

**PARTIE 2E : DIVERSITÉ MORPHO-FONCTIONNELLE DES ANGIOSPERMES**  
**Chapitre II-E2 : Développement des Angiospermes**  
**II-E2-A Le développement végétatif des Angiospermes à l'interface sol / air**

*Introduction :*  
s ?

### I. Localisation et présentation des mécanismes de croissance

Le développement végétatif met en place un organisme, se développant à l'interface entre le sol et l'air. Les zones apicales comprennent des zones de division (mérèse) et de croissance cellulaire (auxèse).

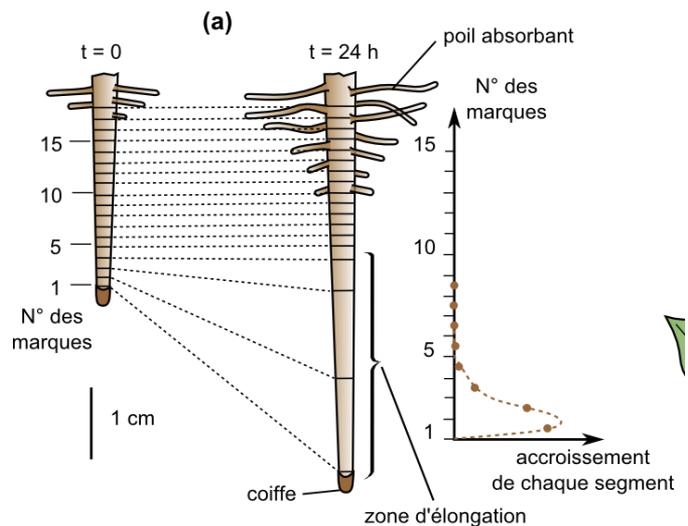
- Repérer les zones de croissance au niveau d'un organisme angiosperme ;
- Présenter l'implication de deux mécanismes cellulaires (mérèse et auxèse) dans la croissance.

Comparaison plant « adulte » / plantule → trois types de modifications : un allongement (croissance en longueur), un épaississement (croissance en diamètre) et la formation de nouveaux organes, feuilles, rameaux et racines latérales (ramifications).

1 La croissance en longueur se localise dans les zones apicales

Sur racine en croissance : il est possible de tracer à l'encre de Chine des traits équidistants (technique des traits de Sachs) et d'en assurer un suivi sur quelques jours.

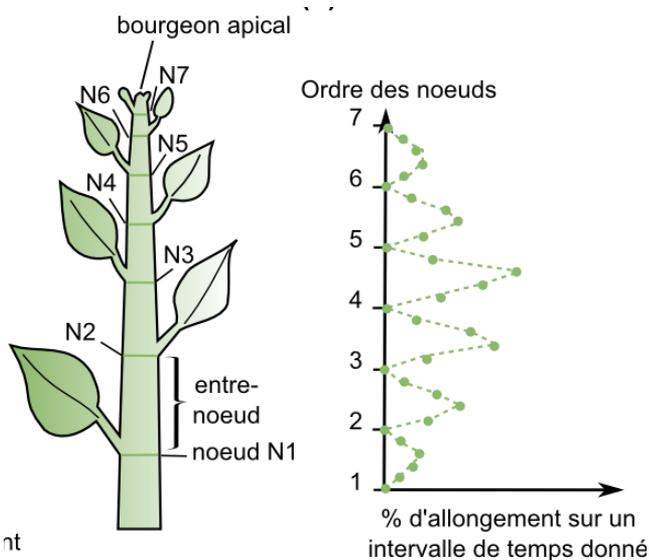
Seuls les traits situés juste au-dessus de l'extrémité ou apex sont écartés ; la croissance est donc **subterminale**.



**Figure 1 : Localisation de la croissance racinaire**

En ce qui concerne les tiges feuillées, la croissance est nulle au niveau des nœuds, zones d'insertion des feuilles ; elle est maximale vers le milieu des entrenœuds ; on parle dans ce cas de **croissance intercalaire**.

**Figure 2 : Localisation de la croissance caulinaire**



Le grandissement diffère toutefois selon le type de plantes :

- chez les plantes herbacées, entre-nœuds les plus récents (les plus proches de l'apex caulinaire) qui s'allongent ;
- chez les plantes ligneuses où une tige embryonnaire est mise en place à l'automne au sein d'un bourgeon écaillé : les entre-nœuds de la base soit les plus éloignés de l'apex qui s'allongent les premiers.

L'importance de la croissance intercalaire détermine le port de la plante ; ainsi, lorsque celle-ci est nulle, il se forme des plantes en rosette (comme *Arabidopsis thaliana*).

La croissance des feuilles est synchrone de celle des tiges ; elle est toutefois limitée ou définie à la différence de ces dernières qui ont une **croissance** illimitée ou **indéfinie**.

2 La localisation de la croissance en épaisseur (diamètre) est plus variable

La croissance en épaisseur des tiges et des racines est tout d'abord associée à la croissance en longueur dans les zones terminale et subterminale.

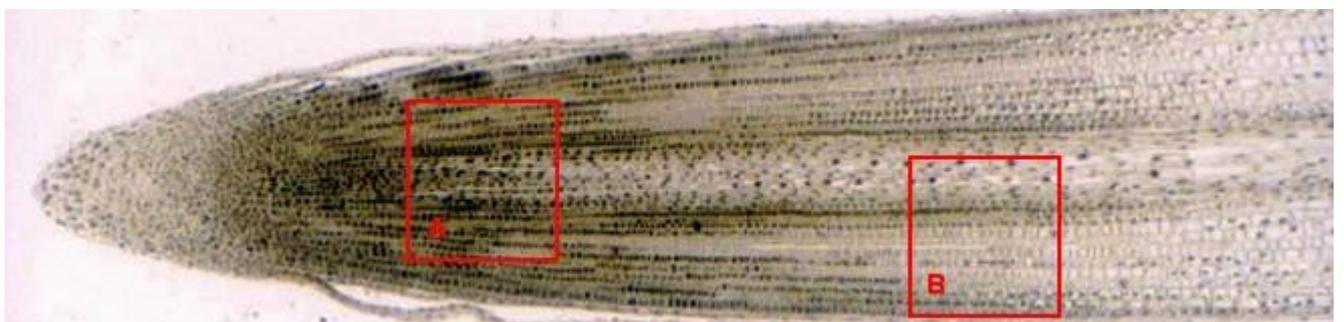
Le diamètre n'évolue plus sensiblement au-delà dans le cas des monocotylédones et de nombreuses dicotylédones herbacées. Par contre il augmente annuellement chez les dicotylédones ligneuses (arbustes et arbres) par production cyclique de couches concentriques de bois, les **cernes**, repérables sur les coupes transversales de troncs (cf. TP)

3 Les deux mécanismes cellulaires de la croissance, mères et auxères

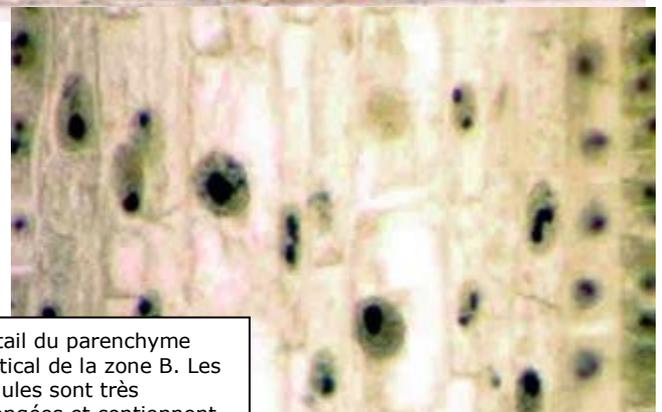
### a) Distribution des zones de mères et d'auxères

Examen de coupes longitudinales d'extrémités racinaires :

Figure 3 : coupe longitudinale d'une racine d'ail



Détail du parenchyme cortical de la zone A. On observe deux cellules en division (métaphases).



Détail du parenchyme cortical de la zone B. Les cellules sont très allongées et contiennent de grandes vacuoles.

Bilan :

- des files axiales de cellules, d'autant plus longues qu'elles sont plus éloignées des apex
- près des apex, de nombreuses figures de divisions cellulaires

## 2 processus de croissance en longueur :

- une prolifération des cellules ou **mérèse** dans les territoires les plus apicaux appelés **méristèmes primaires** (car déjà présents dans l'embryon), **méristème apical racinaire (MAR)** et **méristème apical caulinaire (MAC)** ;
- un grandissement cellulaire ou **auxèse** dans les territoires subterminaux en arrière des méristèmes, c'est-à-dire dans les zones de croissance maximale mises en évidence par les expériences des traits de Sachs.

Ce grandissement accompagne la différenciation des cellules à l'origine des **tissus primaires**.

*Remarque : cas particulier des poacées avec une croissance des entre-nœuds par le fait de **méristèmes intercalaires** présents au niveau de chaque nœud ; leur fonctionnement après la phase d'organogenèse des feuilles réalisée par le MAC détermine une croissance très rapide de la tige (montaison).*

Dans le cas de la croissance en épaisseur d'un grand nombre de dicotylédones, deux nouvelles zones de mérése, de forme concentrique, apparaissent au sein des tissus primaires ; ce sont les **méristèmes secondaires**, **cambium** pour le plus interne et **phellogène** pour le plus externe, repérables sur les coupes transversales de tiges ou de racines « âgées » de dicotylédones.

Ils produisent de nouveaux territoires cellulaires qui connaissent une auxèse très limitée (ou absente) avant de se différencier en **tissus secondaires** tel le bois.

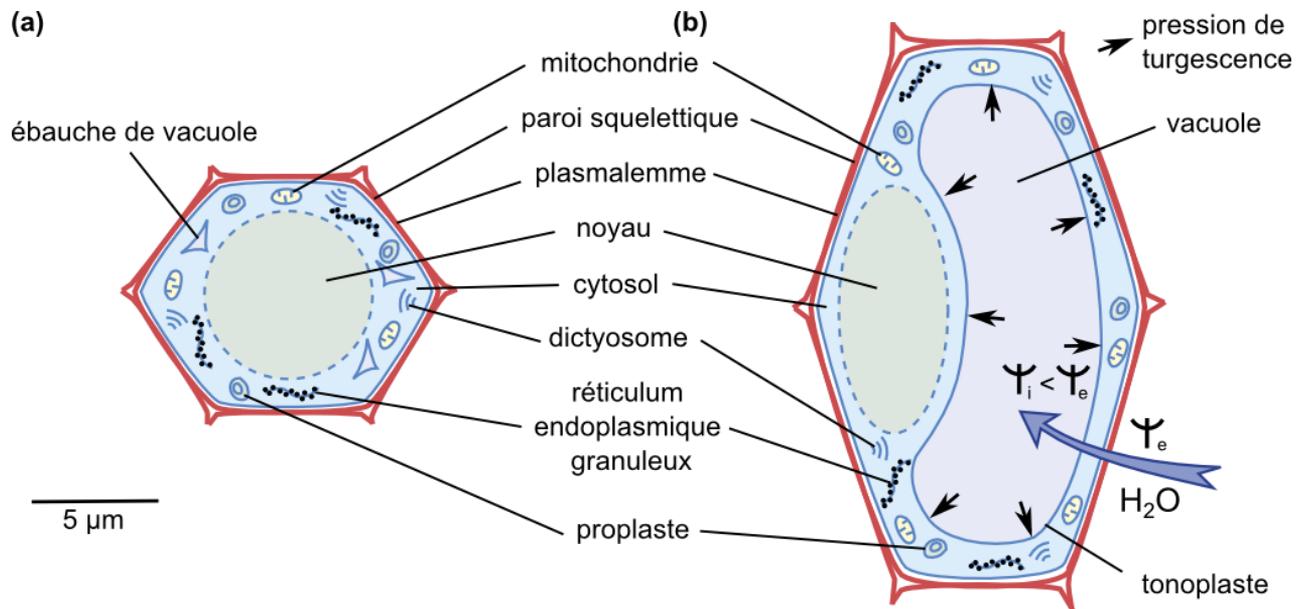
## b) Caractères des cellules méristématiques

**Les cellules des méristèmes primaires** présentent les caractères cytologiques des **cellules embryonnaires** :

- forme polygonale et faible dimension (20 à 30  $\mu\text{m}$ )
- des vacuoles réduites à quelques vésicules peu distinctes
- noyau en position centrale avec rapport nucléoplasmique égal ou supérieur à 1
- plastes de petite dimension, avec peu de lamelles (proplastes).

Leur ultrastructure témoigne d'une intense activité de synthèse cellulaire : gros nucléoles à l'interphase, nombreux ribosomes. Ces cellules sont pauvres en produits de réserve (amidon) ; leur paroi est mince et traversée de nombreux plasmodesmes.

**Les cellules des méristèmes secondaires** qui ont connu entre temps le grandissement cellulaire sont par contre de grande taille (100  $\mu\text{m}$  ou plus) et fusiformes en général ; elles possèdent une ou deux grandes vacuoles, quelques réserves et une paroi qui demeure mince.



**Figure 4** Caractères d'une cellule méristématique primaire (a) et d'une cellule en auxèse (b).

### c) Caractères des cellules en auxèse

Les cellules en auxèse diffèrent des cellules méristématiques primaires par leurs dimensions (plus de 50  $\mu\text{m}$  en général) et l'importance de leur volume vacuolaire, le noyau étant repoussé sur le côté (figure 7.2b).

Leur forme varie selon le type de grandissement :

- isodiamétrique pour les futures cellules des parenchymes caulinaires et foliaires (mésophylle),
- longitudinal pour les futures cellules des tissus de soutien, longitudinal et radial pour les futures cellules conductrices de type vaisseau.

L'auxèse résulte d'une entrée massive d'eau qui augmente le volume vacuolaire, d'un accroissement surfacique des membranes plasmique, vacuolaire, et de la déformation plastique de la paroi. Il n'y a pas d'augmentation notable du volume du cytoplasme par contre.

**BILAN :** La croissance du végétal repose sur deux processus cellulaires, la division cellulaire ou mérése, et le grandissement cellulaire ou auxèse.

Les territoires méristématiques engagés dans la croissance en longueur sont essentiellement apicaux et constituent les méristèmes primaires. *Ceux relevant de la croissance en épaisseur ne sont développés que chez les dicotylédones ; ils se situent dans les parties latérales des jeunes organes et constituent les méristèmes secondaires.*

L'auxèse a lieu en arrière des méristèmes primaires ; elle se réalise par gonflement de la vacuole suite à l'entrée d'eau.

## II. Organisation et fonctionnement du méristème apical caulinaire

Le fonctionnement de l'apex caulinaire, responsable d'une croissance indéfinie des organes aériens, détermine en outre la position des différents organes aériens.

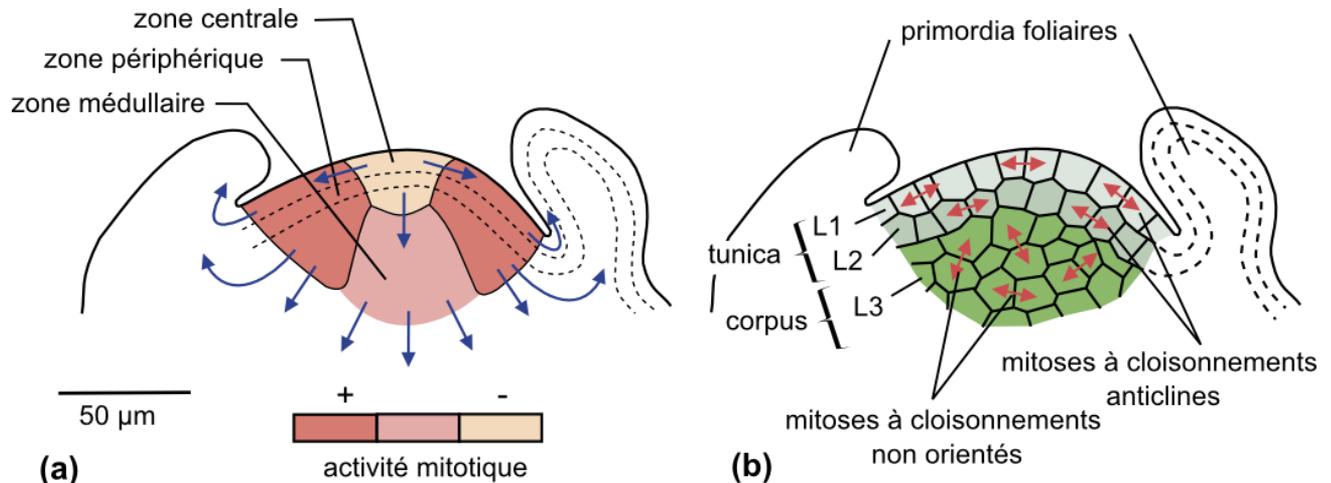
- Décrire l'organisation du méristème apical caulinaire végétatif et la relier à la mise en place d'organes et de tissus.

*Seules sont exigibles les connaissances portant sur le méristème apical caulinaire. Le contrôle*

du développement végétatif n'est pas au programme.

## 1. L'architecture du méristème apical caulinaire

Etudes sur *Arabidopsis thaliana* (brassicacée) →



**Figure 5 :** Organisation de l'apex caulinaire en coupe longitudinale : (a)- zonation en fonction de l'activité mitotique ; (b)- zonation en fonction de l'orientation des cloisonnements cellulaires. Les flèches en (a) indiquent les destinées des cellules produites par mitoses ; les doubles flèches en (b) figurent l'orientation des fuseaux mitotiques, les cloisonnements leur étant orthogonaux

### Deux façons de présenter l'architecture du MAC:

- en se fondant sur les caractères structuraux des cellules et sur la fréquence de leurs divisions (indice mitotique = rapport du nombre de mitoses au nombre total de cellules) → 3 zones : (
  - Au sommet du méristème, la **zone centrale** (ou zone axiale) : zone à cellules cubiques relativement vacuolisées, à faible rapport nucléoplasmique et à faible activité mitotique.
  - Latéralement, la **zone périphérique**, encore appelée anneau initial, avec des cellules à fort rapport nucléoplasmique, riches en ribosomes, se divisant activement.
- Sous la zone centrale, la **zone médullaire** aux cellules plus grandes, aux cadences mitotiques intermédiaires, disposées en files très nettes qui se prolongent au niveau de en se fondant sur l'orientation des plans de divisions cellulaires et la disposition résultante des cellules on constate une dualité entre :
  - les cellules de la surface, organisées en deux couches ou **tunica** chez *Arabidopsis thaliana* (notées T1, T2 ou L1, L2). Les cloisonnements cellulaires s'y font perpendiculairement à la surface de l'organe (cloisonnements **anticlines**).
  - les cellules plus profondes formant le **corpus** (noté L3); les cloisonnements cellulaires s'y font parallèlement à la surface

(cloisonnements **périclines**) et selon toutes les directions au sein du corpus.

## 2. le fonctionnement du méristème apical caulinaire

### a. mise en place des phytomères

L'architecture d'une tige feuillée est très ordonnée et organisée en phytomères successifs.

La disposition des feuilles (ou **phylloaxie**) peut être alterne (une feuille par nœud), opposée (2 feuilles par nœud) ou verticillée (plus de 2 feuilles par nœud). Toute feuille est supportée par un segment de tige (entre-nœud ou portion d'entre-nœud) et possède à son aisselle un **bourgeon** dit **axillaire** qui pourra engendrer à terme un rameau ou tige feuillée latérale.

Les phytomères sont produits de manière itérative par l'apex caulinaire à partir de nouvelles cellules qui quittent peu à peu le champ méristématique, grandissent et, selon leur position, se différencient en tissus caulinaires ou foliaires.

Différentes modalités de fonctionnement du MAC expliquent une diversité de l'architecture des tiges feuillées exprimée par leur phylloaxie.

### → Etude du cas d'une espèce à feuilles alternes comme *Arabidopsis* :

La taille de la zone centrale reste constante au cours du temps. Elle est constituée de cellules qui forment un réservoir de cellules méristématiques particulières ou « cellules souches » qui assure l'entretien et la permanence du méristème.

En revanche, la taille de la zone périphérique varie au cours du temps.

- Dans le secteur d'apparition d'un futur primordium, les divisions anticlines de la couche L1 s'accélèrent et augmentent sa surface (elle atteint son aire maximale) alors que les couches L2 et L3 développent des cloisonnements périclines et en tous sens qui induisent un bombement de l'ensemble sous forme d'initium puis de primordium foliaire.
- Ce soulèvement ampute la zone périphérique d'une partie de ses cellules (elle passe en aire minimale) ; celle-ci se reconstitue par mitoses avant qu'une nouvelle phase accélérée de mitoses, dans un secteur éloignée (à 140° environ pour *Arabidopsis*), ne débute et initie un nouveau primordium.

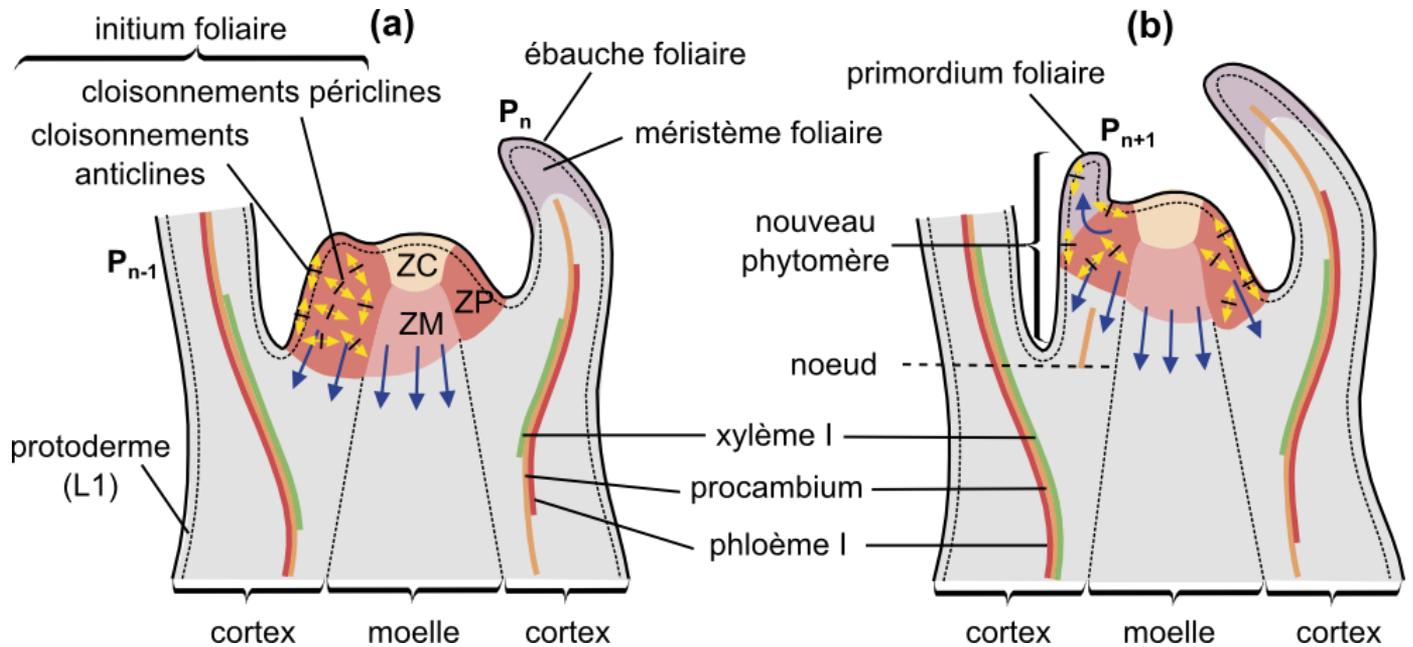
Chaque primordium foliaire nouvellement formé et constitué des trois couches L1, L2, L3, s'allonge dans une direction qui formera l'axe de la future feuille. Ses cellules périphériques et apicales conservent un temps leur pouvoir méristématique (elles ont alors valeur de méristème foliaire), assurant le grandissement du limbe, avant de s'engager dans l'auxèse et de se différencier.

Les cellules de la zone périphérique demeurant sous le primordium s'allongent très modestement dans le cas d'*Arabidopsis*, ce qui est une situation particulière déterminant le port en rosette, et constituent le cortex du nouvel entre-nœud.

Les cellules de la zone médullaire donnent naissance à la zone médullaire ou moelle de la tige.

Les primordia foliaires sont initiés suivant une géométrie précise, propre à l'espèce, qui

dépend de contraintes physiques et de compétitions biochimiques exercées par les primordia les uns sur les autres.



**Figure 6** : Mise en place en 2 étapes (a) et (b) d'un phytomère d'une tige à feuilles alternes.

Les territoires où se déroulent l'auxèse et la différenciation sont représentés en gris. L'exemple de la différenciation des tissus conducteurs est figuré.

(ZC : zone centrale ; ZM : zone médullaire ; ZP : zone périphérique)

Les bourgeons axillaires n'apparaissent à l'aisselle des ébauches foliaires qu'à un niveau relativement éloigné du méristème caulinaire apical, par dédifférenciation puis divisions de cellules superficielles (épiderme et sous-épiderme). L'amas cellulaire résultant acquiert une zonation comparable à celle du méristème caulinaire apical avec la formation des ébauches foliaires latéralement.

*Pour aller plus loin :*

*L'activité mitotique des cellules et leur engagement dans une voie de détermination donnée, à l'origine de tel ou tel organe puis de tel ou tel tissu, relèvent d'un contrôle génétique dont les bases ont été établies à partir de l'analyse de nombreux mutants d'*Arabidopsis thaliana* présentant des dysfonctionnements du MAC.*

*Deux catégories principales de gènes ont été mises en évidence chez *Arabidopsis thaliana* :*

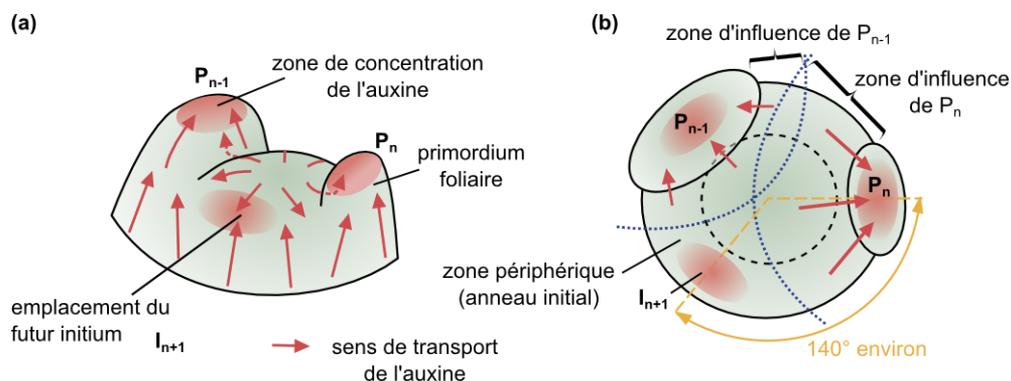
- *les gènes qui déterminent l'identité des cellules méristématiques et le fonctionnement du MAC d'une part ; le maintien de l'identité des cellules méristématiques met notamment en jeu des gènes homéotiques...*
- *les gènes qui contrôlent la différenciation des feuilles d'autre part → (cf sujet agro B sur la feuille).*

b. Un signal à base d'auxine détermine la position des primordia foliaires et la phyllotaxie des tiges.

Chaque nouvel initium apparaît au niveau de la zone périphérique dans la région présentant la plus forte concentration en auxine.

Lorsqu'un primordium est formé, il se comporte comme un puits pour l'auxine grâce à l'expression de gènes *Pin* codant pour des transporteurs auxiniques. L'auxine diffuse donc depuis l'apex et les jeunes feuilles où elle est synthétisée vers ce primordium : les régions les plus proches de ce primordium sont donc appauvries en auxine.

Le futur initium ne peut apparaître que dans la région de la zone périphérique la plus éloignée des derniers primordia (hors du champ d'influence de chacun), là où l'auxine est susceptible de s'accumuler et où les cellules méristématiques ne sont pas encore engagées dans l'organogenèse. Cette seule possibilité conduit à une disposition invariante des feuilles qui correspond à un angle de  $140^\circ$  environ entre feuilles successives chez *Arabidopsis*. Ainsi la distribution de l'auxine au sein de l'apex, en lien avec l'expression des gènes *PIN* qui codent pour la production de transporteurs auxiniques, constitue pour les cellules une **information de position**.



**Figure 7** : Transport de l'auxine au niveau apical (a : vue de profil ; b : vue de dessus) et détermination de l'emplacement du futur initium  $I_{n+1}$

La zone d'influence (d'inhibition) exercée par chaque primordium est d'autant plus petite que celui-ci est âgé.

Cette architecture très ordonnée se perpétue ultérieurement lors de la ramification, chaque feuille possédant à son aisselle un bourgeon axillaire susceptible d'engendrer une pousse latérale ou rameau.

### c. Les destinées des cellules

Le lignage cellulaire défini par les modalités de cloisonnement permet de suivre la destinée des cellules.

Les cellules qui quittent le MAC, même si elles gardent au début de leur évolution une structure semblable à celles des cellules méristématiques, sont engagées dans un programme génétique de développement précis ; elles sont **déterminées** à former une feuille ou une portion d'entre-nœud et perdent peu à peu leur caractère de cellules totipotentes.

Elles s'engagent dans un double processus associant grandissement cellulaire et différenciation cellulaire. Au terme de ces processus, et pour ce qui est d'*Arabidopsis*, L1 engendre l'épiderme, L2 produit le parenchyme cortical et le parenchyme chlorophyllien

des feuilles (mésophylle), L3 les tissus conducteurs et le parenchyme médullaire.

L'effacement du caractère méristématique ne s'effectue pas pour toutes les couches à la même vitesse :

- ainsi L1 conserve un temps un caractère méristématique sous forme d'un protoderme
- et dans L3 des cellules déjà un peu allongées conservent aussi une activité mitotique pendant un temps : elles forment le **procambium** à l'origine des tissus conducteurs primaires ; les cordons procambiaux se forment dans les primordia foliaires et se prolongent de manière basipète dans les entre-nœuds qui les supportent.

Chez une majorité des dicotylédones, l'activité méristématique procambiale se poursuit au-delà de la mise en place des tissus conducteurs primaires ; et est à l'origine du **cambium fasciculaire**, c'est-à-dire de l'amorce d'un méristème secondaire. La **dédifférenciation** de certaines cellules du parenchyme médullaire entre les faisceaux conducteurs primaires engendre un **cambium interfasciculaire**, rendant ainsi continue l'assise cambiale qui produit des tissus secondaires, xylème secondaire ou bois et phloème secondaire ou liber.

Pour ce qui est du phellogène, autre méristème secondaire, il provient, tout au moins la première année, de la dédifférenciation de cellules du parenchyme cortical en général. Son activité mitotique est à l'origine d'un autre tissu secondaire, en position périphérique, le liège ou suber.

Méristèmes primaires		Tissus primaires	Méristèmes secondaires	Tissus secondaires		
Zone périphérique (anneau initial)	→ protoderme (L1)	→ épiderme	→ phellogène (T)	→ liège ou suber (T)		
	(L2)	parenchyme cortical (T) parenchyme foliaire (F)				
	→ procambium (L3)	collenchyme sclérenchyme phloème primaire xylème primaire			→ cambium fasciculaire	phloème secondaire ou liber xylème secondaire ou bois
Zone médullaire	(L3)	parenchyme médullaire (T)				

**Figure 8** Origines des tissus caulinaires et foliaires chez les dicotylédones.

(T) : tissus spécifiques des tiges ; (F) : tissu spécifique des feuilles.

Finalement, le méristème apical caulinaire à l'origine d'organes (la tige principale et les feuilles) et de tissus primaires est à la fois **organogène** et **histogène**. Son maintien tout au long de la vie de la plante détermine une **croissance continue** ou **indéfinie** du végétal, contrairement à la croissance définie propre

au développement animal. Ce mode de croissance permet aux plantes, en dépit de leur immobilité, d'utiliser au cours de leur vie de plus en plus d'espace, au-dessus et au-dessous de la surface du sol, et de renouveler certains organes sénescents (les feuilles en particulier). Par comparaison, les méristèmes secondaires ne sont qu'histogènes (production de tissus secondaires).

**BILAN :** Le méristème apical caulinaire présente une activité de division qui se répartit en trois régions, la zone centrale faiblement mitotique qui assure l'entretien du méristème par renouvellement de cellules souches, la zone médullaire plus active qui produit les cellules à l'origine de la moelle de la tige, et la zone périphérique, la plus active, qui engendre périodiquement les cellules destinées au cortex de la tige et aux feuilles. La position où sont initiées les futures feuilles est notamment tributaire de la distribution au sein de la zone périphérique d'une phytohormone, l'auxine, et se situe là où celle-ci est la plus concentrée. Le MAC est ainsi à la fois organogène et histogène. En fonction de la position dont héritent les nouvelles cellules qui quittent le méristème apical, le grandissement cellulaire et la différenciation conduisent à la mise en place des tissus primaires caulinaires et foliaires. C'est en leur sein qu'apparaissent chez les dicotylédones les méristèmes secondaires à l'origine de tissus secondaires qui assurent la croissance en diamètre des tiges.

### **III. Auxèse et mode d'action de l'auxine**

- expliquer les effets de l'auxine dans le contrôle de l'auxèse.

*La voie de transduction et les mécanismes moléculaires de transport de l'auxine ne sont pas au programme.*

1°) les modalités du grandissement cellulaire

a. Une entrée d'eau

→ entrée initiée par abaissement du potentiel hydrique résultant de :

- l'abaissement de la pression de turgescence par relâchement pariétal (assouplissement)
- l'augmentation de concentration en solutés de la vacuole
- des deux effets combinés...

Rappel :

$\Psi_i$  (potentiel hydrique de la cellule) =  $\Psi_h + \Psi_o$  avec  $\Psi_h = P_i$ , pression hydrostatique vacuolaire ou de turgescence et composante osmotique  $\Psi_o = -\Pi_i$ , pression osmotique

donc  $\Delta\Psi_{e \rightarrow i} = (\Psi_i - \Psi_e)$  est alors négatif : de l'eau pénètre dans la cellule qui s'étire alors...

b. Un relâchement de la paroi primaire

Le relâchement des contraintes nécessaire au grandissement peut être obtenu d'au moins deux manières :

- par rupture temporaire des liaisons H intercaténares entre cellulose et glissement, écartement des fibrilles les unes par rapport aux autres ; ce processus mobilise en particulier de petites protéines présentes dans l'apoplasme, les expansines ;
- par coupure temporaire des molécules d'hémicelluloses qui relient des fibrilles voisines, coulissage et reconstitution des liaisons covalentes rompues. Sont mises en jeu dans ce cas des enzymes comme les xyloglycane-endotransglycosylases (XET).

D'autres mécanismes modifiant les interactions entre pectates et cellulose sont également

à prendre en compte car certaines parois primaires sont très pauvres en hémicelluloses. Par ailleurs le type de grandissement (isodiamétrique, par élongation ou par élargissement) est fonction de l'architecture initiale du réseau de fibrilles de cellulose. En effet l'allongement est difficile voire impossible parallèlement aux fibrilles dont la rigidité est assimilable à celle d'un fil d'acier à même diamètre. C'est donc la disposition des microfibrilles de cellulose, établie par l'agencement du réseau de microtubules sous la membrane plasmique, qui détermine les modalités de la croissance cellulaire isotrope (futures parenchymes) ou anisotrope (futurs tissus de soutien et de conduction).

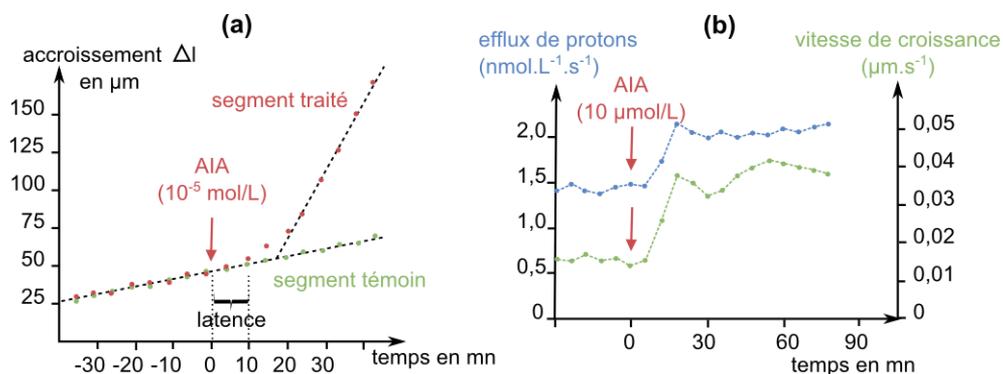
Ce relâchement de la paroi s'accompagne de nombreuses synthèses dont :

- celle de nouveaux composés pariétaux ce qui maintient constante l'épaisseur de la paroi, préserve sa résistance et assure son extension surfacique,
- celle des composants lipo-protéiques des membranes en extension (plasmalemma et tonoplaste).

### c. Le contrôle du grandissement cellulaire par l'auxine

#### Mise en évidence expérimentale

Les expériences ont notamment porté sur des fragments de jeunes coléoptiles dont la croissance est inachevée.



**Figure 7.8** Effet d'un traitement à l'auxine de jeunes segments de coléoptiles d'avoine (a) et corrélation entre l'élongation d'un segment et l'efflux de protons suite à l'addition d'auxine (b).

Lorsque les segments de jeunes coléoptiles sont placés dans un milieu de culture (sels minéraux et saccharose comme source de carbone), leur élongation se poursuit à faible vitesse (segment témoin (a)). Si on ajoute au milieu de l'auxine (segment traité (a)), on constate une accélération spectaculaire de la croissance après un temps de latence de 10 mn environ ce qui suggère que l'auxine agit sur des cibles déjà présentes au niveau cellulaire.

Par ailleurs il avait été constaté qu'il était possible d'augmenter l'extensibilité de la paroi en acidifiant le milieu de culture ce qui a conduit à suivre l'évolution du pH dans le milieu extracellulaire suite à un traitement par l'auxine. Le suivi simultané de l'élongation et du pH montre dans ce cas une corrélation très nette entre l'efflux de protons et l'élongation après l'injection d'auxine, avec toujours une latence d'une dizaine de minutes (b).

L'application d'auxine sur des protoplastes de tabac déclenche en quelques minutes, outre la baisse du pH extracellulaire (de 6,5 à 4,5), une hyperpolarisation membranaire. Cet effet est inhibé par les anticorps anti-ABP (*Auxin Binding Proteins* – protéines fixant l'auxine).

En vue de rechercher des effets à plus ou moins long terme de l'auxine sur l'expression génique, les

ARNm extraits de tissus traités ou non par l'auxine ont été comparés en pratiquant l'électrophorèse des produits de leur traduction *in vitro*. Quinze minutes après le début du traitement, on met ainsi en évidence la présence d'ARNm dont la traduction donne des protéines « précoces ». Quelques heures après apparaissent les ARNm des protéines « tardives » ce qui signifie que l'auxine agit sur l'expression génétique en deux temps.

### Modes d'action

Premier effet de l'auxine : modification de la perméabilité membranaire par une activation d'ATPases-H<sup>+</sup> dépendantes (pompes à protons) du plasmalemme

- ➔ acidification de la paroi et une hyperpolarisation du plasmalemme (sa polarité s'accroît de 25 mV environ 30 à 40 s après l'injection d'AIA)
- ➔ modifications membranaires ➔ l'ouverture de canaux entrants d'ions K<sup>+</sup>.
- ➔ acidification de la paroi ➔ la rupture des liaisons faibles entre constituants pariétaux par activation des expansines et des XET voire d'exocellulases.
  - relâchement de la trame pariétale
  - abaisse le potentiel hydrique  $\Psi_i$  (par diminution de la pression de turgescence  $P_i$ )
  - entrée d'eau dans la vacuole.

L'entrée simultanée d'ions hydrosolubles (K<sup>+</sup>) évite la dilution du suc vacuolaire consécutive à l'entrée d'eau et assure le maintien voire abaisse la valeur du potentiel osmotique vacuolaire ; l'entrée d'eau et la pression de turgescence sont entretenues en conséquence.

Second effet parallèle : l'auxine active la transcription de gènes « précoces » codant des facteurs de transcription dont les cibles sont les gènes dits « tardifs » et des enzymes destinées à dégrader ou à inactiver l'auxine. Les protéines « tardives » sont entre autres des substances indispensables au maintien de la croissance cellulaire (enzymes de synthèse des constituants pariétaux et membranaires, canaux potassiques, aquaporines...) puisque doivent être assurées l'augmentation surfacique de la paroi, du plasmalemme, du tonoplaste, et l'apposition de nouvelles couches de matériaux pariétaux, de manière à maintenir constante l'épaisseur de la paroi. Leur nature exacte est en cours de détermination.

La croissance cellulaire s'achève lorsque la stimulation due à l'auxine disparaît (inactivation par des peroxydases..) ou lorsqu'une paroi secondaire inextensible se forme.

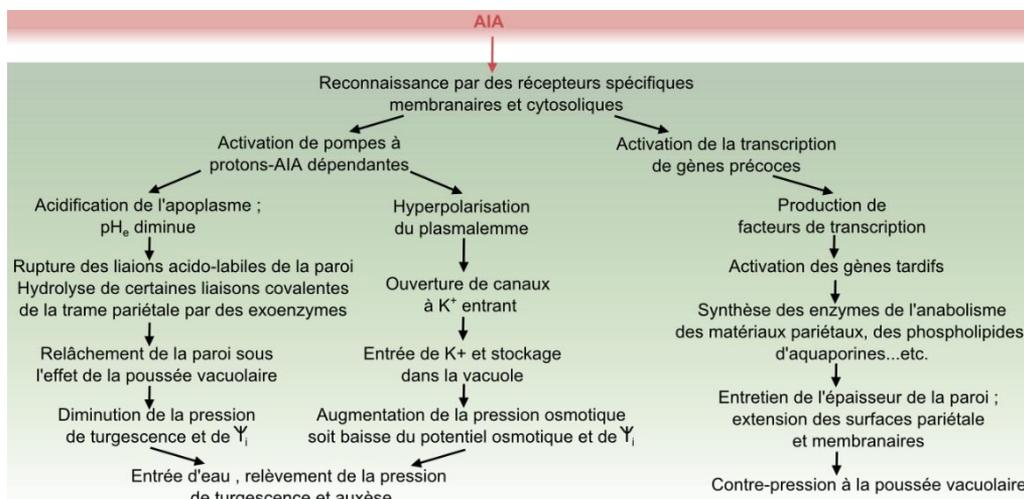


Figure 7.9 Les effets en cascades de l'auxine sur le grandissement cellulaire.

En résumé, l'auxine, par activation des pompes à protons du plasmalemme, provoque l'acidification de la

paroi qui induit son relâchement et l'entrée corrélative d'ions  $K^+$  ; ces deux effets abaissent le potentiel hydrique de la cellule et provoquent l'entrée d'eau. Elle agit également sur l'expression génique en deux temps, en activant la transcription de gènes « précoces » puis celle de gènes « tardifs » qui concourent à l'entretien du grandissement (synthèse de nouveaux composés pariétaux et membranaires notamment).

- puits d'utilisation : décharge symplasmique
- puits de stockage : décharge symplasmique (si conversion enzymatique des molécules qui sont livrées) ou apoplasmique...avec une certaine plasticité comme dans les processus de charge !

3°) charge et décharge des assimilats photosynthétiques sont à l'origine de la circulation de la sève élaborée suivant un gradient de pression hydrostatique

→ planche illustration sève élaborée et doct annexe page 2

→ La circulation de la sève élaborée est la conséquence de la charge et de la décharge du complexe phloémien en matières organiques qui génèrent un gradient de pression hydrostatique entre sources et puits.

→ Plus un puits est actif (on parle de la force du puits), plus il détourne vers lui la sève élaborée...une véritable compétition s'installe donc entre puits, très souple au cours du temps...

### III. Feuilles et organes de réserve végétatifs épousent deux statuts au cours de leur vie saisonnière : organes puits et organes sources

- Identifier et analyser la fonction de réserve d'un organe végétatif au choix, à l'échelle de l'organe, de la cellule, des molécules (mise en réserve, nature des réserves, localisation, mobilisation) .

- Pour l'organe de réserve choisi, expliquer la mise en réserve végétative et la mobilisation des réserves, et les mettre en relation avec les contraintes saisonnières du milieu tempéré. *L'étude des mécanismes est limitée à un exemple pris sur un organe de réserve.*

1°) Les ébauches foliaires sont des organes puits qui deviennent sources via l'activité photosynthétique et en se dotant pour certaines des systèmes de charge active du phloème

2°) Les organes de réserve ont aussi un rôle fluctuant au cours des saisons : organes puits puis sources

- a. étude d'un exemple : intégration trophique des tubercules caulinaires chez la pomme de terre  
→ planche illustration pomme de terre
- b. généralisation

### Conclusion: