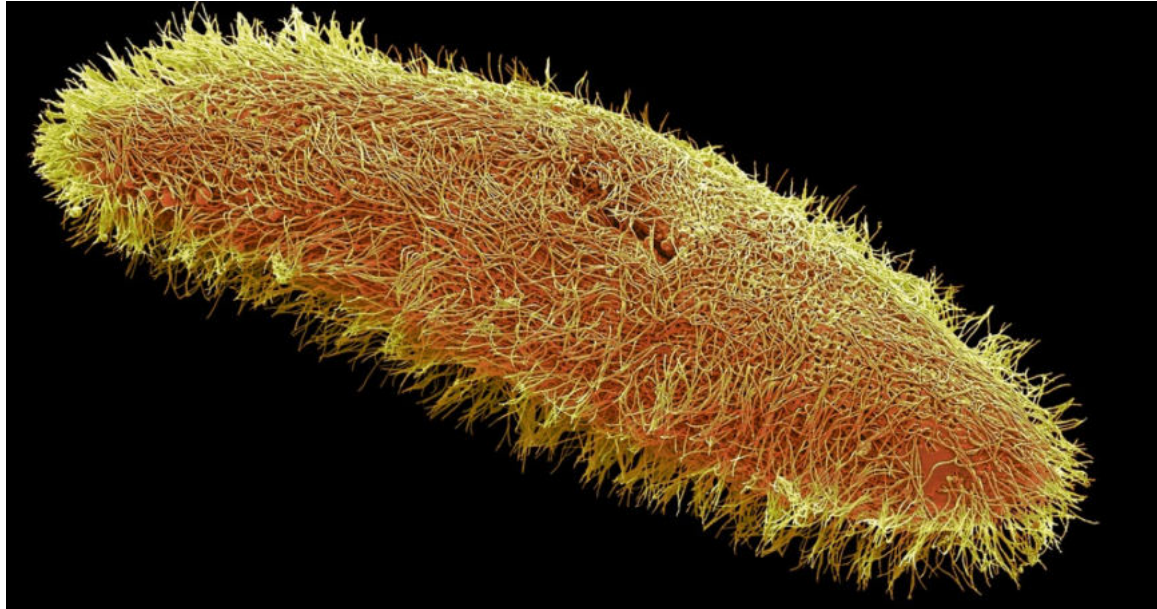
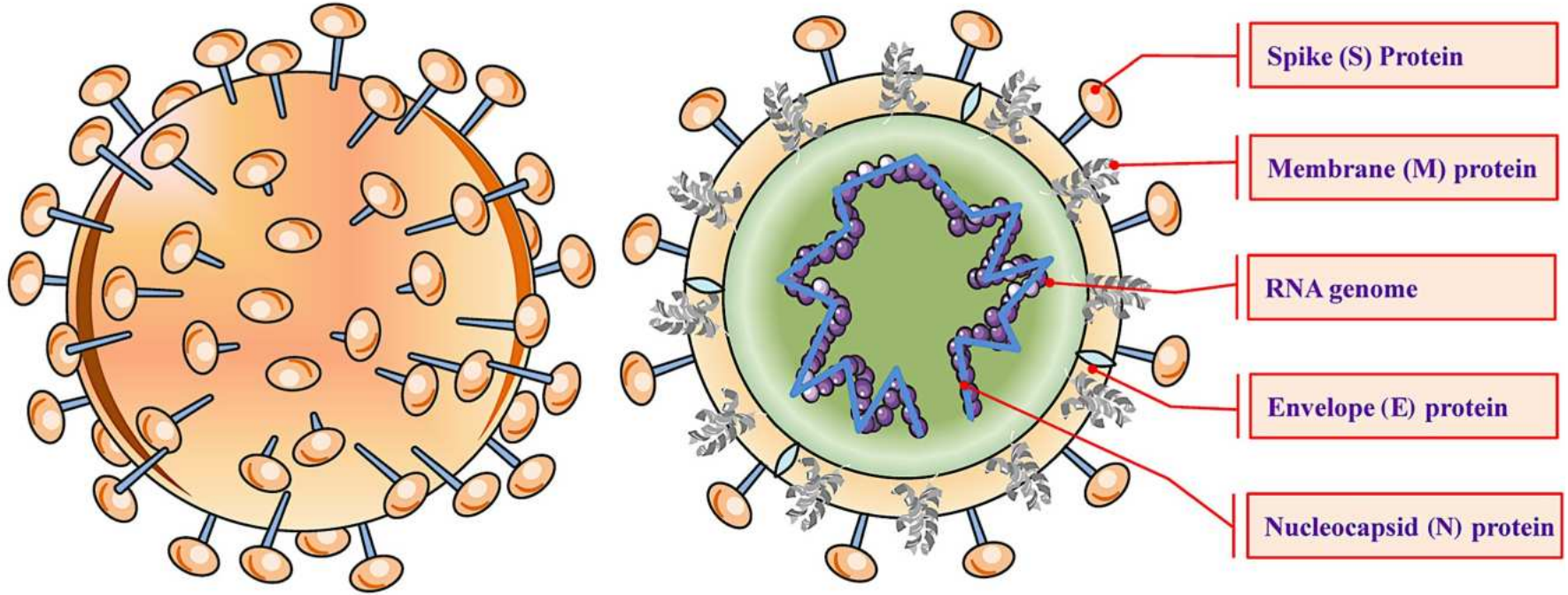


Les cellules, unités du vivant



Le Virus Sars-Cov 2



Est-ce vivant ? Est-ce une cellule ?

Introduction

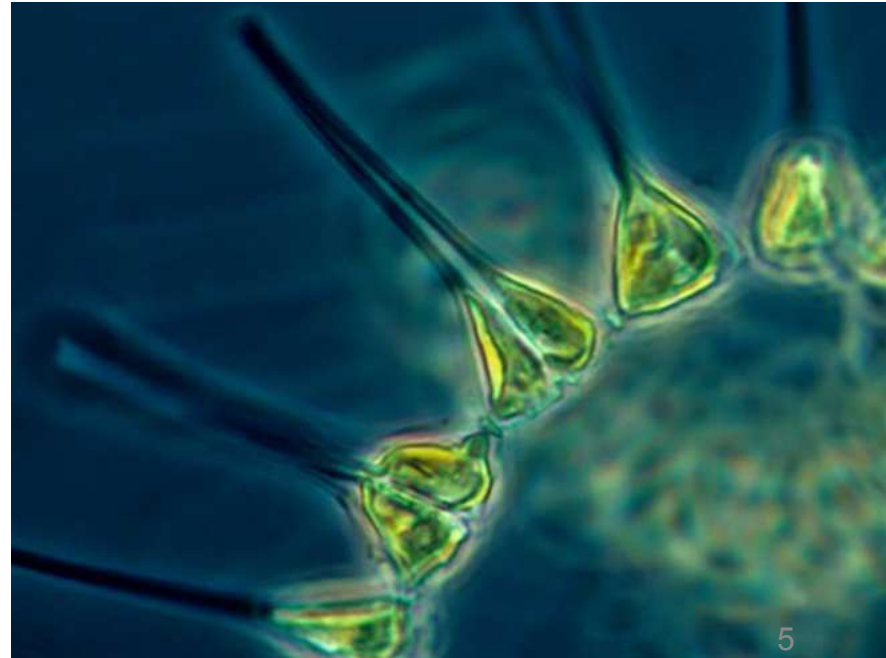
- Définir une cellule
- Qu'est-ce qui est commun aux cellules de toutes les formes de vie ?
- Quels sont les variations possibles ?

1. De la cellule à l'holobionte, la diversité des êtres vivants

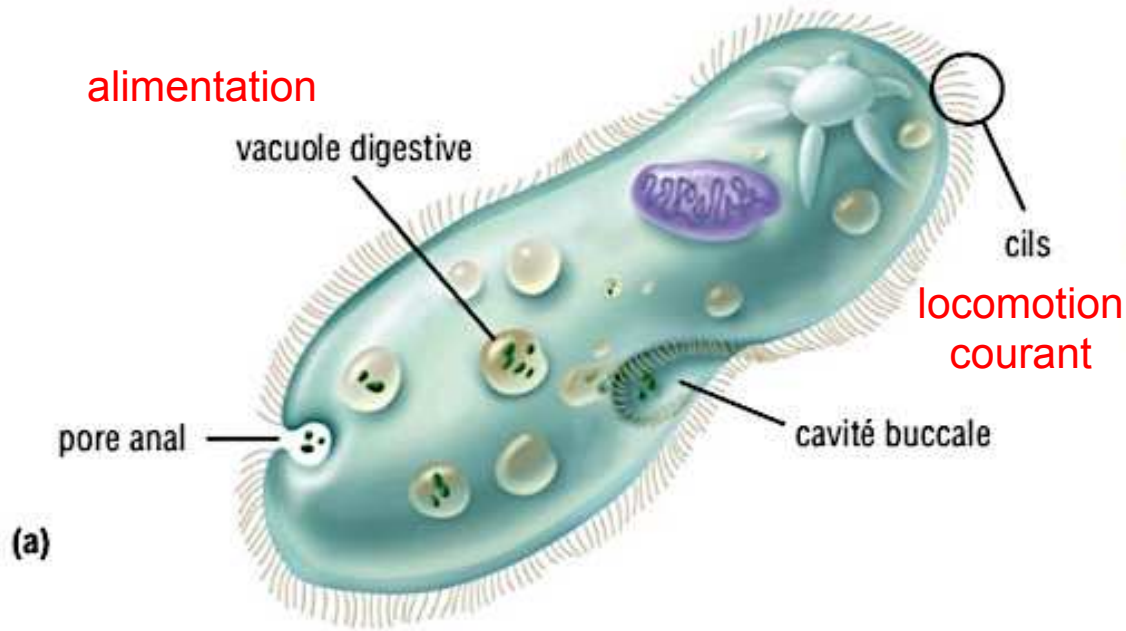


1.1. Les êtres vivants unicellulaires

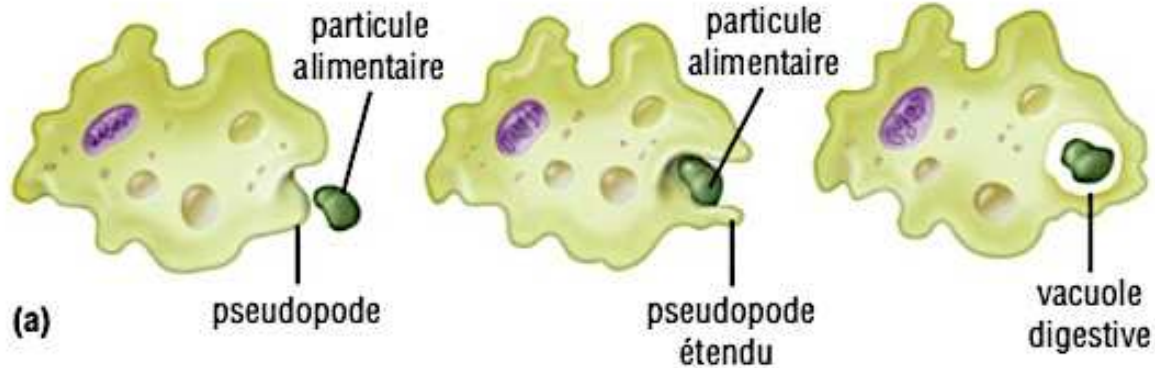
- Cellules plurifonctionnelles
- Forte dynamique de population
- Grande diversité de formes de vie



Une Paramécie, être unicellulaire



Nutrition d'une amibe



Source : Duval éducation - Canada



Cellules plurifonctionnelles

Fonctions assurées

- Alimentation
- Échanges gazeux
- Perception de l'environnement
- Mouvement et locomotion éventuels
- Multiplication

Le terme de totipotence est réservé aux cellules qui peuvent se différencier en toute cellule spécialisée d'un organisme.



1.2. Les êtres vivants pluricellulaires...

1.2.1. ... sont des holobiontes

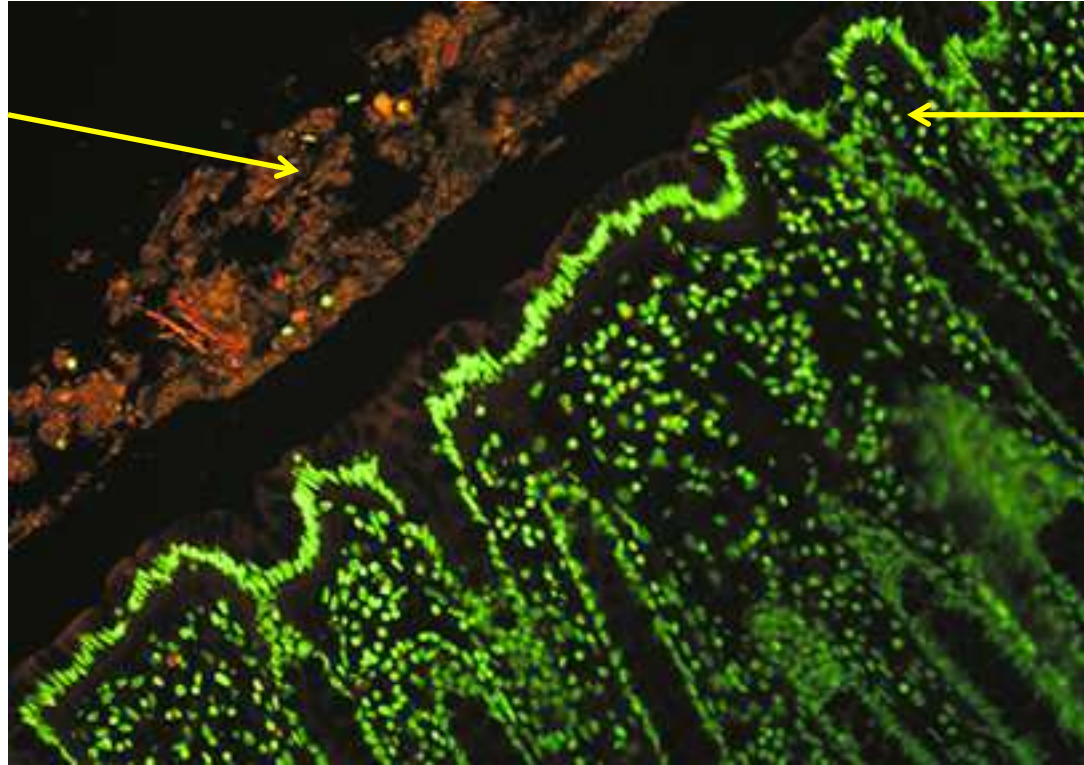
Holobionte = supraorganisme

= organisme animal ou végétal + les micro-organismes qu'il héberge et avec lesquels il entretient des relations spécifiques.

Le microbiote intestinal humain

Micro-organismes
(marquage rouge
par la méthode
FISH)

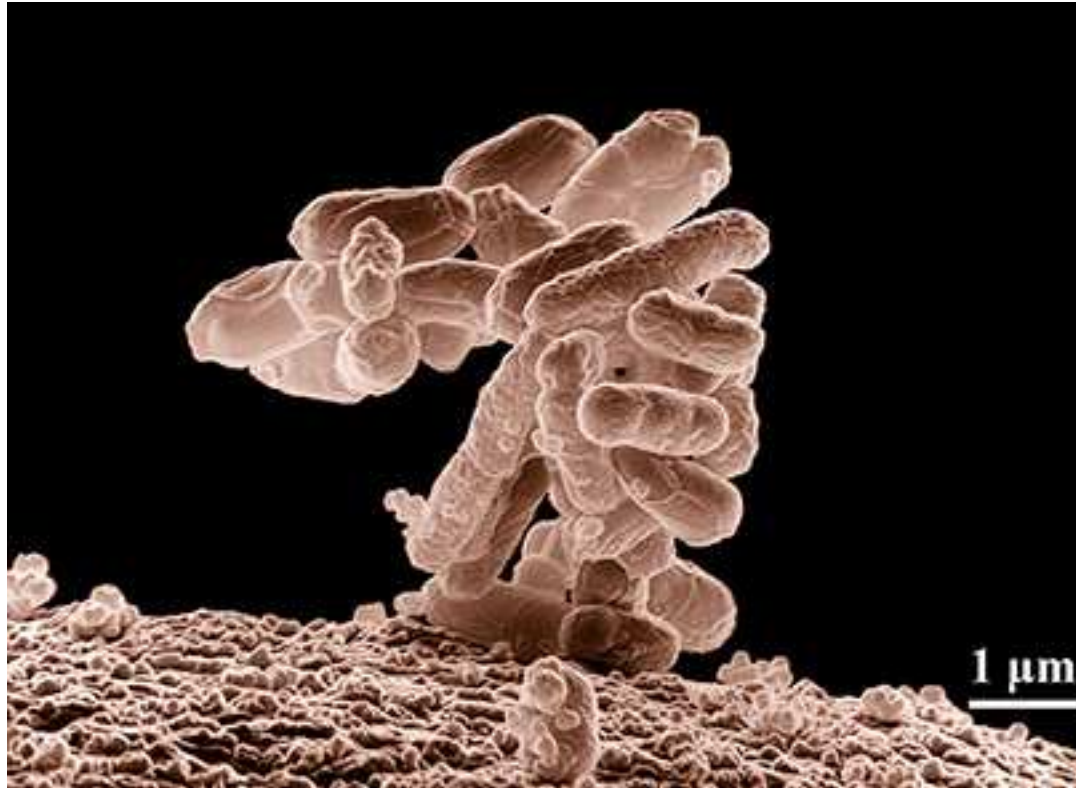
Environ 2 kg de
bactéries, virus,
champignons,
ciliés...



intestin
(marquage
vert méthode
DAPI)

Mise en évidence du positionnement de la flore intestinale commensale pour l'essentiel à distance de la surface épithéliale du fait de la présence de mucus et des molécules antimicrobiennes à qui il sert de matrice. Illustration de © Inserm, T. Pédrón

Le microbiote intestinal humain



Micrographie électronique à basse température d'un groupe de bactéries E. coli (X 10 000)

© Photo d'Eric Erbe, colorisation numérique par Christopher Pooley, tous deux de l'USDA, ARS, EMU.

Source : Agricultural Research Service.

Le microbiote des plantes : bactéries et champignons

Zone	Nom du microbiote	Place	Quantité	Type de microbiote
Graine	Spermosphère	externe et interne	10 à 10^3 par g	Bactéries, champignons
Racine	Rhizosphère		10^9 par g de sol	
Tissus internes	Endosphère	interne	10^4 à 10^8 par g	
Feuille	Phyllosphère	externe	10^6 à 10^7 par cm^2	Bactéries, champignons Ciliés, Oomycètes

Rôles possibles : protection contre les herbivores, stimulation de la croissance et des processus immunitaires, régulation hydrique, nutrition azotée...



1.2.2. ... possèdent appareil, organes et tissus

	Animal	Végétal
Appareil = système	Appareil digestif	Appareil caulinaire
Organe	intestin	feuille
Tissu	épithélium	parenchyme chlorophyllien
Cellule	entérocyte	cellule palissadique

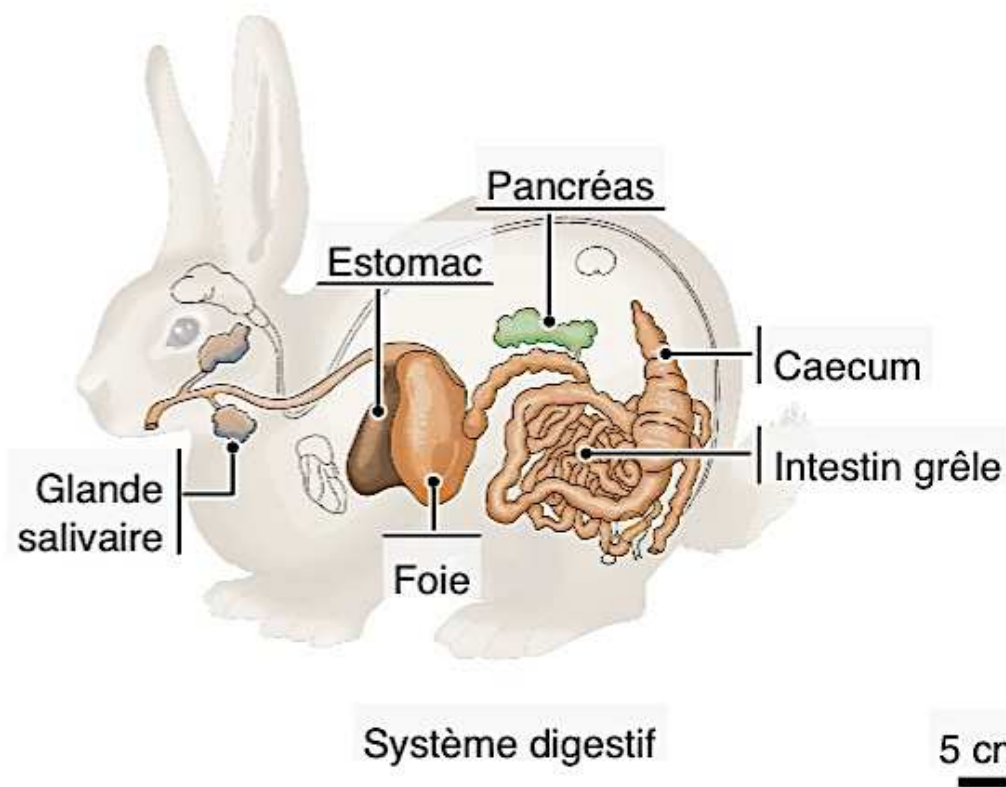
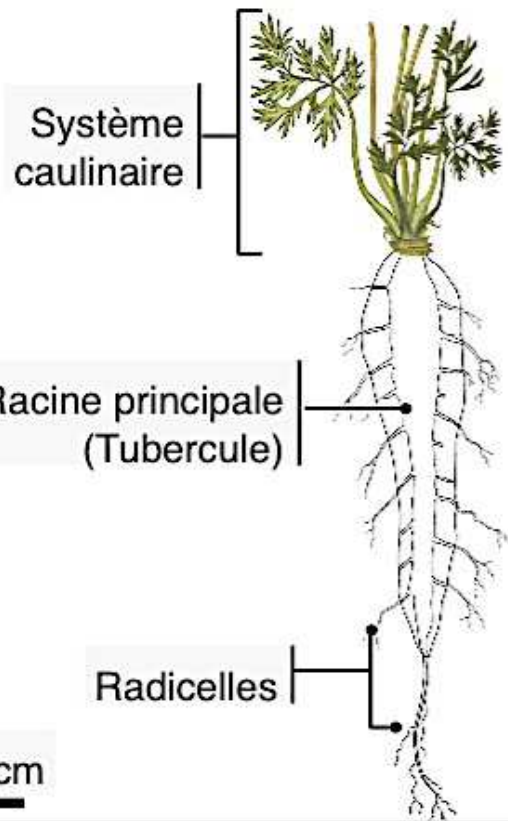
Organisme

Système

Organe

Tissu

Cellule



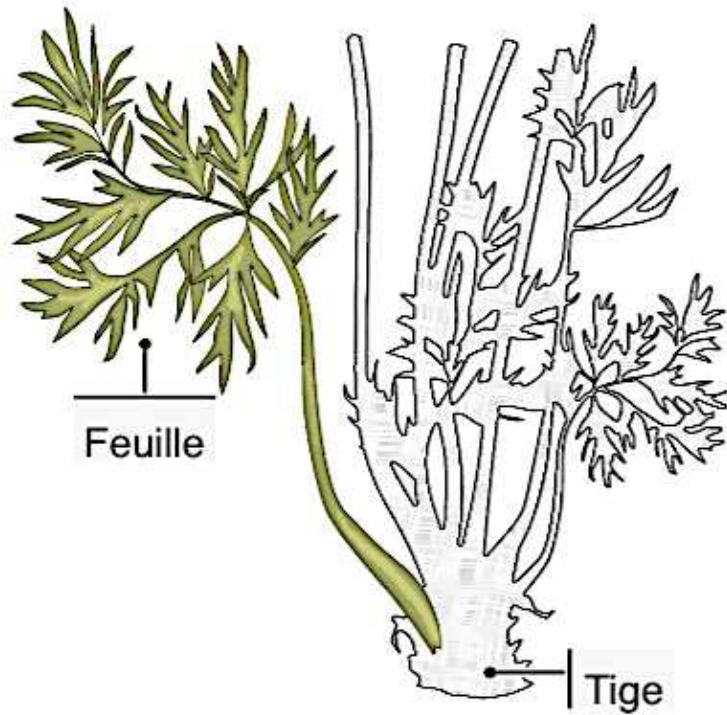
Organisme

Système

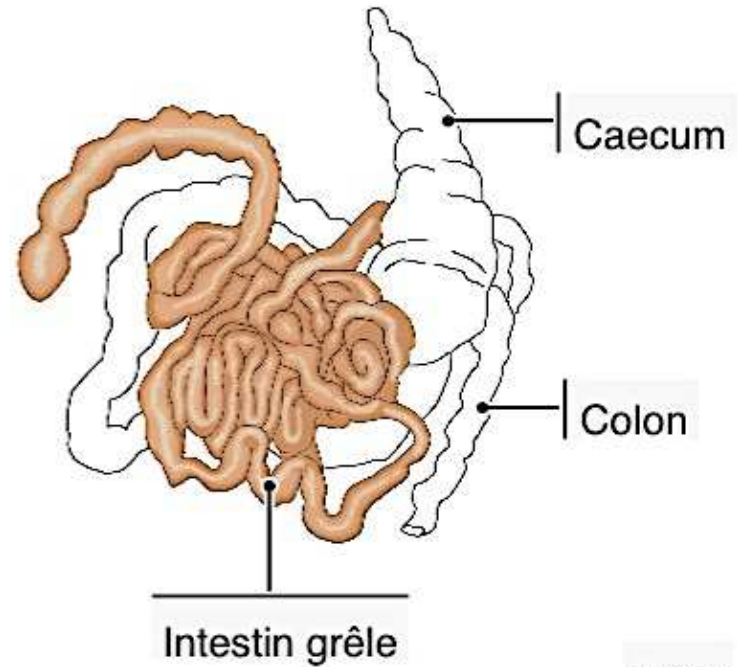
Organe

Tissu

Cellule



1 cm



2 cm

Organisme

Système

Organe

Tissu

Cellule

Parenchyme chlorophyllien

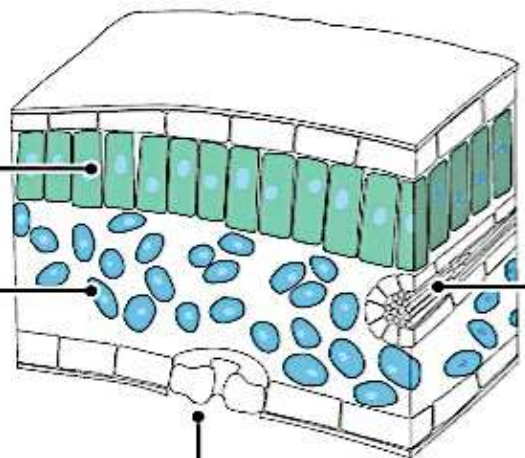
Parenchyme palissadique

Parenchyme lacuneux

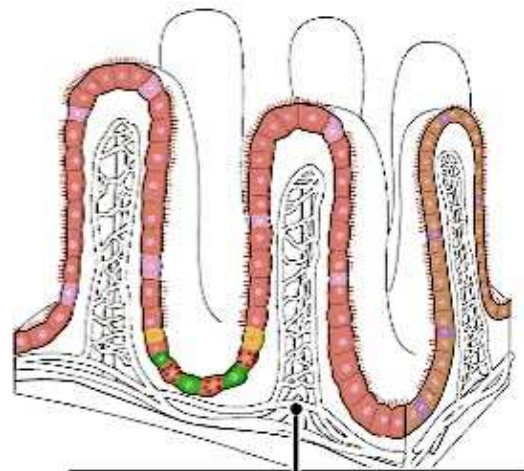
Tissu conducteur

Stomate

50 μm



Endothélium



Capillaires sanguins et vaisseaux lymphatiques

100 μm

Les niveaux d'organisation d'un être vivant

Holobionte

Organisme

Appareil =
Système

Organe

Tissu

Cellule



Les outils d'observation : les microscopes

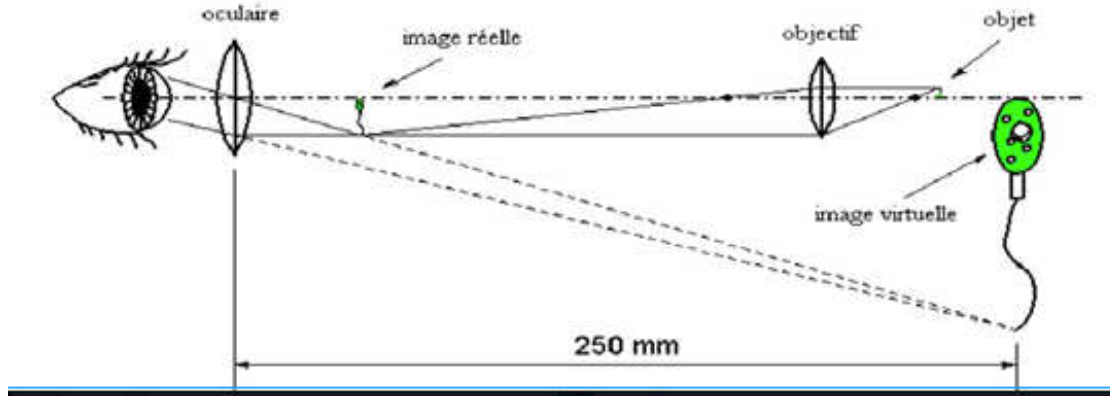
Principe



Grandissement = $\frac{\text{Taille de l'image}}{\text{Taille de l'objet}}$



Grossissement = rapport des angles des rayons lumineux, lié à l'optique utilisé. **Au microscope, c'est le produit des grossissements des deux lentilles, objectif et oculaire.**



Les microscopes photoniques

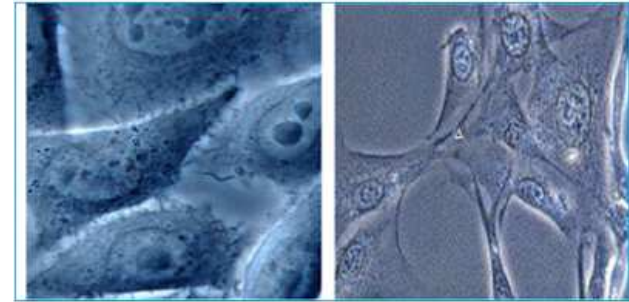
- À fond clair →



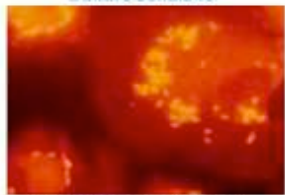
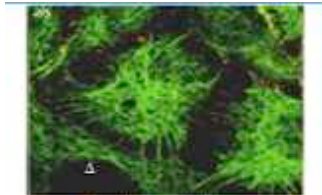
- À fond noir ←

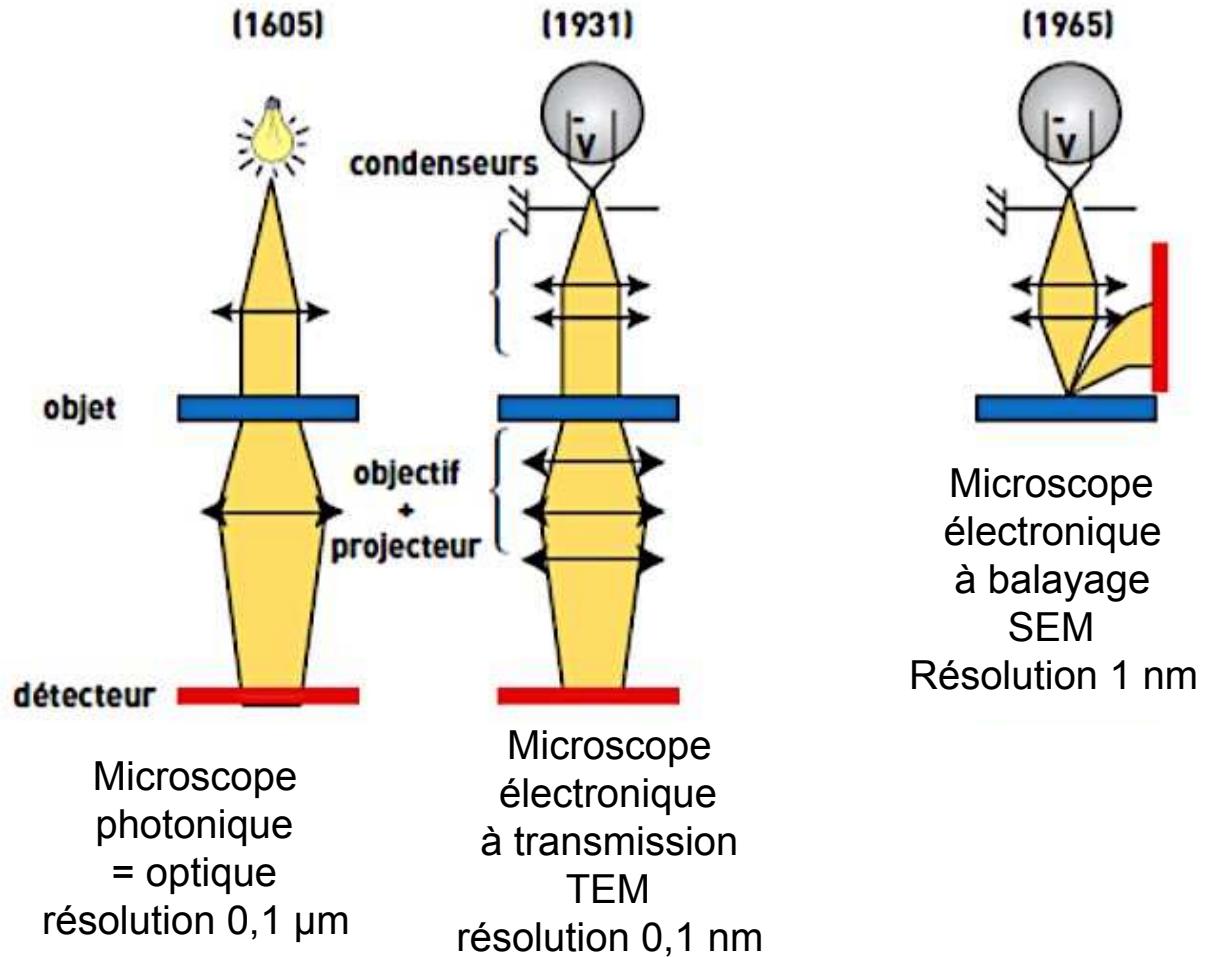


- À contraste de phase



- À fluorescence ←



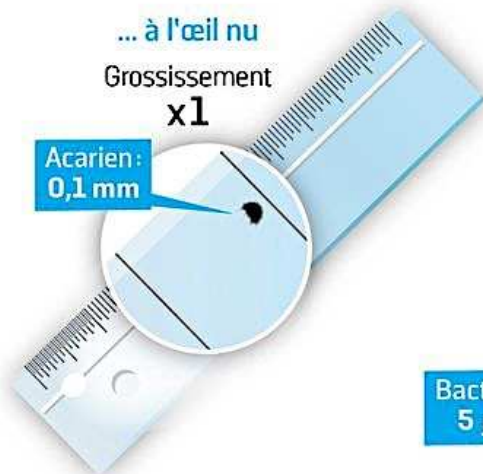


Ce qu'on peut observer...

... à l'œil nu

Grossissement
x1

Acarien :
0,1 mm

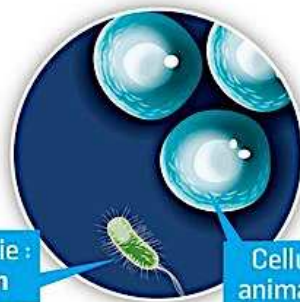


... au microscope
classique

Grossissement
x100

Bactérie :
5 µm

Cellule
animale :
20 µm

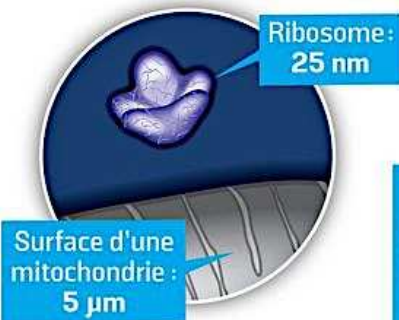


... au microscope électronique
à transmission

Grossissement
x10 000

Ribosome :
25 nm

Surface d'une
mitochondrie :
5 µm



... avec le microscope
Titan Krios

Grossissement
x1 000 000

Protéine
amyloïde :
Résolution
de moins
de 1 nm

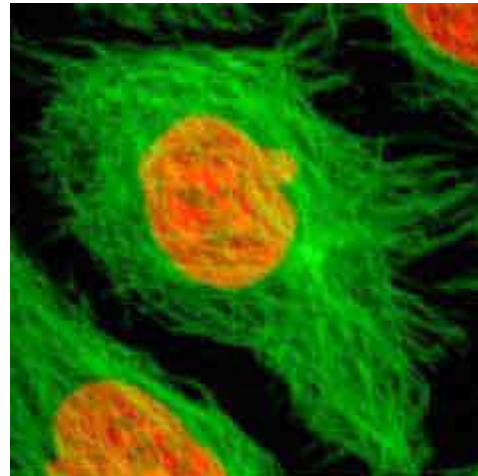
Les atomes
deviennent
visibles



Le microscope à (épi)fluorescence

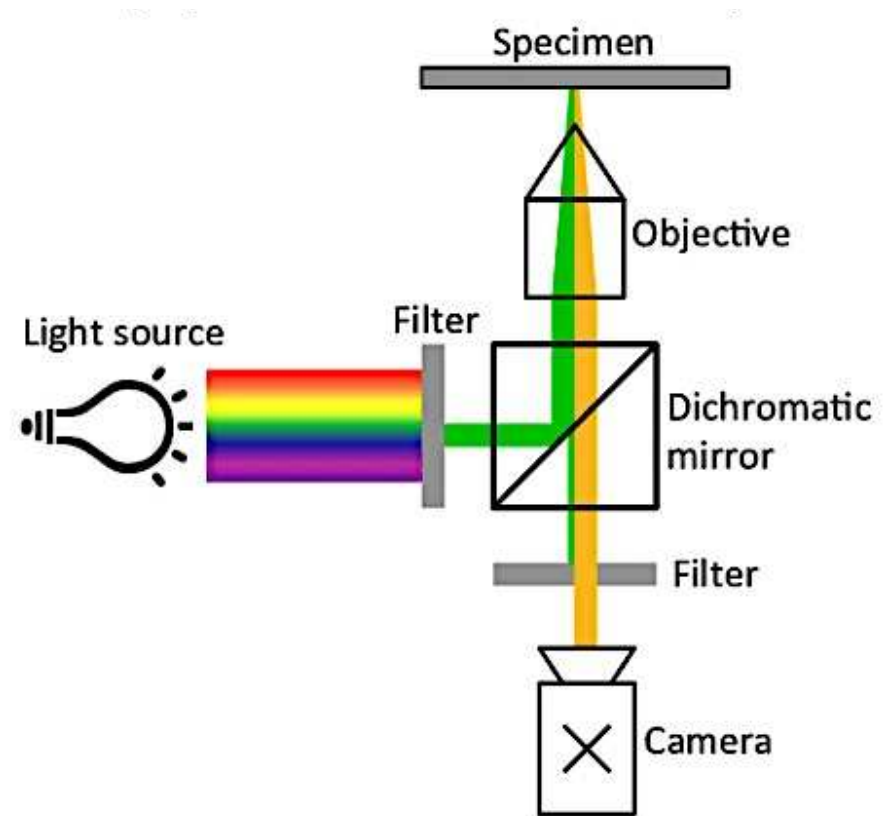
Marquage d'une molécule avec un fluorochrome puis observation avec la longueur d'onde qui excite le fluorochrome.

On peut superposer plusieurs images.



Cellules en interphase :
- microtubules marqués par des anticorps couplés au FITC
- chromatine traitée par un colorant qui fluoresce en orange.

Source : snv-jussieu



Source : thèse de Feindenhans', 2013



Comparaison des microscopies

Type de microscopie	Type d'objet	Résolution	Champ d'application
Photonique = optique	Tissu en coupe fine, culture de cellules	0,1 μm	Observation de cellules vivantes ou colorées
Photonique à épifluorescence	Cellules marquées	0,2 μm	Localisation de molécule marquée
Électronique à transmission MET	Tissu à grosse molécule	0,1 nm	Détails cellulaires, marquage possible (radioactif ou par grain d'or)
Électronique à balayage MEB	Organisme à assemblage de molécules	1 nm	Effet de relief

BILAN

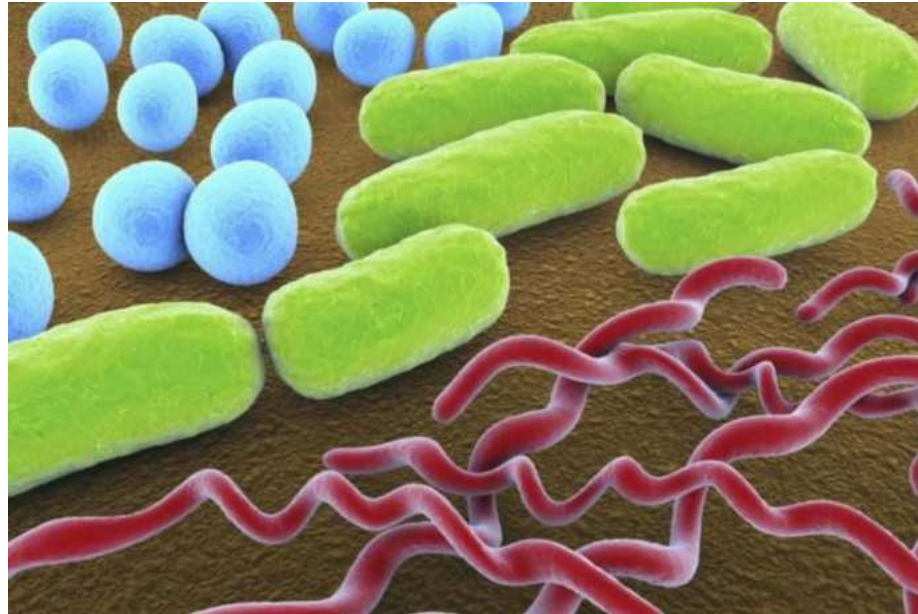
Toutes ces formes de vie reposent
sur la cellule, unité du vivant.

➤ Mini-Quizz 1

2. Les bactéries, des êtres unicellulaires

coques

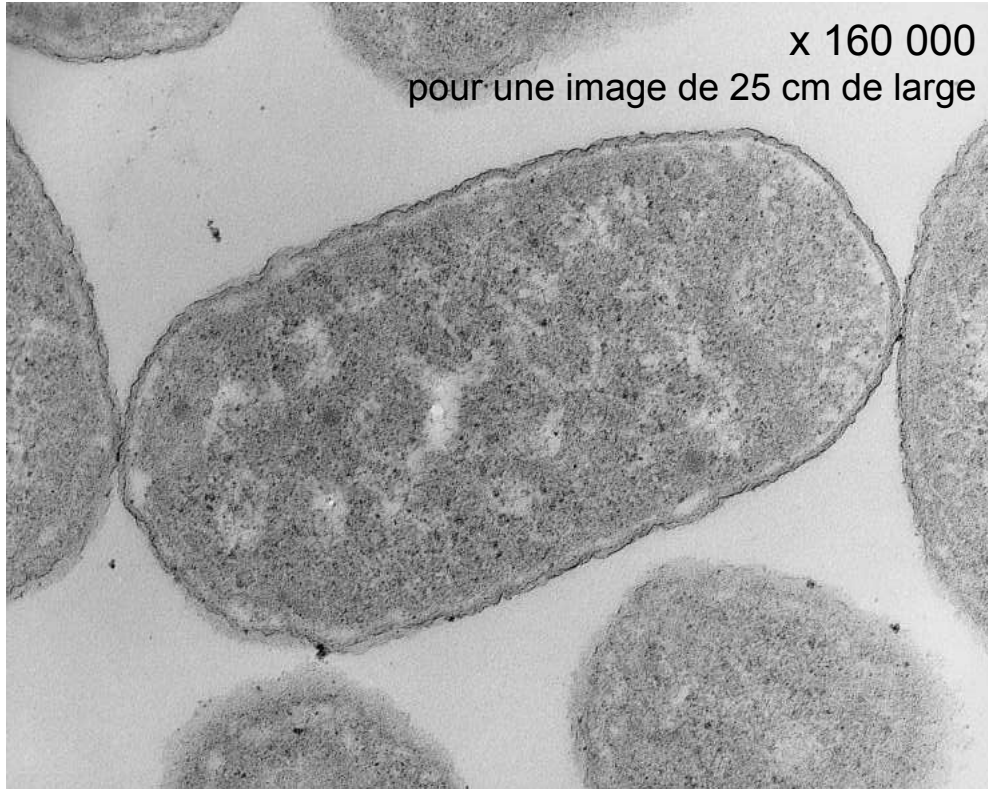
Image colorisée et
construite à partir
de clichés de MEB



bacilles

spirochètes

Escherichia coli, modèle bactérien

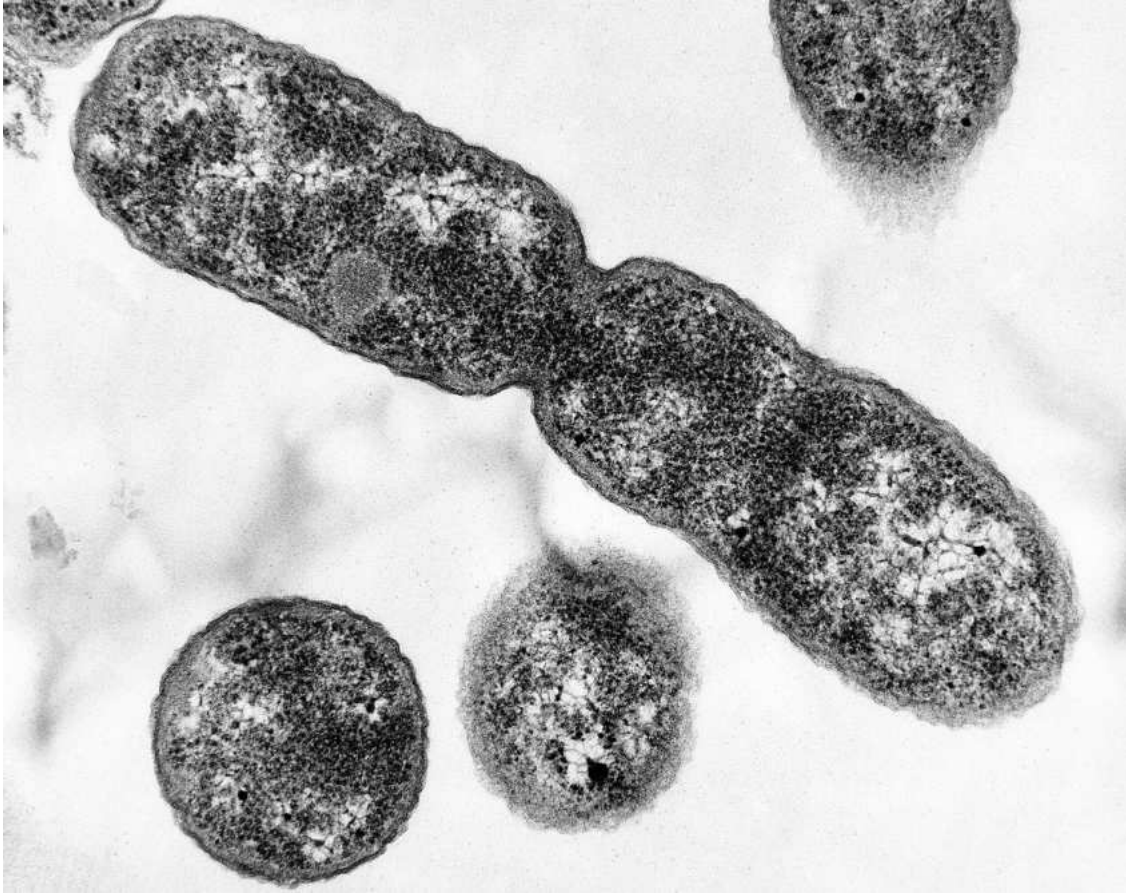


Source : Science Photo Library



x 12 000
pour une image de 7 cm de large

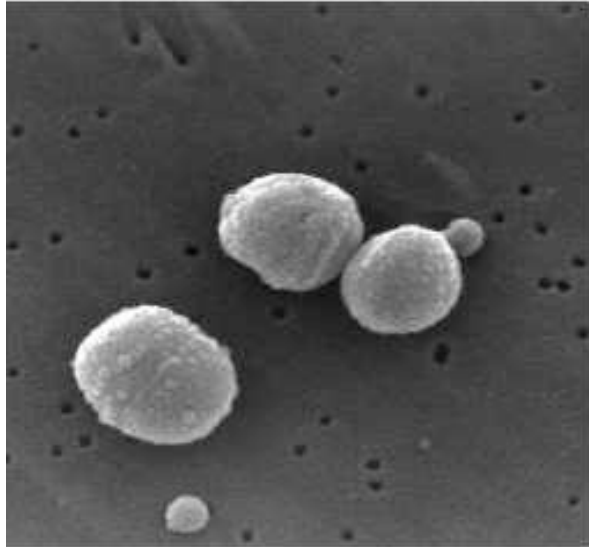
Micrographies au MET de bactérie *Escherichia coli*



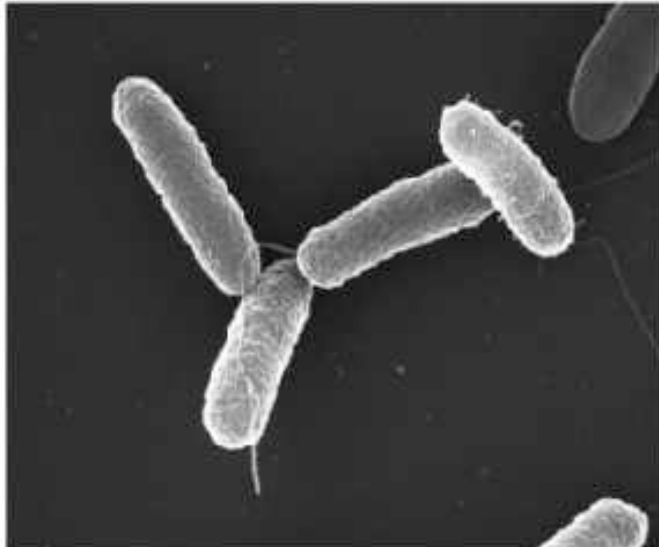
Division d'*Escherichia coli* (MET x 12 000 pour 2,5 cm de large)

Des êtres unicellulaires petits aux formes variées

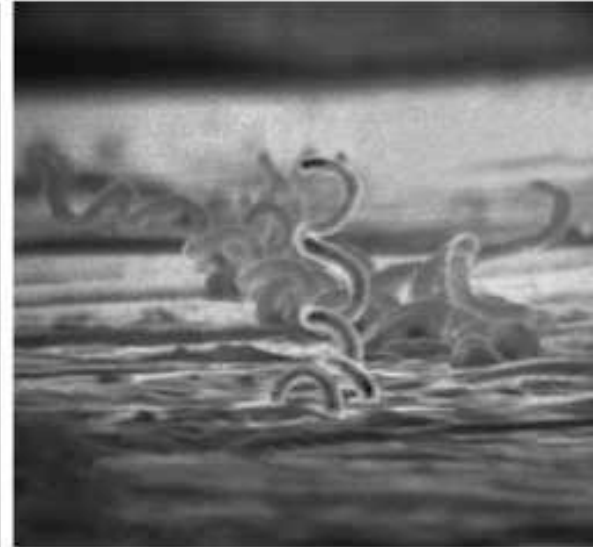
Taille : 0,3 à 10 μm
La majorité mesure 1 à 2 μm



Streptococcus pneumoniae



Salmonella typhimurium



Treponema pallidum

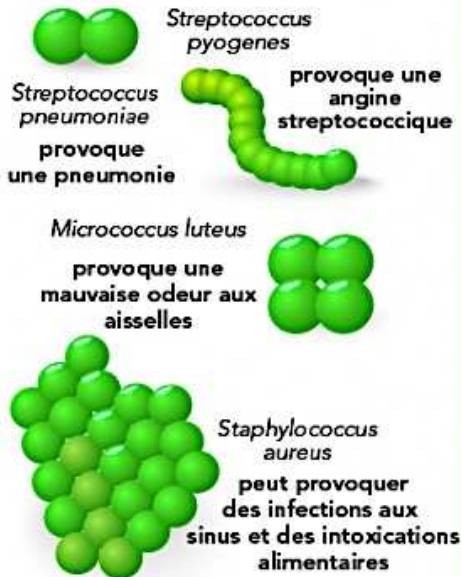
Des êtres unicellulaires petits aux formes variées

Taille
0,1 à 10 μm

La majorité mesure
1 à 2 μm

FORMES DE BACTÉRIES

SPHÉRIQUES (COQUES)



EN FORME DE BÂTONNETS (BACILLES)

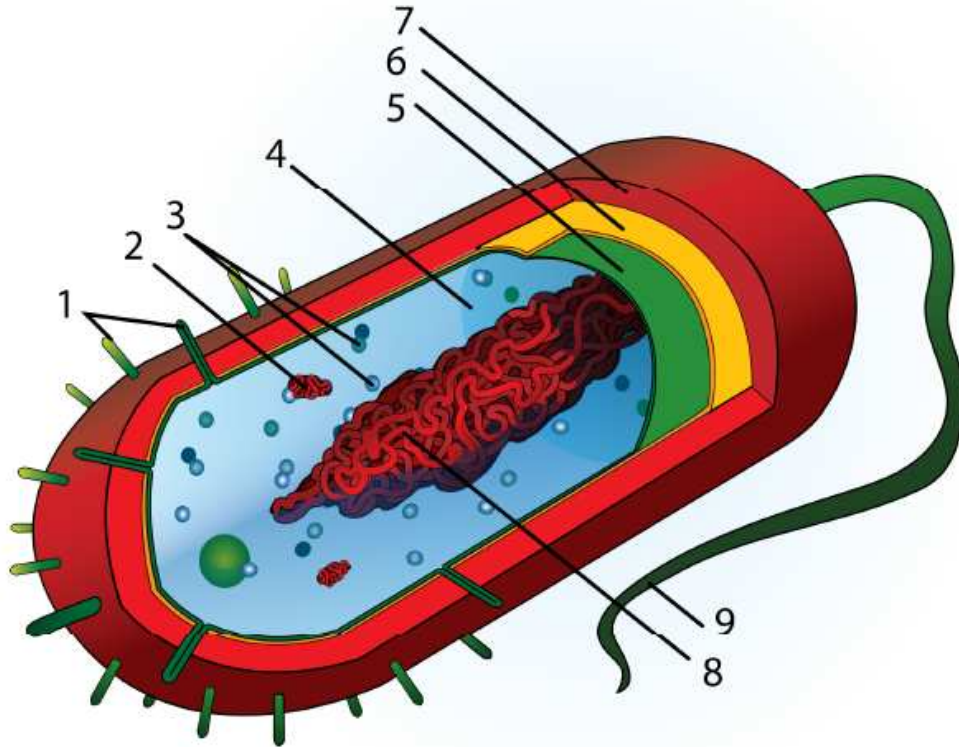


SPIRALÉES (ET AUTRES)





Ultrastructure d'une bactérie-type



Structure d'une bactérie type, montrant les éléments suivants :

- (1) pili,
- (2) plasmides,
- (3) ribosomes,
- (4) cytoplasme,
- (5) membrane plasmique,
- (6) paroi cellulaire,
- (7) capsule,
- (8) nucléoïde
- (9) flagelle.

Tailles relatives des cellules et de leurs composants

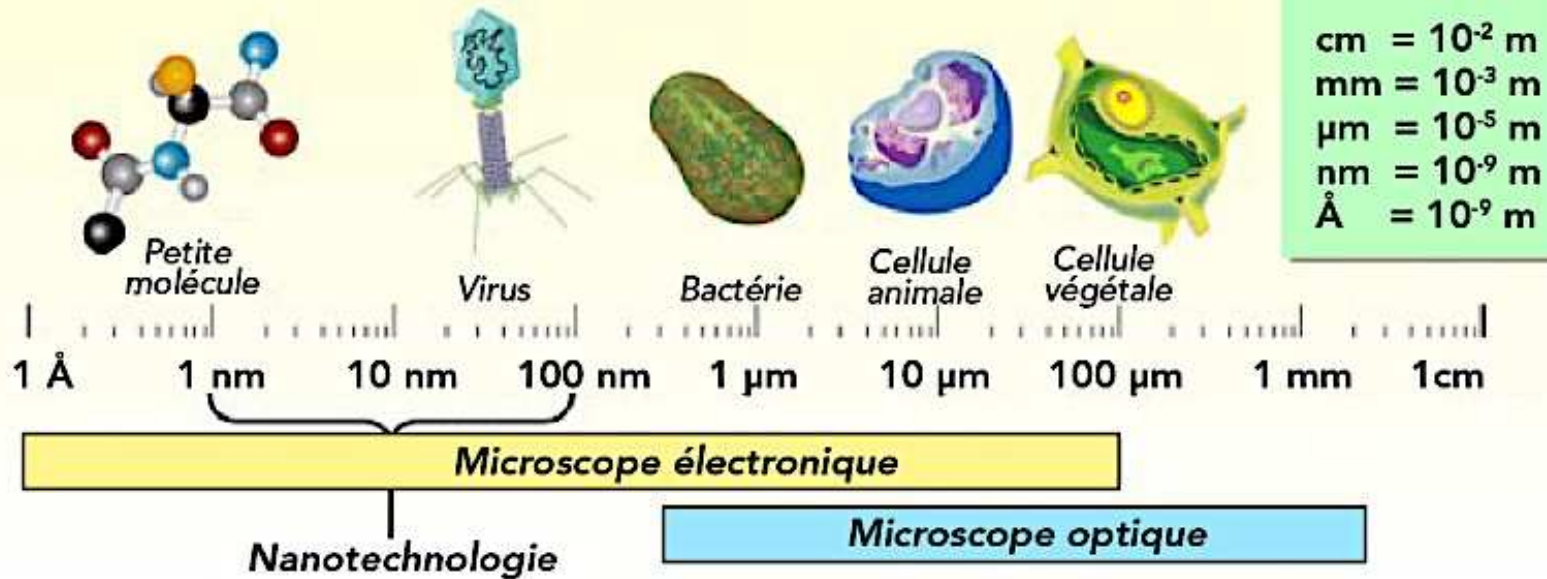
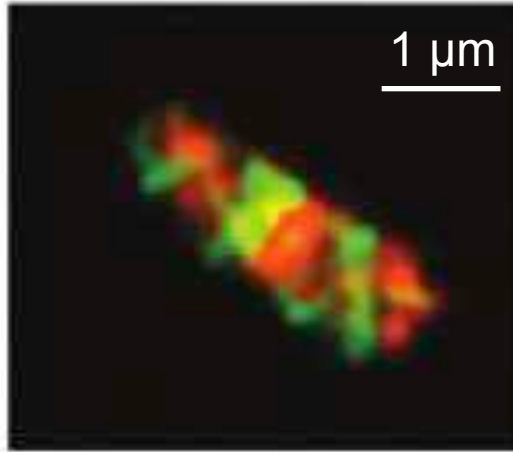


Diagramme montrant les tailles relatives de certains éléments biologiques, incluant la bactérie, qui mesure généralement environ 1 à 2 µm de diamètre.



Un cytosquelette bactérien

Immunofluorescence permettant de marquer la protéine FtsZ (rouge) et MreB (vert) chez *E. coli*. Les fluorescences sont superposées.



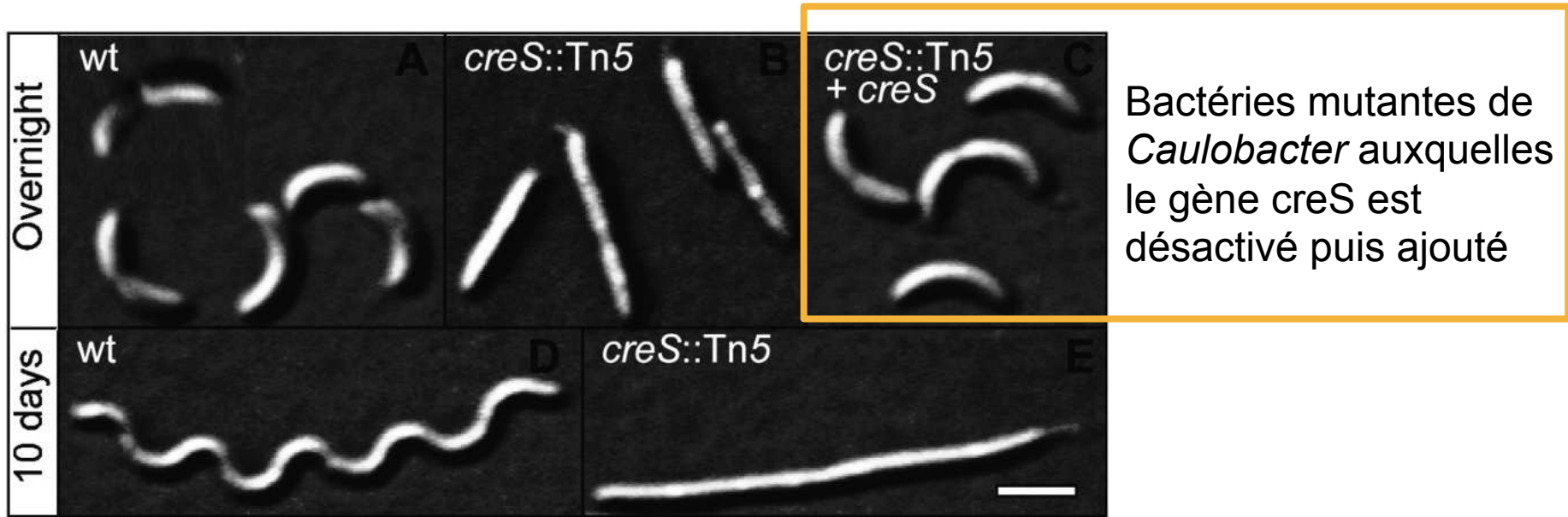
Bactérie montrant une hélice de MreB sous-membranaire => forme

FtsZ est disposée de façon hétérogène



Bactérie en division montrant un anneau de FtsZ formant un sillon de division

Un cytosquelette bactérien



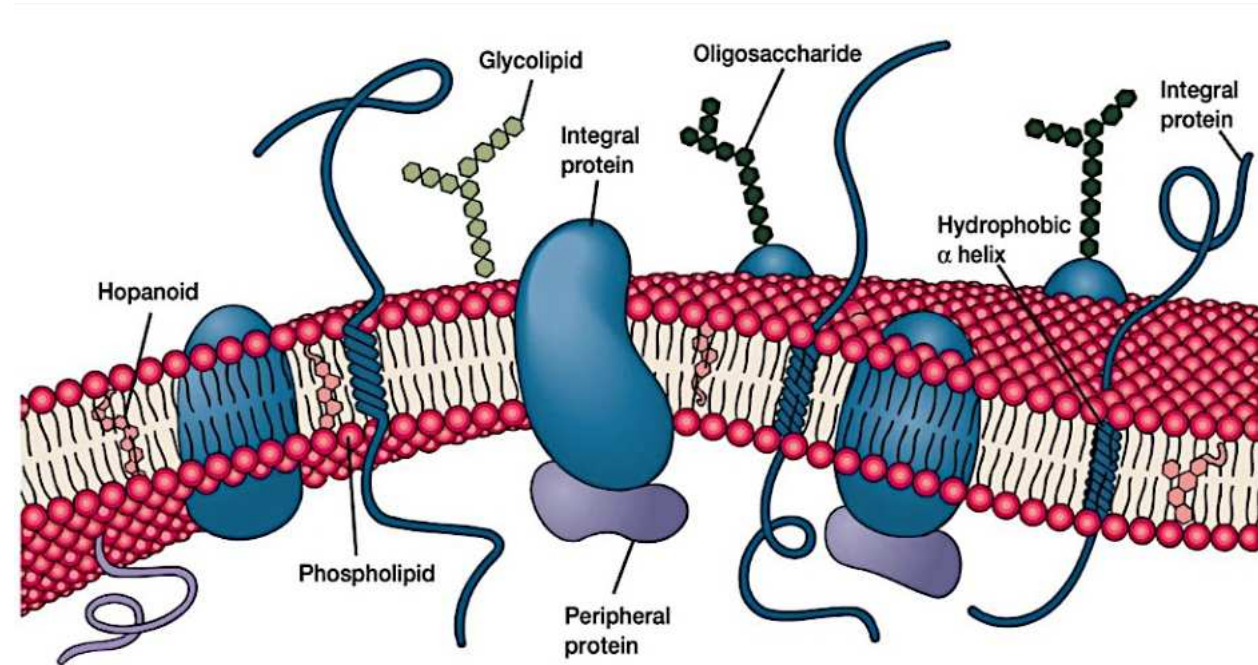
Bactéries mutantes de *Caulobacter* auxquelles le gène *creS* est désactivé puis ajouté

Bactérie *Caulobacter* wt
wild type (= sauvage)

Bactéries mutantes de
Caulobacter auxquelles le
gène *creS* est désactivé



La membrane des bactéries



Bicouche de phospholipides avec des protéines intégrées assurant des fonctions variées.

Absence de cholestérol mais un équivalent (= hopanoïde).

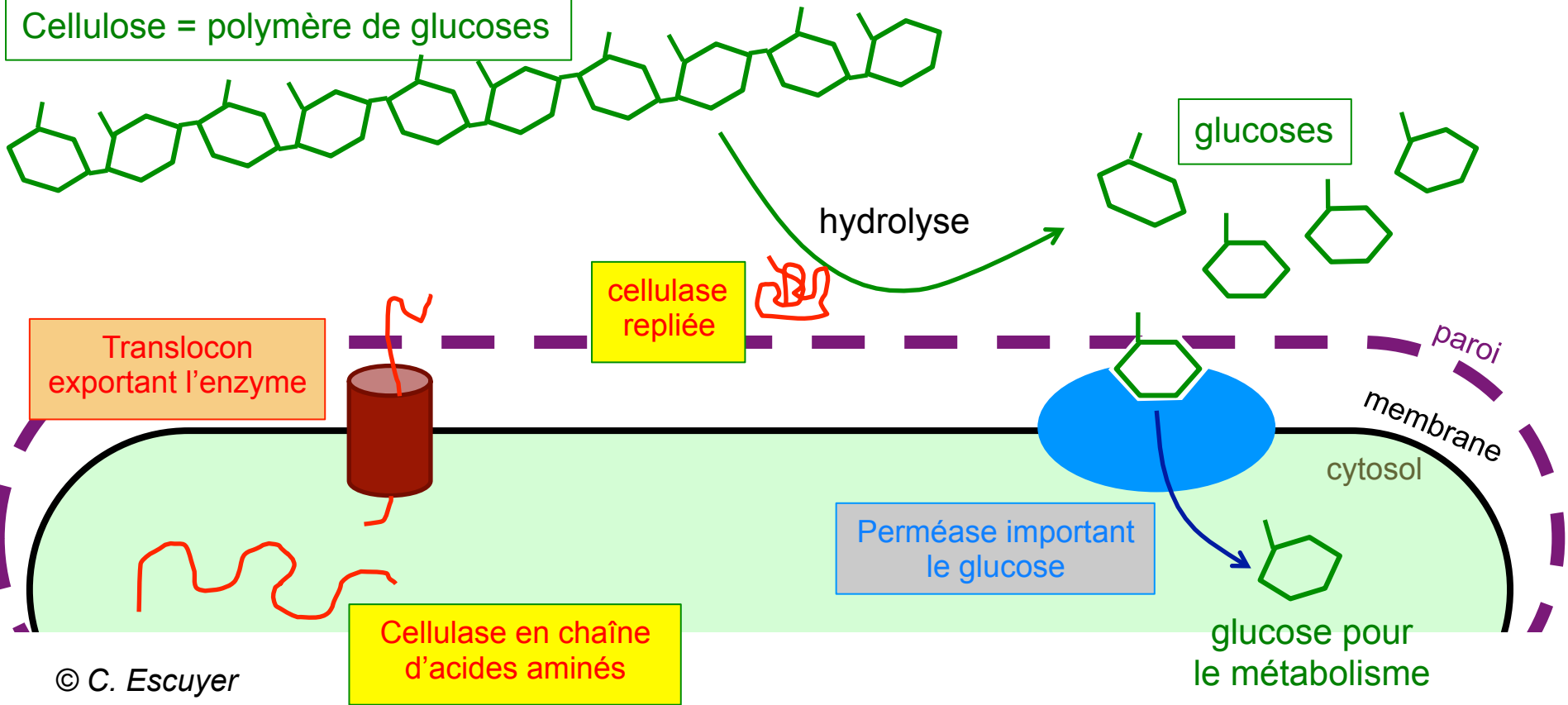
Les protéines de la membrane

Présence de protéines (65% en masse) :

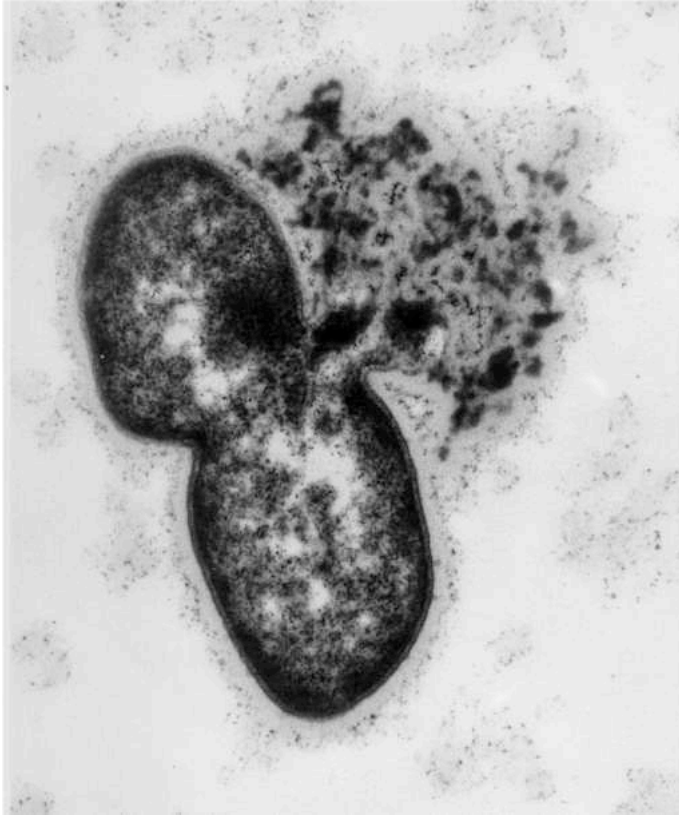
- **perméases** faisant entrer et sortir des molécules ou ions ;
- protéines impliquées dans la **conversion d'énergie** ;
- protéines impliquées dans la **sécrétion d'enzyme d'hydrolyse** (translocons).

L'absorption des nutriments

Cellulose = polymère de glucoses



La paroi des bactéries



L'hydrolyse de la paroi de peptidoglycane induit l'éclatement de la bactérie

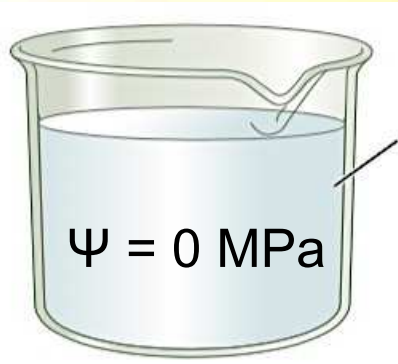
>> Paroi = enveloppe rigide de la bactérie, évitant son éclatement.

Mais pourquoi elle éclate ?

Les cellules « attirent l'eau »

Une approche simple du potentiel hydrique ψ

Potentiel hydrique ψ = grandeur qui représente la « quantité d'eau disponible » d'un milieu.

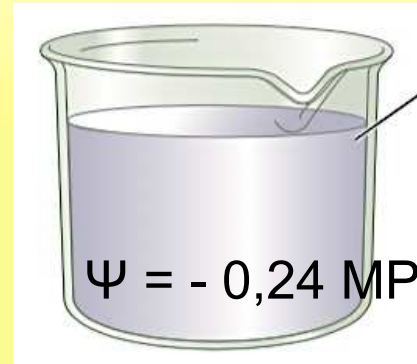


Eau pure

$\psi = 0 \text{ MPa}$

À pression atmosphérique

Référence



Solution de
saccharose à
 $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$

$\psi = -0,24 \text{ MPa}$

Compartiment considéré comme moins hydraté que l'état de référence => $\psi < 0$

Les cellules « attirent l'eau »

Ψ toujours < 0 car l'eau liée aux solutés est moins disponible que l'eau libre. La concentration en solutés détermine le potentiel **osmotique** d'un milieu.

L'eau va spontanément vers les milieux moins hydratés, donc diffuse des hauts vers les bas potentiels hydriques.

Quelques valeurs de Ψ

Cytoplasme de cellule
 $\Psi = - 0,5$ à $- 1,0$ MPa

Plasma sanguin
 $\Psi = - 0,8$ MPa

Eau douce
 $\Psi = 0$ à $- 0,01$ MPa

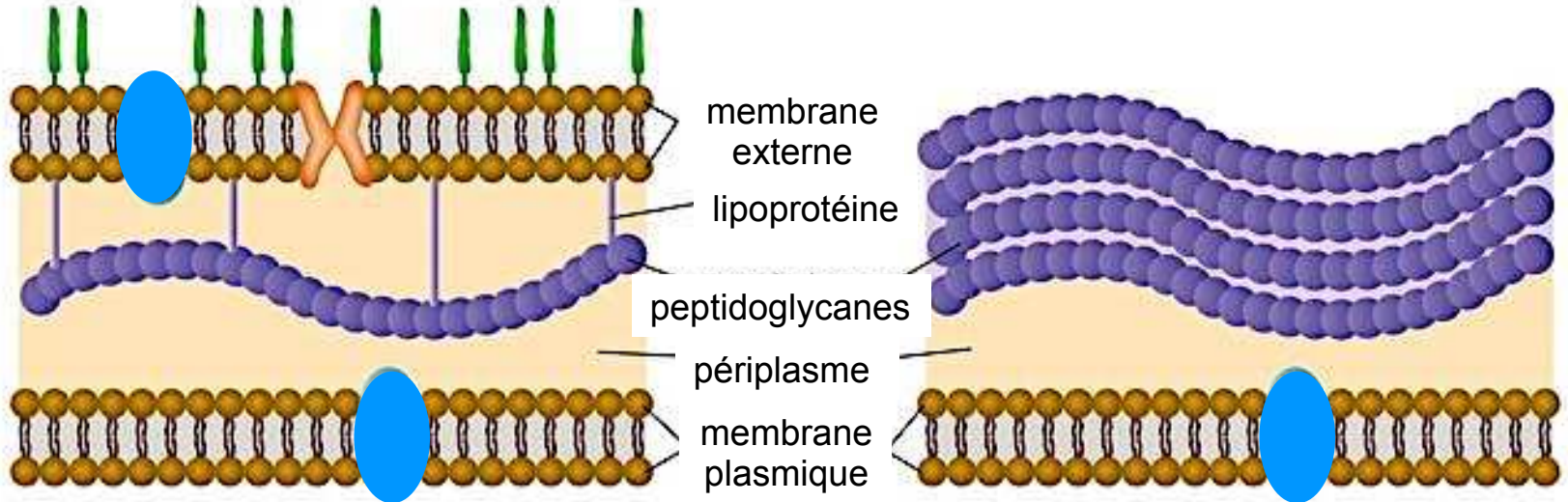
Eau de mer
 $\Psi = - 2,6$ MPa



Les parois bactériennes

GRAM NEGATIF

GRAM POSITIF



Lipopolysaccharide
LPS

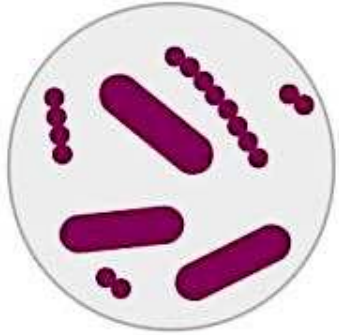
porine

Protéine
membranaire

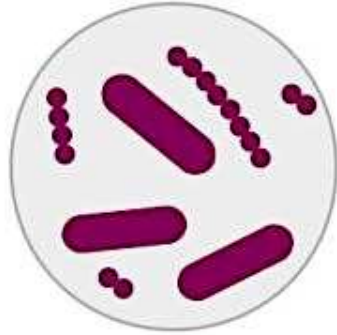
Source : d'après Designua, Ukraine

La coloration de Gram

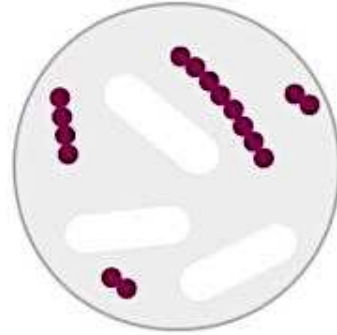
Coloration primaire
Cristal violet



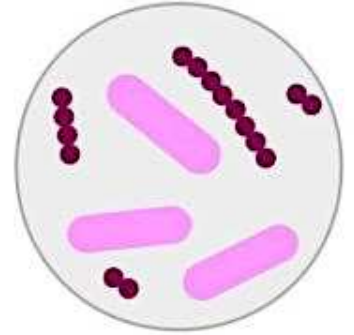
Mordantage
Lugol



Décoloration
Éthanol



Coloration secondaire
Fuschine



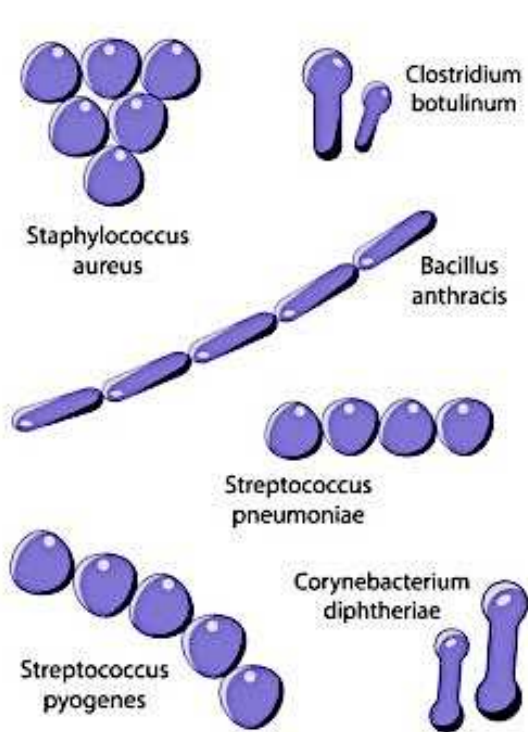
Gram+ en violet
Gram- en rose

Reconnaître les bactéries

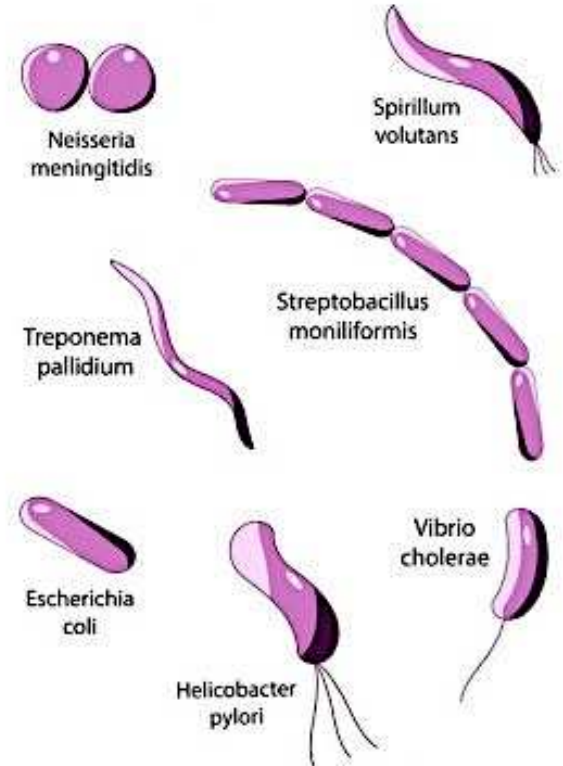
Critères de

- Forme
- Taille
- Coloration
- Assemblages possibles

Gram positive bacteria

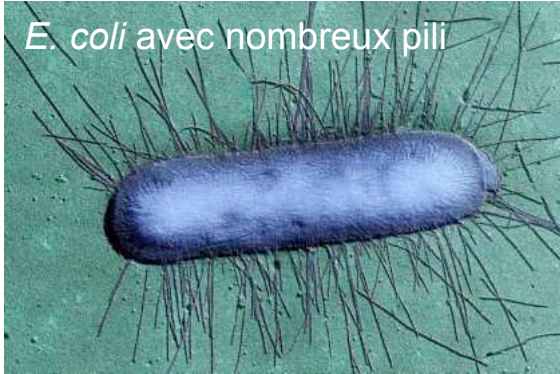


Gram negative bacteria





Des variations possibles en surface

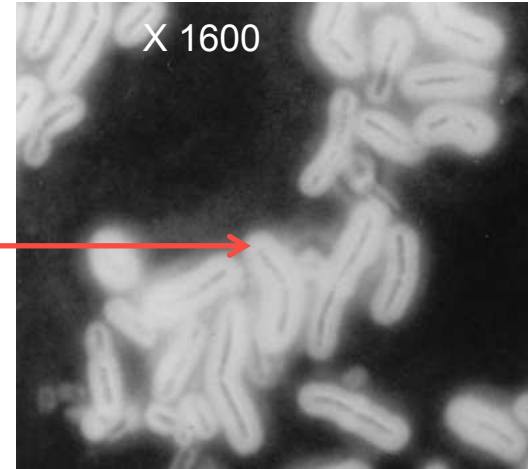


E. coli avec nombreux pili

Source : pasteur.fr

- Capsule

Exemple : *Bacillus anthracis*



Source : Mesnage, *Journal of Bacteriology*, 2020

- Pili

- Flagelle



Vibrio au MEB x 4000

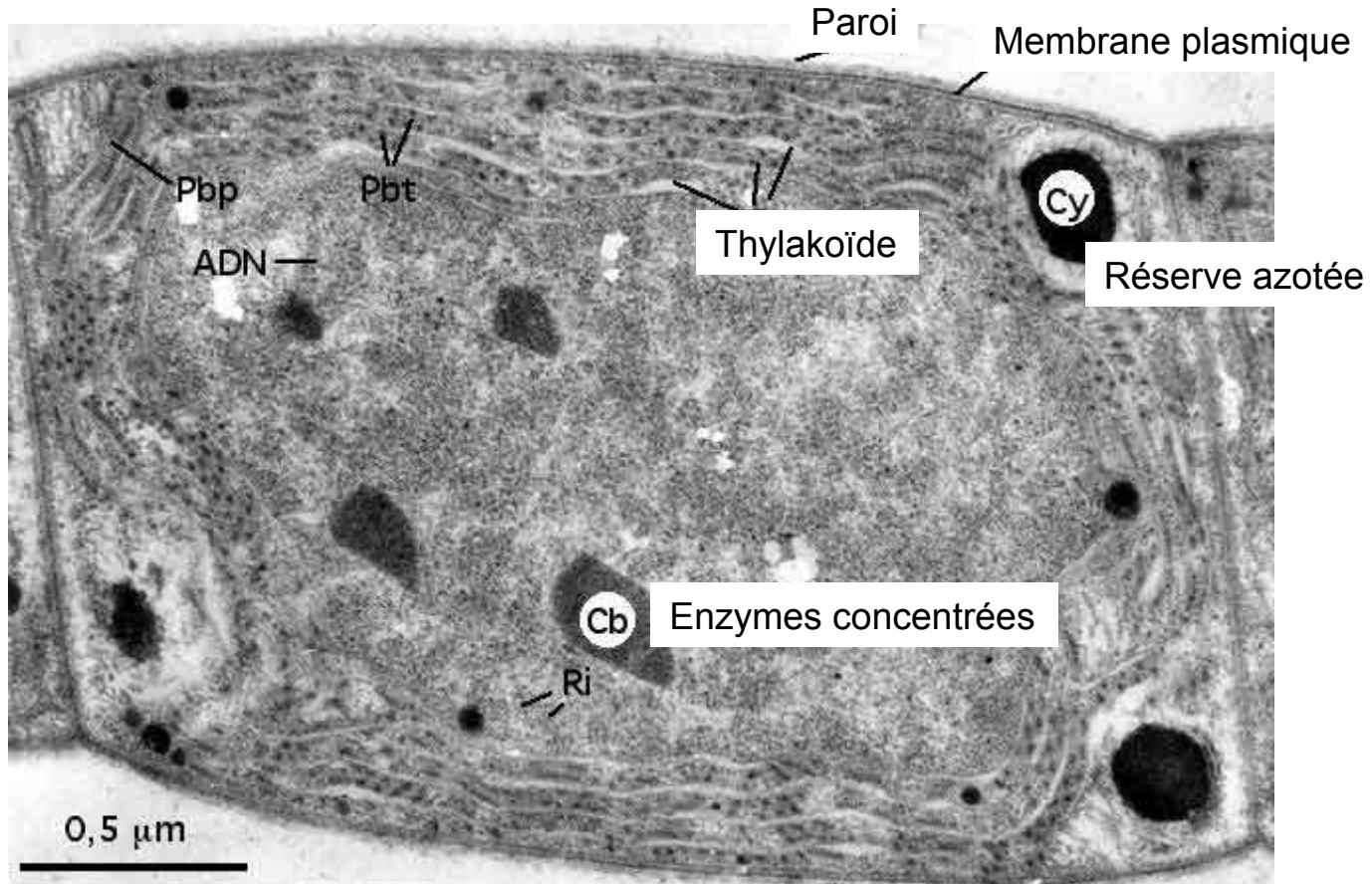
Source : Science Photo Library



Une compartimentation possible

Cyanobactérie
filamenteuse

*Oscillatoria
splendida*





BILAN

- **Unité du monde bactérien**
 - membrane(s) et paroi délimitant un espace non (ou peu) compartimenté
 - chromosome circulaire
- **Diversité touchant les critères suivants**
 - taille, forme, paroi, attributs
 - métabolisme : mode de nutrition, énergie utilisée...
 - génétique, résistance...

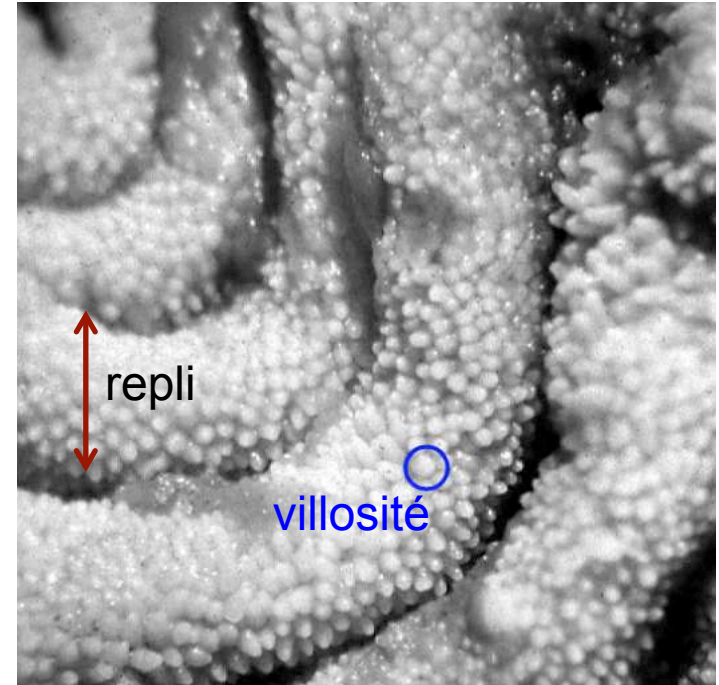
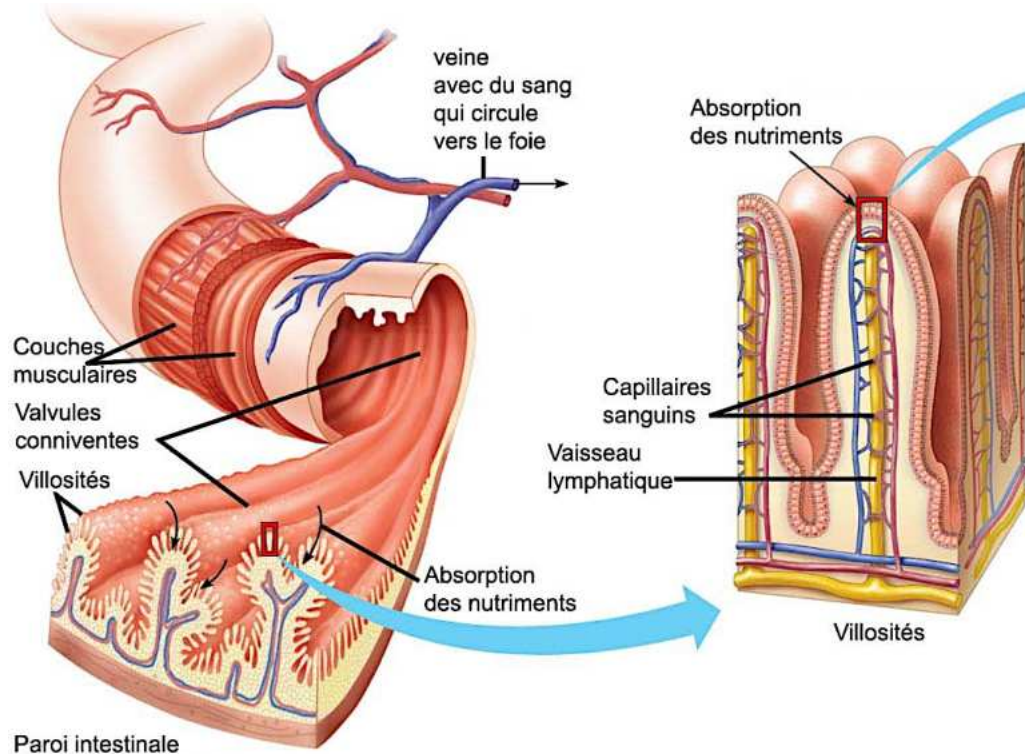
➤ Mini-Quizz 2

3. Les cellules eucaryotes, uni- ou pluricellulaires

3.1. L'entérocyte, un exemple de cellule animale spécialisée

L'entérocyte, un exemple de cellule animale spécialisée

Une villosité augmente la surface par 20 à 100 selon sa taille, en moyenne 50.

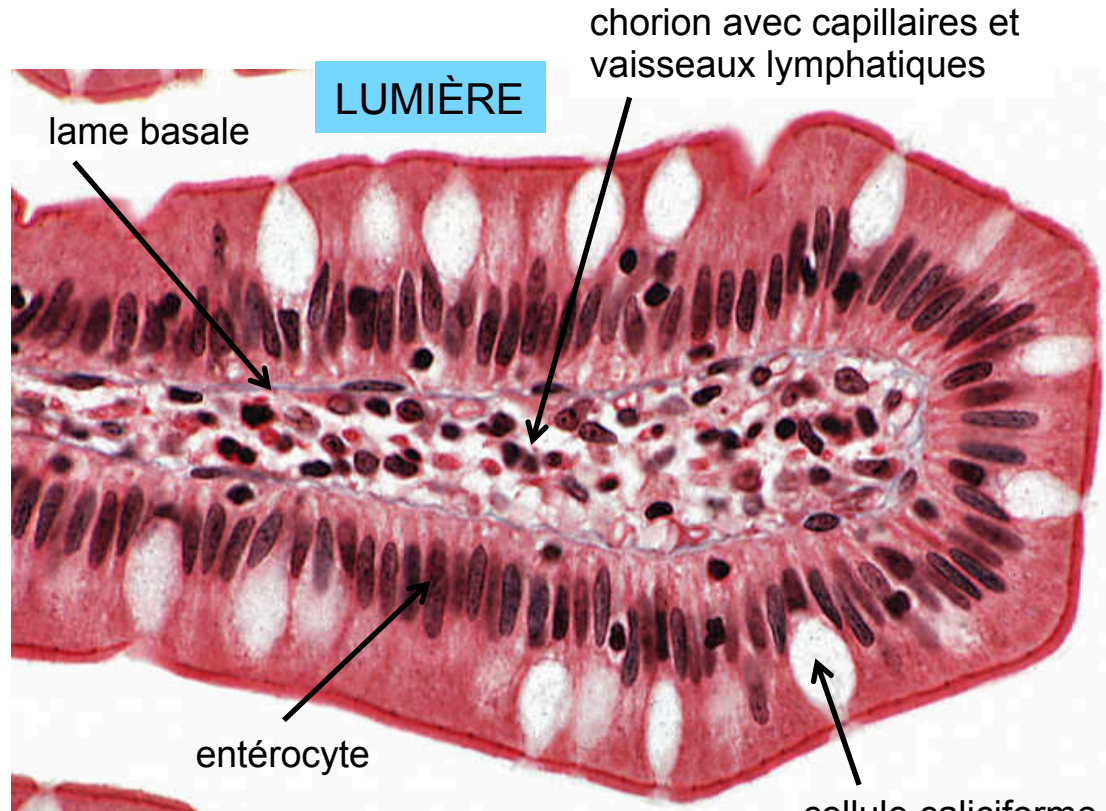


Les villosités augmentent la surface d'échange

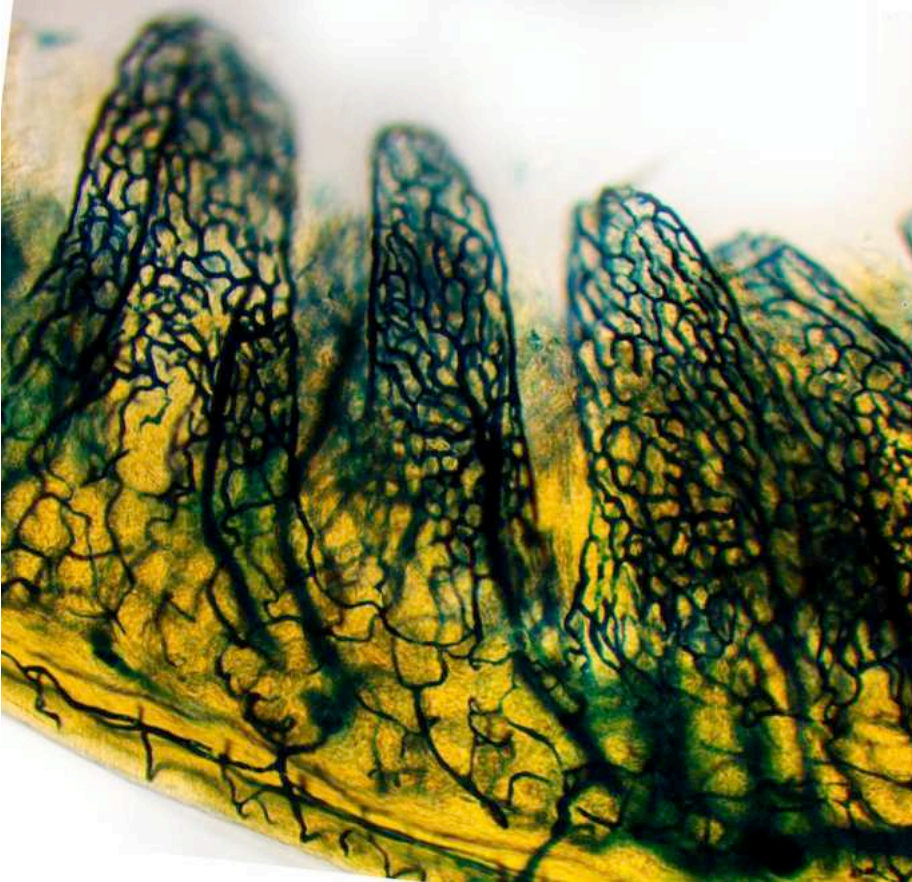


Villosités de Rat au MEB

Coupe de villosité
(MO x 150)



Une vascularisation intense des villosités



Un colorant bleu a été injecté dans les capillaires des villosités intestinales.
x 100

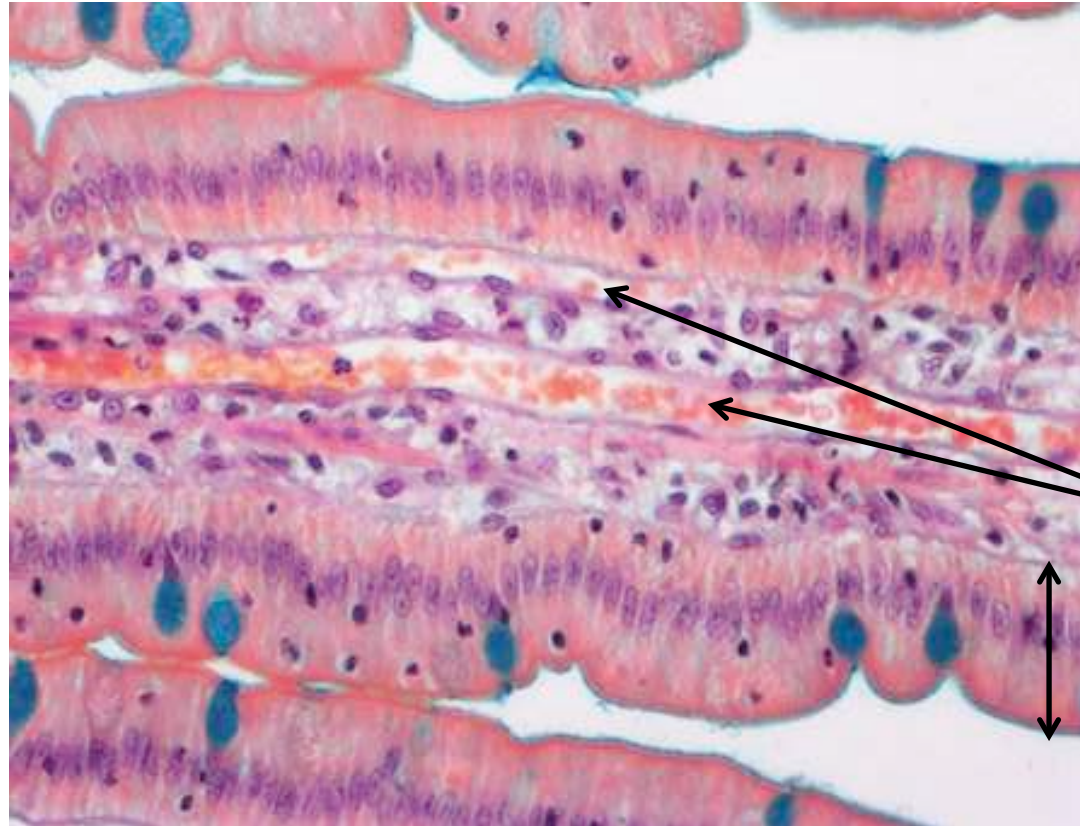
Source : Dr Wheeler

Une vascularisation intense des villosités



SURFACE D'ÉCHANGE

Vaste surface
Intense vascularisation
Fine épaisseur



capillaires

20 μm



Les entérocytes, cellules polarisées

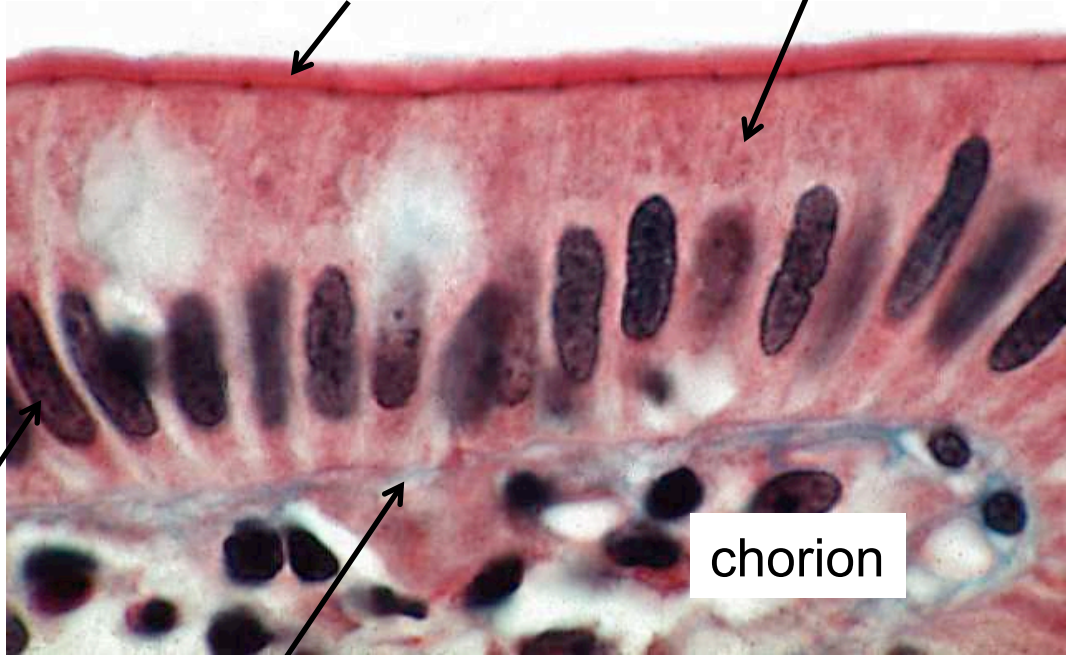
LUMIÈRE

cytoplasme

bordure floue = microvillosités

Pôle apical

Pôle basal



Durée de vie
d'un entérocyte
= 3 jours

chorion

noyau basal

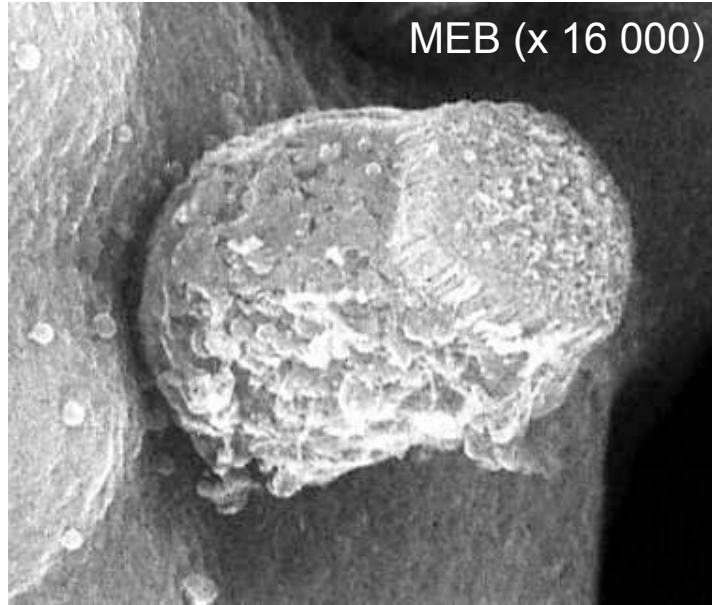
lame basale

Épithélium (MO x 200)

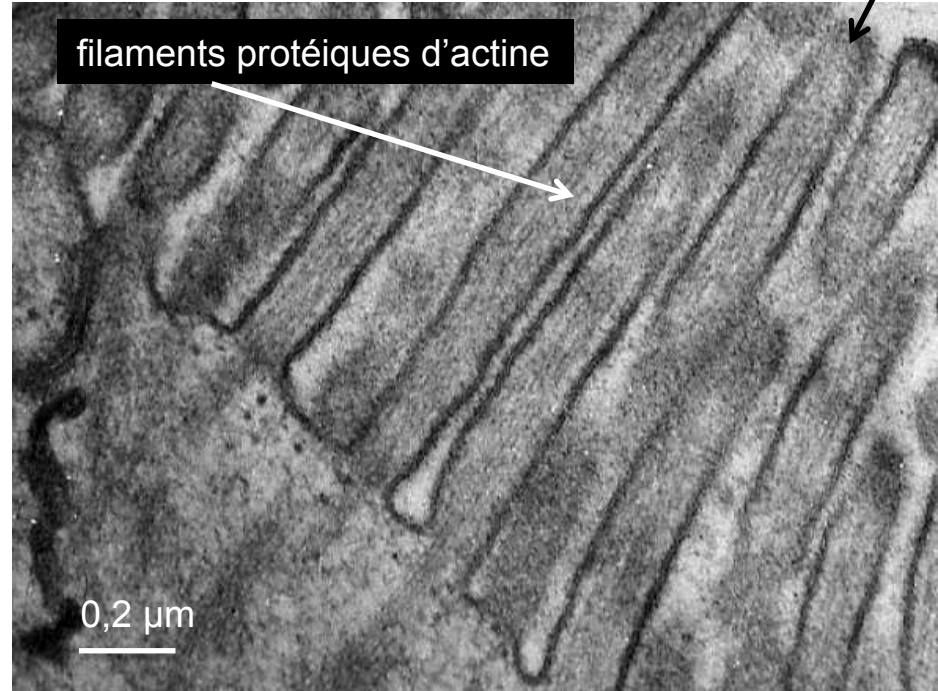
Source : histology.be



Le pôle apical



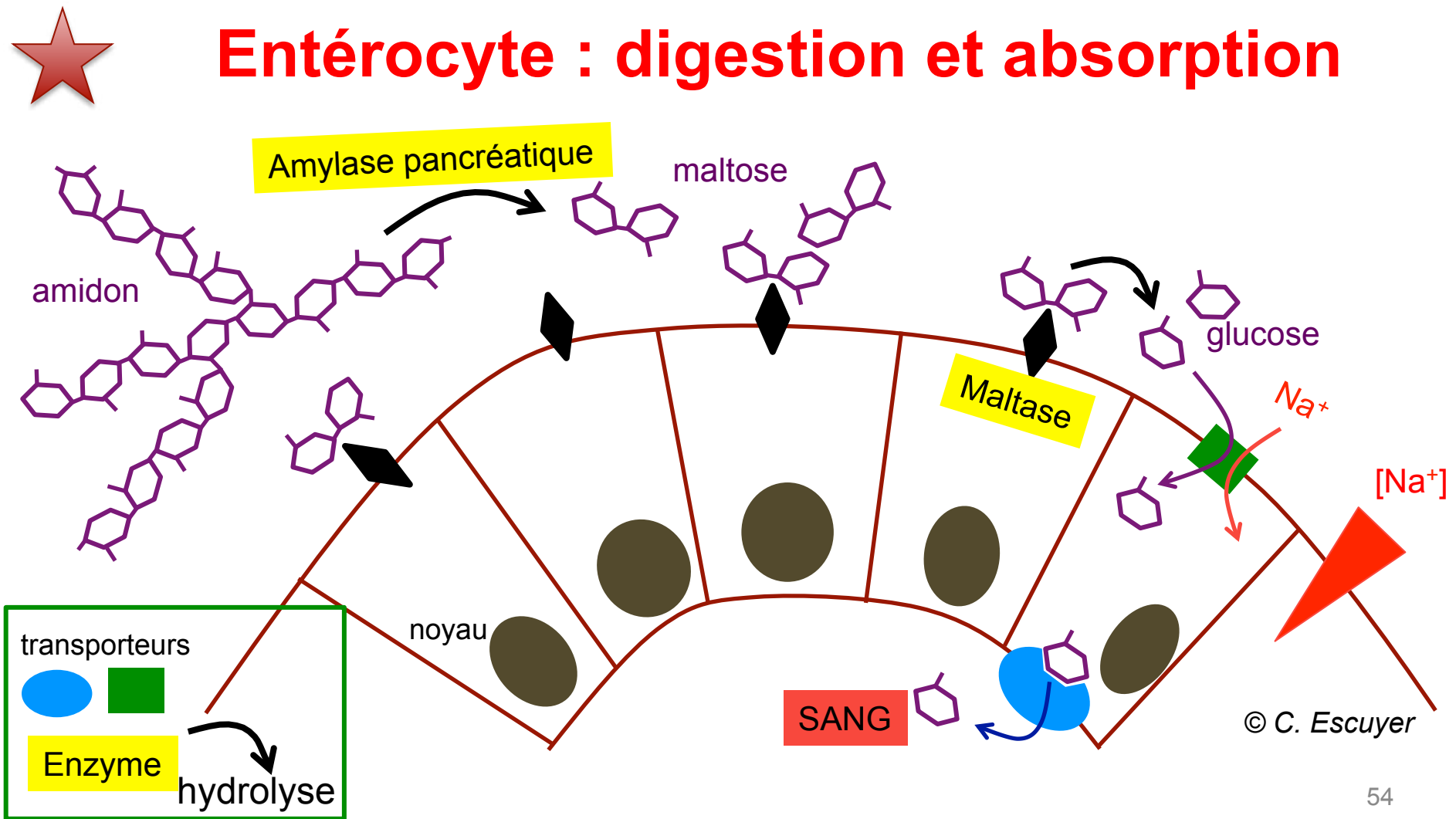
un entérocyte isolé de l'épithélium



Microvillosités (MET)

Une microvillosité augmente la surface d'un facteur 20 à 50, en moyenne 25.

Entérocyte : digestion et absorption

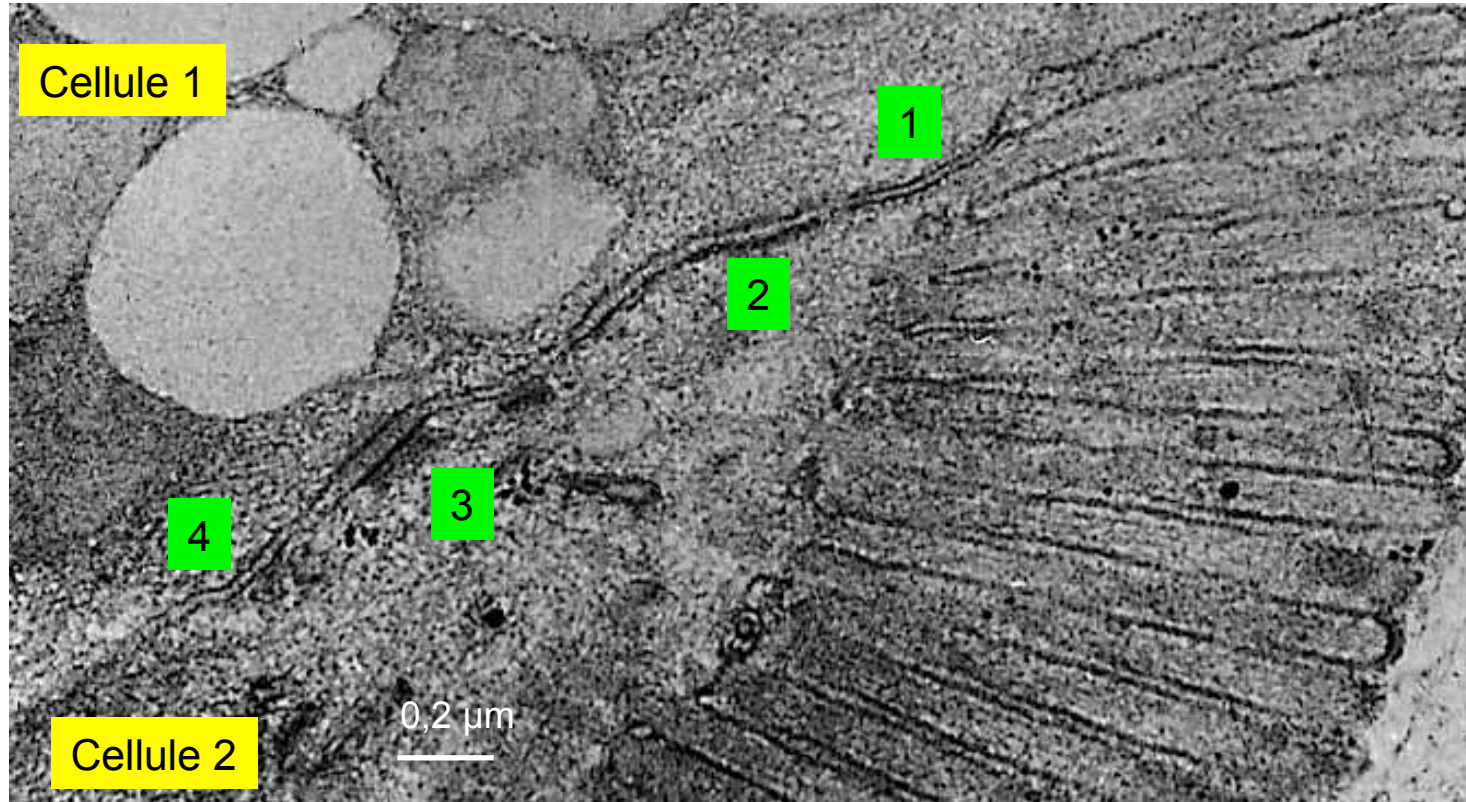


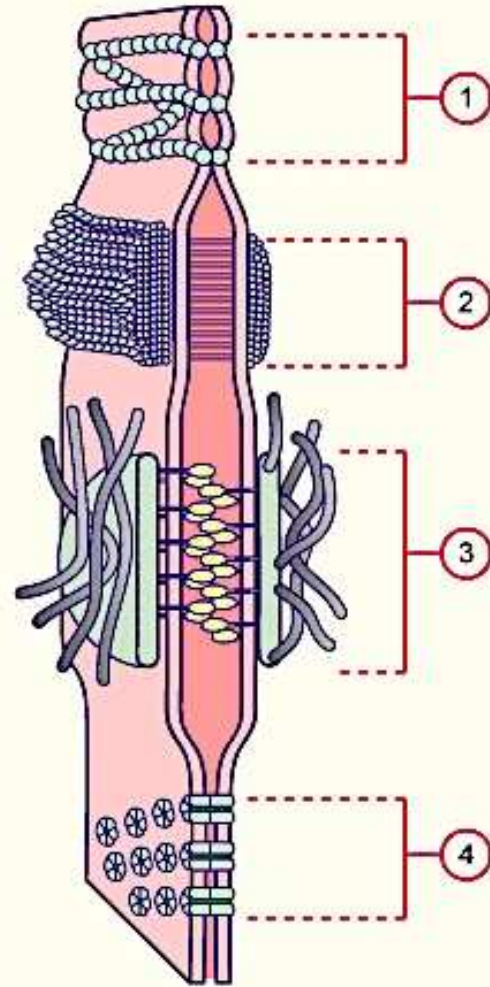
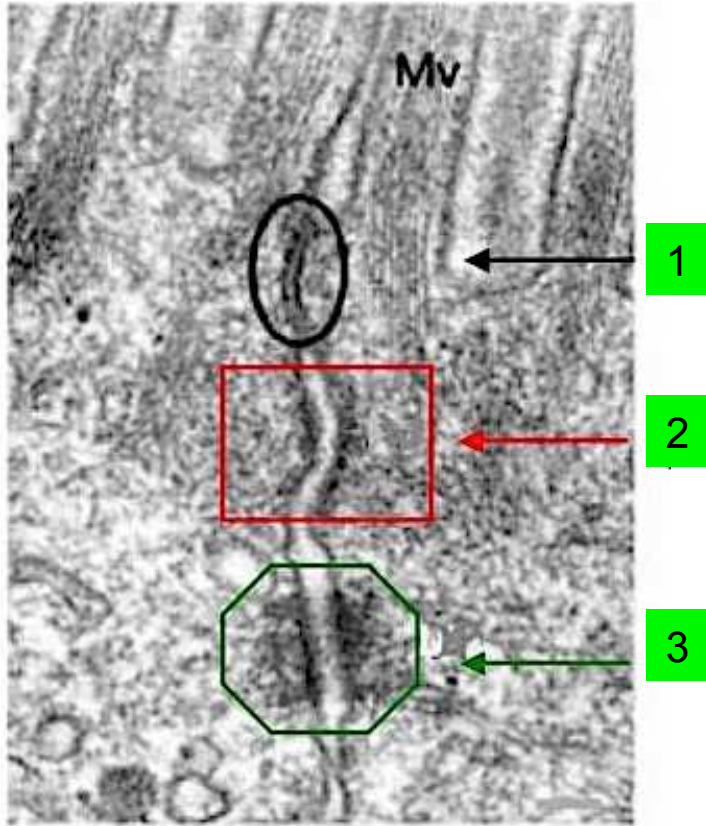


Entérocyte : digestion et absorption

- Glucides et protéines : modèle similaire au cas de l'amidon
- Lipides : diffusion à travers la membrane plasmique ou formation de vésicules

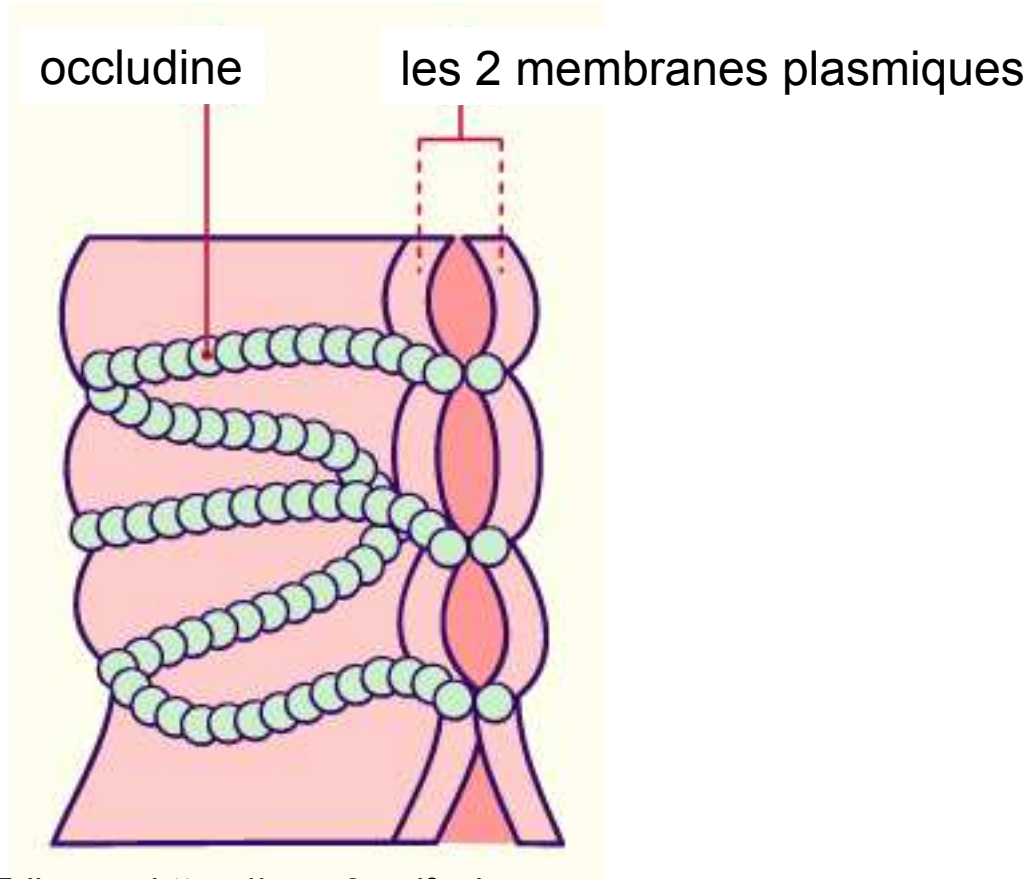
Des cellules liées : les jonctions



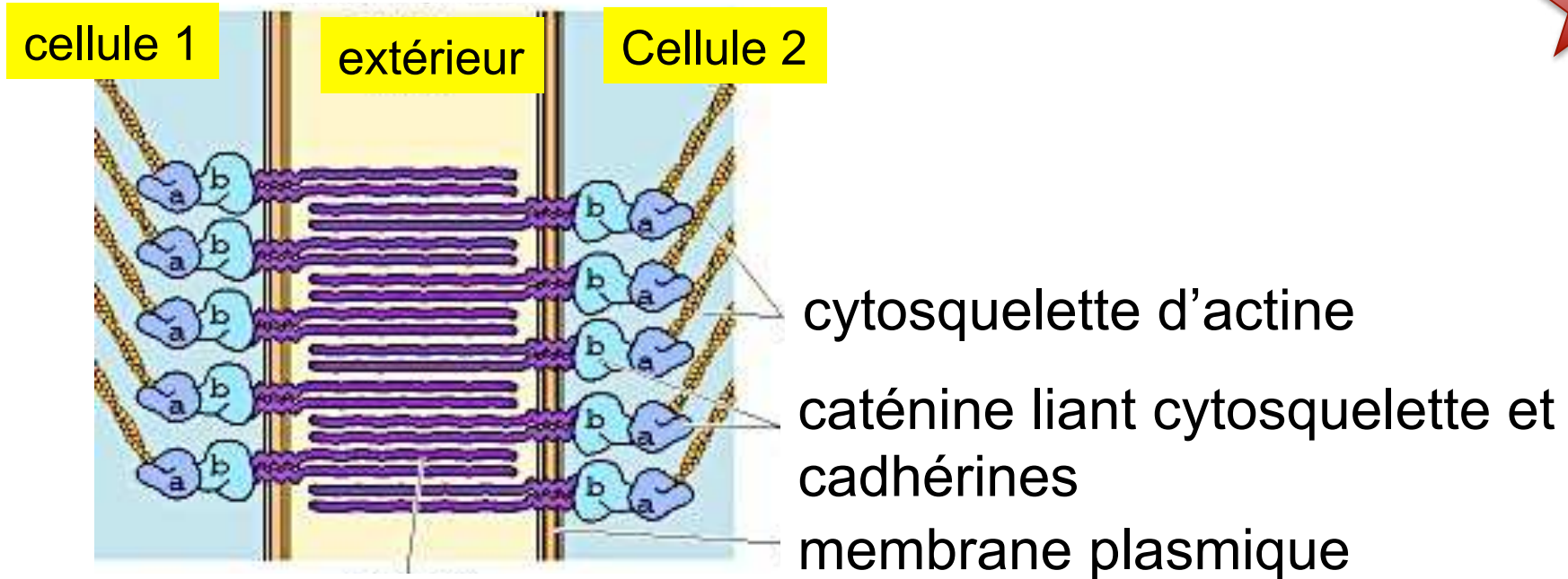




Jonctions étanches = serrées

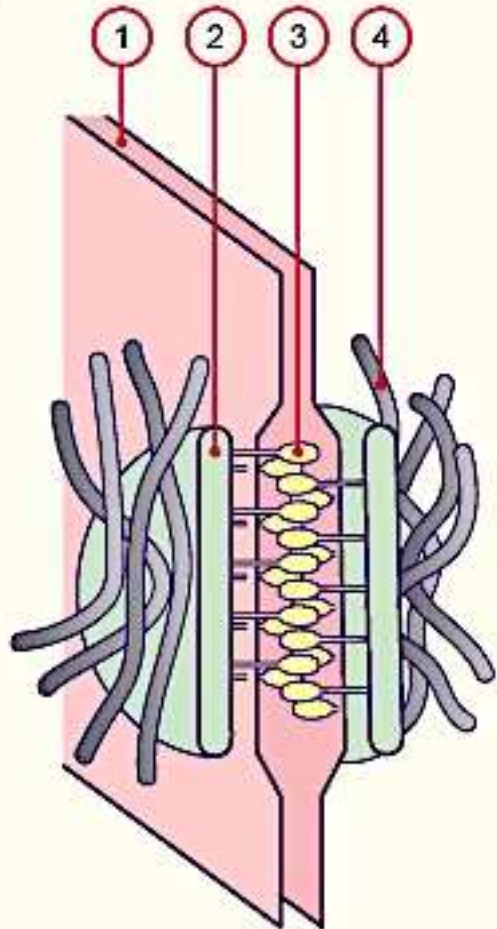


Ceinture d'adhérence = nombreuses interactions



cadhérines = protéines se liant entre elles grâce aux ions Ca^{2+}

Jonctions adhérentes = desmosome



1 = espace étroit entre les deux membranes

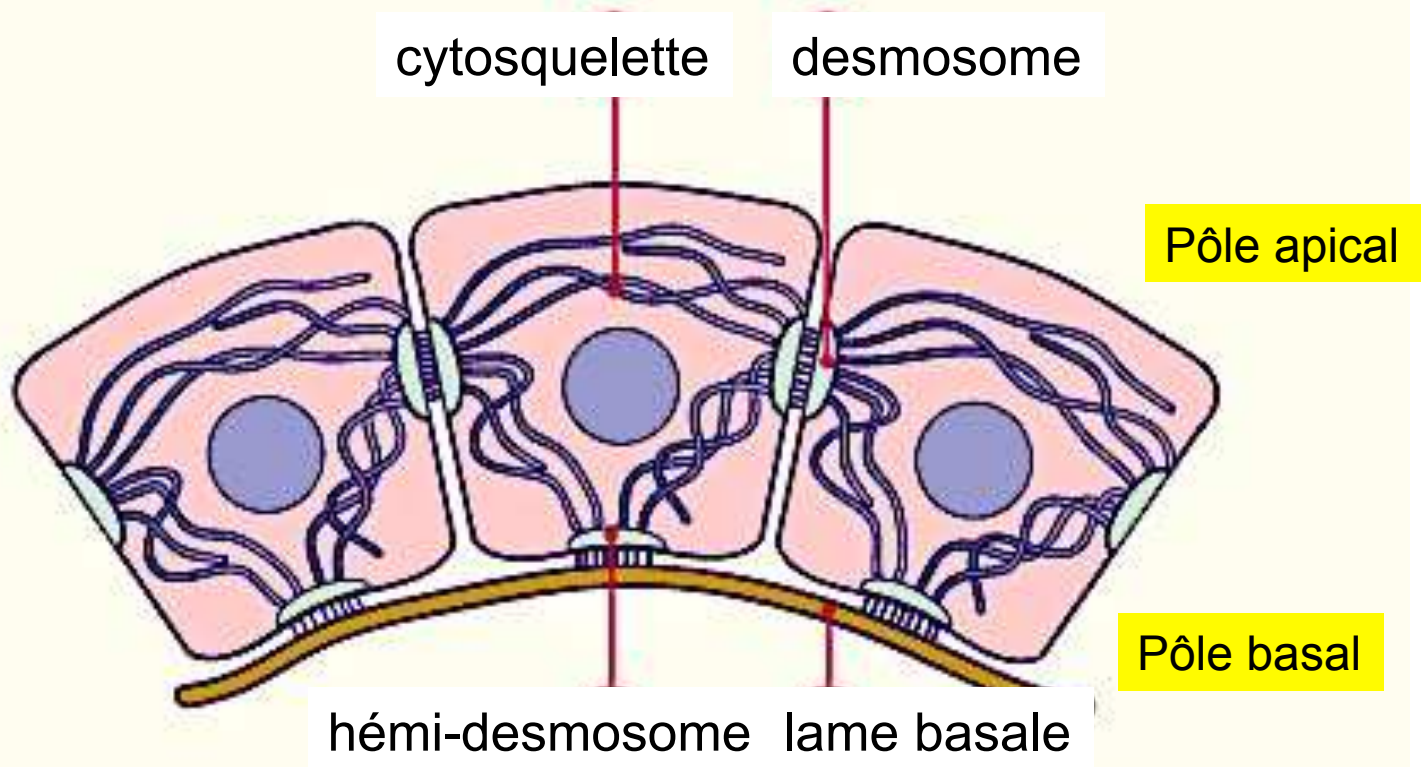
2 = desmoplakine (plaque protéique)

3 = desmogléines (de la famille des **cadhérines**),
jointives grâce à des ions Ca^{2+}

4 = cytosquelette de kératine



Desmosomes et hémi-desmosomes



L'ancrage sur la lame basale permet d'envoyer un signal de polarité

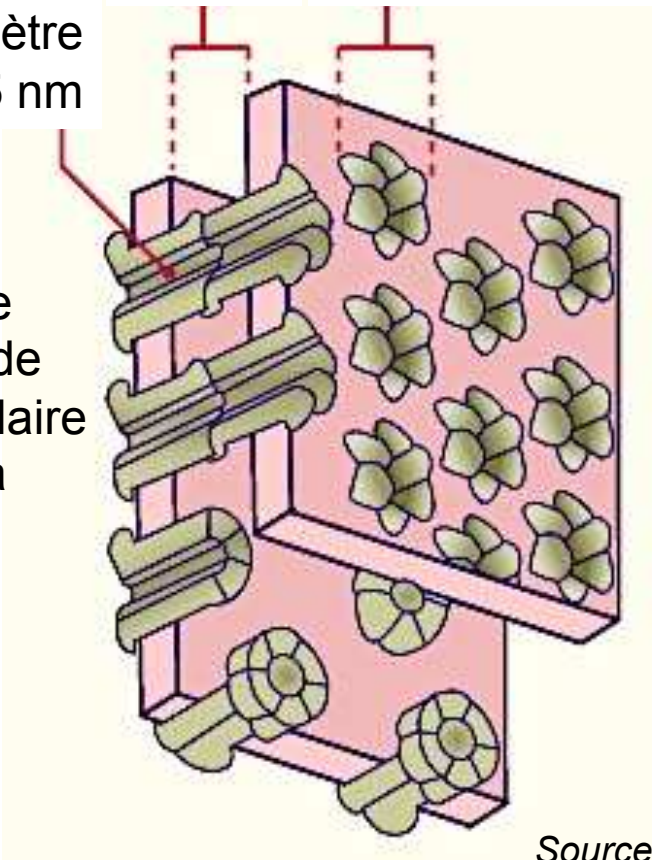
★ Jonctions communicantes = jonctions gap

canal ouvert
de diamètre
1,5 nm

espace

connexon composé de 6 protéines (connexines)

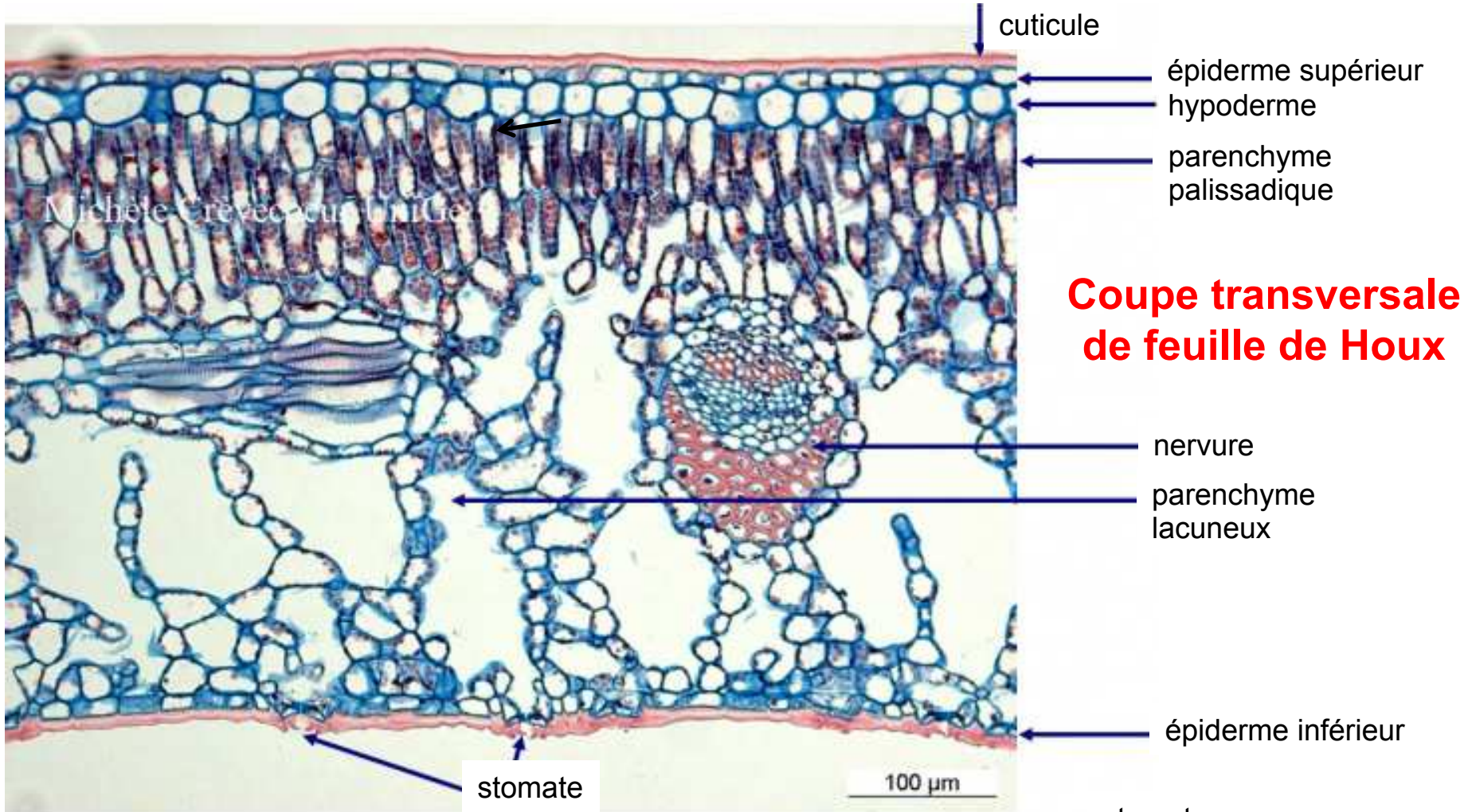
Passage de
substances de
masse moléculaire
inférieure à
1000 Da

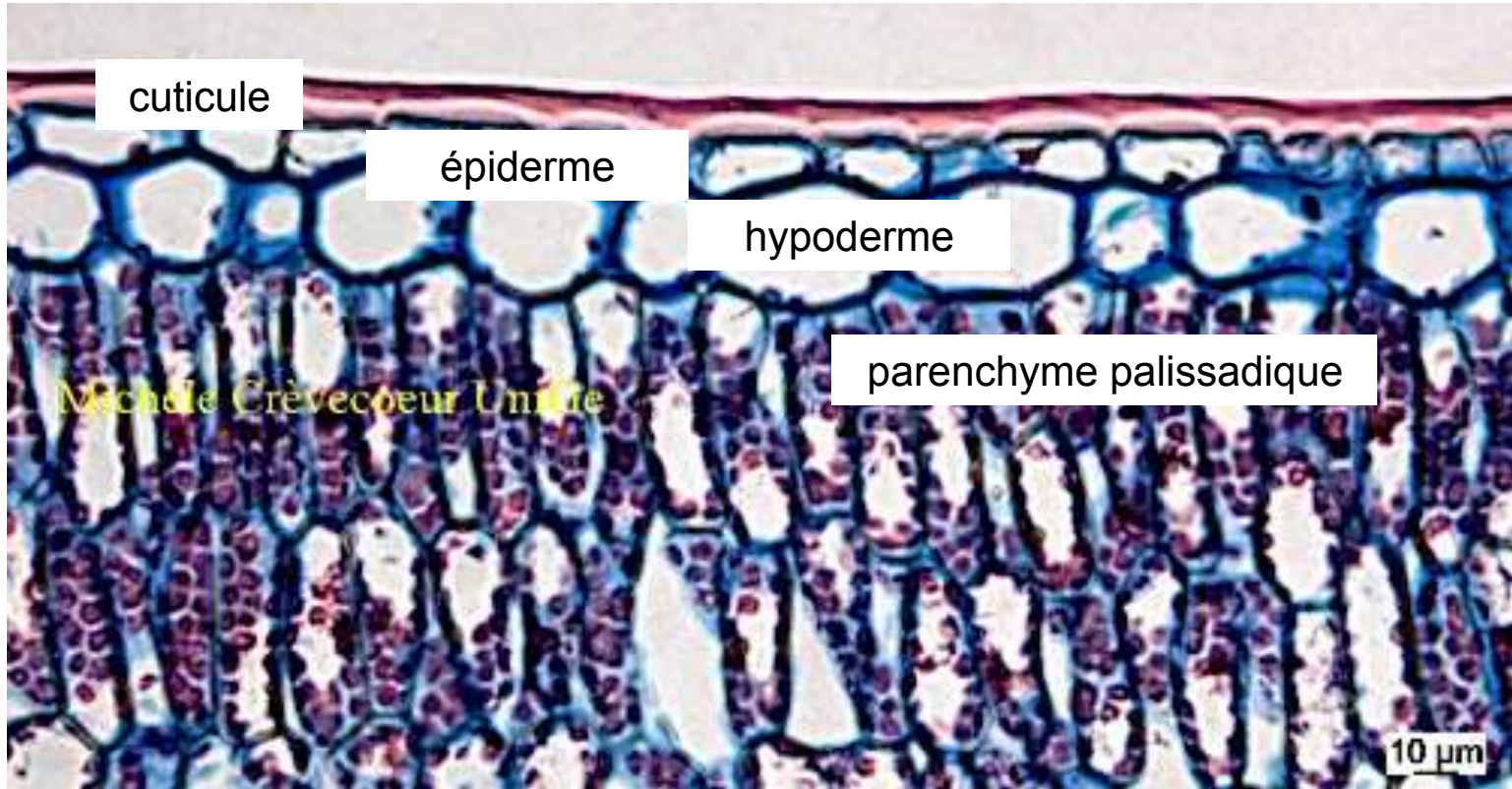


Jonction gap = 2 **connexons** face à face, chacun appartenant à une cellule.

Le canal peut se fermer si le taux de Ca^{2+} augmente dans une cellule ou si le pH diminue.

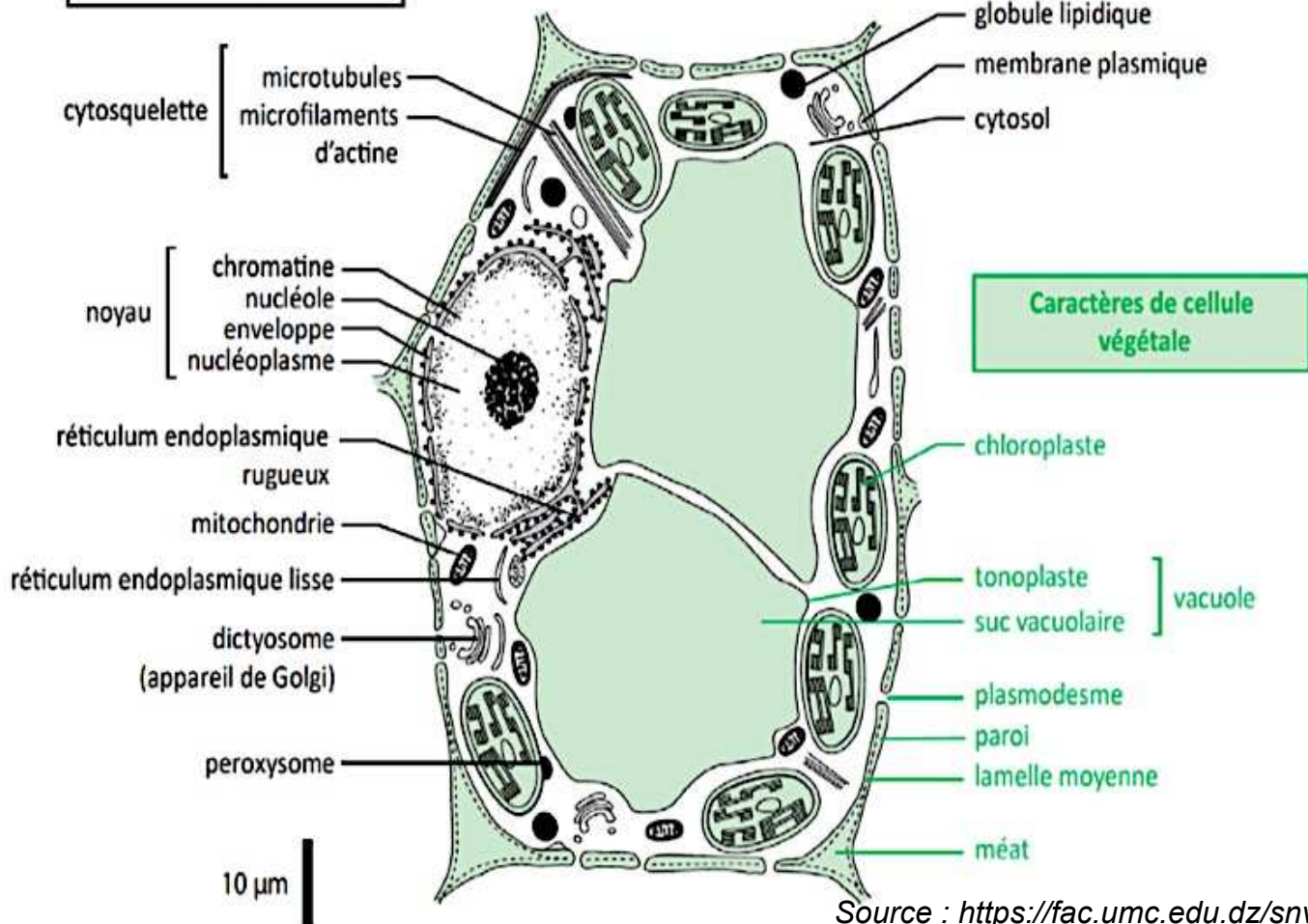
3.2. La notion de cellule compartimentée







Caractères de cellule eucaryote





Les organites

Végétal et champignon

Végétal

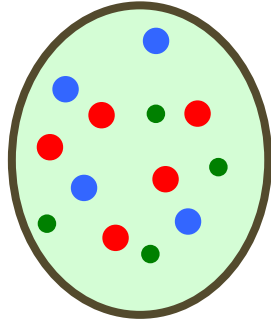
Organite	Nombre de membrane	Matériel génétique	Rôle(s)
REG	1	non	Synthèse et maturation des protéines membranaires, sécrétées et des organites à simple membrane, stockage de Ca^{2+}
REL			Synthèse de lipides et membranes, stockage de Ca^{2+}
Golgi			Maturation de protéines membranaires, sécrétées et des organites à simple membrane
lysosome			Épuration par hydrolyse de macromolécules usagées
péroxyosome			Épuration par oxydation, photorespiration
vacuole			État de turgescence, stockage temporaire divers
mitochondrie			2
chloroplaste	Photosynthèse		

Noyau et ribosomes à discuter



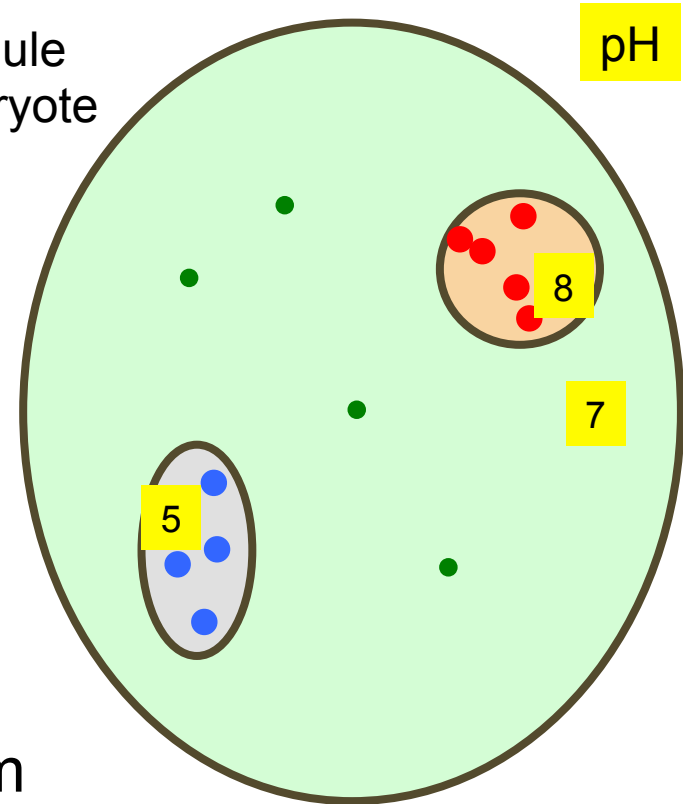
La compartimentation

Bactérie



● enzyme

Cellule eucaryote



Calculer le volume :

- d'une bactérie de diamètre $2 \mu\text{m}$
- d'une cellule animale de diamètre $20 \mu\text{m}$

Intérêts et contraintes de la compartimentation

- Augmenter l'efficacité du métabolisme en concentrant enzymes et réactifs et favorisant l'enchaînement des réactions
- Éviter les réactions parasites
- Varier localement les conditions physico-chimiques (ex : pH)
- Coopération entre organites spécialisés

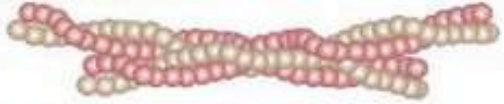
- Coût énergétique élevé pour
- la synthèse des membranes
 - le trafic entre organites
 - la mise en place et le contrôle d'un cytosquelette



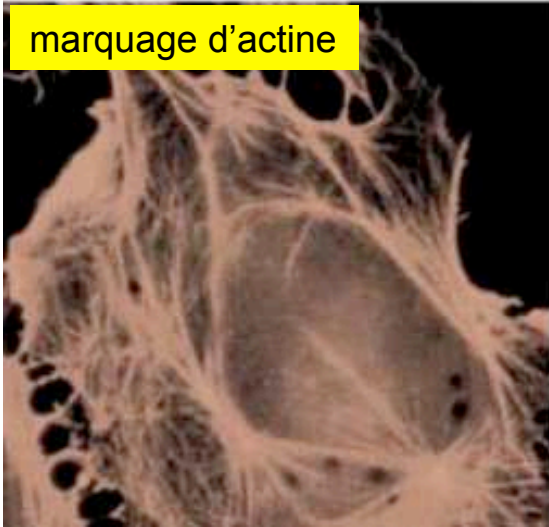
3.3. Le cytosquelette

★ Le cytosquelette : 3 éléments structuraux

Microfilaments

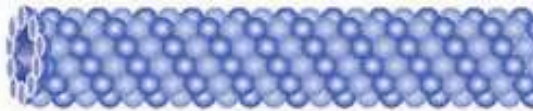


marquage d'actine

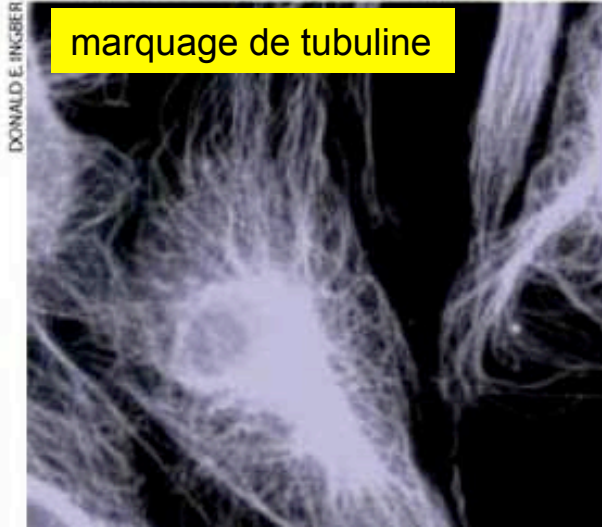


diamètre 5 nm

Microtubules



marquage de tubuline

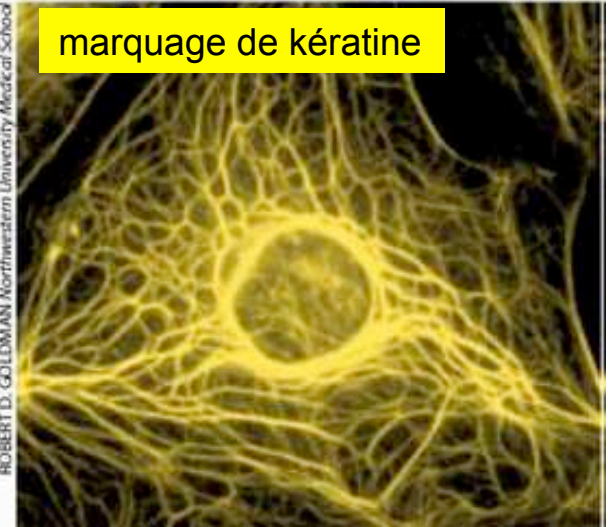


diamètre 20 à 25 nm

Filaments intermédiaires



marquage de kératine



diamètre 10 à 15 nm

Absent chez les végétaux

Clichés d'immunofluorescence

Source : Ingber, 1998

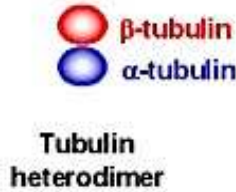


Les microtubules

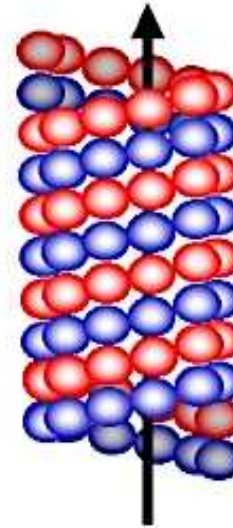
Des cylindres de 25 nm de diamètre



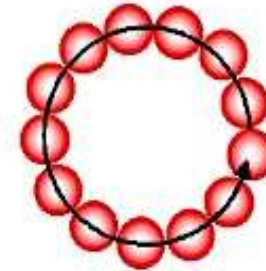
100 nm



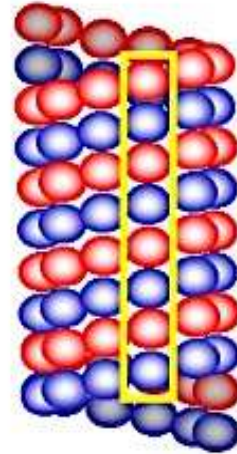
13 dimères par tour



Microtubule axis

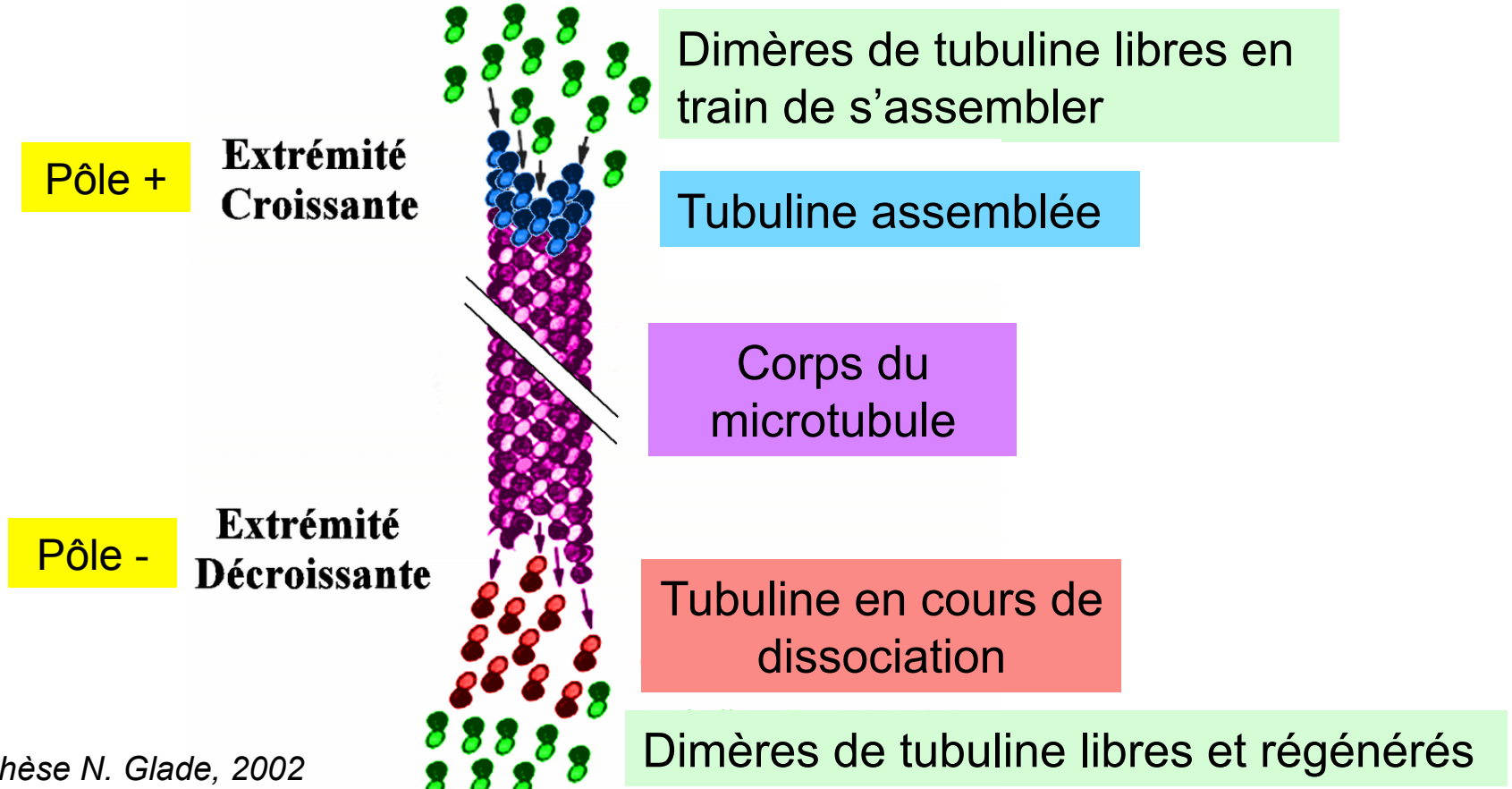


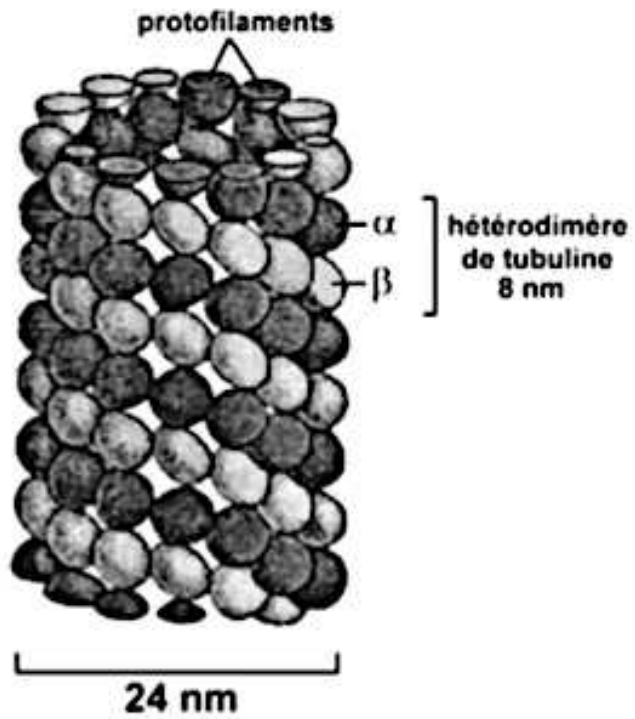
Microtubule top end view



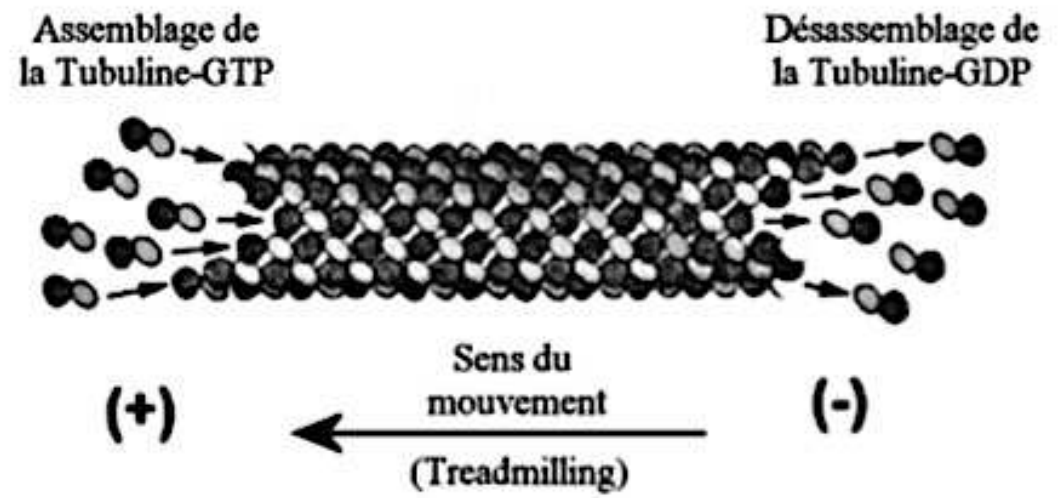
Microtubule "Protofilament"

Structures instables, les microtubules s'assemblent au pôle + et se désassemblent au pôle -, de façon régulée





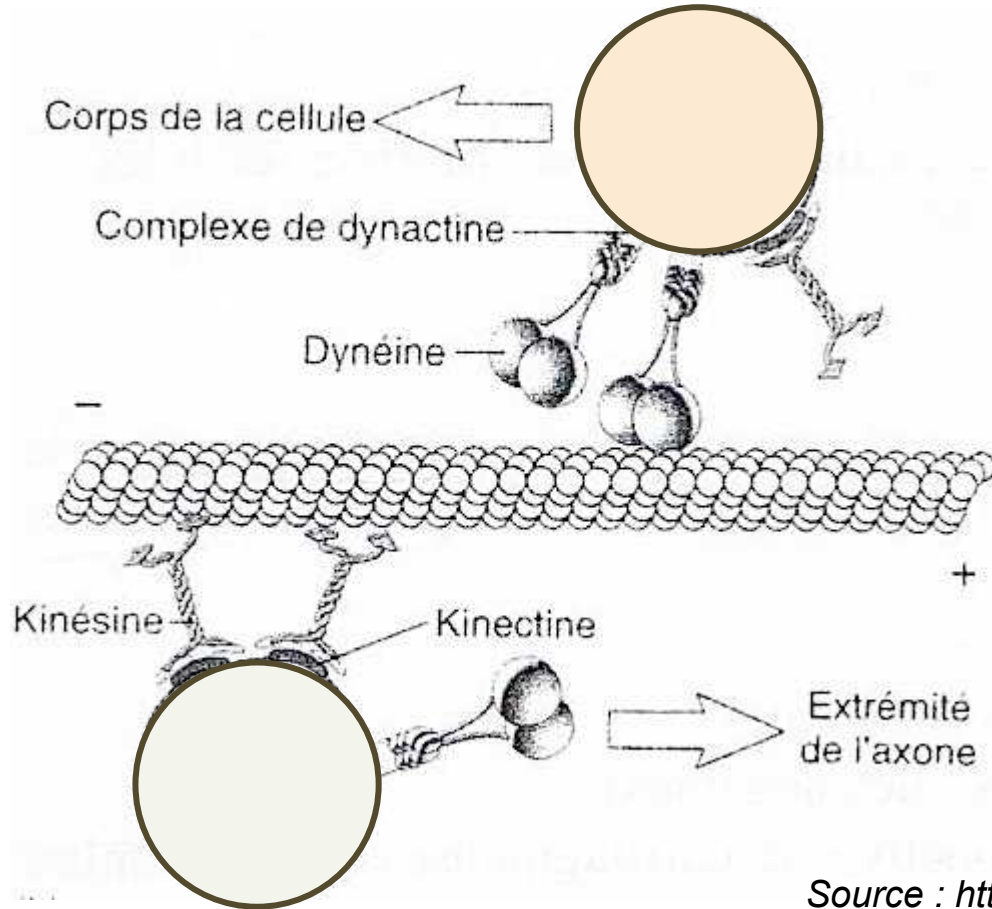
A



B

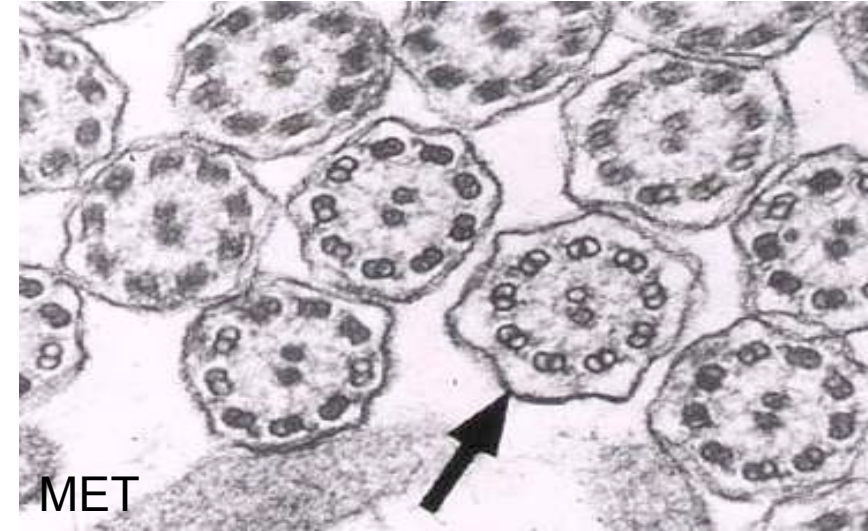
d'après Darnell et al. 1986)

Des protéines marcheuses se déplacent sur les microtubules



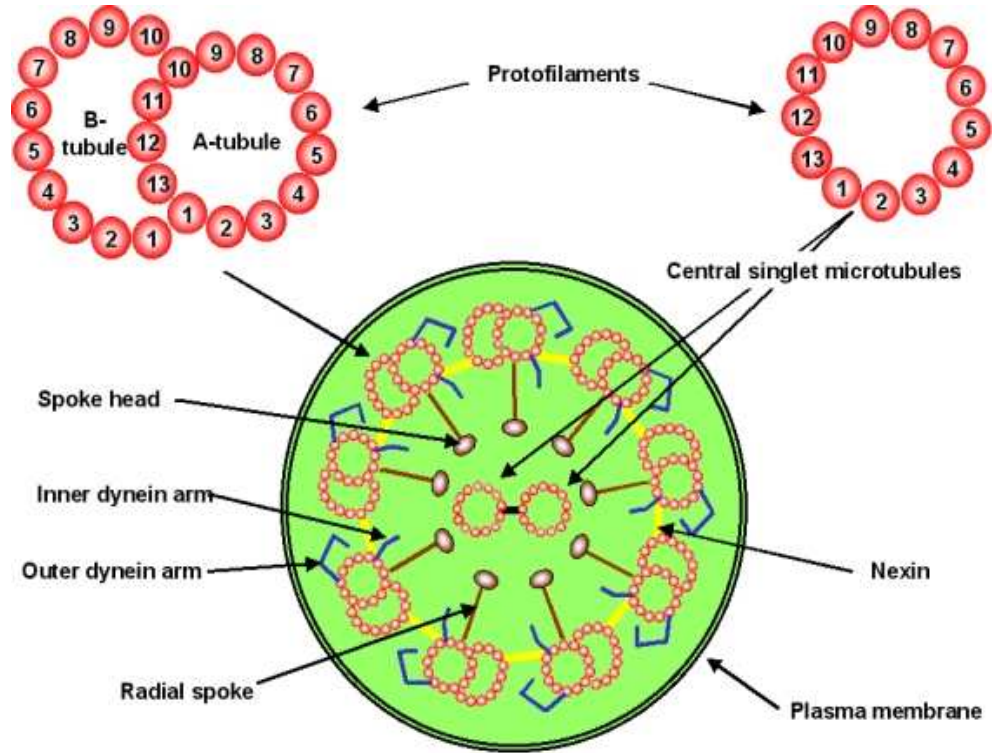


Les microtubules s'assemblent en cils et flagelles

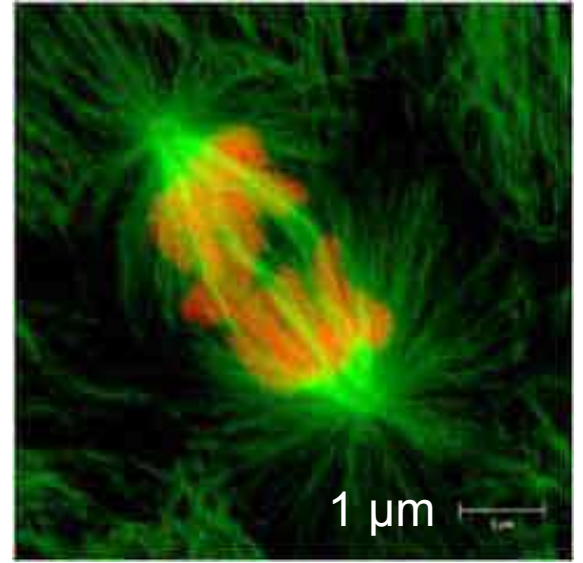
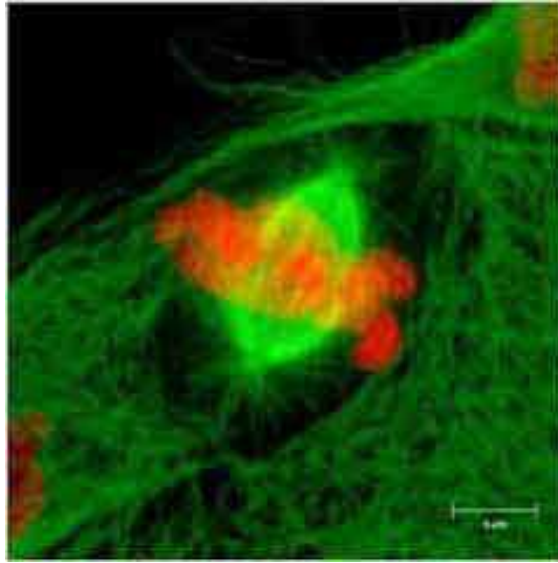
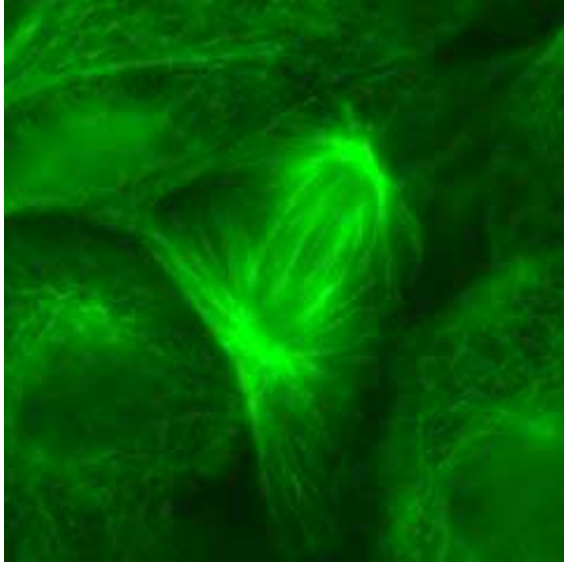


cils

Cils et flagelles : ondulation plane
Diamètre d'un cil = 200 nm



Microtubules et mitose



Cellules PtK de rein de kangourou en culture.

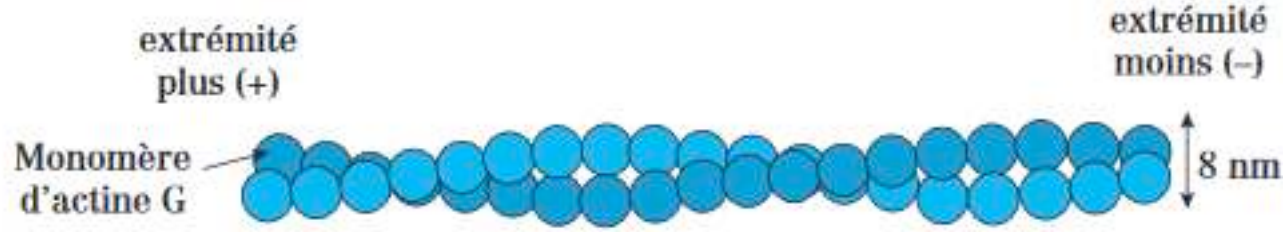
Un anticorps anti-tubuline marqué par la FITC (dérivé de la fluorescéine) donne une fluorescence verte au niveau des microtubules du fuseau.

La fluorescence orange superposée montre les chromatides (x 200).

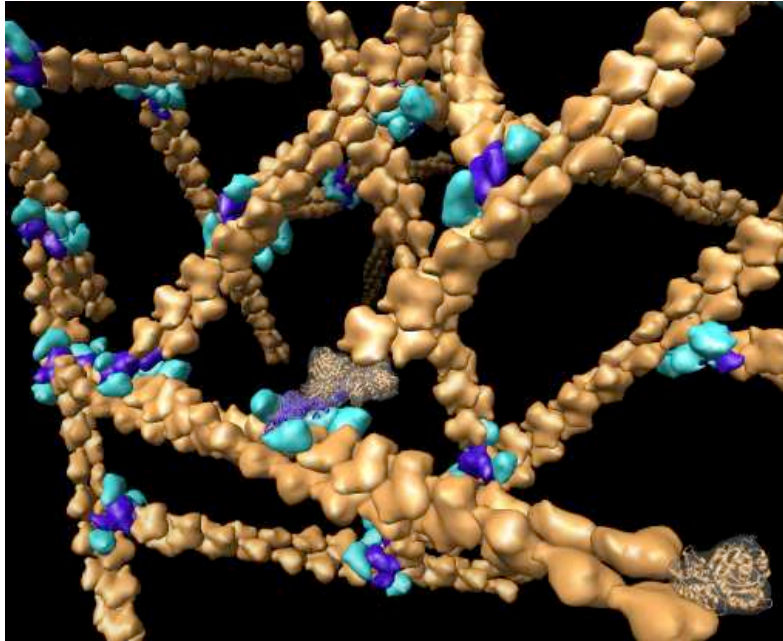


Microfilaments d'actine

Assemblages d'actines
globulaires G en actine
filamenteuse F



Source : <https://mystidia.com/#>



- Forment un squelette sous la membrane (=> forme de la cellule, microvillosités)
- Constituent l'anneau contractile séparant les deux cellules filles en fin de mitose animale
- Déforment les cellules en reptation ou nage
- Participent à l'adhérence des cellules épithéliales (jonctions)

Source : Université de Moncton, Canada

Filaments intermédiaires des cellules animales

Exemple de protéines : **kératine**, vimentine, desmine, **lamine**...

Architecture interne des cellules :

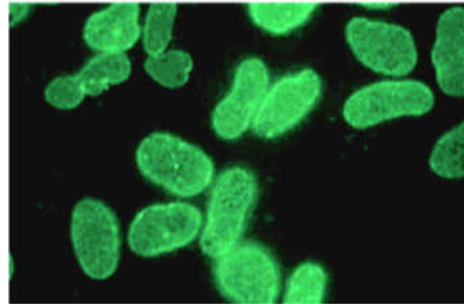
- charpente (kératine),
- support de l'enveloppe nucléaire (lamine)



Mary Osborn

20 μm

IF nucléaires



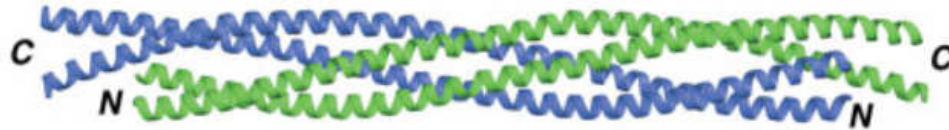
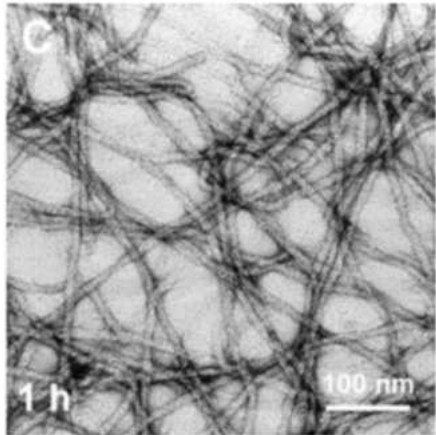
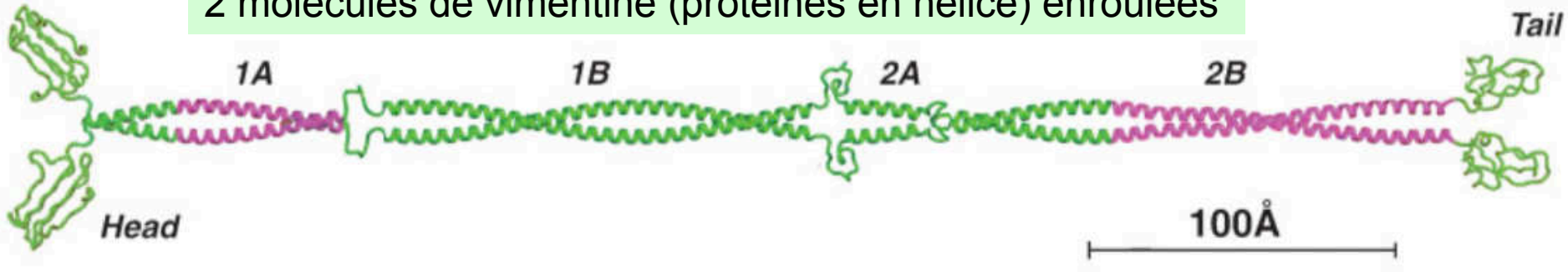
Lamines

Rôles

- résistance aux forces de traction
- cohésion cellulaire grâce aux jonctions (desmosomes, hémi-desmosomes)

Structure non polarisée basée sur des hélices

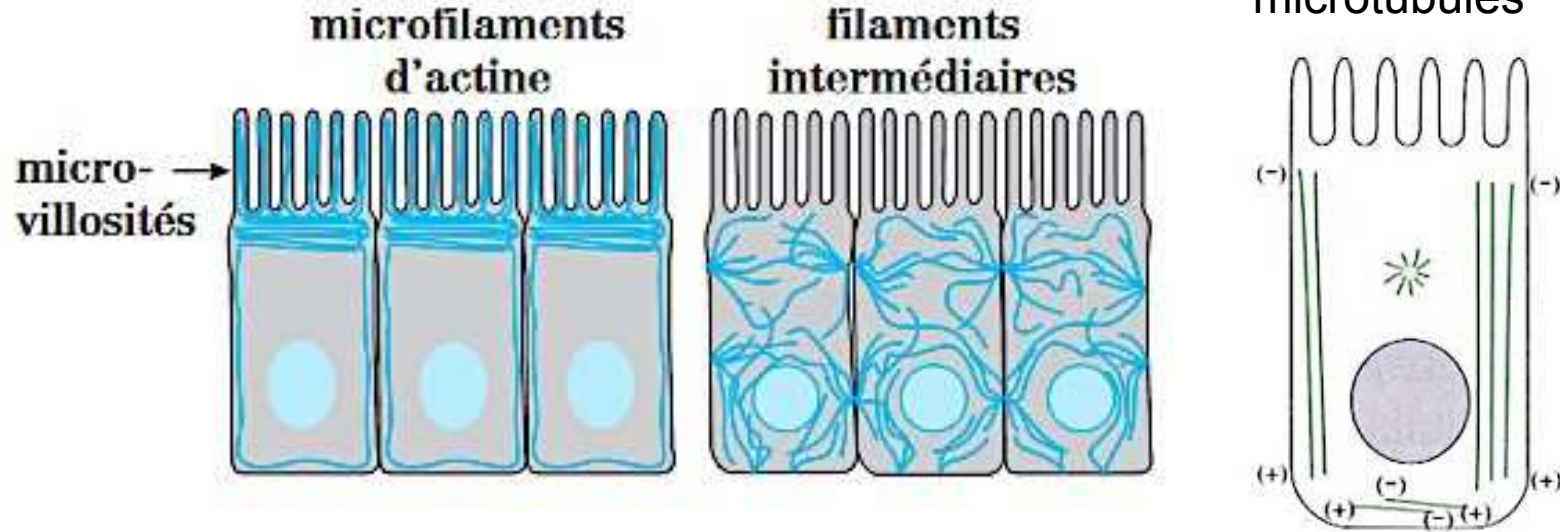
2 molécules de vimentine (protéines en hélice) enroulées



Assemblages de dimères (ici 2) en filaments plus épais



Le cytosquelette dans les entérocytes



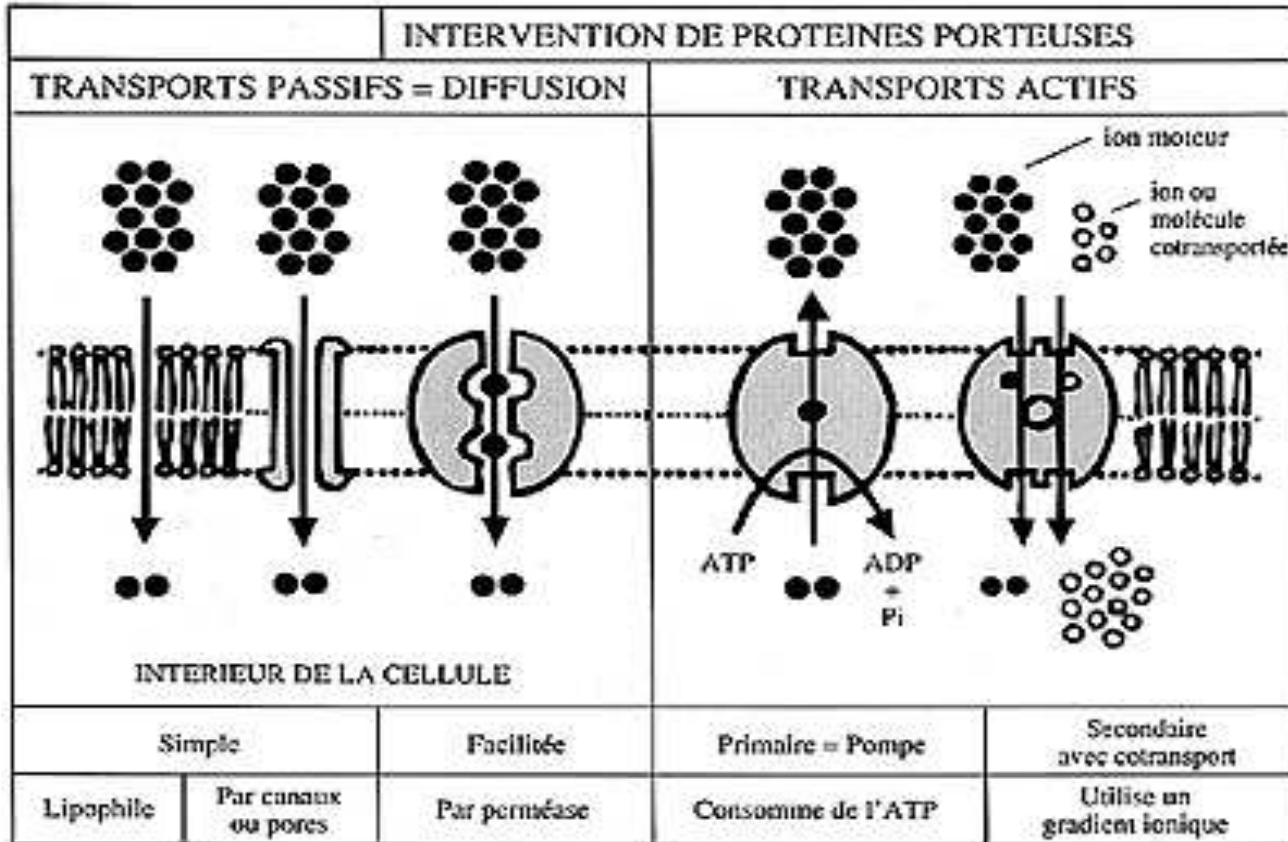


3.4. Les flux de matière, d'énergie et d'information

Les 3 types de flux

- à travers la membrane
- via des membranes déformables
- transduction d'information

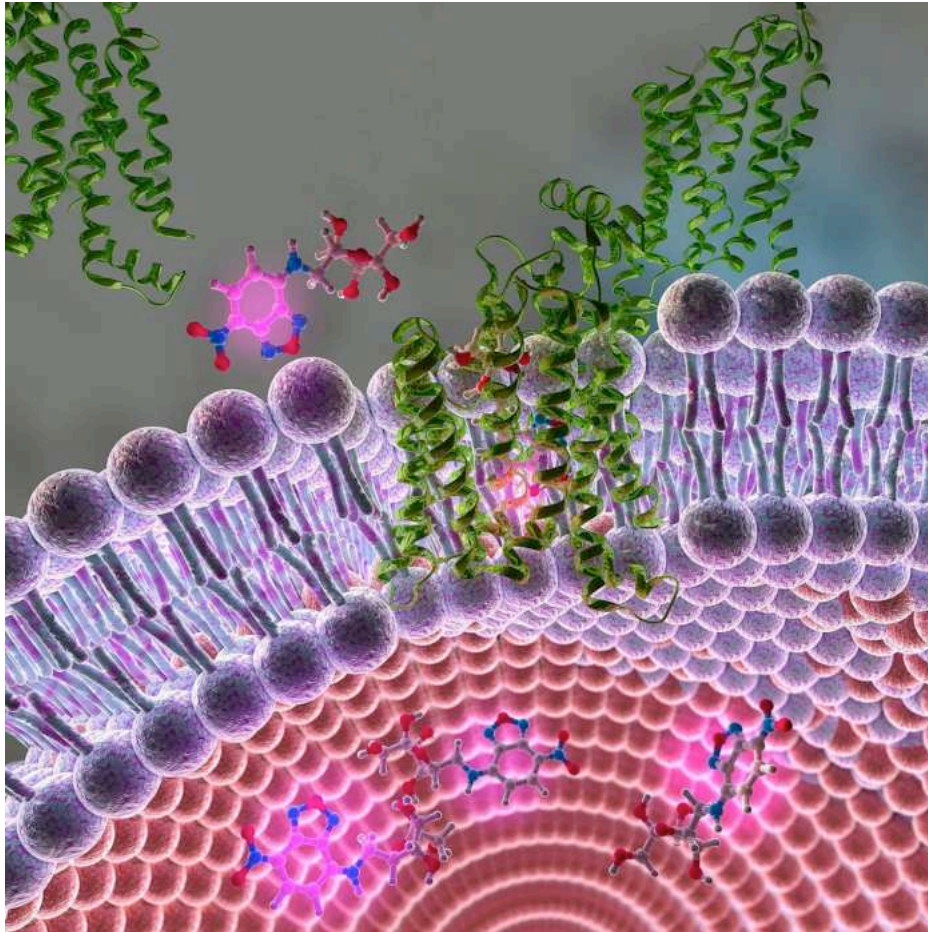
★ Les différents flux à travers la membrane



Concerne les ions et petites molécules

Sera revu et détaillé dans l'année

La perméase GluT5 en l'entrée de glucose



Source : Science Photo Library
Ella Maru Studio



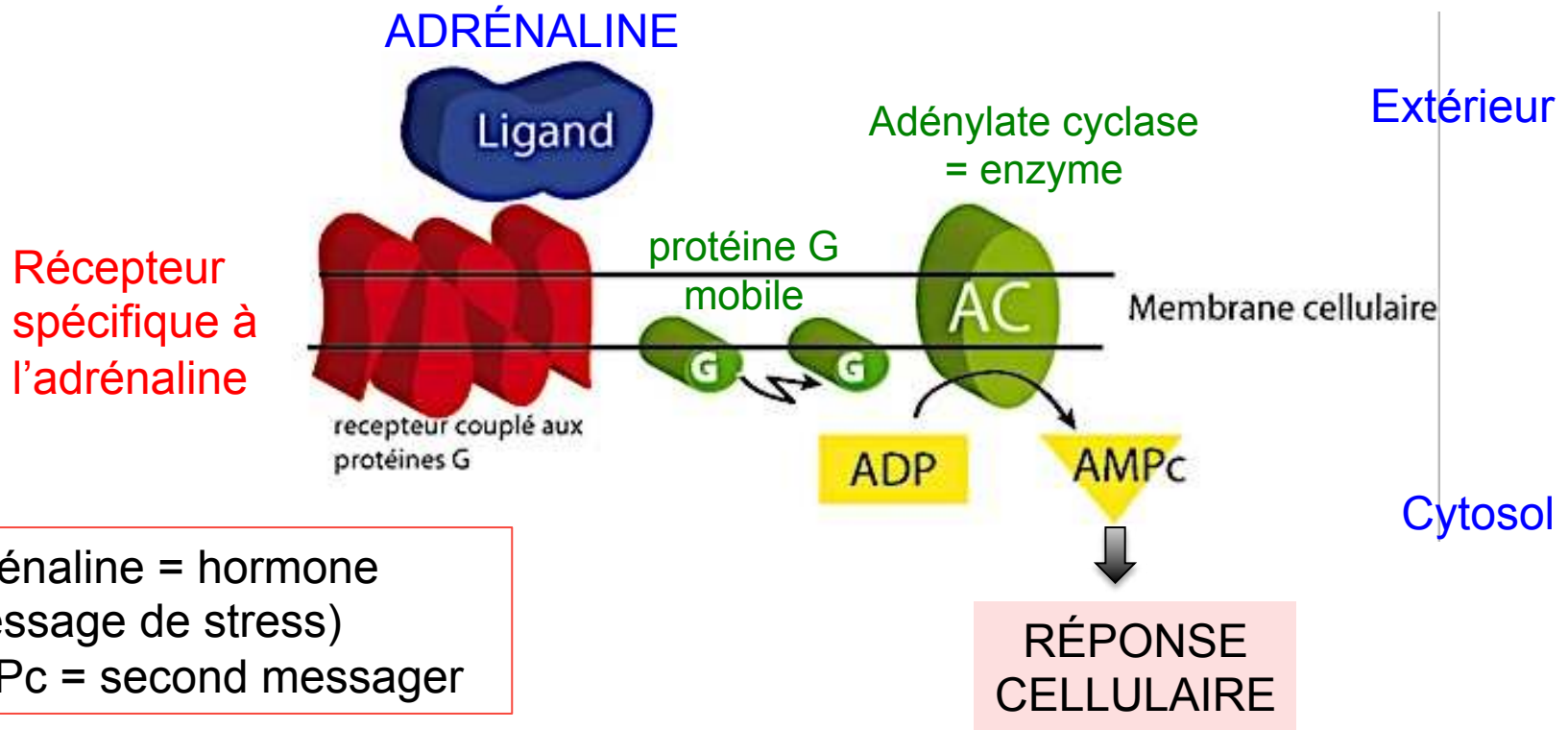
Les flux par déformation de la membrane



Endocytose = entrée de matière (protéines, particules...)
par formation d'une vésicule



Transduction : flux d'information



Adrénaline = hormone
(message de stress)
AMPc = second messenger

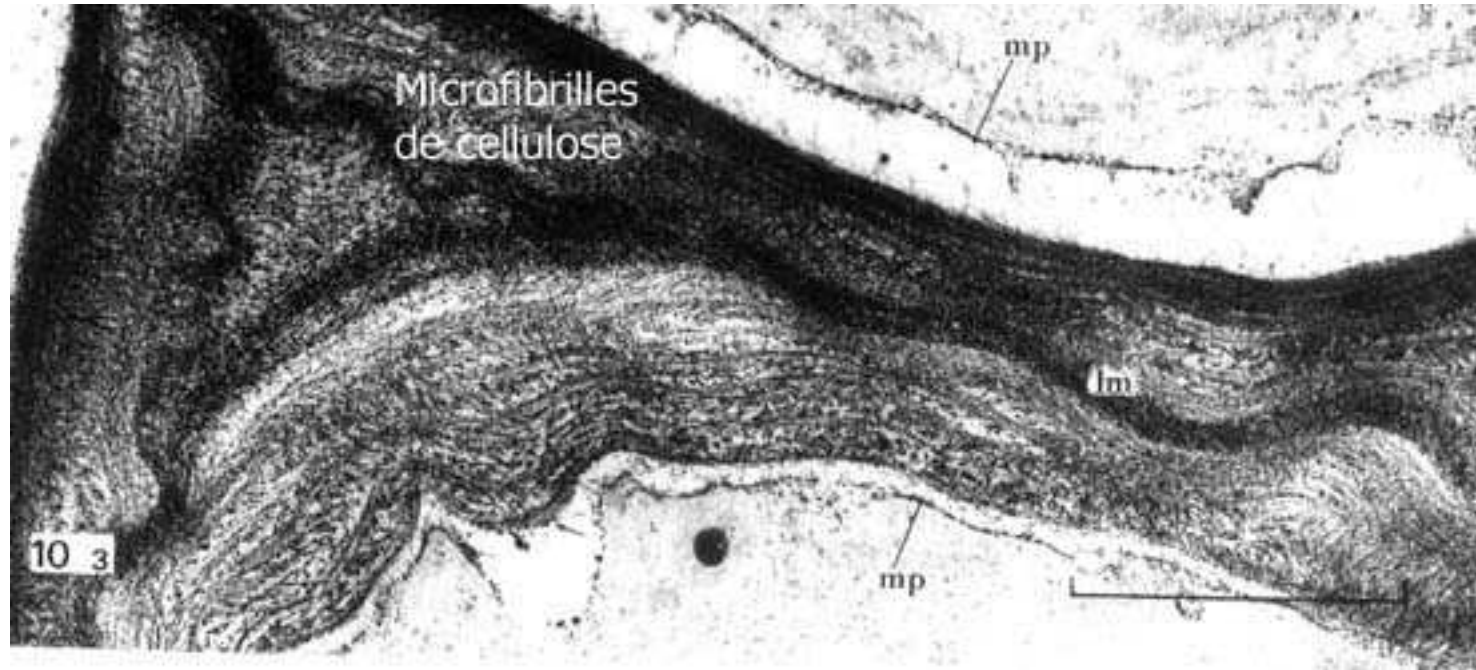


3.5. Les matrices extra-cellulaires

Les cellules végétales sont entourées par une **paroi** = réseau de polymères de glucides. Chaque cellule possède sa paroi et les parois sont liées entre elles par une lamelle moyenne de pectines.

Les cellules animales sont entourées par une **matrice** très variable selon les tissus. C'est le plus souvent un réseau de protéines (collagène).

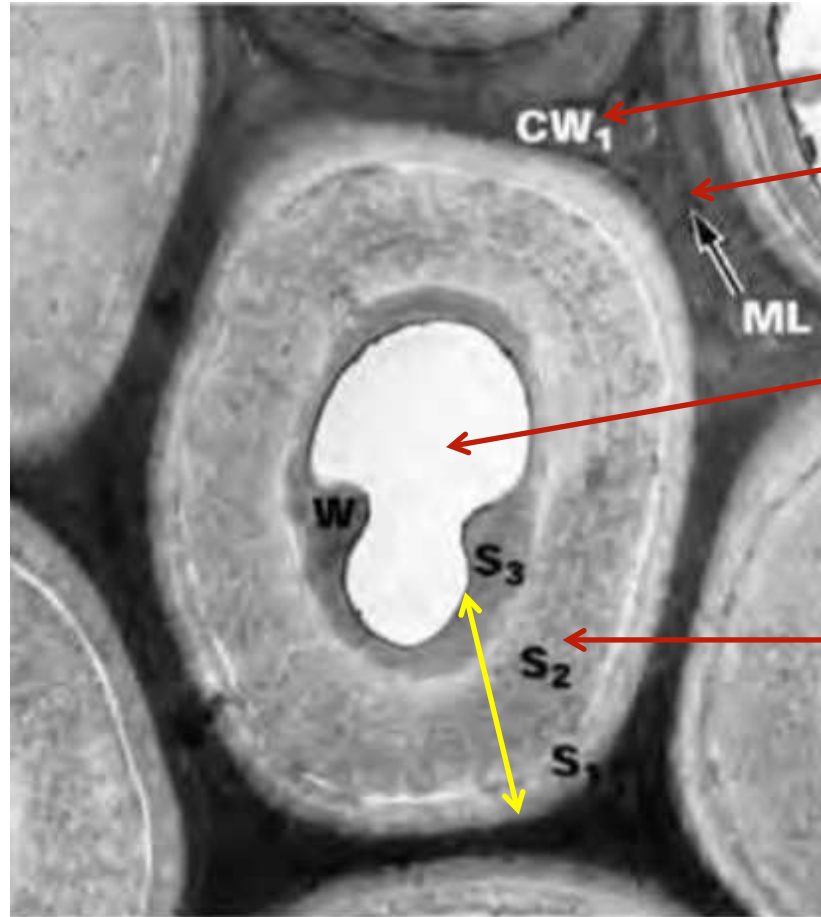
La paroi végétale en plusieurs couches



Paroi d'une cellule végétale (MET X 45 000) dans une racine.

La paroi en plusieurs couches

MEB

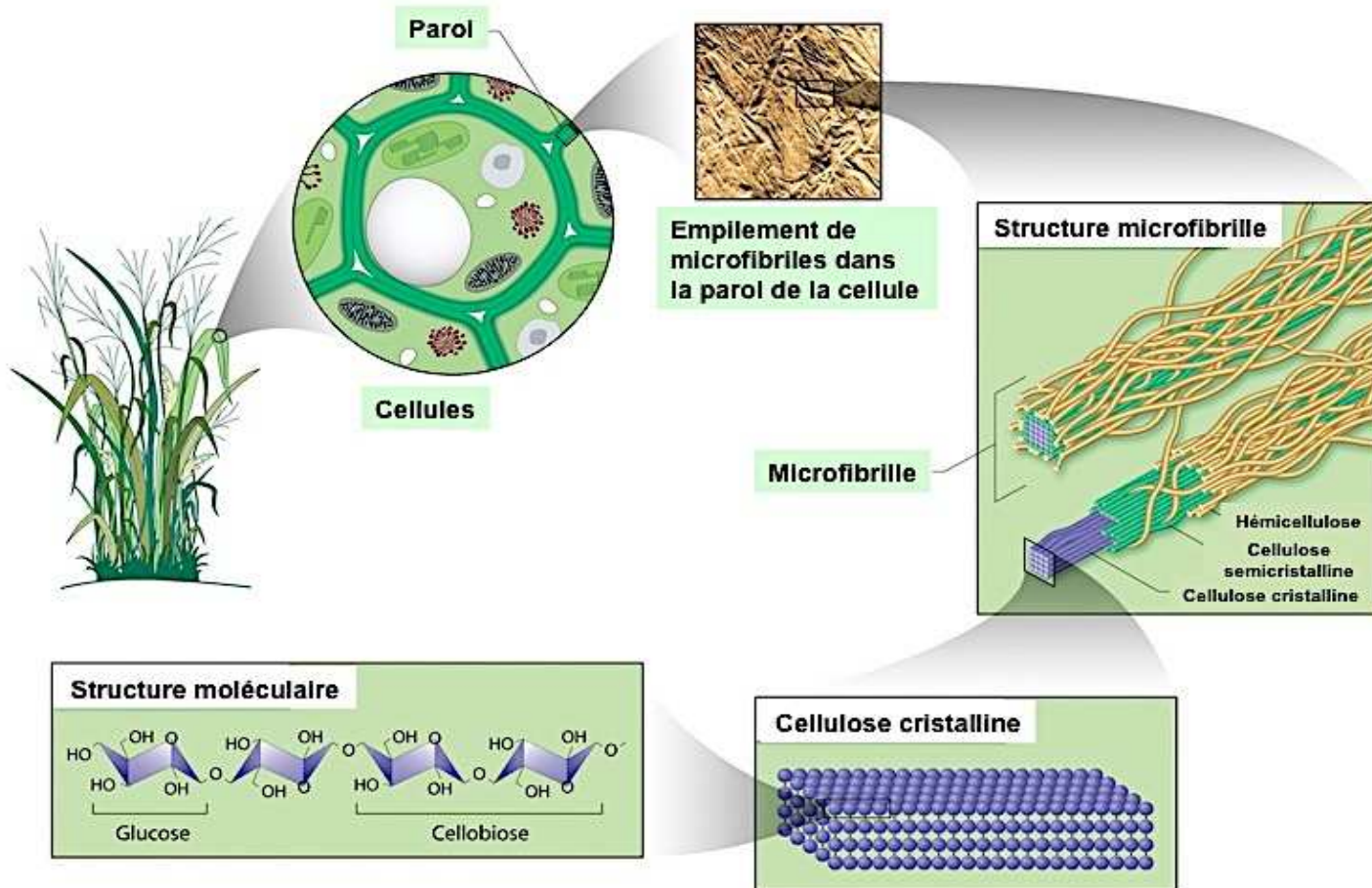


paroi primaire CW_1

lamelle moyenne (ML) =
pectines « collantes »

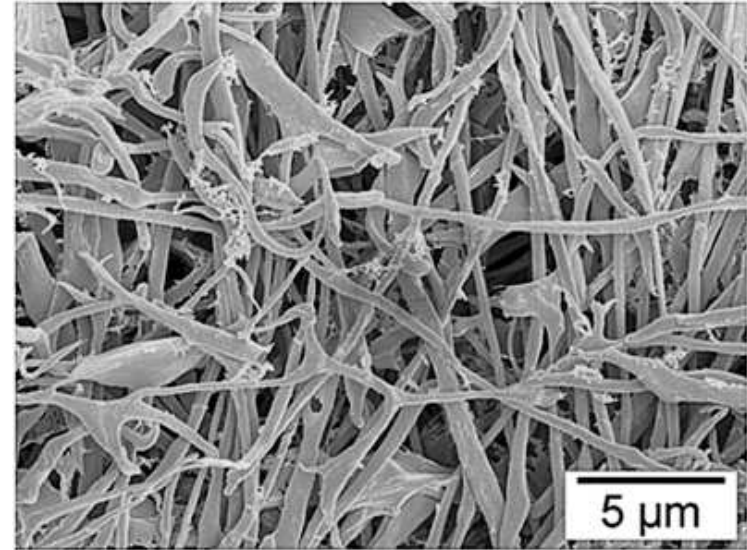
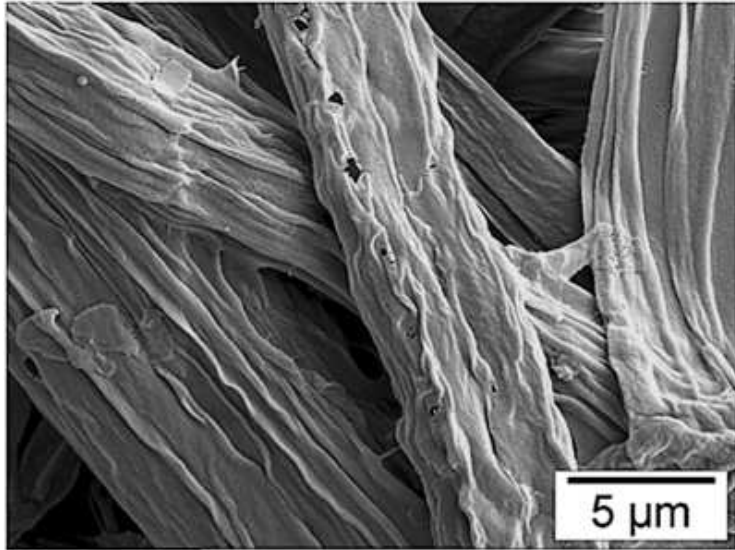
cellule vidée lors de la
préparation

plusieurs couches de la
paroi secondaire : S1 à S3





La base : des fibres de cellulose



Electron microscopy of isolated rice straw cellulose (left), and self-assembled cellulose (right)

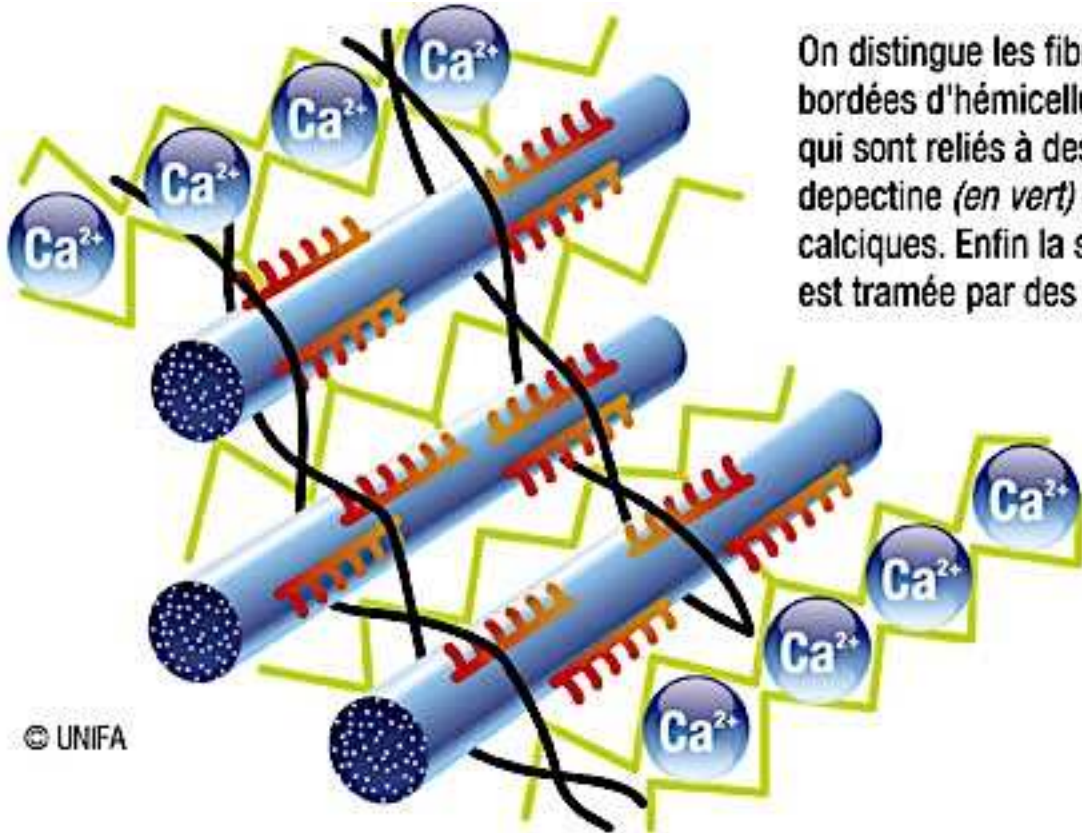
Les composants autres que la cellulose

- Hémicellulose
- Pectines liées par des ions Ca^{2+}
- Protéines minoritaires

Variations possibles



Modèle tridimensionnel

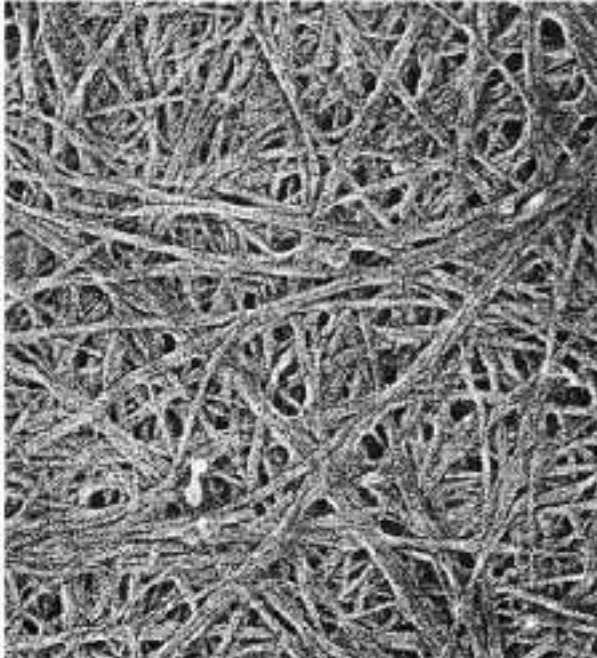


On distingue les fibres de cellulose, bordées d'hémicelluloses (*en rouge*), qui sont reliés à des molécules depectine (*en vert*) et leurs ponts calciques. Enfin la structure est tramée par des glycoprotéines.



Paroi primaire et secondaire

Fibres de cellulose d'une cellule jeune (MEB)



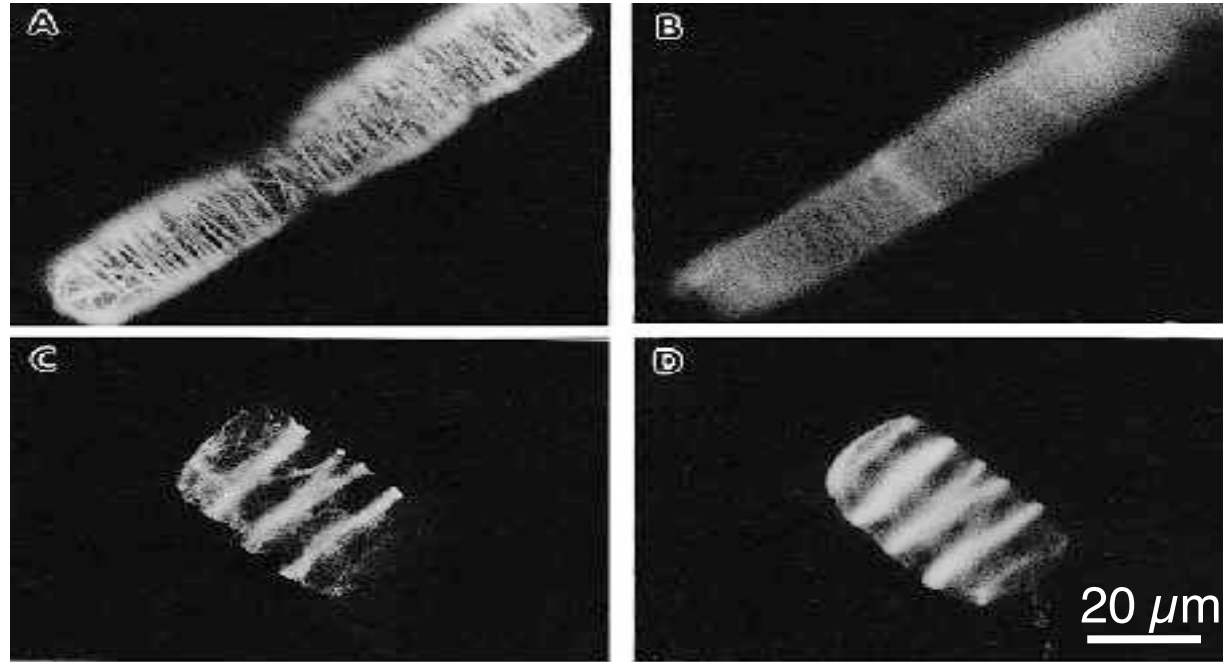
Ramesh Maheshwari, Current Science 2008

Coupe dans l'épaisseur
d'une paroi de cellule âgée



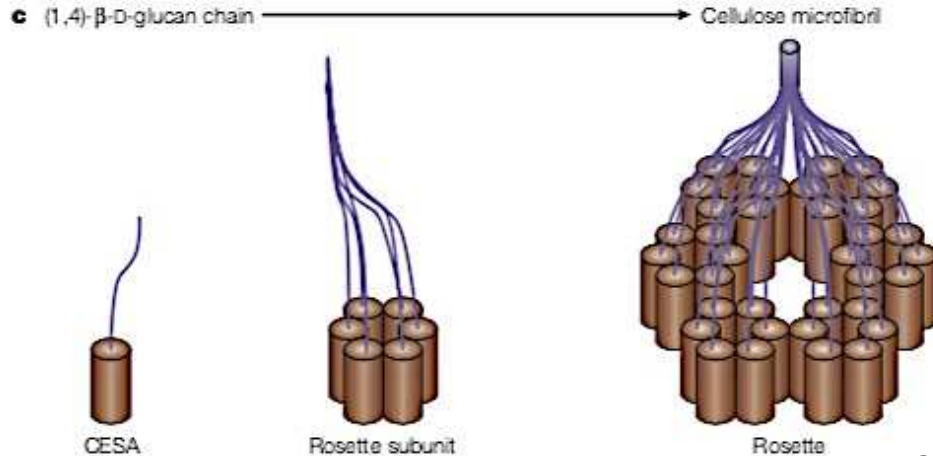
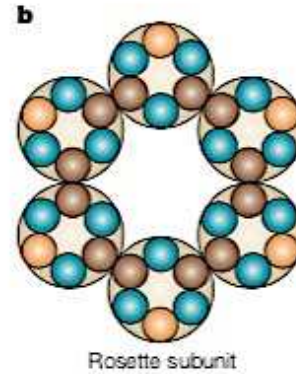
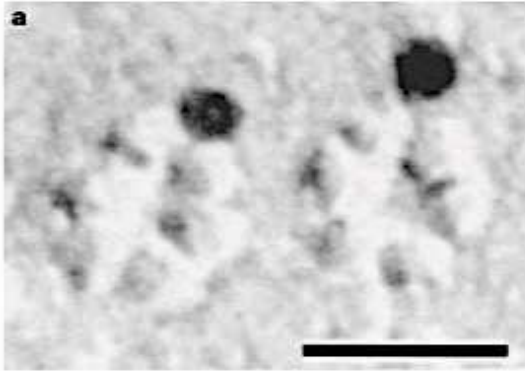
S. C. CHAFE 1970

Marquage par fluorescence de microtubules et cellulose dans des cellules de feuilles de *Zinnia elegans*

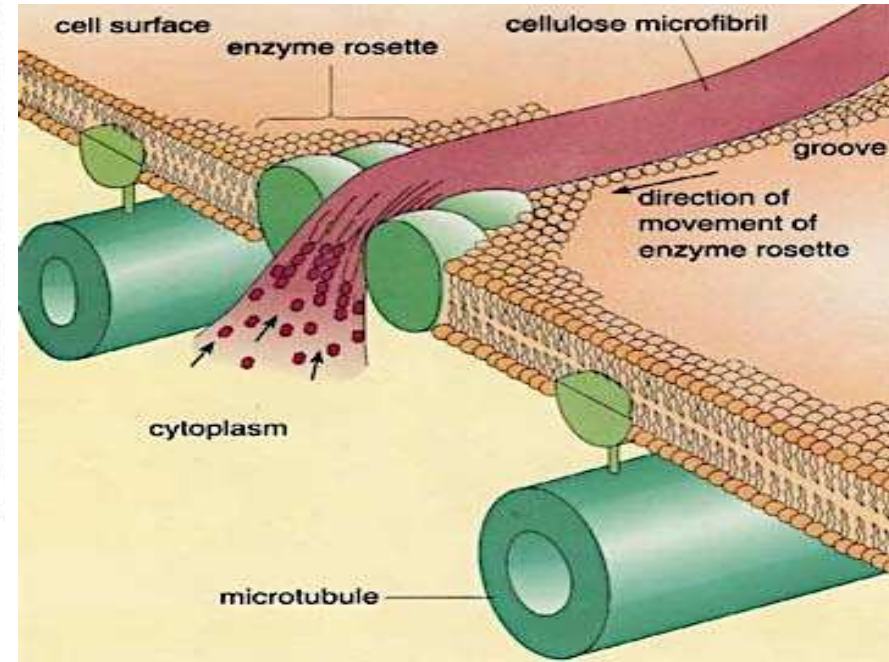
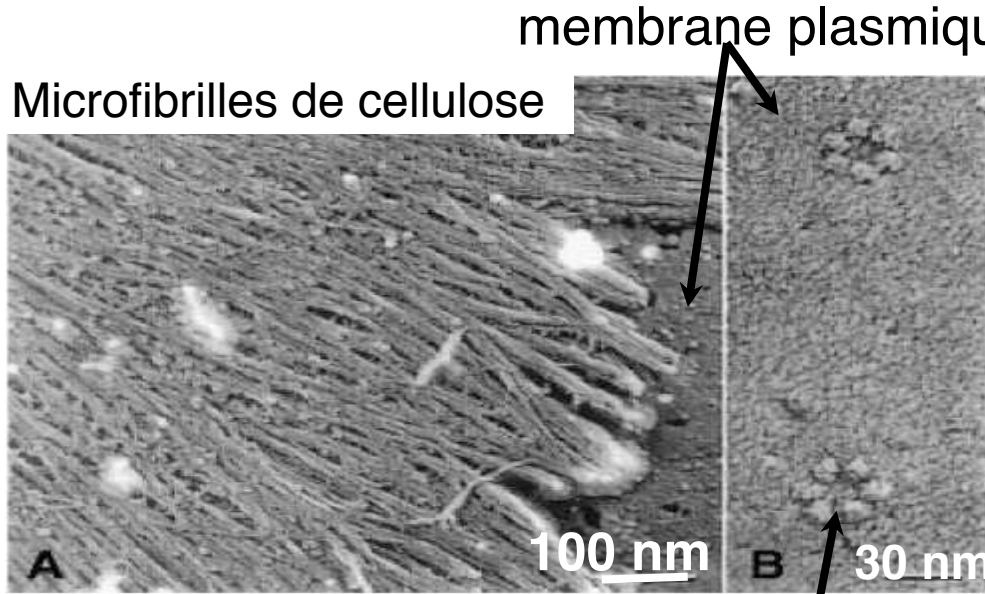


Microtubules marqués Cellulose marquée

★ Le corps en rosette produit la cellulose



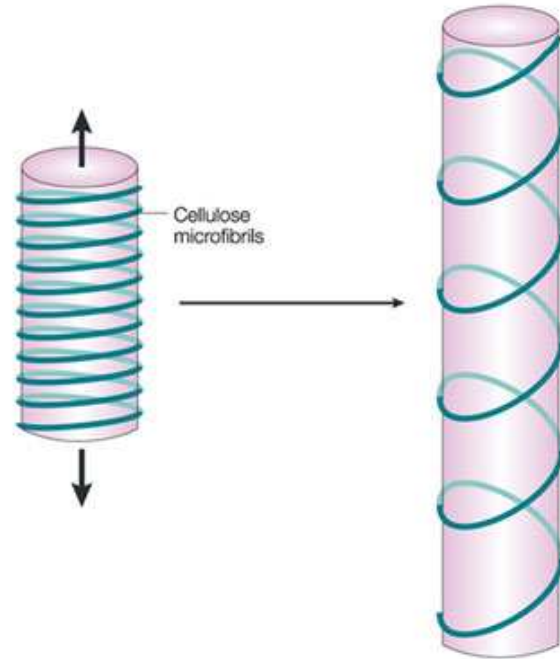
★ Le corps en rosette produit la cellulose



Interprétation



L'orientation de la cellulose importe



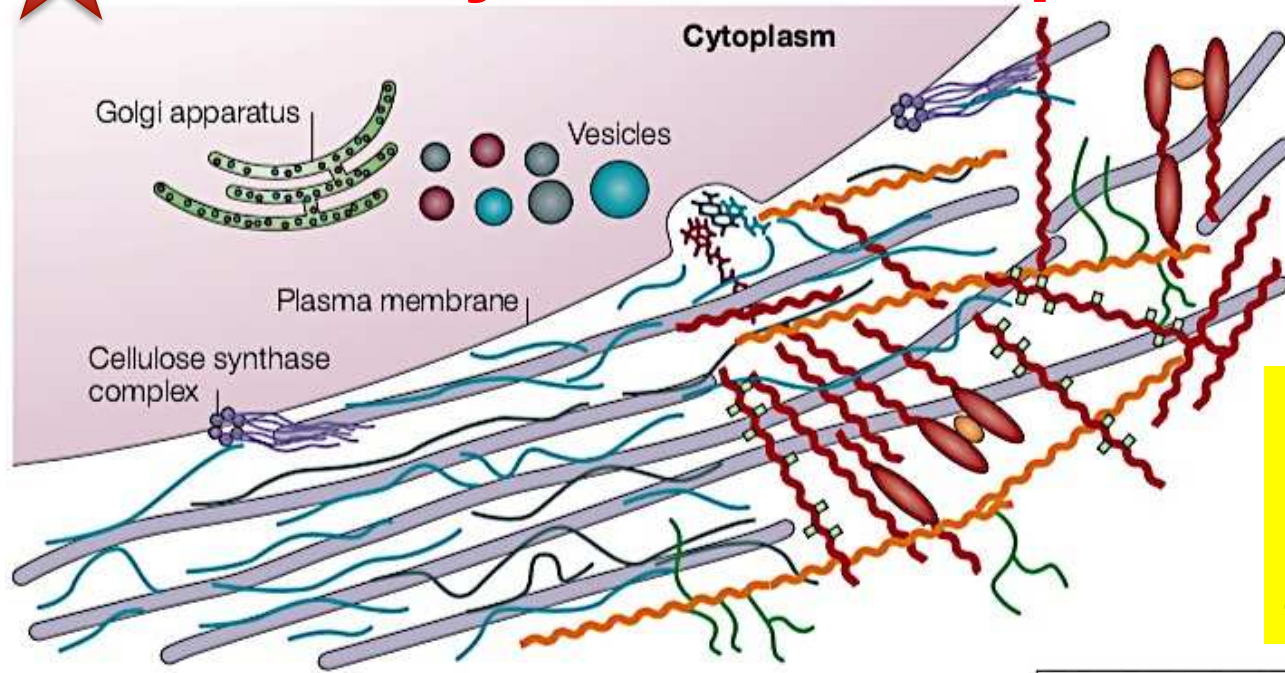
Cellulose microfibrils

Déformation limitée radialement

Nature Reviews | Molecular Cell Biology

la cellulose oriente la croissance

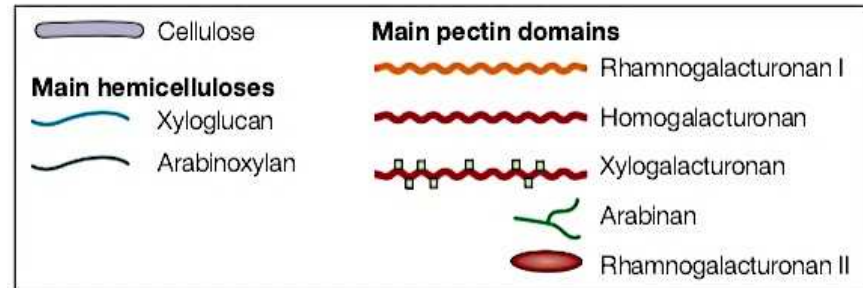
Biosynthèse de la paroi végétale



Les vésicules sécrètent les pectines et hémicelluloses issues de l'appareil de Golgi.

Source : Cosgrove, Nature 2005

La cellulose est synthétisée par le corps en rosette guidé par les microtubules.

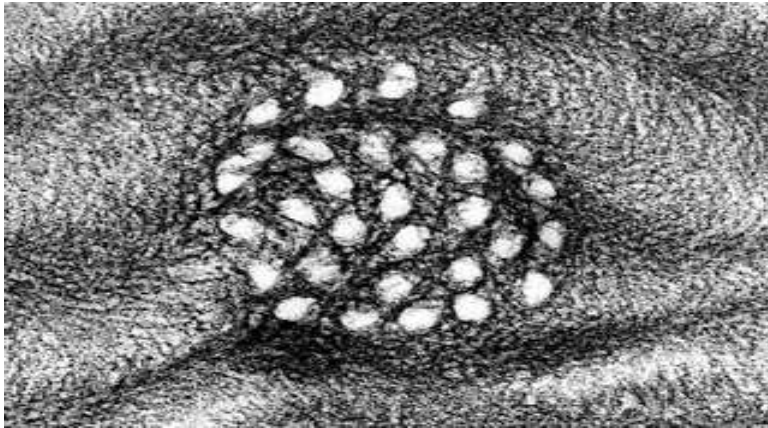




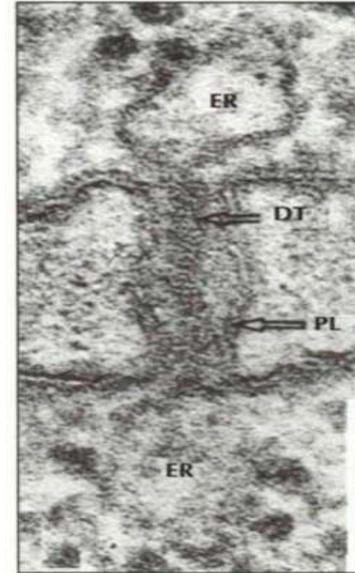
Les plasmodesmes

Expérience de Townsend (1897) : des cellules végétales sans noyaux ne vivent que si elles sont en contact avec des cellules nucléées. En cas de plasmolyse importante, les cellules meurent.

=> il existe une connexion cytoplasmique directe entre cellules avec passage possible de substances = **plasmodesmes**



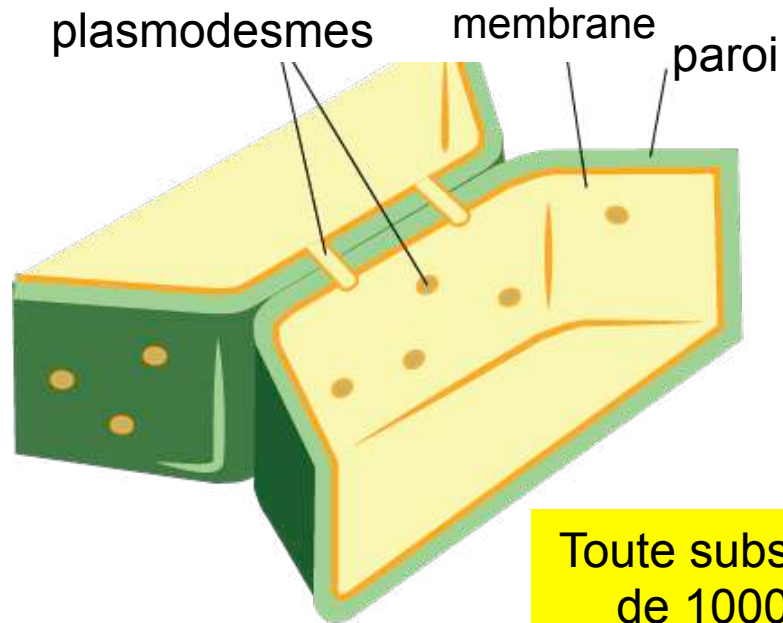
plasmodesmes vus de face
dans une paroi végétale



en coupe



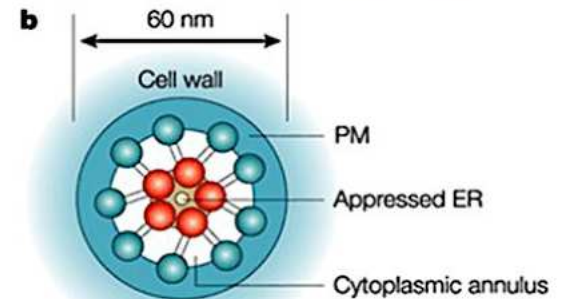
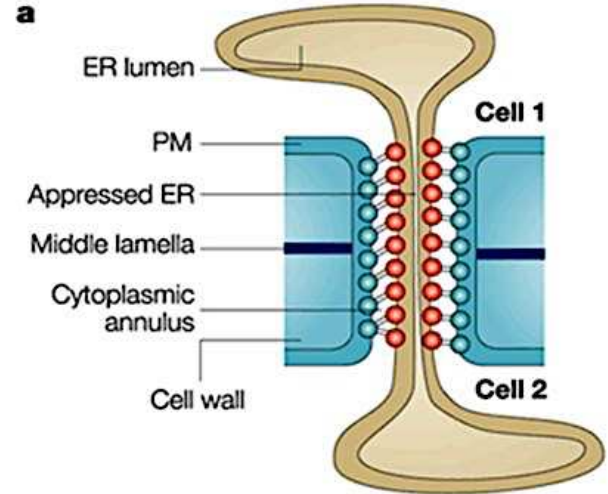
Structure d'un plasmodesme



Source : Université de Namur

Toute substance de moins de 1000 Da diffuse à travers le plasmodesme

Structure d'un plasmodesme



Source : Nature Reviews ¹⁰¹



Des imprégnations possibles

vaisseaux de xylème :
épaississements de cellulose + lignine
=> résistance à la déformation et
caractère hydrophobe



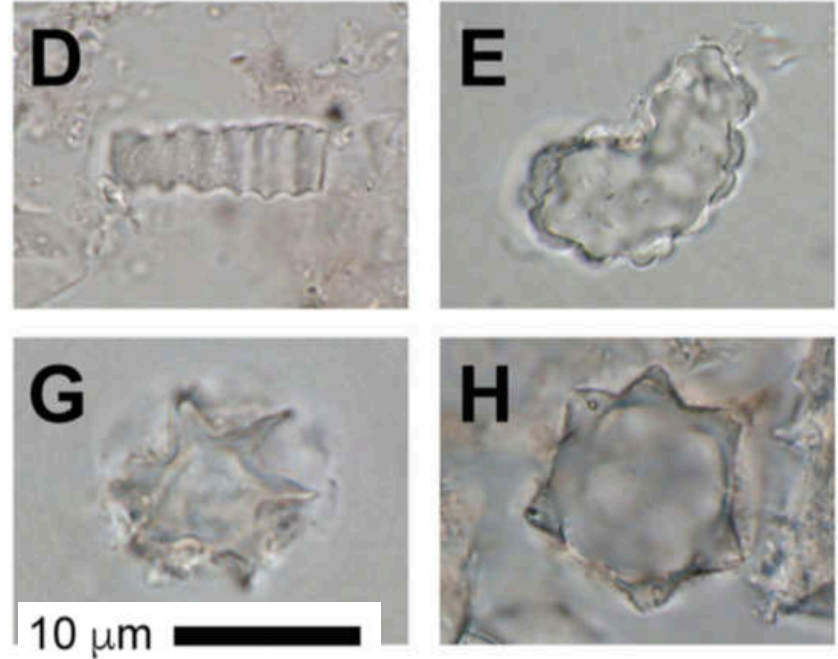
Clive Lloyd & Jordi Chan
Nature Reviews Molecular Cell Biology **5**, 13-23 (January 2004)

La lignine est un assemblage
moléculaire lipidique.

Des imprégnations possibles

La silice (SiO_4) rigidifie la paroi des cellules épidermiques des Poacées et des poils d'Ortie. Elle forme des concrétions incrustées dans la paroi.

Le CaCO_3 incruste des cellules de poils végétaux.



Variété de formes de phytolithes (concrétions de silice) dans des parois cellulaires.



BILAN : les MEC végétales

Les cellules végétales sont entourées par une paroi = réseau de polymères de glucides (cellulose, hémicelluloses et pectines). Chaque cellule produit sa propre paroi : d'abord une paroi primaire souple avec les celluloses entremêlées, puis une paroi plus rigide constituée de couches parallèles de cellulose.

Des imprégnations peuvent leur donner des caractères précis : lignine pour la résistance et l'hydrophobie.

Les parois sont liées entre elles par une lamelle moyenne de pectines.

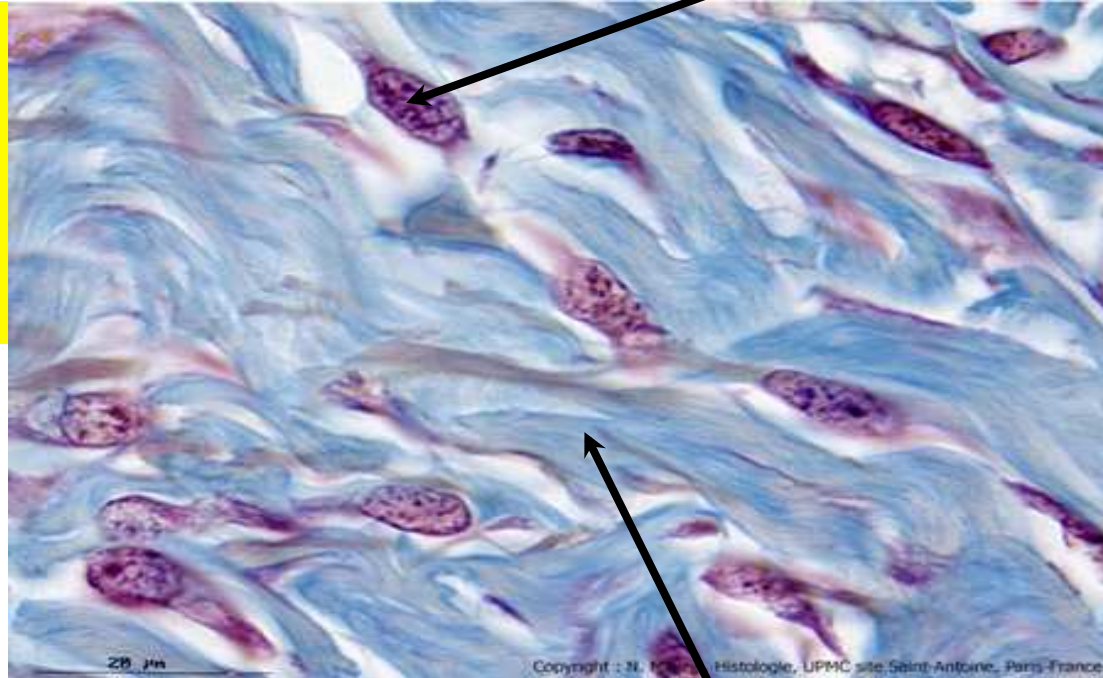


Le derme, tissu conjonctif animal

Composante cellulaire
fibroblaste

Une matrice
produite par des
cellules
spécialisées,
les **fibroblastes**

Une matrice
fibreuse

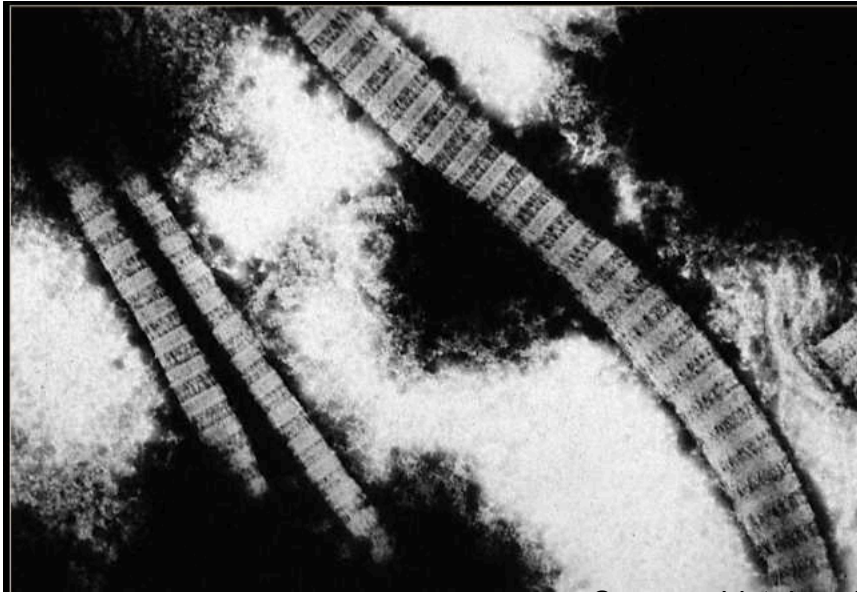


Coloration du
collagène au
trichome vert
Source : UPMC

Composante matricielle = MEC

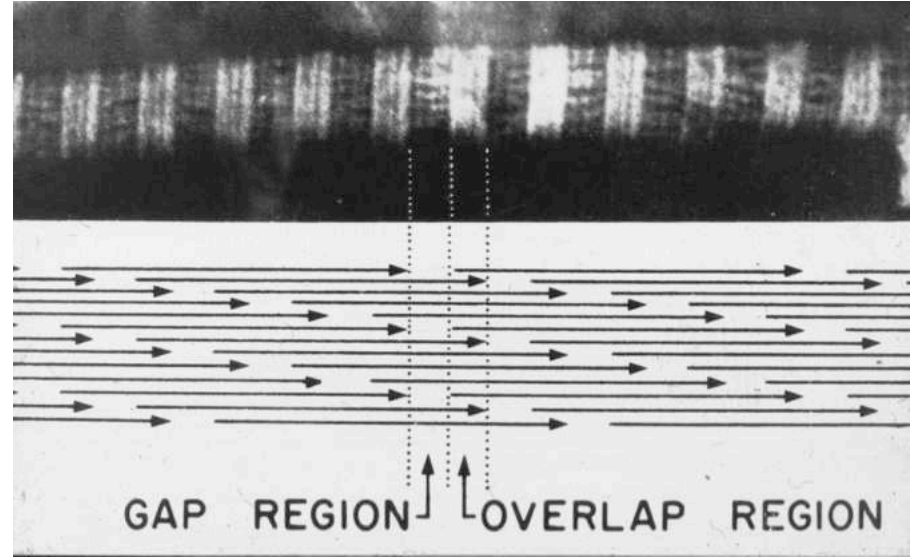
fibres de collagène en réseau dense

Le collagène, un assemblage en fibres



Source : histology.be

Fibre de collagène de type I au MET



1 molécule de collagène = 3 chaînes

Des fibres élastiques associées

Coloration des fibres élastiques en brun (colorant = orcéine) et du collagène en jaune.

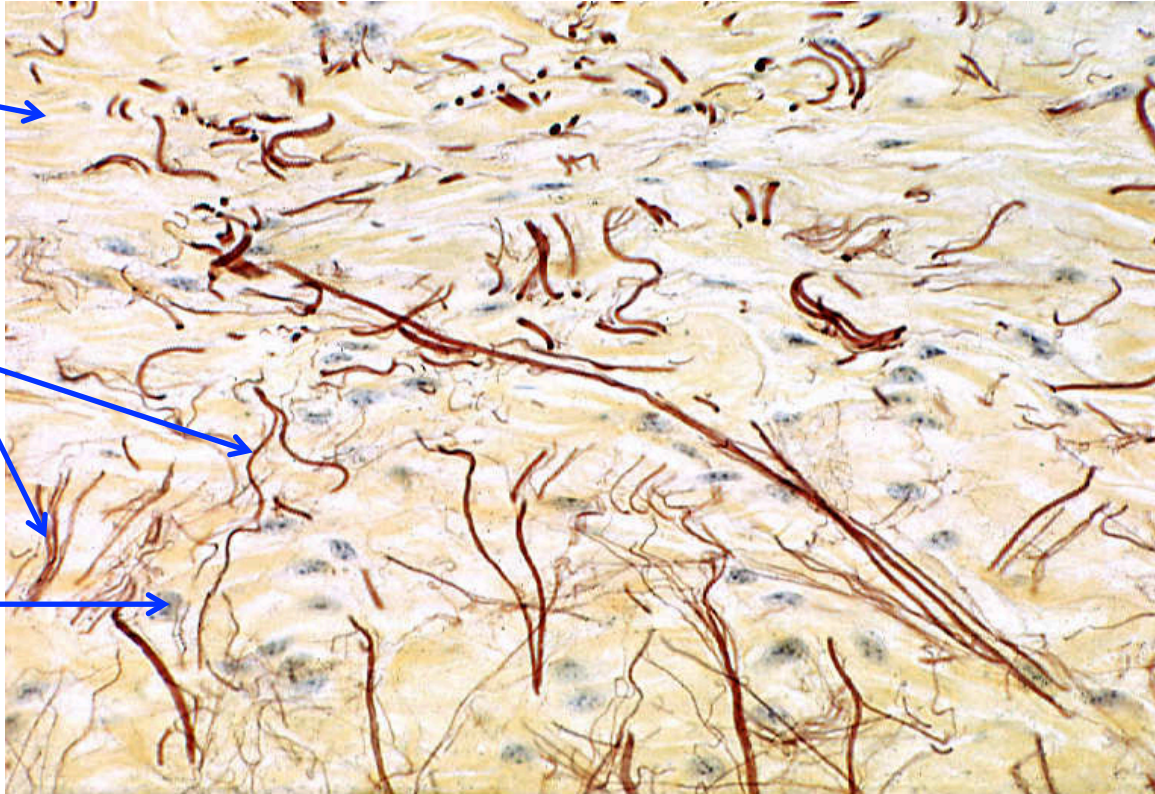
collagène



fibres élastiques



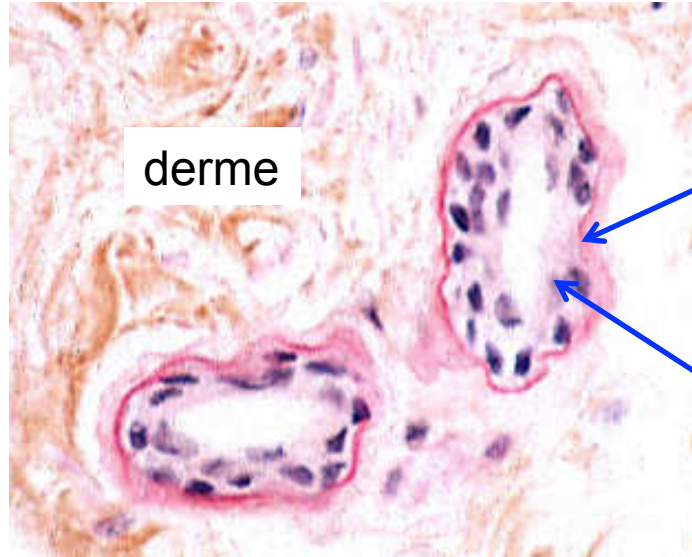
noyau d'un fibroblaste



DERME

★ La lame basale, matrice des épithéliums

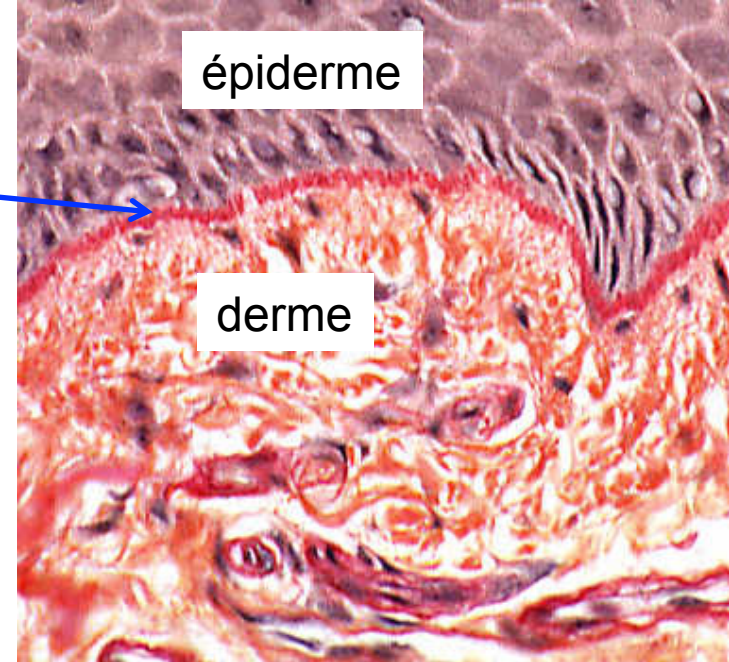
Lame basale = couche de **collagène** et **protéoglycanes** (PG), servant de support aux épithéliums.



derme

protéoglycanes

épithélium de la
glande sudoripare
du derme

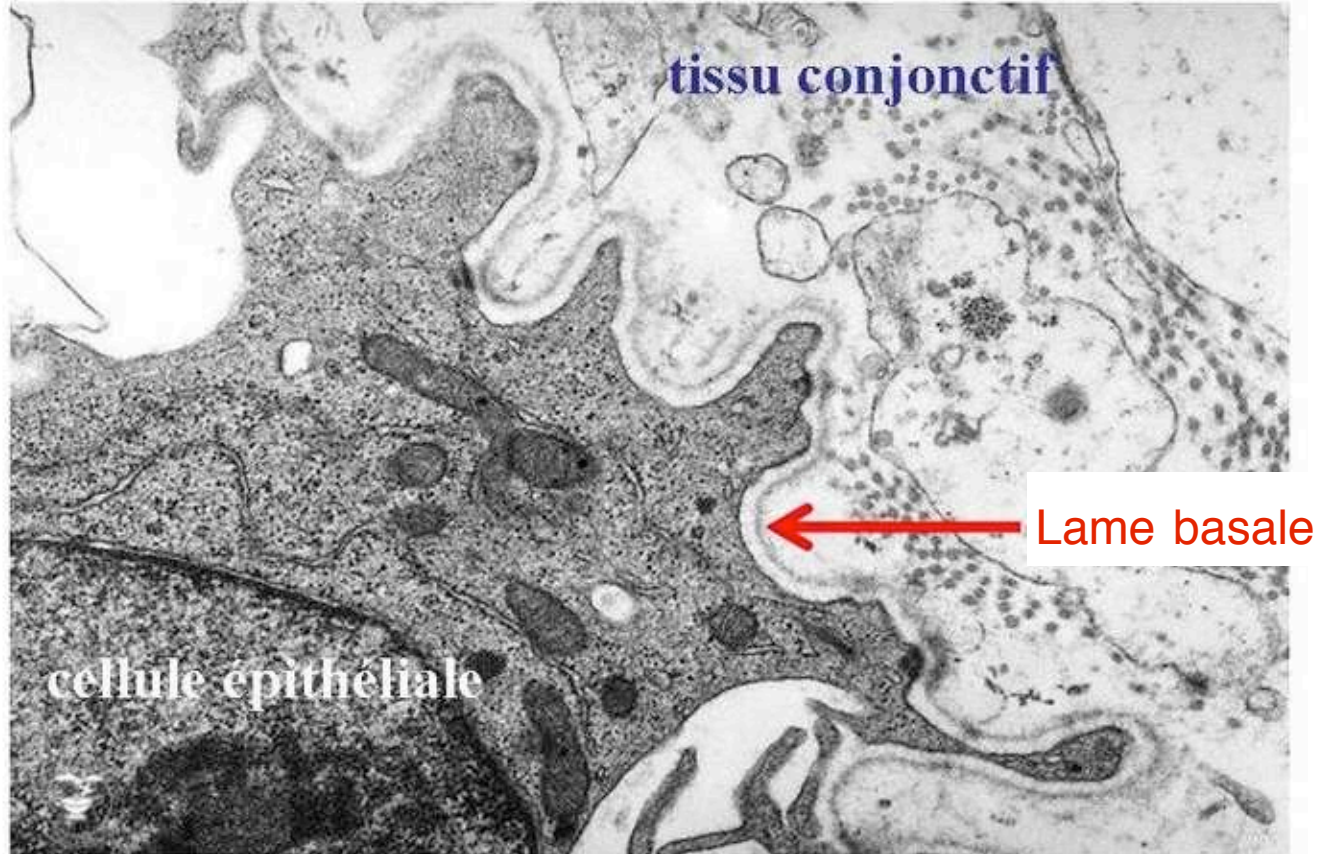


épiderme

derme

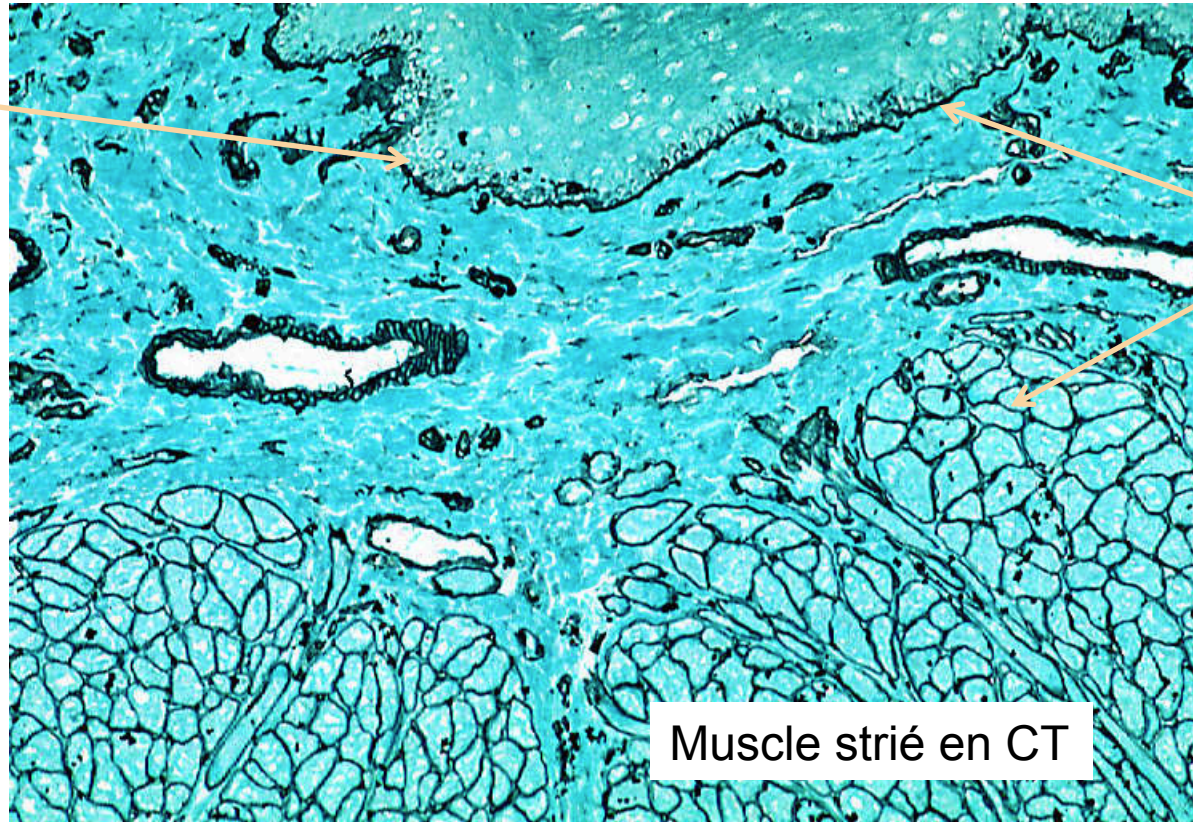
Coloration au PAS pour mettre en évidence les PG

La lame basale, matrice des épithéliums



Des protéines d'adhérence

épithélium
avec lame
basale



laminine

Muscle strié en CT

Source : histology.be

Coloration de la laminine en noir par des anticorps spécifiques

Des matrices variables selon les proportions

Constituants moléculaires

- édifices fibreux de **collagène**,
élastine
- glycoprotéines d'adhérence
(fibronectine, laminine)
- GAG et PG = molécules
ionisées piégeant l'eau

possibilité de minéralisation



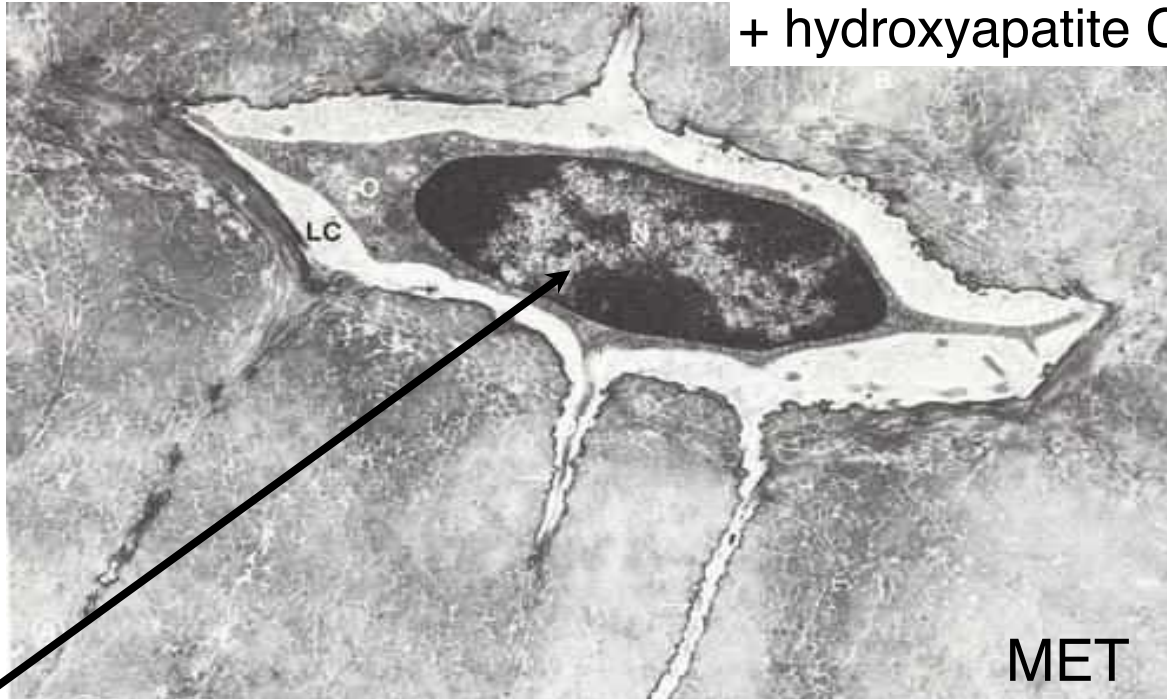
Cellules productrices ou associées

- Fibroblastes : majorité des cas
- chondrocytes (cartilage)
- ostéocytes (os)

possibilité de cellules qui accompagnent : macrophages, adipocytes, plasmocytes...

L'os, matrice minéralisée

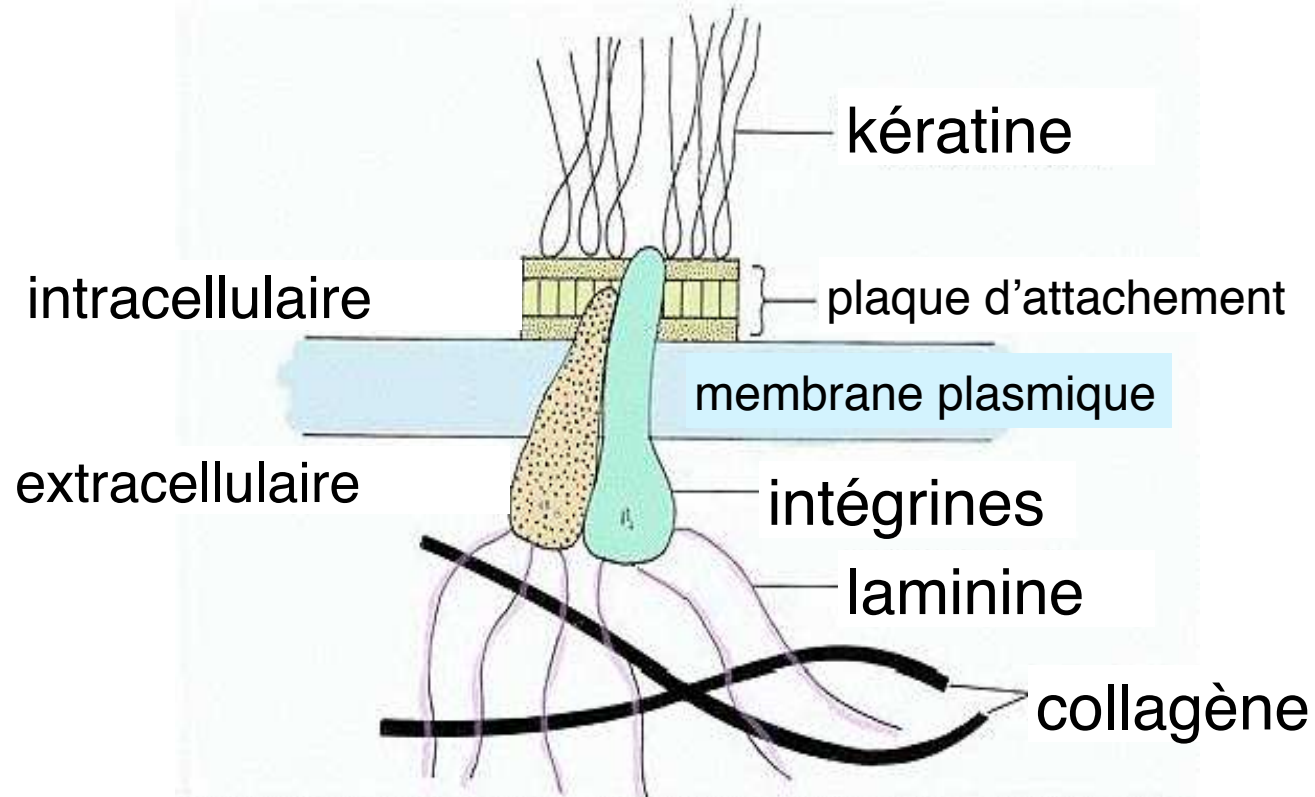
matrice = collagène + GAG + PG
+ hydroxyapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$



ostéocyte dans une lacune

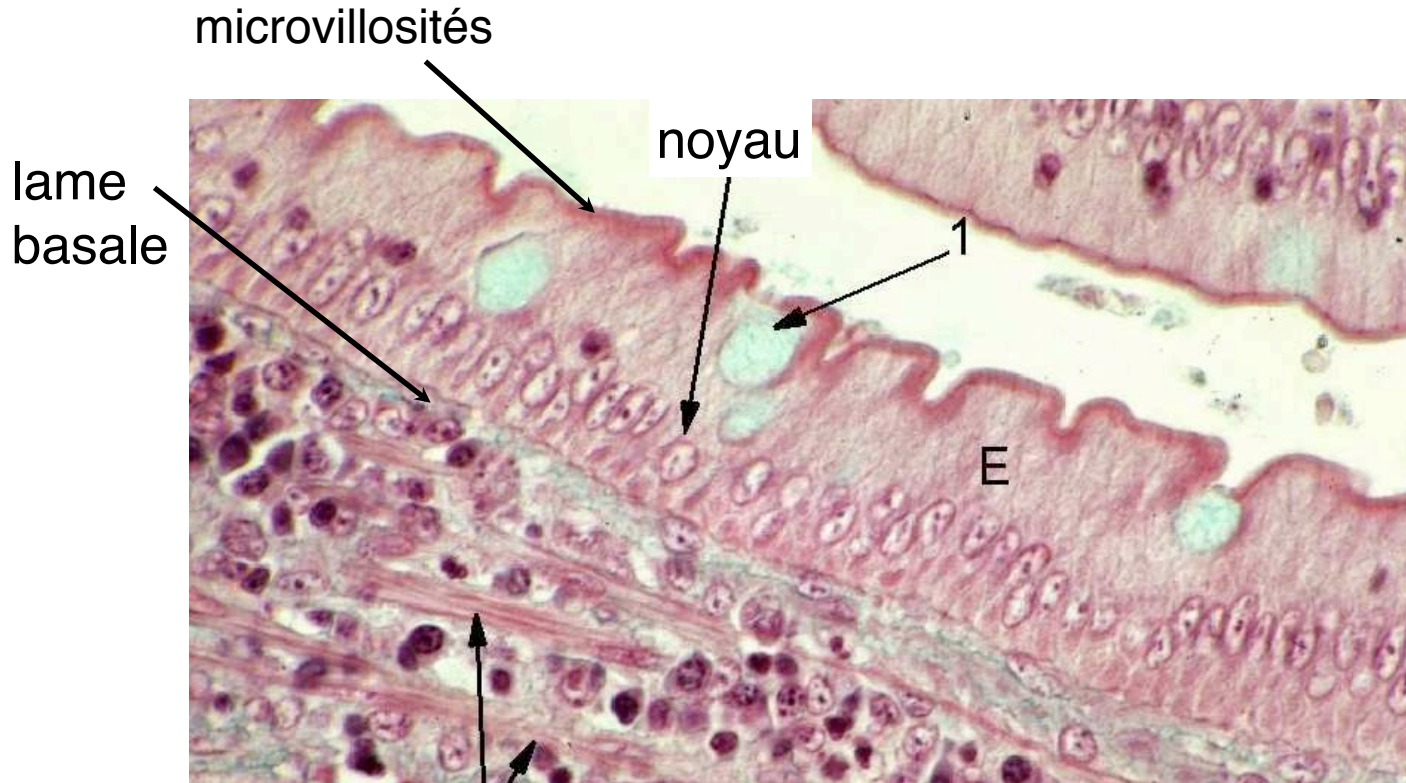


La jonction cellule - matrice



Hémidesmosome

La lame basale permet de polariser les cellules



Epithélium à cellules polarisées

intestin grêle de cheval



BILAN : les MEC animales

- Les matrices extracellulaires animales sont variées mais possèdent le plus souvent des fibres de collagène.
- Elles sont produites par des cellules spécialisées.
- Elles sont caractéristiques de l'état pluricellulaire.

4. L'holobionte, une association à bénéfice réciproque

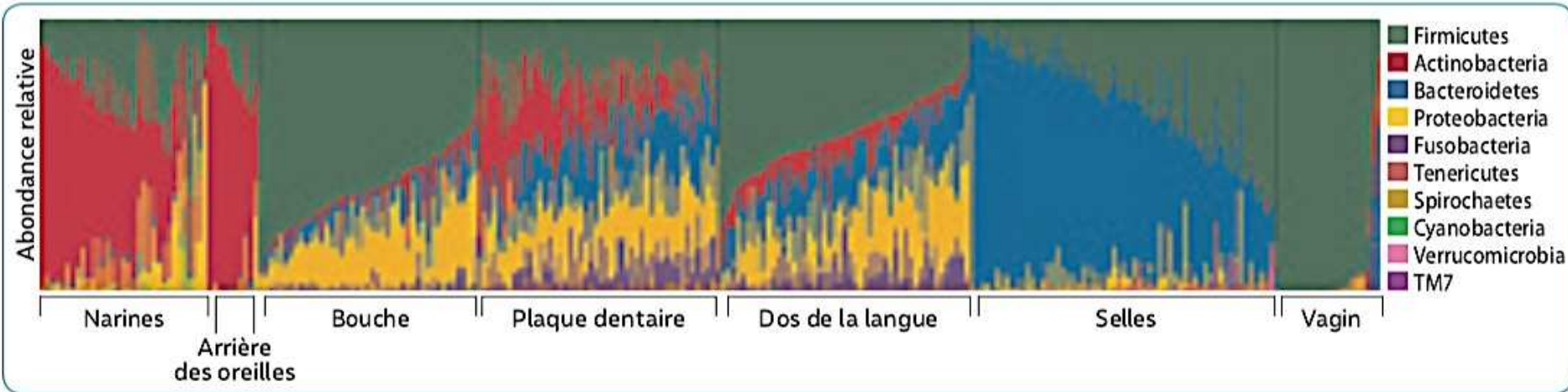
4.1. Le microbiote intestinal

Une diversité d'espèces

- des **Bactéries**
 - Firmicutes (60% des bactéries) tels *Clostridium*, Streptocoques, *Lactobacillus* et Mycoplasmes
 - Bacteroides (30% des bactéries) tels *Prevotella*
 - Actinobactéries (10%) tels *Bifidobacterium*, *Mycobacterium* et *Actinomyces*
- des **Archées**
- des **Champignons**
- des **Virus**

Un microbiote pour chaque individu

Les microbiotes de 242 individus. Chaque trait vertical représente un individu.

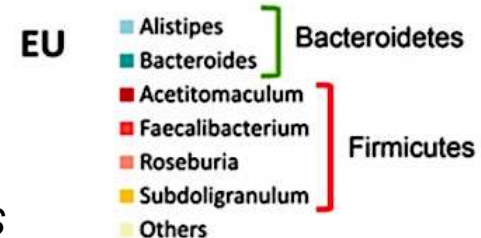
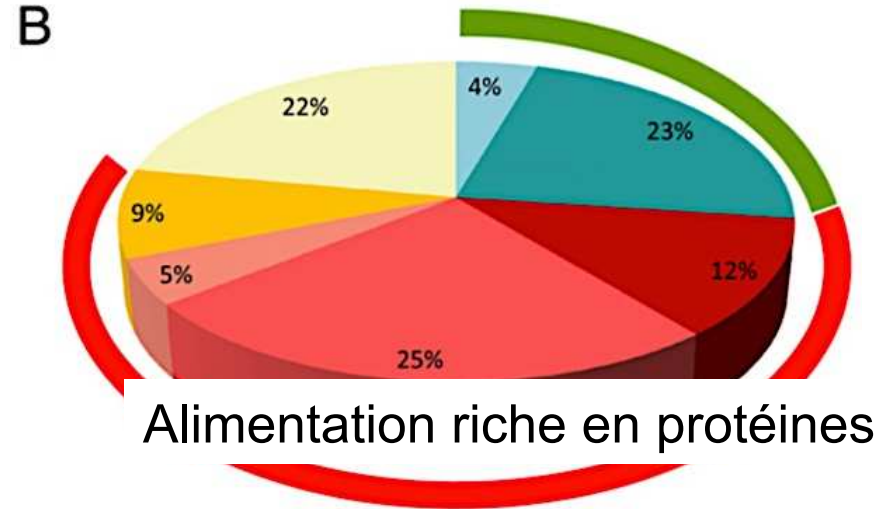
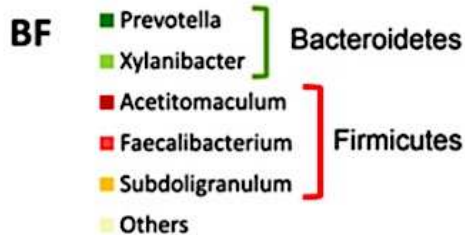
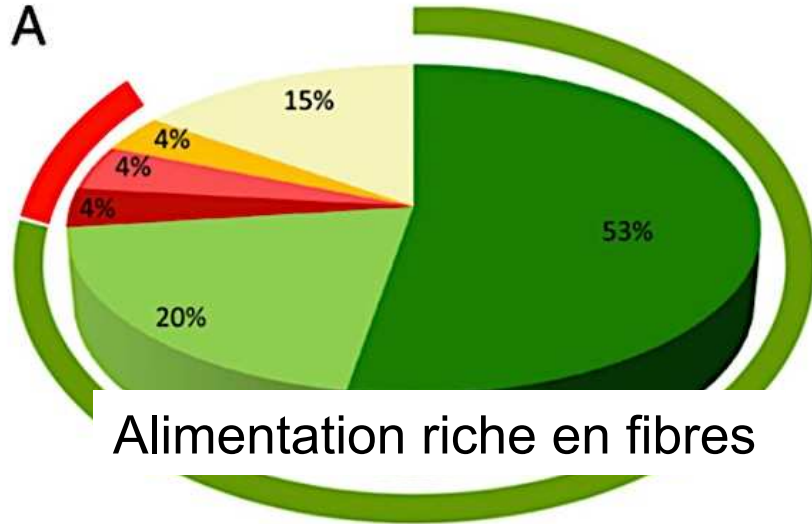


Source : *Nature*, 486 (2012)

Le même travail d'identification de groupes a été effectué pour 242 individus et pour différentes parties du corps, ce qui donne des informations sur la variabilité des proportions des différents groupes en fonction de leur localisation.

Un microbiote influencé par l'environnement

Composition du microbiote intestinal d'individus du Burkina Faso et d'Italie



Source : De Filippo, PNAS

Un échange de matière favorisé : la vitamine K

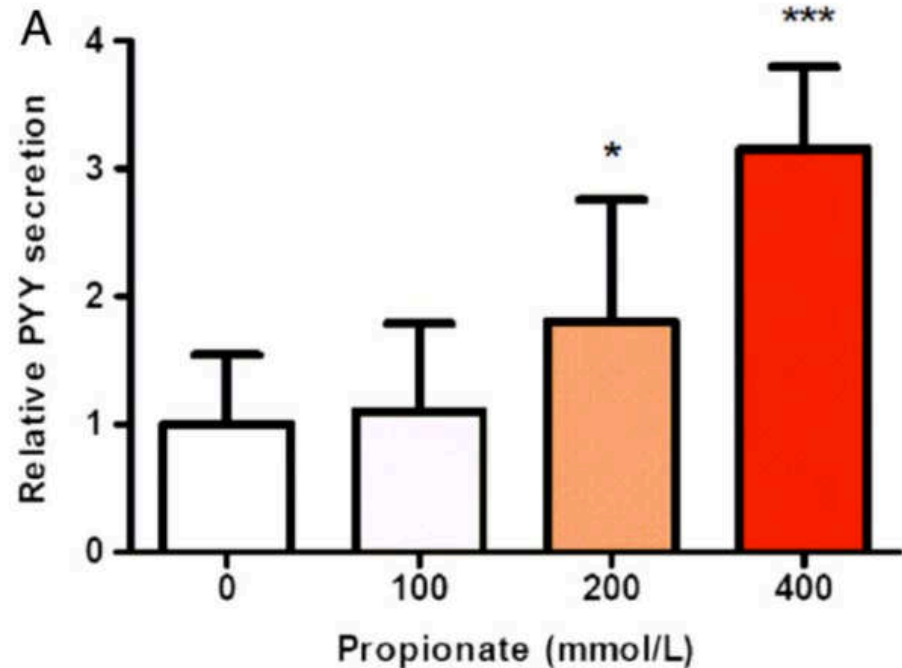
Supplémentation des nourrissons en vitamine K.
Production par des bactéries dont *E.coli*.

Strain	Growth condition	Vitamine K2	
		DMK-8	MK-8
Souche d' <i>E. coli</i>		μmol/g cell protein	
PL2024	Glucose + O ₂	0.22	0.02
	Glucose + N ₂	0.14	0.66

Montrer en quoi l'intestin favorise la production de vitamine K

Un échange de matière et d'information

L'hormone PYY est une hormone de satiété des Mammifères.
Le **propionate** est un acide gras volatil produit par la fermentation de la microflore intestinale.



Un échange de matière et d'information

Alimentation riche en fibres => fermentation par la microflore
=> libération de propionate

Le propionate est un signal capté par les cellules intestinales
qui sécrètent l'hormone de satiété => baisse de la sensation
de faim.



D'autres intérêts possibles pour l'hôte

- Digestion d'aliments non digestibles
- Synthèse de vitamines K et B
- Libération de colicines, substances sécrétées par des bactéries, telles E. coli, et détruisant des bactéries pathogènes
- Action sur le système immunitaire de l'hôte
- Régulation de l'appétit
- Favorisation du transit et de la régénération de l'épithélium...

Vidéo : <https://www.inserm.fr/dossier/microbiote-intestinal-flore-intestinale/>



Notion de symbiose

Association interspécifique à bénéfice réciproque

Pour le microbiote

apport de l'hôte = maintien dans un environnement hydraté, chaud, riche en matière organique, anoxique...

Pour l'hôte : *apport du microbiote* vu précédemment

4.2. Exercice : les nodosités



BILAN

- Les cellules d'un organisme pluricellulaire interagissent (échange de matière, d'information et d'énergie).
- Un organisme peut contenir des individus d'espèces différentes et constituer un holobionte.