

>David BERRY

1752 Chemin de Mahault

Vernou

97170 PETIT-BOURG

0690 55 73 16

wddestinee@gmail.com

N°FFB: KAR190314AG

Mémoire Passage de Niveau 3 Fédération Française de Bonsaï (FFB)

28 au 30 Novembre 2014_Petit-Bourg GUADELOUPE

- Tutorat : Jean-Bernard GALLAIS
- Membre du jury :
 - Jean-Bernard GALLAIS
 - Michel AUGEIX
 - Pierre HERAULT
 - Fredy FILIOT
 - Dominique MICHEL

PROPORTIONS ET CONICITES : TECHNIQUE et RAPPORT au TEMPS

SOMMAIRE

I. Introduction	p 3
II. La croissance des arbres	p 3
II.A La cellule	p 3
II.B Les Méristèmes	p 6
II.B.a Méristème à activité limité	p 7
II.B.b Méristème à activité illimité	p 8
II.C Régulation des méristèmes et effet sur la croissance	p 9
II.C.a Les facteurs internes	p 11
II.C.b Les facteurs externes	p 11
II.C.c La croissance en longueur	p 14
II.C.c.1 Le méristème apical caulinaire (MAC)	p 14
II.C.c.2 L'elongation cellulaire	p 18
II.C.c.3 Le méristème apicale racinaire (MAR)	p 21
II.C.d La croissance en épaisseur	p 24
II.D Les hormones végétales	p 28
II.E Les facteurs environnementaux	p 32
II.F Cycles biologiques	p 36
II.F.a Cycle du développement	p 37
II.F.b Cycle annuel de la croissance	p 38
II.F.c Cycle cellulaire	p 40
III. Proportions et conicités	p 41
III.A Le nombre d'or	p 41
III.B Technique et rapport au temps	p 42
III.B.a Exemples	p 44
III.B.b Expériences personnelles	p 48
IV. Conclusion	p 52

I. Introduction

Les bonsaï qui m'ont le plus marqués, avaient tous des proportions et une conicité incomparables, mise à part les « lettré » ou les « style du lettré ».

Les arbres que j'ai pu apprécier avec de moindre proportions, n'étant pas moins beaux, mais ils m'ont inspiré une sensation de jeunesse, de manque de maturité.

Très souvent, au défaut de proportion est couplé un manque de conicité. Le premier a une influence sur la pérennité de l'arbre et sur l'illusion de la maturité, tandis que le second joue sur la perception de l'harmonie.

L'intérêt de comprendre les paramètres, dont dépendent les proportions et la conicité, devient

une priorité si l'on veut les maîtriser et construire des bonsaï à l'image de nos références.

Les deux aspects qu'il me paraît judicieux d'aborder sont, les phénomènes physiologiques de la croissance avec leurs facteurs, et le rapport au temps qu'ils imposent à l'application des techniques bonsaï.

Ils sont sans aucun doute, au service de la formation des troncs et des branches, en fonction de ce que l'arbre doit exprimer au final.

II. La croissance des arbres

La connaissance du fonctionnement de l'arbre est un élément primordial lorsque l'on pratique le bonsaï.

Toutes les techniques horticoles appliquées à nos chers protégés ne peuvent induire les résultats escomptés, que par un bon équilibre entre la maîtrise de ces techniques et la physiologie du sujet. Autrement dit, il s'agit d'appliquer le bon geste au bon moment, sur les bonnes espèces.

Le bon geste signifie le choix de la bonne technique, quel type de taille par exemple, sur quelle partie de l'arbre et qu'elles en sont les réponses physiologiques en fonction des objectifs recherchés.

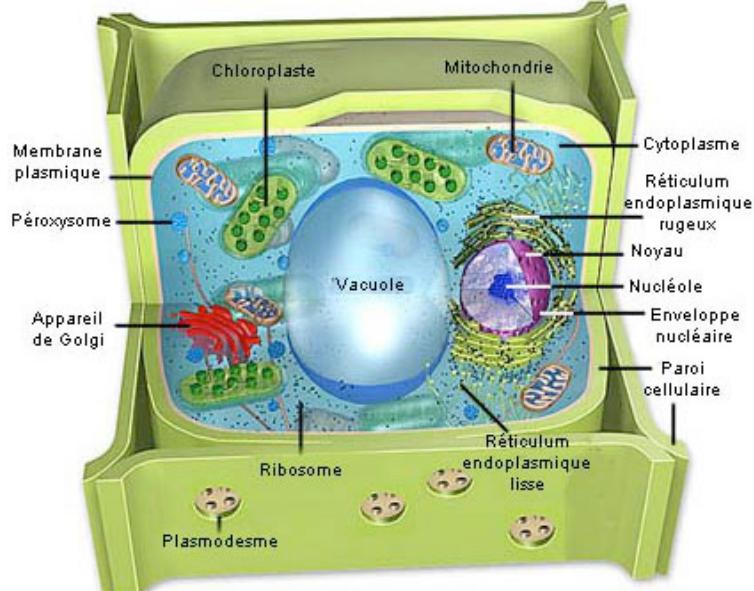
Le bon moment permet de s'assurer que l'arbre se trouve dans les conditions favorables, selon son cycle biologique, et dans un état de force et de santé adéquate.

Quant à la bonne espèce, cela dépend directement de la génétique.

Ce chapitre permet donc de comprendre les mécanismes de la croissance, les paramètres qui l'influencent et les périodes pendant lesquelles ils s'expriment.

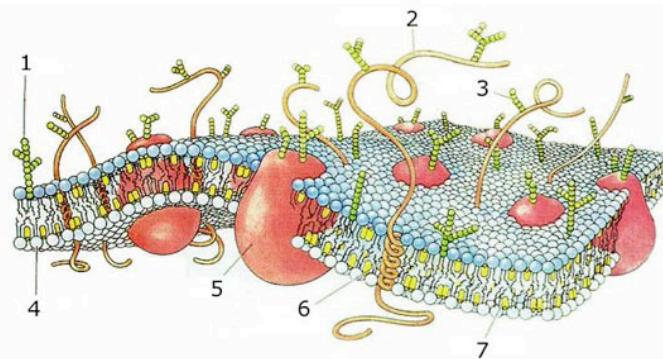
II.A La cellule

La cellule est le siège du fonctionnement de l'arbre, elle est très organisée.



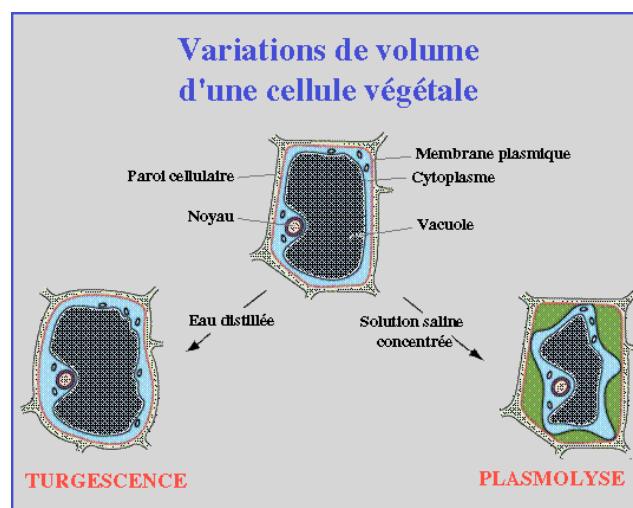
Elle est délimitée par une première paroi, la paroi squelettique qui participe à la rigidité globale, et donc au port de l'arbre. Les parois squelettiques associées les unes aux autres et rendues très rigides finissent parfois par devenir étanches et créeront les canaux dans lesquels circule la sève.

La deuxième paroi est la membrane plasmique ou cellulaire. Elle renferme le cytoplasme dans lequel on peut observer des éléments tels que, les vacuoles, les chloroplastes, les grains d'amidon et le noyau comprenant le matériel génétique.



- 1 et 3. des glucides qui sont soit accrochés à des lipides (on parle de glycolipides 1), soit accrochés à des protéines (on parle de glycoprotéines 3).
 2, 5 et 6. des protéines (ce sont par exemple des canaux pour les échanges entre intérieur et extérieur de la cellule, ou des protéines de surface (comme les protéines A ou B des globules rouges)).
 4. les phospholipides composant la bicoche lipidique.
 7. des cholestérols (aussi des lipides) épargnés parmi les phospholipides.

La vacuole remplie notamment d'eau, de molécules organiques et d'ions, se gonfle et rétrécit en fonction de la quantité d'eau présente dans l'arbre. En gonflant, la vacuole augmente, tant que les différentes membranes le permettent, la dimension des cellules. Grâce à la tension de turgescence qui est créée, le maintien et la rigidité des tissus végétaux sont assurés. Au contraire, par manque d'eau, les vacuoles se vident, la tension cellulaire chute et les tissus végétaux deviennent flasques, sans tenue. C'est le cas des tiges et feuilles de nos bonsai quand ils atteignent le seuil de flétrissement en cas de manque d'eau.



Les chloroplastes sont le lieu qui renferme la photosynthèse, phénomène qui produit l'énergie nécessaire, à la fabrication des sucres. Ces ressources carbonatées sont assemblées à partir des photons issus des rayons du soleil, du CO₂, de l'eau et des sels minéraux. Ces sucres représentent la matière première nécessaire à la croissance de nos arbres. C'est donc dans ces chloroplastes, que l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique, la forme utilisable par les plantes.

QuickTime™ and a decompressor are needed to see this picture.

Les statocystes (cellules possédant les grains d'amidon) jouent quant à elles un rôle primordial dans le géotropisme.

Les cellules sont organisées, structurées et regroupées selon qu'elles soient spécialisées ou méristématiques. Une fois différenciée, la cellule passera sa vie à exercer sa fonction, mais si besoin est, elle redeviendra indifférenciée.

L'activité méristématique est en grande partie conditionnée par le contrôle du cycle cellulaire.

Ce cycle cellulaire se divise en quatre phases :

1. La phase G1 est la période correspondant à son activité spécifique, ce pourquoi la cellule s'est spécialisée.
2. La phase S est une phase de réPLICATION de l'ADN.
3. La phase G2 est la préparation à la division cellulaire, la mitose, où toutes les molécules nécessaires à ce processus sont synthétisées.
4. La phase M est la division cellulaire proprement dite, la mitose, composée elle-même de quatre phases (prophase, métaphase, anaphase et télophase).

Chacune des étapes du cycle est contrôlée de façon à assurer son bon déroulement, mais aussi afin de répondre à une quelconque perturbation comme un stress physiologique.

QuickTime™ and a decompressor are needed to see this picture.

II.B Les méristèmes

La vie d'une cellule débute par un stade embryonnaire, c'est-à-dire qu'elle ne possède aucune fonction dédiée. Elle est une cellule totipotente ou indifférenciée. Cette jeune cellule est

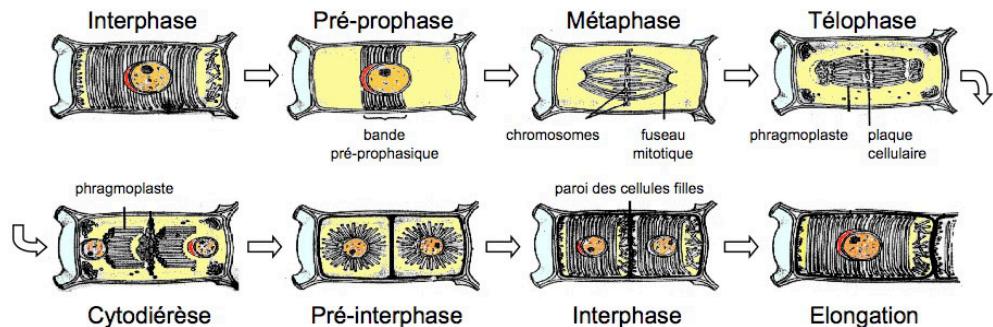
située dans une zone très active, dans laquelle s'initient des divisions cellulaires, donnant ainsi naissance à un ensemble de nouvelles cellules, capables de se spécialiser en n'importe quel tissu ou organe végétal.

Cette zone très active est composée d'un amas de plusieurs cellules indifférenciées que l'on nomme le méristème.

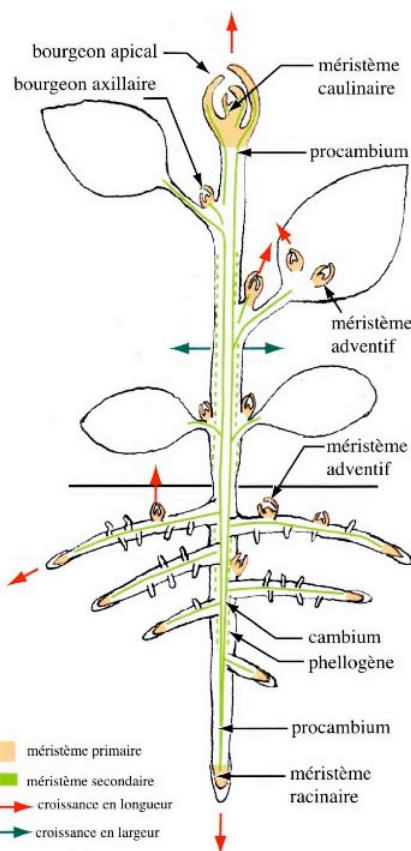
Il existe des méristèmes tout le long de l'arbre et ce depuis la formation de la graine.

Ainsi, dès les premiers stades du développement, les cellules méristématiques se divisent.

La mitose



Le résultat est une croissance des tissus végétaux partout où se trouvent les méristèmes. Les différents groupes de cellules méristématiques vont se spécialiser grâce à un équilibre hormonal en perpétuel déplacement, évoluant en fonction de l'information génétique intrinsèque de l'espèce et du contexte environnemental.



Il se forme donc avec le temps, la graine, la tige, les bourgeons, les feuilles puis le tronc.

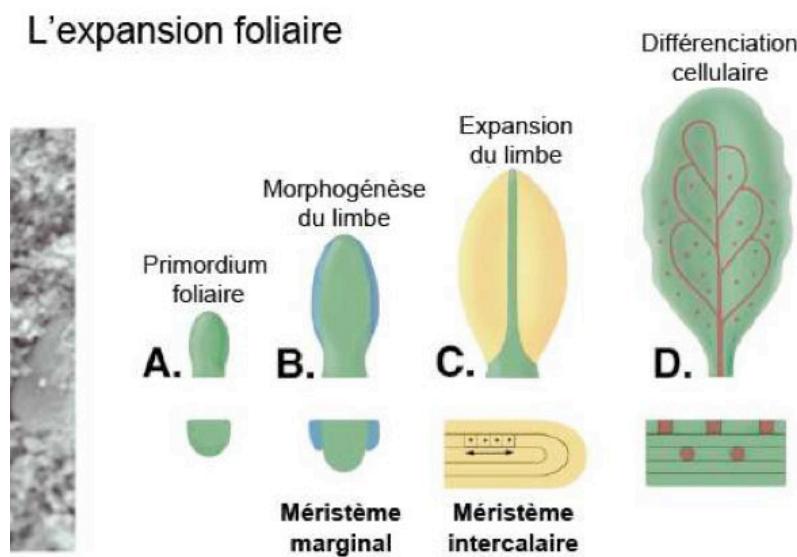
QuickTime™ and a decompressor are needed to see this picture.

Nous considérons deux grands types de méristèmes :

- Les méristèmes à activité limitée
- Les méristèmes à activité illimitée

II.B.a Les méristèmes à activité limitée

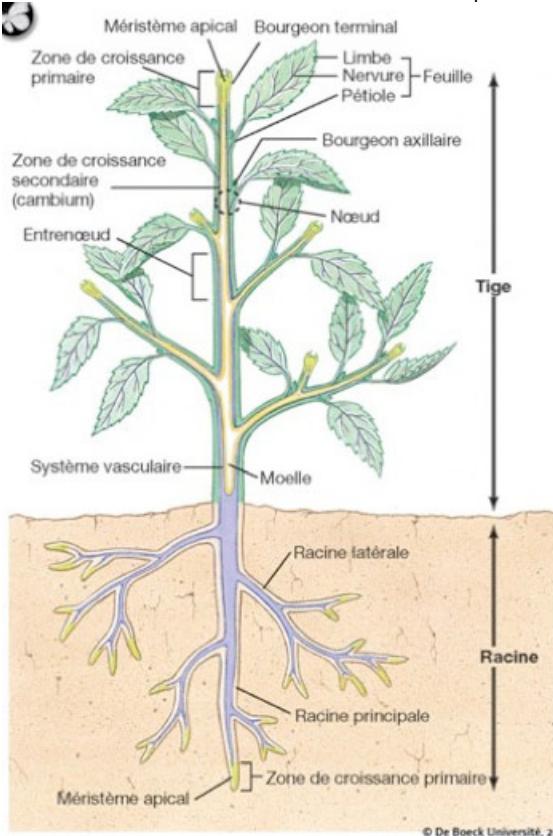
Les méristèmes à activité limitée sont responsables de la croissance des feuilles et des entre-nœuds. Ils s'épuisent et restent principalement dépendants des acteurs génétiques. Les feuilles de chênes pédonculées ou de mangle seront toujours plus grandes que celles d'un buis ou d'un campêche. Une fois sa croissance achevée, une feuille ne peut pas se régénérer si elle est altérée.



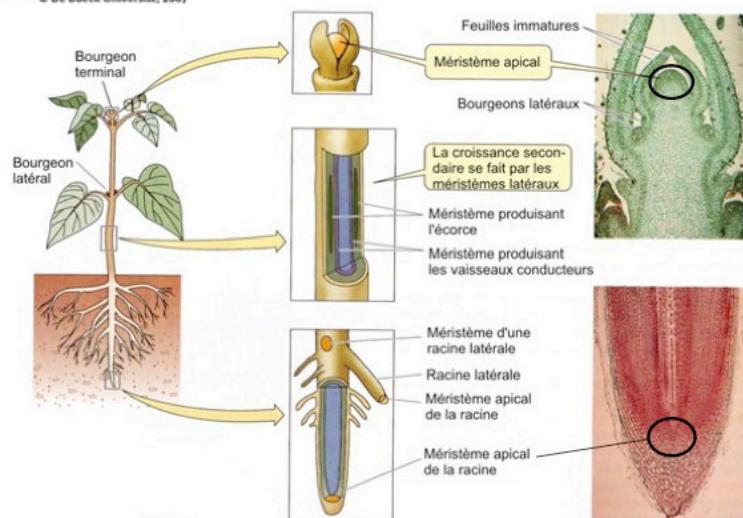
II.B.b Les méristèmes à activité illimitée

Les méristèmes à activité illimitée ne s'épuisent pas tant que la santé du végétal le permet. Ils se rencontrent au niveau des nœuds, des bourgeons axillaires et terminaux, des zones d'auxèse,

dans la coiffe des racines et dans le tronc par le cambium et le phellogéne.



© De Boeck Université, 2007



Il conviendra donc de s'intéresser à quatre types de méristèmes différents :

1. Les méristèmes apicaux sont retrouvés à l'extrémité des axes principaux, dans les bourgeons terminaux. C'est le méristème caulinaire.
2. Les méristèmes adventifs sont retrouvés au niveau des bourgeons axillaires.
3. Les méristèmes secondaires ou latéraux sont responsables de la croissance en épaisseur, il s'agit du cambium et du liber.
4. Les méristèmes racinaires agissent dans la zone de division cellulaire et dans la coiffe de la racine.

La compréhension du fonctionnement et de la régulation de ces méristèmes, responsables de la formation et de la régénération des organes adultes des arbres, est primordiale pour les travaux sur la recherche de conicité et de proportion.

Les méristèmes caulinaires et racinaires assurent la croissance en longueur, tandis que les secondaires et adventifs la croissance en largeur.

Méristèmes primaires et secondaires

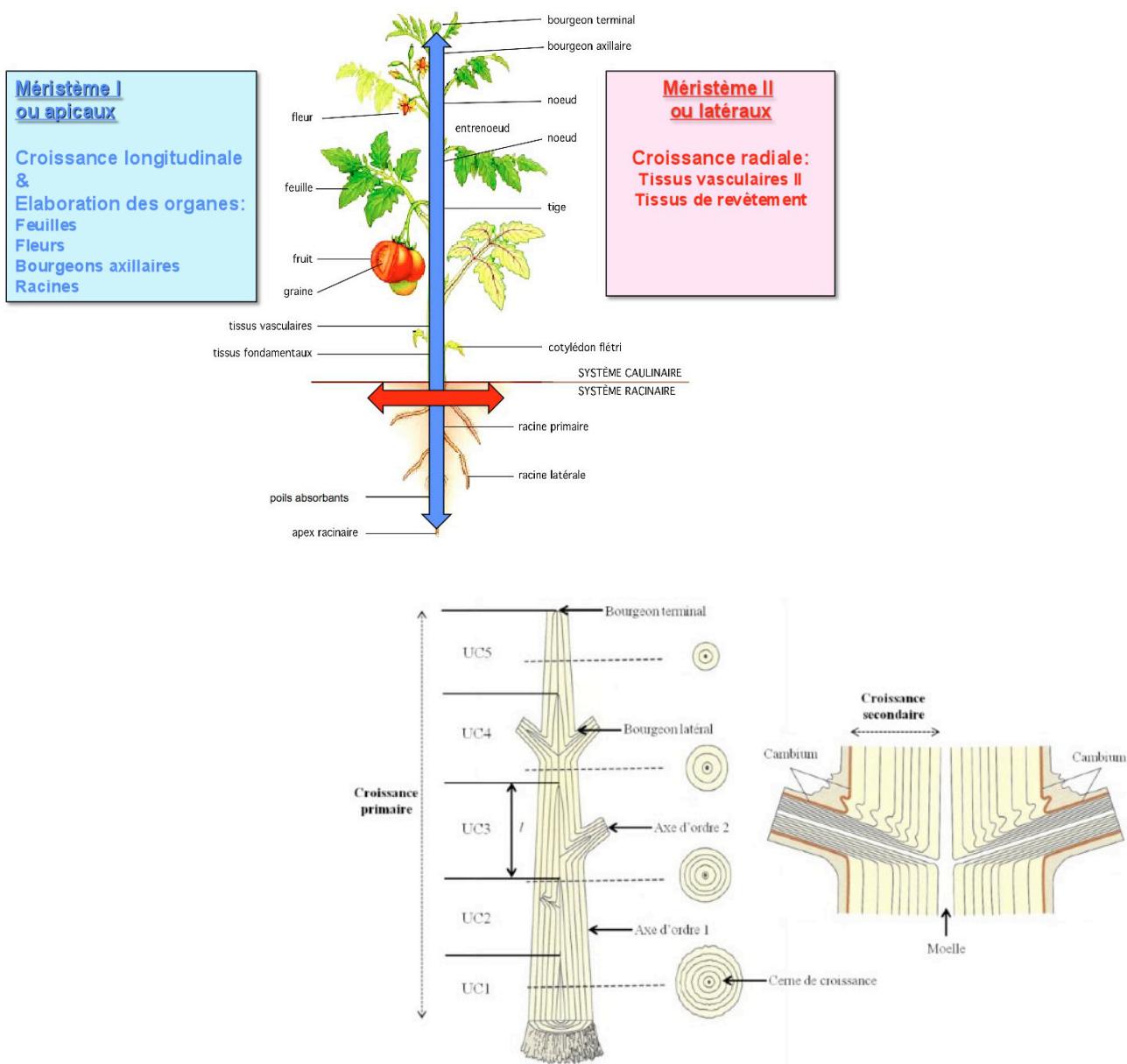


Figure 3 : Mise en place de la structure arborescente.

Or, la maîtrise de la conicité est bel et bien un rapport direct entre la largeur de la base et la hauteur du bonsaï. Le type de conicité résulte donc directement de l'activité et de la régulation des méristèmes.

II.C Régulation des méristèmes et effet sur la croissance

La « régulation des méristèmes » revient à dire « régulation de la croissance ». L'intensité de l'activité méristématisante est le résultat d'un système complexe très orchestré. Ce système est composé de plusieurs groupes interagissant les uns sur les autres et dont le fonctionnement global correspond à une moyenne de chaque activité du groupe.

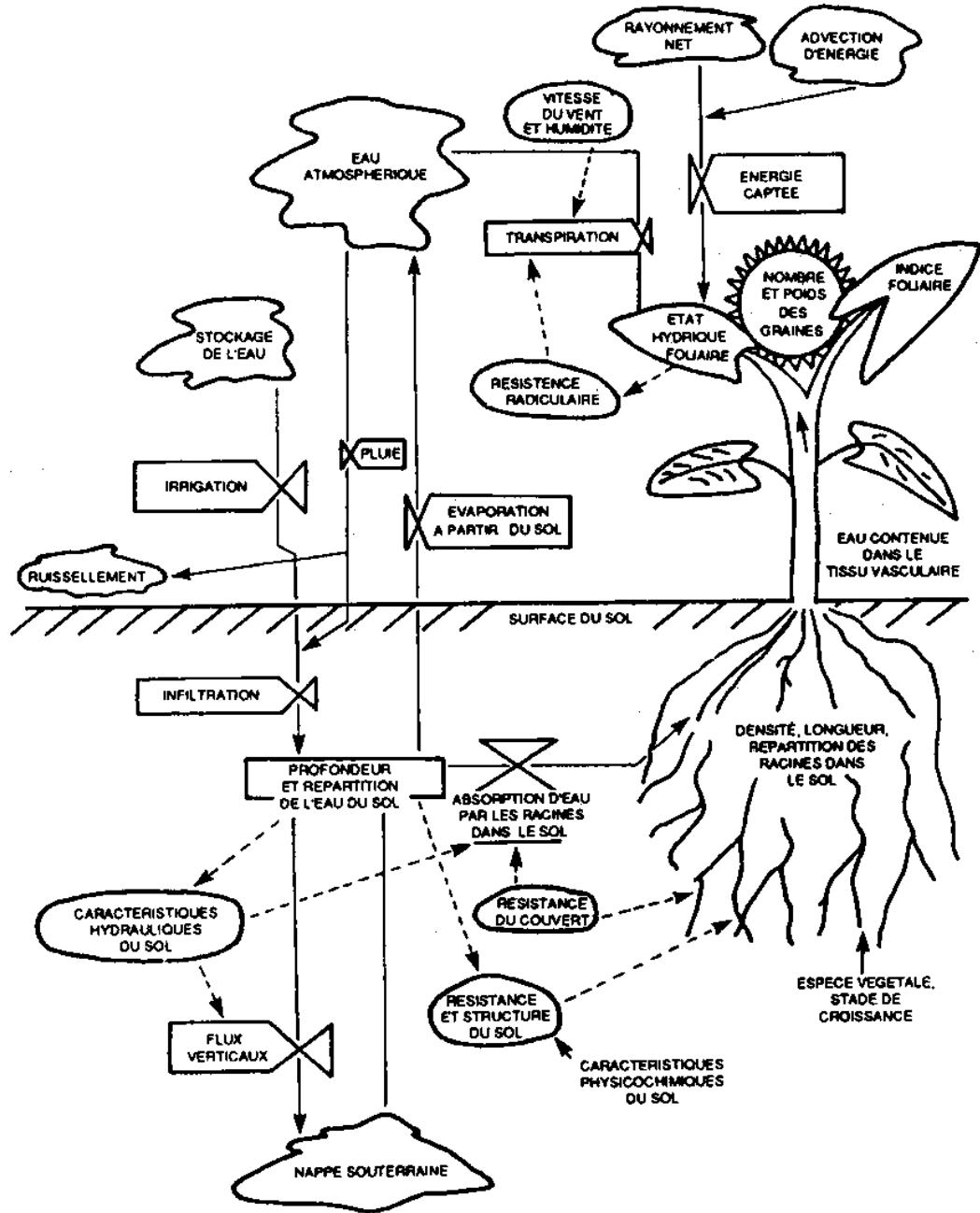
Parmi ces groupes, il y a :

- Les hormones stimulantes (auxines, cytokinines)
- Les hormones inhibitrices (éthylènes...)
- Les enzymes (kinases, phosphatases),
- Les molécules régulatrices,
- Les gènes,
- Les récepteurs

- Les ions,
- Les pompes et les membranes.

Les activités de chacun des groupes sont fonction de plusieurs facteurs :

- Les facteurs externes
- Les facteurs internes.



II.C.a Les facteurs externes

Ce sont les facteurs environnementaux.

Ils agissent sur les plans, métaboliques, mécaniques ou transcriptionnels.

Les réponses métaboliques sont induites par les paramètres tels que, la température, la luminosité ou le potentiel hydrique. Ils déclenchent un ajustement de l'intensité métabolique de la plante, comme celle de la photosynthèse, entraînant une plus ou moins grande production de sucre dans la sève élaborée.

Les réponses mécaniques s'expriment par une réaction physique, comme la rétractation des feuilles de campêche (*Haematoxylon campechianum*) qui contribue à limiter l'évapotranspiration

suite à l'effet du vent, par diminution de la surface des feuilles exposées.

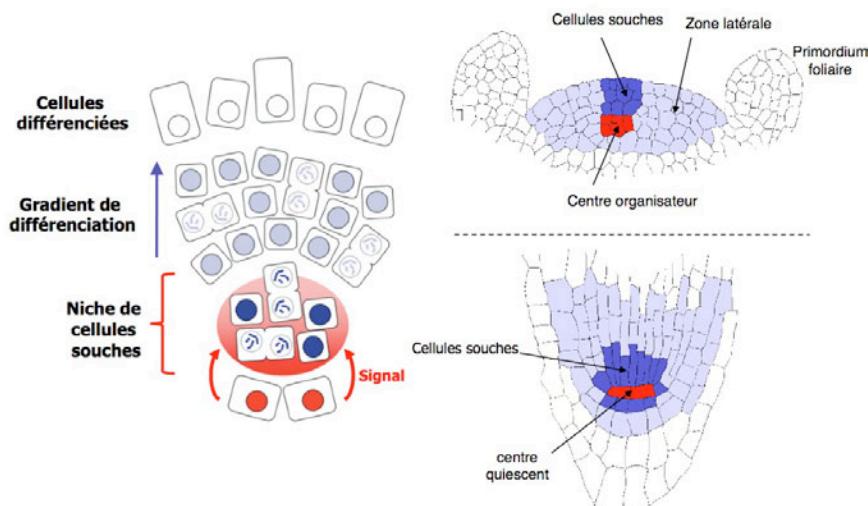
Les effets transcriptionnels font intervenir l'expression des gènes après transmission de signal, ou de stimulus externe. Ils se font par l'intermédiaire des hormones ou autres molécules messagères. Certains photorécepteurs, en captant la lumière, dirigent l'élongation des cellules. Ceci grâce à la traduction du message « lumière » en information génétique interprétable par la plante qui réagit et contrôle le développement.

II.C.b Les facteurs internes

Ils sont une partie intégrante du génome de l'arbre. Ces facteurs sont propres à chaque espèce, à chaque individu et permettent de percevoir et d'organiser une réponse à tous les stimuli externes. Ils peuvent alors coordonner leurs effets et aménager un fonctionnement global dans l'intérêt de l'arbre. Ce sont par exemple les complexes transcriptionnels responsables du cycle biologique interne.

L'effet de ces facteurs induit une cascade de réactions physiologiques impliquant tous les groupes et permettant aux cellules de sortir ou de se maintenir dans l'état méristématisque. Ces dernières entament alors, par un processus de division cellulaire, une migration vers les couches périphériques des méristèmes.

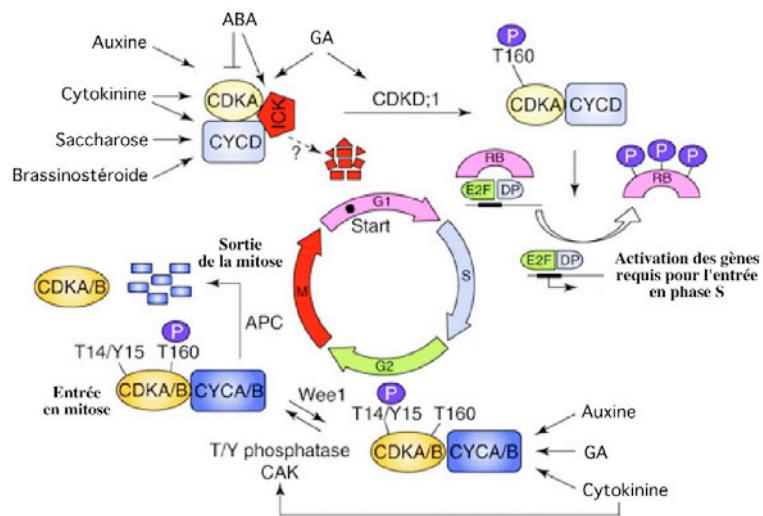
Notion de cellules souches et de centre organisateur



Sablowski (2004). Trends Cell Biol. 14: 605-611

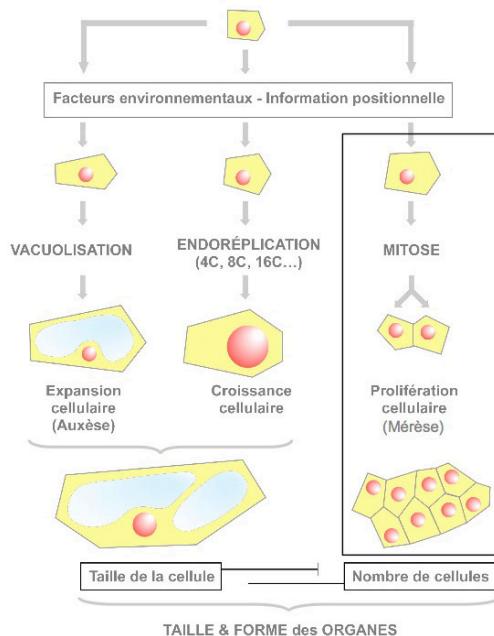
Éloignées de l'influence du complexe de régulation, les maintenant à l'état indifférencié, ces cellules vont entrer en phase de prolifération, de différenciation, de maturation et de spécialisation.

Régulations hormonales du cycle cellulaire



Les tissus en questions entrent en croissance.

Les modalités de croissance chez les végétaux



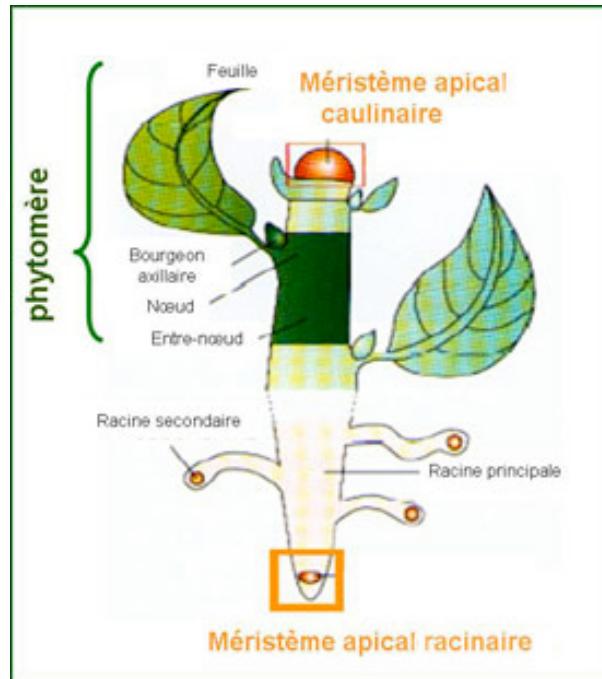
On observe :

- La croissance en longueur
- La croissance en épaisseur

Les phases de développement de la plante débutent par l'embryogenèse, suivie de la germination, par une succession de prolifération et de différenciations cellulaires.

Les jeunes feuilles primordiales se forment sur les côtés du méristème apical puis se différencient en feuilles matures.

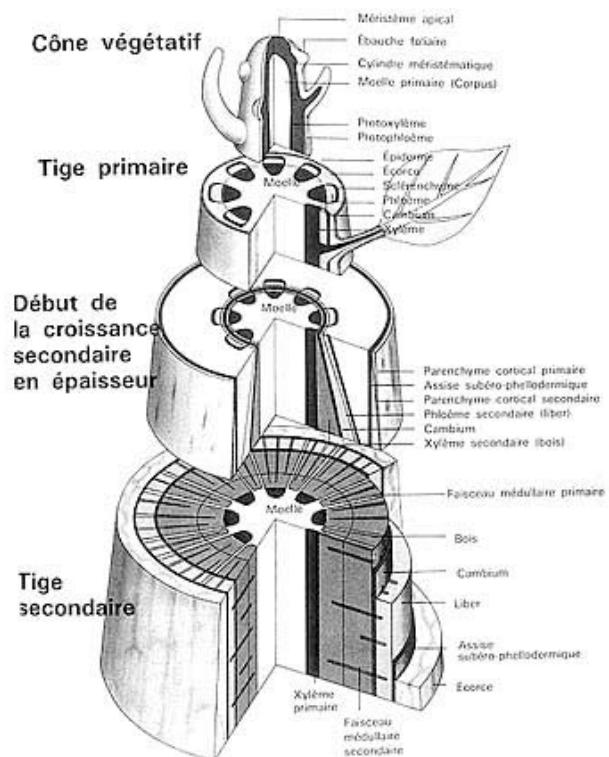
Le méristème apical déclenche à ce moment la différenciation du phytomère, constitué du méristème axillaire, d'une feuille caulinaire, des nœuds et entre-nœuds.



Il s'en suit, le développement, de la tige, des bourgeons, des nœuds, et des feuilles, ainsi que l'élongation des entre-nœuds.

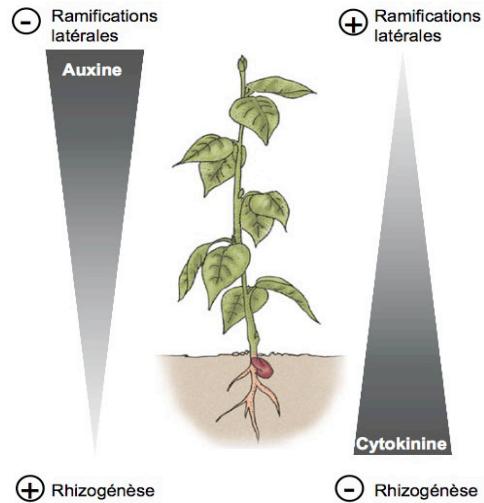
Cette première étape de développement est similaire à celle qui se produit lors des débourrements naturels ou après une taille. C'est la croissance en longueur. Elle est très largement conditionnée par, tout d'abord, les facteurs internes mais également et de façon importante, par les facteurs environnementaux, notamment, la lumière, la température et la période.

C'est ensuite l'apparition de la croissance en épaisseur avec la différenciation des tissus secondaires, c'est-à-dire la différenciation du système vasculaire et la sortie de dormance des bourgeons axillaires. Cette étape permet aux arbres de créer des canaux adaptés à une circulation optimum de la sève, de développer une structure solide en forme de cône, facilitant leur maintien et leur rigidité.



La régulation des croissances primaire et secondaire va dépendre du contrôle principalement hormonal des méristèmes apicaux sur les méristèmes axillaires. La dormance des méristèmes axillaires est ajustée, au niveau de la différenciation et/ou de la

division cellulaire, selon les gradients de concentration décroissant d'hormones, de l'apex à la base de la tige pour l'auxine, et l'inverse pour la cytokinine. La position des bourgeons axillaires sur la tige est donc prédominant à leurs réveils.



Evidemment, la connaissance des mécanismes du contrôle de la dormance, et des facteurs l'influencant, nous aiderons indubitablement à créer des bonsaï.

La croissance des bourgeons axillaires par rapport à celle des bourgeons apicaux, contribue à l'architecture des arbres et à l'augmentation de la biomasse, c'est-à-dire à la création des proportions et de la conicité du tronc, des branches et des rameaux.

II.C.c La croissance en longueur

La croissance en longueur dite croissance primaire se décrit par deux phénomènes : l'élongation et l'histogénèse respectivement à partir des méristèmes caulinaires (pour les parties aériennes) et racinaires (pour les parties souterraines).

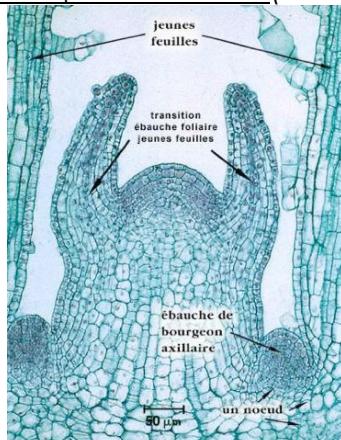
Ces méristèmes sont placés à l'apex de chaque organe.

II.C.c.1 Le méristème apical caulinaire (MAC)

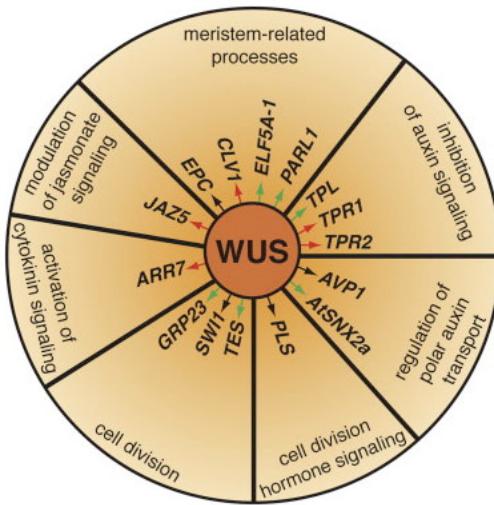
Les facteurs internes et externes enverront des informations au méristème apical qui aura la capacité à initier ou à réprimer une réponse physiologique comme la croissance.

Il existe une boucle de régulation qui maintient le groupe de cellules indifférenciées dans l'état méristématisque.

Dans le cas du méristème apical caulinaire (MAC),



c'est le centre organisationnel, ou centre quiescent, qui envoie les signaux, les instructions pour le bon fonctionnement du méristème. On y trouve un gène WUS (Wuschel) dont l'expression influe, selon les dernières recherches, directement ou indirectement sur plus de 700 gènes.



Son rôle principal est le maintien d'un pool constant de cellules souches dans la zone centrale. Ce pool de cellules méristématiques sert de réserve et alimente les zones périphériques du MAC où se différencient les cellules.

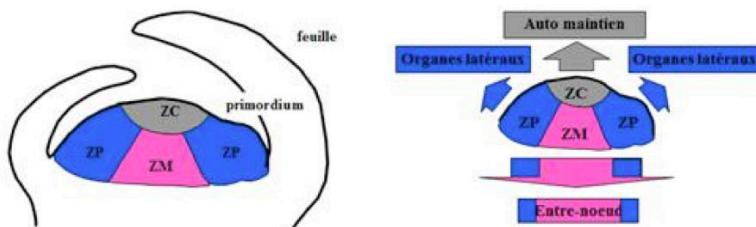
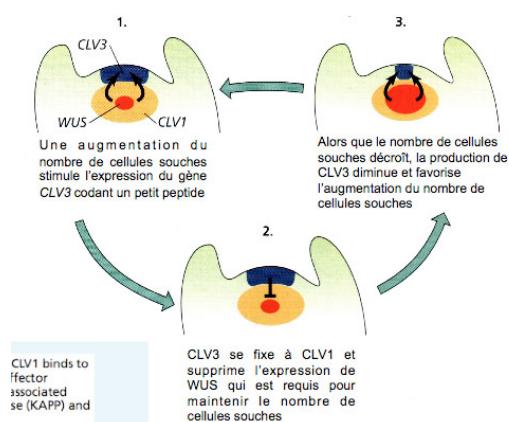


Figure 3 a et b : Organisation en zones ou domaines d'un méristème apical : ZC - zone centrale; ZP - zone périphérique; ZM - méristème médullaire. La zone centrale située au sommet du méristème, à activité mitotique faible, est à l'origine de cellules indifférenciées, les cellules souches. Cette zone assure l'auto-maintien du méristème. La zone périphérique ZP, formant un anneau autour du méristème, à forte activité mitotique, est le site d'initiation des feuilles, des organes floraux et des bourgeons axillaires. La zone médullaire donne naissance aux tissus internes de la tige.

Ce maintien dans l'état méristématique est possible grâce aux facteurs transcriptionnels de WUS qui se déplacent de cellules en cellules par les plasmodesmes ou par transduction intra et intercellulaire. Ce facteur WUS réprime l'expression des gènes, ou l'une des étapes du fonctionnement de ces gènes, et il est responsable de l'entrée en division cellulaire.

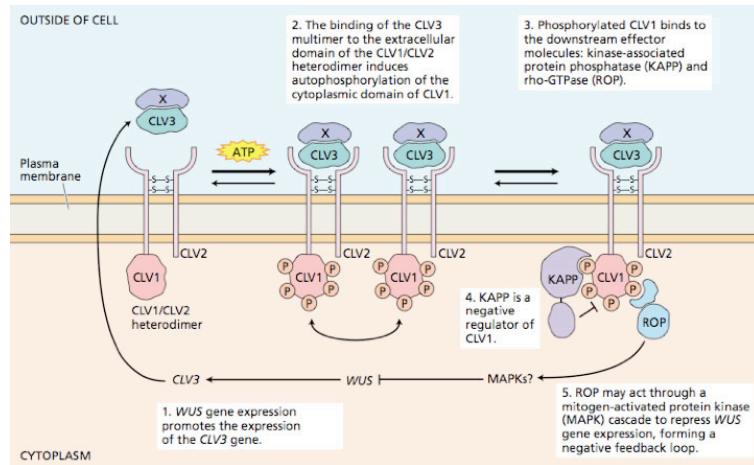
C'est pourquoi l'intensité de la prolifération des cellules dans la zone centrale est réduite, mais constante et évolue en fonction des besoins.



Cette régulation est assurée non seulement par d'autres gènes ou facteurs antagonistes, mais également par une autorégulation.

WUS transcrit une protéine qui traverse les cellules et migre de la zone centrale aux zones L1 et L2 en se fixant à un récepteur transmembranaire CLV1/CLV2, il déclenche la production d'une protéine, la CLV3 qui réprime à son tour, l'activité de WUS.

QuickTime™ and a decompressor are needed to see this picture.



Parallèlement, WUS et STM interagissent entre eux, tout en influençant l'expression des gènes des hormones telles que, la cytokinine et les auxines.

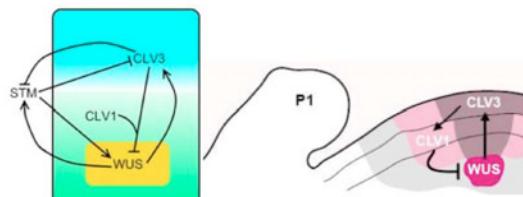
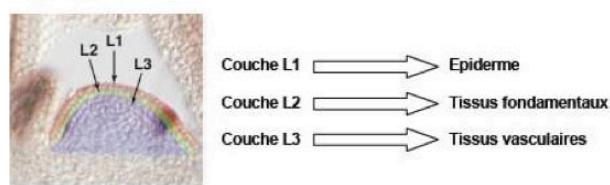
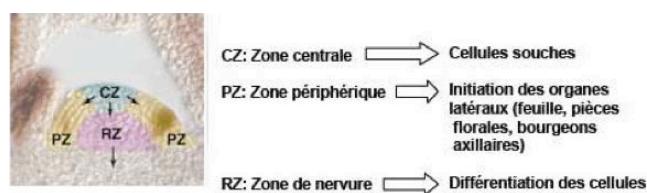


Figure 5a et b : Boucle de rétro-action des gènes *CLV1*, -2 et -3, *WUS*.

Les cellules de la zone centrale, par division cellulaire, s'éloignent de l'effet des gènes WUS et STM et s'engagent dans le processus de prolifération et différenciation.



C'est la sortie de l'état méristématique. Ce qui signifie l'initiation de la croissance. Comme précédemment, le processus est régulé par un ensemble d'hormones stimulatrices et antagonistes et de facteurs transcriptionnels. L'accumulation d'auxine dans un groupe de cellules de la zone périphérique du MAC, réprime STM. Les gènes AS1 et AS2 peuvent à ce moment réprimer certains gènes KNOX. Les gènes ANT induisent alors librement la prolifération des cellules du primordium.

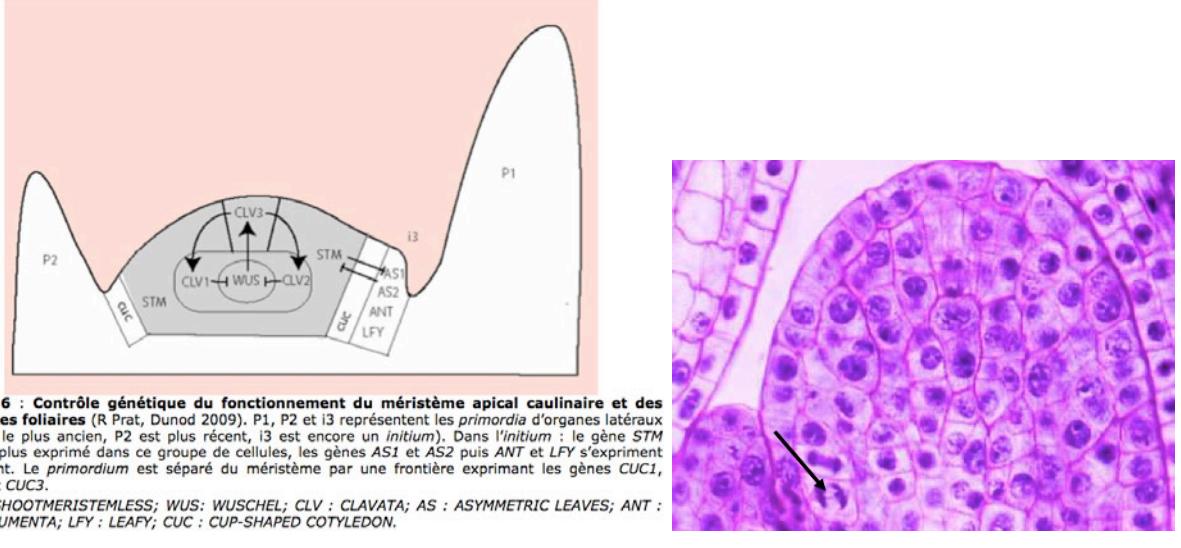
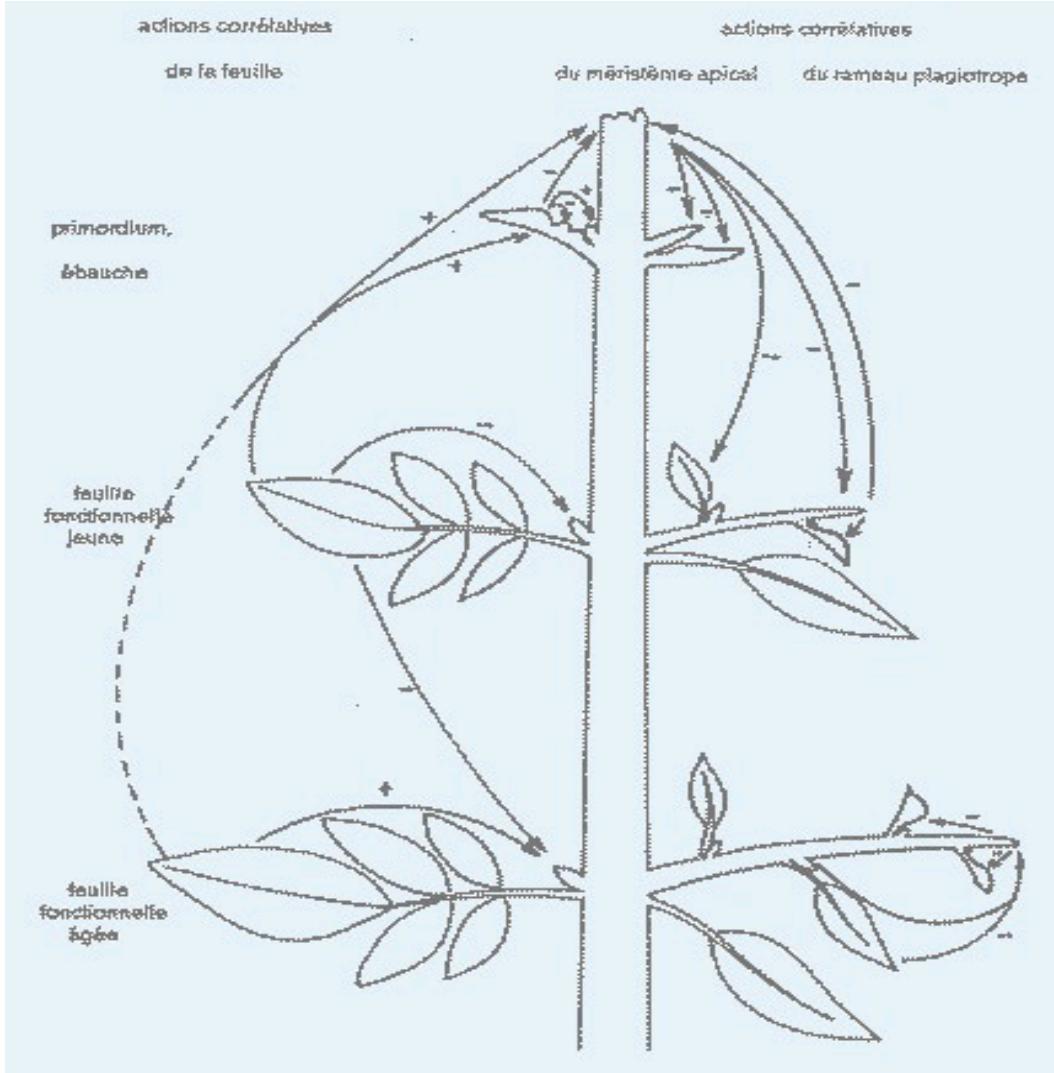


Figure 6 : Contrôle génétique du fonctionnement du méristème apical caulinaire et des ébauches foliaires (R Prat, Dunod 2009). P1, P2 et i3 représentent les *primordia* d'organes latéraux (P1 est le plus ancien, P2 est plus récent, i3 est encore un *initium*). Dans l'*initium* : le gène *STM* n'est pas exprimé dans ce groupe de cellules, les gènes *AS1* et *AS2* puis *ANT* et *LFY* s'expriment librement. Le *primordium* est séparé du méristème par une frontière exprimant les gènes *CUC1*, *CUC2* et *CUC3*.

STM : SHOOTMERISTEMLESS; **WUS** : WUSCHEL; **CLV** : CLAVATA; **AS** : ASYMMETRIC LEAVES; **ANT** : AINTEGUMENTA; **LFY** : LEAFY; **CUC** : CUP-SHAPED COTYLEDON.

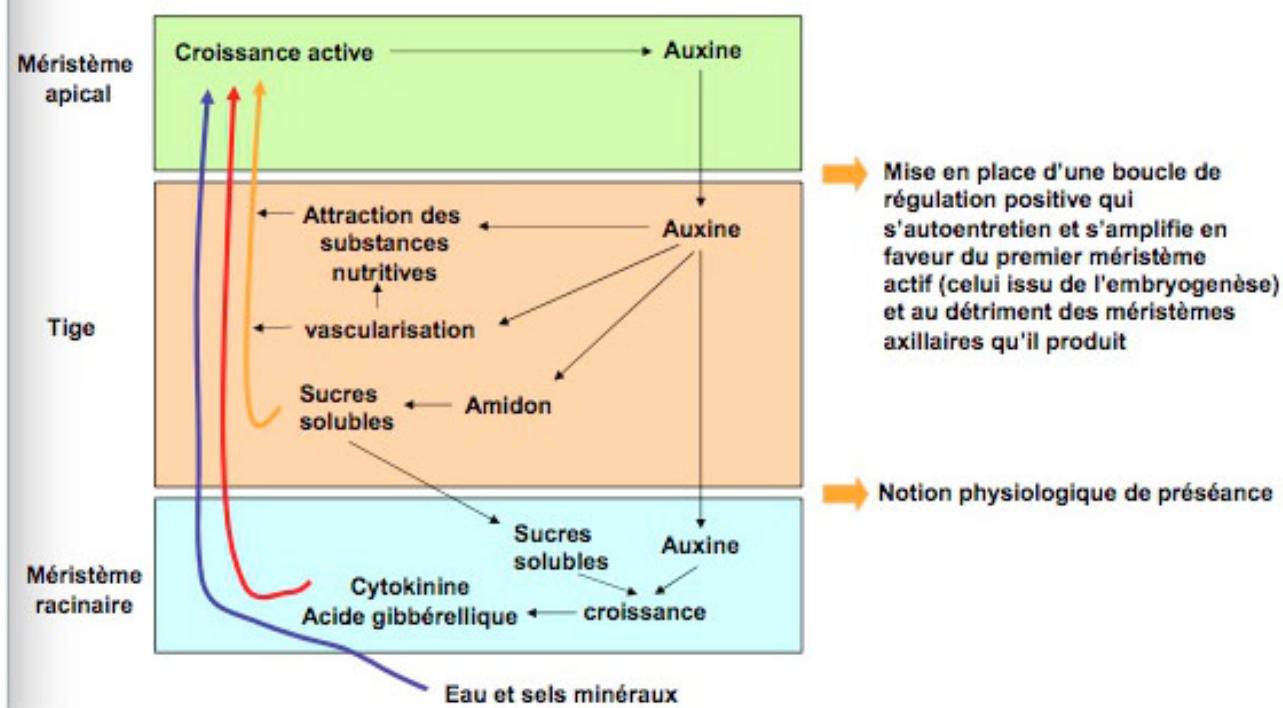
Le bourgeon apical peut à ce moment engager un cycle de croissance. La dominance apicale, sur les bourgeons axillaires, va s'imposer toute la première année de pousse, si aucune perturbation n'intervient.



La dominance apicale

Développement végétatif aérien

Un modèle physiologique intégré

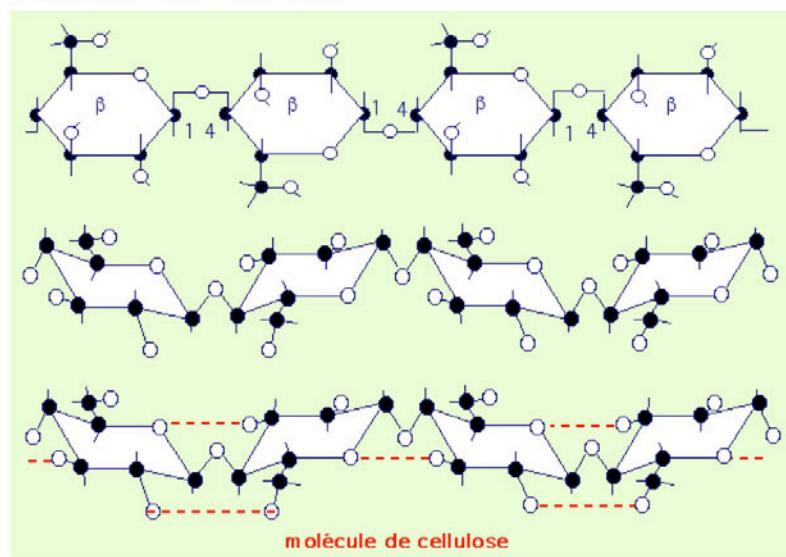


II.C.c.2 L'élongation

Le deuxième type de croissance en longueur est l'élongation cellulaire.

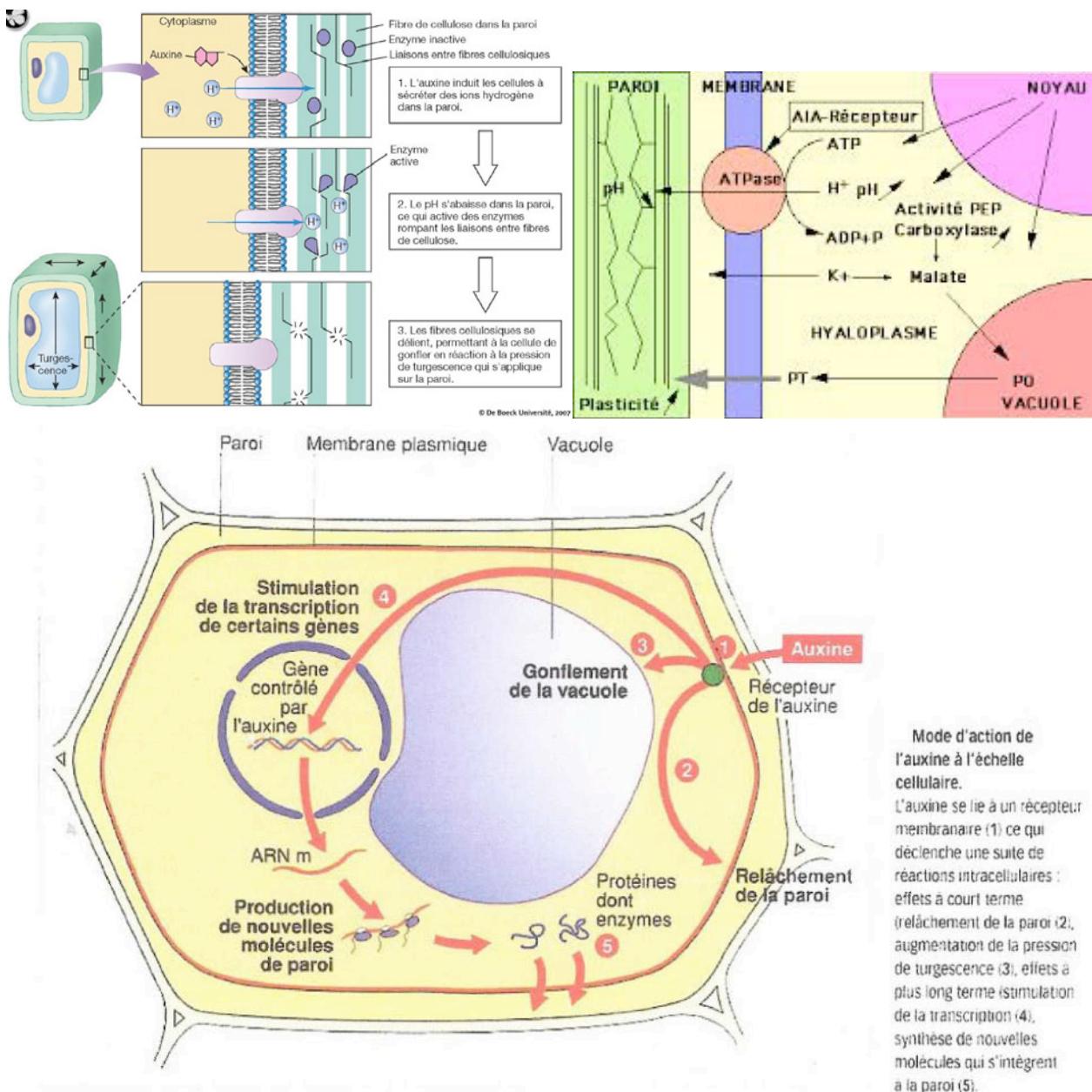
La structure de la paroi squelettique y joue un rôle important par sa composition en cellulose et hémicellulose.

Structure moléculaire de la cellulose



La cellule initiale va augmenter l'élasticité de sa paroi et se remplir d'eau par osmose. Il y a ensuite fusion des petites vacuoles en une plus imposante et un rétablissement de la rigidité de la paroi squelettique par la formation de nouvelles structures.

En effet l'auxine, en concentration importante dans les zones d'auxèse, va se fixer sur un récepteur membranaire à ATPase et induit la libération de protons (H^+) dans le milieu pariétal. La conséquence est la chute du PH d'environ deux 2 indices, c'est-à-dire une acidification qui va déclencher et optimiser l'action d'enzymes de la famille des glucanases.



Ces dernières dégradent les sucres, les polysaccharides en chaînes plus courtes et désorganisent les interactions qui lient les chaînes de celluloses et d'hémicelluloses associées entre elles par l'intermédiaire de liaisons H.

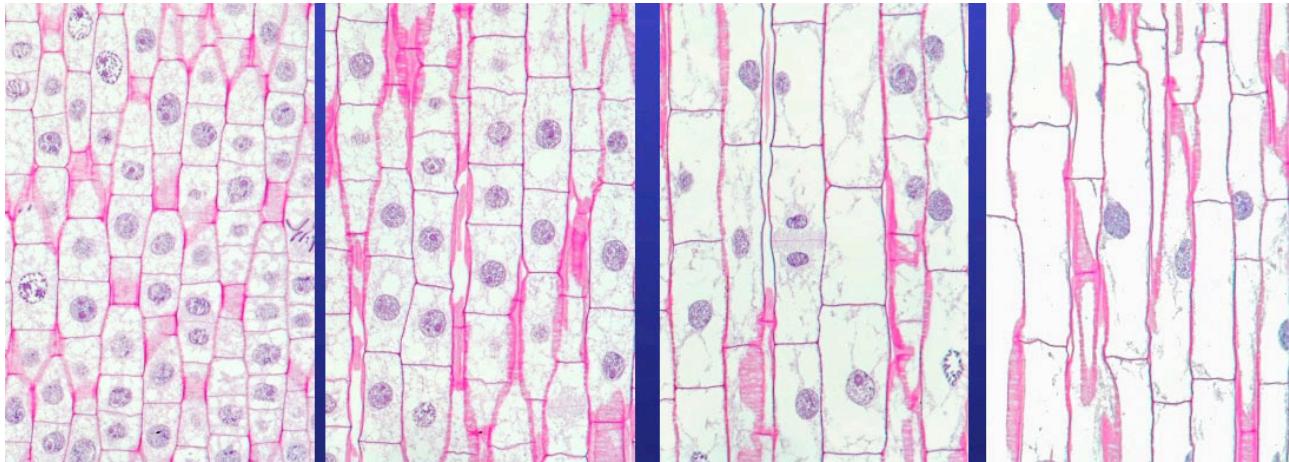
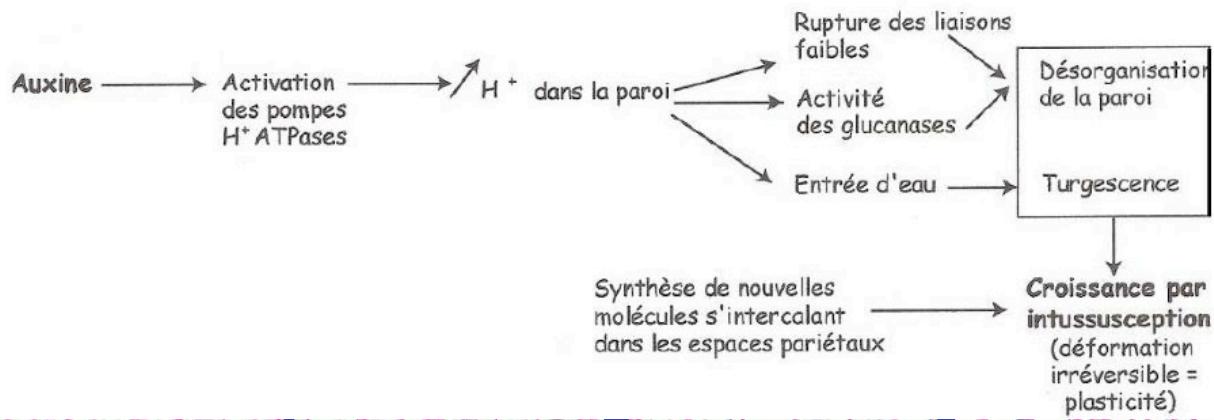
L'élasticité pariétale se voit augmentée, la paroi étant essentiellement composée de celluloses et d'hémicelluloses.

La libération de protons H^+ dans le milieu occasionne une réaction osmotique et une grande quantité d'eau rentre dans la cellule sachant que la paroi moins rigide permet une diminution de la pression de turgescence.

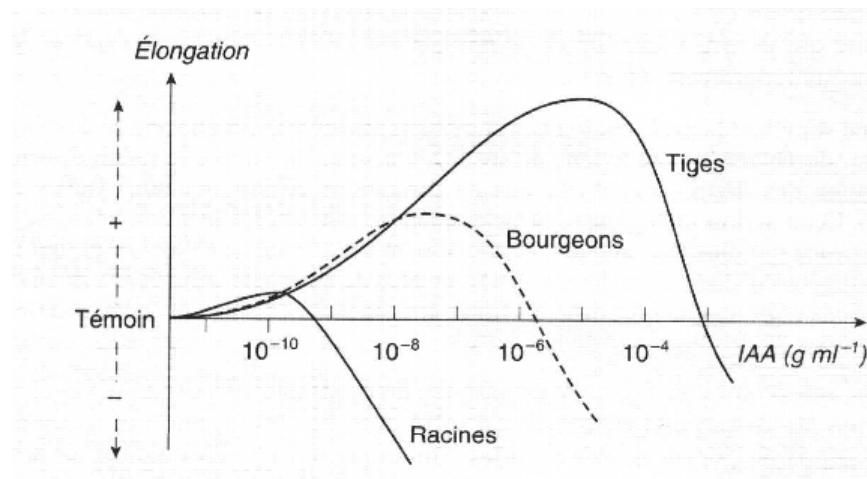
Pression de succion = pression osmotique – pression de turgescence

Une fois les vacuoles remplis d'eau, elles fusionnent et donne naissance à une vacuole plus importante. La forte pression exercée par les vacuoles sur une paroi plus élastique va augmenter considérablement la taille des cellules. On parle d'élongation.

La structure de la paroi squelettique est rétablie par l'activité antagoniste des glucanases et restauration des conditions initiales des milieux.



En fait, l'auxine, avec une action coopératrice d'endoglucanases, agit encore une fois comme stimulateur transcriptionnel et sur les glucanases.



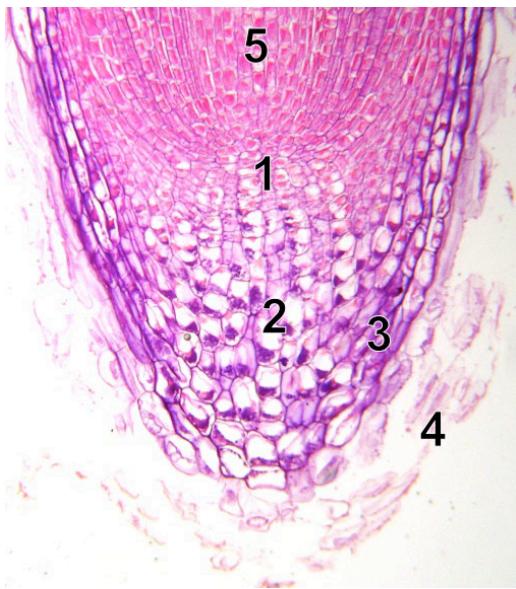
Stimulation ou inhibition de la croissance par l'acide indole-acétique.

D'autres enzymes, les xyloglucanes transglycosylases hydrolases (XTH), participent à la régulation de l'élongation et modifient la longueur des chaînes polysaccharidiques. Les chaînes longues inhibent l'élongation et les courtes la stimule. Ainsi, les XTH agissent probablement sur l'affinité des hormones, ou des facteurs régulateurs, pour leurs récepteurs et donc sur le degré de l'élongation.

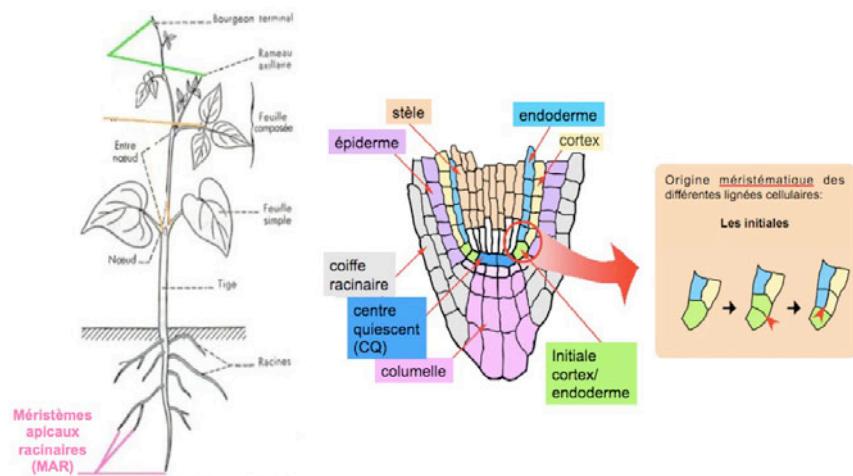
Finalement, le grandissement cellulaire est fonction du patrimoine génétique des facteurs externes et du système transcriptionnel responsable du développement végétatif et de sa régulation. Ce principe d'élongation se produit partout dans l'arbre, en particulier dans les feuilles, les entre-nœuds et les racines.

II.C.c.3 Le méristème apical racinaire

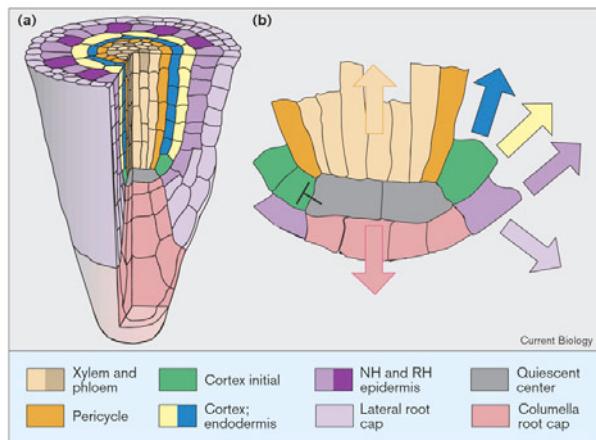
La croissance apicale racinaire fonctionne selon un schéma semblable à celui de la croissance caulinaire. Le méristème apical racinaire (MAR) fournit presque de façon illimitée des cellules embryonnaires.



Le méristème apical racinaire (MAR)

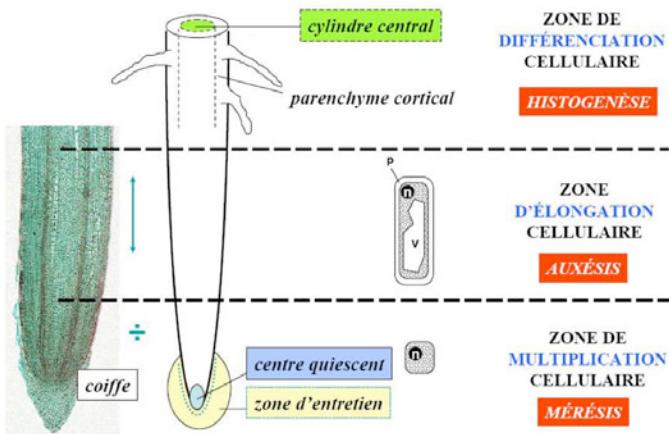


Il se trouve à l'extrême de la racine, près de la zone quiescente. Le centre quiescent est l'équivalent du centre organisateur du MAC. Il est celui qui envoie les instructions nécessaires à la régulation du MAR. Après l'entrée en division cellulaire, la spécialisation des cellules une fois différencierées est fonction de leurs emplacements autour du centre.



Cinq zones se distinguent :

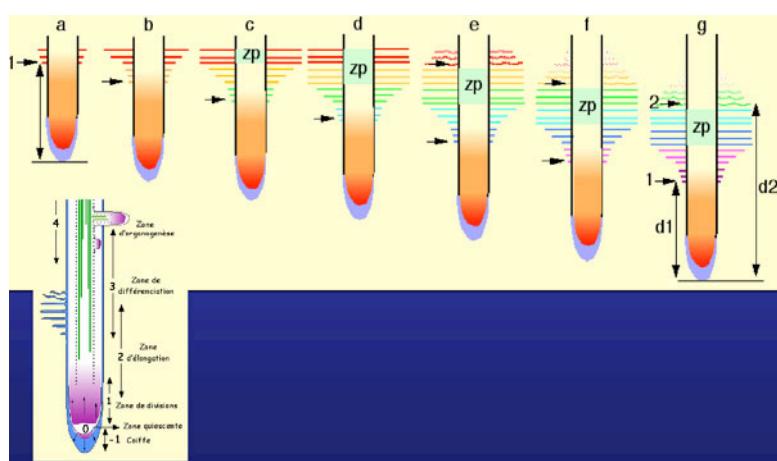
- La zone quiescente
- La zone de division cellulaire
- La zone d'elongation
- La zone de différenciation
- La zone d'organogenèse.



Cette succession de zones est à l'image d'une croissance en longueur dans une même dimension, dans l'espace et de façon chronologique.

L'activité du MAC, dans les parties aériennes, est au contraire pluridimensionnelle y compris dans celle du temps.

A l'extrémité de la racine, se suivent la division, l'elongation, et la différenciation à des emplacements bien distincts les uns des autres. Ce n'est qu'après que se déroulent l'organogenèse, c'est-à-dire l'apparition de racines latérales, et enfin la croissance en épaisseur par les méristèmes secondaires.



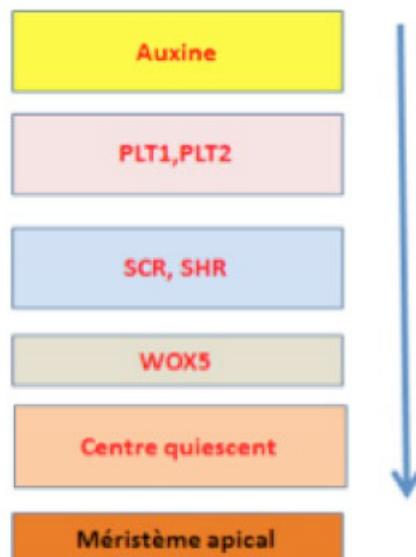
La régulation de ces méristèmes est une fois de plus le résultat de l'action combinée de

plusieurs gènes, issus des parties aériennes.

Schématiquement, le centre quiescent héberge le gène WOX5 dont l'expression a pour résultat de maintenir les cellules réceptrices dans leur état méristématique.

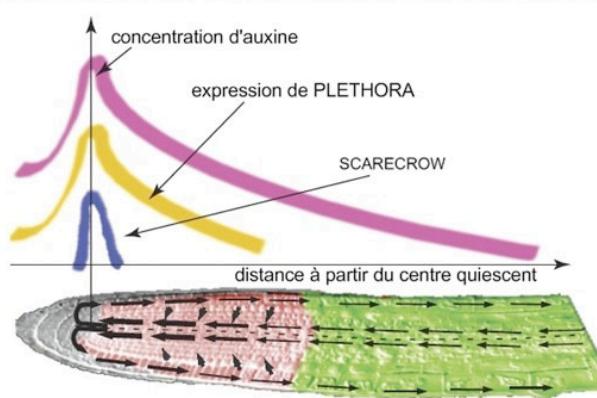
L'auxine véhiculée par des transporteurs PIN, va s'accumuler au niveau de l'extrémité de la cellule et stimuler l'expression des gènes PLETHORA 1 et 2 (PLT1 et PLT2), SCARECROW (SCR) SHORTROOT (SHR).

Ce sont principalement SCR et SHR qui vont induire WOX5 et donc définir l'étendue du méristème. PLT1 et PLT2, tout en ayant un effet coopérateur sur WOX5, agissent sur l'expression des PINs. La création d'un gradient de concentration de ces transporteurs entraîne, par conséquence, un gradient d'auxine. Ce gradient d'auxine va à son tour réguler l'intensité de la transcription des protéines SCR et SHR nécessaires à la division cellulaire asymétrique, à l'origine du cortex et de l'endoderme de la racine et ce une fois sortie de l'influence de l'auxine. Il s'agit encore d'une boucle d'autorégulation



Comme dans le cas du MAC, c'est le gradient (on parle de vague auxinique), d'auxine qui va déterminer le taux de croissance et la direction de cette croissance.

Figure 1.3. Corrélation entre l'expression du facteur de transcription PLETHORA et le gradient d'auxine dans la racine.



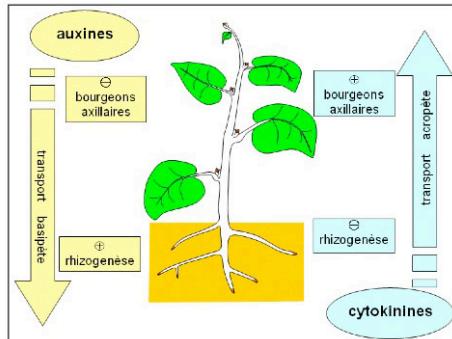
Globalement, plus la concentration d'auxine est élevée dans la racine, plus l'état méristématique est maintenu donc moins la croissance est importante.

En fait c'est l'association de l'action cytokinine /auxine qui agit.

Rapport Auxine/cytokinine élevé : élongation de la tige
Rapport Auxine/cytokinine faible : développement du bourgeon

Le rapport de concentration de ces hormones détermine le développement de racines et de tiges feuillées

Schéma illustrant le contrôle de la morphogénèse végétale par différentes hormones



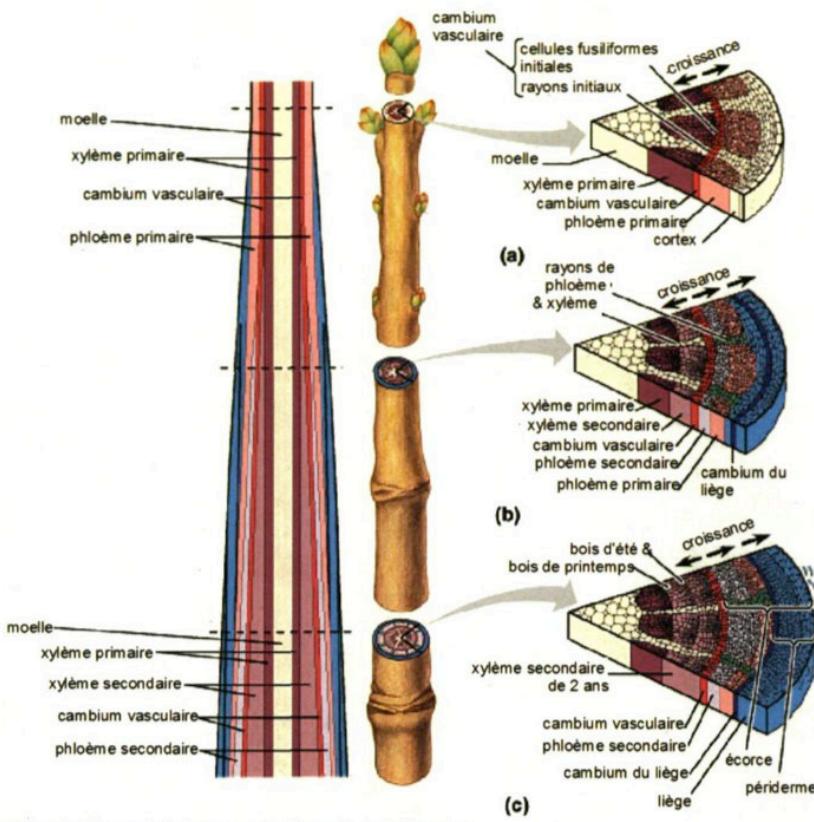
Nous verrons également en traitant le gravitropisme que le gradient d'auxine, combiné à une distribution d'un ion calcium (Ca^{2+}), est responsable du sens d'évolution de la racine.

En parallèle de cette croissance primaire en longueur, les parties caulinaire et racinaire de la plante supérieure, connaissent une croissance secondaire. Elle leur permet d'augmenter leur rigidité, de croître diamétralement et d'assurer une vascularisation suffisante. Ces deux types de croissance se font dans un espace-temps assez différent selon le cas caulinaire ou racinaire.

II.C.d La croissance en épaisseur

La croissance en épaisseur ou expansion radiale est directement la conséquence de la xylogenèse sous-jacente. La formation du bois résulte de l'activité des méristèmes secondaires, le cambium vasculaire et le phellogène.

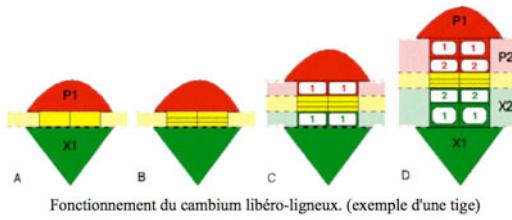
D'abord, les méristèmes apicaux donnent naissance aux tissus et organes primaires. Parmi eux, le procambium et le tissu vasculaire primaire. Ils se situent à l'extrémité des tiges et se forment pendant la phase d'élongation.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

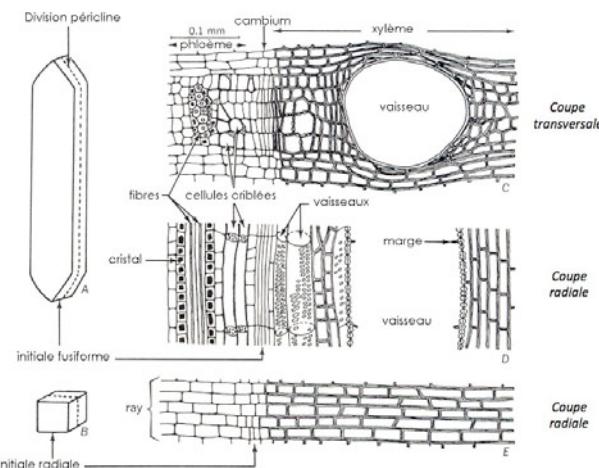
Figure 1.1 Schéma de croissance angiosperme ligneuse : Traduction de l'original tiré de l'ouvrage, *Plant anatomy*, Benjamin/Cummings, Redwood City, CA (Mauseth, 1988)

C'est à partir de ce méristème primaire que le cambium vasculaire secondaire se met en place, par division cellulaire et ce parallèlement à l'assise cambiale.



Fonctionnement du cambium libéro-ligneux. (exemple d'une tige)

Le cambium latéral, une fois construit, est constitué de deux types de cellules. Les cellules méristématiques servent de réserve en cellules indifférenciées et les cellules mères sont capables de se différencier en cellules du xylème et du phloème.



Aspect des initiales fusiformes (A), radiales (B) et de leurs dérivées selon les 3 plans de coupe (C, D, E)

Ces cellules fusiformes ou en rayon forment un cylindre car organisées en file radiale. Il s'agit de la zone cambiale. Elles se divisent de plusieurs façons :

- **périclines** : donnent le xylème et phloème à l'intérieur et à l'extérieur du cambium.
- **transversales** : permettent une augmentation du diamètre du cylindre cambial.
- **anticlines** : renforce la croissance en longueur.

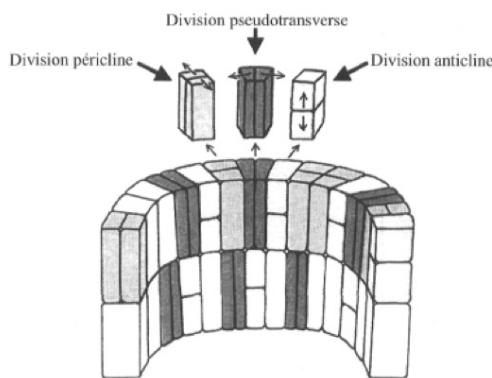


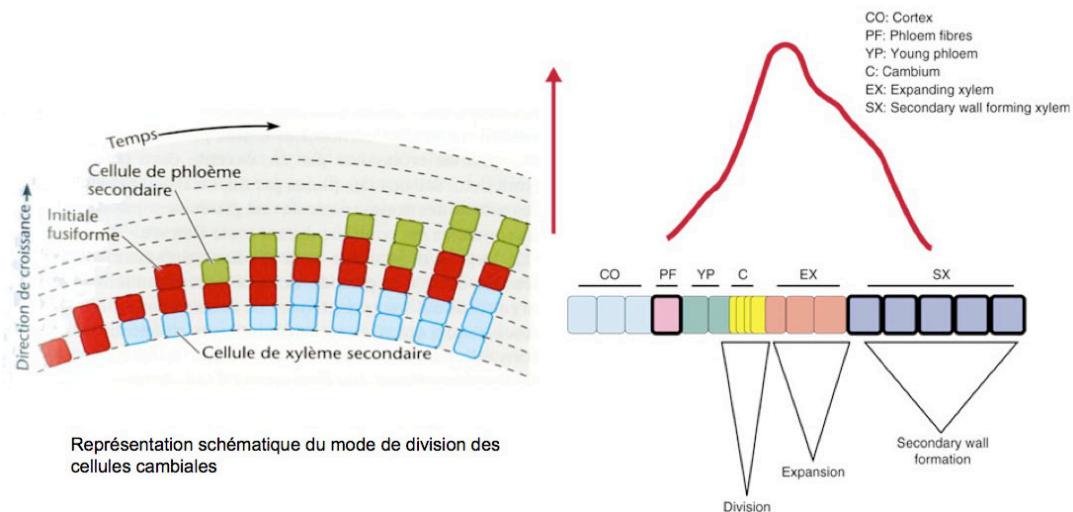
Figure I-2. La polarité des divisions nucléaires des initiales du cambium vasculaire (d'après Thibault, <http://sylva.sbf.ulaval.ca/cambium/>).

Division péricline: croissance en diamètre du cambium, division pseudotransverse: augmentation de la circonference cambiale, anticline: élongation du tronc de cylindre cambial et croissance en longueur des tissus en stade primaire. La croissance anticline positionne une partie des cellules l'une devant l'autre, on parle de croissance intrusive.

L'évolution centripète du xylème et centrifuge du phloème implique un accroissement du diamètre, possible par les divisions transversales.

L'auxine joue là encore un rôle stimulateur dans l'activité cambiale.

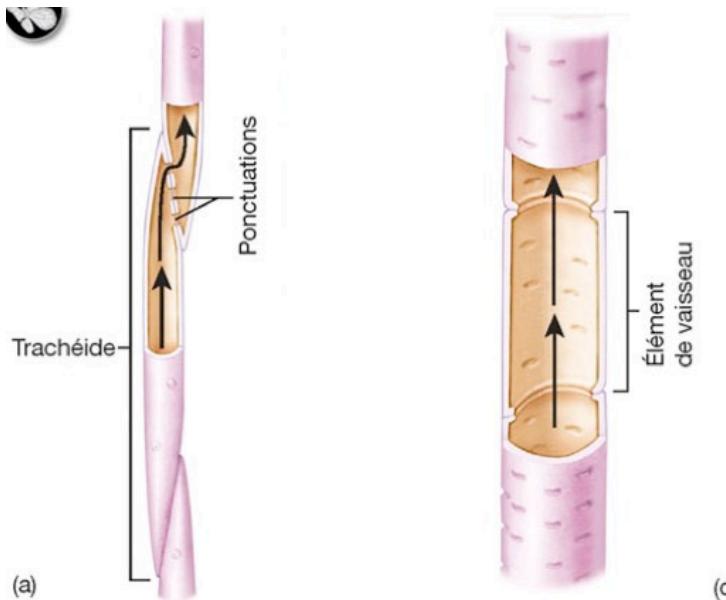
Régulation de l'activité cambiale



Il est à noter que les cellules fusiformes sont également à l'origine des tissus de réserves et de communication cellulaire, de soutien (collenchymes et sclérenchymes), ou de formation des structures différentes qu'il soit dans le xylème ou le phloème. Quant aux cellules de rayons, elles permettent le stockage des métaboliques et de leurs passages au travers des vaisseaux conducteurs via les plasmodesmes.

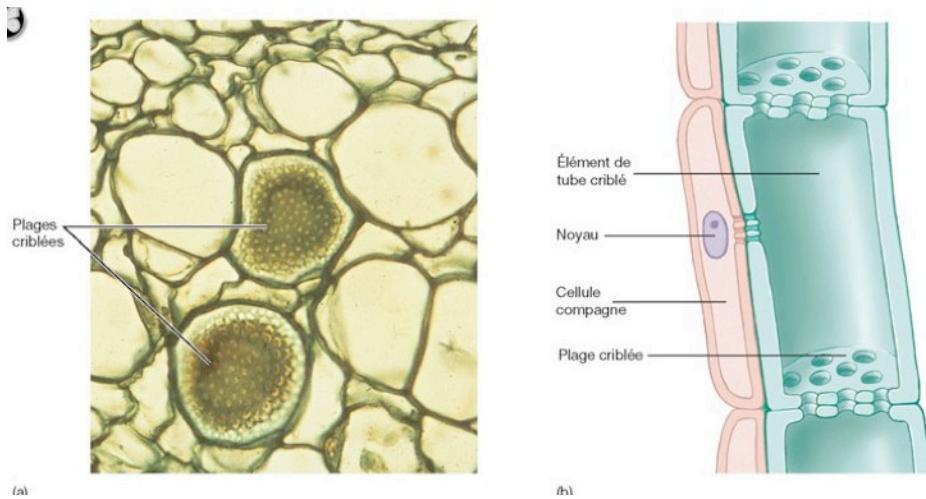
Les fonctions du xylème sont :

- - Le transport de la sève minérale des racines aux feuilles,
- - Le transport des hormones comme les cytokinines,
- Une contribution au support mécanique donc au port dressé.



Les fonctions du phloème sont :

- Le transport des substances nutritives élaborées vers tous les tissus et organes, y compris les structures de réserve,
- Le transport des protéines et des peptides (hormones et facteurs de régulation), des ARN messagers responsables de la régulation de la croissance et du métabolisme de défense.

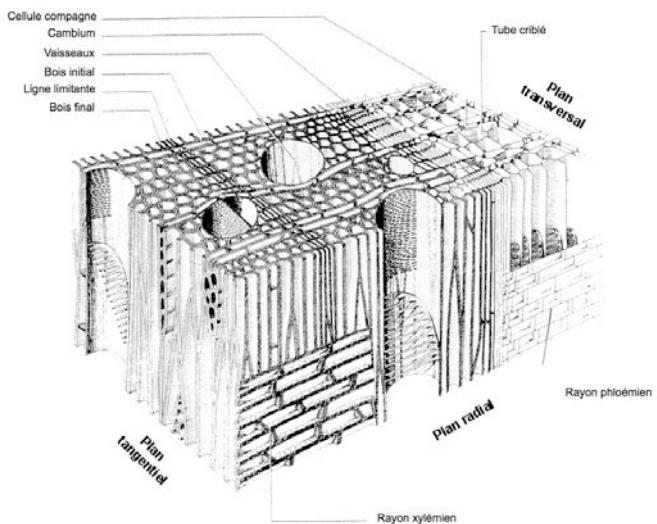
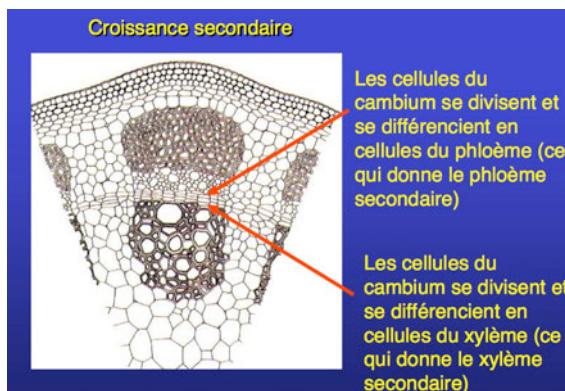


L'étape qui suit la genèse de ces tissus est la formation de la paroi secondaire et la mort cellulaire.

Les cellules cambiales, après s'être divisées de façon péricline, puis allongées et élargies par élongation, se lient les unes aux autres par une lamelle riche en pectine. La paroi primaire, souple et extensible, est composée de cellulose, de pectine, d'hémicellulose et diverses molécules structurales. Cette composition permet l'élongation, après laquelle se met en place la paroi secondaire, la paroi primaire ayant subi une rigidification par augmentation des liaisons covalentes entre cellulose, hémicellulose et chaînes polysacchariques.

Le maillage des microfibres cellulosiques est maintenant renforcé par de la lignine qui devient un agent de liaison puissant. La lignine imperméabilise la paroi et rigidifie la cellule. Les cellules imperméabilisées, sont comme asphyxiées, après s'être vidées de leur contenu par une digestion enzymatique interne. Une autre digestion partielle de la paroi crée des interconnexions entre vaisseaux. Tout le système vasculaire se construit de façon analogique et des complexes hormonaux et transcriptionnels permettent la différenciation des divers tissus vasculaires.

Les méristèmes secondaires assurent la croissance en diamètre



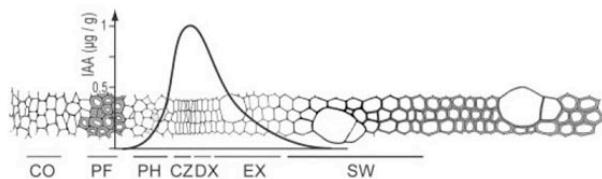
Les facteurs génétiques et environnementaux influencent fortement la croissance des arbres. Les contraintes qu'ils occasionnent, poussent à des adaptations physiologiques, hormonales et donc morphologiques.

Les différentes tailles et pincement en bonsaï sont des contraintes environnementales dites abiotiques. Elles induisent la transcription de facteurs de la famille des MYB. Ces derniers ont un rôle régulateur sur l'arrêt et le démarrage fonctionnel, des tissus et organes, en interagissant sur l'expression des gènes codant pour des hormones ou autres facteurs régulateurs.

L'effet sur l'intensité de l'activité méristématique devient alors évident. Ces perturbations métaboliques et physiologiques ont une conséquence directe en terme quantitatif et qualitatif de la croissance.

L'auxine stimule la croissance en épaisseur toujours au regard des autres hormones.

Figure 1.5. Distribution de l'auxine AIA dans l'axe transversal de la tige de peuplier.



CO, cortex; PF, fibre de phloème; PH, phloème; CZ, cambium vasculaire; DX, xylème en division; EX, xylème en expansion; SW, zone de lignification (Tuominen *et al.*, 1997; Schrader *et al.*, 2003).

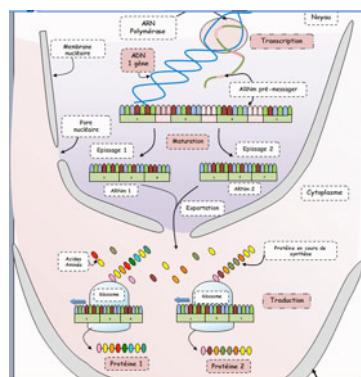
La régulation de la croissance en épaisseur est directement liée à celle de la croissance en longueur, puisqu'elles sont influencées par les mêmes hormones.

	AUXINE	CYTOKININE	GIBBERELLIINE
Lieu de fabrication	Méristème du bourgeon apical	Extrémité des racines	Apex des jeunes tiges et racines
Sens de migration	↓	↑	↓↑
Rôle	- élongation de la tige - tissu conducteur - à faible dose : rhizogenèse - inhibition des bourgeons axillaires	- levée d'inhibition des bourgeons axillaires	- allongement des entre noeuds

Il est possible de trouver ainsi plusieurs types de bois en un même arbre, en fonction du cycle biologique, de l'âge, du biotope et du stress mécanique (il induit des bois dit de réaction , de compression, ou de cicatrisation). La multitude de bois différents associé à la variation du taux de croissance, conditionne la morphologie de l'arbre y compris sa conicité.

II.D Les hormones végétales

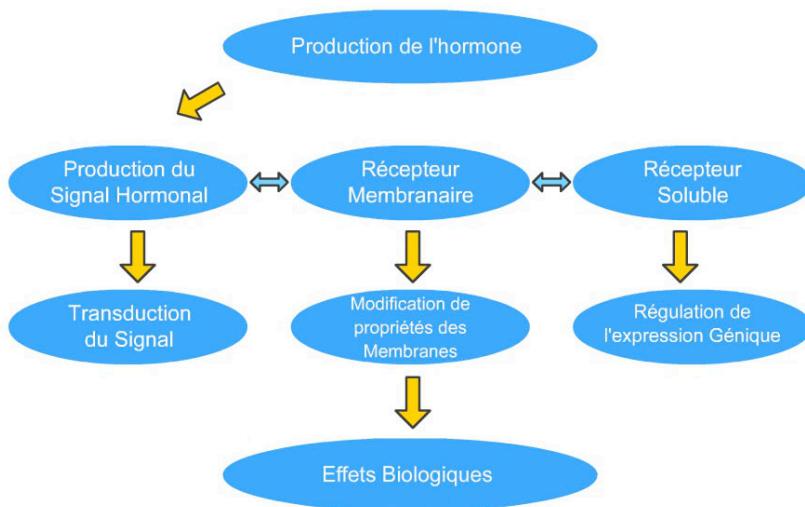
Les hormones sont des protéines transcrisées à partir de gènes souvent responsables de la régulation du métabolisme et des fonctions physiologiques dont fait partie la croissance.



Ces hormones végétales, ou phytohormones, sont pour beaucoup des régulateurs endogènes avec une mission de messager et ayant une action à faible concentration.

Une fois produites, elles s'associent à un ligand, pour lequel elle présente une forte affinité et spécificité, qui peut-être un récepteur membranaire, un transporteur ou une enzyme. La zone de synthèse peut correspondre à la zone d'action, mais le plus souvent la cible se trouve dans des cellules ou tissus différents.

Cette association permet de traduire ce message en une réaction physiologique ou métabolique (transcription de nouveaux gènes, ouverture/fermeture de canaux coniques, lyse...).



Par exemple, l'auxine est captée par les facteurs PIN qui assurent un transport polarisé de l'auxine de l'apex vers la base de l'arbre en passant de cellules en cellules. L'accumulation de l'auxine dans la cellule se fait par un changement de charge de l'auxine.

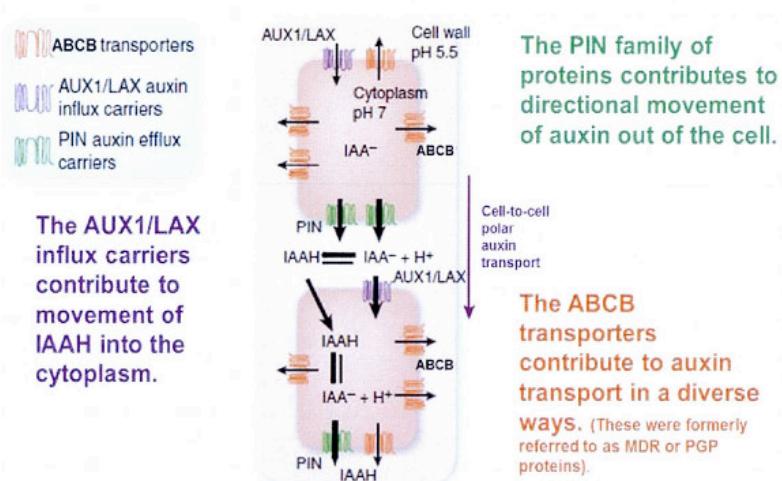


Figure 1.2 Transport polarisé de l'auxine. (Robert et Friml, 2009)

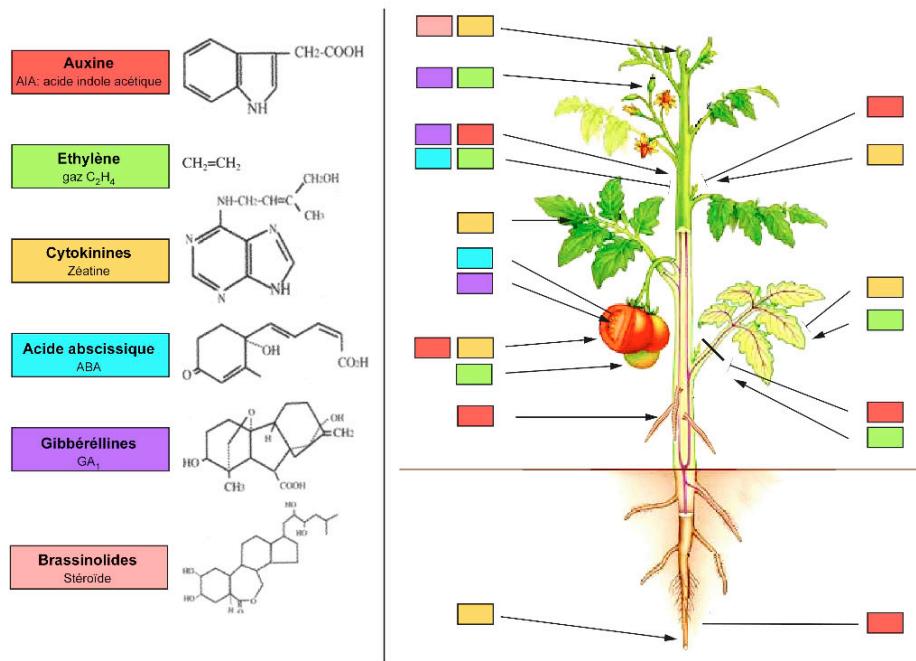
La régulation, c'est-à-dire l'intensité et la durée de l'effet des hormones, est dépendante d'une part de la quantité d'hormones et de ligands disponibles, on parle de facteur limitant. D'autre part, l'action d'autres enzymes ou facteurs de régulation peut causer la modification structurale ou de conformation d'un des protagonistes, et influencer donc le taux d'interaction hormone - Ligand.

Certaines hormones possèdent une ou des chaînes polysaccharidiques dont la lyse conditionne leur fixation aux récepteurs membranaires, et vice versa.

Enfin pour toutes les hormones, il existe d'autres fonctions antagonistes et d'autres fonctions coopératives.

Les réponses physiologiques sont donc la traduction de l'équilibre dynamique qui se crée entre l'activité de chacune de ces hormones. Elles sont une réaction directe aux conditions environnementales, à la génétique intrinsèque et au stress biotique ou abiotique.

Interactions hormonales au cours de la morphogénèse

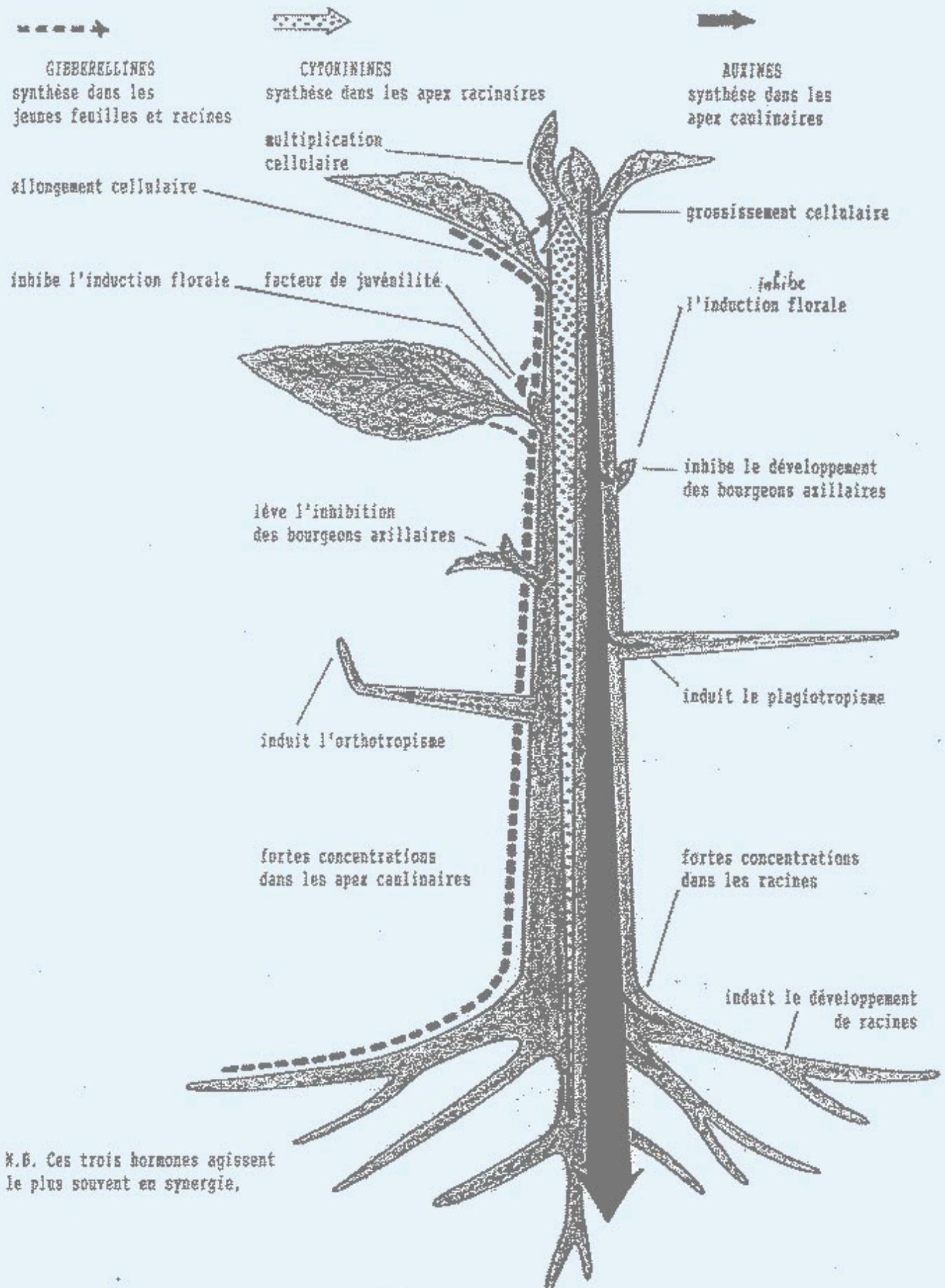


Le résultat se manifeste sur la croissance de l'arbre et sur sa morphologie par une capacité à répondre aux différents stress, comme la taille, afin de s'adapter à son environnement.

On peut considérer qu'il existe 3 types d'hormones :

- Les hormones simulatrices :
 - les auxines
 - les cytokinines
 - les cibberelines
 - les brassinostéroïdes
 - Les hormones à effets mixtes :
 - éthylènes
 - acide abscissique
 - Les médiateurs chimiques :
 - polyamines
 - jasmates
 - salicylate
 - oligosaccharides

Fig. 7. LES ROLES DES SUBSTANCES DE CROISSANCE DANS LA PLANTE.



II.E Les facteurs environnementaux

Les interactions entre l'arbre et son environnement sont permanents. Les végétaux ont développé une multitude de moyens d'adaptation, leur permettant de survivre et d'évoluer dans leur biotope. Chaque stimulus venant du soleil, du vent, de la température ou de la taille entraîne un ensemble de réactions à chacun d'entre eux. Comme précédemment vu, ces réactions comprennent la génétique, les hormones mais également les composés phénoliques.

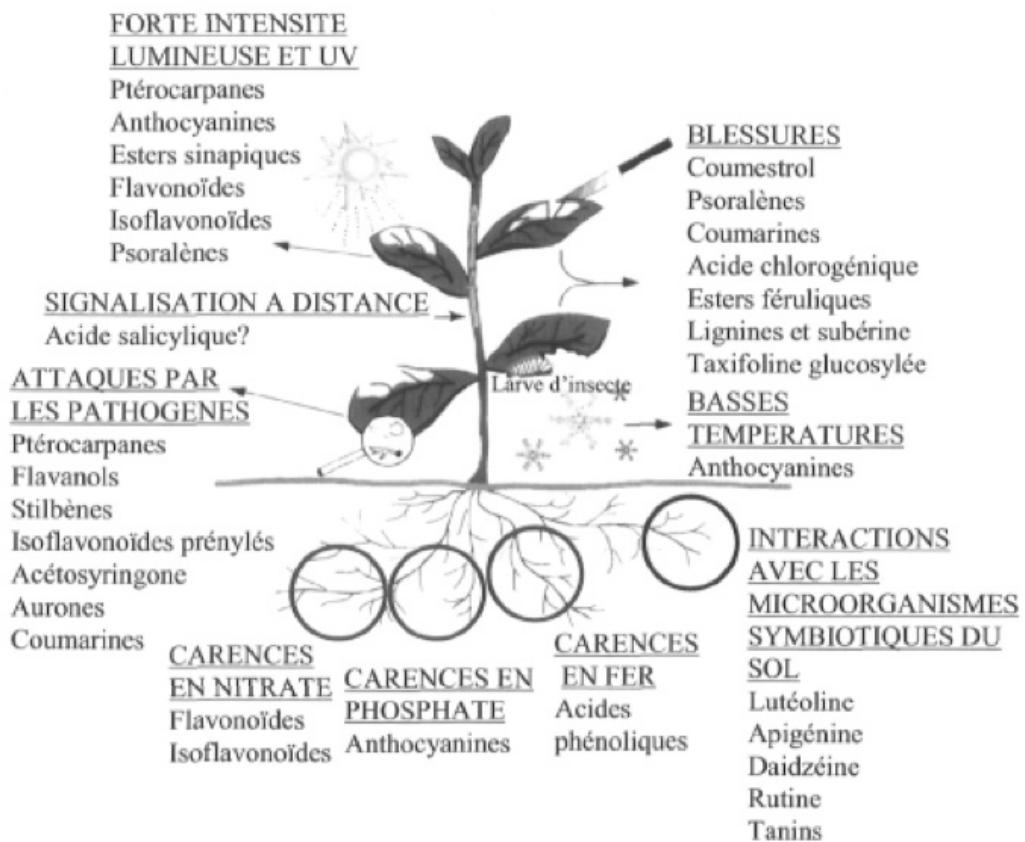
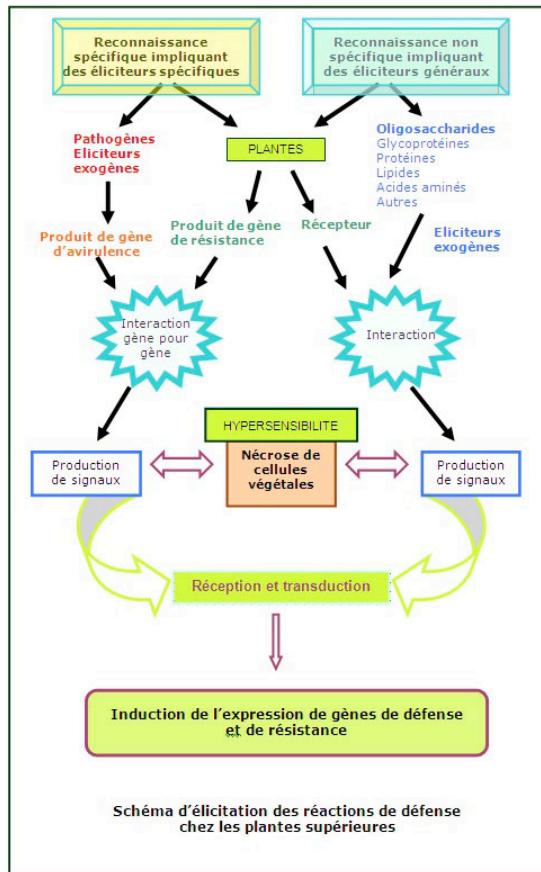


Figure I-5. Les interactions plante-environnement et la synthèse des composés phénoliques (d'après Dixon et Paiva, 1995).

Ces composés sont aussi impliqués dans la défense contre les pathogènes et herbivores, l'attraction des polliniseurs ou la composition entre plantes voisines.



Les facteurs MYB sont fortement impliqués dans la réponse aux stress et dans le déclenchement de la cicatrisation, par la production de lignine, et de la différenciation des tissus du bois.



L'un des facteurs les plus influents est la lumière. Elle agit sur la photosynthèse, le phototropisme et indirectement sur les effets liés à la température.

En fonction de la qualité de l'exposition, la photosynthèse sera plafonnée à partir d'un point appelé intensité ou éclairement saturant. Au-delà, la photosynthèse stagne puis décroît.

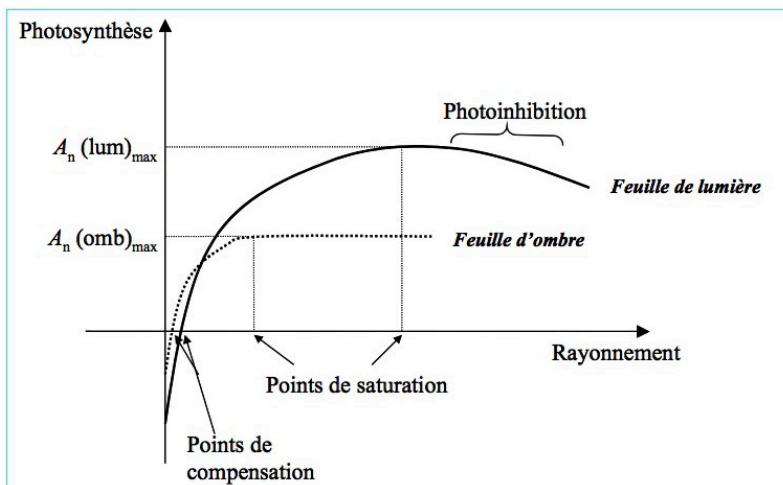


Figure I.12. Evolution de la photosynthèse d'une feuille de lumière ($A_{n(lum)}$) et d'une feuille d'ombre ($A_{n(omb)}$) en réponse à une variation de la quantité de rayonnement incident.

La photosynthèse est le processus qui transforme l'énergie lumineuse en énergie chimique. Cette dernière est celle qui est utilisée pour la formation des éléments carbonatés, base des métabolites nécessaires à la croissance.

Donc toute variation de l'intensité lumineuse agira sur le taux de croissance. Une intensité lumineuse trop importante a pour effet d'augmenter la température de l'arbre donc l'évapotranspiration, dont la perception se fait au niveau racinaire.

Au-delà de 25 à 26°C, va se déclencher un processus hormonal qui occasionne la fermeture des stomates ; on parle d'hydronastie, l'hormone étant véhiculée des racines jusqu'aux feuilles.

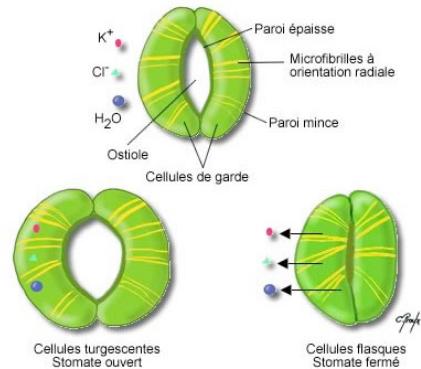
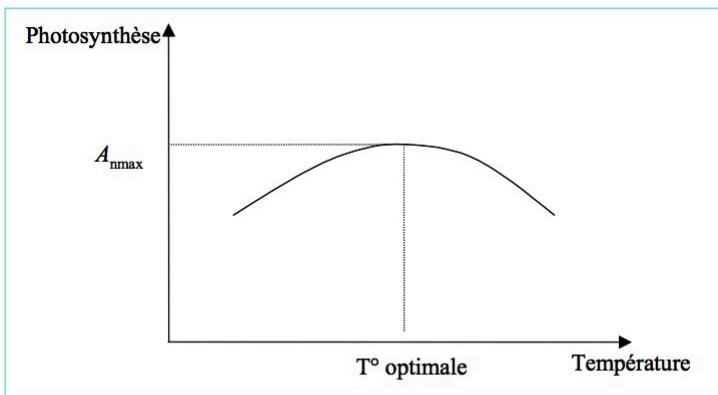
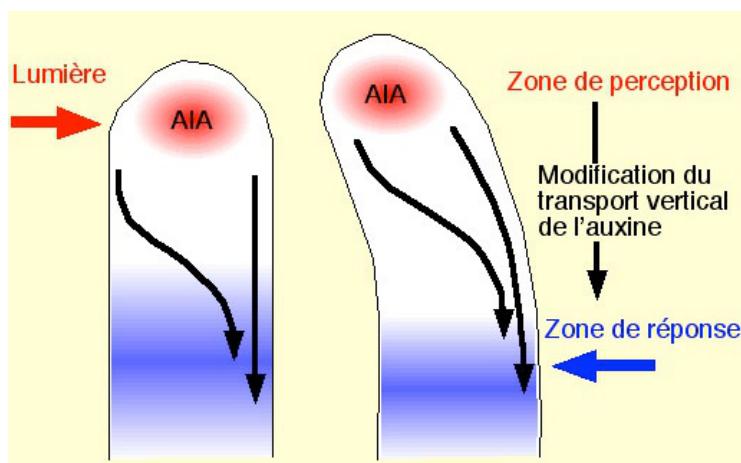


Figure I.13. Evolution de la photosynthèse d'une feuille en réponse à une variation de la température.

Cependant, une autre réaction hormonale antagoniste aux auxines limite à ce moment l'élongation cellulaire. Les entre-nœuds et la taille des feuilles se trouvent réduits par une croissance limitée.

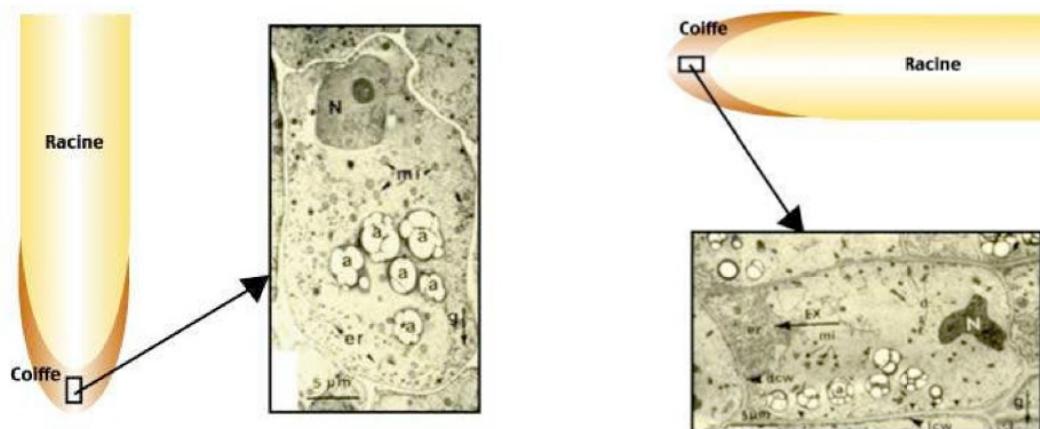
D'autres réactions comme la rétractation des feuilles chez certaines espèces ([photos campêches](#))

Le phototropisme est une réaction de la plante qui se dirige en fonction du sens de la luminosité, par des elongations cellulaires successives.

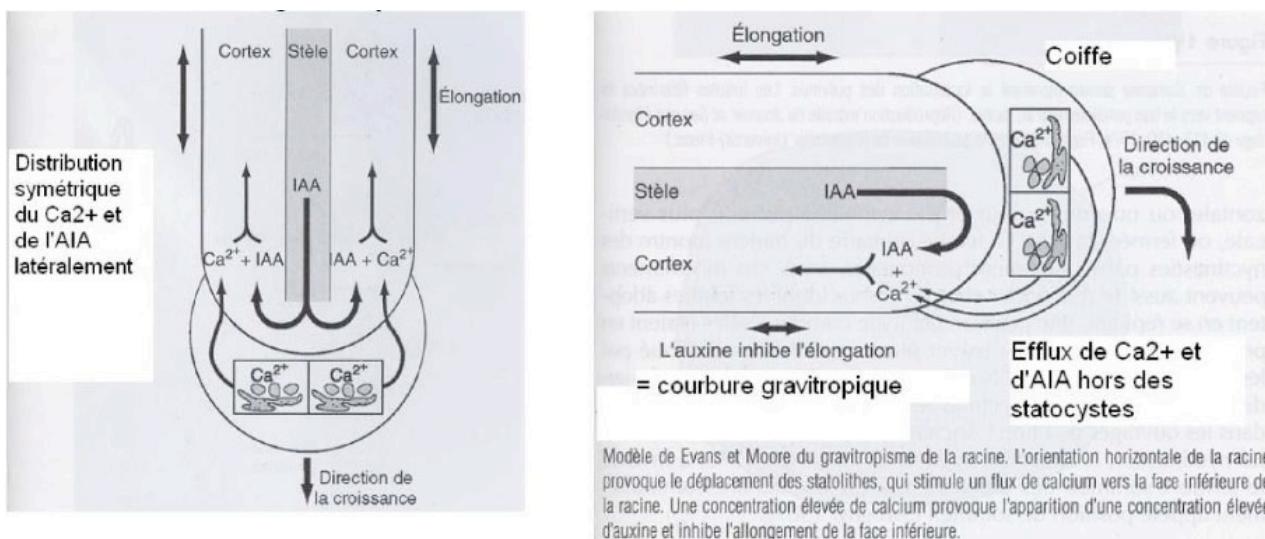
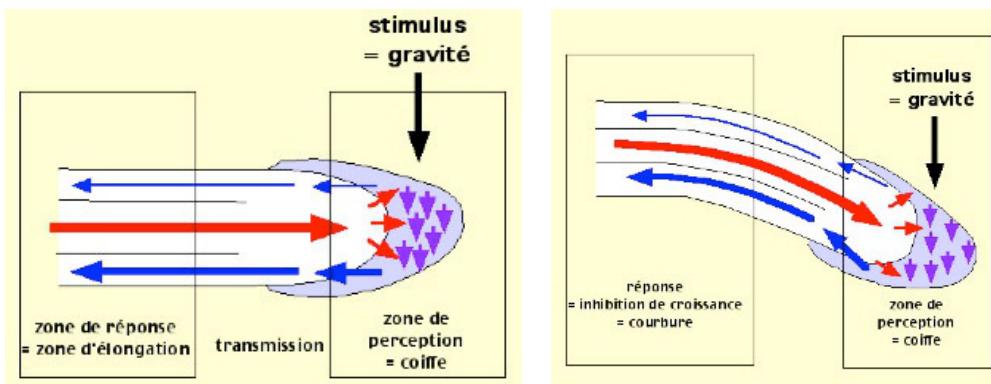


Cette élévation est comme vu précédemment, régulée par le gradient d'auxine dont la cytokinine joue un rôle important à son maintien.

Le gravitropisme correspond à une croissance selon l'attraction terrestre. Les cellules responsables de l'orientation de croissance sont les **statocytes**, dans lesquelles se trouvent des graines d'amidon.



Au contact de la membrane, des pompes à auxines s'actionnent et augmentent considérablement la concentration de cette hormone dans l'espace pariétal. Cette forte concentration accompagnée de Ca^{2+} inhibe l'elongation du côté opposé à la pesanteur, pendant qu'elle la stimule dans la tige et les bourgeons apicaux.



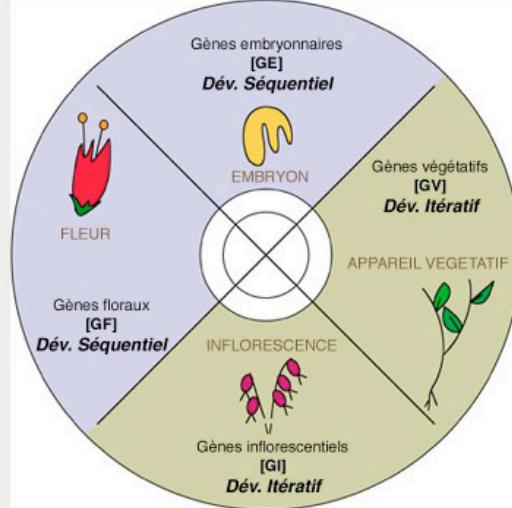
Par des principes similaires, le chimiotropisme et l'hydrotropisme orientent la croissance respectivement vers les milieux plus riches et plus humides.

Un autre type de tropisme nous concerne, c'est le thigmotropisme qui permet aux racines de contourner un obstacle ou de se diviser à son contact.

II.F Cycles biologiques

Tous les phénomènes de croissance décrits précédemment se produisent selon des cycles biologiques. Le cycle de développement, le cycle annuel et le cycle cellulaire sont tous régulés et composés d'étapes distribuées dans le temps et l'espace.

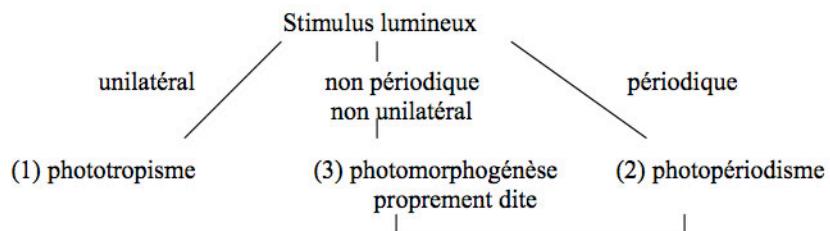
X Fig. 01 : Les quatres étapes du méristème apicale caulinaire durant le cycle de vie du végétal.



L'initiation, l'intensité et la durée de chaque étape déterminent l'évolution tant de la santé que de la morphologie de l'arbre.

Les facteurs coordonnant les cycles et leurs étapes restent la génétique propre à chaque espèce (contrôlent les rythmes endogènes) et les conditions environnementales (climats, saisons, sols, ect...).

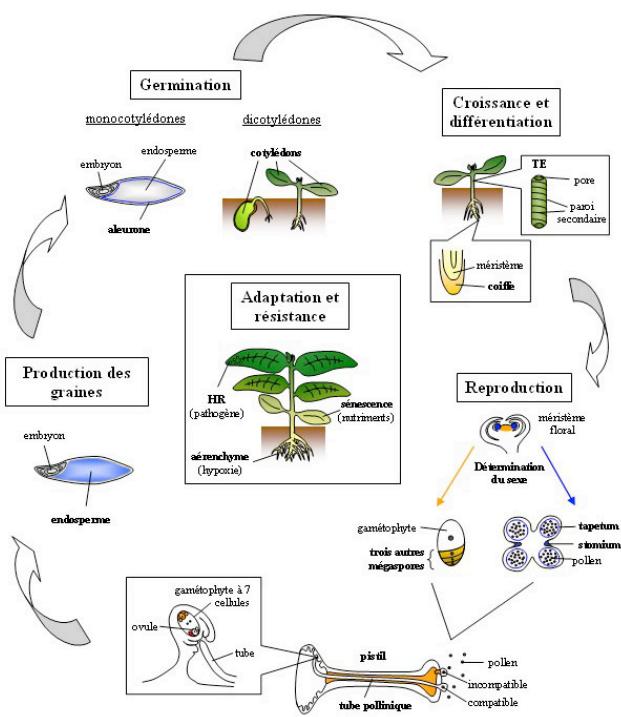
Les plantes sont dotées au niveau des apex et des cellules de la tige, de photorécepteurs qui leur permettent de mesurer avec précision la luminosité. Il s'installe une photopériodicité ayant pour conséquence une mobilisation hormonale, une dispersion de nutriments vers les centres de croissance, et un contrôle des autres facteurs.



- (1) – croissance unidirectionnelle en réponse à un stimulus unilatéral (– caractère adaptatif : recherche d'une lumière maximale)
- (2) – étapes du développement en réponse à un stimulus lumineux périodique (– entrée et sortie en dormance : contrôle de la floraison)
- (3) – réponses non directionnelles à un stimulus non unilatéral et non périodique ex : photocontrôle de la germination

II.F.a Cycle du développement

Les principales étapes du cycle de développement des végétaux sont l'embryogenèse, la germination, la croissance, la floraison et la sénescence.



Parallèlement, la multiplication végétative assure le développement d'une division sans reproduction sexuée. L'embryogenèse débute à la phase de reproduction avec la fécondation. La graine ou embryon se forme et reste en dormance jusqu'à la germination. Le déroulement de l'embryogenèse est géré par un système complexe d'expression génétique spécifique à chaque espèce.

Le résultat est un tissu de réserve et de téguments déshydratés.

La dormance de la graine est embryonnaire et hormonale, elle est fonction de l'ensemble des effets du cycle hormonal et des conditions externes, d'eau, d'oxygène, de températures et de lumière qui déclenche la germination et l'absence d'inhibiteurs.

La formation de la graine et la germination représentent deux stades physiologiques opposés :

- - Le premier est une mise en réserve et en dormance,
- - Le deuxième correspond à une réhydratation et une reprise des activités.

La croissance est cyclique et active tout au long de la vie de l'arbre au gré des saisons et de la génétique.

La floraison est la phase de formation des organes reproducteurs. Elle commence par la transition du méristème végétatif en méristème floral, on parle d'évocation florale. Puis, les bourgeons floraux apparaissent.

L'épanouissement des fleurs peut être immédiat ou très tardif après la formation des bourgeons. La floraison n'intervient qu'après une certaine maturité de la plante, allant de quelques entre-nœuds à plusieurs années en fonction des espèces.

Après plusieurs reproductions, la durée de vie de chaque espèce est déterminée génétiquement et correspond à un stade d'activité hormonale bien particulier.

La physiologie de la sénescence s'exprime autant dans le cas de la mort d'organes que de celui de la mort de la plante entière.

Dans le cas des organes, la sénescence intervient lors de la mort des feuilles pour les arbres caducs, pour le remplacement des feuilles âgées, des persistantes ou lors de la mort des fleurs et des fruits. La sénescence d'un organe s'accompagne la plupart du temps d'une sensibilisation des éléments après dégradation des macromolécules.

Ces produits d'hydrolyse (fragments de protéines, acides auxinés, oses, lipides...) sont redirigés vers les parties en développement. Ce phénomène peut être utilisé pour favoriser une floraison, le redémarrage d'un yamadori ou la reprise après une taille drastique.

Certaines techniques permettent de retarder la sénescence. L'utilisation de cytokinine qui provoque un effet de redirection et de rétention des métabolites, ainsi qu'une stimulation de la synthèse protéique.

Certains agents acidifient le milieu interne et limite la formation des bouchons dans les vaisseaux conducteurs. L'apport de certains éléments nutritifs comme le glucose, le saccharose ont également un effet retardateur.

II.F.b Cycle annuel de la croissance

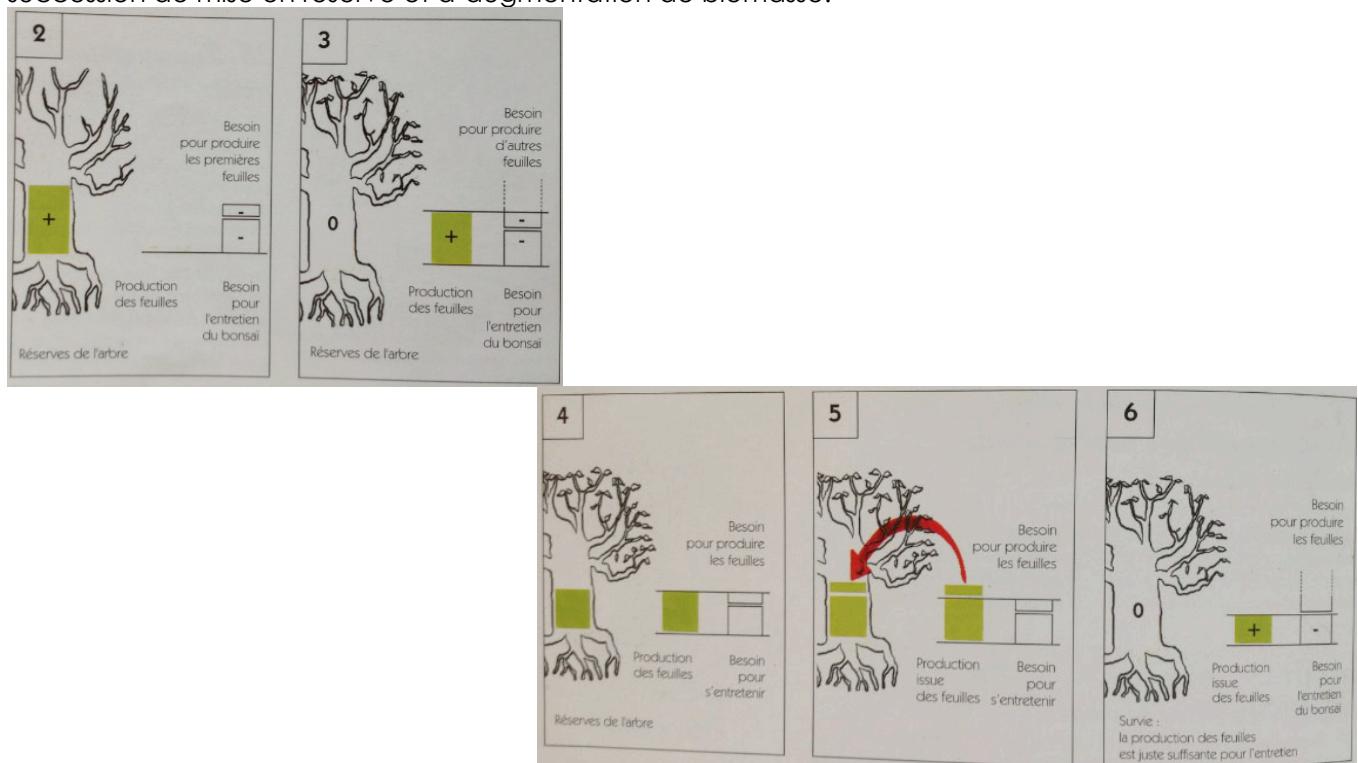
La croissance ne peut avoir lieu que si l'arbre dispose de l'énergie qui lui est nécessaire. Cette énergie ne peut être acquise que par l'activité photosynthétique et la corrélation qui existe avec l'apport en minéraux par les racines. Il faut donc une corrélation entre la croissance, l'alimentation et les conditions qui lui sont favorables. Les conditions sont en l'occurrence la luminosité, la température, le potentiel hydraulique et la richesse du sol qui varient en fonctions de saisons.

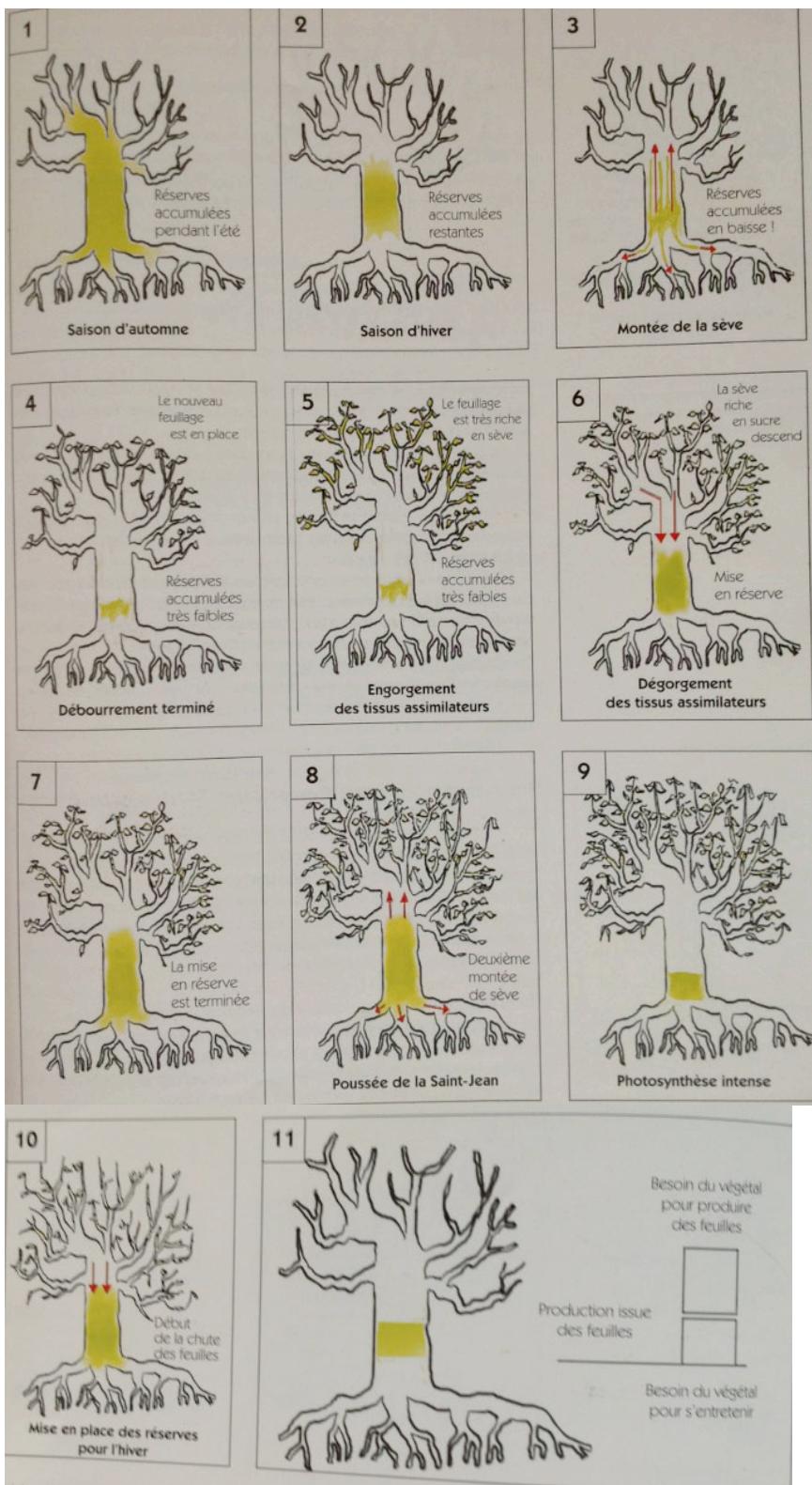
Face à ces variations, l'arbre s'adapte en répondant aux stimuli qui viennent de son environnement.

En bonsaï, la difficulté est bel et bien de conserver l'équilibre entre le métabolisme aérien et le métabolisme racinaire. Ces deux métabolismes agissent en synergie pour le développement de l'arbre mais dans milieux différents, l'aérien sur lequel nous n'avons que très peu de contrôle et le racinaire contraint dans son pot.

Or, les deux métabolisme sont en constantes relations et interagissent l'un sur l'autre. La problématique consiste donc à assurer l'équilibre artificiel entre trois paramètres, les conditions environnementales, le fonctionnement racinaire et les techniques de bonsaï.

L'alternance des saisons que ce soit en régions tempérées ou tropicales, conditionne une succession de mise en réserve et d'augmentation de biomasse.

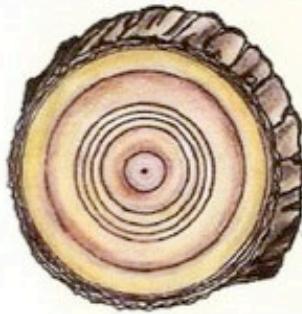




La traduction anatomique est la croissance en longueur, la croissance des anneaux annuels et concentriques du système vasculaire. On observe la formation du bois initial en début de saison, c'est le premier cycle de croissance annuel et le bois final ou tardif en fin de saison.

La taille, le diamètre et la densité des tissus vasculaires est selon que les conditions aient été ou non favorables. Les anneaux de croissance sont donc irréguliers et souvent excentriques puisque constitués de tissus vasculaires, formés d'après l'intensité de la division cellulaire de la zone cambiale qui, dans ce cas, suit les variations des facteurs externes et internes, elles mêmes variables et asymétriques.

Des anneaux très larges témoignent généralement d'une bonne année de croissance. On peut croire que l'arbre a reçu tout ce dont il avait besoin.



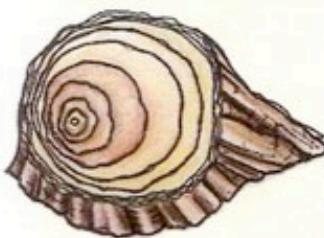
Des anneaux minces ne sont pas seulement le signe d'un manque d'ensoleillement ou d'eau. En effet, un feu de forêt a pu endommager le feuillage de cet arbre et ralentir le processus de croissance. Une défoliation par des insectes ou des champignons aurait aussi la même conséquence.

Aussi, un jeune plant grandit beaucoup plus qu'un arbre adulte. Sur une tranche d'un arbre âgé, les cernes sont assez larges au début de sa vie (au centre) mais rétrécissent progressivement. Un vieil arbre produit des cernes très étroits et sa croissance en diamètre et en longueur est considérablement ralenti.

Par exemple, cet arbre a probablement connu des premières années de vie assez difficiles! Peut-être que quelqu'un est venu lui donner un coup de main par la suite en coupant de gros arbres autour de lui, lui donnant ainsi plus de lumière pour que sa croissance se normalise..



Ils n'ont pas tous le cœur à la bonne place : ils peuvent présenter une croissance déséquilibrée. Si l'arbre a poussé dans un endroit exposé au vent, son bois a crû plus vite (anneaux plus larges) du côté opposé au vent que du côté face au vent.



Une telle tranche peut aussi provenir d'un arbre courbé. L'arbre a formé un bois de soutien (aussi appelé bois de compression) qui lui a permis de se redresser. Les anneaux sont plus larges du côté inférieur de la pente car la croissance y fut plus rapide.

Le rythme de l'application des techniques de bonsaï doit être calqué sur celui du métabolisme et de la physiologie de l'arbre.

Chaque période de croissance est ponctuée d'une période de dormance et de mise en réserve. L'interaction feuilles/racines implique que toute action sur l'une ou l'autre des parties dans une période défavorable sera au détriment de l'équilibre général de l'arbre.

Une diminution de l'exposition lumineuse entraîne systématiquement un ralentissement de l'activité des racines, les échanges entre parties aériennes et racinaires concernant les aliments, minéraux organiques et catalytiques.

II.F.c Cycle cellulaire

C'est celui qui rythme la vie de la cellule, comme cela a déjà été mentionné.

III. Proportions et conicités

Le sujet des proportions dans le bonsaï est régulièrement traité dans les ouvrages, et les divers articles que l'on peut rencontrer. La notion de conicité, quoique souvent mentionnée, est quant à elle assez peu développée, probablement à cause de l'évidence de sa définition.

L'intérêt de ces deux paramètres réside donc d'avantage dans leur utilisation comme outils

d'expression, c'est-à-dire d'un point de vue esthétique.

La maîtrise de ces outils est indispensable pour susciter des sentiments tels que, la puissance ou la féminité chez l'observateur. Cela passe bien entendu par une bonne connaissance technique, mais également par le rapport au temps qu'elle induit.

Cependant, arriver à déclencher des sentiments ou des émotions, relève du vécu de l'observateur. Chacun d'entre nous, réagissons en fonction de ce que nous sommes, de notre éducation, de notre culture et de nos expériences.

Tous nos sentiments sont donc fonction de l'histoire écrite dans notre subconscient. L'exercice sera d'autant plus réussi, qu'il nous sera possible de percevoir, les repères et symboles qui suggèrent à notre subconscient et permettent de créer l'illusion.

C'est ainsi, par exemple, qu'un « nébari » large et étalé nous inspire la force et la stabilité. Ces deux adjectifs représentent la sécurité, ils nous rassurent. De la même façon qu'un « lettré » va inspirer finesse et liberté.

Certains types de questions peuvent tout de même être posées. A partir de quel diamètre le « nebari » est-il considéré comme puissant ? un arbre trapu inspire-t-il tout le monde de la même manière ?

En somme, est-il possible de normaliser les ressentis ?

III.a Le nombre d'or

La codification permet de mettre les symboles et leurs significations dans un cadre, afin de les rendre plus accessibles, plus maniables. Des lois sont alors créées. L'inconvénient des codes, c'est qu'ils non vraiment de sens que dans la culture et l'environnement dans lesquels ils ont été établis.

Les proportions et les types de conicités n'y échappent pas. Les règles qui les régissent sont citées dans la plupart des ouvrages traitant du bonsaï. Elles ont le mérite de guider le bonsaïka sur la voie de la construction du beau, en fonction d'un raisonnement logique selon la disposition d'éléments les un par rapport aux autres.

C'est le principe de l'apprentissage.

La liberté d'évoluer et d'exprimer ne peut s'acquérir au détriment de l'intégration de bases solides, de principes et de règles.

Les premières règles, qui sont énumérées dans la pratique du bonsaï, traitent des rapports et des proportions.

L'emplacement de la première branche par rapport à la hauteur de l'arbre, le diamètre du collet par rapport à la hauteur de l'arbre, ou encore la disposition et le diamètre des branches les unes par rapport aux autres et par rapport au diamètre et à la conicité du tronc.

Il s'agit de créer une harmonie d'ensemble, indispensable à la notion d'équilibre.

C'est dans ce cadre qu'apparaît le nombre d'or et la suite de Fibonacci.

La suite de Fibonacci fournit des approximations successives du nombre d'or, dont la limite tant vers ce nombre.

$$F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$$

C'est-à-dire :

F_0	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	...	F_n
0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233	377	610	987	1597	2584	4181	6765	10946	17711	28657	46368	75025	...	$F_{n-1} + F_{n-2}$

Ce nombre d'or est un nombre irrationnel et représente mathématiquement l'unique solution de l'équation :

$$X^2 = X + 1$$

Il est symbolisé par la lettre phi (φ) et équivaut à :

$$\varphi = 1 + \sqrt{5} / 2 = 1,6180339887$$

Ce chiffre est considéré comme une proportion, il est défini comme l'unique rapport tel que $(a+b)/a = a/b$.

Le nombre d'or à depuis sa découverte dans l'Antiquité, fait couler beaucoup d'encre, tantôt

qualifié d'or, tantôt complètement décrié voir laissé à l'oubli.

Il est cependant récurrent dans beaucoup de domaines comme dans la nature, l'architecture, ou la description de certaines galaxies.

Mais si d'un point de vue mathématique son intérêt s'estompe considérablement avec l'histoire, il est encore jusqu'aujourd'hui un symbole fort. Il semble représenter un nombre mystique, qualifié par certains de divin.

Ce qui est important pour nous de comprendre, c'est que dans notre pratique du bonsaï, le symbole et la suggestion sont au centre de notre pratique. Les bases du nombre d'or se trouvent dans tous les arts tels que, la musique et la peinture. Un nombre si discuté et ayant traversé les époques ne peut être qu'évocateur, au détriment de la vérité.

Il représente l'universalité du canon de beauté, associée au mysticisme. Aucune démonstration scientifique n'a pu confirmer l'universalité du nombre d'or, mais aucune d'entre elle n'a pu enrayer sa transcendance en tant que valeur esthétique. Il est clair que même si nous nous en défendons, ce nombre est bel et bien inscrit dans nos subconscients, car la majorité de nos bonsaï construits classiquement, avec une branche latérale, une en contre poids et la troisième en profondeur, voient cette première branche placée approximativement au tiers de la hauteur du bonsaï. Et ce sans qu'aucun instrument de mesure n'ait été utilisé. Cela est probablement le fait de l'intégration de nos lectures, de nos diverses expériences en bonsaï, mais également de l'intégration inconsciente de la façon dont poussent les arbres situés dans notre environnement, et de ses paramètres qui le symbolise. Chaque individu capte une certaine combinaison de ces symboles.

De l'association de notre subconscient ainsi nourri et de notre conscient, résulte notre façon de construire un bonsaï.

A ce moment, les proportions des branches et des rameaux par rapport à la morphologie et au type de conicité de l'arbre devient un outil d'expression, un langage.

Il devient alors nécessaire de résoudre l'équation composée des cycles biologiques et des techniques bonsaï, afin de traduire le « langage bonsaï » en émotion et en sentiments.

III.b Technique et rapport au temps

Le respect des cycles biologiques, des équilibres hormonaux et métaboliques qui lui sont associés, permet d'appliquer les bonnes techniques bonsaï au moment opportun.

Il en découle un calendrier des travaux, rythmé à l'image de la vie naturelle de l'arbre dépendant comme lui des affres du temps.

Tous déséquilibres entre les cycles biologiques, l'énergie de l'arbre et les techniques bonsaï entraînent inévitablement un affaiblissement en relation directe avec le degré de ces déséquilibres.

La recherche de la conicité ou de la proportion dépend donc d'une bonne maîtrise de cet équilibre, le rapport des taux de croissance en longueur et en épaisseur définissant cette conicité. C'est pourquoi j'ai pris le parti de m'attarder sur la description du développement des végétaux supérieurs.

Il représente un véritable échéancier de l'application des techniques, et permet d'optimiser les résultats attendus sur la vigueur et la morphologie de nos bonsaï.

On comprend aisément que les techniques de vieillissement (abaissement des branches, tailles de densification et de ramification) appliquées prématurément, ralentissent considérablement la croissance, et jouent un rôle important dans la construction logique et harmonieuse.

L'idée que le temps est un allier considérable fait maintenant son chemin. Il permet la formation de vaisseaux conducteurs et d'une écorce adéquates. Il nous conduit, non seulement vers le mochikomi, le wabi et le sabi, mais plus globalement, vers ce pouvoir évocateur tant recherché.



Le type de proportion et de conicité auquel je m'intéresse ici, n'est pas celui décrit systématiquement dans les livres, car je ne ferais que répéter, ce qui l'a déjà été bien des fois. Aussi, sa description et les débats qu'il occasionne, atteignent rapidement leurs limites, la subjectivité s'en mêlant.

Les proportions et les conicités, qui font couramment défaut sur les arbres rencontrés au cours de mes déplacements y compris dans mon jardin, sont les rapports entre la dimension des branches et celle du tronc. Ce rapport contribue fortement à l'harmonie d'ensemble et répond à une certaine cohérence.

Trop souvent, le diamètre et la conicité sont sous dimensionnés, probablement dû à l'emprise du bonsaïka à rechercher le profil de l'arbre au détriment de l'architecture et sans le désirer de la vigueur.



L'ego est indubitablement attaché au bonsaï, il est donc souvent difficile de s'en rendre compte, jusqu'au jour où le bonsaï se retrouve directement confronté à un autre, aux meilleures proportions, par exemple en exposition.

Certains exemples permettent d'illustrer cette recherche des proportions et conicités. Il est bien entendu que cette recherche, chez un arbre trapu ou chez un lettré, ne représente pas la même démarche technique.

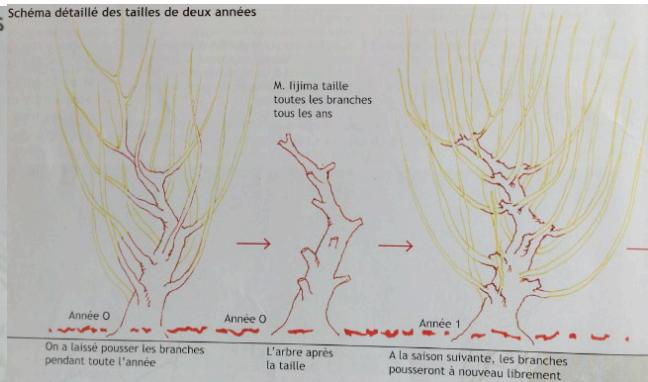
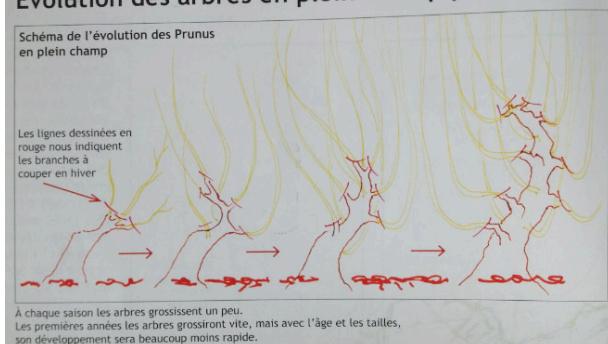
Mais quelque soit la technique utilisée, pour une conicité courte, longue ou intermédiaire, elle doit être appliquée selon les mêmes principes, c'est-à-dire en corrélation avec les cycles de croissances. La différence tient uniquement de la gestion du temps entre deux techniques, de la santé de l'arbre et de sa génétique.

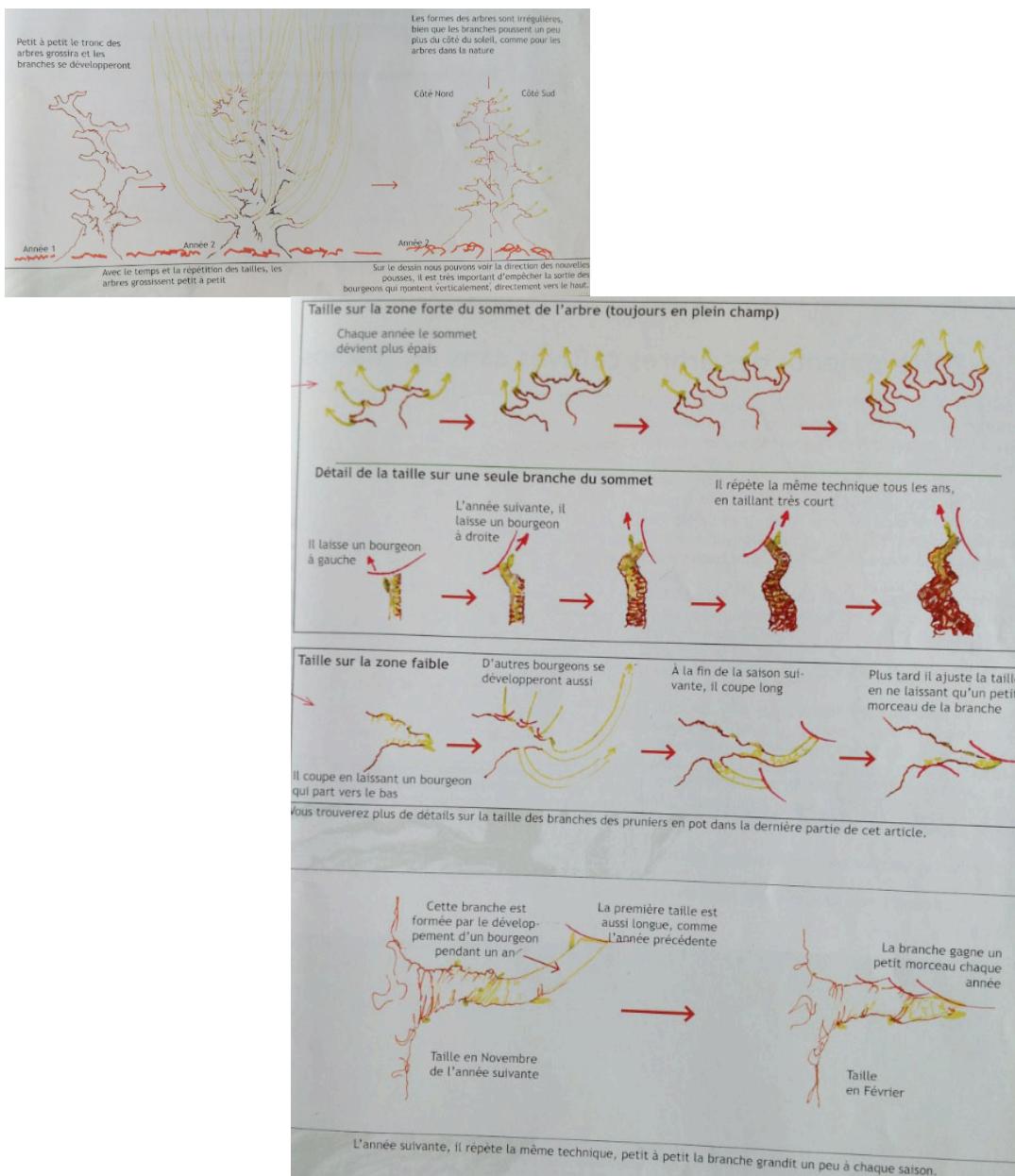
III.B.a Exemples

Dans le France Bonsaï n°40, est présenté un article intitulé « Evolution des arbres en plein champ pendant 35 ans », de Momoyo Nishiyama, Joseph Maria Miquel, avec les dessins de Thierry Font.

Ce que l'on constate, c'est que dans les premières années de culture, les branches ne sont coupées qu'après une saison entière de pousse.

Évolution des arbres en plein champ pendant 35 ans



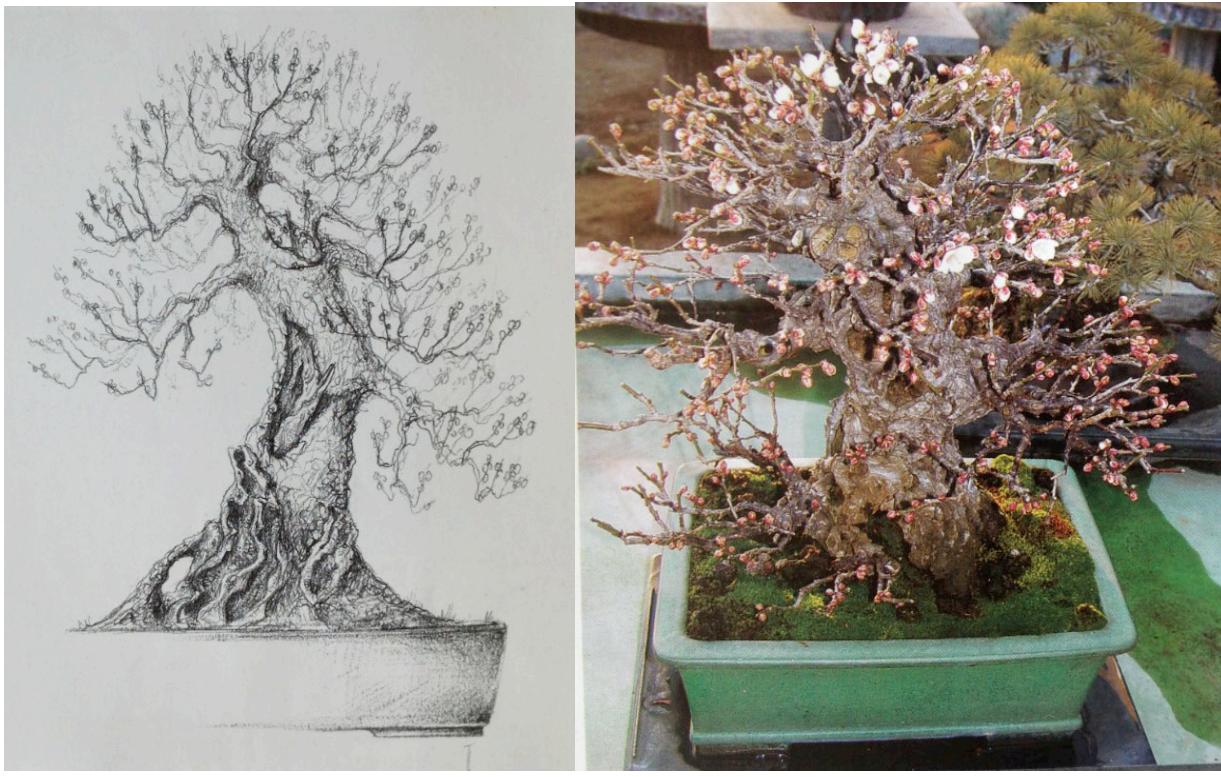


Cette liberté de pousse permet aux Prunus de M.Iijima, de construire un système vasculaire fort, nécessaire à une circulation de sève importante, et à une différence de diamètre conséquente, entre la nouvelle pousse et la section de l'année précédente.

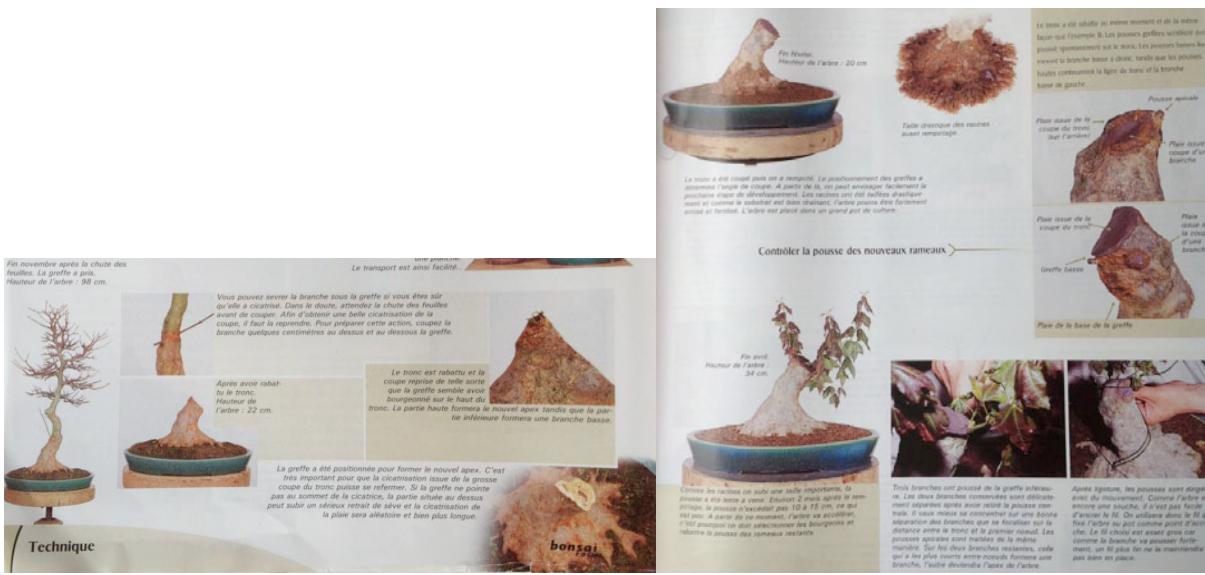
L'importance de cette différence conditionne le degré de conicité obtenu. Le diamètre initial lors de la première coupe déterminera la dimension du futur tronc ou de la future branche, et dans une autre mesure, respectivement la hauteur finale de l'arbre et la longueur finale de la branche. Plus elle est grande, plus la conicité sera courte, ou plus l'arbre sera haut. Il en est de même pour une branche.

En d'autres termes, il est toujours possible de jouer sur la longueur de la nouvelle pousse, pour ajuster la conicité selon les objectifs.

Le deuxième constat est qu'il taille en octobre ou novembre, après la chute des feuilles. Les arbres sont à ce moment gonflés en réserves et peuvent profiter de la remobilisation des métabolites, dû à la sénescence des feuilles.



L'autre exemple se trouve dans le Bonsaï Focus n°36 p 92 à 101. L'article de « kindai bonsai » sur le travail de l'artiste Maitani Youhei, explique une technique de greffe pour l'amélioration d'un érable trident.



La greffe est sevrée toujours en novembre, après la sénescence des feuilles.

A la coupe du tronc, commence la cicatrisation. Physiologiquement, le stress occasionné par la taille drastique, induit la libération de dérivés phénoliques par l'activité des hormones. Une vague de lignine bouche les vaisseaux conducteurs sectionnés, afin de limiter la fuite de sève et des réserves.

Puis les équilibres hormonaux se déplacent vers la stimulation de la reconstruction du bois.

Parallèlement, d'autres hormones comme l'éthylène, inhibent la croissance et focalise l'énergie à la cicatrisation. Ce serait aller à l'encontre de l'arbre, donc des objectifs à atteindre, que d'entamer à ce moment une formation drastique comme une taille importante ou un abaissement fort des branches par ligature.

La greffe étant stabilisée, elle permet à la cytokinine de mobiliser les métabolites vers ces nouveaux bourgeons apicaux. L'espace temps de novembre à juin est donc nécessaire.

Au mois de juin, les bourgeons apicaux sont pincés de façon à annuler le rétrocontrôle sur les bourgeons axillaires. Leur développement contribue la croissance en épaisseur des nouvelles

branches.



Le fait de pincer les branches basses, la circulation de la sève est favorisée vers le nouvel apex de l'arbre. Le retrait des pousses inutiles accentue la croissance en longueur et accélère la fermeture des plaies.

A l'image de l'exemple sur le travail de M.Iijima, les travaux sont cycliques, une nouvelle taille drastique est réalisée une fois les plaies refermées et l'étape du cycle biologique favorable.

Au niveau des racines, les rempotages se font à la fin du mois de février, juste avant le débourrement. S'il devait être effectué après le débourrement, l'évapotranspiration par les feuilles risque de vider l'arbre de son eau, les racines étant moins fonctionnelles.



Le débourrement se fait grâce aux réserves de l'arbre, d'où l'intérêt du respect des cycles biologiques et de régénération d'un système racinaire fonctionnel.

La taille des racines crée une accumulation des tissus primaires, mais surtout secondaires à la base de l'arbre. La conséquence est un élargissement de la base, accentué par la fusion des racines au fur et à mesure des années.

Le retrait systématique des racines centrales (situées sous le nébari), concentre le phénomène à la circonférence.

L'action conjointe de l'élargissement du nébari et l'alternance des tailles drastiques, sont à l'origine de la conicité. Elle n'est possible qu'en considérant le facteur temps car indissociable des phases

de repos, de croissance et de mise en réserve.



III.B.b Expériences personnelles

Le « Campêche » (*Haematoxylon campechianum*)

Ce Campêche a été prélevé en juillet 2006. Je l'ai laissé en culture pendant environ 6 mois avant de faire les premières sélections de branches et de poser les premières ligatures. Les deux premières erreurs commises sur cet arbre ont été de ne pas laisser les premiers départs, pousser jusqu'à un diamètre suffisant, et d'avoir abaissé ces pousses de six mois.



L'arbre en 2007, puis en 2008, montre déjà un profil. Le diamètre des branches est cependant insuffisant, leur aspect en tuyau correspond à une conicité presque inexisteante.

Pour une croissance optimum, le Campêche à besoin d'une exposition à la lumière directe et ce pour chaque bourgeon apical ou adventif. Son phloème est assez mince comparativement à d'autres espèces, il est donc impératif de former des sections de branches et de rameaux importants afin d'augmenter la capacité de distribution de la sève élaboré, et d'espérer par la suite une ramifications dense.

Les bourgeons dormants, existant dans les premiers centimètres d'une branche de campêche, ne peuvent s'éveiller qu'avec une exposition directe au soleil, et une absence de rétrocontrôle des bourgeons caulinaires, très fort chez cette espèce.

A partir d'une certaine limite de diamètre, les bourgeons dormants ont beaucoup de mal à s'éveiller, même dans de bonnes conditions. Un bon compromis s'impose.



En mai 2010 je décide de reprendre la construction de l'arbre et ne laisse que les charpentières principales, auxquelles je retire les pousses latérales afin de favoriser la croissance en longueur dans un premier temps.

Le mois de mai représente la sortie de la période sèche, c'est-à-dire la sortie de la dormance.

En avril 2014, l'arbre s'est considérablement amélioré.

La dimension des branches reste encore faible, surtout les plus basses, sensées être les plus fortes.
Le désir de voir se dessiner le profil de l'arbre l'a parfois emporté sur la patience.

Sur certaines branches, des défauts de conicité s'observent au niveau des rameaux secondaires et tertiaires.

Il faudra encore quelques années pour les corriger.

Mai 2014

QuickTime™ and a decompressor
are needed to see this picture.

L e « Kalpata »
(Thespesia populnea)

Les grandes feuilles de cette espèce sont trompeuses, à l'image de l'Hibiscus Thiliaceus et du Premna, elles peuvent être réduites à la taille d'un ongle.



Son écorce rugueuse et son bois mort très dense en font une essence d'intérêt pour la pratique du bonsaï.

Ce yamadori est prélevé et mis en pot de culture à la fin du mois d'avril 2011.



La première étape est de rattraper la conicité après les coupes franches, faites lors du prélèvement. Les premiers départs vont évoluer librement pendant toute la saison 2011/2012. A la mi-avril 2012 les bourgeons apicaux sont pincés et les nouvelles pousses sont rabattues petit à petit jusqu'à la fin du mois de mai, ce qui permet d'obtenir des pousses de relais sans trop affecter le flux de sève. Le résultat est le réveil des bourgeons axillaires.

Ils sont sélectionnés et laissés libres encore une saison. L'opération est répétée jusqu'à 2014.



Après avoir laissé évoluer chaque nouvelle pousse jusqu'à une longueur d'environ 20 cm, une ligature est posée, juste sur les 10 à 15 premiers centimètres, afin d'ajuster l'angle de sortie par rapport au tronc, et de laisser pénétrer le soleil.
Le reste du travail s'effectuera en alternant la taille, le temps et la ligature.

IV. Conclusion

La tentation de préférer l'esthétique d'apparence obtenue plus rapidement, à celle basée sur l'effet du temps, est constante dans notre quotidien. Même dans les cultures où l'ancien est un repère, une base, les nouvelles générations tendent vers le nouveau, vers le démonstratif. La notion du temps dans la pratique du bonsaï représente pour beaucoup de bonsaïka un frein, un obstacle qu'ils contournent volontiers. Pourtant, l'application des techniques bonsaï en fonction des cycles biologiques à fait ses preuves dans tous les cas. Les plus beaux arbres qui nous servent d'exemples sont issus de ce principe, et ce même pour les bonsaï originaires des milieux tropicaux. Une fois les vaisseaux conducteurs secondaires suffisamment développés, les nutriments en quantité et les conditions environnementales réunies, l'arbre peut accepter beaucoup plus facilement les techniques qui lui sont imposées. Le profil de l'arbre dans ce cas apparaît en second lieu, mais il est associé à des proportions d'un niveau similaire et à une vigueur bien supérieure. L'harmonie est augmentée et le pouvoir évocateur du bonsaï gagne au fur et à mesure du temps.

