

La paroi cellulaire

La paroi cellulaire est l'une des particularités de la cellule végétale. Cette paroi leur permet d'acquérir une certaine rigidité essentielle au maintien d'une forte pression osmotique intracellulaire, elle-même indispensable au port de la plante.

I) Le squelette externe des cellules végétales

1) Les substances permanentes

Ces intervenants sont synthétisés dans le cytoplasme et excrétés à l'extérieur de la cellule, où ils formeront la paroi. Parmi eux on compte la cellulose, les autres sucres non celluloses de la paroi, les hémicelluloses, les pectines et la lignine.

a) La cellulose

La cellulose est une macromolécule caractéristique du règne végétal. Elle correspond à un polymère du **cellobiose** qui n'est autre que le dimère du **β -D-glucose** (liaison 1-4), autrement dit la cellulose est un **polysaccharide homogène** (constitué d'un seul type de monomère). Les macromolécules prennent une forme de longues chaînes tendues qui s'associent les unes avec les autres par des liaisons hydrogènes pour former des paquets de microfibrilles. La polymérisation libère ainsi des molécules d'eau.

La polymérisation enzymatique et l'agrégation par auto-assemblage sont réalisées au niveau d'un complexe enzymatique en forme de **rosette**, présent au niveau de la face externe de la membrane plasmique.

Les propriétés de la cellulose dépendent de la taille du polymère, qui dépend de l'âge de la cellule. En effet plus la cellule vieillit plus le polymère sera important. On distingue les propriétés physiques des propriétés chimiques :

- **Propriétés physiques :**
 - **résistance mécanique** (la résistance d'un fil de cellulose est identique à celle d'un fil de cuivre de même diamètre),
 - **déformable** ce qui confère une certaine souplesse et élasticité à la membrane,
 - **perméabilité** au gaz et à l'eau, grâce à une structure capillaire des microfibrilles.
- **Propriétés chimiques :**
 - totalement **insoluble** dans la plupart des solvants,
 - molécule **hygrophile** qui absorbe de l'eau sans être soluble,
 - **résistance aux attaques chimiques et enzymatique**,
 - biodégradation liée à la **cellulase**.

b) Les hémicelluloses

Les hémicelluloses (ou **cellulosanes**) sont des **polymères hétérogènes** à structure linéaire ramifiée qui n'a pas de caractère colloïdale ; ce sont des substances plutôt **hydrophile** grâce au petit nombre d'oses qui les constituent.

Elles sont facilement dégradées par biodégradation via les hémicellulases et peuvent constituer des formes de réserve. Ce sont des substances matricielles qui servent de liaison entre les microfibrilles de cellulose.

Les hémicelluloses sont de différents types suivant s'ils rentrent dans la constitution des membranes primaire ou secondaire et selon le type de plantes considérées. Au niveau de la membrane primaire on trouve les **xyloglucanes** qui jouent un rôle de cohésion entre la cellulose et les constituants ramifiés de la paroi, et au niveau de la paroi secondaire on trouve les **xylanes** et les **glucomannanes**.

c) Les pectines

Les pectines sont des **polysaccharides hétérogènes** acides, dont les monomères de bases sont les **galacturonates** qui forment des chaînes assemblées en angle droit par des molécules de **rhamnose**. Des chaînes latérales peuvent ensuite être ajoutées à la structure de base.

Les différentes chaînes de galacturonates sont reliées via les ions Ca^{2+} ou Mg^{2+} formant une structure en feuillet.

Ce sont des molécules colloïdales qui ont un rôle de ciment intercellulaire, principalement localisées au niveau de la lamelle moyenne.

2) Substances d'incrustation

Les substances d'incrustations sont des substances autres que cellulosique qui se déposent dans la trame cellulosique, c'est-à-dire entre les microfibrilles de cellulose, en remplaçant les substances matricielles, aussi bien dans la paroi primaire que secondaire.

Les substances d'incrustations peuvent permettre une lignification, une minéralisation, ou bien même une gélification.

a) Lignification par les lignines

La lignification correspond à un dépôt de lignines plus particulièrement dans la **lamelle secondaire**, mais également dans la **paroi primaire** et **secondaire** et effectuent à ce niveau là des soudures irréversibles entre les cellules. En effet les liaisons sont non hydrolysables par la plante elle-même.

Elles se déposent à la fin de la formation des parois primaire et secondaire, et sont toujours associée à la cellulose, se déposant sur celle-ci. En effet le dépôt de lignine occupe tout l'espace laissé libre par la cellulose et les polymères de la matrice. Les lignines sont des molécules **non glucidiques** caractéristiques du bois.

Elles sont présentes au niveau de certains tissus particuliers de la plante et renforcent ainsi leur **rigidité** et leur **résistance mécanique à la compression**, pour permettre la formation d'arbre. Les lignines sont des **molécules hydrophobes** qui restent **mouillable** mais qui sont **impermeable à l'eau**. Les cellules lignifiées sont destinées à mourir.

La lignine est indispensable à la formation des vaisseaux et ainsi au transport de l'eau dans les végétaux supérieurs.

On peut faire une analogie au béton armé, en prenant en compte que la cellulose conférant la souplesse correspond à l'armature en acier et que la lignine conférant la rigidité correspond au béton.

b) Minéralisation

La minéralisation correspond à un dépôt de **silice** (SiO_2) ou alors à un dépôt de **calcaire** (carbonate de calcium, CaCO_3) au niveau de tissus spécifiques de la plante.

- Le dépôt de silice s'appelle la silification et se fait au niveau de certaines plantes uniquement, non comestibles par les herbivores. Les Poacées et les Cypéracées possèdent des épidermes riches en silices ; on prendra pour exemple les poils urticants des orties.
- Le dépôt de calcaire s'effectue au niveau des poils en les rigidifiant.

c) Gélification par des gommés et des mucilages

La gélification correspond à une hypertrophie de la lamelle moyenne, par des gommés ou des mucilages. Les gommés et les mucilages sont des **polysaccharides hétérogènes** dont le poids moléculaire est inférieur à la cellulose. Ce sont des macromolécules **hydrophiles colloïdales**, c'est-à-dire qu'elles peuvent passer en solution dans l'eau sans être ionisées, et ceci en restant en suspension dans la solution. Elles ont la propriété de gonfler au contact de l'eau et de former des masses gélatineuses.

Ils ont un rôle de lien entre les microfibrilles de cellulose, de ciment entre les cellules et de réserve glucidique.

3) Substances d'adcrustation

Les substances d'adcrustation sont des substances déposées à l'extérieur de la membrane. Elle forme une couche sur la paroi secondaire qui peut disparaître. Cette couche est imperméable, empêchant tout échange de gaz et d'eau.

a) La cutine

La cutine se dépose sur l'**épiderme**, formant un film protecteur, appelé la **cuticule**. La cutine correspond à l'assemblage d'**hydroxyacides** tels que l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique. Elle possède une structure en maillage tridimensionnel qui procure à la molécule une insolubilité dans les solvants hydrophobes, et ceci bien qu'elle soit constituée d'acide gras.

La cuticule est légèrement perméable aux gaz et à la vapeur, et imperméable à l'eau, mais tout en restant mouillable. Elle permet ainsi de ralentir la transpiration des végétaux et ainsi de les préserver contre des pertes d'eau excessives. En temps sec le réseau se ressert, entraînant une imperméabilité totale.

b) Les cires

Les cires forment un dépôt sur ou dans la cuticule, on parle alors de **cire supracuticulaire** ou de **cire intracuticulaire**. Ce sont des esters d'acide gras et d'alcool gras à longue chaîne, autrement dit des cérides qui sont les constituants majeurs des cires (abeilles ...).

Leur présence n'est pas constante sur les végétaux. Les cires sont totalement hydrophobes, donc totalement imperméable à l'eau et aux gaz, limitant ainsi la transpiration des plantes. Elles présentent différentes morphologies: bâtonnets, granulation, pellicule ou pruine.

c) La sporopollénine

La sporopollénine est la molécule principale rentrant dans la composition de l'**exine**, parois des spores et des grains de pollen. Elle procure une résistance à la dégradation et n'est dégradée par aucune enzyme connue.

d) La subérine

La subérine imprègne la paroi des cellules, la rendant imperméable. La subérine rentre dans la constitution du **suber** qui présente lui-même une structure lamellaire, additionnant une couche amorce de triglycéride et de cutine, avec une couche monomoléculaire de cires. Le suber se forme secondairement à partir du cambium subérophellodermique.

La subérine est une molécule polymérique hydrophobe, imperméable aux gaz et étant un très bon isolant thermique. Les cellules imprégnées de subérine sont des cellules mortes, échanges au niveau de perforations.

II) Structure et élaboration de la paroi végétale**1) Structure de la paroi végétale**

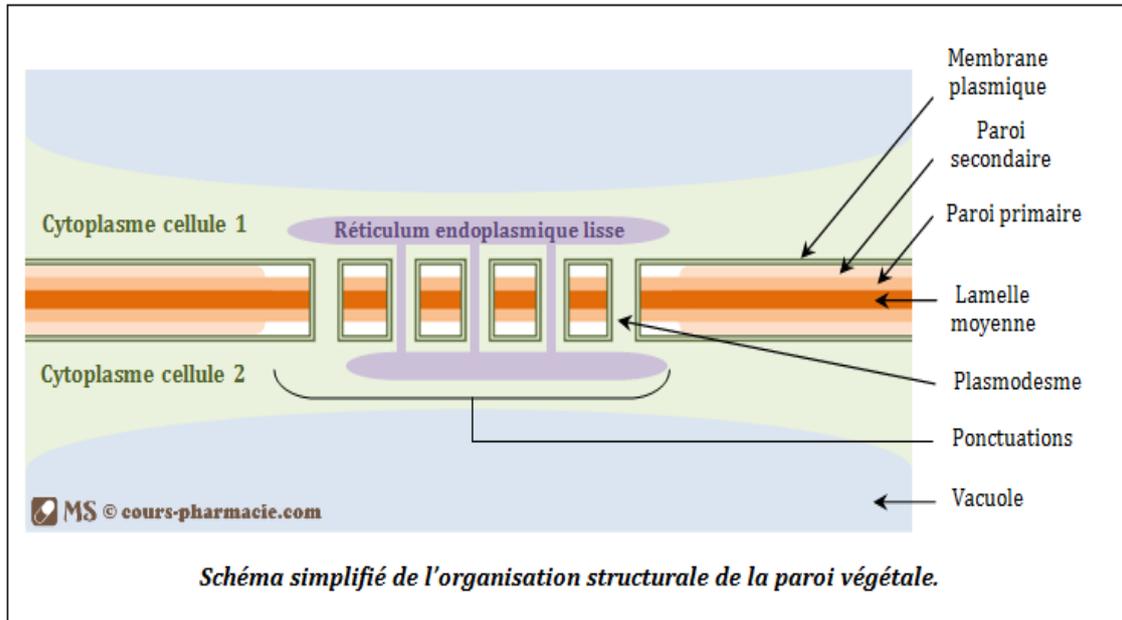
Comme dans un chapitre précédent, la cellule végétale est bordée par une paroi et non seulement par une membrane cytoplasmique. On observe ainsi la formation d'un squelette externe se formant autour de la double couche phospholipidique. De l'intérieur vers l'extérieur on voit ainsi la **paroi secondaire** directement en contact avec la membrane plasmique, la **paroi primaire**, puis la **lamelle moyenne**.

Cette paroi possède des **punctuations** correspondant à des plages de **plasmodesmes**, elles mêmes correspondant à de petits orifices permettant la communication entre les cellules.

- La **lamelle moyenne** est une membrane primitive pectique mitoyenne entre deux cellules, qui jouera le rôle de base sur laquelle ira se déposer la paroi primaire puis secondaire. Elle sera perforée au niveau des punctuations par les plasmodesmes qui permettront les échanges intercellulaire.
- La **paroi primaire** est située entre la lamelle moyenne et la paroi secondaire. Elle est constituée de 25 à 30% de cellulose, 30 à 65 % d'hémicellulose, 5 à 35

% de pectines et 0,5 à 5 % de protéines. Elle est absente au niveau des plasmodesmes.

- La **paroi secondaire** est située entre la membrane cytoplasmique et la paroi primaire. Elle est de même composition que la paroi primaire, mais avec des proportions différentes : réseau moins hydraté, moins de substance matricielle et plus de cellulose (structure solide et non extensible). Elle est absente au niveau des ponctuations.



2) Étapes d'élaboration de la paroi végétale

La paroi végétale est constituée d'une lamelle et de deux parois qui se forment en 3 étapes l'une après l'autre. Il y a tout d'abord formation de la lamelle moyenne, puis de la paroi primaire qui se dépose sur la lamelle moyenne, et finalement de la paroi secondaire qui se dépose sur la paroi primaire.

a) Formation de la lamelle moyenne :

A la fin de la division cellulaire (en télophase), les microtubules s'assemblent pour former le **phragmoplaste**. Par la suite se forme une **plaque cellulaire** au plan équatoriale de la cellule mère, par fusion des vésicules provenant de l'appareil de Golgi. Cette plaque apparaît tout d'abord comme un disque suspendu à équidistance des deux noyaux, puis au fur et à mesure que les vésicules du Golgi fusionneront, elle atteindra les parois. Une fois les parois atteintes, la plaque clôturera la scission des cellules en division, séparant ainsi un cytoplasme d'un autre.

Il y aura par la suite fusion d'élément du réticulum endoplasmique lisse avec la plaque cellulaire, permettant le développement de la plaque, ainsi que la formation des plasmodesmes. En effet les tubules du réticulum endoplasmique lisse passeront à travers les plasmodesmes permettant un lien permanent entre les deux cellules jointives.

A partir de cette plaque, on arrivera finalement à la formation de la **lamelle moyenne**, par association avec de la pectine et d'autre composé. La lamelle moyenne ne sera donc

pas complètement jointive, possédant des plasmodesmes qui permettront la communication entre les cellules.

b) Formation de la paroi primaire :

A partir de cette lamelle moyenne, membrane primitive pectique, s'effectuera un dépôt de cellulose, permettant la formation de la paroi primaire entre la membrane plasmique et la lamelle moyenne.

Au niveau des plasmodesmes, il n'y aura pas de dépôt de cellulose. Le réseau de fibrilles de cellulose est encore lâche, procurant à la paroi une souplesse, une flexibilité, ainsi qu'une extensibilité.

a) Formation de la paroi secondaire :

La paroi secondaire se forme également par dépôt, cette fois-ci sur la paroi primaire, sauf au niveau des ponctuations