**Chapitre 7 : La croissance végétale – Caractéristiques générales**

# Définition de la croissance

Les mécanismes de croissance sont avant tout des **mécanismes quantitatifs irréversibles** (variations de taille, de poids, de volume). Si une plante est déshydratée, les cellules sont plasmolysées et le poids de la plante va diminuer. La croissance ne prend donc pas en compte toutes les variations prenant en compte tous les mécanismes de l’économie de l’eau et de mise en réserves.

Il y a aussi **un aspect qualitatif**. Quand une plante va grandir, elle va élaborer de nouveaux organes. C’est l’organogénèse. Quand ils se forment, les organes possèdent des tissus différenciés. C’est la différenciation cellulaire.

# Les aspects morphologiques de la croissance

## Croissance au niveau cellulaire

### Les composantes de la croissance

Quand une cellule est mature, elle va d’abord se multiplier, se diviser. Cette étape de multiplication cellulaire est appelée la **mérèse**. Les cellules filles vont s’allonger et prendre du volume pour retrouver la même taille que la cellule mère d’origine. Cette étape de grandissement cellulaire est appelée l’**auxèse** (élongation).

### L’auxèse

#### Les modalités

Il y a plusieurs possibilités pour les cellules de s’allonger.

*Voir poly*

La cellule peut s’allonger à la même vitesse dans toutes les directions. La croissance est donc **isotrope**. Sa forme initiale est conservée.

La cellule peut s’allonger dans une direction privilégiée, la croissance se fait plus rapidement dans une direction donnée. La croissance est donc **anisotrope**. Sa forme initiale n’est pas conservée.

Les cellules sont au sein d’un tissu, on parle plutôt d’un ensemble de cellules. Les cellules conservent les communications intercellulaires qu’elles avaient entre elles au départ. La croissance est donc **symplastique** ou **symplasmique**. Le symplasme est conservé.

Les cellules faisant partie d’un tissu peuvent grandir de façon isolée. Ce sont soit des cellules externes (formation d’un poil absorbant ou épidermique), soit des cellules internes (fibres). La croissance est donc **apicale extrusive** (dans le cas de cellules externes = croissance vers l’extérieur) ou **intrusive** (dans le cas de cellules internes = croissance vers l’intérieur). Dans le cas d’une croissance intrusive, les communications cellulaires sont obligatoirement modifiées.

#### Modification de l’orientation de l’extension

L’axe de croissance peut subir des modifications au cours de la croissance. Cette modification peut être accidentelle ou spontanée.

Les modifications accidentelles peuvent se faire sous l’influence de différents facteurs chimiques tels que les hormones ou les produits de traitement.

*Voir poly*

Les modifications spontanées existent surtout au niveau du système racinaire et s’observent sur les racines tractrices. Cela s’observe surtout chez les plantes à bulbe ou les plantes possédant des organes de réserve importants. Au cours de la croissance, l’axe de croissance peut être modifié. C’est la partie supérieure de la racine qui va subir un changement de l’axe d’élongation. Quand les cellules s’allongent, au niveau de la paroi squelettique, les angles de croisement entre les microfibrilles de cellulose s’agrandissent. Toute la zone supérieure de la racine va être tassée et va se plisser car les cellules perdent en « hauteur ». Le bulbe ou le tubercule va être tiré plus profondément dans le sol et va donc y descendre plus profondément. Cette modification permet au bulbe ou au tubercule d’être ancré dans une profondeur plus compatible avec son développement (organe de réserve permettant de passer la mauvaise saison). Le changement de direction dans la croissance des cellules est donc une adaptation au changement de saisons.

#### Extension de la paroi squelettique

La paroi squelettique est le cadre, plus ou moins rigide, qui entoure la cellule. Elle participe à la turgescence des cellules et au maintien des plantes. C’est une paroi pectocellulosique. Cette paroi est donc relativement rigide mais elle peut s’étirer et s’allonger pour permettre les mécanismes d’auxèse, entre autres.

*Voir poly*

Au niveau de la division cellulaire, entre deux cellulaires, on parle de **paroi primitive**. Elle est constituée presque exclusivement de composés pectiques et de protéines. Elle est relativement souple et malléable. Les cellules peuvent donc entrer dans les mécanismes de croissance…

Au fur et à mesure que les cellules se différencient et se spécialisent, la paroi primitive se solidifie en accumulant de la cellulose. Il y a un premier stade d’accumulation, vers l’intérieur de chacune des cellules filles. On dit que les dépôts de cellulose se font par **intussuception**. On obtient une paroi plus solide, plus rigide. C’est la **paroi primaire** qui est constituée à 40% de cellulose.

Au stade définitif, quand les cellules sont complètement différenciées, elles ont accumulé encore plus de cellulose qui se superpose sur les fibrilles de la paroi primaire. On parle de dépôts par **apposition**. On obtient la **paroi secondaire** constituée de 80 à 90% de cellulose et les composés peptiques deviennent minoritaires. Il n’est plus possible pour les cellules de subir des mécanismes d’élongation.

Pour subir les mécanismes de croissance, il faut que la cellule soit au stade de paroi primitive ou au stade de paroi primaire. Cependant, même au stade paroi primaire, la croissance n’est pas évidente car la moitié de la paroi qui est rigide. Il faut donc mettre en place des mécanismes particuliers pour permettre la croissance de la cellule.

La **cellulose** est un polymère. Ce sont des chaines de glucose. Les monomères de glucose sont enchainés les uns aux autres par des liaisons covalentes de type β1 – 4. Ces liaisons sont relativement stables. La cellulose se dépose en polymère qui sont reliés les uns aux autres pour formes les microfibrilles qui s’entrecroisent et qui sont reliées les unes aux autres par des liaisons hydrogène (liaisons ioniques) qui sont plus facile à rompre en modifiant le pH cellulaire.

Les **pectines** sont essentiellement composées d’acide galacturonique qui est parfois méthylé ou possèdent des sucres (ramnose) d’où partent des ramifications d’où partent des sucres. Elles sont des polymères. Il y a différentes chaines de polymères qui vont s’agréger pour former la paroi par des liaisons calcium (liaisons ioniques) pouvant être modifiées ou détruites par des variations de pH.

Pour détruire les liaisons covalentes la plante peut utiliser des systèmes enzymatiques = **βglucanase**.

Pour que la cellule puisse entrer dans les mécanismes d’auxèse, il faut aussi que la cellule soit dans un milieu cellulaire hypotonique. Il faut qu’elle puisse absorber de l’eau. La cellule va donc se gonfler et va développer une pression de turgescence qui va avoir tendance à s’exercer sur la paroi squelettique et va ainsi lui permettre de s’étirer plus facilement.

Dans le cas contraire, la cellule va se plasmolyser et la vacuole n’exercera pas de pression. La paroi squelettique aura plus de mal à s’étirer. La croissance n’est donc pas possible.

Si il y état d’équilibre, il n’y a pas de mouvements d’eau et pas de pression de turgescence. Ce n’est pas favorable à la croissance.

**Conditions pour la croissance : Stade de croissance particulier, variations de pH en système enzymatique, milieu hypotonique**

## **Croissance** au niveau histologique

Il y a deux types de croissance : méristèmes primaires et méristèmes secondaires.

### La croissance primaire

Elle se passe au niveau des méristèmes primaires (bourgeons). On les trouve soit à l’extrémité des organes, ou tout le long d’une tige ou d’une racine + bourgeons adventifs. C’est la croissance en longueur. Elle permet à la plante de grandir.

*Voir poly*

Racine : Elle se fait essentiellement à partir de la zone apicale de la racine. Il y a une zone de multiplication cellulaire où on trouve les cellules centrales qui se multiplient peu et qui constituent la **zone quiescente**. Les cellules qui se multiplient activement et qui permettent les mécanismes d’élongation sont les cellules à la périphérie du bourgeon apical. C’est la **zone active**. Le bourgeon terminal est localisé un peu en arrière de l’extrémité de la racinaire, après la coiffe (= tissu protecteur). A partir de ce bourgeon terminal, quand les cellules se divisent, elles vont pouvoir s’allonger. Certaines vont constituer le tissu conducteur (🡪 **procambium**), d’autres vont constituer l’écorce et d’autres vont constituer la coiffe.

Tige : Il y a une zone relativement peu active appelée la **zone apicale** qui permet au bourgeon apical de devenir éventuellement un bourgeon floral (reproducteur). Les cellules à la périphérie du méristème constituent l’anneau initial et vont donner les tissus corticaux de la tige. Les cellules à l’intérieur du méristème = **méristème médullaire** vont donner les tissus médullaires.

### La croissance secondaire

Elle se réalise à partir de méristème secondaire appelés **assises génératrices**. L’assise génératrice libéro-ligneuse (= cambium), à l’intérieur, va permettre la formation de liber et de lignine. L’assise subéro-phellodermique, à l’extérieur, permet la formation de suber et de phelloderme. Cette croissance permet la croissance en largeur. Il y a la formation de tissus secondaires.

### L’embryogénie indéfinie

Au niveau des tissus, chez les animaux, les tissus embryonnaires permettent la croissance. Ces tissus embryonnaires disparaissent au stade adulte.

Chez les plantes, les tissus embryonnaires (= méristèmes) restent en place pendant toute la durée de vie de la plante 🡪 plantes pluriannuelles (arbres). Cela veut dire que l’arbre est capable de grandir pendant toute son existence. La croissance s’effectue quand la saison de végétation est favorable. Elles grandissent donc par cycle de végétation. Cette propriété est appelée l’**embryogénie indéfinie**.

Il n’y a qu’un seul organe qui n’a pas d’embryogénie indéfinie. Ce sont les feuilles. Les méristèmes présents disparaissent. L’arbre re-forme des feuilles chaque année.

## Croissance au niveau des organes

### Croissance racinaire

*Voir poly*

L’élongation se fait à partir du bourgeon apical, localisé en arrière de la coiffe. La zone d’élongation est en arrière de la zone de multiplication. Après élongation, les cellules se spécialisent et mettent en place leur paroi secondaire définitive. C’est la zone de différenciation. On voit l’apparition d’un tissu protecteur externe, les tissus conducteurs… La zone d’organogénèse correspond à l’organisation des organes de la racine.

Les mécanismes d’auxèse se réalisent dans la zone **subterminale** ou **subapicale**. Cette élongation se fait toujours dans le même sens. Les racines descendent dans le sol en suivant les lois de la pesanteur. L’élongation est donc **unidirectionnelle** ou **polarisée.**

### Croissance caulinaire

Le bourgeon terminal permet la croissance en longueur. Il peut donner naissance à une fleur. La croissance se fait aussi par tous les bourgeons disposés le long de la tige. On parle des bourgeons axillaires qui constituent des nœuds où s’insèrent les feuilles.

*Voir poly*

La tige s’allonge par chacun des segments disposés entre deux nœuds. On parle de croissance **intercalaire** ou **internodale**. Chacun de ces segments s’allonge de manière individuelle.

*Voir poly*

Les entre-nœuds situés à l’apex sont les plus jeunes. Les entre-nœuds à la base de la tige ont une croissance plus faible et ceux situés à l’apex ont une croissance plus importante mais ce n’est pas l’entre-nœud le plus jeune qui a la croissance maximale. Les entre-nœuds ayant la croissance maximale sont situés en haut mais en-dessous de l’apex.

La croissance est **unidirectionnelle** et **polarisée.** Cette croissance se fait par gradient d’élongation.

### Croissance foliaire

*Voir poly*

Toutes les feuilles ont à peu près la même morphologie chez un même individu. Il y a un mécanisme de croissance des feuilles qui aboutit à la formation d’un organe complexe et ce mécanisme est répétable à l’identique d’une feuille à l’autre chez un même individu.

La morphologie d’une feuille embryonnaire peut être la même que celle d’une feuille adulte. Il y a des cas de figure où entre les feuilles embryonnaires et les feuilles adultes, la morphologie est très différente.

La **croissance isotrope** est définie lorsque la feuille adulte et la feuille embryonnaire ont la même morphologie.

La **croissance anisotrope** est définie lorsque la feuille adulte et la feuille embryonnaire n’ont pas la même morphologie. (Sinus ont une vitesse de croissance plus importante)

Les mécanismes de croissance sont relativement complexes. On sait qu’il y a les **méristèmes apicaux** qui permettent à la feuille de grandir dans le sens de la longueur & les **méristèmes marginaux** qui permettent d’étaler la feuille de façon transverse (= croissance « à plat »).

La croissance est **bidimensionnelle**, c’est-à-dire qui est faite selon deux axes différents.

Les méristèmes sont localisés de manière plus diffuse. Il n’y a pas d’endroit défini.

# Les aspects quantitatifs de la croissance

## Les méthodes de mesure

On peut mesurer les variations de poids mais les variations de poids peuvent être perturbées par des accumulations, des mises en réserve ou des mécanismes de turgescence. Il vaut donc mieux faire des mesures de matières sèches mais cela empêche le suivi dans le temps.

La croissance en longueur est plus représentative et on peut faire un suivi dans le temps. Mais les variations ne sont pas significatives. On a besoin d’outils spécialisés pour faire des mesures de longueurs relativement fines.

Ces outils sont appelés des **auxanomètres.** La plante est disposée dans un enceinte où les paramètres de milieu sont contrôlés et donc stables. L’extrémité de la radicule repose sur un levier hyper sensible relié à un capteur de déplacement couplé à un enregistreur. On doit amplifier les mécanismes d’élongation pour faire un suivi fin.

## La cinétique de croissance

### Courbe de croissance

*Voir poly*

Elle a toujours la même allure. C’est une sigmoïde (courbe en S). Elle est schématiquement toujours la même, quel que soit l’organe considéré, quelle que soit l’espèce considérée et quels que soient les conditions de milieu.

**Phase de latence** : La croissance est relativement faible. La plante mobilise toutes les ressources énergétiques dont elle va avoir besoin pendant la croissance.

**Phase exponentielle** **ou accélérée** : La croissance augmente rapidement. La vitesse de croissance est proportionnelle à la longueur obtenue par la plante. Le taux de croissance est constant.

**Phase linéaire** : La vitesse de croissance est constante. Suivant les espèces, cette phase est plus ou moins longue.

**Phase de ralentissement ou de sénescence**: La vitesse de croissance diminue pour enfin disparaitre. Cela peut correspondre au repos hivernal (plante pluriannuelle) ou à la mort de la plante (plante annuelle).

### Modèles théoriques

Il y a beaucoup d’études pour travailles sur les mécanismes de la croissance et pour mettre en place des modélisations de la croissance des espèces cultivées. L’objectif est que ces modèles soient prédictifs pour optimiser les rendements des plantes cultivées en question.

## Les rythmes de croissance

La croissance ne se réalise pas de façon continue tout au long de l’année mais se fait suivant les rythmes saisonniers, en fonction des conditions du milieu extérieur. On parle donc de **rythmes de croissance**.

Il y a des rythmes saisonniers, des rythmes journaliers (jour/nuit). La croissance est calée sur les paramètres de milieu définissant des **rythmes exogènes**.

Mais les plantes subissent des mécanismes de régulation hormonale qui définissent un rythme de vie propre à la plante. C’est ce que l’on appelle l’**horloge biologie** qui définit des **rythmes endogènes.**

Pour que la croissance ait lieu, il faut que les deux rythmes soient en phase.

*Voir poly*

La plupart du temps, les courbes de croissance sont toutes à peu près sigmoïdes. Elles sont souvent  **bimodale** (= deux pics de croissance). Il y a un premier pic de croissance qui correspond à démarrage de la floraison et un deuxième qui correspond à la fructification ou la préparation à l’entrée en végétation aoûtement).