

Cours synthétiques en ligne BCD

| | |
|--|----|
| Introduction au cytosquelette..... | 2 |
| Introduction à la matrice extracellulaire | 9 |
| Introduction à la paroi des cellules végétales | 13 |
| Interactions cellulaires | 16 |
| Dynamique et comportements cellulaires..... | 27 |
| Contrôle et régulation du cycle cellulaire | 36 |
| Grandes étapes du développement animal et végétal..... | 44 |
| FICHE METHODOLOGIQUE : notion de lignage et d'identité cellulaire | 51 |
| Comportements cellulaires et construction du végétal | 53 |
| Inductions embryonnaires | 59 |
| FICHE METHODOLOGIQUE : Gain et perte de fonction génique dans l'embryon..... | 70 |
| Migration cellulaire dans l'organisme animal en développement : exemple des cellules des crêtes neurales..... | 76 |
| Cellules souches et différenciation cellulaire chez les animaux et les végétaux..... | 84 |

Introduction au cytosquelette

Source : http://ressources.unisciel.fr/biocell/chap4/co/module_Chap4_1.html

Pour une vidéo introductive au cytosquelette, voir :
<https://www.youtube.com/watch?v=LQmFfKGc5yw>

Le cytosquelette d'une cellule est l'ensemble organisé des polymères biologiques qui lui confèrent l'essentiel de ses propriétés architecturales et mécaniques. Le cytosquelette d'une cellule définit sa forme et les divers mouvements qu'elle peut effectuer. C'est un réseau complexe de filaments et tubules protéiques qui s'étend dans tout le cytoplasme et dont l'organisation varie en fonction des différents types cellulaires. Tous les éléments du cytosquelette sont des structures protéiques allongées résultant de processus de polymérisation.

On distingue trois grandes structures protéiques :

- **Filaments d'actine (microfilaments)**
- **Filaments intermédiaires**
- **Microtubules**

Le cytosquelette cellulaire est une structure très dynamique qui se réorganise continuellement. Un équilibre instable s'établit entre polymérisation et dépolymérisation. Des variations locales subcellulaires de concentration et d'activités d'éléments du cytosquelette régulent différents événements cellulaires (migration, division, déformation, croissance, mort cellulaire).

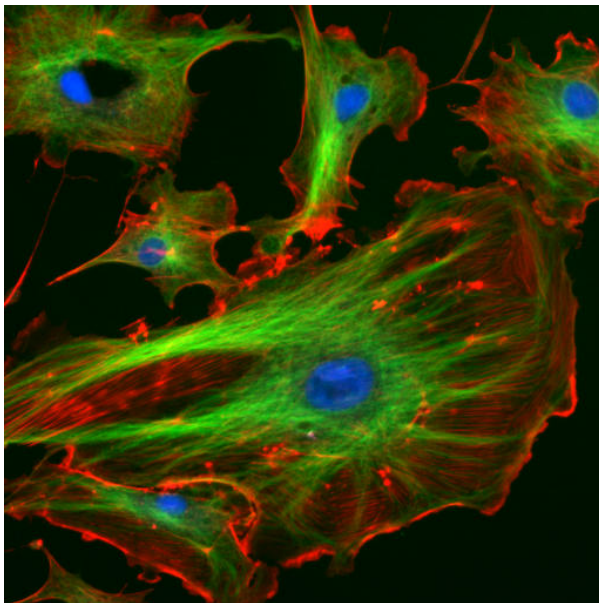


Figure 1 : Cellules endothéliales d'artère pulmonaire bovines vues au microscope optique. En bleu, noyaux marqués au DAPI. En vert, microtubules marqués par un anticorps. En rouge, actine marquée à la phalloïdine.
<http://rsb.info.nih.gov/ij/images/>

Le cytosquelette d'actine

Pour une vidéo introductive au cytosquelette d'actine, voir :

<https://www.youtube.com/watch?v=G2s4ApgTHaU>

Généralités

- L'actine est la protéine la plus abondante de nombreuses cellules animales (5% au moins de la masse protéique totale des cellules non musculaires). Les filaments d'actine forment des structures dynamiques rendues plus au moins stables par des protéines associées.
- On distingue trois classes de molécules d'actine : l'actine α que l'on trouve dans les cellules musculaires (aussi bien striées que lisses) ; l'actine β et l'actine γ présentes dans les cellules non musculaires.
- Les différents types d'actine sont très semblables (90% d'identité dans leur séquence d'acides aminés).

Les filaments d'actine

- Un microfilament d'actine (polymère d'actine nommé actine F pour « filamenteuse ») est une hélice de 5-9 nm de diamètre formant une fibre flexible, polarisée (pôles + et -), en perpétuel remodelage (Figure 2).
- Le monomère de l'actine F (nommé actine G pour « globulaire ») est polaire et contient un ATP en son cœur. La polymérisation peut être stimulée ou facilitée *in vivo* par des complexes protéiques. *In vitro* elle a lieu spontanément si la force ionique est suffisamment élevée.
- La croissance d'un filament d'actine est plus rapide (1000 actines G/sec) au pôle (+) qu'au pôle (-).
- Suite à l'incorporation d'une molécule d'actine G dans le filament, une hydrolyse de son ATP a lieu immédiatement. La dissociation du P_i est plus lente. Elle peut prendre plusieurs minutes. Après dissociation du phosphate, les sous-unités sont liées à de l'ADP et leur affinité pour la structure filamenteuse décroît fortement. Elles ont donc tendance à se détacher aux extrémités des filaments (Figure 2).

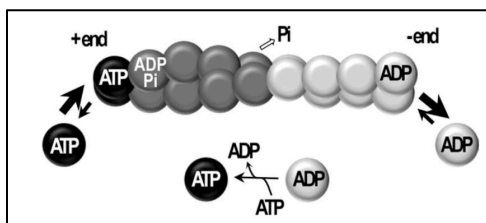
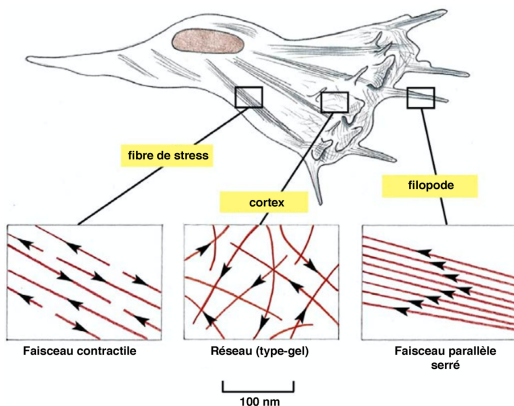


Figure 2: Représentation schématique de l'équilibre entre allongement et raccourcissement des extrémités du filament. À l'état stable et en présence d'ATP en solution, le raccourcissement de l'extrémité (-) (dite « pointue ») est équilibré par l'allongement de l'extrémité (+) (dite « barbée ») du

filament. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3670783/>

Organisation en faisceaux et réseaux des filaments d'actine



Les filaments peuvent s'associer pour former des faisceaux ou des réseaux. Les faisceaux peuvent être parallèles ou anti-parallèles, contractiles ou non (Figures 3 et 4). Le cytosquelette d'actine se forme grâce à des molécules de liaison qui jouent un rôle important dans la polymérisation, la stabilisation et le couplage des filaments. Certaines de ces protéines permettent aussi d'engendrer le mouvement.

Figure 3 : Organisation des filaments d'actine.

- **Les faisceaux parallèles**
 - Filaments orientés avec la même polarité.
 - Liaison à la fimbrine (protéine intercalaire).
 - Présents notamment dans les microvillosités.
- **L'organisation en réseau**
 - Arrangement lâche, nombreuses interconnexions orthogonales.
 - Liaison avec la filamine.
 - Présents dans les lamellipodes et le réseau sous-membranaire (actine corticale).
- **Les faisceaux contractiles**
 - Filaments arrangés avec des polarités opposées.
 - Liaison avec des dimères d'actinine α .
 - Un complexe de plusieurs molécules de myosine II est inséré entre les filaments.
 - La contraction des faisceaux repose sur le glissement des fibres antiparallèles les unes contre les autres sous l'action de la myosine II qui joue le rôle de moteur moléculaire.

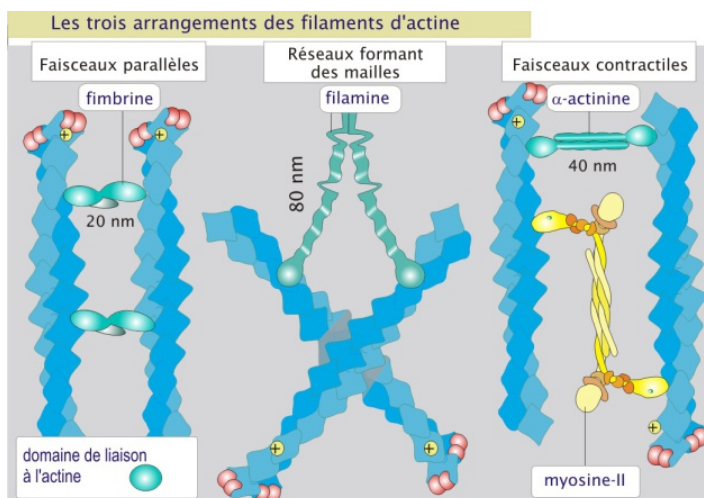


Figure 4 : Les trois types de construction de l'actine filamenteuse.

Régulation de l'assemblage et du désassemblage des filaments d'actine

Les fibres/faisceaux et réseaux d'actine sont en perpétuel remodelage. L'assemblage et le désassemblage des monomères d'actine sont régulés par diverses protéines qui modulent :

- la forme de l'actine polymérisée (linéaire ou branchée)
 - Exemple : L'Actin Related Protein Arp2/3, structurellement proche de l'actine, sert de point de départ (« point de nucléation ») à la polymérisation d'une fibre branchée.
- la vitesse de l'élongation (inhibition ou accélération)
 - Exemple : La profiline accélère la polymérisation.
- la stabilité des filaments
 - Exemple : La cofiline favorise le désassemblage des filaments.

On peut donc distinguer deux niveaux d'organisation du cytosquelette d'actine :

- Association avec des protéines de liaison qui structurent le cytosquelette à l'échelle subcellulaire.
- Association avec des protéines qui modifient/régulent la dynamique de polymérisation/dépolymérisation de l'actine.

Les filaments intermédiaires

Les filaments intermédiaires sont des polymères protéiques, non polarisés, résistants et durables de 10 nm de diamètre, présents dans le cytoplasme de la plupart des cellules. Ils sont appelés intermédiaires car leur diamètre apparent est compris entre celui des filaments d'actine (microfilaments) et celui des microtubules. Il se polymérisent à partir de protéines fibreuses et jouent essentiellement un rôle mécanique (résistance à la déformation). Certains sont ubiquitaires comme les lamines nucléaires qui doublent la face interne du noyau cellulaire. D'autres sont spécifiques de certaines cellules, comme la kératine, typique des cellules épidermiques. Leur nature est très variable selon les cellules.

Les microtubules

Pour une vidéo introductive aux microtubules, voir :

<https://www.youtube.com/watch?v=86ts4RjitYE>

Généralités

- Les microtubules sont des macromolécules abondantes dans les cellules eucaryotes et peuvent représenter une part importante des protéines totales (10-20% des protéines totales dans les neurones).
- Un microtubule est un polymère cylindrique creux et rigide de 25 nm de diamètre formant une fibre flexible en perpétuel remodelage.
- Un microtubule est composé de 13 protofilaments, chacun résultant de la polymérisation de dimères de tubuline (protéine globulaire).
- Chaque dimère est composé d'une molécule de tubuline α et d'une molécule de tubuline β associées de façon non covalente.
- Il existe 6 formes de tubuline α et 6 formes de tubuline β . Il existe également des tubulines γ , δ , ϵ que l'on ne trouve pas dans les microtubules mais dans les structures centriolaires.

Organisation des microtubules au sein des cellules

- Le microtubule est une structure polarisée dont une extrémité est capable de croissance rapide (extrémité +), tandis que l'autre extrémité se trouve le plus souvent enchâssée dans le centrosome (extrémité -).
- Le centrosome ou « centre organisateur des microtubules », est un complexe protéique organisé autour deux structures appelées centrioles. Il se trouve généralement près du noyau et son nom lui vient du fait qu'il représente approximativement le centre cellulaire.
- Les microtubules irradient dans tout le cytoplasme à partir du centrosome.

Assemblage des microtubules et instabilité dynamique

- Tubuline α et tubuline β lient le GTP ; le GTP de la forme α est non échangeable car enfoui à l'intérieur du tube tandis que le GTP de la forme β est exposé en surface et donc échangeable.
- À partir d'un centrosome, des dimères de tubuline α et β chargés en GTP sont ajoutés au pôle + (α du côté du pôle moins et β du côté du pôle plus), permettant l'élaboration des protofilaments. Les protofilaments s'assemblent latéralement entre eux pour former le microtubule, cylindre creux et rigide (Figure 5).
- Les microtubules se dépolymérisent et se repolymérisent continuellement à vitesse variable (de l'ordre de quelques secondes ou quelques minutes). On parle d'instabilité dynamique.

Selon le modèle le plus couramment décrit dans la littérature, il existerait un délai entre la polymérisation et l'hydrolyse du GTP de la tubuline β , générant une « coiffe-GTP » à l'extrémité des microtubules en croissance. La perte aléatoire de cette « coiffe-GTP »

entraînerait la dépolymérisation rapide du microtubule, et sa reformation permettrait l'évènement inverse.

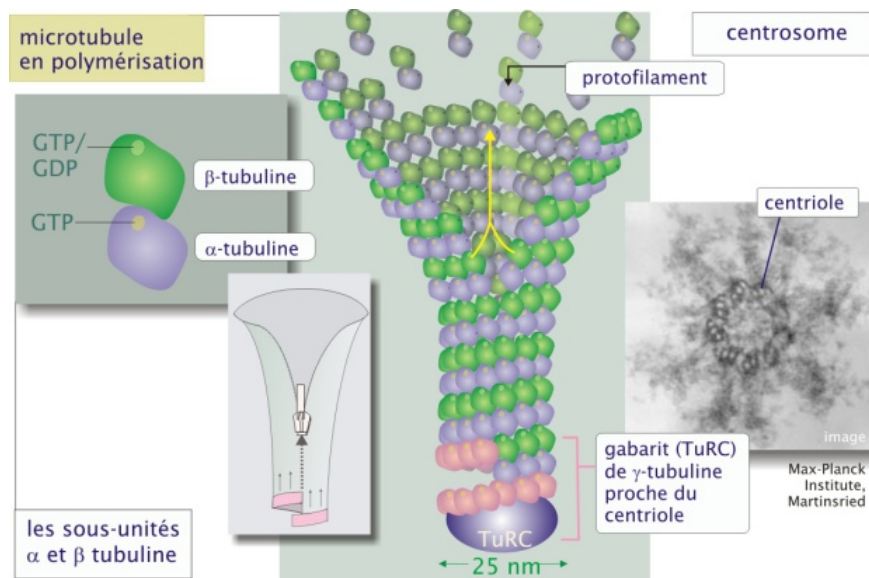


Figure 5 : Assemblage des microtubules. Le pôle (-) est enchâssé dans le centriole (bas de l'image). Le pôle (+) est l'extrémité en croissance (haut de l'image). À la périphérie du centrosome on trouve la tubuline γ faisant partie d'un complexe (Tubulin Ring Complex ou TuRC) dont la conformation sert de gabarit au microtubule en construction.

Régulation de l'assemblage et du désassemblage des microtubules

In vitro, lorsque les dimères de tubuline se détachent, ils le font en masse, phénomène qualifié de « catastrophe » (Figure 6). Dans la cellule, de nombreuses protéines régulent cette instabilité dynamique en interagissant physiquement avec les microtubules. C'est le cas notamment des « microtubule-associated proteins » MAP2 et MAP4 et de la protéine TAU (une autre protéine MAP) qui, en s'associant au microtubule sur toute sa longueur, réduisent fortement la probabilité de déclenchement d'une dissociation brutale du microtubule (catastrophe).

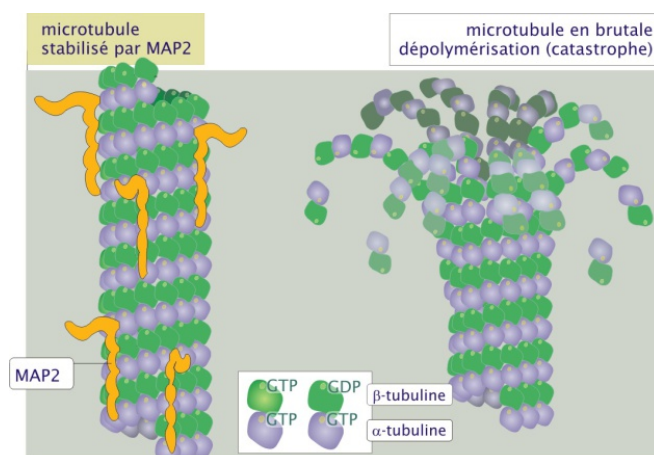


Figure 6 : Stabilisation des microtubules par les protéines de la famille MAP.

Protéines motrices interagissant avec les microtubules

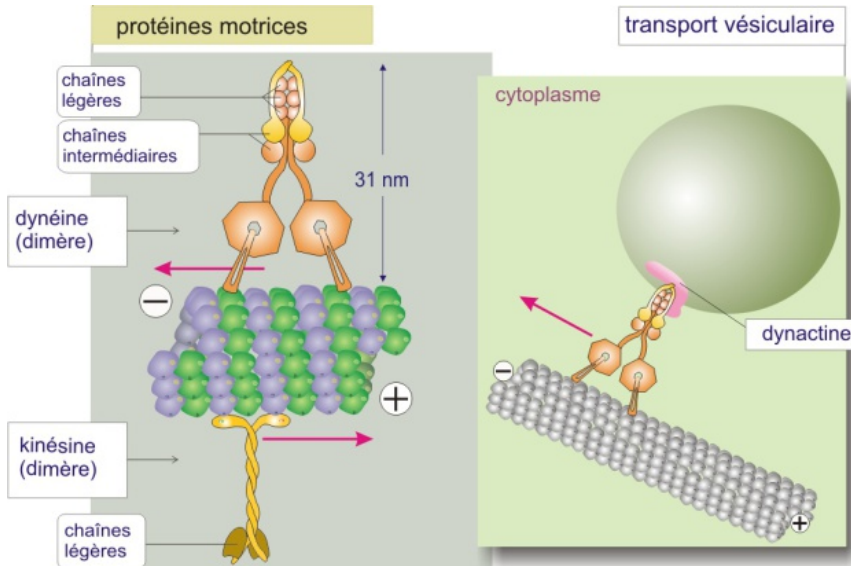


Figure 7 : Les protéines motrices kinésine et dynéine. Les kinésines sont des homodimères. Chaque monomère est composé d'une chaîne lourde et d'une chaîne légère. Les dynéines sont des complexes protéiques contenant plusieurs chaînes lourdes, légères ou intermédiaires.

- Deux familles de protéines « motrices » (ou « moteurs moléculaires ») interagissent avec les kinésines et les dynéines (Figure 7). Elles se déplacent respectivement vers l'extrémité + et - (en direction du centrosome) du microtubule.
- Ces protéines motrices sont toujours associées à d'autres protéines dans un complexe qui fixe les organites cellulaires pouvant ainsi être transportés.
- À l'instar de la myosine-II, les protéines motrices utilisent l'énergie dérivée de cycles répétés d'hydrolyse de l'ATP pour se déplacer le long du microtubule.
- Le déplacement de la kinésine à la surface du microtubule se fait comme on marche sur les pierres d'un passage à gué : les deux têtes de kinésine se fixent tour à tour en effectuant à chaque fois un mouvement de semi-rotation, ce qui se traduit par une progression du dimère le long du microtubule. Le mécanisme de déplacement de la dynéine n'est pas encore élucidé.

La fonction des microtubules

Ils sont impliqués dans plusieurs processus cellulaires et notamment :

- Transport intracellulaire des organites.
- Battement des flagelles et des cils.
- Séparation des chromatides pendant la mitose.

Nous reverrons plus particulièrement leur rôle au cours de la mitose.

Introduction à la matrice extracellulaire

Dans les tissus des organismes pluricellulaires animaux, l'espace extracellulaire est occupé par la matrice extracellulaire (MEC). Cette dernière est constituée à 70% d'eau et d'un réseau complexe et très organisé de macromolécules, sécrétées par les cellules environnantes (Figure 1). Toutes les cellules eucaryotes des métazoaires produisent une MEC. Pour certaines cellules, comme les fibroblastes des tissus conjonctifs ou les cellules osseuses et cartilagineuses, il s'agit là de leur fonction principale. À chaque type cellulaire est associée une MEC spécifique dans sa composition et son organisation. La structure des MEC peut en outre évoluer en fonction de différentes situations, physiologiques (développement/croissance ou remodelage du tissu au cours de la cicatrisation), ou pathologiques (fibroses, ostéoarthrose ...).

Pour une vidéo introductive sur les matrices extracellulaires, voir :

<https://www.youtube.com/watch?v=yHbO2bJDTOg>

https://www.youtube.com/watch?v=JyQ_b-xM_QA

Fonctions des matrices extracellulaires

Les MEC jouent un rôle essentiel dans l'architecture tissulaire en constituant un ciment entre les cellules et en assurant la résistance mécanique des tissus. Outre cette fonction structurale, nous aurons l'occasion de voir au cours de l'UE qu'elles sont également des acteurs majeurs de la régulation des grandes fonctions cellulaires comme la prolifération, la différenciation ou la migration. Nous verrons par quels mécanismes en nous penchant sur leur rôle dans la signalisation cellulaire (synthèse 2).

Structure des matrices extracellulaires

La grande diversité des matrices extracellulaires est liée au grand nombre de molécules qui la composent, et à leurs multiples capacités d'interaction.

La matrice extracellulaire est composée d'un ensemble de polysaccharides et de protéines. Les polysaccharides sont des glycosaminoglycanes (GAG) qui sont généralement reliés de façon covalente à une protéine pour former des « protéoglycanes ». Dans la composante protéique de la matrice, on distingue : un premier groupe, constitué par le collagène et l'élastine, essentiellement responsables de la structure de la matrice et un second groupe, moins abondant, constitué par la fibronectine et la laminine. Ce dernier est plutôt impliqué dans l'organisation de sa structure (formation d'une trame) et dans l'adhérence cellule-matrice.

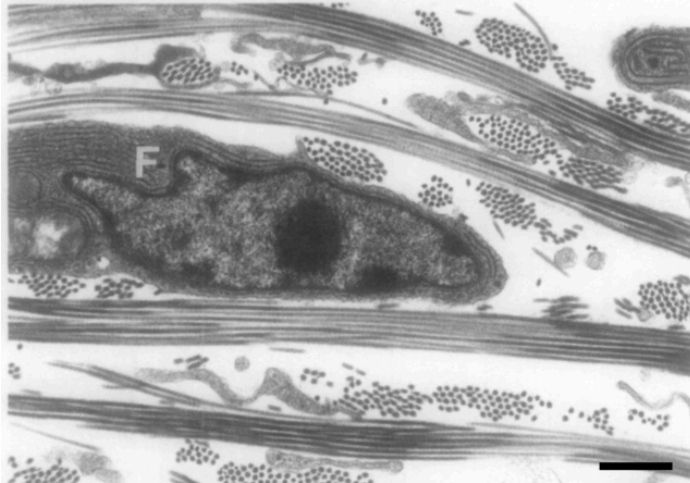


Figure 1 : Fibroblaste entouré de sa matrice dans une coupe de derme d'embryon de poulet. Photographie prise au microscope électronique à transmission. Les fibrilles de collagènes sont ordonnées en faisceaux organisés de façon orthogonale, parallèlement à la surface du derme. Embryon de 15 jours. Barre d'échelle : 1 micron. D'après Ploetz et al, 1991 Structural Biology 106, 73-81.

Les chaînes de glycosaminoglycanes

- Les glycosaminoglycanes sont de longues chaînes composées d'unités disaccharidiques répétitives. Un des deux résidus glucidiques est toujours un glucide aminé (N-acétylglucosamine ou N-acétylgalactosamine) et le second est habituellement un acide uronique (glucuronique ou iduronique). Les GAG se répartissent en quatre types principaux :
 - acide hyaluronique
 - chondroïtine sulfate
 - héparane sulfate
 - kératane sulfate
- À l'exception de l'acide hyaluronique, tous les GAG sont liés de façon covalente à une protéine pour former des protéoglycanes (Figure 2).

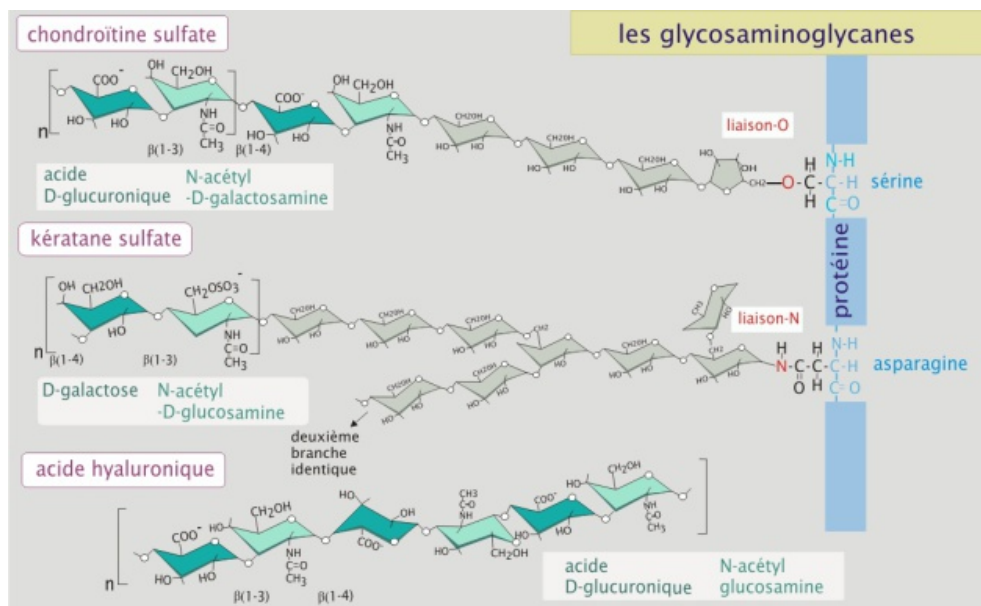


Figure 2 : Structure des GAG.

- Les GAG, et particulièrement l'acide hyaluronique, forment des mailles qui permettent de retenir de grandes quantités d'eau. Ils constituent un gel d'un volume considérable (1 000-10 000 fois le volume initial) qui permet à la matrice de résister aux forces de compression.
- Les GAG ont aussi un rôle essentiel dans la migration cellulaire au cours de la morphogenèse et de la cicatrisation des tissus. En cas de blessure, après la coagulation du sang, le premier produit qui entre dans la lésion est l'acide hyaluronique. Il forme un échafaudage qui va servir de support aux cellules leucocytaires et aux fibroblastes pour reconstruire le nouveau tissu.

Le collagène et l'élastine

- Le collagène représente environ un quart de la masse protéique d'un organisme humain. Le collagène est la protéine structurale majeure des MEC qui forme des armatures, renforçant les structures telles que les tendons, la peau et les organes internes.
- Les collagènes forment une famille multigénique de protéines fibreuses. Tous les collagènes sont constitués de trois protéines (appelées chaînes alpha) associées les unes aux autres par des liaisons hydrogène. Les trois chaînes alpha peuvent être identiques (homotrimériques) ou différentes (hétérotrimériques). Elles s'organisent en s'enroulant les unes autour des autres pour former une triple hélice (la molécule de tropocollagène). Les triples hélices s'associent pour former des structures d'ordre supérieur, les fibrilles de collagène (environ 0,5 microns de diamètre) puis les fibres (plusieurs microns de diamètres ; Figure 3).
- Contrairement aux GAG, qui résistent aux forces de compression, les fibres de collagène forment des structures qui résistent aux forces de tension.
- L'élasticité de certains tissus est quant à elle assurée par un réseau de molécules matricielles fibreuses incluant l'élastine.

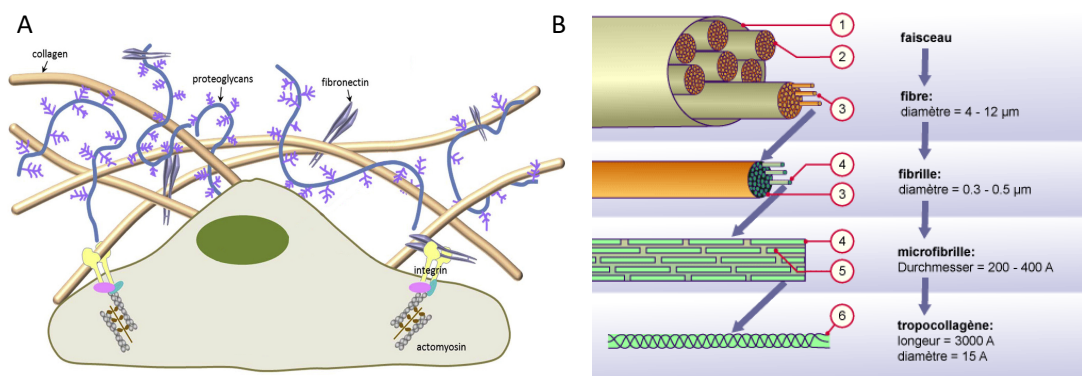


Figure 3 : (A) Représentation schématique des composants de la matrice extracellulaire. D'après Thannickal et al, 2014. [https://ajp.amjpathol.org/article/S0002-9440\(14\)00156-4/fulltext](https://ajp.amjpathol.org/article/S0002-9440(14)00156-4/fulltext). (B) Assemblage du tropocollagène en structures d'ordre supérieur (1. Faisceau ; 2. Fibre ; 3. Fibrille ; 4 : Microfibrille ; 5 : Tropocollagène ; 6 : Chaîne alpha).

La fibronectine

- La fibronectine forme un réseau fibrillaire qui contribue à organiser la matrice et à favoriser l'adhérence des cellules à cette dernière.
- Une molécule de fibronectine est constituée de deux sous-unités α et β réunies par une paire de ponts disulfure. Il existe une vingtaine d'isoformes de fibronectine, produites par épissage alternatif du même gène.
- La fibronectine contient différents domaines qui constituent des sites d'interactions spécifiques avec d'une part les constituants moléculaires de la matrice extracellulaire (formation d'une trame) et d'autre part les cellules (par l'intermédiaire de récepteurs nommés « intégrines » ; voir [synthèse 2](#)).
- La fibronectine joue un rôle important dans le guidage des cellules lors des migrations embryonnaires chez les vertébrés (gastrulation et migration des cellules de la crête neurale).

La laminine

- La laminine est un gros complexe protéique flexible constitué de trois chaînes polypeptidiques.
- Douze formes différentes de chaînes de laminine ont été caractérisées.
- À l'instar de la fibronectine, la laminine peut interagir avec différents composants matriciels et avec les cellules elles-mêmes.
- La laminine est le constituant essentiel des lames basales, MEC sur laquelle reposent tous les feuilletts épithéliaux et endothéliaux (entoure également les cellules musculaires et adipeuses) et qui permet notamment leur adhérence aux tissus conjonctifs sous-jacents.

Introduction à la paroi des cellules végétales

Les cellules végétales sont des cellules « revêtues » d'une matrice extracellulaire continue et solide : la paroi. La paroi dite pectocellulosique est présente autour de toutes les cellules des plantes terrestres. Elle est constituée d'un ensemble structuré de macromolécules dans une solution aqueuse complexe.

Fonctions de la paroi

La paroi végétale a joué un rôle majeur au cours de l'évolution dans la conquête du milieu aérien par les végétaux grâce aux fonctions qu'elle remplit :

- **Soutien** : la paroi assure une fonction de soutien du végétal et permet à certains arbres d'atteindre des hauteurs très élevées (exemple du séquoia géant pouvant atteindre 75 m de haut).
- **Forme** : la paroi joue un rôle majeur dans l'acquisition et le maintien de la forme cellulaire chez les végétaux.
- **Croissance** : La déformation contrôlée de la paroi primaire combinée à la poussée vacuolaire permet la croissance cellulaire.
- **Échanges** :
 - avec le milieu
 - entre les cellules
- **Protection** : elle constitue une barrière protectrice contre des stress biotiques (pathogènes) ou abiotiques (sécheresse par exemple).

Architecture de la paroi pectocellulosique

Les principaux éléments constitutifs de la paroi sont les suivants (Figure 1) :

- **Une « armature » de cellulose** : la cellulose est un polymère de glucose. C'est la molécule renouvelable la plus abondante à la surface de la terre. Les molécules de cellulose sont synthétisées vers l'extérieur de la cellule par des complexes protéiques constitués de cellulose synthase, enchâssés dans la membrane plasmique. Les chaînes de cellulose s'associent par des liaisons faibles intra- et intermoléculaires et forment des structures cristallines, mécaniquement résistantes, les microfibrilles.
- **Un gel hydraté de pectines** : ces polysaccharides complexes, chargés négativement, sont reliés entre eux par des ions calcium, chargés positivement, au niveau de structures en « boîte à œufs ». Le réseau ainsi formé retient de l'eau, constituant un gel. Les pectines constituent également le « ciment pectique » de la lamelle moyenne (partie externe de la paroi, séparant deux cellules végétales et qui permet aux cellules de s'associer en tissus ; voir Figure 3).
- **Des macromolécules assurant une cohésion d'ensemble** : les hémicelluloses, polysaccharides complexes, lient les microfibrilles les unes aux autres par des liaisons faibles ; des glycoprotéines riches en hydroxyproline (« Hydroxyproline-Rich Glycoproteins » ou HRGP), établissent des liaisons covalentes avec les pectines et les hémicelluloses.

- Des **enzymes** aux propriétés catalytiques variées : elles confèrent diverses fonctions dynamiques à la paroi.

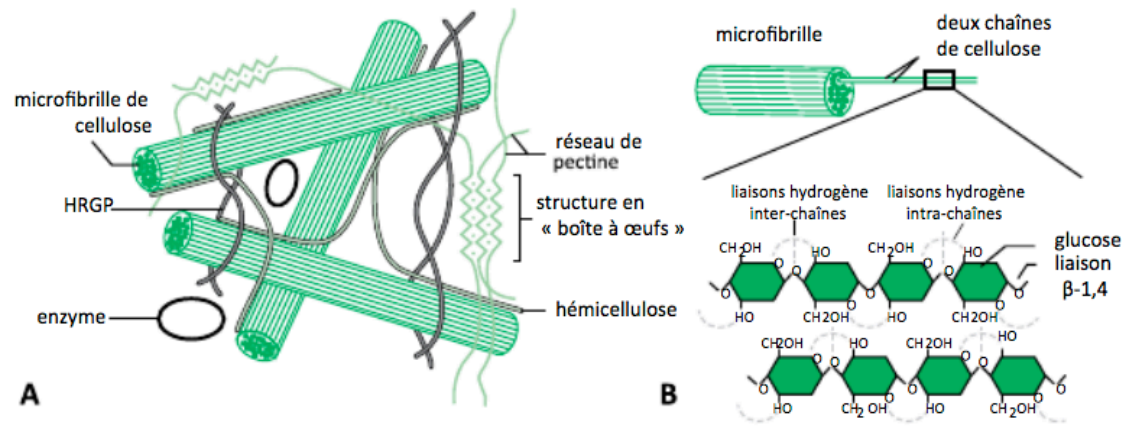


Figure 1 : Structure moléculaire de la paroi primaire d'une cellule de plante terrestre ou embryophyte. (A) Modèle architectural montrant l'interaction entre microfibrilles de cellulose, hémicellulose, pectines et HRGP. (B) Organisation de la cellulose au sein des microfibrilles. <http://univ.scholarvox.com.proxy.scd.upsud.fr/reader/docid/88808041/page/19?searchterm=%20paroi>

Si la paroi confère leur forme aux cellules (Figure 2), elle reste plastique au cours de la croissance, permettant l'élongation cellulaire. Nous en verrons le mécanisme en [synthèse 6](#).

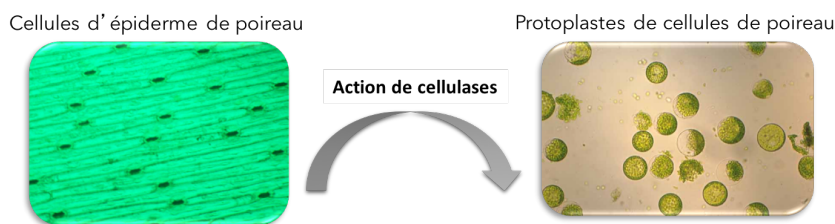


Figure 2 : La paroi confère leur forme aux cellules. Observer le changement de forme de cellules d'épiderme de poireau mises en culture après action de cellulases (enzymes hydrolysant la cellulose). Ces cellules dépourvues de paroi sont appelées protoplastes.

Les parois connectées de deux cellules voisines peuvent présenter :

- Une lamelle moyenne pectique flanquée des couches cellulosiques.
- Des méats, espaces intercellulaires situés au niveau de zones de décollement.
- Des plasmodesmes, petits canaux permettant la communication du cytoplasme des deux cellules. Ponts cytoplasmiques de 20 à 40 nm de section, ils connectent les cytoplasmes en un vaste réseau intercellulaire appelé **symplasme** (Figure 4).

Paroi primaire et paroi secondaire

Chez les plantes ligneuses (opposées aux plantes herbacées) la structure de la paroi peut être plus complexe. Une paroi dite « primaire » se forme dans les jeunes cellules encore en croissance. Une paroi dite « secondaire » se forme ultérieurement et vient se superposer à la paroi primaire, vers l'intérieur de la cellule (Figure 3). Outre les composants trouvés dans la paroi primaire, s'ajoute notamment un polymère hydrophobe appelé lignine. La présence de lignine modifie les propriétés de la paroi (accroissement de la rigidité et imperméabilisation).

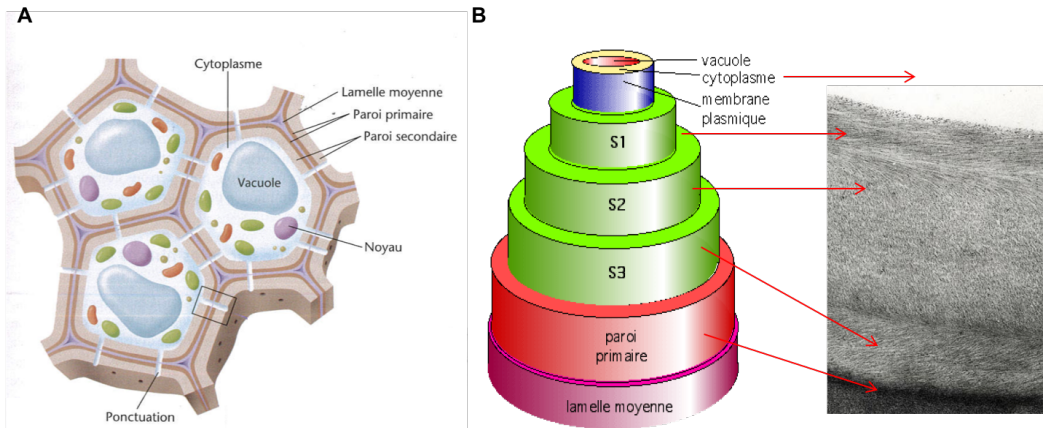


Figure 3 : (A) Schéma de cellules végétales indiquant la position relative des parois primaire et secondaire et de la lamelle moyenne séparant 2 cellules. (B) Schéma de la structure en « contre-plaqué » formée par les parois primaire et secondaire (S1-3) et photo de microscopie électronique d'une coupe transversale de paroi de fibre de lin.

Propriétés de la paroi

- Génération d'une pression de turgescence** : Lorsque l'eau entre dans la cellule végétale, la vacuole se remplit et grossit et ses membranes se tendent. On parle alors de turgescence des cellules. La pression exercée par l'eau sur le cadre semi-rigide qu'est la paroi est appelée « pression de turgescence ». La résistance de la paroi permet d'éviter l'éclatement de la cellule quand celle-ci est mise en présence d'un milieu plus dilué (hypo-osmotique). En revanche, un protoplaste, c'est-à-dire une cellule dont la paroi a été digérée par des enzymes (Figure 3), ne peut pas résister dans cet environnement.
- Diffusion de l'eau et des ions** : les parois forment un **continuum** entre cellules contiguës, que l'on nomme **apoplasme**. Il permet une libre diffusion de l'eau et des ions. Ce compartiment représente donc une voie possible pour le transport à longue distance de l'eau que l'on appelle la **voie apoplastique** (Figure 4).

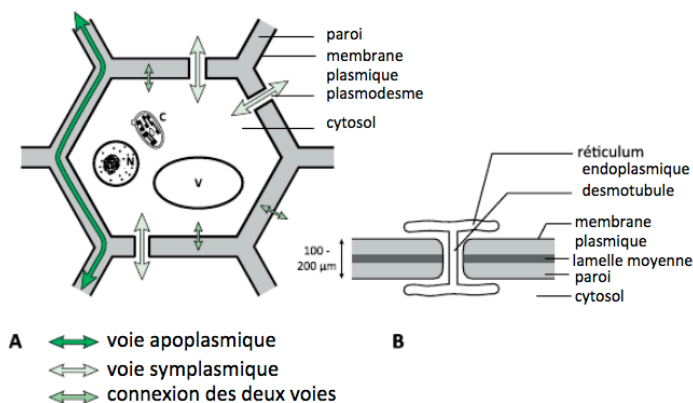


Figure 4 : Voies apoplastique et symplasmique. (A) Représentation schématique des différentes voies. (B) Coupe simplifiée d'un plasmodesme. N : noyau ; C : chloroplaste ; V : vacuole.
<http://univ.scholarvox.com.proxy.scd.unpsud.fr/reader/docid/88808041/page/21>