

I- Les méristèmes

Les tissus adultes, ou différenciés étudiés précédemment sont construits à partir de cellules formées par des tissus végétaux indifférenciés appelés méristèmes, dont les cellules se multiplient activement. On distingue deux sortes de méristèmes (les méristèmes primaires et les méristèmes secondaires ou cambiums), différente l'un de l'autre par :

- Leur localisation dans la plante
- Leurs caractères cytologiques
- Leur rôle dans la construction des organes et des tissus

1- Les méristèmes primaires

A l'apex (l'extrémité d'une tige ou d'une racine), apparaissent les nouveaux organes grâce au fonctionnement des méristèmes, ce sont les méristèmes apicaux caulinaire situés sur la région apicale des tiges et les méristèmes apicaux racinaires localisés sur l'extrémité de la racine. Ils sont présents chez toutes les plantes, mais fonctionnent d'une manière différente. Ils assurent la croissance en longueur de toutes les plantes.

Les botanistes ont proposé deux modèles d'organisation du méristème apical caulinaire afin d'en expliquer le fonctionnement : le modèle zoné et le modèle en assises cellulaires.

Le modèle zoné décrit le méristème apical caulinaire comme un dôme divisé en trois régions : la zone centrale des cellules mères, la zone périphérique et le méristème médullaire. La zone centrale des cellules mères contient des cellules qui se divisent rarement et donnent naissance aux cellules de la zone périphérique et du méristème médullaire. La zone périphérique forme un anneau entourant la zone centrale. Elle est constituée de cellules qui se divisent rapidement pour donner naissance aux primordiums foliaires et à une partie de la tige. Sous les zones centrale et périphérique se trouve le méristème médullaire qui produit la moelle.

✓ Cellules méristématiques :

Les cellules des méristèmes primaires sont des cellules indifférenciées, à activité mitotique importante responsables de la croissance indéfinie de la plante, Elles se localisent sur l'extrémité des tiges et des racines elles sont petites, isodiamétriques, le

noyau est sphérique, volumineux, les vacuoles sont nombreuses et très petites et des plastes non différenciés, proplastides, les mitochondries sont nombreuses. Le noyau occupe une part importante du volume cellulaire de sorte que le rapport nucléoplasmique est plus grand dans les cellules méristématiques que dans les cellules différenciées. Certaines cellules méristématiques restent dans les limites du méristème jusqu'à leur mort. On leur donne le nom d'initiales.

Généralement, une initiale ne se différencie jamais. Sa seule fonction est de produire des cellules-filles à un rythme plus ou moins soutenu, à des intervalles de temps plus ou moins longs.

2-Le méristème secondaire

C'est une zone génératrice apparaissant plus tard à maturité de la plante. Les cellules permettent une croissance en épaisseur autour de la tige et des racines des Angiospermes Dicotylédones, les Angiospermes Monocotylédones n'en possèdent pas.

3. Comment se produit la différenciation cellulaire ?

En effet, toutes les cellules ont le même patrimoine génétique, et pourtant elles ne contiennent pas toutes les mêmes protéines et n'ont donc pas toutes le même comportement métabolique. On dit qu'elles se sont différenciées en cellules épidermique, parenchymateuses, etc. Lors de cette différenciation, certains gènes cessent de pouvoir être transcrits : ils se "verrouillent" sous l'effet de réaction chimiques (comme la méthylation) ou de la présence de certaines protéines (comme les histones). Finalement dans les cellules de chaque tissu, seuls les gènes codant les protéines utiles dans ce tissu restent non verrouillés et continuent à pouvoir s'exprimer. Encore arrive-t-il que des gènes non verrouillés ne s'expriment effectivement qu'en présence de certaines substances spécifiques (dites activateurs) ou en absence de certaines autres substances (dites répresseurs).

3-1- Différenciation d'un parenchyme chlorophyllien

- Les cellules indifférenciées s'allongent beaucoup tandis que leurs vacuoles augmentent considérablement de taille et fusionnent pour constituer la grande vacuole de la cellule adulte.

- Pendant ce temps, les proplastides évoluent en chloroplastes

- Au cours du grandissement de la cellule, la paroi cellulaire, qui dans les cellules méristématiques est une paroi primaire, s'allonge et s'épaissit.

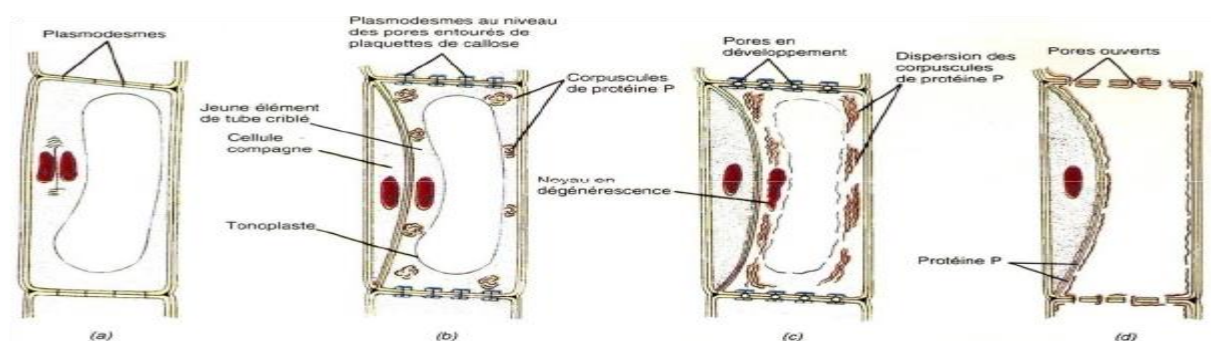
3-2 - Différenciation des éléments conducteurs

La première étape de la différenciation des éléments conducteurs est la même pour le phloème et le xylème. Sur une coupe longitudinale pratiquée dans un bourgeon, on observe sous le méristème apical, des files de cellules plus allongées et plus étroites que les cellules voisines. Ces cellules forment le tissu proconducteur,

3-2-1- Différenciation d'un tube criblé

Un tube criblé résulte de la différenciation d'une file de cellules du tissu proconducteur, Chaque cellule subit une division longitudinale donnant naissance à deux cellules situées au même niveau ; l'une d'elles fournira la cellule criblée, l'autre la cellule compagne.

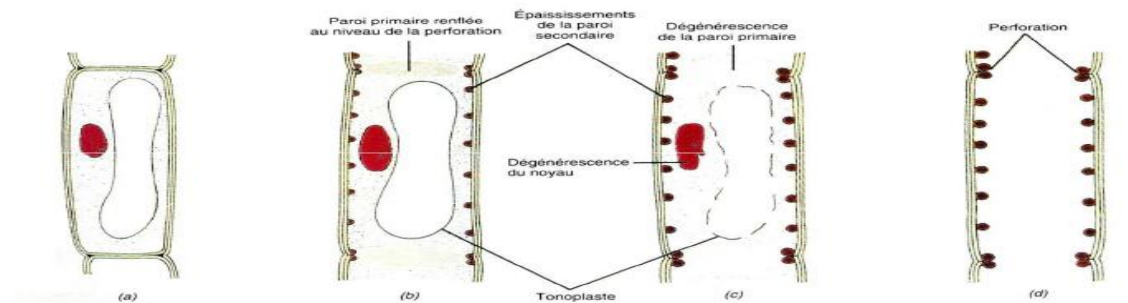
La cellule qui se différencie en cellule criblée s'allonge ; ces vacuoles, en se développant, fusionnent en une grande vacuole centrale tandis que les parois cellulaires latérales s'épaississent. Le noyau dégénère puis disparaît, le tonoplaste qui limite la vacuole disparaît également et le cytoplasme se dilue dans le contenu de l'ancienne vacuole. Au cours de cette transformation, les parois transversales se percent de pores et forment des cribles.



3-2-2- Différenciation d'un vaisseau ligneux

Un vaisseau ligneux provient, lui aussi, d'une file de cellules du tissu proconducteur, Ces cellules s'allongent puis, lorsque la croissance cellulaire est achevée, leur cytoplasme élabore contre la paroi primaire et vers l'intérieur de la cellule, des dépôts secondaires de lignine. C'est tout d'abord, le noyau qui disparaît, puis le tonoplaste. Dans le cytoplasme qui est dilué dans le contenu de la vacuole, les divers organites

cellulaires, plastes, mitochondries.... Dégènèrent à leur tour. Les parois transversales sont résorbées faisant largement communiquer entre elles tous les éléments d'un même vaisseau, éléments qui finalement sont vides de tout cytoplasme.



II. Les phytohormones

Aujourd'hui, on sait que la coordination fonctionnelle entre organes est contrôlée par les hormones. Or on distingue les hormones par défaut liées aux animaux. On devrait donc les appeler phytohormones.

1- Définition

Les hormones végétales, encore appelées phytohormones, sont des substances organiques naturelles qui influencent l'ensemble des processus physiologiques de croissance, de différenciation et de développement des plantes et leur confèrent leur capacité d'adaptation aux variations de conditions de l'environnement.

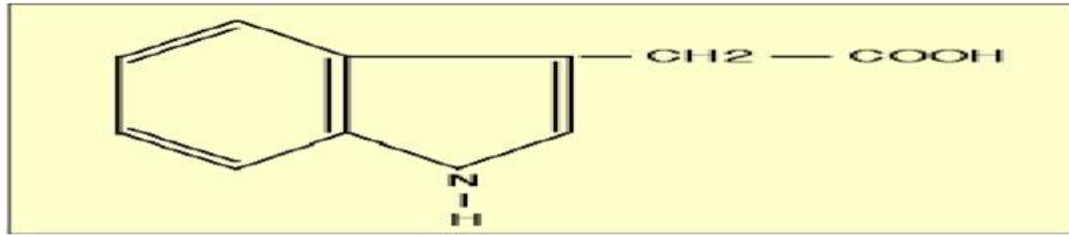
2- Les principales phytohormones

Les principales phytohormones sont : les auxines, les gibbérellines, les cytokinines, l'acide abscissique, l'éthylène, les jasmonates.

2-1- Auxine

2-1-1- Biosynthèse de l'auxine

Il s'agit d'une petite molécule acide, soluble dans la phase aqueuse de la plante (partie hydrophile). Elle est dérivée de l'acide aminé tryptophane. C'est en réalité une famille dont le plus grand représentant est l'Acide indole acétique IAA ou IAA. Les voies de biosynthèse de l'IAA sont longues, mais la voie majeure se résume globalement à une décarboxylation et une désamination. Elle part donc du Tryptophane, arrive à l'IAA, passant par l'évacuation d'un azote et d'un carbone. Nécessite du Tryptophane et une bonne aération ce qui prouve que c'est une oxydation.



2-1-2- Transport

L'AIA est transporté de cellule à cellule par des transporteurs d'influx et d'efflux ce qui permet un transport polarisé. C'est la seule phytohormone pour laquelle un transport actif a été clairement démontré. Le phloème contribue aussi au transport de l'auxine des feuilles vers les racines.

2-1-3- Propriétés physiologiques

En règle générale, les auxines favorisent l'accroissement des racines alors que les cytokinines favorisent la croissance des tiges et des bourgeons.

✓ Jouer un rôle sur la croissance apicale (forte concentration d'IAA dans les méristèmes apicaux au détriment des méristèmes auxiliaires). Si l'on étête un arbre, les bourgeons auxiliaires repartent, Elle inhibe les bourgeons qu'elle rencontre. (Dominance apicale).

✓ Induire une rhizogénèse, formation de racine si on inhibe la formation de la tige (par trop hautes concentrations d'auxines).

✓ Stimuler la croissance des fruits charnus: la manipulation de l'auxine pourra par exemple permettre l'obtention de grosses pommes ou de fruits sans pépins.

2-1-4- Le lieu de biosynthèse

La synthèse se déroule au niveau des méristèmes, des bourgeons terminaux racinaires et caulinaires, des jeunes feuilles ainsi dans les embryons des graines en germination où elles semblent s'activer par imbibition. La synthèse a lieu en trois étapes dans trois compartiments cellulaires, on a une coopération entre les organites au sein de la cellule : les proplastides (=jeunes plastides), le réticulum et le cytosol.

III. La génomique

Définition de la génomique

C'est une discipline de la biologie moderne. Le terme génomique regroupe les analyses qui consistent à localiser, isoler et séquencer les gènes, puis à étudier leur fonction. La génomique se divise en deux branches :

- La génomique structurale : Cette branche de la génomique regroupe toutes les analyses de la structure des génomes (Ici « structure » est entendu au sens « organisation des génomes ») ; Les méthodes concernées sont donc le séquençage des génomes, l'identification des gènes, des séquences régulatrices, des séquences répétées, etc.

- La génomique fonctionnelle : Une fois les génomes annotés, l'étape suivante sera la recherche de la fonction des séquences identifiées, donc elle vise à déterminer la fonction et l'expression des gènes séquencés en caractérisant le transcriptome et le protéome.

1- Le génome

Ensemble complet de matériel génétique (les gènes et les séquences non codantes) présent dans chaque cellule d'un organisme.

Dans chaque cellule, on trouve :

Un génome nucléaire, Un génome mitochondrial, Un génome plastidial.

1-1- Génome nucléaire

Comme dans les autres espèces, les génomes nucléaires des végétaux sont organisés en chromosomes, dont le nombre varie de 10 chez l'arabette à plus de 100 chez la canne à sucre.

1-2- Chromosome

Définie chez les eucaryotes, la dénomination de chromosome a été étendue au cours des dernières années à l'ensemble des structures porteuses d'information génétique.

-Morphologie du chromosome

Une identité en nucléotides ne se traduit pas nécessairement en une identité en acides aminés.

Exemple : Deux séquences nucléotidiques sont identiques à 76%. Cependant, quand les séquences sont traduites en acides aminés, l'identité décroît à 28%. Ces gènes, que l'on aurait pu penser être homologues, ne le sont donc pas.

1-4- Organisation du génome nucléaire

1-4-1- Nombre d'exemplaires du génome par cellule :

. Haploïdes : 1 exemplaire du génome par cellule. Les gamètes, unicellulaires (ex levure)

. Diploïdes : 2 exemplaires du génome par cellule, un hérité du père, un hérité de la mère.

Les 2 exemplaires sont très similaires, mais pas strictement identiques.

. Tétraploïdes, hexaploïdes: 4, 6,exemplaires du génome. Rare chez les animaux, plus fréquent chez les plantes. Ex : Blé dur, blé tendre.....

1-4-2- La taille des génomes végétaux

1-4-3- Quelques chiffres sur le contenu génique

Le contenu en gènes entre les différentes espèces de plantes séquencées ou en cours de séquençage varie de 15000 gènes pour *Chlamydomonas* à 46000 gènes pour le soja.

Les génomes de grande taille comme ceux du maïs et de l'orge ont un contenu en gènes très appauvris par rapport à ce qu'on pourrait attendre avec des génomes de cette taille. Cette observation montre bien que la taille des génomes n'est pas corrélée à leur complexité en termes de nombre de gènes. Ce paradoxe est connu à la fois chez les plantes et chez les animaux sous le nom de paradoxe de la valeur C.

- Paradoxe de la valeur C

Ce paradoxe dit ni le nombre de chromosomes, ni la taille du génome (quantité d'ADN contenue dans une copie d'un génome), ni le nombre de gènes ne sont corrélés avec la complexité de l'organisme.

1-4-4- Les séquences répétées

1-5- Le génome plastidial

1-5-1- Origine des plastes

Le plaste est un organe cellulaire des cellules végétales et des algues possédant une double membrane externe et un ADN propre.

- La communication entre le noyau et le plaste

Au cours de l'évolution, la taille du génome plastidial a été réduite et de nombreux gènes ont été transférés au noyau. La plupart des protéines utilisées dans le plaste sont traduites dans le cytoplasme de la cellule végétale. Ces protéines possèdent un peptide de transit N-terminal qui permet sa redirection vers les différents compartiments du chloroplaste. Des transporteurs spécifiques présents sur les deux membranes de l'enveloppe du chloroplaste, appartenant aux systèmes Tic et Toc, permettent leur import à l'intérieur du plaste. Les protéines sont ensuite adressées au sous-compartiment plastidial. Cette communication du noyau vers le plaste est indispensable au fonctionnement de l'organe.

- Quelques applications de la transformation du chloroplaste (transplastomique)

Ce type d'organe peut être transformé par la technique de la boulistique.

• La résistance au glyphosate

Le Glyphosate est un puissant herbicide avec un bas impact environnemental, utile pour éliminer les plantes infestant une culture résistante. Daniell et al. (1998) a transformé avec succès des plantes de tabac avec un gène de résistance au glyphosate inséré dans le génome du chloroplaste. Les plantes sont résistantes et le gène ne peut pas être transféré par le pollen à des autres plantes.

• Résistance aux insectes grâce à la toxine Bt

Les toxines du *Bacillus thuringiensis* (Bt) sont toxiques pour les insectes après ingestion (mais elles ne sont pas toxiques pour les animaux). Kota et al. (1999) ont vu que l'expression de la toxine Bt dans les chloroplastes de plante porte à une mortalité élevée des insectes en protégeant les plantes des attaques. En plus l'expression de la toxine est localisée dans les feuilles et absente dans le tissu (fruits, grains).

- L'hormone de croissance humaine, la sérum-albumine (et le vaccin contre l'hépatite B) : sont ainsi produites dans des chloroplastes de feuilles de tabac.

D- Les avantages de la transformation du chloroplaste

-L'absence de transmission du transgène par voie pollinique

En effet, le chloroplaste chez de nombreuses angiospermes n'est transmis que par voie maternelle. En revanche chez les gymnospermes, il n'est transmis que par voie paternelle. Il existe cependant des exceptions. La luzerne et le seigle, il est transmis par les deux voies, chez le kiwi, il est transmis par voie paternelle.

-Des taux d'expression élevés :

Du point de vue de l'expression des gènes l'avantage de la transformation du chloroplaste, pour la production de grandes quantités de protéines.