محاضرات في

فيزيولوجيا الخلوية والجزيئة النباتية

Plant Cellular and Molecular Physiology

د. سي مــزراق أحمد

Intitulé du Master : Biotechnologie et Valorisation des plantes
Semestre : S1
Intitulé de l'UE : UEF11: Fondamentale (Obligatoire)
Intitulé de la matière : UEF111 : Physiologie Cellulaire et Moléculaire Végétale PCMV-MV11
Crédits : 4
Coefficients : 2

محتوى المادة

1. LINTRODUCTION : Présentation de la Cellule Végétale

1.La paroi : Rôle de la paroi dans la cellule végétale

1.1. Les constituants de base

1.1.1. Squelette

1.1.2. Texture et architecture moléculaire

1.1.3. Matrice glycoprotéique micro fibrillaire

1.1.4. Flux exocytaire et assemblage

1.1.5. Extension (plasticité-élasticité)

2. Le noyau et le cycle cellulaire :

2.1. Morphologie et structure

2.2. Le cycle cellulaire

3. Le système membranaire (Structure, fonction et transport)

3.1. Structure et composition des membranes

3.2. les transports membranaires

4. Les réticulums endoplasmiques

5. Appareil de Golgi

6. Le vacuole

7. Le Chloroplaste

7.1. Origine et différenciation des plastes

7.2. Le chloroplaste (Structure, composition biochimique, rôle et intervention dans les transports)

8. La mitochondrie

8.1. Origine de la mitochondrie

8.2. Structure, composition biochimique, rôle et intervention dans les transports

9. Le peroxysome : - structure- fonction - cycle glyoxilique et glycolique

المقدمة: الخلية النباتية

1.الجدار الخلوي : دور الجدار الخلوي في الخلية النباتية

1.المكونات الأساسية

1.1.1.الهيكل اليفي

1.1.2. النسيج والهندسة الجزيئية

1.1.3. مصفوفة البروتين السكري (الجليكوبروتينية)

1.1.4. التدفق الإفرازي والتجميع

1.1.5. التمدد (المرونة - اللدونة)

2. النواة ودورة الخلية:

1.2. الشكل والهيكل

2.2. دورة الخلية

3. النظام الغشائي (الهيكل، الوظيفة والنقل)

1.3. الهيكل وتكوين الأغشية

2.3. النقل عبر الأغشية

4. الشبكات الإندوبلازمية

5. جهاز جولجي

6. الفجوة

7. الكلوروبلاست

1.7. أصل وتمايز البلاستيدات

2.7. الكلوروبلاست (الهيكل، التركيب الكيميائي الحيوي، الدور والتدخل في النقل)

8. الميتوكوندريا

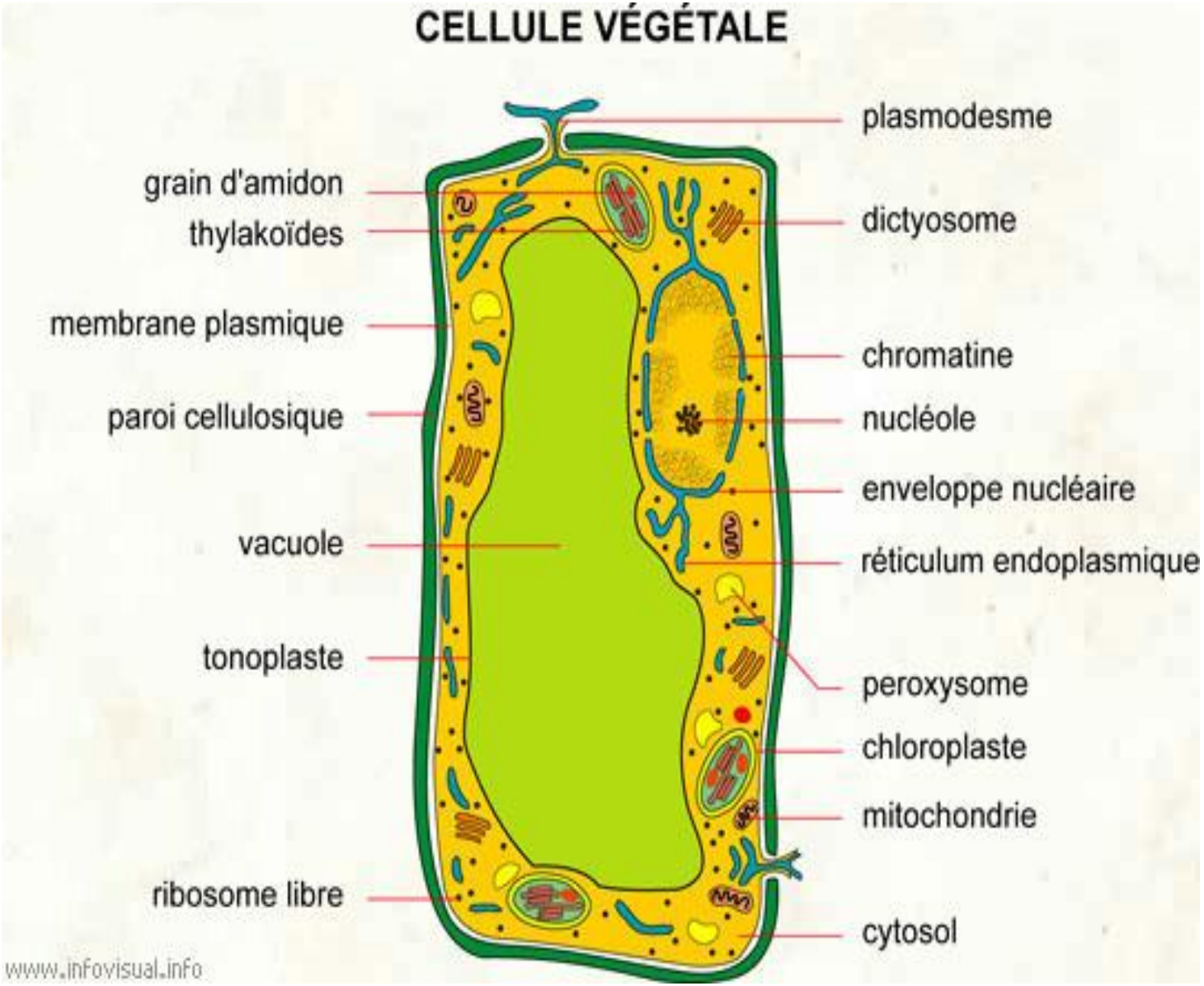
1.8. أصل الميتوكوندريا

2.8. الهيكل، التركيب الكيميائي الحيوي، الدور والتدخل في النقل

9. البيروكسيسوم: – البنية - الوظيفة - دورة الجليوكسيليك والجليكوليك

مقدمة

- ظهرت أولى الكائنات الحية على الأرض قبل حوالي 3.5 مليار سنة، وكانت بكتيريا تفتقر إلى نواة خلوية: أي كائنات بدائية النواة. ومن هذه الكائنات البدائية النواة ظهرت كائنات أكثر تعقيدًا وهي الكائنات حقيقية النواة. والميزة الأساسية لها هي وجود نواة خلوية تحتوي على الحمض النووي (DNA)، الذي يمثل دعم المعلومات الجينية. جميع الحيوانات والنباتات هي كائنات حقيقية النواة.
- تتميز الخلية النباتية بدورها عن الخلية الحيوانية بثلاث خصائص سيتولوجية رئيسية:
- البلاستيدات والأصباغ القابلة للامتصاص (مثل الكلوروفيل، الكاروتينات،).
- الجدار الخلوي.
- الفجوة.


CELLULE VÉGÉTALE
plasmodesme
grain d'amidon
thylakoïdes
dictyosome
membrane plasmique
chromatine
paroi cellulosique
nucléole
enveloppe nucléaire
vacuole
réticulum endoplasmique
tonoplaste
peroxysome
chloroplaste
mitochondrie
ribosome libre
cytosol
www.infovisual.info

1. الجدار الخلوي
LA PAROI

هو هيكل صلب يحيط بالخلايا النباتية وبعض الكائنات الحية الأخرى مثل الفطريات والبكتيريا.

يعتبر الجدار الخلوي جزءاً مهماً في الحفاظ على شكل الخلية وتوفير الحماية والدعم الميكانيكي لها.

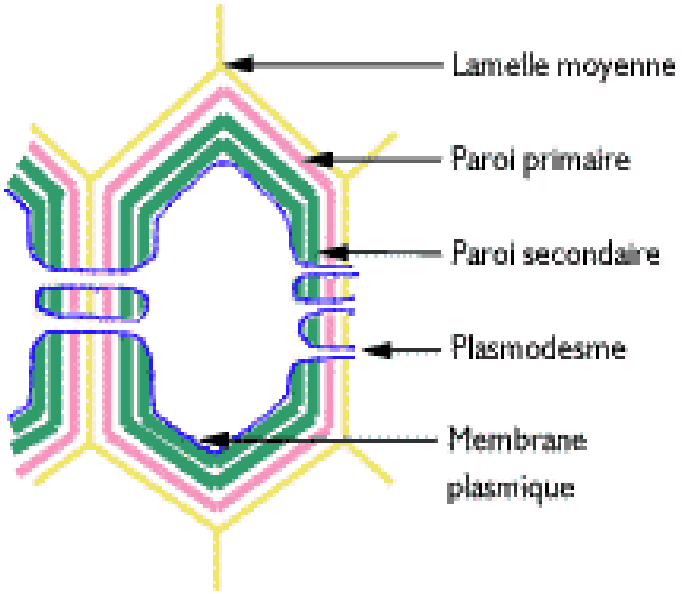
يتكون بشكل أساسي من بوليمرات كربوهيدراتية polymères glucidiques مثل السليلوز والبكتين، بالإضافة إلى بروتينات جدارية، وقد يحتوي أيضًا على مركبات أخرى ذات طبيعة فينولية مثل اللجنين والسوبرين.

يتكون الجدار الخلوي من ثلاثة أجزاء:

1- **الجدار الأولي paroi primaire:** ذو طبيعة بكتوسليلوزية، ولا يوجد الجدار الأولي بمفرده إلا في الخلايا الصغيرة. يكون قابلاً للتمدد، مما يسمح بنمو الخلية (الاستطالة).

2- **الجدار الثانوي paroi secondaire:** يظهر خلال عملية تمايز الخلية. يتكون من السليلوز والهيميسليلوز وغنى بالمركبات الفينولية: مثل اللجنين (لتعزيز الصلابة)، والكيوتين والسوبرين (لجعل الجدار غير منفذ للماء). يُلاحظ هذا التمايز في الخلايا الناقلة للنسغ في نسيج الخشب وفي أنسجة دعم مختلفة (sclérenchyme) أو أنسجة الحماية الفلين (liège).

3- **الصفيحة الوسطى lamelle moyenne:** هي الجزء الخارجي من الجدار وهي مشتركة بين خليتين متجاورتين. تتشكل أولاً وتتكون من مواد بكتينية.

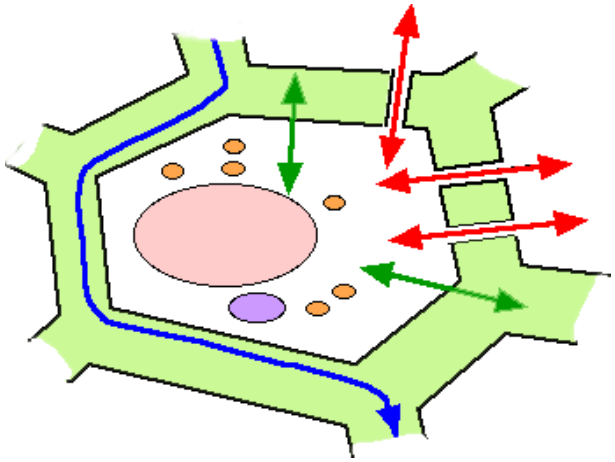


دور الجدار الخلوي:

- يضمن الجدار الخلوي الحفاظ على الخلية وتحديد حجمها وشكلها.
- يساهم في تنظيم العلاقات مع الخلايا الأخرى ومع البيئة الخارجية،
- يشارك بشكل غير مباشر في النقل، والامتصاص، وإفراز مواد متعددة. ولتسهيل التواصل بين الخلايا، بشكل مباشر من سيتوبلازم إلى سيتوبلازم بواسطة ثقوب دقيقة تُعرف بالبلازموديزم Plasmodesmes.
- الجدار الأولي يميز الخلايا الشابة. فهو يسمح بنموها ويؤدي دوراً تنظيمياً واضحاً في سير هذه العملية بفضل خصائصه اللدنة. فهو يحيط بجميع الخلايا، ويشارك بشكل كبير في تشكيلها، ويسمح بالتفاعل مع التغيرات في ظروف البيئية (مثل الإمكانية المائية) بفضل خصائصه المرنة.

الجدار وتبادلات الخلايا:

- الأسهم الحمراء: تبادلات بين الخلايا/الخلايا يسمى المسار السمبلازمي (voie symplasmique).
- الأسهم الزرقاء: النقل بين الخلايا عبر الجدار يسمى المسار الأبولبازمي (voie apoplasmique)
- الأسهم الخضراء: تبادلات بين الخلية والجدار التي تربط بين المسارين السابقين".
- يفصل الجدار الخلوي جميع الخلايا عن بعضها البعض، ويضمن الاتصالات بين الخلايا عبر البلازموديزم الخاص بها (النقل السمبلازمي transports symplasmiques).
- وبفضل خصائصه المحبة للماء، يشكل بيئة للنقل بين الخلايا (النقل الأبوبلازمي transports apoplasmiques).
- كما أنه يعتبر مكاناً لتبادل دائم مع السيتوبلازم على مستوى الغشاء البلازمي.



1. المكونات الأساسية للجدار:

ثلاث مجموعات من الكربوهيدرات تشكل الجدران الخلوية للنباتات:

- السليلوز la cellulose
- الهيميسليلوز les hemicelluloses
- البكتين les pectines
- بالإضافة إلى ذلك، تحتوي الجدران على بروتينات.

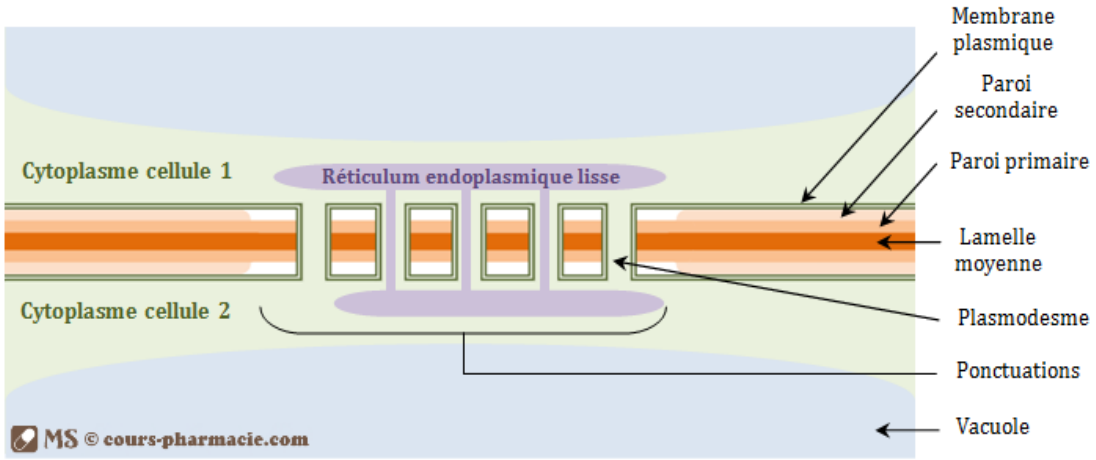


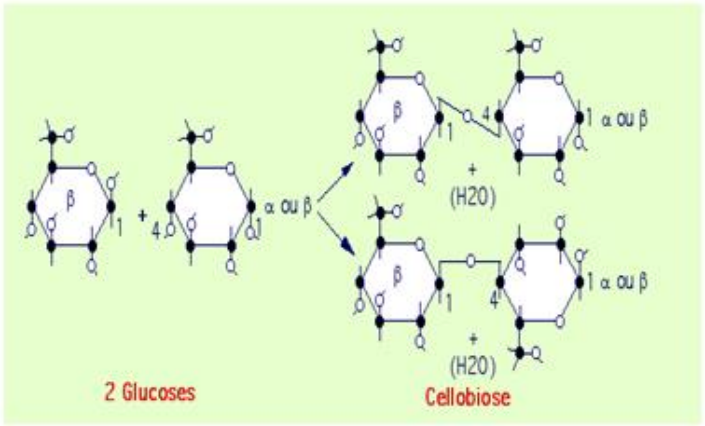
Schéma simplifié de l'organisation structurale de la paroi végétale.

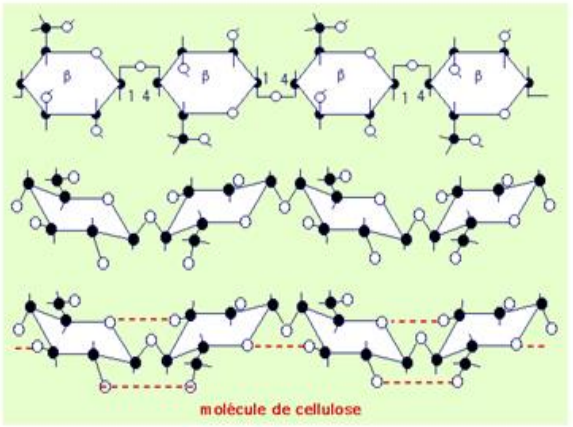
1- السليلوز cellulose:

تشكل سلسلة السليلوز بنية بلورية تُسمى الألياف الدقيقة التي تحتوي على 2000 جزيء ويبلغ قطرها من 20 إلى 30 نانومتر.

توجد روابط داخل السلسلة تثبت الجزيء وروابط بين السلاسل تحافظ على ترتيب الجزيئات بشكل متوازٍ داخل الألياف الدقيقة.

السليلوز جزيء ضخم macromolécule مميز في المملكة النباتية. وهو عبارة عن بوليمر polymère من cellobiose، الذي هو في الواقع ثنائي وحدات من β-D-glucose رابطة (1-4)، بمعنى آخر السليلوز هو polysaccharide homogène متجانس (مكوّن من نوع واحد من الوحدات الأساسية).





تتشكل الجزيئات الكبيرة في صورة سلاسل طويلة مشدودة ترتبط ببعضها البعض عبر روابط هيدروجينية لتكوين حزم من الألياف الدقيقة microfibrilles.

تعتمد خصائص السليلوز على حجم البوليمر، الذي يعتمد بدوره على عمر الخلية. في الواقع، كلما تقدمت الخلية في العمر، زاد حجم البوليمر.

نميز بين الخصائص الفيزيائية والخصائص الكيميائية:

الخصائص الفيزيائية:

- المقاومة الميكانيكية **résistance mécanique** (مقاومة خيط السليلوز مماثلة لمقاومة خيط نحاسي له نفس القطر)
- قابل للتشوه **déformable** مما يمنح الغشاء مرونة وليونة معينة،
- النفاذية **perméabilité** للغاز والماء بفضل البنية الشعرية للألياف الدقيقة.

الخصائص الكيميائية:

- غير قابلة للذوبان تمامًا في معظم المذيبات
- جزيء محب للماء **hygrophile** يمتص الماء دون أن يذوب
- مقاوم **résistance** للهجمات الكيميائية والأنزيمية
- التحلل الحيوي مرتبط بأنزيم **cellulase**

في الجدار الأولي، يتكون السليلوز من حوالي 2000 إلى 25000 جزيء glucoses، بينما في الجدار الثانوي يمكن ملاحظة ما بين 13000 إلى 16000 جزيء

الوظائف السللوز:

1. **دعم هيكلي** :يُعطي السليلوز القوة والدعم للخلية، مما يساعدها على تحمل الضغوط الميكانيكية.
2. **حماية** :يعمل كحاجز ضد الكائنات الحية الدقيقة والمواد الضارة.
3. **تحكم في النفاذية** :يساهم في تحديد النفاذية للجدار الخلوي، مما يؤثر على حركة الماء والمواد الغذائية.

2- الهيميسيللوز les hemicelluloses:

تشكل المصفوفة في الجدار الخلوي يمكن أن تكون متفرعة وأحيانًا تشكل أنسجة تخزينية.

الهيميسليلوزات هي عديدات السكاريد الموجودة في الجدار الخلوي للنباتات، حيث تلعب دورًا أساسيًا في هيكلة وتنظيم هذا الجدار. على عكس السليلوز، فإن الهيميسليلوزات هي بوليمرات أقصر وأقل انتظامًا، وقد تكون متفرعة.

- **الوظائف الرئيسية:**

1. **الارتباط بالسليلوز** :ترتبط بالألياف الدقيقة للسليلوز، مما يثبت هيكل الجدار الخلوي.
2. **مرونة الجدار** :تسهم في مرونة الجدار الخلوي، مما يسمح للخلية بالتمدد أو النمو مع الحفاظ على درجة معينة من الصلابة.
3. **احتفاظ بالماء** :تساعد أيضًا في الاحتفاظ بالماء داخل الجدار الخلوي، وهو أمر مهم للعمليات الحيوية مثل النمو وتنظيم الضغط الأسموزي.

يمكن تحلل الهيميسليلوزات بسهولة أكبر من السليلوز، وعلى الرغم من أن هيكلها أقل انتظامًا، إلا أنها تلعب دورًا رئيسيًا في الحفاظ على السلامة الميكانيكية للنباتات.

3- البكتين les pectines:

البكتين هو عديد السكر غير المتجانس **polysaccharides hétérogènes** وحمضي، حيث تتكون وحداته الأساسية من **galacturonates** التي تشكل سلاسل مرتبطة بزاوية قائمة بواسطة جزيئات **rhamnose**. يمكن بعد ذلك إضافة سلاسل جانبية إلى التركيبة الأساسية. ترتبط السلاسل المتكونة ببعضها البعض لتشكيل شبكة متكاملة.

تتصل سلاسل **galacturonates** المختلفة عبر أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) أو المغنيسيوم (Mg^{2+}) ، مما يشكل هيكلًا على شكل طبقات. الروابط التي تتكون هي روابط ضعيفة يمكن أن تنكسر بسهولة، مما يؤدي إلى مرونة معينة.

وهي جزيئات غروية تتواجد بشكل أساسي في مستوى الصفيحة الوسطى.

يحتوي البكتين على سلاسل مستقيمة وأخرى متشعبة، مما يسمح له بتشكيل بنى شبكية معقدة.

يعتبر البكتين من المكونات الأساسية لجدران خلايا النباتات، حيث يساهم في الربط بين الألياف المختلفة مثل السليلوز والهيميسليلوز.

يعمل البكتين كعامل لاصق بين الخلايا، مما يساهم في الحفاظ على تكامل الجدران الخلوية وصمودها.

يمكن للبكتين أن يذوب في الماء عند وجود الوسط الحمضي، مما يجعله يساعد في تشكيل الهلاميات في الأنسجة النباتية.

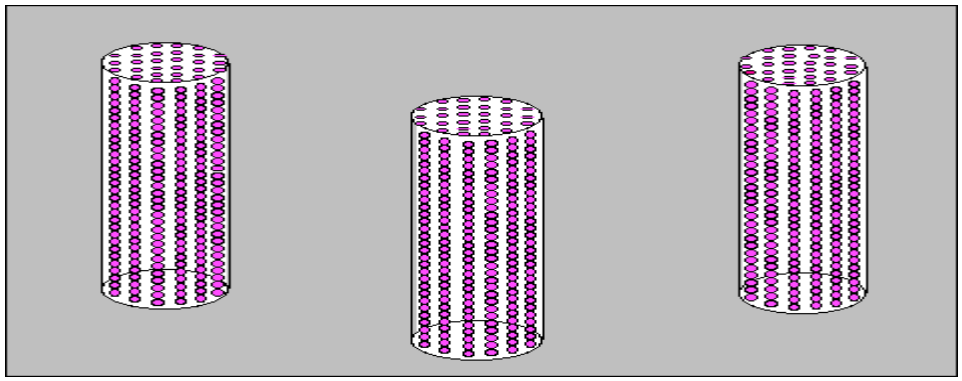
4- البروتينات الجدارية Les protéines pariétales:

- يمكن تمييز ثلاث فئات رئيسية من البروتينات الجدار:
- **البروتينات الغنية بالجليسين** glycérine: تتميز بتركيز عالٍ من الأحماض الأمينية جليسين، مما يمنحها خصائص خاصة تساعد في تشكيل الشبكات في الجدران الخلوية
- **البروتينات الغنية بالبرولين** proline: تحتوي على نسبة مرتفعة من الأحماض الأمينية برولين وتلعب دورًا هامًا في مرونة الجدار
- **البروتينات السكرية glycoprotéines**: مثل extensines حيث تحتوي على جزيئات سكر مرتبطة بالهيكل البروتيني، مما يزيد من خصائصها الهيكلية ودورها في الجدران الخلوية.

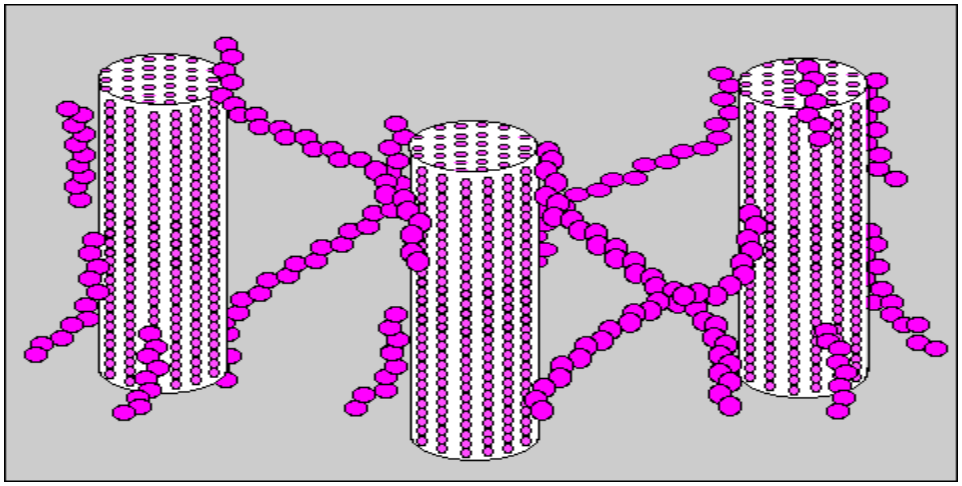
2. الهيكل الجزيئي للجدار الخلوي:

تحتوي الجدران الأولية على نفس المكونات الأساسية عند اغلب النباتات ولكن يمكن أن نجد بعض الاختلافات في النباتات **أحادية الفلقة** (Monocotylédones) و**النباتات ثنائية الفلقة** (Dicotylédones). والتي نحصرها فيما يلي:

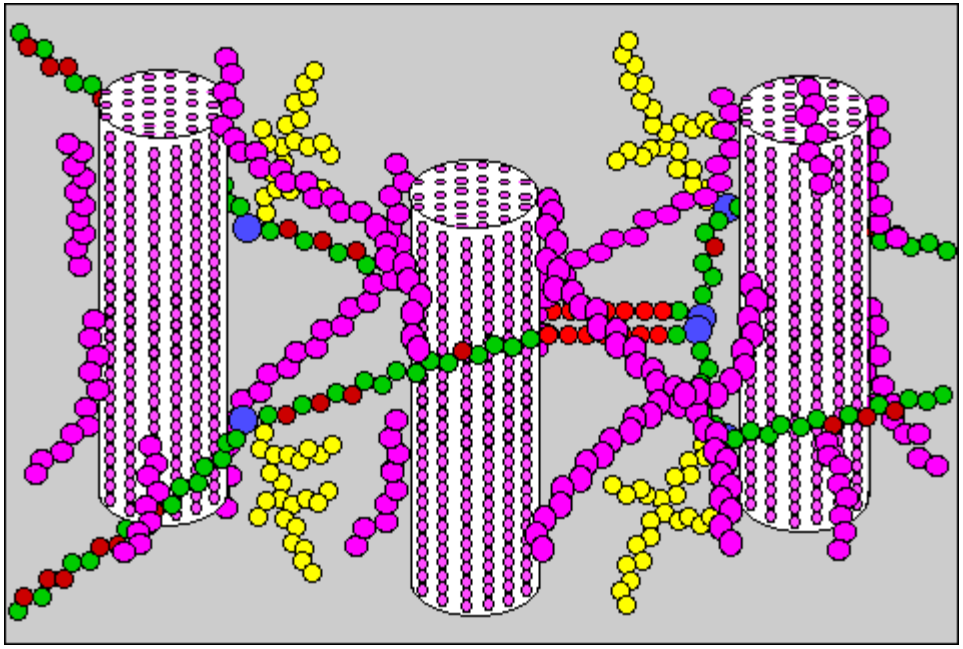
- في النباتات ثنائية الفلقة، تكون الجدران الأولية أكثر سماكة وقد تحتوي على كميات أكبر من السليلوز والبكتين.
- في النباتات أحادية الفلقة، قد تكون الجدران الأولية أقل سماكة ولكن تحتوي على كميات أكبر من الهيميسليلوز.



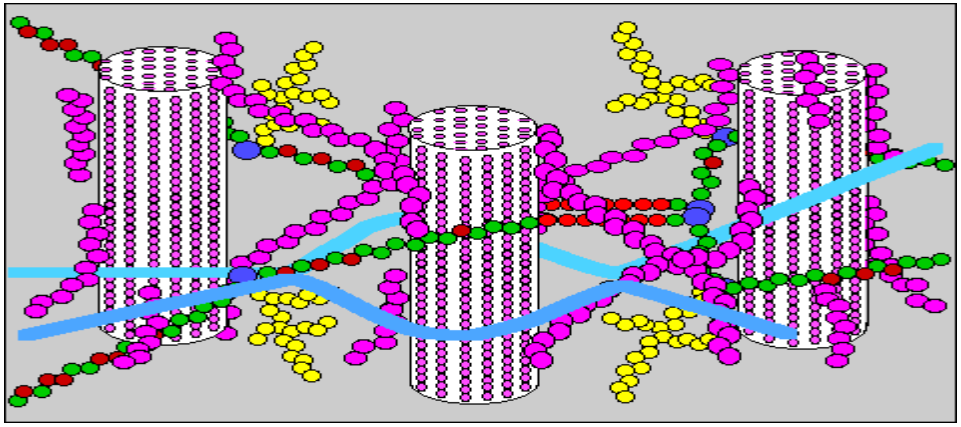
Cellulose seule



Celluloses et hémicelluloses



Cellulose, hémicelluloses et pectines



Cellulose, hémicelluloses, pectines et protéines

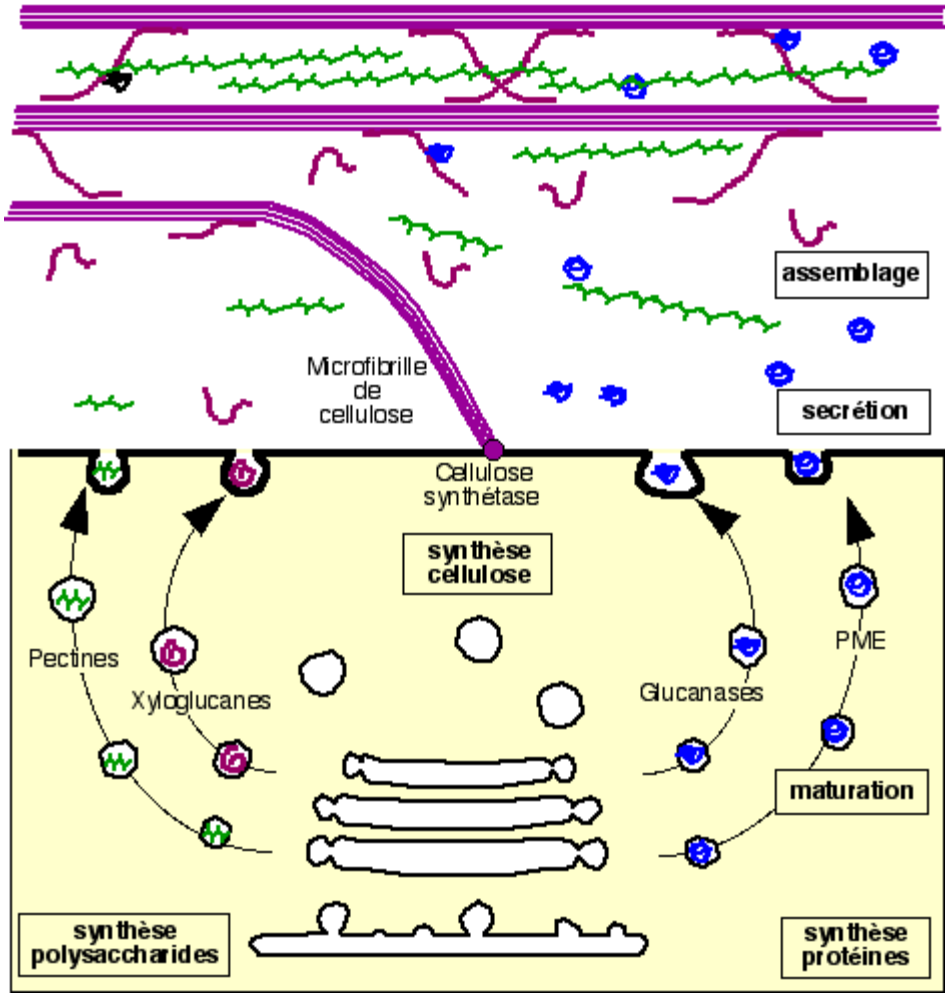
3. تصنيع وتصدير المكونات المختلفة لجدار الخلية:

يتم تصنيع مكونات الجدار الخلوي وتصديرها وفقًا لطريقتين:

السكريات المتعددة polysaccharides مثل البكتينات والهيميسليلوز، يتم إنتاجها في حويصلات جولجي وتفرز في الجدار عن طريق الإخراج الخلوي Exocytose نفس الشيئ يحدث للبروتينات الإنزيمية protéines enzymatique

وعلى العكس من ذلك يتم إنتاج السليلوز مباشرة في الجدار على مستوى الغشاء البلازمي.

الشكل الموالي يوضح مسارات التصنيع والإفراز:



مسار تصنيع وإفراز المكونات المختلفة لجدار الخلية

- يتم تصنيع ألياف السليلوز على مستوى الغشاء البلازمي بواسطة إنزيمات celluloses synthétases. تتجمع هذه الألياف في المنطقة المحيطة بالغشاء (الحيز المحيط بالبلازما) مع الألياف الموجودة سابقاً

- السكريات المتعددة الأخرى مثل البكتينات يتم تصنيعها في حويصلات جولجي ثم تصديرها إلى الحيز المحيط بالبلازما عبر عملية الإخراج الخلوي. exocytose نلاحظ أن تجميع هذه السكريات المتعددة يجب أن يتم في الجدار حيث تساهم في ضمان تماسك وهيكلة ألياف السليلوز. كما نلاحظ أن الحويصلات جولجي يجب أن تحتوي على إنزيمات للتصنيع أو تحويل هذه السكريات المتعددة.

- الإنزيمات الخاصة بالجدار (glucanases et des pectines methyl estérases PME) يتم تصديرها عبر مسار إخراج خلوي مشابه ولكن ليس عن طريق نفس الحويصلات.

4. التمدد (اللدونة والمرونة) Extension (Plasticité-Elasticité):

بفضل صلابته يفرض الجدار الخلوي شكله على الخلية ويحميها من تغيرات الضغط التي قد تؤثر على هذا الشكل، بالنسبة للخلية الفتية فإن التغيرات في الحجم الناجمة عن النمو تتطلب مرونة كبيرة في الجدار لذلك يجب أن يتمتع الجدار بخاصيتين متناقضتين ظاهريًا:

•المرونة L'élasticité (réversible) (القابلة للعكس) والتي تضمن الحفاظ على الشكل خاصة أثناء التغيرات السريعة في الضغط.

•اللدونة La plasticité (irréversible) (غير القابلة للعكس) والتي تسمح خاصة على المدى الطويل بتغيرات كبيرة في الحجم بسبب النمو.

5. مكونات أخرى للجدار:

1- اللجنين (Lignification) La lignine:

اللجنين هو بوليمر معقد مشتق من الفينولات يتخلل الجدار الثانوي لبعض الخلايا النباتية، المعروفة باسم الخلايا الصلبة، التي تشارك في التوصيل والدعم (الأوعية الخشبية والألياف).

توجد هذه الخلايا في بعض الأنسجة النباتية مما يعزز من صلابتها ومقاومتها الميكانيكية للضغط مما يسمح بتكوين الأشجار. اللجنين هي جزيئ كاره للماء، قابل للبلل لكنه غير منفذ للماء.

تترسب في نهاية تكوين الجدران الأولية والثانوية، وهو دائمًا مرتبط بالسليلوز حيث يترسب فوقه في الواقع يشغل ترسب اللجنين كل المساحة التي يتركها السليلوز والبوليمرات الموجودة في المصفوفة.

اللجنين ضروري لتعزيز الهياكل الذي يسمح بنقل الماء مما يجعله مكونًا أساسيًا في الأنسجة الوعائية للنباتات الراقية.

ترتبط اللجننة lignification مع ترسب اللجنين بشكل خاص في الصفيحة الثانوية، ولكن أيضًا في الجدار الأولي والثانوي حيث تقوم بتكوين لحامات غير قابلة للعكس بين الخلايا. الروابط غير قابلة للتحلل المائي بواسطة النبات.

2- الكوتين La cutine

يترسب الكوتين على البشرة l'**épiderme** ليشكل طبقة واقية تسمى الطبقة السطحية **cuticule**. يتوافق الكوتين مع تجميع أحماض **hydroxyacides** مثل حمض palmitique وحمض stéarique وحمض oléique.

يحتوي على بنية شبكية ثلاثية الأبعاد توفر للجزيء عدم قابلية الذوبان في المذيبات الكارهة للماء، على الرغم من أنه يتكون من حمض دهني.

تكون البشرة نفاذية قليلاً للغازات والبخار، وغير منفذة للماء، ولكنها تبقى قابلة للبلل وبالتالي فهو يبطئ عملية النتح للنباتات وبالتالي يحميها من فقدان الماء الزائد وفي ظروف الجفاف تنغلق الشبكة، مما يؤدي إلى عدم نفاذية الكاملة.

3- سوبيرين La subérine

يتخلل السوبيرين جدار الخلية مما يجعلها غير منفذة للماء

يدخل السوبرين في تكوين **suber** الذي يمتلك هيكلًا صفائحيًا مضيفًا طبقة أولية من الدهون الثلاثية triglycéride والكوتين مع طبقة أحادية الجزيئية من الشمع.

يتكون السوبر بشكل ثانوي من الكامبيوم تحت الجلدي Cambium subérophellodermique

السوبرين هو جزيء بوليمري كاره للماء، غير منفذ للغازات وهو عازل حراري جيد جدًا. الخلايا المملوءة بالسوبرين هي خلايا ميتة، وتتبادل المواد عبر مستوى الثقوب

6. المعدنة Minéralisation

تشير المعدنة (أو التمعدن) Minéralisation للجدار الخلوي إلى عملية تراكم وترسيب المعادن داخل الجدار للكائنات الحية. هذه العملية تلعب دوراً مهماً في تقوية الجدار وتوفير الصلابة والدعامة اللازمة.

في النباتات، يمكن أن تتضمن عملية التمعدن ترسيب مركبات مثل (silice SiO_2) أو كربونات الكالسيوم (carbonate de calcium, $CaCO_3$) على جدران الخلايا، مما يساهم في تعزيز مقاومتها ضد العوامل البيئية الضارة مثل الجفاف أو الهجمات الميكروبية. كما تساعد هذه المعادن في تنظيم وظائف الخلية مثل التحكم في نفاذية الماء والمواد المغذية.