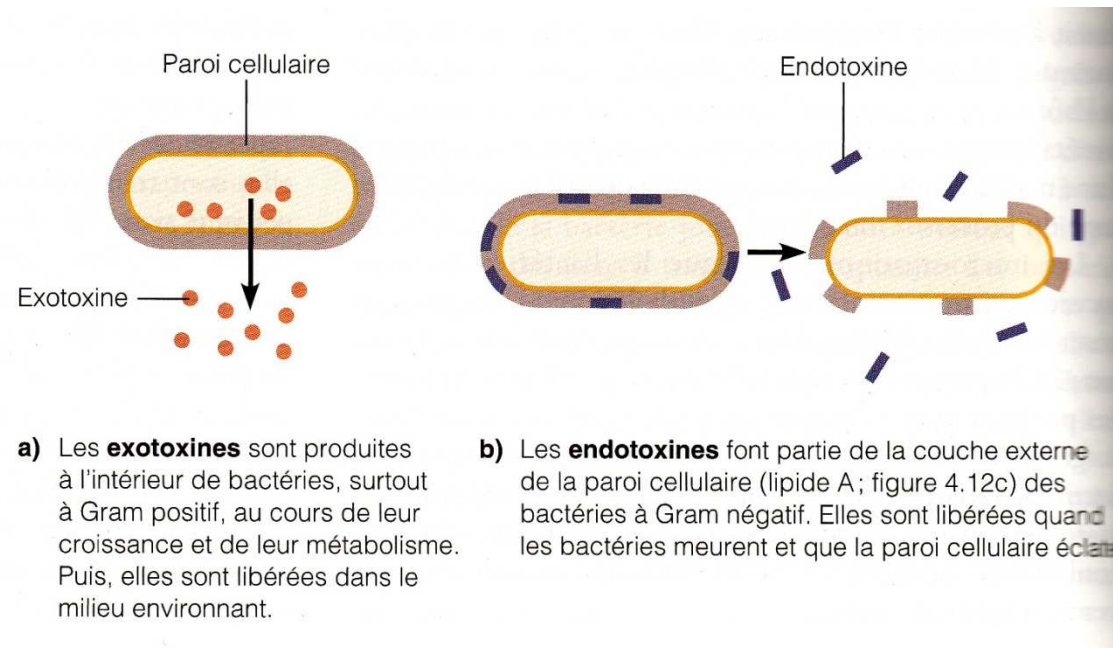
virulence exprimée
par DL_{50}



PARASITISME : PRODUCTION DE TOXINES

EXOTOXINES (protéines) : Gram positif (surtout)

ENDOTOXINES (LPS) : Gram négatif



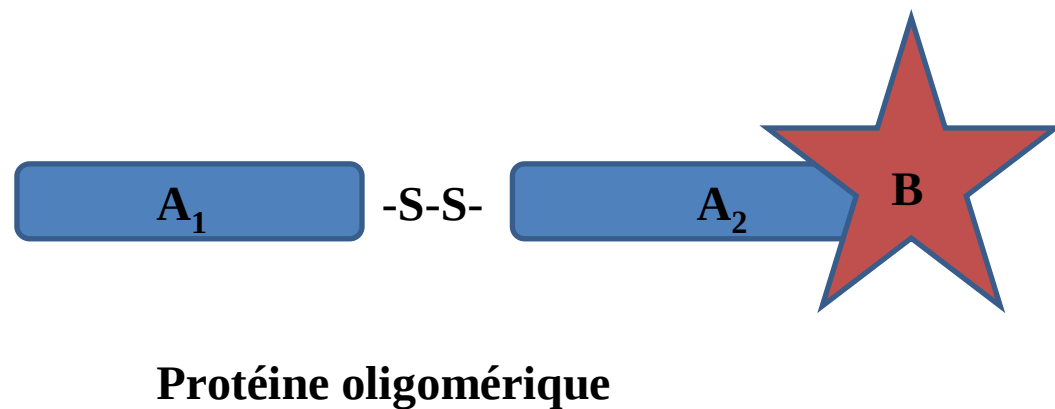
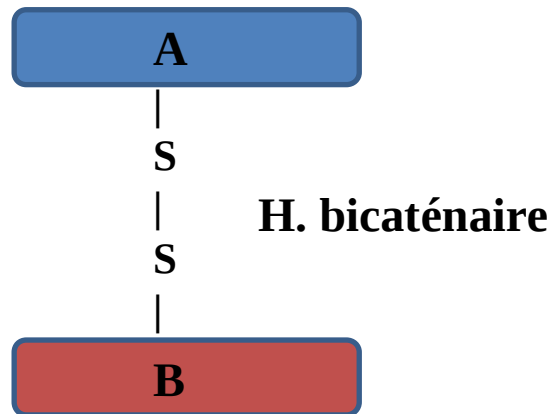
PARASITISME : TOXINES PROTEIQUES = EXOTOXINES

Toxines protéiques = association de 2 domaines A-B

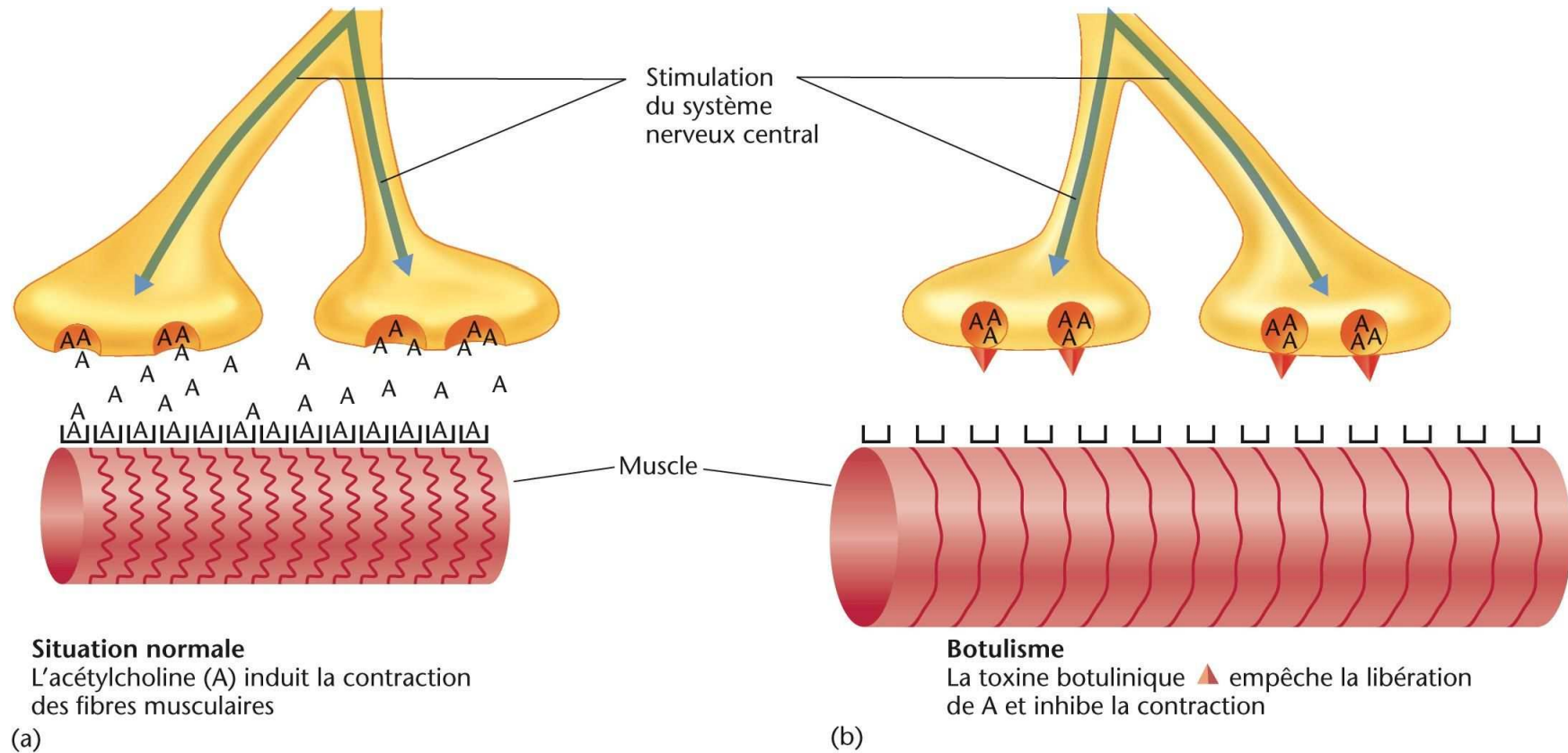
- domaine A : activité enzymatique = **toxique**
- domaine B : liaison à 1 récepteur spécifique présent à la

surface de la cellule cible

=> sécrétion par cellules bactériennes vivantes



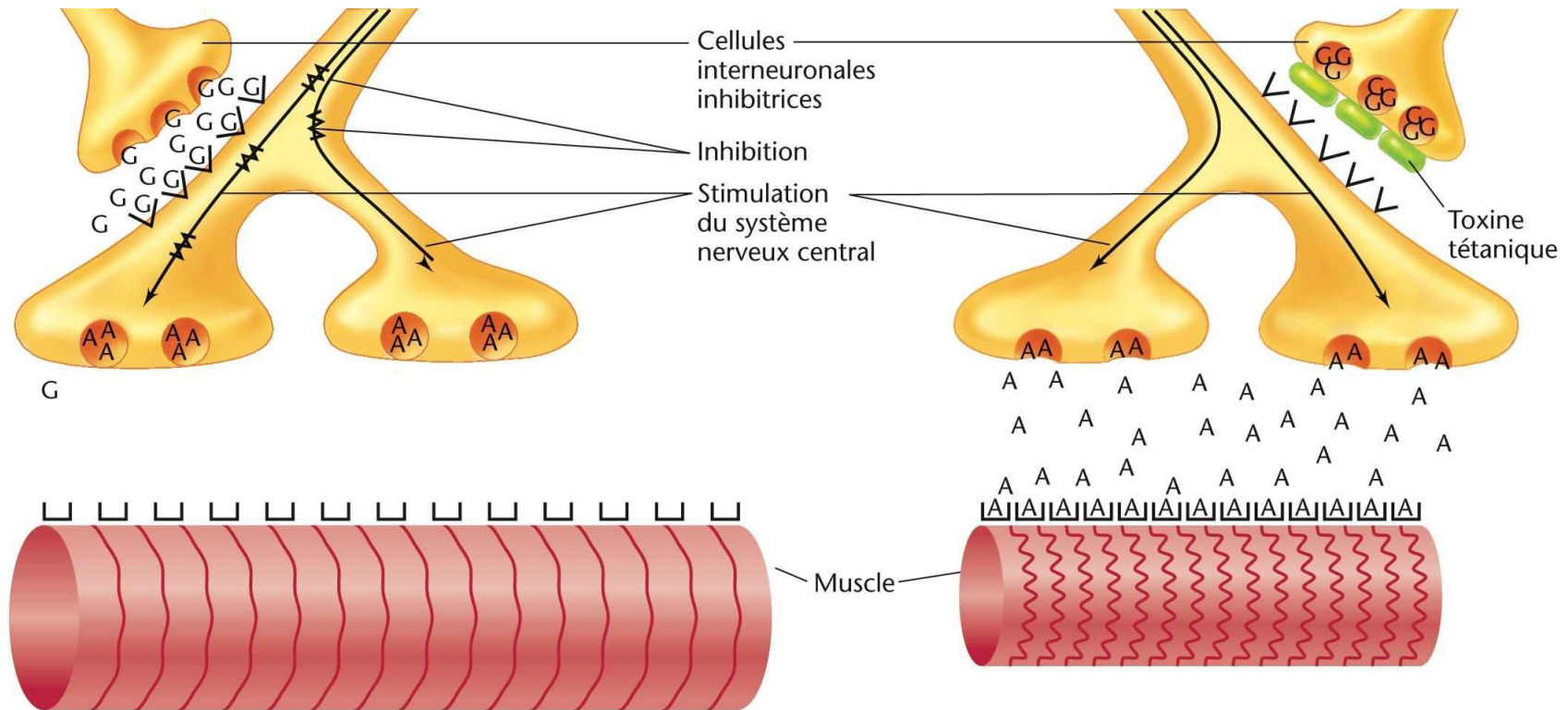
PARASITISME : TOXINES PROTEIQUES



© Pearson Education France

**Toxine botulique (*Clostridium botulinum*)
=> paralysie musculaire flasque**

PARASITISME : TOXINES PROTEIQUES



Situation normale

La glycine (G), produite par les interneurons, bloque la libération de l'acétylcholine (A) et favorise la relaxation musculaire.

(a)

Tétanos

La toxine tétanique se fixe sur les interneurons, empêche la libération de G et favorise la contraction musculaire par A.

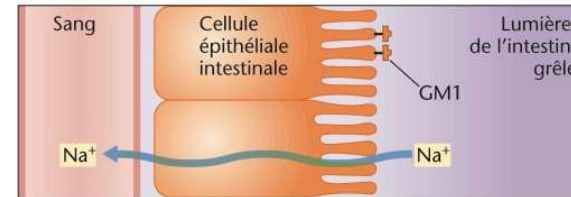
(b)

Toxine tétanique (*Clostridium tetani*)
=> paralysie musculaire spastique

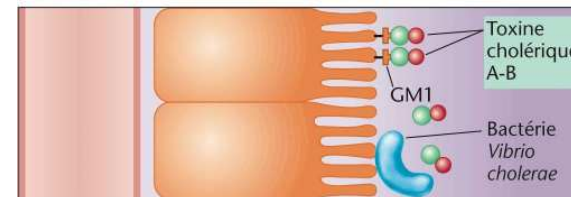
PARASITISME : TOXINES PROTEIQUES

Toxine cholérique (*Vibrio cholerae*)
=> fuite hydrique / déshydratation

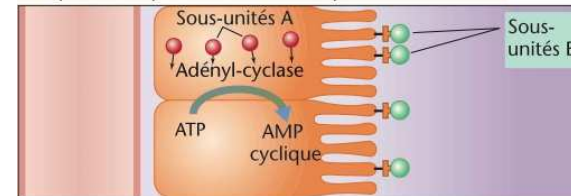
1. Flux ionique normal : Na^+ de la lumière intestinale vers le sang, sans déplacement net du Cl^-



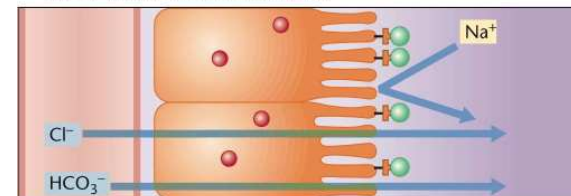
2. Colonisation et production toxinique



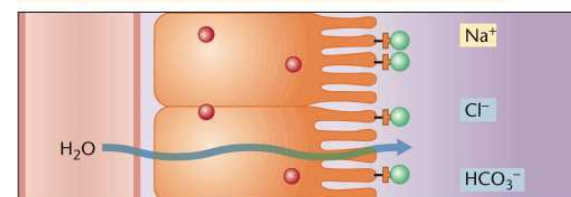
3. Activation de l'adényl-cyclase des cellules épithéliales par la toxine cholérique



4. Inhibition du flux sodique (Na^+) et passage net du Cl^- vers la lumière intestinale

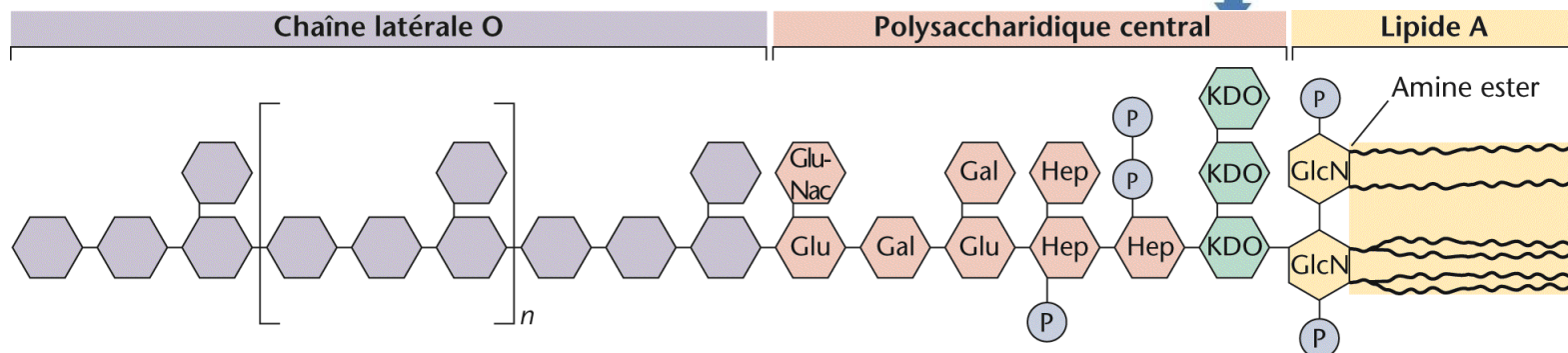
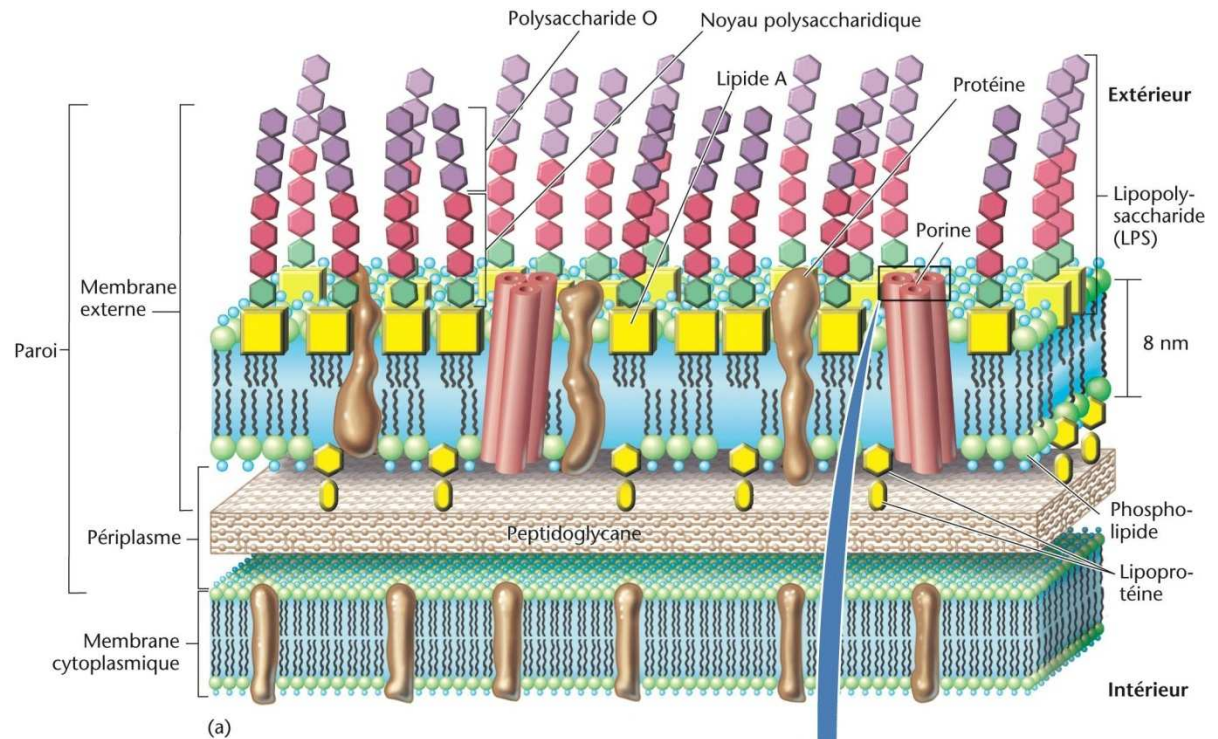


5. Transfert massif d'eau vers la lumière intestinale



PARASITISME : **ENDOTOXINES (LPS)**

= constituant de la
membrane externe des
bactéries à Gram
négatif
=> libération dans
l'hôte lors de la lyse
bactérienne seulement



KDO : céto-désoxyoctonate ; Hep : heptose ; Glu : glucose ; Gal : galactose ;
GluNac : N-acétylglucosamine ; GlcN : glucosamine

(b)

© Pearson Education France

© Pearson Education France

PARASITISME : ENDOTOXINES (LPS)

Lipide A = fraction active = toxique

Polysaccharide = hydrosolubilité et immunogénicité

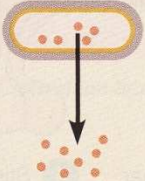
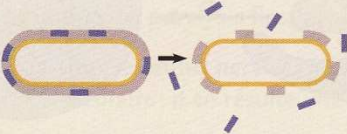
- si production à faible dose => fièvre modérée et stimulation des défenses

immunitaires => destruction des μ org^{is} par dérivés O_2

- si production excessive => fièvre élevée, hypotension, coagulation sanguine

=> choc toxique

PARASITISME : EXOTOXINES / ENDOTOXINES

Tableau 15.3	<i>Exotoxines et endotoxines</i>	
Propriété	Exotoxine	Endotoxine
		
Origine bactérienne	Bactéries à Gram positif, surtout	Bactéries à Gram négatif
Fonction dans le microorganisme	Produit du métabolisme de la bactérie en croissance	Présente dans le LPS de la membrane externe de la paroi cellulaire et libérée seulement lors de la destruction de la cellule
Nature chimique	Protéine ou petit peptide	Partie lipidique (lipide A) du LPS de la membrane externe
Physiopathologie (effet sur le corps)	Action spécifique sur une structure ou une fonction cellulaire particulière de l'hôte (atteint principalement les fonctions cellulaires, les nerfs et le tube digestif)	Non spécifique, p. ex. : fièvre, faiblesses, douleurs et état de choc ; toutes les endotoxines ont les mêmes effets
Stabilité thermique	Instable ; est détruite en général entre 60 et 80 °C (sauf l'entérotoxine staphylococcique)	Stable ; résiste à l'autoclave (121 °C pendant 1 h)
Toxicité	Élevée	Faible
Capacité de produire de la fièvre	Non	Oui
Immunologie (quant aux anticorps)	Peut être convertie en anatoxine servant à immuniser contre la toxine ; est neutralisée par l'antitoxine	Difficile à neutraliser par l'antitoxine ; en conséquence, on ne peut pas produire d'anatoxines efficaces pour immuniser contre les endotoxines
Dose létale	Faible	Considérablement plus élevée
Maladies représentatives	Gangrène gazeuse, tétanos, botulisme, diphtérie, scarlatine, choléra	Fièvre typhoïde, infections du système urinaire et méningite à méningocoques

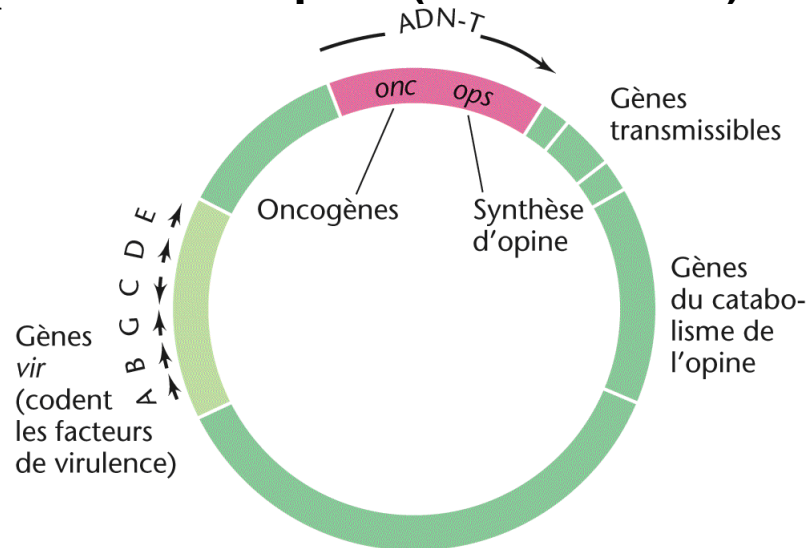
PARASITISME

Agrobacterium tumefaciens et
la maladie du *crown gall*
⇒ excroissances « tumorales »

Plasmide Ti (*tumor induction*) et ADN-T

:

- induction de la tumeur
- production d'opines (sources C et N)



© Pearson Education France



Jo Handelsman

© Pearson Education France

PARASITISME

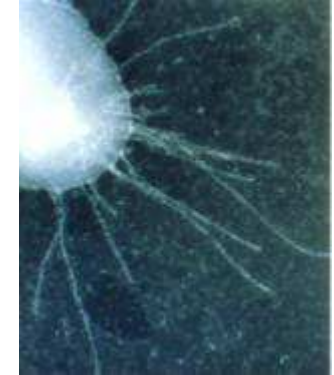
***Ralstonia solanacearum* : agent responsable du flétrissement bactérien (bacterial wilt) : tabac, bananier, pomme de terre, ...**

➤ **reconnaissance et adhésion**

- **chimiotactisme / flagelles (exsudats racinaires)**
- **adhésion / pilus de type IV**
- **neutralisation des polypeptides antimicrobiens
sécrétés par la plante / LPS**

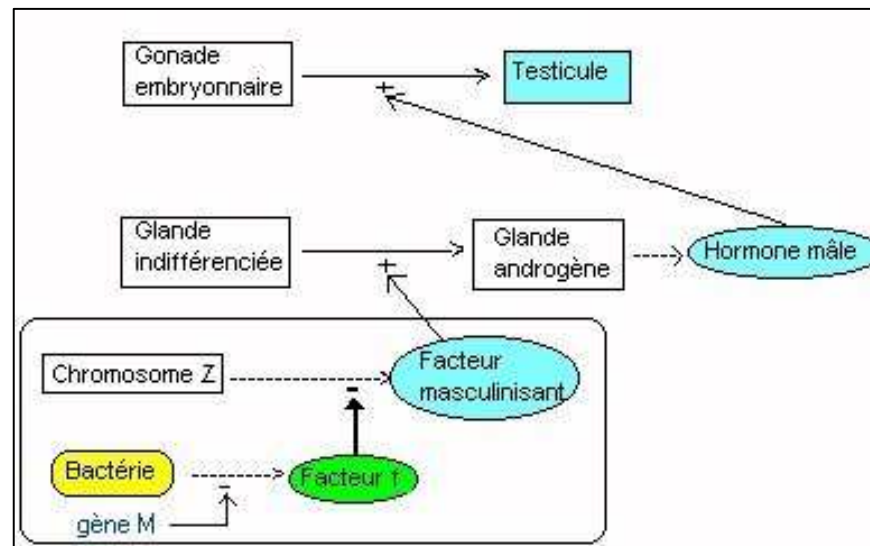
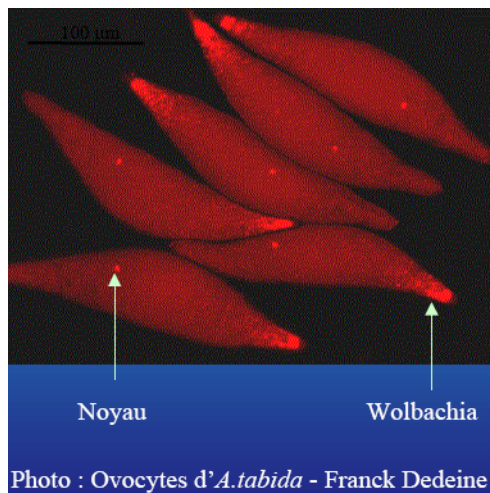
➤ **prolifération bactérienne : production d'enzymes pectinolytiques
(pénétration et nutrition)**

➤ **virulence / sécrétion d'EPS => blocage des flux hydriques et
septicémie (10^{10} cell/g)**



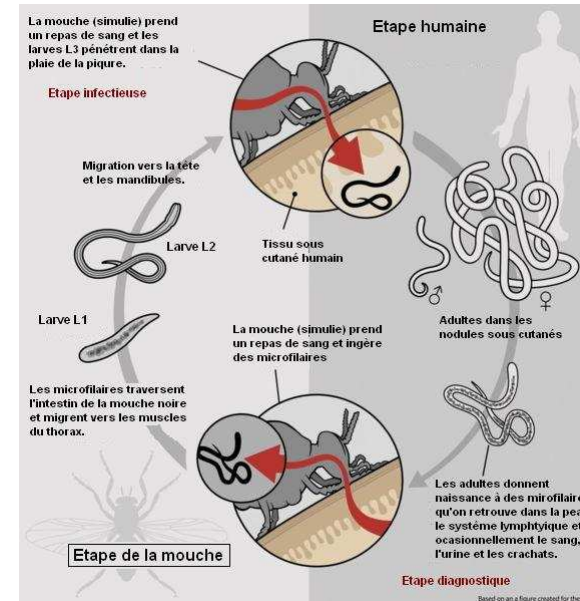
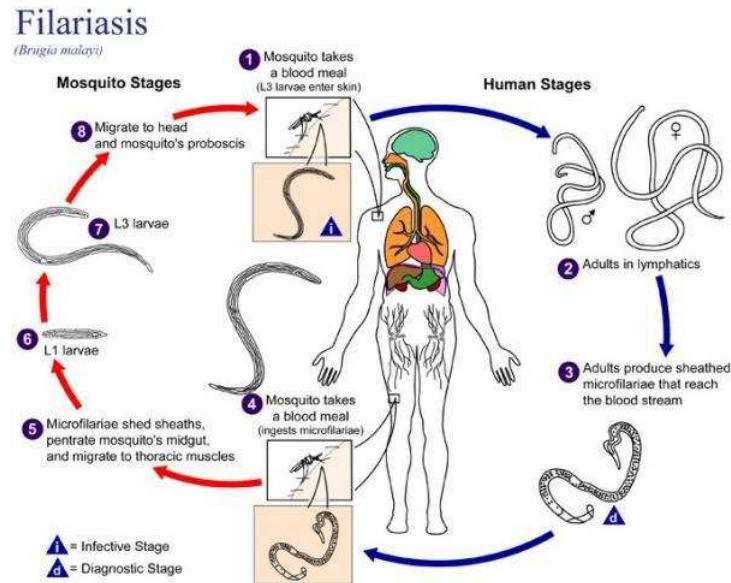
Wolbachia : **PARASITISME** ou MUTUALISME ?

= coccobacille à Gram – (Rickettsies) (Hertig et Wolbach, 1924) : invertébrés dont 65% des insectes



La bactérie qui rend femelle ...

Wolbachia : PARASITISME ou MUTUALISME ?



Cycles parasites de *Brugia malayi* (éléphantiasis)
et d'*Onchocera volvulus* (cécité des rivières)

Sans cette association, ces parasites ne peuvent pas survivre ...!!!

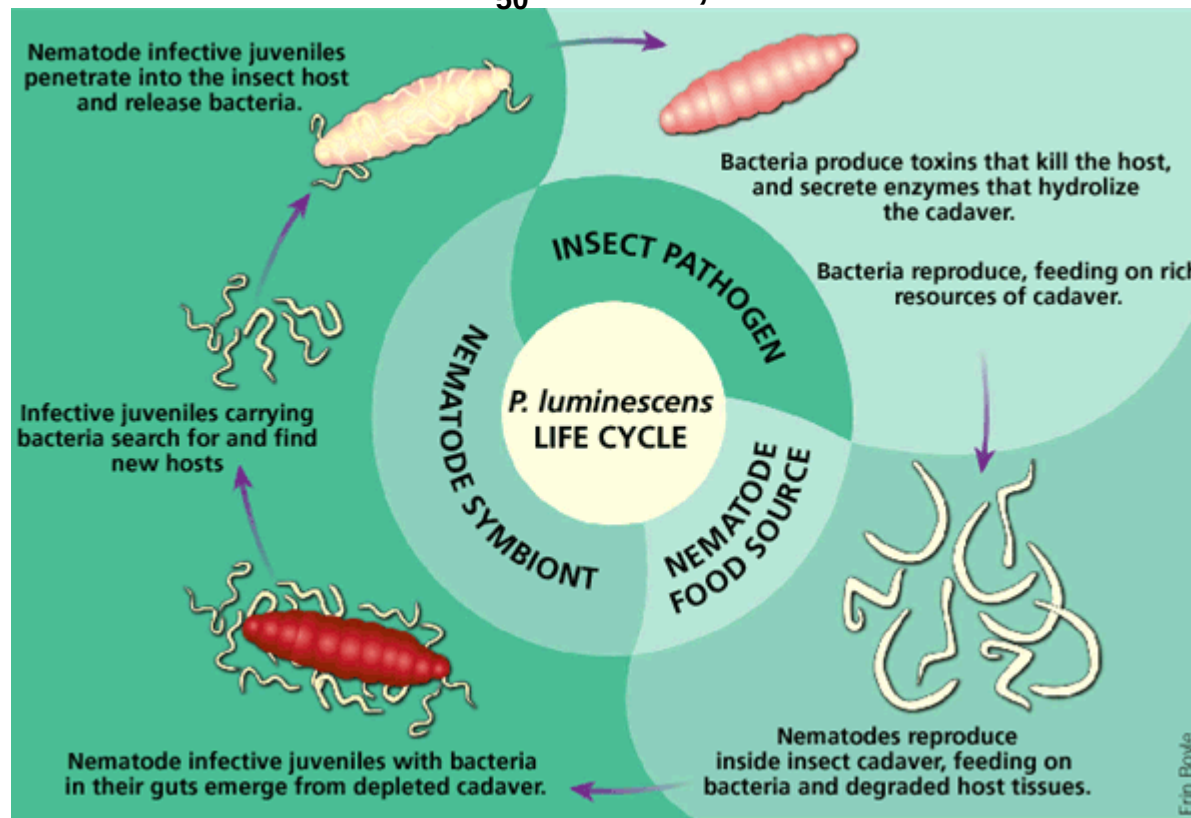
Photorhabdus : parasitisme ET mutualisme ?

Lutte biologique

Photorhabdus : bactérie bioluminescente de la famille des Enterobacteriaceae

=> association tripartite : *Photorhabdus* / nématode (Heterorhabditidae) / insecte

$DL_{50} < 5$ cell ; xion bactérienne : 10^9 cfu / insecte en 48h



développement de
nématodes adultes
déclenché par signal
bactérien (« food signal »)

durée totale du
cycle : 10 à 20 jours

=> 1 IJ (infected
juvenile) peut
produire plus de
100 000 IJ

transmission maternelle de *Photorhabdus* dans IJ (100 / IJ)