



# Introduction à l'architecture des plantes

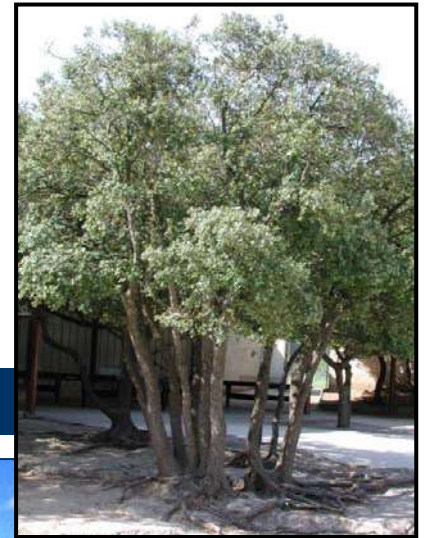
Yves Caraglio

***Botaniste***

Centre de **C**oopération  
International **A**gronomique  
pour le **D**éveloppement

# Qu'est-ce qu'une plante ?

- Organisme fixé
- Acquérir des ressources
  - Système racinaire
    - Ressource Eau + Elts Min
    - Ancrage



# Qu'est-ce qu'une plante ?

- Organisme fixé
- Acquérir des ressources
  - Capteur d'énergie lumineuse
  - Feuilles
    - Formes différentes, 2D





# Qu'est-ce qu'une plante ?

- Organisme fixé
- Acquérir des ressources
  - Systèmes d'axes
  - Porte les feuilles, 3D





# La plante : système d'axes

- Les caractéristiques
  - Vert !
  - Immobilité
  - Embryon... Tout au long de la vie
    - De la graine à l'arbre
    - De plus en plus d'axes,
    - Complexité croissante de l'organisme



?



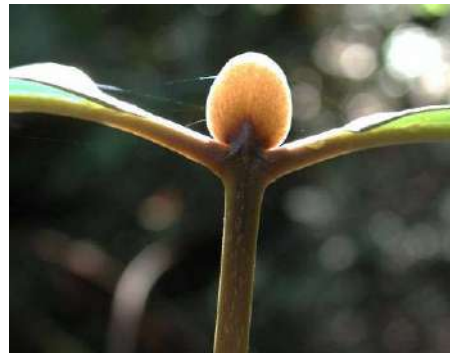
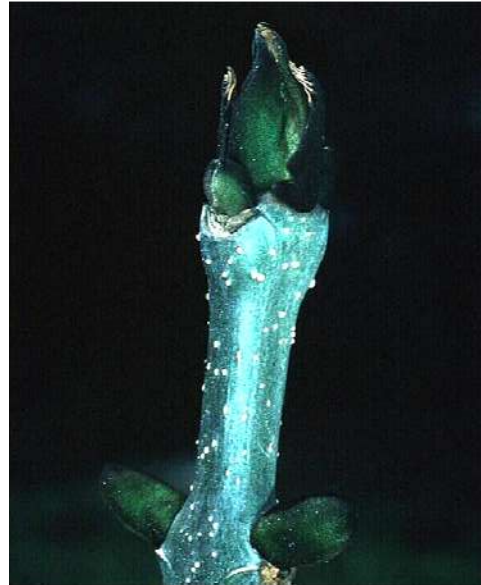
**Comment se construit la structure végétale ?**

# Le végétal qui pousse !

- **Croissance**
  - Partie terminale des axes



## Croissance des tiges : les bourgeons





## Croissance : les bourgeons

- Partie terminale des axes
  - Pièces foliaires présentes

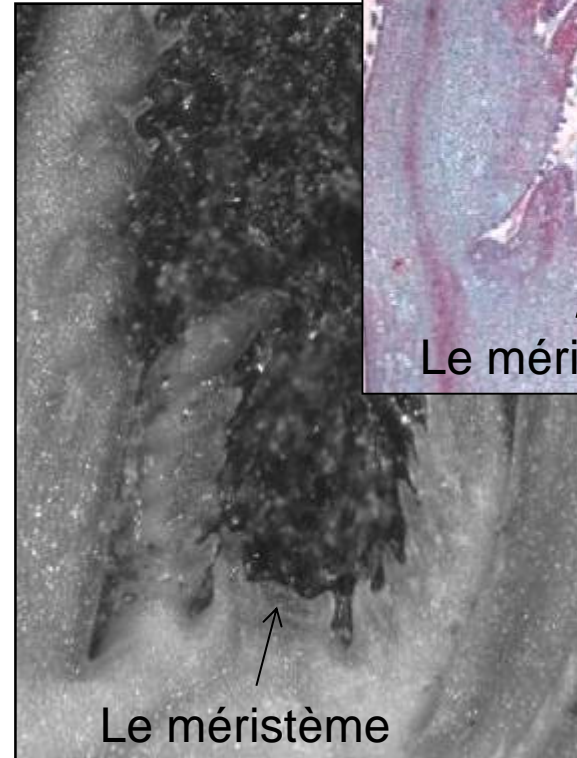


Le Marronnier

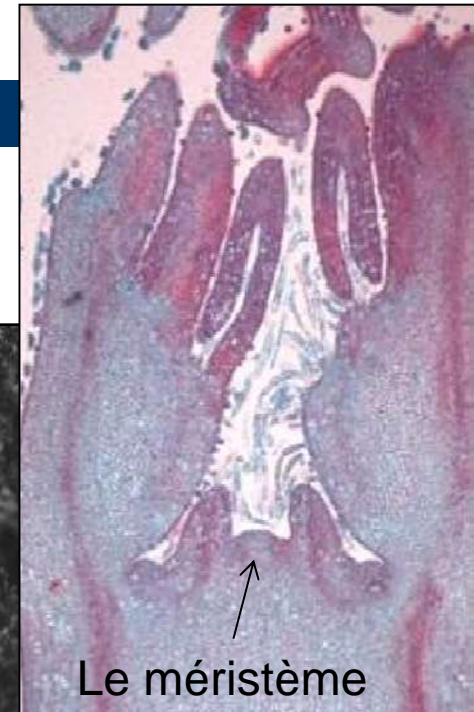


## Origine de la croissance

- Ebauches foliaires et éléments de tige
- Le Méristème



Le Frêne



## Origine de la croissance

- Ebauches foliaires et éléments de tige
- Le Méristème

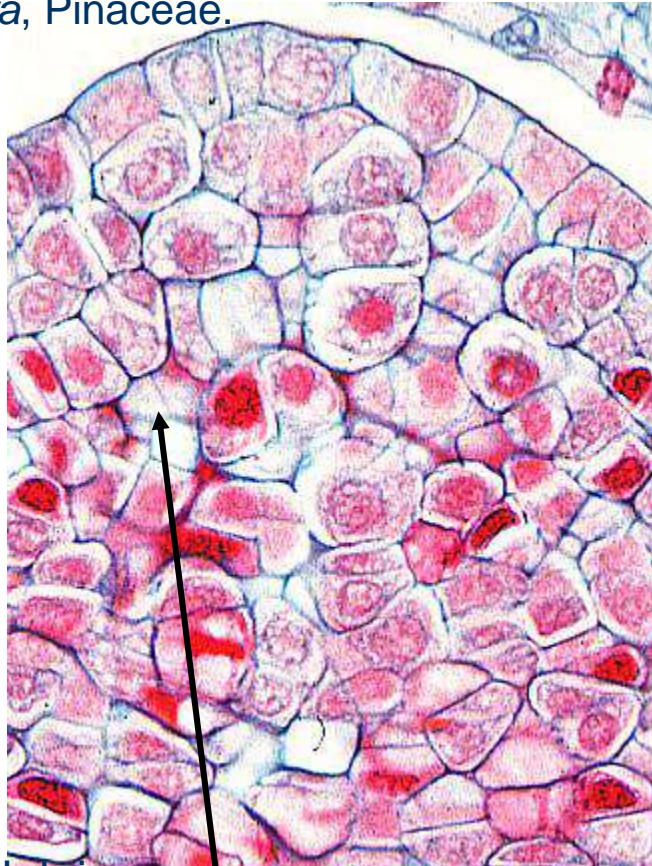
Le Riz





## Périodicité du fonctionnement méristématique

*Pinus nigra*, Pinaceae.



Cycle cellulaire

Cellule en recloisement

*Chrysanthemum segetum*, Asteraceae



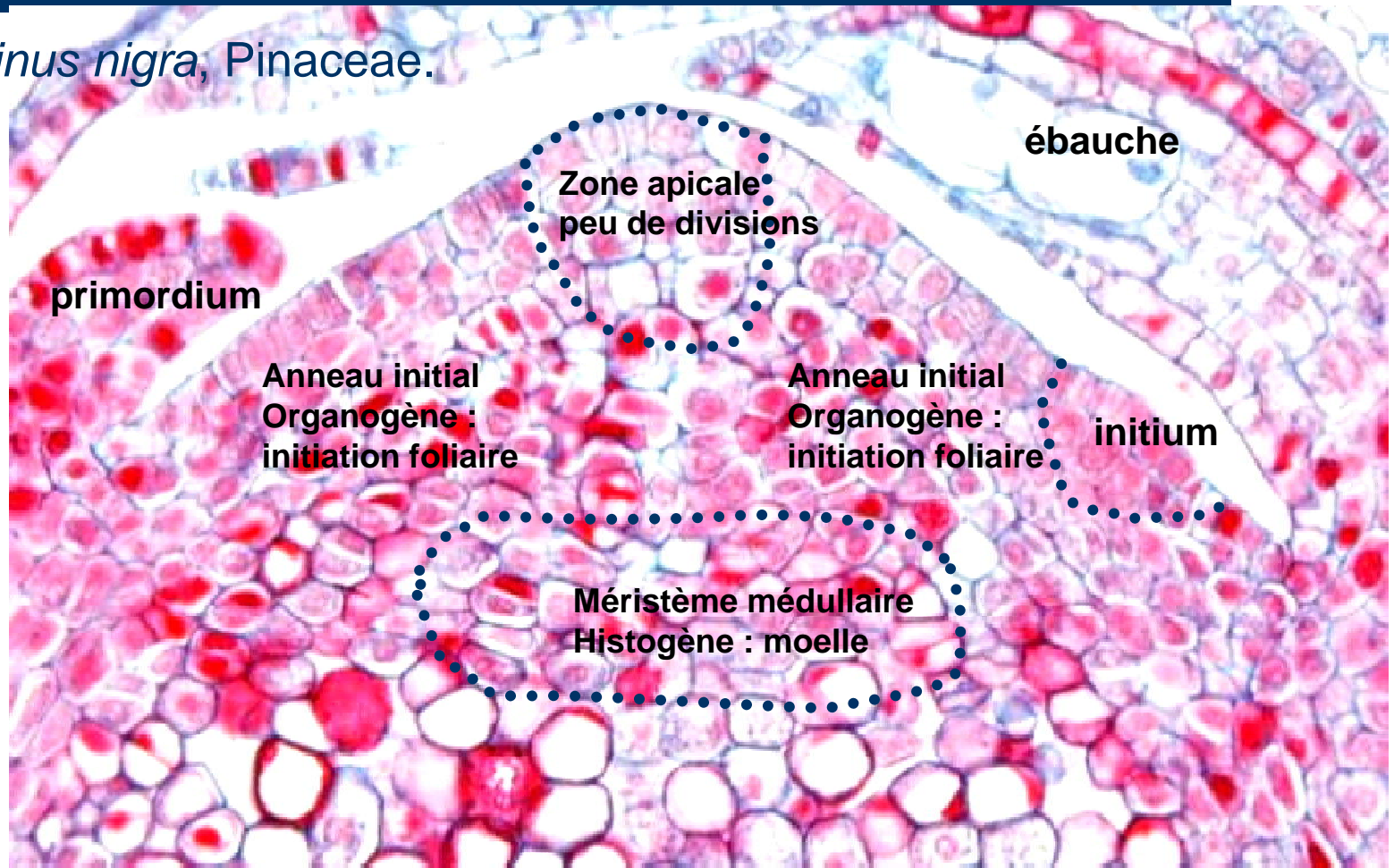
Indice mitotique (nbre de cellules en division à un instant donné)

Les différences dans le rythme et la localisation des divisions cellulaires ont amenés à définir différentes zones au niveau du méristème.

⊗ Zonation territoire méristématique

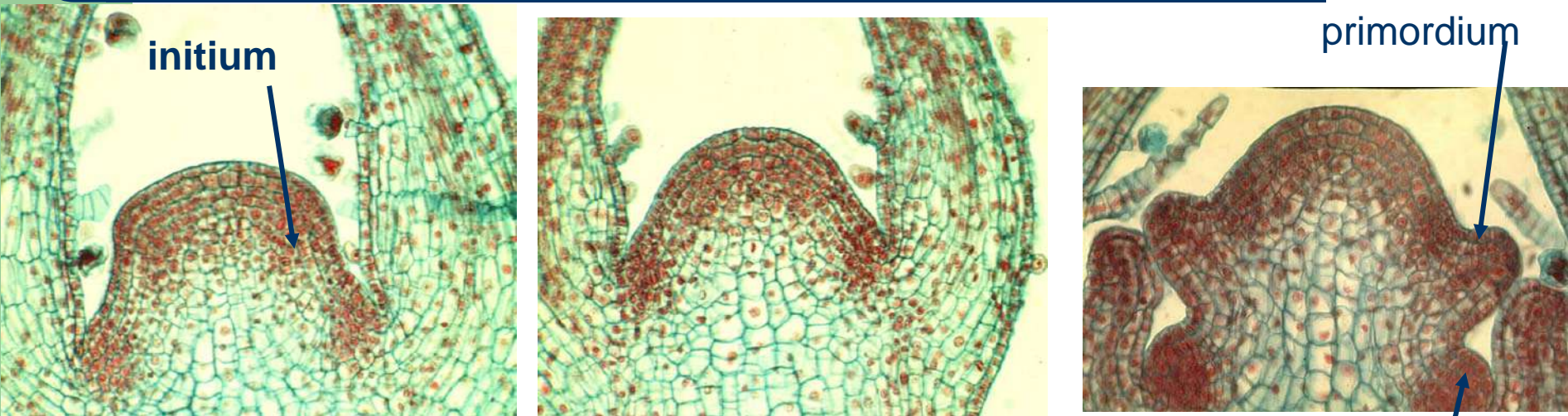
## La zonation du méristème

*Pinus nigra*, Pinaceae.





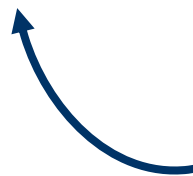
## Fonctionnement méristématique



Aire maximale



Aire minimale



Phase de restauration



primordium

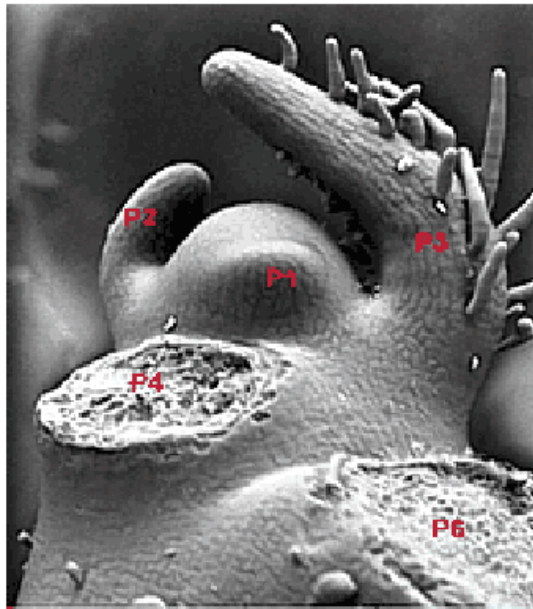
Méristème axillaire

*Coleus* sp. Lamiaceae

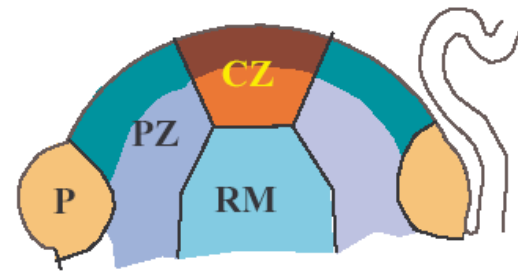


## Fonctionnement méristématique

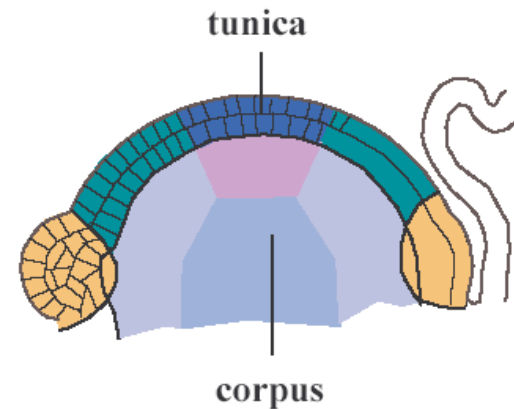
### Architecture du méristème



(Photo: Kuhlemeier)



(J. Traas)

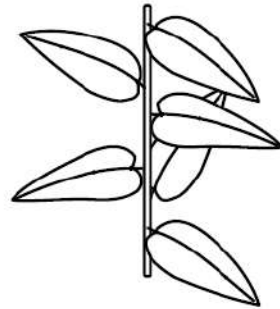


## Conséquence : la phyllotaxie

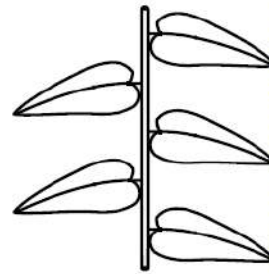
### Disposition des feuilles sur la tige d'une plante

*1 feuille par nœud*

*plusieurs feuilles par nœud*



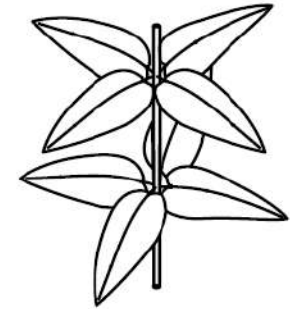
**Alterne spiralée**



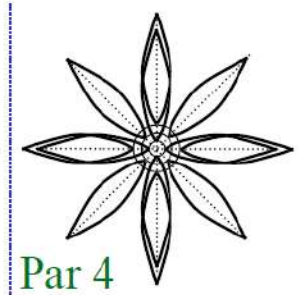
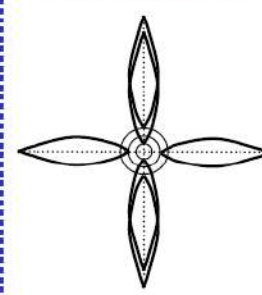
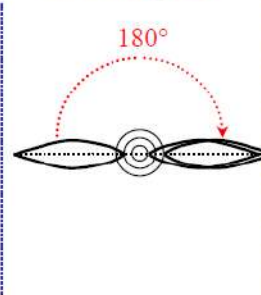
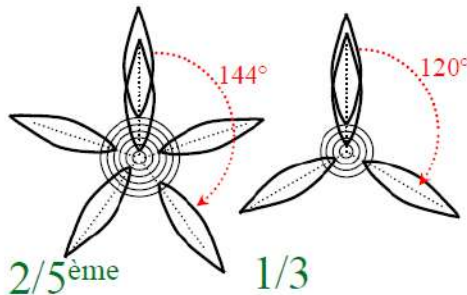
**Alterne distique**



**Opposée-décussée**



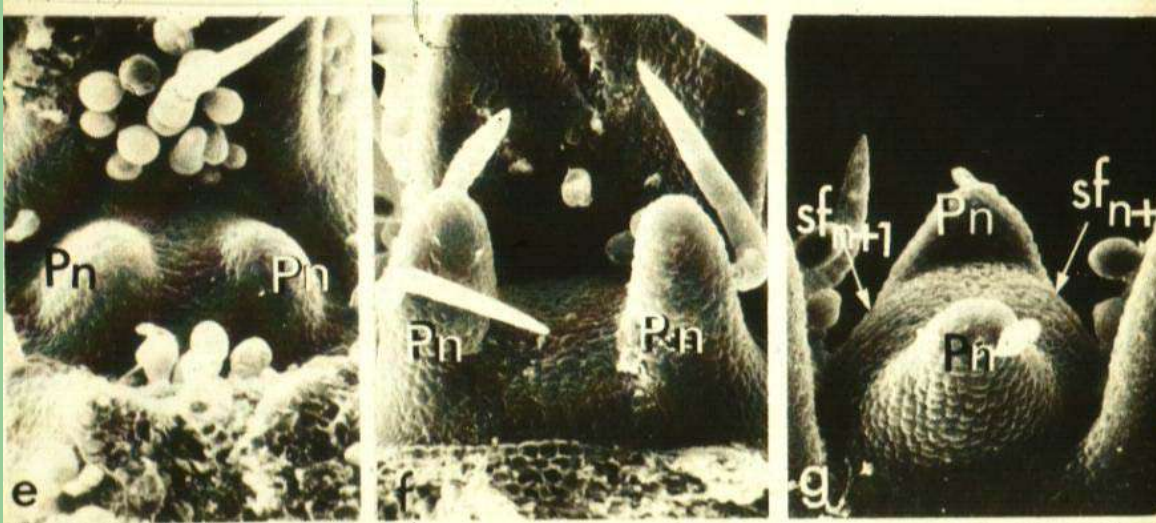
**Verticillée**



## La phyllotaxie



Alterne distique. Noisetier.



Opposée décussée. Viorne Tin.



Alterne spiralée. Chou-rouge.



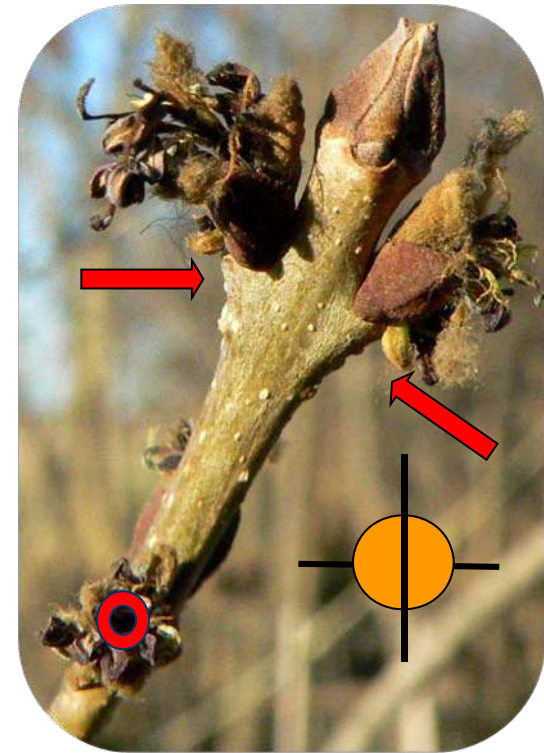
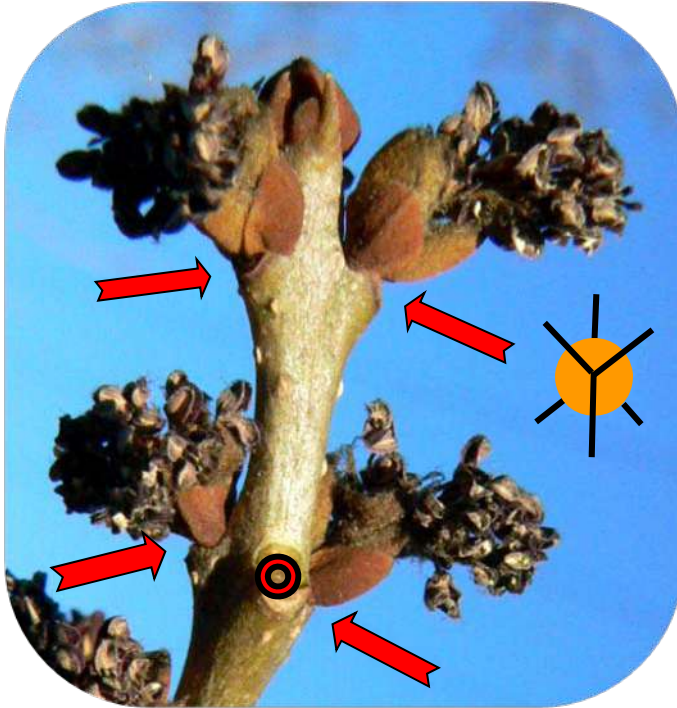
## La phyllotaxie : peut changer



M. Bottolier, 2005

*Fraxinus angustifolia*. Oleaceae

## La phyllotaxie : peut changer



*Fraxinus angustifolia*. Oleaceae

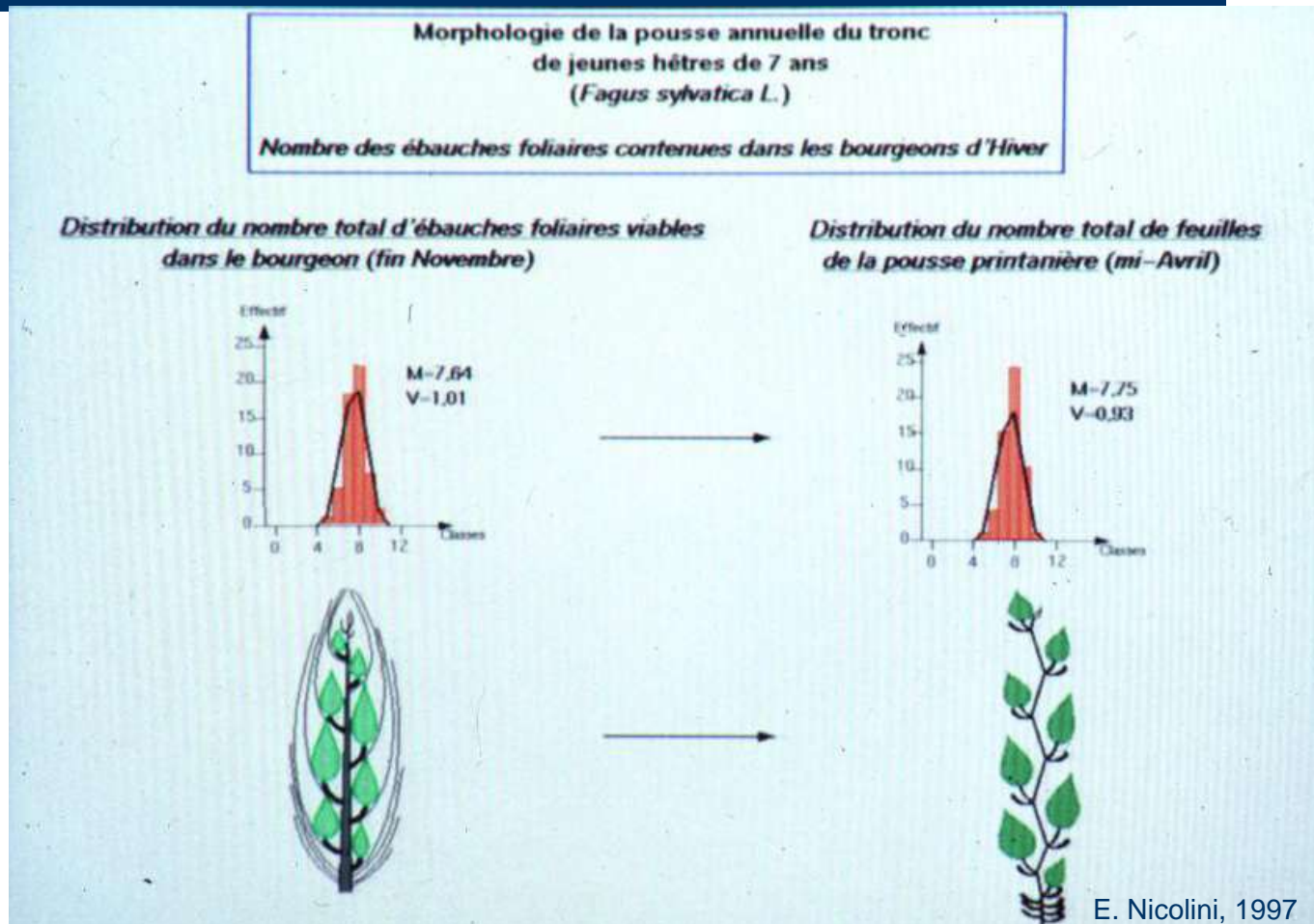
## Conséquence : Allongement

- Allongement des axes
  - Partie terminale des axes

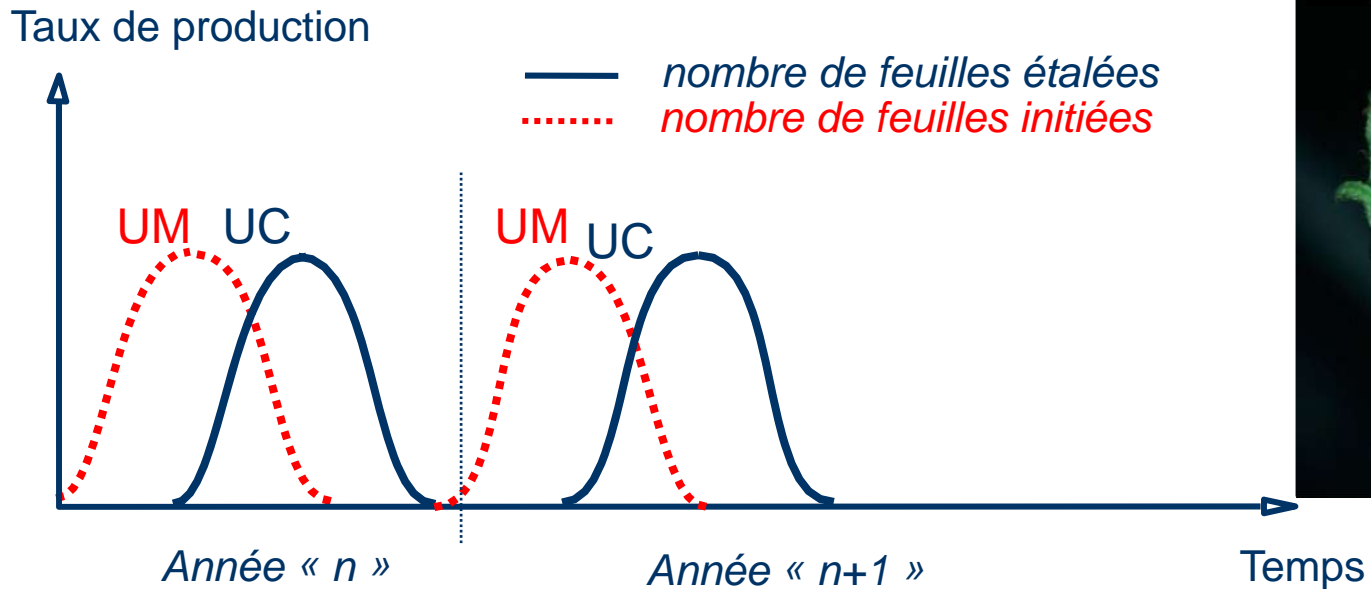




## Croissance : Allongement + Organogénèse



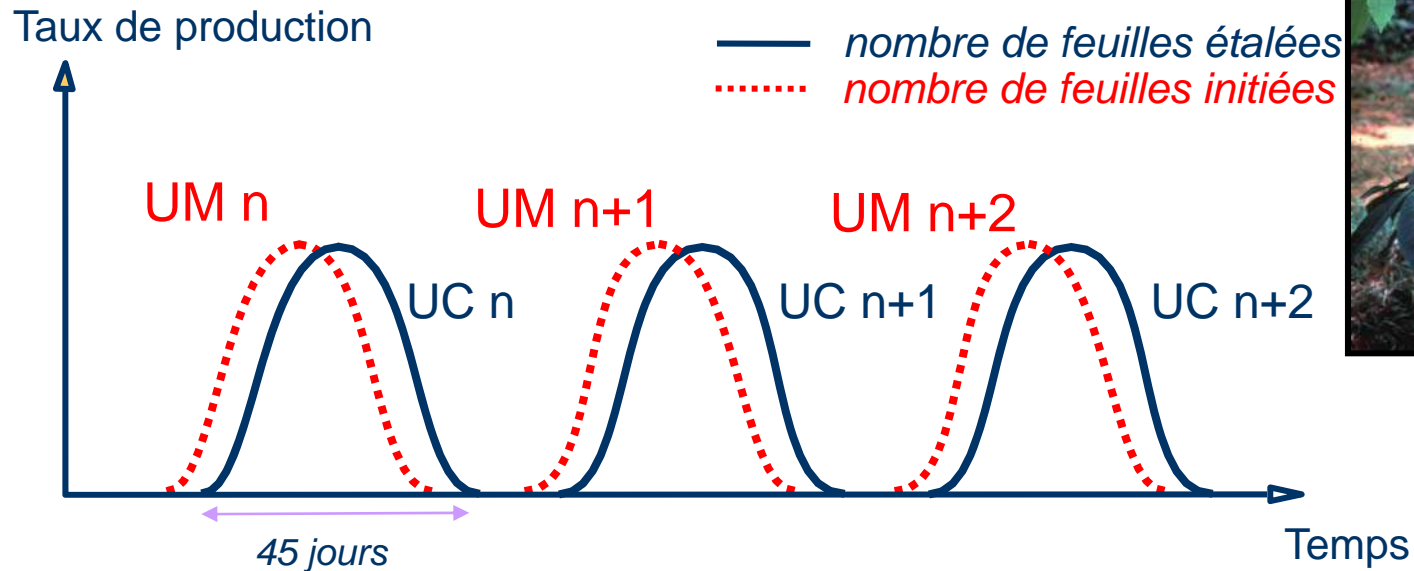
## Croissance : Allongement + Organogénèse



*Fraxinus americana* (Gill, 1971)



## Croissance : Allongement + Organogénèse

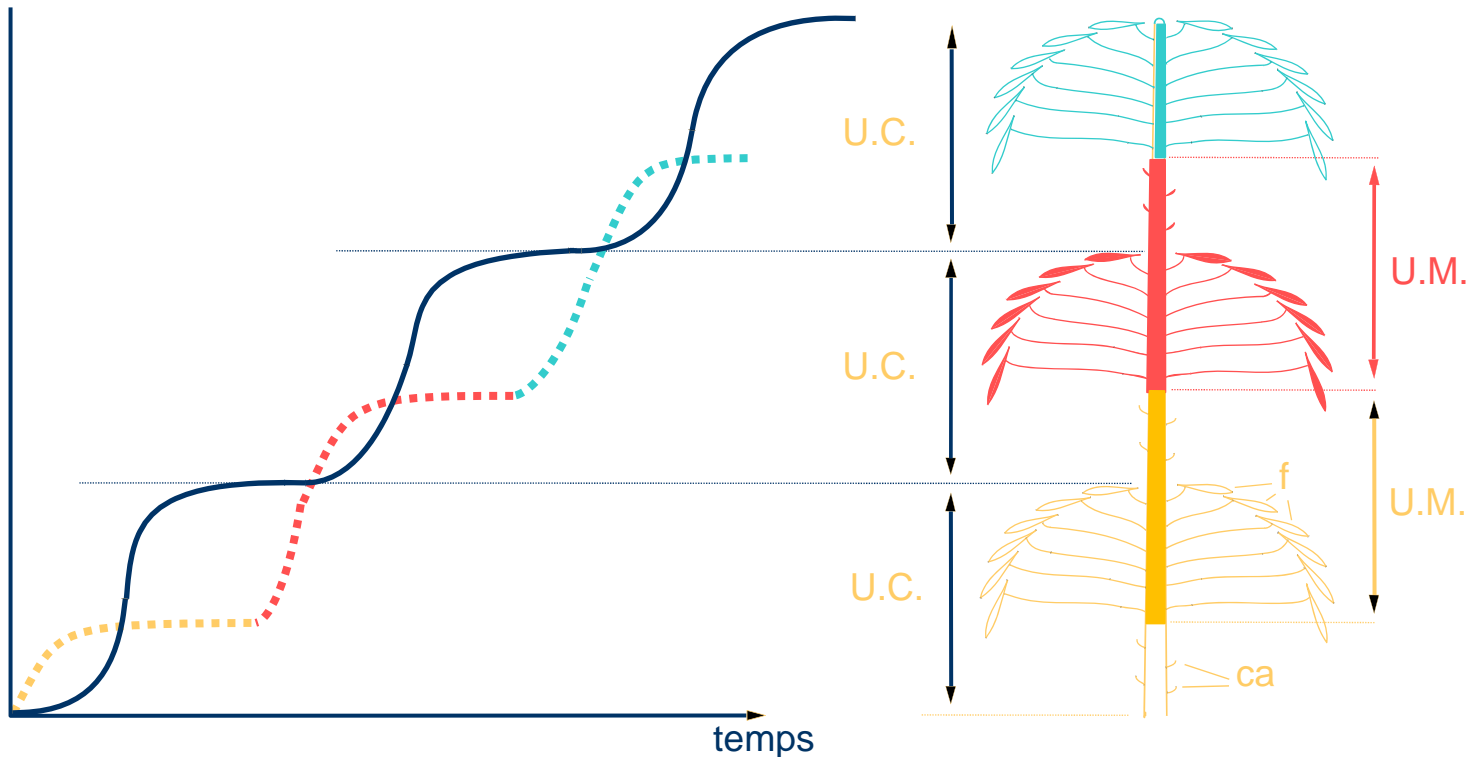


*Hevea brasiliensis* (Hallé et Martin, 1968)



## Croissance : Allongement + Organogénèse

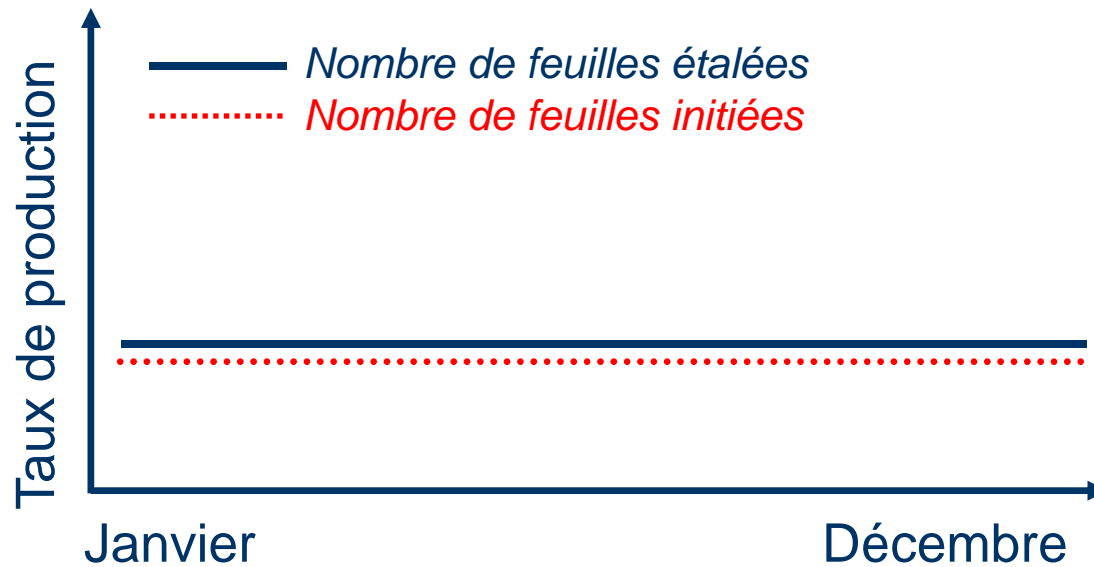
taux de production cumulé



— nombre de pièces étalées (*allongement*)  
 ..... nombre de pièces initiées (*organogénèse*)

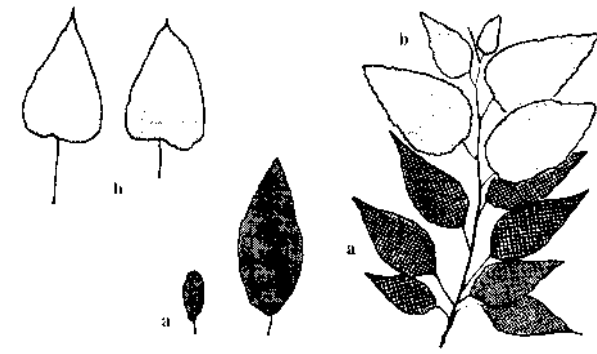
ca : cataphylle  
 f : feuille

## Croissance : Allongement + Organogénèse

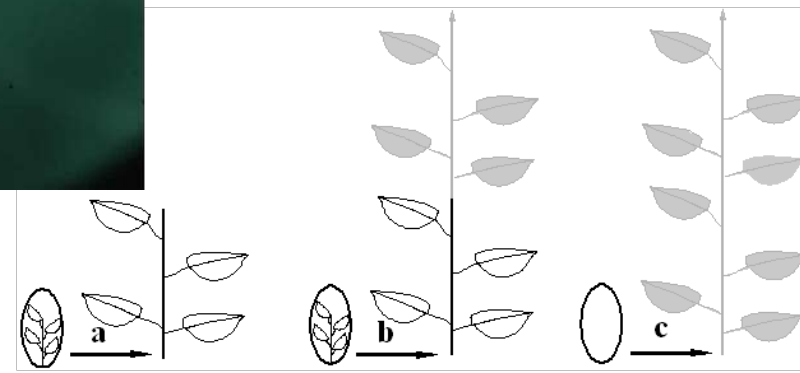


*Cocos nucifera*

# Organogenèse *versus* allongement



## Préformation/ néoformation





# Organogenèse *versus* allongement

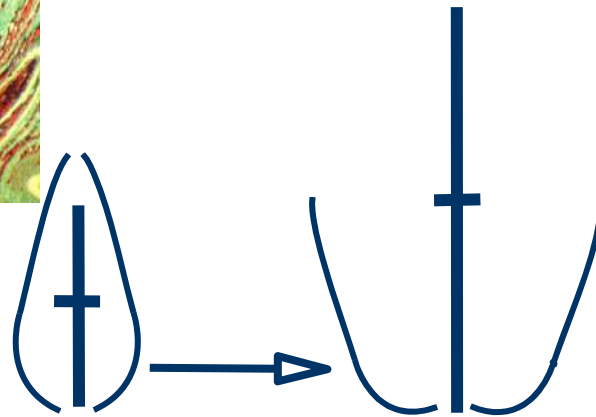
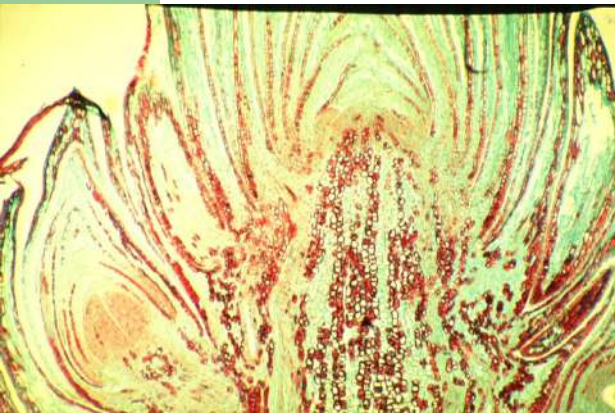


Variation dans les types de pousses d'un même arbre et particularités de la partie préformée.



*Ulmus campestris*. Ulmaceae

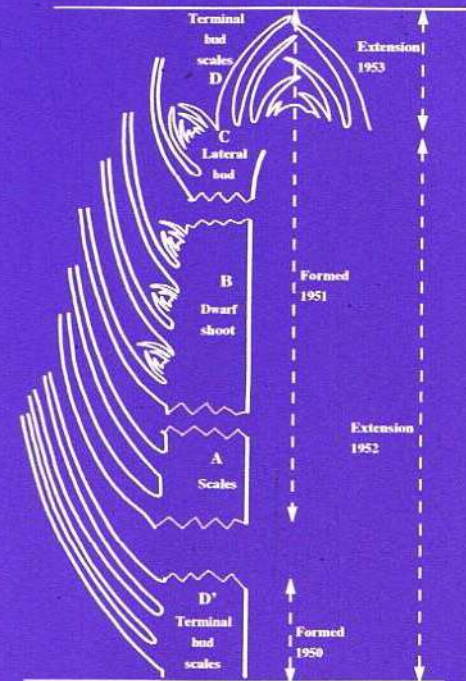
# Organogenèse *versus* allongement



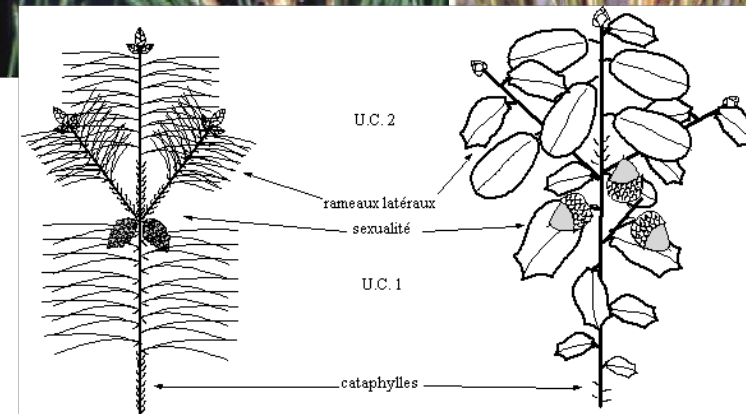
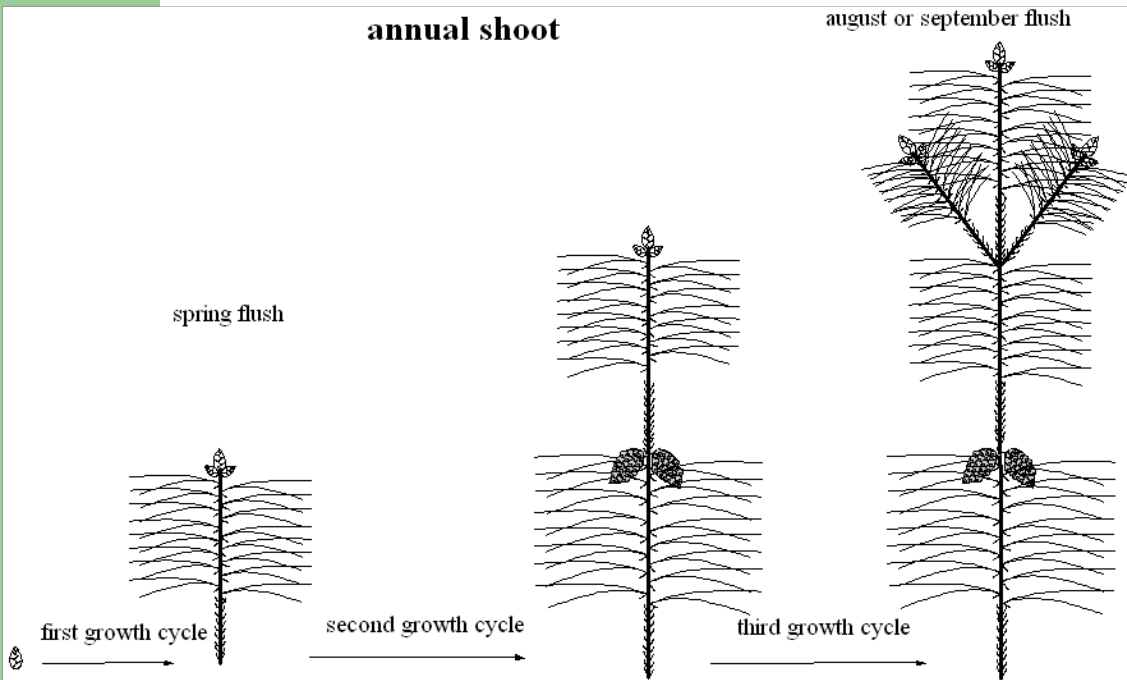
bourgeon

Deux UC préformées :  
le cas de jeunes pins

Bud of *Pinus*, showing structures present and sequence of formation

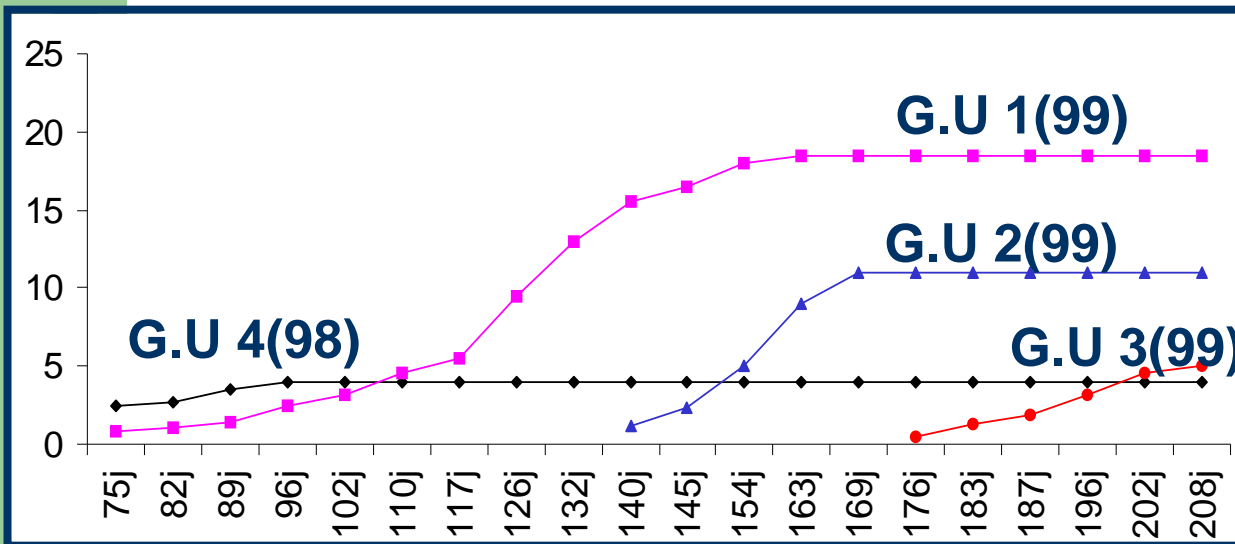


# Le polycyclisme : la pousse annuelle





# Le polycyclisme : la pousse annuelle



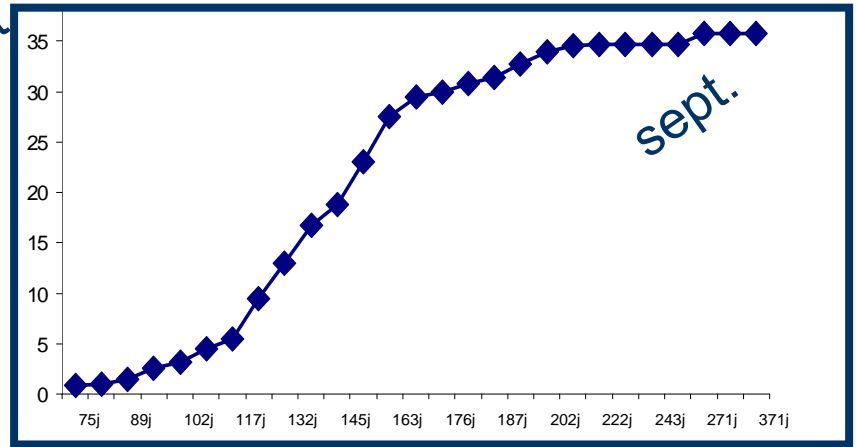
mars

*Pinus brutia*  
*P. halepensis*

mai

Repos !

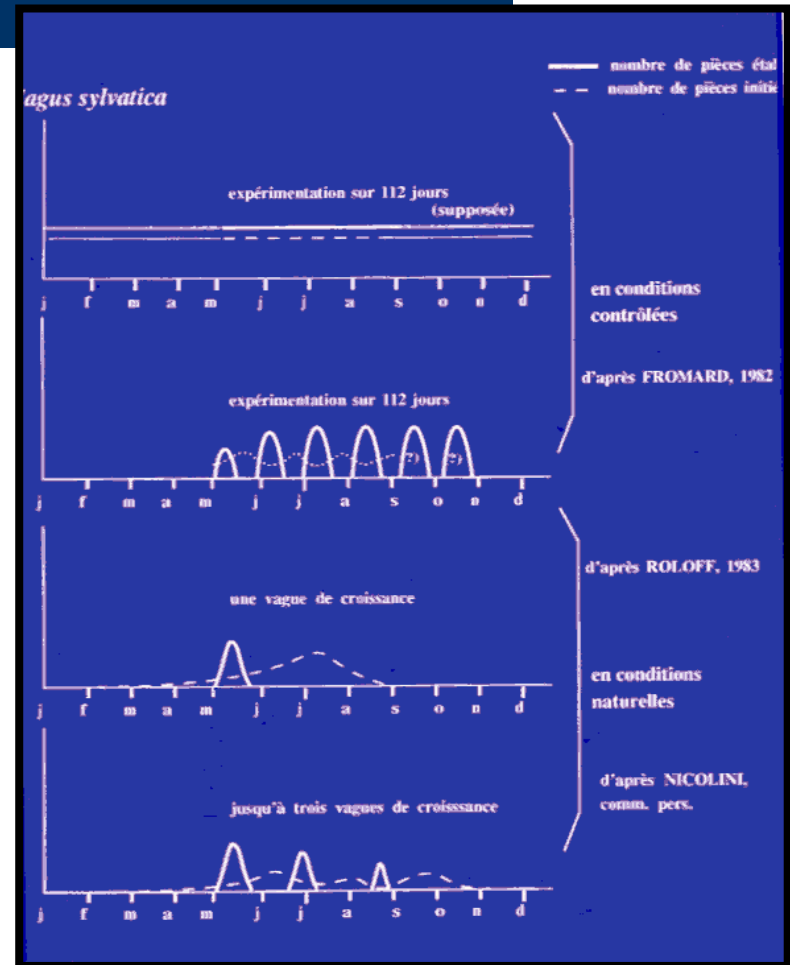
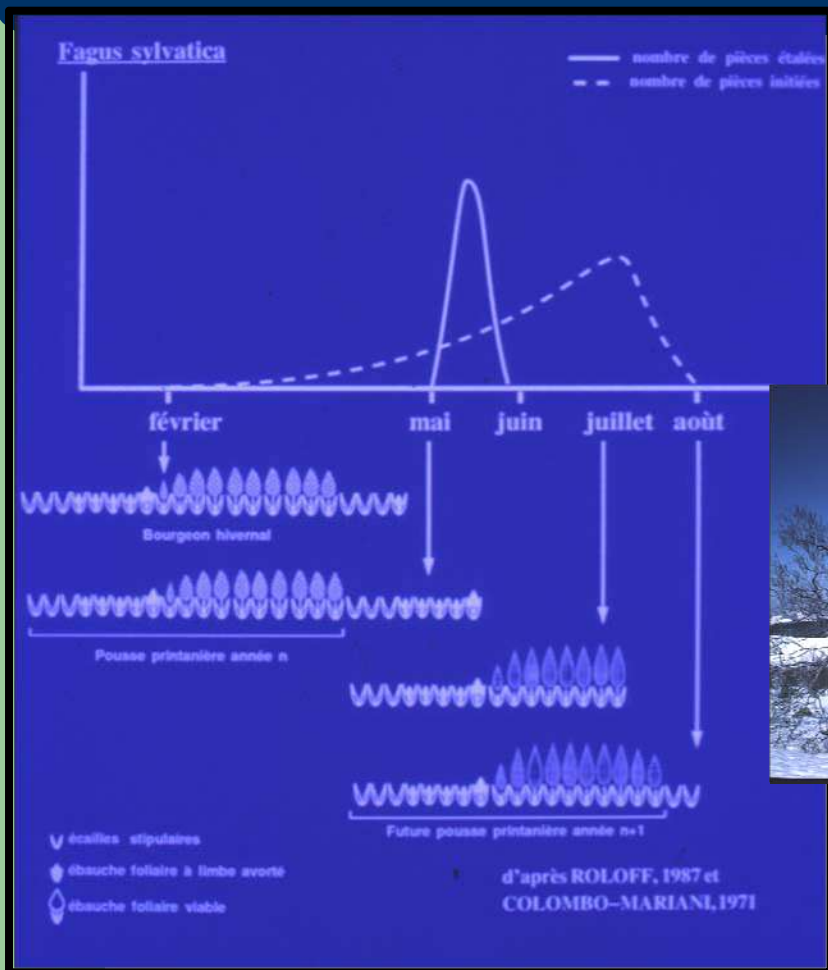
juillet



sept.

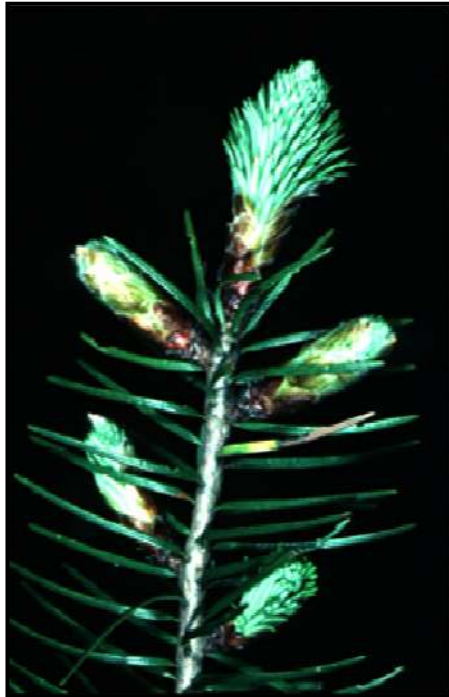
## Les phases d'allongement

# La périodicité de la croissance : endogène ou exogène



## Conséquence : la ramification

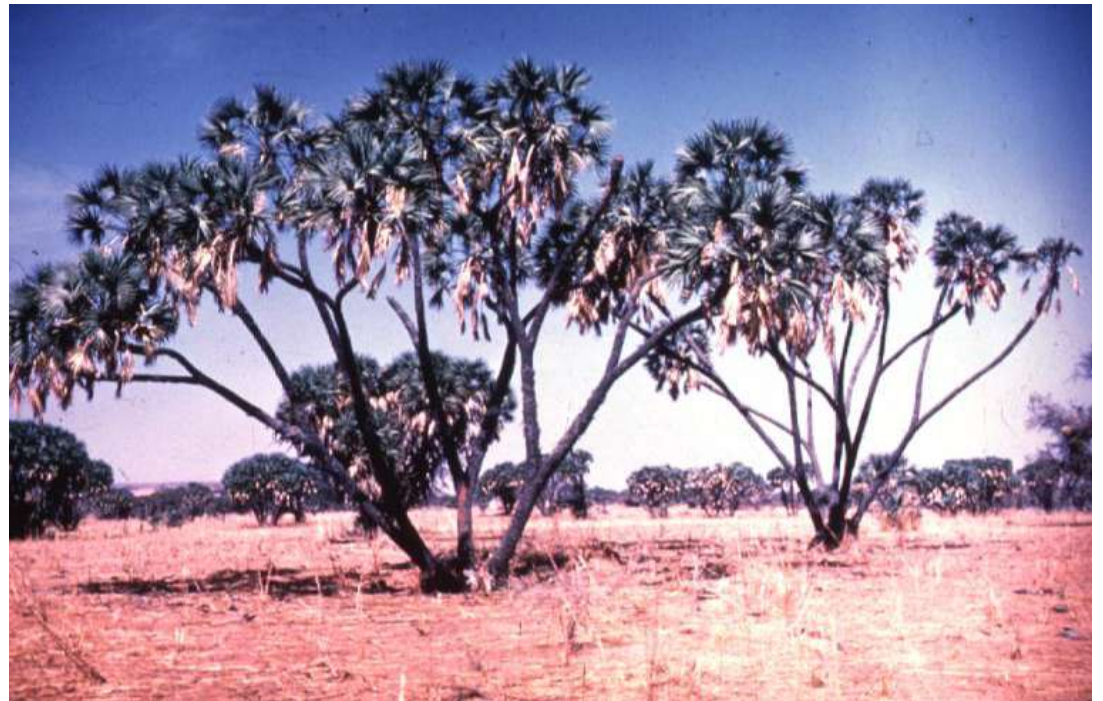
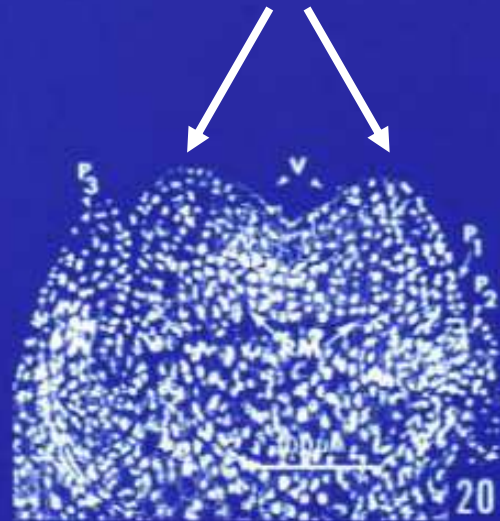
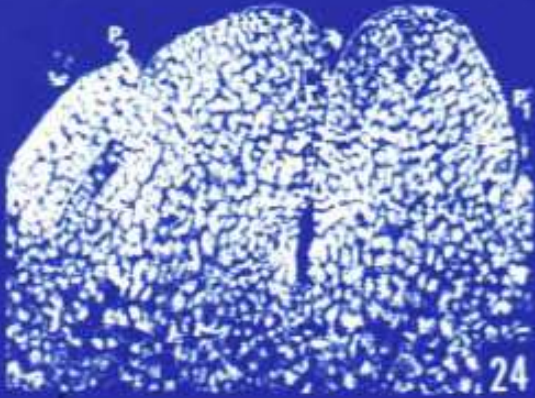
- Occuper l'espace
  - axillaires





Le végétal qui pousse !

## La ramification terminale





Le végétal qui pousse !

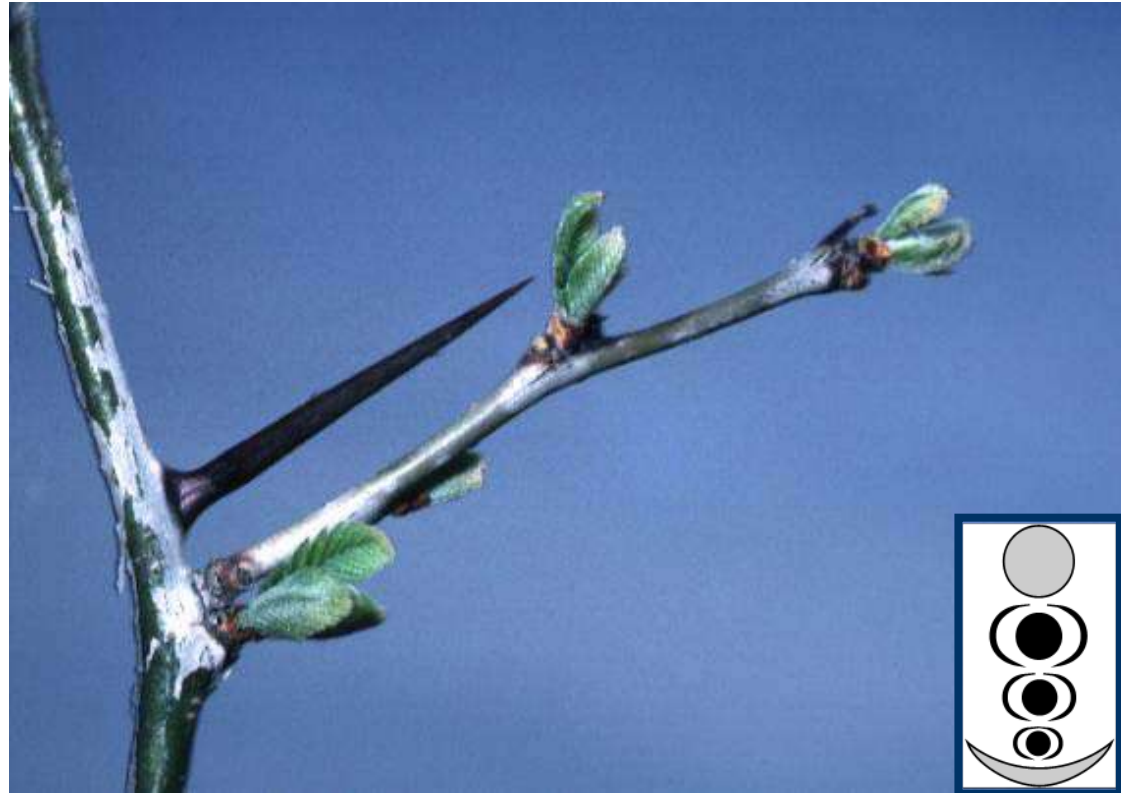
## La ramification latérale



Le végétal qui pousse !

## La ramification latérale

Parfois, plusieurs bourgeons (surnuméraires ou sériés)



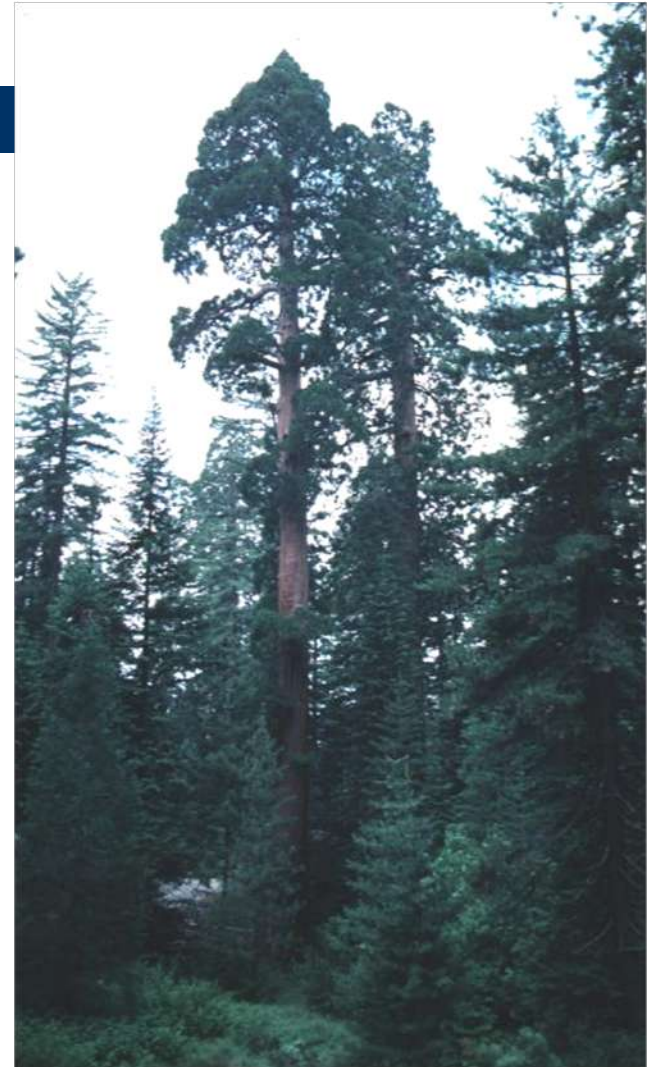
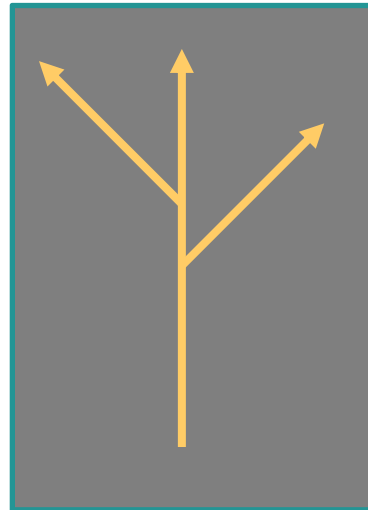


Le végétal qui pousse !

## La ramification monopodiale



**Monopode**

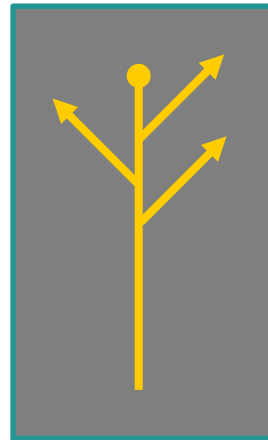
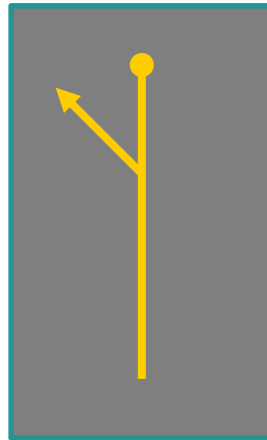


Le végétal qui pousse !

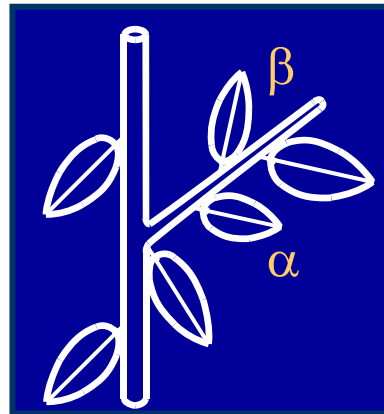
## La ramification sympodiale



Sympode

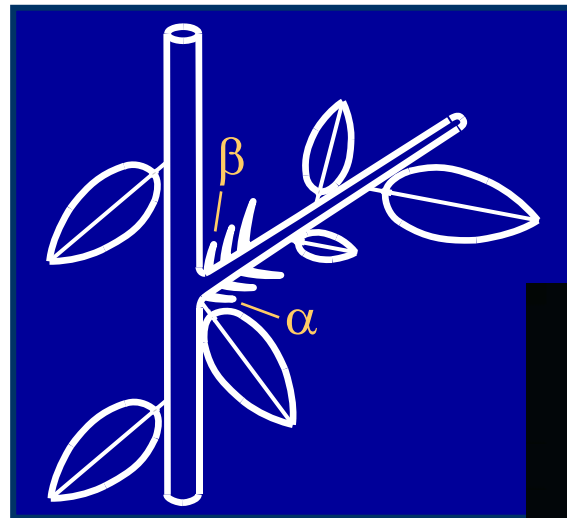


# Ramification à développement immédiat

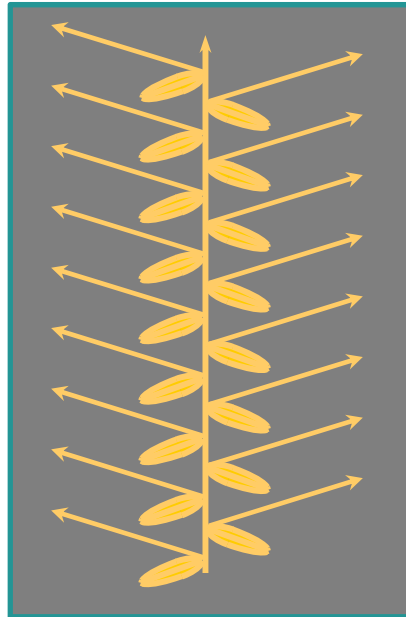




# Ramification à développement différé

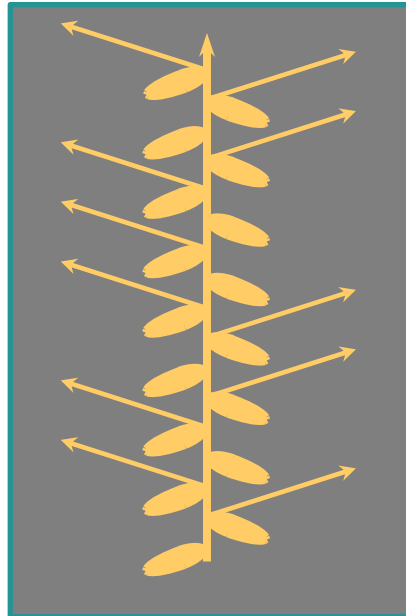


# La ramification continue



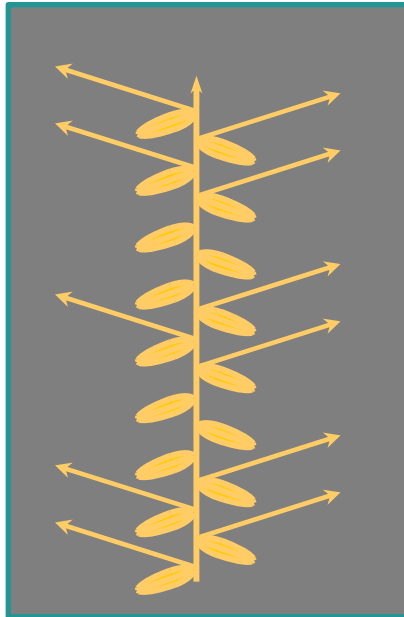


# La ramification diffuse





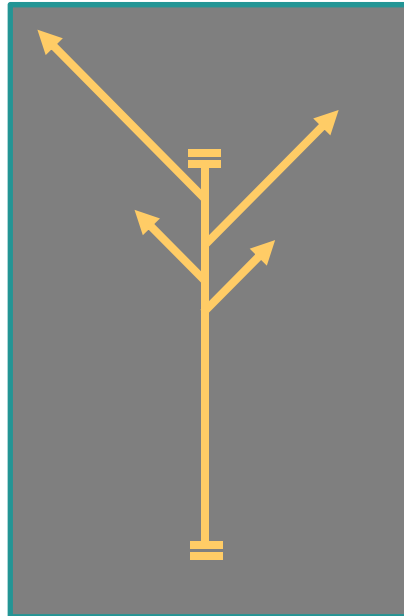
# La ramification rythmique, ...



# Ramification rythmique



**Acrotonie**

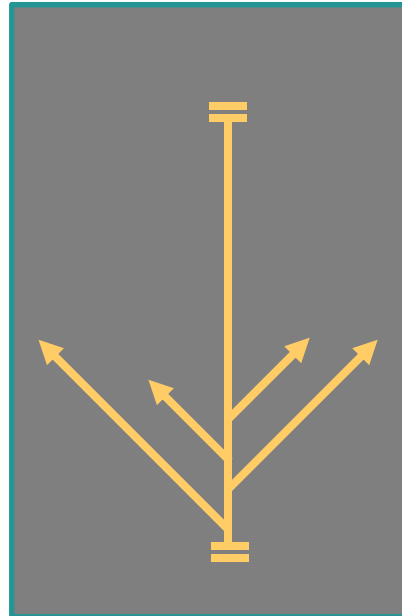




# Ramification rythmique



..., basitonie

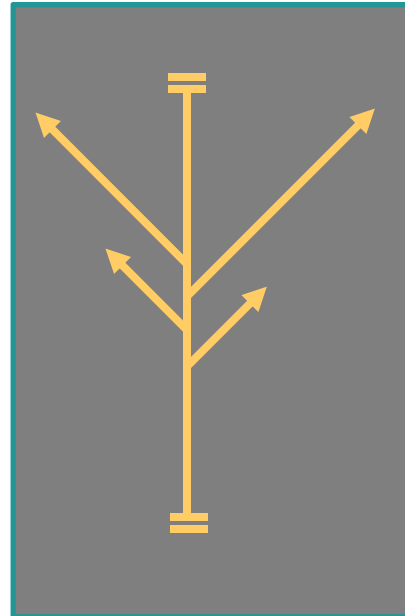




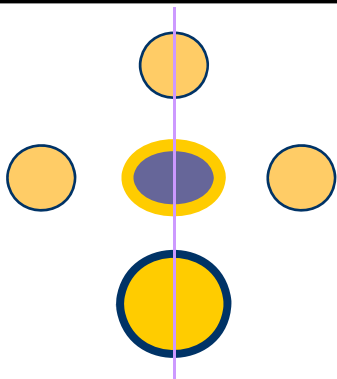
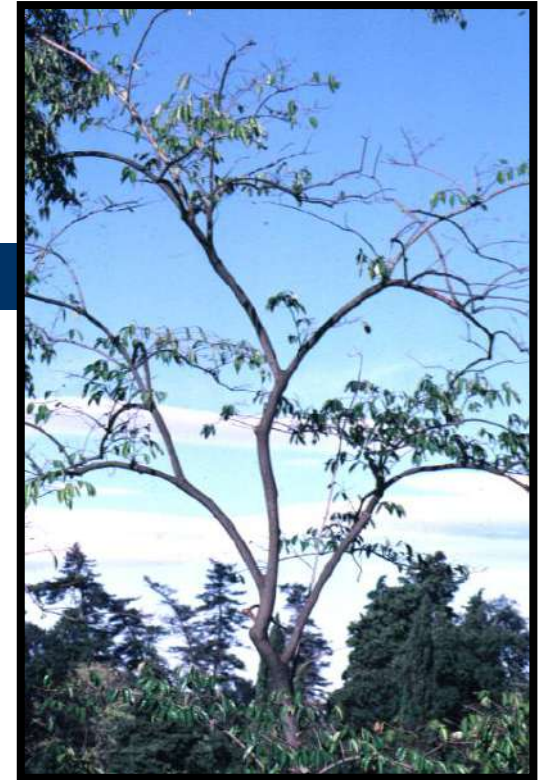
# Ramification rythmique



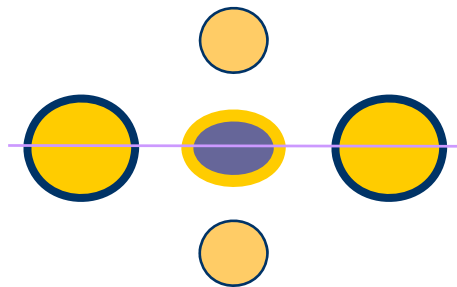
**mésotonie**



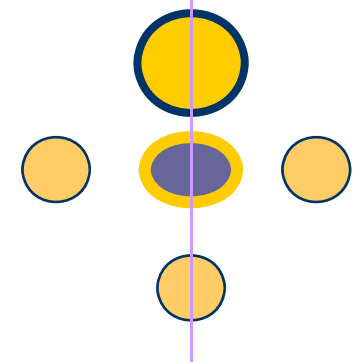
# Ramification autour de l'axe



**Hypotonie**



**Amphitonie**



**Epitonie**

# La position de la sexualité

Peut mettre un terme à la construction de l'axe  
Intervient ou non sur la ramification (monopode, sympode)



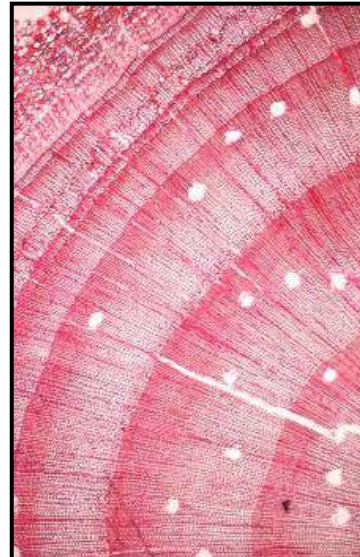
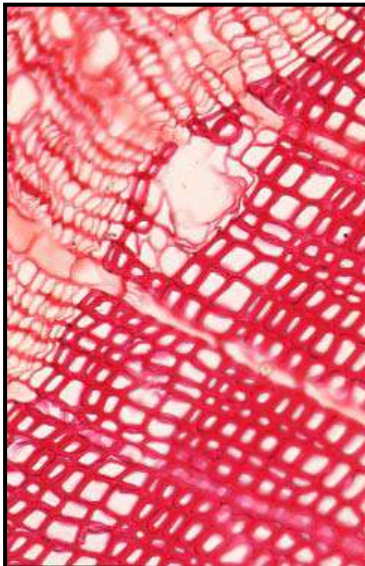




## La croissance en épaisseur

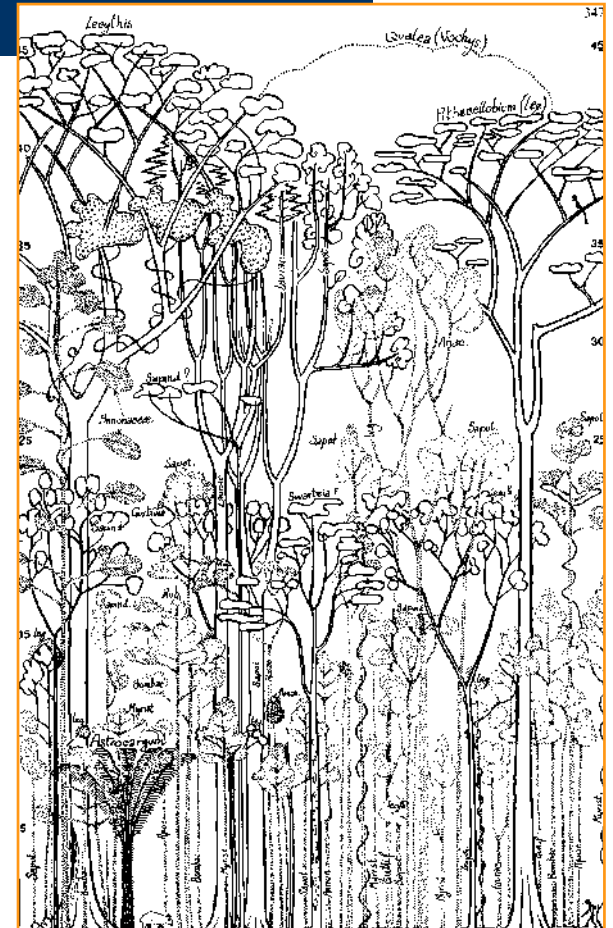
### ● Epaissement des axes

- Transfert de l'eau et des nutriments
- Bois ... organisme de grande taille
- Résistance mécanique



# L'Architecture Végétale

- Développée par Hallé et Oldeman en 1970,
- Aborder la caractérisation et la comparaison des peuplements forestiers,
- Étudier et qualifier la stratégie de développement de chacun des composants de la forêt.

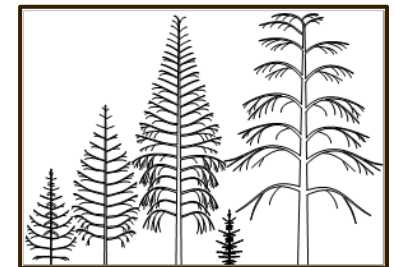


(d'après Hallé, Oldeman & Tomlinson 1978)



# Architecture végétale

- Décrire les modes d'édification des structures végétales
  - Révéler l'organisation
  - Mettre en évidence les stratégies d'occupation de l'espace
- Basée sur les modes d'expression du **fonctionnement méristématique**
- **Plante Entière**
- **Vision dynamique** de la plante au cours de sa vie

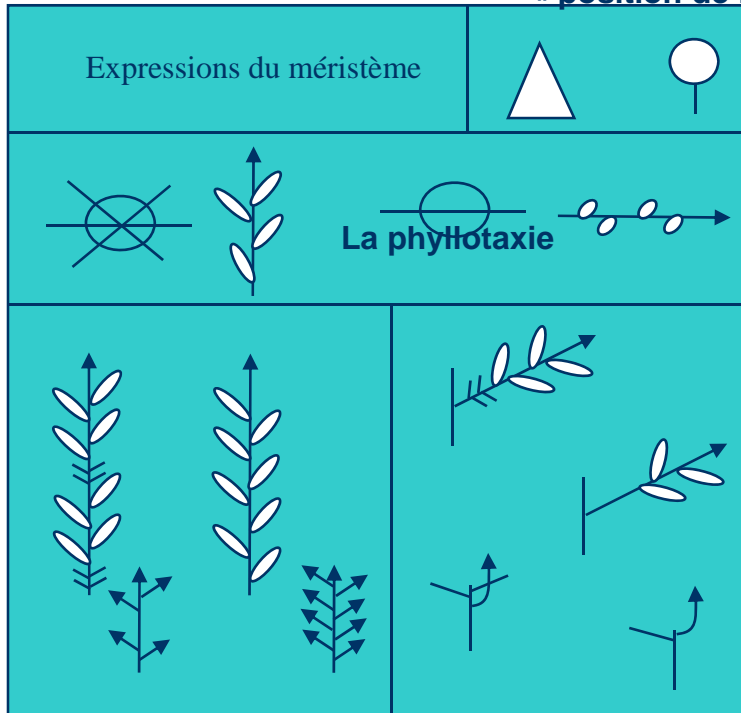




# Les concepts en Architecture végétale

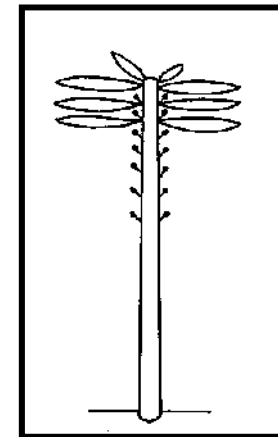
Modèle architectural, Hallé et Oldeman, 1970

Croissance définie ou indéfinie  
« position de la floraison »

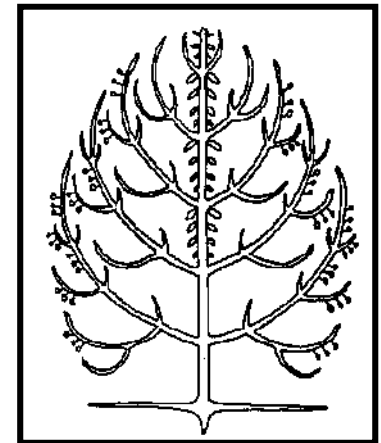


Croissance et ramification rythmique ou continue

Développement des rameaux latéraux tout de suite ou après repos



CORNER



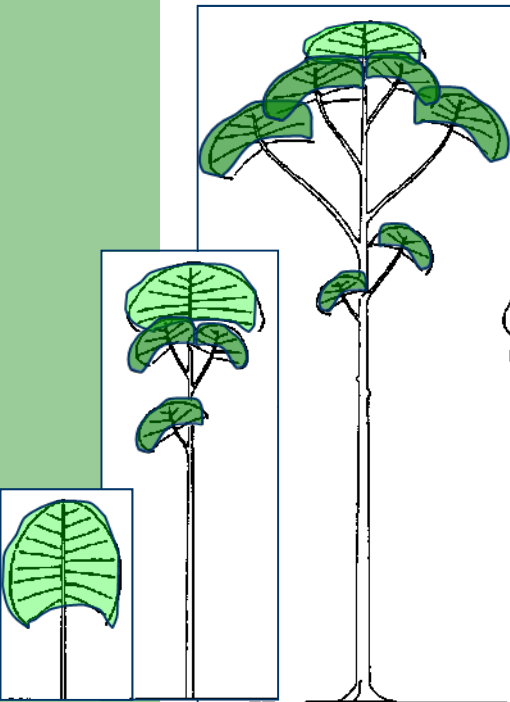
RAUH

Stratégie de croissance, d'occupation de l'espace

- **Combinaisons particulières de caractères morphologiques**

# Les concepts en Architecture végétale

- Réitération Oldeman, 1974

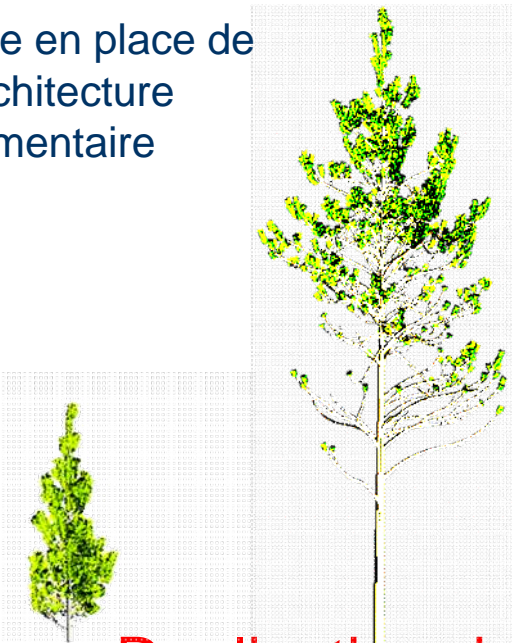


- **Duplication de l'architecture** élémentaire
  - Au cours du développement
  - A la suite d'un traumatisme

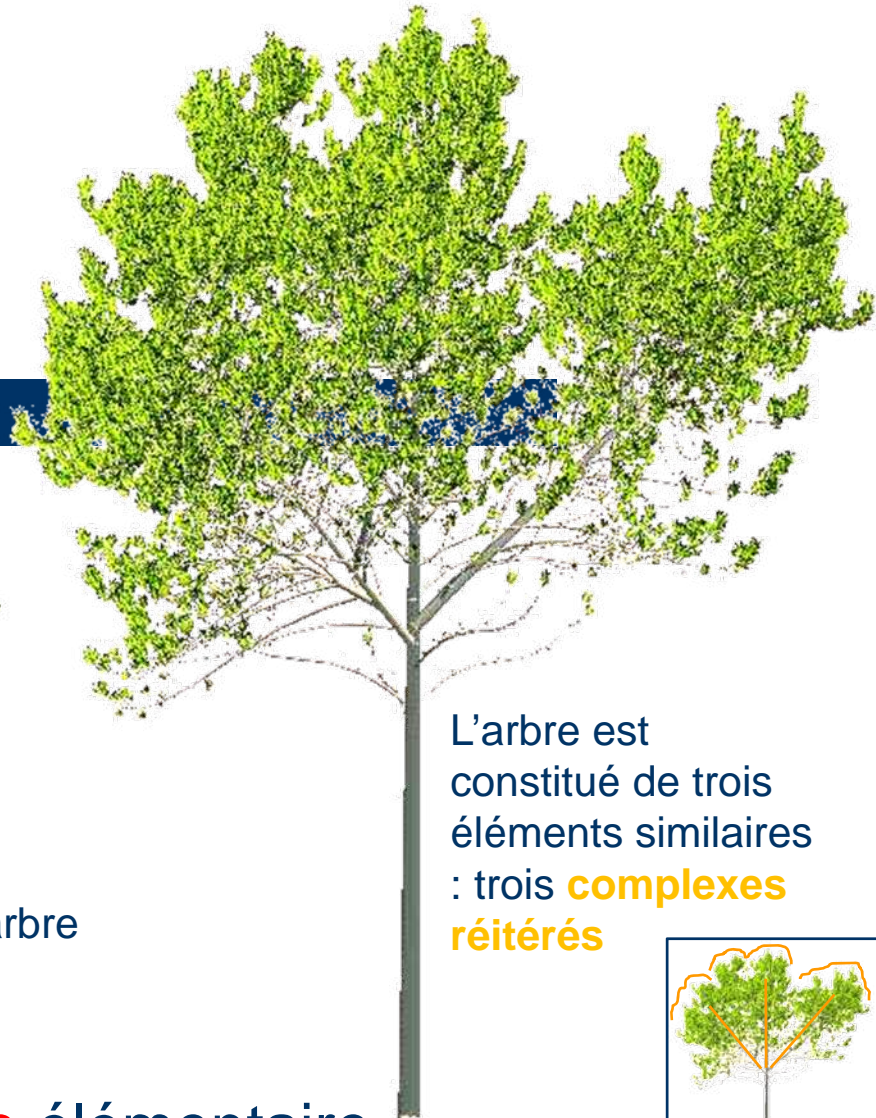
# La duplication

- Réitération

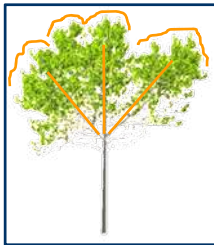
Mise en place de l'architecture élémentaire



Début de la duplication au sommet de l'arbre



L'arbre est constitué de trois éléments similaires : trois **complexes réitérés**



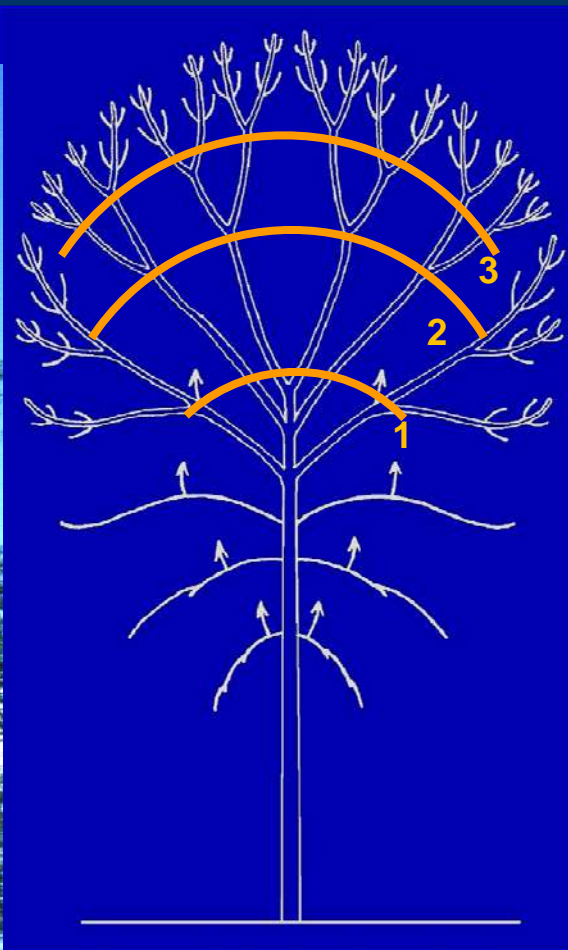
– Duplication de l'architecture élémentaire

- Au cours du développement

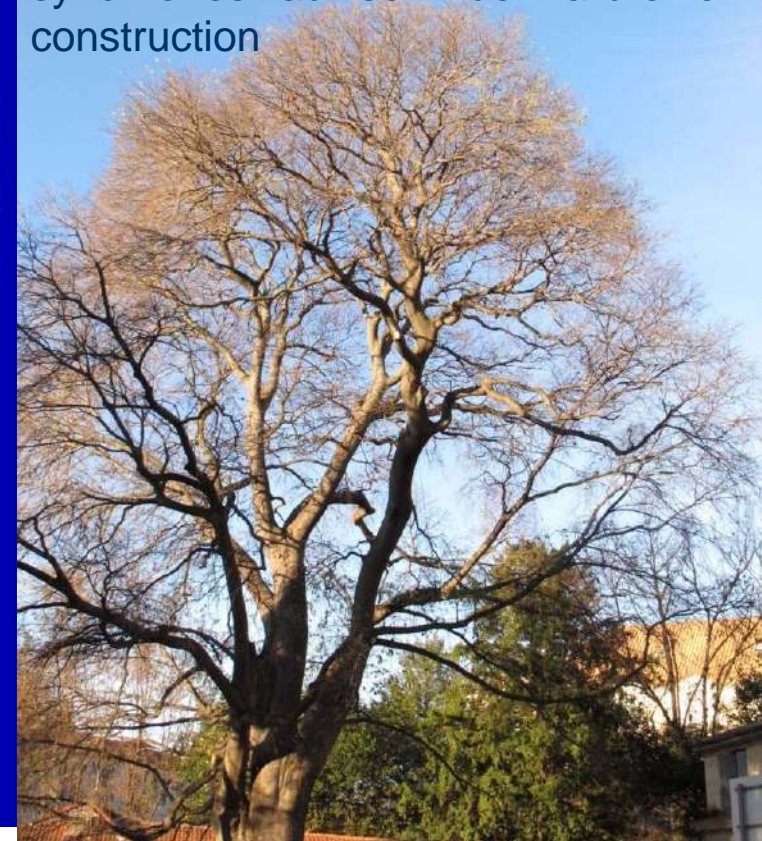


# La duplication

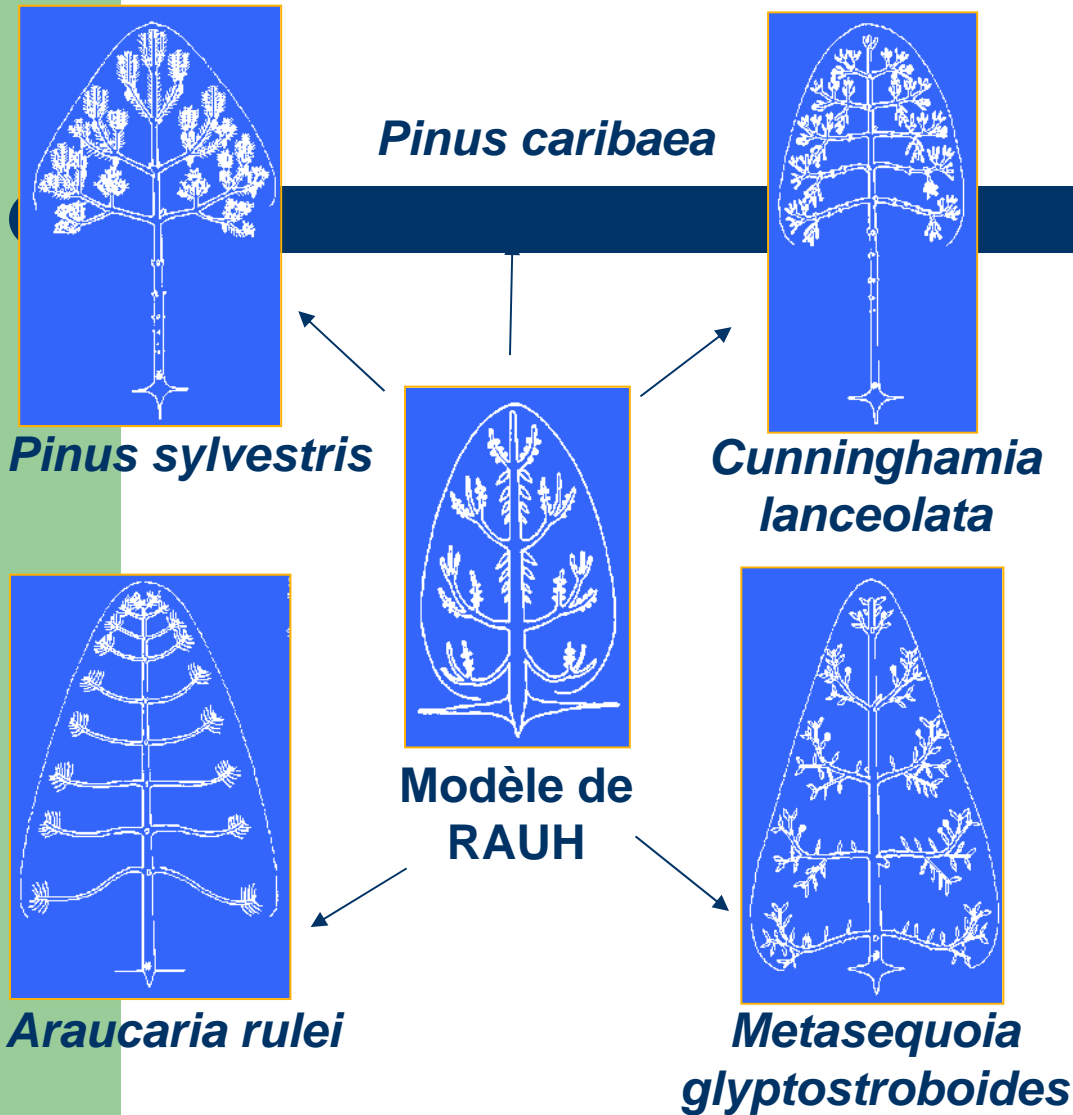
- L'ordre de réitération



Les phases de réitération successives sont plus ou moins synchrones au sein de l'arbre en construction

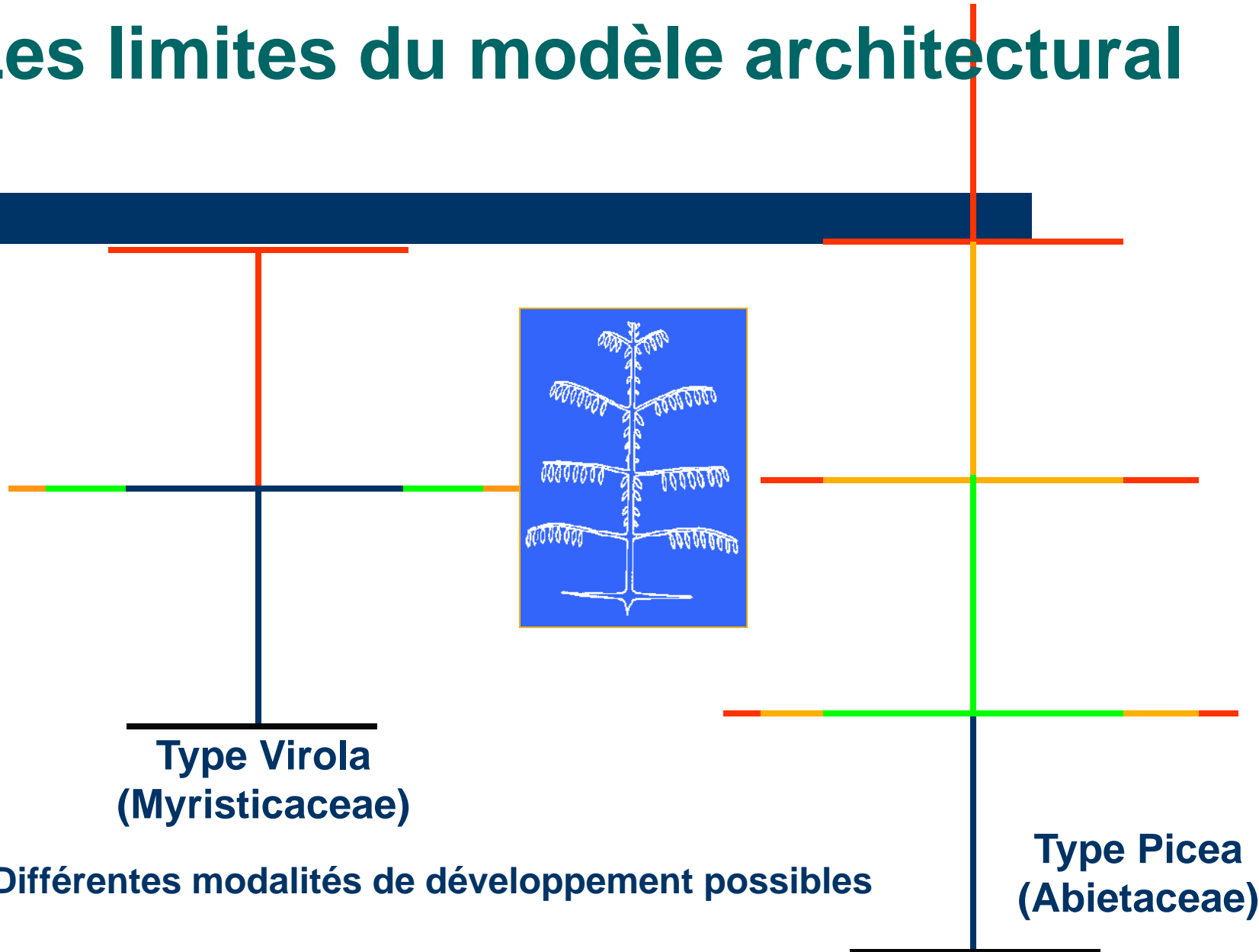


# Les limites du modèle architectural



- Stratégie de croissance globale
- Trop peu de critères utilisés pour qualifier l'architecture exacte d'une espèce et la différencier d'une autre.

# Les limites du modèle architectural





# Le partage du travail !

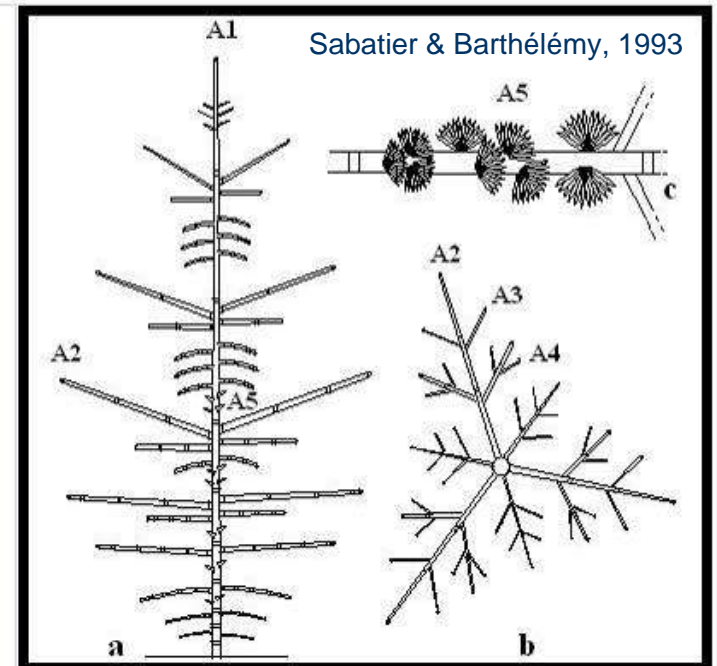
- La différenciation des **axes**
  - Comportement, ***Spécialisation***
    - Photosynthétique
    - Florifère
    - Accrochage



# Les concepts en Architecture végétale

- **Unité architecturale** Edelin, 1977, Barthélémy et al 1989
    - **Expression spécifique** du modèle architectural
      - On caractérise le comportement des axes les plus différents
- Exemple du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* L., *Pinaceae*)

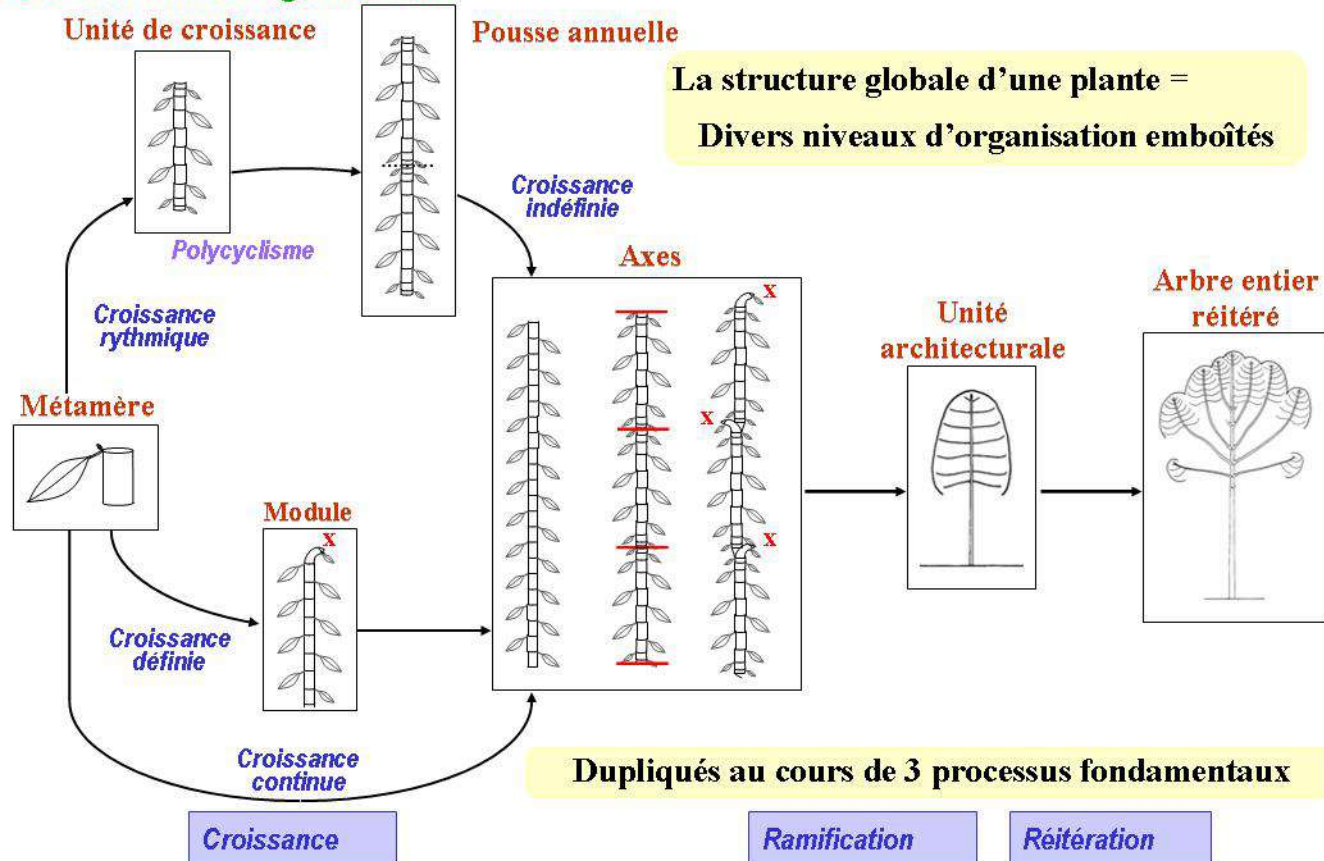
Main stem	Branches	Branchlets	Twigs	Short axes
vertical growth direction	horizontal to slanted growth direction	horizontal growth direction	no precise growth direction	no precise growth direction
indeterminate growth	long term determinate growth	long term determinate growth	medium term determinate growth	short term determinate growth
rhythmic immediate and delayed branching	rhythmic immediate and delayed branching	rhythmic immediate and delayed branching	rhythmic delayed branching	unbranched
no reproductive structure	no reproductive structure	no reproductive structure	no reproductive structure	terminal male or female cones



# Niveaux d'organisation des plantes

– Régularités spatiales et temporelles

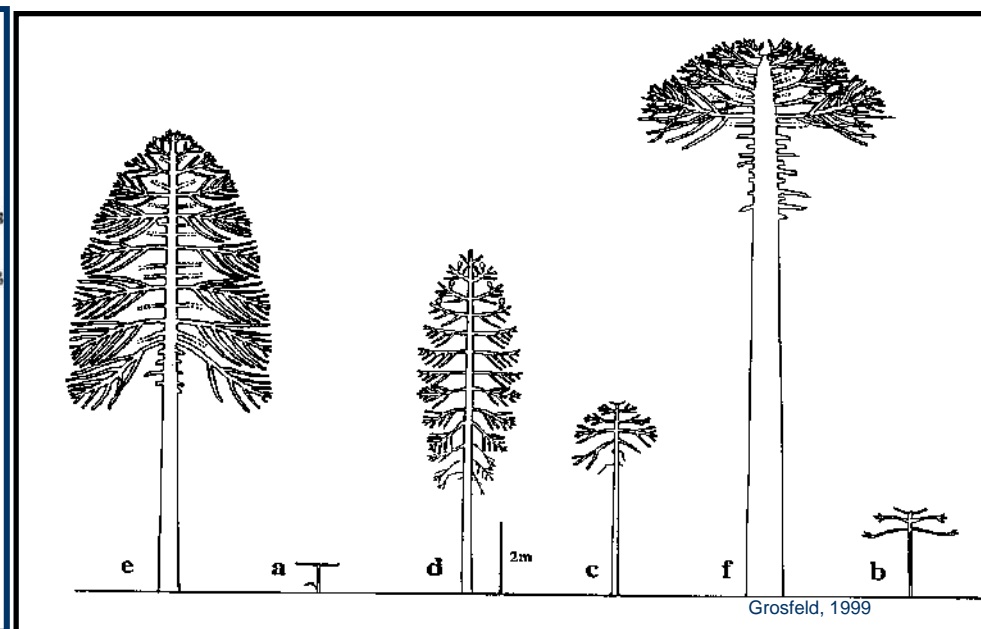
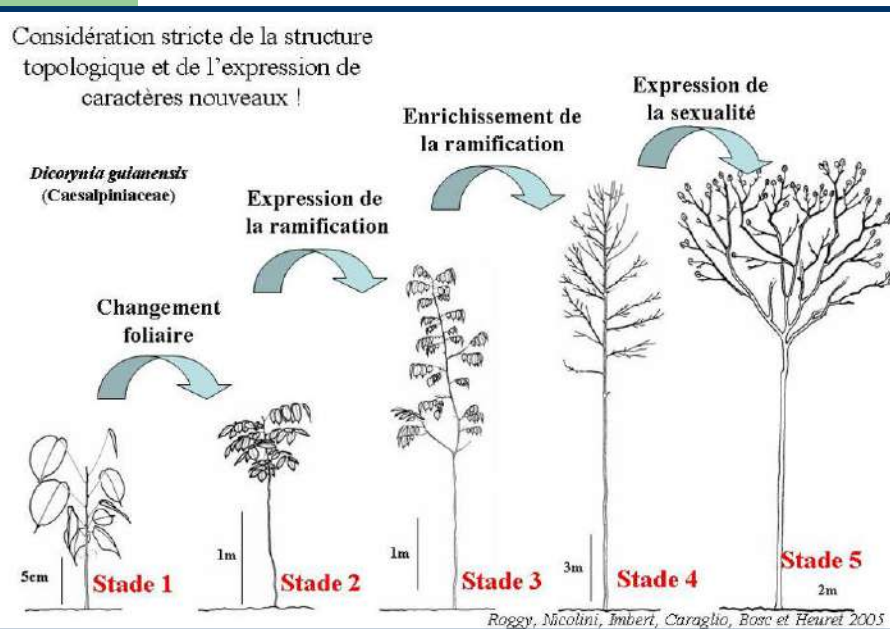
## Les niveaux d'organisation





# Les concepts en Architecture végétale

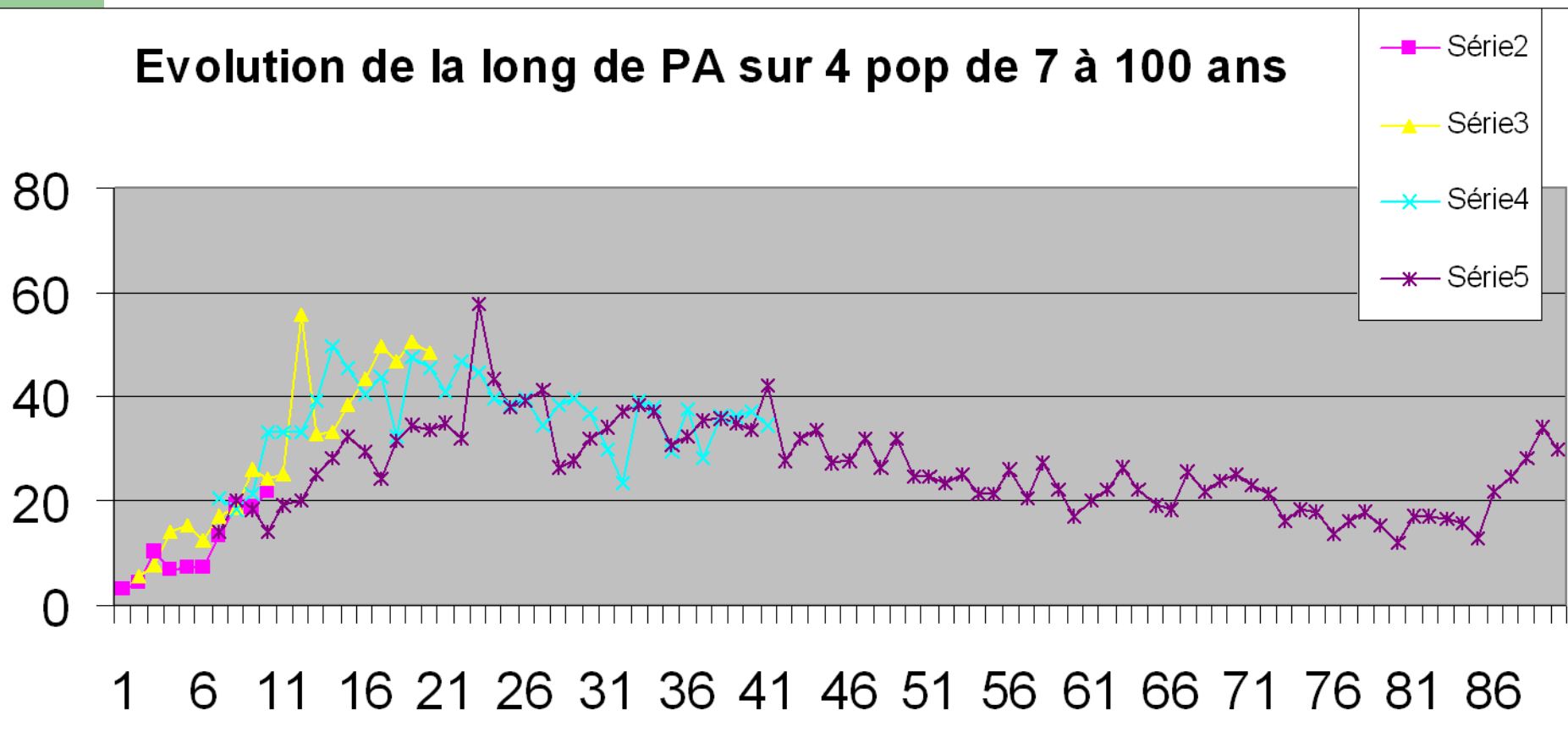
## Séquence de développement



- Organisation dans le temps et l'espace de la construction végétale
  - outil de discrétisation de l'ontogénèse : **on découpe la vie de la plante en étapes**
    - pas uniquement Stade juvénile vs adulte

# L'architecture : au cours du développement

Evolution de la long de PA sur 4 pop de 7 à 100 ans

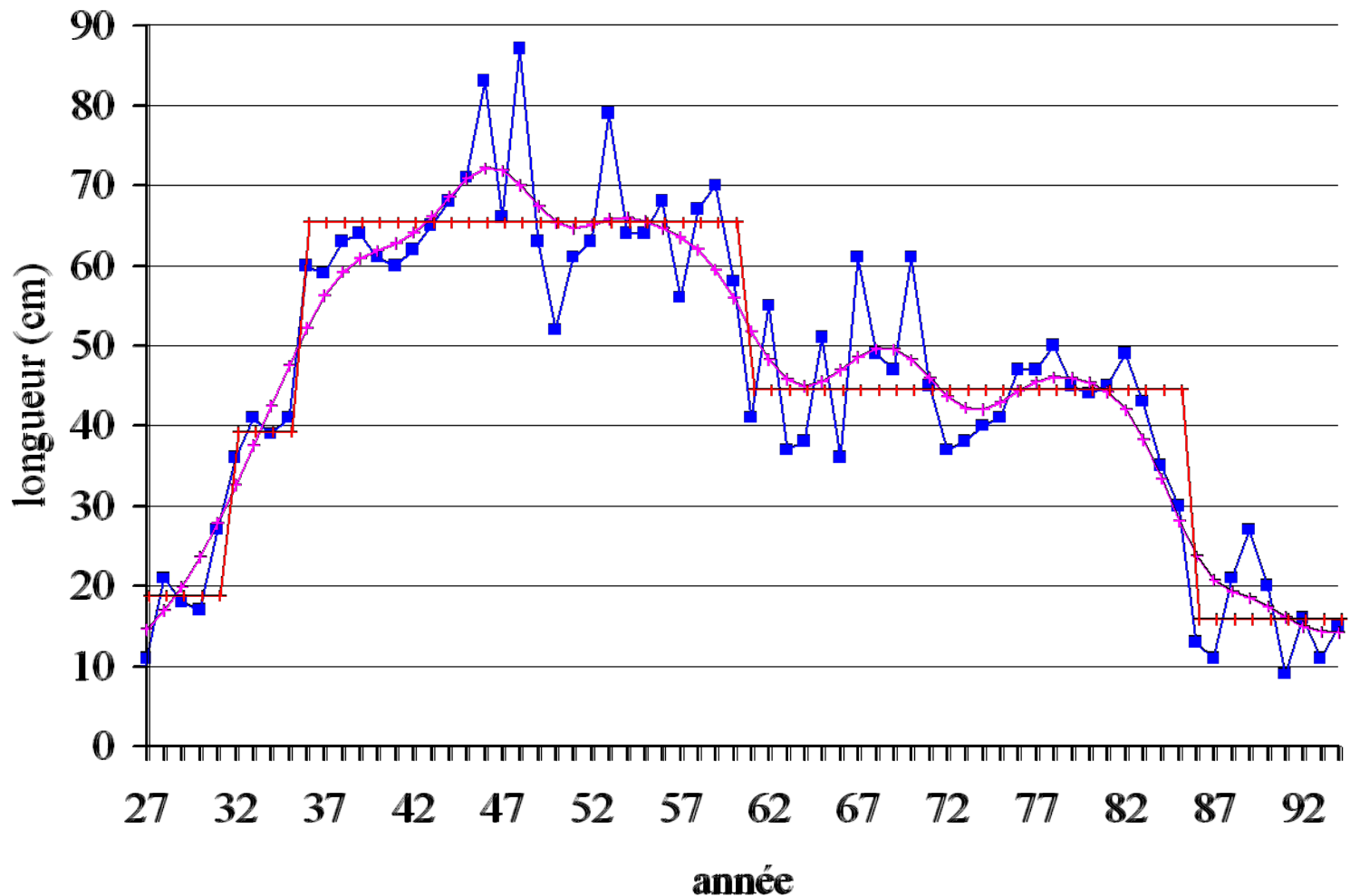


modification des caractéristiques des axes

ontogénie vs environnement

# Les longueurs successives des PA

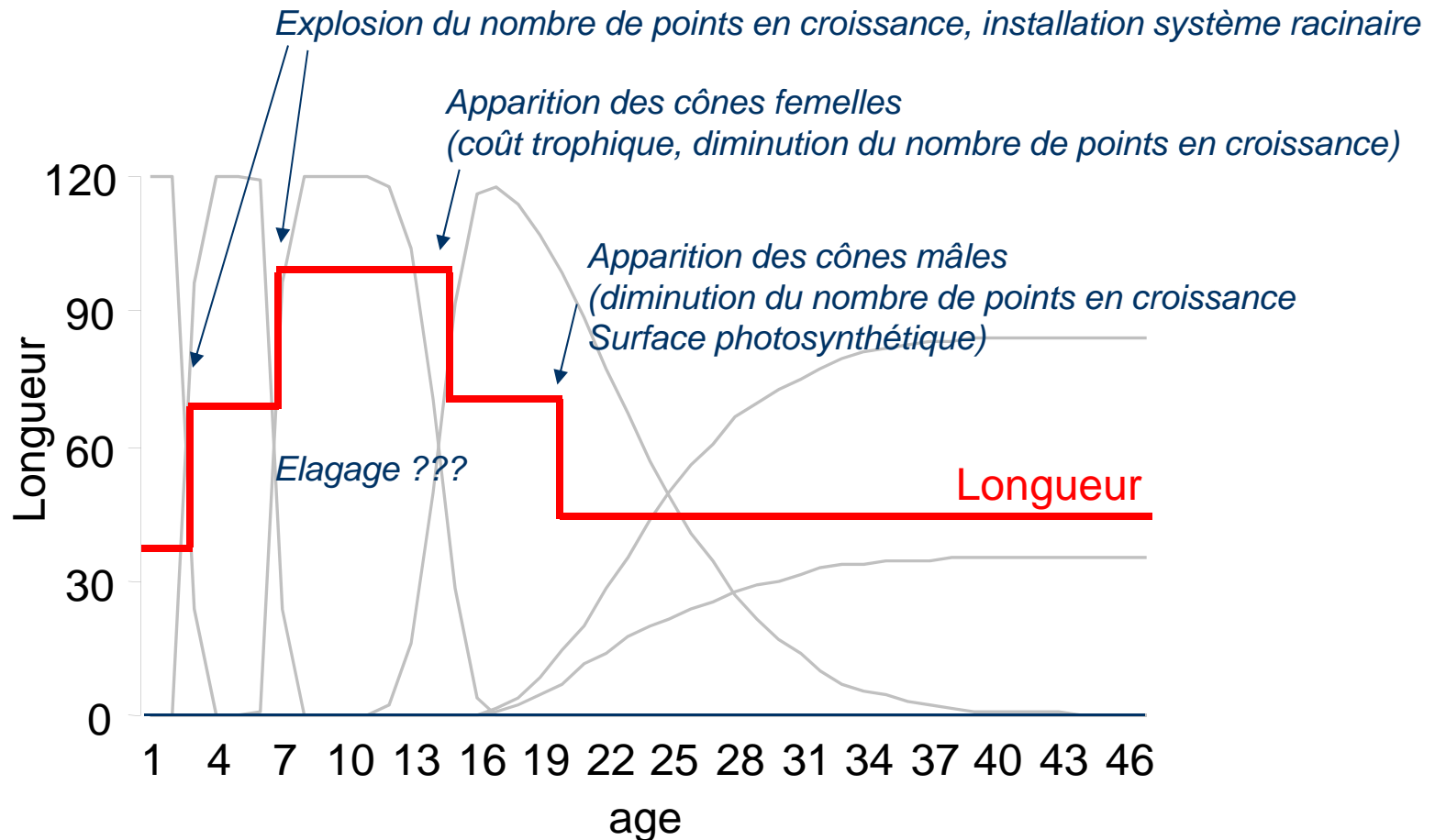
Des phases / zones / ... !





# Les longueurs successives des PA

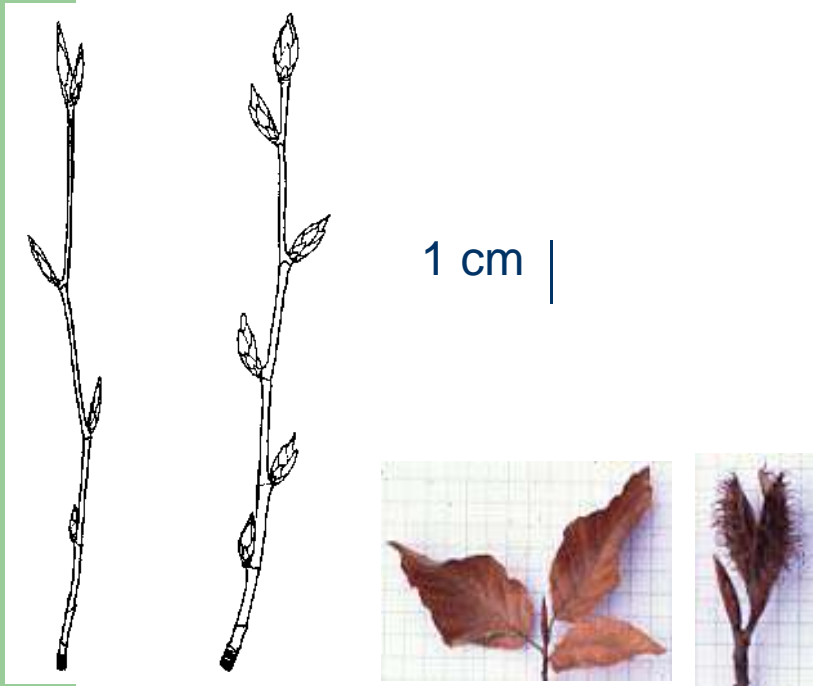
Des phases / zones / ... ! Des causes ?



# Différenciation et développement

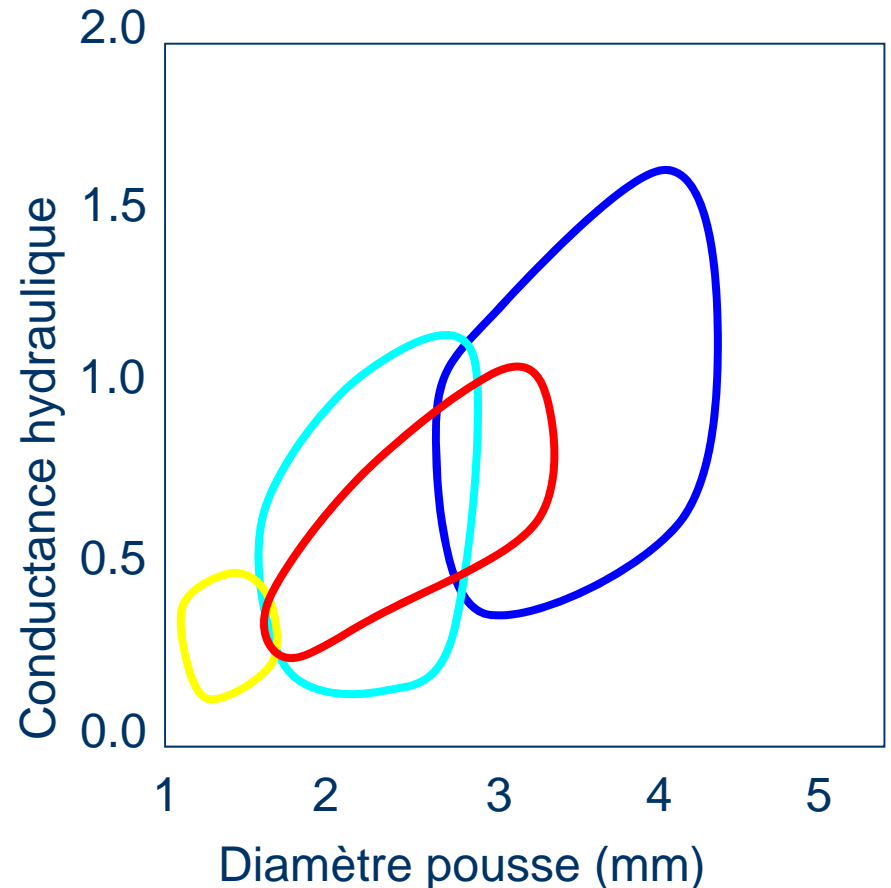
## Descripteurs morphologiques et fonctionnels

Des **conductances hydrauliques** différentes pour chaque stade de développement



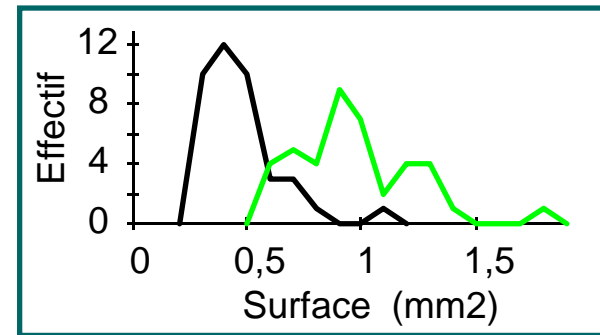
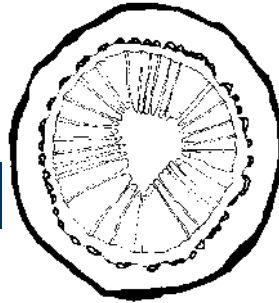
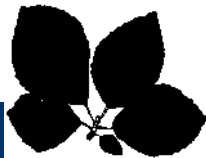
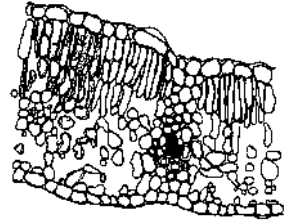
juvénile adulte

juvénile adulte

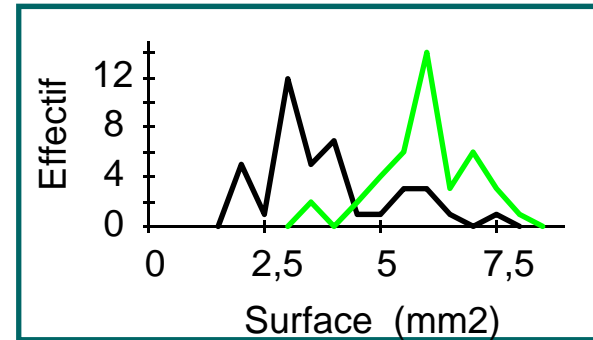
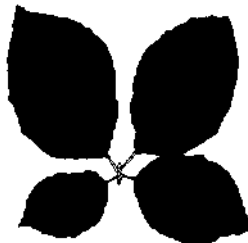
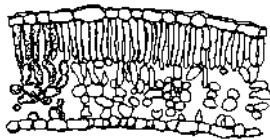


# Les UC courtes

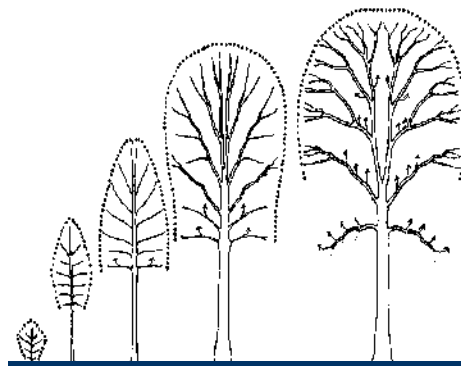
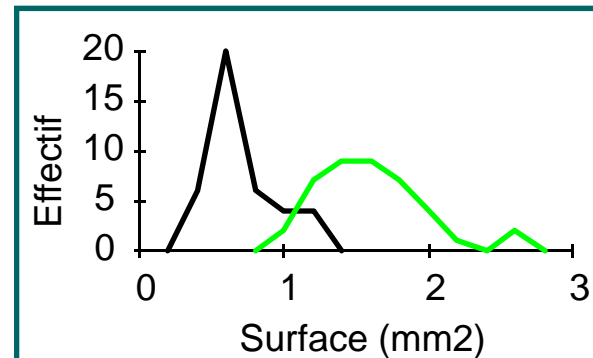
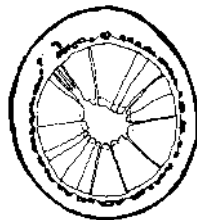
## Critères Morpho-Anatomie



Xylème



Phloème



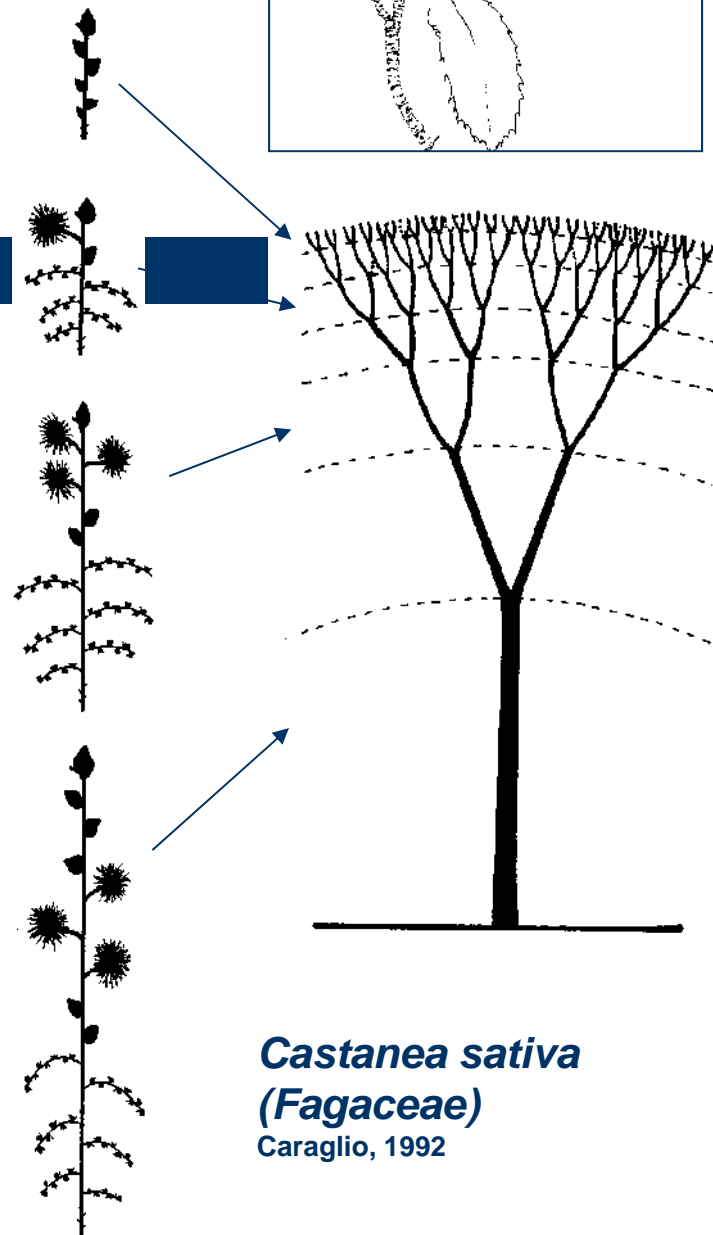
*Fagus sylvatica* (Fagaceae)  
(d'après Nicolini 1999)

■ sur arbres jeunes  
■ sur arbres adultes





# Le vieillissement de l'Architecture

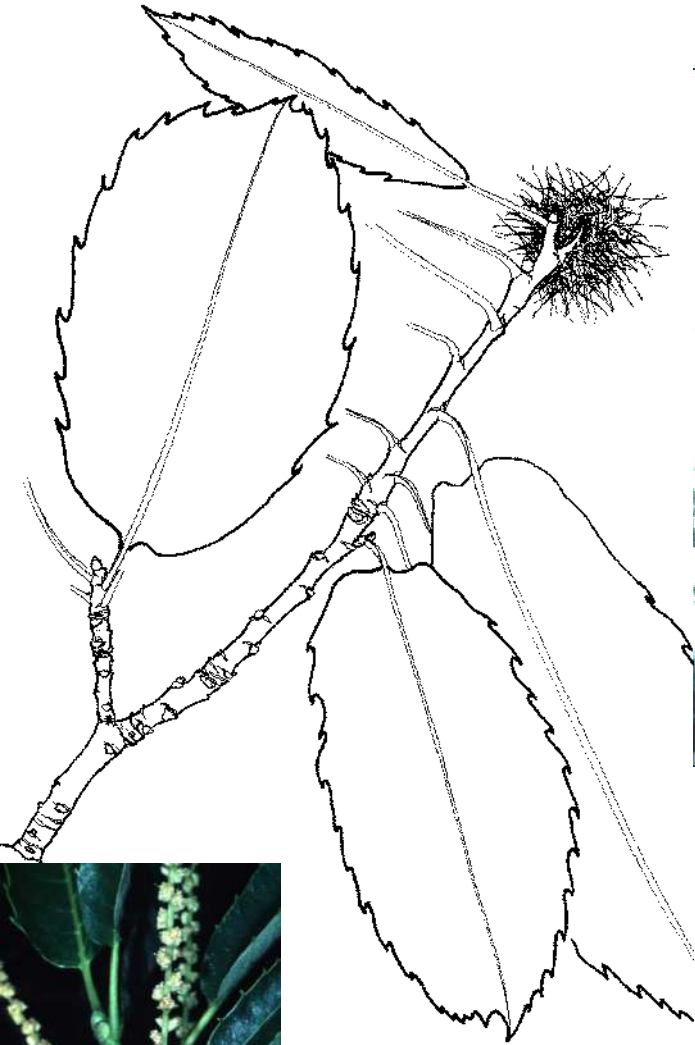


*Castanea sativa*  
(Fagaceae)  
Caraglio, 1992

Les phases de réitération successives sont de plus en plus courtes.

- UC de plus en plus petites
- moins de feuilles,
- diminution capacités à ramifier,
- Augmentation proportion sexualité/végétatif

# Arbre Mature



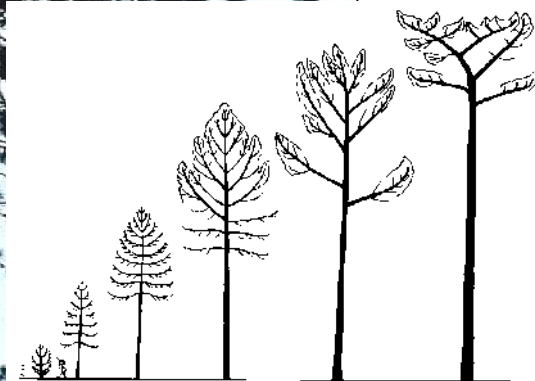
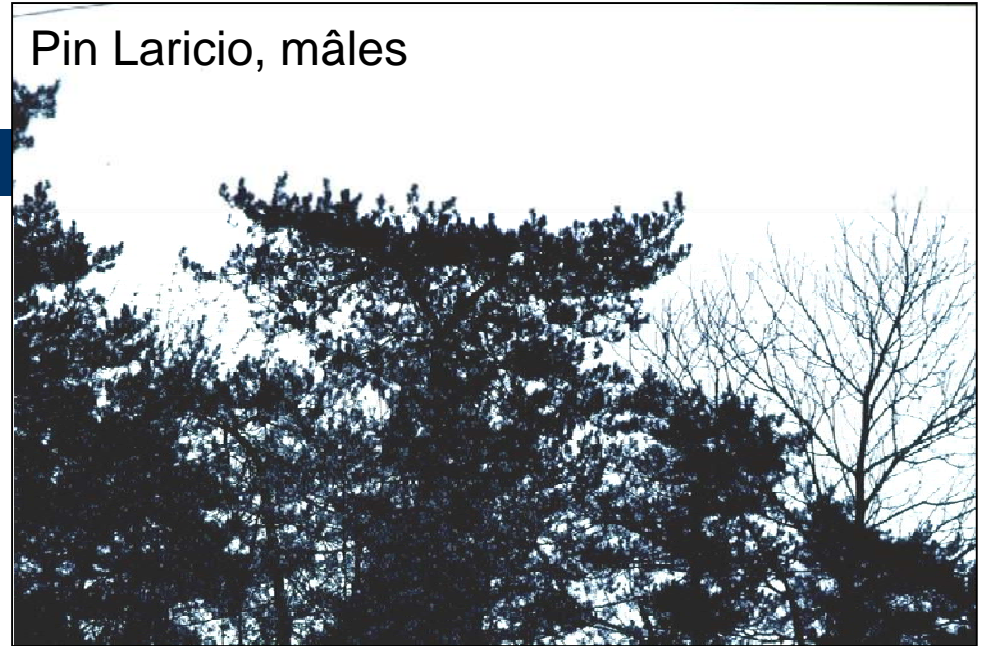
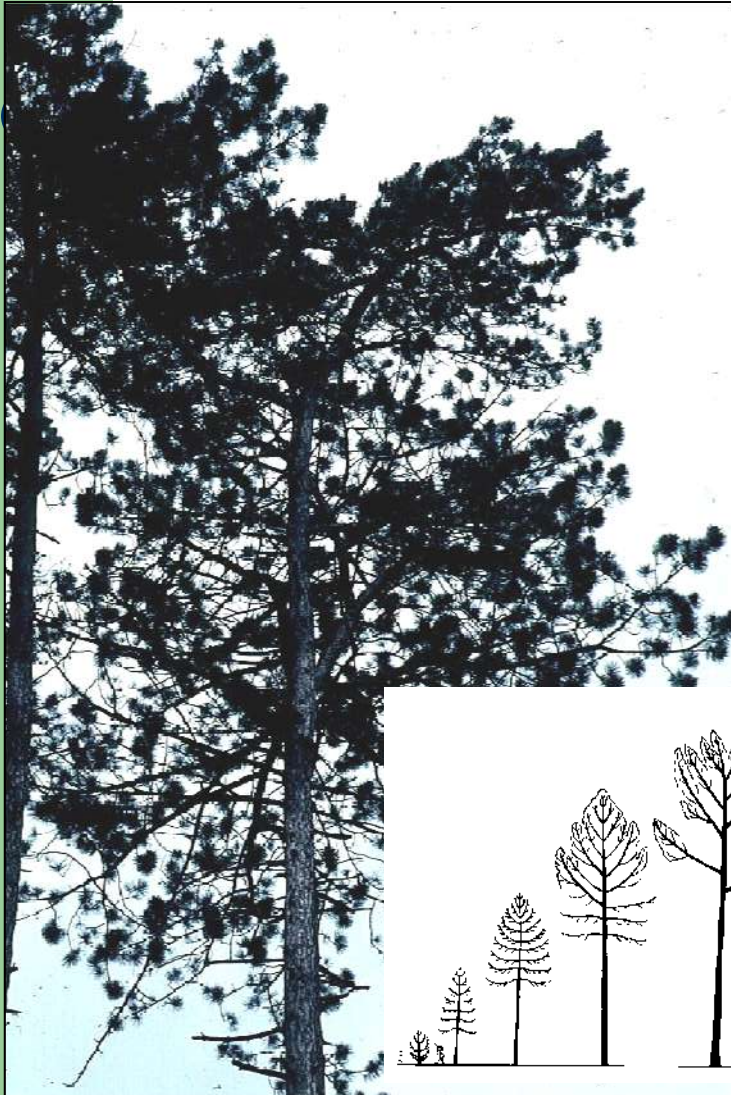
- **Volume occupé max.,**
- **Hauteur stabilisée**
- ***Unité Arch. Minimale***
- **homogénéisation de la cime**
- **Reproduction max.**

Caraglio, 1995



# La sénescence

**La progression verticale s'arrête**, la table se met en place (pour les espèces monoïques à sexes séparés, la sexualité mâle à tendance à devenir prépondérante)



Sapin,  
femelles



# La sénescence : Différenciation globale

Reitération tardive : exploitation  
Épilonie....

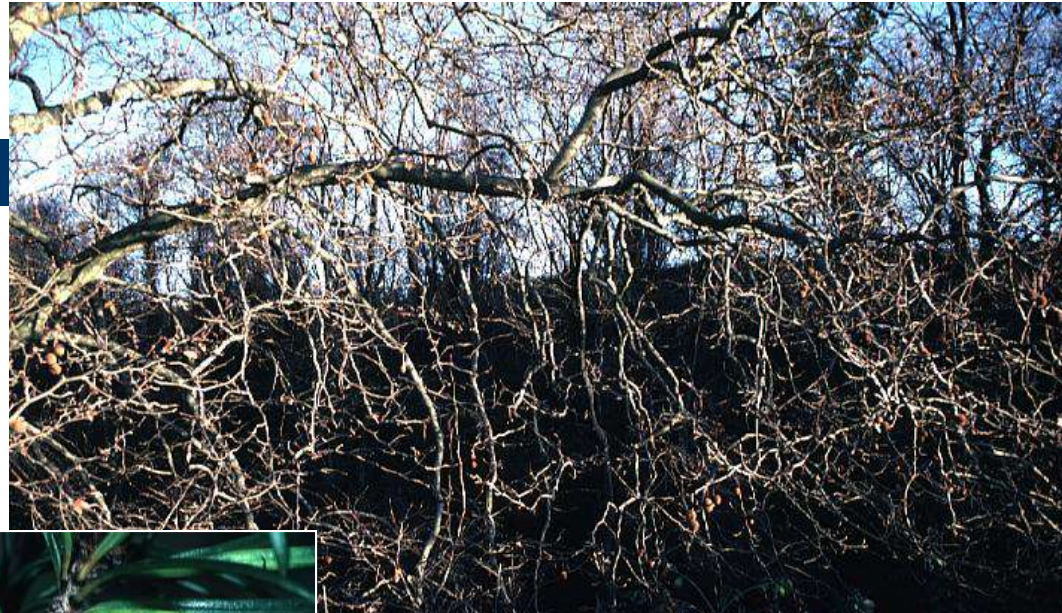




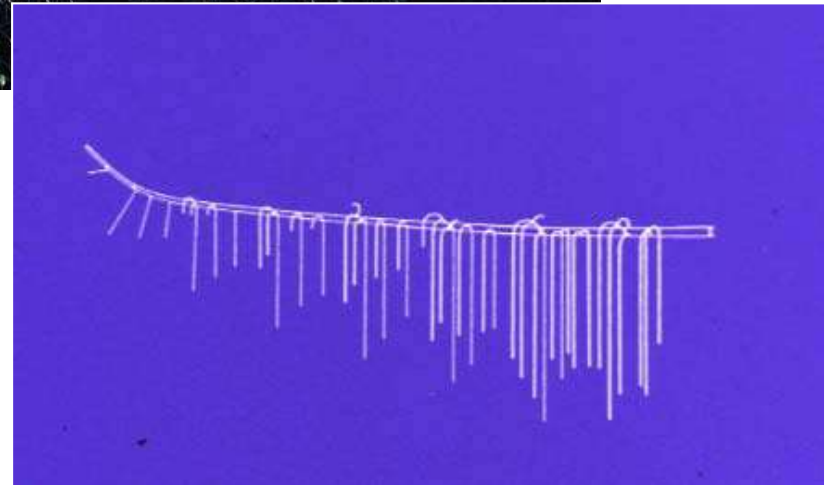
# La sénescence

Reitération tardive : exploitation

*Platanus hybrida*  
(*Platanaceae*)



*Picea excelsa* (*Pinaceae*)





# La sénescence

*Ouverture houppier, réduction des C.R., mortalité, Dislocation*



*Pinus nigra (Pinaceae)*

# La sénescence

Reitération tardive : exploitation, renforts  
Dislocation



la ramification utilise des brachyblastes  
(les rameaux porteurs des aiguilles)  
dont le méristème terminal reprend une  
activité pour donner un axe long



**Construction  
Déconstruction**

***Ouverture  
houppier  
réduction  
des C.R.  
mortalité,  
Dislocation,***



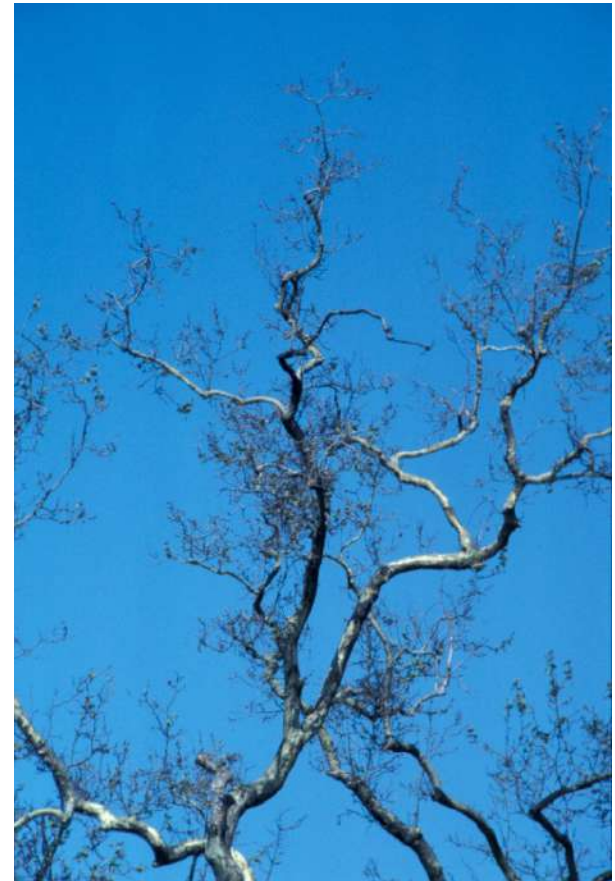
*Populus nigra* (Salicaceae), Caraglio, 1990



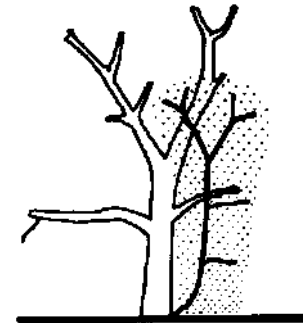
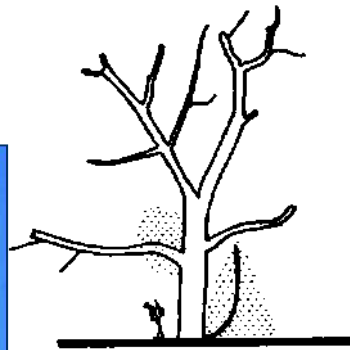
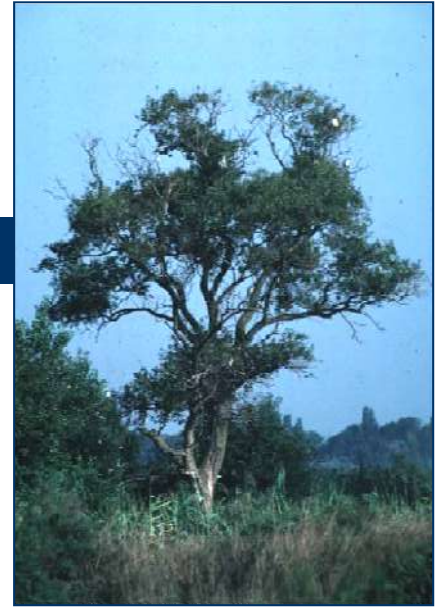
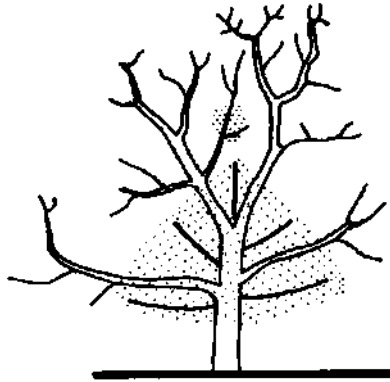
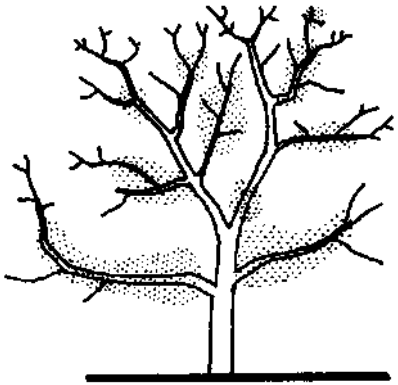


# La sénescence

Dislocation, peu ou pas de réactivité,  
Seules restent les infrastructures

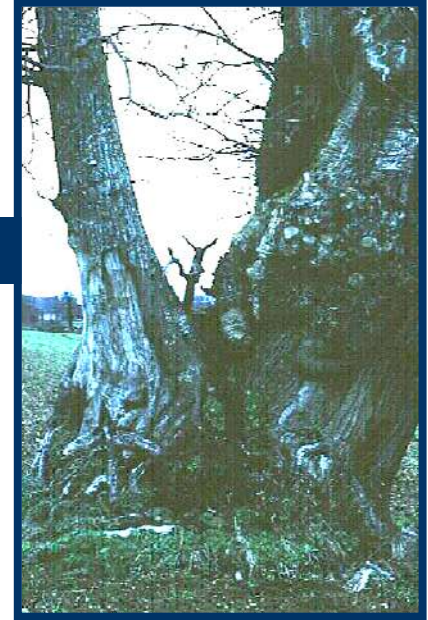
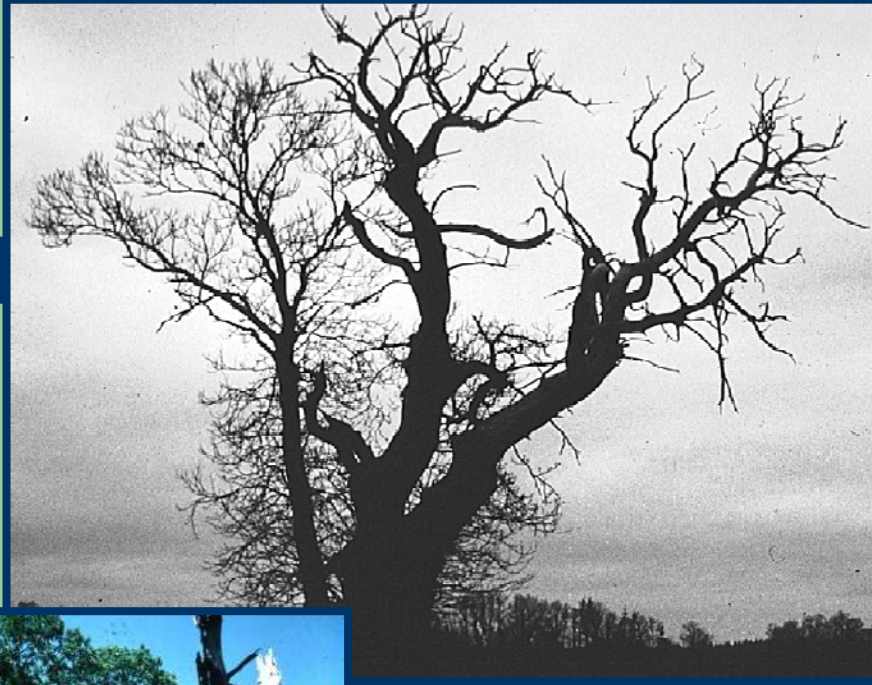


# La sénescence





# La sénescence

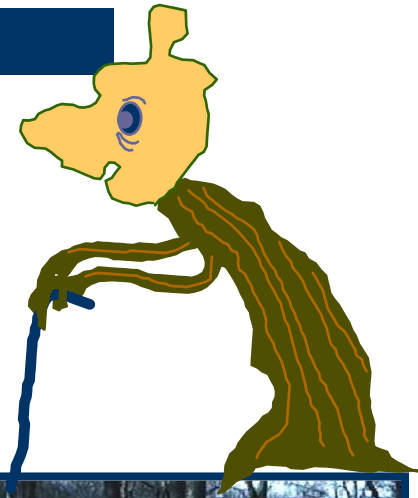


*Descente de  
cime  
Et mortalité*





# La sénescence



*La mortalité*

# La mortalité

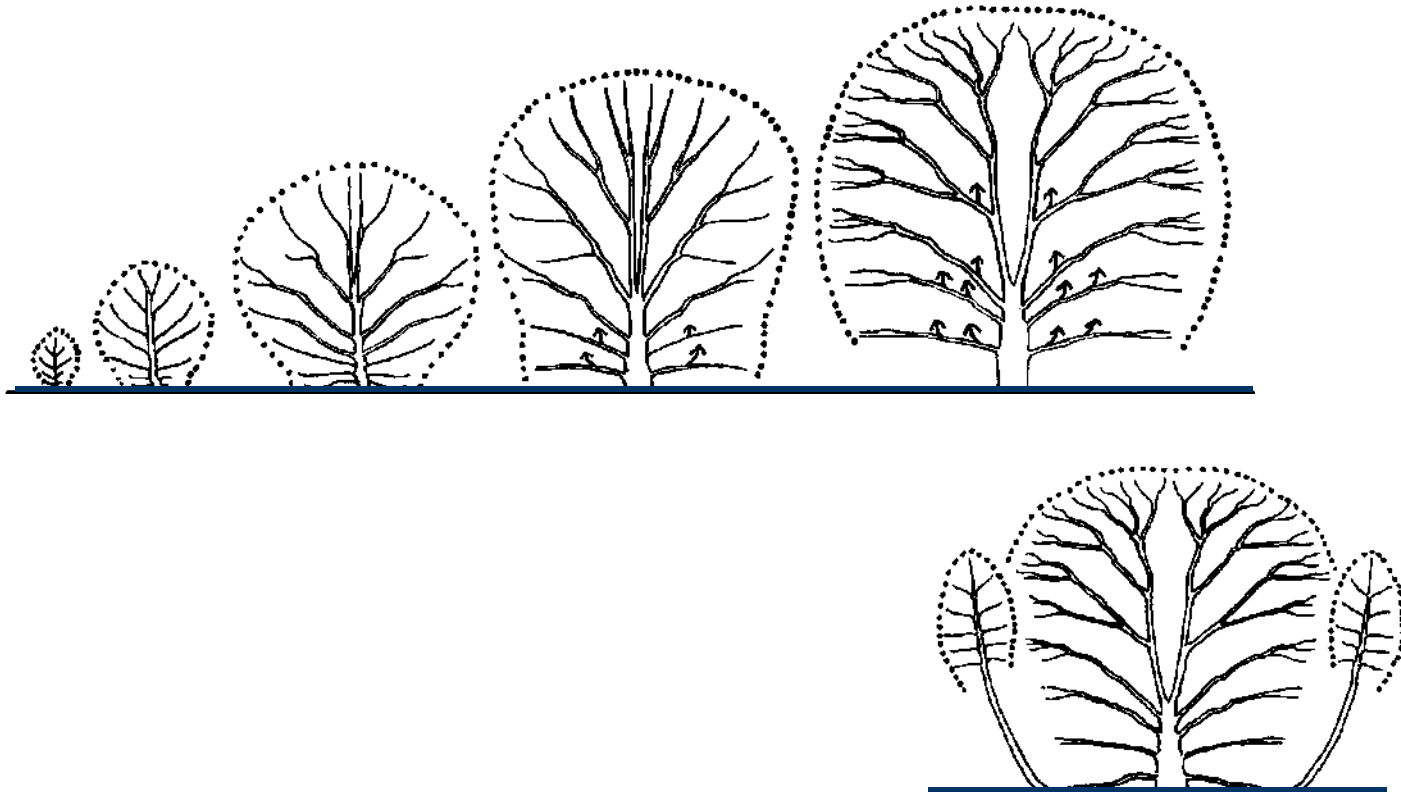
Multiplication  
végétative...





# La sénescence...

Multiplication végétative...





# L'immortalité !!

