**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** = 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** 🡺 **croissance isotrope**  
Sa forme initiale est conservée

La cellule **peut s’allonger** **dans une direction privilégiée**, la croissance se fait **+ rapidement** **dans une direction donnée** 🡺 **croissance 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 🡺**croissance** **symplastique** **ou symplasmique** Le symplasme est conservé

**Croissance apoplasmique** 🡺 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** **accidentelles** ou **spontanées** lors de la croissance

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** sera **tiré + profondément** dans le sol et va donc y **descendre + profondément**. Cette modification **permet au bulbe ou au tubercule** **d’être ancré** **dans une profondeur + compatible** avec son développement (organe de réserve permettant de passer la mauvaise saison).   
Le **changement de direction** dans la croissance des cellules 🡺 une **adaptation au changement de saisons**

#### Extension de la paroi squelettique

La **paroi squelettique** est le cadre, **+ ou - 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 2 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 **1er 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 +** **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 **former les microfibrilles** qui s’entrecroisent et qui sont reliées les unes aux autres par des **liaisons hydrogène** (**liaisons ioniques**) qui sont **+ 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 **+ 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 2 types de croissance : **méristèmes primaires** et **méristèmes secondaires**

### La croissance primaire

Elle se passe **au niveau des méristèmes primaires** (**bourgeons**), 4 types : **apicaux**, **axillaires**, **adventifs** et **procambium**.. 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 **méristèmes secondaires** 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** 🡺 **les feuilles**  
Les **méristèmes présents** **disparaissent**. L’arbre reforme 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 + jeunes**. Les **entre-nœuds à la base de la tige** ont une **croissance + faible** et **ceux situés à l’apex** **ont une croissance + importante** mais ce n’est pas l’entre-nœud le + 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 + 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 **+ 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 une 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 biologique** qui définit des **rythmes endogènes**

Pour que la croissance ait lieu, il **faut que les 2 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).