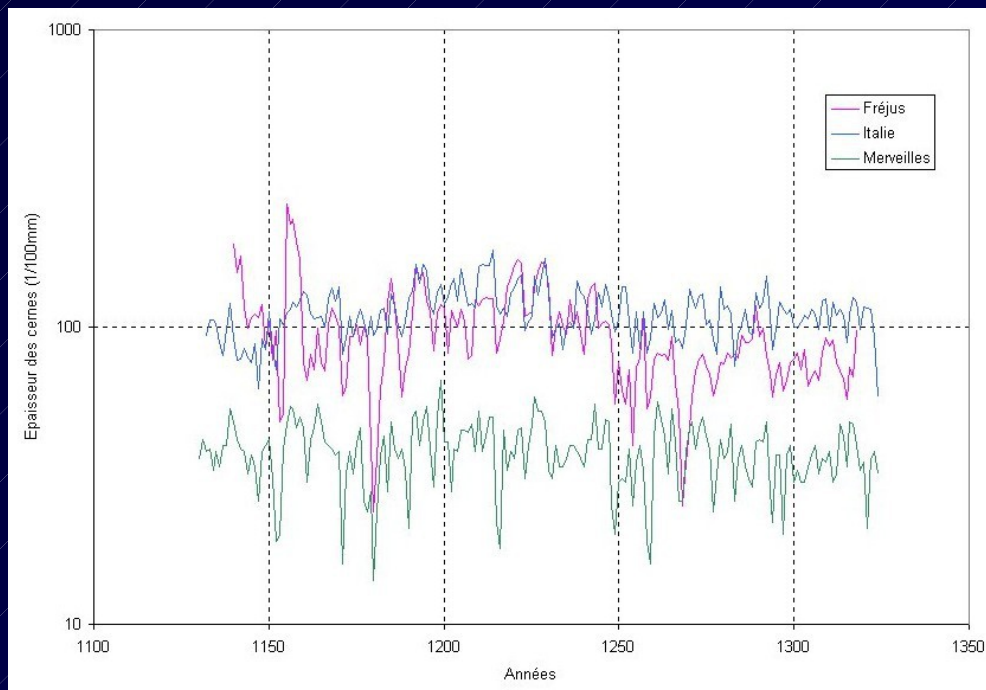


Étude des bois archéologiques



Loïc GAUDIN
Master 2, Paléontologie,
Paléoenvironnement, Patrimoine

Etude des bois archéologiques

Partie 1 : Reconnaissance des bois et anthracologie : Anatomie du bois, méthodologies, résultats

- généralités sur la « dendro-xylo-anthracologie », anatomie et méthodologies employées
- exemples d'application avec l'anthracologie, résultats, éléments d'interprétations

Partie 2 : TP : Observations, déterminations

- pratique : observation + détermination d'essences et mesures de critères anatomiques
- 3 Postes d'observation :
 - Atelier 1 : identification des essences
 - Atelier 2 : mesures dendrologiques (mesures de cernes)
 - Atelier 3 : observations macroscopiques de diverses essences de bois
- réflexion sur le matériau « bois »

Partie 1 : Reconnaissance des bois et anthracologie : anatomie du bois, méthodologie, résultats

Introduction

1.1 La formation du bois, principaux éléments d'anatomie

1.2 Critères anatomiques de détermination des taxons

**1.3 Autres critères anatomiques à prendre en compte
pour l'interprétation archéologique et écologique**

1.4 La méthodologie : Échantillonnage, tamisage

**1.5 Exemples de résultats appliqués à l'archéologie,
éléments d'interprétation**

Introduction

Le bois est le « matériau » qui a été probablement le plus utilisé dans les systèmes techniques par l'Homme : matière abondante, facile à travailler, mais périssable à l'air libre.

→ Contextes de conservation exceptionnels : contextes **secs** ou **anaérobies** ou la **carbonisation**.

→ **Anthracologie** = **Etude des charbons** mais à l'aide des critères anatomiques utilisés pour étudié les bois frais. cf. **xylogie et dendrologie** = **études des bois frais ou fossilisés**

→ vient compléter les résultats d'autres disciplines archéobotaniques avec notamment la **carpologie** et la **palynologie** à d'autres échelles spatiales et temporelles.

- image de la végétation ligneuse,
- paléopaysage à l' échelle locale,
- détermination spécifique (genre),
- échantillons souvent associés aux contextes archéologiques.

Introduction

Origines des restes de bois archéologiques

1. Bois ou charbons de bois issus de bois d'œuvre :

- restes de palissades
- restes de bois de charpentes
- outils

2. Des restes de combustibles : foyers domestiques ou artisanaux, plus rarement des incendies naturels

- vestiges d'activités artisanales :
 - bas-fourneaux
 - fours de potiers
- foyers domestiques « en l'état »
- rejets de foyers en position secondaire : comblements de structures en creux.

Introduction

Origines des restes de bois archéologiques

1. Bois ou charbons de bois issus de bois d'œuvre :



- Reste de poteau carbonisé (Plessis-Gassot, 95)



- Restes de palissade retrouvés carbonisés dans le comblement d'un fossé d'enclos gaulois (Frépillon, 95)



- Pompe romaine sous forme de bois gorgé d'eau retrouvé sous le niveau de la nappe phréatique (condition anaérobie) (Saint-Malo, 35)

Introduction

Origines des restes de bois archéologiques

2. Charbons issus de foyers domestiques ou artisanaux : les restes de combustibles



Restes de foyer domestique
(Plessis-Gassot, 95)



Restes de four de potier
(Saran, 41)

'DENDRO' – 'XYLO' – 'ANTHRACO'- LOGIE

Utilisation des techniques d'études de la dendrologie (étude de reconnaissance des arbres) et de la xylologie (étude des structures microscopiques du bois) adaptée aux charbons = anthracologie

Dendro = arbre, xylo = bois, logie = étude

- **Anthraco = charbons**

L'anthracologie est à l'interface entre plusieurs disciplines :

Xylo = bois

xylologie

Identification des essences

dendrochronologie

Méthode de datation par l'étude des cernes de croissance

Chrono = temps

dendroclimatologie

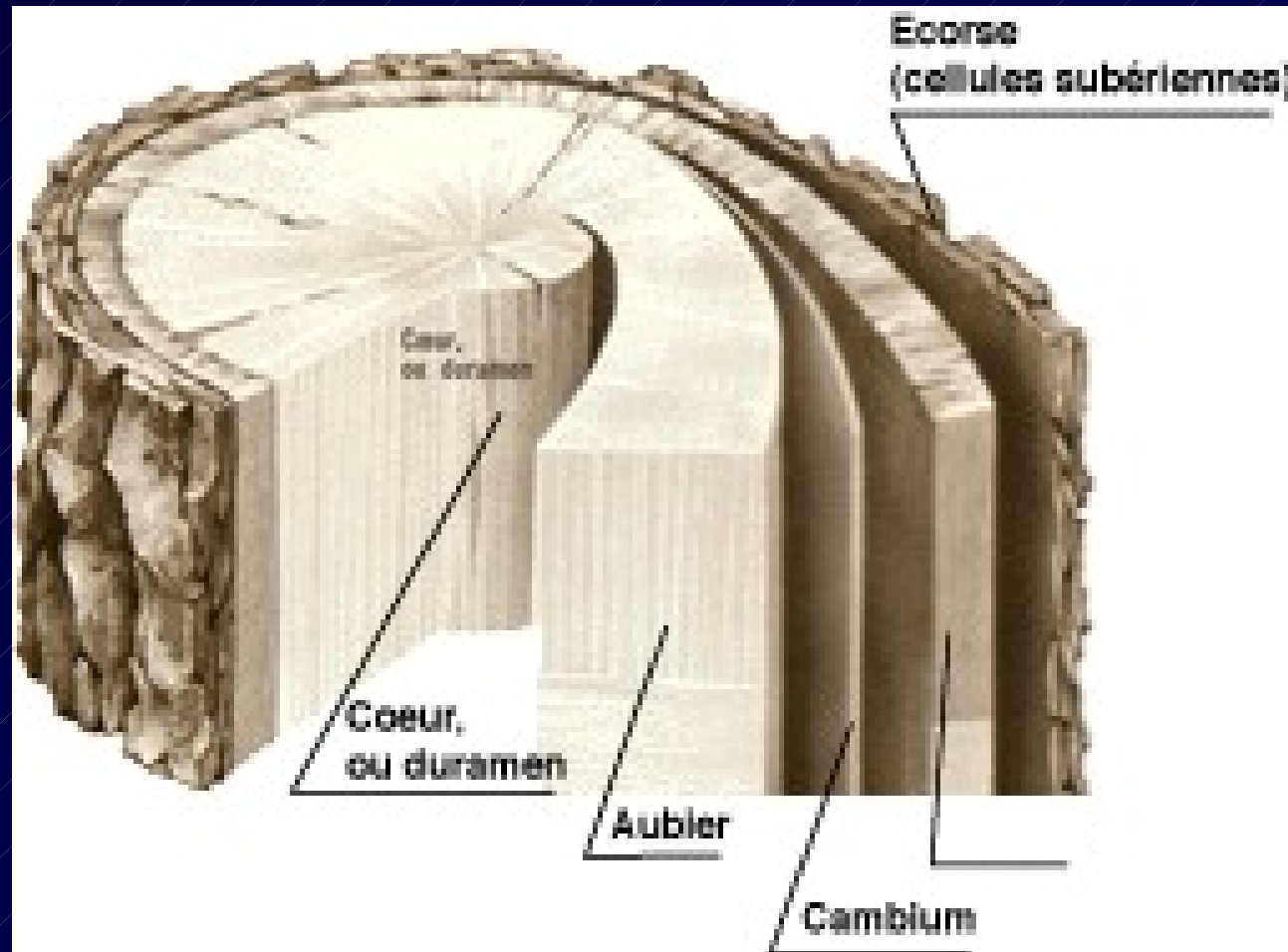
Signaux climatiques présents et passés

dendroécologie

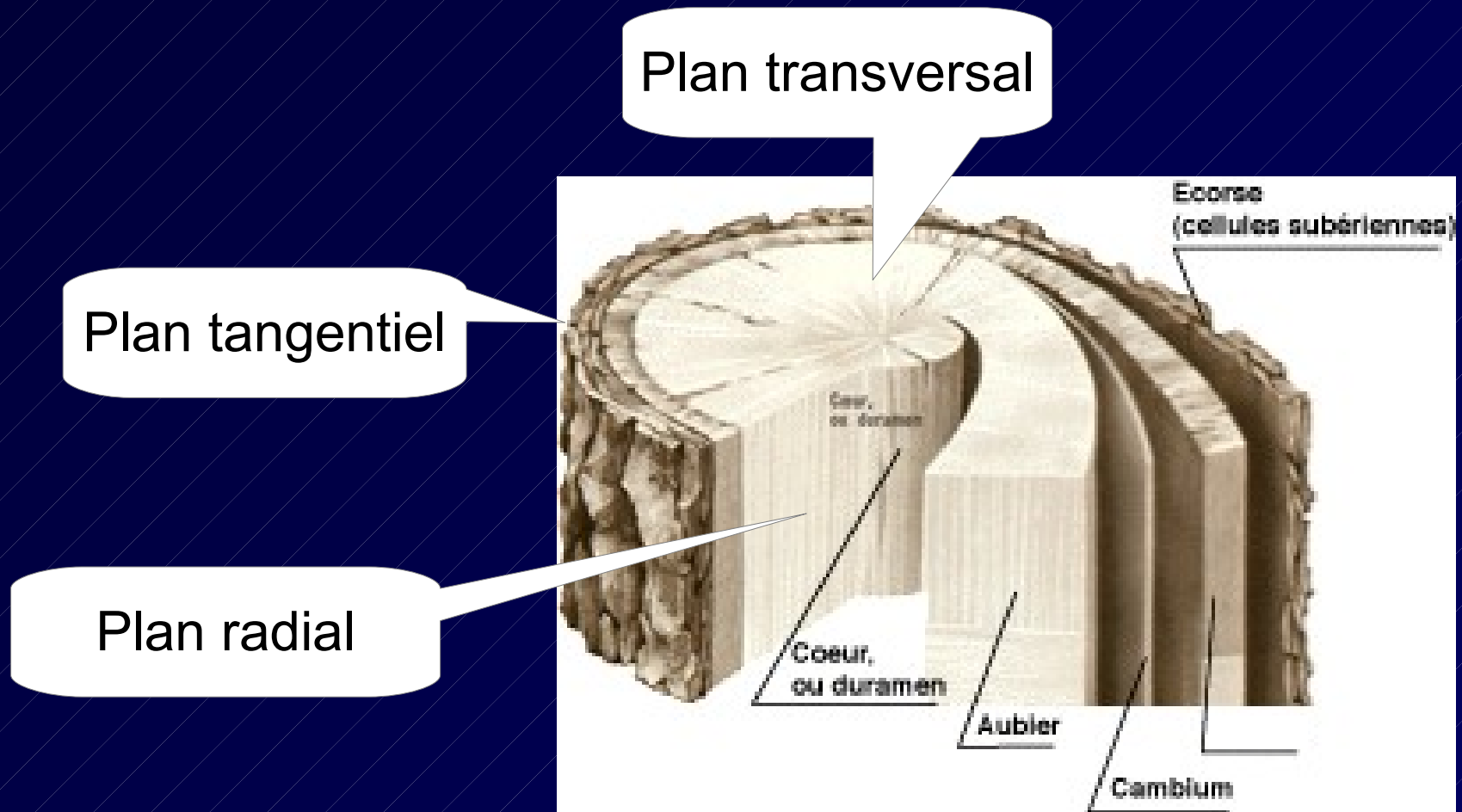
Contexte de vie des arbres,
Variations des rythmes de croissance
Etude des perturbations

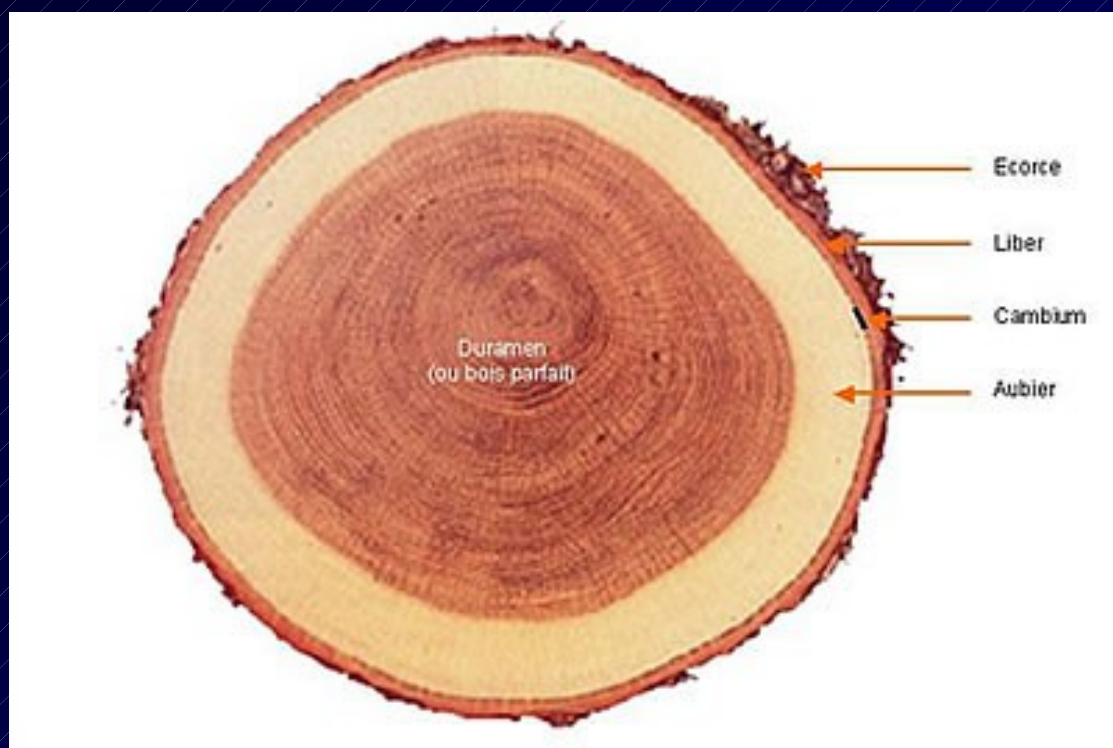
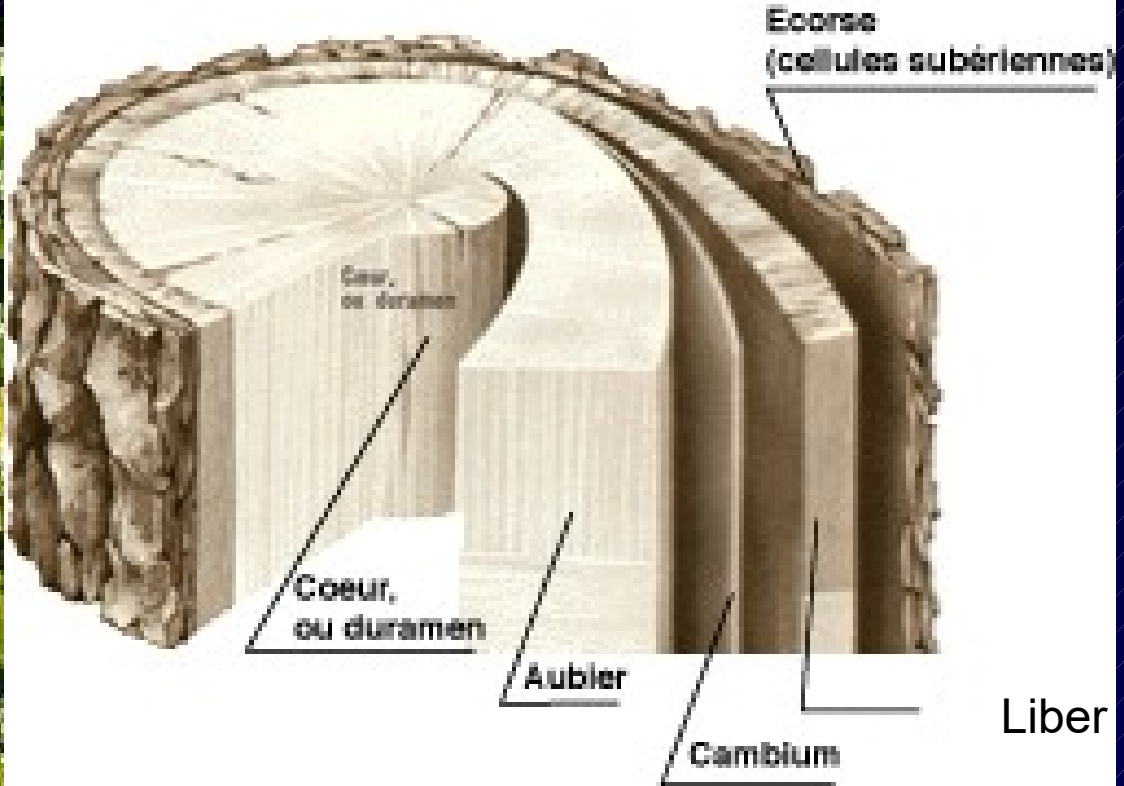
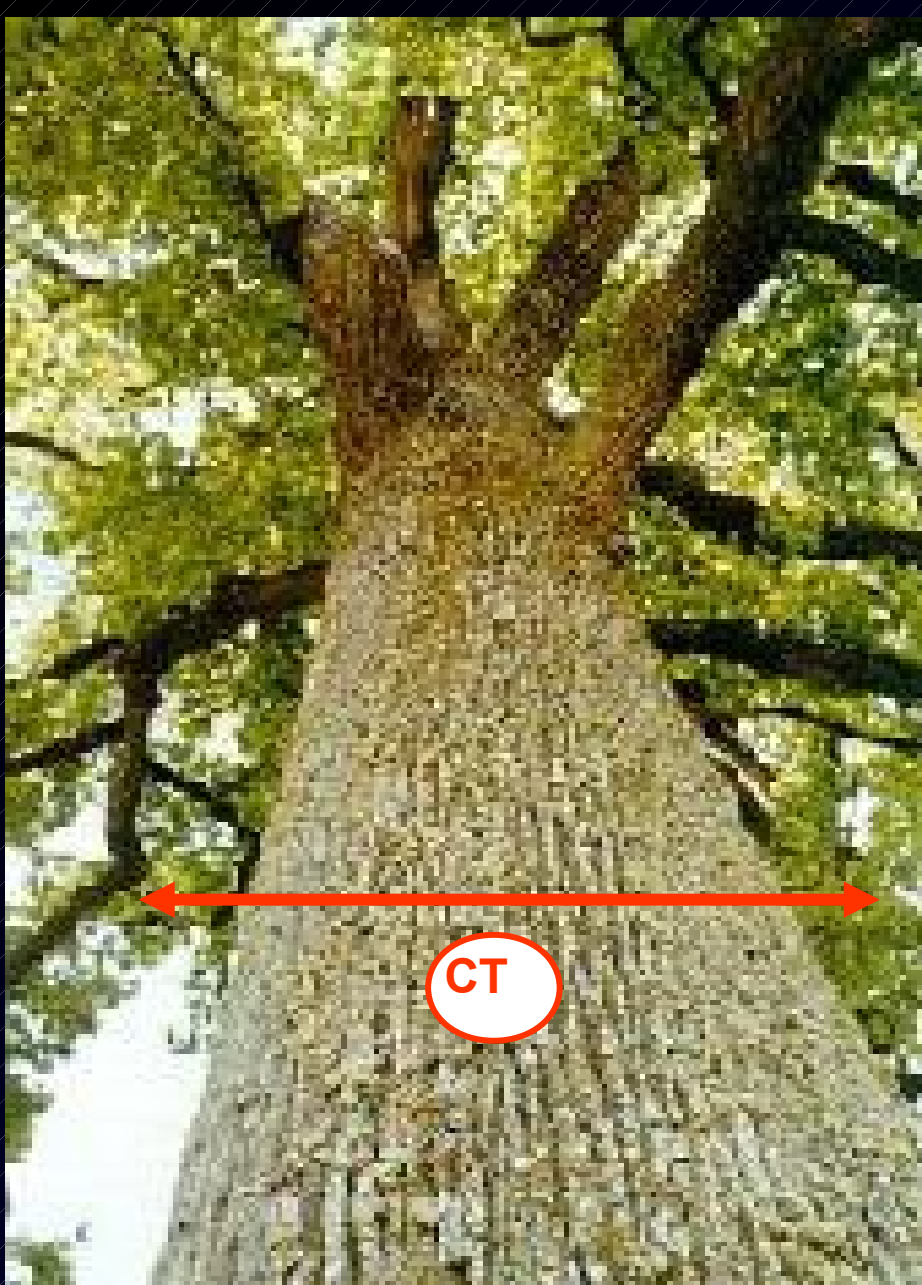
Anthracologie : fournit des infos sur l'écologie, l'archéologie, la climatologie

1.1 La formation du bois et les principaux éléments d'anatomie



1.1 La formation du bois

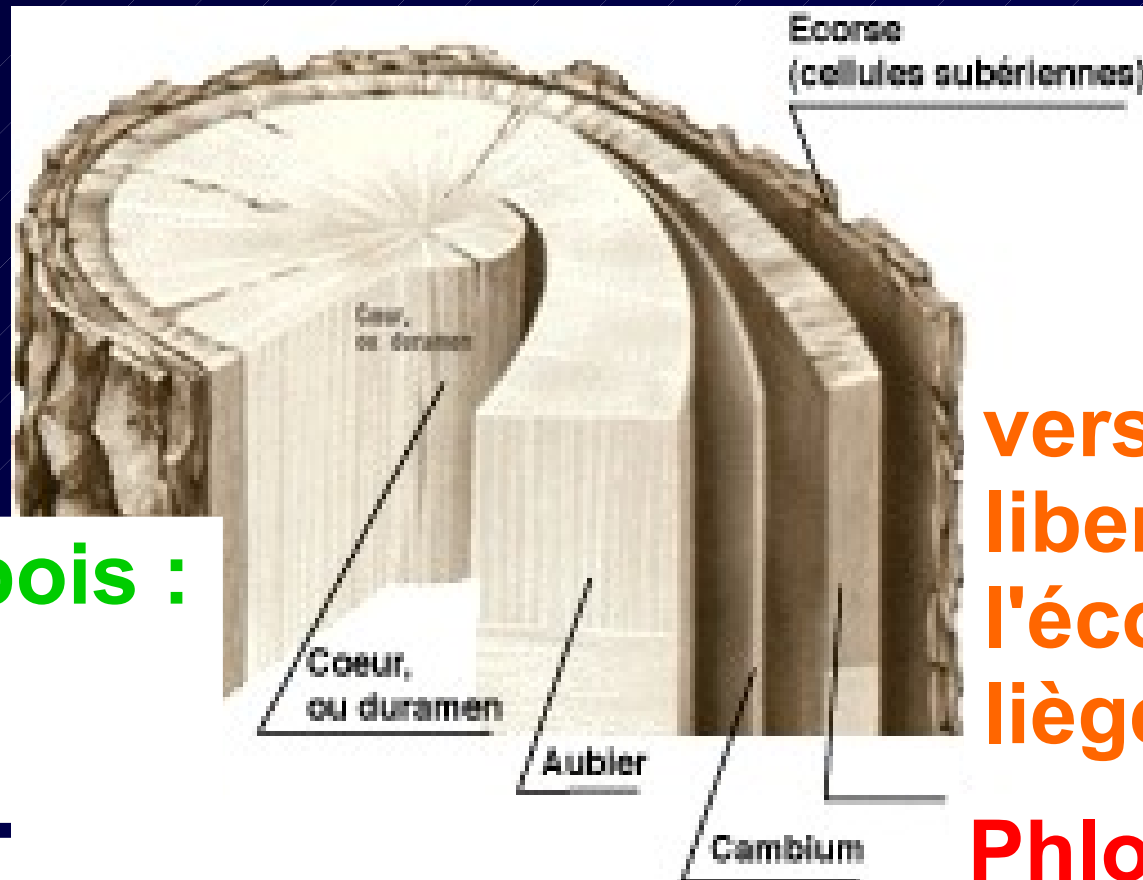




Les tissus à l'échelle macroscopique :

1.1 La formation du bois

La croissance radiale dépend du **cambium** : assise de cellules génératrices située entre le bois ou xylème secondaire et le liber ou phloème secondaire.



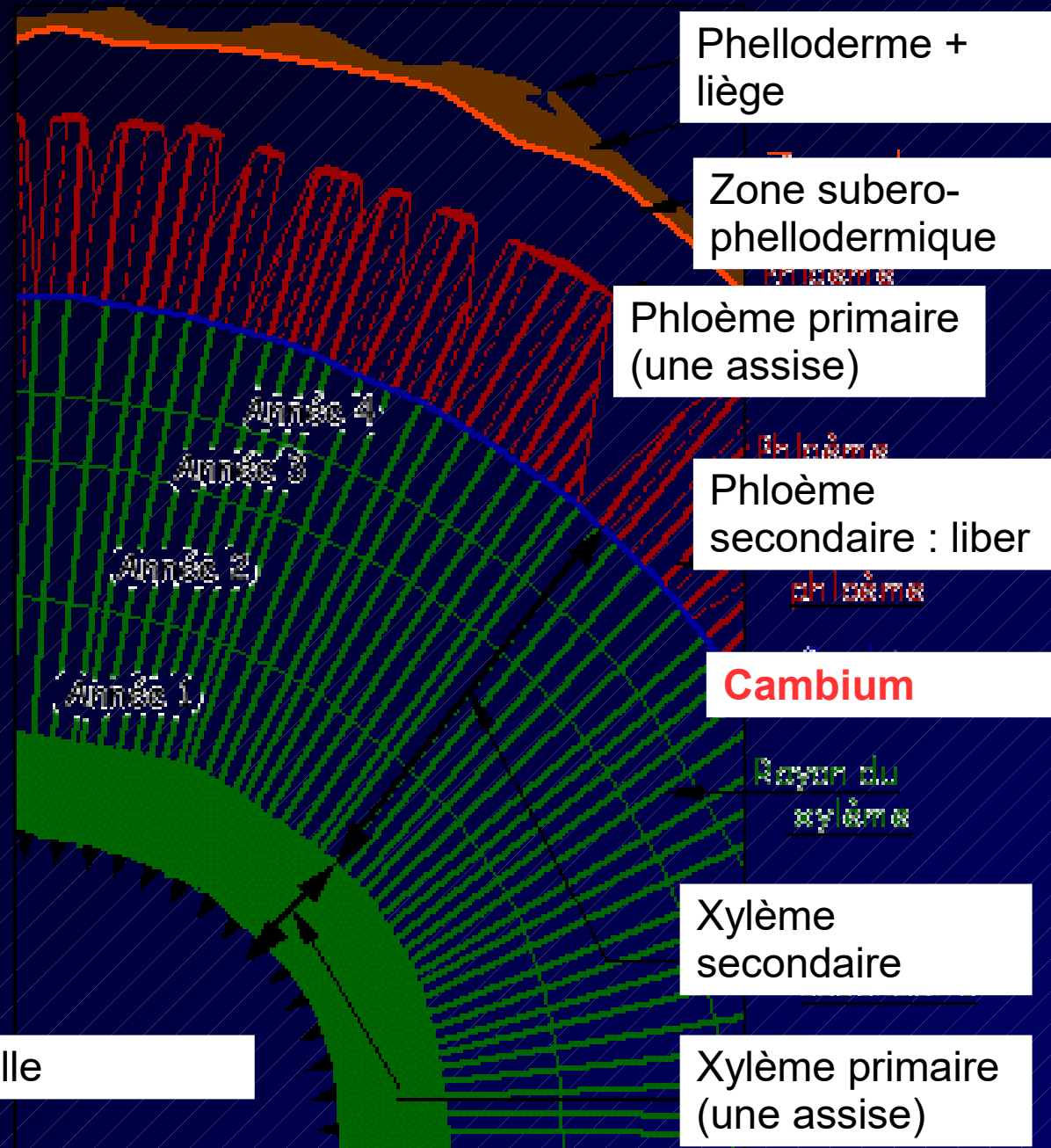
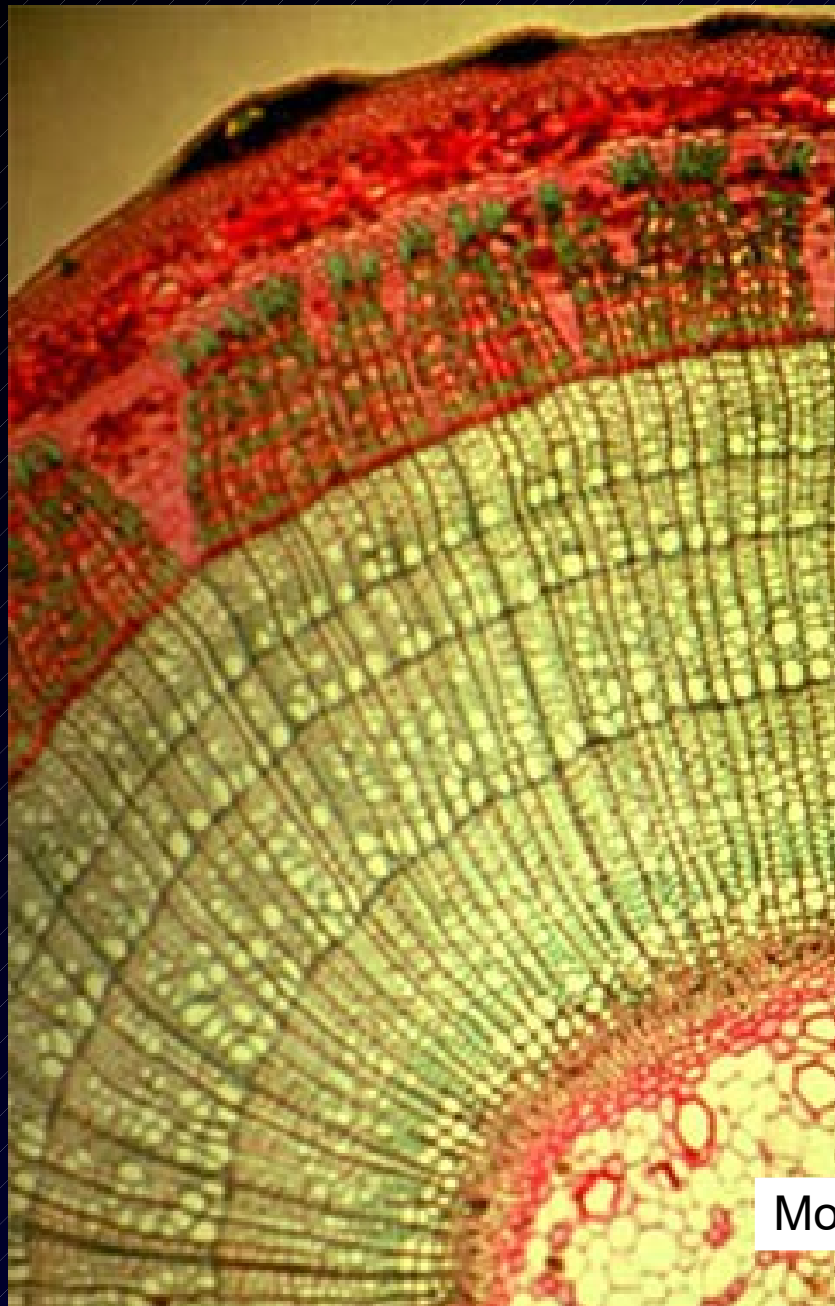
**Vers l'int. : bois :
Aubier puis
duramen**

**Xylème :
sève brute**

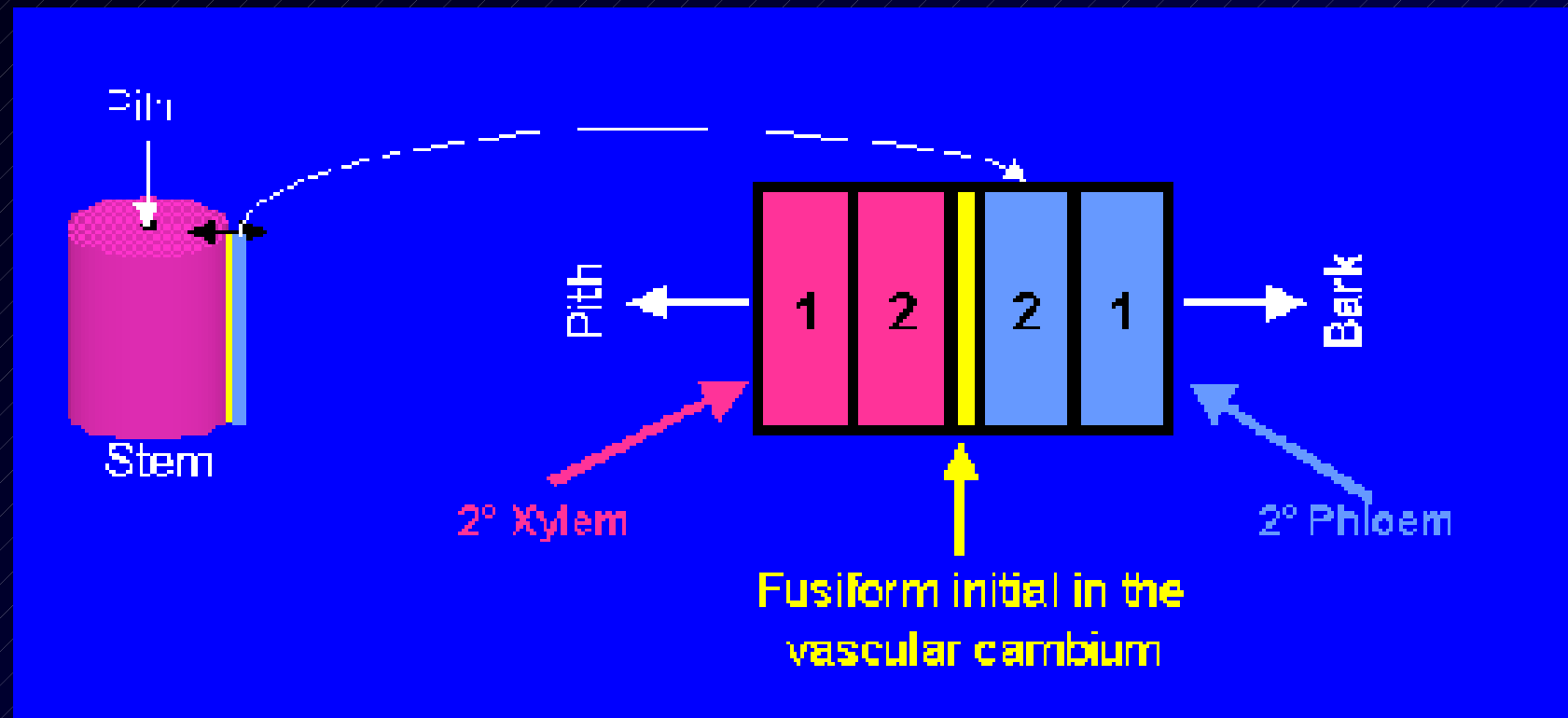
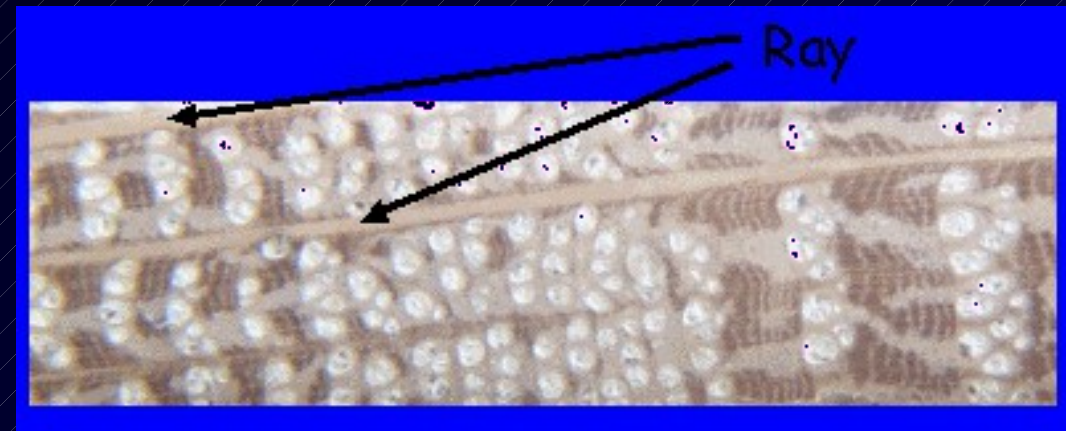
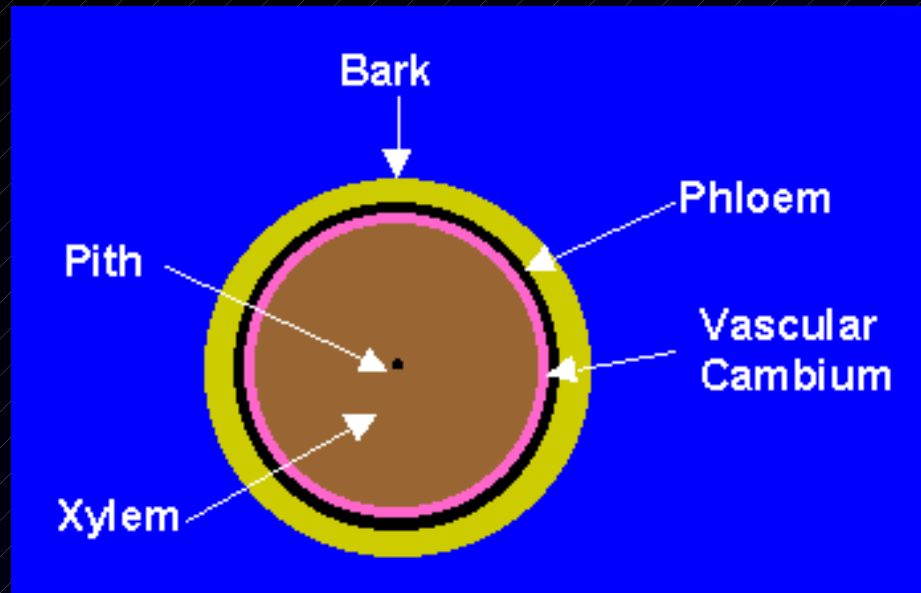
**vers l'ext. :
liber puis
l'écorce (ou
liège)**

**Phloème : sève
élaborée**

Coupe transversale dans le tronc d'un arbre de 4 ans (feuillu)



Croissance radiale

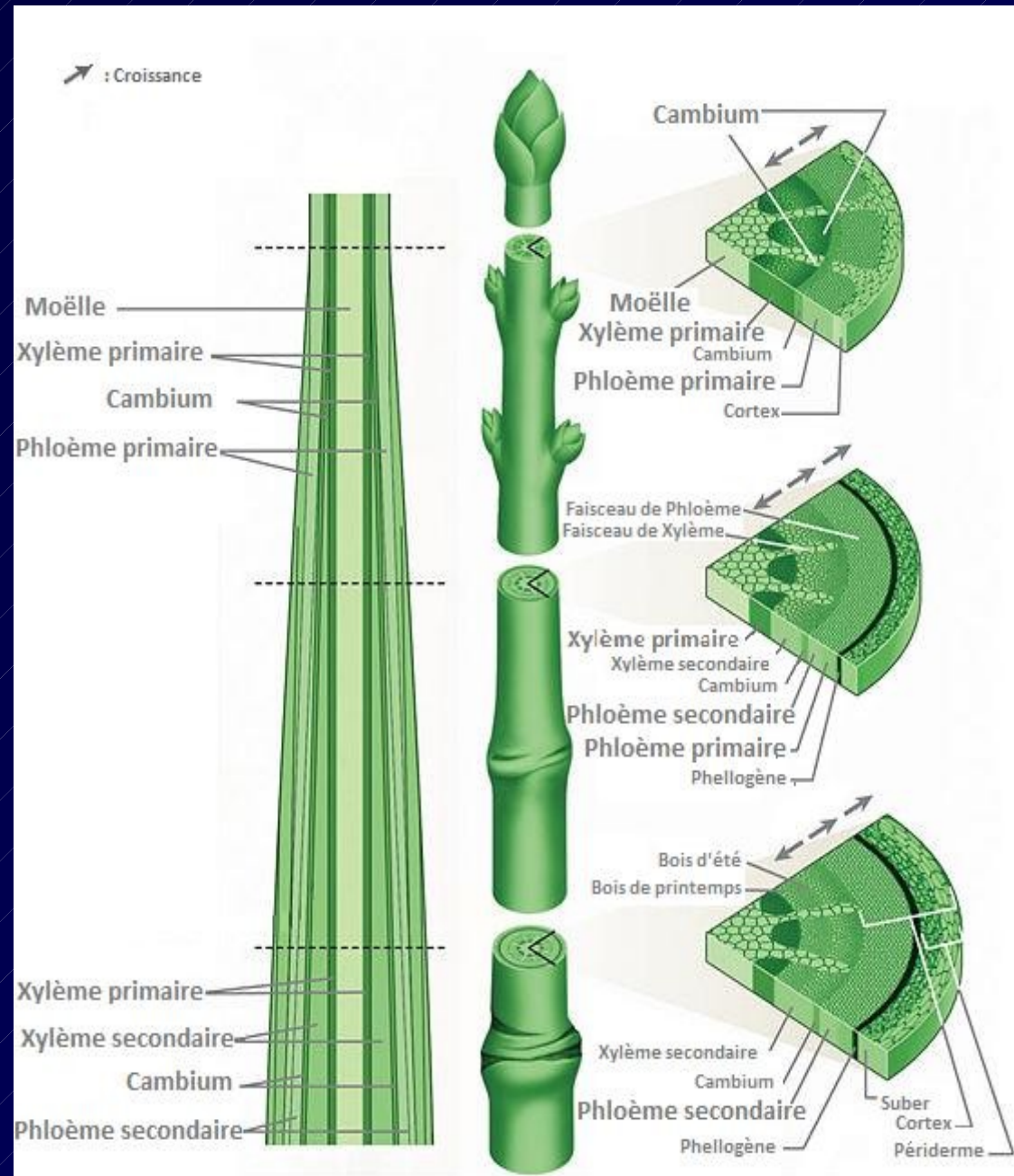


Cette assise évolue au fur et à mesure de la croissance de l'arbre :

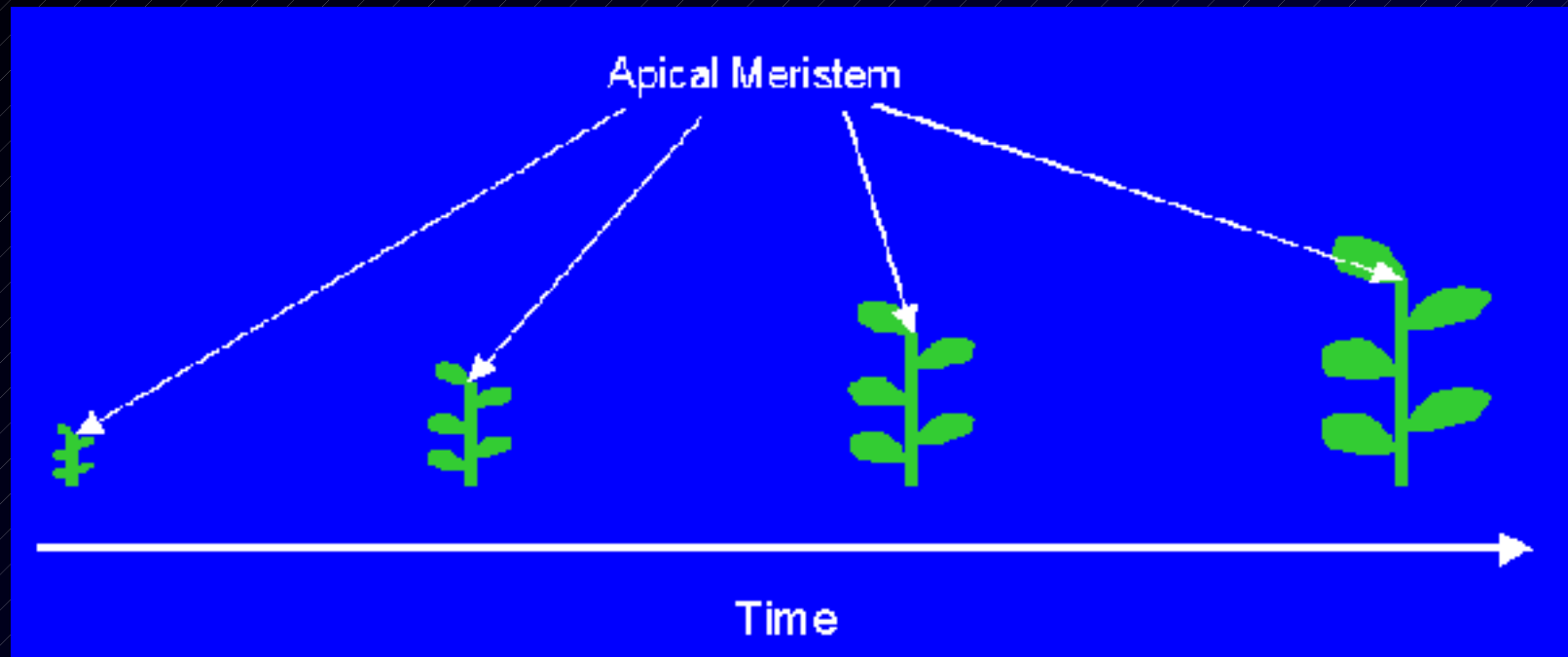
Le nb d'assises (cernes) est différent le long d'une tige :

1^{ère} année : xylème et phloème primaire (en contact avec la moelle)

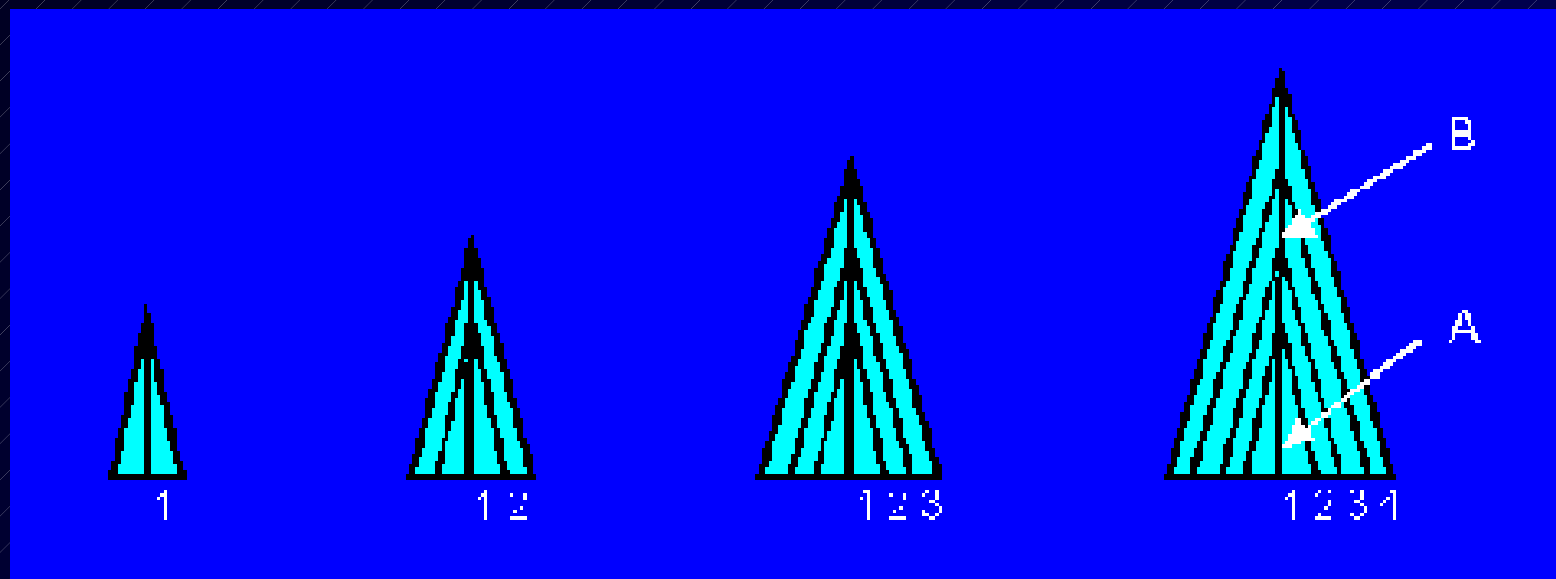
2^e et années suivantes : xylème et phloème secondaire dans le même temps une couche extérieure donne l'écorce (liège)



Croissance en hauteur = croissance primaire

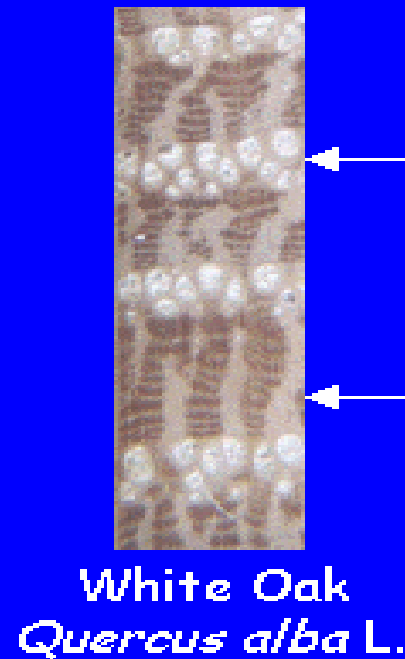


Croissance en diamètre = croissance secondaire



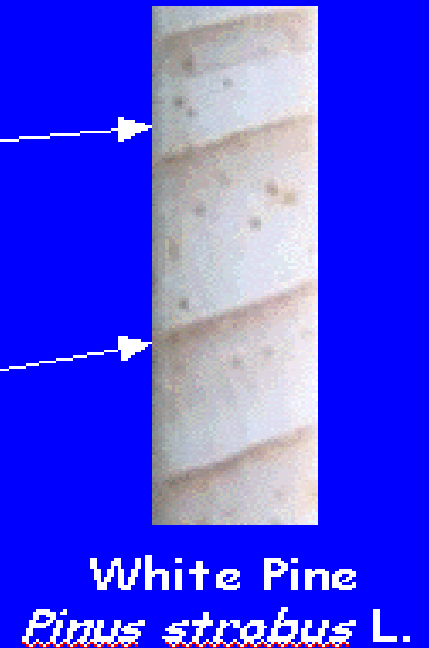
L'activité du cambium cesse en hiver et reprend au printemps. : Impact sur les cernes

- Bois initial ou bois de printemps (vert)
- Bois final ou bois d'été (rouge)



Early Wood

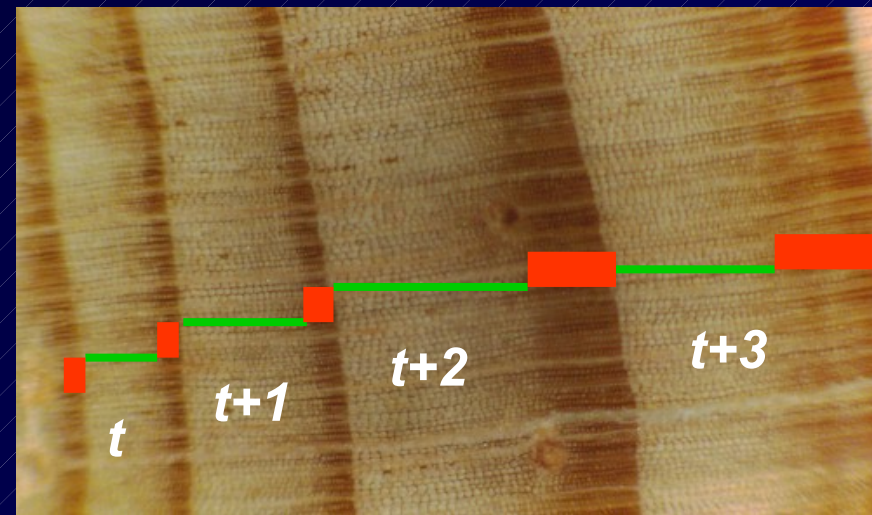
Late Wood



1970

1971

1972



Différents type de bois = facteurs génétiques

hétéroxylés

homoxylés



Ring-
porous



Semi-ring-
Porous



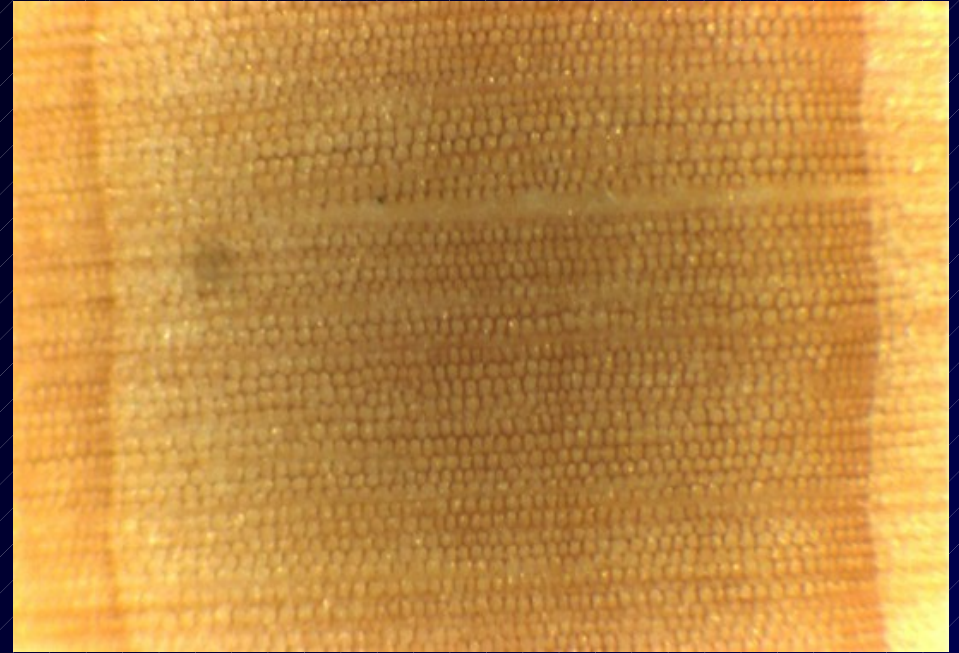
Diffuse-
Porous



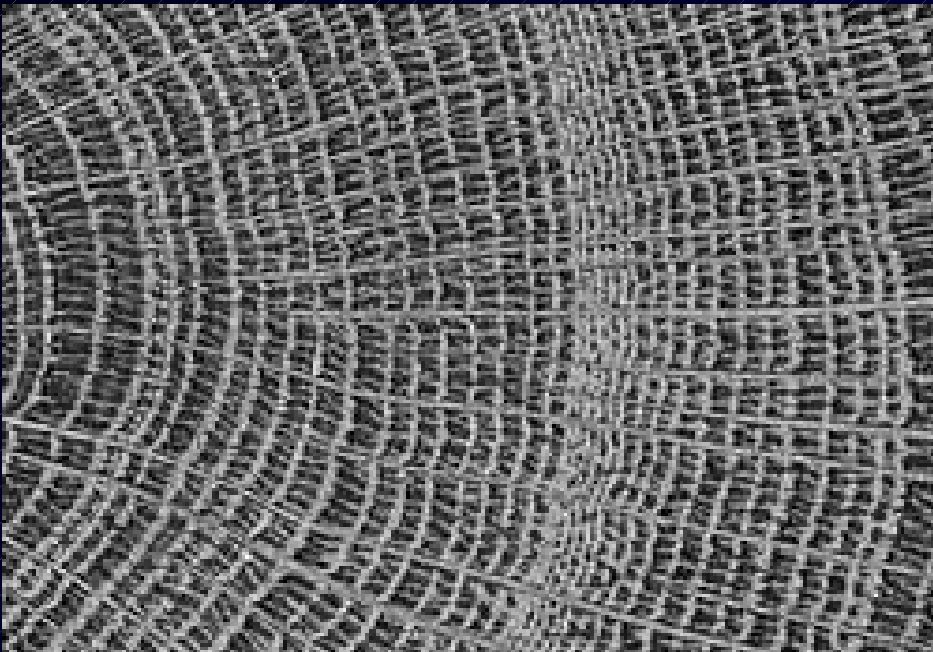
Coniferous



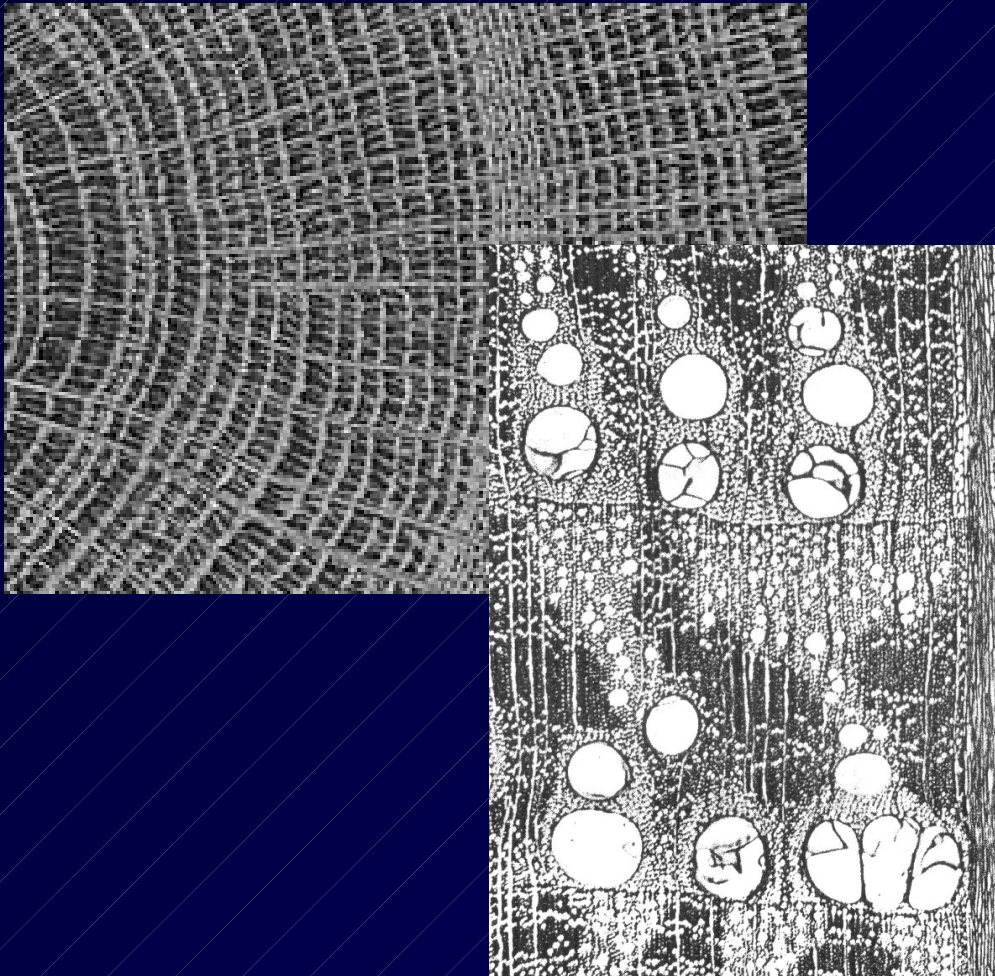
Coupes transversales de conifères (homoxylés)



Coupes transversales de feuillus à zone poreuse (hétéroxylés)



1.2 Éléments d'anatomie : détermination des bois



1.2 Elements d'anatomie : détermination des taxa

Bois Homoxylés – Bois Hétéroxylés

Même si on retrouve le même principe de croissance cambiale pour toutes les essences ligneuses, il existe deux grandes catégories de bois : les bois homoxylés et les bois hétéroxylés

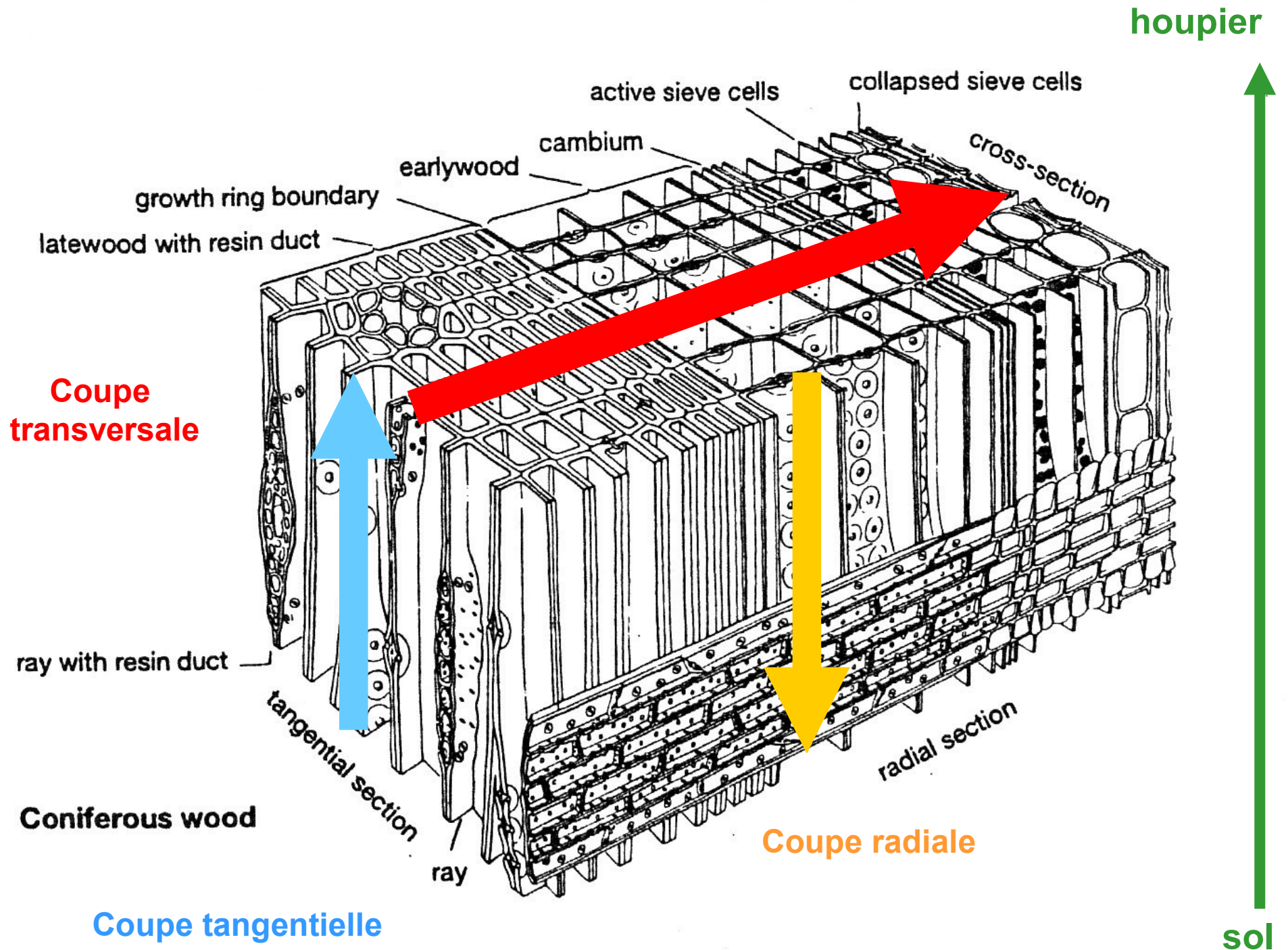
Bois homoxylés : Gymnospermes ou résineux

-> Les fonctions de soutien et de conduction sont assurées par les 'mêmes' cellules (anatomiquement parlant).

Bois hétéroxylés : Angiospermes ou feuillus

-> Les fonctions de soutien et de conduction sont assurées par des cellules spécialisées (ex. cel. des vaisseaux, cel. du parenchyme,..)

1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères



1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères

Critères de détermination anatomique :

Coupe Transversale :

- P/A de canaux résinifères (densité)
- Passage bois final / bois initial brusque ou pas
- forme des trachéïdes (+- carrés)
- forme des rayons (+- allongés)

Coupe Tangentielle :

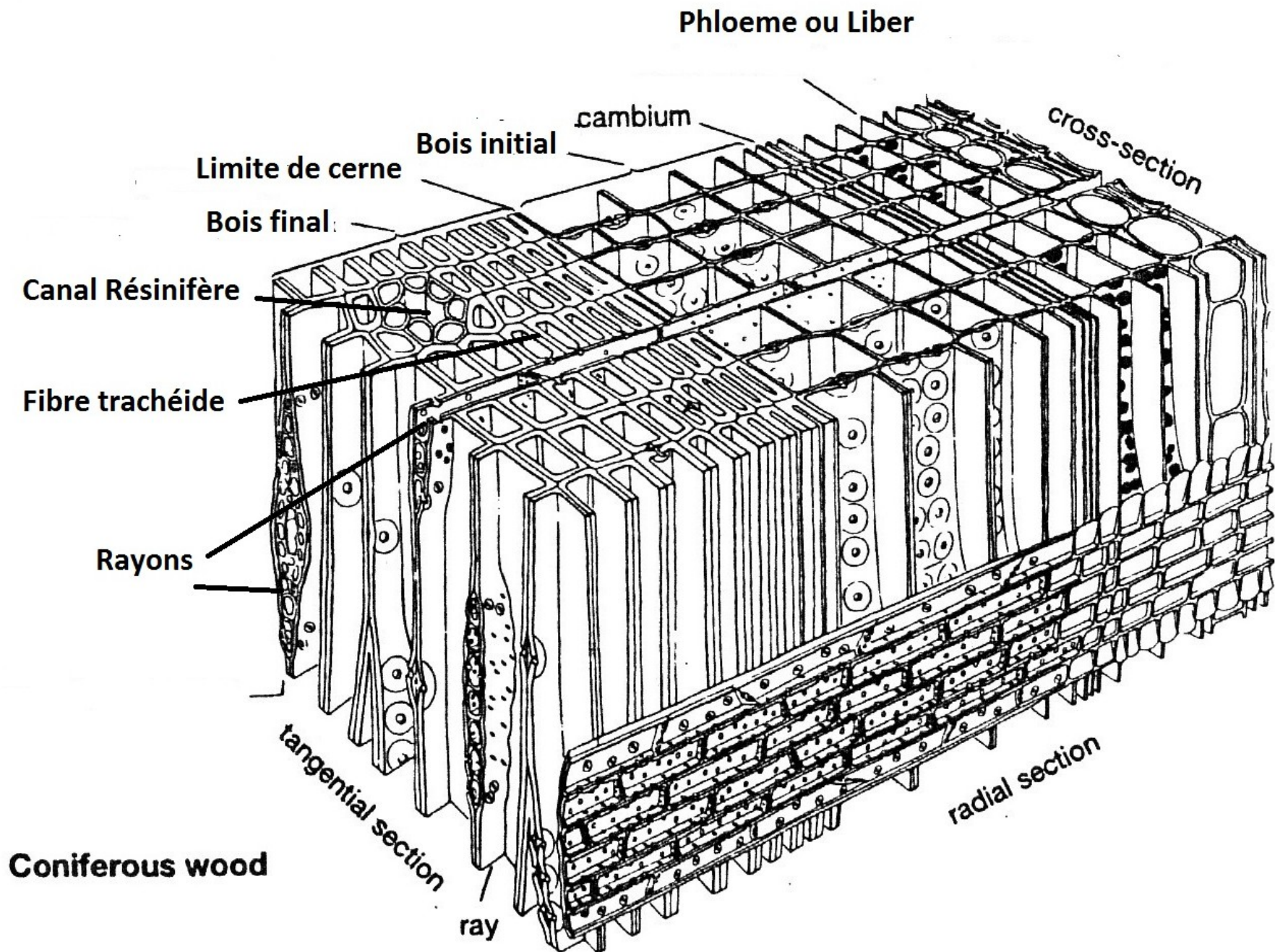
- forme des rayons en coupe (forme d'olive)
- nb de cellules des rayons en hauteur et en largeur
- P/A de canaux sécréteurs horizontaux
- ornementation sur les trachéïdes (épaissts spiralés)

Coupe radiale :

- observation des champs de croisement : intersection entre les trachéïdes et les rayons avec ponctuations aréolées
→ types de ponctuations pinoïdes, taxodoïdes, cupressoïdes, picéoïdes

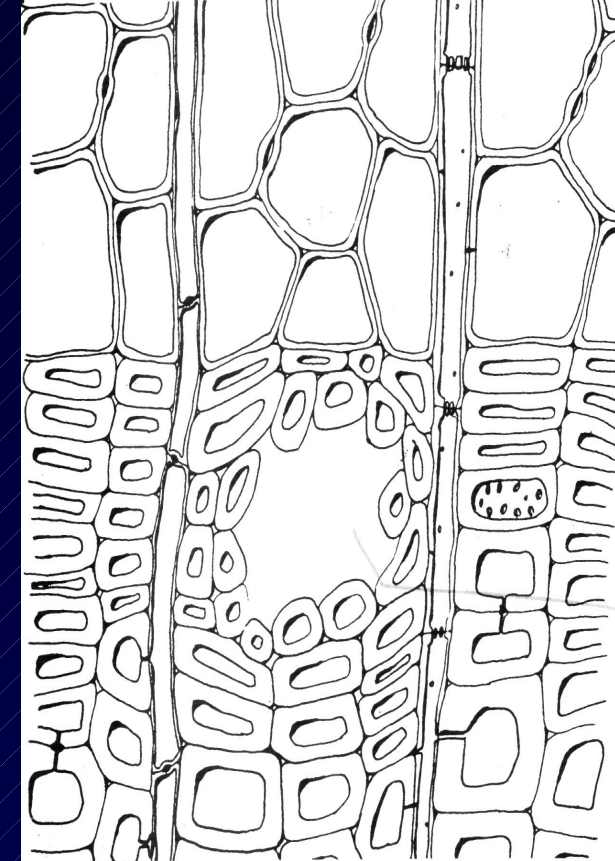
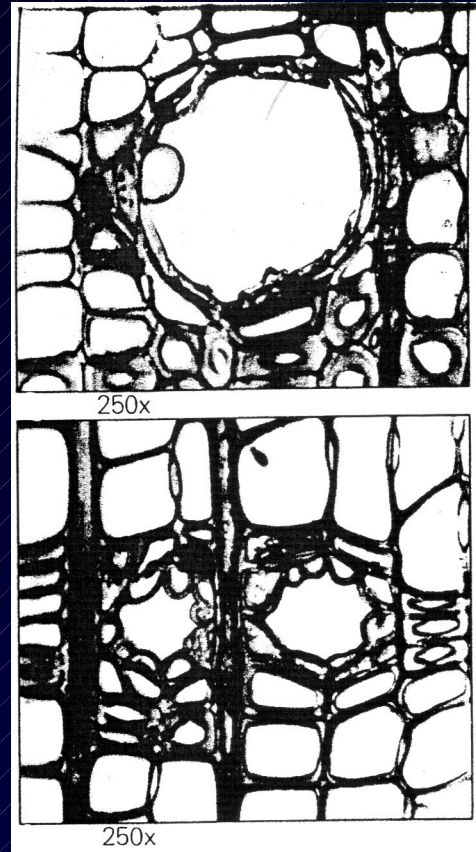
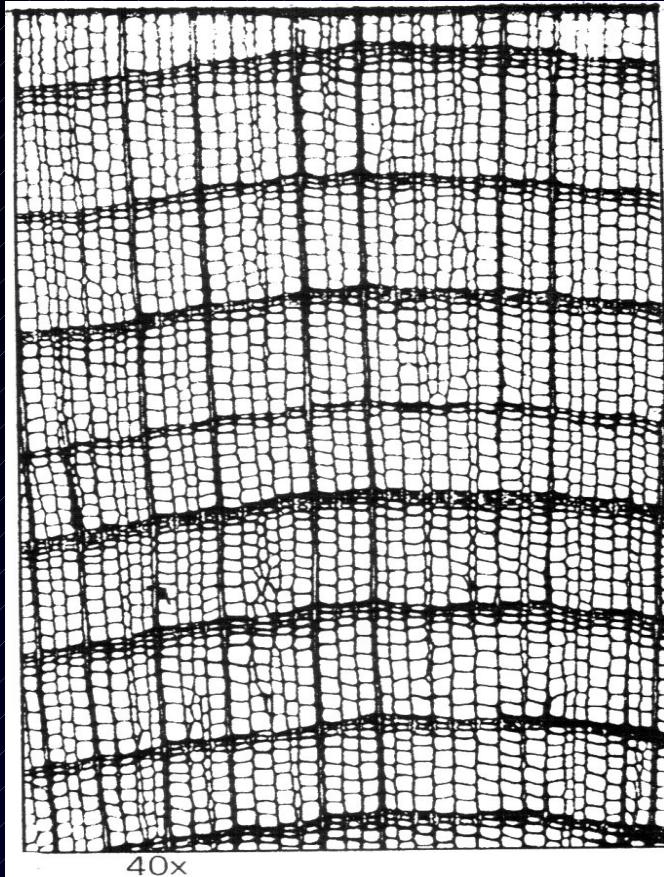
C'est l'association de ces critères qui va permettre les déterminations.

1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères



1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères

Coupe transversale :

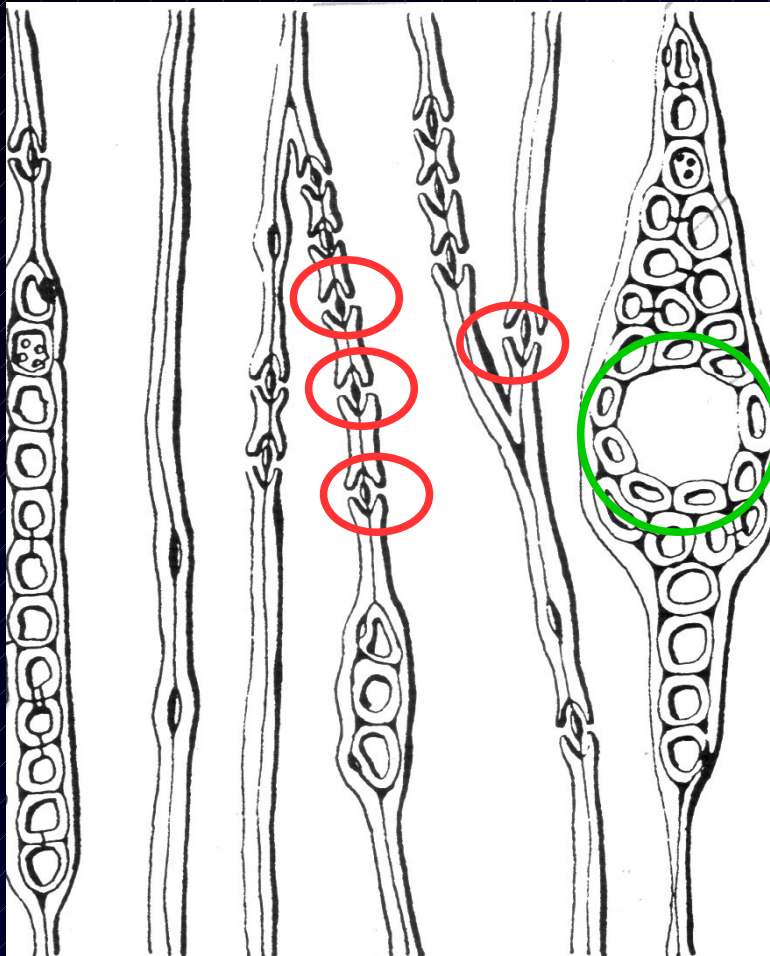


Vue d'ensemble d'une CT :
Succession de cernes
avec passage du bois
initial au bois final de façon brusque

Détail de canaux résinifères : pas de
cellules spécialisées
Photo et dessin

1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères

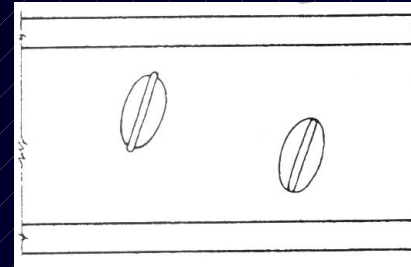
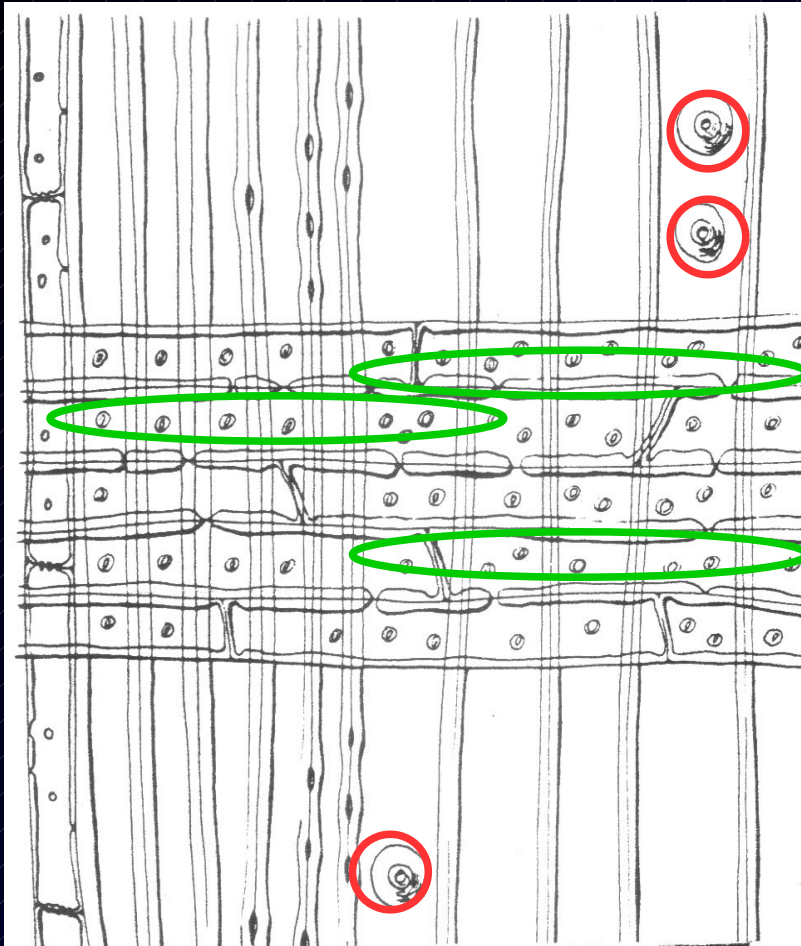
Coupe tangentielle



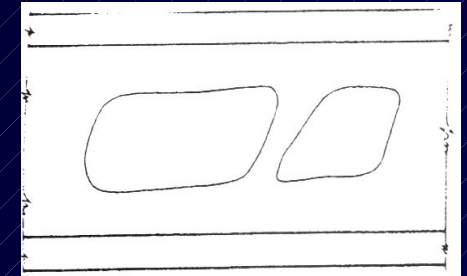
Détail d'un canal résinifère horizontal (dans un rayon) – vert
A noter les ponctuations aréolées visibles en coupe - rouge.

1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères

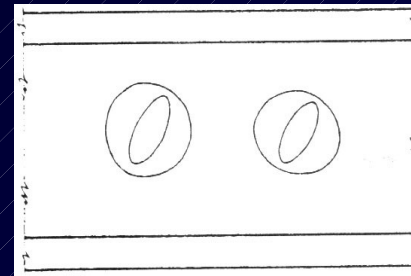
Coupe radiale



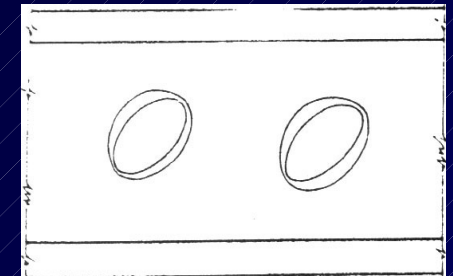
P. type picéoïde



P. type pinoïde



P. type cupressoïde



P. type taxodoïde

Détail d'un champ de croisement dans lequel on aperçoit des ponctuations de type taxodoïde (difficiles à voir ici) - **vertes**

Les ponctuations aréolées - **rouges**

1.2.1 Bois homoxylé = bois des conifères

Coupe radiale

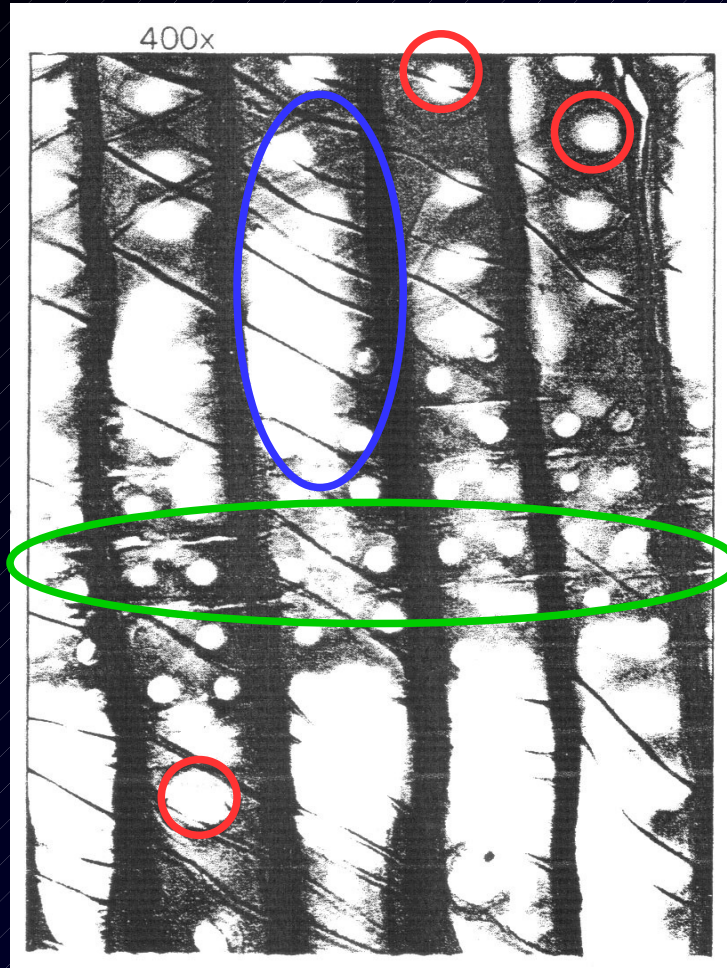
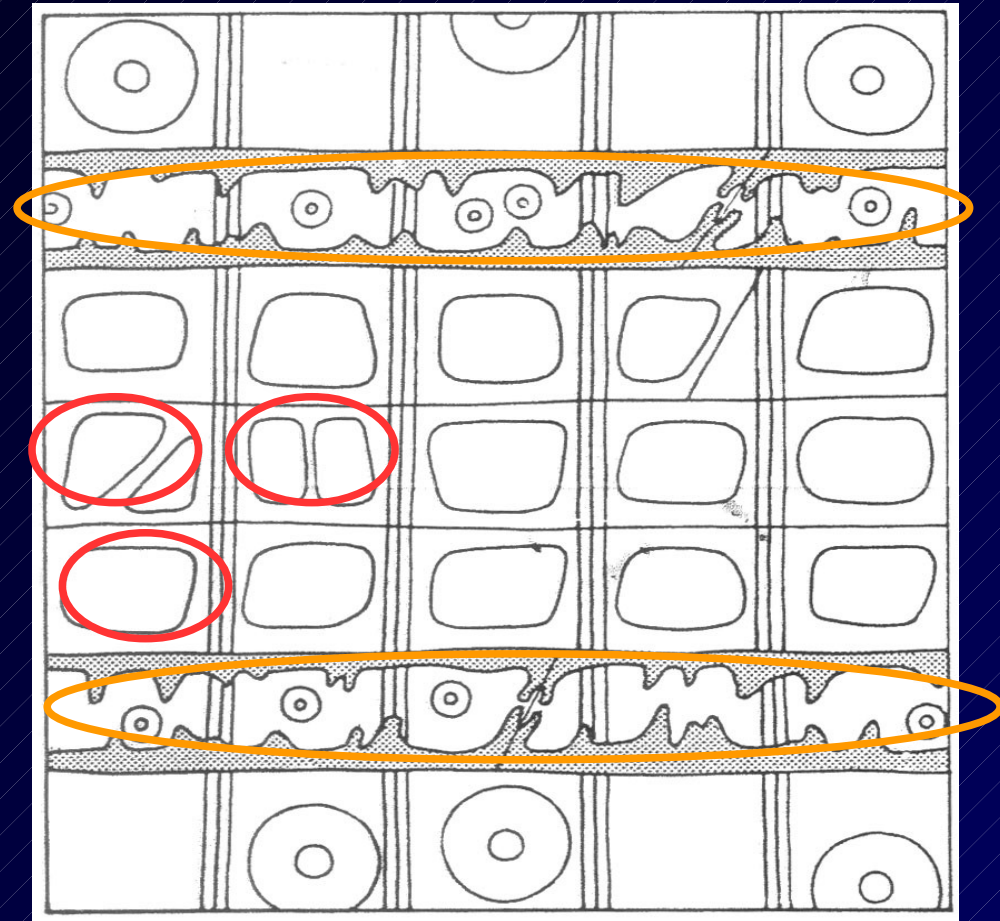


Photo d'un champ de croisement **en vert**
Les ponctuations aréolées – **rouges**
A noter la présence d'épaississements
spiralés **en bleu**



Dessin d'un champ de croisement :
A noter ici des trachéïdes horizontales à
paroi dentée (**orange**).
Les ponctuations de type pinoïdes (**rouge**)

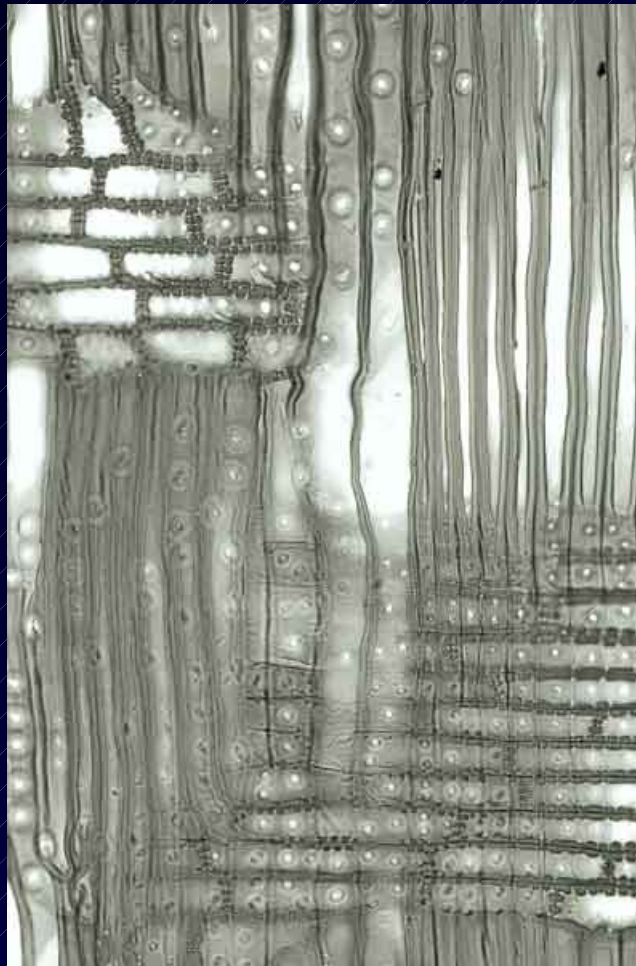
Abies alba

Absence de canaux résinifères et d'épaississements spirals
Passage brusque du bois initial au bois final
Rayons d'une cellule de large (rayons homogènes).
Absence de faux cernes (2 « bandes » de bois final)

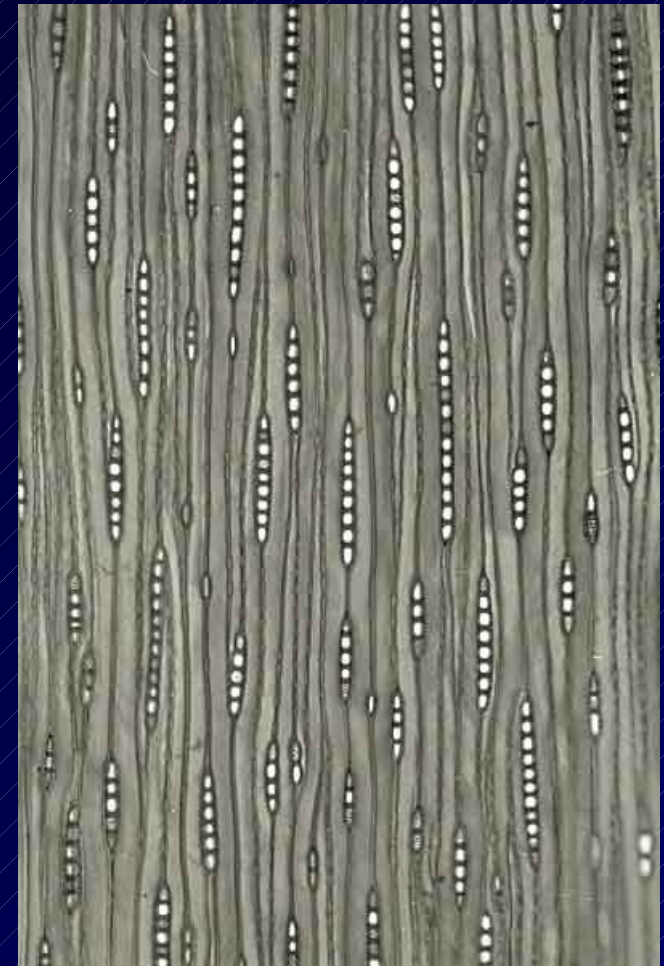
Coupe transversale



Coupe radiale



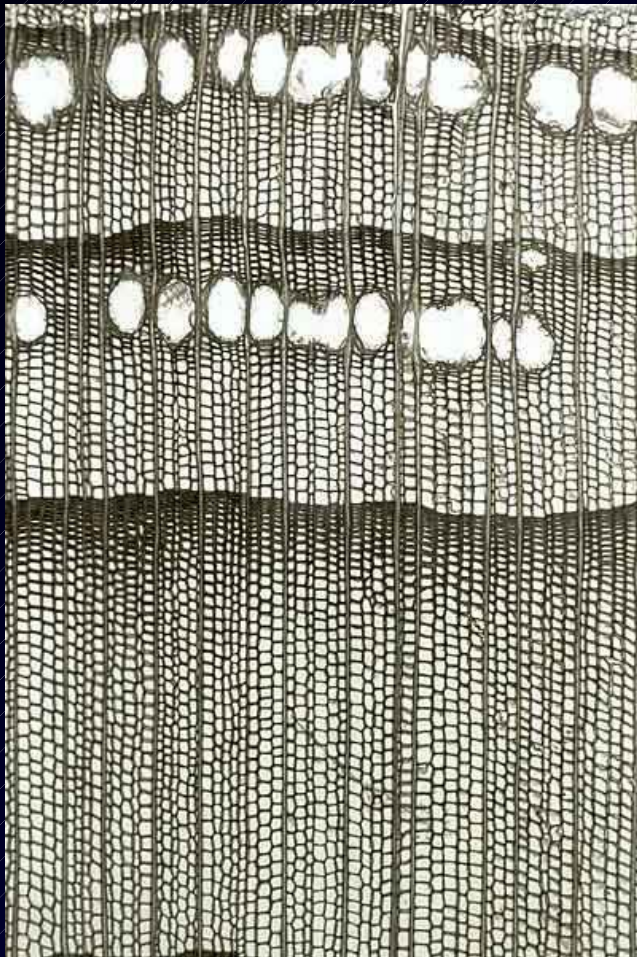
Coupe tangentielle



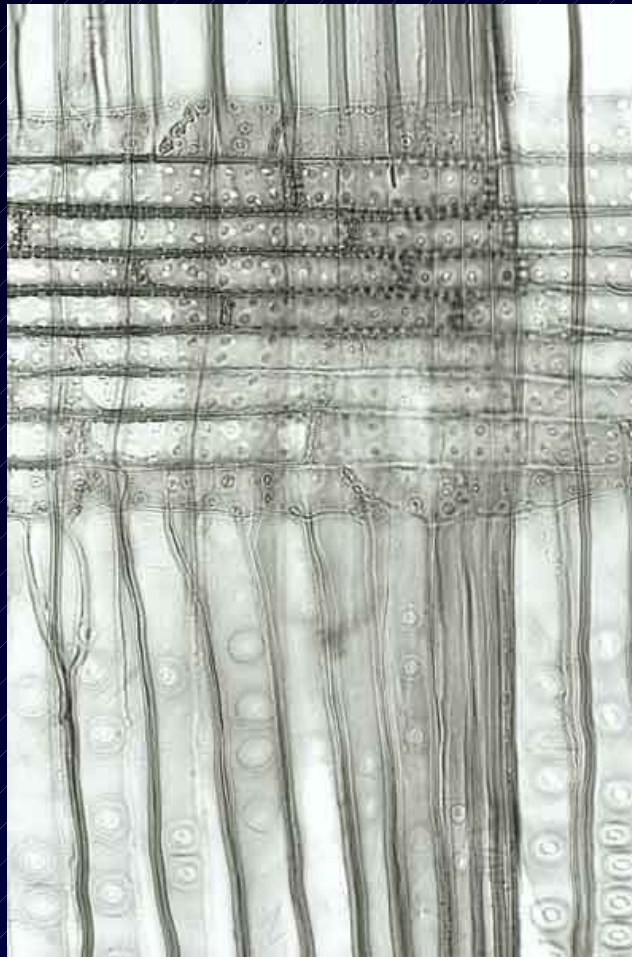
Picea abies

Bois homoxylé, présence de canaux résinifères
Passage progressif du bois initial au bois final
Ponctuations de champs petites
Canaux résinifères horizontaux

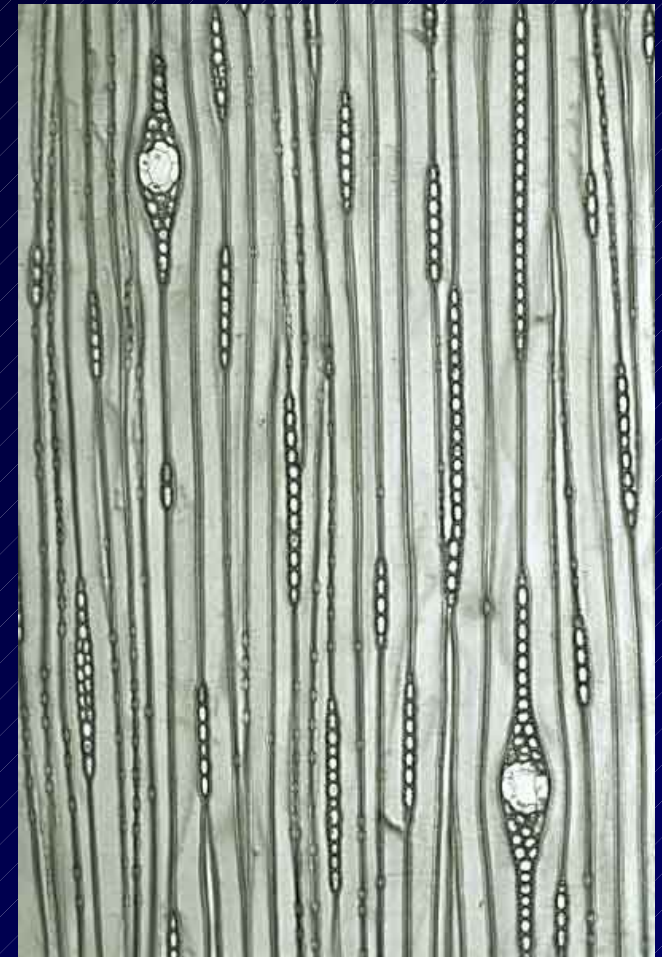
Coupe transversale



Coupe radiale



Coupe tangentielle



Pinus sylvestris

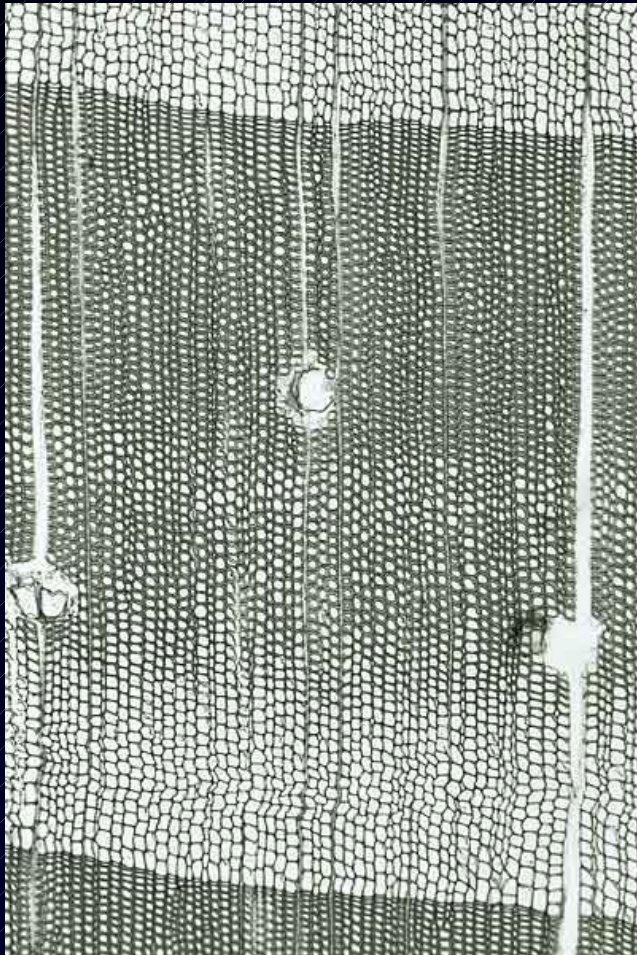
Bois homoxylé, présence de canaux résinifères dans le bois final

Absence d'épaississements spirals

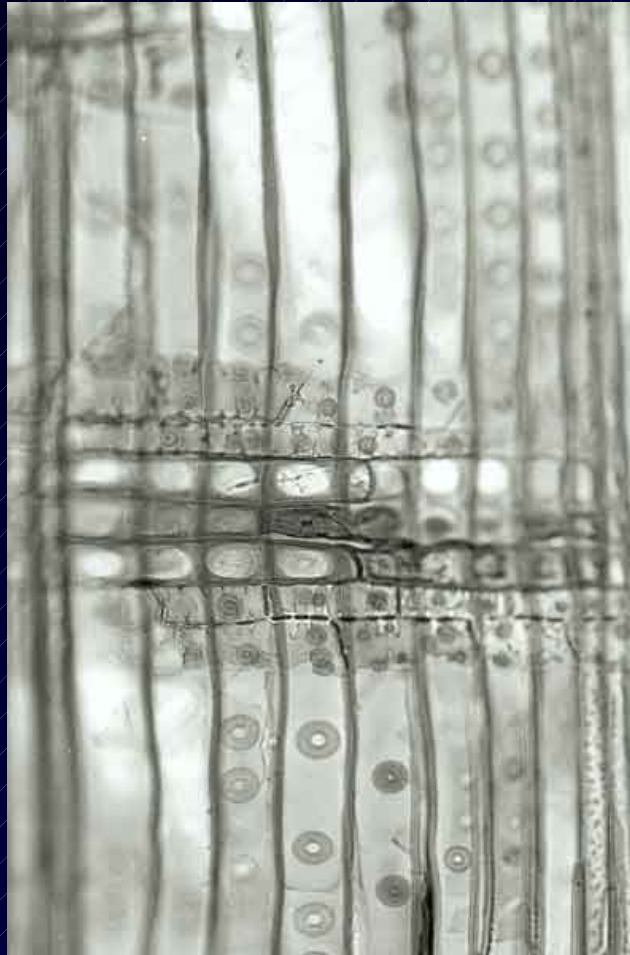
Passage continu du bois initial au bois final (pas systématique : parfois abrupte...)

Trachéides transversales à parois épaisses, dentées; grandes ponctuations

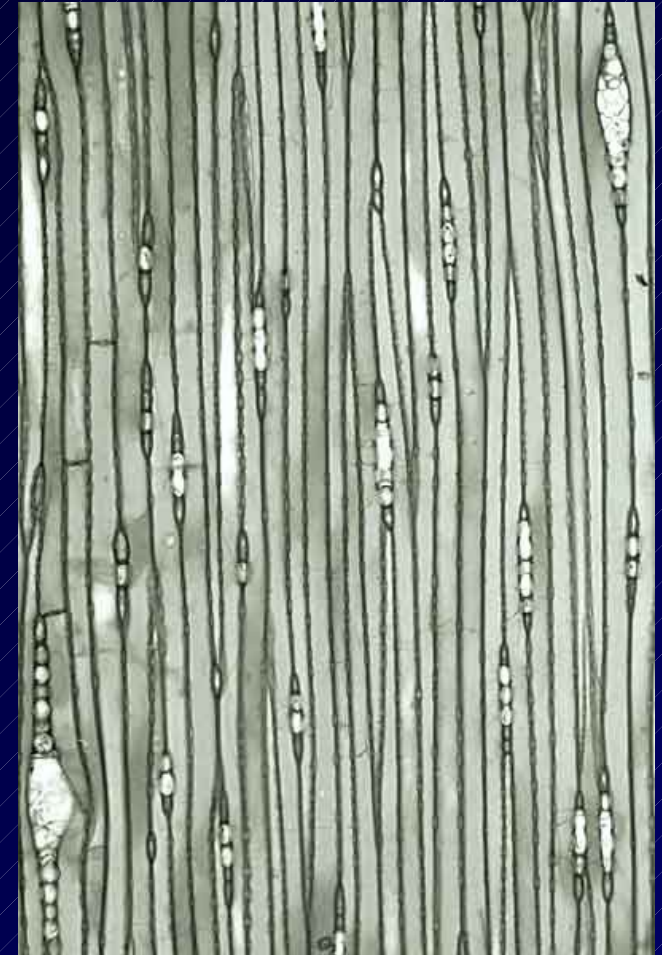
Coupe transversale



Coupe radiale



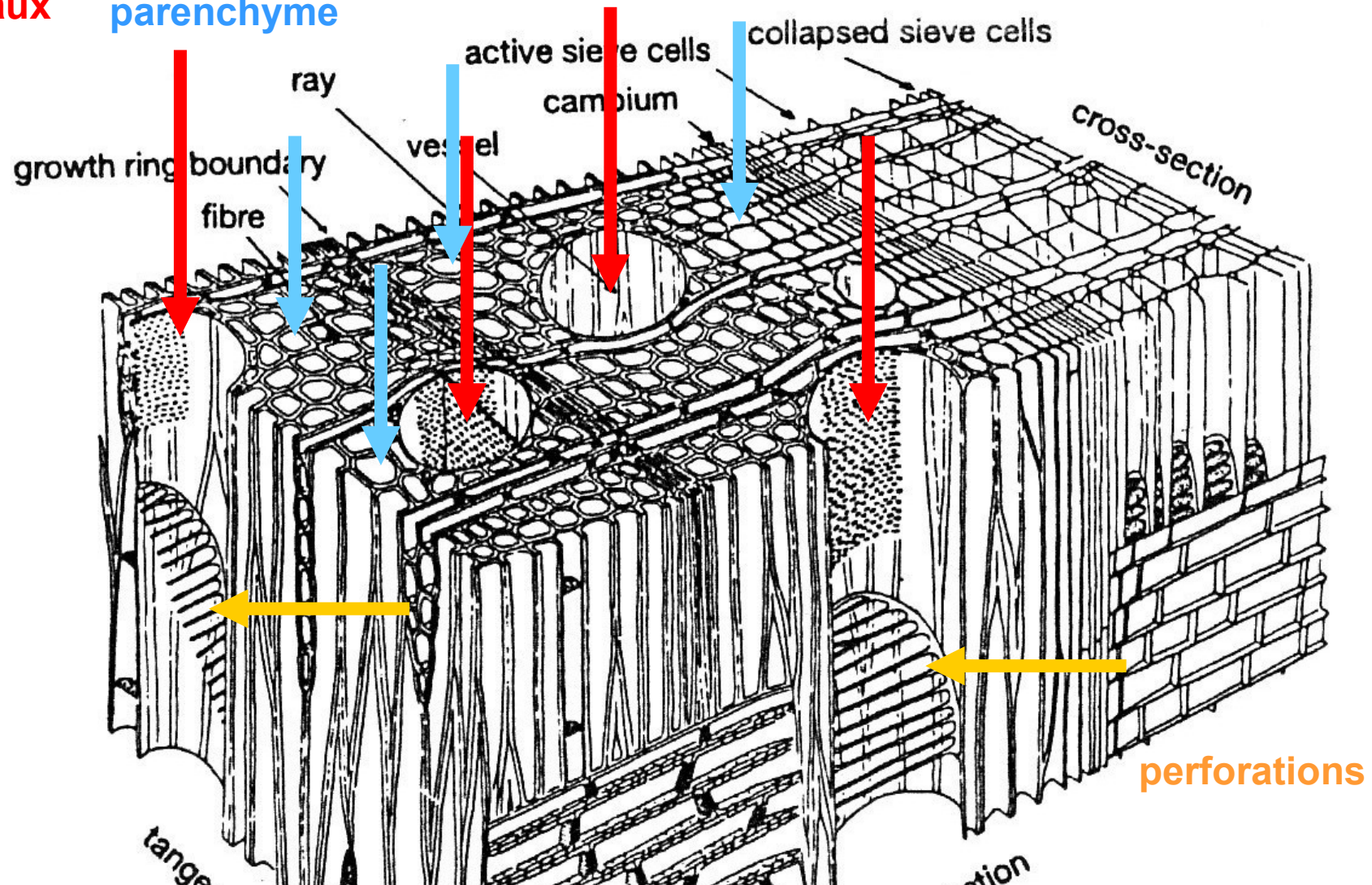
Coupe tangentielle



1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus

vaisseaux

parenchyme



Observation de cellules spécialisées : les cellules des vaisseaux, du parenchyme, présence de perforations

paracymbial cell
scalariform perforation plate

1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus

Critères de détermination anatomique :

Coupe Transversale :

- porosité : (zone poreuse, semi-poreuse ou diffuse)
- agencement des pores (en flamme, accolés ou non)
- tendance radiale ou non des pores

Coupe Tangentielle :

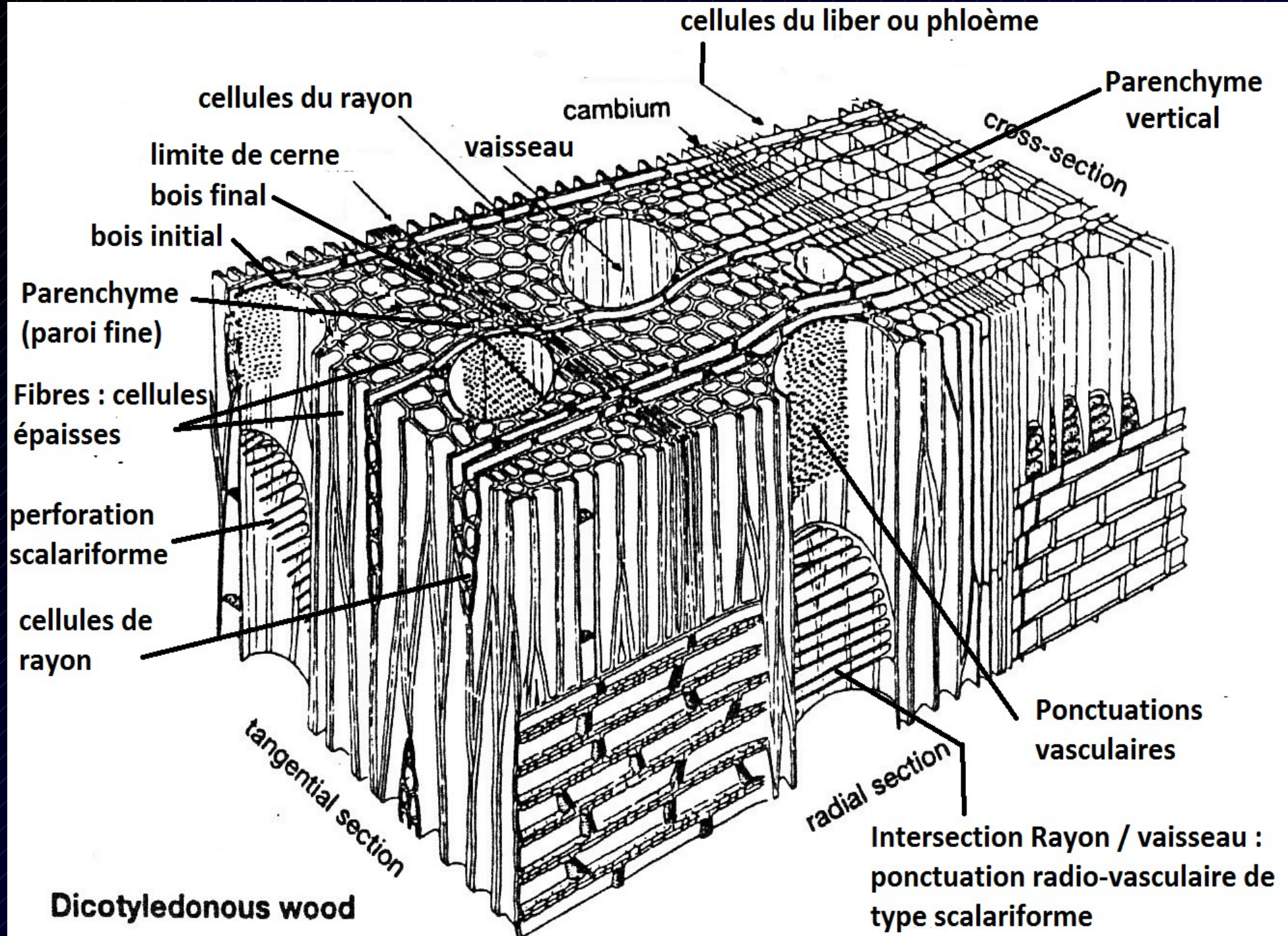
- P/A de rayons multisériés (plusieurs cellules de large)
- études rayons : nb de cellules en largeur et en hauteur
- types des rayons : homogènes ou hétérogènes

Coupe radiale :

- étude des vaisseaux : perforations uniques ou scalariformes
- P/A d'épaississements spiralés

C'est l'association de ces critères qui va permettre les déterminations.

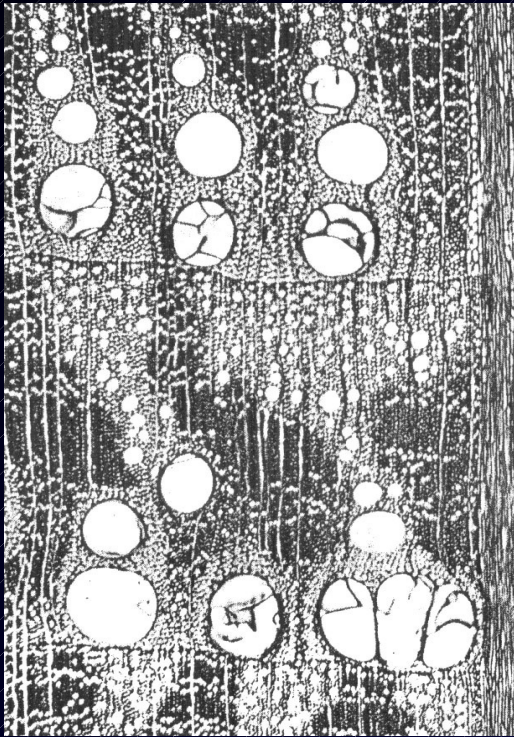
1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus



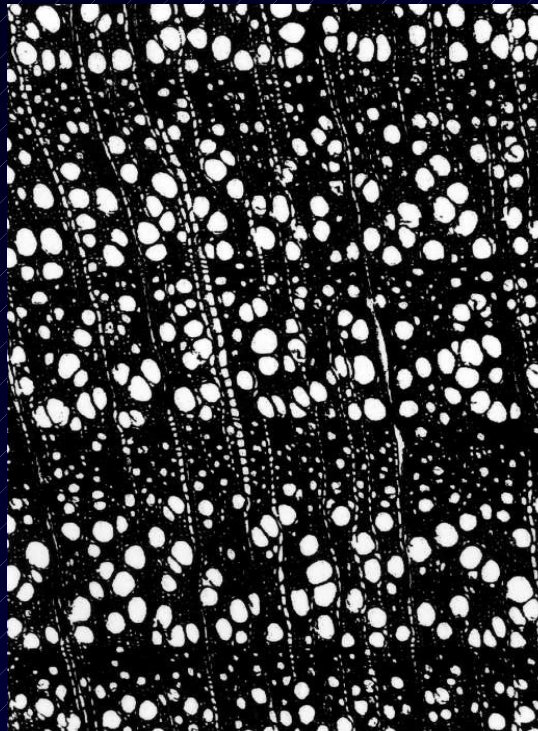
1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus

Coupe transversale

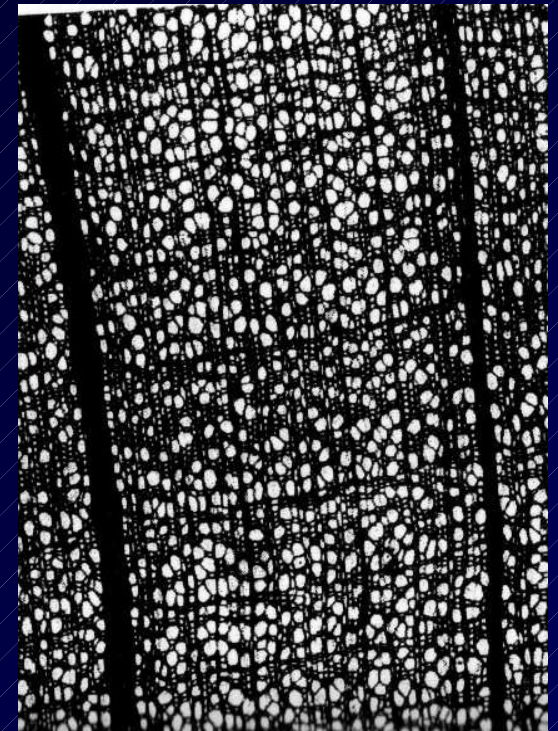
Quelques types de porosité : (organisation des pores dans un cerne)



Bois à **zone poreuse**. Pores accolés « en flammes »



Bois à **zone semi-poreuse**.



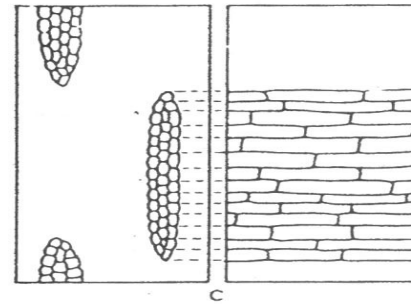
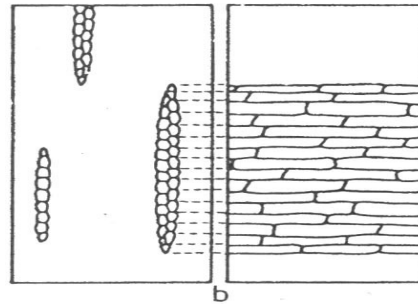
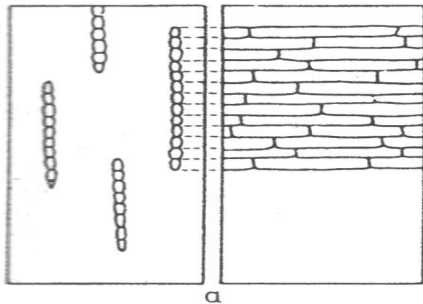
Bois à **zone diffuse**

1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus

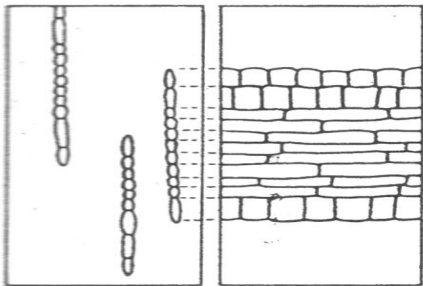
Coupe tangentielle et radiale

Les types de rayon :

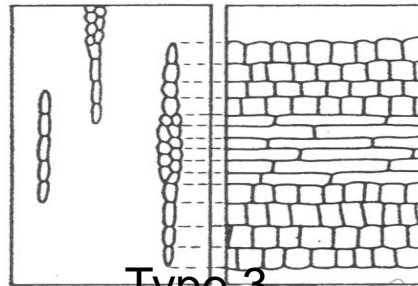
Holzstrahlgewebe homogen



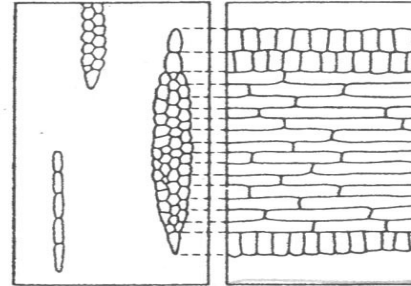
Holzstrahlgewebe heterogen



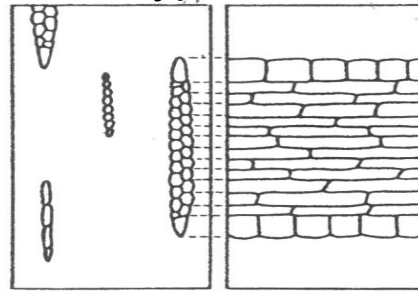
Type 2



Type 3



Type 2



Type 1

Rayons homogènes :
Toutes les C sont couchées

Rayons hétérogènes :
Plusieurs type de C.
Selon le type et le nb de Cellules couchées ou dressées : on établit 3 types de rayons hétérogènes.

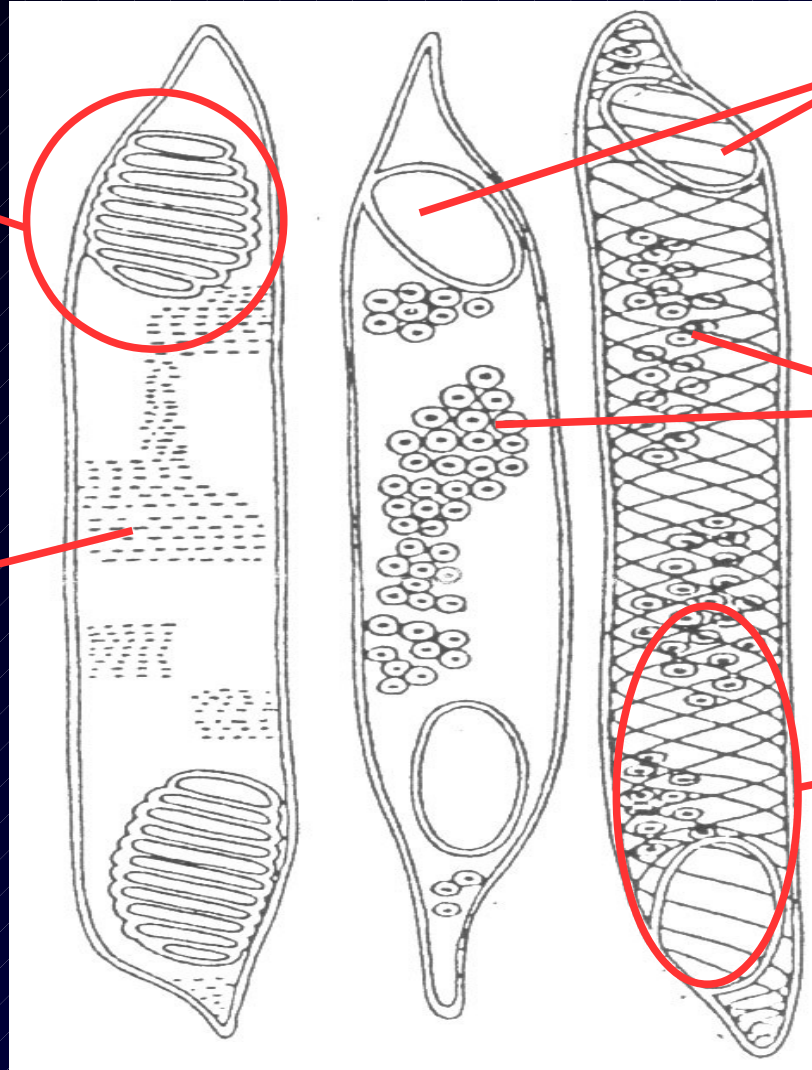
1.2.2 Bois hétéroxylé = bois des feuillus

Coupe tangentielle et radiale

Détails sur les vaisseaux :

Perforations radio-vasculaires de type « scalariforme »

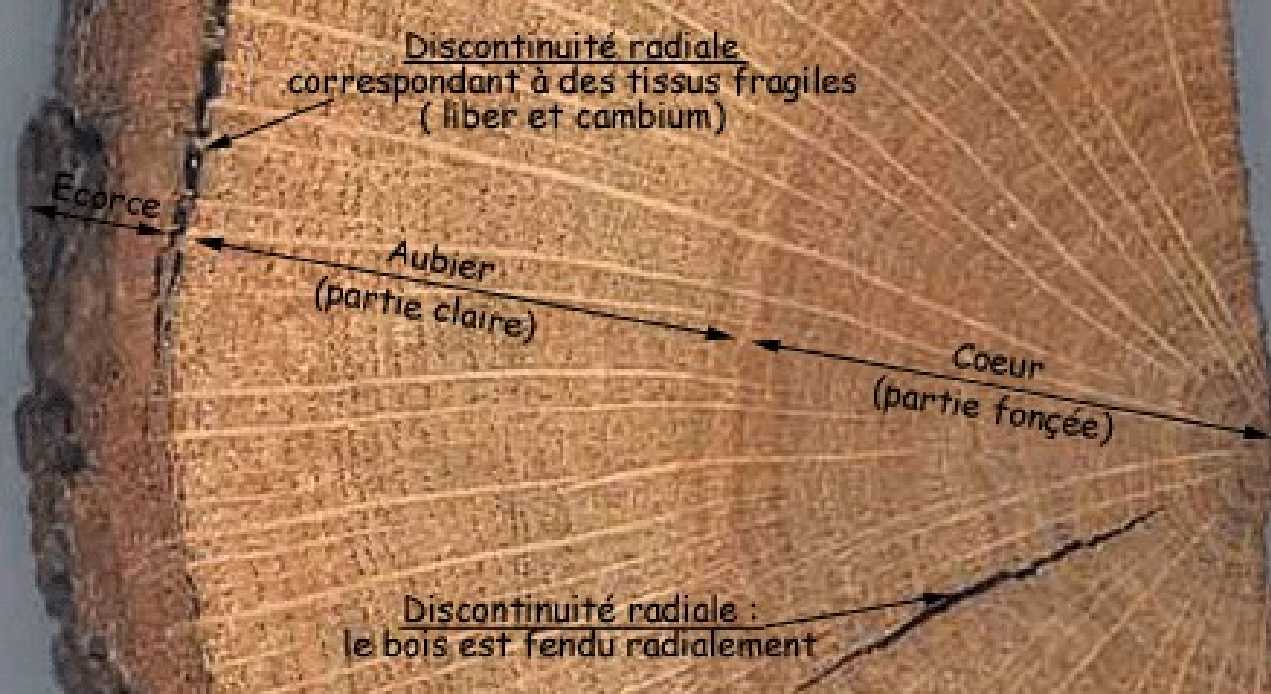
Ponctuations vasculaires très fines : « digitations »



Perforations radio-vasculaires « simples »

Grosses ponctuations vasculaires

Epaississements spirals recouvrant la surface du vaisseau



Lorsque la section est mouillée, seuls les tissus situés entre les rayons prennent une couleur foncée. Ces tissus sont formés de cellules allongées verticalement qui absorbent l'eau. Ils contiennent des vaisseaux conducteurs de la sève brute et des fibres de soutien. Les cellules des rayons ne prennent pas l'eau parce qu'elles ont une orientation perpendiculaire.



Tilia cordata

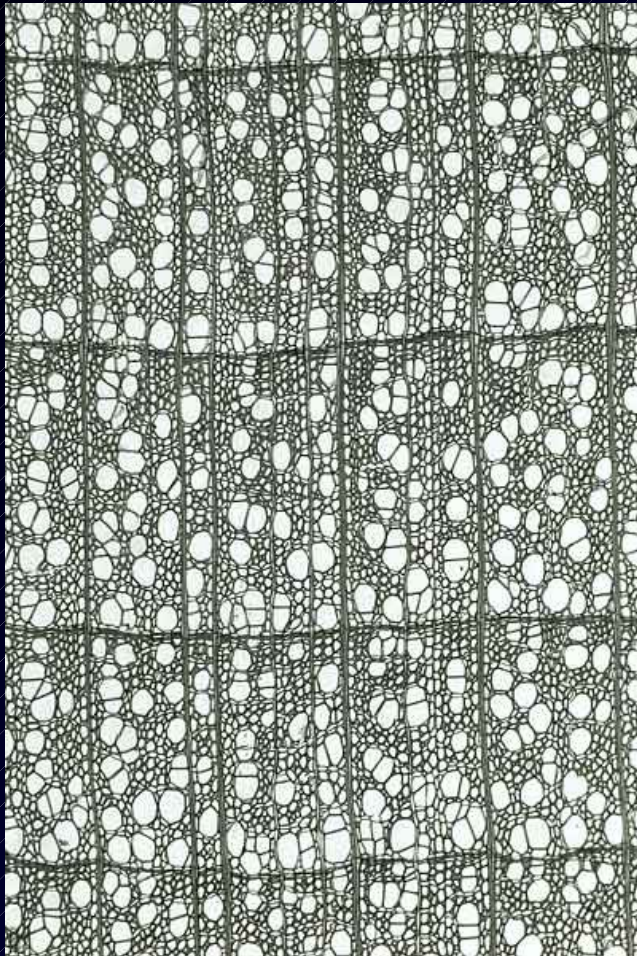
Bois hétéroxylé, à zone semi-poreuse ou à pores diffus

Pores de forme polygonales, souvent en files radiales

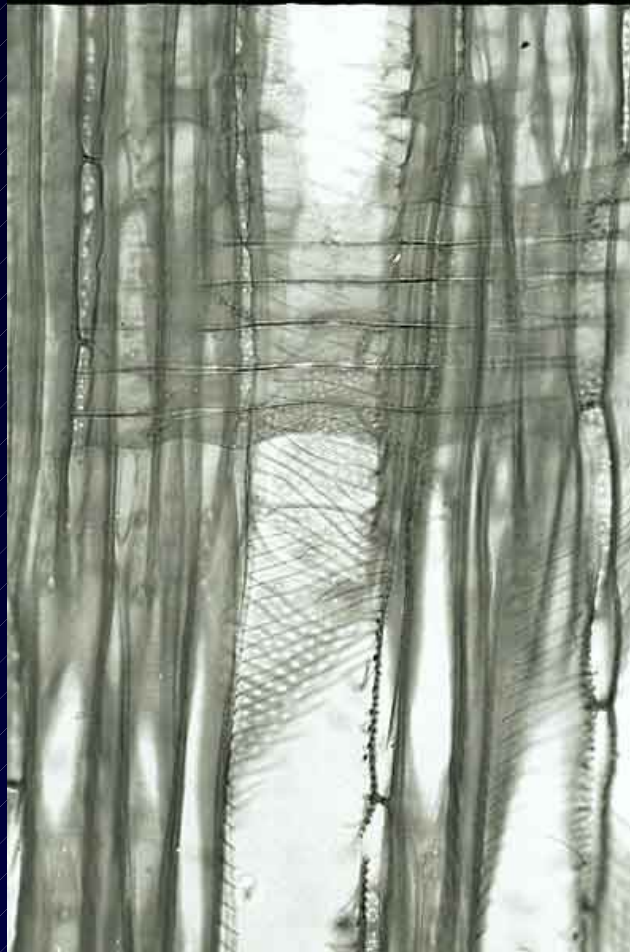
Présence d'épaississements spiralés bien marqués

Rayons étroits (2 à 4 cellules d'épaisseur) homogènes, perforations simples

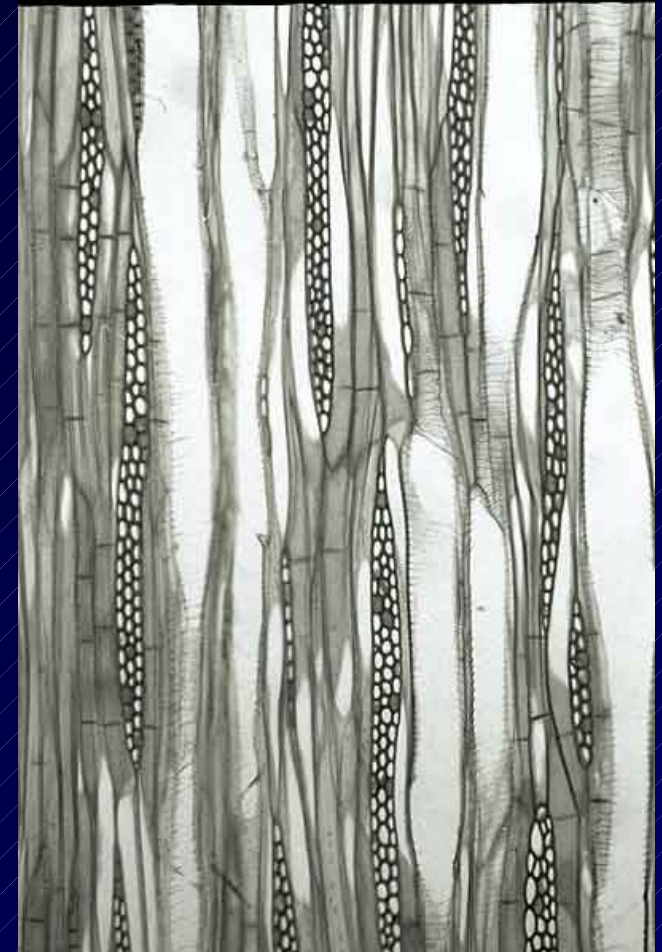
Coupe transversale



Coupe radiale



Coupe tangentielle



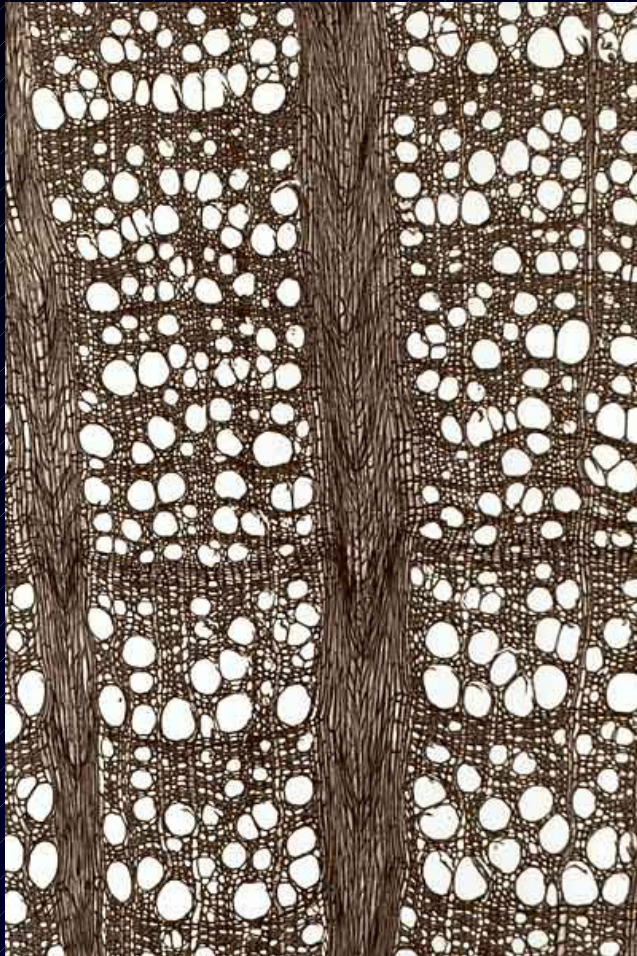
Fagus sylvatica

Bois hétéroxylé, à zone semi-poreuse ou à pores diffus

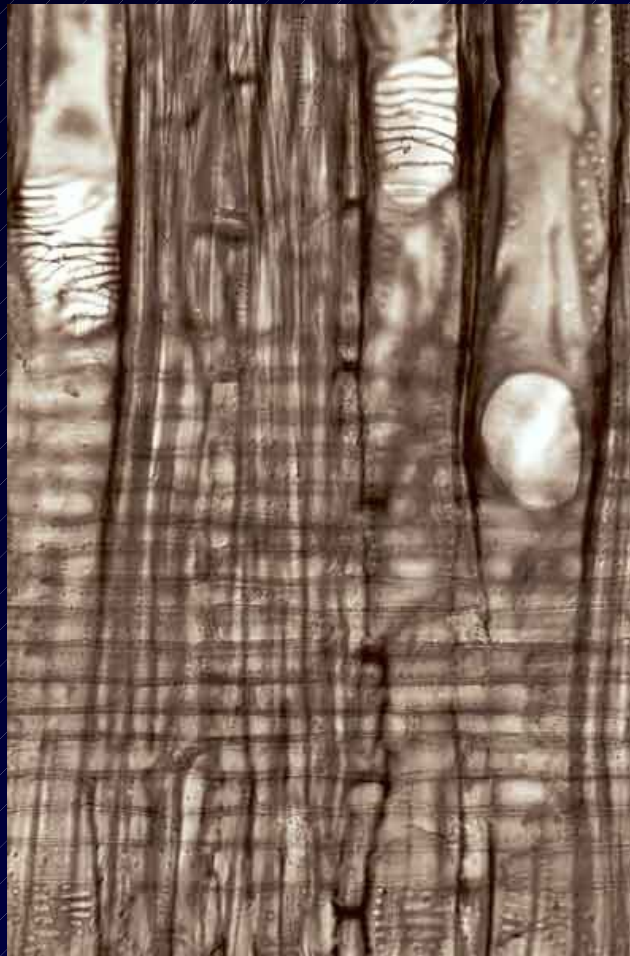
Absence d'épaississements spiraux

Rayons étroits à très larges, perforations simples et scalariformes (rares)

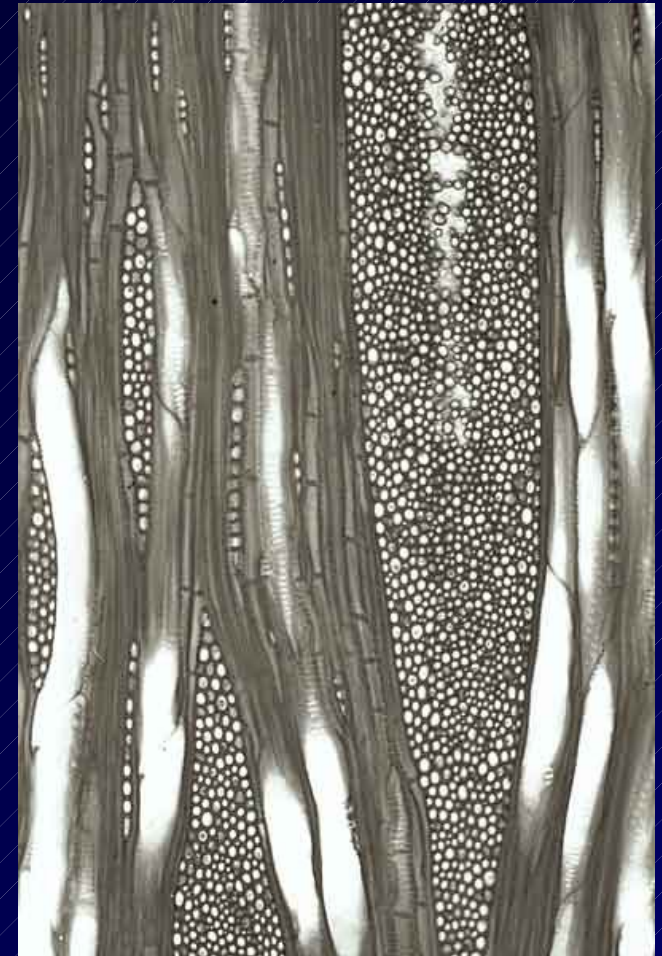
Coupe transversale



Coupe radiale



Coupe tangentielle



Carpinus betulus

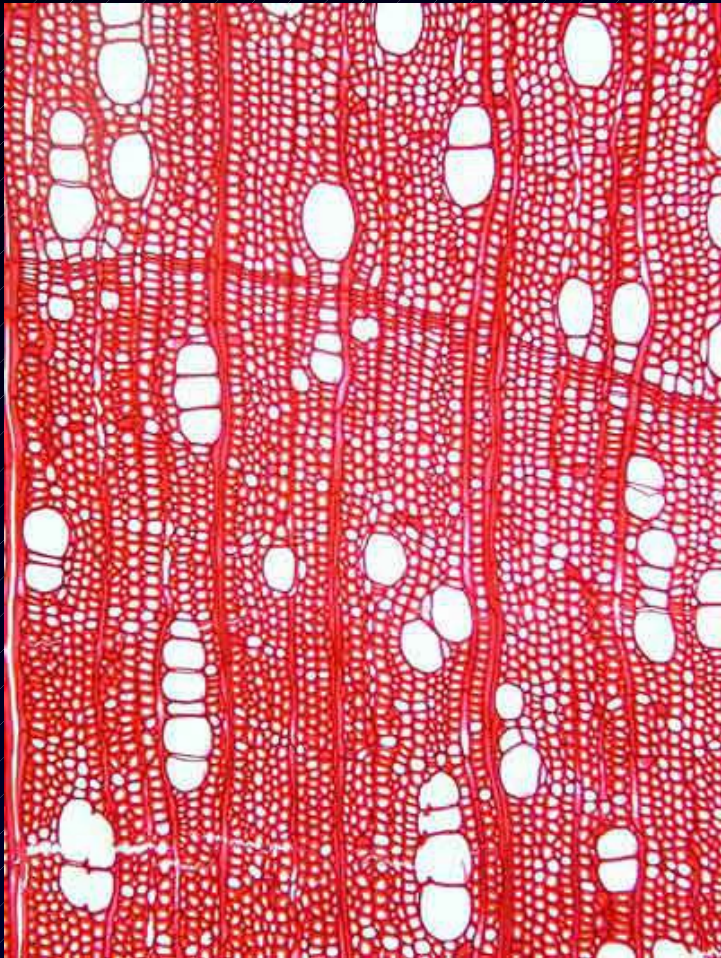
Bois hétéroxylé, à pores diffus

Pores du bois final groupés radialement ou un peu obliquement

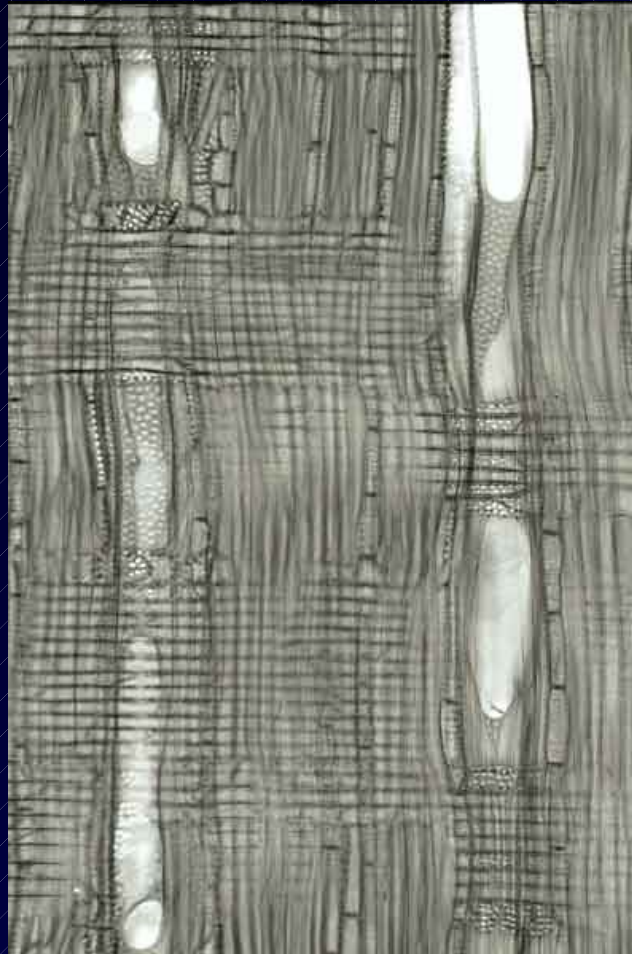
Présence d'épaississements spiralés

Rayons étroits, certains agrégés, perforations simples, fibres à parois minces

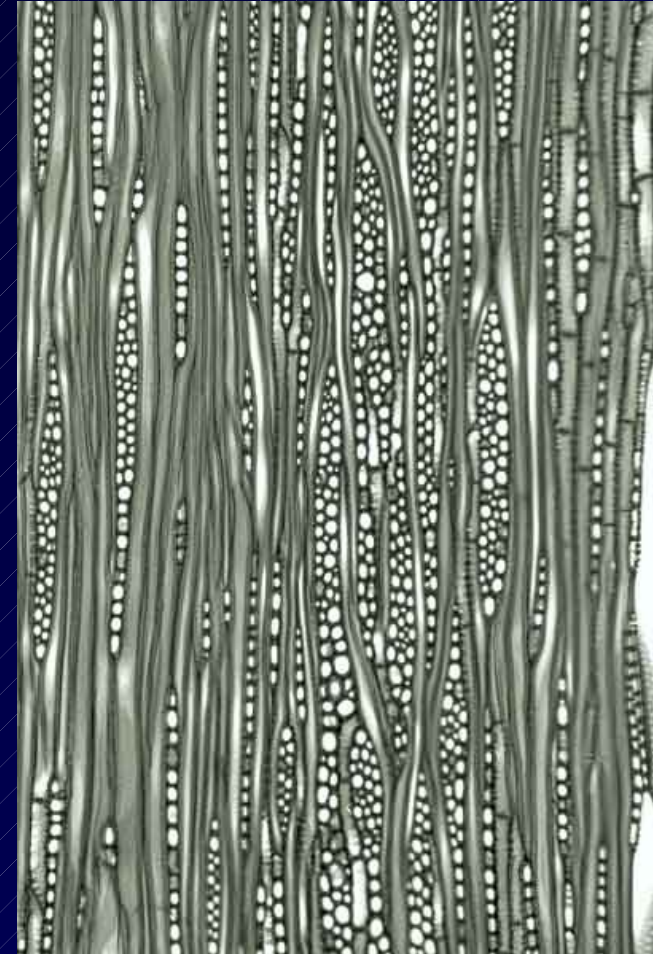
Coupe transversale



Coupe radiale



Coupe tangentielle



Rhamnus (Nerprun ou bourdaine)

Bois hétéroxylé, à pores diffus, disposés "en flammes"

Présence d'épaississements spirals

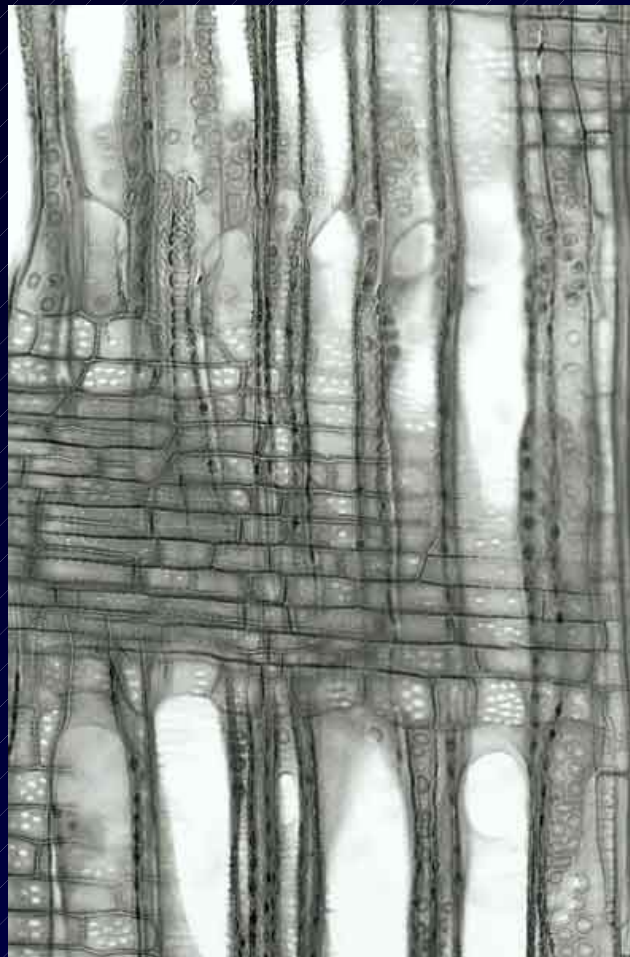
Rayons étroits et hétérogènes, le plus souvent bisériés

Ponctuations de champs moyennes, perforations simples

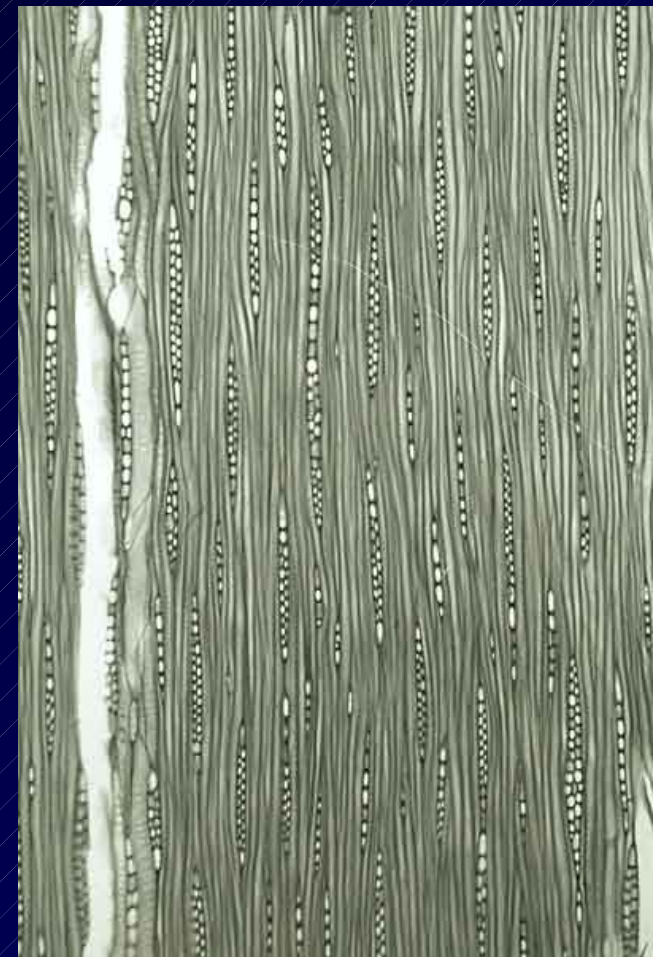
Coupe transversale



Coupe radiale



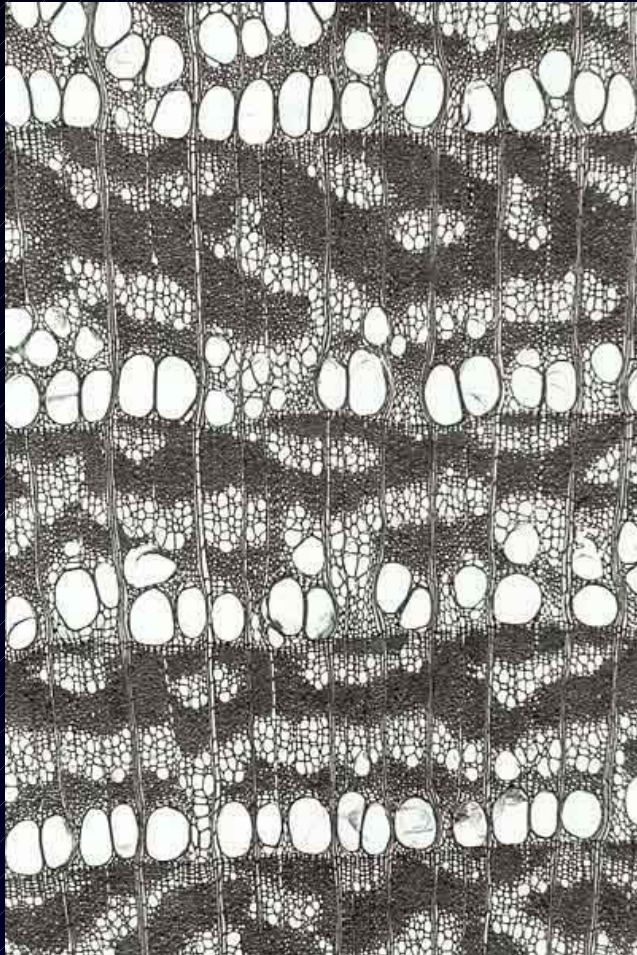
Coupe tangentielle



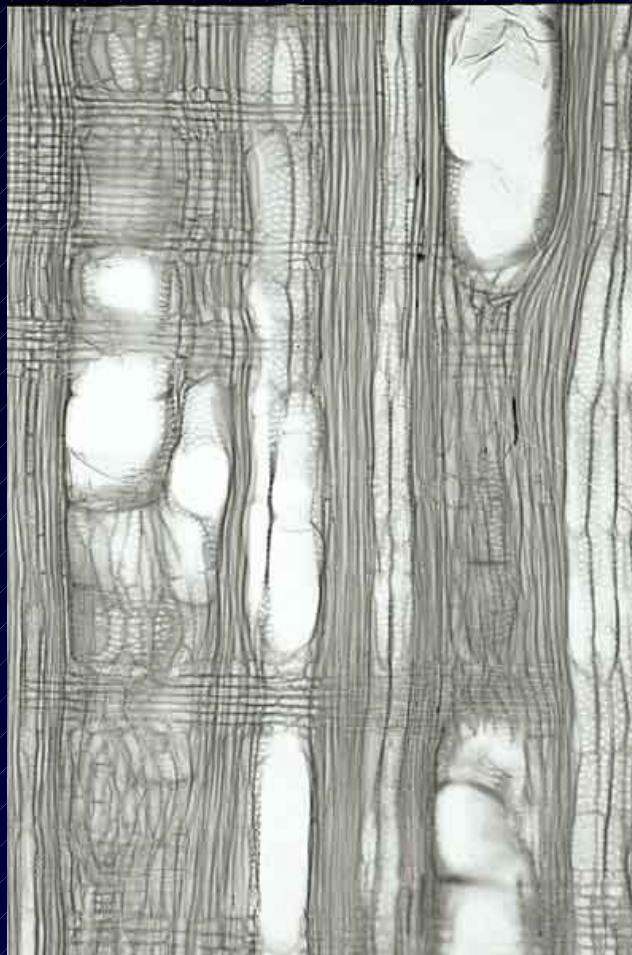
Ulmus campestris

Bois hétéroxylé, à zone poreuse, présence d'épaississements spirals
Pores du bois final groupés tangentiellement ou un peu obliquement
Perforations simples
Rayons multisériés, peu larges à larges, homogènes ou peu hétérogènes

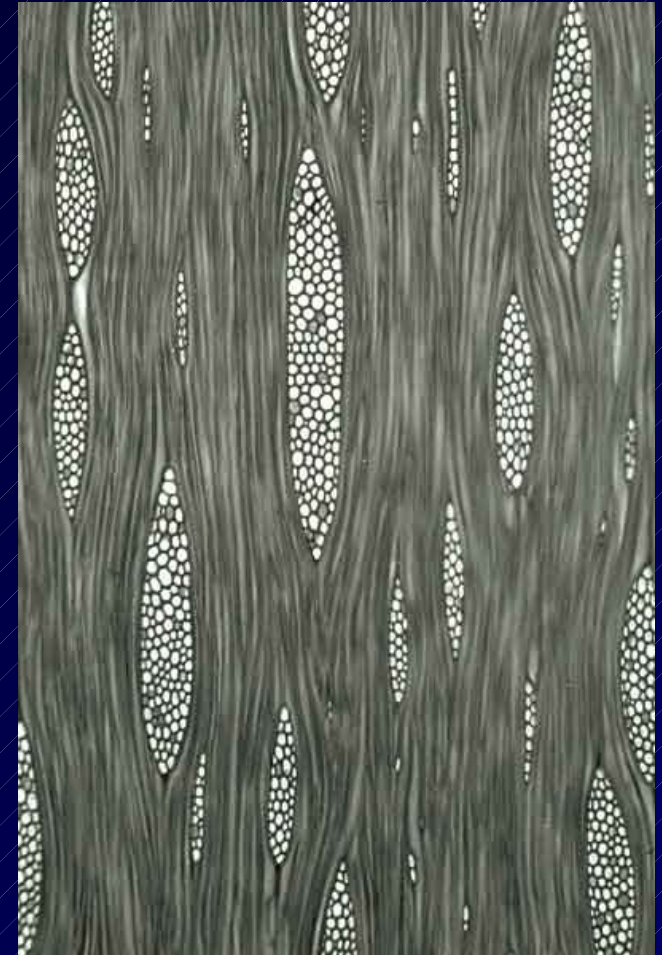
Coupe transversale



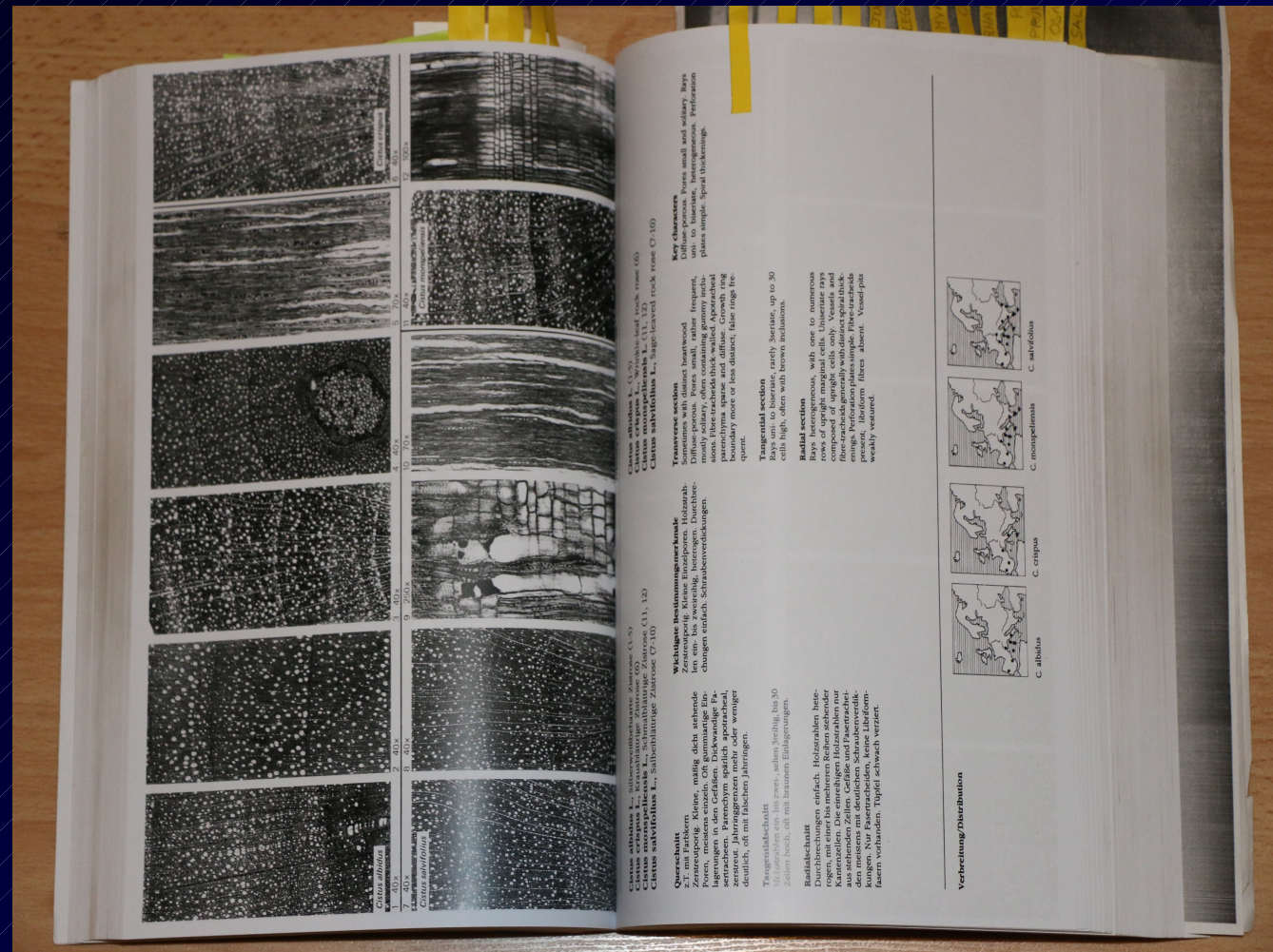
Coupe radiale



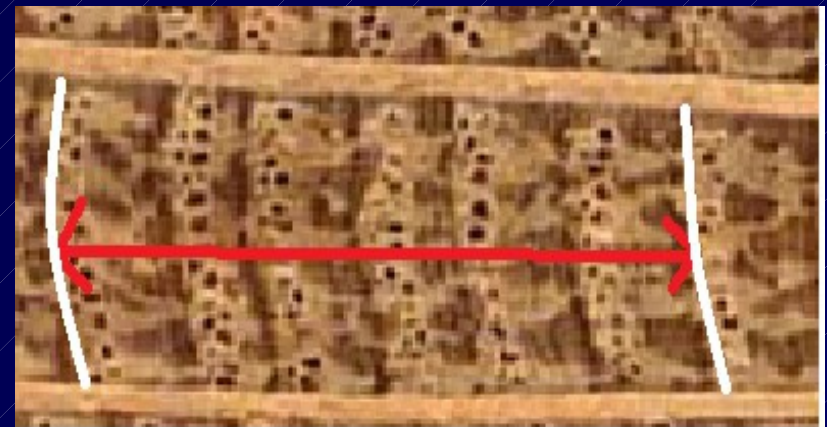
Coupe tangentielle



Utilisation de clé de détermination et d'atlas d'anatomie du bois (ex. Anatomy of European woods, Schweingruber, 2011)



1.3 Autres critères anatomiques à prendre en compte pour les interprétations archéologiques et paléoécologiques



1.3 Autres critères anatomiques pris en compte

L'identification des critères vus jusqu'ici permet de déterminer les taxons. Il existe d'autres critères apportant des informations sur les **contextes de croissances** des arbres, sur les **techniques de découpe**, de **gestions forestières éventuelles** ou sur les **types de combustion...**

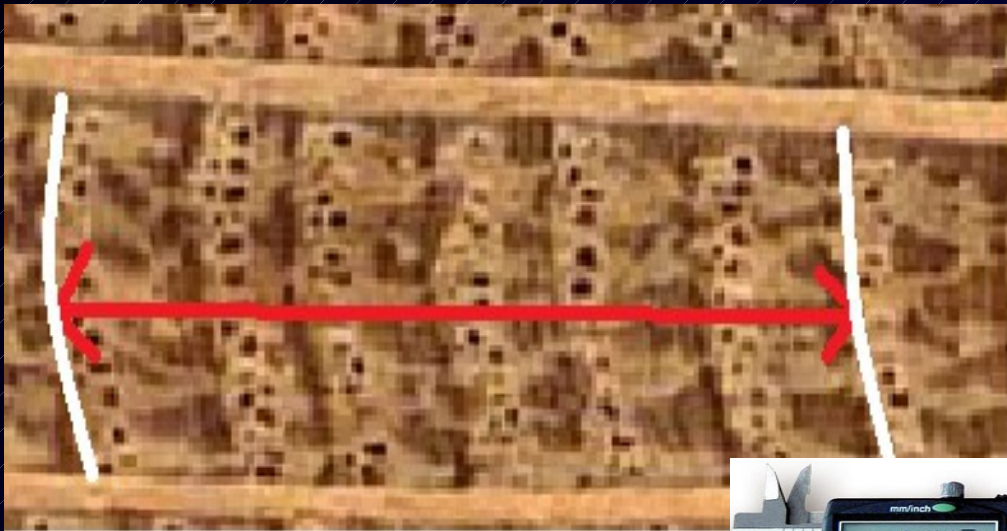
Critères anatomiques abordés :

- les largeurs moyennes de cernes,
- les courbures de cernes
- la calibration (mesure des angles) : estimation du diamètre
- occurrence de thylls (bois de cœur),
- traces de découpes,
- traces d'insectes,
- aspects des charbons (luisant, dur, fendu).

1.3.1 Les largeurs moyennes de cernes

But : Estimer les contextes de croissance des arbres (denses ou clairs)

Mesure sous binoculaire de la largeur radiale d'une série de cernes :



Exemple : Une largeur correspondant à 6 cernes



Ces mesures de largeur de cernes doivent être réalisées sur des bois de croissance régulière (cernes d'environ même largeur) et de courbure faible (bois de tronc, croissance de l'arbre adulte).

1.3.1 Les largeurs moyennes de cernes

Les moyennes de largeurs de cernes sont un indicateur des conditions de croissance des arbres.

La croissance des arbres dépend pour partie :

- **d'effets génétiques** : chaque espèce produit un calibre maximum (ex. bois de bruyère / chêne) ,
vieillessement : les jeunes arbres ont une croissance + dynamique ->



- **de facteurs abiotiques** :

CLIMAT (lumière, température, précipitations, vent)

SOL (roche mère, nutriments, épaisseur, structure et texture)

- **de facteurs biotiques** :

DOMMAGES MECANIKQUES ET/OU CHIMIQUES (parasites, pâturage, feu)

COMPETITION inter et intra-spécifique par rapport aux ressources (lumière, nutriments)

1.3.1 Les largeurs moyennes de cernes

Le plus souvent les résultats de largeurs moyennes de cernes sont interprétés en termes de compétition vis-à-vis des ressources en lumière et sels minéraux (facteurs abiotiques).

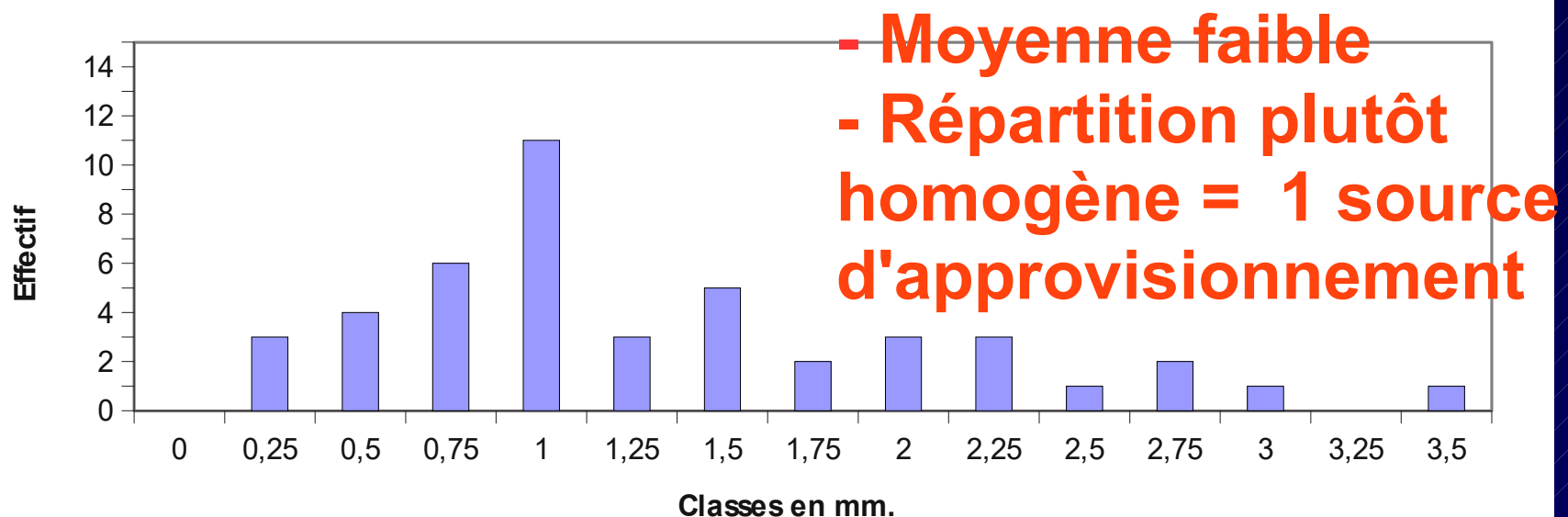
- des largeurs de cernes « étroites » (**1 à 1,5 mm / an**) correspondent à des croissances dans des milieux denses (forte compétition) ou contraignants (sols pauvres).
- des largeurs de cernes larges, à des boisements plutôt ouverts (ex. forêt ONF actuelle # **5 mm / an**)

1.3.1 Les largeurs moyennes de cernes

Lorsque ces mesures de largeurs de cernes peuvent être réalisées sur un effectif suffisant ($N = 30$ minimum), il est possible de réaliser des statistiques de base (Moy. Ec-Type) et un histogramme :

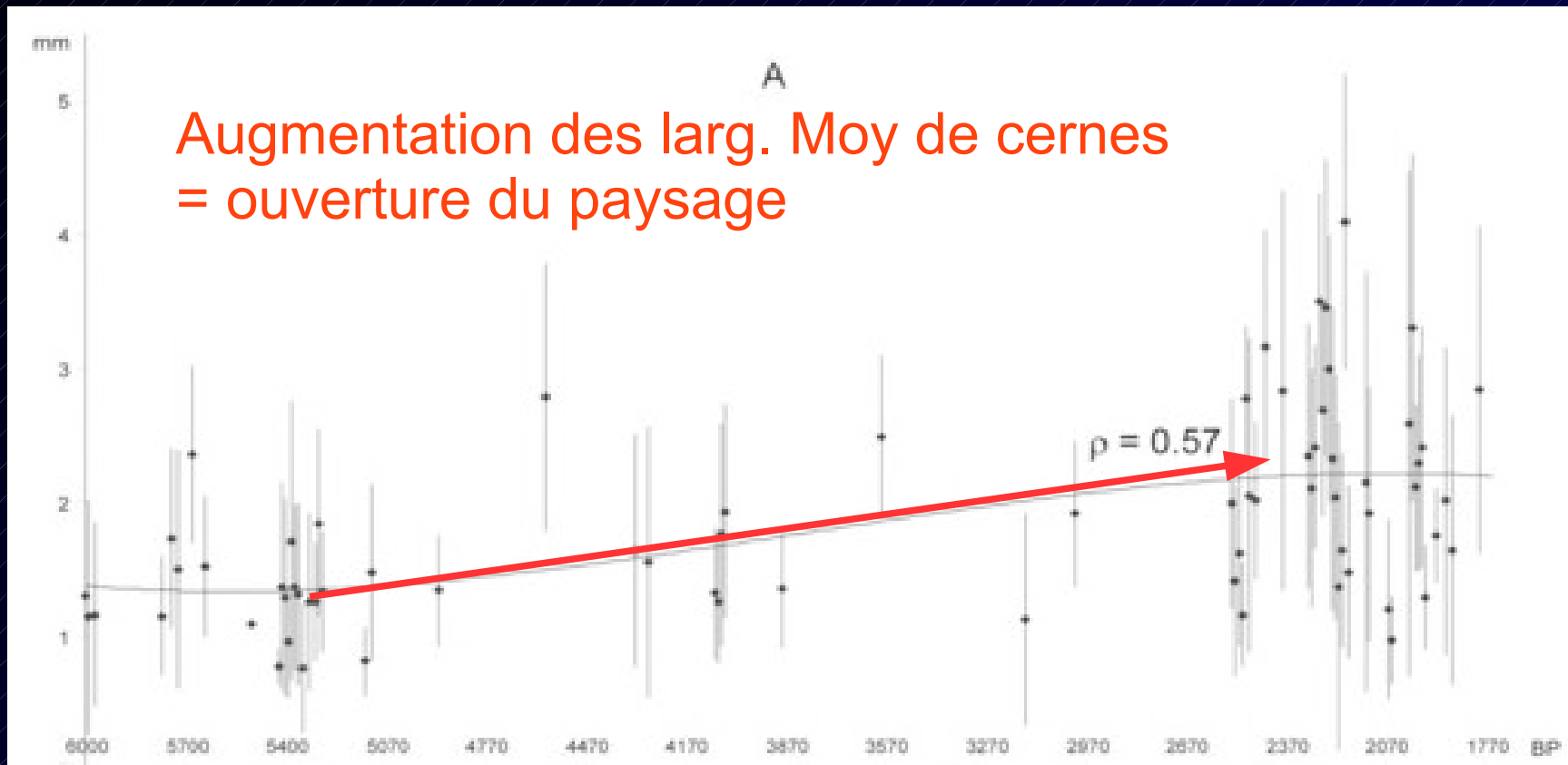
Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	45	192	1.45	0.78	0.35	3.64

Répartition des effectifs des charbons de chêne ayant livré des largeurs moyennes de cernes par classe de 0,25mm pour le fait 105.



1.3.1 Les largeurs moyennes de cernes

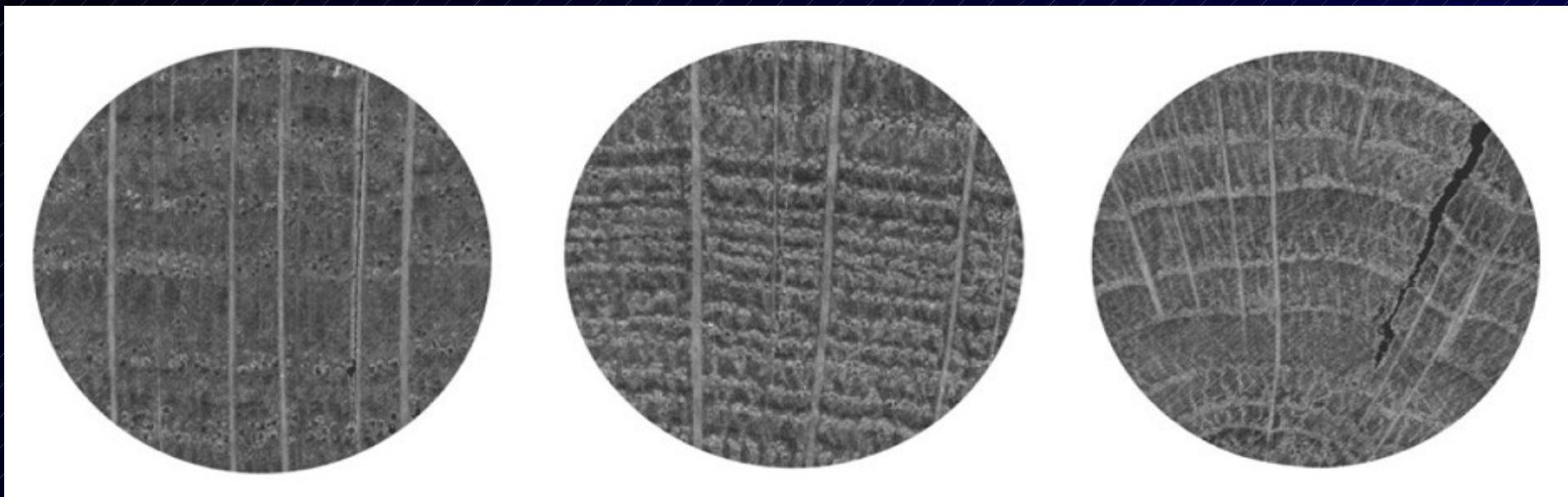
Plusieurs études en diachronie peuvent permettre de mettre en évidence une augmentation des largeurs moyennes de cernes et probablement liée à l'ouverture du paysage.



Exemple : évolution des largeurs moyennes de cernes mesurées sur des études en Bretagne en fonction du temps (6000 à 2000 BP) extrait de Marguerie et Hunot, 2007.

1.3.2 Estimation du calibre des arbres

- Première approche : utilisation de « catégories » de courbure des cernes



FAIBLE

INTERMEDIAIRE

FORTE

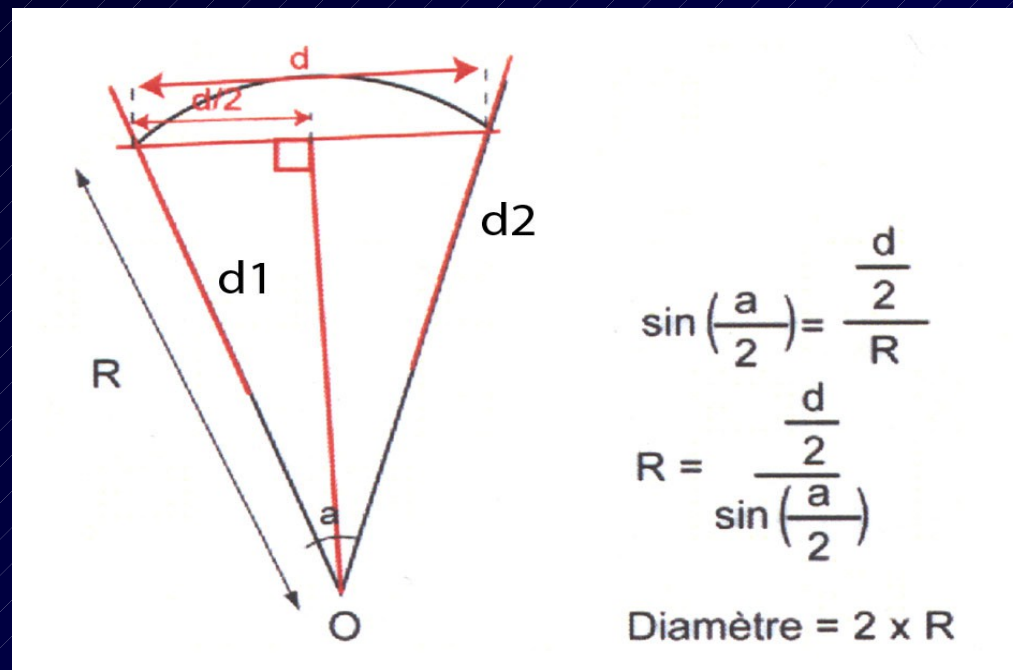
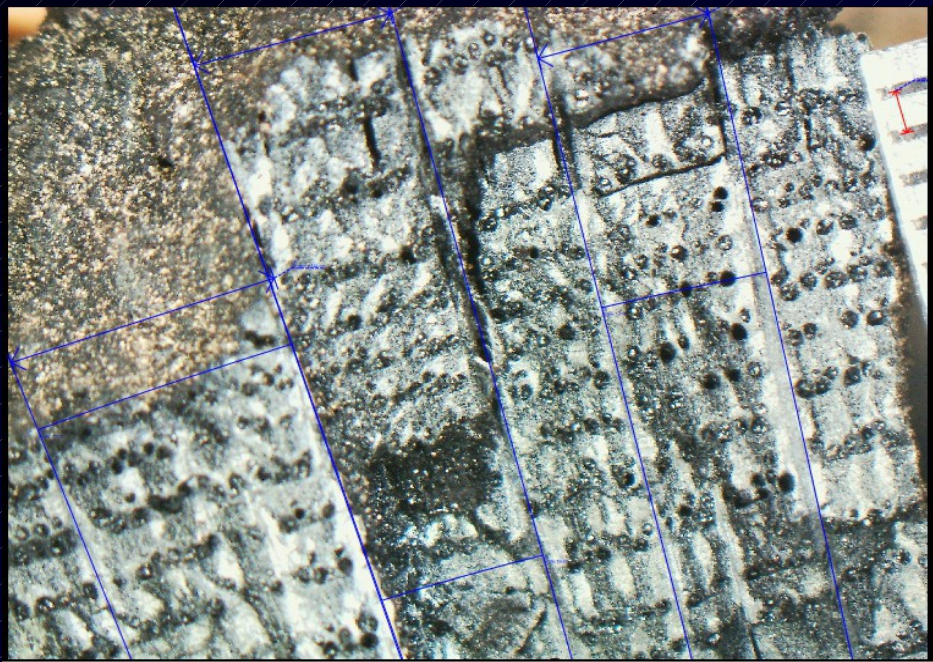
Consiste à classer la courbure selon 3 catégories :

- **Faible** : charbon provenant d'un bois de gros calibre (tronc)
- **Intermédiaire** : grosse branche, partie interne du tronc
- **Forte** : provenance depuis une branche, partie centrale du tronc

1.3.2 Estimation du calibre des arbres

- Seconde approche : Calibration : mesure des angles formés par les rayons ligneux

- Nécessite un logiciel d'analyse d'images depuis une bino
- Sur un charbon il est possible de mesurer :
 - l'angle formé par deux rayons (a)
 - la distance (d) entre les deux rayons sur l'extérieur



$$\sin\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{\frac{d}{2}}{R}$$

$$R = \frac{\frac{d}{2}}{\sin\left(\frac{a}{2}\right)}$$

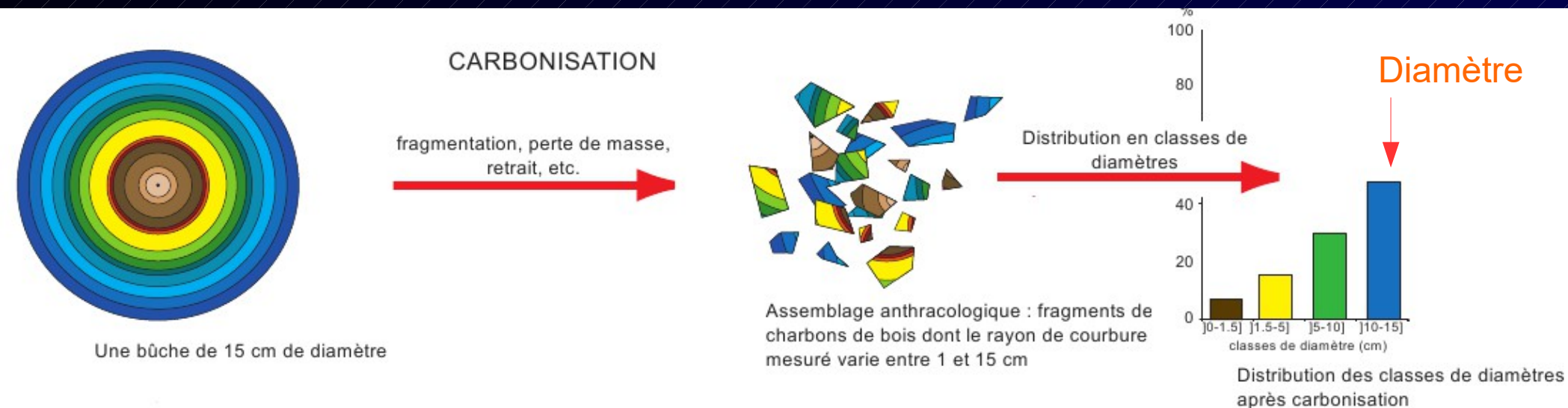
$$\text{Diamètre} = 2 \times R$$

On peut ainsi estimer la position radiale du charbon dans le tronc.
Mais ce n'est pas le diamètre de l'arbre !

1.3.2 Estimation du calibre des arbres

- Seconde approche : Calibration : mesure des angles formés par les rayons ligneux

→ l'opération est renouvelée pour l'ensemble du lot, on obtient ainsi un panel de rayons à comparer à une distribution théorique :

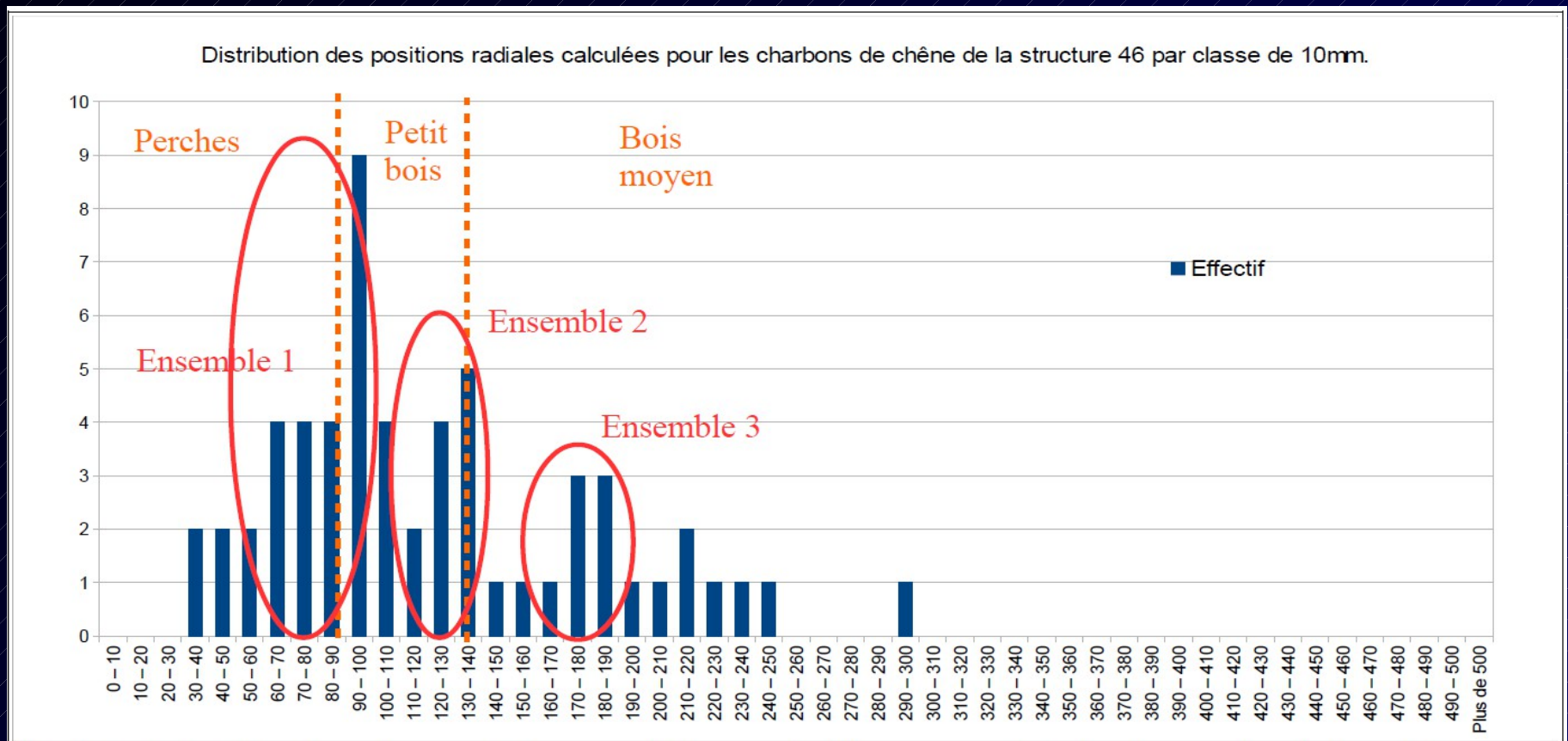


→ Lorsque la distribution en classes de rayons (ou diamètres) présente une répartition semblable (« en escalier »), il est possible d'isoler des arbres et leur diamètre minimum (en bleu)

1.3.2 Estimation du calibre des arbres

- Seconde approche : Calibration : mesure des angles formés par les rayons ligneux

→ Exemple : étude de calibration sur des charbons retrouvés dans le comblement d'une fosse (N = 59), Grentheville (14)



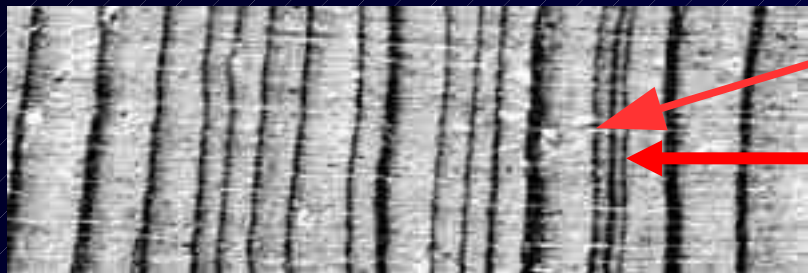
→ 3 ensembles correspondant à des bois de 20, 28 et 38cm de diamètre

1.3.3 le rythme de croissance : irrégularités

→ **correspond au rythme des croissances radiales (ou largeurs de cerne) année après année.**

Perturbations possibles :

- coupes réalisées sur l'arbre (ex. coupes lors de traitements en taillis-sous-futaies et émondages sur les ragosses),
- aléas climatiques (ex. années de sécheresse, année de pluie, inondations..).

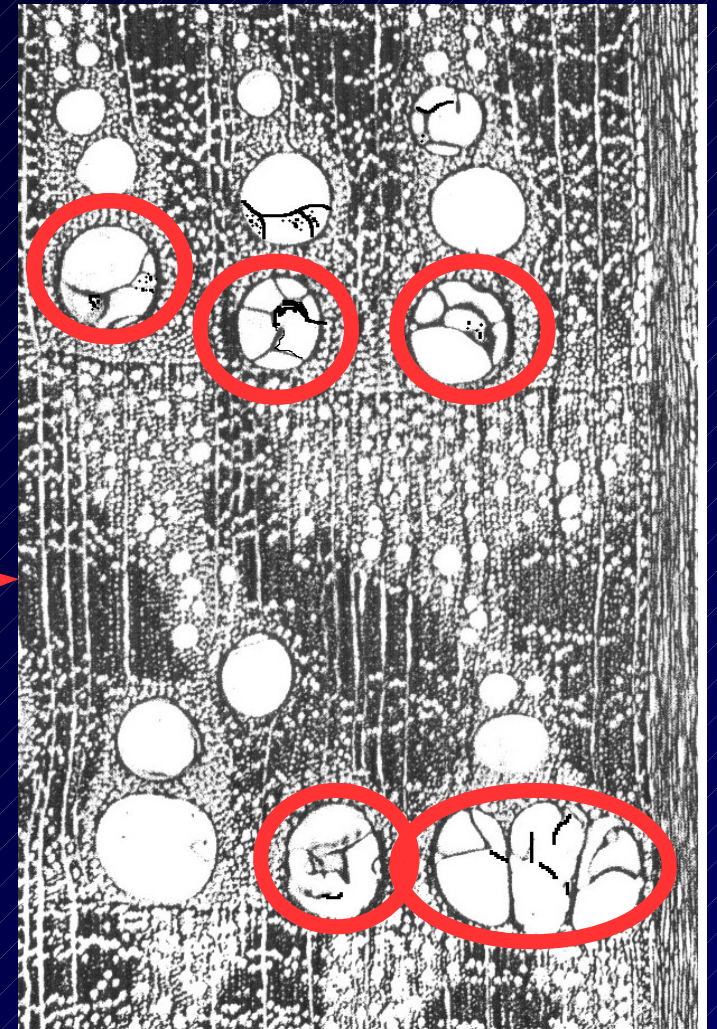
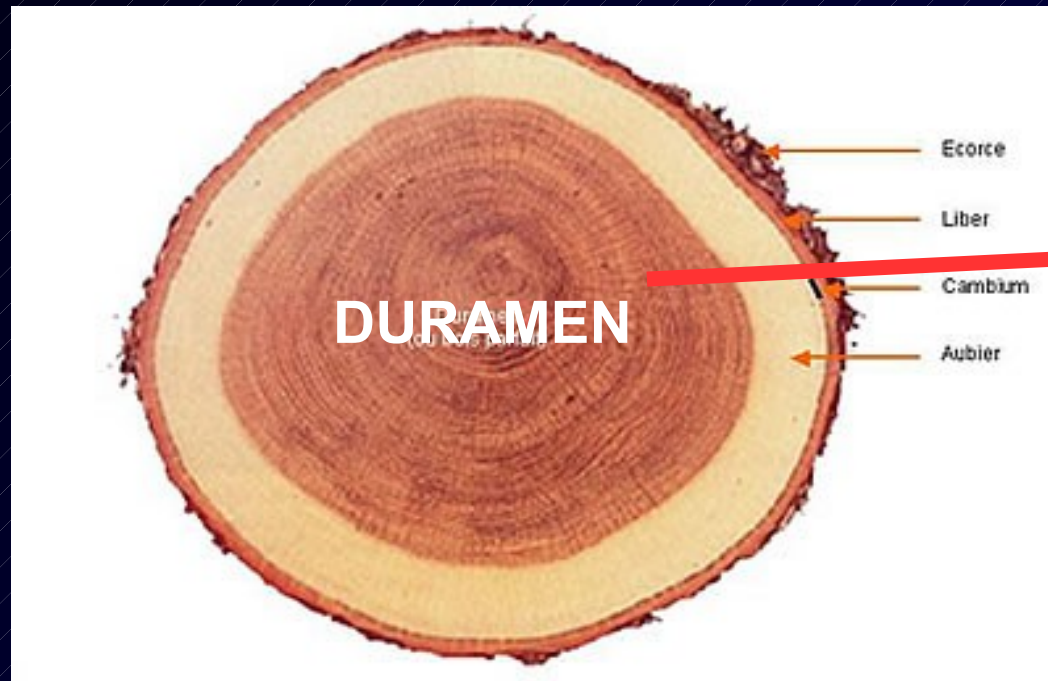


Ce sont ces aléas qui forment parfois les années «caractéristiques» précieuses aux dendrochronologues.

1.3.4 la présence de thylles

→ Les thylles sont des extensions de cellules parenchymateuses qui vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans **le duramen (ou bois de cœur des arbres)**.

Elles reflètent l'emploi de bois âgés.



1.3.5 la présence ou l'absence d'écorce et/ou de moelle.

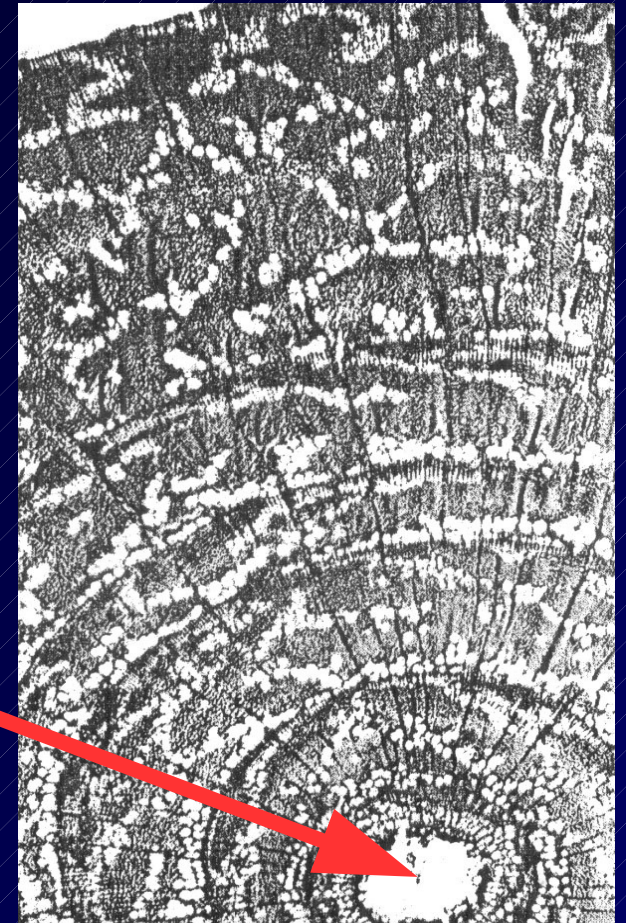
→ Sur les charbons portant à la fois de l'écorce et de la moelle il est possible de mesurer un rayon complet et donc d'estimer précisément le calibre de la tige.

Cas des petites branches.

La moelle correspond à un tissu peu structuré, situé au centre du tronc ou de la branche.

Moelle

Exemple d'une coupe de Genista (genêt) :



1.3.6 les traces de galeries

→ les traces de galeries laissées par les insectes xylophages.

Ces traces sont plutôt **un indicateur de bois d'œuvre ou bois mort.**

Les insectes s'attaquent généralement à l'aubier.

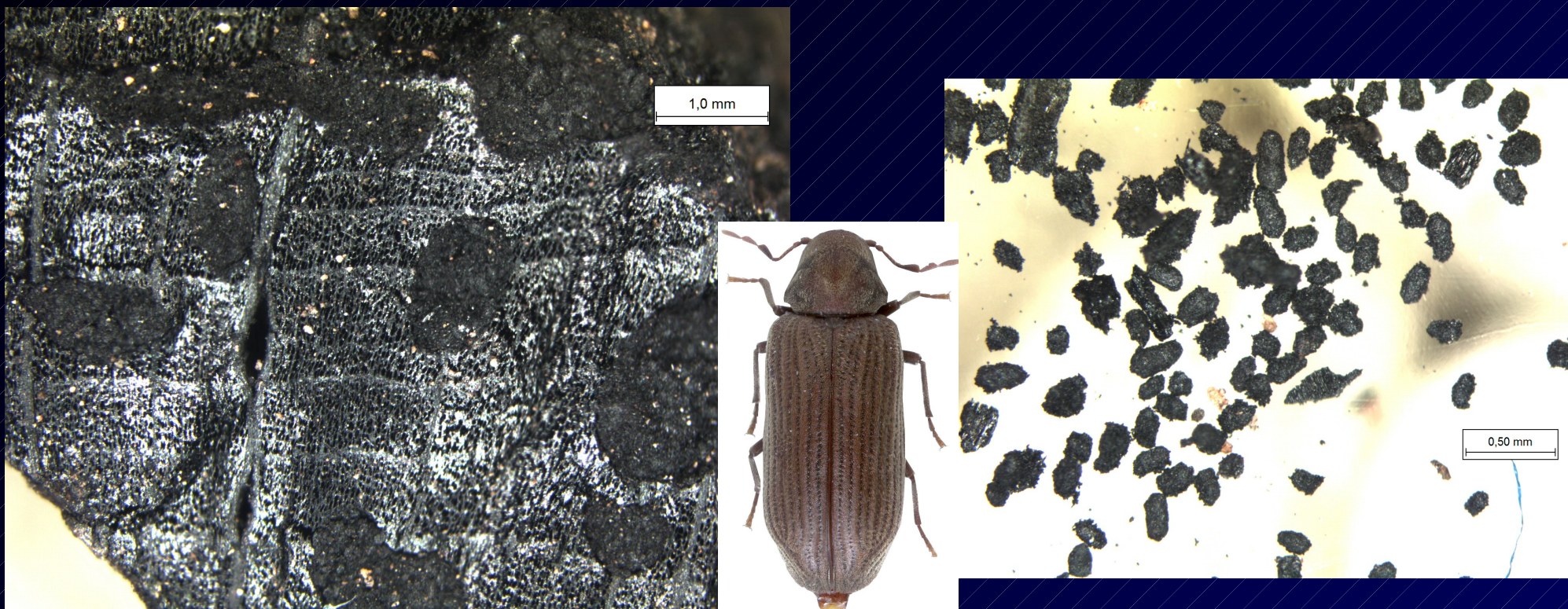


Aubier

Duramen

1.3.6 les traces de galeries

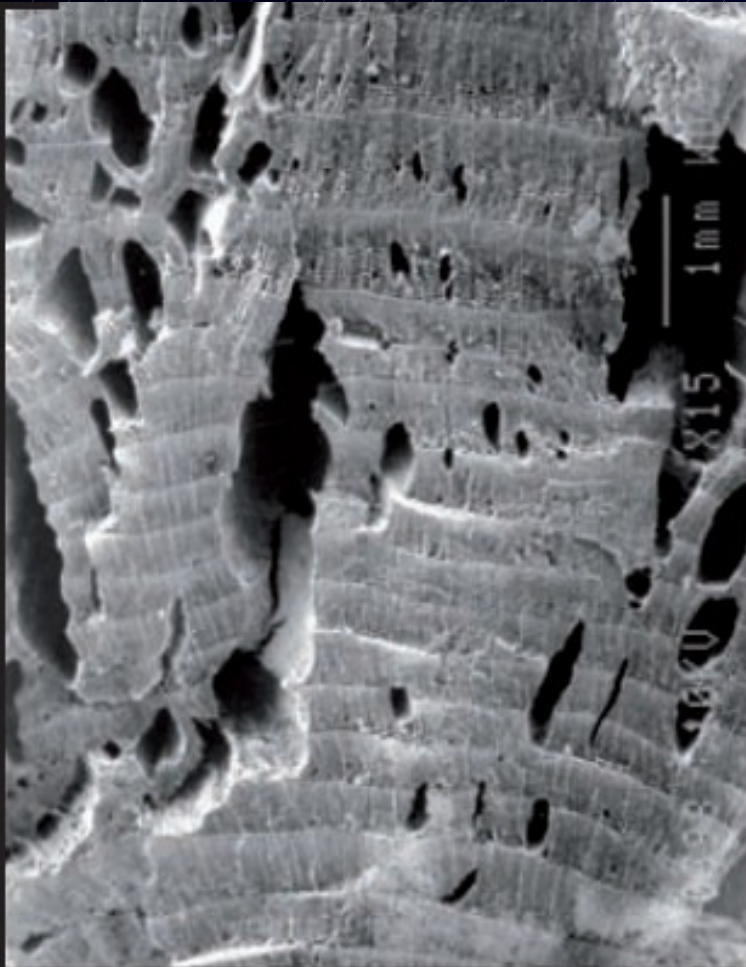
→ Il est parfois possible d'identifier la « petite vrillette » (*Anobium punctatum*) en étudiant le contenu des vermoulures (« cacahuètes de forme « fusiforme »).



→ Elle consomme l'aubier des résineux et feuillus : aulne, bouleau, noyer, pin, peuplier, châtaignier et sapin. Plus rarement le chêne. Elle vit « près » de l'homme et est rare dans la nature. Bon indicateur de bois d'œuvre.

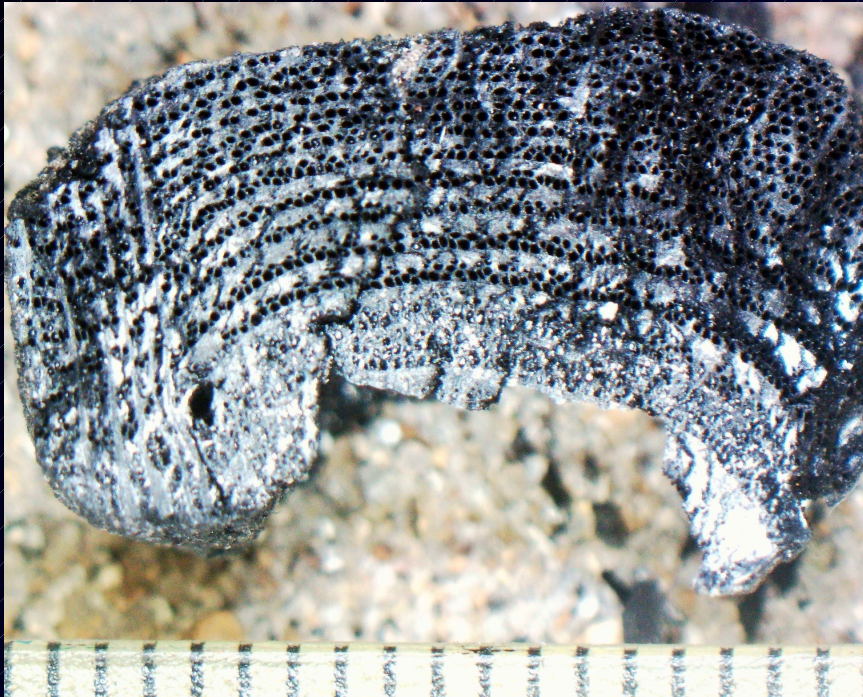
1.3.7 le type de combustion

→ Pour qualifier le type de combustion il faut s'intéresser à l'aspect du charbon :



- **aspect « fendu »** : identification de fentes de retrait du bois, favorisées lorsque le bois est brûlé à l'état **vert ou humide**

1.3.7 le type de combustion



- **aspect « dur / luisant »** : c'est la conséquence de conditions spécifiques de combustion. Des conditions réductrices (contexte anaérobie) et hautes températures favoriseraient des phénomènes complexes de « **vitrification** ». (ex. fours, fonds de foyers, bas-fourneaux)

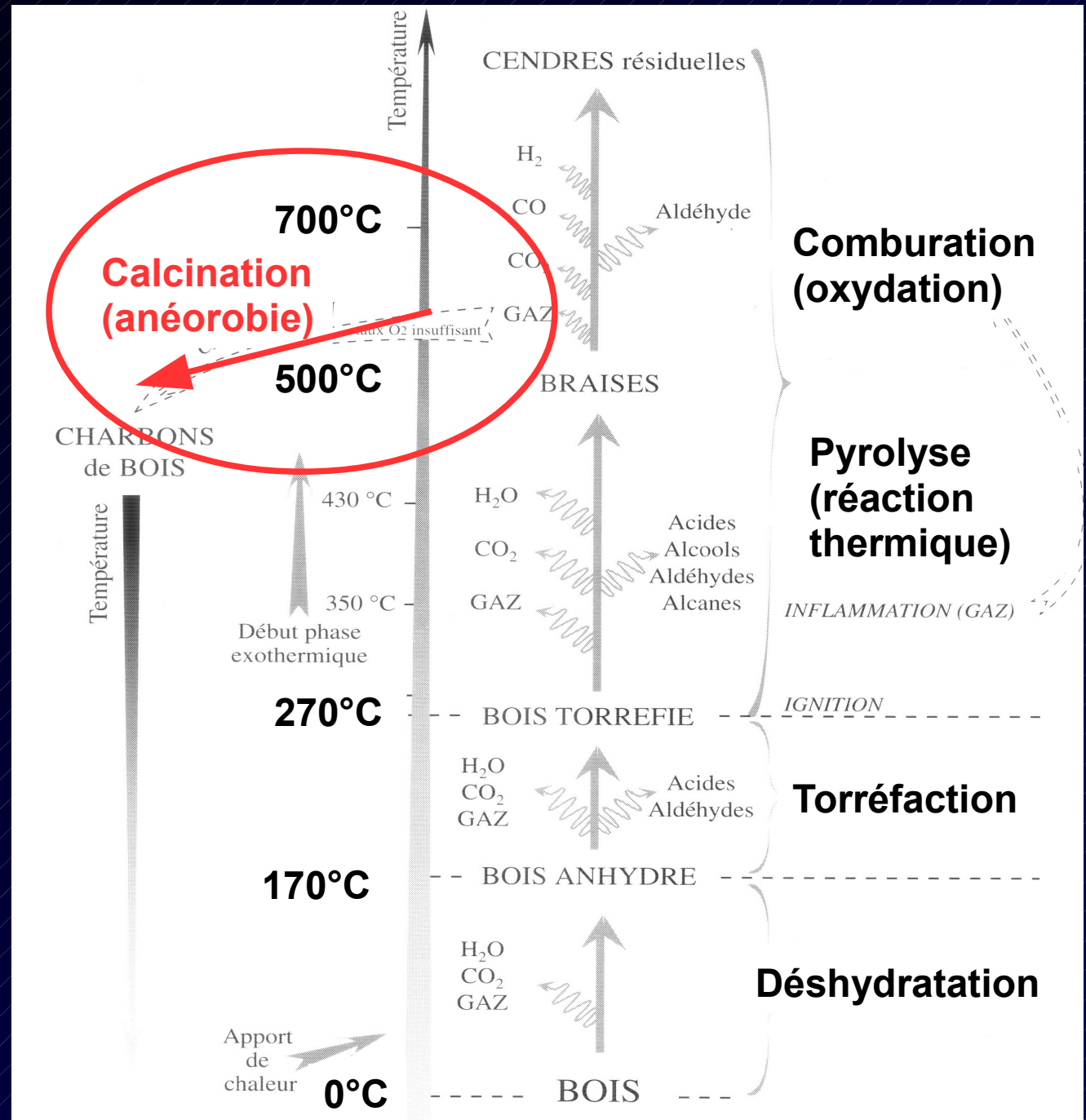
- **aspect « fendu / luisant »** : combinaison des 2

→ certains charbons montrent parfois un aspect fondu luisant en rapport avec le phénomène de **calcination** (ex. charbonnage ?)

1.3.7 le type de combustion

Etapes de la combustion :

Pour rappel : principe du charbonnage :
Combustion à haute température dans un milieu anaérobie : recombinaison du monoxyde de carbone.
la Calcination (cas des meules de charbonnage).



1.3.7 le type de combustion

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)
- Images de meules charbonnières récentes (XXe)



En coupe

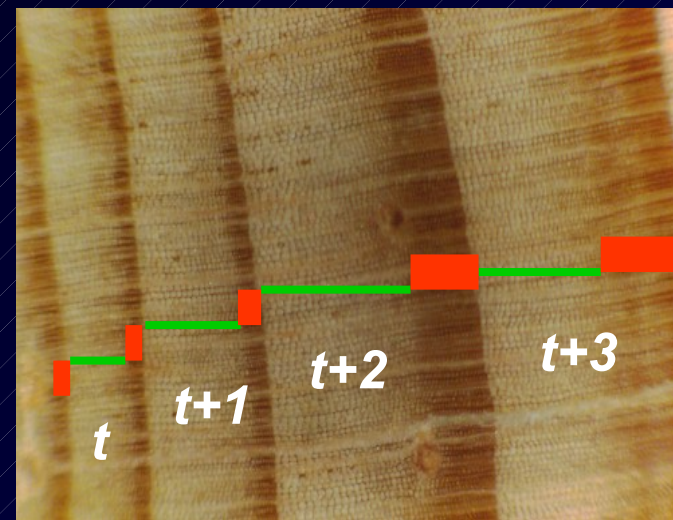


1.3.8 la saison d'abattage

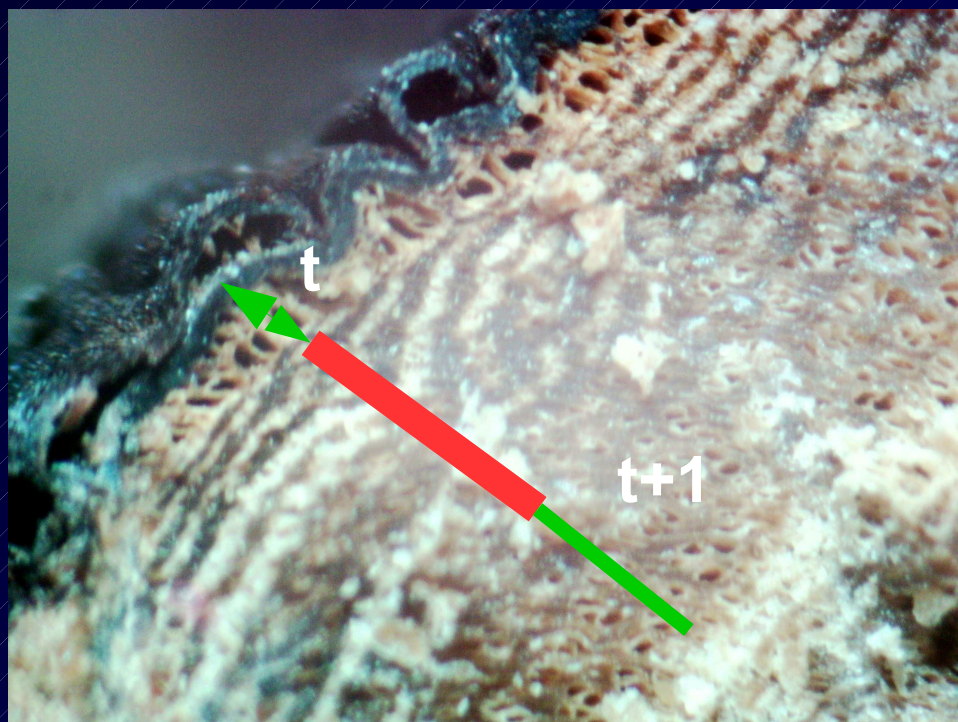
→ est repérable lorsque le dernier cerne est identifié.

Rappel : Sur chaque cerne on distingue le bois initial et le bois final : cf. image.

Si le bois initial (bois de printemps : vert) est présent mais pas le bois final (ou bois d'été), c'est que l'abattage a eu au printemps, sinon en automne-hiver.



**Dans cet exemple le dernier cerne ne présente que le bois initial et pas de bois final :
Le bois a été abattu au printemps**



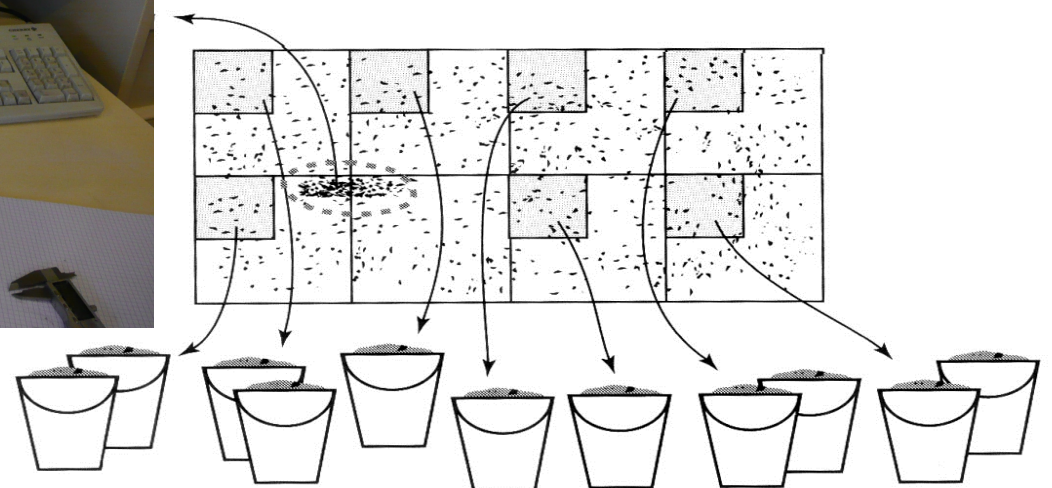
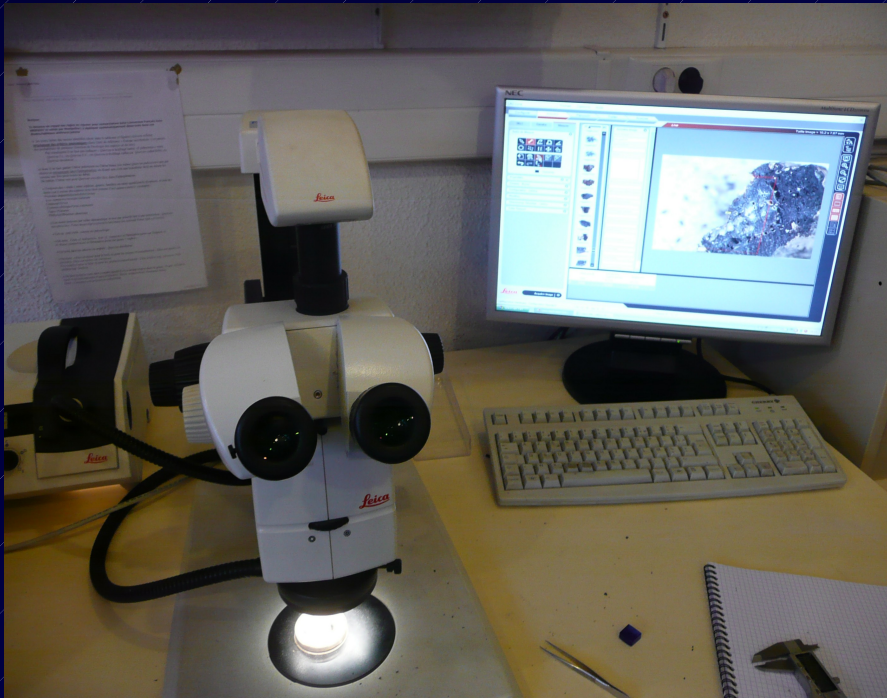
1.3.9 Indices d'ordre technique

L'anthracologie peut aussi apporter des informations d'ordre ethnographiques :

→ Exemples :

- choix des essences destinées au bois d'œuvre (charpentes, planchers, huisseries, choix de combustible ex. fours de potiers gallo-romain : le hêtre pour la flamme, percuteurs en buis pour tailler le silex...)
- choix dans l'artisanat des objets domestiques (emmanchements, récipients, meubles, arcs en if...)
- la calibration peut renseigner sur les choix des calibres des arbres abattus, sur la gestion forestière (futaies, taillis)
- sur les techniques de travail et de débitage du bois (traces de découpes)

1.4 La démarche méthodologique



échantillonnage par quarts de mètres carrés

1.4 La méthodologie de l'anthracologie

Rappel : Le déroulement méthodologique s'articule autour de 8 étapes :

1. Prélèvement
2. Tamisage
3. Positionner le fragment dans l'espace :
- plan transversal, radial, tangentiel
4. Faire des cassures pour rafraîchir les plans de coupe et ainsi pouvoir observer les critères anatomiques
5. Observation de critères anatomiques de détermination : déterminer les taxons (espèces végétales)
6. Réalisation de mesures dendrologiques :
ex. aspects, calibres, largeurs de cernes...
7. Utilisation d'outils statistiques comme aide à l'interprétation :
ex. courbe effort-rendement, indice de concentration de Pareto, ...
8. Interprétation en termes paléo-paysagers et paléo-ethnographiques



1.4 La méthodologie de l'anthracologie

- Les prélèvements :

2 stratégies de prélèvement :

- l'étude « des concentrations de charbons »,
- l'étude « des charbons épars ».

Le plus souvent l'anthracologue est appelé après prélèvement et ce sont les concentrations de charbons qui sont tamisées et fournies.

Mais il existe aussi l'étude des « charbons épars » consiste à faire des prélèvements dans toutes les parties d'un site. Mais cela nécessite la mise en place d'une stratégie de prélèvement en amont de la fouille.

1.4 La méthodologie

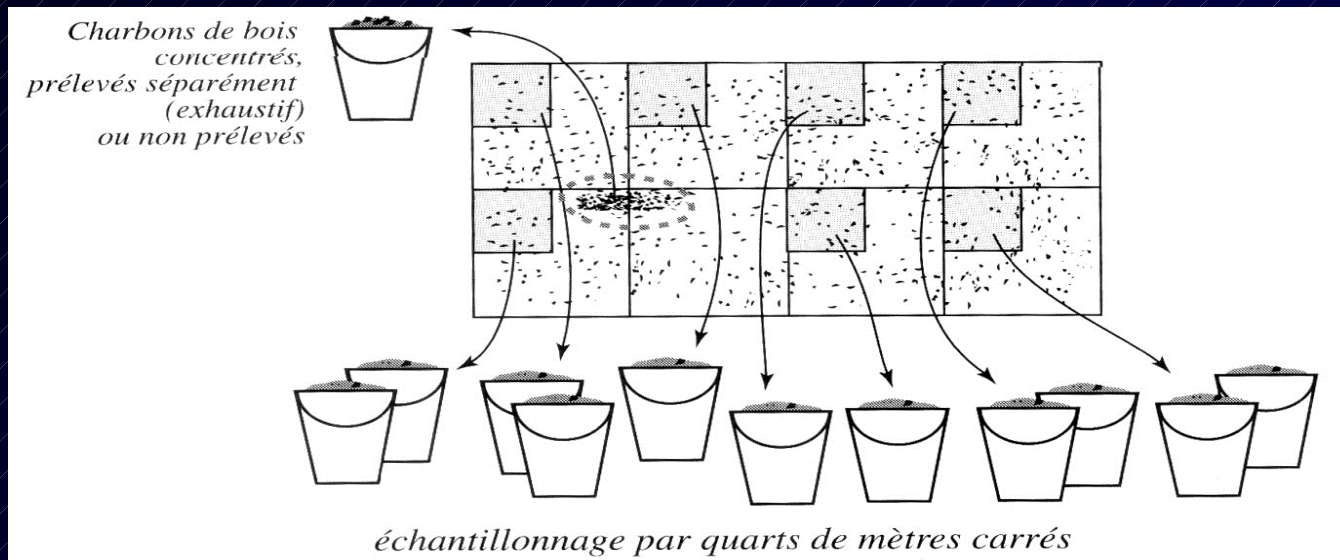
- Les prélèvements :

l'étude des concentrations :

→ prélèvement de l'ensemble des charbons de la concentration pour une étude exhaustive (ex. foyer entier)

l'étude des charbons épars :

→ prélèvements par quarts de mètres carrés répartis de façon régulière ou aléatoire sur le site archéologique.



1.4 La méthodologie de l'anthracologie

- Les prélèvements : Avantages / Inconvénients

- l'étude des concentrations

→ information de courte durée et une collecte localisée
(ex. la dernière combustion d'un foyer)

→ informations ethnographiques

(ex. car souvent associées à des foyers, structures artisanales)

- l'étude des charbons épars

→ information de + longue durée de collecte : charbons
correspondant potentiellement à toute la durée d'occupation du site

→ infos paléoenvironnementales

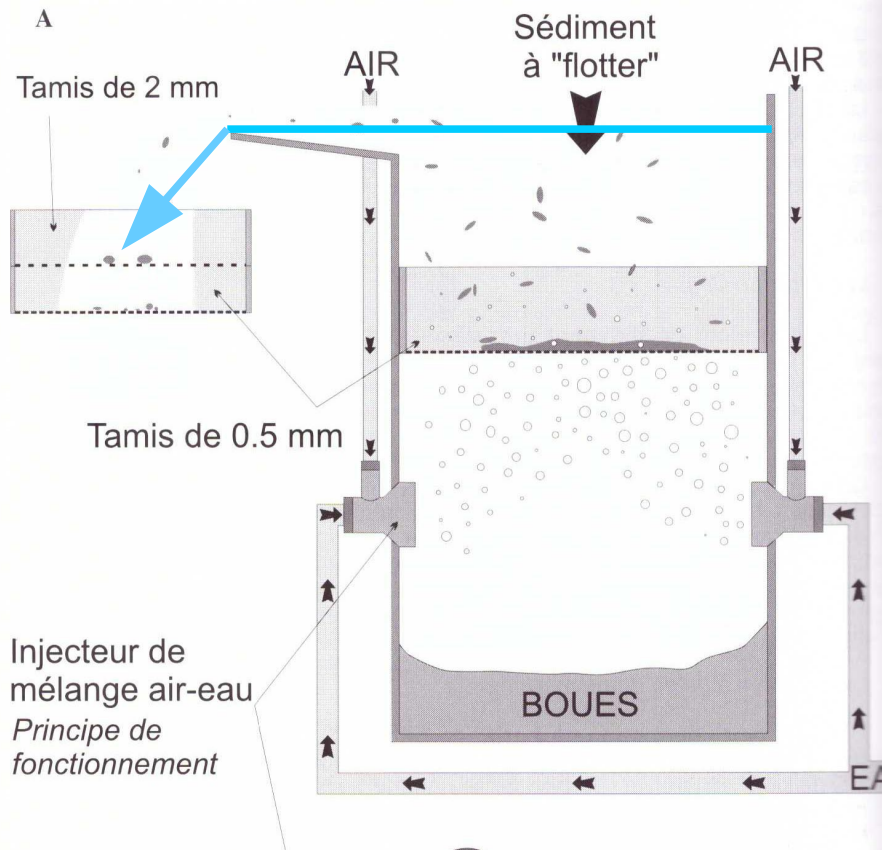
(ex. infos étendues à l'ensemble des aires de ramassage autour du
site = aire de collecte plus vaste et avec + de biodiversité)

1.4 La méthodologie de l'anthracologie

- Le tamisage

Le tamisage par « flottation » est le plus approprié :

Principe : on dépose le sédiment dans une cuve dans laquelle une agitation est créée par un courant simultané d'eau et d'air.



Le trop-plein d'eau et les restes archéobotaniques qui surnagent sont évacués sur une colonne de tamis (mailles de 0,5 mm, 2 voire 5 mm).

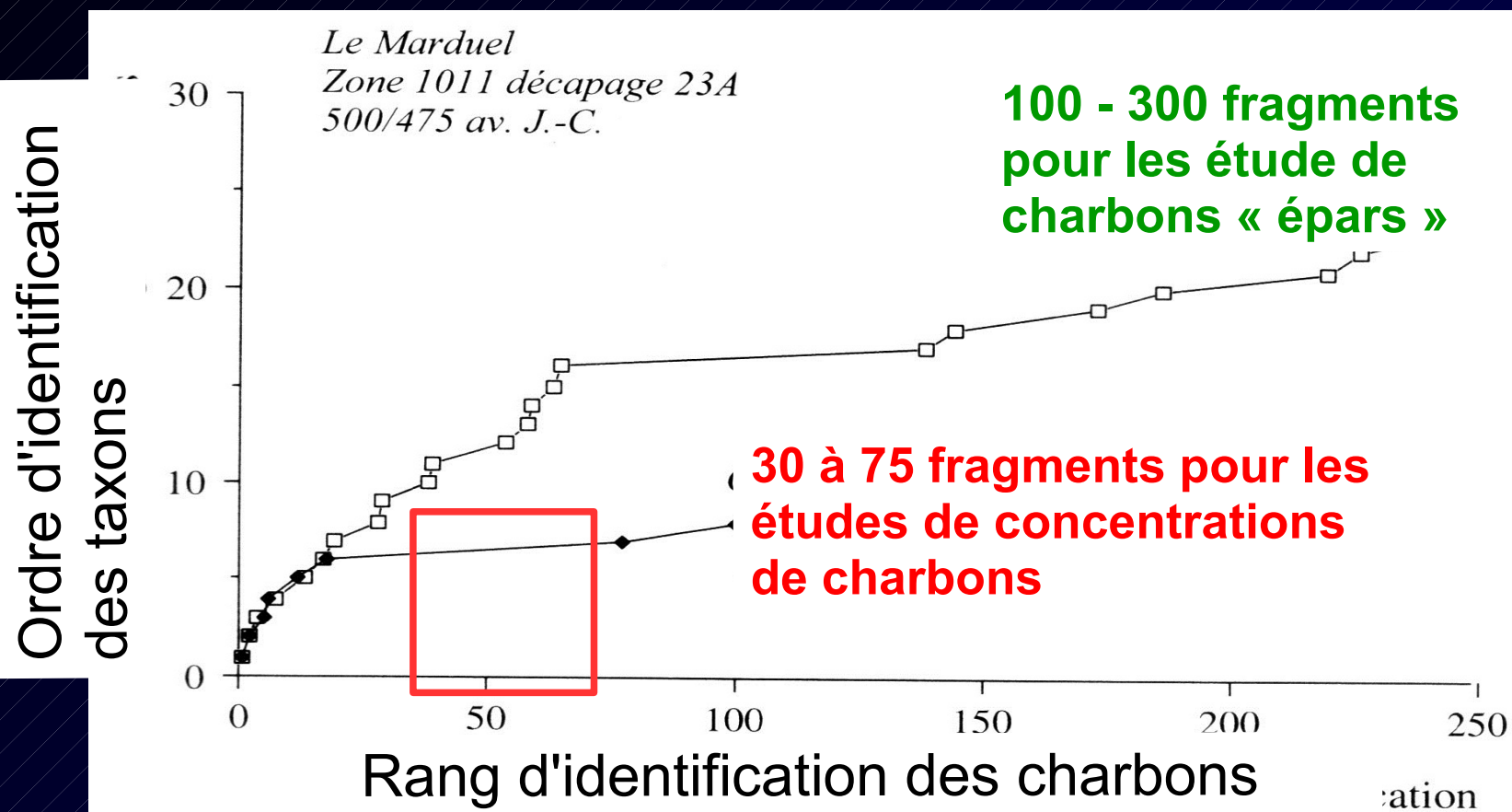


1.4 La méthodologie

- Le nombre de charbons à étudier : la courbe effort-rendement

But : Établir des effectifs minimum à étudier pour avoir une image représentative de la diversité du lot anthracologique.

Graphique mettant en relation l'ordre d'identification des taxons(y) par rapport à leur rang d'identification (x)



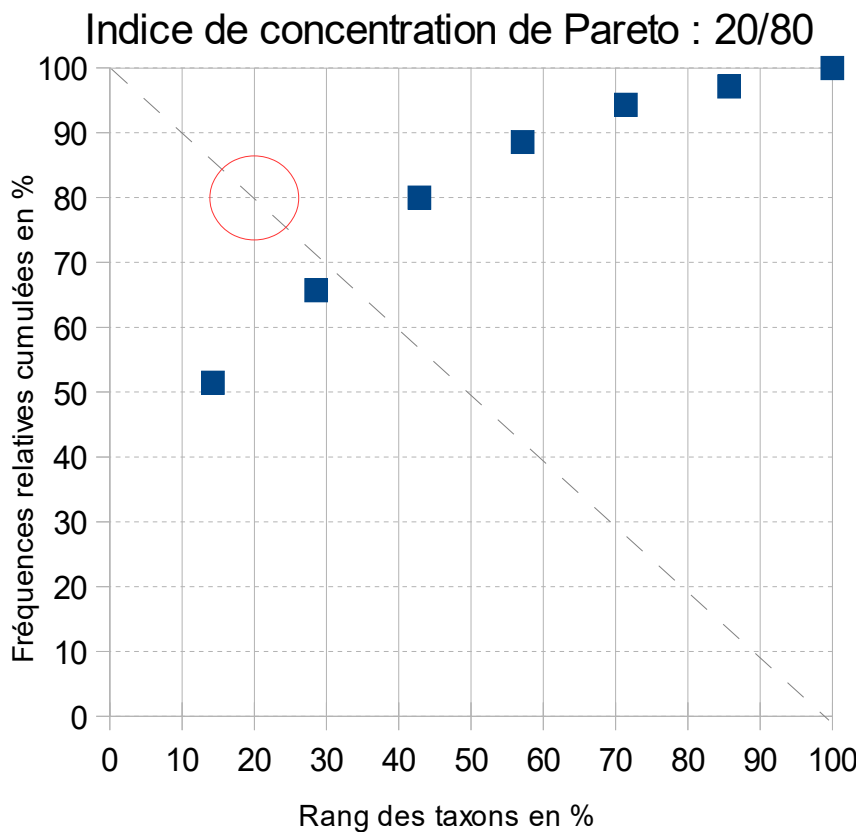
l'étude des concentrations : diversités moindre # 10aine

l'étude des charbons épars : diversité plus forte

1.4 La méthode : concentration de Pareto (20/80)

But : Démontrer que la composition anthracologique est représentative du paléoenvironnement ligneux ou au contraire qu'elle a été déformée par des ramassages « sélectifs » ?

→ Principe théorique : les rapports de compétition et d'équilibre dans les communautés végétales actuelles montrent que 20% des espèces correspondent à 80% de la biomasse.



Pour la démonstration : on réalise un graphique exprimant les proportions cumulées de chaque taxon en fonction de l'ordre d'importance de ces taxons.

→ le taxon le plus fréquent représente 60%

→ le second représente 10% des charbons (donc en cumulé = 70%)

→ le 3e = 8% des charbons (cumulé = 78%)

Dans cet exemple, le rapport d'équilibre 20% / 80% n'est pas atteint, il y a probablement eu une sélection de certaines essences.

1.4 La méthodologie

- Equipement d'observation :

→ loupe binoculaire (coupes transversales) : x10 à x50



: oculaires x10

: objectifs : x0,5 à x5

De + en + souvent équipé avec un système de **zoom continu** : variation du zoom tout en maintenant la netteté du champ de vision

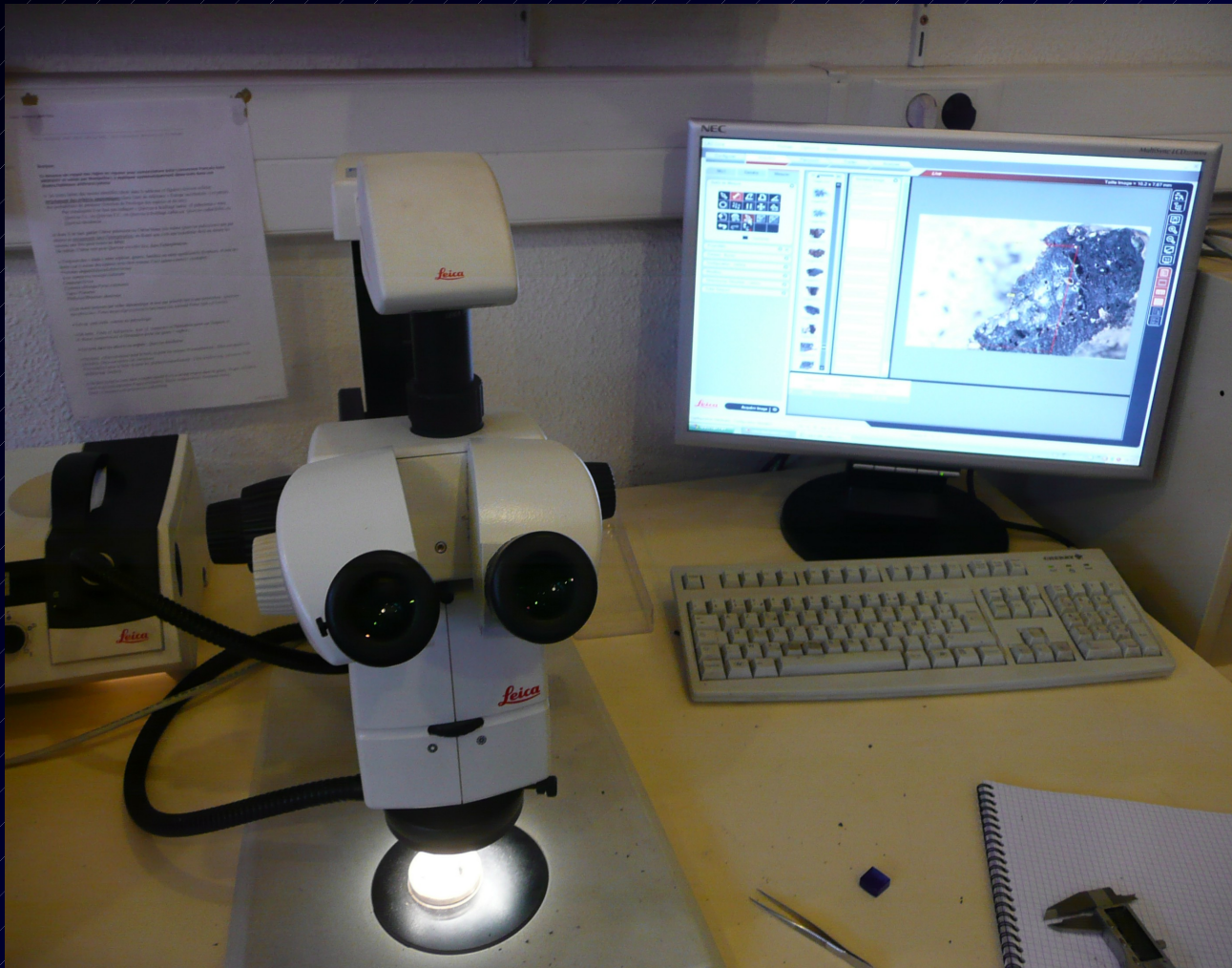
- Éclairage de la surface du charbon

- possibilité d'équiper avec une camera pour analyse d'images (calibration)

1.4 La méthodologie

- Equipement d'observation :

→ loupe binoculaire (coupes transversales) : x10 à x50



- possibilité d'équipé avec une camera pour analyse d'images (calibration)

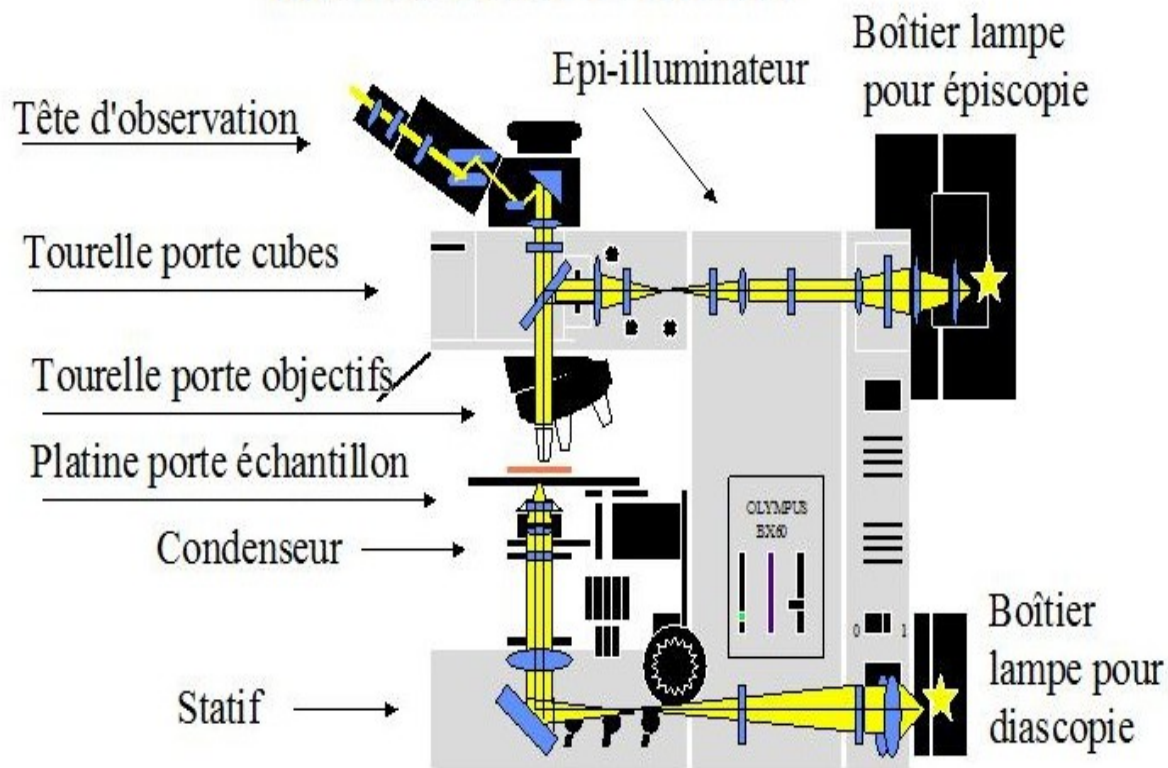
- utilisation de fibres optiques pour un meilleur éclairage

1.4 La méthodologie

- Equipement d'observation :

→ **Microscope (coupes radiales et tangentielles) : x40 à x500, voire X1000**

TRAJET OPTIQUE DANS UN MICROSCOPE DROIT



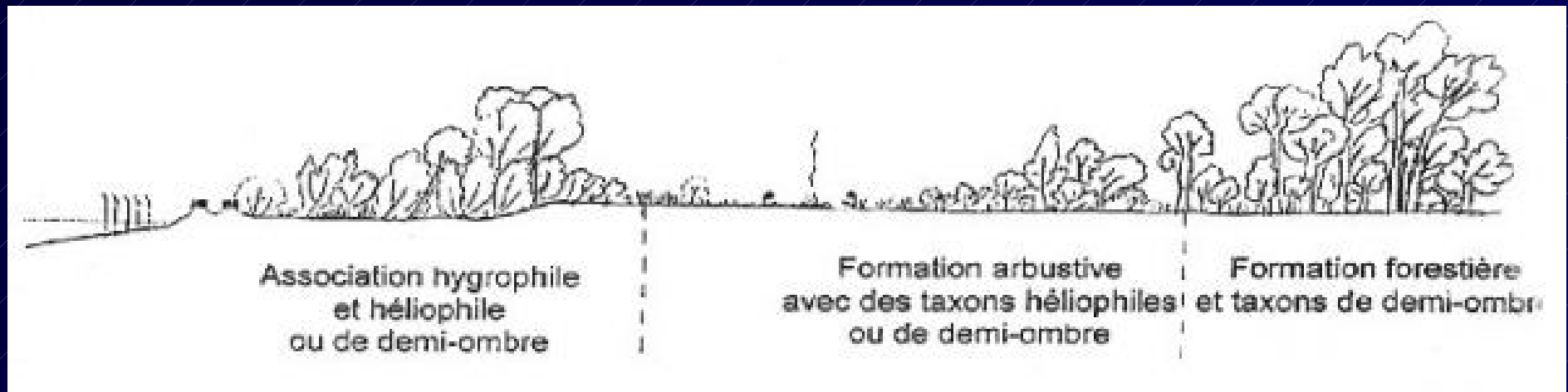
: oculaires x10

: objectifs : x4 à x10 x50 x100

- Éclairage de la surface (**éclairage par réflexion ou épiscopie**) du charbon à l'aide de fibres optiques ou mieux en faisant passer la lumière par l'objectif.

Rappel : éclairage **par transmission** : la lumière traverse l'objet (ex. lame palyno) # charbon

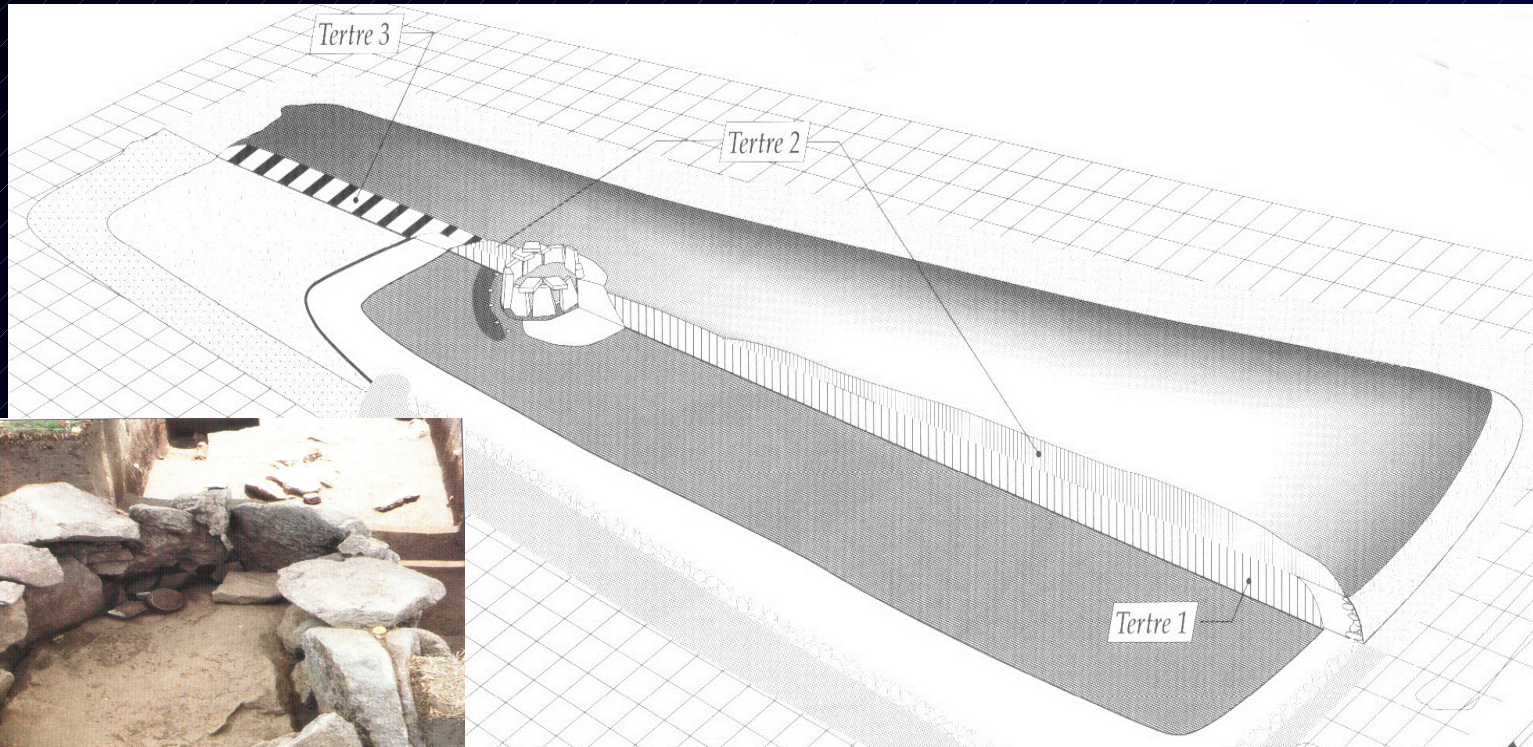
1.5 Exemples de résultats



1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer, Erdeven (56)

Site fouillé entre 1993 et 1997 par S. Cassen

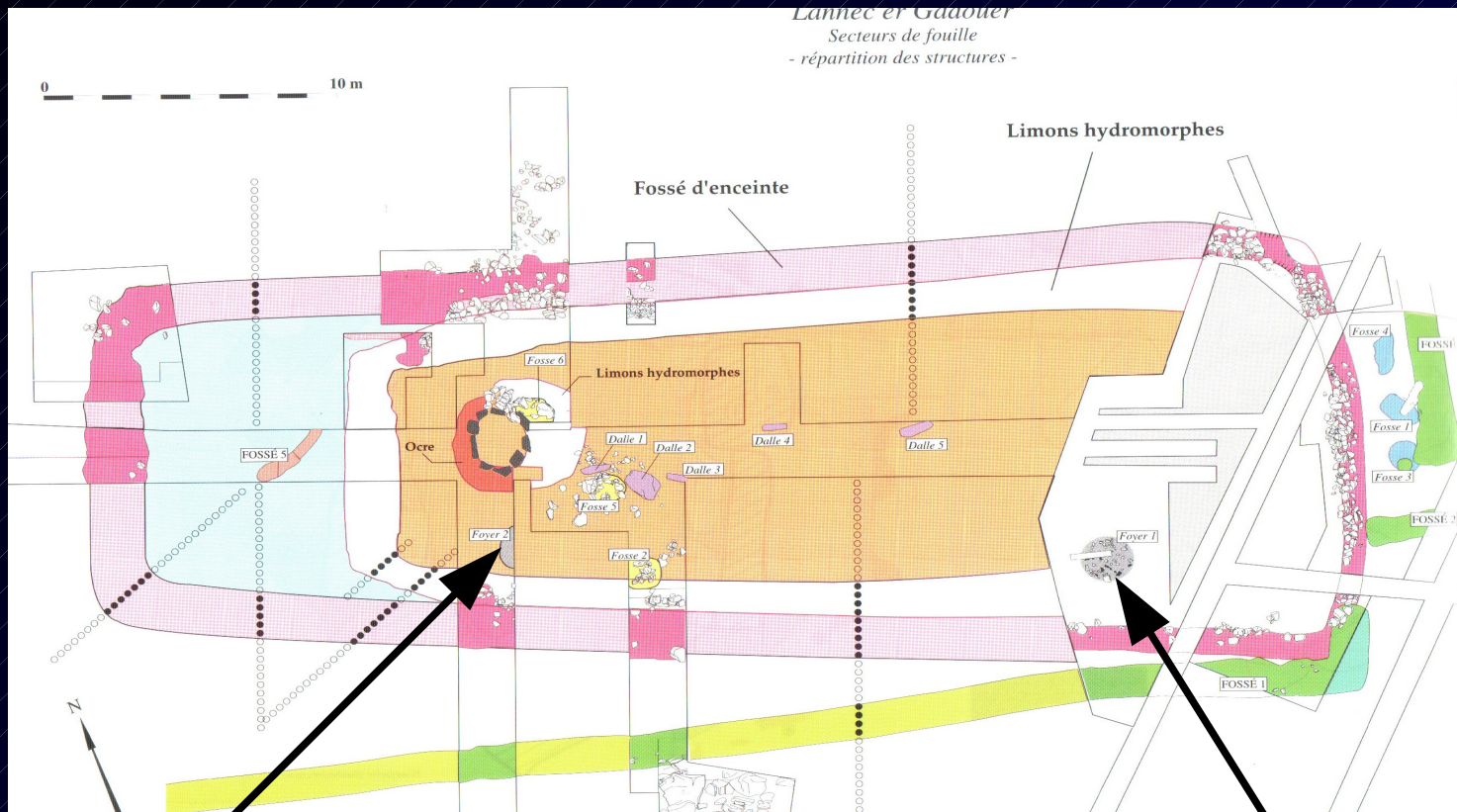


**Tertre 'funéraire' : néolithique
(caveau daté # 4500 – 4300 av. J.-C.)**

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer, à Erdeven (56)

La masse du tertre a scellé deux foyers :



Foyer n°2 : 4600 – 4330 BC

Foyer n°1 : 4680 – 4360 BC
Associé à du débitage
mésolithique

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

Problématiques :

1. Quels ont pu être les rôles de ces foyers ?

→ domestiques, cultuels (en relation avec le tertre?)

2. Du point de vue paléoenvironnemental :

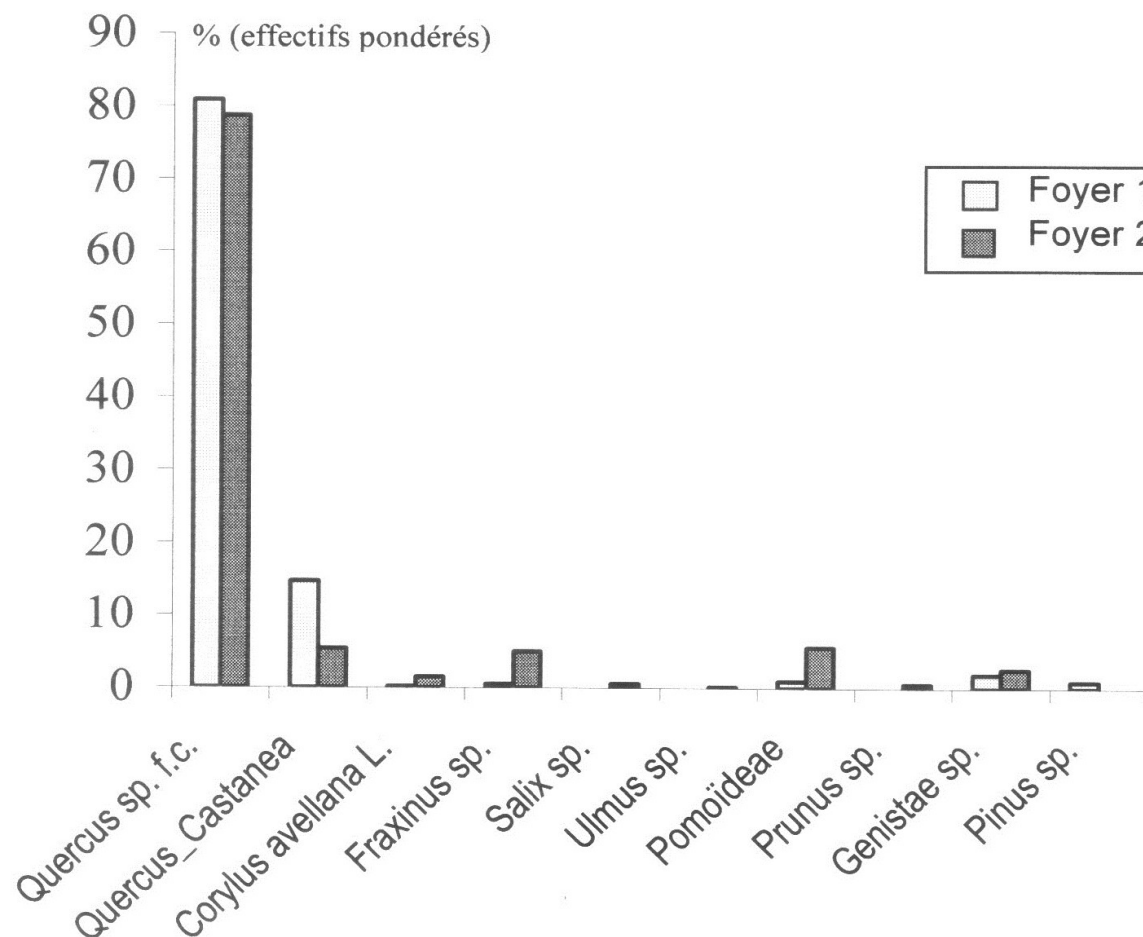
Constate t on une différence, une évolution entre les deux compositions anthracologiques ?

→ comparaison des deux foyers

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

Résultats : - 400 charbons pour F1
- 500 charbons pour F2



10 taxons

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

Foyer F1 (ambiance Mésolithique / Néo. ancien) :

- Association « Chêne, noisetier, frêne, Pomoïdée, genêt, pin (?) »
- dominée par le chêne (bois d'entretien)
- Moyenne de largeurs de cernes très faible (1,16mm)
→ contexte de croissance difficile

<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-Type</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Effectif</i>
1,16	0,45	0,08	4,08	93

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

Foyer F2 (Néo. ancien) :

- Association « Chêne, noisetier, frêne, saule, orme, Pomoïdée, prunus, genêt »
- dominée par le chêne (bois d'entretien du feu)
- Moyenne de largeurs de cernes faible (1,53mm)
→ contexte de croissance assez difficile

<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-Type</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Effectif</i>
1,53	0,53	0,50	9,10	103

1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

Interprétation :

1. Sur le plan ethnologique :

- Les deux foyers ont révélé du bois d'allumage (bois de petits calibres : genêt, noisetiers, Pomoidées ..) et du bois d'entretien : chêne
- pas de « choses anormales » dans la composition anthracologique : probablement foyers domestiques (?)

RQ. si on avait eu que du bois de petit calibre.. hypothèse cultuelle..

RQ. ex. plantes « aromatiques » ou allochtones..

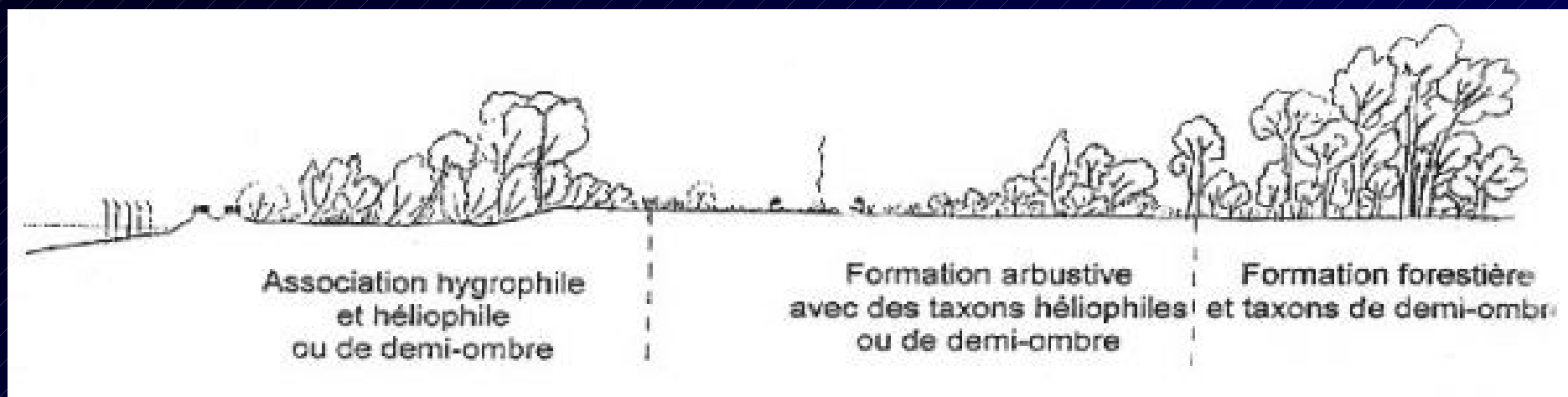
1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

2. Sur le plan paléoenvironnemental :

Les 2 compositions anthracologiques ont permis d'identifier :

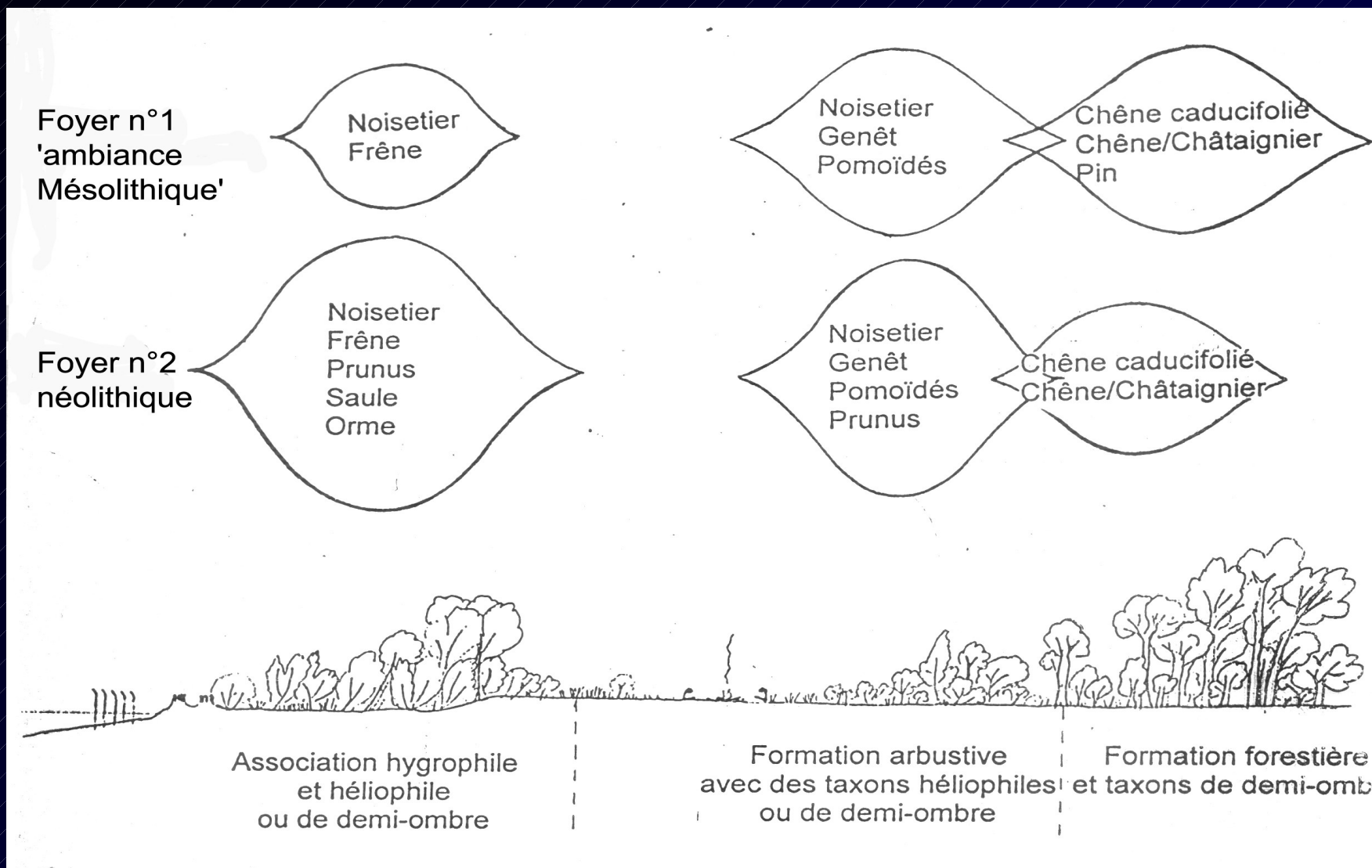
- **une chênaie** : chêne, noisetier, orme,
- **Formations de fourrés (lisières)** : Pomoïdée, Prunus, genêt
- **Boisement hygrophile plus net dans le foyer 2 (saules, frêne, orme) mais aussi dans le foyer1 (noisetier, frêne)**



1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

2. Sur le plan paléoenvironnemental :



1.5 Exemples de résultats

- L'étude du tertre néolithique de Lannec er Gadouer (56)

2. Sur le plan paléoenvironnemental :

- L'augmentation des largeurs moyennes de cernes :

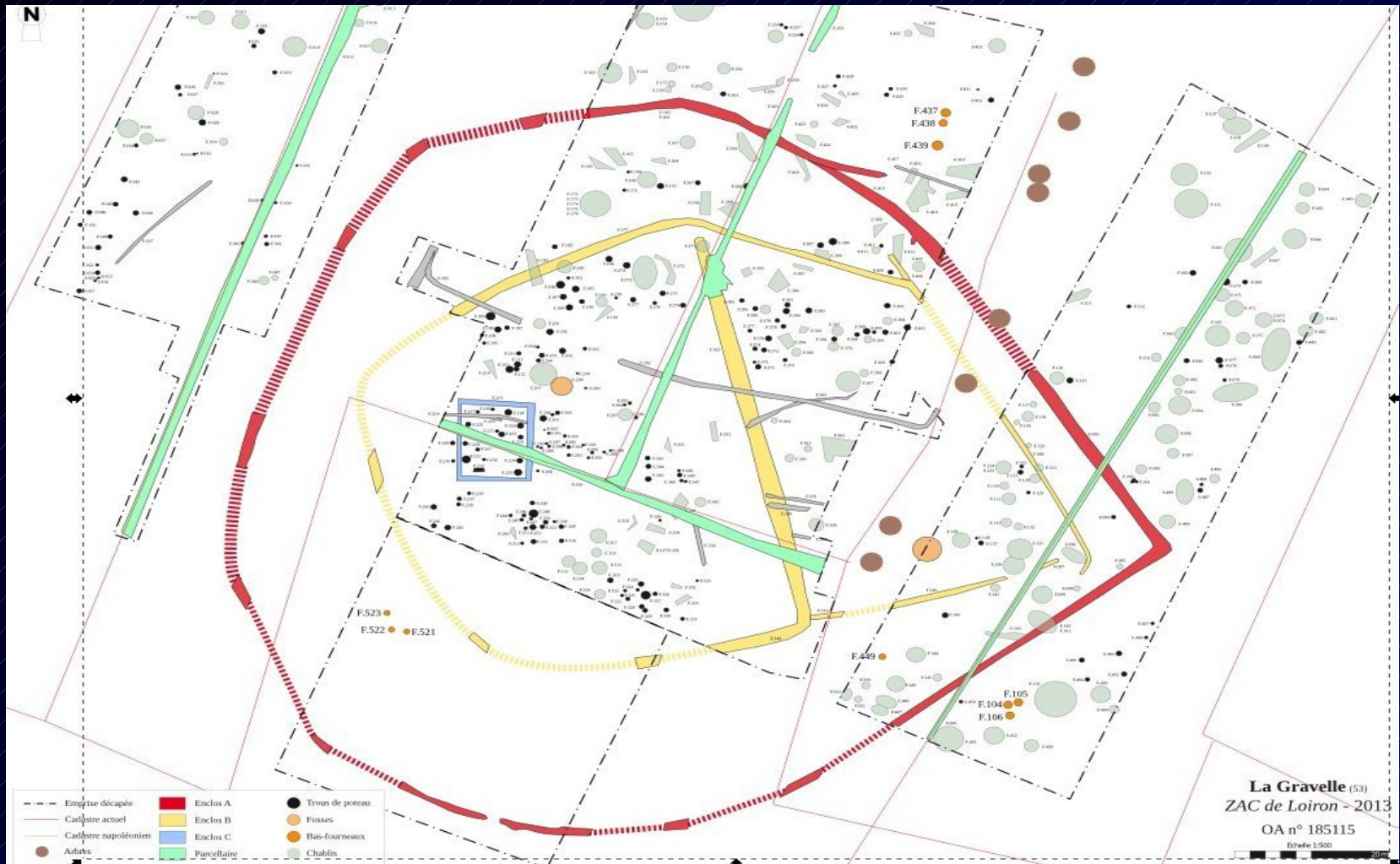
Passage de 1,16mm (F1) à 1,53 mm (F2) : contexte de croissance + favorable pour F2

→ soit un éclaircissement de la chênaie

→ (et/ou) soit des aires de ramassages différentes

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)
- 10 structures sous forme de fosses de 30cm de diamètre à proximité d'enclos



1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)
- chacune était remplie de scories + charbons



1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Fonctionnement d'un bas fourneau :

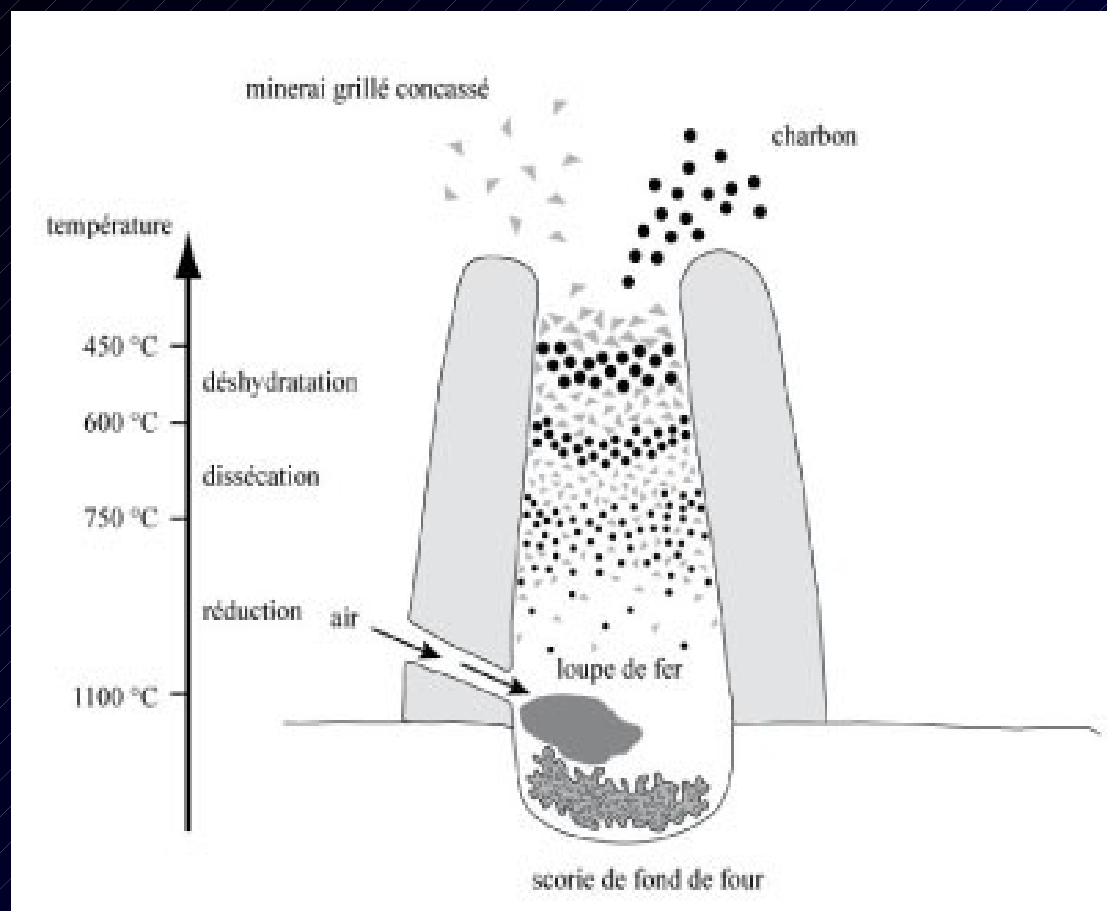


Schéma d'après N. Zaour (INRAP)

1. Construction : trou d'env. 30Cm de diam. + cheminée + arrivée d'air

2. Phase de préchauffage

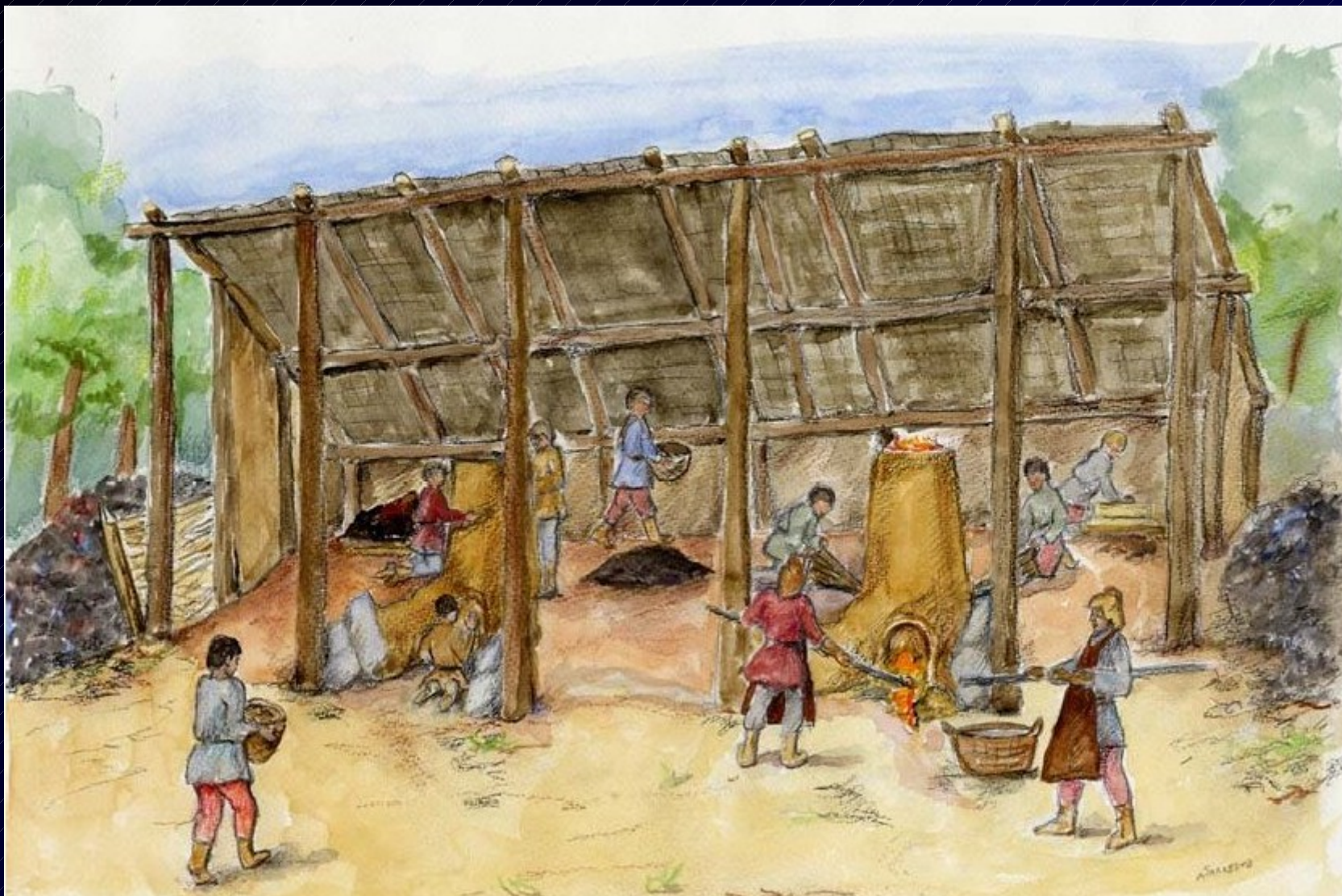
3. Alimentation alternativement de minerais puis de bois (charbons) Jusqu'à obtention d'une T° de 1100°C

4. La combustion du charbon produit du CO, qui réduit les oxydes de fer (minerai) en l'absence d'O₂

5. Agglomération du minerais réduit au fond = « une loupe de fer »

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)
- Proposition de reconstitution : fours sous appentis

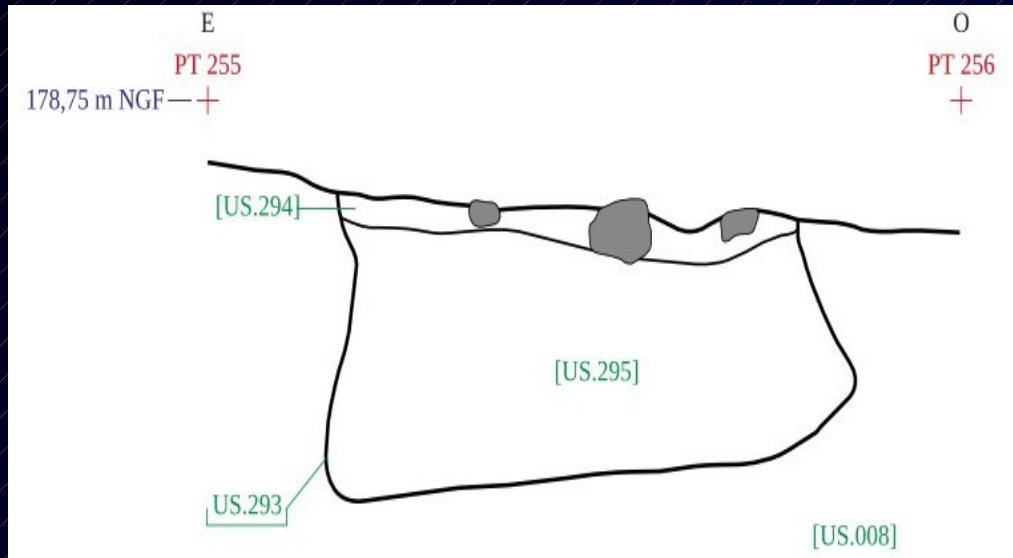


1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Exemple de l'étude du Fait 104 :

- Deux prélèvements :
 - PR42 : couche supérieure
 - PR43 : couche du fond



Problématique :

Constate t on des différences entre les deux compositions anthracologiques ?

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Résultats :

- Un taxon unique : **le chêne**

- Couche supérieure :
 - Faibles courbures
 - Détection de thylls
 - Moyenne de Larg. : 0,83mm
→ **Bois de gros calibre exclusivement**

- Couche du fond :
 - Faibles et fortes courbures
 - Détection de thylls mais aussi de moelle
 - Aspects fendus, Fendus/luisants, Durs/luisants
 - Moyenne de 1,11mm
→ **Bois de calibres et de combustions hétérogènes**

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Interprétation :

- Un taxon unique : sélection d'un combustible : **le chêne**

- Couche supérieure :

→ **Bois de gros calibre exclusivement**

Correspond au bois qui a permis l'entretien et la montée en température du four

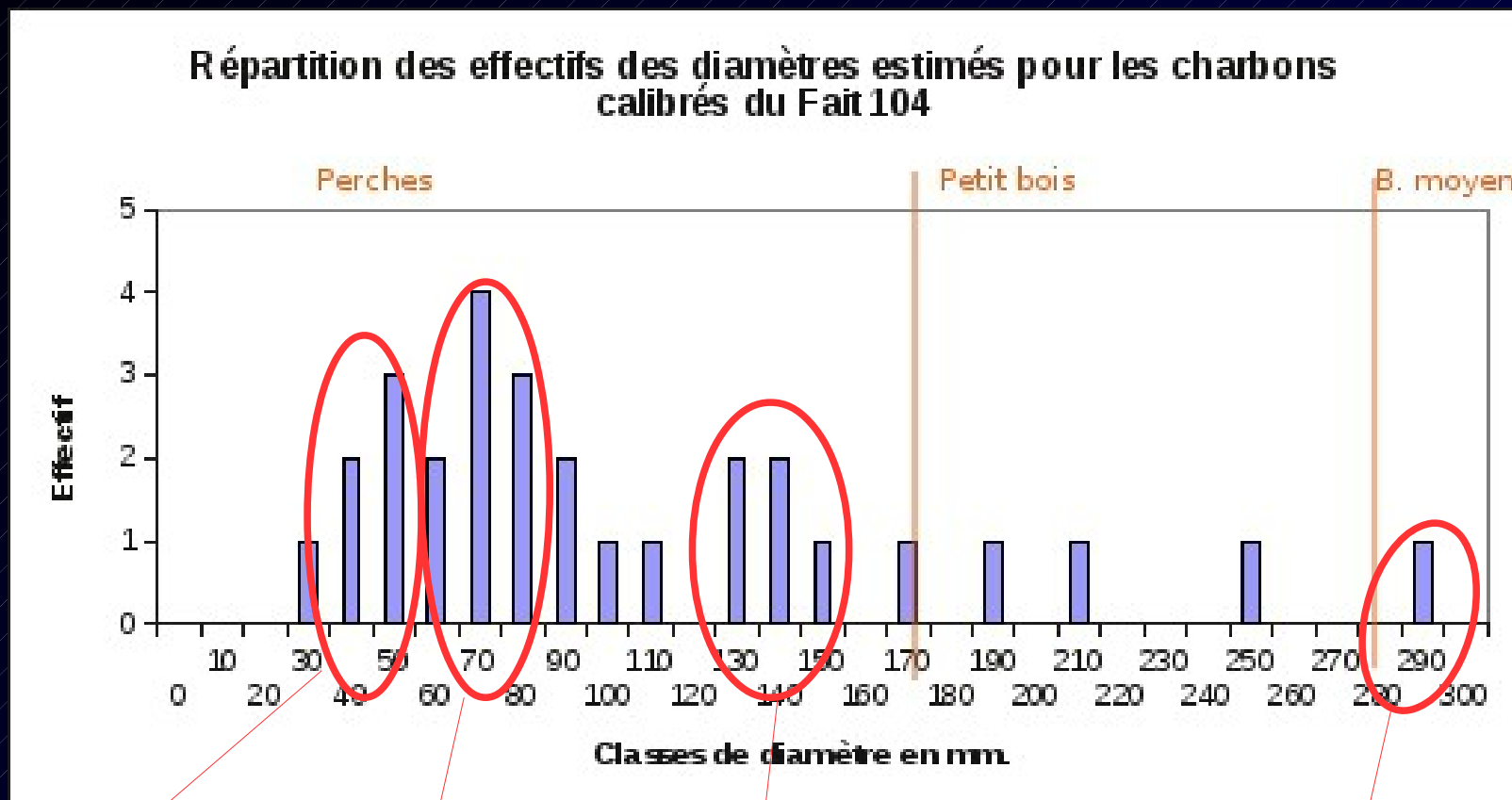
- Couche du fond :

→ **Bois de calibre et de combustion hétérogène**

Correspond au bois de la phase de préchauffage (allumage + séchage du fourneau) + mélange de bois d'entretien et montée en température. A noter la combustion en contexte chaud et anaérobie (aspect dur-luisant)

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)
- Mesures de calibration



Ens. de 20 à 60mm

Ens. de 130 à 150mm

Ens. de 60 à 110mm

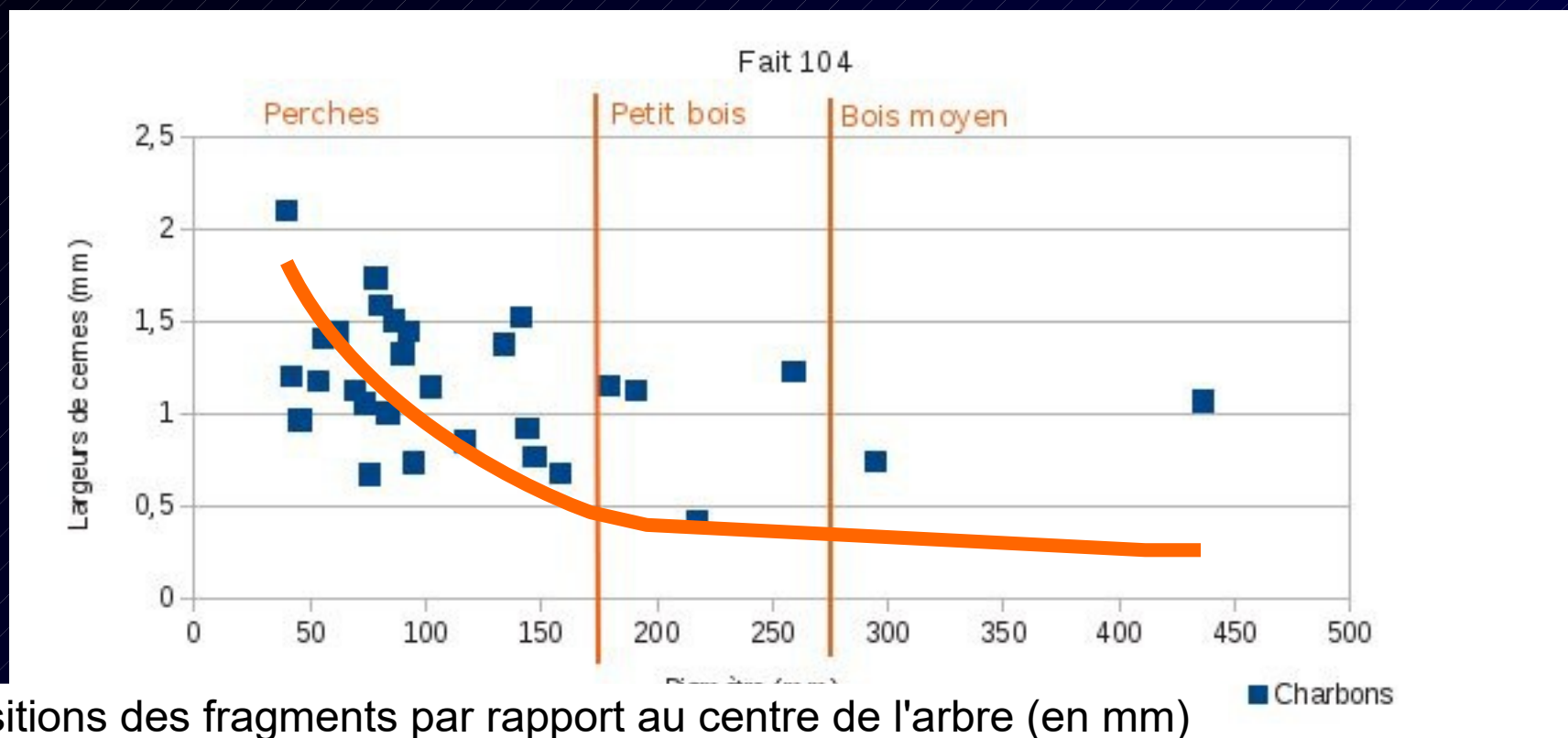
Elements isolés jusqu'à 300mm ...

→ Les charbons proviennent de branches de diamètres minimum d'environ 6cm, 11cm, 15cm et peut-être jusqu'à 30cm ?

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Mise en relation des mesures de calibration et de largeurs de cernes (N. Marcoux) : informations sur le type de boisement.



Positions des fragments par rapport au centre de l'arbre (en mm)

Les bois de petits calibres (centre des arbres) sont aussi les plus vigoureux. Homogénéité dans la courbe de tendance → caractéristique d'un boisement de type futaie. Une hétérogénéité dans les valeurs aurait plutôt été synonyme de taillis (régénération végétative).

1.5 Exemples de résultats

- Etude de bas-fourneaux de l'âge du fer (La Gravelle, 53)

Résultats :

- Discussion : Fait un peu surprenant dans cet exemple, l'absence à priori d'utilisation de charbons de bois mais plutôt de bois « verts » (détection de fentes de retrait).

Or le charbon de bois présente un pouvoir calorifique supérieur, caractère recherché dans le fonctionnement des bas-fourneaux.

On a néanmoins identifié ce type de charbon de bois, à l'aspect « dur-luisant » dans d'autres structures périphériques (structure 49 : peut-être un lieu de stockage de charbon de bois)

1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

- Site fouillé par le CG93 (V.Maret),
- Attribué au 1er et 2d Age du Fer (de -650 à 0 BC)



1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

Site caractérisé par

- 23 structures correspondant à env. 600 charbons étudiés
- Struct. diversifiées : Trous Poteaux, fossés d'enclos, fosses

: reflet des différentes activités : foyers artisanaux, foyers domestiques, bois d'œuvre brûlé, métallurgie ?

- étude classique (taxon, mesures dendro...)
- **la diversité des structures étudiées sur l'ensemble du site nous a rapproché d'une « étude de charbons épars »** : c a d des informations relatives à toute la durée d'occupation du site et une aire de ramassage autour du site plus vaste que si l'on avait étudié quelques concentrations de charbons.

En bref, on a des informations sur une longue durée et une aire de ramassage vaste autour du site.

1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

Résultats et interprétation :

1.1 « interprétation technique »

→ L'association « Pomoïdées - Chêne » (voire + Hêtre) a été presque systématiquement identifiée.

: raison technique pour les foyers :

- Pomoïdées (b. petits calibres) : bois d'allumage
- Chêne et hêtre : bois d'entretien de foyer (le hêtre est un excellent combustible)

: raison technique pour les bois d'œuvre :

- Chêne et hêtre sont des taxons fournissant des bois de gros calibres pour les constructions (palissades, maisons..)

1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

Résultats et interprétation :

1.2 «interprétation paléoenvironnementale»

→ en plus du chêne, hêtre et Pomoïdées
d'autres taxons ont été identifiés :

- taxons hygrophiles : Aulne, Saule, Orme, Bouleau
- taxons héliophiles : Genêt, Prunus, (+ Pomoïdées)

: raisons Paléoenvironnementales :

- > description des aires de ramassages en périphérie du site :
- des boisements hygrophiles
- des landes-fourrés, lisières forestières
- la forêt dominante dans le bassin parisien : la chênaie-hêtraie

1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

Résultats et interprétation :

2. Critères dendrologiques

→ Détection fréquente de charbons avec fentes de retrait :
combustion de « bois verts »

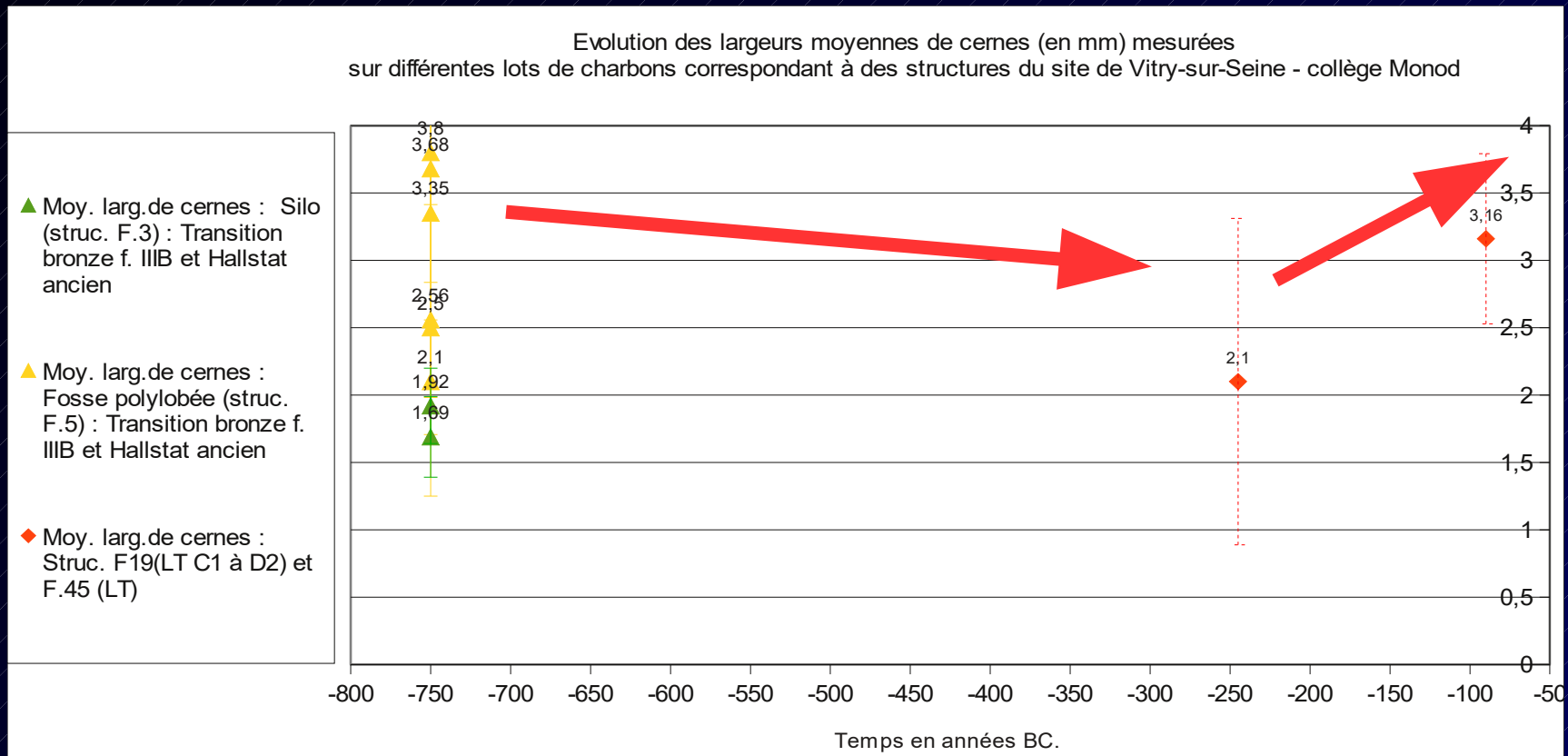
→ absence totale de charbons aux aspects « durs - luisants » ce
qui exclut les activités de métallurgie (bas-fourneaux) ou les
pratiques de charbonnage à proximité du site

1.5 Exemples de résultats

- Etude du site du Collège Monod (Vitry-sur-Seine, 93)

Résultats et interprétation :

3. Evolution des largeurs moyennes de cernes



Pas de véritable tendance.

Effet d'aires d'approvisionnement différentes ? D'évolution de l'ouverture du paysage non linéaire.. ?

Partie 2 : TP : Observations, déterminations

→ Clé de détermination de qlqs taxons anthracologiques hétéroxylés

	Alnus	Salix	Betula	Corylus	Carpinus	Ulmus	Chêne	Fabacées	Fagus	Poirier/pommier
Tr	_ Diffus à semi-poreux _ Pores isolés, surtout accolés radialement _ tendance radiale	_ Diffus à semi-poreux _ Pores isolés, surtout accolés radialement _ tendance radiale	_ Diffus à semi-poreux _ Pores isolés, surtout accolés radialement _ tendance radiale	_ Diffus à semi-poreux _ Pores isolés, surtout accolés radialement _ tendance radiale	_ Diffus à semi-poreux _ Pores isolés, surtout accolés radialement _ tendance radiale	_ Zone poreuse (ressbl au chêne mais petits pores disposés tangentiell.) Tr 	_ zone poreuse Aspect en flammes 	_ Zone semi-poreuse (ressbl à l'ulmus à Z. poreuse) _ Pores accolés obliq.) - Aspect en flammes	_ Zone semi-poreuse à diffus. _ Pores isolés ou groupés par 2 à 6 (surtout bisériés).	_ Pores diffus isolés
Tg	_ Larg : surtout 1C parfois 2à 3près des faux-rayons _ Haut : 20C et plus _ Dans vaisseaux : broderies pâteuses. 	_ Larg : unisérié, rarement bisérié _ Haut : 5C à 30C.  Grosses ponctuations	_ Larg : unisériées et 2 à 4C _ Haut : des unisériés : 2 à 10C ; des multisériés : 10 à 30C _ Dans vaisseaux : broderies pâteuses  très petites ponctuation ## digitations	_ Uni à bisérié _ faux-rayons _ Haut : 10 à 30C.	_ Larg : unisériés parfois 2 à 4C _ Haut : 10C à 20C ou 30C. - Faux rayons (rayons agrégés)	_ Rayons multisériés (entre 3 et 5)  Tang	_ Rayon unisérié ou multisérié (15 à 20 Cell.) (Ulex : gros ray. genet ; - de ray. que l'ajonc)	_ Larg : 1 à 10C (surtout 3 à 5c) _ Larg : 1 à 25C _ Haut. : 3 à 5mm.	_ Larg : 1 à 4C (surtout 2c)	
Rad	_ Perforation scalariforme de 10 à 20 barrx fins _ Rayons homogènes ou Hét. type I _ Pas d'ép. sp.	_ Perforation unique, ronde _ Rayons Hét. type II et III _ Pas d'ép. sp. (Rq populus ray homogène)	_ Perforation scalariforme de 10 à 25 barrx (verrucosa) 15 à 35Bx (Pubescens) _ Rayons homogènes ou Hét. type I _ Pas d'ép. sp.	_ Perforation scalariforme de 5 à 10 barrx épais _ Rayons hét. type I, parfois homogène ou hétéro II _ Fins ép. sp.	_ Perforation unique _ Rayons Homog. ou Hét. type I et II _ épaississements très fins et serrés.	_ Perf° unique _ Ep. spiralés nets et épais. _ Rayons Homogènes à Hétérogènes type I Rad	_ Perf° unique _ Rayons homogènes et Hétér. type - Pas d'ép. spiralés	_ Perf° unique rarement scalariforme. _ Pas d'Ep. spiralés _ Rayons Homogènes à Hétérogènes de type I	_ Perf° unique _ Ep. spiralés _ Rayons Homogènes à Hétérogènes de type I	