



Introduction à l'architecture des plantes

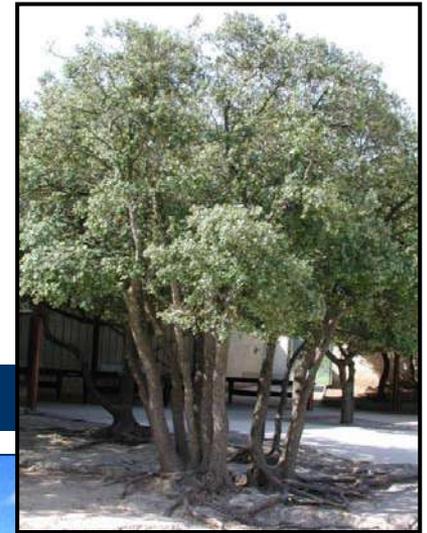
Yves Caraglio

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

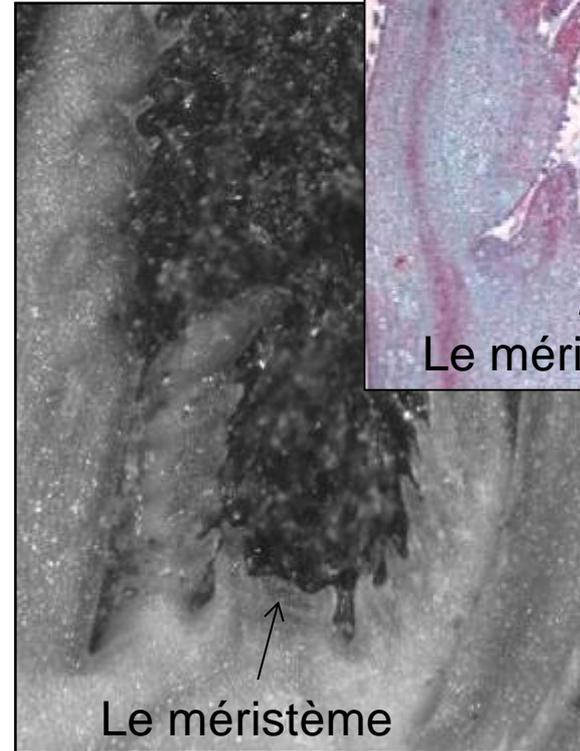


Le Marronnier

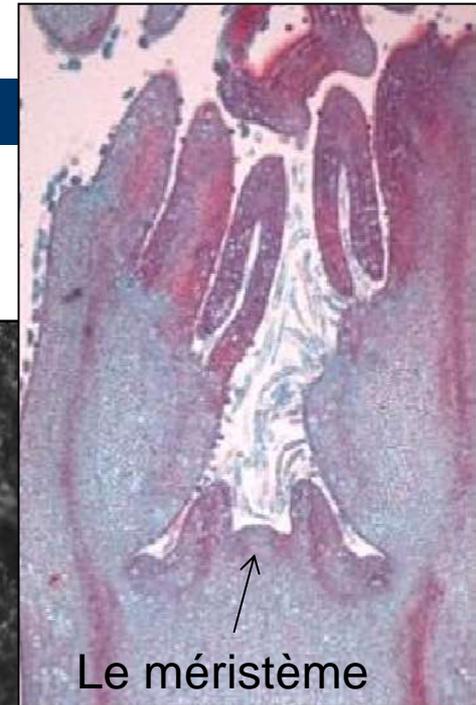


Origine de la croissance

- Ebauches foliaires et éléments de tige
- Le Méristème



Le Frêne



Origine de la croissance

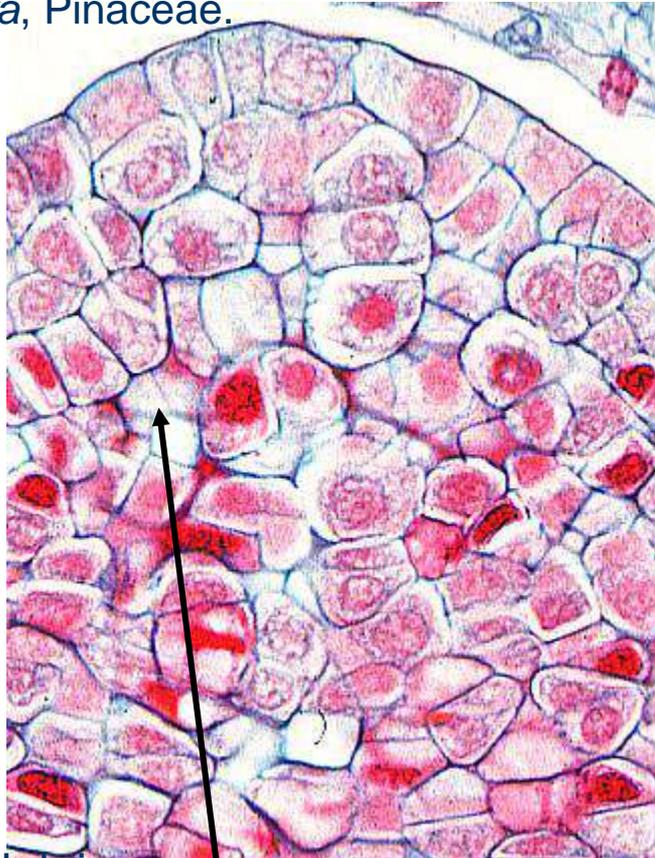
- Ebauches foliaires et éléments de tige
- Le Méristème

Le Riz



Périodicité du fonctionnement méristématique

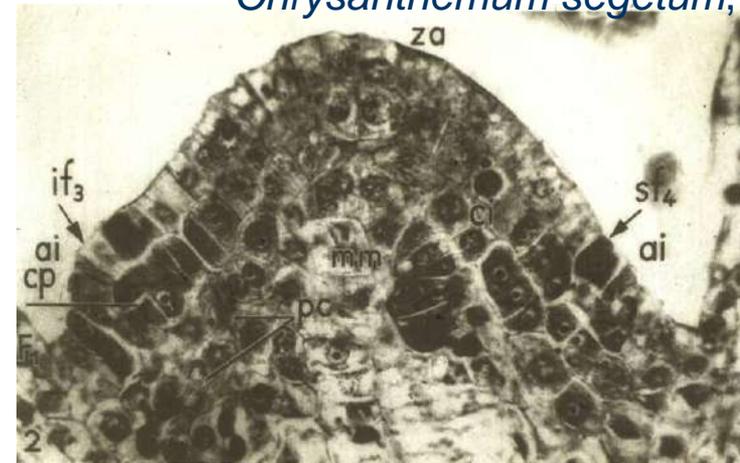
Pinus nigra, Pinaceae.



Cycle cellulaire

Cellule en recloisement

Chrysanthemum segetum, Asteraceae



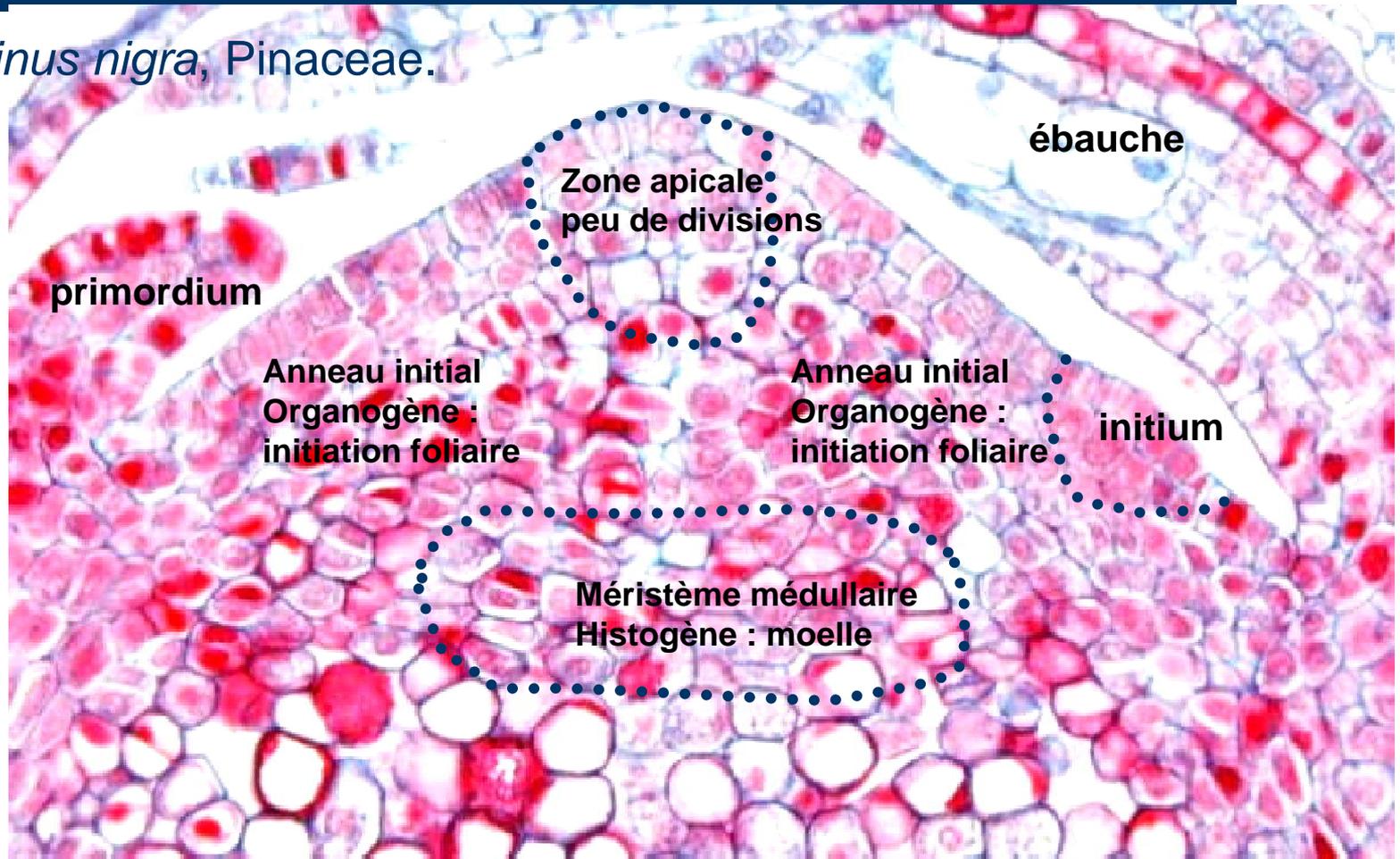
Indice mitotique (nbre de cellules en division à un instant donné)

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

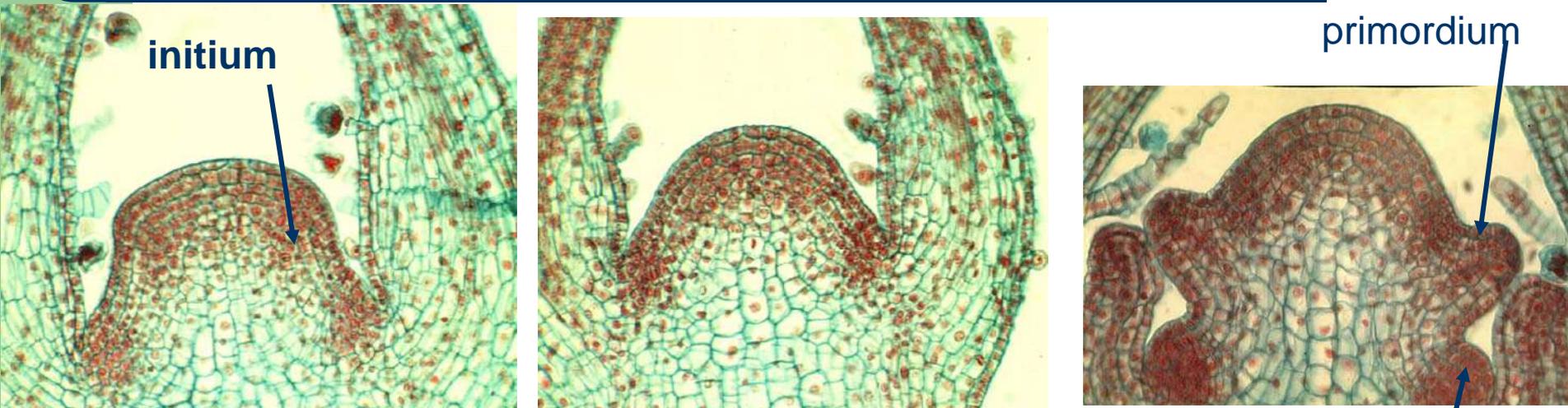
⊗ Zonation territoire méristématique

La zonation du méristème

Pinus nigra, Pinaceae.



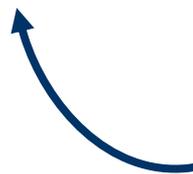
Fonctionnement méristématique



Aire maximale



Aire minimale



Phase de restauration



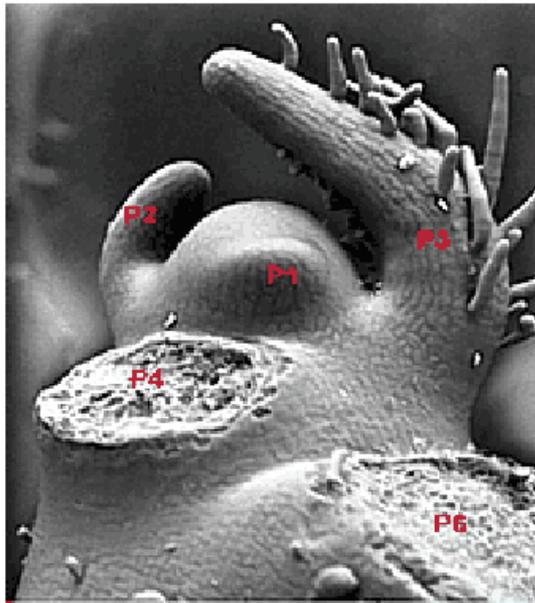
primordium

Méristème axillaire

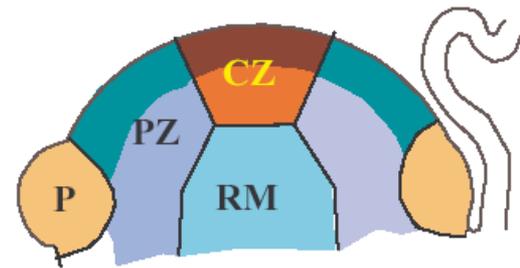
Coleus sp. Lamiaceae

Fonctionnement méristématique

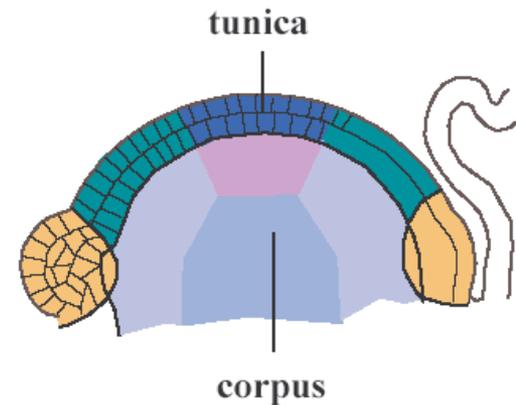
Architecture du méristème



(Photo: Kuhlemeier)



(J. Traas)

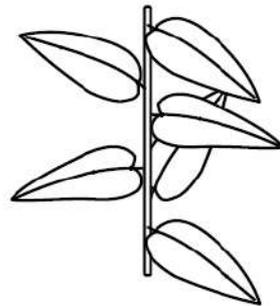


Conséquence : la phyllotaxie

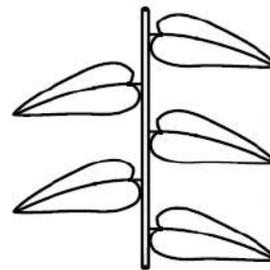
Disposition des feuilles sur la tige d'une plante

1 feuille par nœud

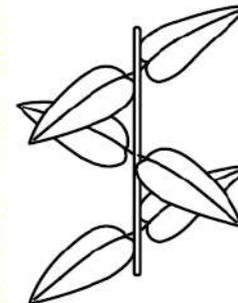
plusieurs feuilles par nœud



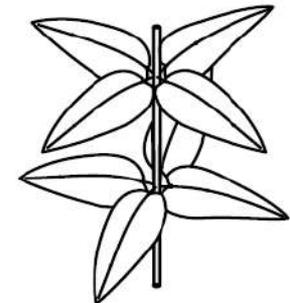
Alterne spiralée



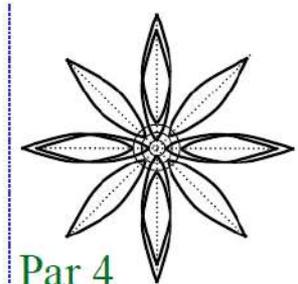
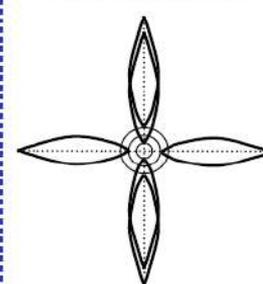
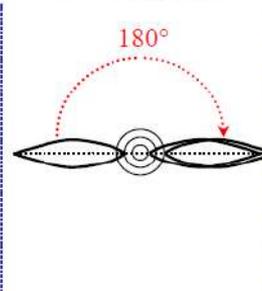
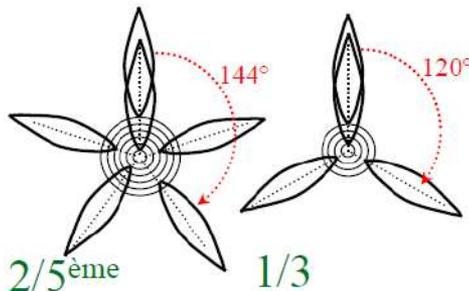
Alterne distique



Opposée-décussée



Verticillée

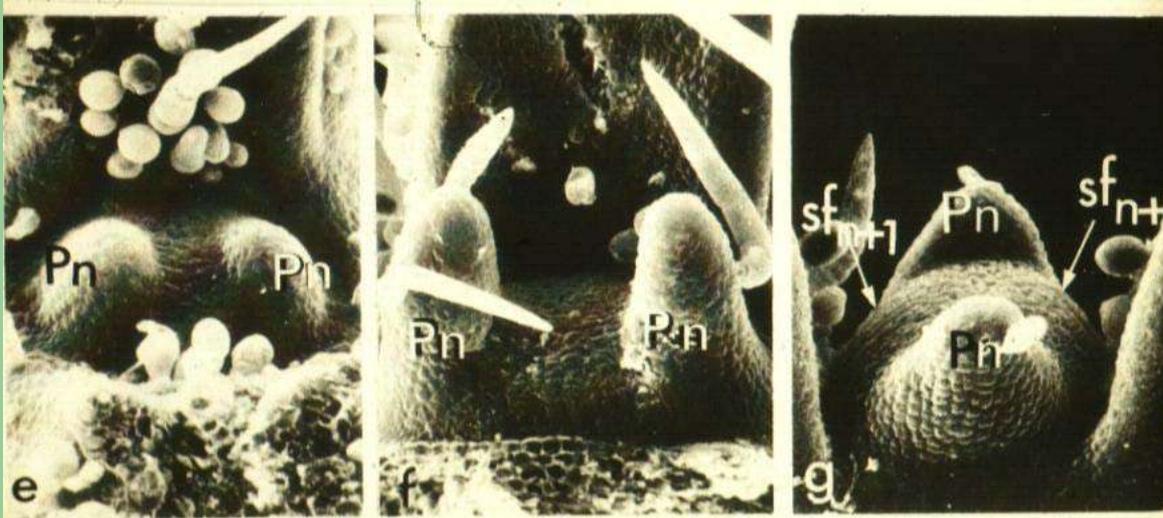


Par 4

La phyllotaxie



Alterne distique. Noisetier.



Opposée décussée. Viorne Tin.



Alterne spiralée. Chou-rouge.

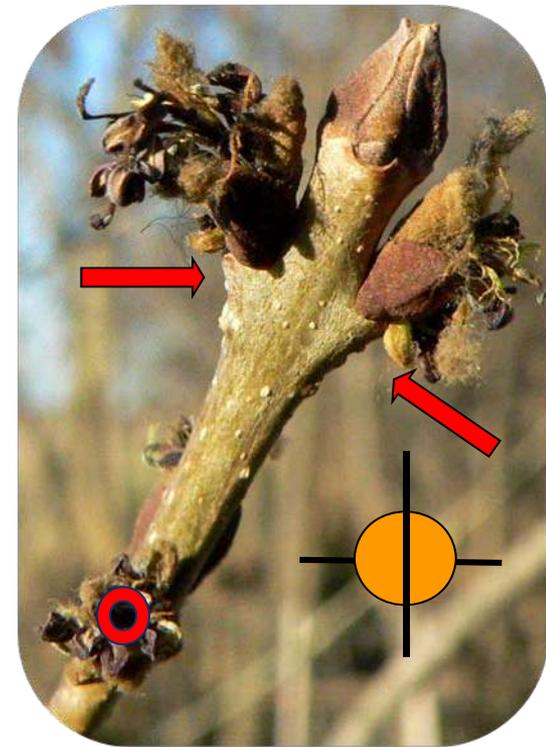
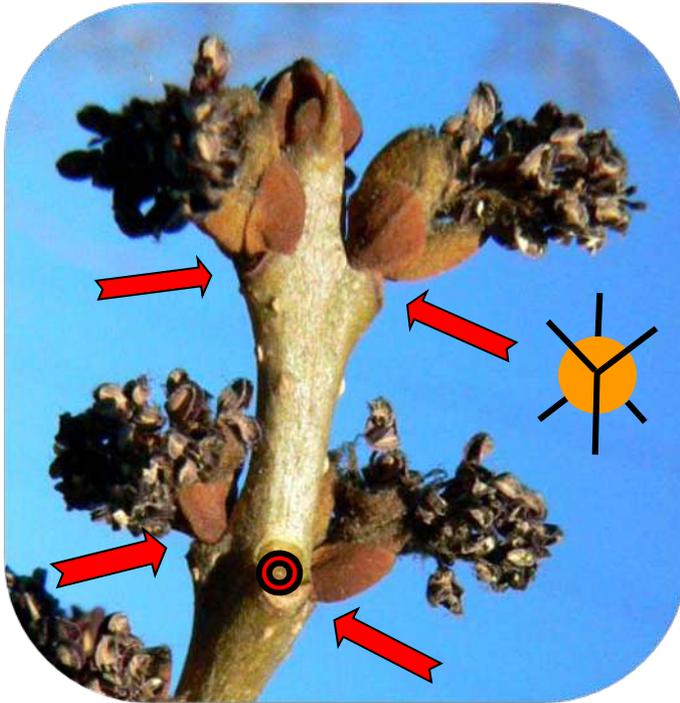
La phyllotaxie : peut changer



M. Bottolier, 2005

Fraxinus angustifolia. Oleaceae

La phyllotaxie : peut changer



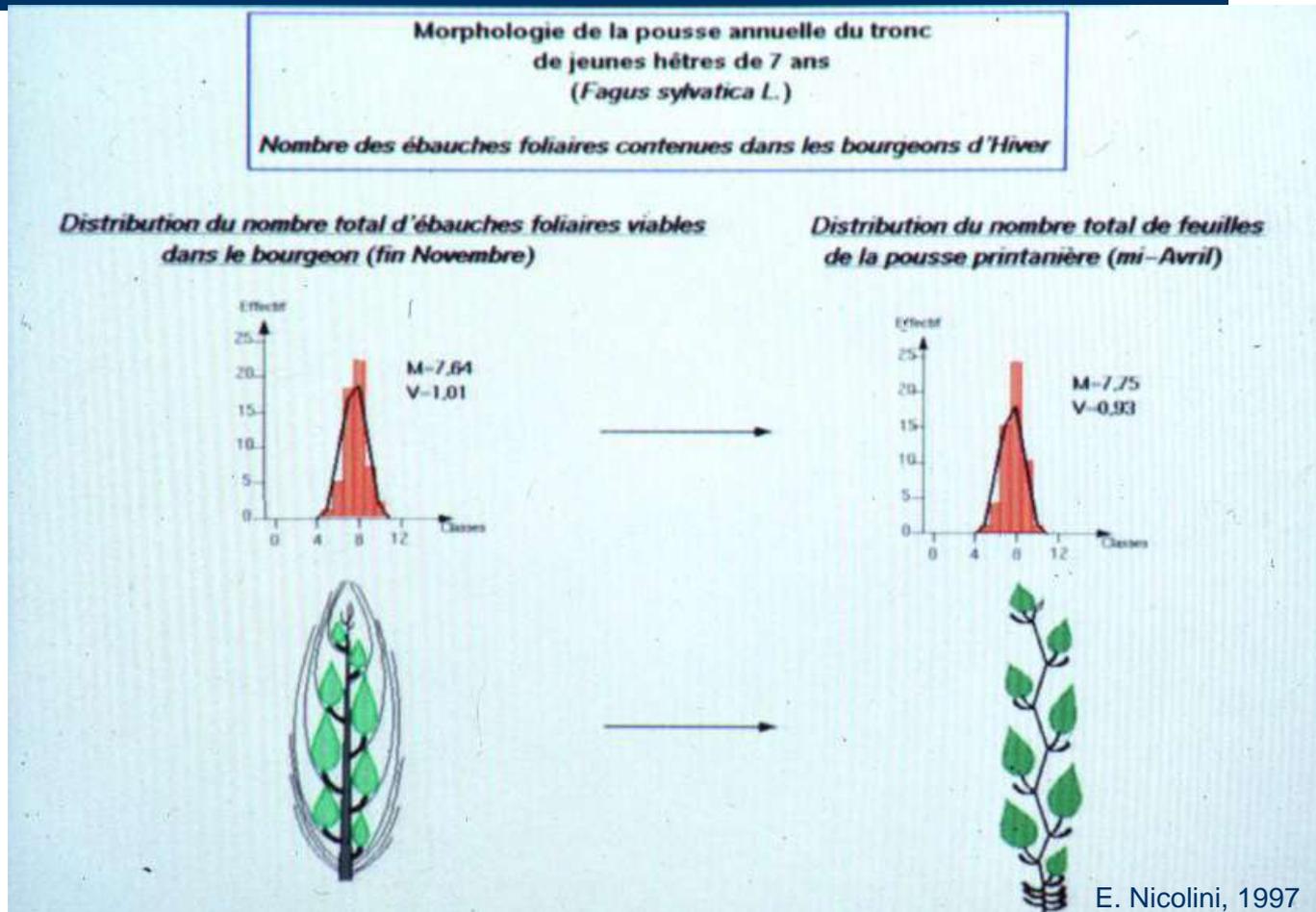
Fraxinus angustifolia. Oleaceae

Conséquence : Allongement

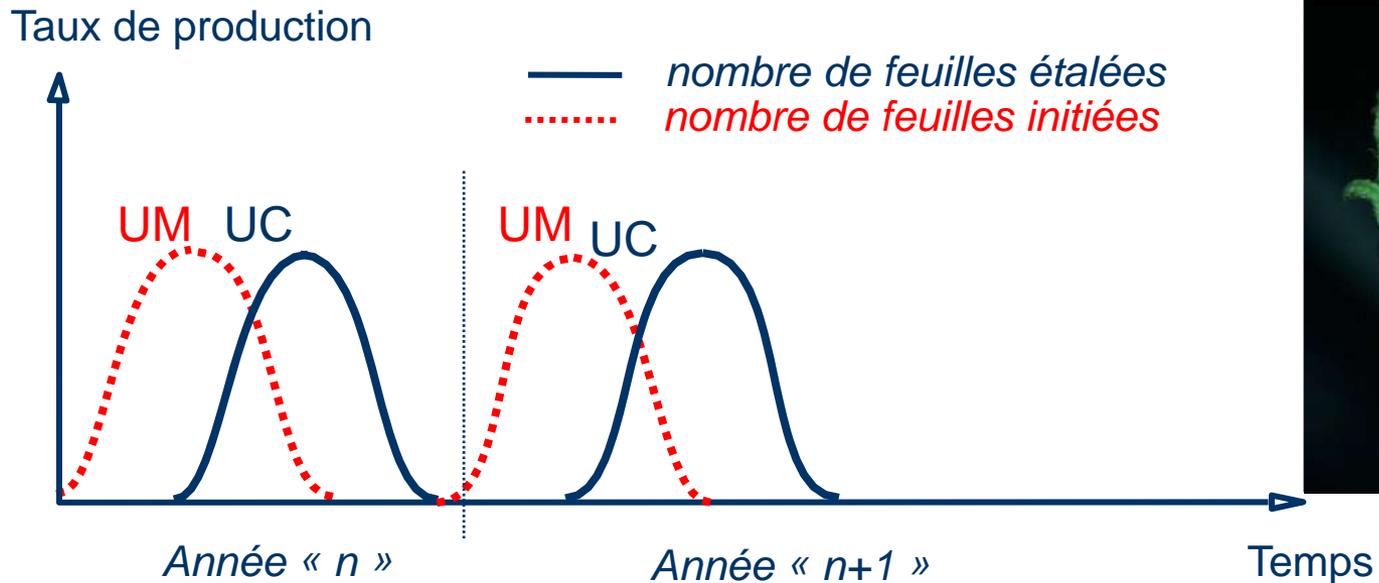
- Allongement des axes
 - Partie terminale des axes



Croissance : Allongement + Organogénèse



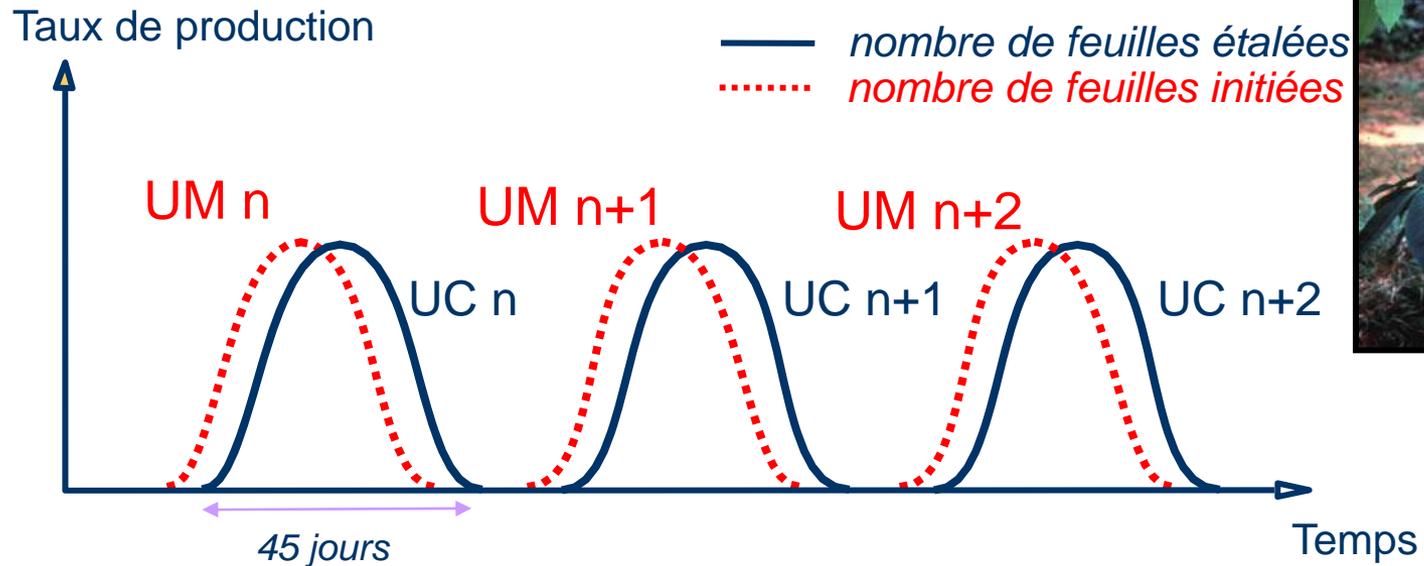
Croissance : Allongement + Organogénèse



Fraxinus americana (Gill, 1971)



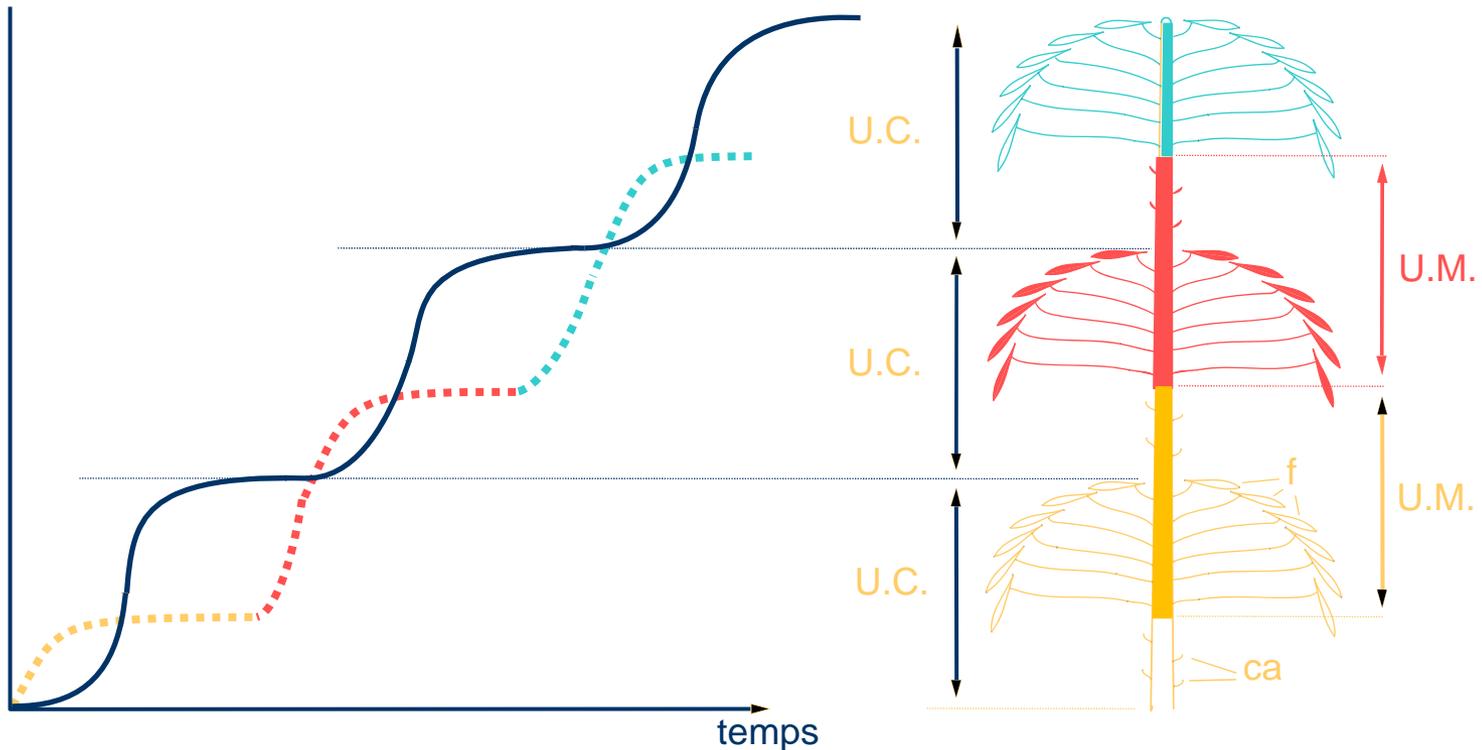
Croissance : Allongement + Organogénèse



Hevea brasiliensis (Hallé et Martin, 1968)

Croissance : Allongement + Organogénèse

taux de production cumulé



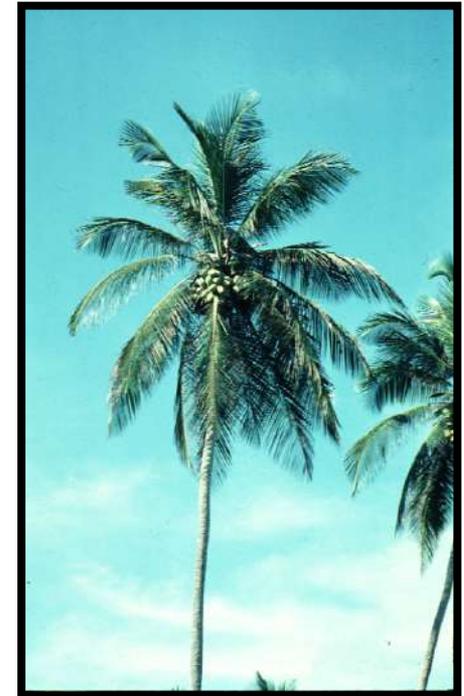
— nombre de pièces étalées (*allongement*)

..... nombre de pièces initiées (*organogénèse*)

ca : cataphylle

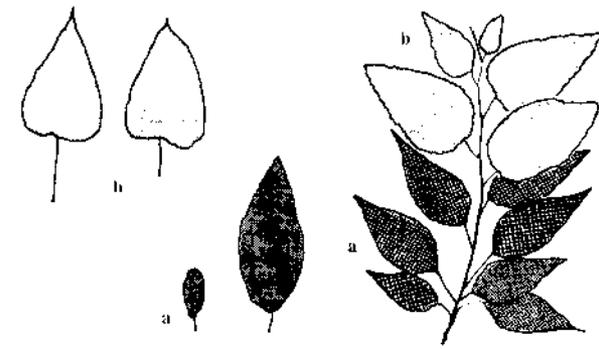
f : feuille

Croissance : Allongement + Organogénèse

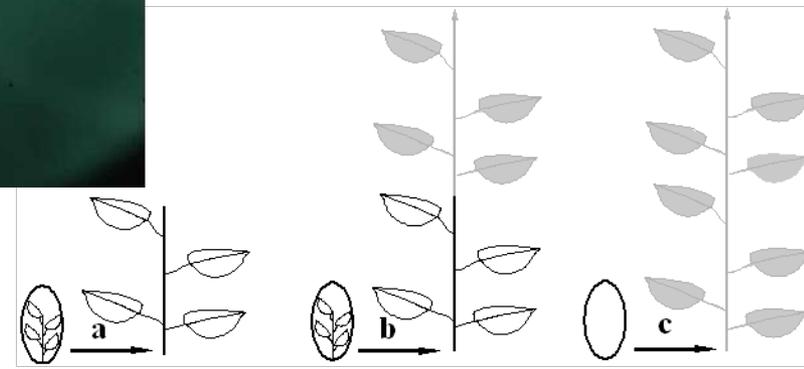
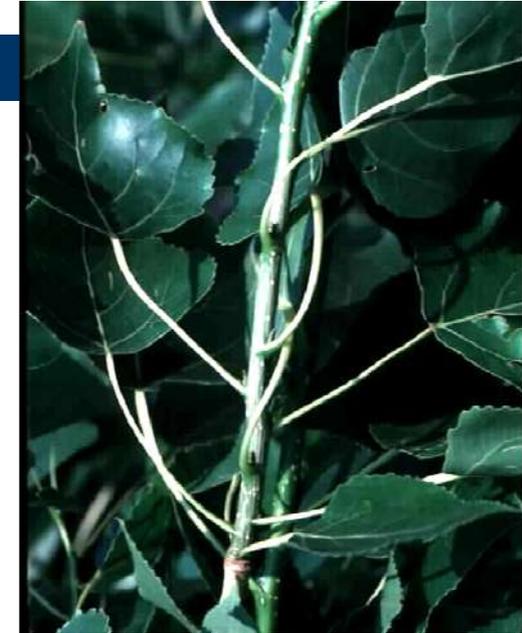


Cocos nucifera

Organogenèse *versus* allongement



Préformation/ néoformation



Organogenèse *versus* allongement

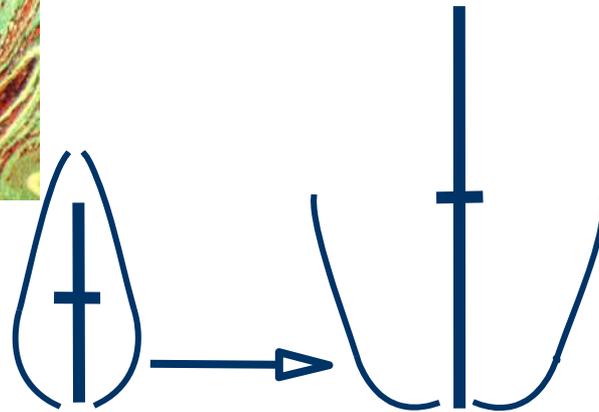
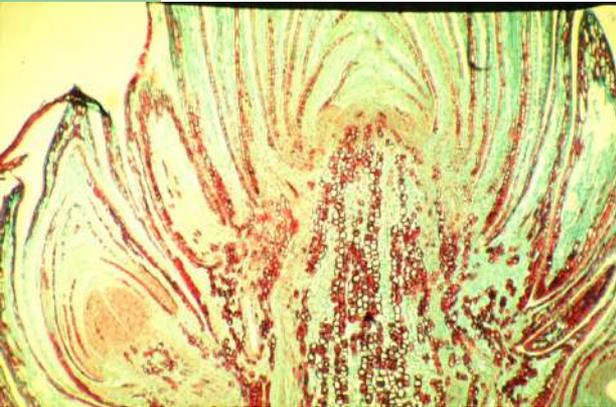


Variation dans les types de pousses d'un même arbre et particularités de la partie préformée.



Ulmus campestris. Ulmaceae

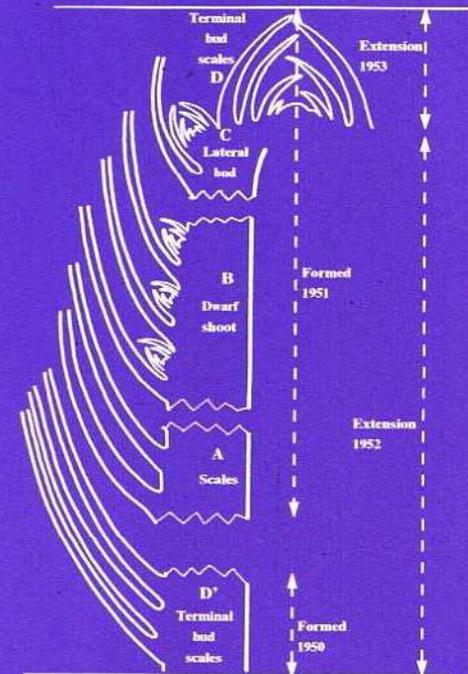
Organogenèse *versus* allongement



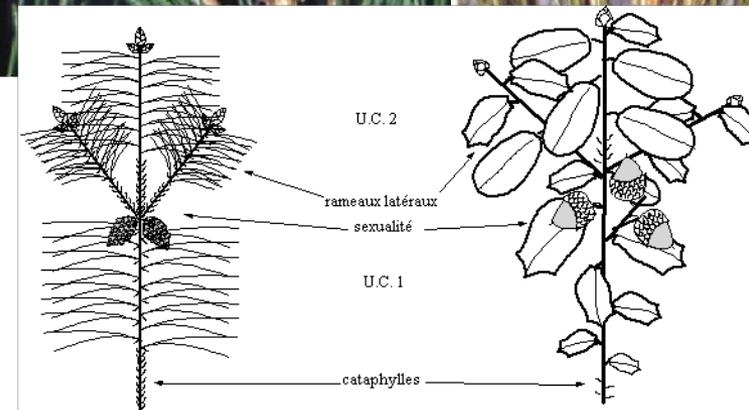
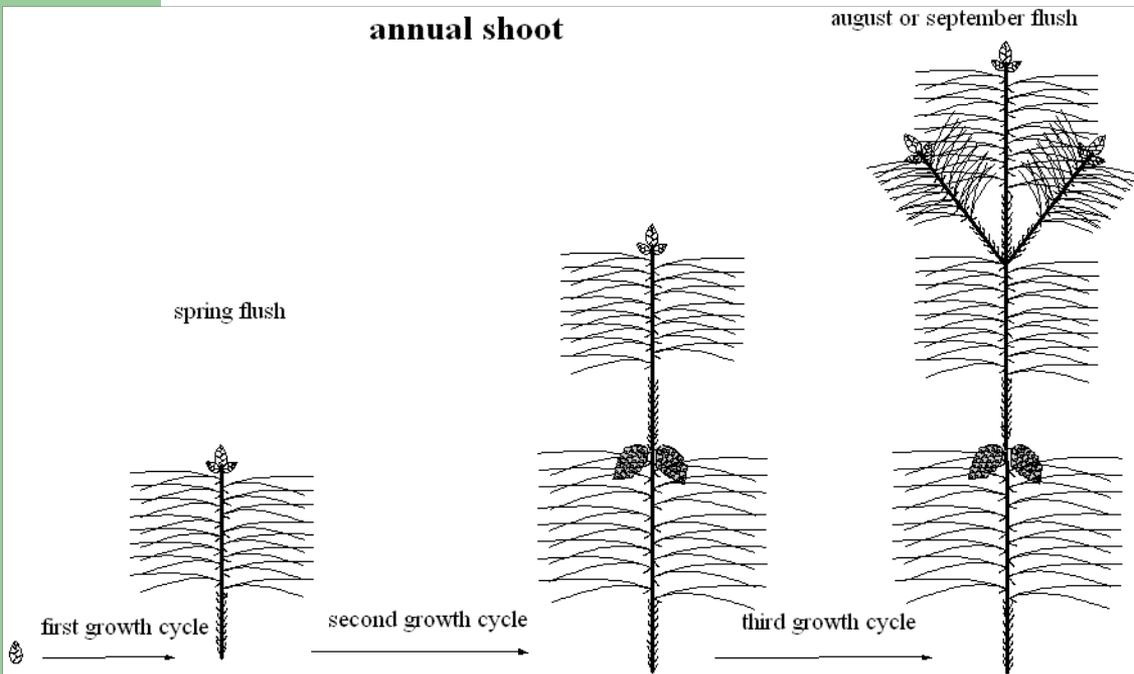
bourgeon

Deux UC préformées :
le cas de jeunes pins

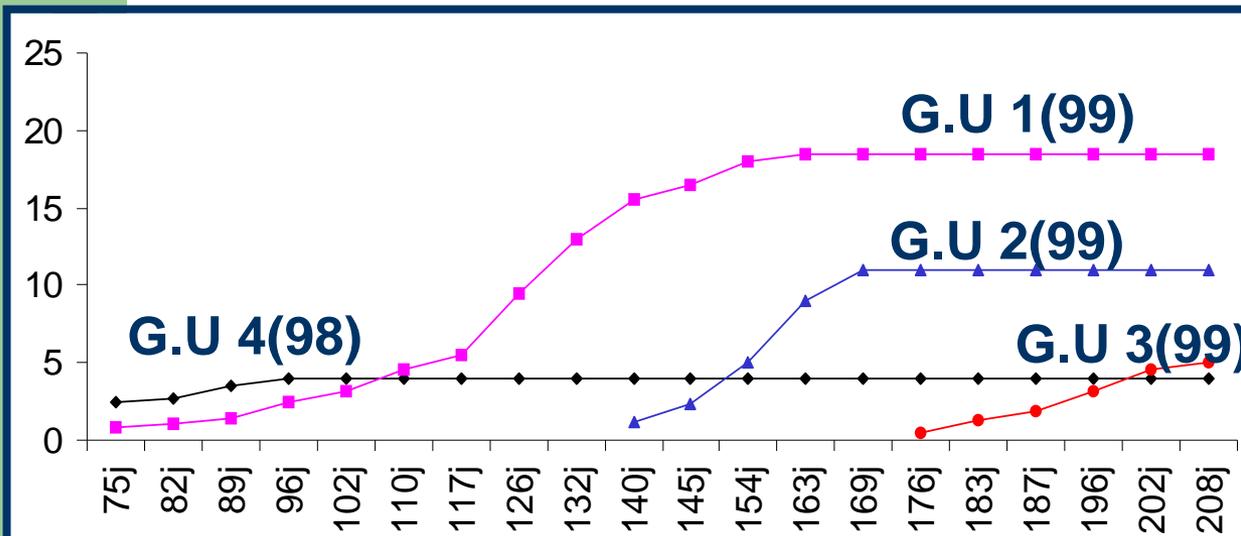
Bud of *Pinus*, showing structures present and sequence of formation



Le polycyclisme : la pousse annuelle



Le polycyclisme : la pousse annuelle



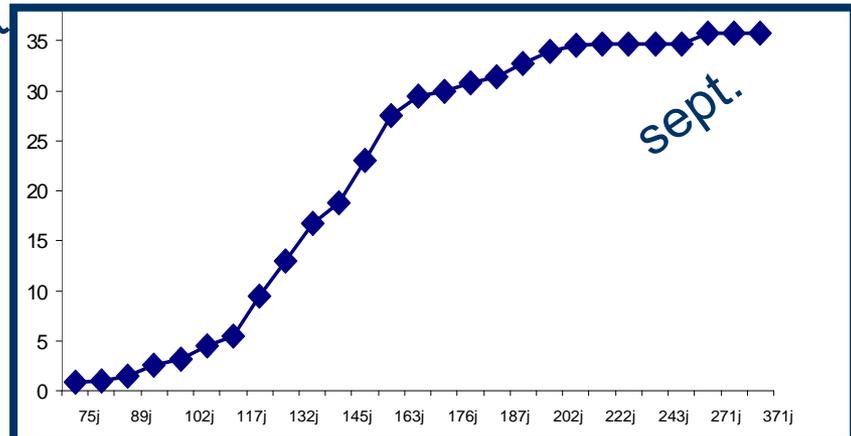
mars

Pinus brutia
P. halepensis

mai

Repos !

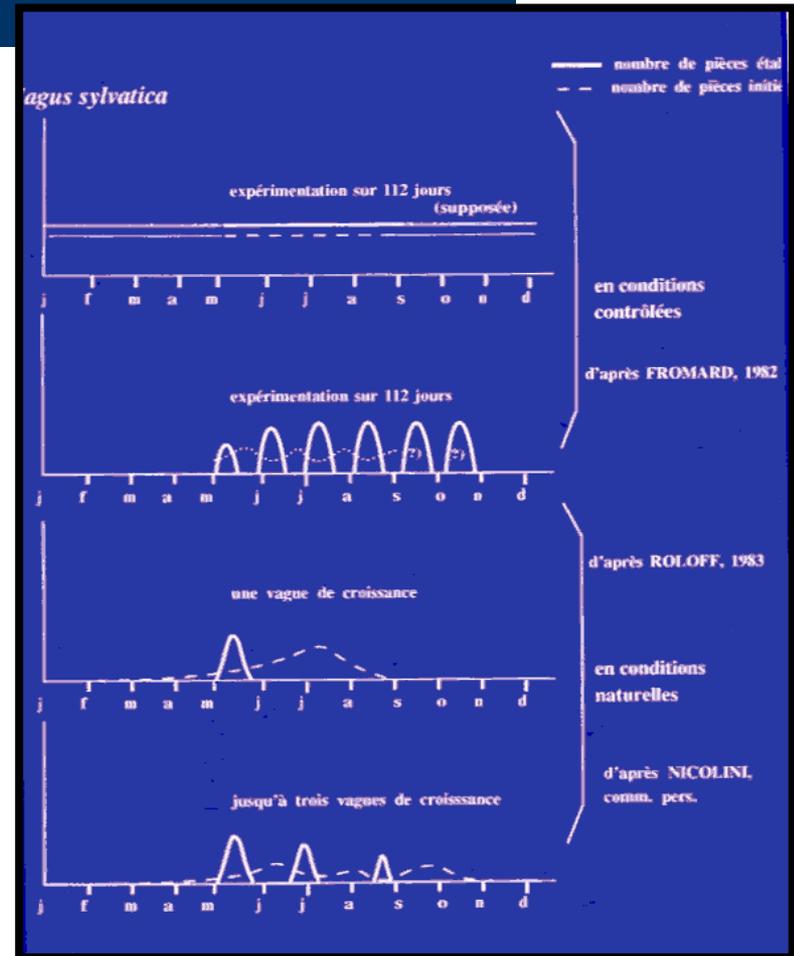
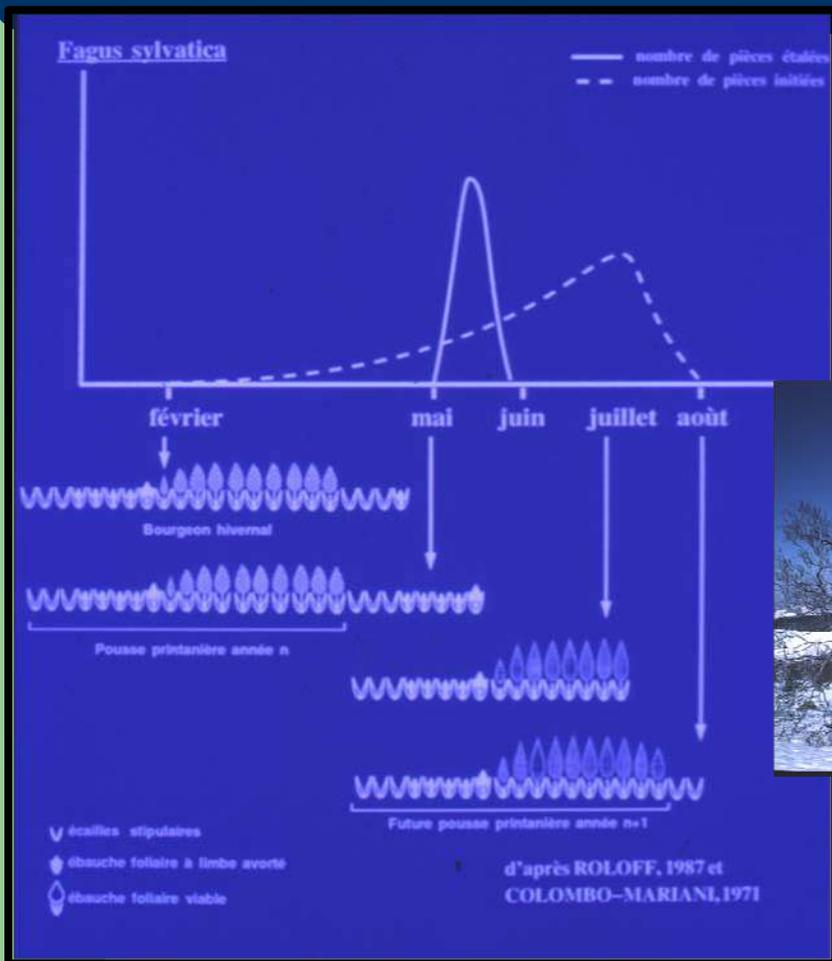
juillet



sept.

Les phases d'allongement

La périodicité de la croissance : endogène ou exogène



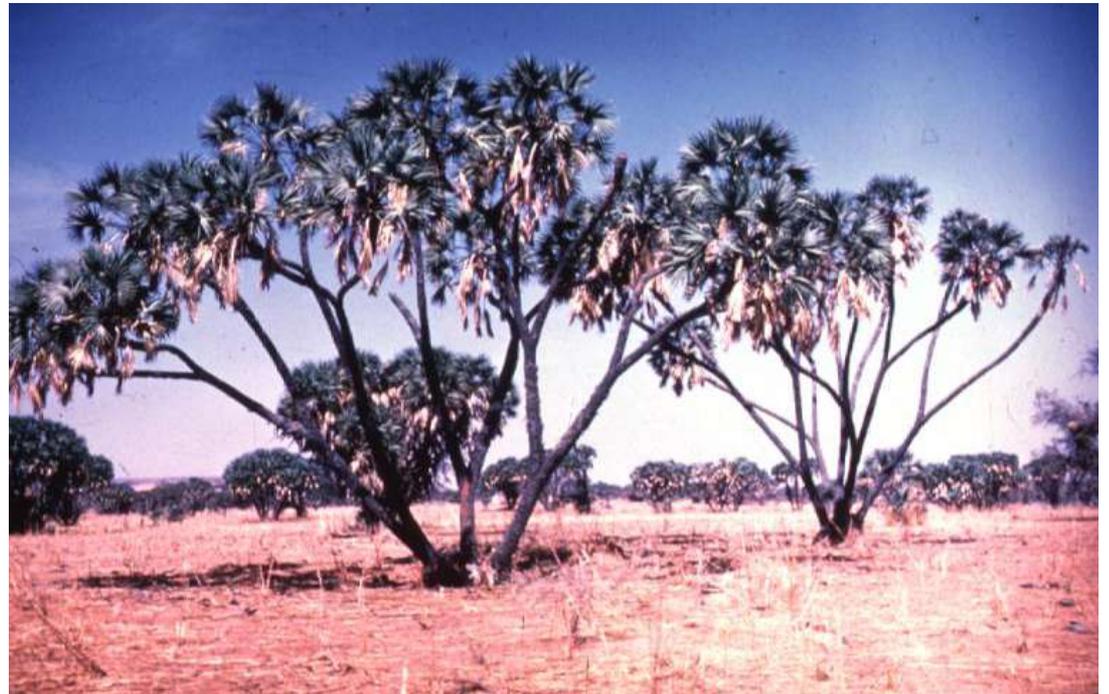
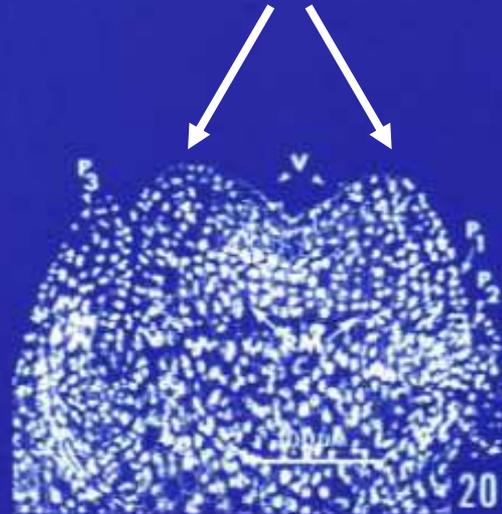
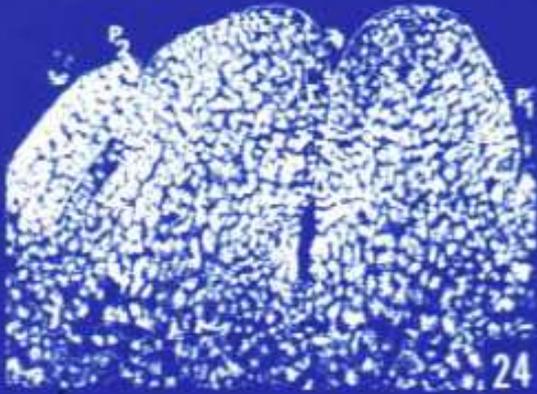
Conséquence : la ramification

- Occuper l'espace
 - axillaires



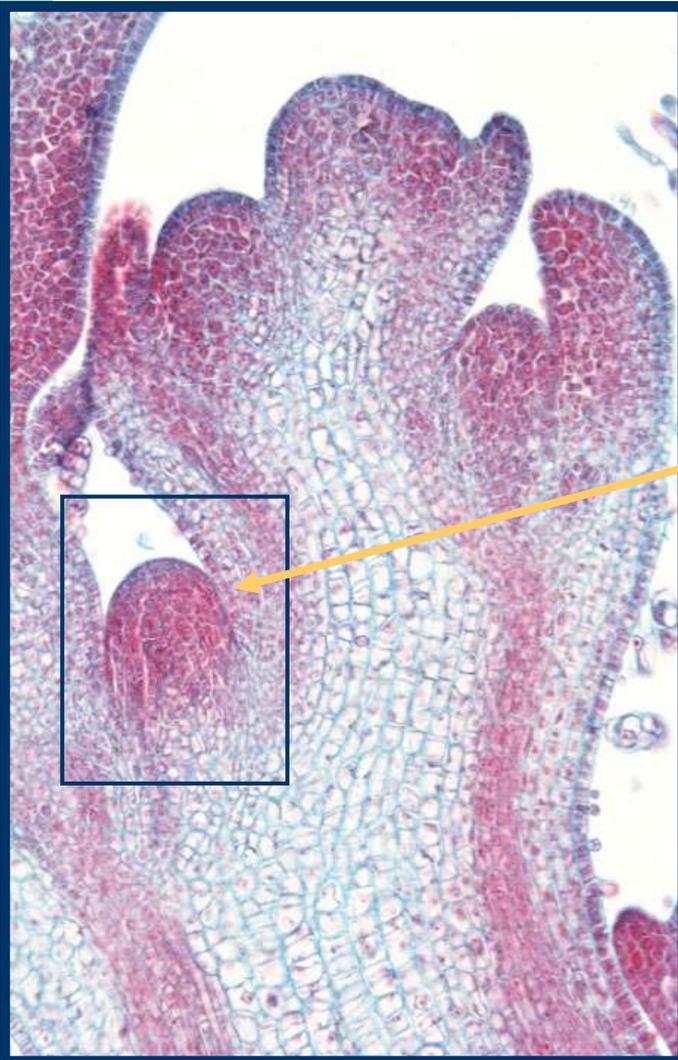
Le végétal qui pousse !

La ramification terminale



Le végétal qui pousse !

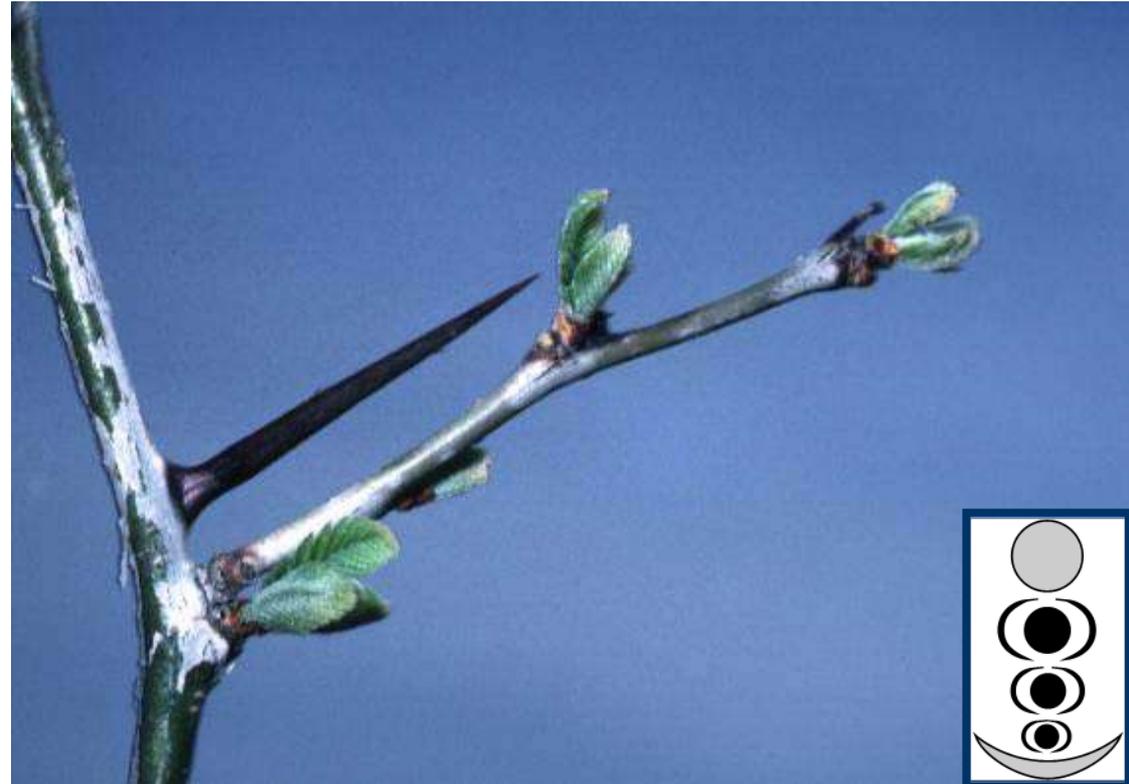
La ramification latérale



Le végétal qui pousse !

La ramification latérale

Parfois, plusieurs bourgeons (surnuméraires ou sériés)

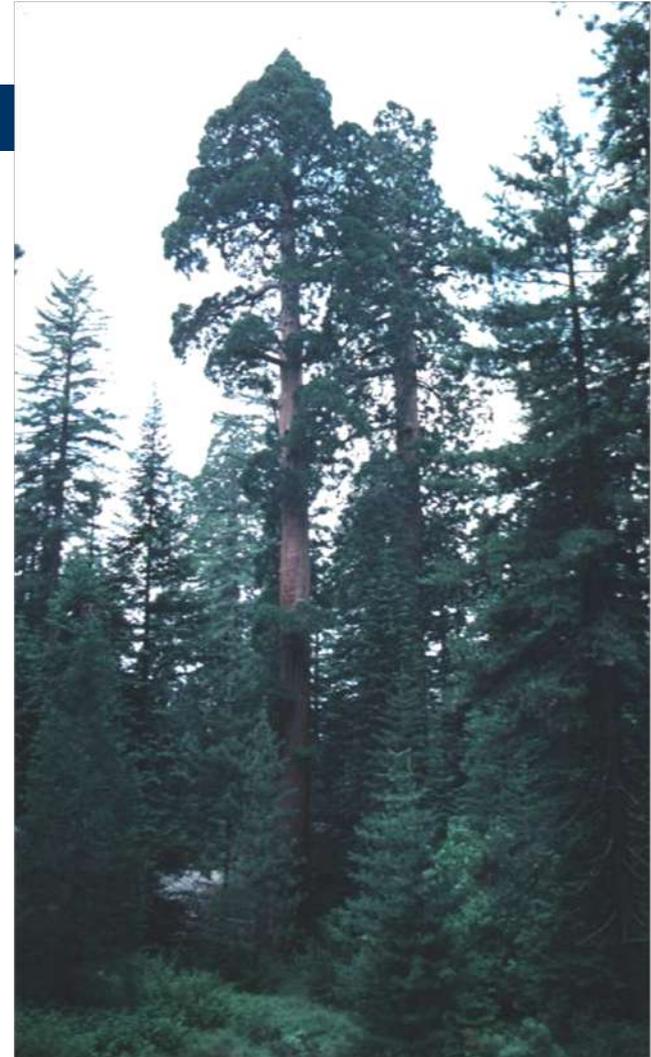
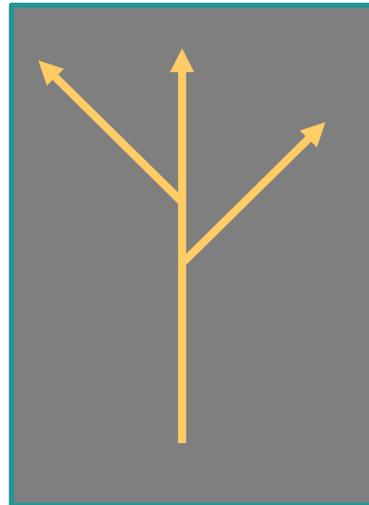


Le végétal qui pousse !

La ramification monopodiale



Monopode

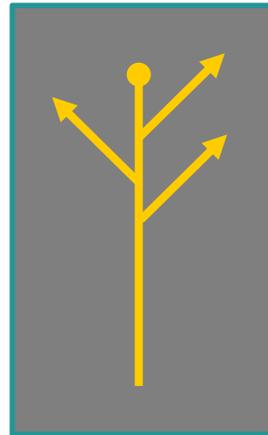
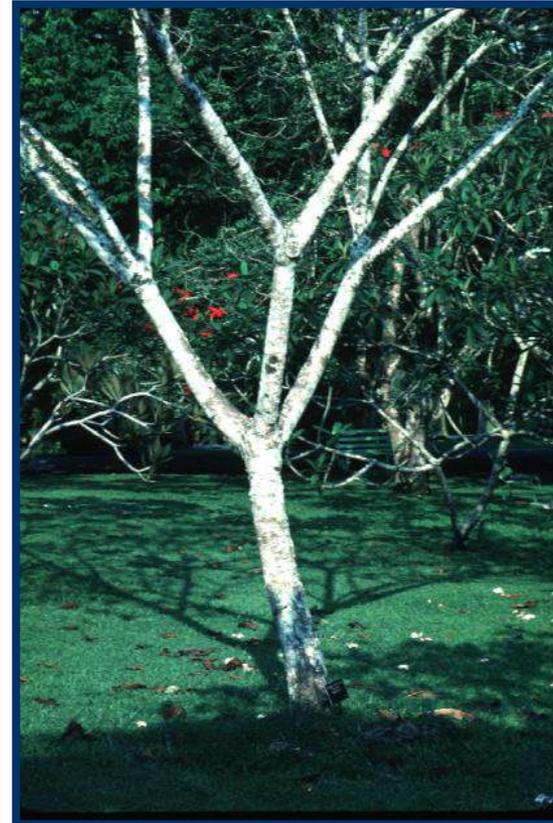
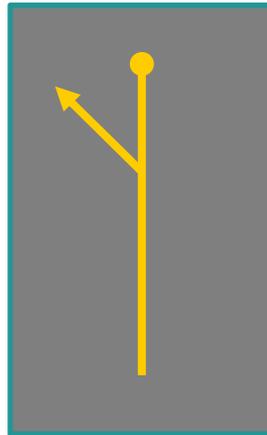


Le végétal qui pousse !

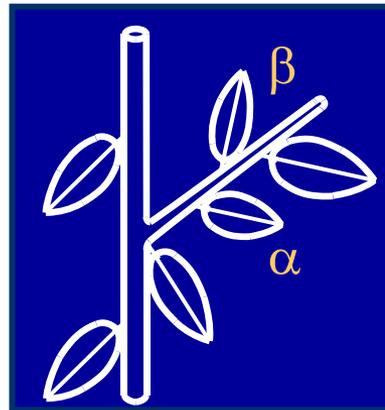
La ramification sympodiale



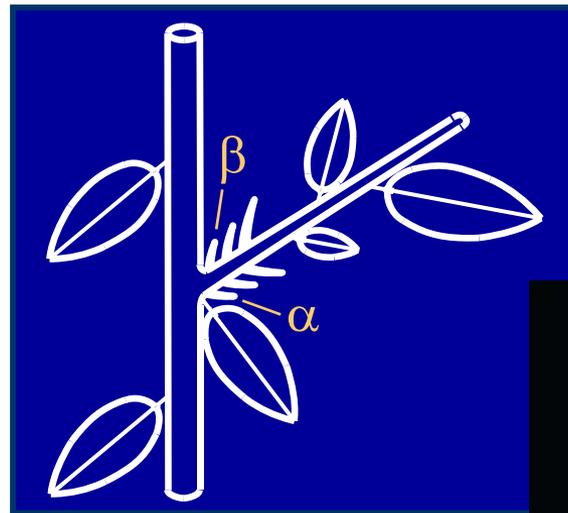
Sympode



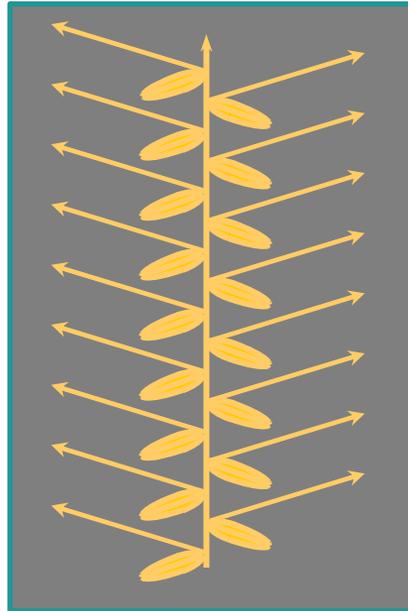
Ramification à développement immédiat



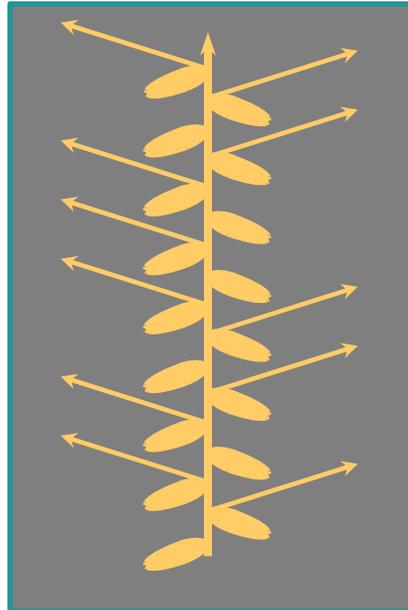
Ramification à développement différé



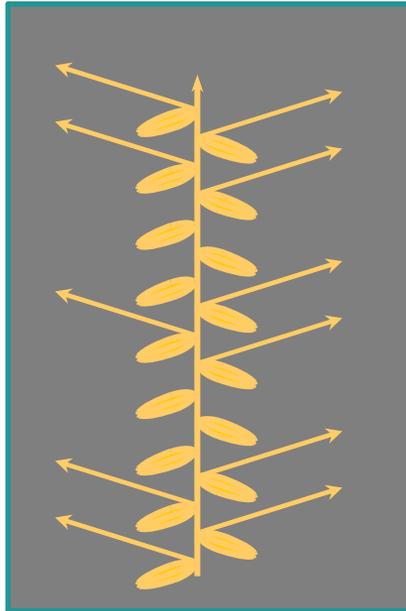
La ramification continue



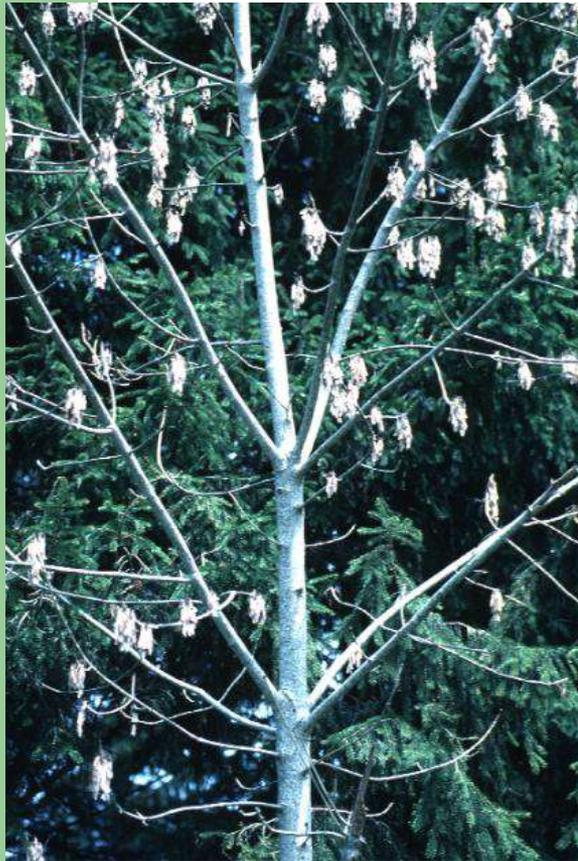
La ramification diffuse



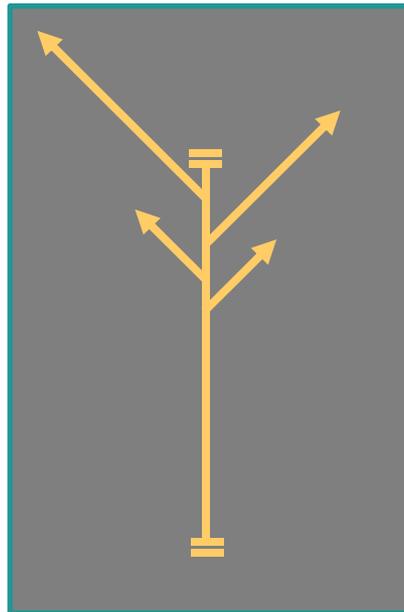
La ramification rythmique, ...



Ramification rythmique



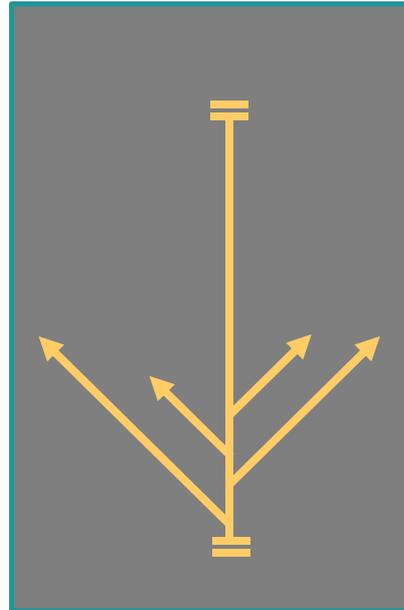
Acrotonie



Ramification rythmique



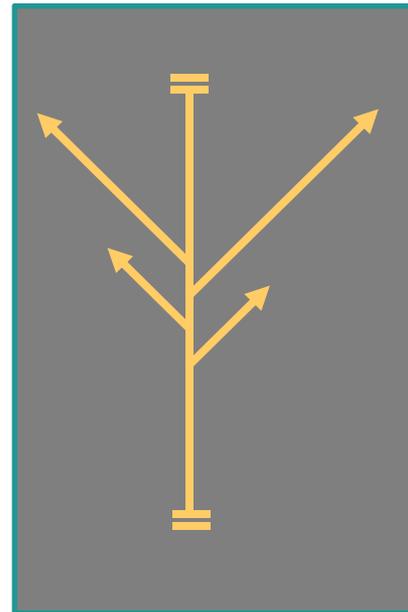
..., basitonie



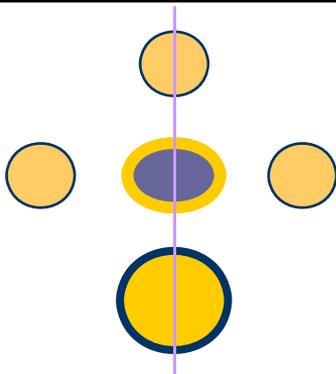
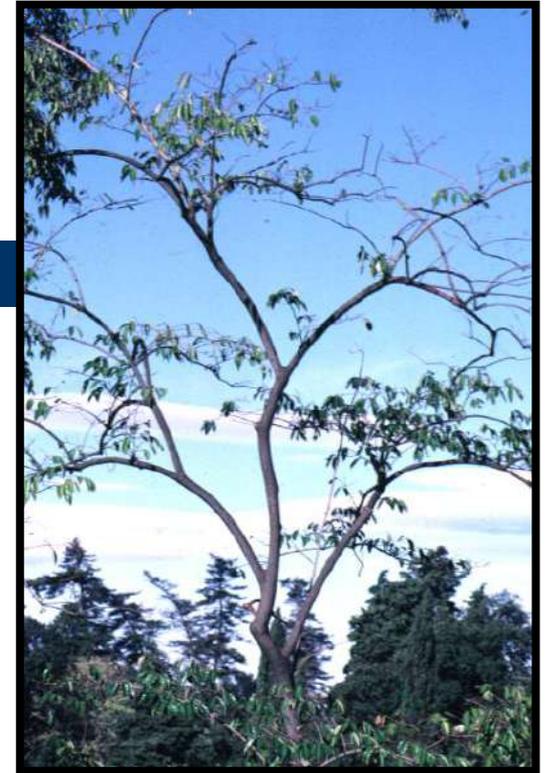
Ramification rythmique



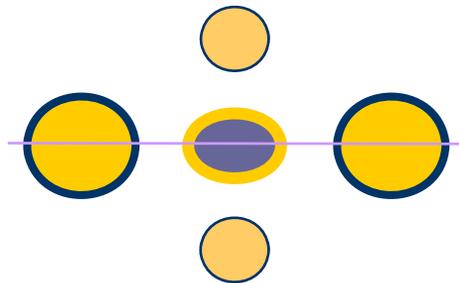
mésotonie



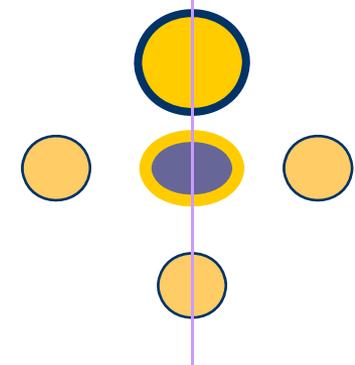
Ramification autour de l'axe



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)

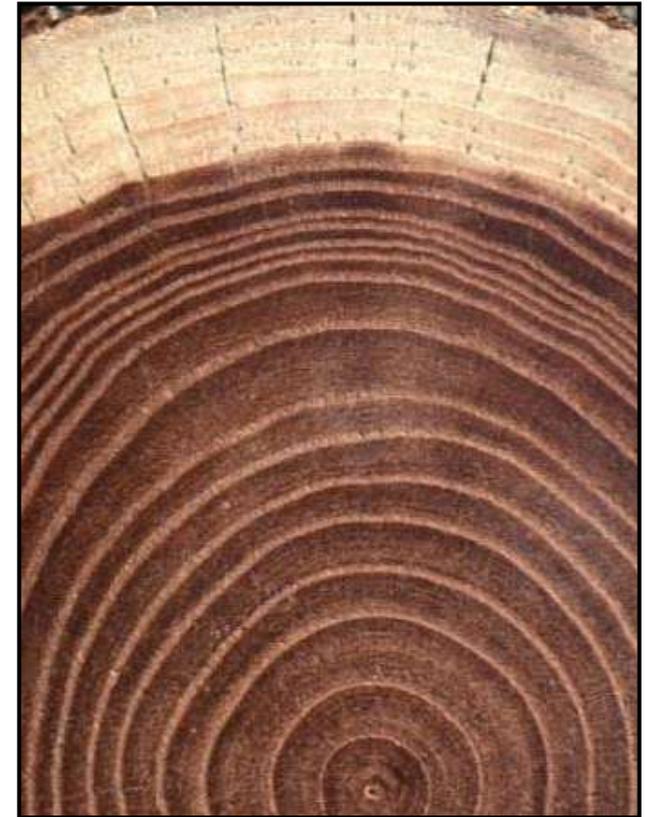
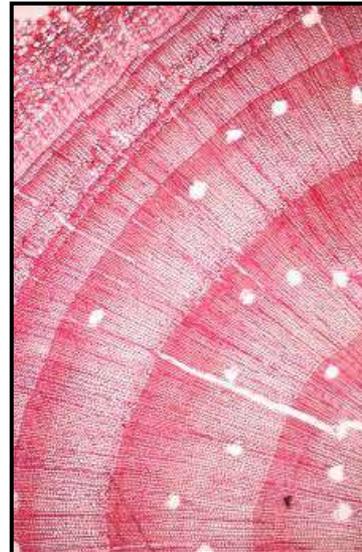
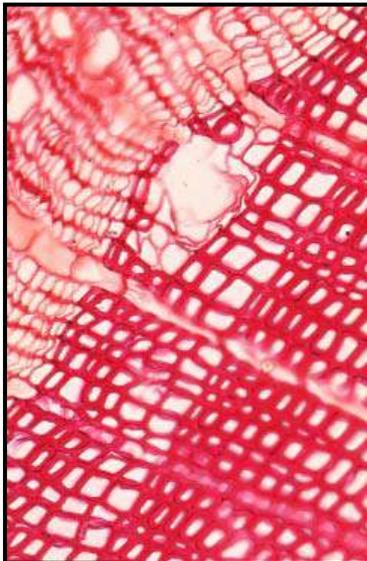




La croissance en épaisseur

- **Epaississement des axes**

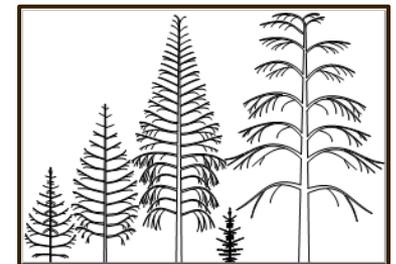
- Transfert de l'eau et des nutriments
- Bois ... organisme de grande taille
- Résistance mécanique



Architecture végétale



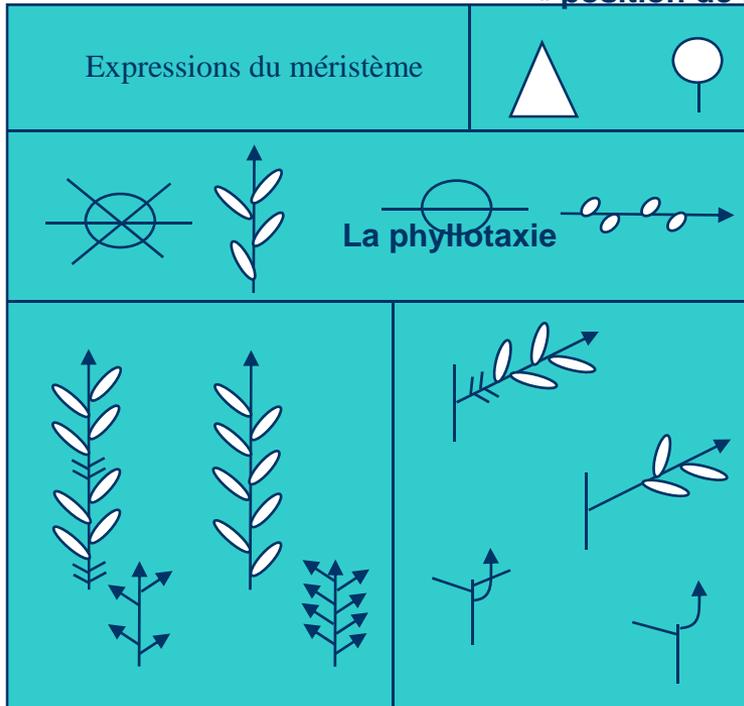
- Décrire les modes d'édification des structures végétales
 - Révéler l'organisation
 - Mettre en évidence les stratégies d'occupation de l'espace
- Basée sur les modes d'expression du **fonctionnement méristématique**
- **Plante Entière**
- **Vision dynamique** de la plante au cours de sa vie



Les concepts en Architecture végétale

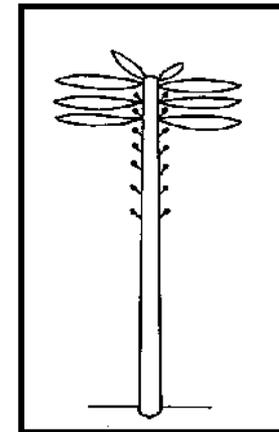
Modèle architectural, Hallé et Oldeman, 1970

Croissance définie ou indéfinie
« position de la floraison »

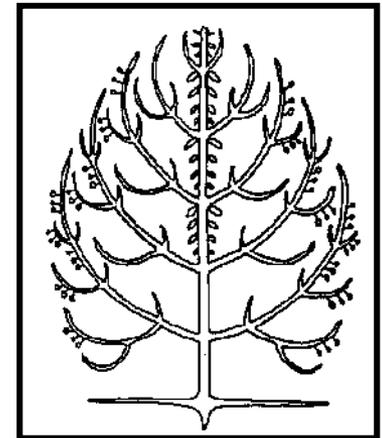


Croissance et ramification rythmique ou continue

Développement des rameaux latéraux tout de suite ou après repos



CORNER



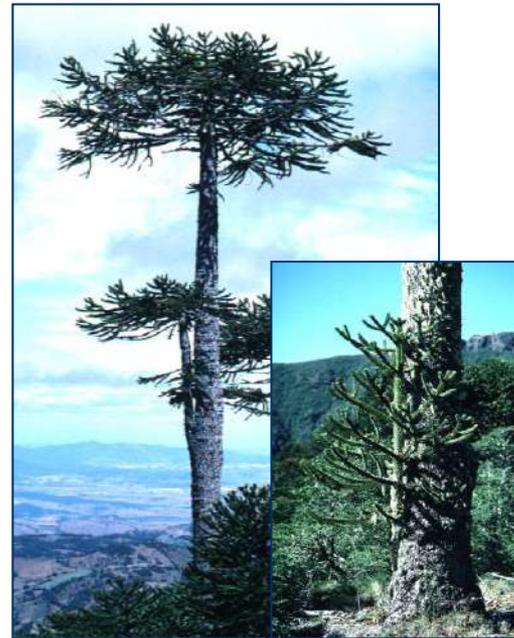
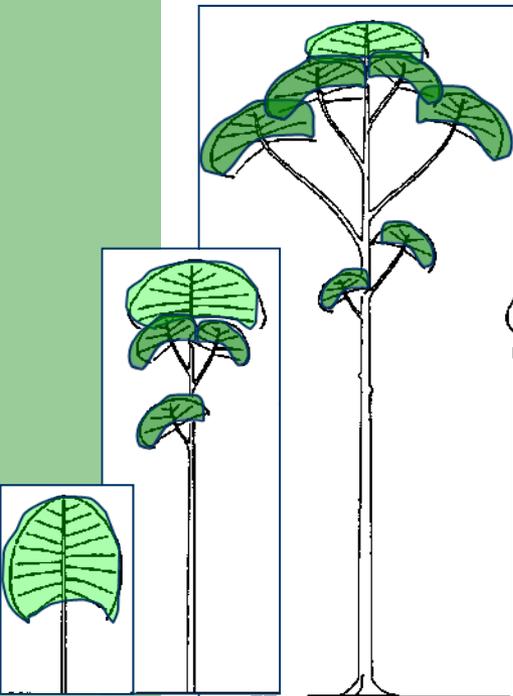
RAUH

Stratégie de croissance, d'occupation de l'espace

- **Combinaisons particulières de caractères morphologiques**

Les concepts en Architecture végétale

- Réitération Oldeman, 1974

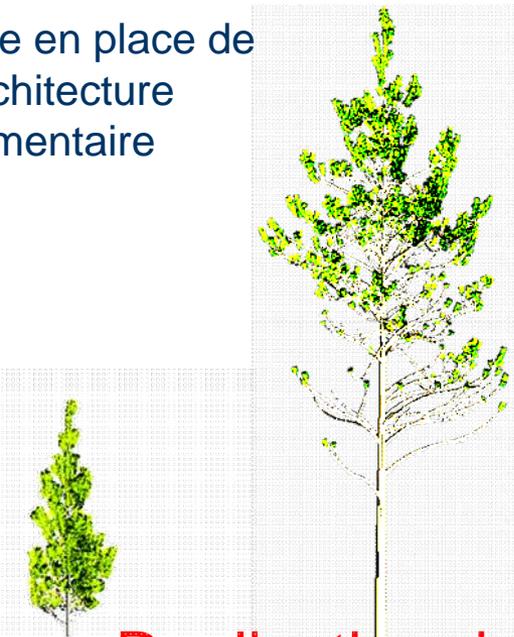


- **Duplication de l'architecture** élémentaire
 - Au cours du développement
 - A la suite d'un traumatisme

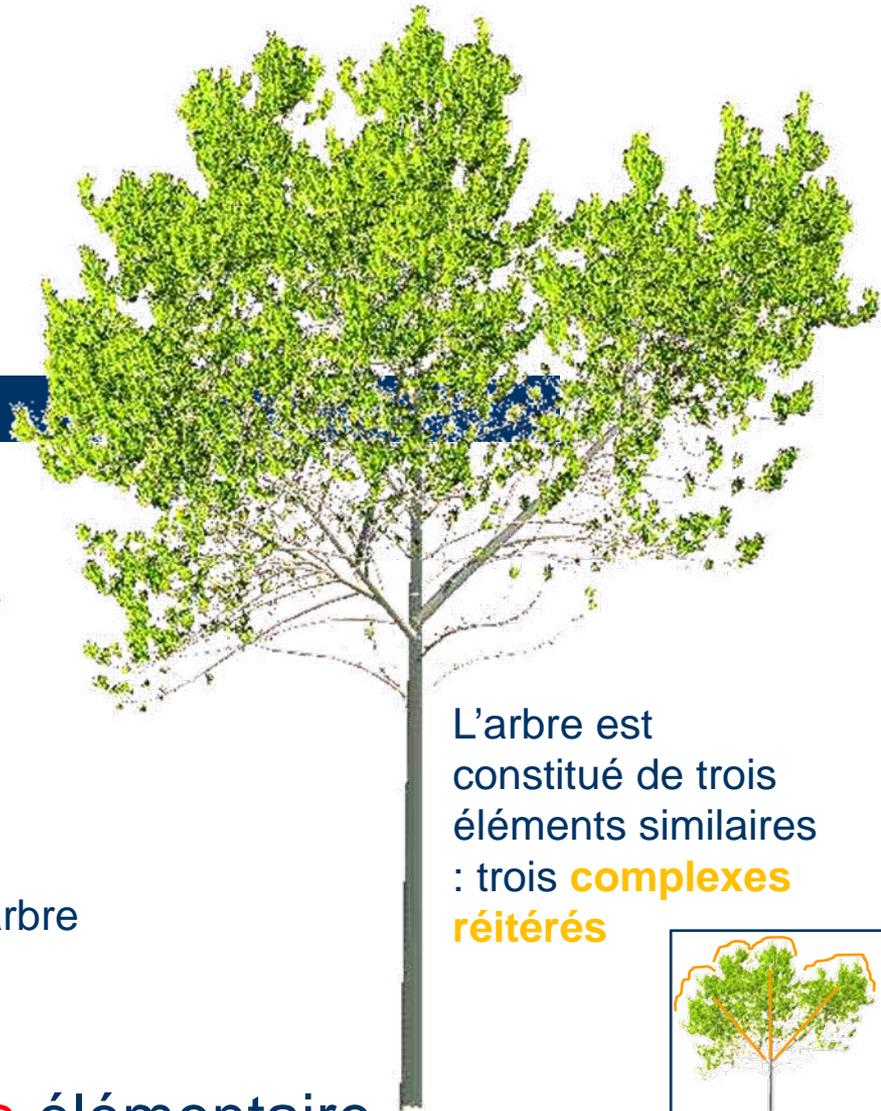
La duplication

- 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**

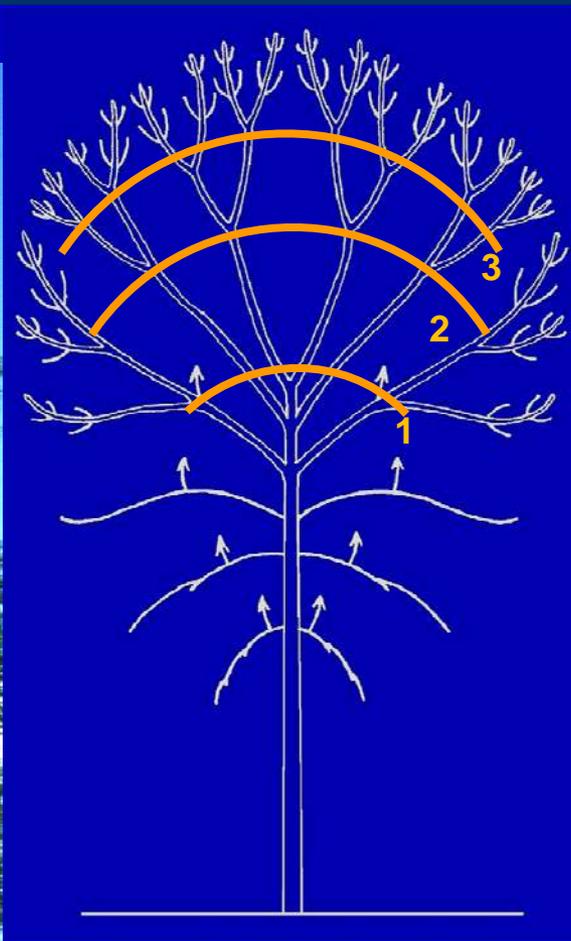


– Duplication de l'architecture élémentaire

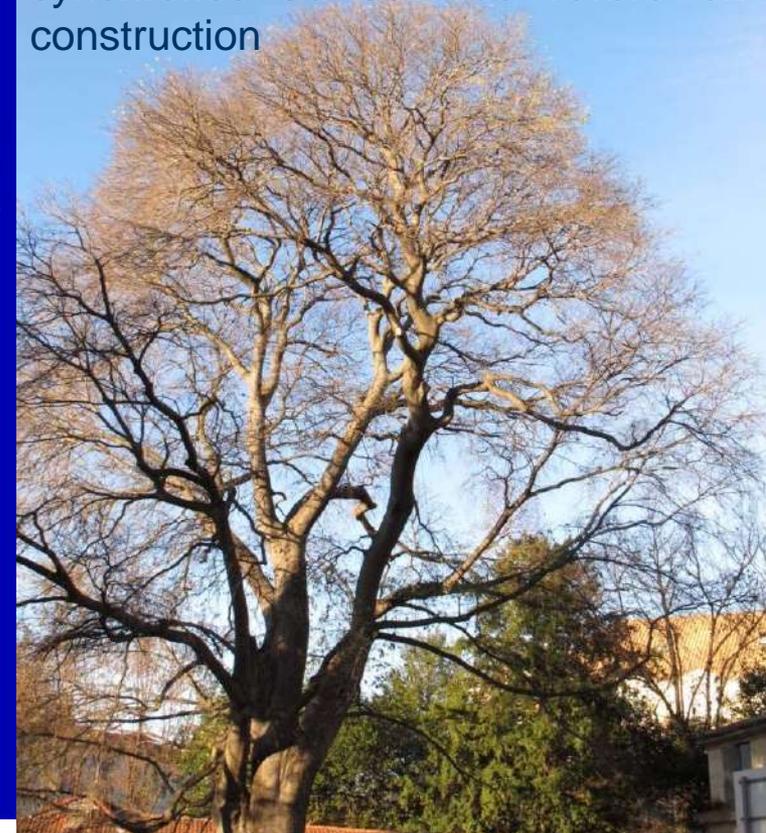
- Au cours du développement

La duplication

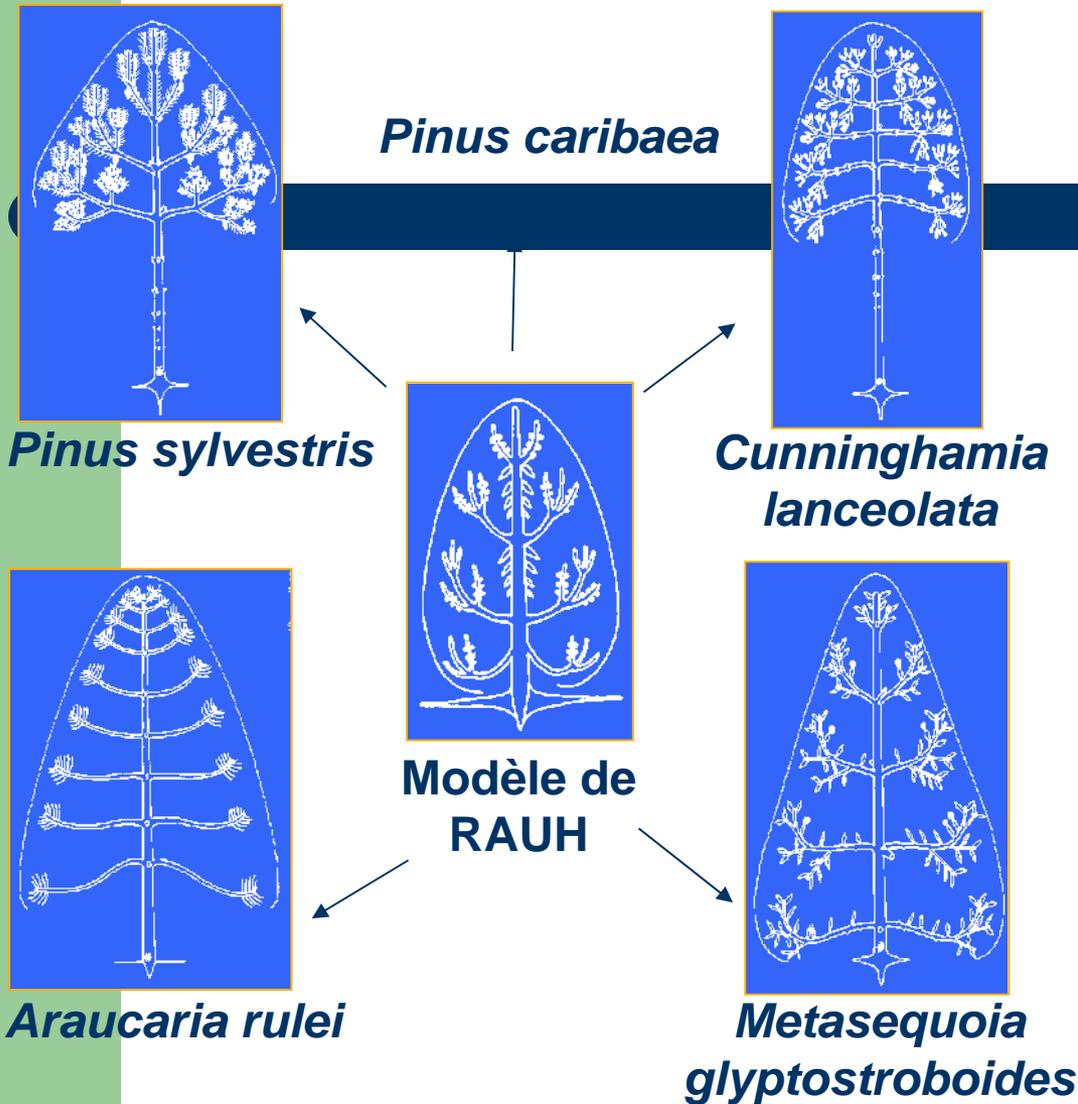
- L'ordre de réitération



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

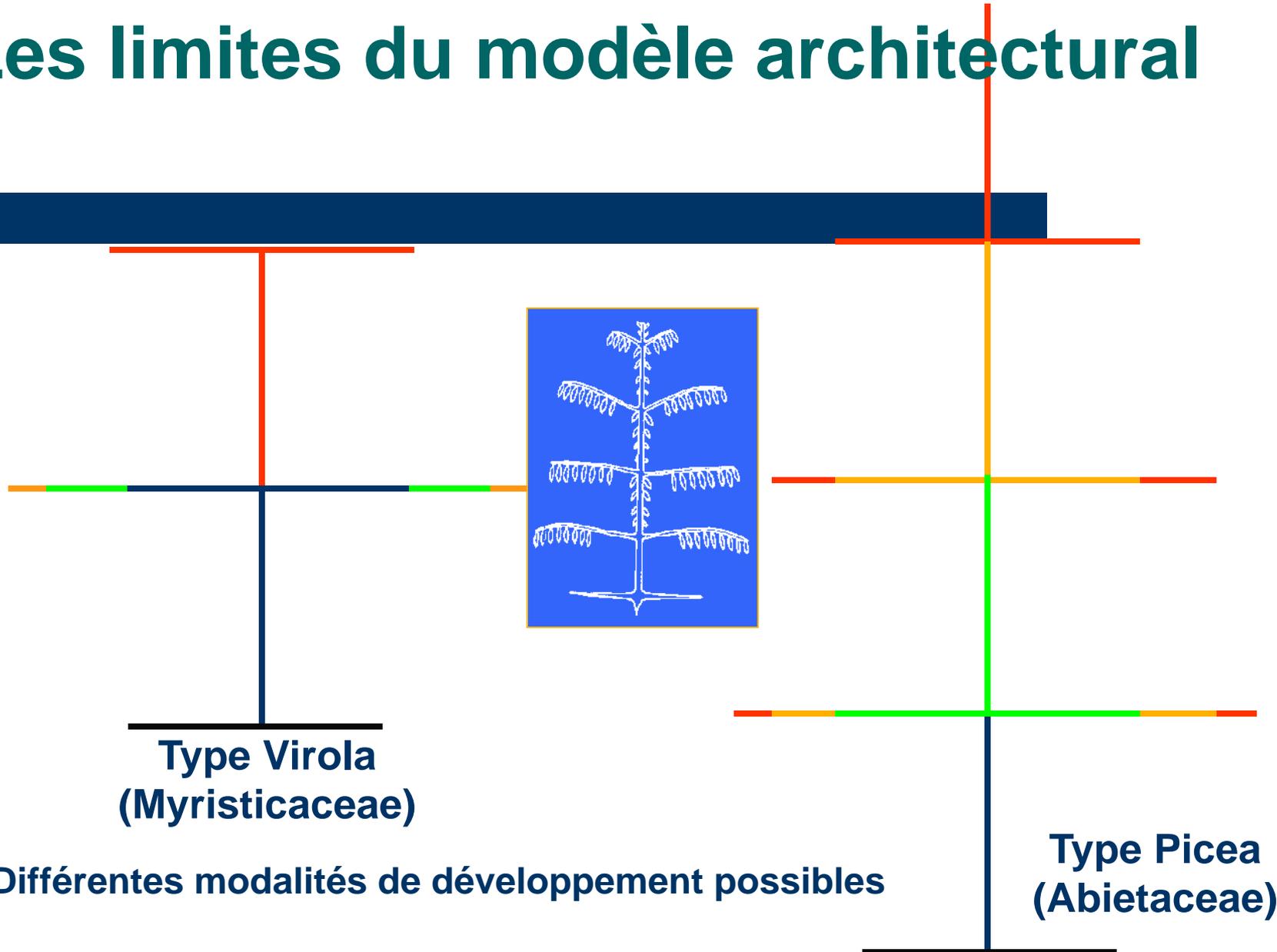


Les limites du modèle architectural



- 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 !

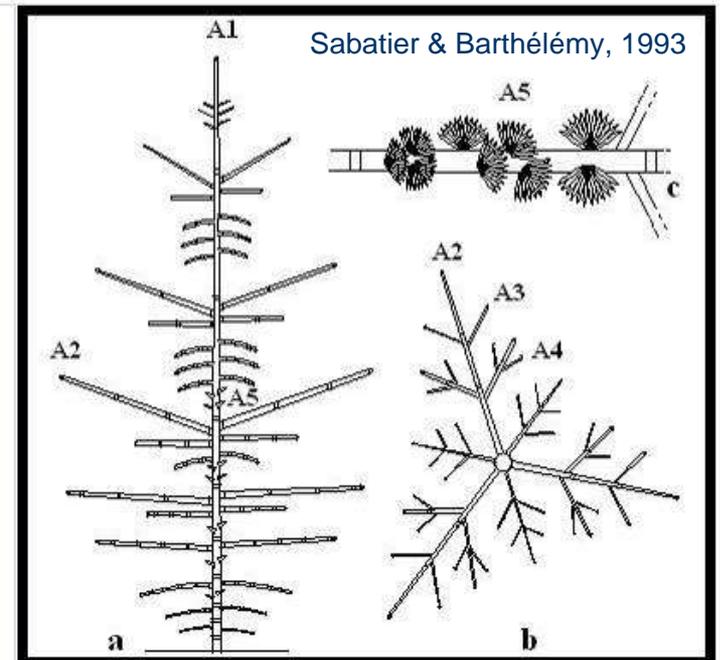
- La différenciation des **axes**
 - Comportement, **Spécialisation**
 - Photosynthétique
 - Florifère
 - Accrochage



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*)

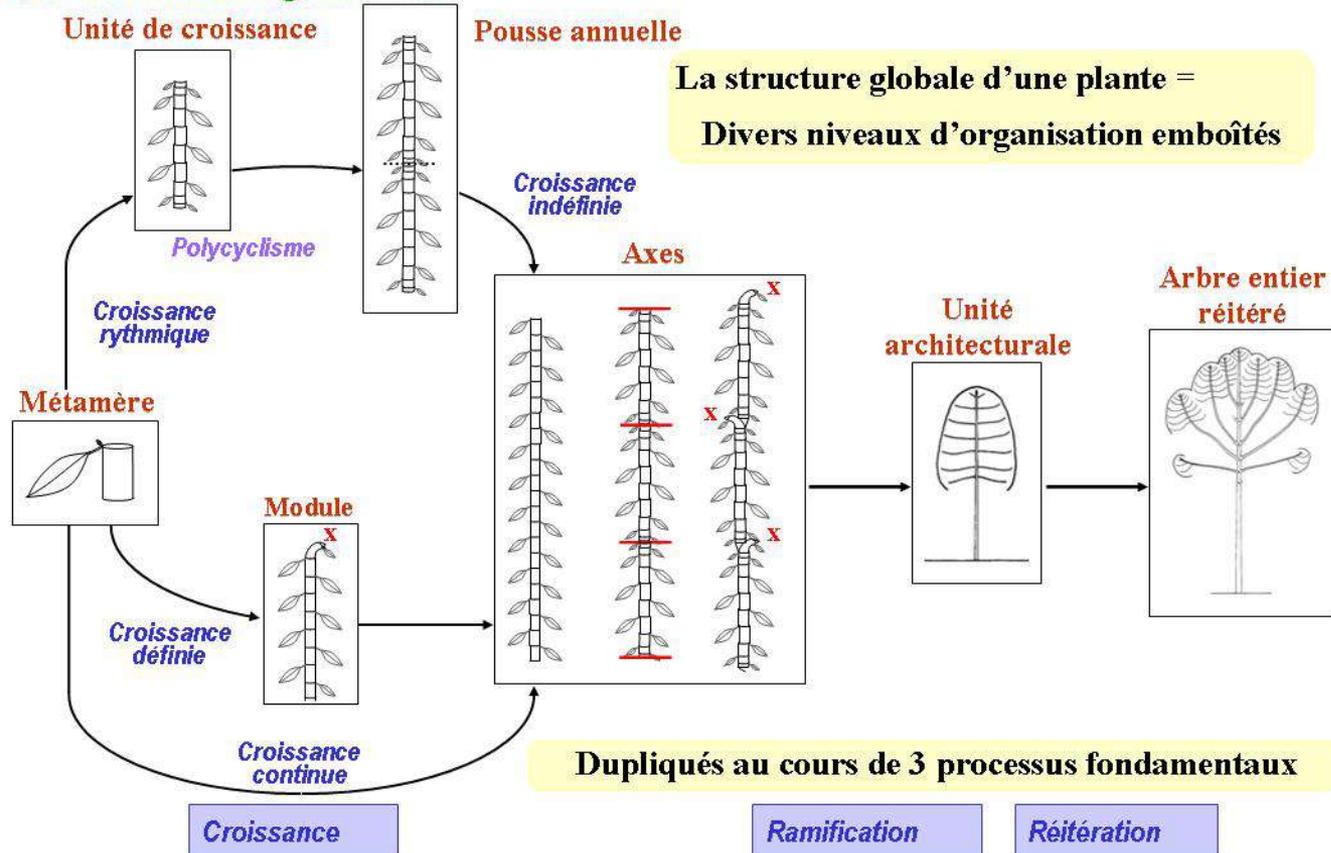
Main stem	Branches	Branchlets	Twigs	Short axes
vertical growth direction	horizontal to slanted growth direction	horizontal growth direction	no precise growth direction	no precise growth direction
indeterminate growth	long term determinate growth	long term determinate growth	medium term determinate growth	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

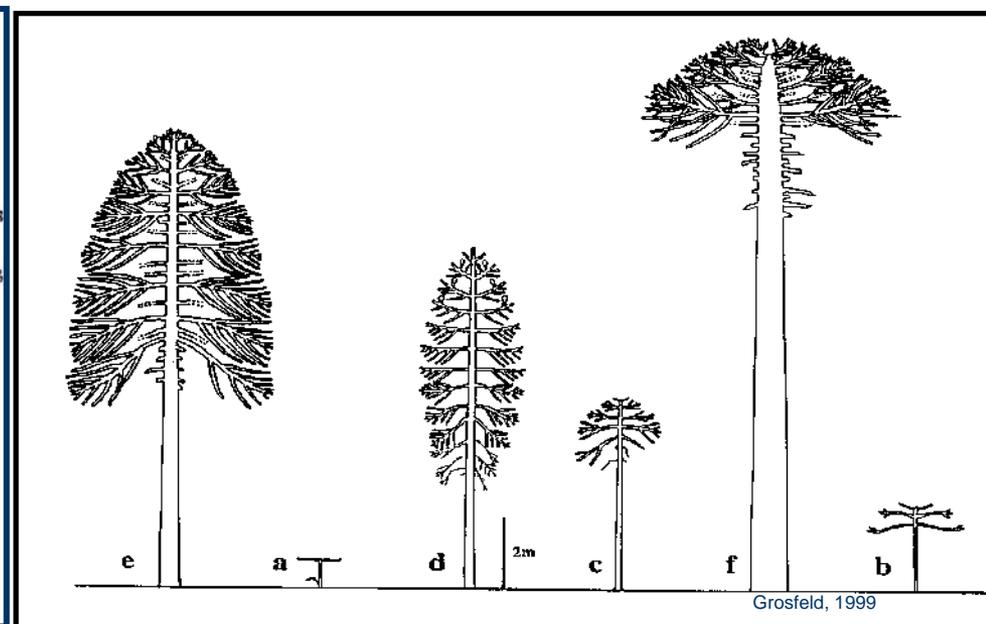
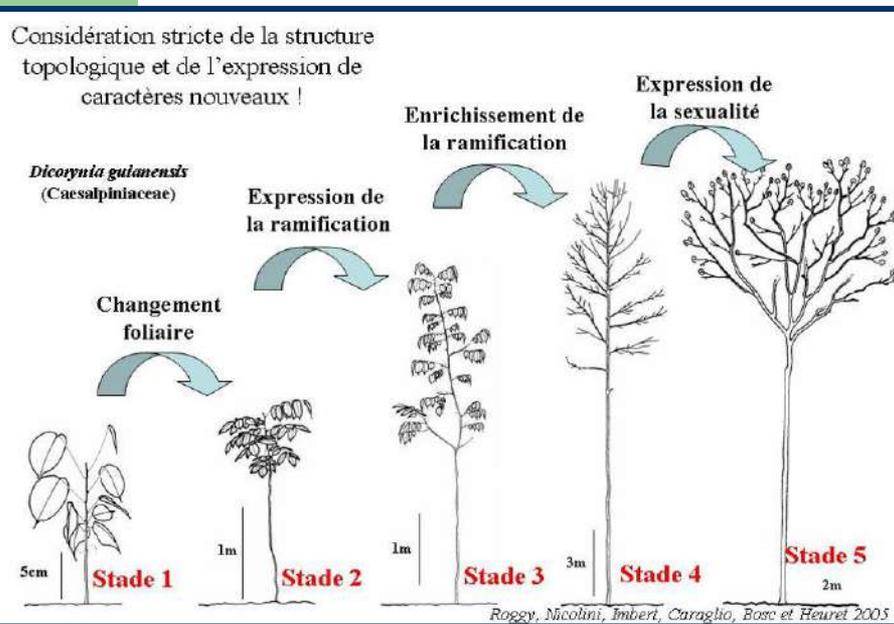
– Régularités spatiales et temporelles

Les niveaux d'organisation



Les concepts en Architecture végétale

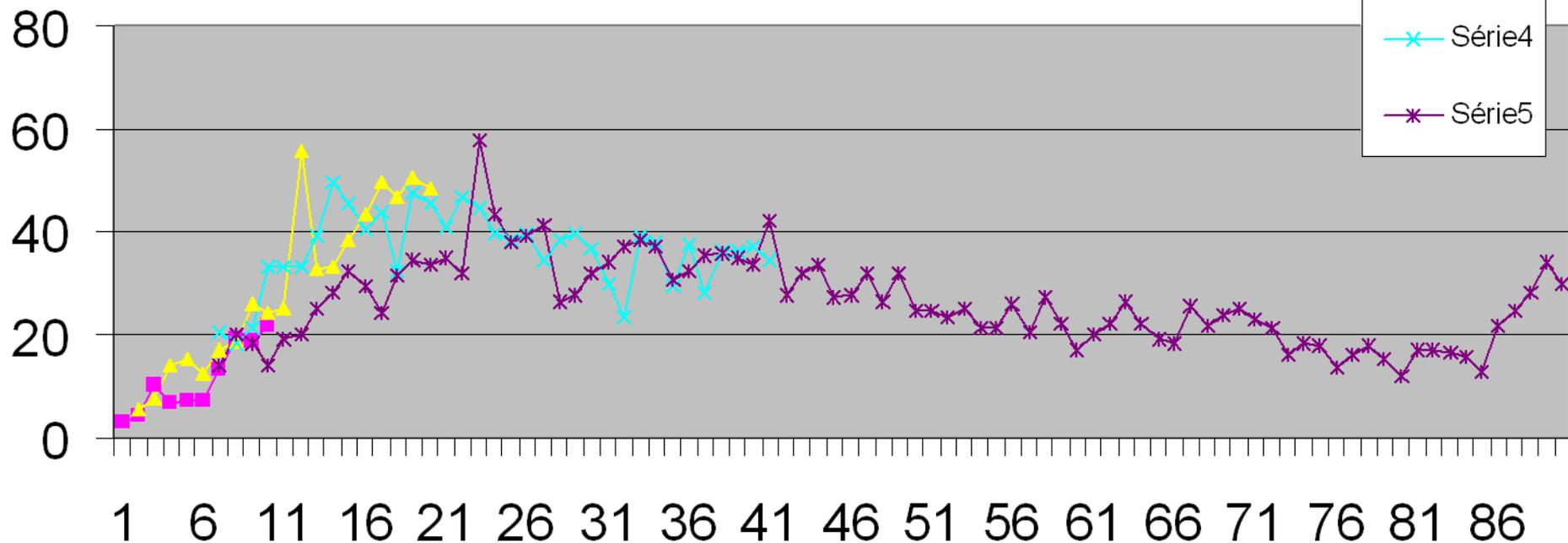
Séquence de développement



- 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

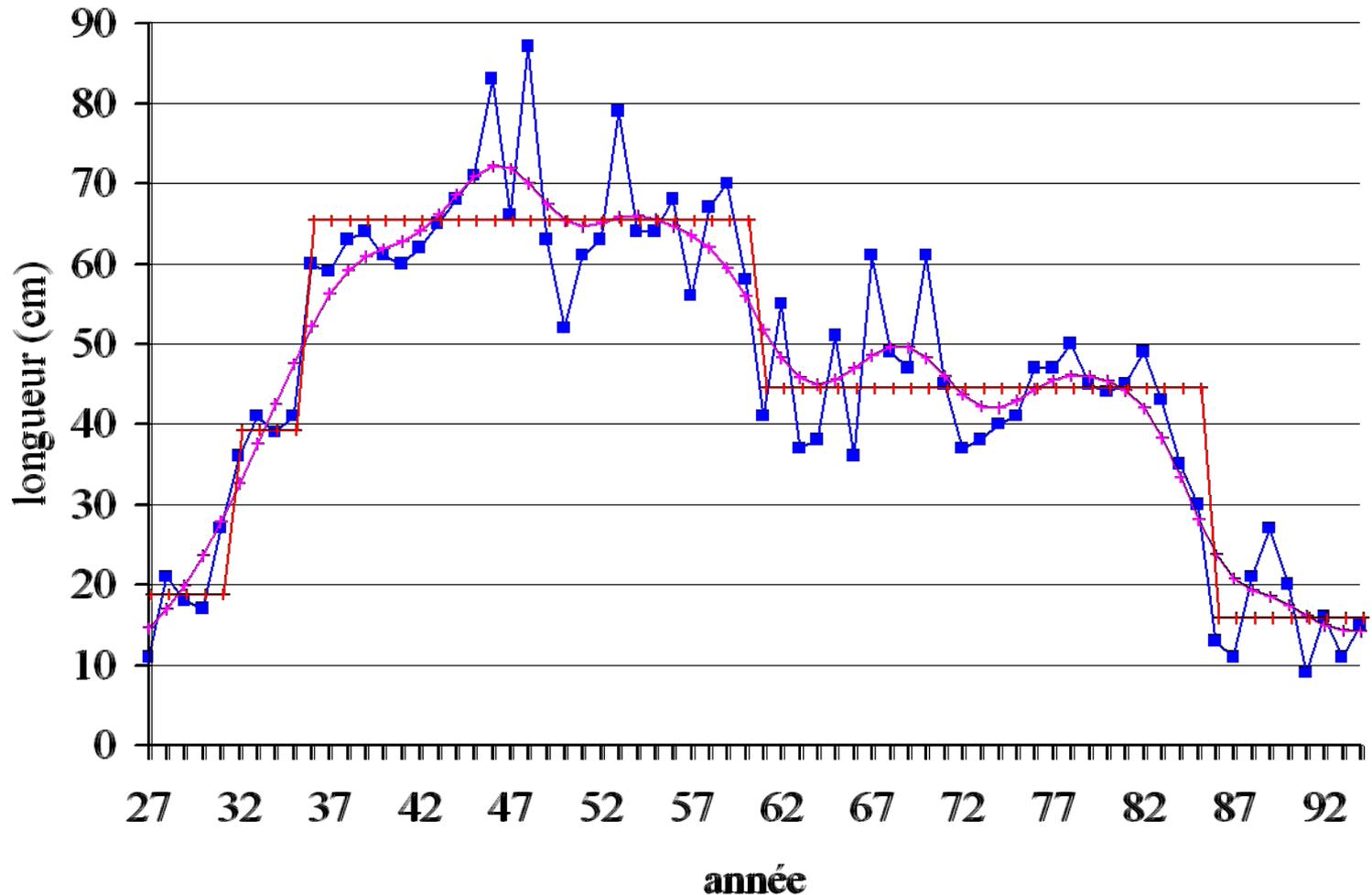


modification des caractéristiques des axes

ontogénie vs environnement

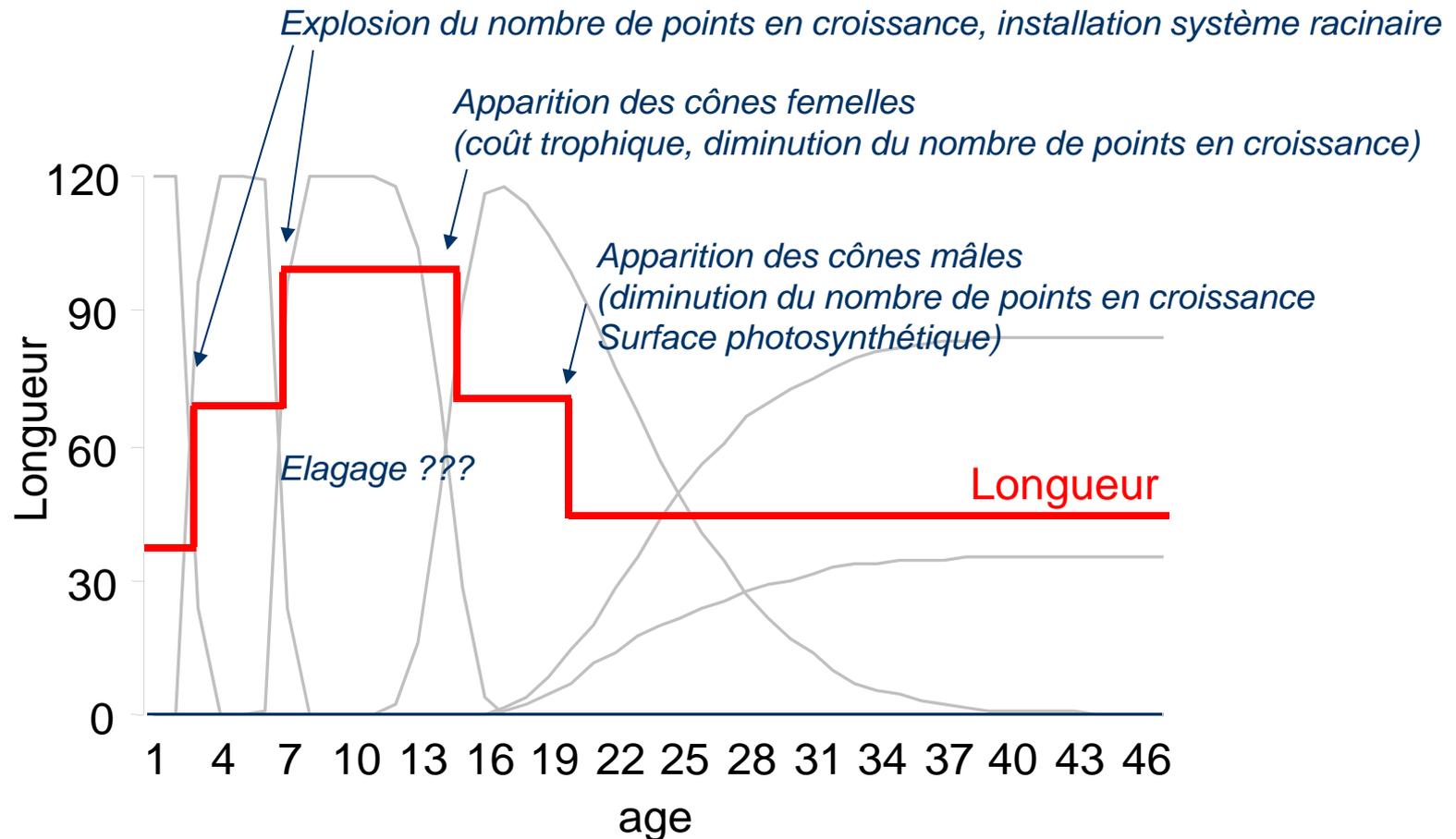
Les longueurs successives des PA

Des phases / zones / ... !



Les longueurs successives des PA

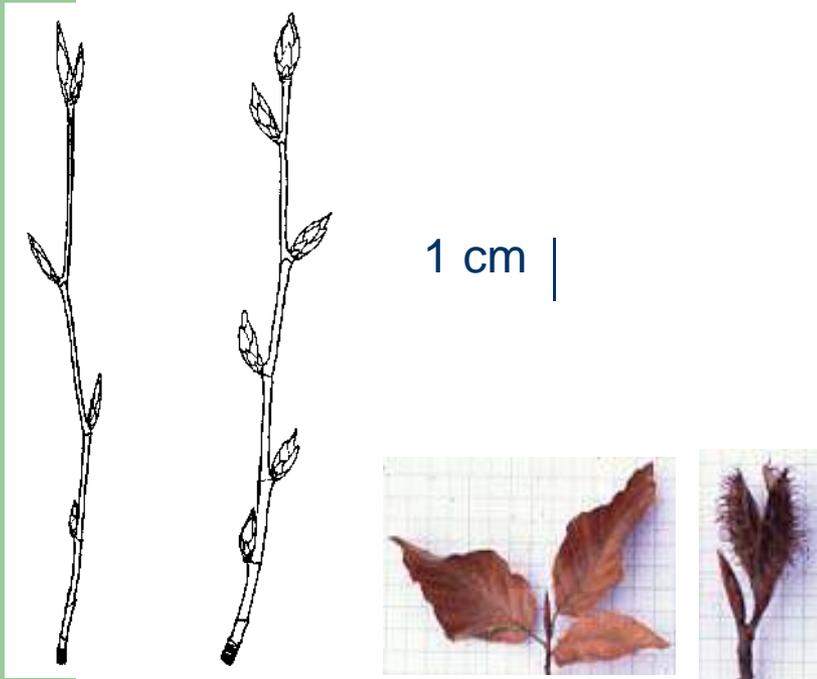
Des phases / zones / ... ! Des causes ?



Différenciation et développement

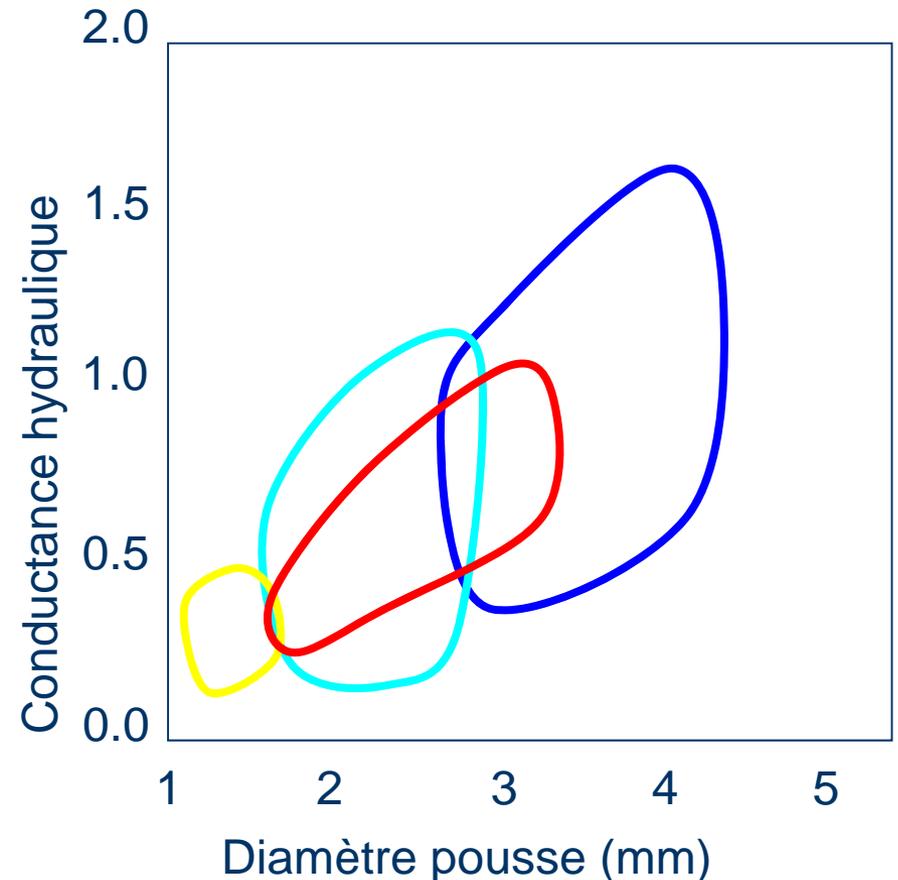
Descripteurs morphologiques et fonctionnels

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



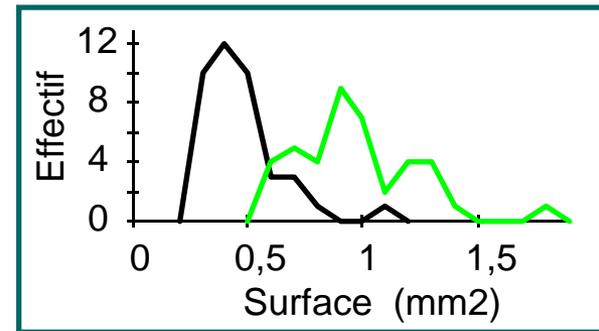
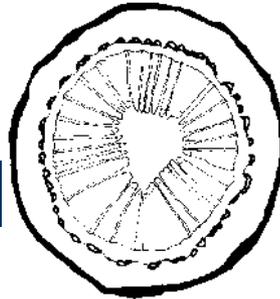
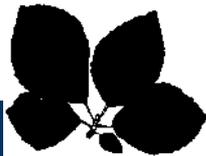
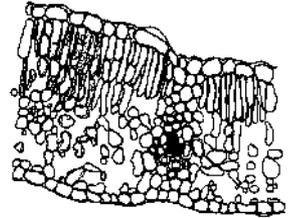
juvénile adulte

juvénile adulte

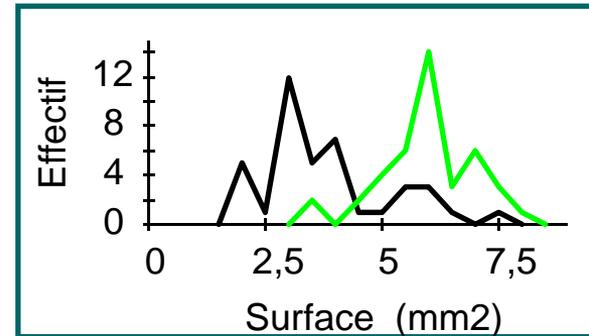
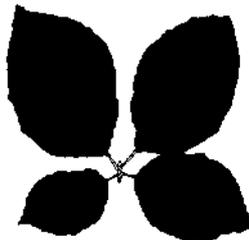
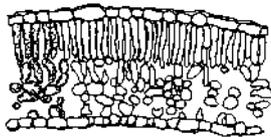


Les UC courtes

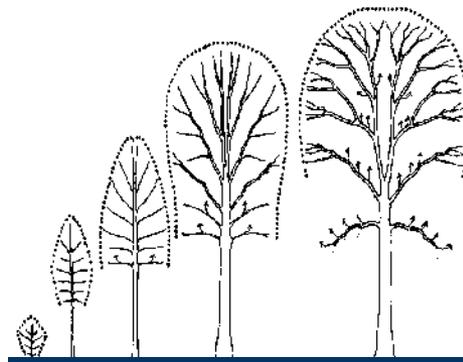
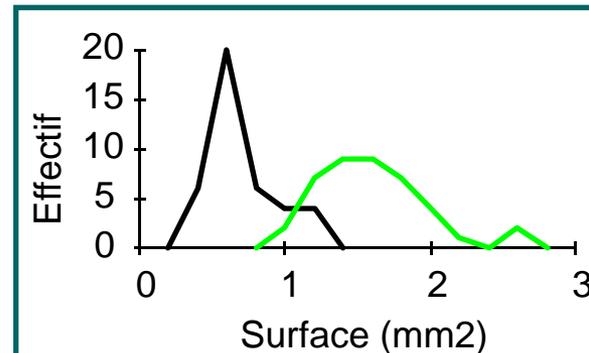
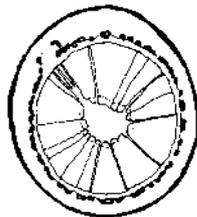
Critères Morpho-Anatomie



Xylème



Phloème

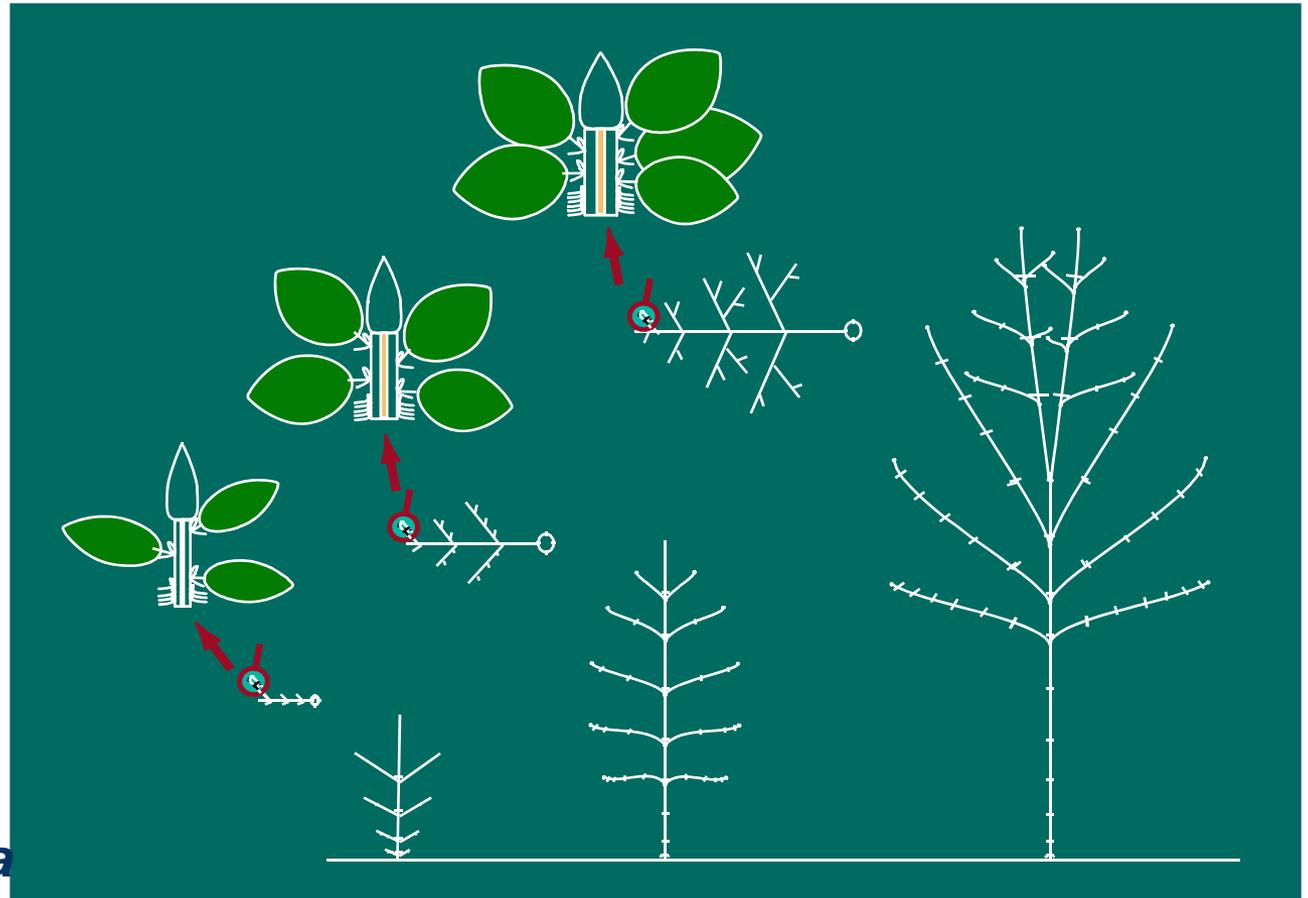


Fagus sylvatica (Fagaceae)
(d'après Nicolini 1999)

■ sur arbres jeunes
■ sur arbres adultes

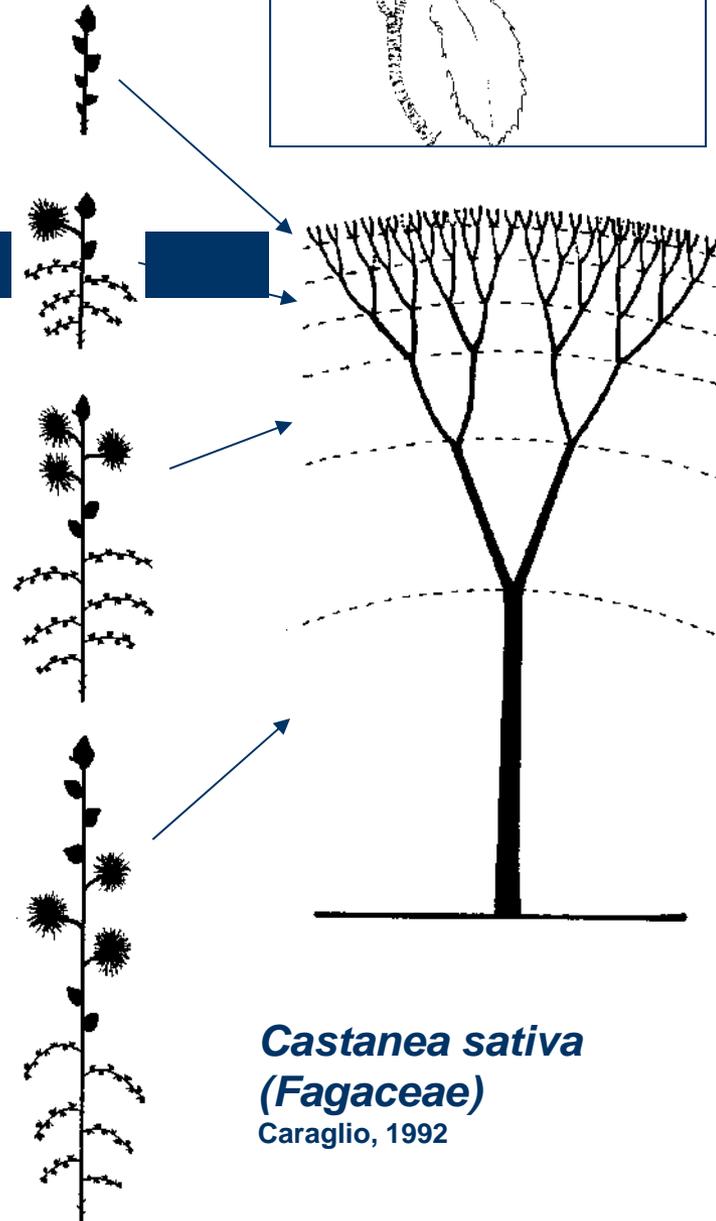
Différenciation et développement

- Évolution graduelle des différentes catégories d'axes au cours du développement.



Fagus sylvatica

Le vieillissement de l'Architecture

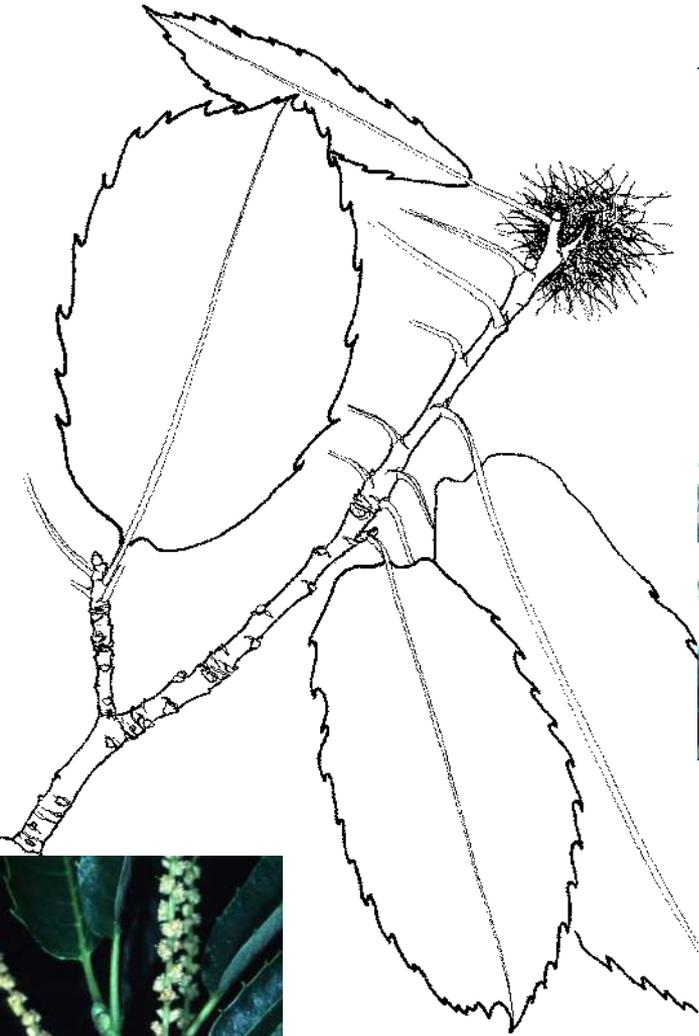


Castanea sativa
(Fagaceae)
Caraglio, 1992

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

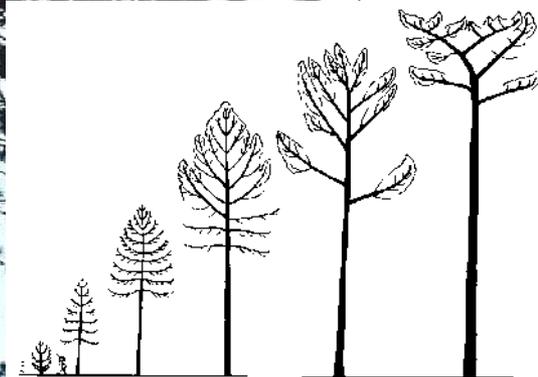
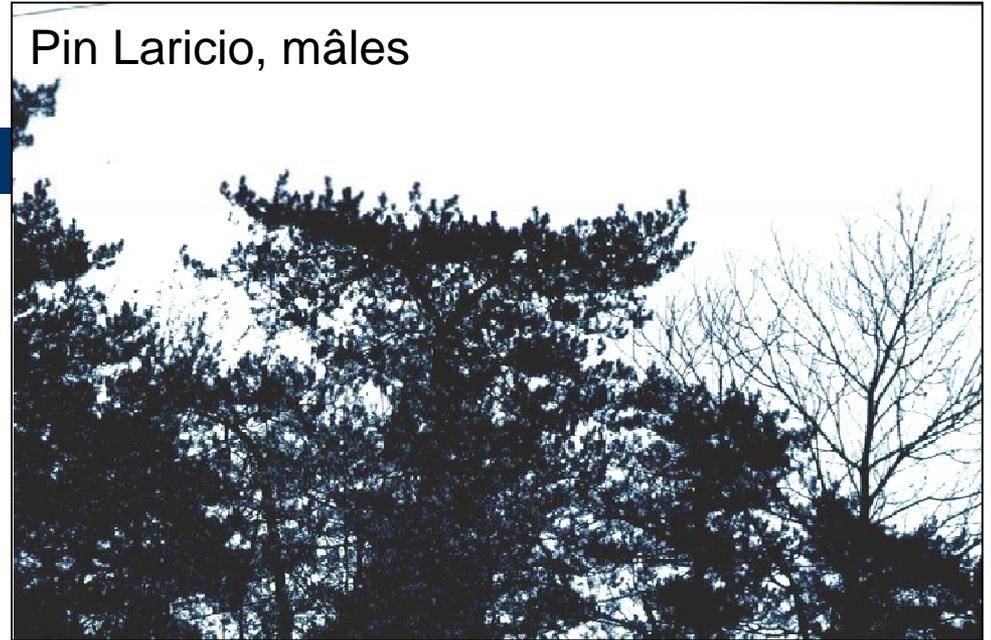
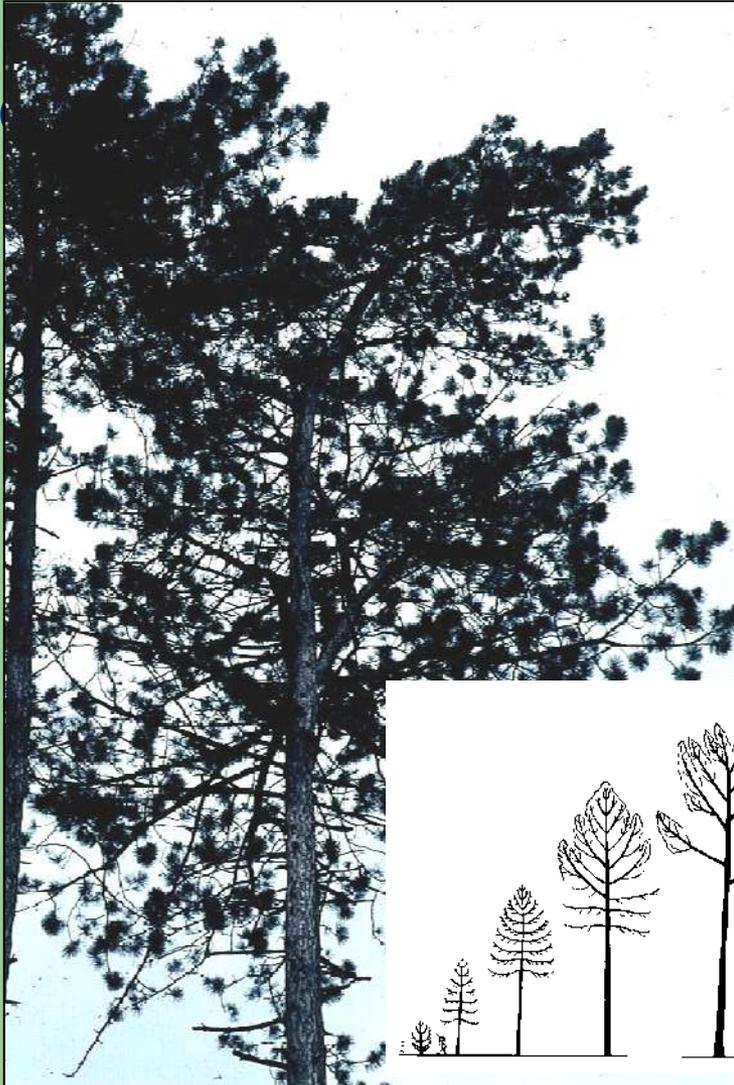


- **Volume occupé max.,**
- **Hauteur stabilisée**
- ***Unité Arch. Minimale***
- **homogénéisation de la cime**
- **Reproduction max.**

Caraglio, 1995

La sénescence

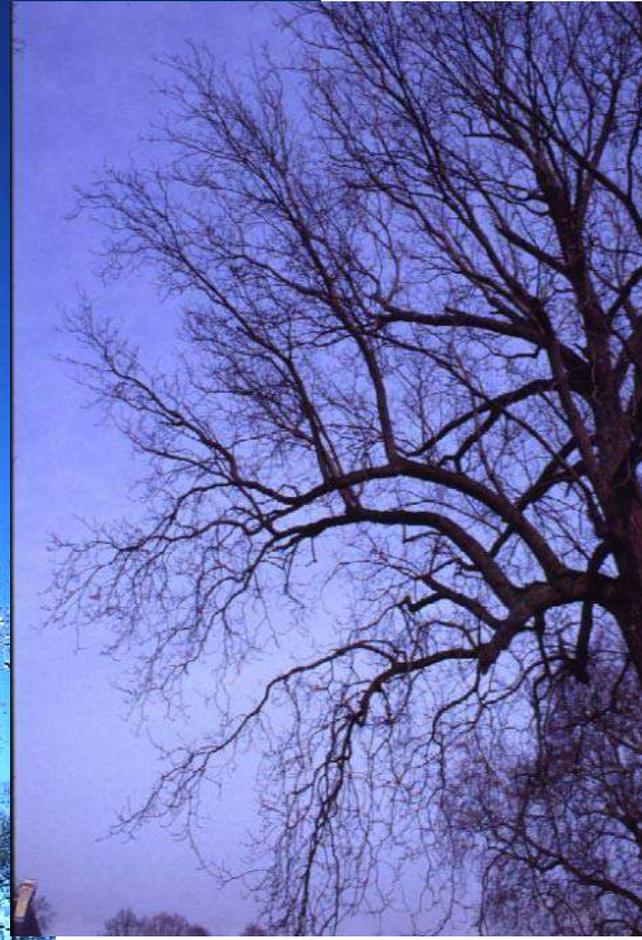
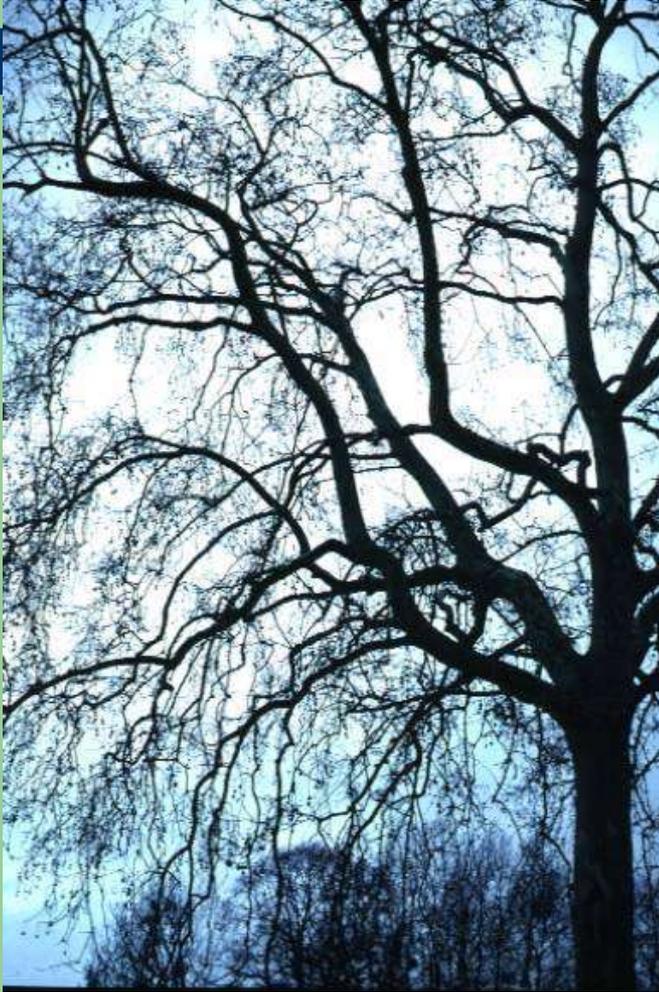
La progression verticale s'arrête, la table se met en place (pour les espèces monoïques à sexes séparés, la sexualité mâle à tendance à devenir prépondérante)



Sapin,
femelles

La sénescence : Différenciation globale

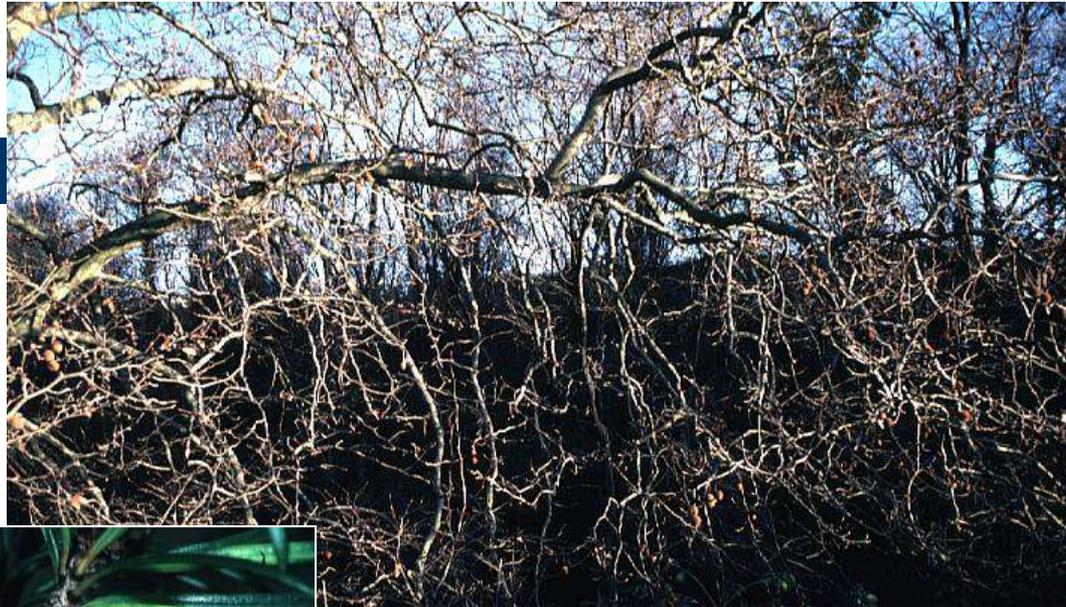
Reitération tardive : exploitation
Épilonie....



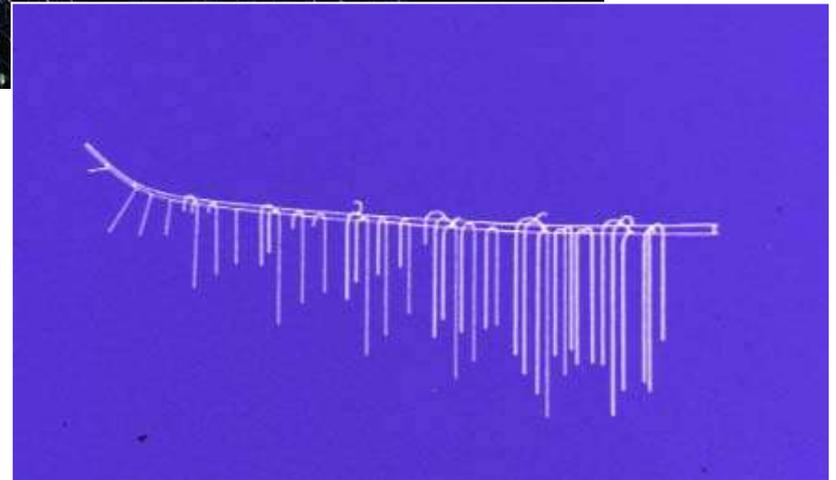
La sénescence

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,***

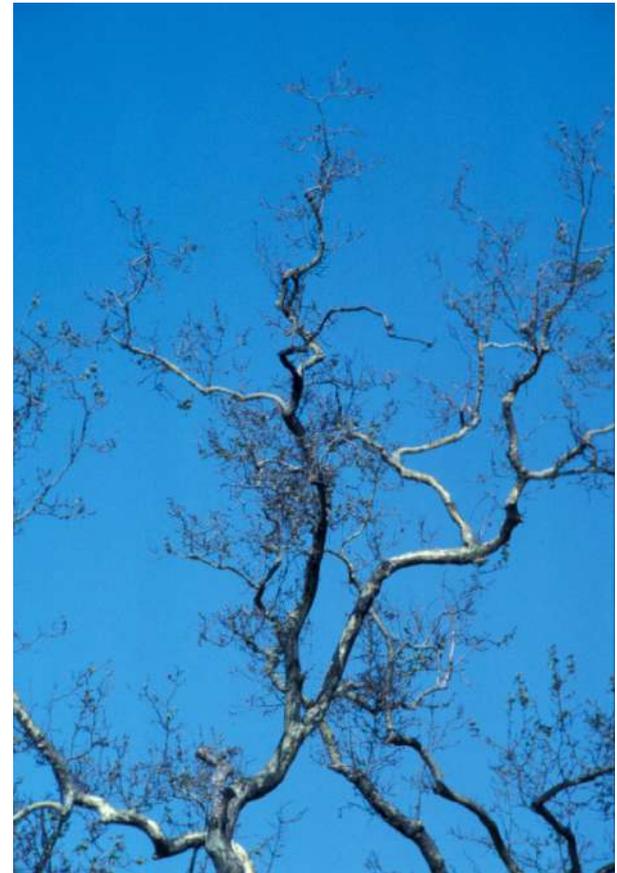


Populus nigra (Salicaceae), Caraglio, 1990

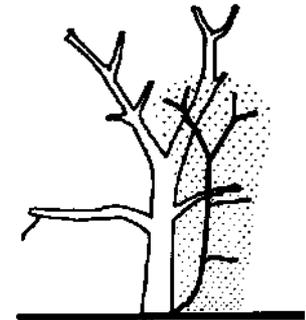
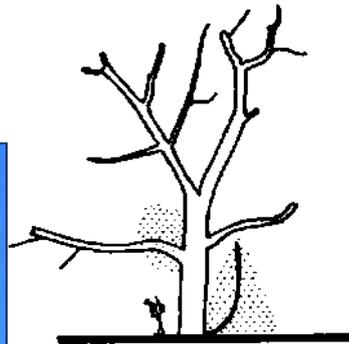
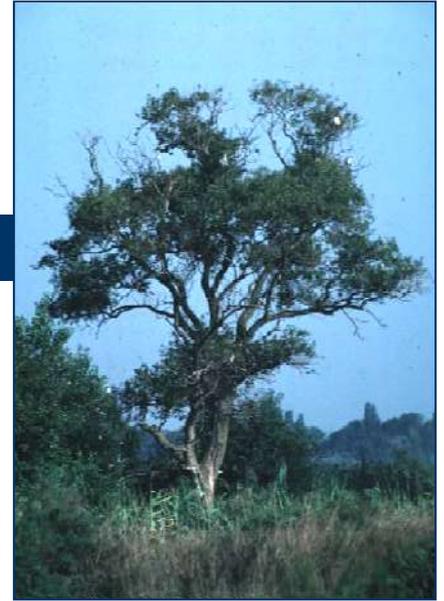
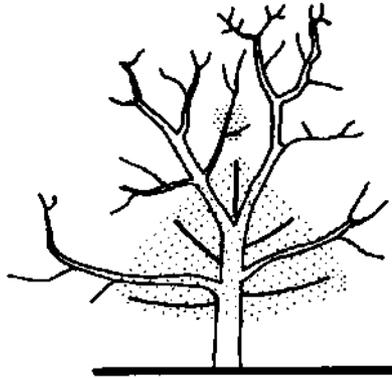
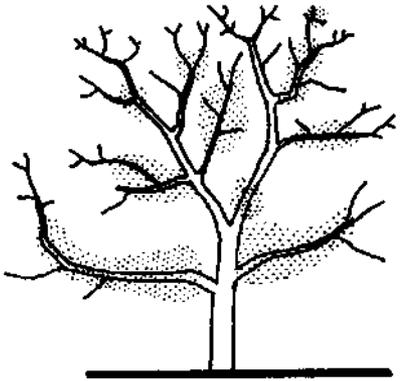


La sénescence

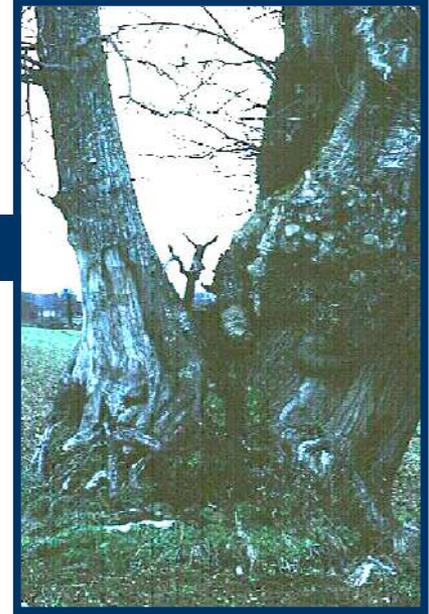
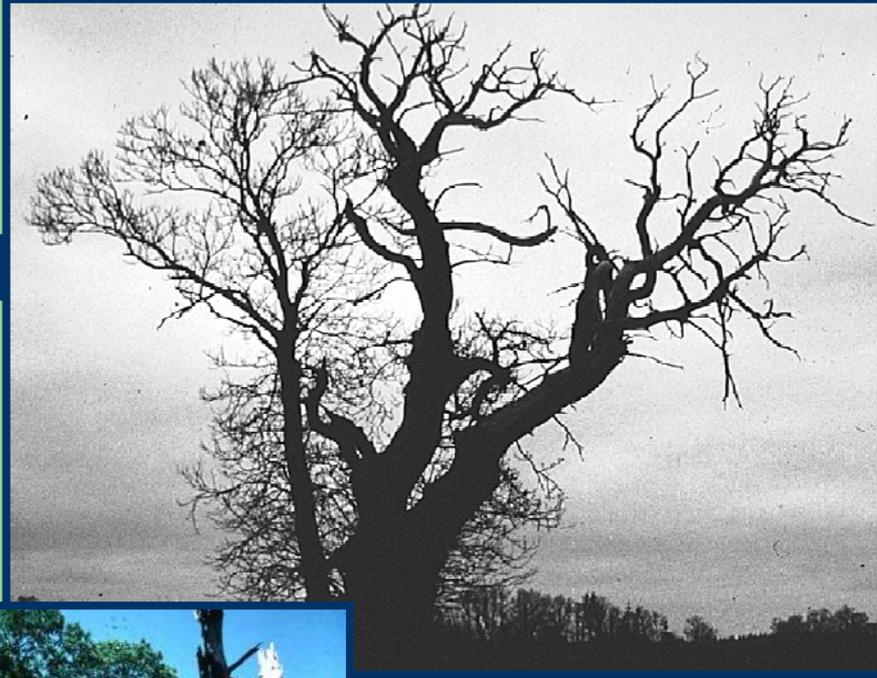
Dislocation, peu ou pas de réactivité,
Seules restent les infrastructures



La sénescence



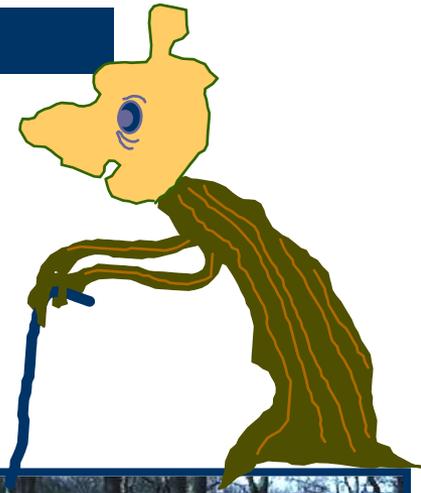
La sénescence



*Descente de
cime
Et mortalité*



La sénescence



La mortalité

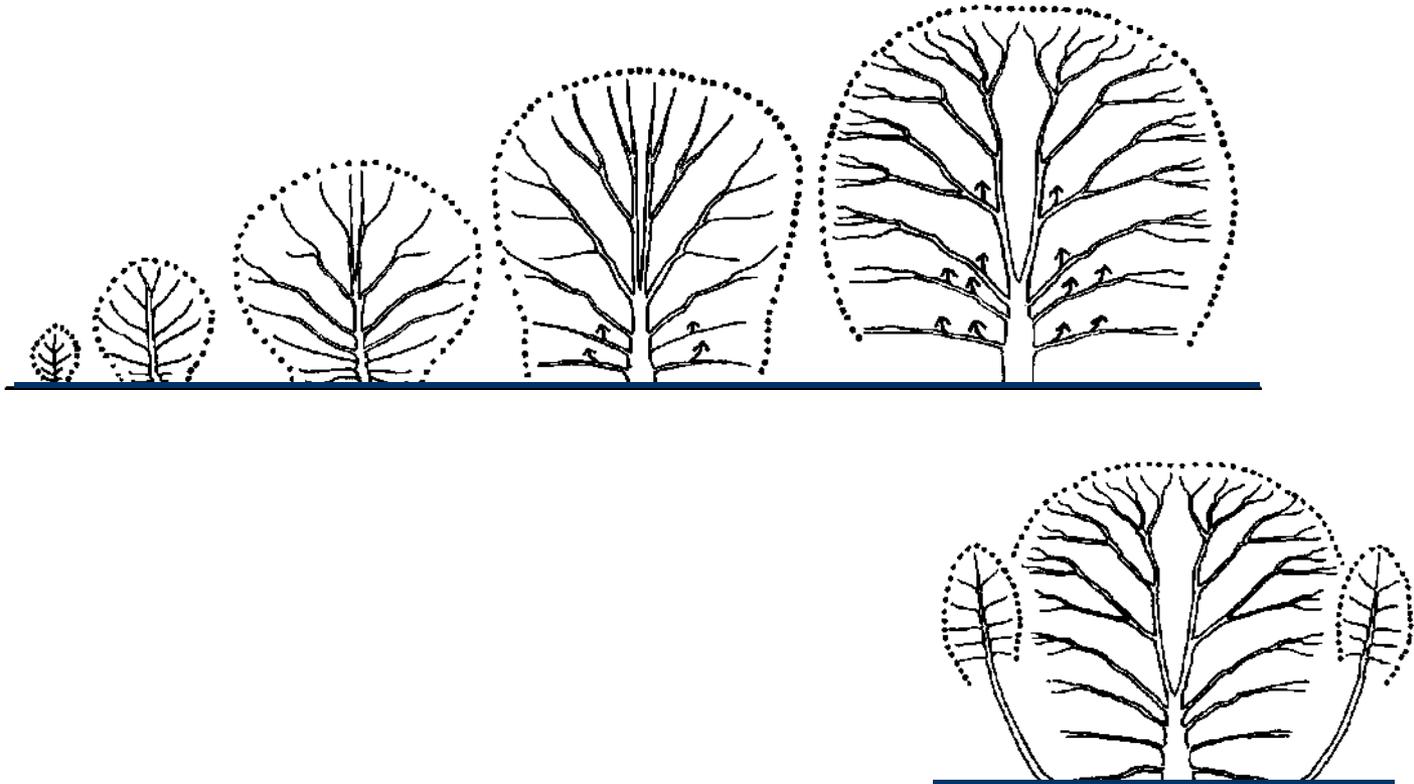
La mortalité

Multiplication
végétative...



La sénescence...

Multiplication végétative...



L'immortalité !!

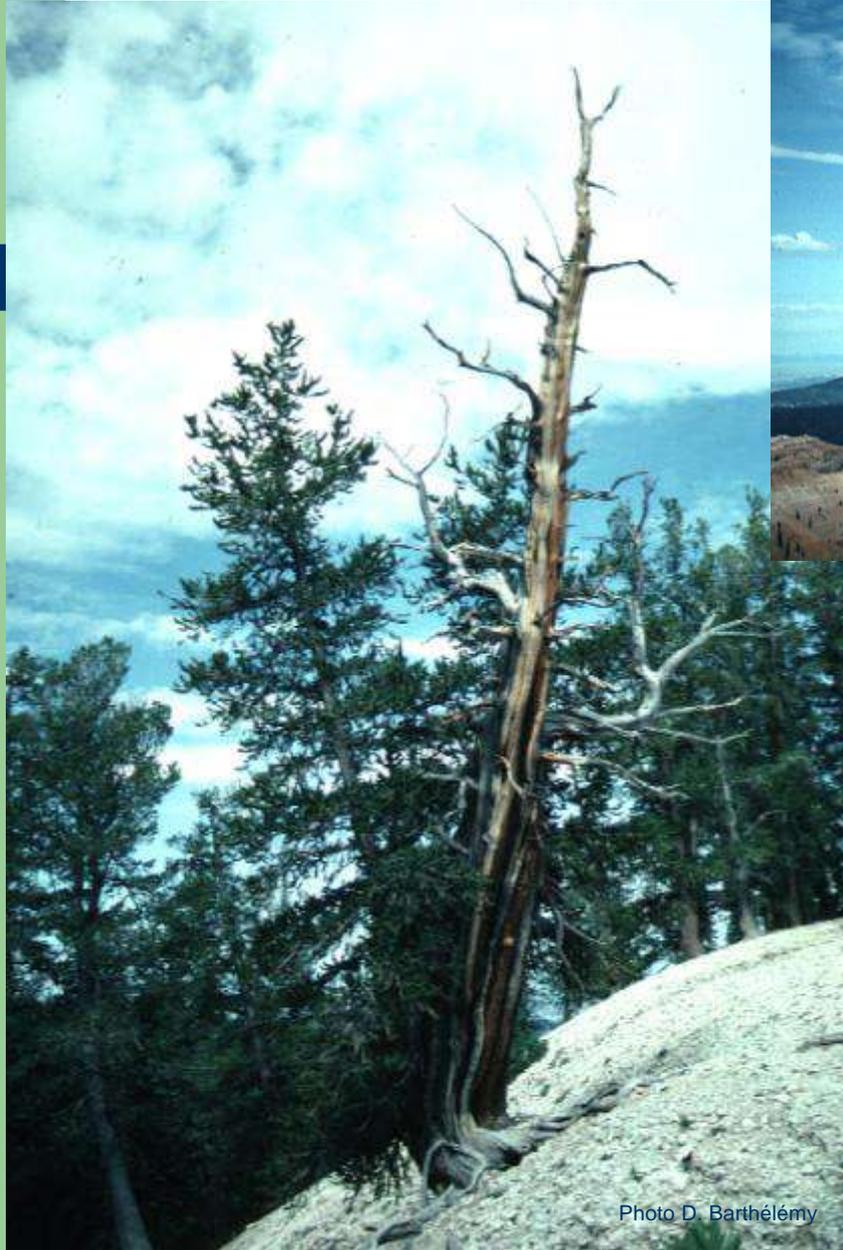


Photo D. Barthélémy



Photo D. Barthélémy



Photo D. Barthélémy