

SV-C-I- LA CELLULE AU SEIN DE L'ORGANISME

SV-C LA CELLULE DANS SON ENVIRONNEMENT



Red Blood Cell Cytoskeleton, 2020, by David S. Goodsell



© Margarethe Maillart, ENS de Lyon

200 μm

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

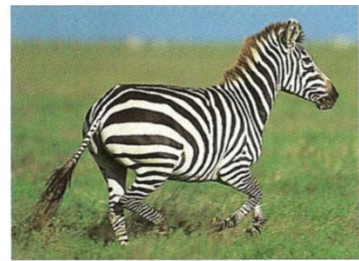
Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>L'état pluricellulaire peut être décrit à différentes échelles : tissu, organe, appareil et individu.</p> <p>Différentes techniques de microscopie (optique, à épifluorescence et électronique -MEB et MET-) permettent d'étudier l'organisation des cellules et des tissus.</p> <p>Les jonctions et les interactions cellule-matrice assurent la cohésion et participent à la communication entre cellules animales.</p> <p>Pour les Angiospermes, ces fonctions sont assurées par la paroi et les plasmodesmes.</p> <p>Les matrices extracellulaires présentent une structure en réseau dont l'organisation et la composition varient en fonction des organismes et des tissus.</p> <p>Les matrices extracellulaires peuvent être rigidifiées notamment par une imprégnation de lignine ou de substances minérales.</p> <p>Certaines cellules d'un organisme pluricellulaire eucaryote interagissent (échanges de matière et d'information) avec d'autres organismes.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Illustrer les différentes échelles en utilisant l'entérocyte et la cellule du parenchyme palissadique. - Comparer les techniques de microscopie (types d'objets observés, taille des structures observées, domaines d'application).- Évaluer les dimensions d'une structure observée à partir de la connaissance de l'ordre de grandeur de quelques objets biologiques courants (divers types cellulaires).- Exploiter une coupe d'intestin de Mammifère et une coupe transversale de feuille d'Angiosperme pour identifier les principaux types de tissus et préciser les relations structure-fonction.- Identifier les principaux types de jonctions intercellulaires sur des clichés de microscopie électronique.- Schématiser l'organisation moléculaire en réseau des matrices extracellulaires animales d'un tissu conjonctif et d'un tissu épithélial et celle d'une paroi pectocellulosique.- Identifier les partenaires d'une association interspécifique impliquant des microorganismes par observation microscopique (microbiote intestinal, nodosité).

- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

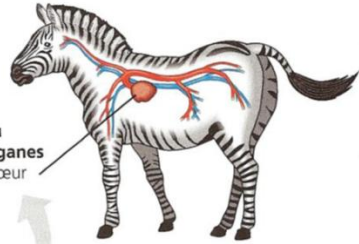
PLAN DE COURS

- I. Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus
 - A. Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus
 - 1. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.
 - 2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression
 - 3. Des molécules formatrices de réseau
 - B. Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus
 - 1. Des variations de composition des matrices
 - 2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice
 - C. Production des matrices extracellulaires par les cellules.
 - 1. Synthèse des constituants
 - 2. Remodelage de la paroi cellulaire
 - 3. Bilan sur les MEC
- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus
 - A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 - 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 - 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 - 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 - 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
 - B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 - 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 - 2. Un passage de molécules contrôlé.
 - 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 - 1. Des échanges symbiotiques de matière
 - 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information



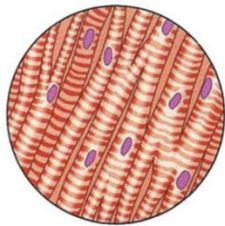
Niveau des organismes
Zèbre (organisme constitué de nombreux systèmes)

Niveau des systèmes
Système cardiovasculaire

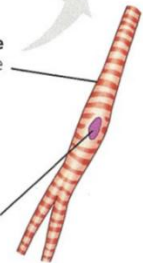


Niveau des organes
Cœur

Niveau tissulaire
Tissu musculaire cardiaque

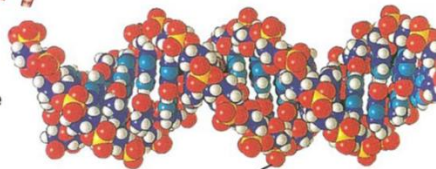


Niveau cellulaire
Cellule musculaire cardiaque

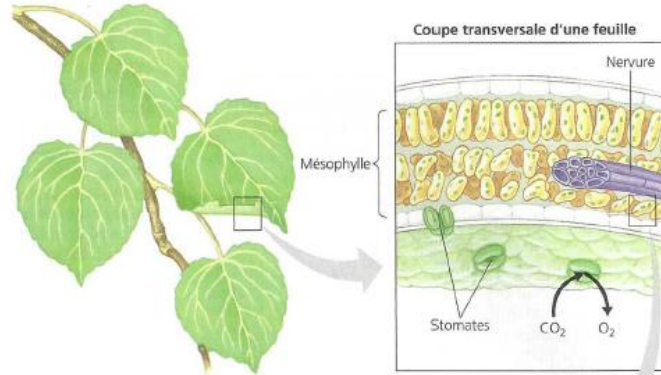


Niveau des organites
Noyau

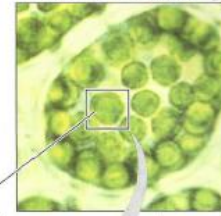
Niveau moléculaire
ADN



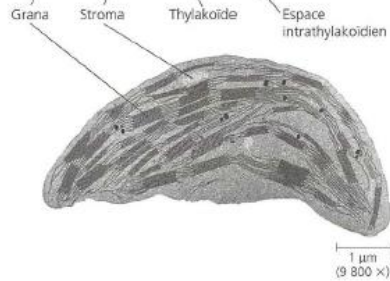
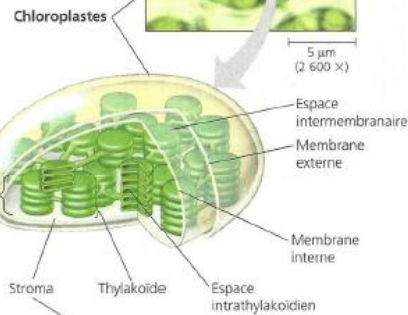
Niveau atomique
Atome d'oxygène



Cellule du mésophylle



5 µm
(2 600 ×)



1 µm
(9 800 ×)

Figure : les différents niveaux d'organisation du vivant : de l'atome à l'organisme (Campbell)

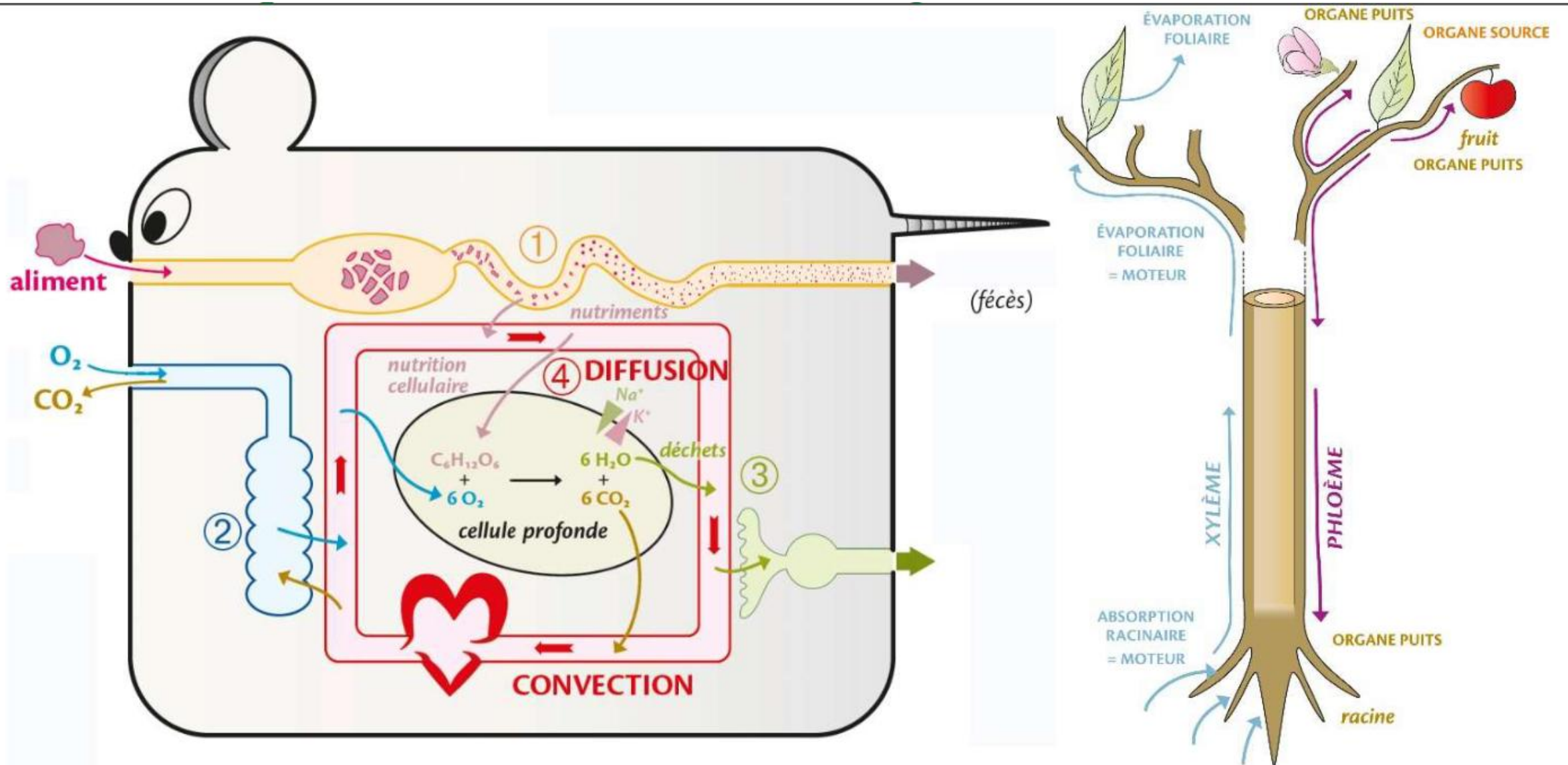
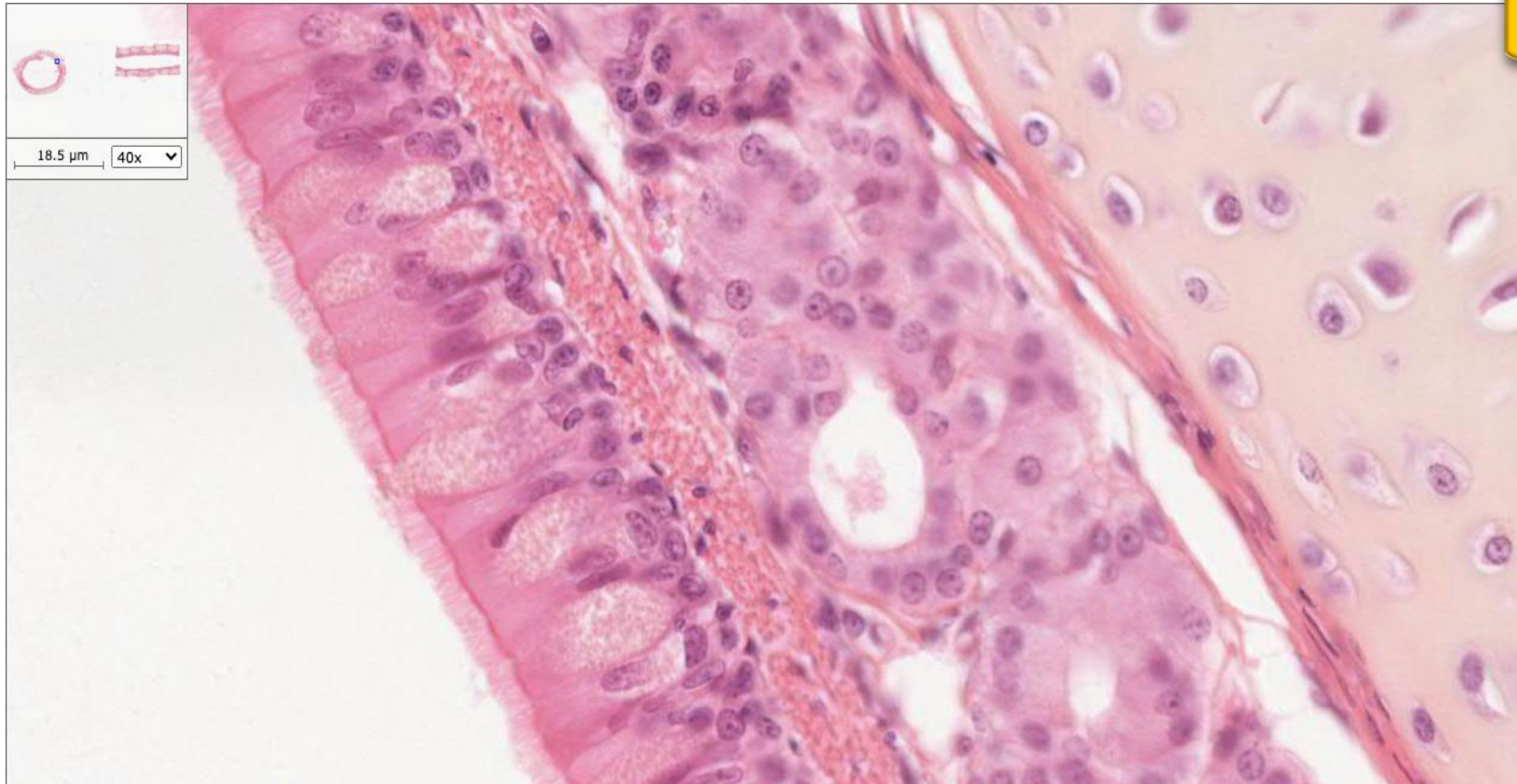


Figure 2 : les cellules au sein d'un organisme (A. Denis)

INTRODUCTION

Rappels
2^{nde}



Trachée de rat HES (MO, coloration HE)

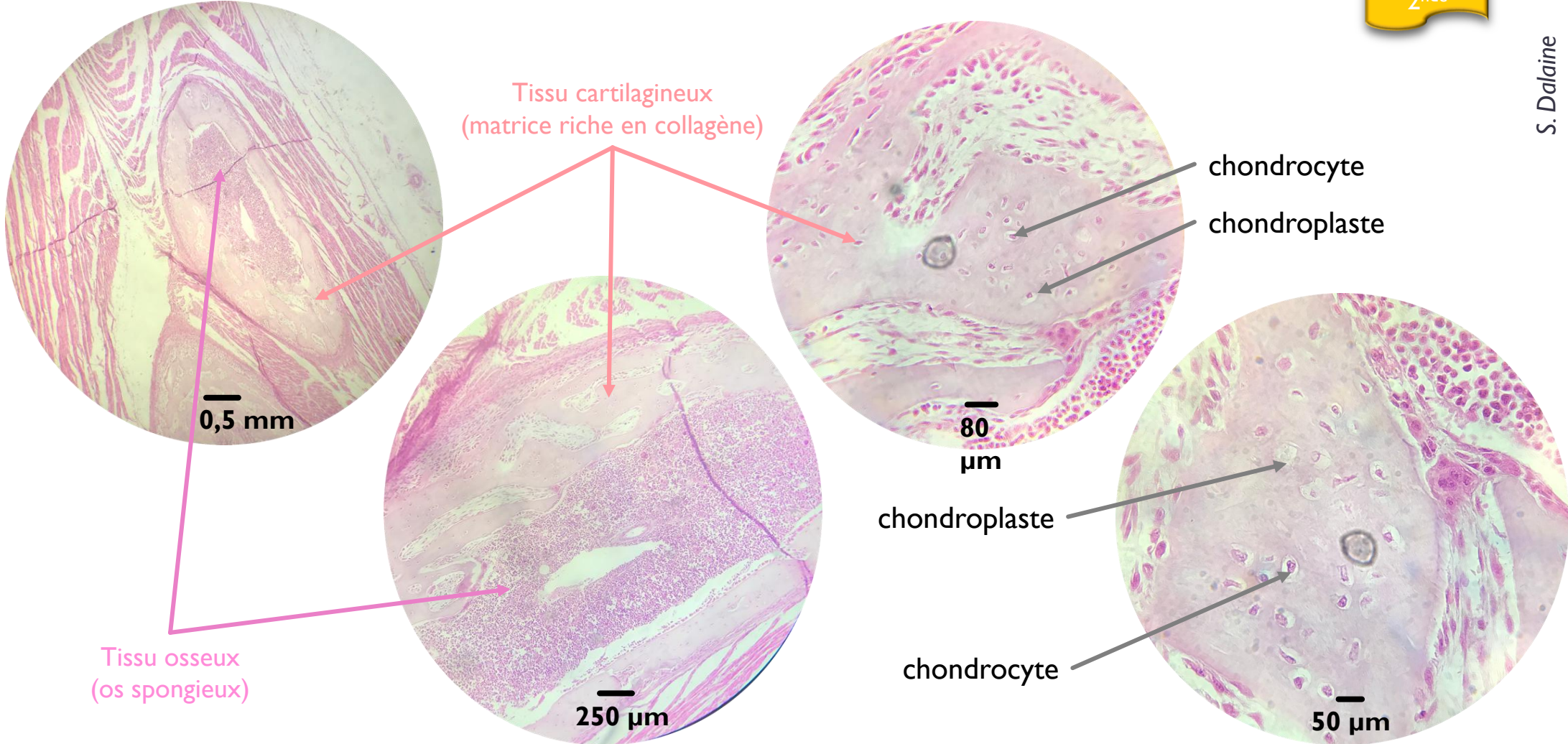
<https://www.histology.be/slides/showslide.html?s=HSM0238>

- Chez les organismes pluricellulaires :
 - **Spécialisation** des organes, tissus, cellules → **diversité** des formes cellulaires
 - **Collaboration** entre les différents types cellulaires permettant le fonctionnement de l'organisme

INTRODUCTION

Rappels
2^{nde}

S. Dalaine

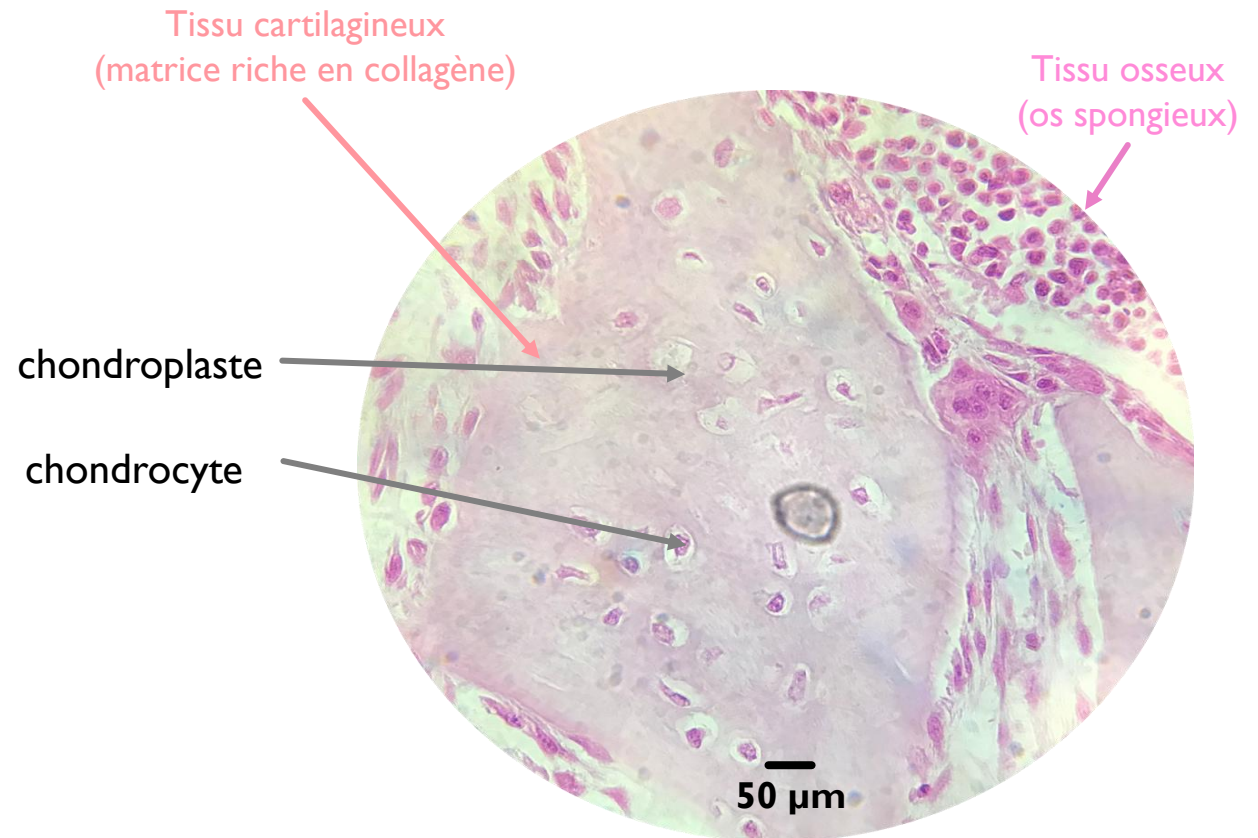


INTRODUCTION

- Diversité de tissus
 - **Toutes les cellules produisent de la MEC = matrice extracellulaire** (bactéries, cellules animales ou végétales)
 - Chez les pluricellulaires, la MEC est +/- dense
 - Elle assure **l'adhérence** des cellules
 - Mais \neq substance amorphe sans dynamisme
 - ⇒ **interface fonctionnelle** entre la cellule et son milieu.
- **Diversité des MEC selon les types cellulaires ?**
- **Composition biochimique de ces MEC ?**
- **Interactions MEC et cellules ?**
- **Importance biologique des MEC ?**

Cf. 2^{nde}

Matrice extracellulaire : n.f. (latin *matrix* = mère) ensemble de molécules en interaction qui assurent l'adhérence cellulaire.



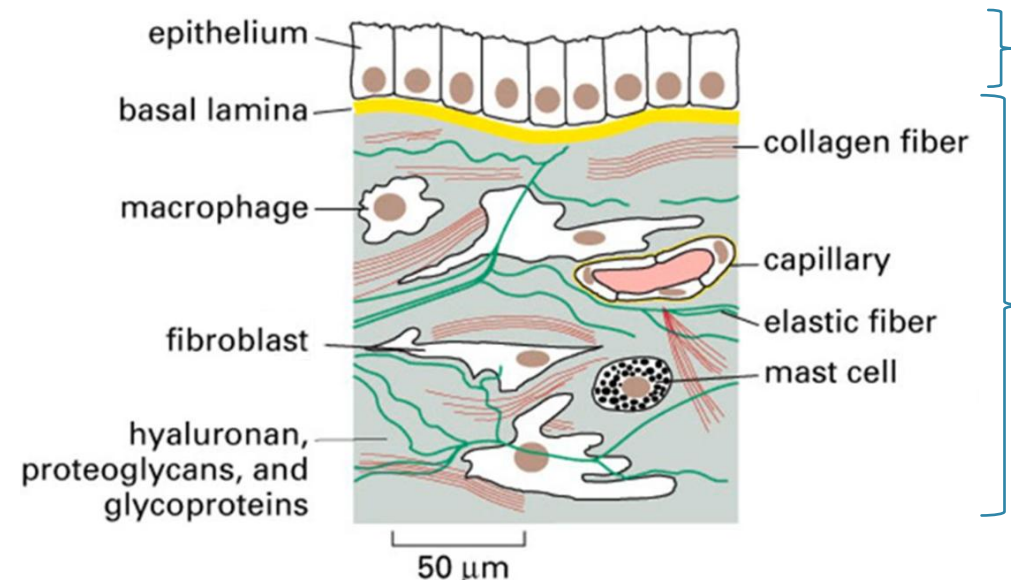
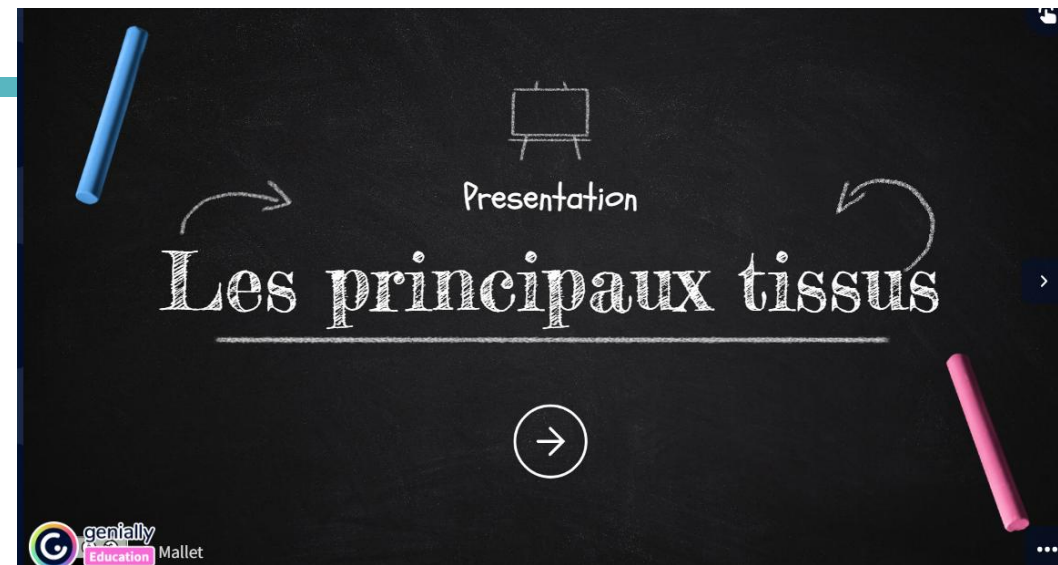
Observation d'une coupe transversale d'os de Chat en ossification (endochondrale) (MO)

INTRODUCTION

Travail préparatoire à ce cours SV-C-I La cellule au sein de l'organisme



En espérant que vous avez préparé sérieusement ce cours!



- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

PLAN DE COURS

- I. Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus
 - A. Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus
 - 1. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.
 - 2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression
 - 3. Des molécules formatrices de réseau
 - B. Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus
 - 1. Des variations de composition des matrices
 - 2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice
 - C. Production des matrices extracellulaires par les cellules.
 - 1. Synthèse des constituants
 - 2. Remodelage de la paroi cellulaire
 - 3. Bilan sur les MEC
- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus
 - A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 - 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 - 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 - 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 - 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
 - B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 - 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 - 2. Un passage de molécules contrôlé.
 - 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 - 1. Des échanges symbiotiques de matière
 - 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information

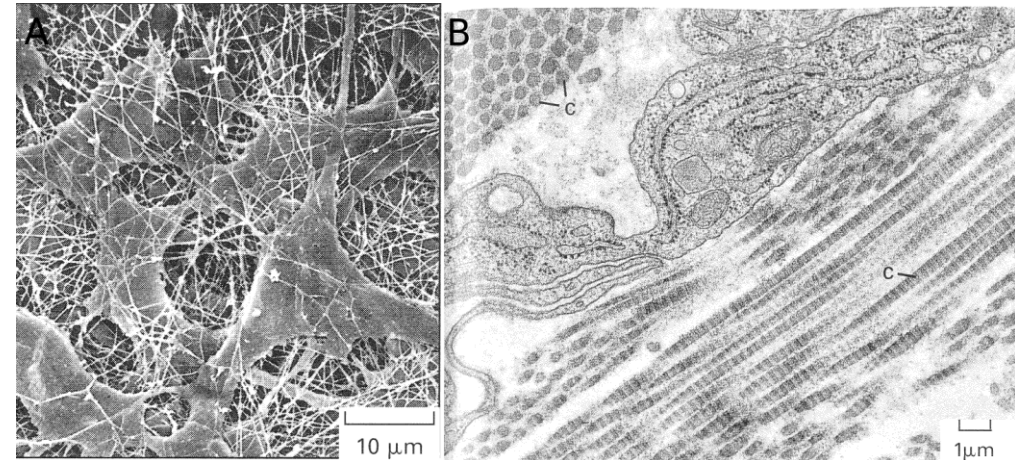
I. LES MATRICES EXTRACELLULAIRES, DES CONSTITUANTS FONDAMENTAUX DES TISSUS

Matrice : ensemble de macromolécules sécrétées par les cellules et formant une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu

■ MEC animales :



- **MEC du tissu conjonctif** (ex : derme, conjonctif de la muqueuse intestinale, cartilage, ...)
 - ✓ MEC abondante, qui **remplit l'espace** entre les cellules.
- MEC du tissu épithélial = **membrane (lame) basale**.
 - ✓ Fine couche de **40 nm à 120 nm** d'épaisseur (parfois 800nm), qui sépare l'épithélium du conjonctif sous-jacent (ex : entre épiderme et derme / entre épithélium intestinale et conjonctif, ...).
 - ✓ **Ancrage** des cellules épithéliales sur cette lame basale
 - ✓ Rôle de **filtre** pour la nutrition cellulaire.

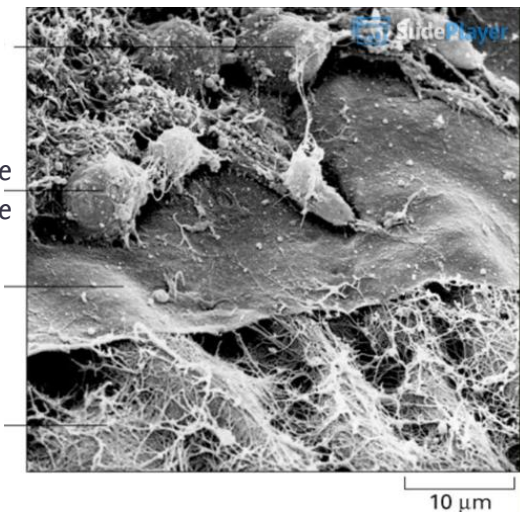


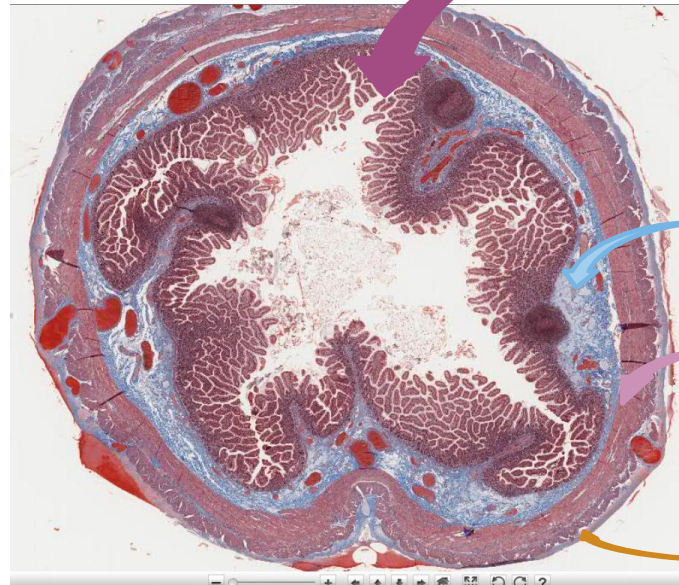
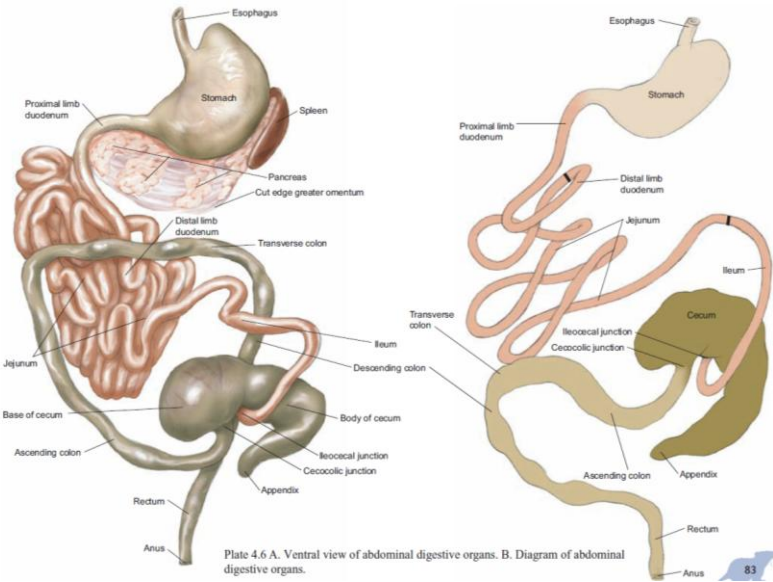
Électronographie de fibroblastes mettant en évidence la MEC dense d'un conjonctif

Collagène (c) en vue longitudinale et transversale, protéine essentielle de la MEC

Cellule migrant sur la membrane basale

Membrane basale = MEC réduite des tissus épithéliaux





iléon humain en CT (HSM0170, trichrome de Masson)

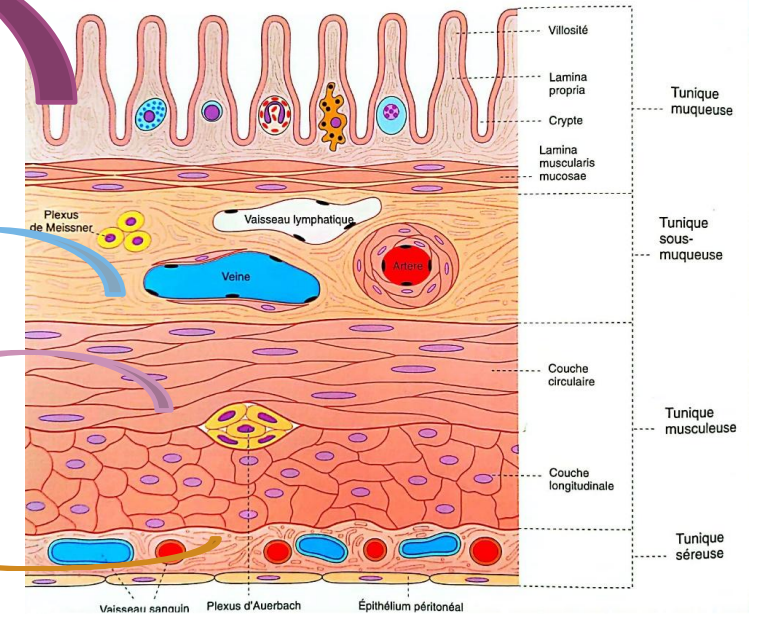
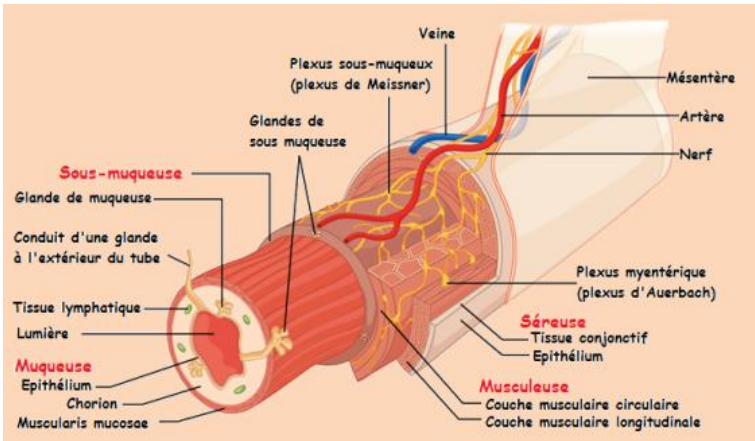
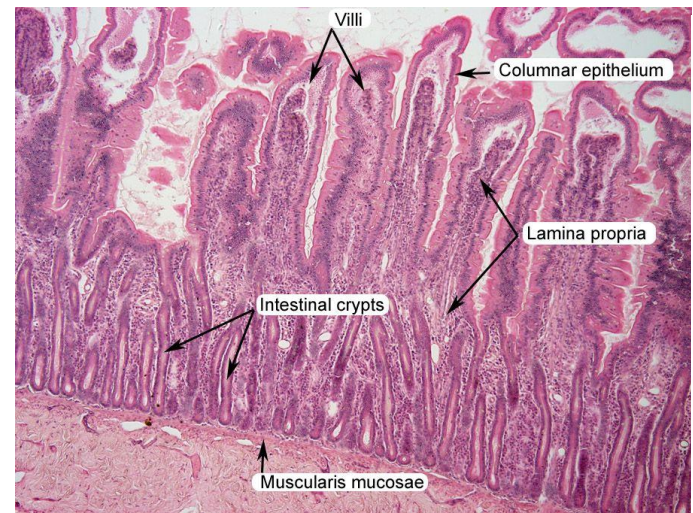


Schéma d'une coupe d'intestin (Sobotta, 1999)

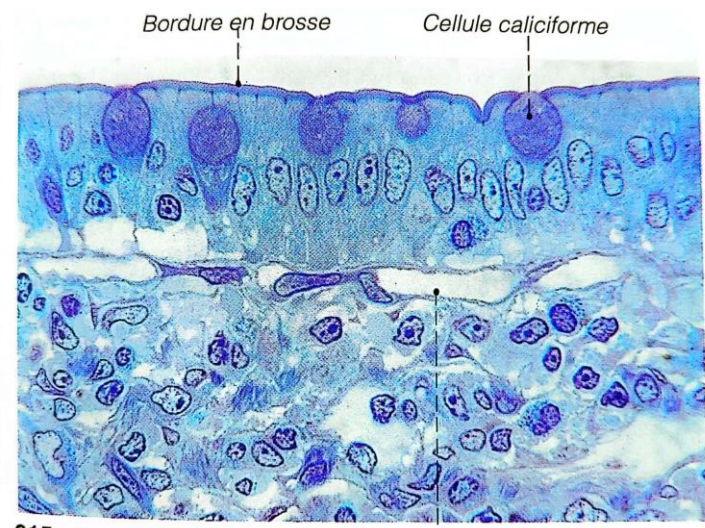
Dessin et schéma des structures abdominales du tube digestif de rat



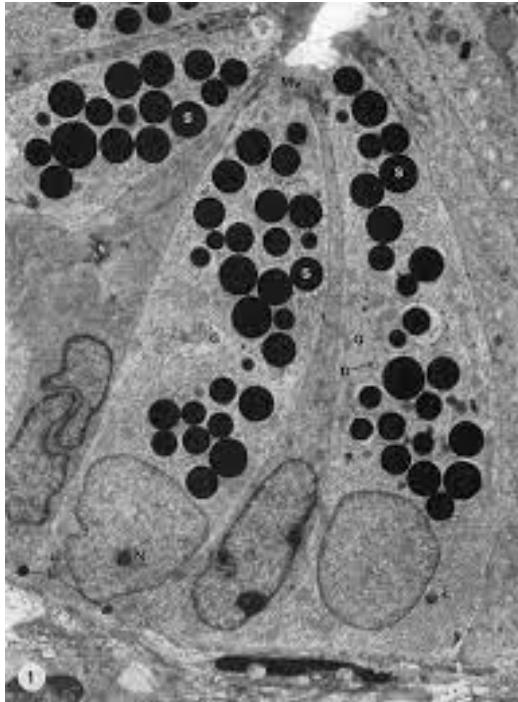
Vue 3D des enveloppes concentriques composant l'intestin



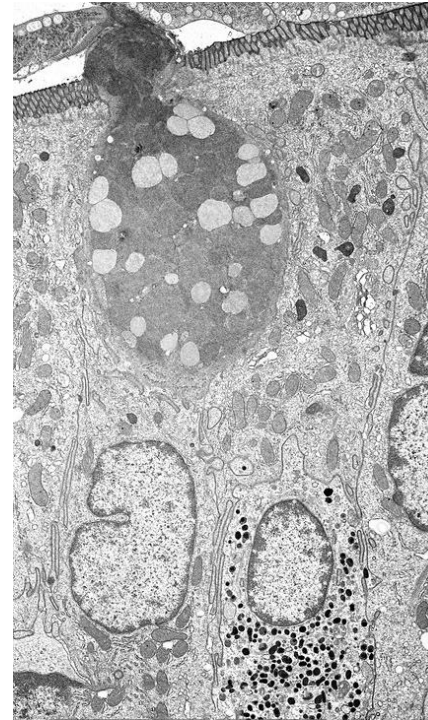
iléon de rat HES zoom sur les villosités



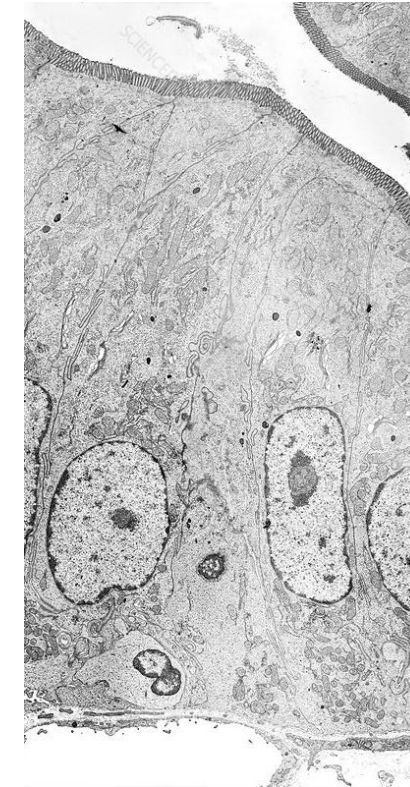
Epithélium intestinale (MO)
 Entérocyte
 → absorption
 Cellule caliciforme
 → production de mucus protecteur



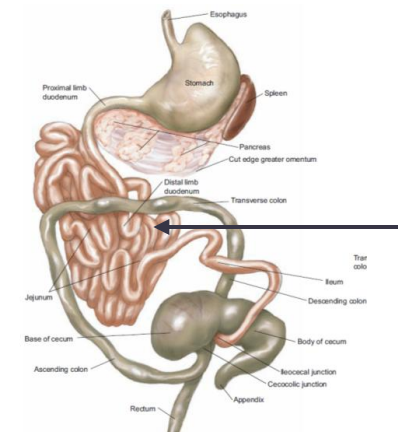
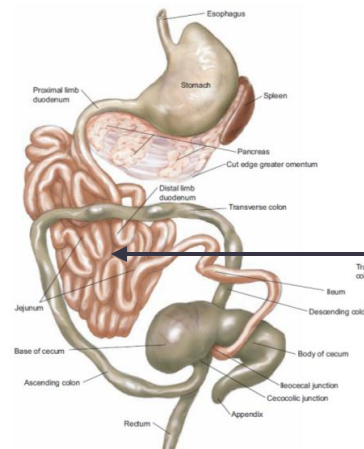
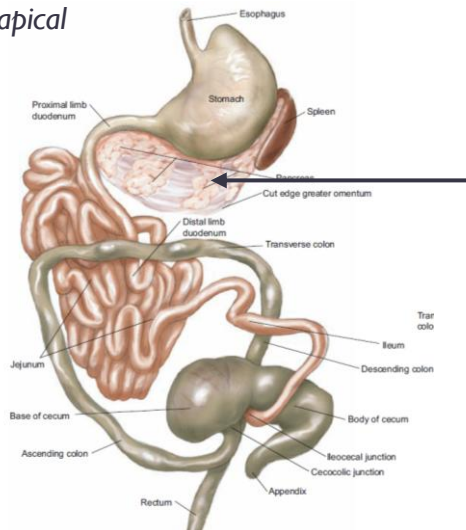
Cellule acineuse pancréatique au MET, grains de zymogène bien visible au pôle apical

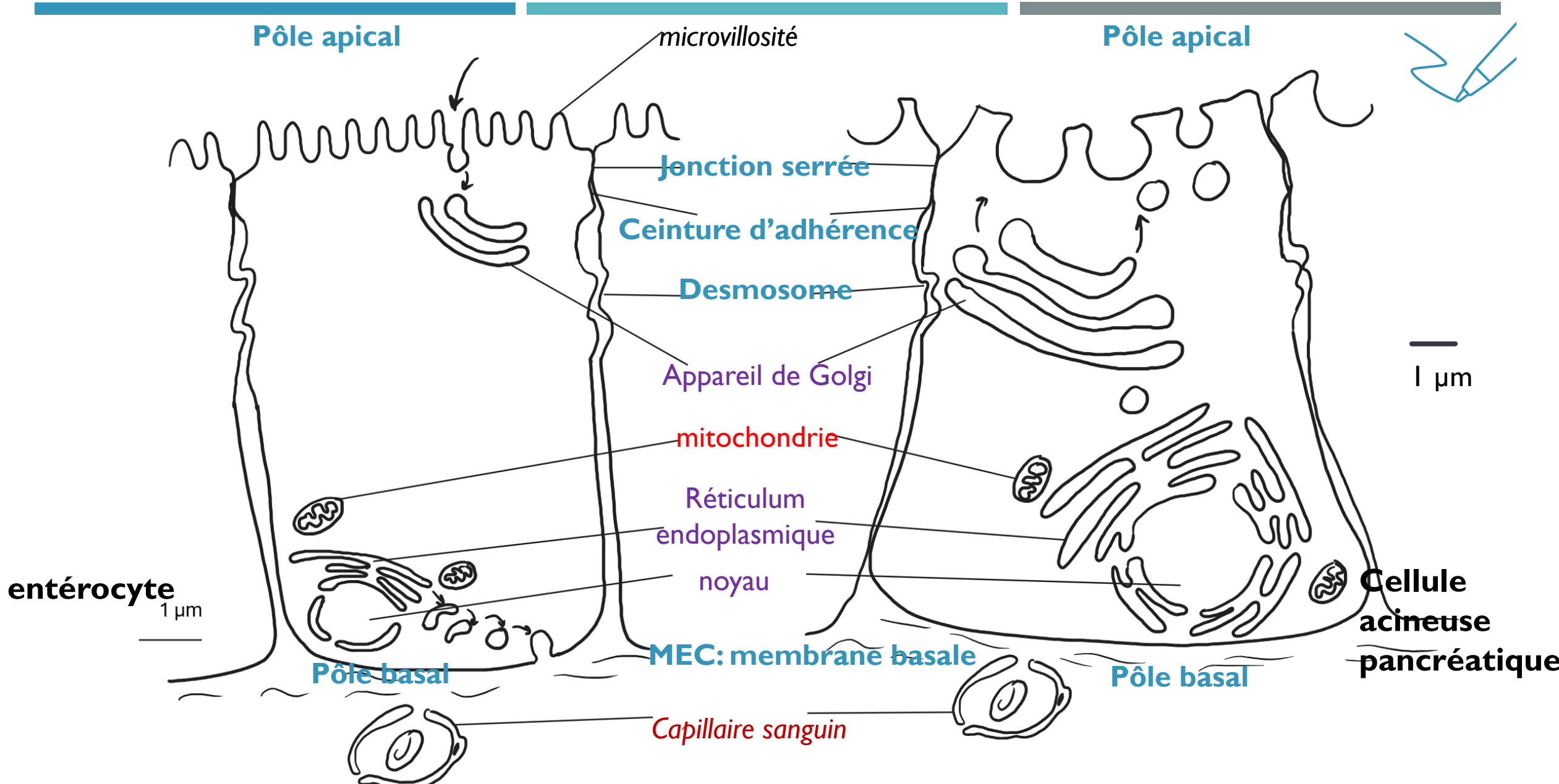


Cellule caliciforme de l'épithélium intestinal au MET, **sécrétion d'un mucus** → lubrification



Entérocytes de l'épithélium intestinal au MET (microvillosités visibles au pôle apical → **absorption**)





2 cellules épithéliales (une à rôle d'absorption et l'autre sécrétrice)

Matrice : ensemble de macromolécules sécrétées par les cellules et formant une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu

■ MEC végétale : paroi cellulaire

- Cellulose
- Hémicellulose
- Pectine
- Protéine HRGP (extensine riche en hydroxyproline cf collagène)

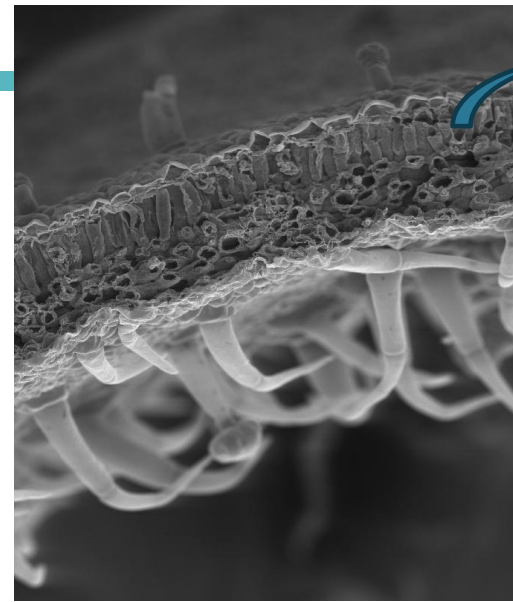


Observations microscopiques du tissu du parenchyme palissadique et de sa matrice extracellulaire

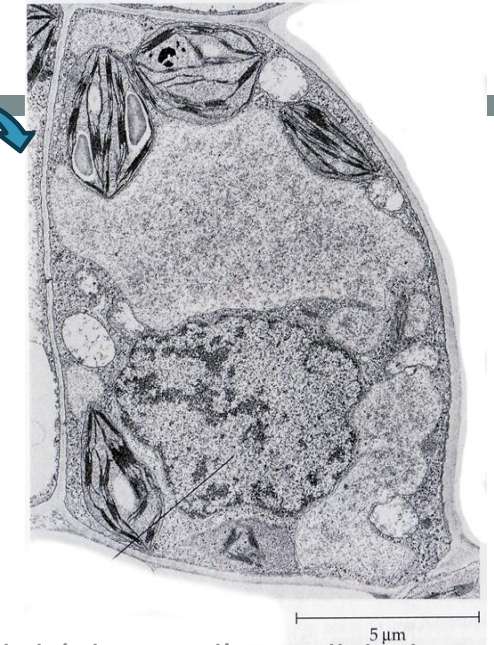
A : Charpente cellulosique de la paroi. Ombrage après dissolution du gel. Noter la **disposition entrecroisée des fibrilles de cellulose**, qui met en évidence les **plasmodesmes**. Barre d'échelle : 1 μm

plasmodesme (n.m.): prolongement cytoplasmique réunissant le hyaloplasme de deux cellules végétales voisines. C'est une voie de passage qualifiée de symplasmique pour l'eau, les solutés, les phytohormones et les virus. L'ouverture des plasmodesmes est contrôlée par l'actine, la myosine et la tubuline.

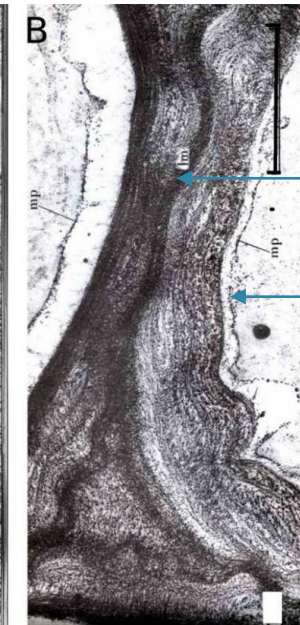
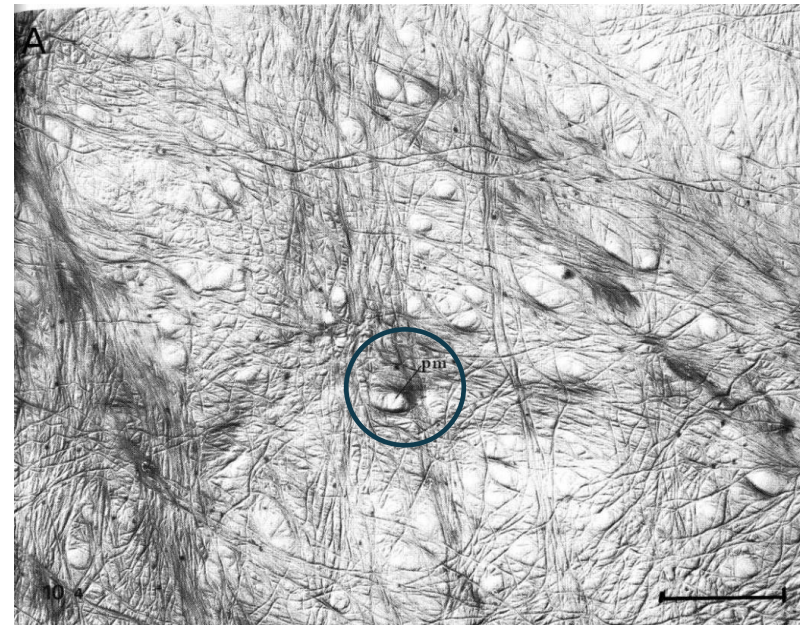
B : Paroi végétale vue en coupe transversale au MET. La **lamelle moyenne**, plus dense, est formée de **pectines** qui constituent un **ciment intercellulaire**. Barre d'échelle : 0.2 μm



Cliché de MEB d'une coupe transversale de feuille de tomate



Cliché de MET d'une cellule du parenchyme palissadique foliaire



Lamelle moyenne

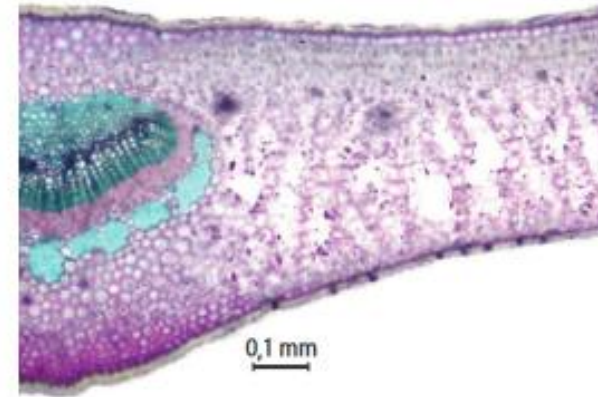
Membrane plasmique

Rappels: Les tissus du limbe foliaire: anatomie asymétrique favorisant la photosynthèse et les échanges gazeux tout en limitant les pertes hydriques

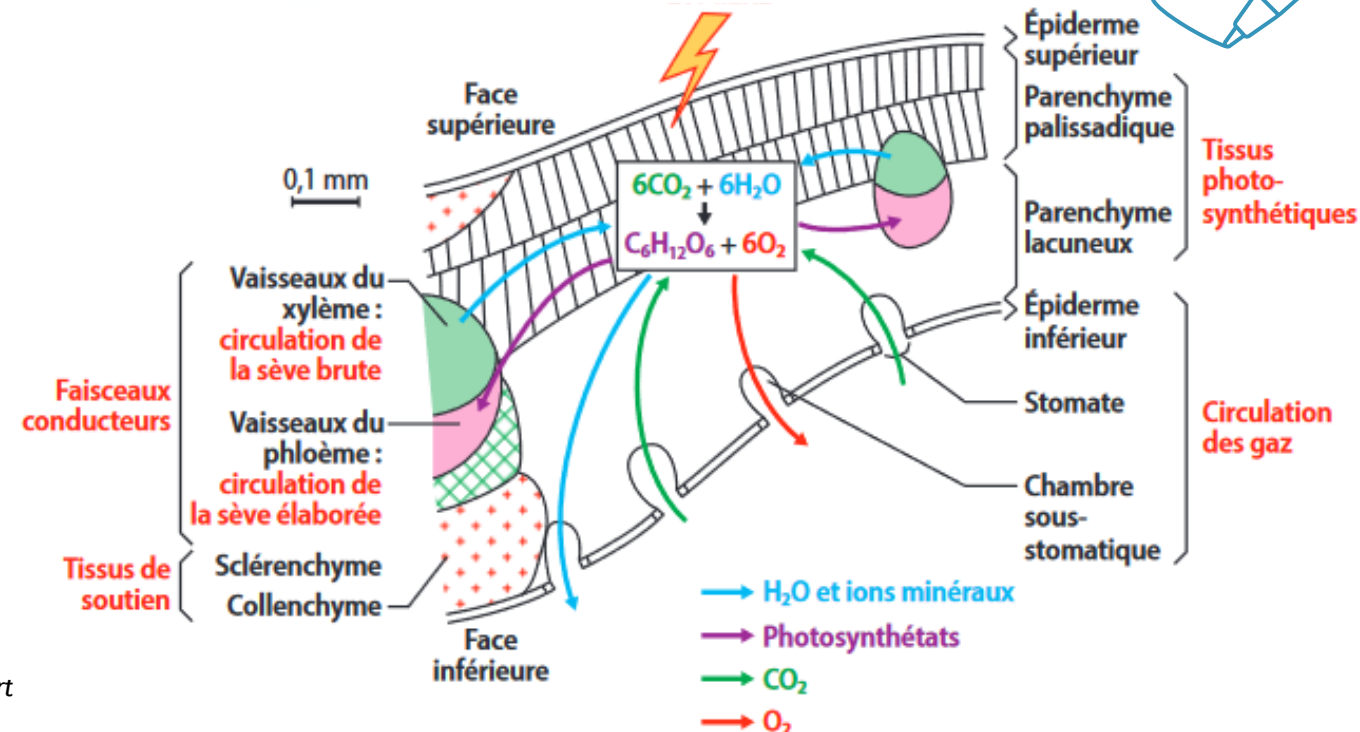


- des épidermes protecteurs, surmontés d'une cuticule hydrophobe protectrice de nature lipidique.
- des **parenchymes**, ensembles de cellules à parois faiblement différenciées.
- des tissus de soutien à **parois renforcées** par plusieurs strates de cellulose (**collenchyme** rose, sous-épidermique) ou par sclérification (**sclérenchyme** vert coiffant les tissus conducteurs)
- des tissus conducteurs : **xylème** où circule la sève brute et **phloème** où circule la sève élaborée

Coupe transversale de feuille d'Angiosperme



2)

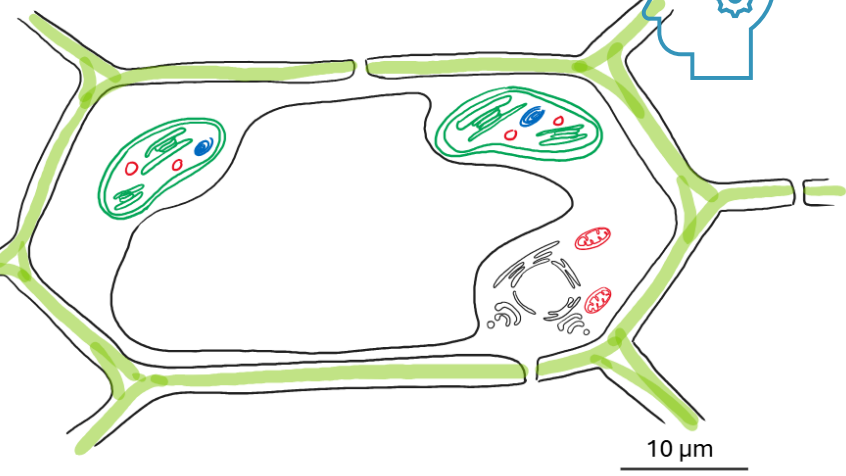
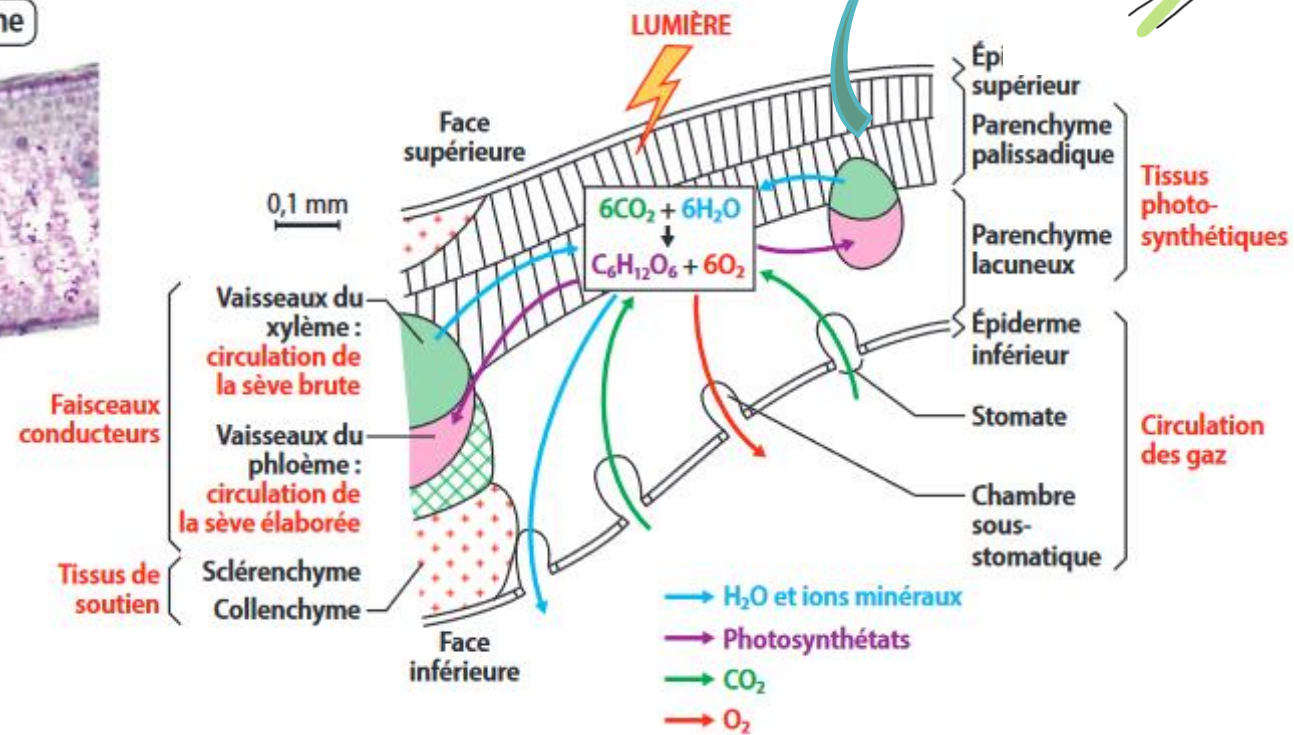
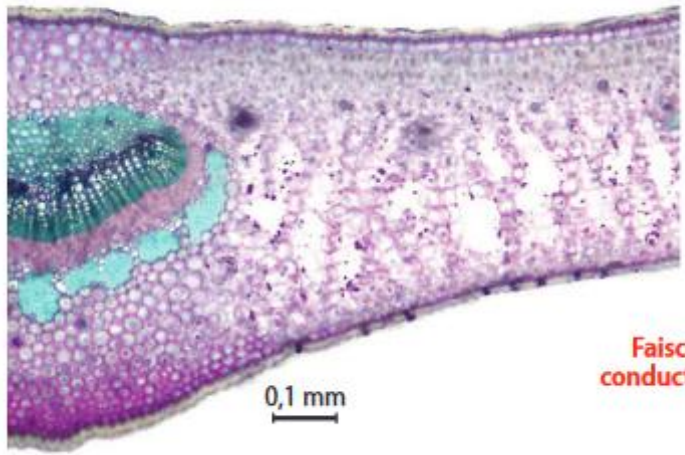


Source: BCPST1 Vuibert

Les tissus du limbe foliaire: anatomie asymétrique favorisant la photosynthèse et les échanges gazeux tout en limitant les pertes hydriques



Coupe transversale de feuille d'Angiosperme



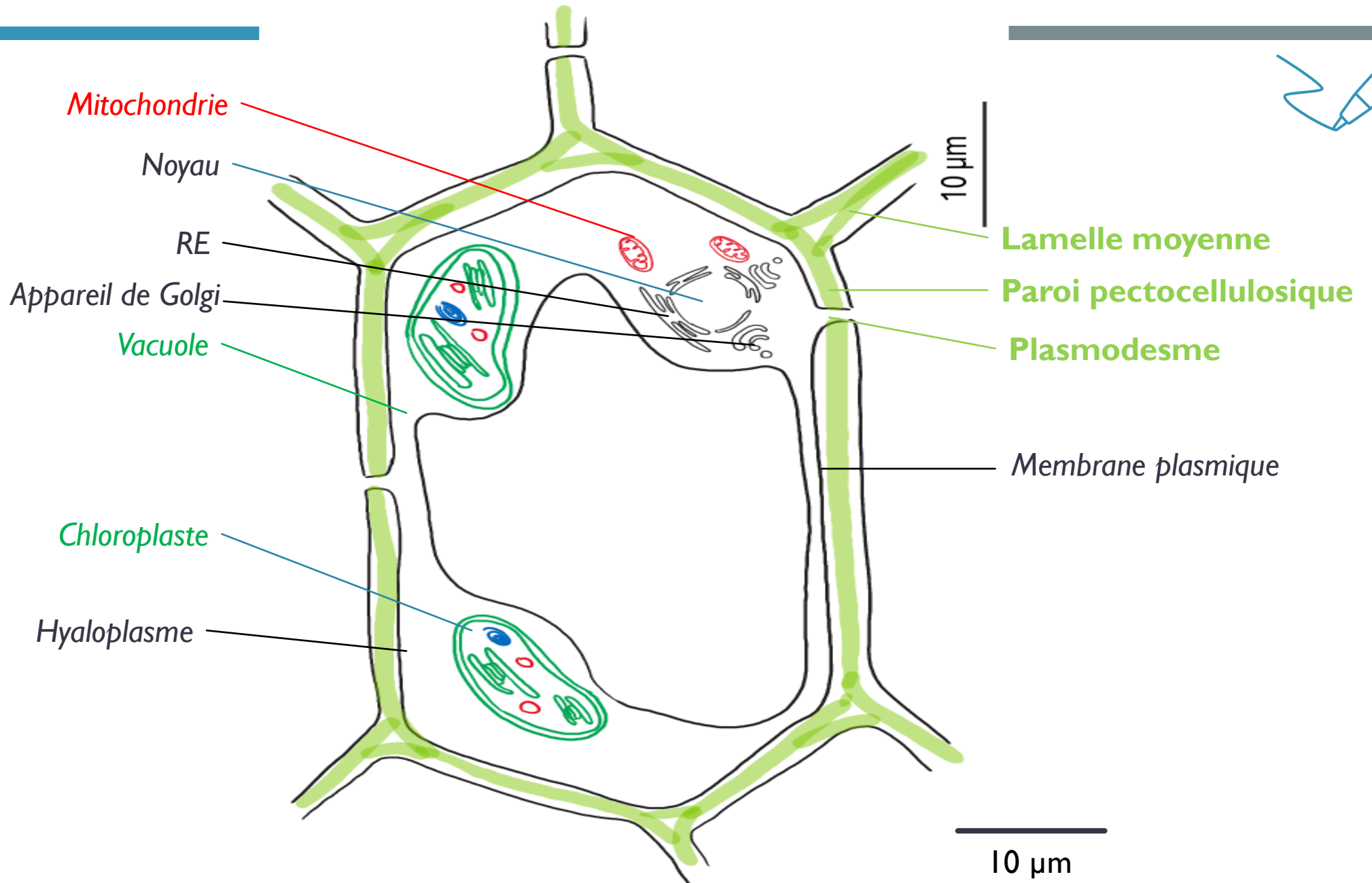


Schéma d'une cellule du parenchyme palissadique

La composition de la MEC des métazoaires

Proposez des mises en évidence expérimentale de ces constituants moléculaires.

Nature des composants	Noms des molécules	Fonction
Protéines	Collagène	Fibres résistantes à la tension
	Elastine	Fibres élastiques
	Fibronectine	Cohésion et Adhésion
	Laminine	Cohésion et Adhésion
Glucides	Glycosaminoglycanes (GAG) : acide hyaluronique, chondroïtine sulfate	Très hydrophiles, constitution de gels



Cf p.17 du poly



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

- **Constituant essentiel** de toutes les matrices animales ; très abondant dans les tendons par exemple.
- collagène « qui génère la colle »
- structure **fibreuse complexe**, à l'origine de sa très **grande résistance à l'étirement**.
- Une fibre = assemblage de plusieurs unités :
 - des longues chaînes en **hélice** (structure II en hélice gauche), de 1000 aa de composition très monotone : [Glycine – X – Y]_n, avec beaucoup de **proline** (acide aminé à chaîne latérale cyclique favorisant l'enroulement de la chaîne polypeptidique) et d'**hydroxyproline** parmi X et Y
 - 3 chaînes s'assemblent par **liaisons H** entre les radicaux H des hydroxyprolines et les C=O de la liaison → **tropocollagène** (structure IV)
 - triple-hélices de tropocollagène s'associent par **liaisons covalentes** impliquant des lysines et histidines (liaisons formées par réaction d'aldolisation)
 - **fibrilles de collagène**, de 10 à 300nm, à stries caractéristiques au MET.

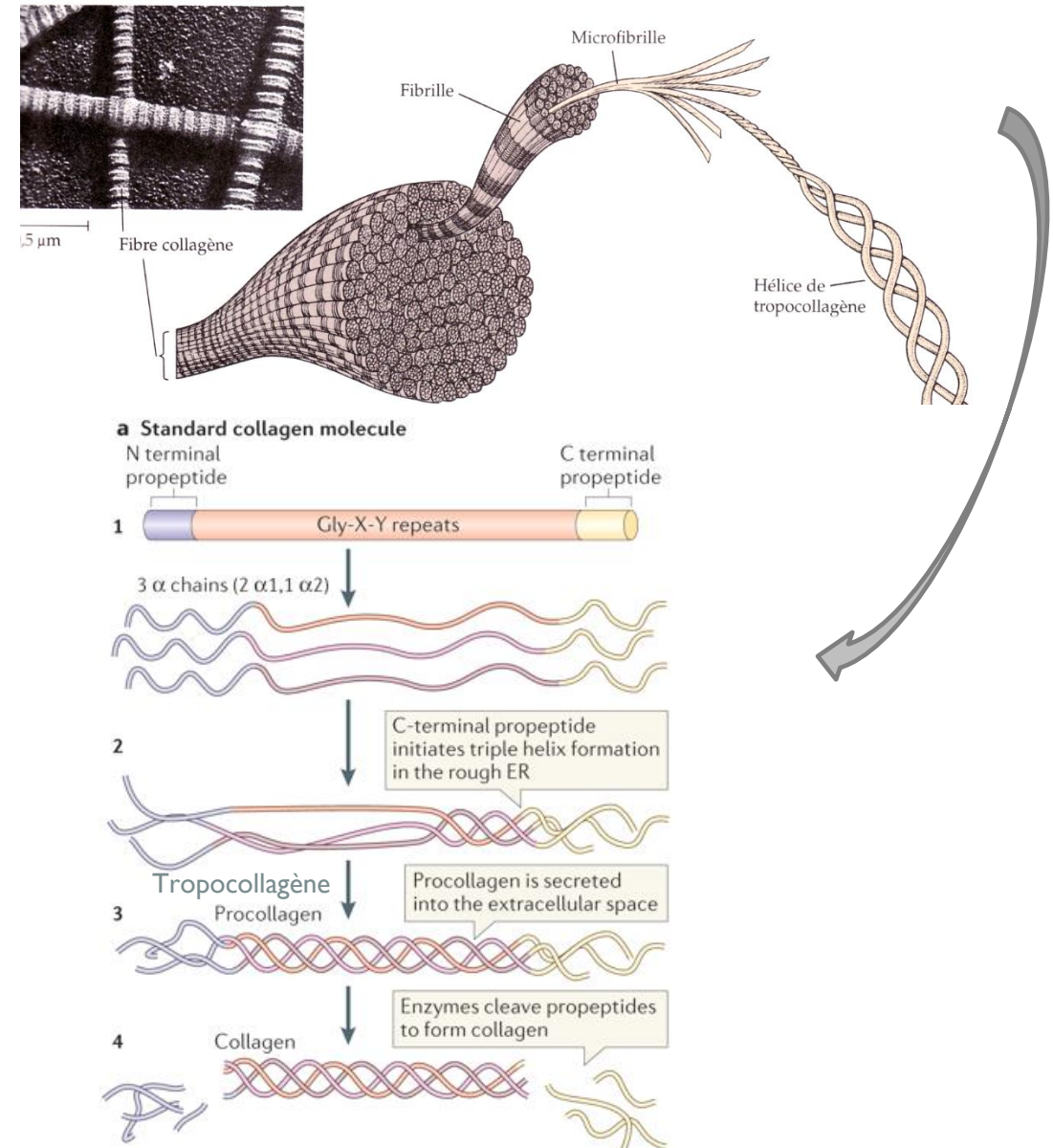


Figure 6 : Relation structure-fonction du collagène (Campbell, Mouw et al. (2014))

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

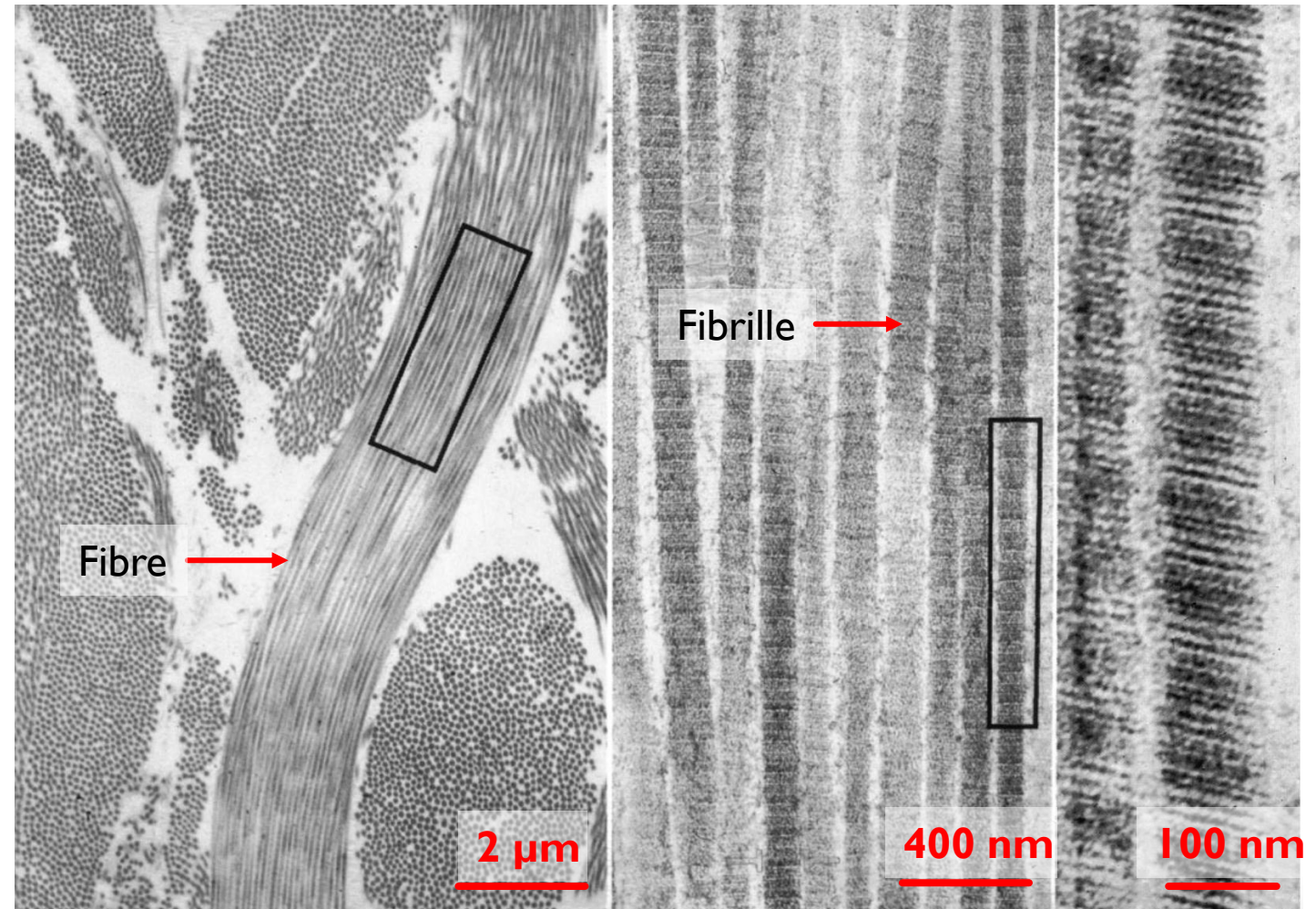
I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

Le collagène

Observation du collagène au MET :

- ✓ **Structure fibrillaire et polycaténaire**
- ✓ **Striation (~65 nm)**

→ Il s'agit de fibres de collagène (type I)



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

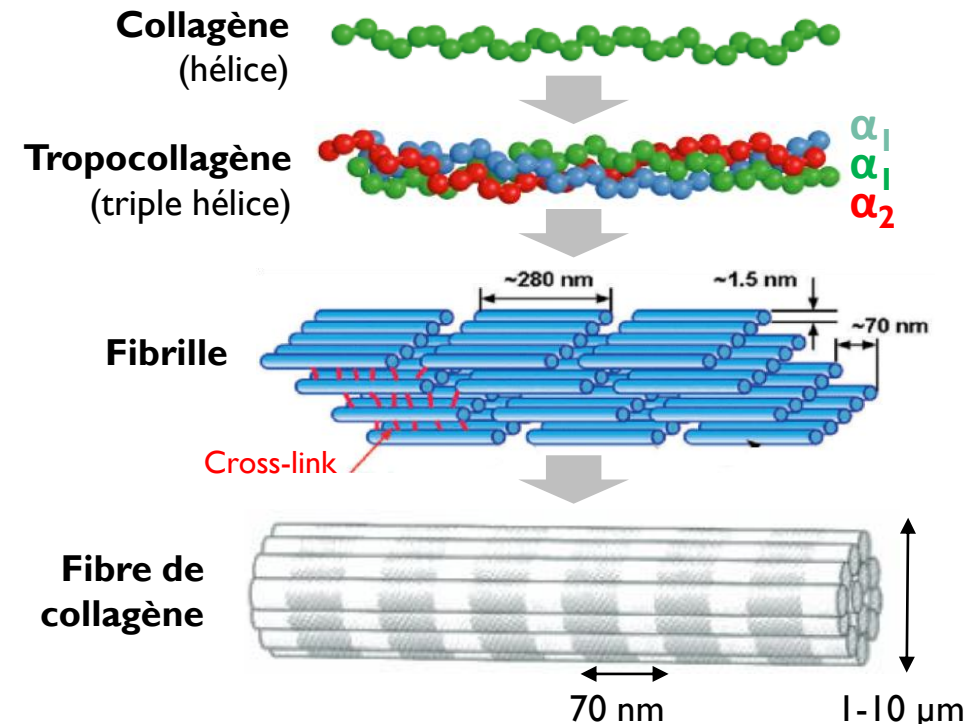
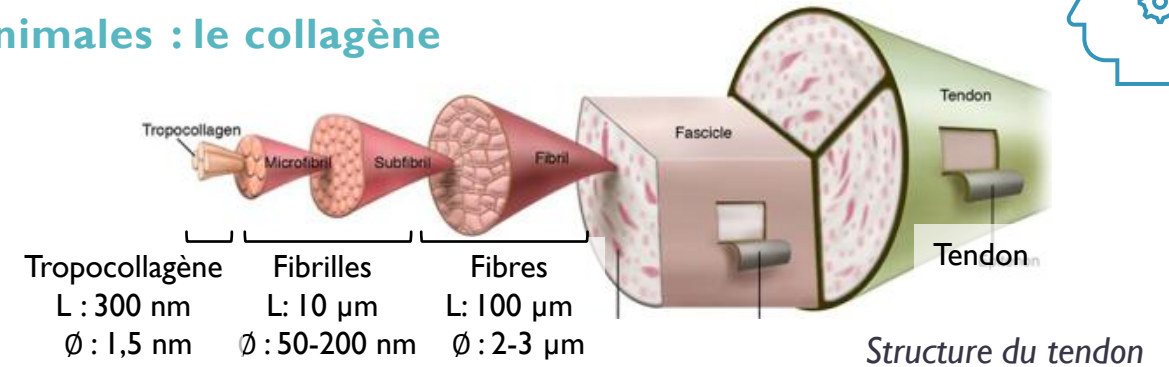
I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène



Le collagène

- Collagène (grec *kolla*, la « colle »)
- Protéine la + abondante chez les mammifères (5% masse)
- Différents types de collagènes → type I dans tissus conjonctifs
- Collagène de type I - protéine fibrillaire
 - à structure polycaténaire (~câble ou corde) → striation
 - stabilisée par de **nombreuses liaisons faibles et covalentes** → **grande résistance à la tension** (>> à celle d'un fil d'acier de même taille)

→ Grande résistance à la tension
– rôle de structure



Les différents niveaux d'organisation du collagène de type I

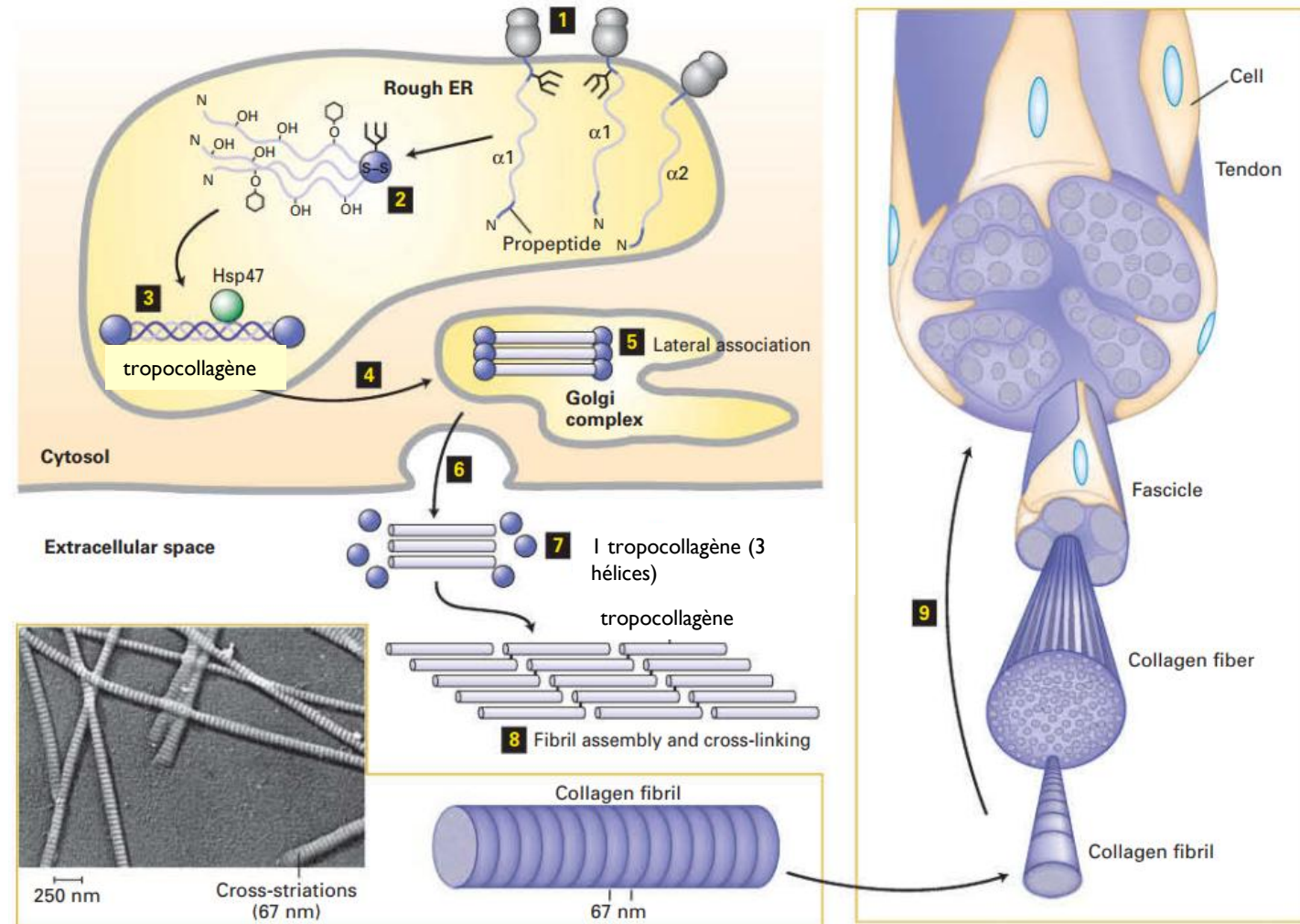
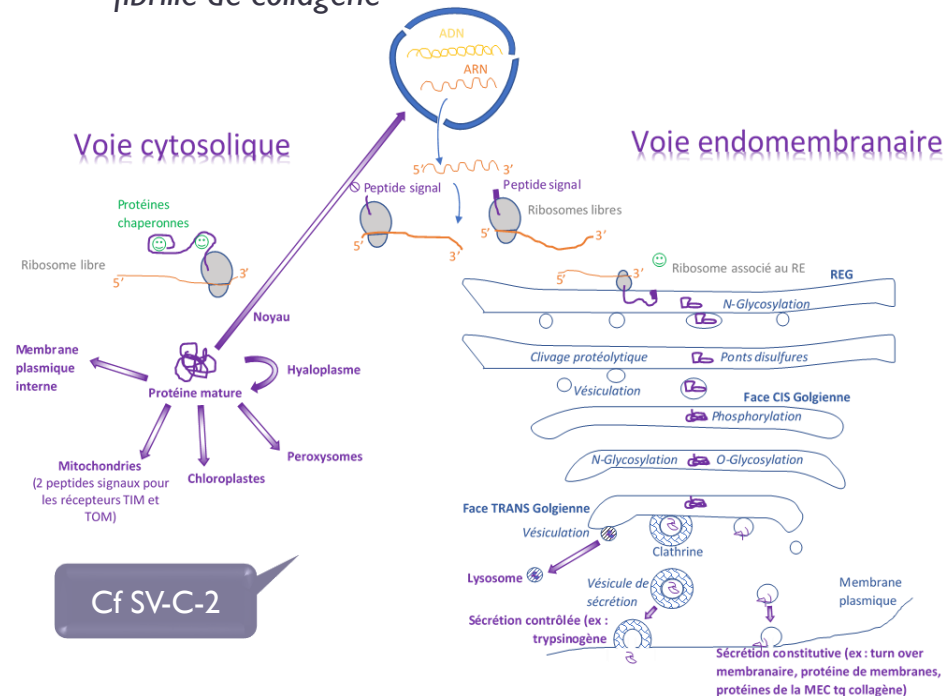
A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

■ Collagène = **protéine** sécrétée par **exocytose**

- synthèse par **voie endomembranaire**
- maturation dans le RER et dans le Golgi
- ✓ association des 3 protéines de collagène en **tropocollagène**
- ✓ Liaisons H entre les hélices au sein d'un **tropocollagène**
- ✓ Liaisons H et covalentes entre les **tropocollagènes** formant une **fibrille de collagène**



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

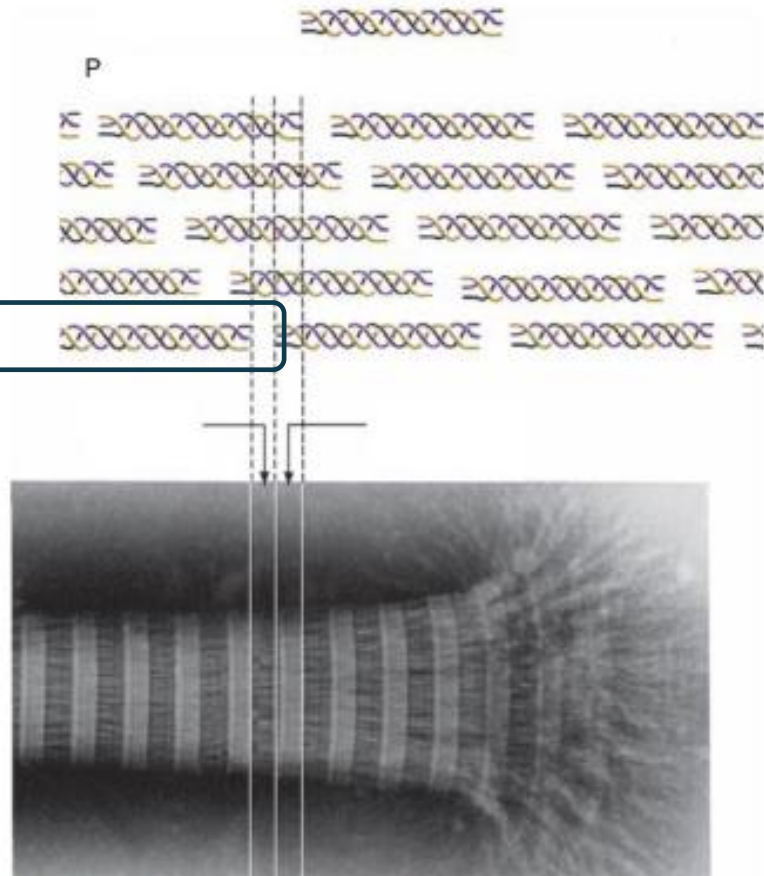
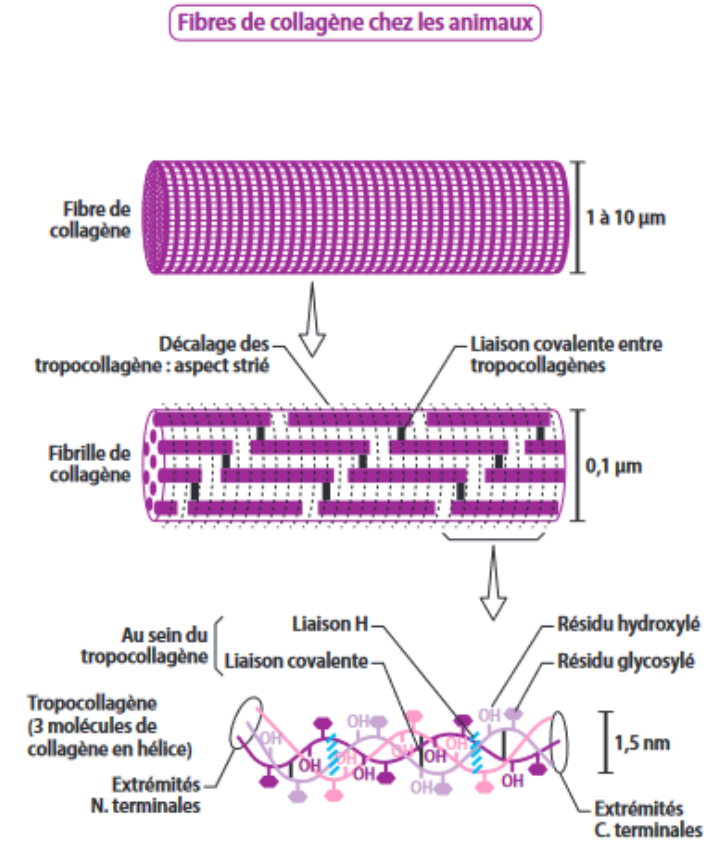
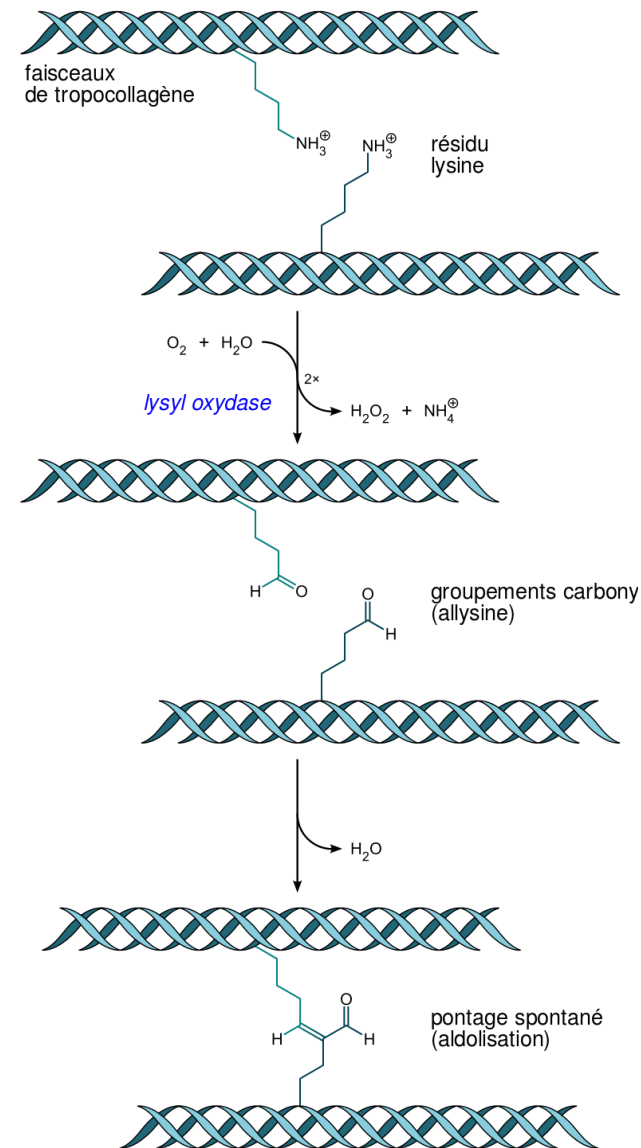


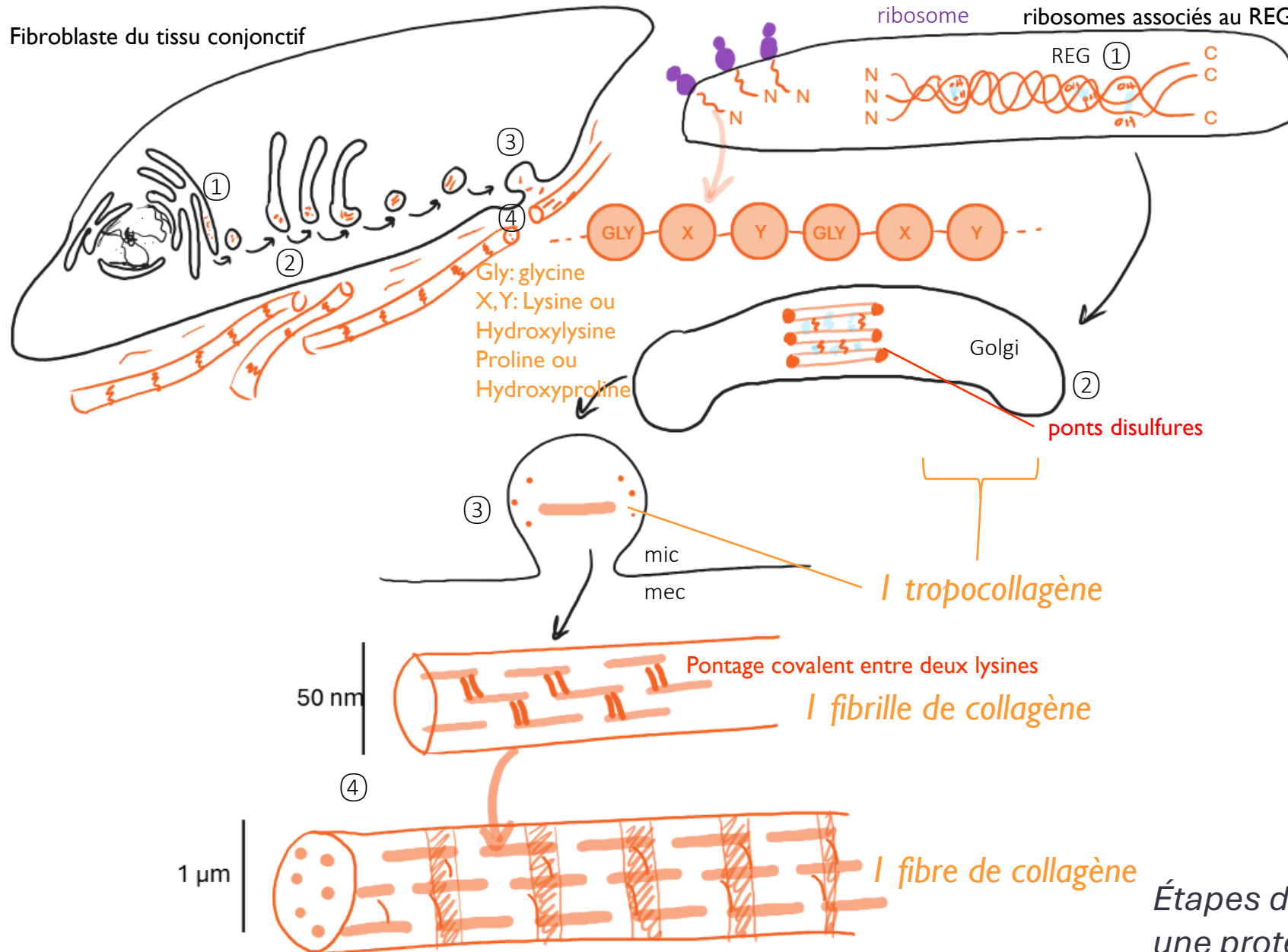
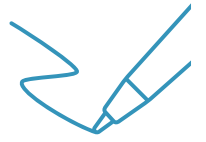
Figure 8-32 Banded appearance of collagen fibrils. The banded appearance in the electron microscope arises from the schematically represented staggered arrangement of collagen molecules (*top*) that results in a periodically indented surface. *D*, the distance between cross striations, is $\sim 670 \text{ \AA}$, so the length of a 3000-\AA -long collagen molecule is $4.4D$. [Courtesy of Karl A. Piez, Collagen Corporation.]



Source: Vuibert

Fibroblaste du tissu conjonctif

Traduction de l'ARNm en hélice de collagène par les ribosomes associés au REG : voie endomembranaire



① Maturation dans le REG avec notamment action de l'hydroxylase permettant de passer de la proline à l'hydroxyproline (lysine en hydroxylysine) + liaisons H entre les 3 chaînes + mise place de ponts disulfures à l'extrémité carboxyterminale + N-glycosylation

② Maturation dans le Golgi avec pontage entre les tropocollagènes par aldolisation

③ exocytose et ④ assemblage en fibrilles de collagène dans le milieu extracellulaire, association des fibrilles en fibre de collagène

Étapes de la synthèse du collagène, une protéine extracellulaire

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

Collagénopathies

Pour décrocher les étoiles

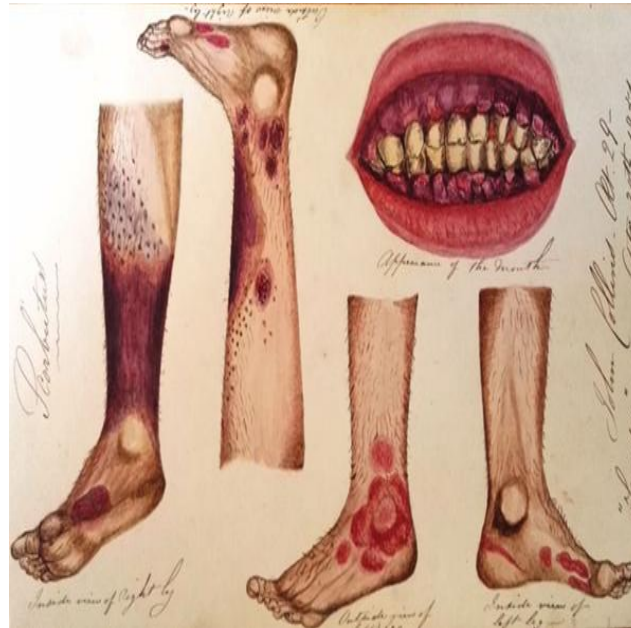


- Ex : Maladie des os de verre, une ostéogénèse imparfaite

- Ex : Le scorbut, une carence en vitamine C

- La **vitamine C** permet d'empêcher l'oxydation du Fe^{2+} , assurant le bon fonctionnement de l'enzyme Proline hydroxylase.

- En cas de carence en vitamine C :
 - ✓ oxydation des ions fer Fe^{3+}
 - ✓ inactivation de l'enzyme
 - ✓ pas d'hydroxylation des Pro
 - ✓ déstabilisation du collagène
 - ✓ déstabilisation des tissus conjonctifs = **scorbut**



Symptômes du scorbut

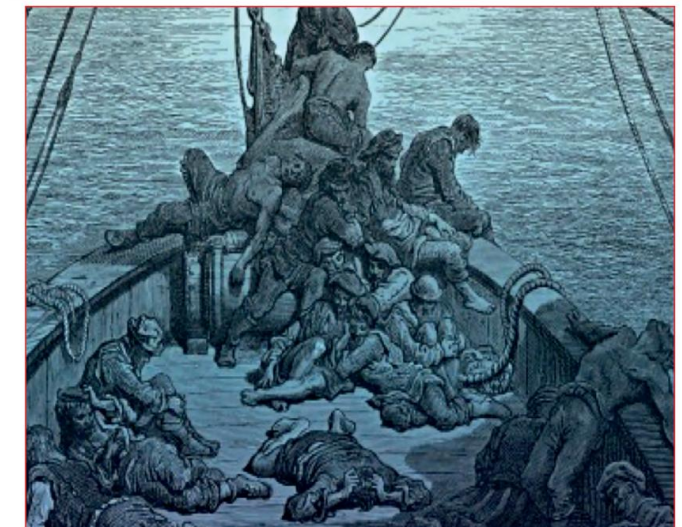
https://www.herodote.net/Signe_de_quelles_carences_-synthese-2640-548.php

L'os est anormalement « transparent » et plusieurs fractures plus ou moins consolidées sont présentes (flèches rouges).



<https://www.fregis.com/infos-sante/osteogenese-imparfaite-fragilite-osseuse-hereditaire-chez-chien/>

Radiographie de la patte avant d'un chien présentant une ostéogénèse imparfaite.



Le scorbut, cause majeure de décès chez les marins (gravure de Gustave Doré)

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène

- **Ex: dermatosparaxie chez un bovin**
 - Affection héréditaire récessive à l'origine d'un déficit en procollagène-peptidase N-terminal, enzyme nécessaire à la constitution à la structuration en fibrilles. L'accumulation de procollagène et le déficit en fibres qui en résulte sont responsables de la fragilité excessive du revêtement cutané. Risque de dilacération cutanée.
- **Ex: L'asthénie cutanée du chien ou du chat**
 - Anomalie autosomale dominante dont le mécanisme pathogénique est mal connu (défaut de formation des fibrilles extracellulaires de collagène).



dermatosparaxie chez un veau



Asthénie cutanée chez un chien (Zackary and Mc Gavin, 2012)



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.1. Une protéine fibreuse inextensible dans les MEC animales : le collagène



■ Applications :

- Avec l'âge, ↗ le nombre de cross-link (aldolisation entre les tropocollagènes) => **rides** sur la peau ; rhumatisme
- La **cuisson** attendrit la viande en détruisant les cross-link
- **Gélatine** (cuisine) est issue de l'hydrolyse du collagène



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.2. Un homopolymère glucidique fibreux inextensible dans les parois végétales : la cellulose



- **Mise en évidence** : coloration de Mirande → **rose**

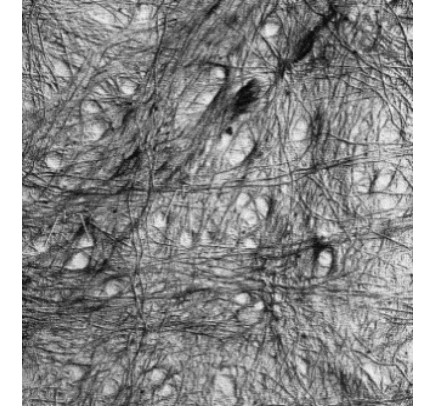
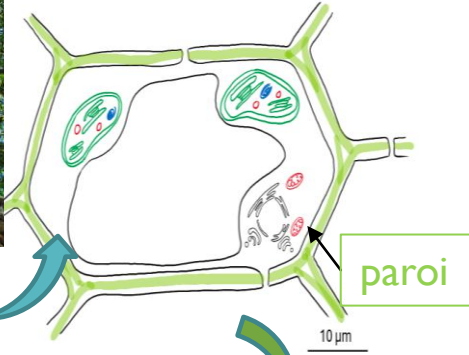


CT de pédoncule de cerise MO X40
Carmino vert de Mirande

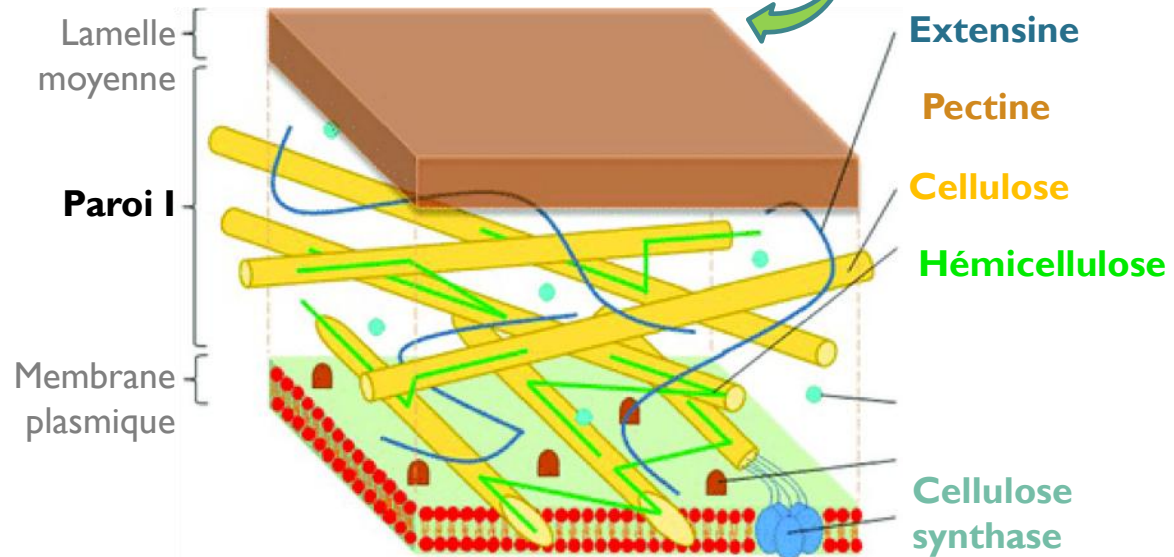
- **Localisation** : paroi de toutes les cellules végétales :
 - Cellulose → charpente
 - Pectine → remplissage
 - Hémicellulose → verrouillage



Cellule végétale



La paroi végétale (MEB)



La paroi primaire : un réseau cellulosique, inclus dans une matrice d'hémicelluloses et de pectines

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

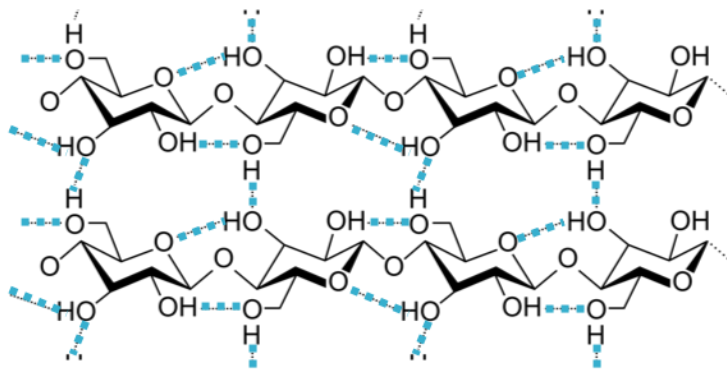
I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.2. Un homopolymère glucidique fibreux inextensible dans les parois végétales : la cellulose

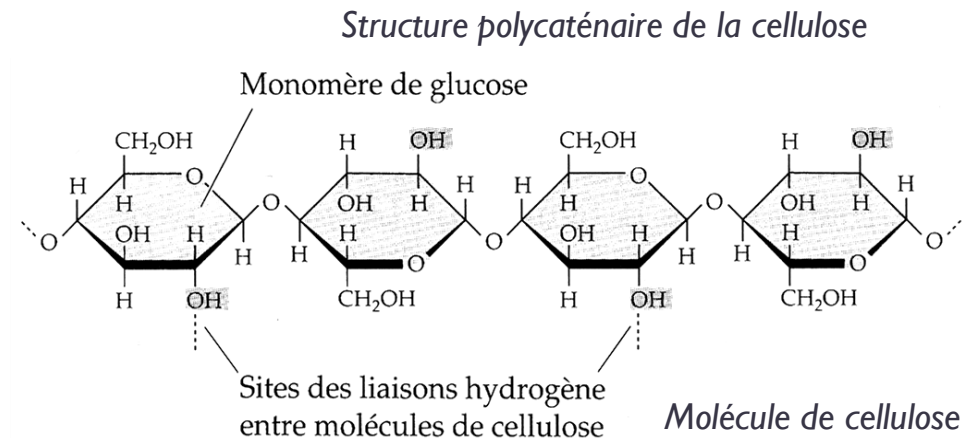
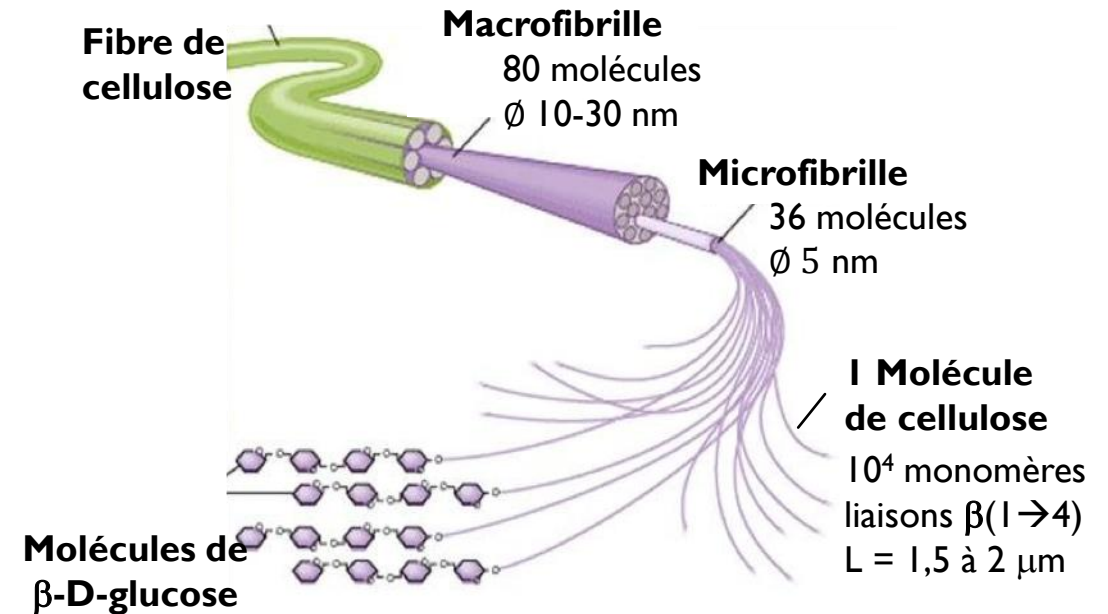


Structure

- Polymère de β -D-glucopyranoses liés par des **liaisons $\beta(1 \rightarrow 4)$**
- Assemblage en chaînes de 10^4 monomères > microfibrilles > macrofibrilles > fibres \rightarrow **linéaire**
- Microfibrille à structure semi-cristalline stabilisée par des **liaisons hydrogènes**



Liaisons H intra- et inter-chaines impliquées dans la structure de la cellulose



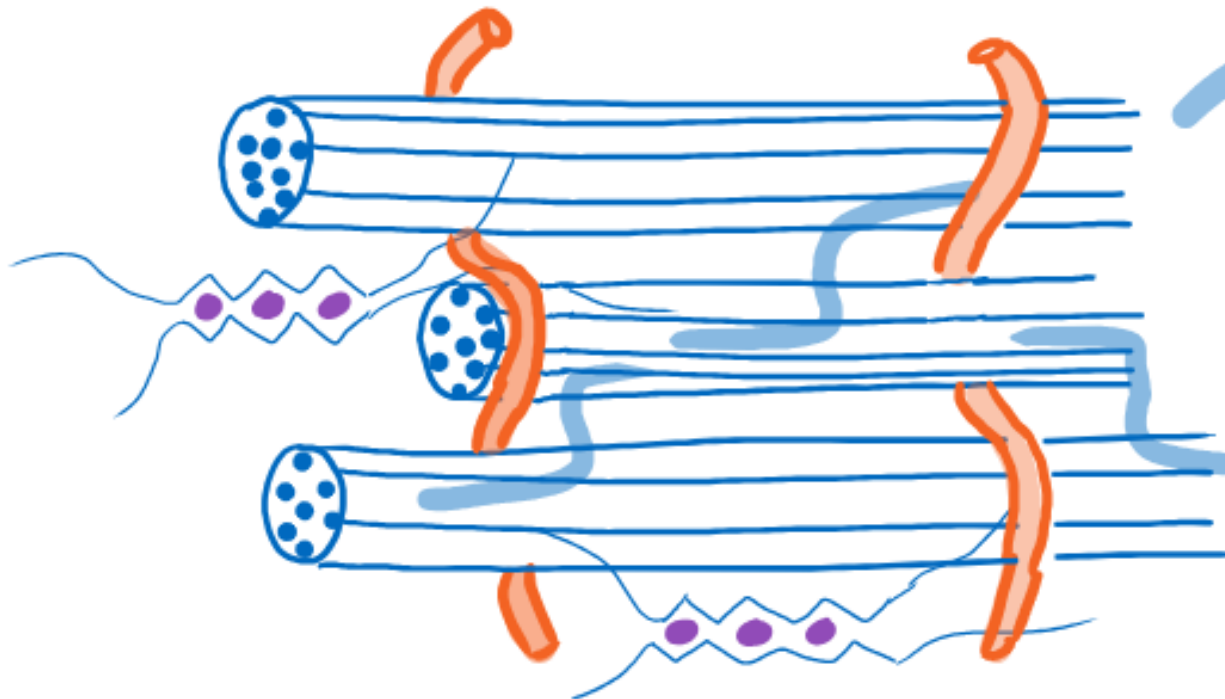
A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

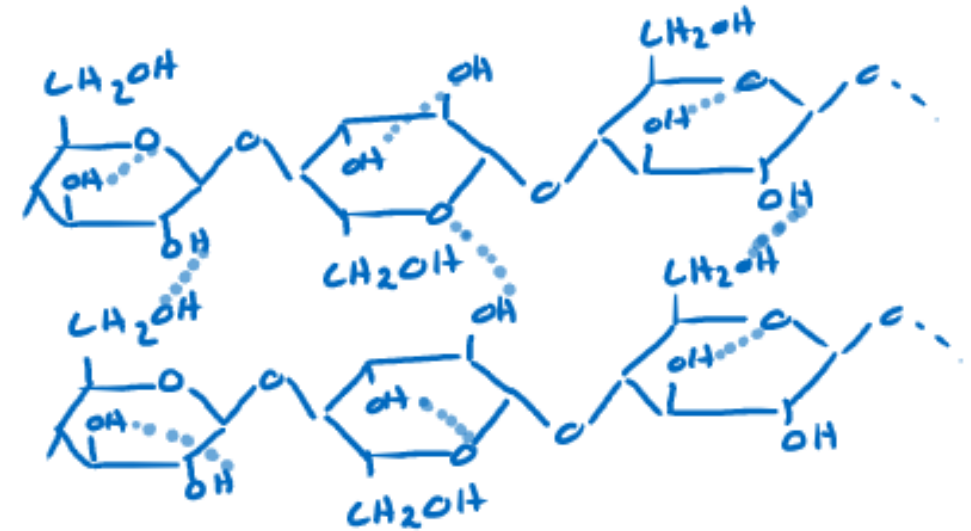
I.2. Un homopolymère glucidique fibreux inextensible dans les parois végétales : la cellulose

Structure

20 μm |



Structure de la paroi végétale



Liaisons H inter et intra caténares des molécules de cellulose (homopolyoside de glucose en bêta 1-4)

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.2. Un homopolymère glucidique fibreux inextensible dans les parois végétales : la cellulose

Structure

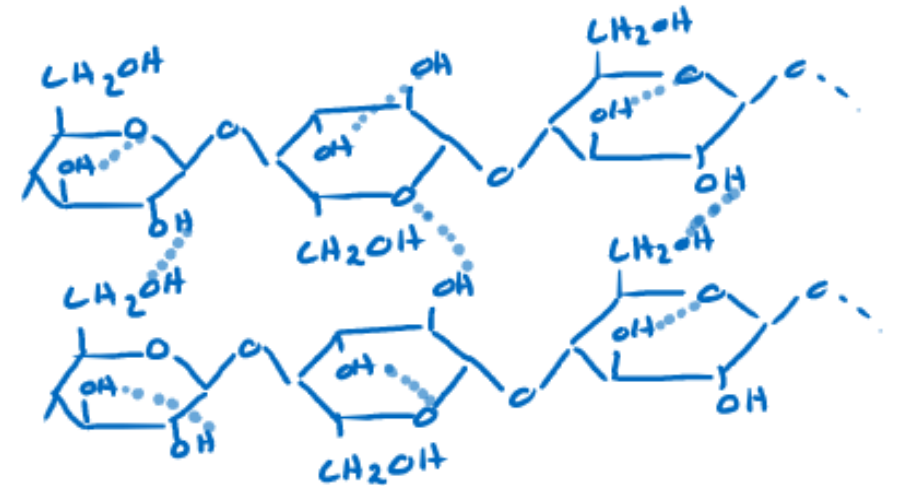
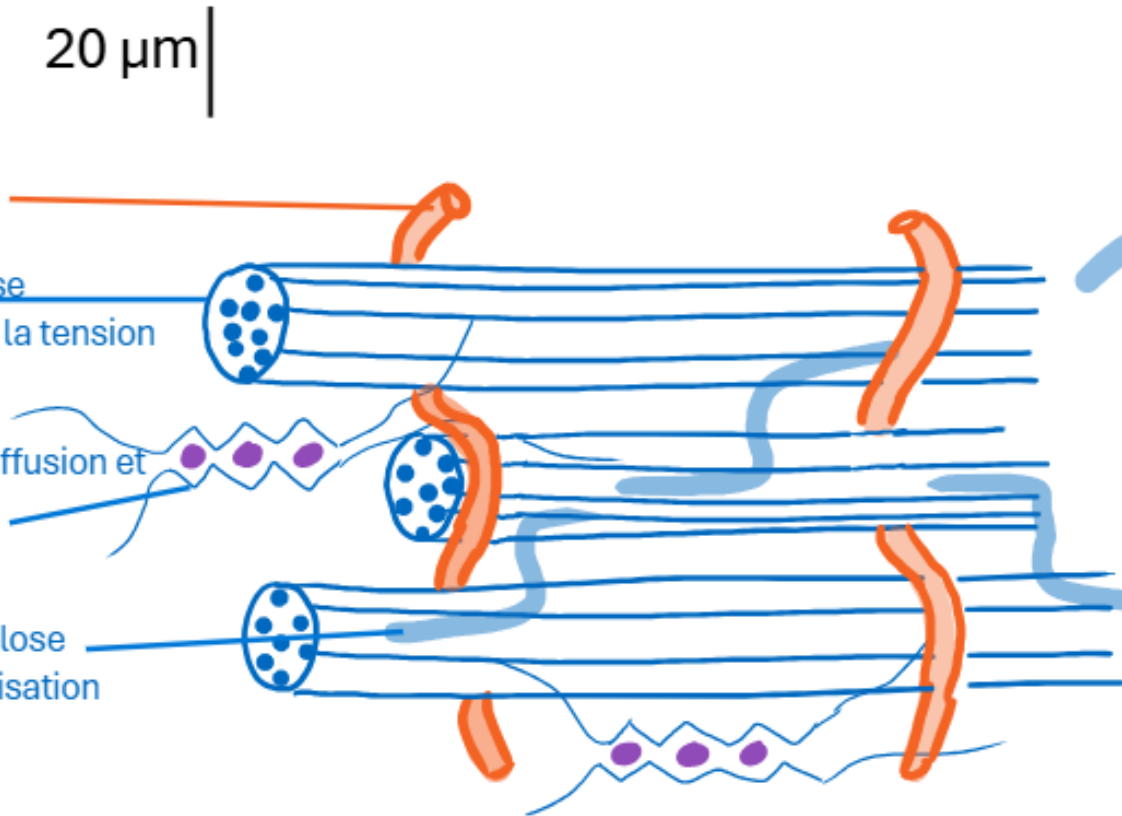
20 μm

extensine
=> stabilisation

fibre de cellulose
=> résistance à la tension

pectine acide
=> gel aqueux, diffusion et
résistance à la
compression

fibre d'hémicellulose
=> réseau, stabilisation



Liaisons H inter et intra caténares des molécules de cellulose
(homopolyoside de glucose en bêta 1-4)

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

I. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.

I.2. Un homopolymère glucidique fibreux inextensible dans les parois végétales : la cellulose



- **Propriétés :**

- Insolubles dans l'eau
- Résistantes à la tension
- Souple



- **Utilisation :**

- Textile (coton : 98% cellulose)
- Papier



- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

PLAN DE COURS

- I. Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus
 - A. Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus
 - 1. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.
 - 2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression
 - 3. Des molécules formatrices de réseau
 - B. Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus
 - 1. Des variations de composition des matrices
 - 2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice
 - C. Production des matrices extracellulaires par les cellules.
 - 1. Synthèse des constituants
 - 2. Remodelage de la paroi cellulaire
 - 3. Bilan sur les MEC
- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus
 - A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 - 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 - 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 - 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 - 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
 - B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 - 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 - 2. Un passage de molécules contrôlé.
 - 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 - 1. Des échanges symbiotiques de matière
 - 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

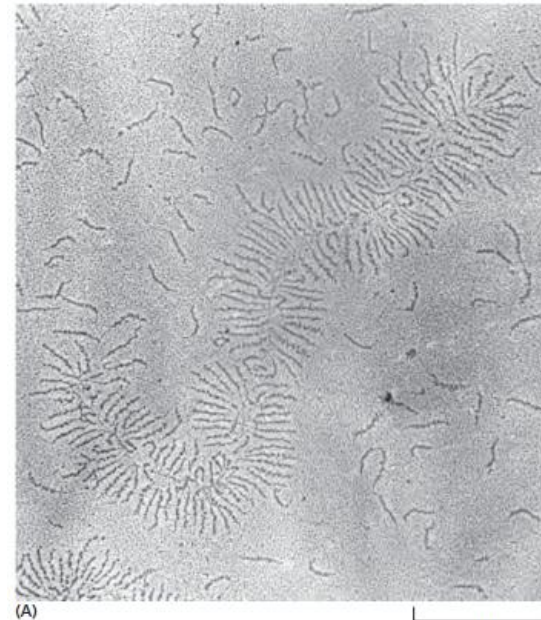
2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression.

2.1. Dans les matrices animales : GAG et protéoglycanes

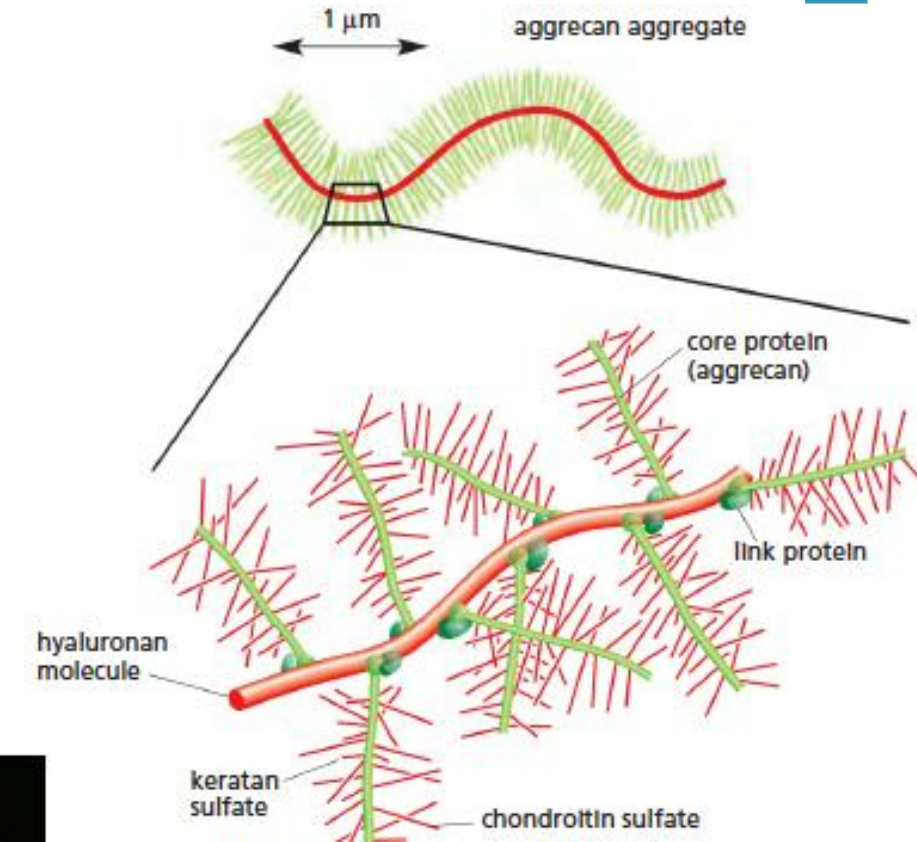


Protéoglycane du cartilage

- Le **cartilage** est constitué d'un protéoglycane
- Pression sur le cartilage
→ eau des protéoglycanes éjectée de la MEC
→ **absorption des chocs** (~coussin d'eau)
- Relâchement de la pression
→ Réabsorption de l'eau



Protéoglycanes du cartilage au MET
(Alberts 2017)



Structure des protéoglycanes du cartilage (Alberts 2017)

**Rôle des protéoglycanes hydrophiles :
structure gel et absorption des chocs**

Le cartilage : rôle dans l'absorption
des chocs (Alberts 2017)

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression.

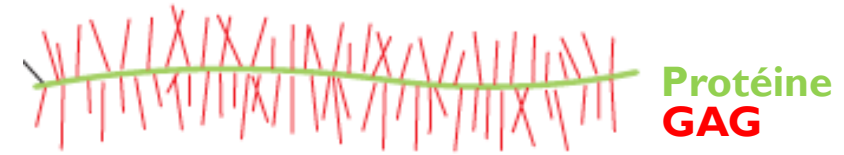
2.1. Dans les matrices animales : GAG et protéoglycanes

Protéoglycane : n.m. = Molécules composées de **polyosides (>50%)** et de chaînes peptidiques (<50%)

- Dans la MEC, la partie glucidique des protéoglycanes est faite de **glycosaminoglycanes (GAG)**

Glycosaminoglycane : n.m. polymère fait d'une répétition de 2 osamines (glucosamine ou galactosamine) modifiées par des **groupements carboxylate (COO⁻)** ou **sulfate (SO₃⁻)** → **chargés -**

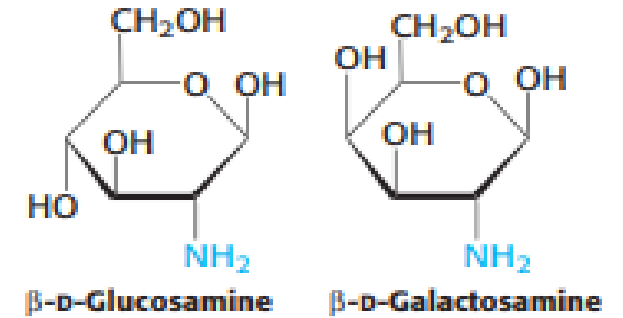
- Les GAG sont riches en groupements chargés (-) : carboxylate ou sulfate
 - Molécules **hydrophiles**
 - Molécules hydratées formant des **gels**



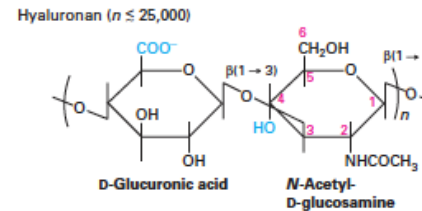
Modèle de protéoglycane



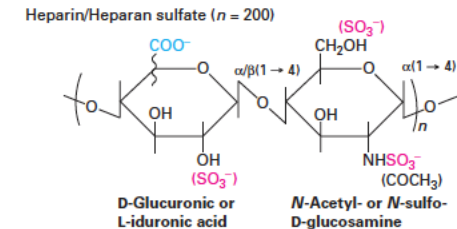
Les 2 osamines de base



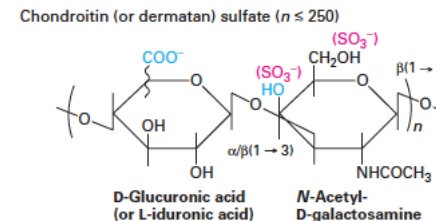
Hyaluronate



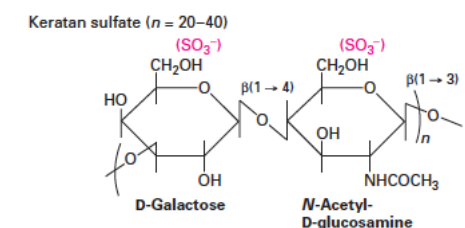
Héparine ou héparane sulfate



Chondroïtine (ou dermatane) sulfate



Kératane sulfate



Motifs répétés présents dans les 5 principaux GAG

Acide hyaluronique:
[-N-acétylglucosamine-
Ac.glucuronique-]

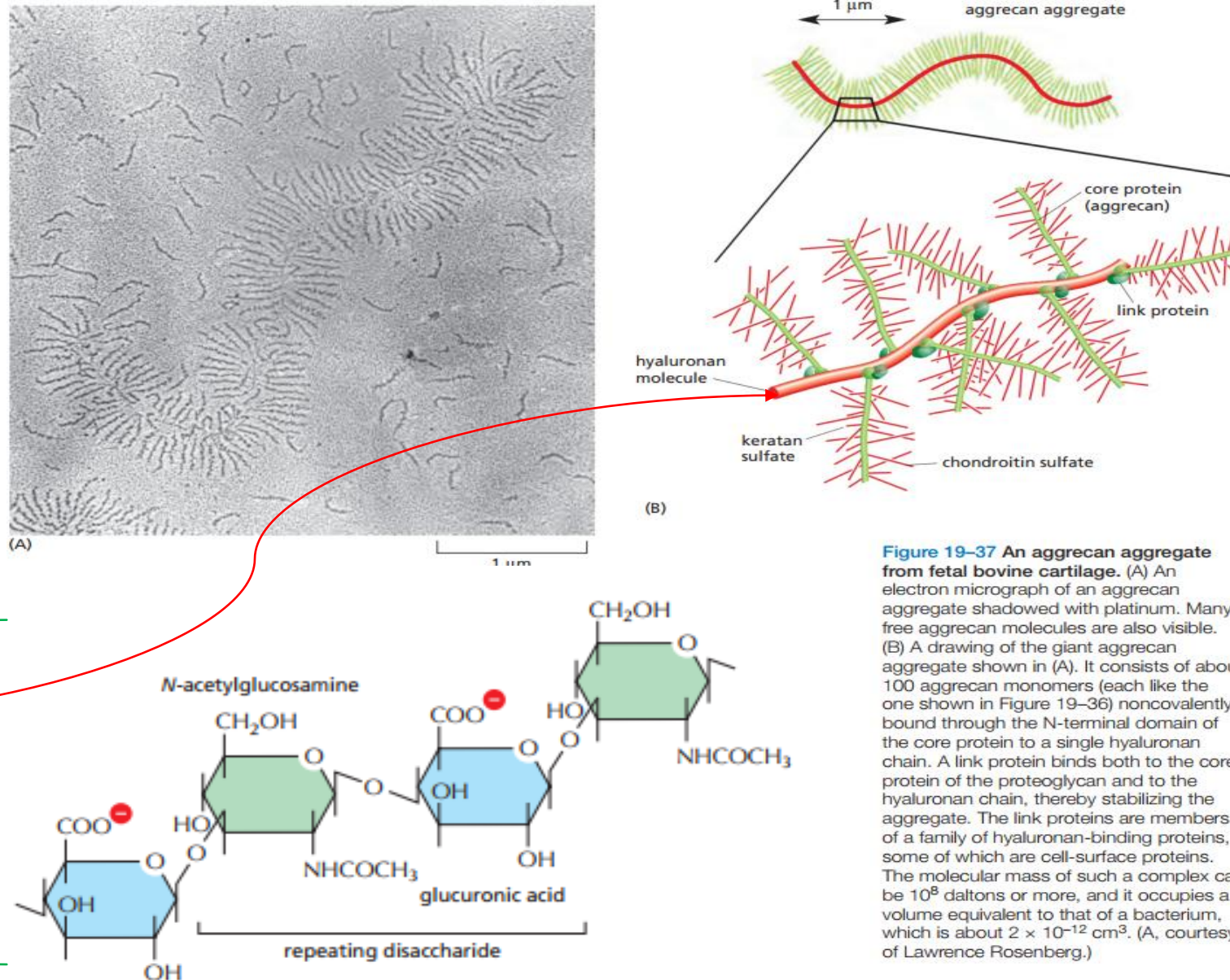


Figure 19-37 An aggrecan aggregate from fetal bovine cartilage. (A) An electron micrograph of an aggrecan aggregate shadowed with platinum. Many free aggrecan molecules are also visible. (B) A drawing of the giant aggrecan aggregate shown in (A). It consists of about 100 aggrecan monomers (each like the one shown in Figure 19-36) noncovalently bound through the N-terminal domain of the core protein to a single hyaluronan chain. A link protein binds both to the core protein of the proteoglycan and to the hyaluronan chain, thereby stabilizing the aggregate. The link proteins are members of a family of hyaluronan-binding proteins, some of which are cell-surface proteins. The molecular mass of such a complex can be 10^8 daltons or more, and it occupies a volume equivalent to that of a bacterium, which is about $2 \times 10^{-12} \text{ cm}^3$. (A, courtesy of Lawrence Rosenberg.)

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression.

2.1. Dans les matrices animales : GAG et protéoglycanes

Protéoglycanes et maladie de Hurler

The properties of proteoglycans are determined primarily by the glycosaminoglycan component. Many glycosaminoglycans are made of repeating units of disaccharides containing a derivative of an amino sugar, either glucosamine or galactosamine (Figure 10.18). At least one of the two sugars in the repeating unit has a *negatively charged carboxylate or sulfate group*. The major glycosaminoglycans in animals are chondroitin sulfate, keratan sulfate, heparin, heparan sulfate, dermatan sulfate, and hyaluronate. *Mucopolysaccharidoses* are a collection of diseases, such as Hurler disease, that result from the inability to degrade glycosaminoglycans (Figure 10.19). Although precise clinical features vary with the disease, all mucopolysaccharidoses result in skeletal deformities and reduced life expectancies.

La maladie de Hunter est due à une anomalie du turn-over des protéoglycanes de la MEC (Alberts 2017)

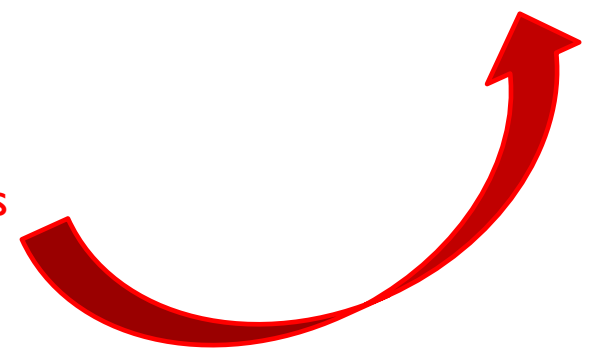
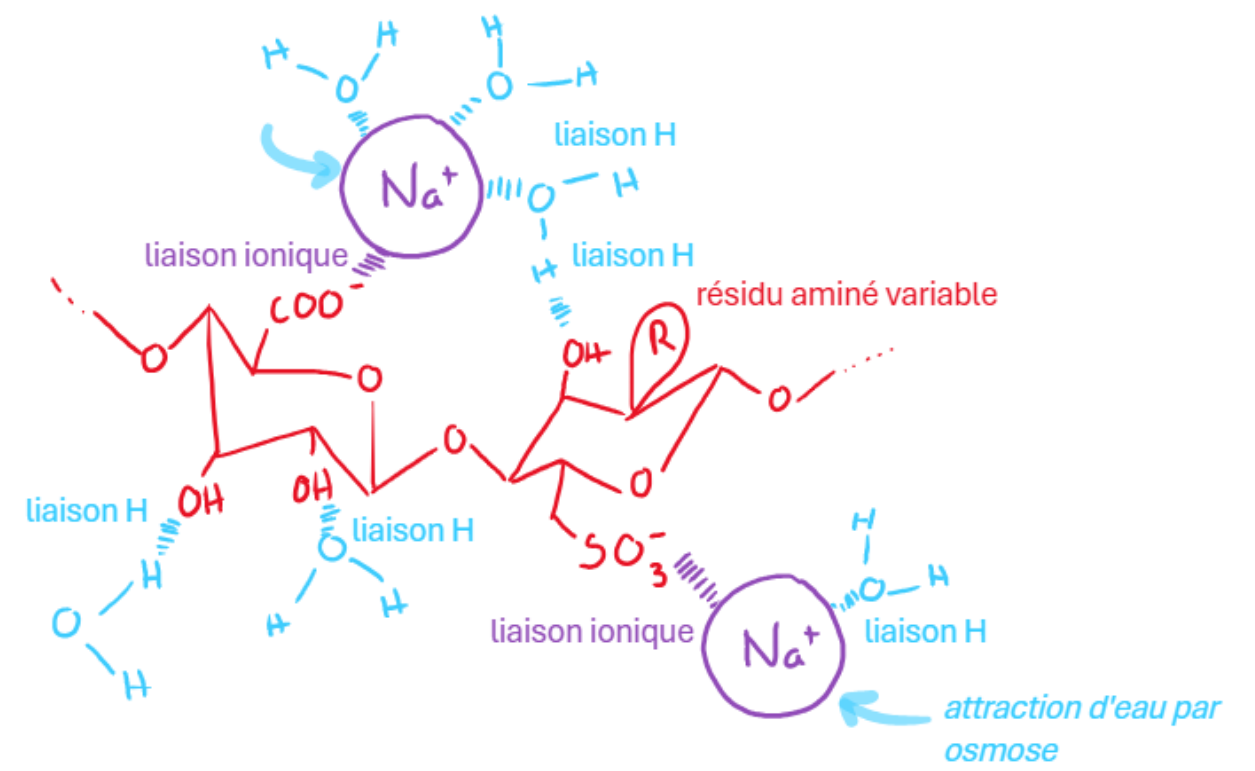
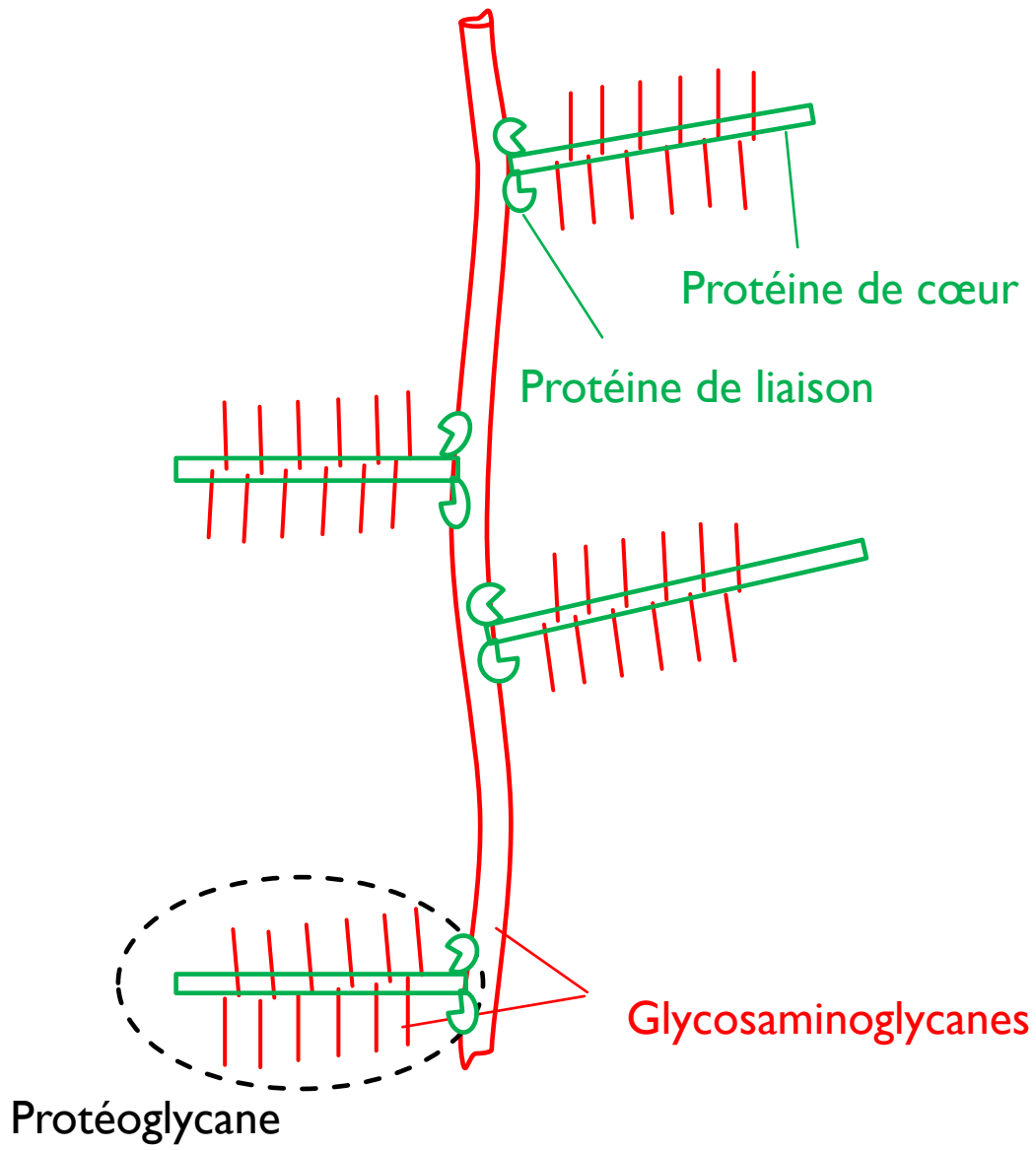
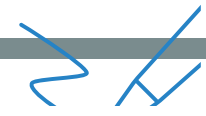
■ Maladie de Hurler : exemple de Mucopolysaccharidose

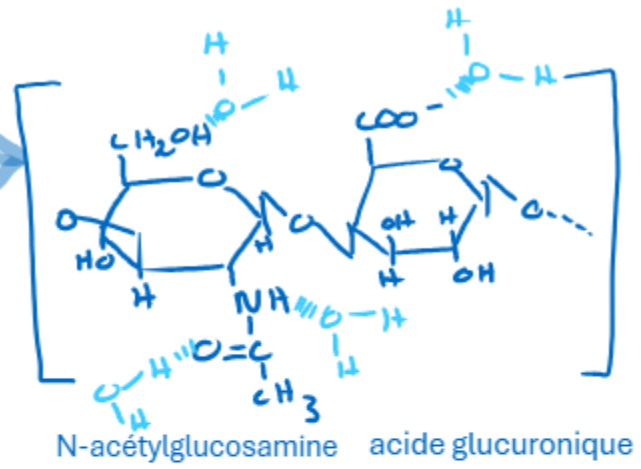
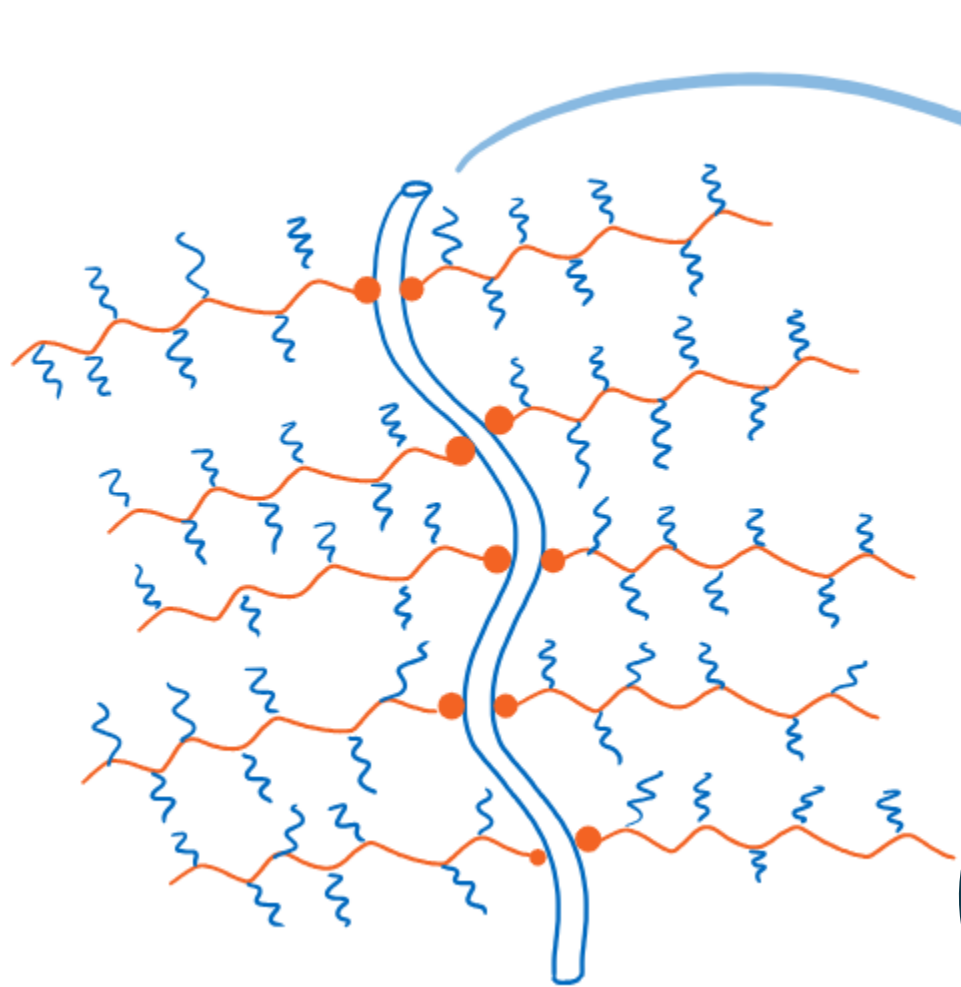
➤ impossibilité de dégrader les GAG de la MEC

- ⇒ excès de GAG dans la MEC
- ⇒ épaissement de la MEC des tissus conjonctifs.
- ⇒ épaissement des traits du visage + hypertrophie du foie et de la rate + des hernies + dégénérescence rétinienne + obstruction des voies aériennes.
- ⇒ L'espérance de vie ne dépasse pas 10 ans

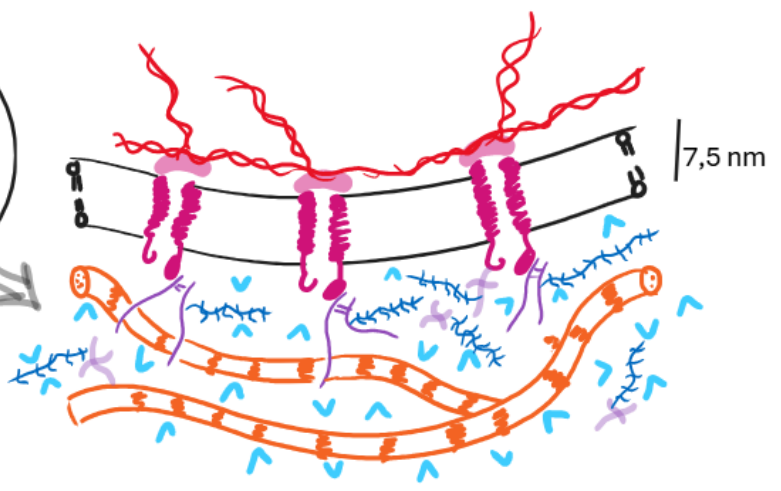
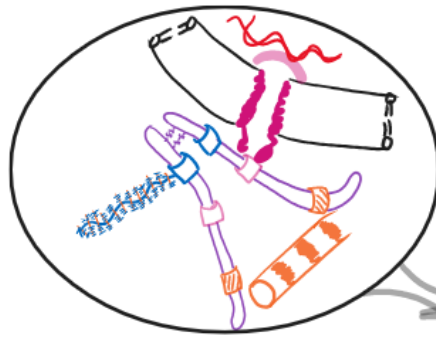


Figure 10.19 Hurler disease. Formerly called gargoylism, Hurler disease is a mucopolysaccharidosis having symptoms that include wide nostrils, a depressed nasal bridge, thick lips and earlobes, and irregular teeth. In Hurler disease, glycosaminoglycans cannot be degraded. The excess of these molecules is stored in the soft tissue of the facial regions, resulting in the characteristic facial features. [Courtesy of National MPS Society, www.mpsociety.org]





acide hyaluronique



Protéoglycane de la MEC

Schéma de la MEC

2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression.

2.2. Dans les matrices végétales (parois): les pectines



- composants essentiels de la **lamelle moyenne** = un ciment qui relie les cellules
- monomère essentiel : **acide α -galacturonique**.
- Régulièrement dans la chaîne, un monomère remplacé par un pentose hexagonal, le **rhamnose** → **coudes** → forme de zigzag
- réseau complexe, avec **liaisons électrostatiques** impliquant des ions calcium et piègent dans **leur maillage de l'eau** (état de gel).

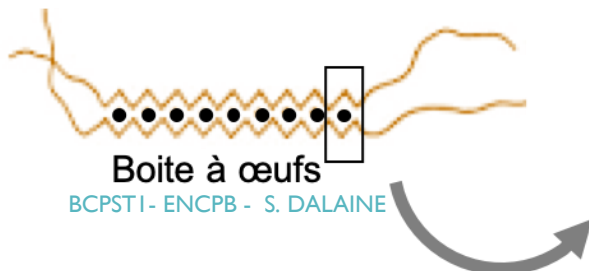
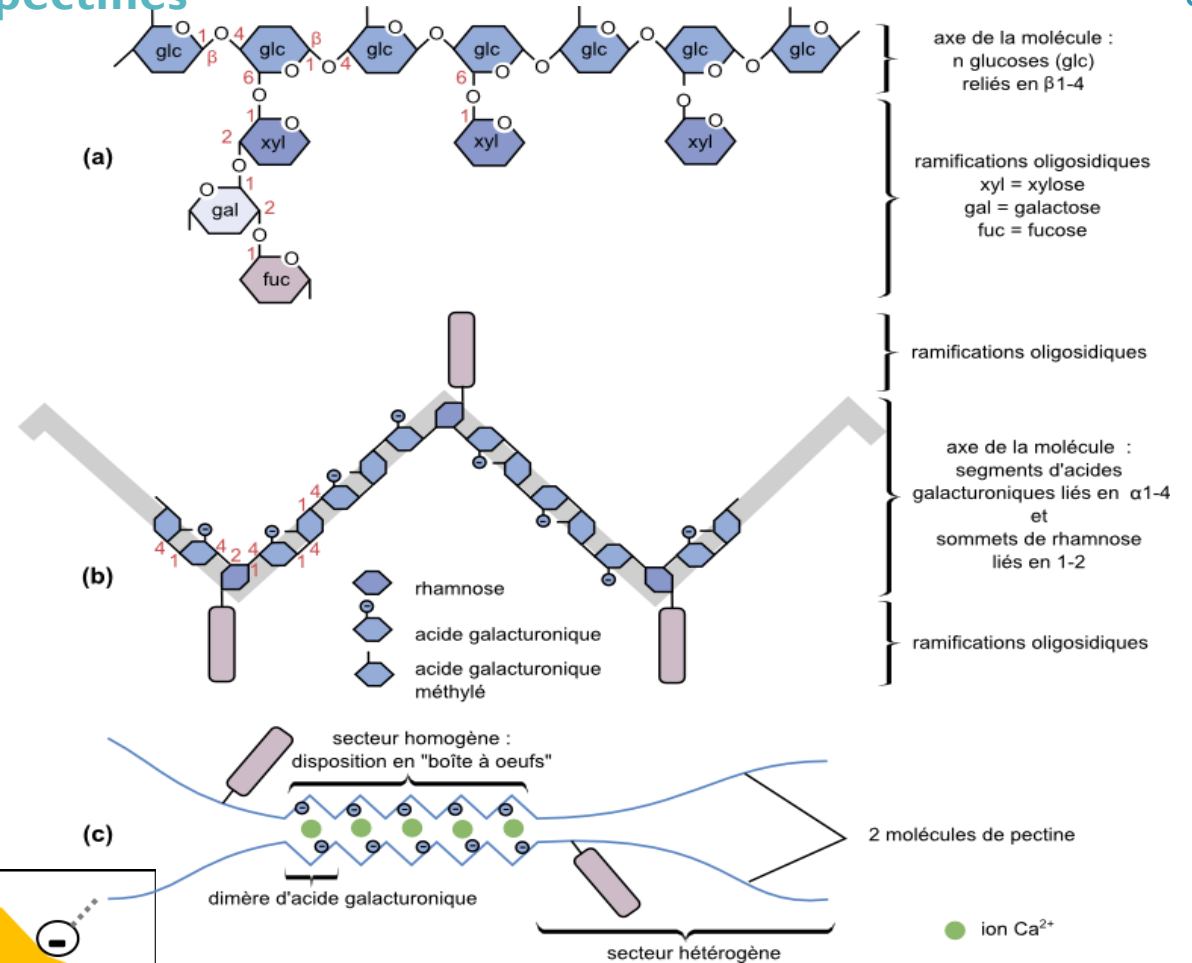
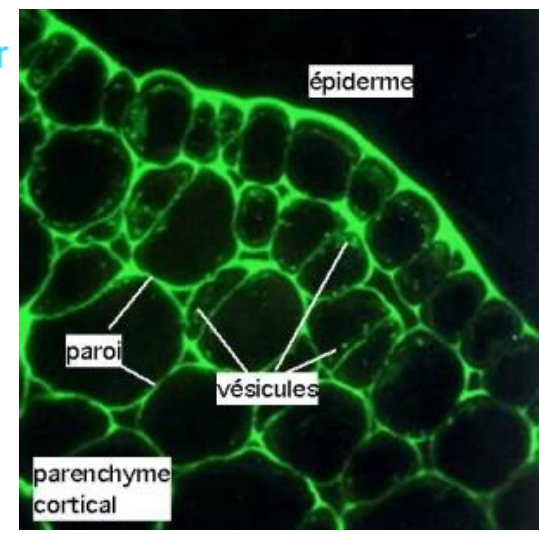
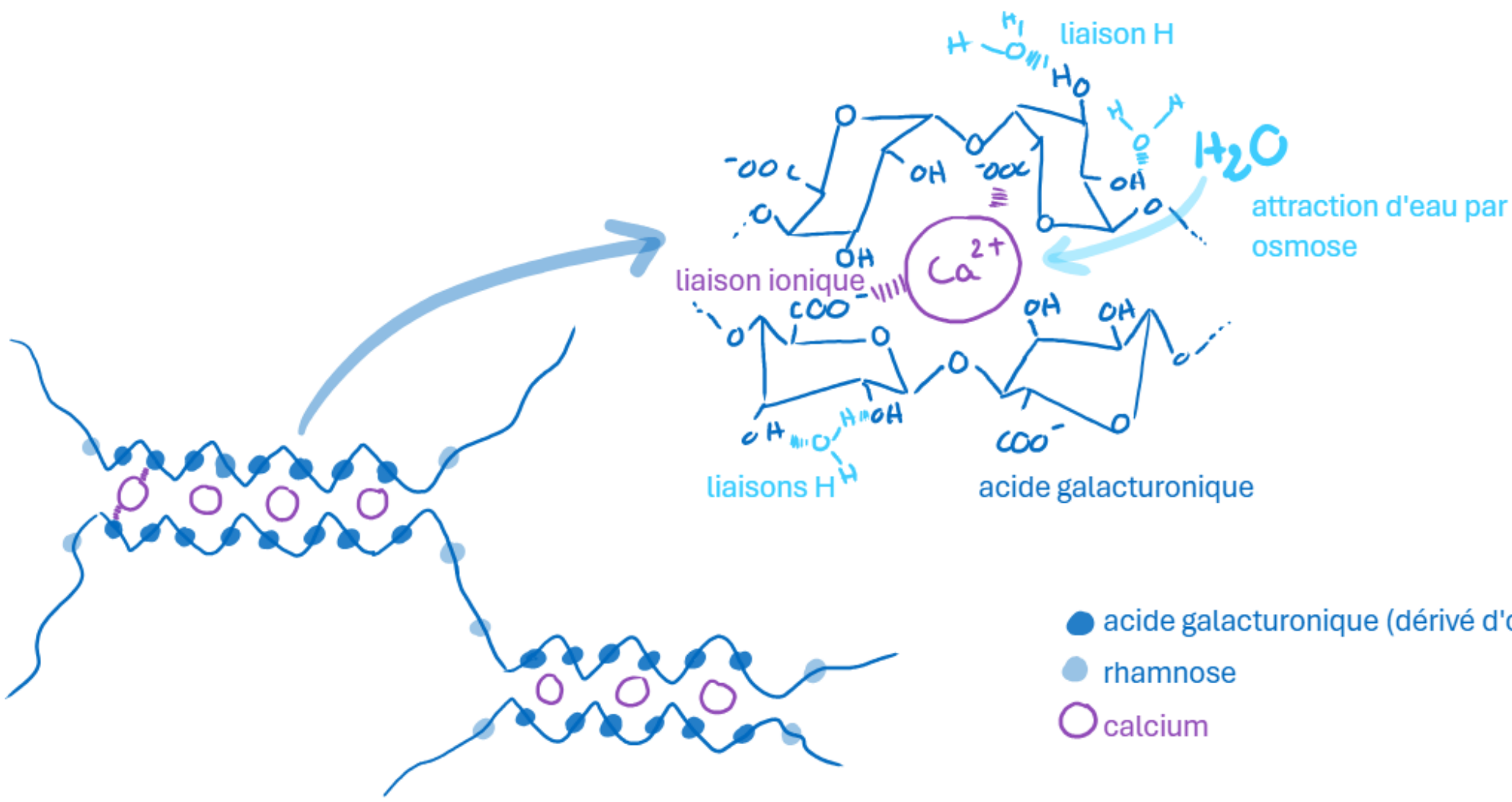
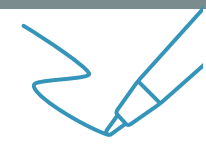


Figure 10 : Structure des molécules d'hémicellulose (a) et de pectine (b et c) (J. Segarra)

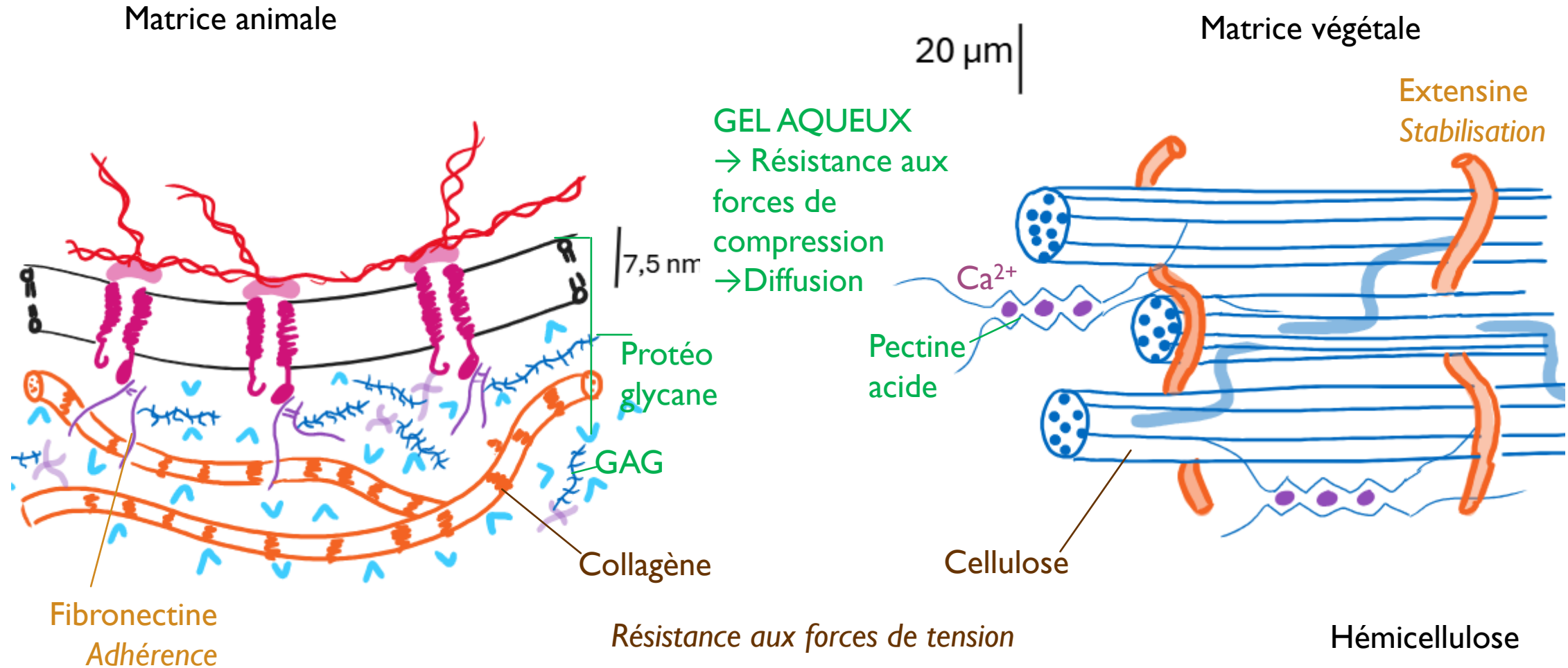


- acide galacturonique (dérivé d'ose)
- rhamnose
- calcium

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression.

2.3. Convergence structurale et fonctionnelle entre ces deux types de molécules pariétales



Bilan sur la composition de la MEC des tissus conjonctifs animaux

- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

PLAN DE COURS

- I. Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus
 - A. Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus
 - 1. Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.
 - 2. Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression
 - 3. Des molécules formatrices de réseau
 - B. Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus
 - 1. Des variations de composition des matrices
 - 2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice
 - C. Production des matrices extracellulaires par les cellules.
 - 1. Synthèse des constituants
 - 2. Remodelage de la paroi cellulaire
 - 3. Bilan sur les MEC
- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus
 - A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 - 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 - 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 - 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 - 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
 - B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 - 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 - 2. Un passage de molécules contrôlé.
 - 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 - 1. Des échanges symbiotiques de matière
 - 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information

3. Des molécules formatrices de réseau

3.1. La fibronectine de la MEC

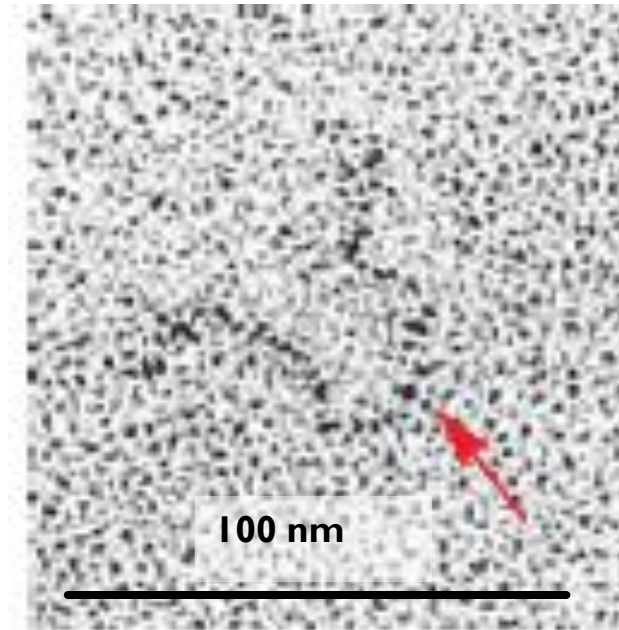
La fibronectine

- Protéine **dimérique** : 2 chaînes polypeptidiques (légèrement différentes) reliées par 2 ponts disulfures
- **Nombreux sites de fixation** à diverses molécules (collagène, GAG, intégrine)



- **Cohésion** de la MEC
- **Adhésion** de la MEC à la cellule (via les intégrines)

→ Rôle de cohésion et d'adhésion



Molécule de fibronectine ombrée au platine (MET)_(Alberts)

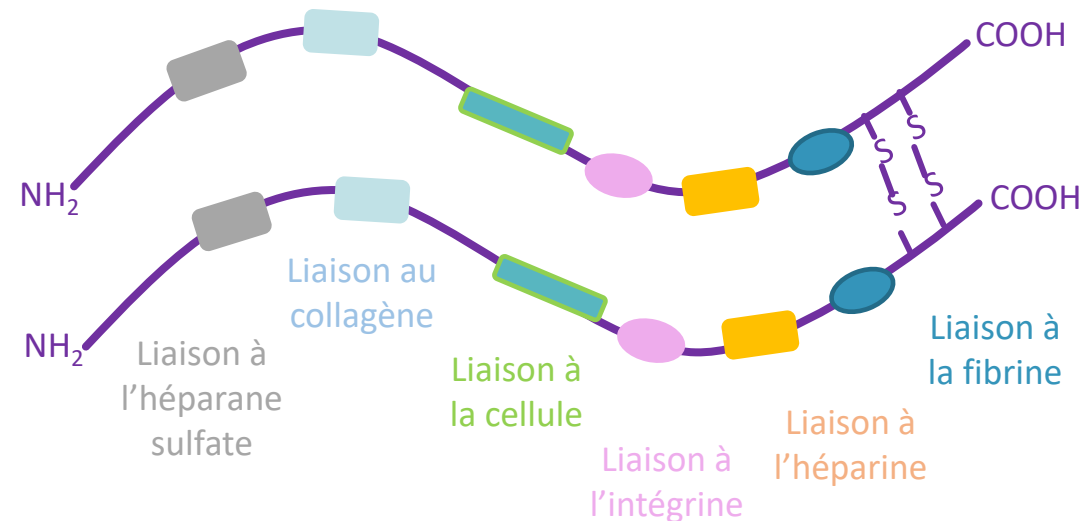
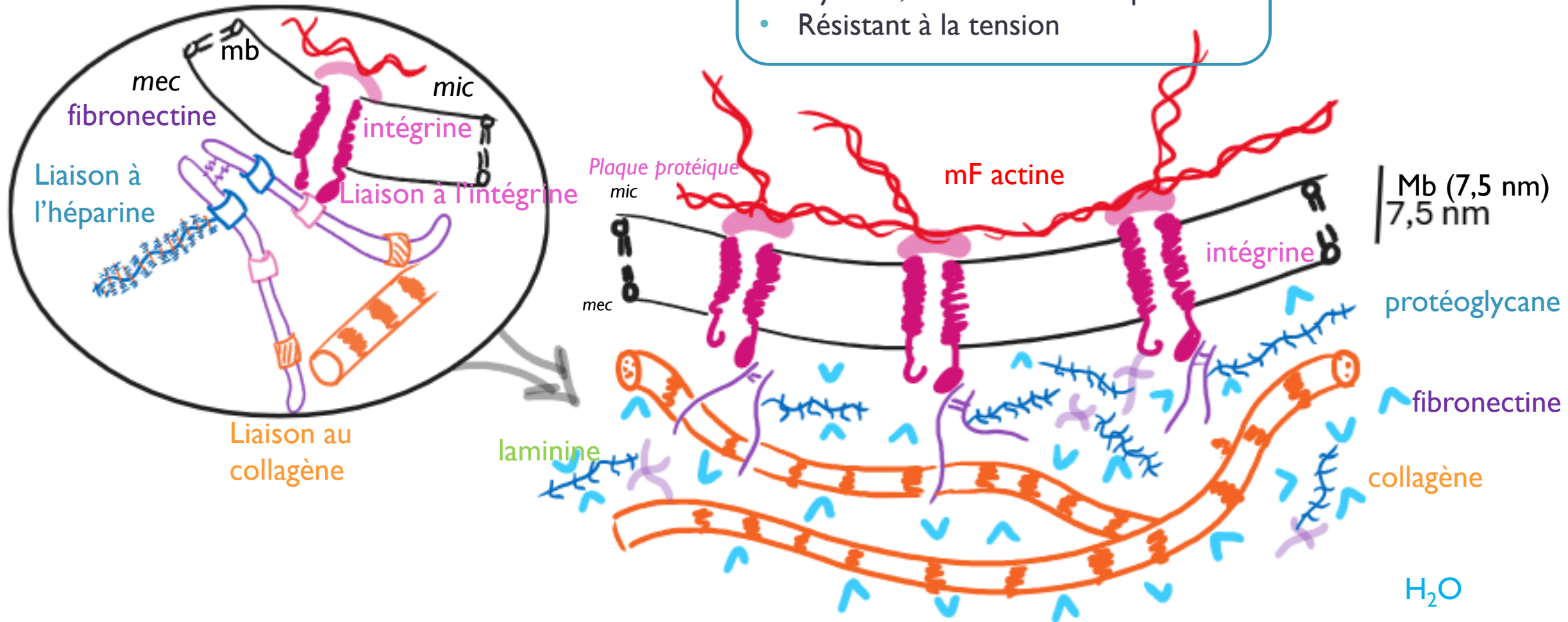


Schéma de la fibronectine, protéine aux multiples sites de liaison, assurant une cohésion moléculaire au sein de la MEC (S. Dalaine)

La MEC:

- Un réseau
- Hydraté, résistant à la compression
- Résistant à la tension



Les constituants moléculaires de la matrice extracellulaire et leurs interactions

3. Des molécules formatrices de réseau

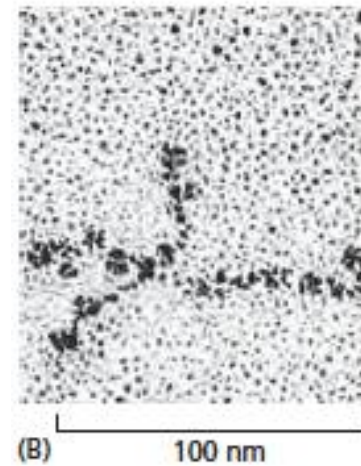
3.2. La laminine de la MEC

La laminine

- Protéine **globulaire en forme de croix**
 - Trimère alpha, beta, gamma associés en hélices par des liaisons covalentes (ponts disulfures)
 - Chaque monomère comporte de **nombreux domaines**
- Grande diversité de laminines, +/- spécifiques de certains tissus
- Fonctions :
 - **Cohésion** des molécules de la MEC
 - **Ancrage** à la cellule (surtout dans la membrane basale)



→ Rôle de cohésion et d'adhésion



Molécules de laminine (MET)

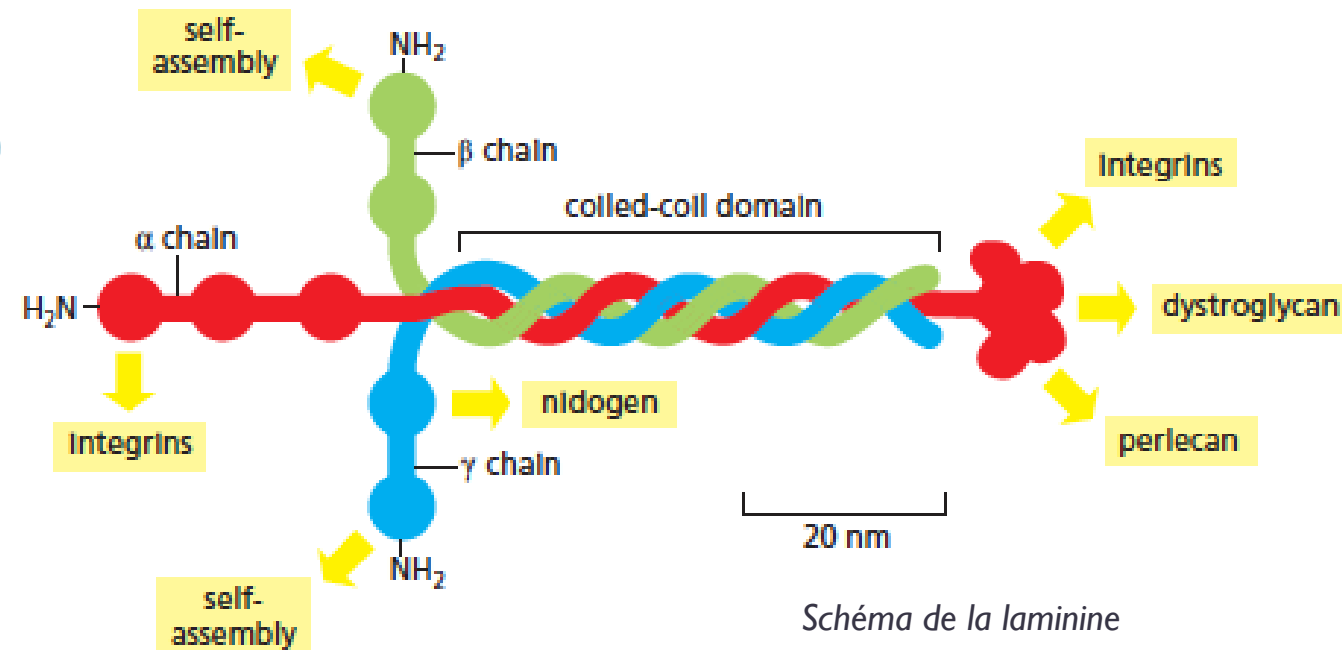


Schéma de la laminine

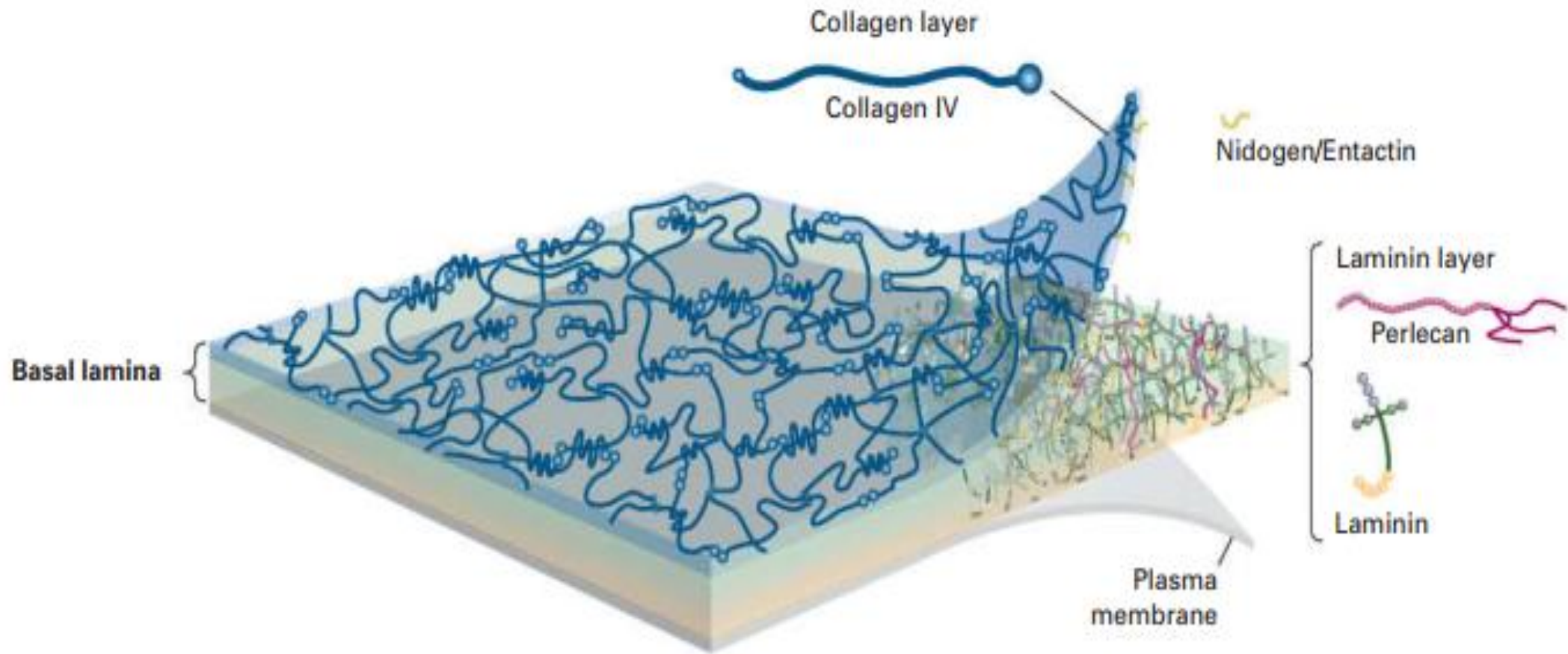


FIGURE 20-23 Major protein components of the basal lamina. Type IV collagen and laminin each form two-dimensional networks (see Figures 20-24 and 20-26), which are cross-linked by

nidogen/entactin and perlecan molecules and which interact via laminins with the plasma membranes of adjacent cells.

3. Des molécules formatrices de réseau

3.3. Les hémicelluloses de la paroi végétale

■ Hémicelluloses

- **Liaison des microfibrilles de cellulose entre elles → liaisons H**
- ⇒ organisation de la matrice **en réseau**
- ⇒ ↗ **résistance à l'étirement** (cf fibronectines avec le collagène)
- **Macromolécules glucidiques ramifiées, constituées de monomères variés.**

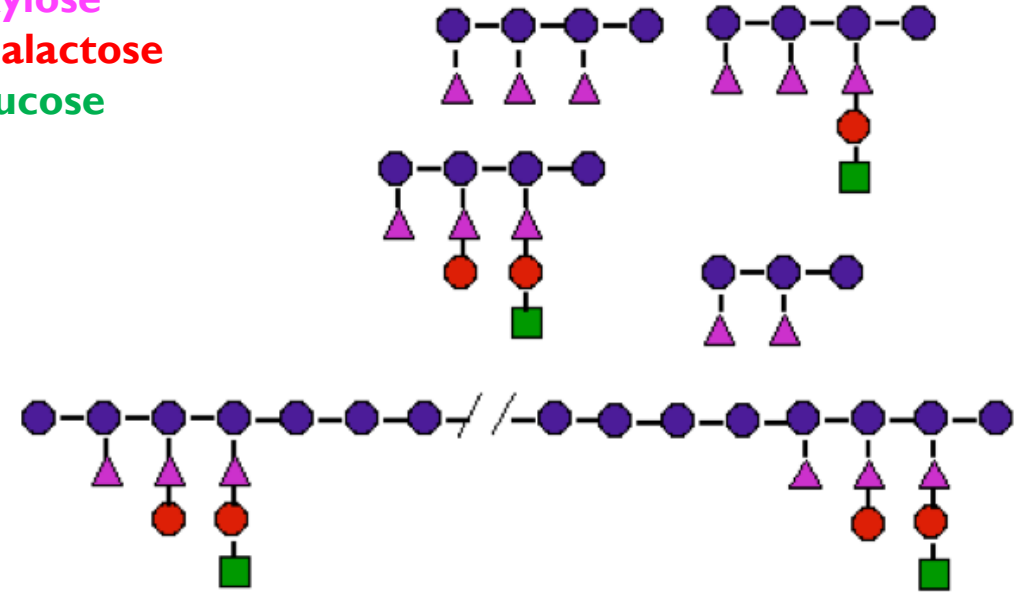


Glucose

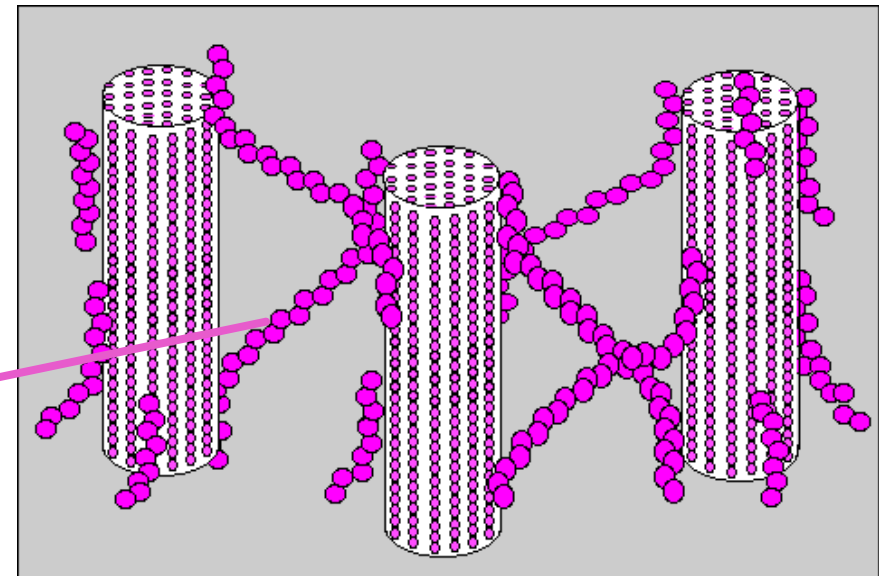
Xylose

Galactose

Fucose



Structure moléculaire des hémicelluloses et formation d'un réseau dans la paroi



A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

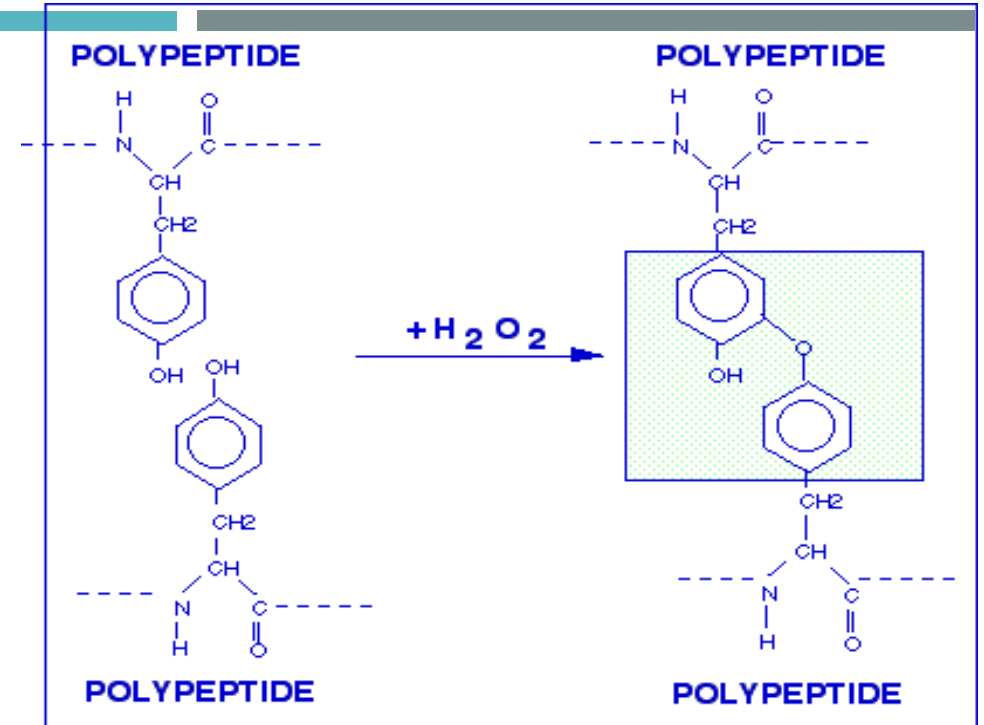
3. Des molécules formatrices de réseau

3.4. Les protéines HRGP de la paroi végétale

■ Liaisons covalentes entre 2 tyrosines

⇒ Pontage

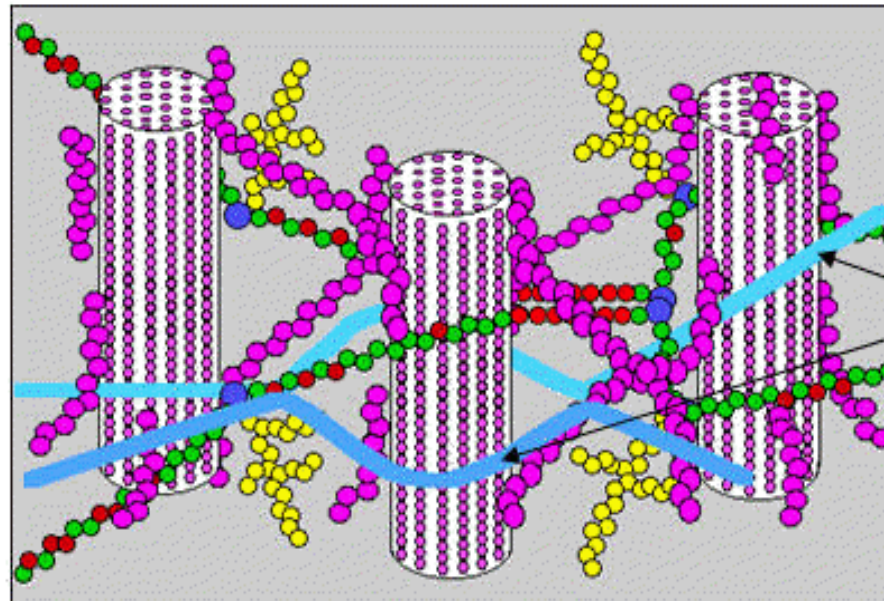
⇒ **bloque la plasticité pariétale**,
donc plutôt en fin de croissance
cellulaire



■ HRGP: **H**ydroxyprolin Rich **G**lyco**P**rotein

➤ Nombreux groupes OH

➤ **liaisons covalentes** (O-glycosylation) avec les polysides de la paroi



Réseau secondaire de protéines HRGP

A. STRUCTURE EN RÉSEAU DES MATRICES EXTRACELLULAIRES ET RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES TISSUS

4. Bilan



Les matrices animales et végétales sont formées de :

➤ **trame fibreuse** = fibres inextensibles reliées les unes aux autres en réseau ⇒ **propriété de résistance à l'étirement.**

➤ **gel hydraté** ⇒ **résistant à la compression**, permettant la **circulation de molécules** (matière information)

➤ Les matrices illustrent une **convergence fonctionnelle** entre animaux et végétaux : des fonctions similaires pour des molécules de nature différente.

✓ **matrices végétales : principalement glucidiques**

✓ **matrices animales: plutôt protéiques.**

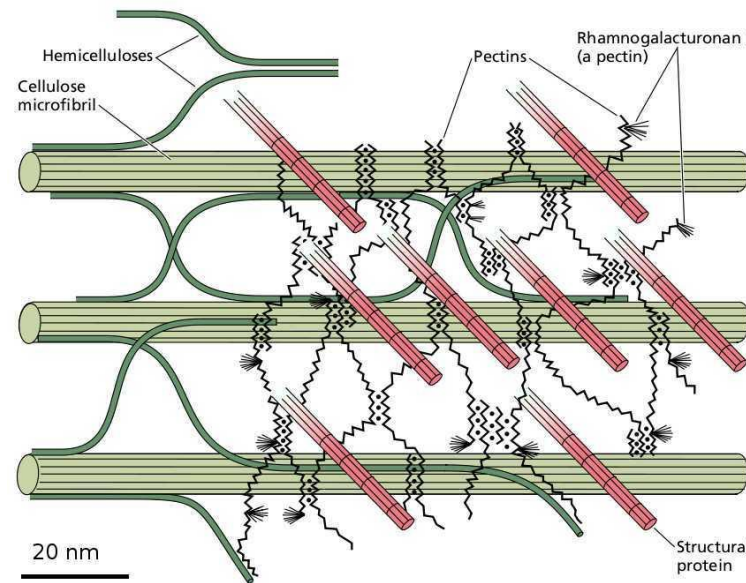
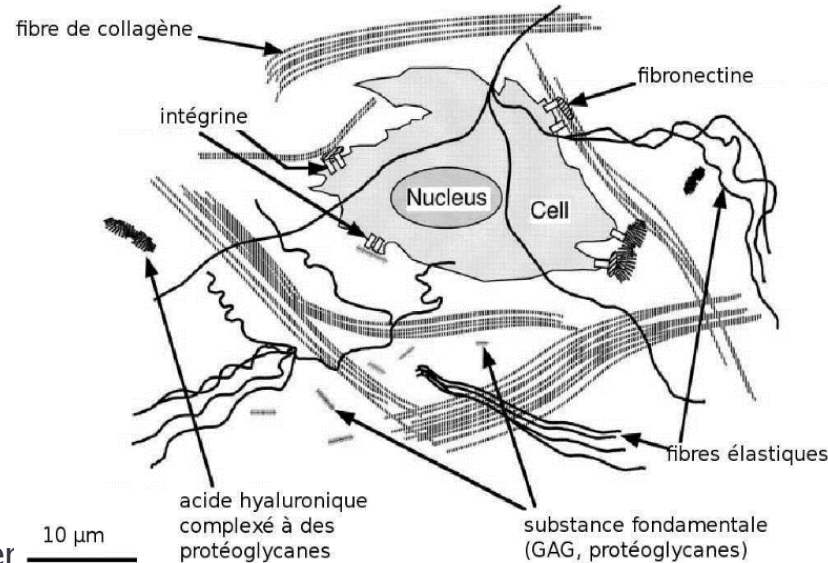


Figure 17 : Organisation de la paroi végétale (Taiz)

Figure 15 : Organisation de la matrice extracellulaire d'un tissu conjonctif animal

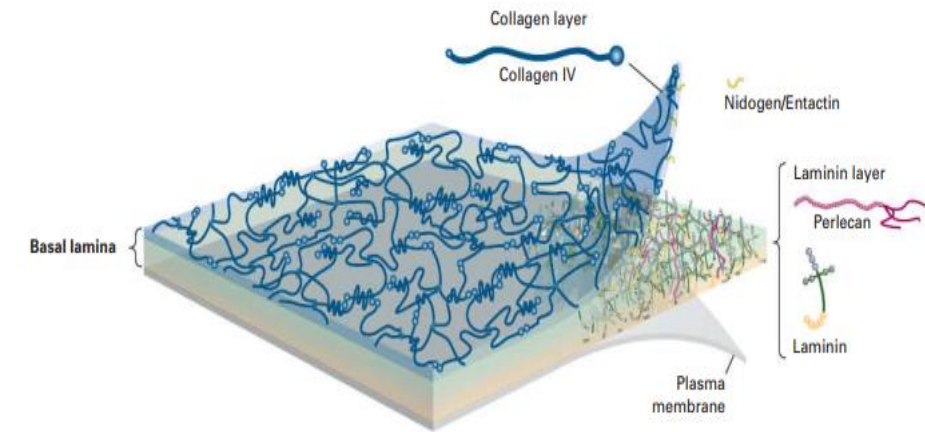


FIGURE 20-23 Major protein components of the basal lamina. Type IV collagen and laminin each form two-dimensional networks (see Figures 20-24 and 20-26), which are cross-linked by nidogen/entactin and perlecan molecules and which interact via laminins with the plasma membranes of adjacent cells.

Figure 16 : Organisation d'une lame basale (Alberts)

Matrice : ensemble de macromolécules sécrétées par les cellules et formant une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu

- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

PLAN DE COURS

- I. *Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus*
 - A. *Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus*
 1. *Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.*
 2. *Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression*
 3. *Des molécules formatrices de réseau*
 - B. **Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus**
 1. **Des variations de composition des matrices**
 2. *Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice*
 - C. *Production des matrices extracellulaires par les cellules.*
 1. *Synthèse des constituants*
 2. *Remodelage de la paroi cellulaire*
 3. *Bilan sur les MEC*

- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus

- A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
- B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 2. Un passage de molécules contrôlé.
 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 1. Des échanges symbiotiques de matière
 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

LE POINT SUR LES TISSUS ANIMAUX

- Regroupement des tissus selon des **caractéristiques structurales** (composition, organisation)
 - ⇒ **Liées à leur fonction** au sein d'un organe
- Grands types de tissus :
 - Les épithéliums
 - Le tissu conjonctif
 - Le tissu nerveux
 - Les tissus osseux et cartilagineux
 - Le tissu musculaire
 - Les cellules sanguines
 - Le tissu lymphoïde



LES EPITHÉLIUMS

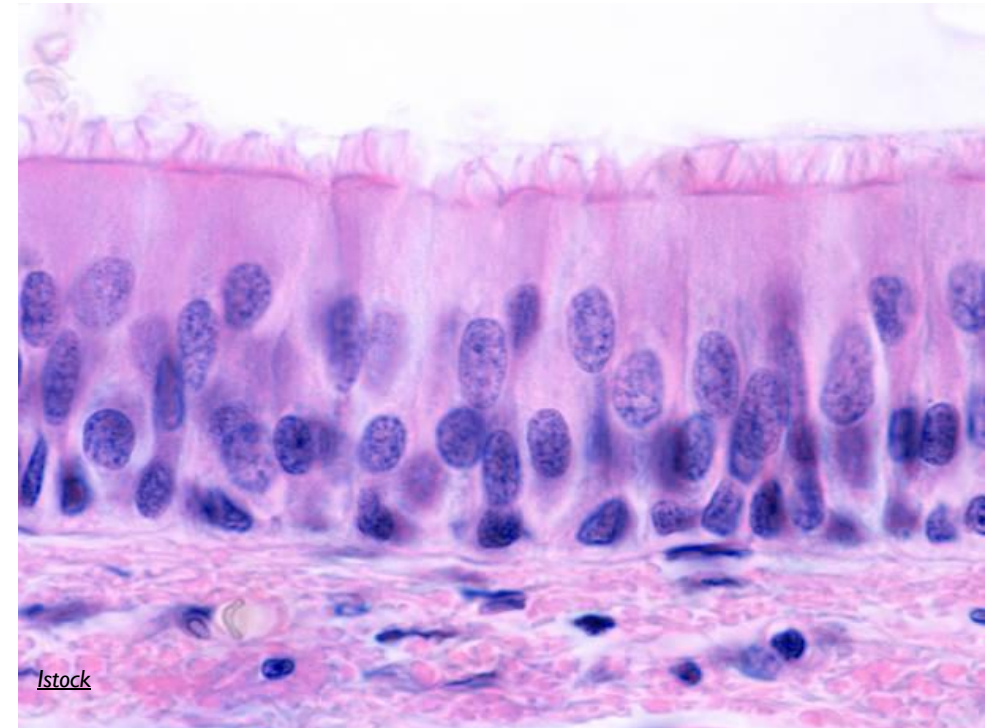
Définition

- Cellules **jointives**, se touchant sur de larges surfaces → *importance des jonctions cellulaires*
- Recouvrant la surface des **cavités, conduits et de l'extérieur** de l'organisme.
- Reposent sur une **lame basale = membrane basale**
- Sont constitués de **cellules polarisées** : *pôle basal et apical*
- Non vascularisés → *importance du tissu conjonctif environnant*

Deux types d'épithéliums selon leur fonction :

- ✓ Epithélium de revêtement
- ✓ Epithélium glandulaire

Epithélium : nm. Tissu avasculaire constitué de cellules jointives recouvrant la surface de cavités, conduits ou l'extérieur de l'organisme, reposant sur une membrane basale.



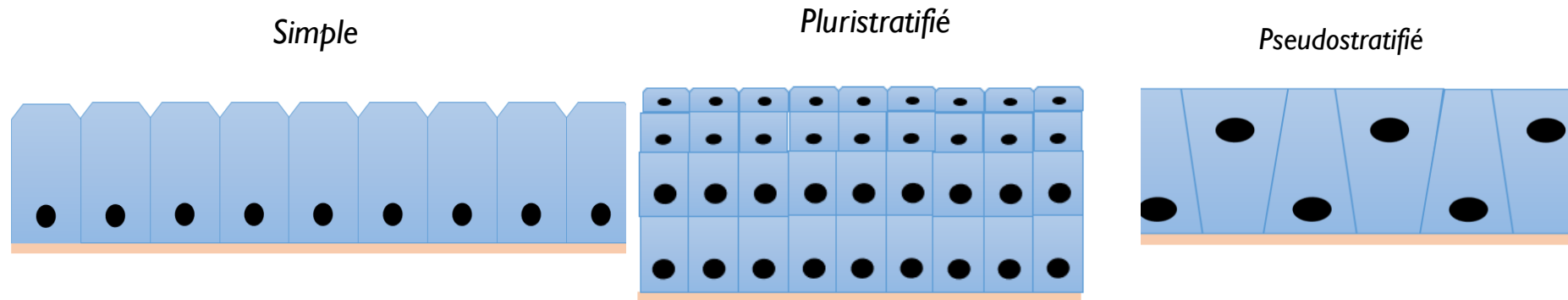
Epithéliums de revêtement (1/2)

Epithélium de revêtement : Interface tissulaire délimitant des cavités ou conduits internes, ou bien l'extérieur du corps, au rôle de protection ou d'absorption

Classés selon :

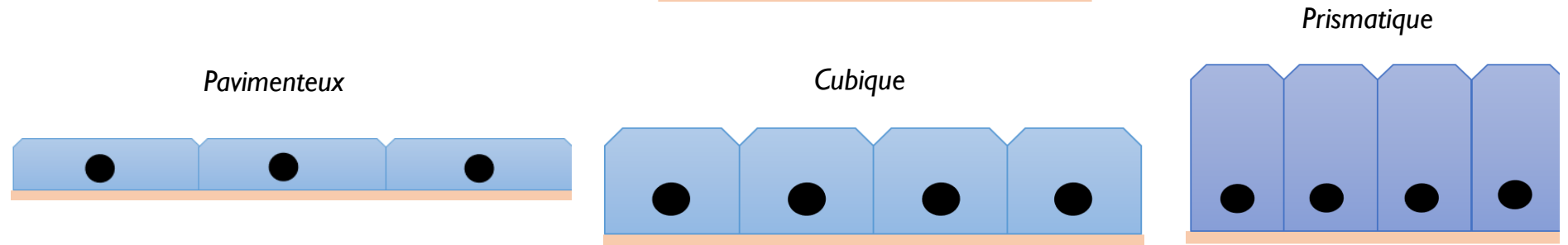
■ **Le nombre de cellules :**

- Simple
- Pluristratifié
- Pseudostratifié



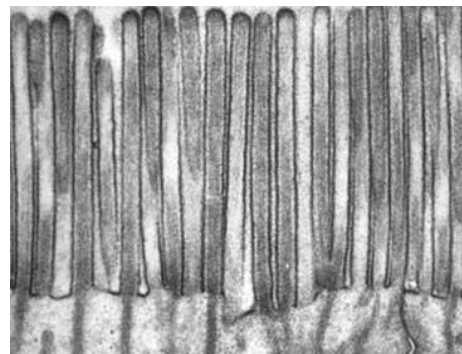
■ **La forme des cellules :**

- Pavimenteux
- Cubique
- Prismatique

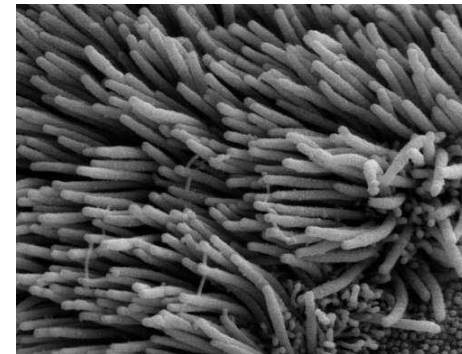


■ **Leur spécialisation :**

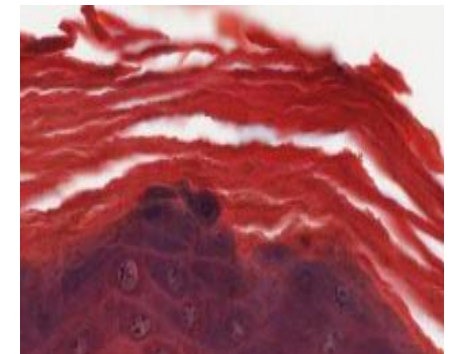
- Cils, stéréocils
- Microvillosités
- Kératinisation...



Microvillosités (bordure en brosse)

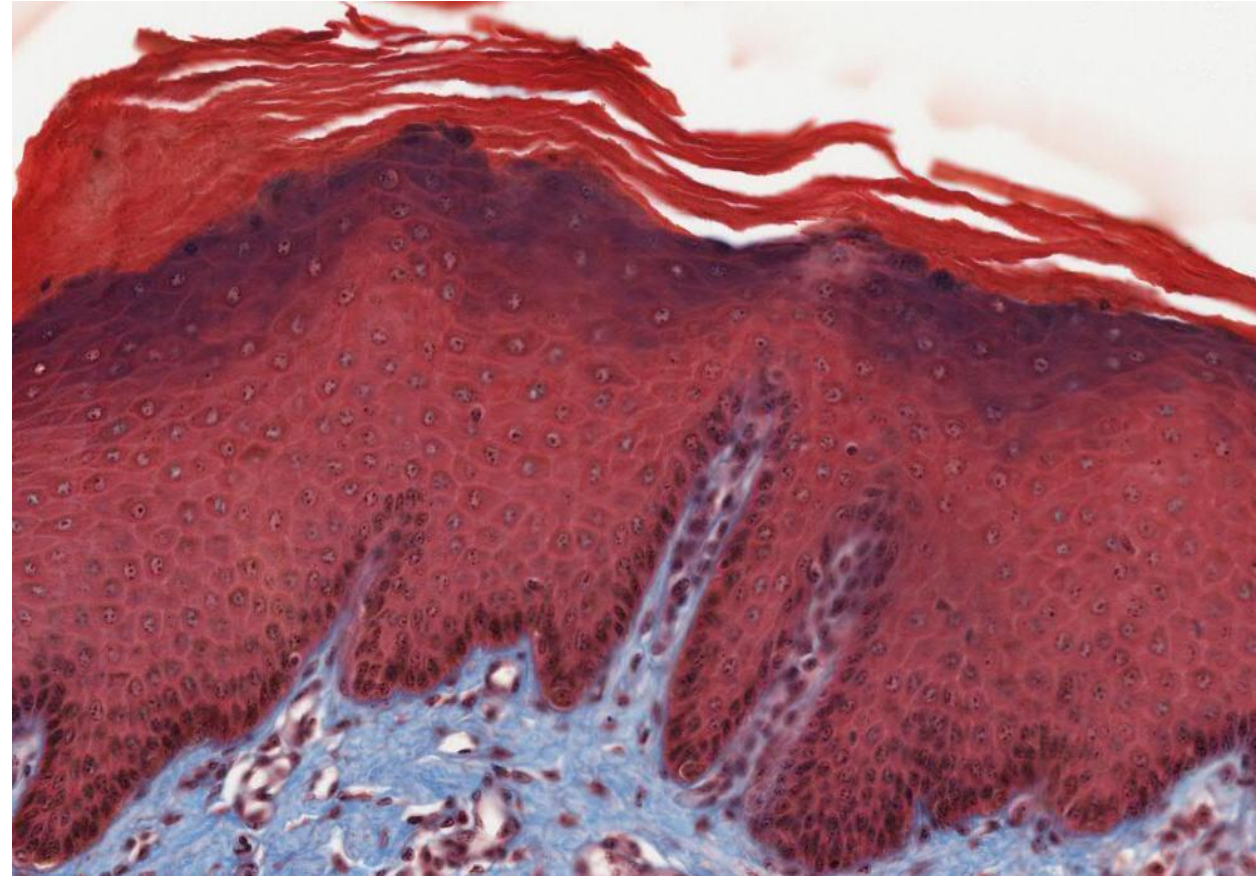
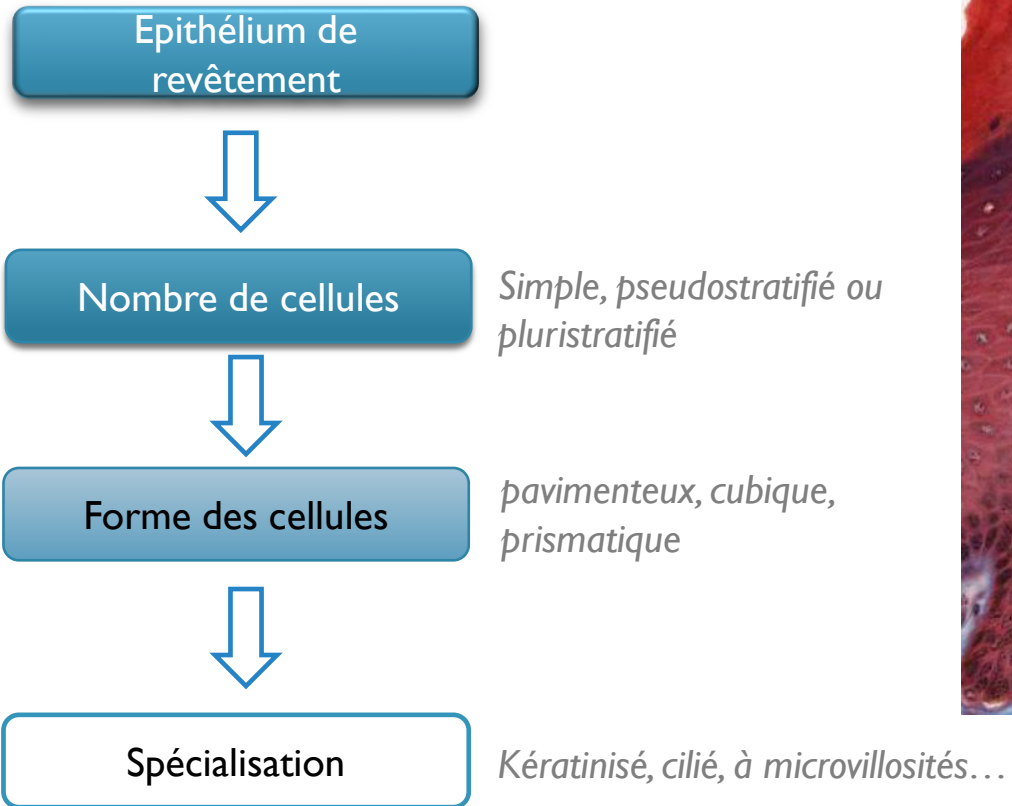


Cils



Kératinisation

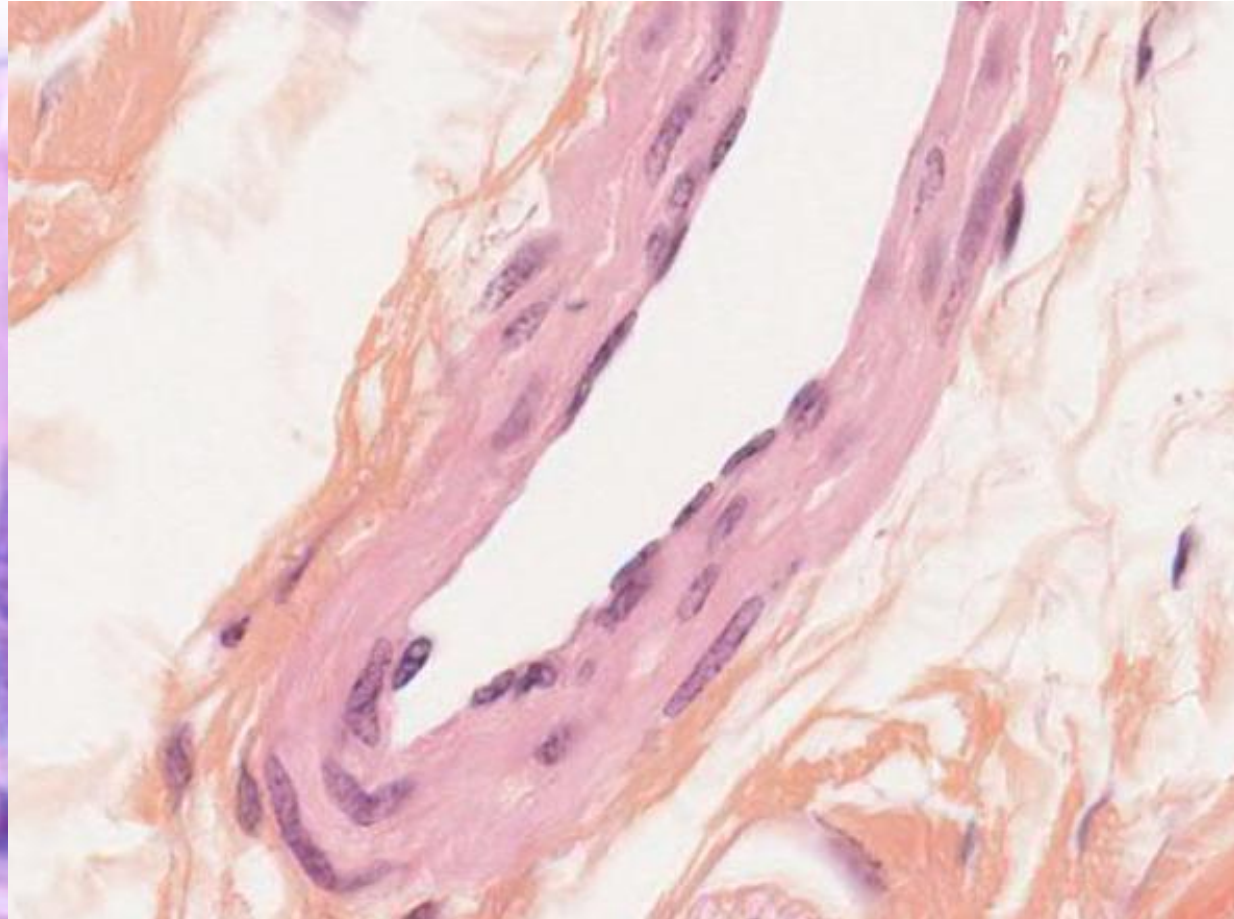
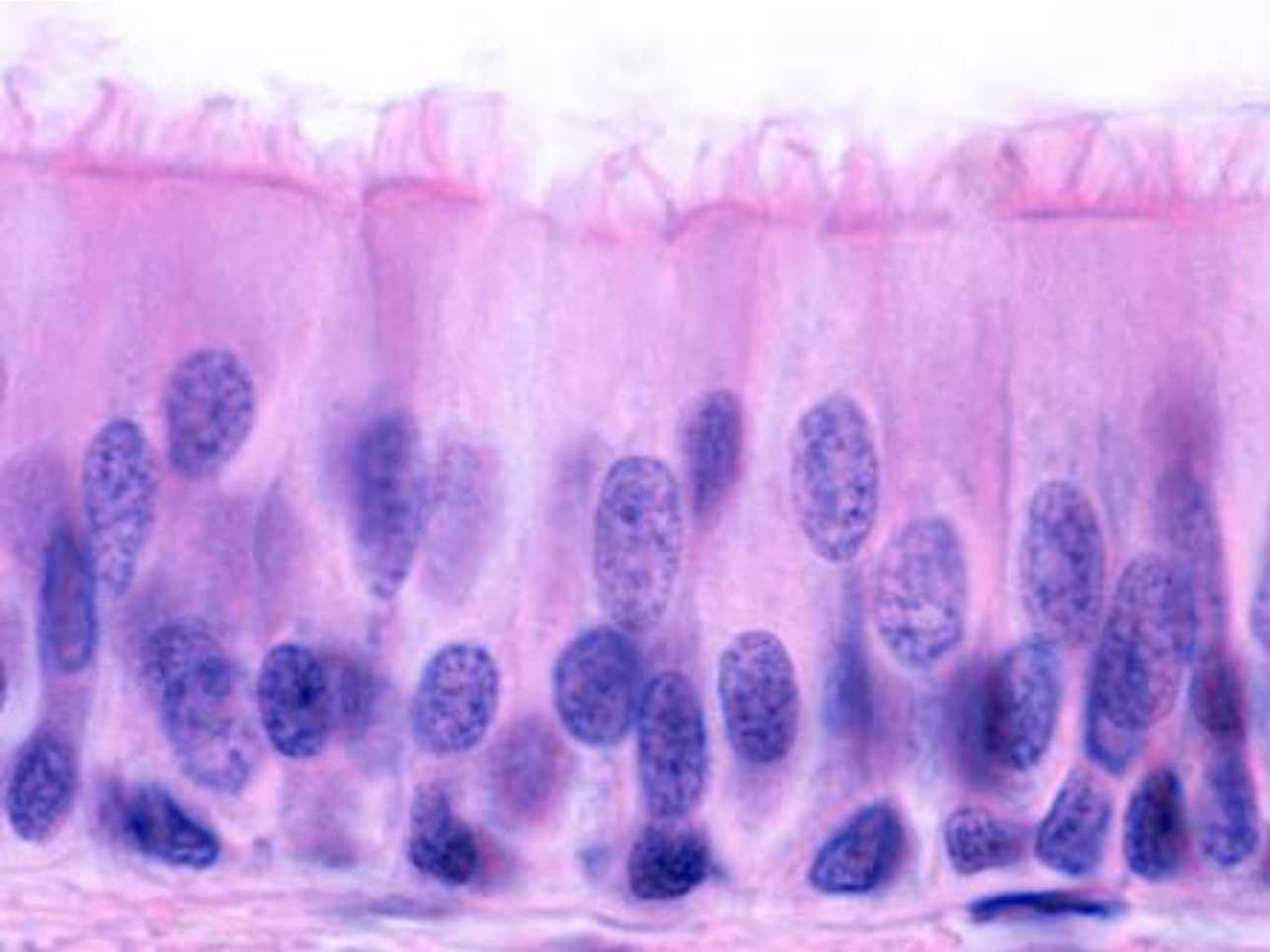
Epithéliums de revêtement (2/2)



Exemple : épithélium de revêtement pluristratifié prismatique kératinisé

ON S'ENTRAÎNE ?

Citez les caractéristiques de ces tissus épithéliaux de revêtement



EPITHÉLIUMS GLANDULAIRES



- Rôle du tissu : **sécrétion de molécules**
- Classification :

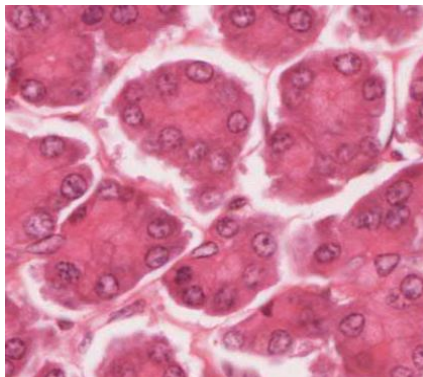
➤ Mode de sécrétion (destination des produits)

- ✓ Endocrine vers l'intérieur du corps
- ✓ Exocrine vers l'extérieur du corps
- ✓ Autocrine
- ✓ Paracrine sur les cellules voisines

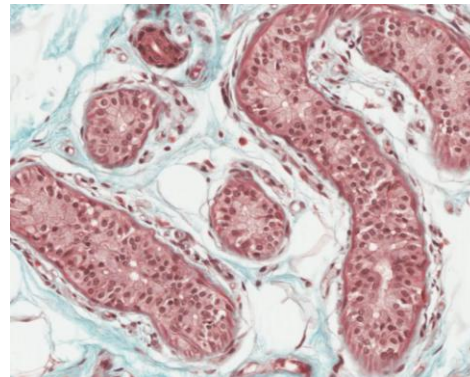
➤ Organisation morphologique :

- ✓ Intraépithéliale
- ✓ Tubuleuse
- ✓ Acineuse
- ✓ Alvéolaire

Organisation de l'épithélium glandulaire :



Acineuse



Tubuleuse

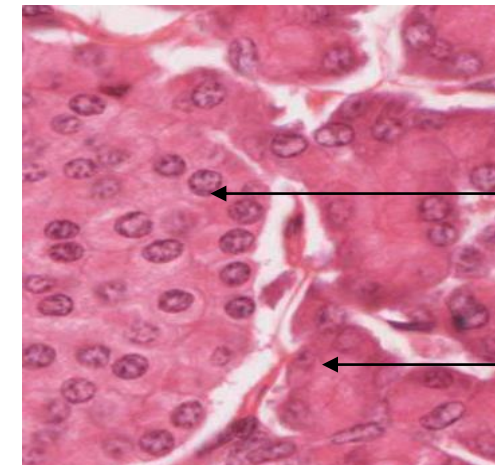
Epithélium glandulaire : nm. Epithélium spécialisé dans la fonction de sécrétion (synthèse puis excrétion de molécules)

➤ Mode de sécrétion

- ✓ Mérocrine : *exocytose*
- ✓ Apocrine : *expulsion de vésicules*
- ✓ Holocrine : *expulsion de la cellule*

➤ Produit de sécrétion :

- ✓ Séreuse : *protéique*
- ✓ Muqueuse : *mucus, riche en GAG*



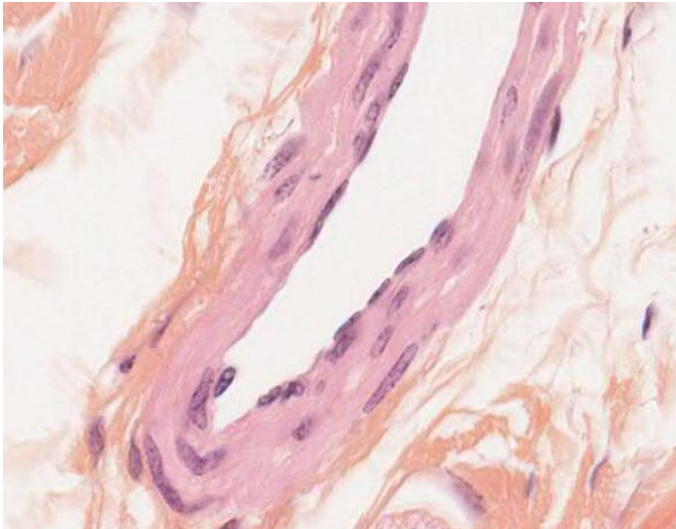
Mode d'excrétion dans le pancréas :

Ilot de Langerhans
→ Endocrine

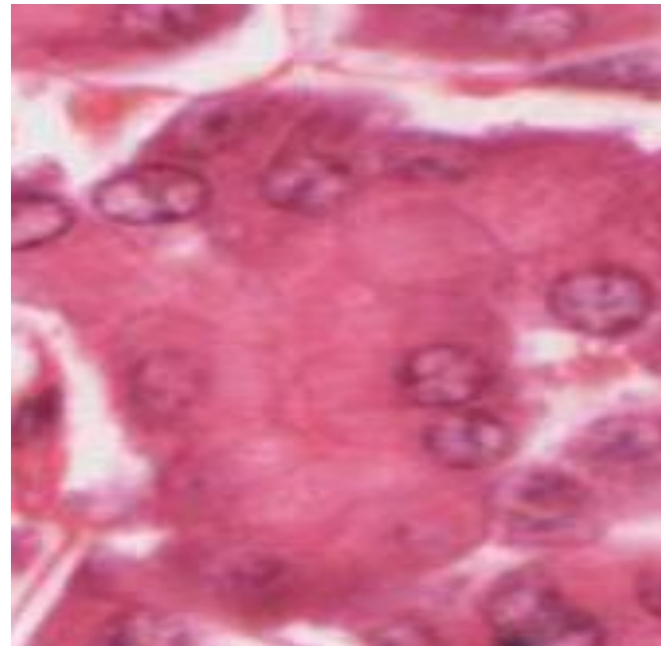
Acinus
→ Exocrine

BILAN

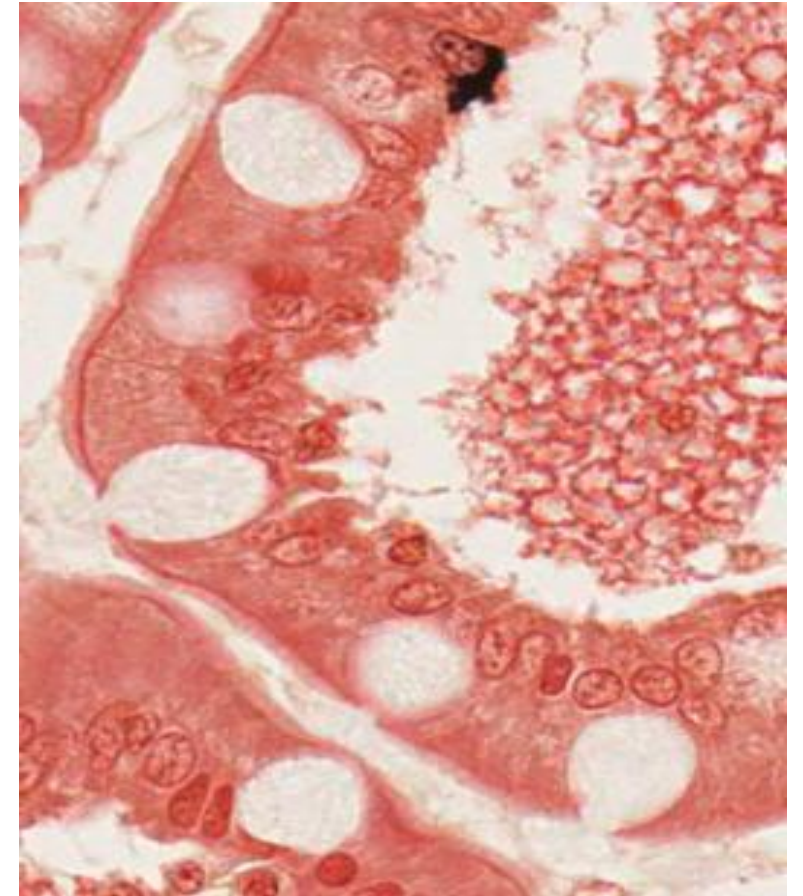
- **Epithélium = tissu avasculaire** constitué de **cellules jointives; orientées**, recouvrant la surface de cavités, conduits ou l'extérieur de l'organisme, reposant sur une **membrane basale**.
- Deux types d'épithéliums selon leur fonction :
 - **Epithélium de revêtement** → recouvre les cavités
 - **Epithélium glandulaire** → sécrète des molécules



Epithélium de revêtement d'un vaisseau sanguin



Epithélium glandulaire exocrine du pancréas



Epithélium mixte :

- Entérocytes → de revêtement de l'iléon
- ϕ caliciformes → glandulaires (mucus)



LES CONJONCTIFS

Tissu richement vascularisé, peu dense en cellules, riche en MEC

Tissu conjonctif : nm. Tissu de soutien structural et métabolique des autres tissus de l'organisme.

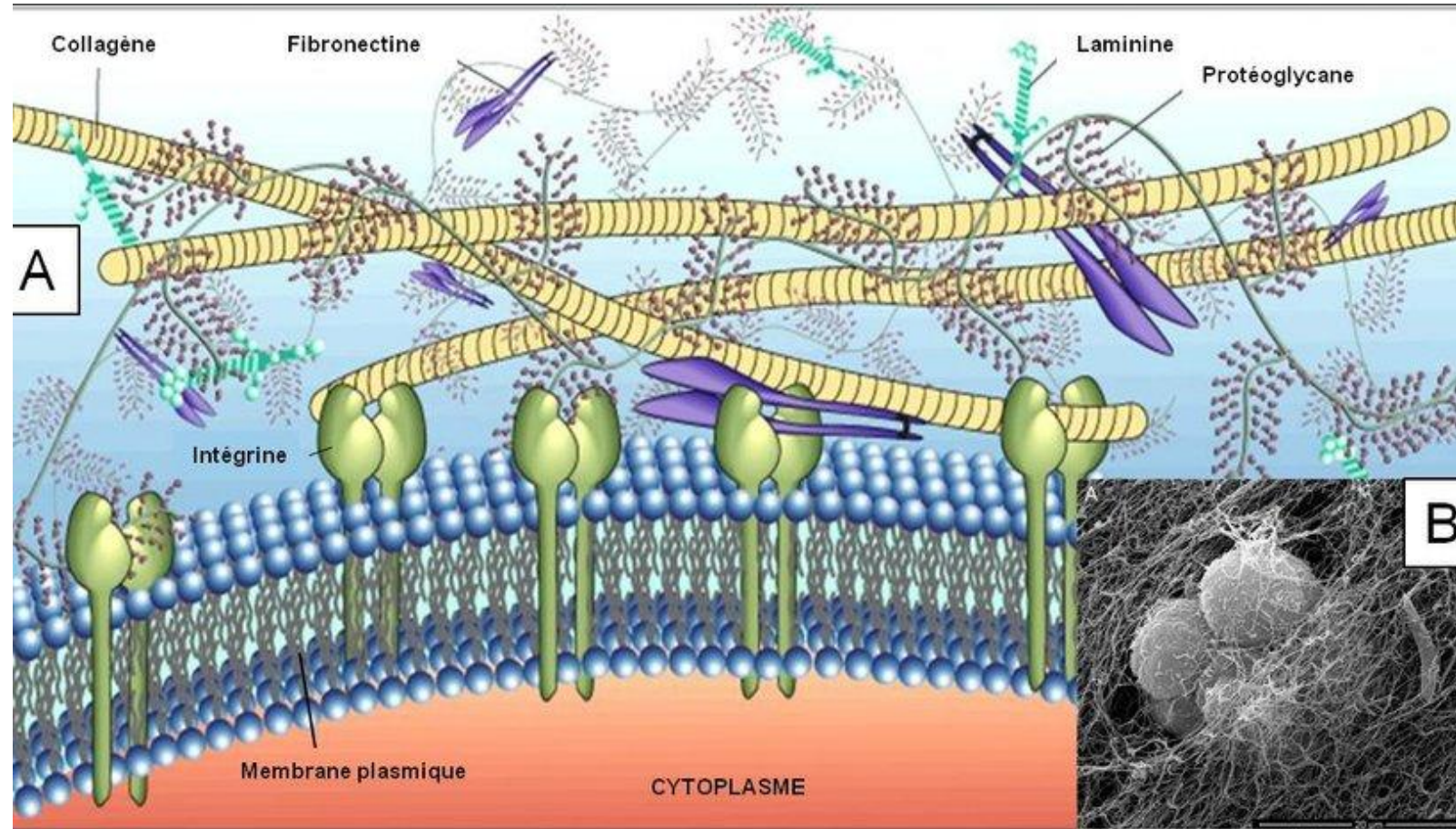


Constitué de :

- **Cellules** : fibroblastes ++, adipocytes, ϕ immunitaires
- **Matrice extracellulaire** :
 - ✓ Fibres protéiques : *collagène*, *élastine*
 - ✓ Substance fondamentale : 70% d'eau, sels minéraux, *protéoglycanes* (c'est un GAG), *protéines*...

Types de tissus conjonctifs variés :

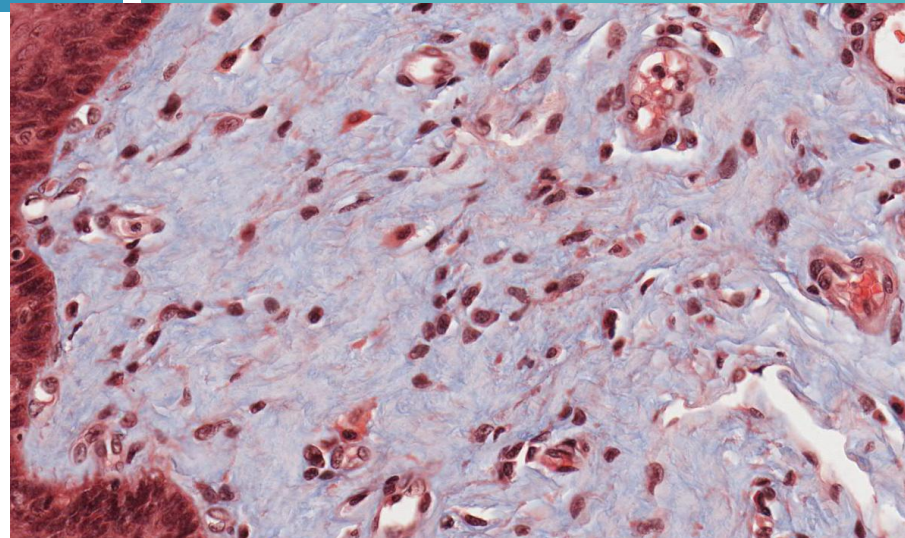
- Lâche
- Dense
- Différencié : os, cartilage
- Spécialisé : tissu adipeux



Structure de la MEC (Marieb, 2013)

1. Conjonctif lâche

Cellules > Fibres

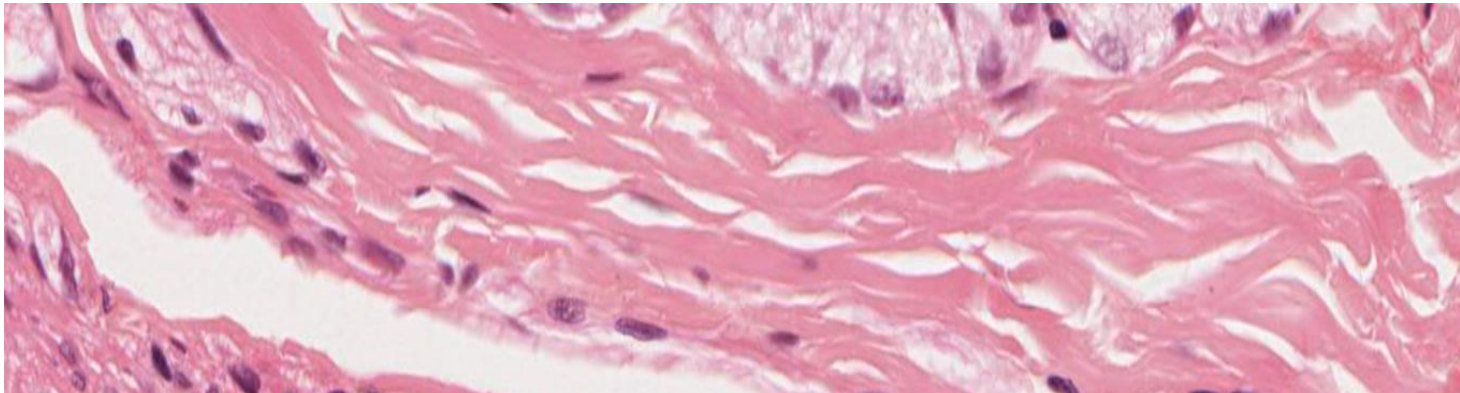


Conjonctif lâche du derme (vu au MO)

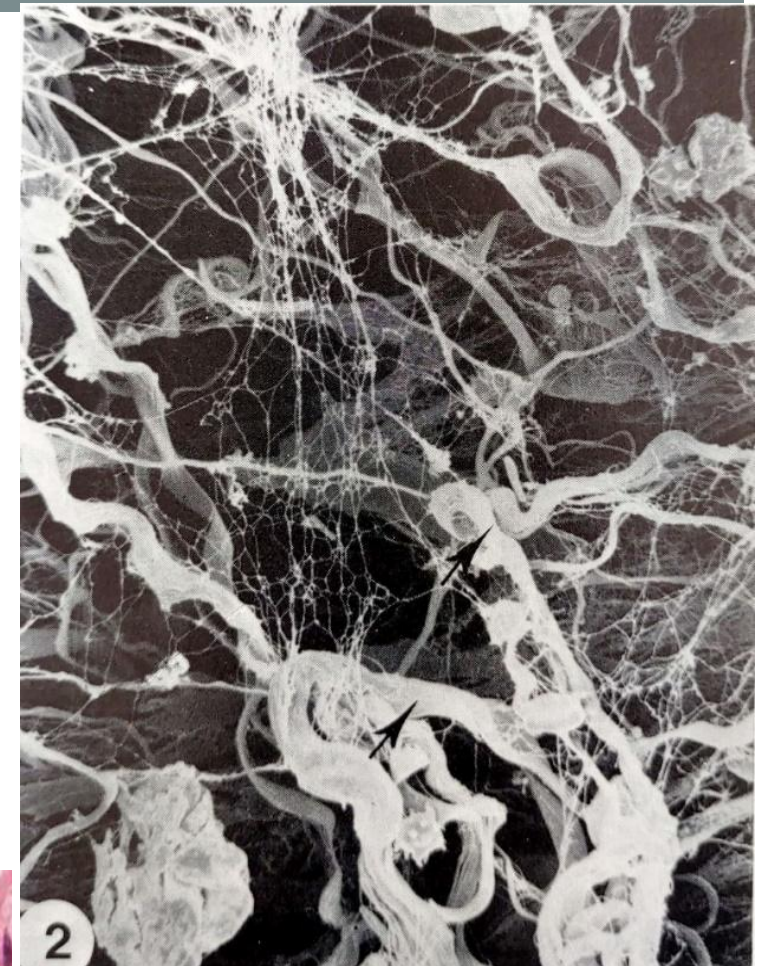
2. Conjonctif dense

Fibres > cellules

- ✓ **Orienté** : fibres //
- ✓ **Non orienté** : fibres non //



Tissu conjonctif dense orienté



Tissu conjonctif lâche (vu au MO)

Secchi (1981)

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

I. Des variations de composition des matrices

I.1. Les élastines : des constituants conférant des propriétés spécifiques à certaines matrices

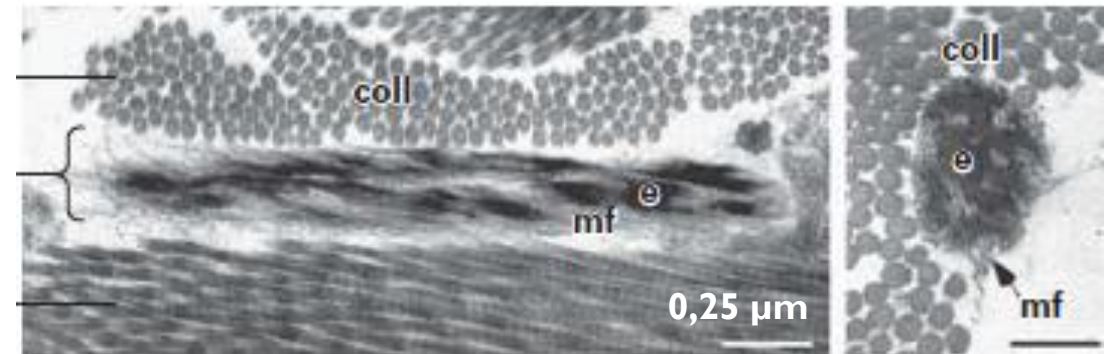


- L'**élastine** abondante dans les tissus soumis à d'importantes variations de taille ou de forme

✓ *poumons, peau, vaisseaux sanguins*

- **Protéine fibrillaire**, sans striation, très hydrophobe et **élastique**

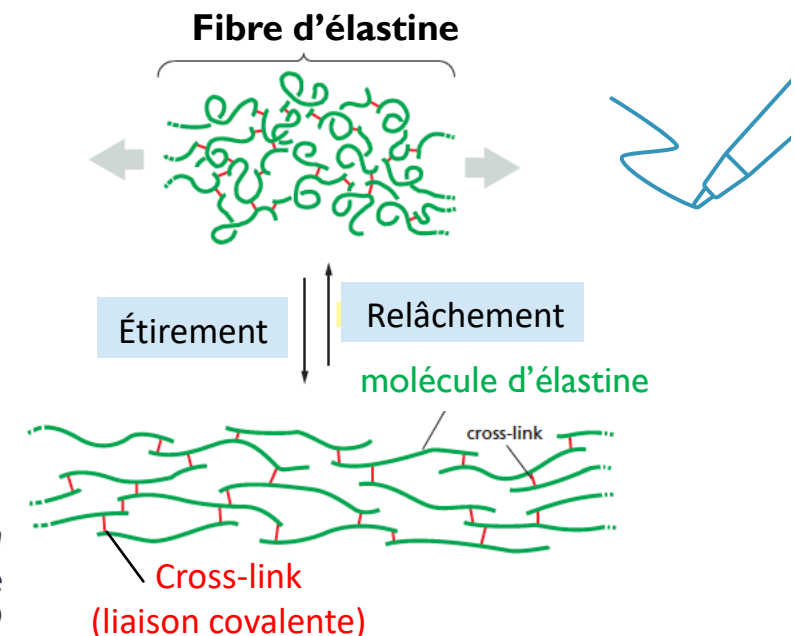
- Chaque molécule d'élastine peut s'étendre ou se contracter grâce à des repliements aléatoires → extension de la fibre
- Liaison covalente (cross-link) entre les molécules d'élastine (formation après sécrétion dans MEC)
- Réseau élastique (5x plus que le caoutchouc)



Peau de souris (MET) montrant des fibres d'élastine en CL (A) et en CT (B) (Lodish)

Rem : Avec l'âge, synthèse d'élastine diminue et proportion de collagène augmente → peau moins élastique (ride).

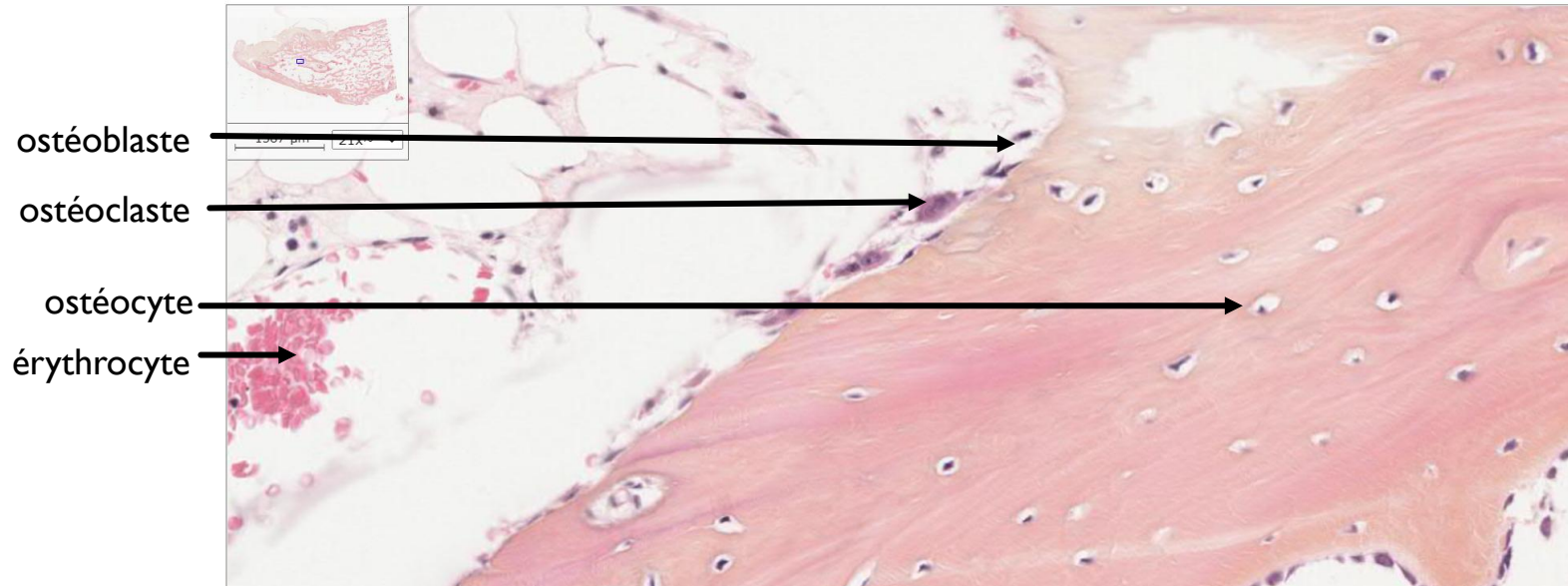
→ **Rôle de structure - élasticité**



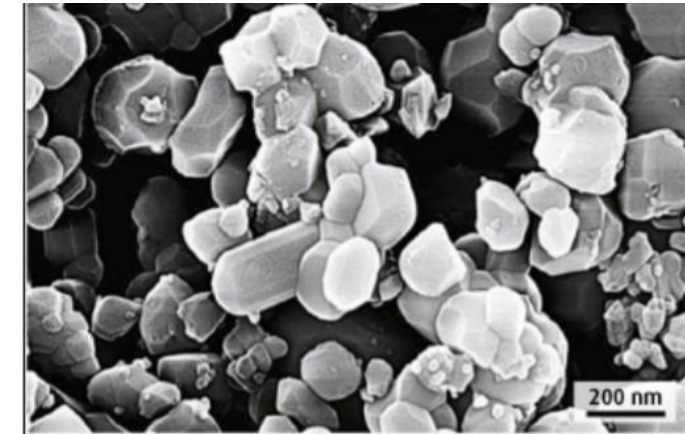
B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

I. Des variations de composition des matrices

I.2. Rigidification des matrices : des tissus spécialisés dans le soutien

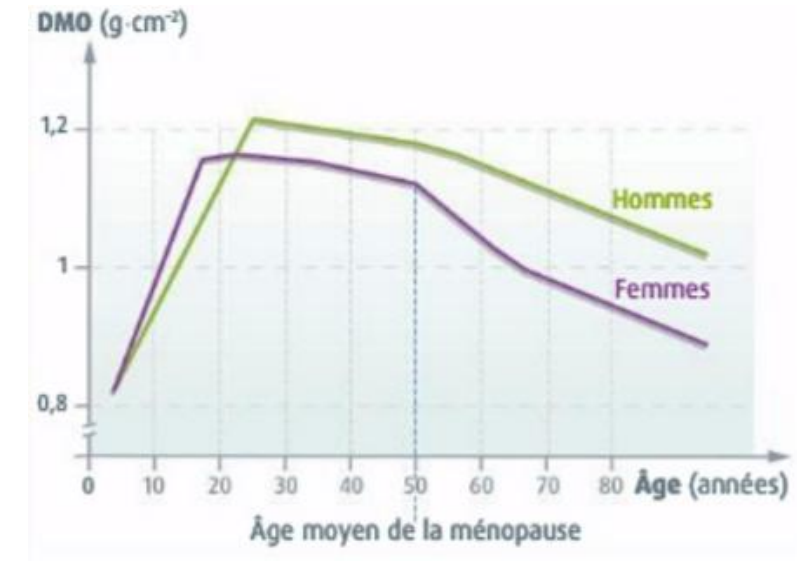


Os d'homme adulte (MO, HE & safran)



Cristaux d'hydroxyapatite extraits d'os (MEB)

- La matrice peut être imprégnée de différents types de cristaux :
 - Hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ – ex : tissu osseux des vertébrés
 - Carbonate de calcium CaCO_3 – ex : coquille de nombreux invertébrés
 - Silicate SiO_2 – ex : paroi végétale de certaines plantes, diatomées



Densité de masse osseuse (DMO) en fonction de l'âge chez l'homme et la femme.

La DMO est fonction du taux d'hydroxyapatite.

Renforcement des MEC formant les (exo)squelettes

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

I. Des variations de composition des matrices

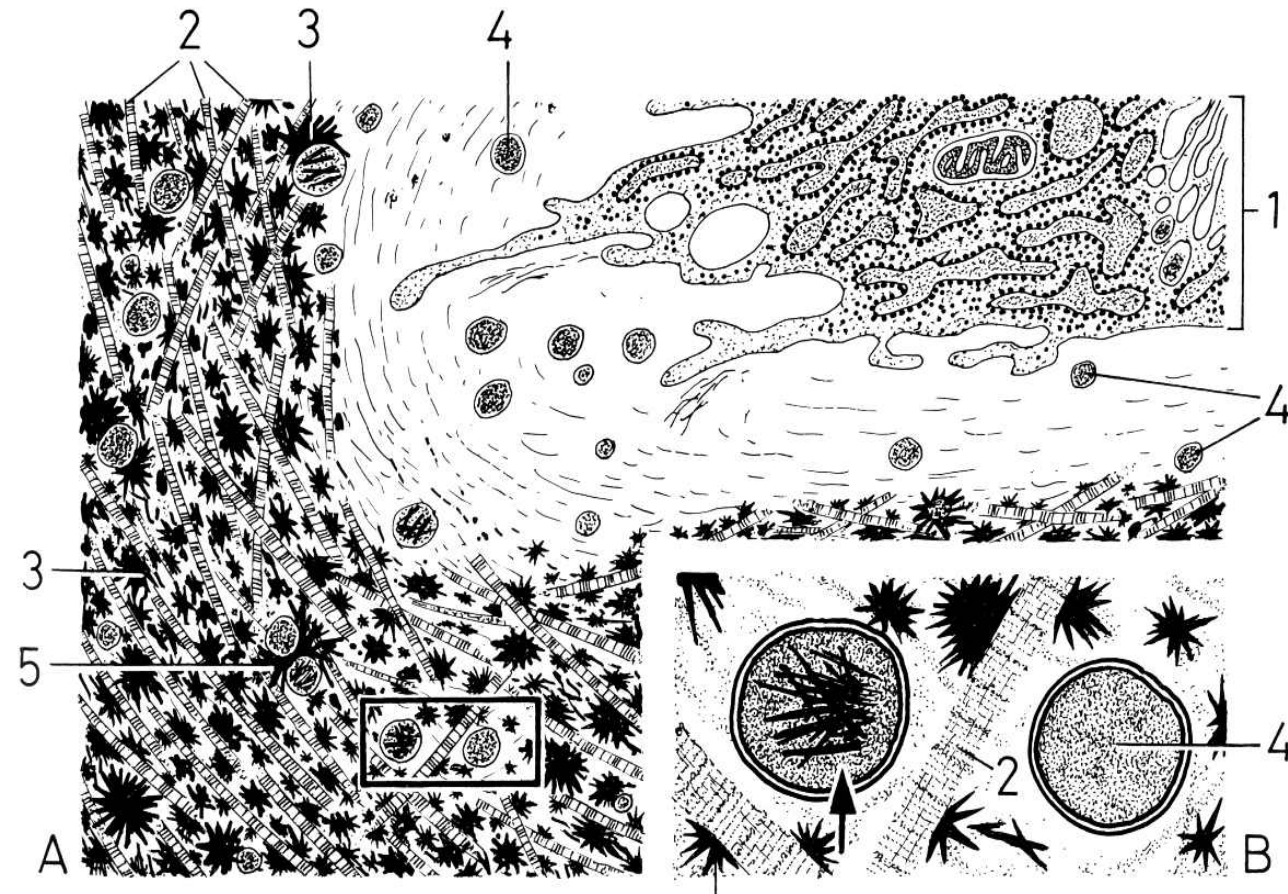
I.2. Rigidification des matrices : des tissus spécialisés dans le soutien

Os : nm. **Tissu conjonctif différencié** solide au rôle de support de l'organisme composant le squelette interne des Chordés, et au rôle de réserve minérale.



Calcification de fibrilles de collagène et du gel dans le tissu osseux.

1 : ostéoblaste (REG et Golgi abondants, à l'origine de la synthèse de collagène (2) et du gel). 3 : aiguilles de cristaux d'hydroxyapatite associées au collagène. 4 : vésicules produites par les cellules initiant la cristallisation (5)



Matériel	Part	Composition
Eau	10%	/
Matériel organique	25%	Fibres de collagène Protéoglycanes spécifiques de l'os
Matériel inorganique	65%	Hydroxyapatite : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ Carbonate Fluorure Magnésium, Sodium, Plomb...

Composition de l'os, un tissu conjonctif différencié

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

I. Des variations de composition des matrices

I.2. Rigidification des matrices : des tissus spécialisés dans le soutien

- imprégnation de la paroi de certaines cellules, en un composé de type **polyphénol**, la **lignine**. → **rigidification**
- lignification : processus tardif dans la différenciation cellulaire → croissance cellulaire impossible
- Ajout de lignine **par imprégnation** de la paroi cellulosique (essentiellement dans la lamelle moyenne et la paroi primaire) : → polymérisation extracellulaire des monolignols,
- Les lignines établissent des liaisons covalentes avec les autres macromolécules de la paroi végétale → résistance globale (analogie avec le béton armé).
- L'imprégnation de lignine crée une **sclérification** des tissus comme le xylème ou le sclérenchyme, qui entraîne la **mort** de la plupart des cellules à cause des propriétés **hydrophobes** de la lignine.

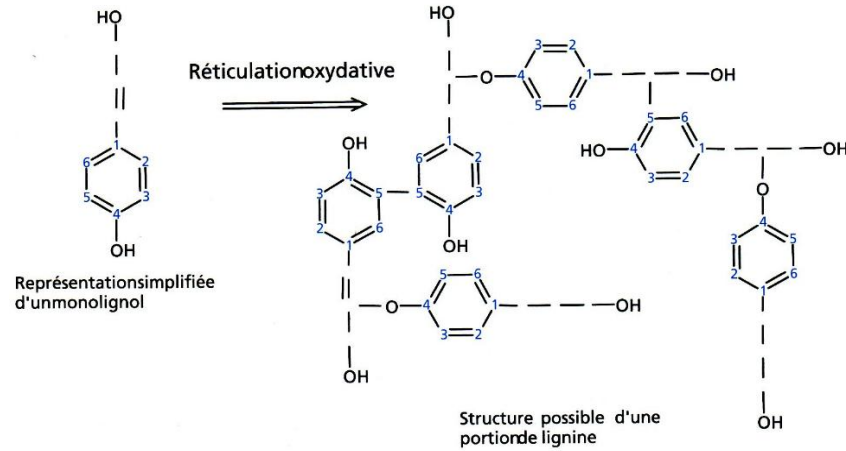
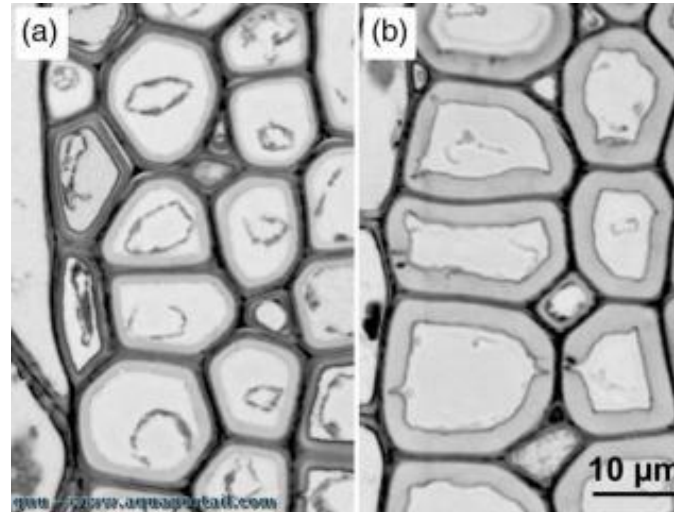
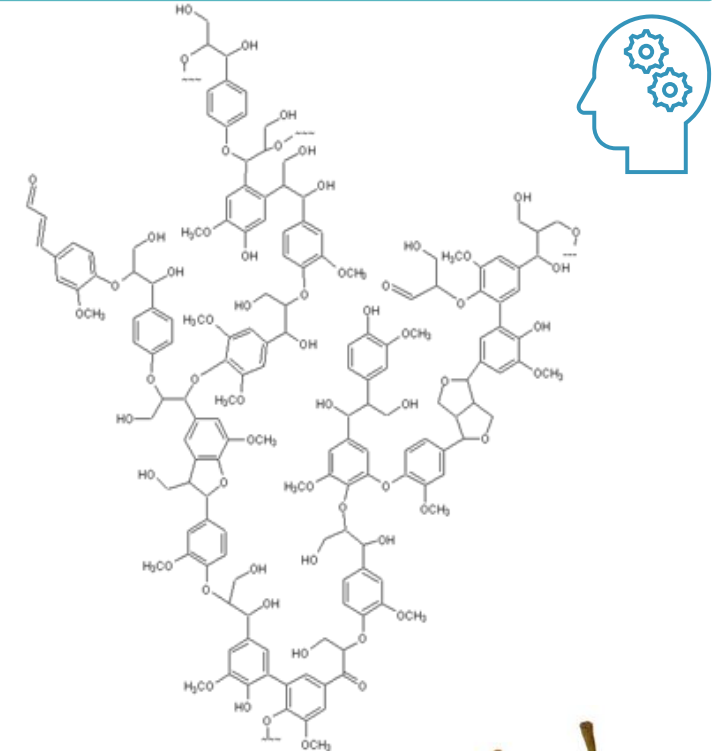


Figure 21 : Imprégnation de lignine dans la paroi végétale : polymérisation de monolignols en un polymère de lignine. Peycry



La lignification dans des couches de parois cellulaires lignifiées (A) donne du bois (B), ici dans un peuplier.

lignine : nf. macromolécule hydrophobe de type polyphénol rigidifiant et imperméabilisant les parois pectocellulosiques de certains tissus végétaux..



La lignification chez la conférence



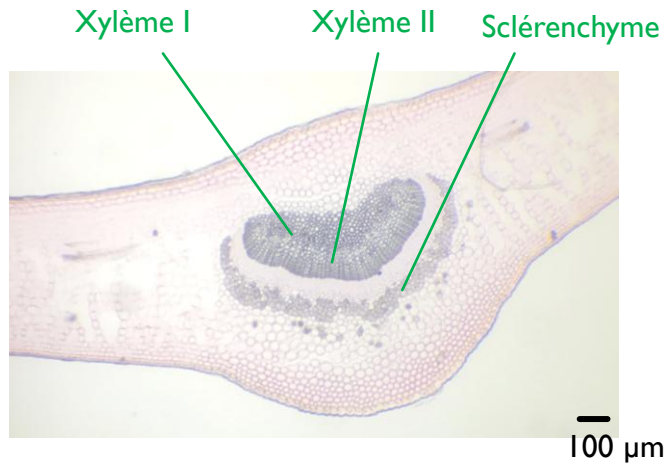
B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

I.2. Rigidification des matrices : des tissus spécialisés dans le soutien

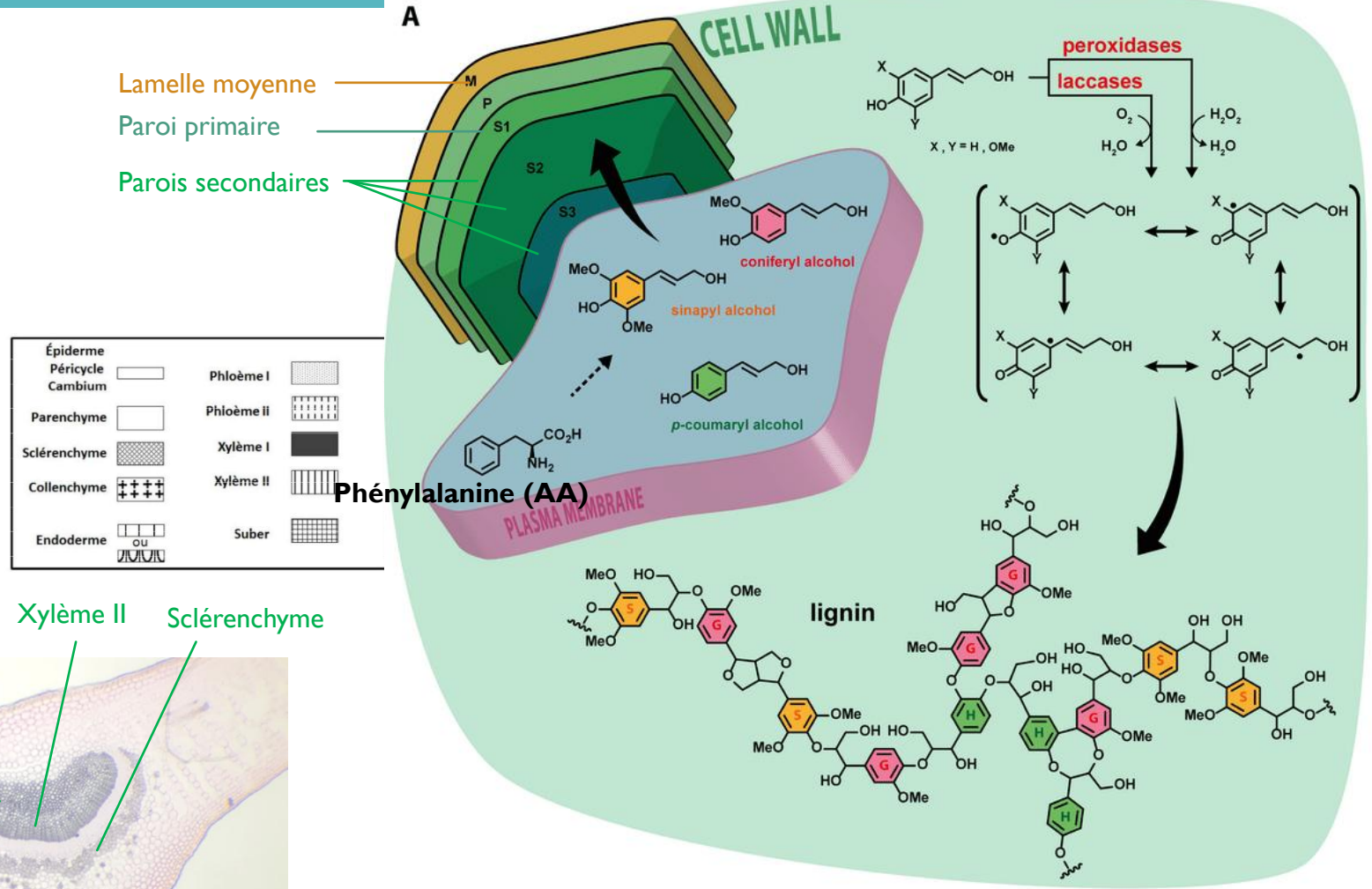
- Lignification par imprégnation de la paroi
- **Lignine** → dérivé de Phénylalanine
- liaisons → résistance globale (analogie avec le béton armé).
- Imprégnation de lignine ⇔ sclérisation des tissus comme le xylème ou le sclérenchyme ⇔ mort de la plupart des cellules à cause des propriétés hydrophobes de la lignine.



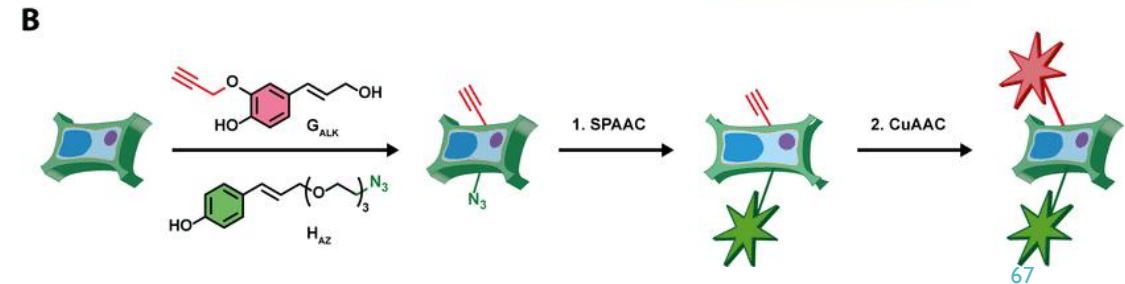
Feuille après digestion de la cellulose dans une litière



CT de limbe de feuille de Houx, double coloration MO x60



Épiderme	Phloème I
Péricycle	Phloème II
Cambium	Xylème I
Parenchyme	Xylème II
Sclérenchyme	Suber
Collenchyme	
Endoderme	



- SV-C La cellule dans son environnement

- SV-C-I- La cellule au sein de l'organisme

PLAN DE COURS

- I. *Les matrices extracellulaires, des constituants fondamentaux des tissus*
 - A. *Structure en réseau des matrices extracellulaires et résistance mécanique des tissus*
 1. *Des molécules fibreuses résistantes à l'extension.*
 2. *Un gel glucidique hydrophile résistant à la compression*
 3. *Des molécules formatrices de réseau*
 - B. **Une diversité de matrices extracellulaires selon les tissus**
 1. **Des variations de composition des matrices**
 2. **Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice**
 - C. *Production des matrices extracellulaires par les cellules.*
 1. *Synthèse des constituants*
 2. *Remodelage de la paroi cellulaire*
 3. *Bilan sur les MEC*

- II. Cohésion et communication intercellulaire au sein des tissus

- A. Cohésion des cellules en un tissu fonctionnel
 1. La paroi végétale assure la cohésion des tissus végétaux
 2. Les jonctions serrées assurent l'étanchéité de l'épithélium et maintiennent la polarité cellulaire.
 3. Les jonctions d'ancrage assurent la cohésion des tissus animaux.
 4. Les jonctions d'ancrage adaptent le fonctionnement et le développement cellulaire à son environnement
- B. Communication intercellulaire au sein d'un tissu
 1. Des structures réalisant une connexion entre cytoplasmes.
 2. Un passage de molécules contrôlé.
 3. Des échanges à rôle trophique et informatif.
- III. Des cellules en interaction avec d'autres organismes
 - A. Interactions entre les racines et les microorganismes de la rhizosphère
 - B. Interactions entre épithélium intestinal et microbiote
 1. Des échanges symbiotiques de matière
 2. Un dialogue moléculaire : des échanges d'information

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice

2.1. Le collagène : agencement variable selon les tissus et la nature du collagène

- **collagène** → nombreuses isoformes (une douzaine environ) en fonction des tissus chez les Vertébrés (par exemple, collagène de type I dans la peau et les tendons, de type II dans le cartilage...).
- différence réside dans les **modes d'assemblage** du tropocollagène (+ étapes de maturation de la chaîne polypeptidique) => différents réseaux de collagène.
- **Lame basale : collagène de type III, IV et VII.** Ne forme pas de longues fibrilles, mais de petites unités organisées en réseau dense.



Micrographie électronique de la partie basale de la cellule épithéliale glandulaire montrant la membrane basale, dont la lamina densa et la lamina lucida (barre = 0,25 micromètre).

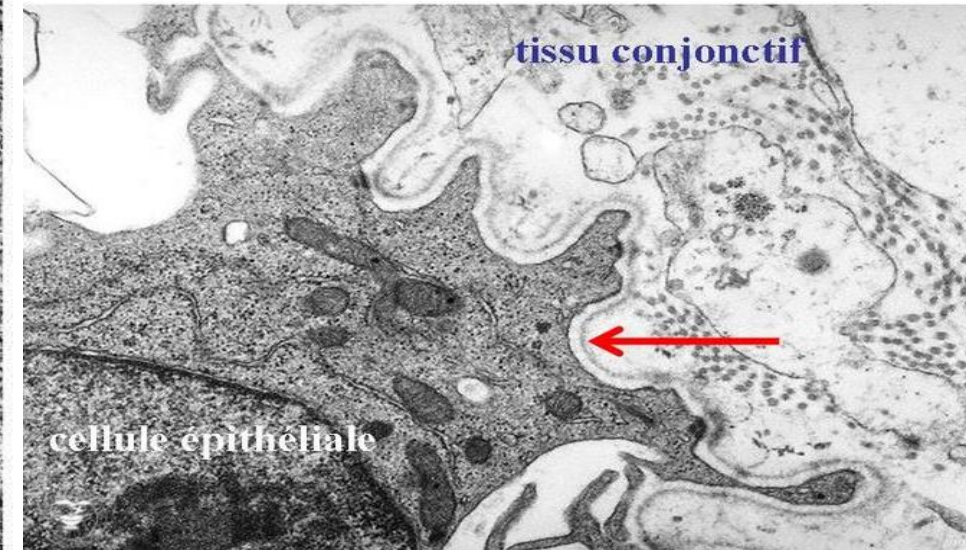


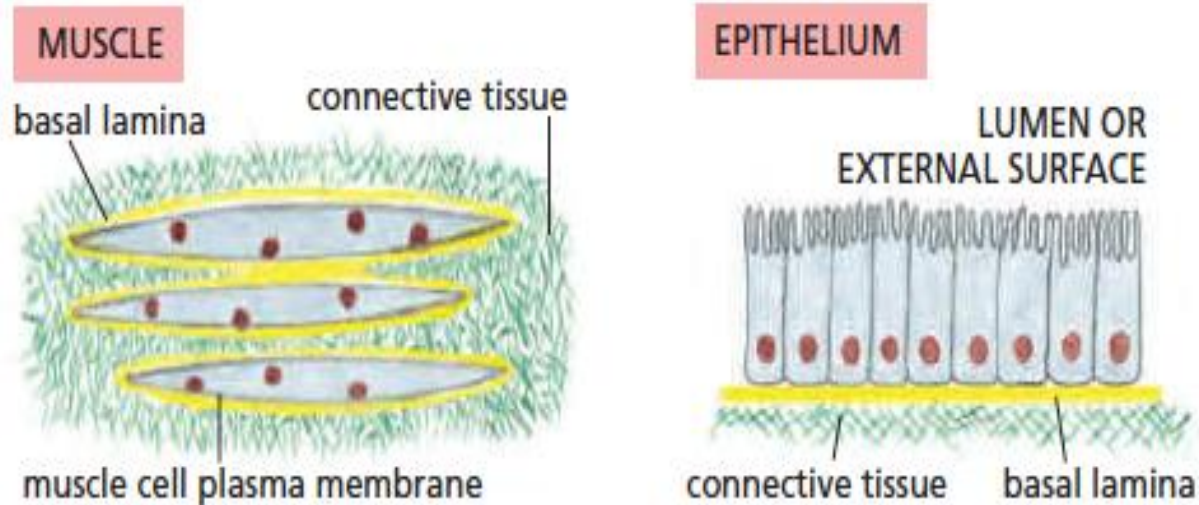
Figure 22 : Électronographie mettant en évidence la membrane basale <http://histoblog.viabloga.com/texts/le-tissu-epithelial--cours-n-3--2008->

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice

2.1. Le collagène : agencement variable selon les tissus et la nature du collagène

- isoformes du collagène et lame (membrane) basale en réseau dense.



Différents modes d'organisation de la membrane basale

KIDNEY GLOMERULUS

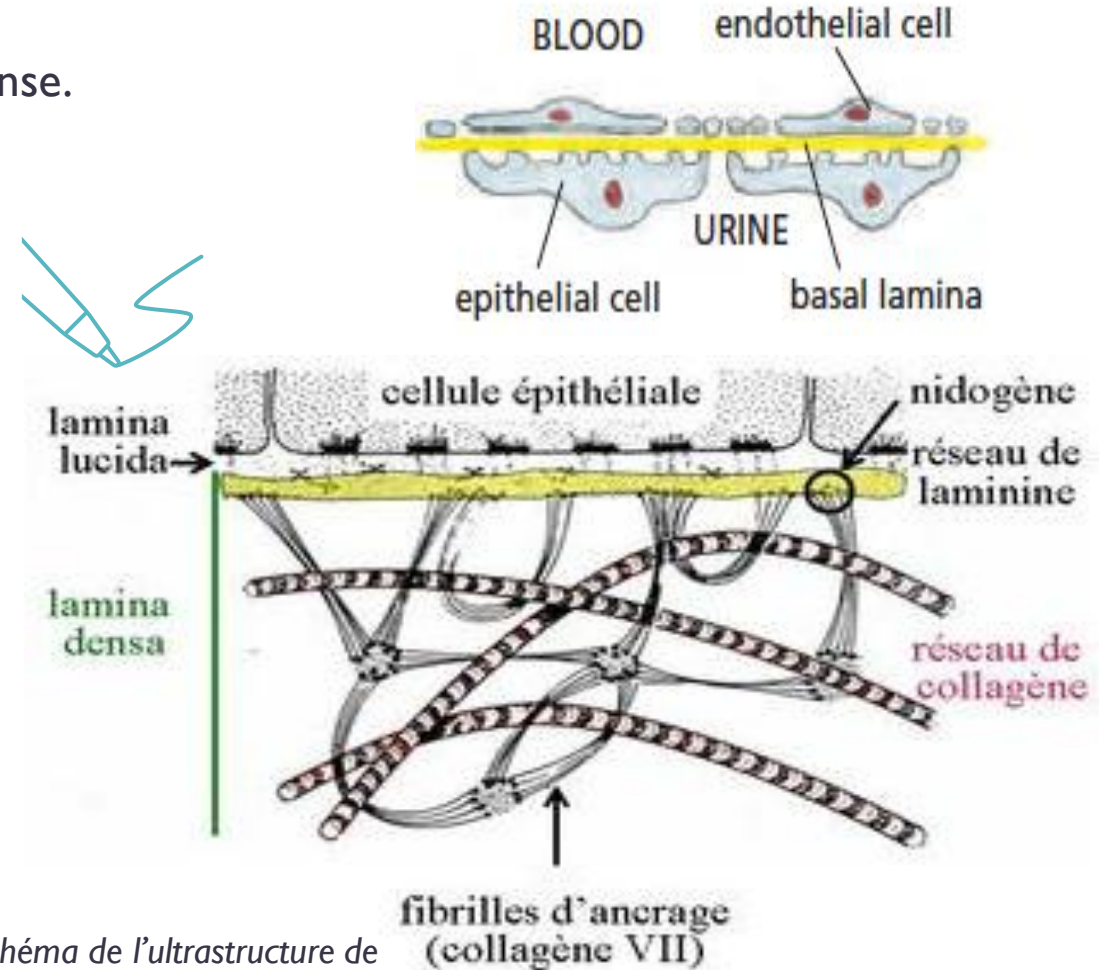


Schéma de l'ultrastructure de la membrane basale

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

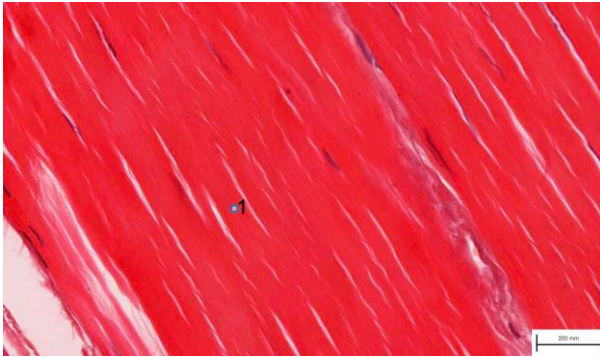
2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice

2.1. Le collagène : agencement variable selon les tissus et la nature du collagène

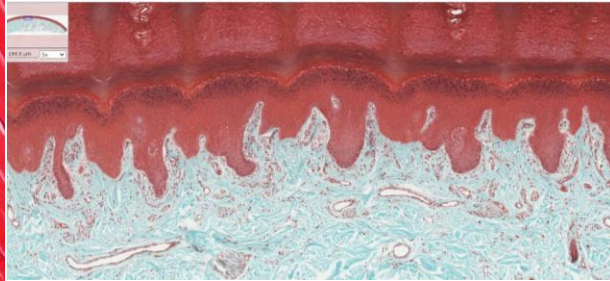
- MEC de tissu conjonctif : **collagène de type I**. Forme de longues fibrilles associées en un réseau lâche.

Autre exemple :

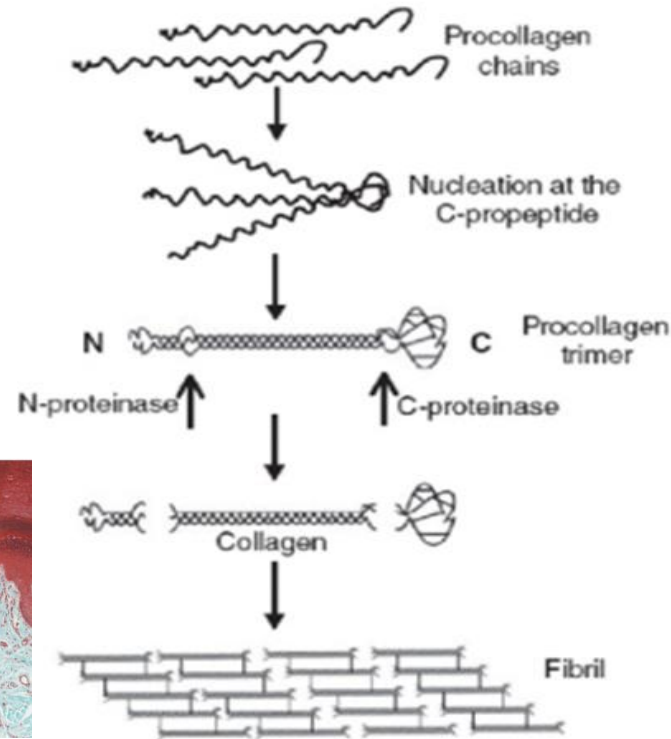
- Tendons : fibres de collagène disposées dans la même orientation => très forte résistance à l'étirement, dans une seule direction
- Derme du tégument : fibres en feuillets empilés => résistance à l'étirement dans les directions du feuillet



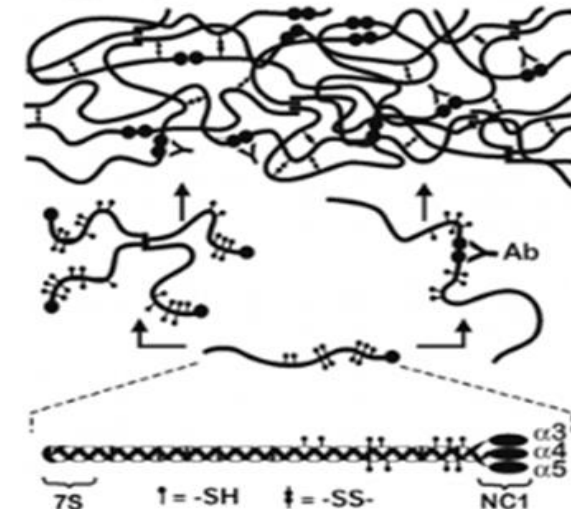
Tendon: conjonctif dense orienté (fibres de collagène dans la même orientation) (coloration hématoxyline éosine)



Derme: conjonctif dense non orienté (collagène « empilé ») (coloration trichrome de Masson)



(a) Collagènes fibrillaires



(b) Collagène IV

Comparaison des collagènes type I (fibrillaire) et type IV (Thèse Strupler 2010)

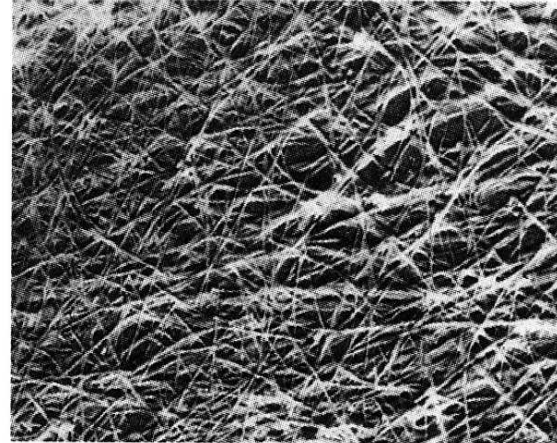
B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice

2.2. La cellulose s'organise différemment

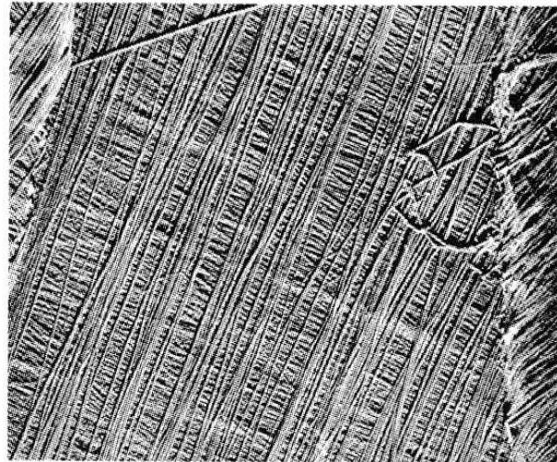
- Rappel: **cellulose** → résistance
- Dans les **parois primaires**, très fines:
 - parenchyme, cellules méristématiques
 - rares microfibrilles (**10 % de cellulose**) **orientées dans toutes les directions de l'espace et grande richesse en pectines** → croissance cellulaire
- Dans les **parois secondaires**, épaisses, cellules différenciées :
 - xylème, sclérenchyme
 - croissance terminée
 - **paroi épaisse, pluristratifiée.**
 - lamelle moyenne + paroi primaire + **paroi secondaire de forte densité en cellulose**
 - Cellulose: orientation des microfibrilles alterne d'une couche à l'autre : **structure en contreplaqué** → **grande résistance à l'étirement** → empêchant toute croissance cellulaire
 - feuillets de cellulose = protection contre les attaques enzymatiques => structure très stable.

Paroi primaire

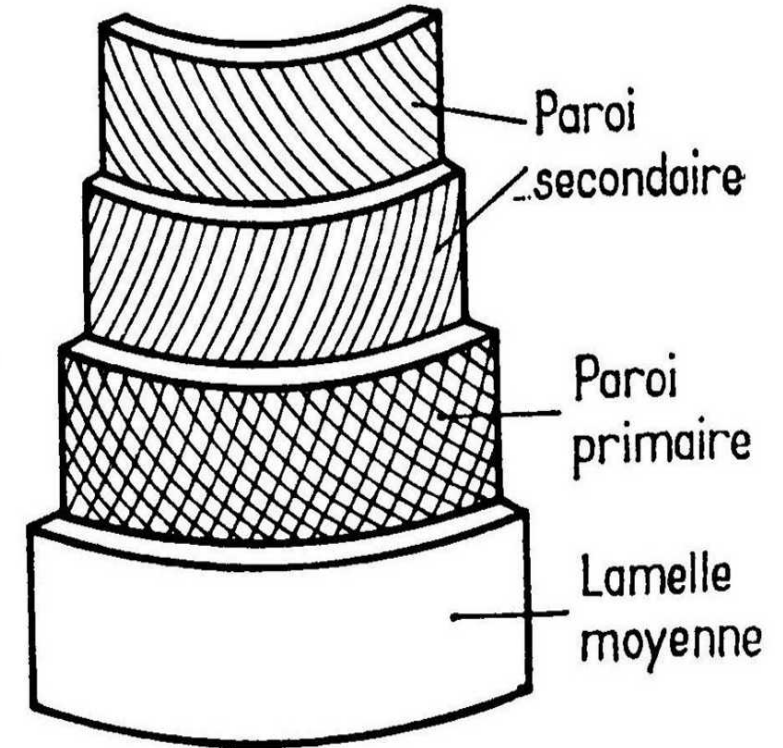


1 μm

Paroi secondaire



0,2 μm

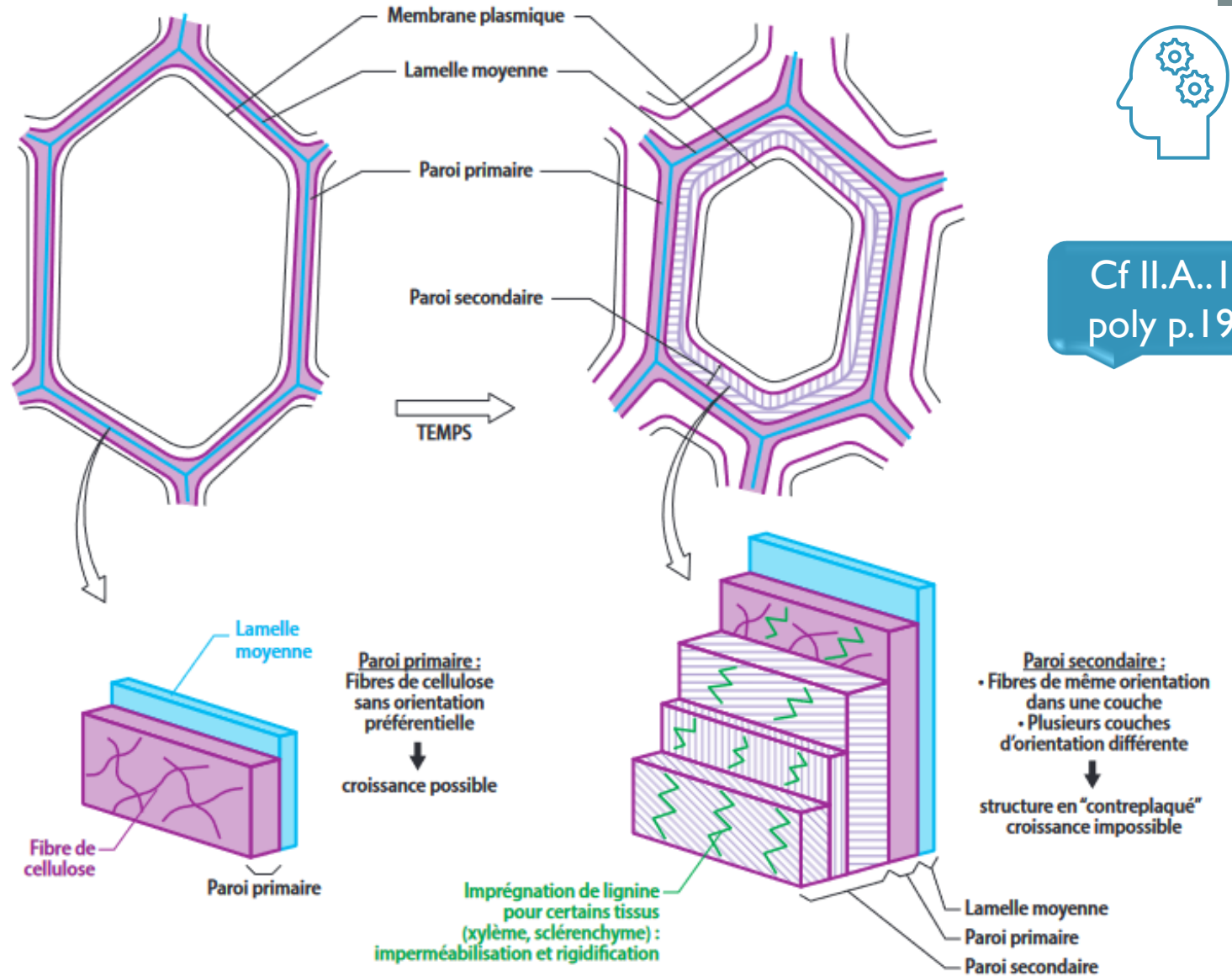
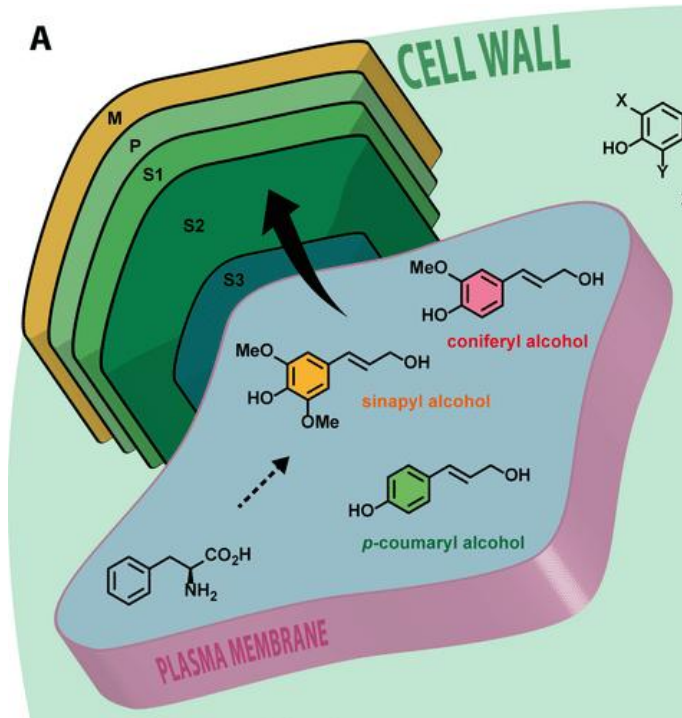


Disposition des fibres de cellulose dans les parois végétales

B. UNE DIVERSITÉ DE MATRICES EXTRACELLULAIRES SELON LES TISSUS

2. Des variations dans l'agencement des fibres dans la matrice

2.2. La cellulose s'organise différemment



► **Figure 5.8.** La lignification et la formation de la paroi secondaire, des processus participant à la rigidité de la matrice extracellulaire végétale.