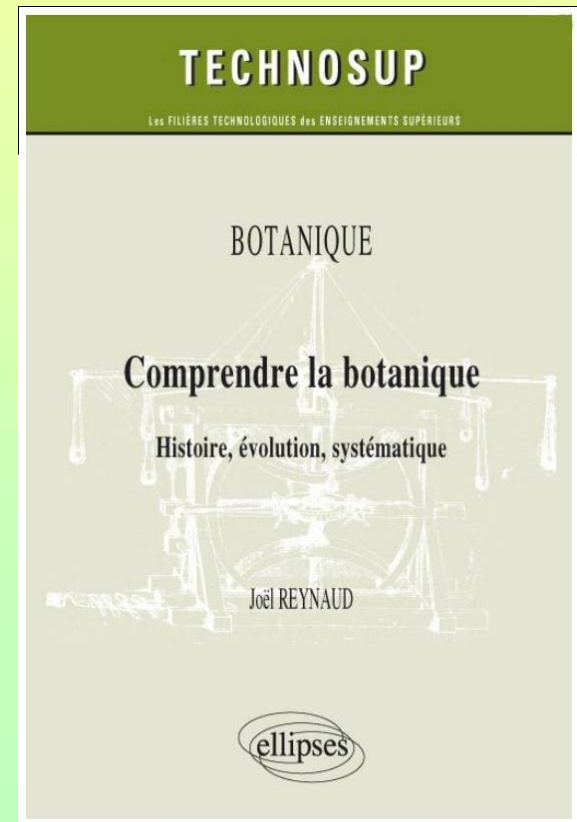


# Cours de Botanique

**Joël Reynaud**

[jrmdv@free.fr](mailto:jrmdv@free.fr)

<http://botanique.univ-lyon1.fr>

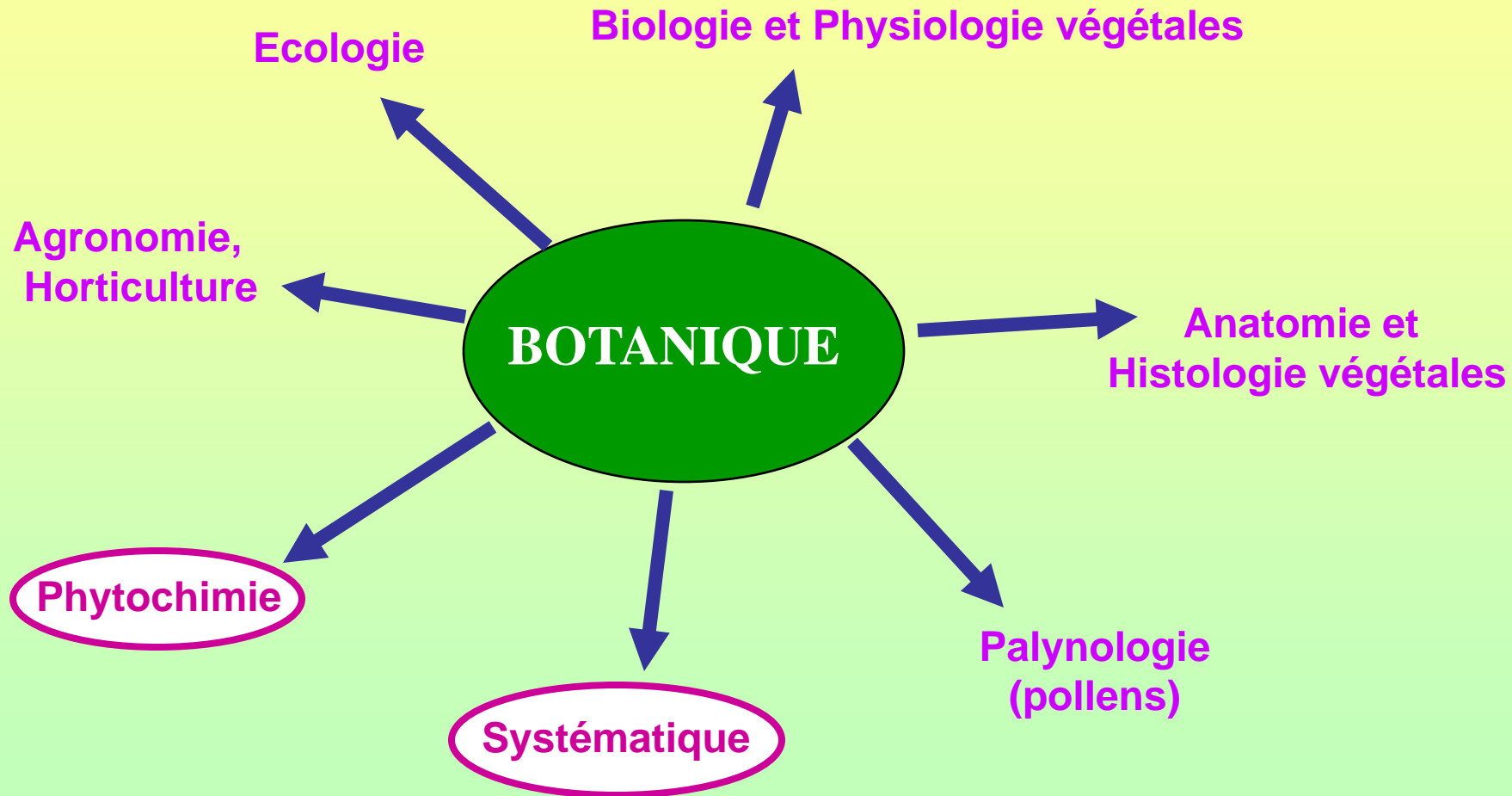


# Première Partie :

# Généralités

# Qu'est ce que la Botanique ?

Discipline scientifique en constante évolution



# I. La Botanique en Pharmacie

**Phytochimie**

**Etude des  
molécules végétales**

**Systematique**

**Etude des familles  
et des espèces végétales**

**Botanique Pharmaceutique**

**espèces et familles possédant  
des molécules bio-actives potentiellement  
utilisables en thérapie**



# A. Les plantes dans la thérapeutique

Les plantes ayant des **propriétés médicinales** sont étudiées dans le cadre de la **pharmacognosie**

(du grec **pharmakon** drogue, venin, poison et **gnosis** connaissance) :

- ▶ plantes à l'origine, **directement** ou **indirectement** de la majorité des médicaments
- ▶ médecines traditionnelles : utilisation **empirique**

L'OMS a répertorié plus de 22 000 plantes utilisées dans les médecines traditionnelles

- ▶ **plantes médicinales "reconnues" inscrites dans des Pharmacopées**

Environ 450 espèces végétales inscrites à la Pharmacopée Française

# B. Différentes thérapies utilisant des plantes

## ► Allopathie ("médecine classique")

plusieurs milliers de constituants végétaux utilisés sous forme :

+ d'**extraits** + ou – complexes

+ de **Principes Actifs** purs (PA)

+ de composés d'**hémisynthèse** (PA + ou – modifiés)

+ de composés de **synthèse** (produits imitant les PA naturels)

## ► **Phytothérapie**

**utilisation directe de plantes ou de parties de plantes (tisanes)**

Une **drogue** est la partie desséchée d'une **plante** qu'on utilise (ex. droguier).

**\*\* variantes de la Phytothérapie :**

**+ aromathérapie : utilisation des Huiles Essentielles (Essences)**

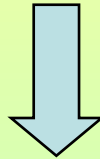
**+ gemmothérapie : utilisation de macérations de Bourgeons**

## ► **Homéopathie**

**la moitié, environ, des médicaments homéopathiques sont à base de plantes (Teintures mères).**

# C. De la plante au médicament

- + soit collecte aveugle de **très nombreuses** plantes puis études chimique et pharmacologique au laboratoire
- + soit **étude ciblée** de plantes pouvant être intéressantes (chimie particulière, plantes proches utilisées....)
- + soit étude basée sur des plantes utilisées dans des **médecines traditionnelles**



## \* **Ethnobotanique (et Ethnopharmacologie) :**

- + **étude des médecines traditionnelles**
- + **récolte de plantes sur le terrain**
- + **étude chimique et pharmacologique au labo**

# D. Importance de la connaissance de la Botanique pour le Pharmacien

## ► en officine : conseils

(en France : 23 000 officines)

\* utilisation des plantes médicinales (tisanes, extraits,...)

\* contact avec une plante irritante

\* problème des plantes allergisantes (ambroisie)

\* ingestion d'une plante inconnue peut-être toxique

\* information scientifique sur les plantes

(contre "doctrine des signatures", presse pseudo médicale, par exemple)

## ▶ dans l'industrie

\* nombreuses industries préparent des spécialités à base de plantes

+ laboratoires de phytothérapie

+ laboratoires de cosmétologie

+ laboratoires homéopathiques

+ industries agro-alimentaires

## ▶ dans la recherche

\* ethnobotanique

\* enseignants-chercheurs universités

# II. Histoire de la Botanique

De l'Antiquité jusqu'au 17<sup>ème</sup> siècle :

- ▶ pas de règles universelles pour nommer et classer les plantes
- ▶ classifications purement "utilitaires" :  
plantes alimentaires, médicinales, textiles....
- ▶ descriptions souvent incomplètes ou fantaisistes
- ▶ ouvrages très rares

# A. Antiquité

- \* **manuscrit chinois (300 plantes)**  
**2800 ans avant JC**

- \* **Théophraste (-372 à -288) philosophe grec**  
**"père de la Botanique" 500 plantes**  
**travaux ignorés jusqu'au 15<sup>ème</sup> siècle**

copie 15<sup>ème</sup>



- \* **Pline l'Ancien (23-79)**  
**Histoire Naturelle**

- \* **Dioscoride (env. 40-env. 90)**  
**médecin grec travaux utilisés**  
**jusqu'au 16<sup>ème</sup> siècle**

copie 15<sup>ème</sup>



copie sur parchemin  
6<sup>ème</sup> siècle



## B. Moyen-Age (du 5<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> siècle)

- ▶ **compilations** et **commentaires** des ouvrages des auteurs de l'Antiquité
- ▶ multiples **copies** et **recopies** des ouvrages de l'Antiquité
- ▶ descriptions de **plantes fraîches** très rares
- ▶ les plantes citées par les auteurs de l'Antiquité sont  
des **plantes méditerranéennes**
- ▶ parfois, une même illustration pour des espèces différentes !

## C. Renaissance (15<sup>ème</sup> et 16<sup>ème</sup> siècles)

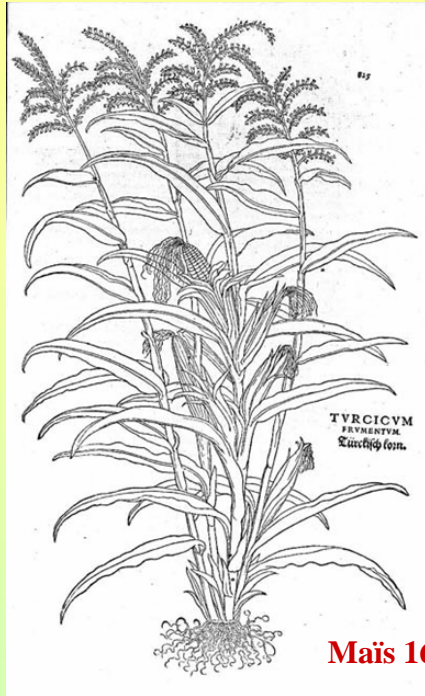
- ▶ invention de l'imprimerie
- ▶ renaissance scientifique
- ▶ grandes explorations et découvertes géographiques

\* essais de **classifications scientifiques des plantes**,

critères morphologiques variables : fruits, port, corolle ...

Classifications "**artificielles**" : en général un seul caractère utilisé.

\* descriptions et représentations précises de plantes



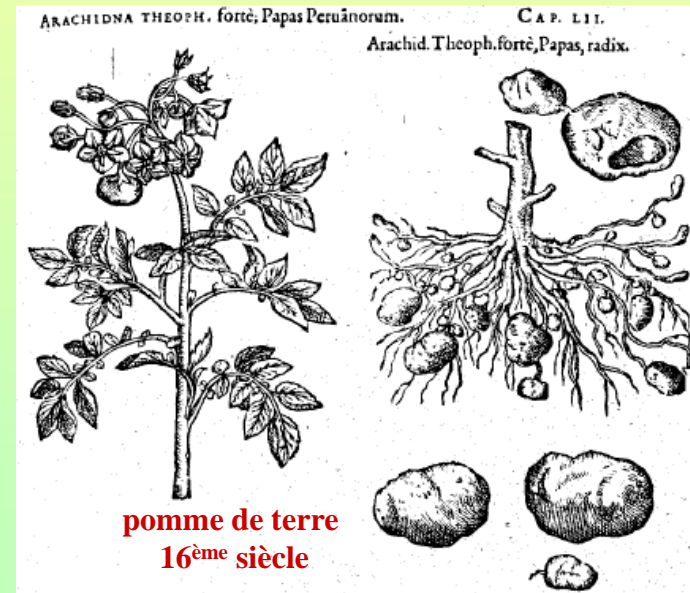
Maïs 16<sup>ème</sup> siècle



\* diffusion d'ouvrages botaniques

\*\* Fuchs, Charles de l'Ecluse, Bauhin,....

\* premiers herbiers, premiers jardins botaniques



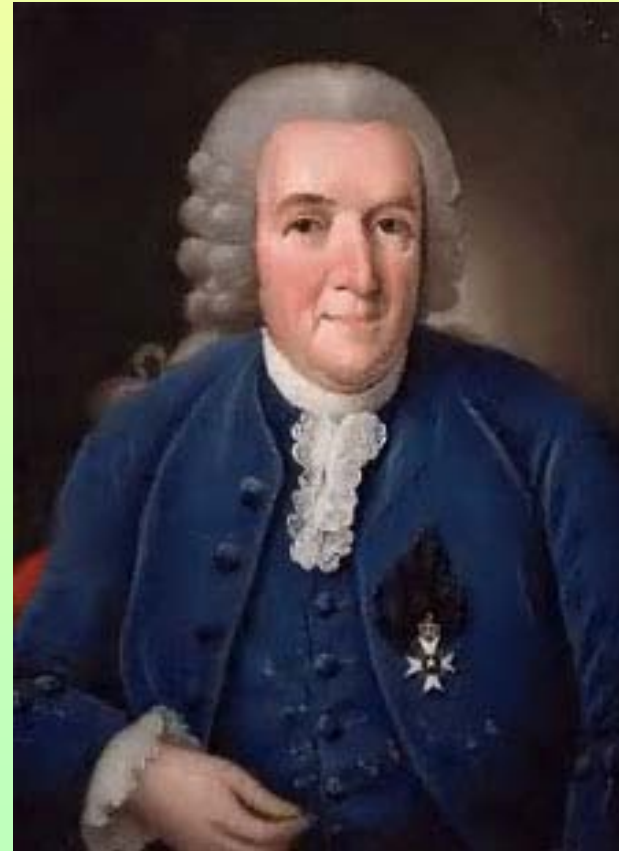
# D. La nomenclature et la systématique modernes

A partir du 17ème siècle, nombreux essais de mise en place d'une **classification** et d'une **nomenclature** universelles.

**Charles Linné (18ème siècle), botaniste suédois**



(1707-1778)



## a) avant Linné :

- ▶ pas de système de classification validé
- ▶ pas de règles de nomenclature universelle, 2 sortes de noms :

\* noms **vernaculaires** ou **vulgaires** : noms régionaux

### Problèmes des noms vernaculaires

- ▶ une même espèce peut avoir plusieurs noms vernaculaires
- ▶ même nom pour plusieurs espèces

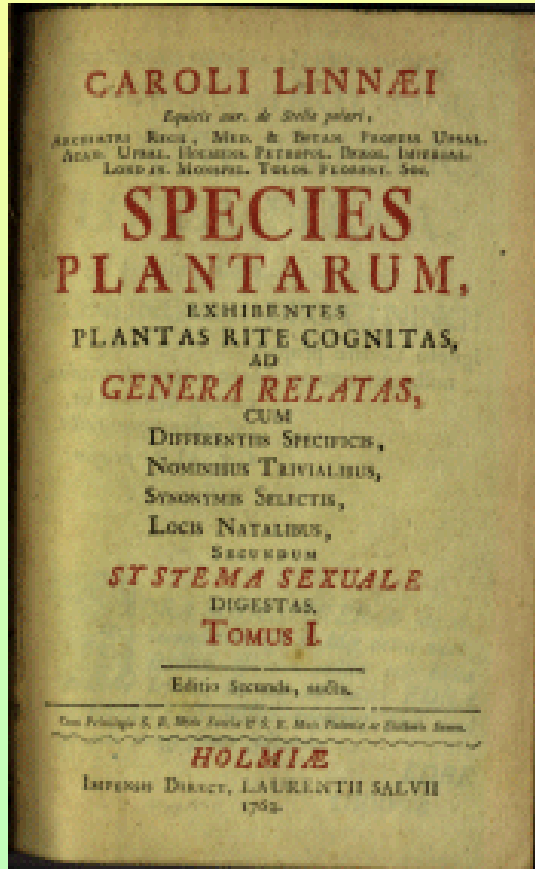
ex. les lauriers

\* noms latins, **polynômes** : brèves descriptions latines  
(souvent 2-3 termes latins, parfois jusqu'à 10)

# b) travaux de Linné

## 1. mise au point de la **nomenclature** botanique **binomiale** (ou binominale ou binaire) :

toutes les espèces nommées par 2 termes  
Genre + espèce : le **binôme**



*Species Plantarum* 1753

- \* Binôme toujours **latinisé** (sauf exceptions !)
- \* Genre avec une **majuscule**
- \* espèce toujours avec une **minuscule**  
ex : *Geranium robertianum*
- \* Les 2 termes en *italiques*
- \* Binôme suivi du nom complet ou abrégé  
du 1er descripteur (en écriture normale).

départ de la nomenclature botanique scientifique :  
**1<sup>er</sup> mai 1753**



avant Linné  
**ex de polynôme**

depuis Linné  
**binôme**

initiale **descripteur**  
(ici Linné)

*Bellis scapo nudo uniflora*

*Bellis perennis* L.

↑  
Genre

(12-15 espèces)

↑  
espèce



**nom vernaculaire**

↓  
pâquerette

# Synonymes (du nom scientifique ou latin)

En plus de son nom scientifique valide, une espèce peut posséder plusieurs autres noms scientifiques : **synonymes**

- ▶ quand elle a été décrite et nommée **plusieurs fois depuis 1753**

ex. le muguet :

*Convallaria majalis* L. 1753

*Convallaria latifolia* Miller 1768

*Convallaria fragrans* Salisb. 1796

le nom juste le plus ancien  
(à partir de 1753)  
est le **nom valide (règle d'antériorité)**

} **synonymes**

- ▶ quand elle a **changé** de genre ou de famille et que son nom a changé

ex. la tomate :

*Solanum lycopersicum* L.

*Lycopersicon esculentum* Mill.

on trouve également :

*Solanum lycopersicon*

*Lycopersicum esculentum*



# Intérêt de la nomenclature scientifique

Dans un **article scientifique**, quelle que soit la langue utilisée, les plantes doivent toujours être citées selon la **nomenclature binomiale**.

## ◆ 食物名稱: Ginseng(人參)



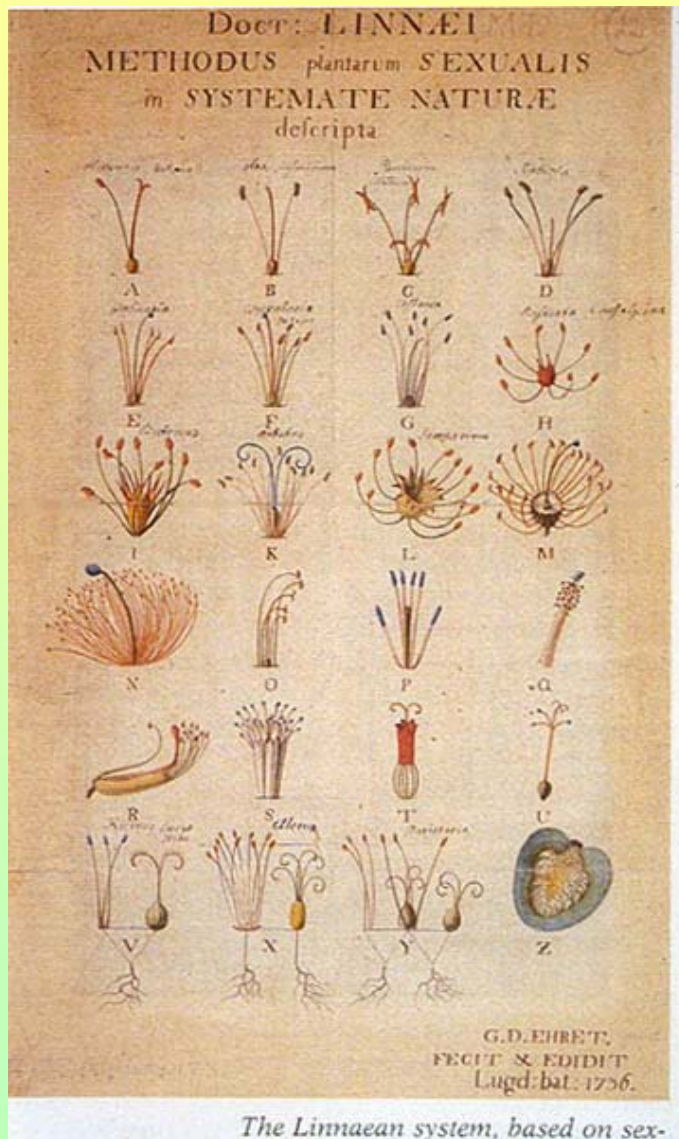
## ◆ 食物簡介:

人參為多年生草本，根粗壯肥厚；葉具長柄，掌狀復葉，小葉 3-5 枚；花小，淡黃綠色。花後結二枚核果，扁球形，成熟時紅色。人參在遙遠的東方為高價值的藥草，人參的根已經被使用超過 2000 年，它被認為有萬靈藥的功能及促進長壽。在中國傳統的醫學教科書，描述人參有神奇的效力；在西方，於 18 世紀，人參的效能才被知道。人參常見有 3 種：1. *Panax ginseng*(亞洲人參) 2. *Panax quinquefolius*(美洲人參) 3. *Panax japonicus*(日本人參)。人參含許多對人體有益的化合物，最近，有很多文獻以生化或分子生物技術，研究人參的藥理作用、構造組織及有益的功效。

표 2. 산채 및 약용작물에서 *Phoma*속

국명	식물학명	병징	분리 지역	분리 균주수
곰취	<i>Ligularia fischeri</i>	일반점	평창	5
참취	<i>Aster scaber</i>	일반점	가평	5
동의나물	<i>Caltha palustris</i> var. <i>nipponica</i>	일반점	평창	5
머위	<i>Petasites japonicus</i>	일반점	평창, 진안	5
맥문동	<i>Liriope platyphylla</i>	일반점	수원	5
구릿대	<i>Angelica dahurica</i>	일반점	수원	5
우엉	<i>Arctium lappa</i>	일반점	수원	5
토대황	<i>Rumex aquaticus</i>	일반점	수원	5
현삼	<i>Scrophularia buergeriana</i>	일반점	수원	5
눈개승마	<i>Annis doias</i> var. <i>kartschtaias</i>	일반점	수원	5
수영	<i>Rumex acetosa</i>	일반점	수원	5
충충이꽃	<i>Clinopodium chinense</i> var. <i>parviflorum</i>	일반점	수원	5
금불초	<i>Inula britannica</i>	일반점	수원	5
일당귀	<i>Ligusticum acutilobum</i>	일반점	진안	5
마타리	<i>Patrinia scabiosaeifolia</i>	일반점	진안	5
맛두릅	<i>Aralia cordata</i>	일반점	진안	5
지황	<i>Rehmannia glutinosa</i>	일반점	진안	5
삼주	<i>Atractylodes japonica</i>	일반점	진안	5
큰뽕무	<i>Geum aleppicum</i>	일반점	진안	5
골무꽃	<i>Scutellaria indica</i>	일반점	진안	5
뼈꼭채	<i>Rhaponticum uniflorum</i>	일반점	금산	5
고삼	<i>Sophora flavescens</i>	일반점	함양	5
등글레	<i>Polygonum adratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	일반점	함양	5
대추	<i>Ziziphus jujuba</i>	일반점	의성	5
24개 식물	-	-	-	120

## 2. Mise au point de la **classification universelle des végétaux** grâce au "**système sexuel**" (*Systema Naturae* 1749)



plantes réparties en **24 classes** selon

- \* le nombre
- \* la disposition
- \* la longueur

des **étamines**

**classification artificielle mais pratique !**  
Linné a ainsi classé les 8000 espèces décrites  
à son époque.

# E. XIX<sup>ème</sup> siècle : démonstration de l'évolution du monde vivant

\* jusqu'au 18<sup>ème</sup> siècle, un seul concept : les espèces vivantes ont été **créées** telles quelles quelques siècles plus tôt, elles sont **fixes** et **immuables** !  
Mais l'étude des **fossiles**, notamment, provoque des interrogations.

\* en 1800, Jean-Baptiste Monet de **Lamarck** (1744-1829) :



"...modification des espèces sous l'**action du milieu** et **hérédité** des caractères **acquis**..."

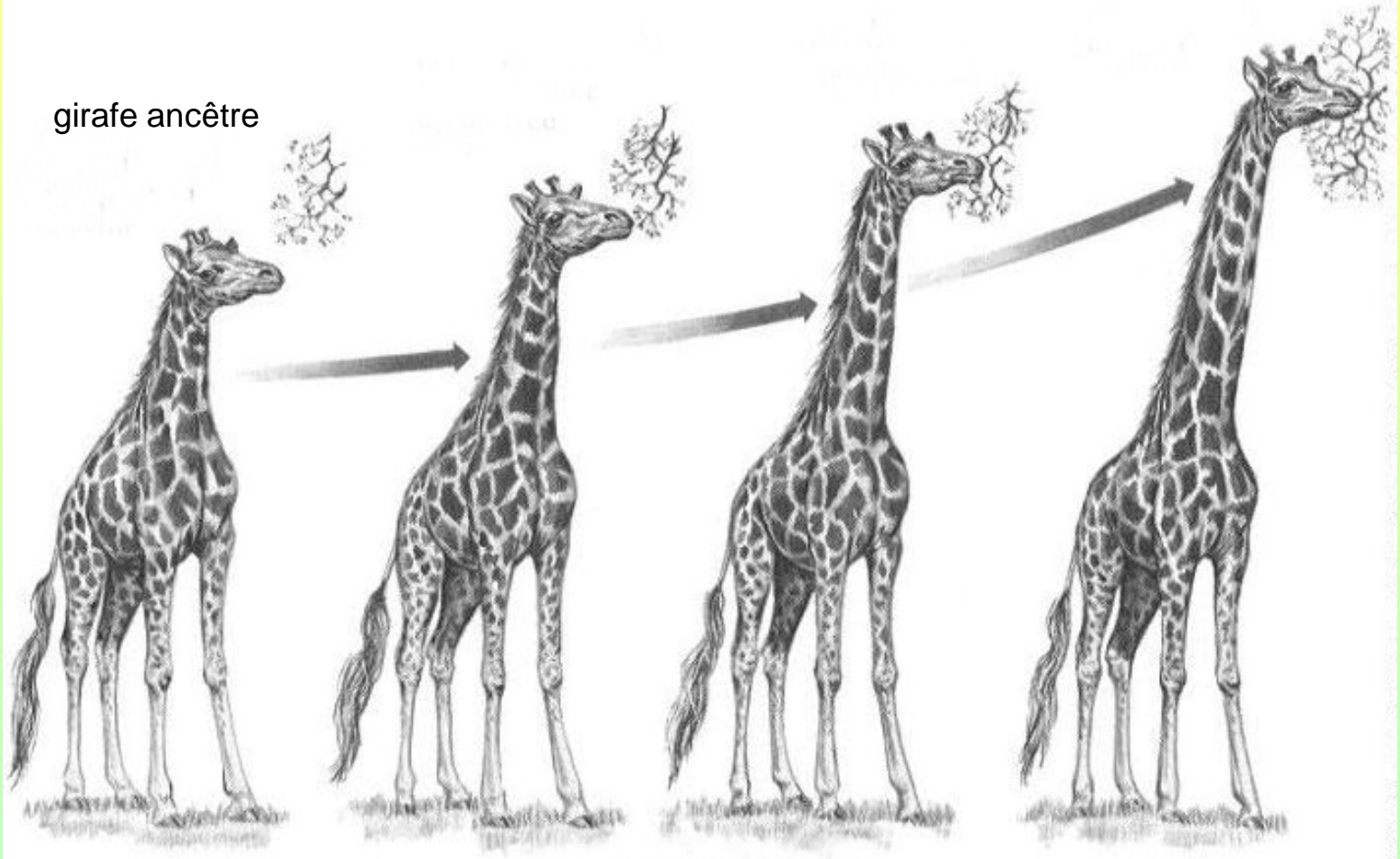
## Théorie du **Transformisme**

Les caractères acquis n'étant pas héréditaires , cette théorie a rapidement été abandonnée mais le grand mérite de Lamarck c'est d'avoir envisagé la modification des espèces au cours des temps .

## schématisation de la théorie de Lamarck

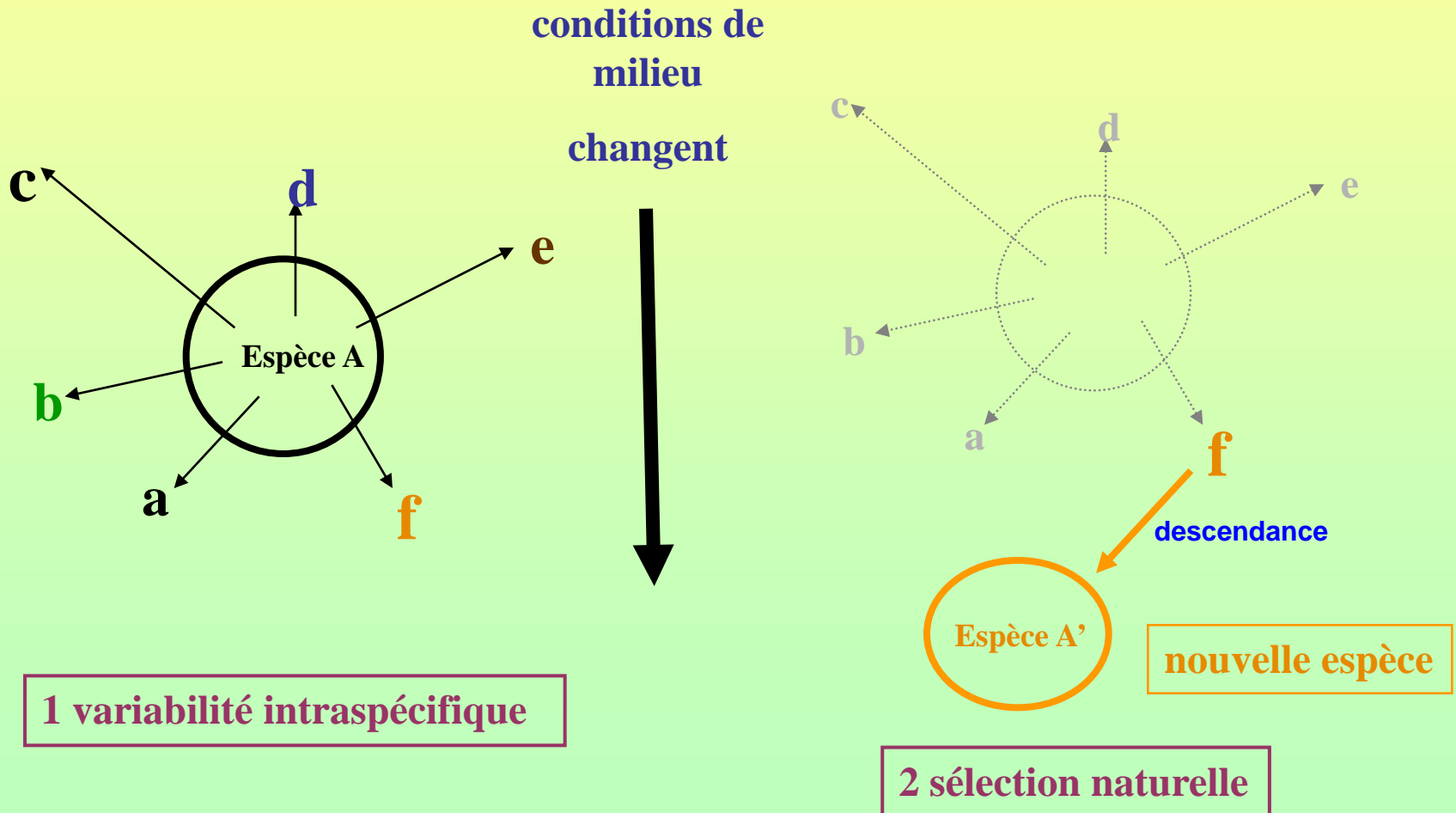
la position haute du feuillage **provoque** l'allongement du cou des girafes qui **transmettent** ce caractère à leurs descendants

girafe ancêtre



\* **Charles Darwin** (dans "de l'origine des espèces" 1859) :

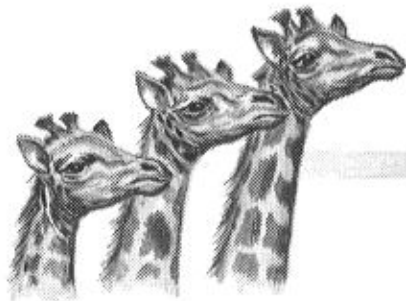
"...toutes les espèces vivantes manifestent une **variabilité** constante, la **sélection naturelle** garde les individus les **plus aptes** qui peuvent donner naissance à de **nouvelles espèces**..."



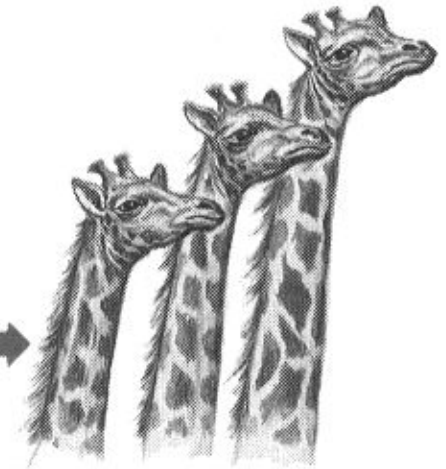


## schématisation de la théorie de Darwin

**variabilité** de longueur de cou à l'intérieur du groupe des ancêtres



**changement** du couvert végétal, les individus ayant un long cou peuvent atteindre facilement le feuillage en hauteur et sont donc **favorisés**.  
Ils auront **plus de descendants** (sélection naturelle)



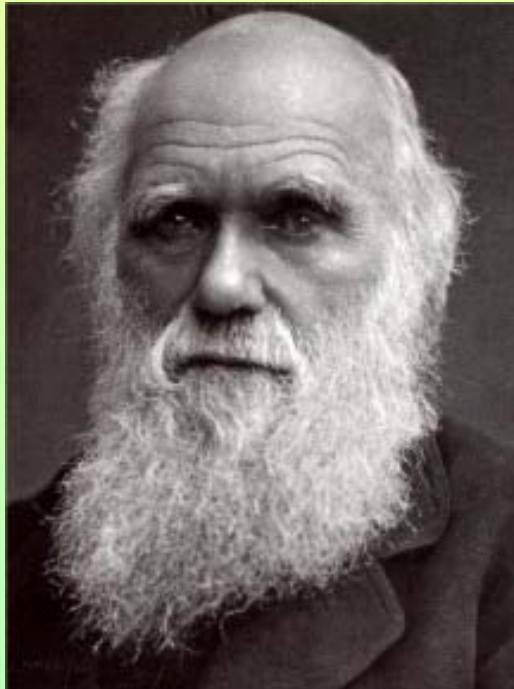
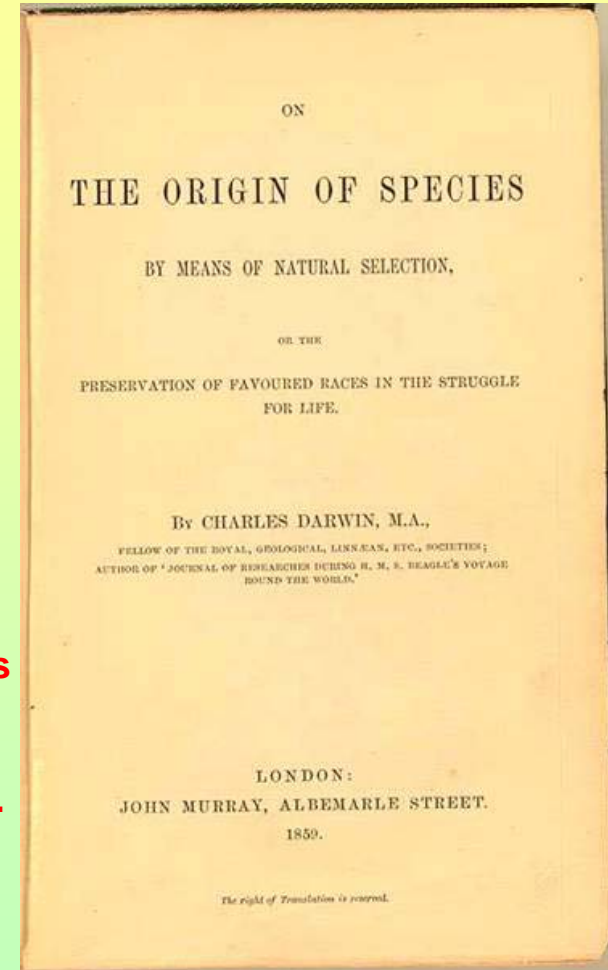
après **plusieurs générations**, toujours variabilité de longueur de cou mais, globalement, tous les individus ont un long cou

# Darwin (1809-1882)



## Depuis les travaux de Darwin :

- \* lois de l'hérédité (Mendel, 1866)
- \* chromosomes et mutations  
(Morgan vers 1900)
- \* ADN support de l'hérédité (1944)...



**De très nombreuses recherches et découvertes scientifiques ont permis de démontrer la validité de la théorie de Darwin.**

**"de l'origine des espèces"  
1859**

# F. Les classifications botaniques après Linné

a) Fin 18ème siècle – début 19ème siècle :

essais de "classifications naturelles"

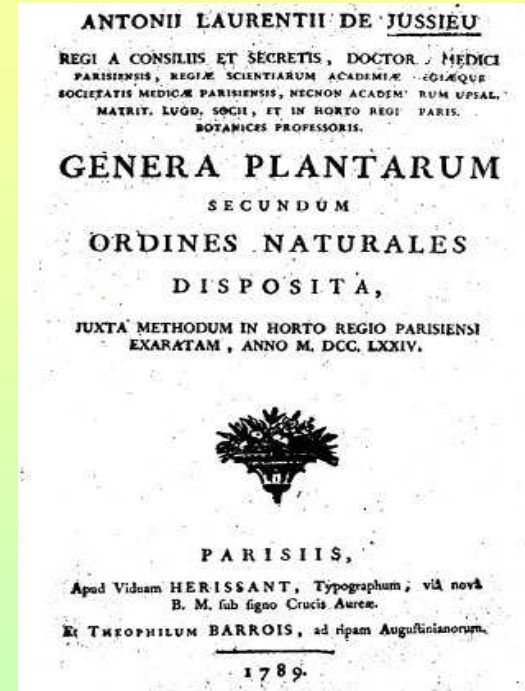
utilisant de nombreux caractères hiérarchisés



**Bernard de Jussieu**  
(démonstrateur Jardin du Roi)  
1699-1777

mais surtout

**Antoine-Laurent de Jussieu**  
(prof. Muséum d'Histoire Naturelle) 1748-1836



\* plantes réunies en 100 ordres (=familles)

76 encore reconnues de nos jours

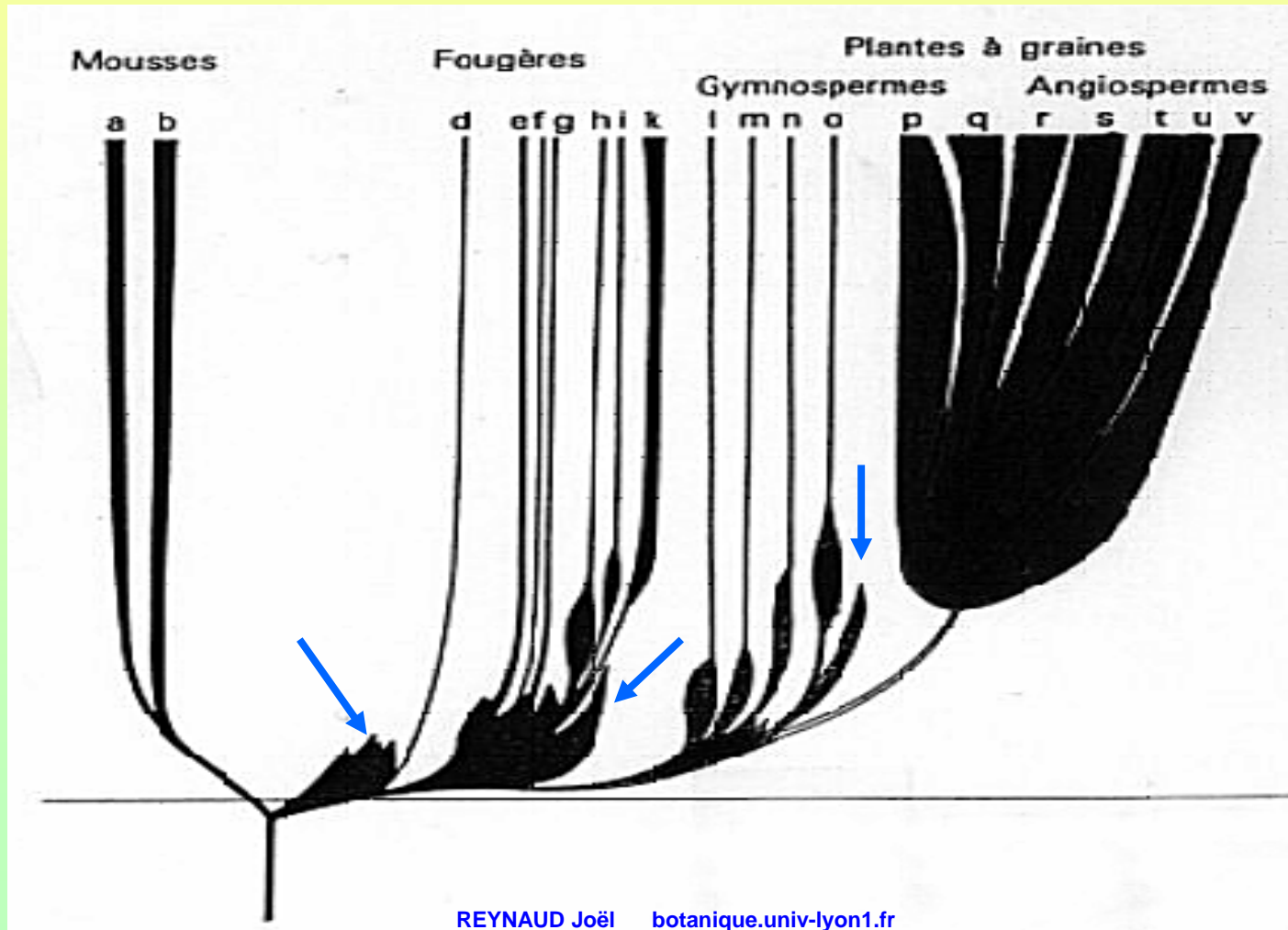
\* considéré comme le point de départ de la nomenclature des familles



b) après et Lamarck et Darwin :

classifications intégrant la notion d'évolution :  
arbres généalogiques du monde végétal

→ **Classifications phylogénétiques**



# G. Classifications contemporaines

\* à partir du début du 20ème siècle :

**classifications phylogénétiques de + en + complexes**

**synthèse de très nombreux caractères ("classifications synthétiques")**

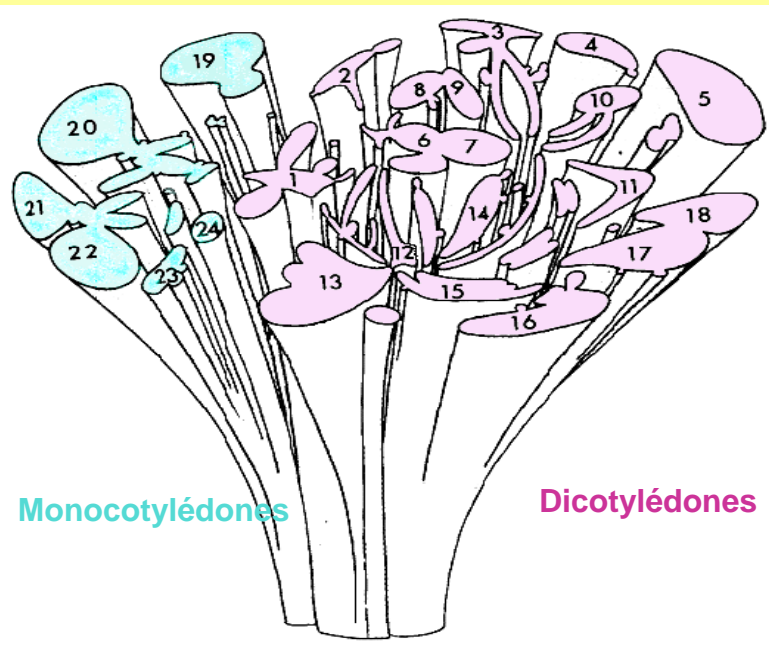
**+ macroscopiques : fleur**

**+ microscopiques : pollen, embryon....**

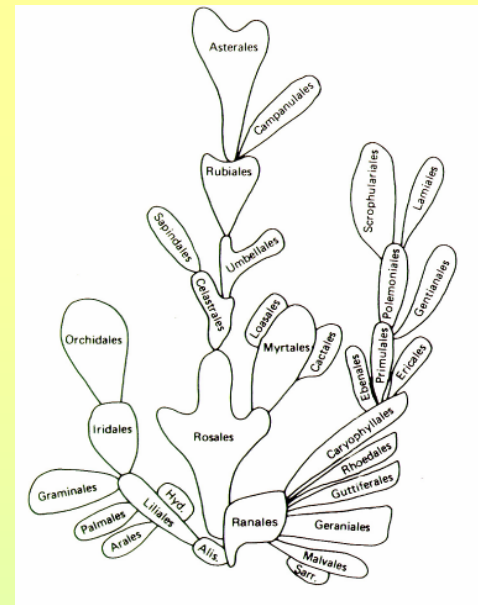
**+ caryologiques : chromosomes**

**+ biochimiques : classes chimiques synthétisées**

**(surtout métabolisme secondaire)**



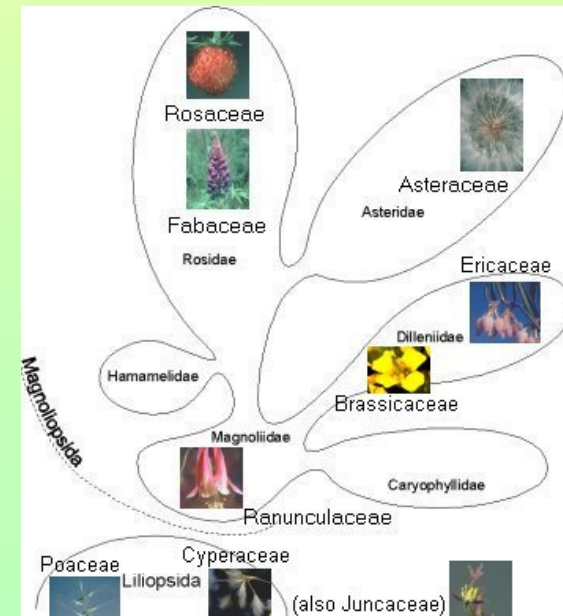
"arbre" de Dahlgren



"cactus" de Bessey

Classifications de Dahlgren (1932-1987) et surtout de Cronquist (1919-1992), très utilisées encore, mais basées essentiellement sur des caractères morphologiques

Cronquist



## \* phénétique ou taxonomie numérique

très grand nombre de caractères codés puis traités par informatique

**arbres phénétiques ou phénogrammes**

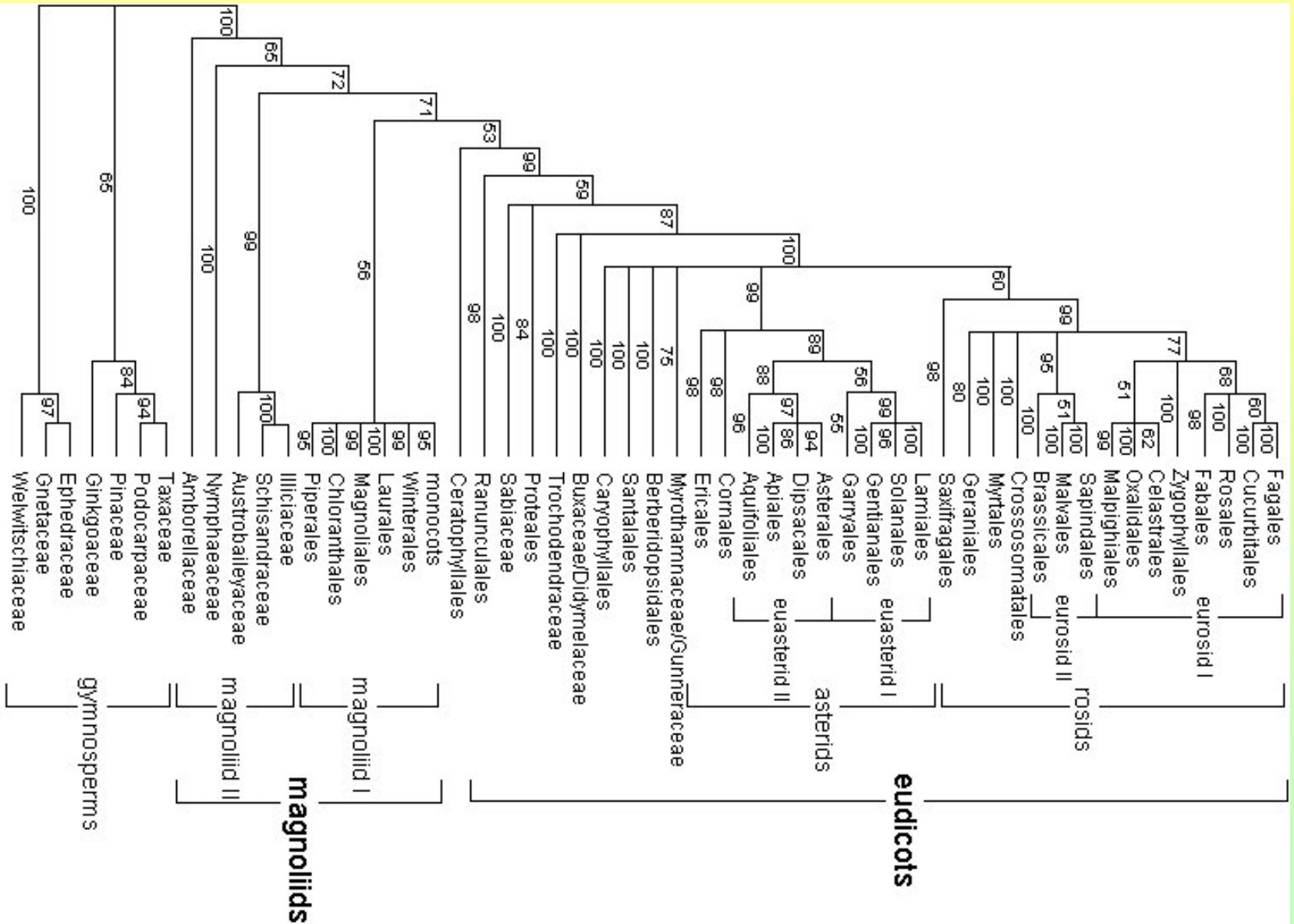
exprimant des degrés de similitude ou ressemblance

La méthode phénétique estime que plus le nombre de caractères communs  
à deux espèces est grand, plus elles se ressemblent donc plus elles sont proches.

Tous les caractères sont considérés, au départ, comme ayant le même "poids".

On calcule ainsi des indices de ressemblance ou des distances entre organismes

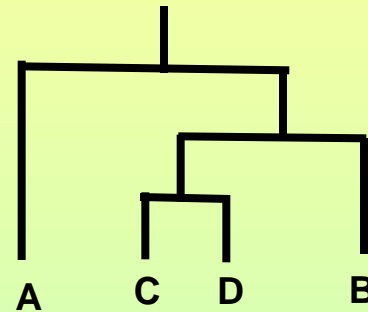
# Phénogramme des Angiospermes Dicotylédones et des "Gymnospermes"



## \* cladistique (Willi Hennig, vers 1950)

Quand une **nouveauté** apparaît chez un individu, elle sera **transmise** à tous ses descendants :  
donc lorsque plusieurs êtres vivants **partagent** une même **nouveauté évolutive**  
(**homologie** ou **apomorphie**), **ils l'ont héritée d'un ancêtre commun**.

En cladistique on définit des **clades** (= rameaux)  
ou **groupes monophylétiques** comprenant  
un ancêtre et tous ses descendants



problème, il peut y avoir des ressemblances à cause :

\* de la **convergence** : caractère particulier apparu plusieurs fois au cours de l'évolution et rencontré chez des espèces **non apparentées**

(ex "plantes grasses", "plantes carnivores",...)

\* de la **réversion** : retour d'un caractère dérivé à l'état ancestral (ex mammifères marins)

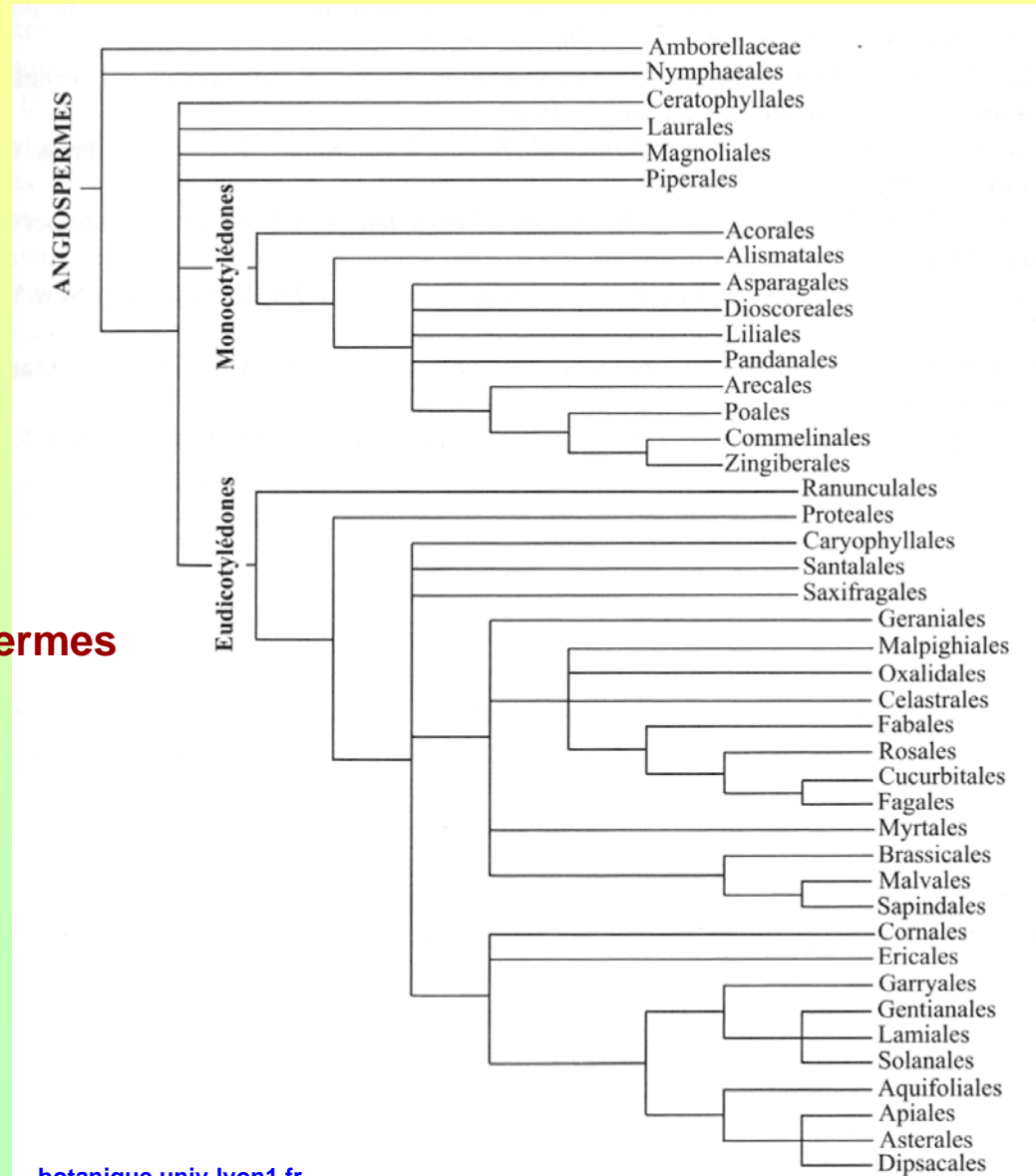
On parle alors d'**homoplasie**

A partir de l'étude d'un certain nombre de caractères, plusieurs cladogrammes sont possibles :  
on considère comme valable, celui qui entraîne **le moins de transformations évolutives**  
(le "plus économique") : principe de **parcimonie**.

utilisation depuis  
quelques années  
de **séquences nucléiques**

### Cladogramme des Angiospermes (selon APG)

**APG :**  
**Angiosperm Phylogeny Group**



# III. Le règne végétal

## A. Evolution de la notion de règnes

► Monde vivant longtemps divisé en **2 règnes** :

- \* **règne animal**

- \* **règne végétal**

(incluant bactéries, cyanophytes et champignons)

► Ensuite (et encore souvent) divisé en **5 règnes**

- \* **Procaryotes** (Bactéries et Cyanophytes)

- \* **Protistes** (eucaryotes unicellulaires chlorophylliens ou non)

- \* **Végétaux** (*Plantae*)

- \* **Champignons** (et Lichens)

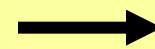
- \* **Animaux**



# Actuellement on envisage 2 empires avec 6 règnes

## ► empire des **Procaryotes** (unicellulaires sans noyau)

■ paroi avec acide muramique



**Eubactéries**  
(dont les **Cyanobactéries\***)

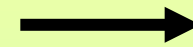
■ paroi sans acide muramique



**Archées**

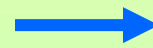
## ► empire des **Eucaryotes** (noyau)

■ unicellulaires non chlorophylliens, mobiles, phagocytose



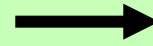
**Protozoaires**

■ uni ou pluricellulaires autotrophes (chlorophylle)



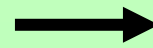
**Végétaux (*Plantae*)\***

■ uni ou pluricellulaires hétérotrophes, cellules avec paroi



**Champignons**  
(et **Lichens\***)

■ pluricellulaires hétérotrophes, phagocytose

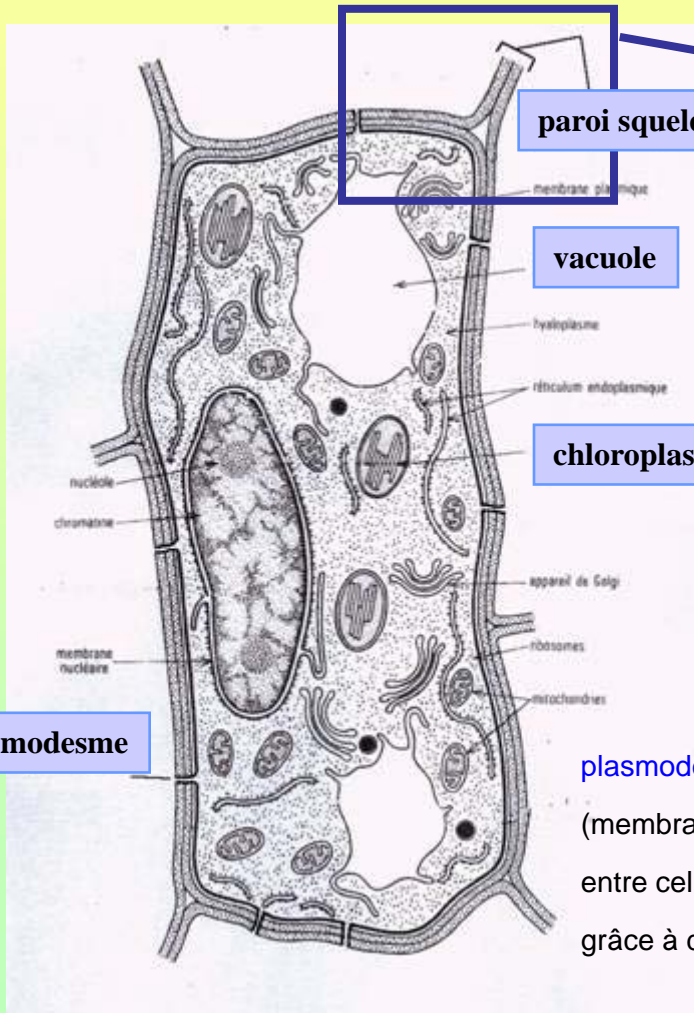


**Animaux**

\* groupes vus dans ce cours

# B. Principales caractéristiques des végétaux

## a) la cellule végétale



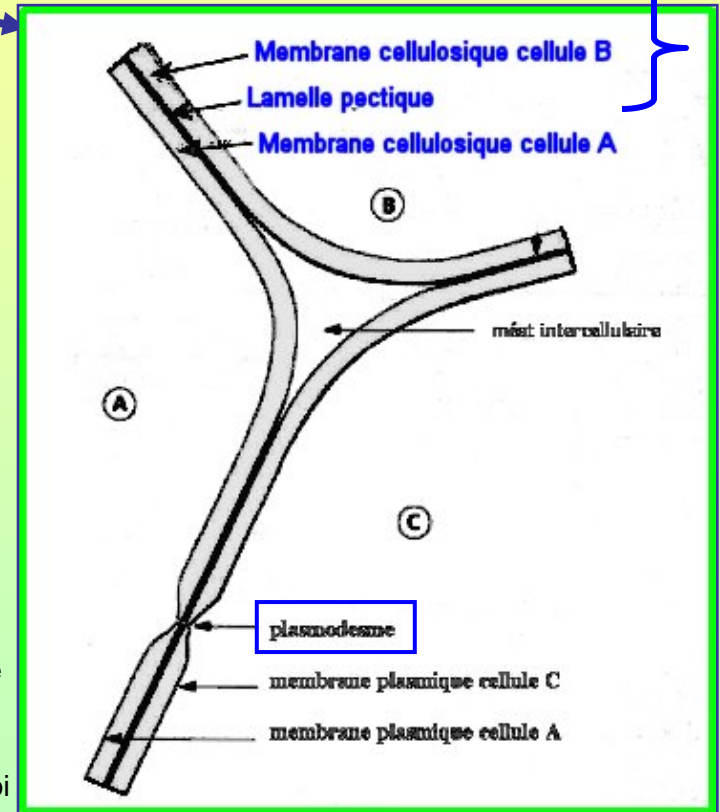
paroi squelettique

vacuole

chloroplaste

plasmodesme

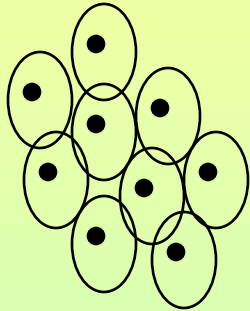
plasmodesme : continuité fonctionnelle (membrane plasmique, réticulum,...) entre cellules voisines à travers la paroi grâce à des ponctuations



détail paroi squelettique

## b) les tissus végétaux

**Multiplication  
cellulaire (par mitose)**



**méristèmes**

cellules indifférenciées  
mitoses permanentes

**méristèmes I<sup>aires</sup>** : tissus **initiaux** de la plante

**méristèmes II<sup>aires</sup>** : tissus permettant l'**accroissement en épaisseur** (non obligatoires)

**Différenciation  
et spécialisation**

**tissus de protection :**  
épiderme, suber

**tissus de soutien :**  
collenchyme, sclérenchyme

**tissus d'assimilation (chlorophyllienne)**

**tissus de réserve :**  
stockage d'amidon par exemple

**tissus conducteurs de sève**

**tissus de sécrétion (latex, essences  
ou huiles essentielles)**

# Tissus conducteurs de sève

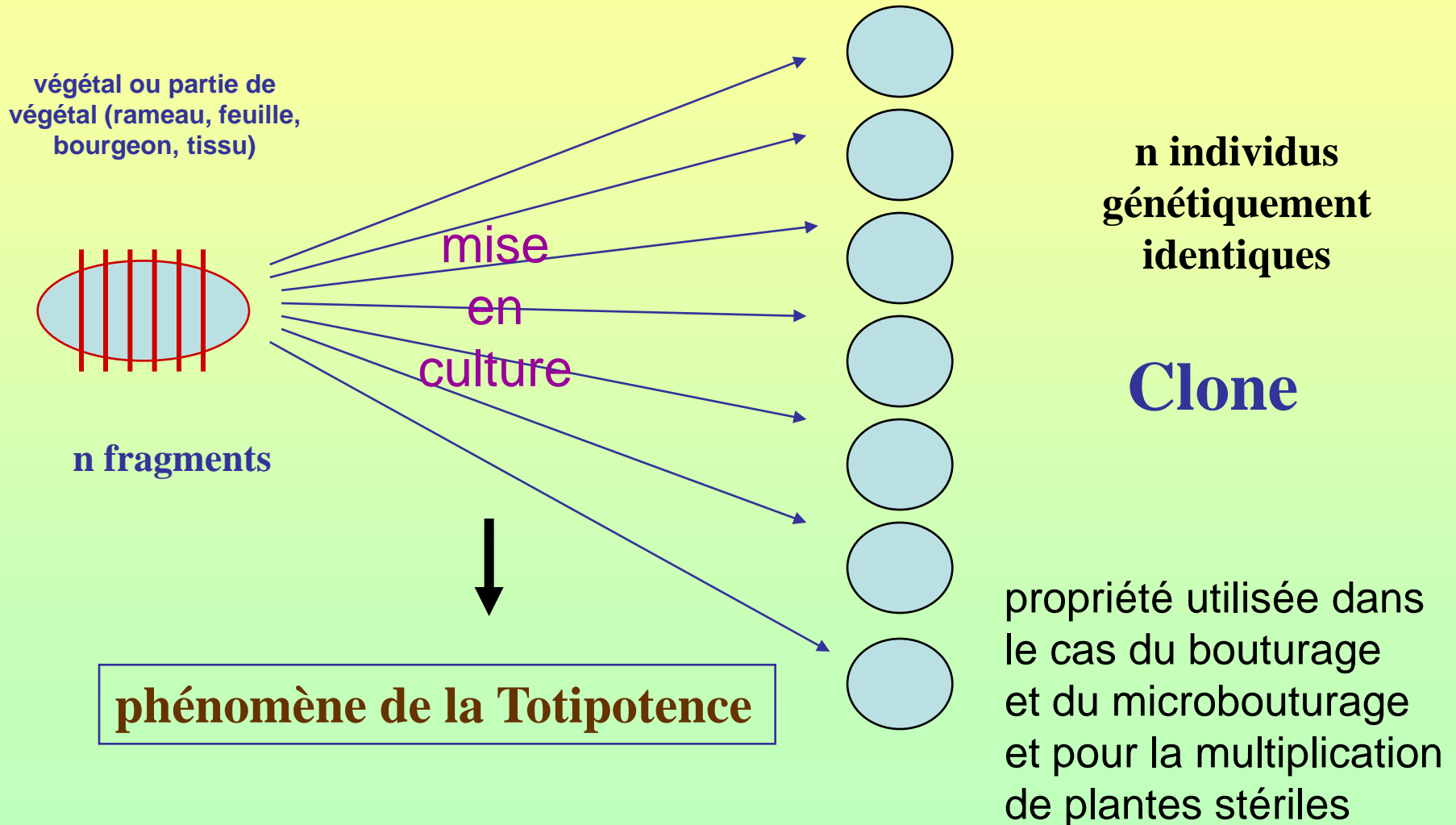
**Sève brute** : eau + sels minéraux → **BOIS ou XYLEME**

- \* sève "montante"
- \* cellules mortes, en files
- \* parois + ou - imprégnées de lignine

**Sève élaborée** : solution + ou – sucrée → **LIBER ou PHLOEME**  
(photosynthèse)

- \* sève "descendante"
- \* cellules vivantes, en files
- \* parois transversales perforées

## c) la multiplication végétative (multiplication non sexuée)

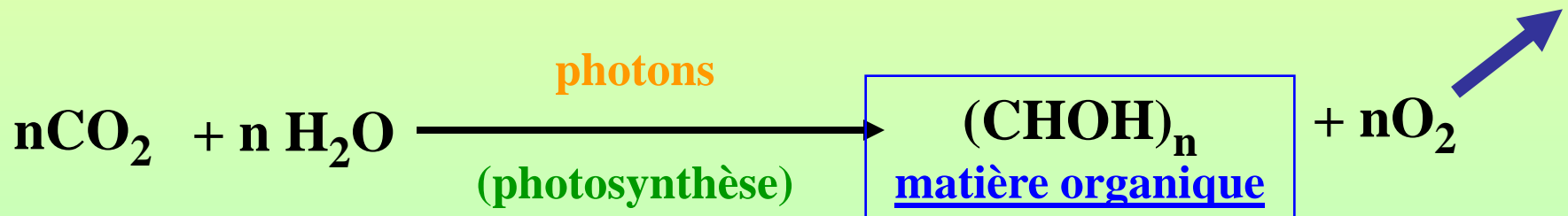


## d) le métabolisme

rappel : les végétaux sont **autotrophes**

### 1. cas général

réaction globale simplifiée de la photosynthèse



La photosynthèse se déroule au niveau des **Chloroplastes**

## 2. cas particuliers

### \* Plantes carnivores (ou plutôt insectivores)

autotrophes mais complément azoté et minéral à partir de la digestion d'insectes

### \* végétaux parasites

parasitisme : vie aux dépens d'un autre être vivant

pas de chlorophylle donc pas de photosynthèse (ex. cuscute)

### \* végétaux semi ou héli-parasites

chlorophylle donc photosynthèse mais pas de racines (ex. gui)

### \* symbiose

"association à bénéfices réciproques"

entre 2 ou plus de 2 êtres vivants (ex. orchidées, légumineuses)

80% des Angiospermes réaliseraient une symbiose avec des champignons au niveau de leurs racines ([Mycorhizes](#))

Remarque : plantes **épiphytes**

épi : sur

phyte : plante

## e) l'immobilisme

- Les végétaux ne se déplacent pas, mais sont capables de **coloniser** de très grandes surfaces :
  - \*\* dispersion au niveau des **spores** (Bryophytes, Ptéridophytes), des **graines** (Spermaphytes), ou des **fruits** (Angiospermes)
  - \*\* colonisation par **rhizomes** (tiges souterraines ex. muguet) par **stolons** (tiges rampantes s'enracinant ex. fraisier)
  - \*\* dispersion par **fragmentation** de l'appareil végétatif (multiplication végétative)
- parfois mobilité de certaines parties : fleurs, feuilles, vrilles,....

**l'immobilisme est compensé par une chimie très développée**



# C. Notions de Phytochimie

plantes  
=  
"usines chimiques"



métabolisme I<sup>aire</sup>  
("chimie lourde")

métabolisme II<sup>aire</sup>  
("chimie fine")

## a) Métabolisme I<sup>aire</sup>

**Métabolisme fondamental :**  
**molécules indispensables à**  
**la vie de la plante**

**acides aminés**

**cellulose**

**amidon**

**chlorophylle**

**etc...**

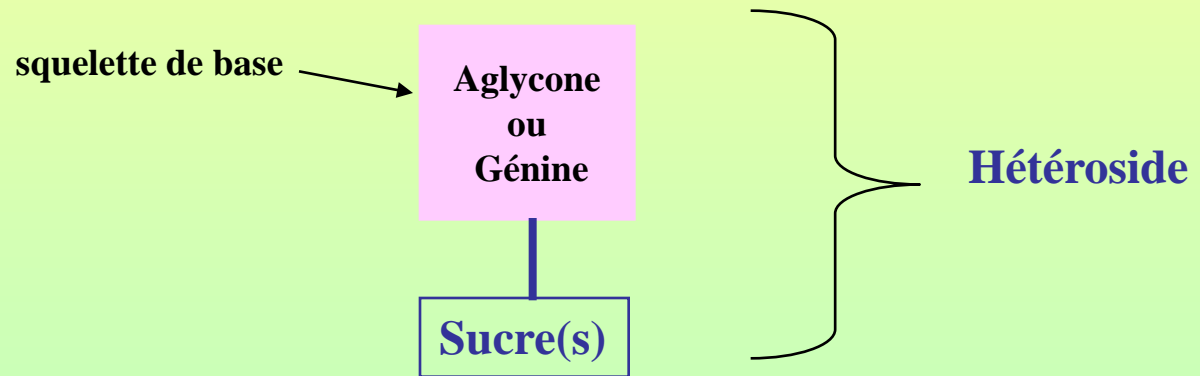
## b) Métabolisme II<sup>aire</sup>

- Molécules longtemps considérées comme **"non indispensables"** à la vie de la plante
- **dérive** du Métabolisme I<sup>aire</sup>
- métabolisme d'**adaptation** de la plante avec le milieu (défense, protection...)
- **caractéristique** du monde végétal

- près de **40 000** structures connues (Phytochimie)

1. composés phénoliques  
ou aromatiques
2. composés terpéniques
3. alcaloïdes

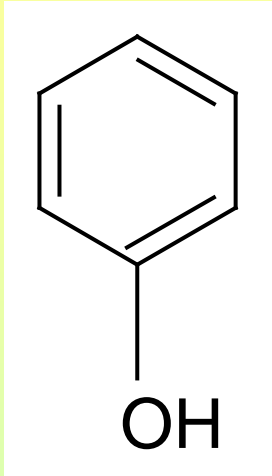
tous ces composés  
le plus souvent  
sous forme  
d'hétérosides  
(solubles dans la vacuole)



#### 4. Glucosinolates, Hétérosides Cyanogènes...

# 1. Composés phénoliques ou aromatiques

unité de base

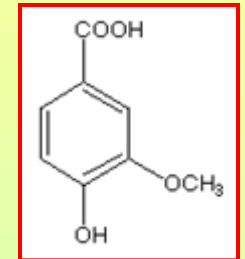
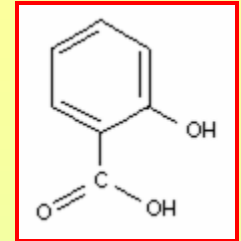


noyau aromatique

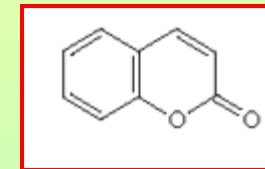
- **acides phénoliques** (C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub>)

ex. ac. salicylique

ac. vanillique....



- **coumarines** (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>)



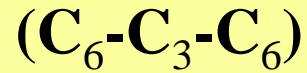
coumarine

ex. furanocoumarines

ou furocoumarines (ex. bergaptène)

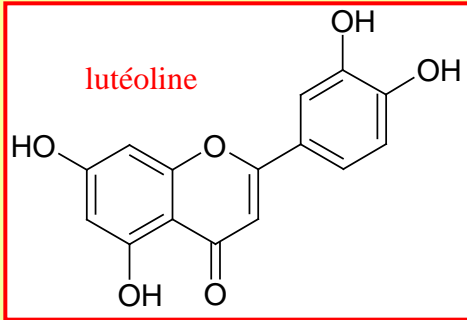
présentes chez les Apiacées et provoquant des phénomènes de photosensibilisation

- **Flavonoïdes >7000 structures**

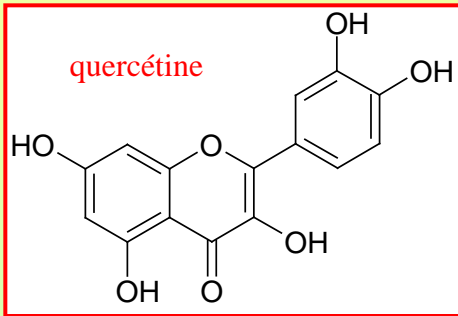


- \* dans tous les végétaux supérieurs
- \* partie feuillée
- \* mais surtout fleurs et fruits
- \* subdivisés en une quinzaine de sous-classes
- \* le plus souvent sous forme d'hétérosides

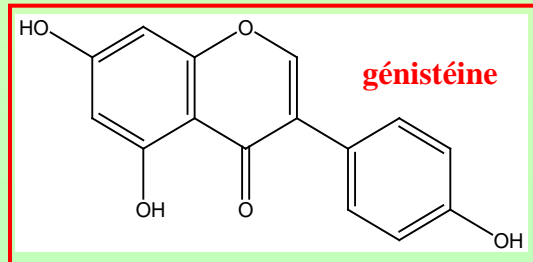
# exemples de Flavonoïdes



## Flavones



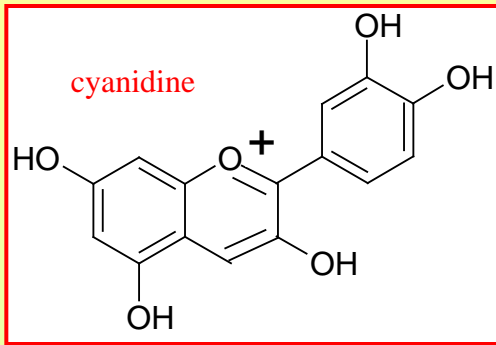
## Flavonols



## Isoflavones

(incolores à + ou - jaunâtres  
fleurs blanches, jaunes)

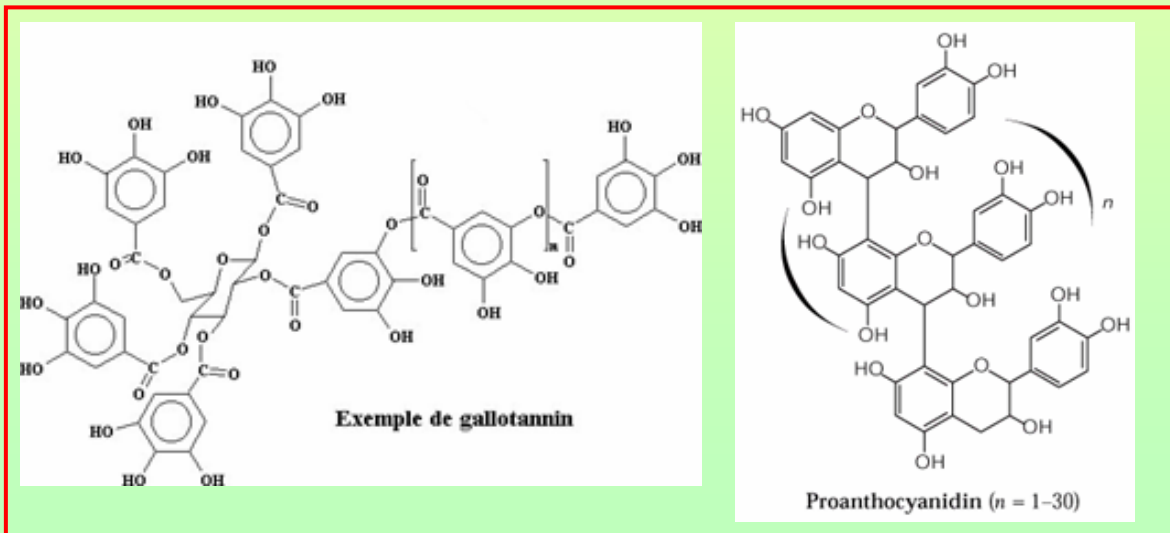
Surtout dans la famille  
des Fabacées : trèfle,  
graines de soja...



## Anthocyanes

du rose au bleu violacé  
fleurs et fruits (pétunias,  
géraniums, cerises, raisins)

## Tannins

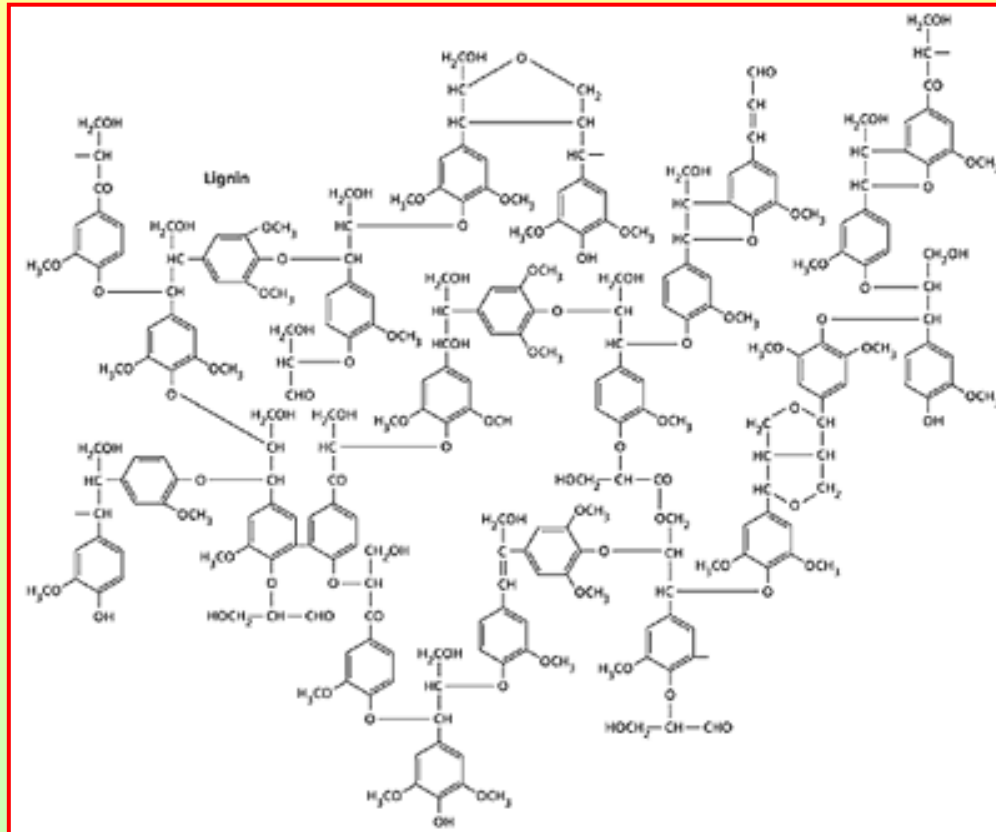


Fruits (non mûrs),  
écorces d'arbres, vin

(tannage des peaux,  
propriétés astringentes)



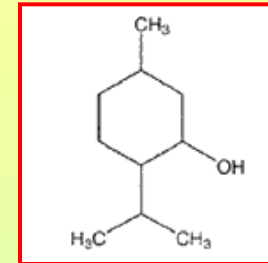
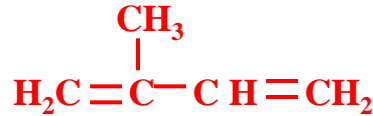
# ● Lignines (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>)<sub>n</sub>



- \* parfois intégrées dans le **métabolisme Iaire**
- \* **2<sup>ème</sup> biomasse** en quantité après la cellulose
- \* **rigidité** des tissus : bois, noyau des fruits...

## 2. Composés terpéniques (>15 000 structures)

dérivés de l'**isoprène** :  $C_5H_8$



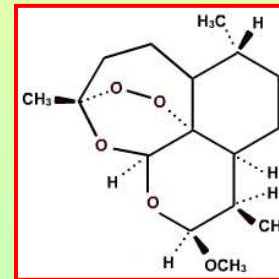
$C_{10}$  : **Monoterpènes**

ex : menthol, camphre

menthol

$C_{15}$  : **Sesquiterpènes**

ex : artemisinine



$C_{20}$  : **Diterpènes**

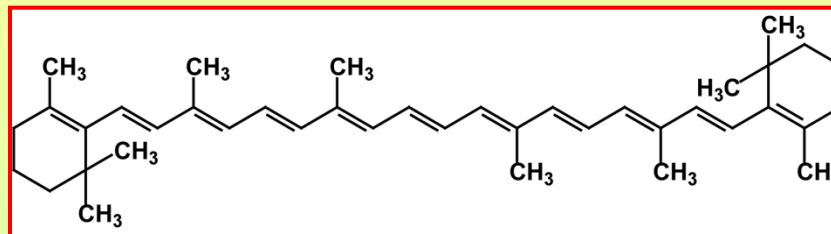
ex : acides résiniques des Conifères

**C<sub>30</sub> : Triterpènes**

**ex : phytostérols**

**C<sub>40</sub> : Tétraterpènes**

**ex : caroténoïdes (carotène, lycopène)**



béta-carotène

**au-delà de 40 carbones : Polyterpènes (jusqu'à 5000 unités isoprènes)**

**ex : latex abondant chez les Euphorbiacées (caoutchouc naturel extrait  
d' *Hevea brasiliensis* )**

**ex : latex du Sapotillier (Sapotacées) donnait autrefois le chewing-gum**

# 3. Alcaloïdes

**Présence d'azote**

**Réaction alcaline**

**Propriétés pharmacologiques le plus souvent**

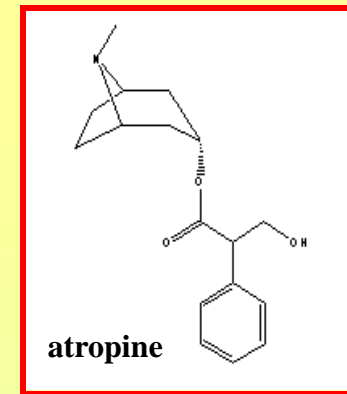
**Toxicité fréquente**

**Plus de 12 000 structures connues appartenant à différents types  
suivant le noyau de base**

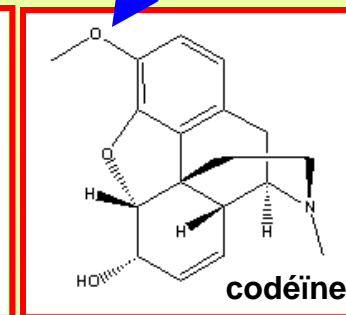
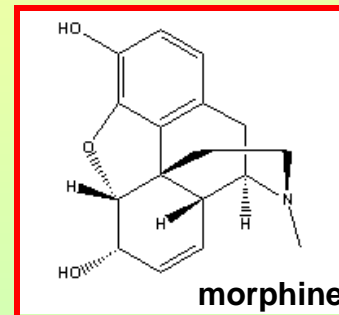
**Rares chez les Ptéridophytes et chez les Gymnospermes (if : taxine)**

**Rencontrés essentiellement chez les Angiospermes Dicotylédones**

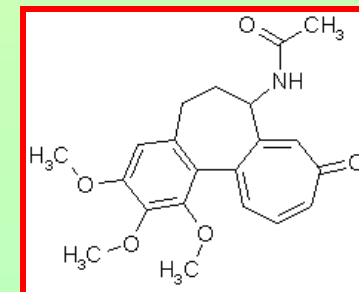
**Solanacées** : atropine, solanine, nicotine...



**Papavéracées** : morphine, codéine



**Liliacées (Monocotylédones)** : colchicine



## 4. Glucosinolates, Hétérosides Cyanogènes...

Aglycone  
ou  
Génine

Sucre(s)

Hétérosides n'appartenant pas aux classes précédentes  
qui comprenaient :

hétérosides flavoniques ex. rutine,  
glucoalcaloïdes,

hétérosides terpéniques ex. saponosides, iridoïdes

**$\alpha$ / Glucosinolates (env. 50 connus)**

**A l'hydrolyse libération de glucose et de composés soufrés volatils**

**à forte odeur piquante :**

**fréquents chez les Brassicacées ( chou, moutarde, radis,...)**

$\beta$ / hétérosides **cardiotoniques** ou **cardiotoxiques**  
(génine alcaloïde ou triterpène, mais action spécifique sur le cœur)



**Digitale pourpre**



**Muguet**



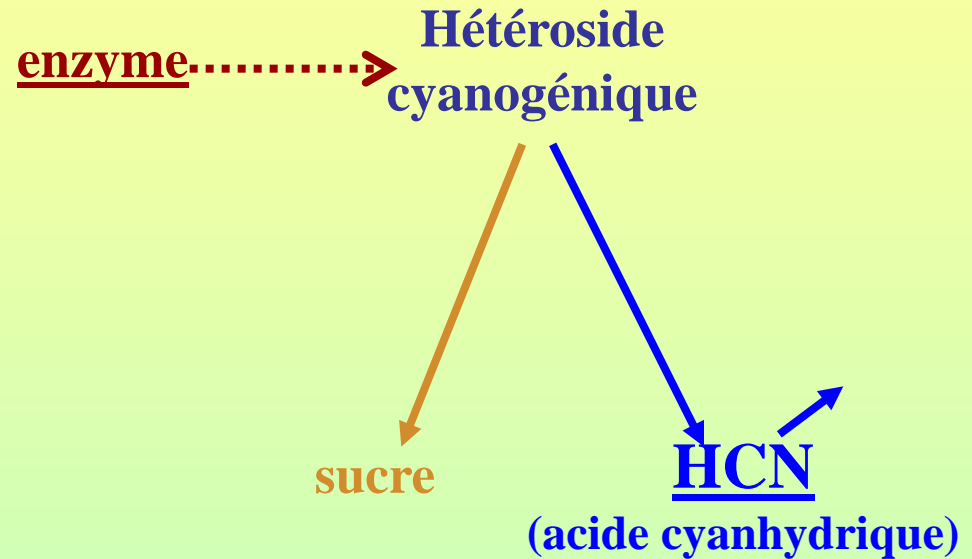
**Laurier rose**

# $\gamma$ / hétérosides cyanogènes (ou cyanogéniques)

> 2000 structures connues



Laurier cerise



Fréquents chez **Rosacées** :

laurier cerise : prunasoside

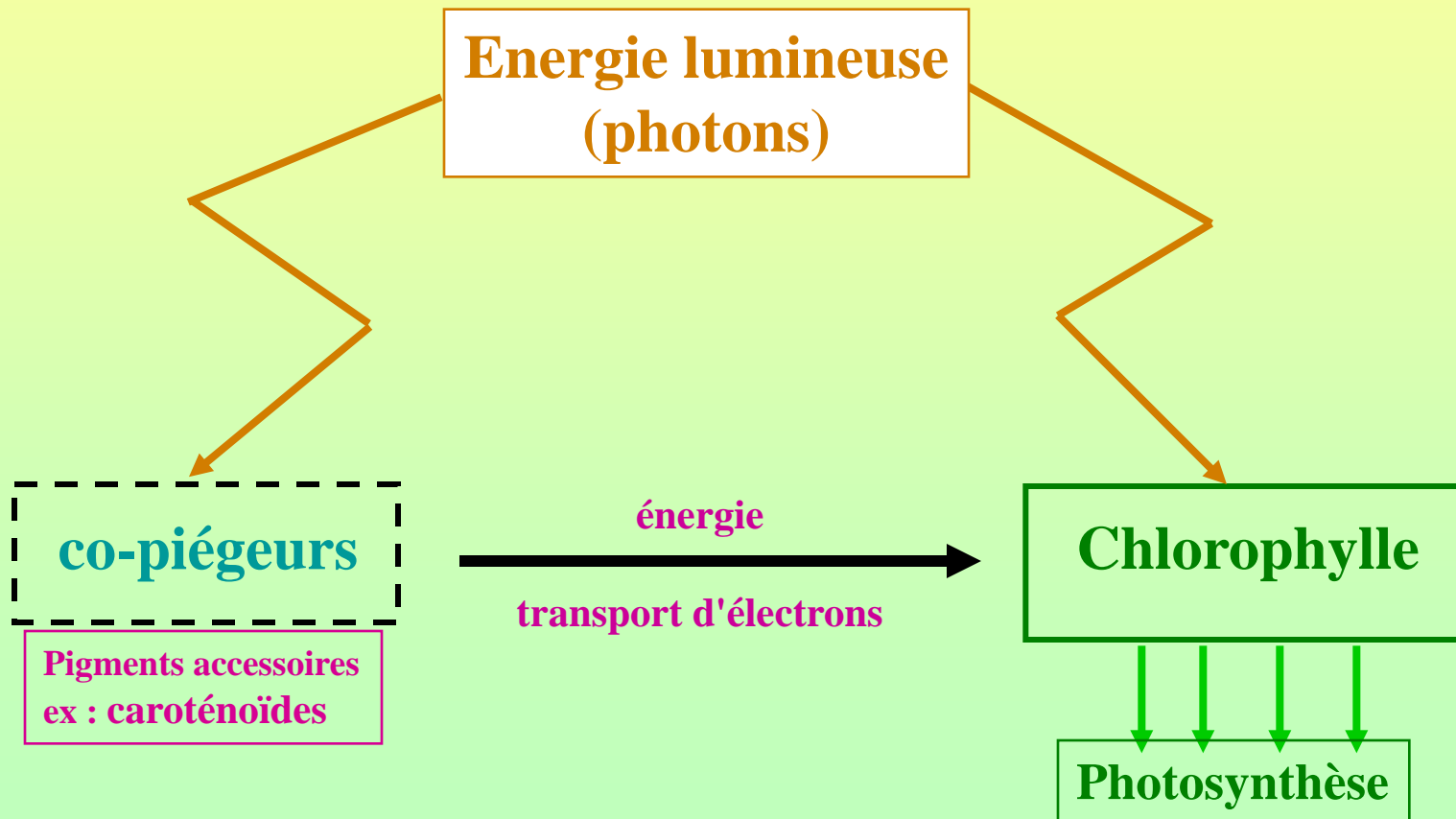
amandes amères, graines d'abricot, de pêche, de prune : amygdalosite



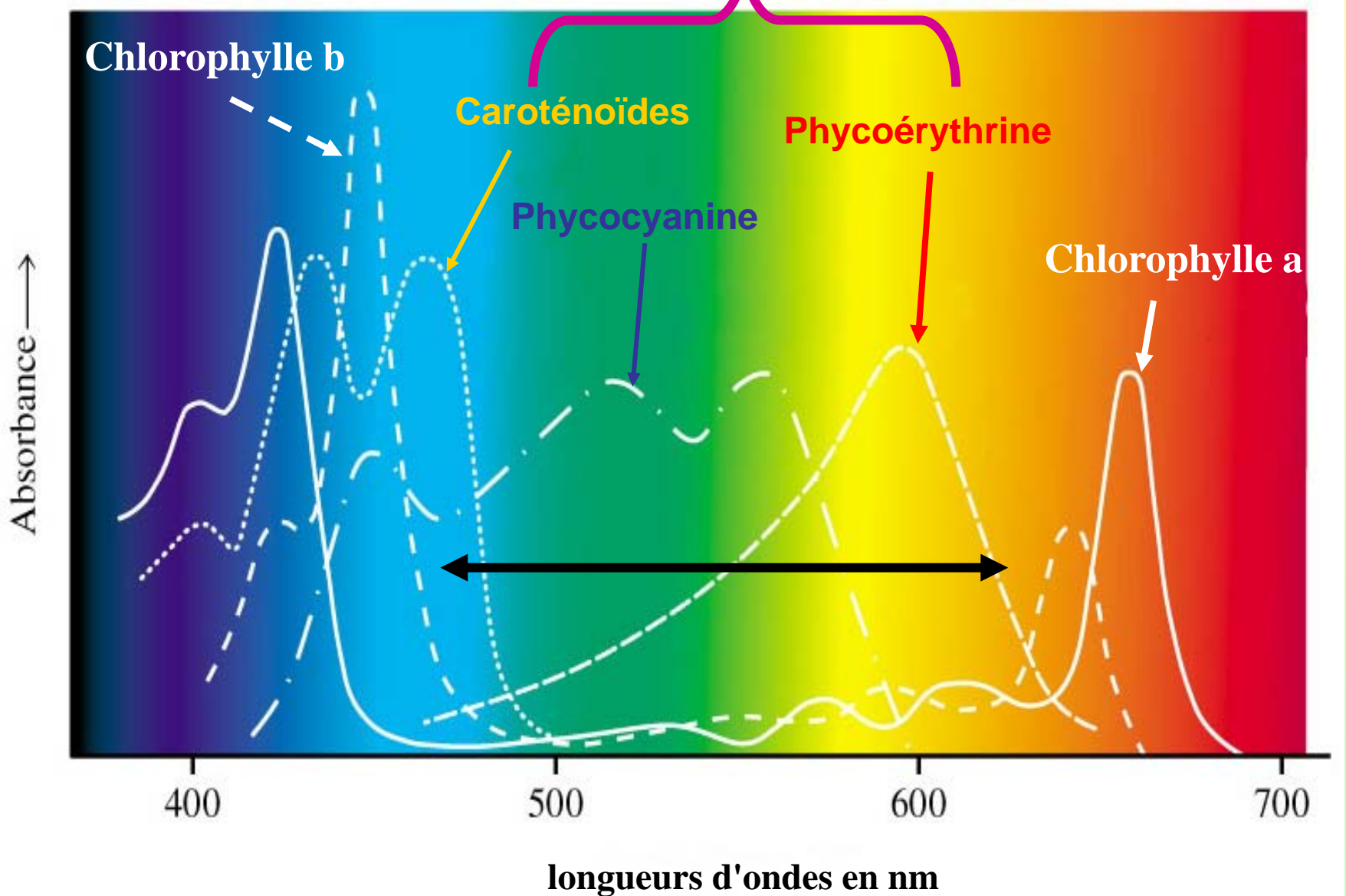
## c) Localisation des métabolites II<sup>aires</sup>

- ▶ dans la **paroi squelettique** (lignines)
- ▶ dans les **vacuoles** (flavonoïdes, alcaloïdes, hétérosides)
- ▶ dans des **organites spéciaux** :
  - chloroplastes (avec la chlorophylle)
  - chromoplastes (caroténoïdes)

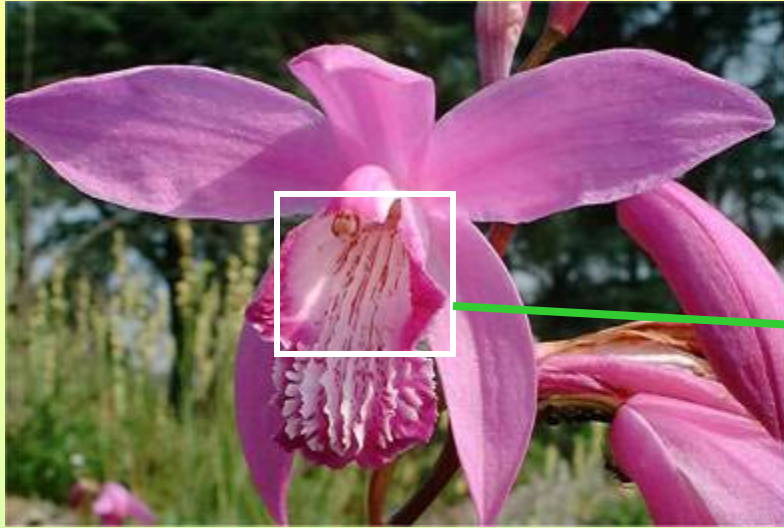
## d) Fonctions des composés du Métabolisme II<sup>aire</sup>



# Pigments accessoires



## 2. Guides à nectar



ornementations colorées au niveau des fleurs

attirent et guident les insectes vers le nectar :

**meilleure efficacité** au niveau de la pollinisation

### 3. Défense de la plante

- ▶ contre les virus et les micro-organismes
- ▶ contre les insectes : insecticides naturels
  - alcaloïdes : nicotine
  - flavonoïdes : roténone, tanins
  - hétérosides cyanogènes
  - terpénoïdes : pyrèthrines...
- ▶ contre les herbivores : alcaloïdes, tanins, glucosinolates
- ▶ contre la concurrence des autres plantes : ex. juglone (Noyer)
- ▶ contre les UV : flavonoïdes

## e) Les plantes, matières premières

### ▶ Amidon

Principal glucide de réserve des végétaux

### ▶ Sucre

**saccharose**, dioside libère par hydrolyse du glucose et du fructose

### ▶ Cellulose

### ▶ Lipides : plantes à huile

### ▶ Caoutchouc naturel

### ▶ Colorants naturels

### ▶ Insecticides naturels

## f) Intérêt des molécules du Métabolisme II<sup>aire</sup> pour le Pharmacien

\* activité au niveau du système nerveux  
ex : alcaloïdes

\* activité au niveau du muscle cardiaque  
ex : hétérosides cardiotoniques

\* activité antiseptique  
ex : Huiles essentielles (mono et diterpènes)

\* activité parasiticide  
ex. paludisme (quinine, alcaloïde ; artemisine, sesquiterpène)

\* **activité anti cancer**

**ex : taxol et dérivés (diterpènes), alcaloïdes**

\* **activité anti-oxydante et anti-inflammatoire**

**ex : anthocyanes, flavonols...**

Inconvénient : les molécules d'origine végétale les plus actives sont souvent toxiques : alcaloïdes, hétérosides cardiotoniques, saponines,...



# D. Les végétaux dans la biosphère

énergie lumineuse



Végétaux (photosynthèse)  
Matière organique

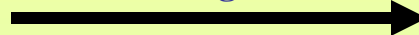
**Producteurs I<sup>aires</sup>**

O<sub>2</sub>

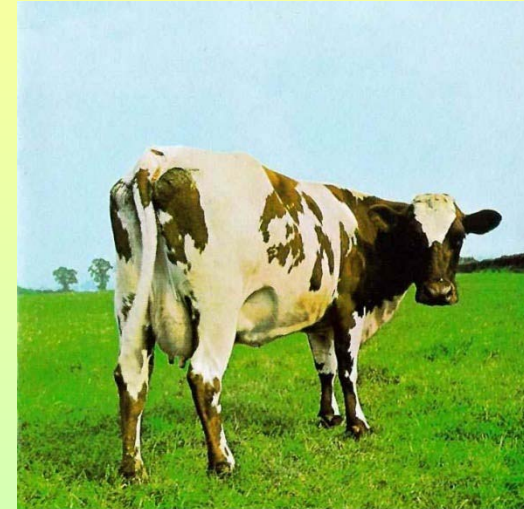


énergie

(matière organique)



Herbivores  
Consommateurs I<sup>aires</sup>



énergie  
(matière organique)

Carnivores  
Consommateurs II<sup>aires</sup>

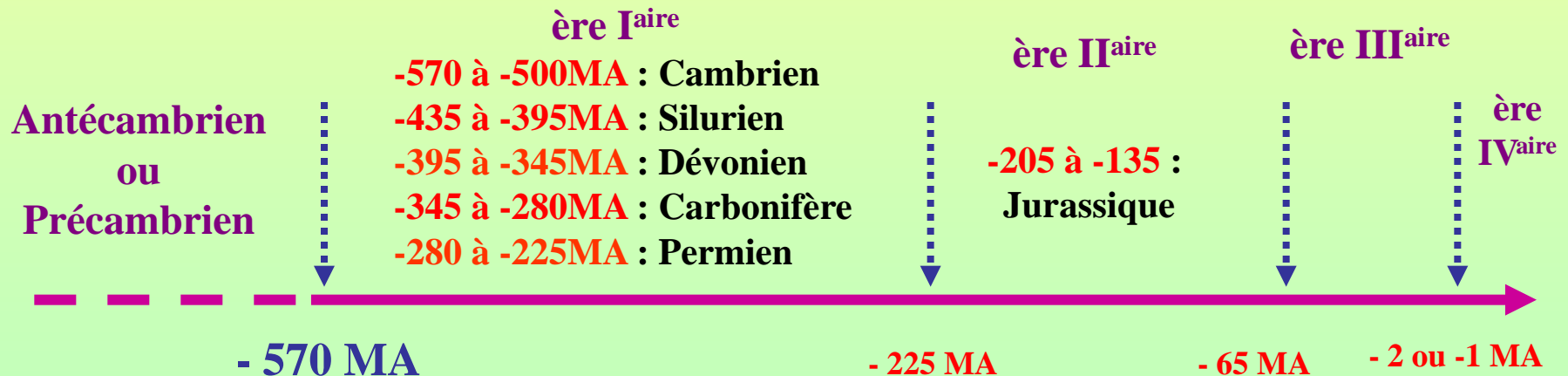


# IV. Notions d'évolution du monde végétal

Rappel : Lamarck et Darwin

## A. Echelle des temps

âge de la Terre : 4,5 Milliards A



\* premières traces de vie : -3,9 (??) Milliards d'années (Groenland, Australie)

# B. La Paléobotanique

## Etude des plantes fossiles

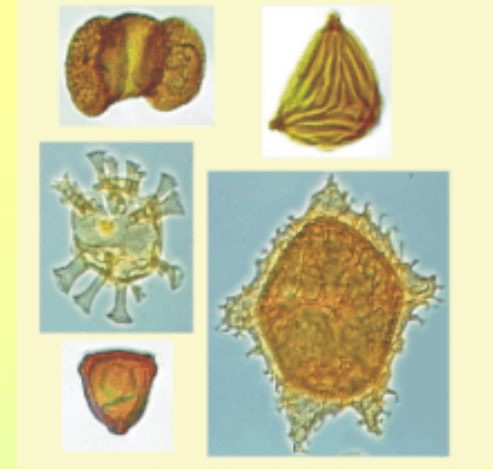
**a) Fossilisation**      très rare dans le monde végétal

- \* milieu très humide
- \* pauvreté en oxygène
- \* sédimentation rapide (boue, vase...)



# Différents types de documents fossiles

\* **Microfossiles** :  
spores et pollens dans les roches sédimentaires



\* **Macrofossiles** :  
débris végétaux visibles à l'œil nu

+ **empreintes** : traces laissées par des fragments, puis **disparition** de la matière végétale



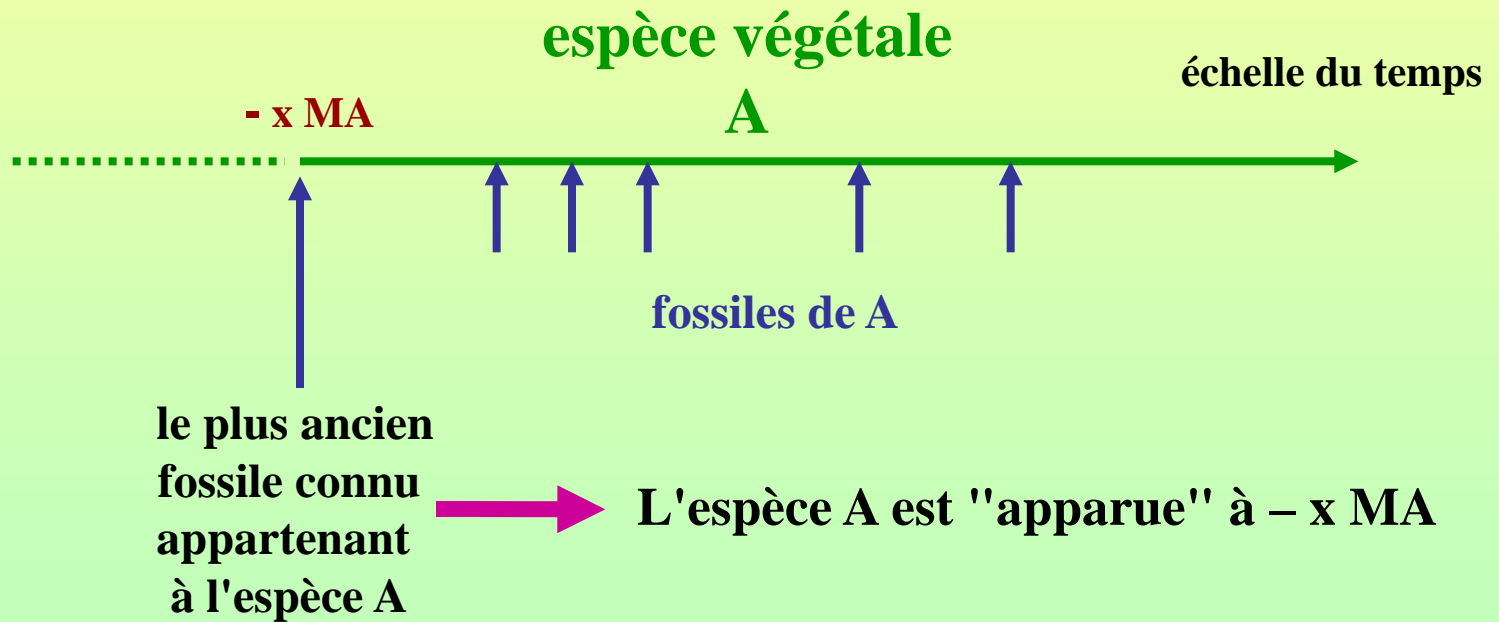
+ **pétrification** : matière végétale **remplacée**  
par matière minérale (ex. silice)



## b) Flores successives

groupements végétaux qui se sont succédés à la surface de la Terre

Qu'entend-on par "apparition" d'un groupe végétal ?



# 1. flore du Précambrien (jusqu'à -570MA)

- ▶ traces d'activité biologique
- ▶ prépondérance de procaryotes
- ▶ absence pendant une grande partie de reproduction sexuée
- ▶ à la fin du Précambrien, tous les groupes d'algues sont représentés

# 2. flore du I<sup>aire</sup> (-570MA à -225MA)

- ▶ au début, uniquement fossiles d'algues
- ▶ découverte de spores et sporanges de plantes terrestres datés de -475 MA
- ▶ premiers fossiles végétaux terrestres complets dans roches du Silurien (vers -425MA) : fougères



► Carbonifère : très nombreuses espèces de fougères arborescentes formant des forêts ( → dépôts de charbon)



60m



0,5 m



► fin du I<sup>aire</sup> : premiers fossiles de Gymnospermes (probablement période climatique de refroidissement et d'assèchement)

### 3. flore du II<sup>aire</sup> (-225MA à -65MA)

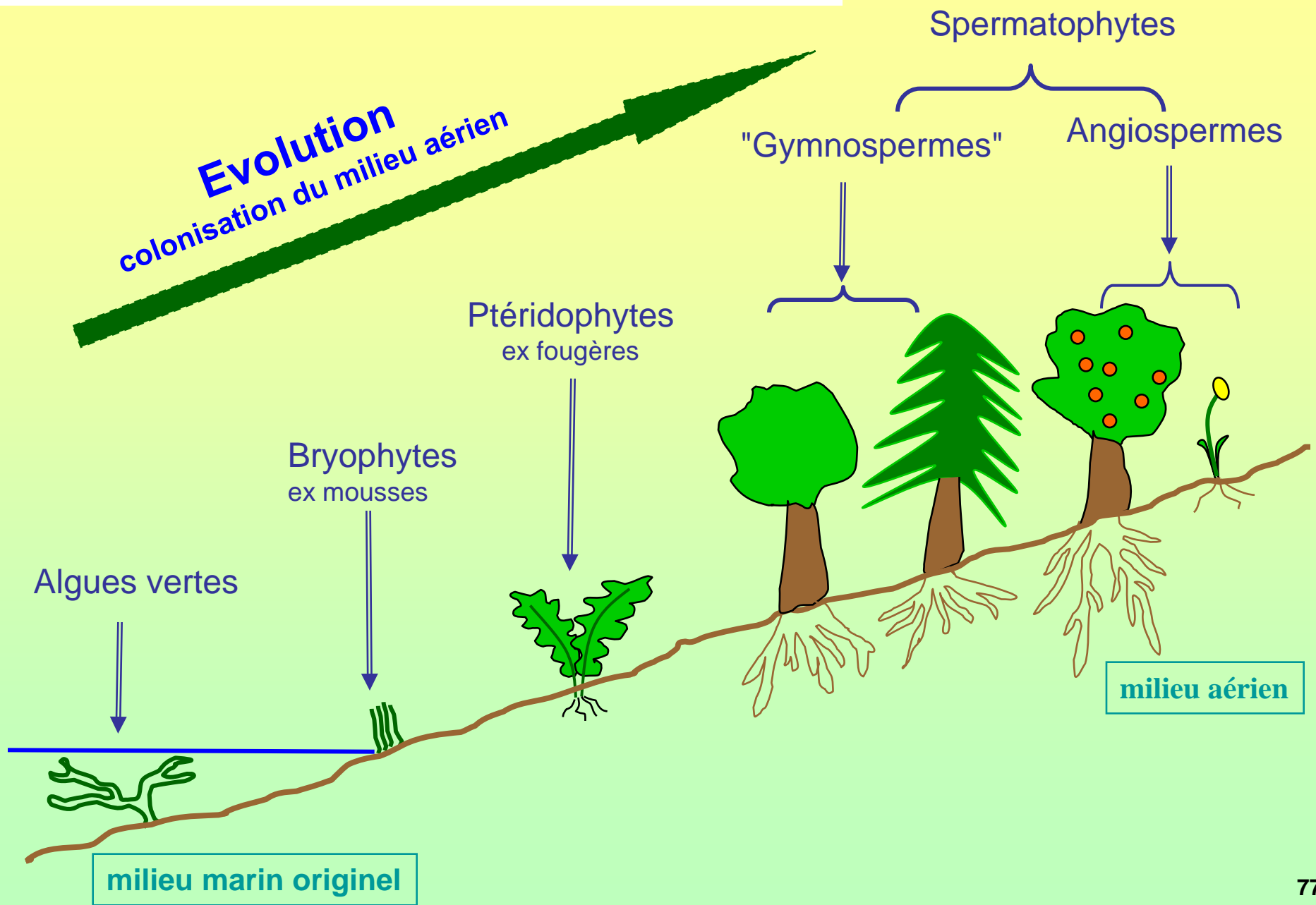
- ▶ régression des Ptéridophytes
- ▶ extension des Gymnospermes
- ▶ fin du Jurassique, vers -140MA :  
"apparition brutale" des Angiospermes ("explosion")

### 4. depuis le III<sup>aire</sup> (depuis -65MA)

- ▶ régression des fougères et des Gymnospermes
- ▶ très large domination des Angiospermes  
(plus de 250 000 espèces décrites)

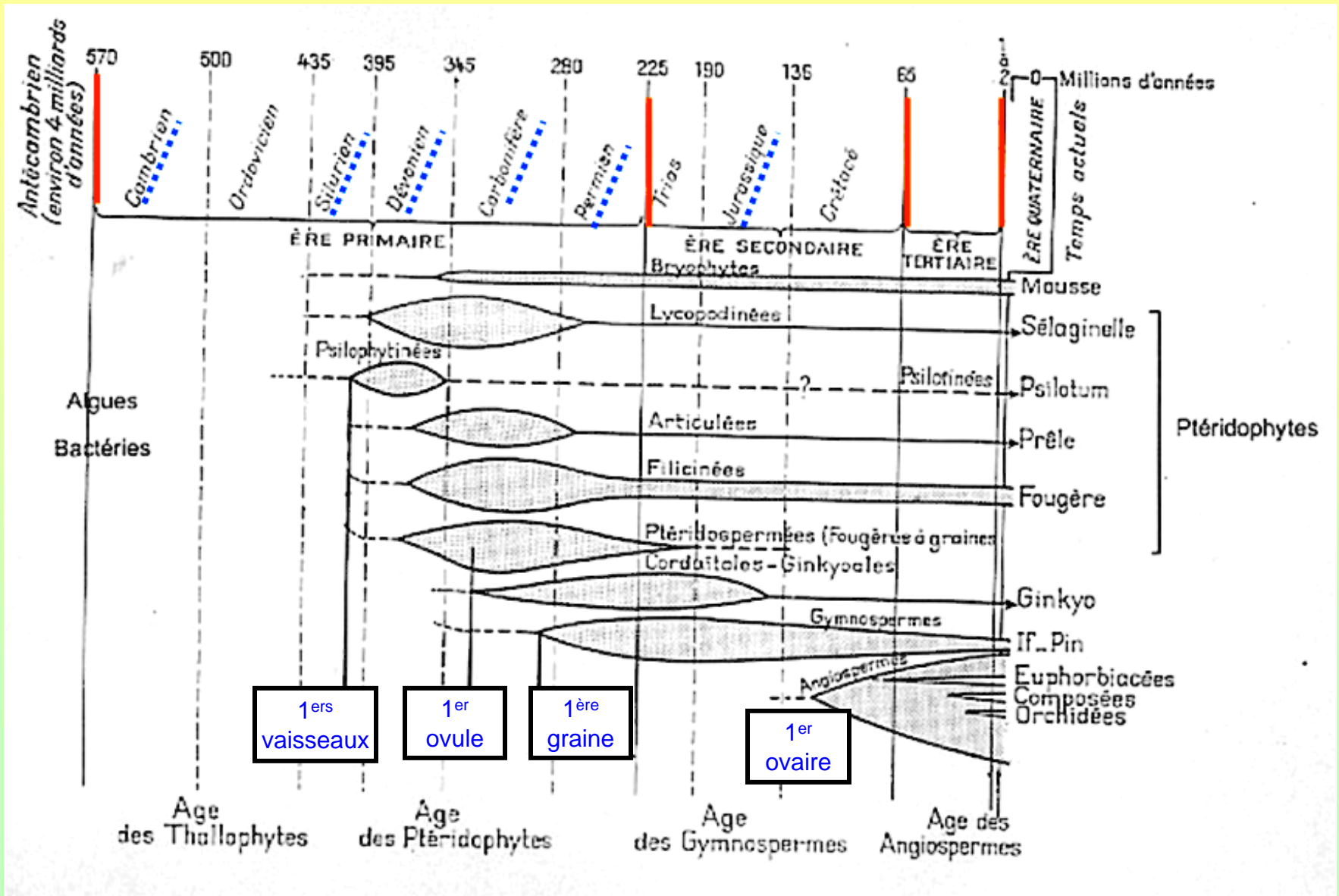


# C. L'évolution du monde végétal



# L'évolution du monde végétal (suite)

## Représentation schématique de la succession des différentes flores terrestres



## évolution possible grâce à la formation de **tissus** et **d'organes** permettant :

- \* d'aller chercher l'eau dans le sol
- \* de l'acheminer dans le reste de la plante
- \* de contrôler l'évaporation
- \* d'assurer la reproduction hors de l'eau
- \* d'assurer la dispersion de l'espèce

Au niveau des grands groupes végétaux,  
tout caractère permettant  
une meilleure adaptation au milieu aérien  
est considéré comme un critère d'évolution

## a) formation de nouveaux tissus

- \* tissus de **revêtement** imperméables limitant l'évaporation

**épiderme** (recouvert d'une **cuticule**)

**suber** (paroi imprégnée de **subérine**)

- \* tissus de **soutien** formant un **squelette**

**sclérenchyme** (paroi imprégnée de **lignine**)

**collenchyme** (paroi cellulosique)

- \* tissus **conducteurs de sève**

**bois et liber**

## b) mise en place de nouveaux organes

\* **racines** : eaux + sels minéraux dans le sol

\* **tiges** : concurrence pour la lumière

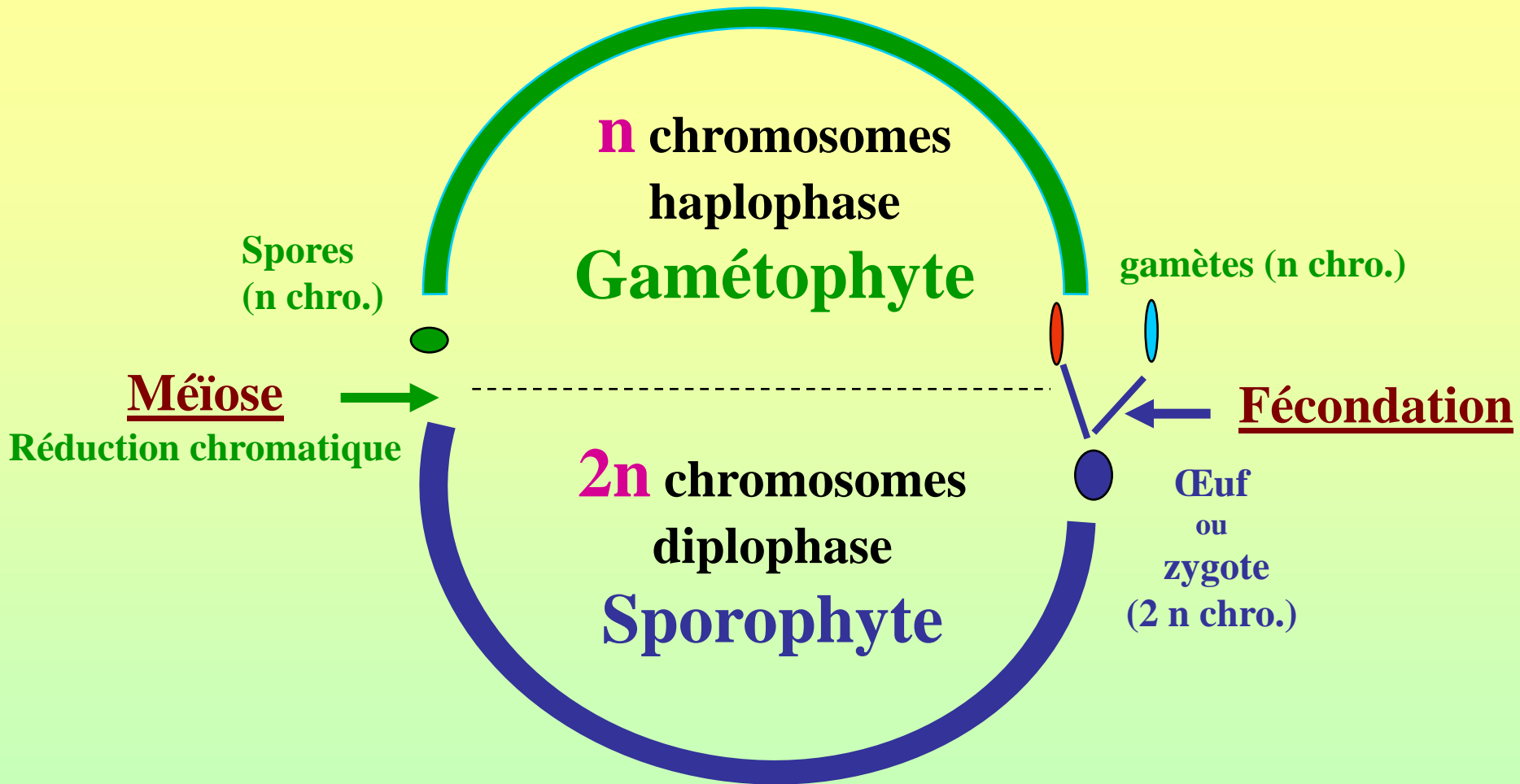
\* **feuilles** : **synthèse organique** ( photosynthèse)

**stomates** : échanges gazeux  
régulation de l'évaporation

## c) évolution au niveau de la reproduction

- \* jusqu'à la fin du 17ème siècle reproduction sexuée des végétaux ignorée
  
- \* Fin du XVIIème siècle (1694) Camerarius : démonstration expérimentale de la reproduction sexuée chez les plantes

# Cycle théorique de reproduction des végétaux



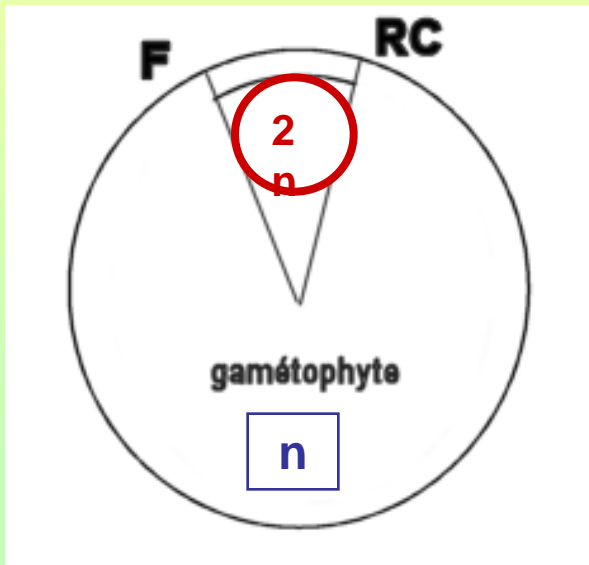
\* Alternance de générations

\* Cycle digénétique, hétéromorphe

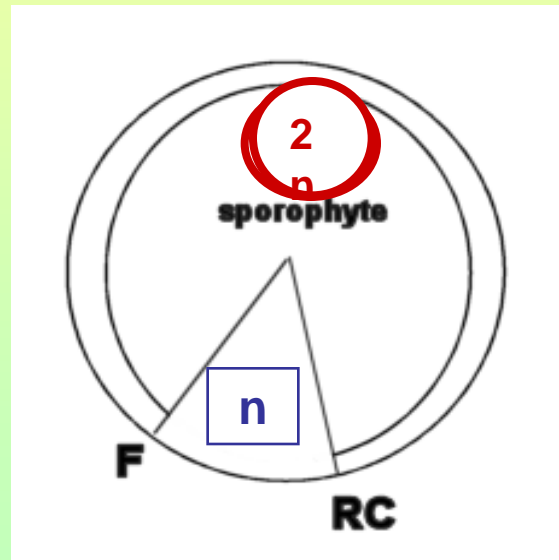
# Tendances évolutives au niveau de ce cycle :

- \* **Réduction de plus en plus poussée du Gamétophyte**  
dans l'espace et dans le temps :

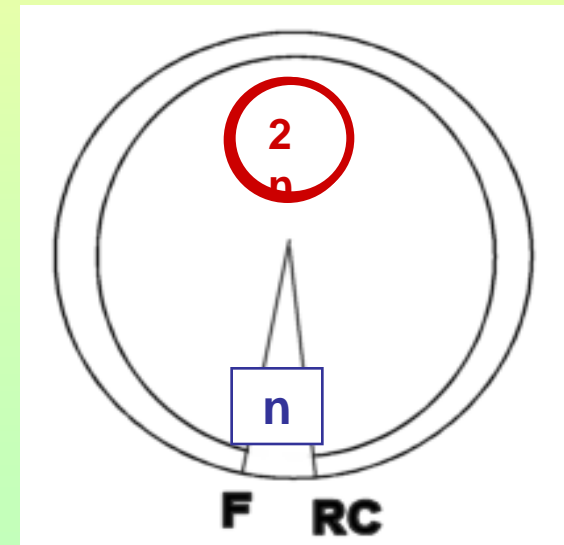
## Evolution des cycles reproducteurs des Bryophytes aux Spermatoxytes



**Bryophytes**  
(ex : mousses)



**Ptéridophytes**  
(ex : fougères)



**Spermatoxytes**



## Tendances évolutives au niveau de ce cycle (suite) :

- \* **Tendance des spores à germer dans le sporange sur le pied mère:**  
**Endoprothallie**
  
- \* **Indépendance de plus en plus grande vis-à-vis de l'eau**  
**pour le déplacement des gamètes mâles**
  
- \* **Protection de plus en plus poussée de la descendance**

## D. Conclusion

- \* depuis près de 600 MA, apparition de groupes végétaux de mieux en mieux adaptés au milieu terrestre aérien
- \* succession de flores de compositions différentes (paléobotanique)
- \* évolution **polyphylétique** (plusieurs phylums ou lignées) et non pas monophylétique

**Deuxième Partie :**

**Systematique**

**des grands groupes végétaux**

# I. Groupes n'appartenant pas au Règne Végétal

## 1. Cyanobactéries ou Cyanophytes

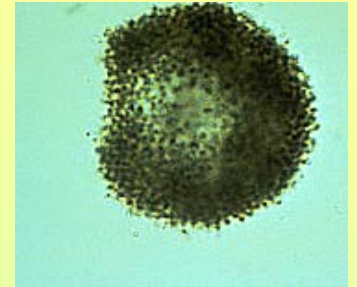
(Cyanophycées, "algues" bleues)

2000-2500 espèces (?)

### a) généralités, biologie

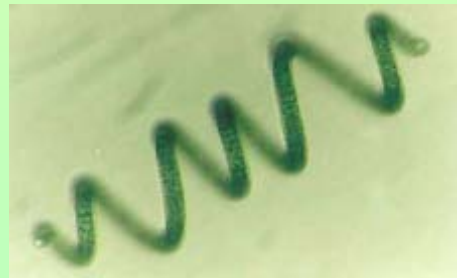
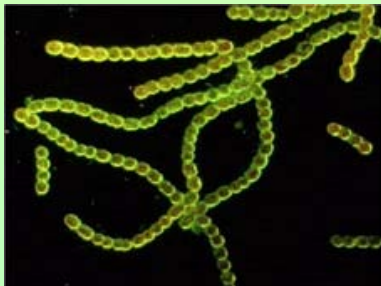
- \* unicellulaires sans noyau : Procaryotes (Eubactéries)
- \* présence d'une **paroi** recouverte le plus souvent par un **mucilage**
- \* **autotrophes** : chlorophylles a et c
- \* certaines utilisent l'**azote atmosphérique**

\* souvent regroupements en colonies



Nostocs dans pelouse

Spiruline



\* pigments accessoires :

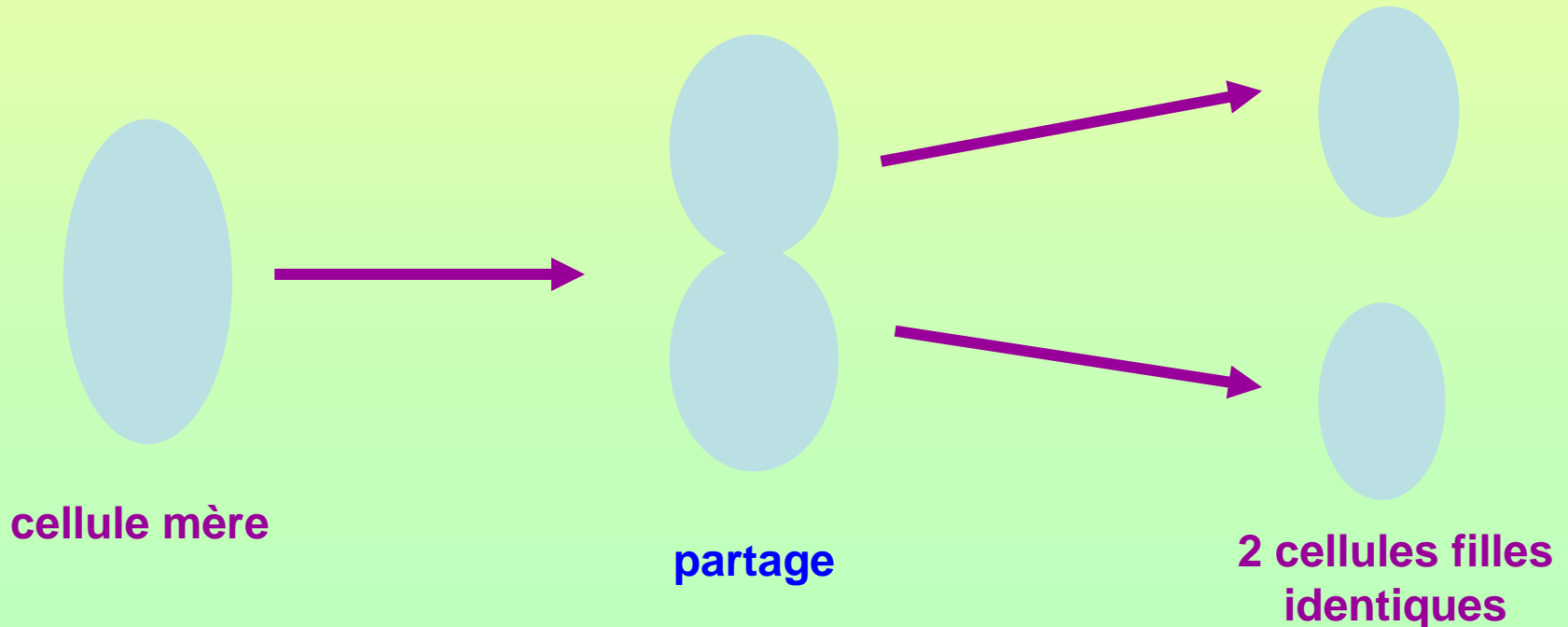
+ **phycocyanine** (bleu-vert)

+ **phycoérythrine** (rouge)

+ **caroténoïdes** (jaune, orangé, rouge)

—————→ couleur variable

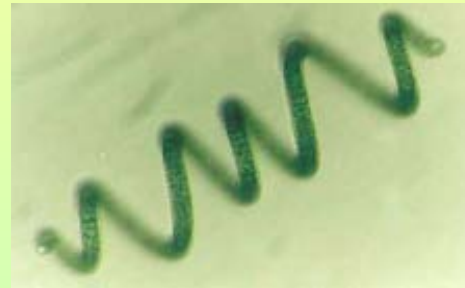
\* multiplication par **scissiparité**



- \* très certainement les premiers êtres vivants **chlorophylliens**, apparus il y a **plus de 3 Milliards d'années** : leur activité photosynthétique aurait donné les **stromatolit(h)es**, formations fossiles particulières.
- \* pas d'évolution depuis : êtres **panchroniques**
- \* milieux **humides**, parfois conditions extrêmes :
  - + eaux douces ou hyper salées
  - + sources thermales jusqu'à 90°C
  - + milieux sulfurés...
- \* de nombreuses espèces vivent en **symbiose**
  - + avec des champignons : **lichens**
  - + avec des **végétaux supérieurs**
- \* de nombreuses espèces font partie du **picoplancton** (cellules < 2µ)
- \* l'organisme **photosynthétique** marin le plus abondant sur terre est une cyanobactérie (**jusqu'à 100 Millions de cellules /L, jusqu'à 150m de profondeur**)

## b) Intérêt des cyanobactéries

- \* participation à des **symbioses**
- \* libération d'**oxygène**
- \* très riches en **protéines** (65 à 70% du poids sec), on les cultive parfois pour l'alimentation animale et humaine surtout la **Spiruline**

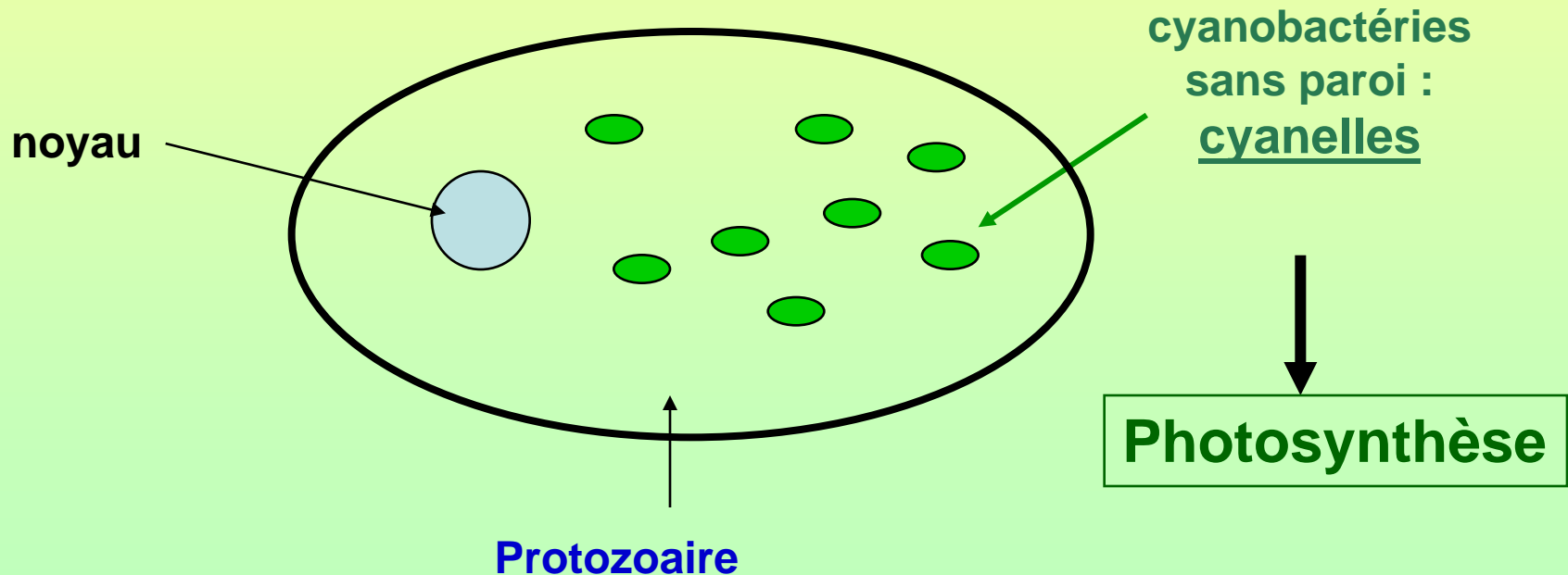




## c) Théorie endosymbiotique

### Observations :

1. Certaines espèces de Cyanobactéries forment une **symbiose** avec des **Protozoaires** (unicellulaires, eucaryotes) **sans chloroplastes**



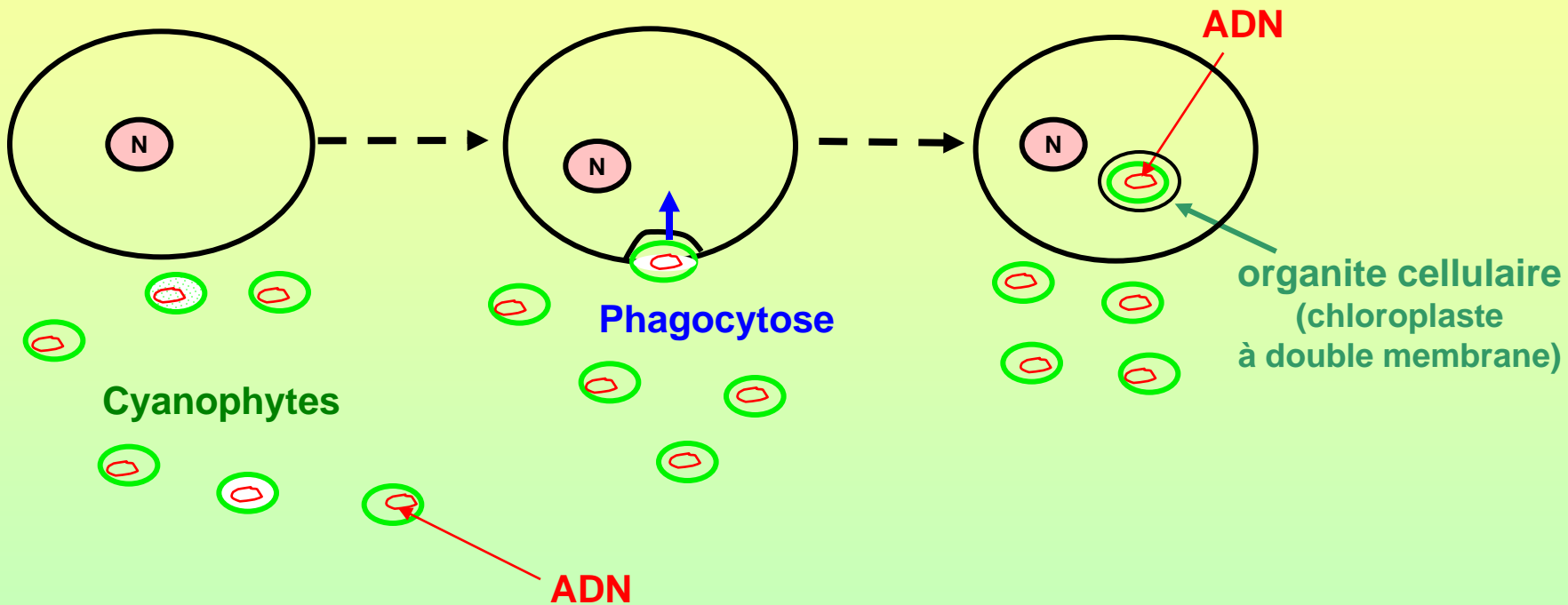
2. Cyanobactéries possèdent un brin d'**ADN circulaire** comme les **Chloroplastes**, organites réalisant la photosynthèse chez les végétaux.
3. Cyanobactéries possèdent des **Ribosomes** de type procaryote
4. Chloroplastes ont des **Ribosomes de type Procaryote** différents de ceux présents dans le cytoplasme de la cellule eucaryote qui les contient
5. les Chloroplastes sont **semi-autonomes**

## **Théorie :**

les **chloroplastes** auraient pour origine des **cyanobactéries** "phagocytées" par des cellules eucaryotes ancestrales :  
on parle d'**endosymbiose** <sup>laire</sup>  
(même théorie pour les mitochondries mais bactéries phagocytées)

# L'Endosymbiose

Cellule eucaryote



L'endosymbiose de cyanobactéries par des cellules eucaryotes  
aurait donné naissance à la "Lignée Verte"

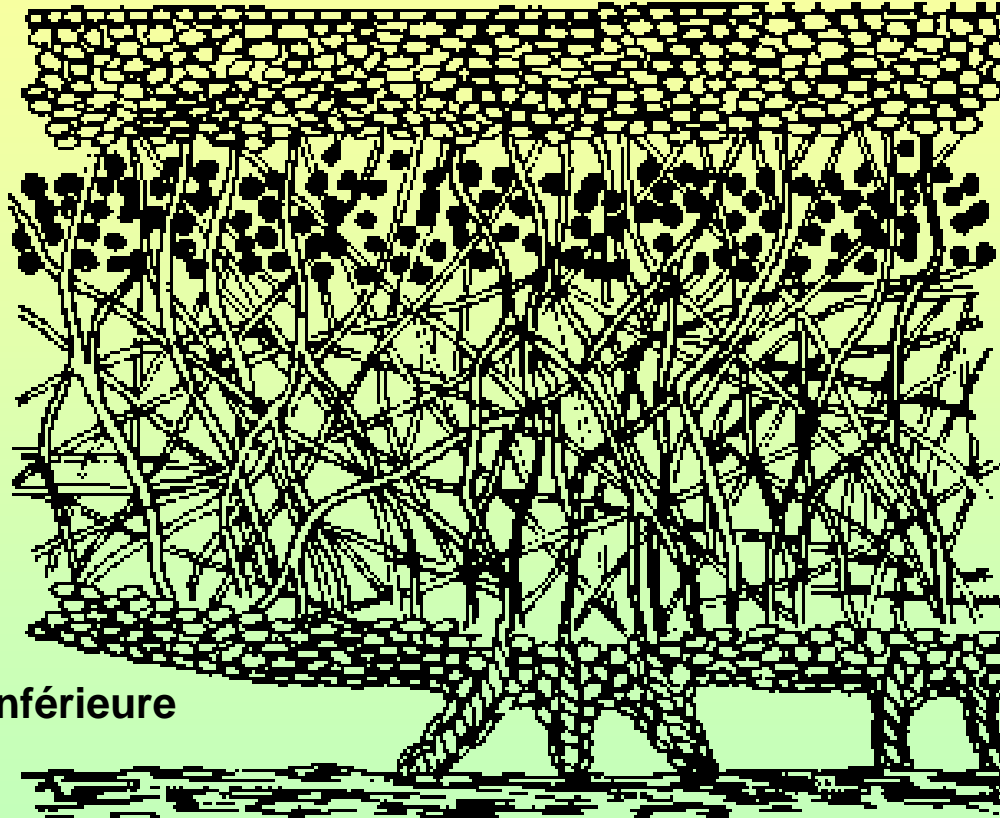
## 2. Lichens

### a) généralités

- \* 20 000 espèces
- \* rattachés au Règne des Champignons
- \* **symbiose** entre une espèce de champignon et
  - + soit une **algue verte unicellulaire** (dans 90% des cas)
  - + soit une **cyanobactérie**
- \* **pas de fusion** entre les 2 partenaires  
(qui peuvent être cultivés séparément)
- \* appareil végétatif sous forme de **thalle**

# Coupe transversale dans un thalle de lichen

face supérieure



1 champignon

2 cellules de l'algue verte  
(ou de la cyanobactérie)

3 filaments du champignon  
(hyphes)

4 champignon

5 rhizoïdes

face inférieure

support

## **b) Biologie**

- \* **eau et sels minéraux apportés essentiellement par pluie, neige, brouillard**
- \* **champignon : abri + nutrition**
- \* **Algue verte chlorophyllienne (ou la cyanobactérie) :  
photosynthèse (matières organiques)**
- \* **croissance très lente**
- \* **phénomène de reviviscence**
- \* **en France, il existe 2 espèces toxiques**

# c) Classification des lichens (basée sur l'aspect du thalle)

\* lichens **gélatineux**



\* lichens **crustacés** :  
incrustés sur le support

\* lichens **foliacés** : aspect lobé



\* lichens **fruticuleux** :  
aspect buissonnant

\* lichens **filamenteux**



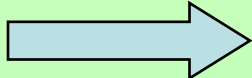
## d) Reproduction

- \* Algues vertes et Cyanobactéries asexuées,  
champignon sexué (par spores)
- \* multiplication
  - + **végétative** : fragments de thalle
  - + **sexuée** : spores du champignon rencontrant  
des cellules d'algues vertes ou  
de Cyanobactéries compatibles



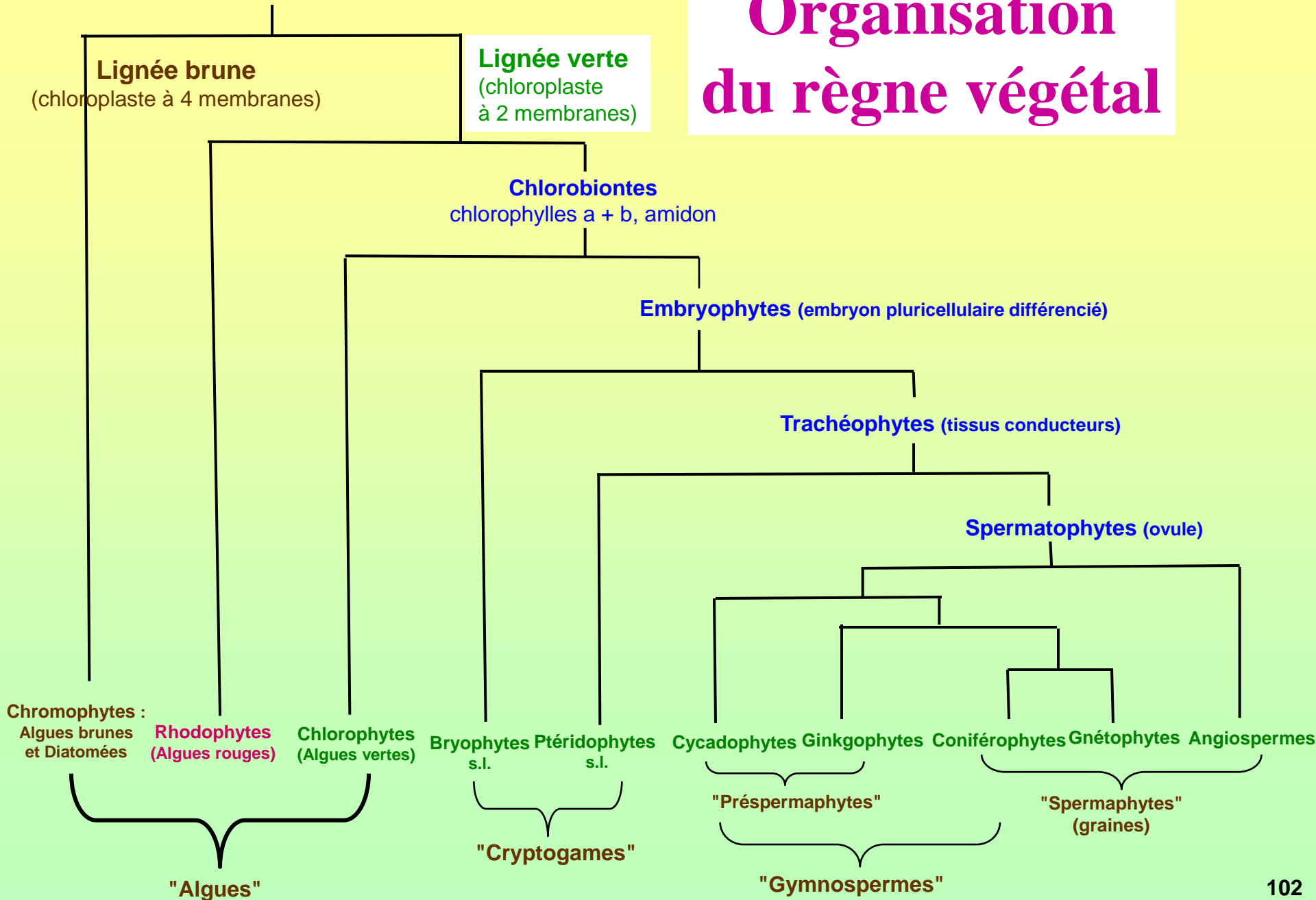


## e) Intérêt des lichens

- \* organismes "**pionniers**" : s'installent les premiers sur de nouveaux territoires (même si conditions extrêmes)
  - \* alimentation des herbivores dans le grand nord
  - \* pas d'utilisation thérapeutique bien qu'activité **antibactérienne** (contre bacille tuberculeux par l'**acide usnique**)
  - \* utilisation industrielle en **parfumerie** et en **cosmétologie**
  - \* très sensibles à la **pollution atmosphérique**
-  **indicateurs de pollution de l'air**
- \* problème : accumulateurs de **radioéléments**

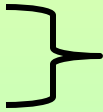
# Règne végétal

# Organisation du règne végétal



# II. Groupes appartenant au Règne Végétal

## 1. Les "Algues"

- \* terme regroupant des **organismes végétaux** appartenant à des **lignées évolutives différentes**
- \* eucaryotes unicellulaires ou pluricellulaires (**thalles**) autotrophes
- \* très diversifiées et parfaitement adaptées au **milieu aquatique**
- \* **chlorophylle a** plus :
  - + chlorophylle b, c ou d
  - + **pigments accessoires**

dans **chloroplastes**  
(à 2, 3 ou 4 membranes)
- \* cycle de reproduction parfois très complexe avec 2 ou même 3 générations sous forme de thalles morphologiquement identiques

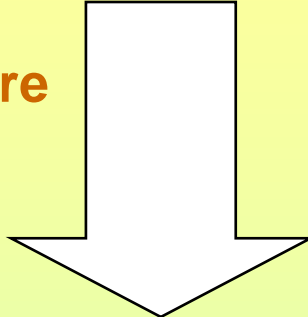
# Etagement des algues marines :

\* spectre lumineux **varie** en fonction de la profondeur

\* **couleur** des algues dépend de leurs **pigments accessoires**

\* les différentes algues descendent + ou - profondément selon leur **couleur**, c'est-à-dire selon leur **chimie**

**lumière solaire**

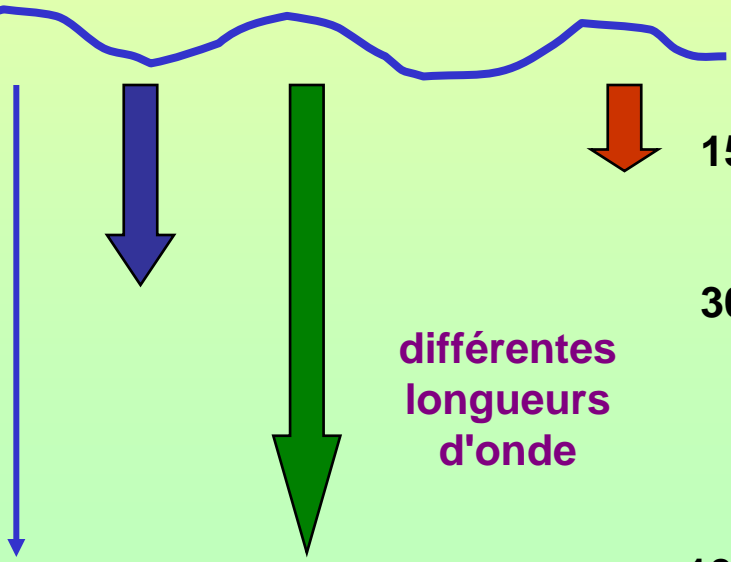


**étagement des algues**



niveau 0

profondeur



15m

30m

100m

**algues vertes**

**algues brunes**

**algues rouges**

3 groupes

# A. Les Chromophytes (Algues Brunnes + Diatomées)

(appartiennent à la "lignée brune")

- \* chlorophylles **a** et **c**
- \* chloroplastes à **4** membranes
- \* caroténoïdes et fucoxanthine
- \* surface jusqu'à 30m
- \* comprennent des algues **pluricellulaires**  
et des algues **unicellulaires** : les **Diatomées**

## a) Algues brunes pluricellulaires

- \* eaux marines (**1000 espèces**)
- \* certaines sont géantes : plusieurs dizaines de m de long  
(***Macrocystis pyrifera***)



***Macrocystis pyrifera***  
(côtes du Pacifique)

\* ex. : *Fucus vésiculeux*, chène marin (*Fucus vesiculosus*)



- + fixée sur rochers par crampons
- + plus ou moins **découverte** à marée basse
- + thalle brunâtre, gluant ramifié **dichotomiquement** en lanières aplaties avec nervure marquée
- + présence de **flotteurs**
- + constitue la plus grande partie du **goémon**

\* ex. : Laminaire (*Laminaria digitata*)



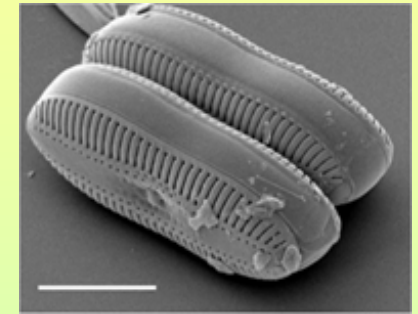
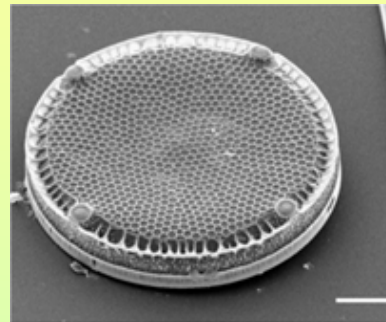
+ pseudo-tige avec crampons

+ thalle brunâtre très long (plusieurs mètres)  
divisé en lanières aplaties, à disposition palmée



## b) Diatomées

Algues brunes unicellulaires microscopiques, possédant une carapace siliceuse formée de 2 valves emboîtées (d'où leur nom "coupé en deux")



échelle : 10 µm

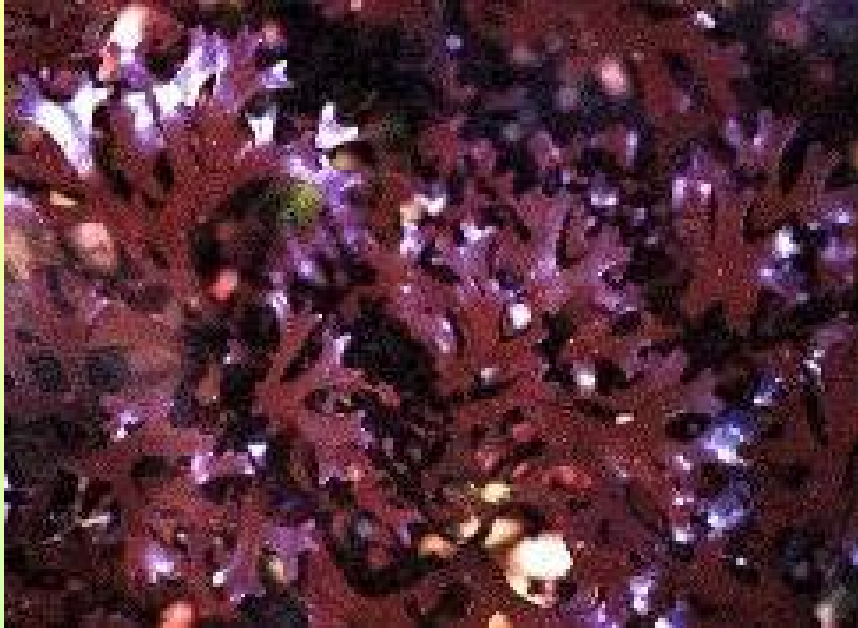
- \* plusieurs centaines de milliers d'espèces ?
- \* dans tous les milieux aquatiques (une partie du phytoplancton)
- \* très bons **indicateurs de la qualité des eaux** (IBD : Indice Biologique Diatomées)
- \* l'accumulation géologique de leurs carapaces donne une roche : la **diatomite** (utilisations : abrasif, filtration,..)

## B. Les Rhodophytes (Algues Rouges)

(appartiennent à la "lignée verte")

- \* eaux douces et marines **(5500 espèces)**
- \* chlorophylles **a** et **d**
- \* **phycobilines**
- \* algues des **profondeurs** (si lumière)

\* ex. : Carragahen, mousse perlée, mousse d'Irlande (*Chondrus crispus*)



+ fixée sur rochers par crampons

+ thalle rouge carminé, ramifié dichotomiquement (10-20cm)

+ côtes de l'Atlantique Nord

## C. Les Chlorophytes (Algues Vertes)

(appartiennent à la "lignée verte" et aux Chlorobiontes)

\* uni ou pluricellulaires

\* eaux douces et marines (8000 espèces)

\* certaines espèces aériennes

\* chlorophylles a et b

\* amidon

comme végétaux supérieurs

\* surface (jusqu'à 15m)

\* ex : laitue de mer (*Ulva lactuca*)

+ fixée sur rochers par crampons

+ découverte à marée basse

+ thalle vert en lames minces aplaties (10-15cm)



+ 3 sortes de thalles, les uns à  $n$  chromosomes (gamétophytes mâles ou femelles), les autres à  $2n$  chromosomes (sporophytes)

# *Caulerpa taxifolia*, une algue verte invasive

- \* en Méditerranée, plusieurs espèces appartenant au genre *Caulerpa*
- \* *Caulerpa taxifolia* connue dans des aquariums européens depuis 1960, multiplication par **bouturage**
- \* trouvée au pied de Monaco en 1984, depuis cette date envahit les côtes méditerranéennes faisant **disparaître la biodiversité**
- \* non consommée par les poissons car **toxique** (terpènes)
- \* une autre espèce (*Caulerpa racemosa*) signalée en 1997, commence à se répandre rapidement.



*Caulerpa taxifolia*



\* algues vertes et végétaux supérieurs ( Embryophytes) sont des **Chlorobiontes**, ils ont un **ancêtre commun**.

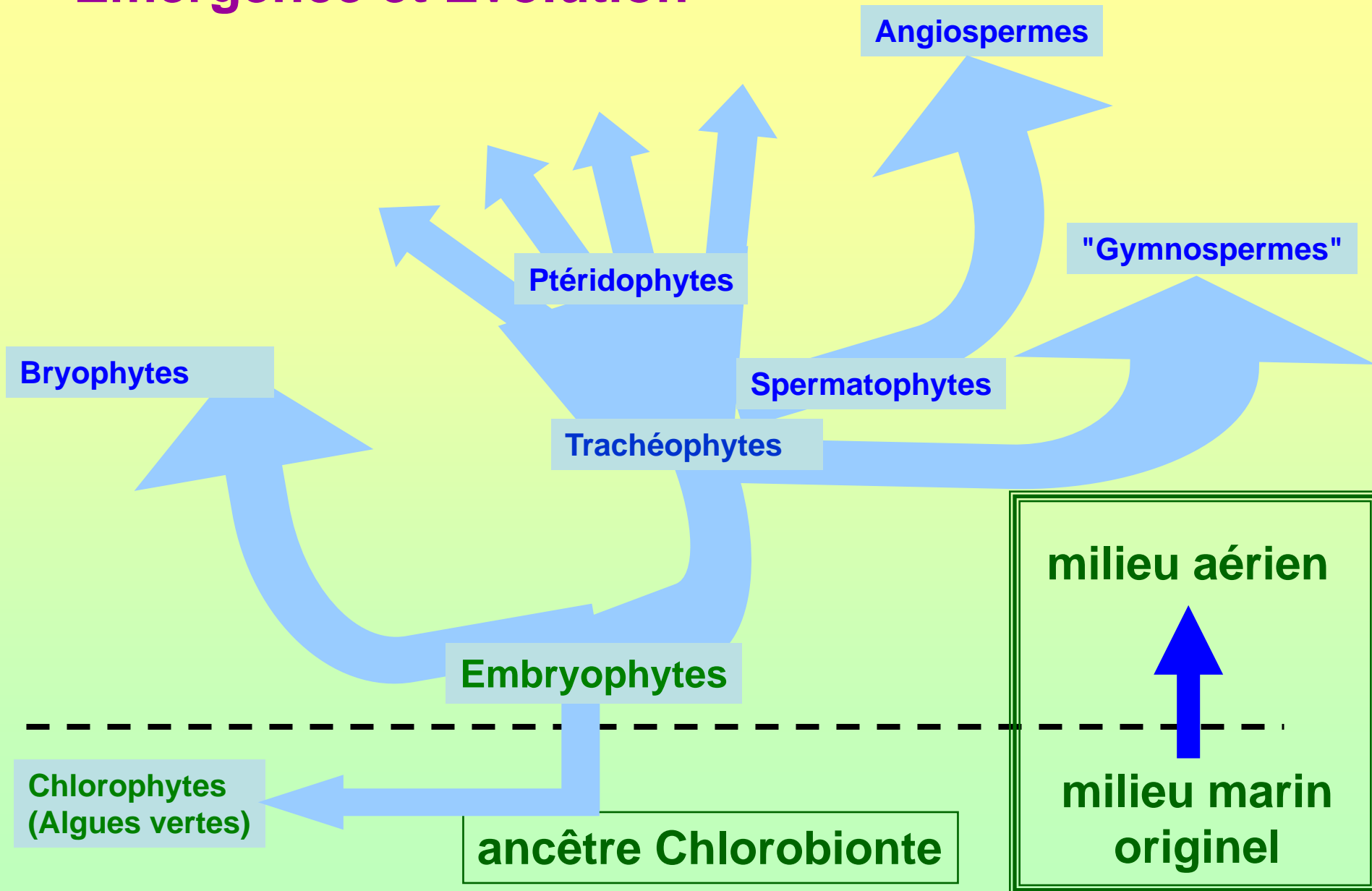
\* à partir de cet ancêtre commun, certaines lignées auraient donné naissance aux **Bryophytes**

\* d'autres lignées auraient donné naissance aux **Trachéophytes** regroupant des **plantes terrestres** parfaitement adaptées au milieu aérien

**Le passage du milieu marin originel au milieu aérien :**

## **Emergence**

# Emergence et Evolution





## D. Intérêt des Algues

- \* libération d'**oxygène**
- \* engrais (goémon)
- \* alimentation animale (unicellulaires : phytoplancton)
- \* alimentation humaine
- \* peu d'intérêt pharmaceutique : richesse en **iode**
- \* certaines algues calcaires : **implants biologiques** (chirurgie osseuse)
- \* richesse en **polysaccharides** (pouvoir **épaississant** et **gélifiant**) :
  - + industrie **agro-alimentaire** : épaississants alimentaires (sorbets, glaces...)
  - + industrie **cosmétique** : dentifrices, crèmes...

## E. Principaux types de polysaccharides extraits des algues

### \* **Gélose** ou **Agar-agar** :

+ à partir d'algues rouges

+ officinale en France

+ **E 406**

### \* **Carraghénates** ou **Carraghénanes** :

+ à partir de carragahen (*Chondrus crispus*) principalement

+ **E 407**

### \* **Alginates** :

+ à partir d'algues brunes (ex. Fucus, Laminaires, *Macrocystis pyrifera*)

+ **E 401 à E 405**

# Les Embryophytes

(appartiennent à la "lignée verte" et aux Chlorobiontes)

- \* **Embryon pluricellulaire, régionalisé**
- \* **Cuticule**
- \* **Gamètes formés dans des structures à parois pluricellulaires : archégonies (femelles) et anthéridies (mâles)**

## 2. Les "Bryophytes"

Regroupent en fait 3 lignées différentes

### A. Généralités

- \* plante "feuillée" ou thalloïde = **Gamétophyte** (n chromosomes)
- \* **Sporophyte** (2n) jamais feuillée, **non chlorophyllien**,  
**parasite** du Gamétophyte (n)
- \* gamètes mâles transportés par l'**eau du milieu**
- \* croissance **modulaire** : "feuille" + fraction de "tige" (sauf Bryophytes à thalle)
- \* probablement les premières plantes terrestres (**Emergence**) mais pas de fossiles

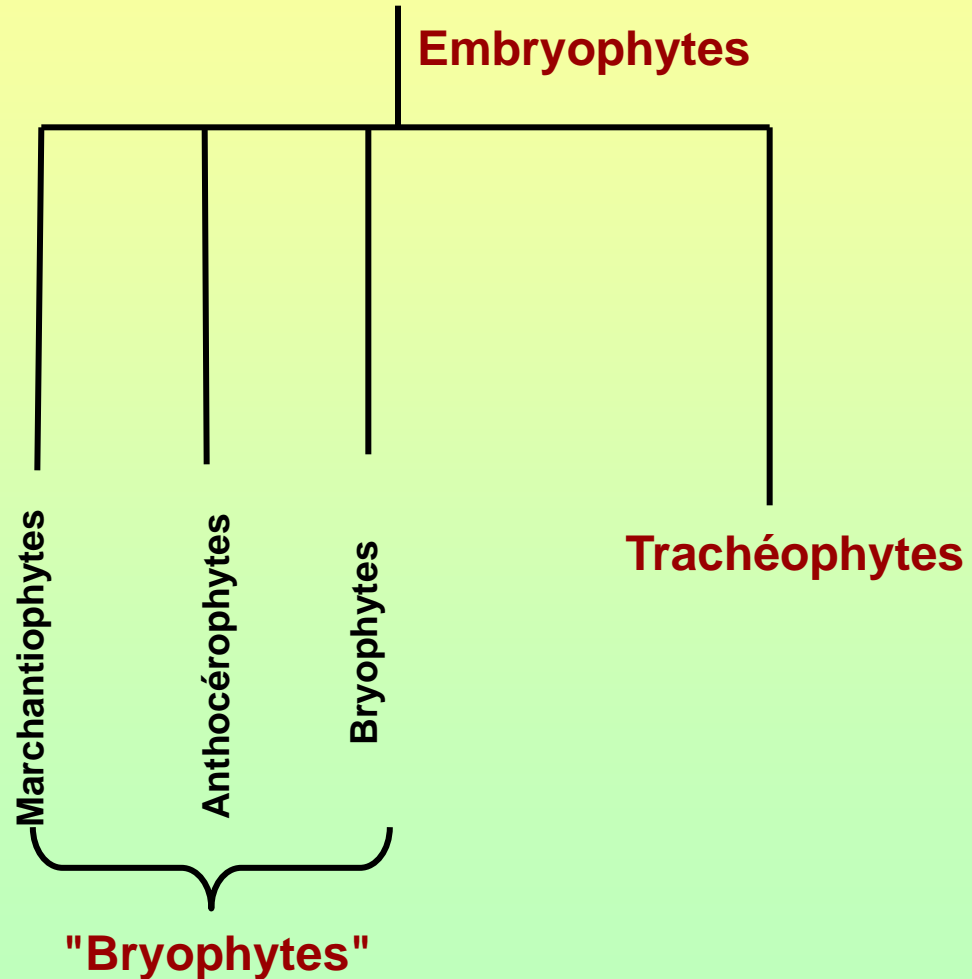
# B. Biologie

- \* pas de racines : **rhizoïdes pluricellulaires**
- \* pas de **vrais tissus conducteurs** de sève
- \* absorption eau et sels minéraux par toute leur surface
- \* vie dans des lieux très **humides**
- \* phénomène de **reviviscence**
- \* toujours petite taille (**pas de lignine**)

# C. Classification

\* peu d'évolution depuis leur apparition, peu diversifiées, imparfaitement adaptées à la vie terrestre aérienne

\* 25 000 espèces en 3 phylums :



- les **Marchantiophytes** (ou **Hépatiques**) :  
gamétophyte **thalloïde** ou **feuillé**  
(fontaines, cascades,...)



*Marchantia*



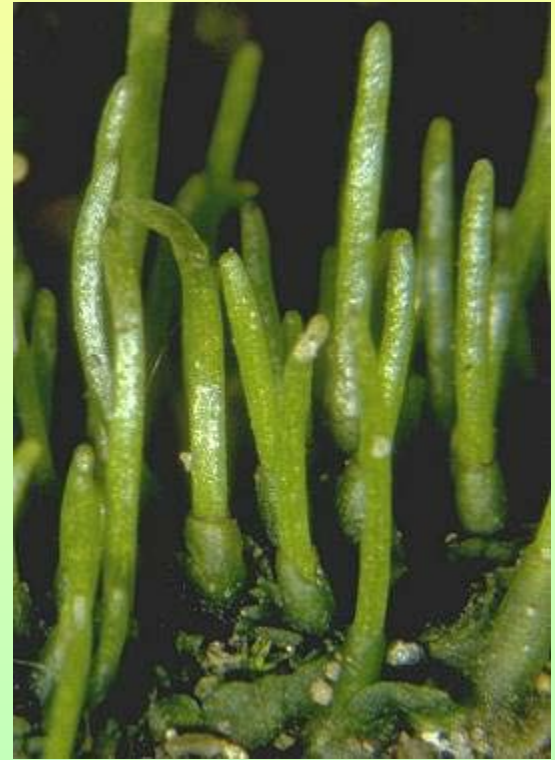
*Jungermannia*

► les **Anthocérophytes** :

gamétophyte **thalloïde**



*Phaeoceros*



*Anthoceros*



► les **Bryophytes** *sensu stricto* :

gamétophyte "feuillé"

\* multiplication végétative très importante

\* sporophyte toujours formé d'une **soie** terminée par une **capsule**



capsule

soie

2 ordres :

+ ordre des Bryales (= **Mousses**)  
15 000 espèces



*Polytric*

+ ordre des **Sphagnales**

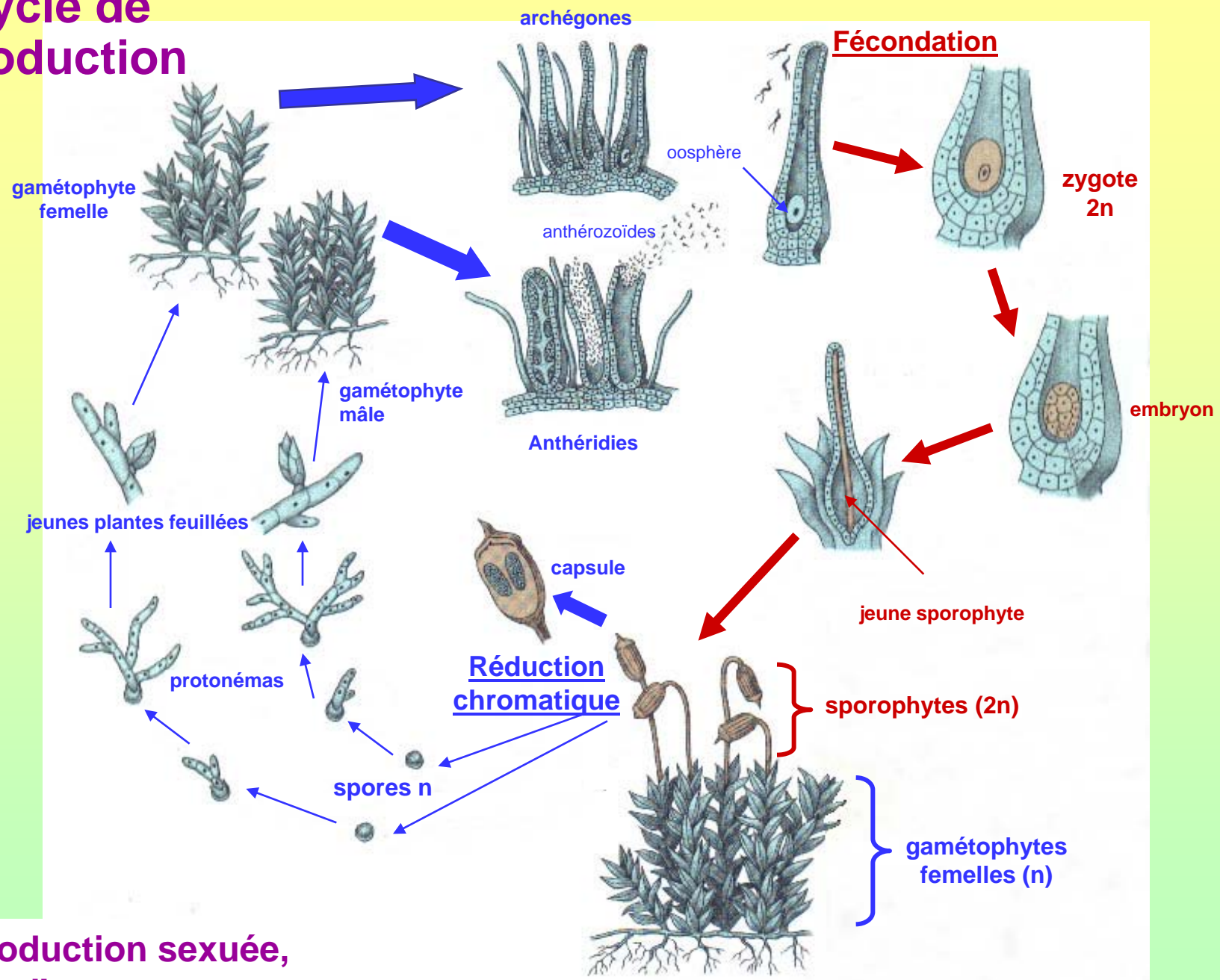


Sphaigne

\* chez certaines espèces de mousses, présence de "tissus conducteurs" :  
**hydroïdes** (fonction de bois) et **leptoïdes** (fonction de liber)



# D. Cycle de reproduction



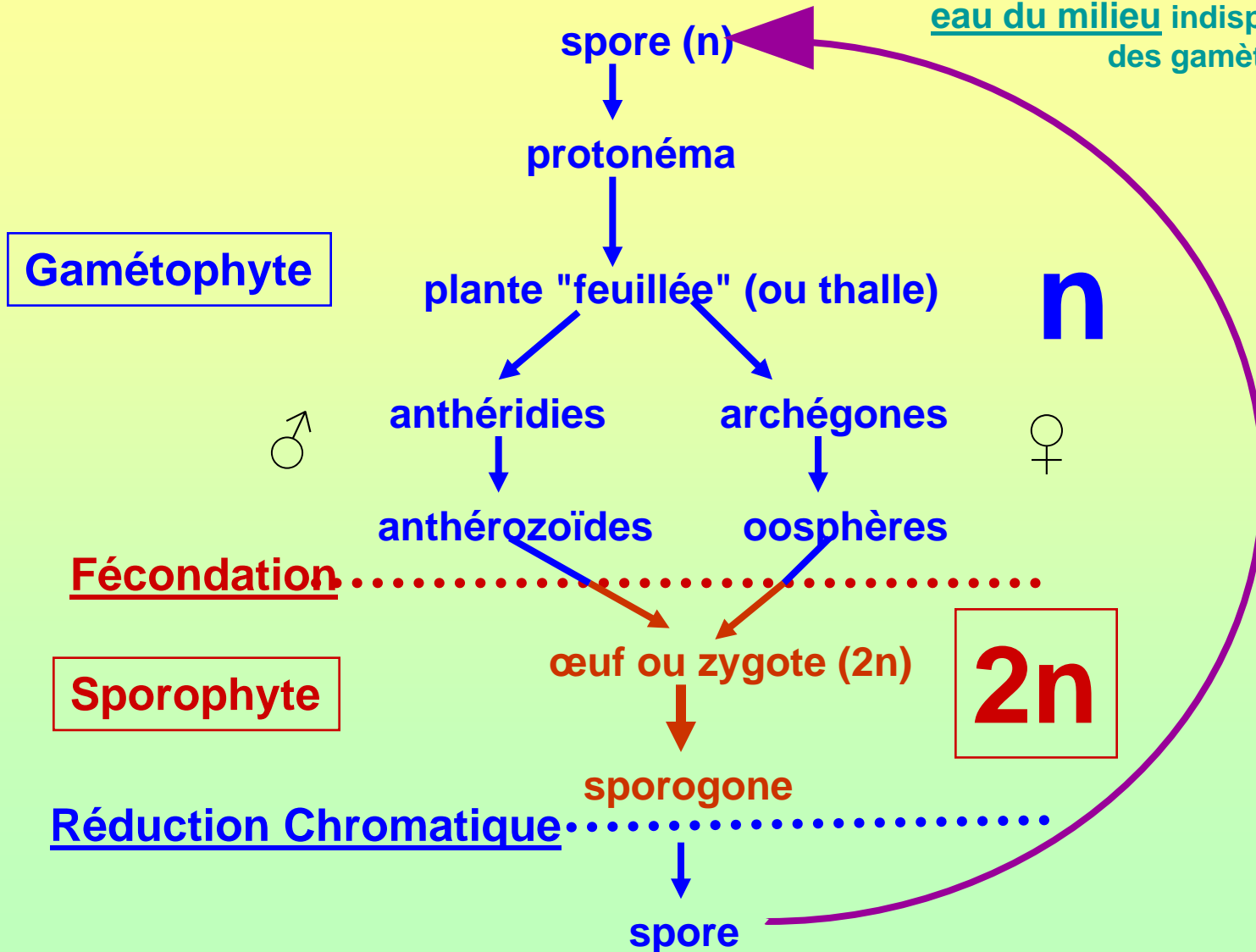
reproduction sexuée,  
cas d'une mousse

# schéma récapitulatif du cycle

caractéristiques du cycle :

très nette dominance du gamétophyte (n)

eau du milieu indispensable au transport des gamètes mâles



# E. Intérêt des Bryophytes

- \* aucun intérêt au niveau pharmaceutique !
- \* plantes **colonisatrices**
- \* plantes **bio-indicatrices**
- \* **régulation** de la circulation des eaux de pluie : cas des Sphaignes dans les tourbières

**tourbe** : produit fossile résultant de la décomposition incomplète de sphaignes



tourbière



tourbe

# Les Trachéophytes

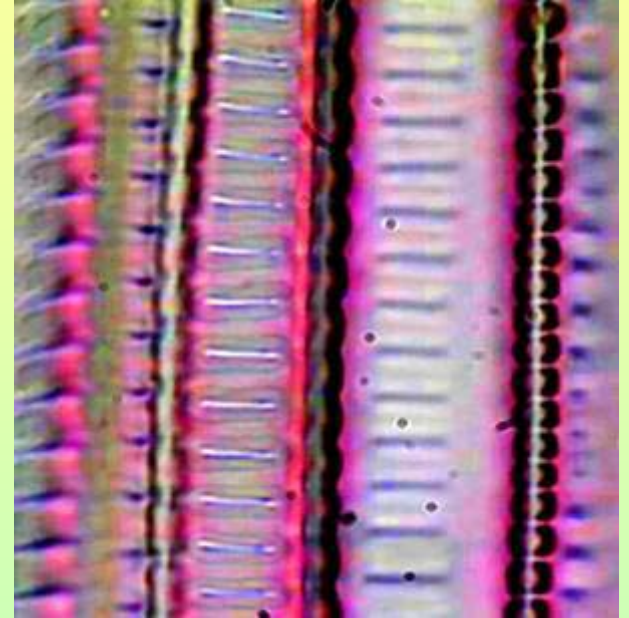
- \* présence de **vrais tissus conducteurs** de sève (bois et liber)
- \* synthèse de **lignine**
- \* Phase **diploïde** dominante
- \* Sporophyte **indépendant** du gamétophyte

# 3. Les "Ptéridophytes"

Ce terme regroupe plusieurs phylums dont certains représentés uniquement par des plantes fossiles

## A. Généralités

- \* bois formé de **Trachéïdes scalariformes**
- \* vraies **racines**, tiges et **feuilles** (avec stomates)
- \* Sporophyte (2n) = **plante feuillée**



coupe longitudinale dans  
une tige de fougère :  
trachéïdes scalariformes



\* appareil végétatif très variable (forme et taille)



*Selaginella*



*Marsilea*



*Salvinia*  
fougère aquatique  
flottante



*Pilularia*

5-10cm



*Regnellidium*





***Matteucia***

**Fougères "classiques"**

1m



**Polypode**

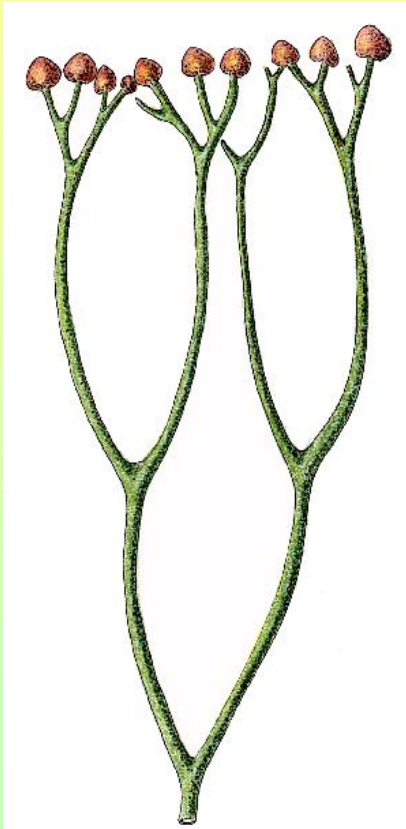
## Fougères arborescentes



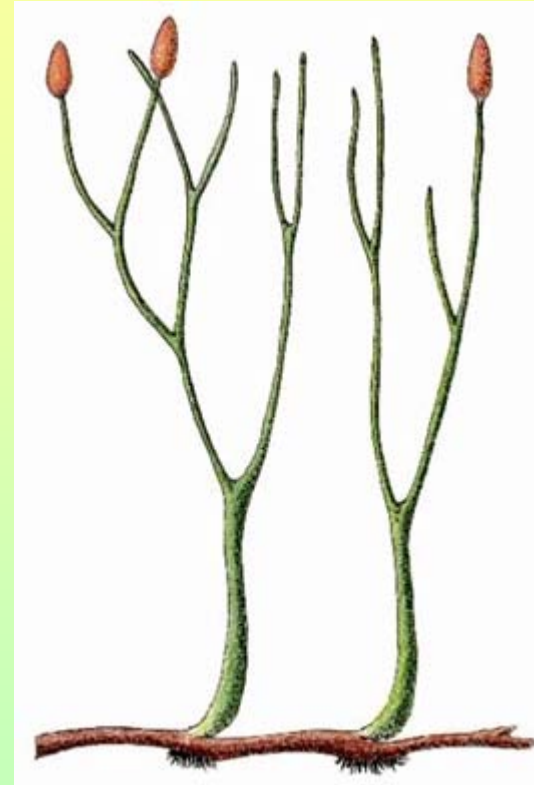


## B. Classification

\* premiers végétaux **vasculaires** découverts à Rhynie, en Ecosse (Silurien)



*Cooksonia*  
(-425MA)



*Rhynia*  
(-400MA)

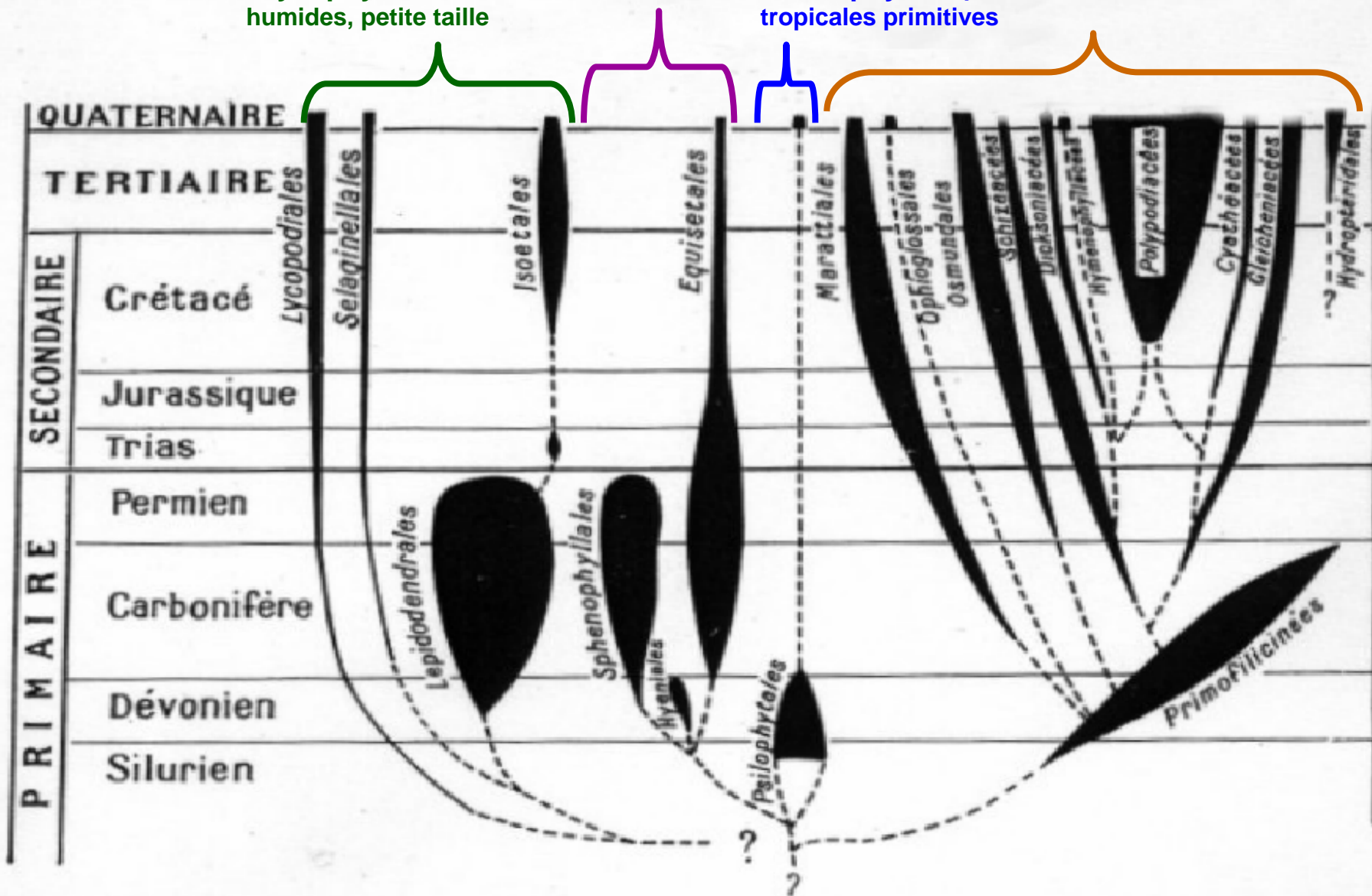
- \* majeure partie de la flore de **l'ère laire**  
(forêts du Carbonifère : charbon)
- \* groupe en **extinction** : plus de genres fossiles que de genres actuels  
actuellement 11 000 espèces !
- \* fossiles de "**fougères à graines**" (Ptéridospermées ou Ptéridospermales)  
dans terrains du Carbonifère et du Permien (pas de descendance)
- \* groupe **hétérogène** comptant 4 phylums (lignées) principaux

+ Equisétophytes = Sphénophytes :  
prêles (15 espèces actuelles)

+ Filicophytes = Filicinées :  
fougères vraies, 9 000 espèces  
(6 lignées principales)

+ Lycophytes : lieux  
humides, petite taille

+ Psilophytes : plantes  
tropicales primitives



# C. Reproduction

cas d'une fougère

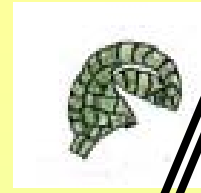


Sporophyte (2n)  
plante feuillée



sores

sporangies



Réduction chromatique

spores (n)



archéogones



Gamétophyte (n)  
Prothalle

oosphère



anthéridies

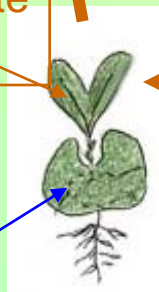


anthérozoïdes

Fécondation



œuf  
ou  
zygote (2n)



jeune sporophyte (2n)

gamétophyte (n)

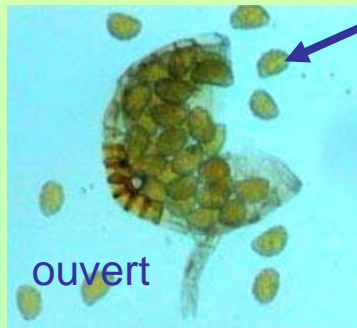
sores



indusie

sporange

spores



prothalle



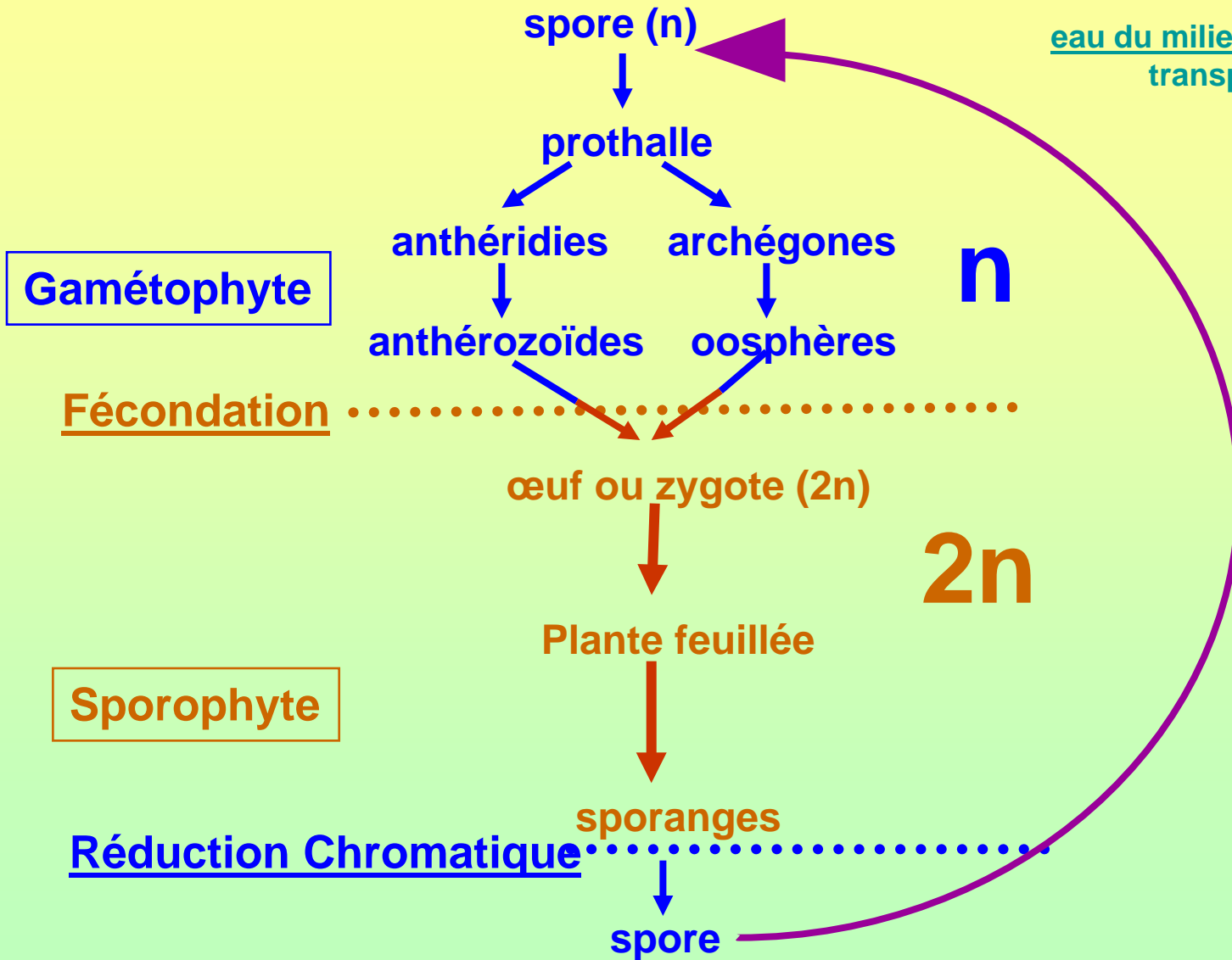


# schéma récapitulatif du cycle

caractéristiques :

nette dominance du sporophyte (2n)

eau du milieu indispensable pour le transport des gamètes





# D. Quelques Ptéridophytes

## Equisétophytes (Sphénophytes)

nombreuses espèces fossiles arborescentes (*Calamites* 15 à 20 m)

15 espèces actuelles (herbacées) : les prêles, *Equisetum*, 8 en France

# Les prêles : Genre *Equisetum*

- ▶ plantes vivaces à **rhizome**, milieux humides
- ▶ tige creuse, cannelées, rugueuse, incrustée de **silice**

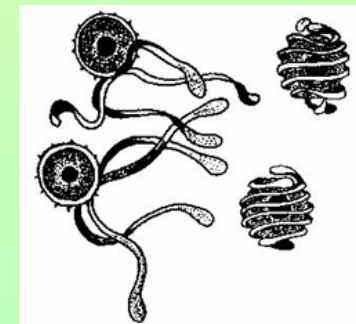


- ▶ feuilles réduites en **écailles**, en verticilles, soudés en une gaine

- ▶ rameaux verticillés, **articulés**

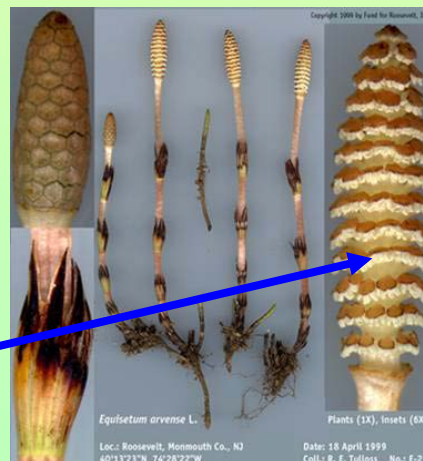


- ▶ spores à **élatères**



- ▶ sporanges regroupés en **épi**

**épi de sporanges**



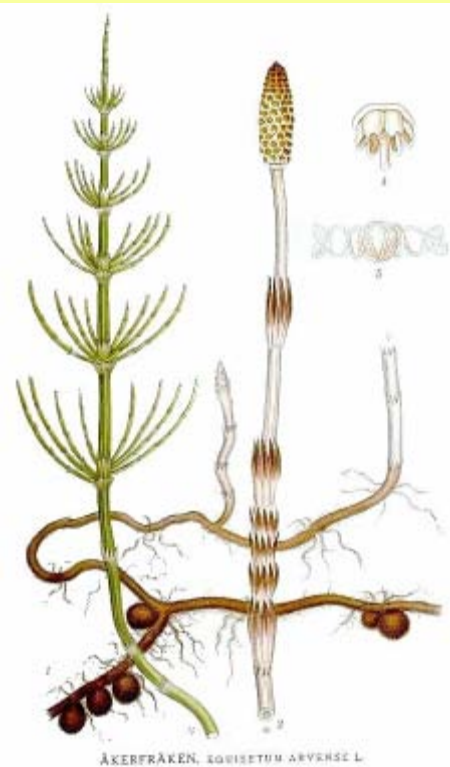
► soit **une seule sorte de pieds**, à la fois **chlorophylliens** et **fertiles**

\* prêle d'hiver : *Equisetum hyemale*



► soit **2 sortes de pieds** :  
les uns **chlorophylliens** mais **stériles**  
les autres **non chlorophylliens** mais **fertiles**

\* prêle des prés : *Equisetum arvense*



► plantes riches en **silice** (10-15% ps) et en **flavonoïdes**

► La prêle des marais (*Equisetum palustre*) est **toxique** (palustrine, alcaloïde)

# Filicophytes

- ▶ Feuilles en frondes
- ▶ préfoliation **circinée**
- ▶ sporanges sur **face inférieure** de la fronde ou sur **axes spécialisés**







***Polypodium vulgare***  
(polypode, réglisse des bois)



***Asplenium ceterach***



***Phyllitis scolopendrium***

\* Fougère mâle : *Dryopteris filix-mas*

+ sous-bois

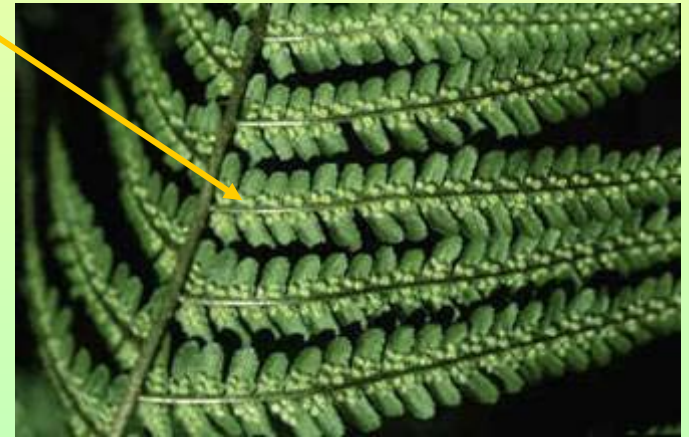
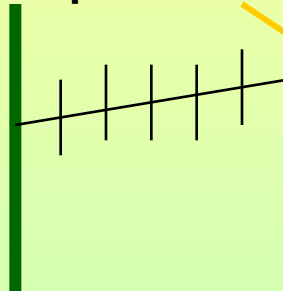
+ fronde : 50cm à 1,2m

+ rhizome développé

+ fronde triangulaire  
atténuée

+ fronde découpée 2 fois

+ écailles à la base  
des frondes



+ **toxique** pour les animaux à **sang froid** : autrefois utilisée contre les vers parasites (ténifuge ou anthelminitique), médecine vétérinaire et humaine

+ autrefois, jeunes frondes consommées



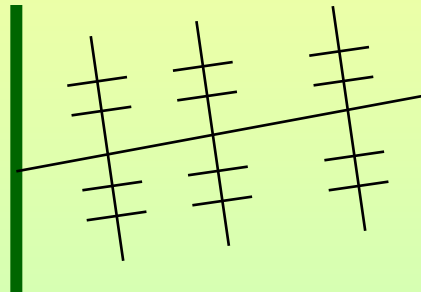
\* Fougère aigle : *Pteridium aquilinum*

+ surtout terrains **siliceux**

+ grande fougère : 1,5 à >2m

+ fronde triangulaire

+ fronde divisée **3 ou 4 fois**



+ multiplication essentiellement **végétative**  
(par le rhizome)

+ **toxique pour le bétail** (hétéroside cyanogène : le prunasoside)

+ jeunes frondes parfois consommées (USA) bien que **cancérogènes**



# Lycophytes

- ▶ espèces fossiles jusqu'à 30m (ex. Lepidodendron)
- ▶ env 1200 espèces actuelles, subdivisées en 3 lignées
- ▶ tige dressée ou +ou- rampante, maximum quelques dizaines de cm, lieux humides
- ▶ pseudofeuilles à une seule nervure
- ▶ sporanges à l'aisselle de feuilles spécialisées regroupées en épis





## Lycopodiales



\* Lycopode : *Lycopodium clavatum*

+ spores autrefois officinales ("poudre de lycopode")  
pour enrober les pilules

## 3 lignées

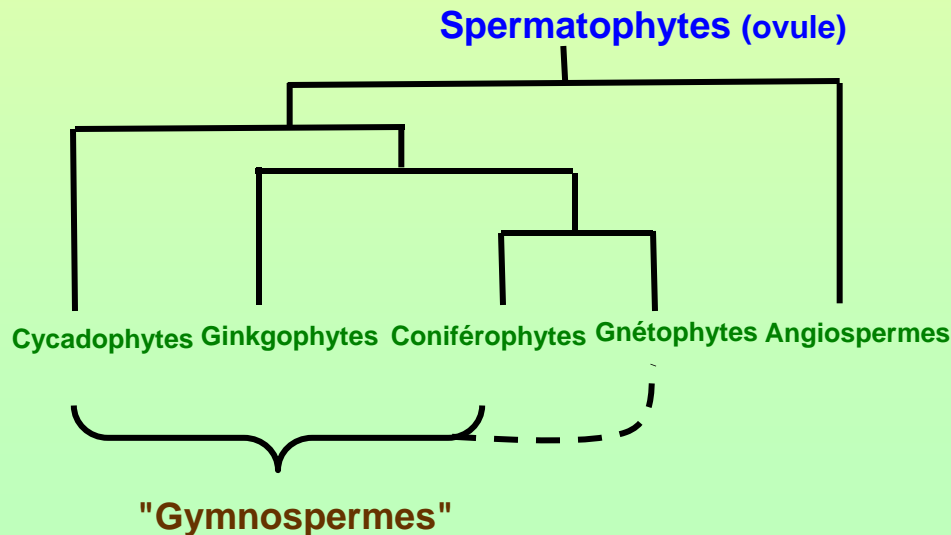
## Selaginellales



## Isoetales

# Les Spermatophytes

- \* Gamétophyte femelle protégé par tégument : **ovule (endoprothallie)**
- \* Gamétophyte mâle réduit au **grain de pollen**
- \* bourgeons donnant des **ramifications** situés à l'**aisselle des feuilles**
- \* **croissance secondaire** des tiges et racines grâce à un **méristème II<sup>aire</sup>** (**cambium bifacial** Bois II<sup>aire</sup> vers l'intérieur, Liber II<sup>aire</sup> vers l'extérieur), sauf chez Angiospermes Monocotylédones.



# 4. Cycadophytes et 5. Ginkgophytes

(regroupés parfois dans les Préspermaphytes)

## A. Généralités

- \* apparition : fin ère **primaire** (Permien)
- \* pour les deux sexes, partie gaméophytique **réduite** au minimum :
  - partie femelle : **ovule (en partie)**
  - partie mâle : **grain de pollen**
- \* les 2 sexes sont toujours sur des **pieds différents** (plantes **dioïques**)
- \* bois (sève brute) formé d'un seul type d'éléments : **Trachéïdes**  
→ Bois **Homoxylé**
- \* pratiquement que des espèces **fossiles**

micropyle

RC  
macrospore  
(n)

macrosporangie

Sporophyte  
(2n)

partie femelle

ovule

endosperme  
(prothalle femelle)  
Gamétophyte (n)

Endoprothallie

## origine de l'ovule et des grains de pollen

RC  
microspores  
dans  
microsporangie

Sporophyte  
(2n)

partie mâle

grains de pollen  
(gamétophytes mâles)  
dans sac pollinique

## B. Reproduction

- \* ovules de grande taille car **réserves faites avant** la fécondation
- \* grains de pollen transportés par le **vent** (plante anémophile ou anémogame)
- \* entrée du pollen dans l'ovule par le **micropyle**
- \* grains de pollen **germent** et libèrent des gamètes ciliés qui nagent dans un **liquide sécrété par l'ovule**
- \* fécondation des oosphères (contenues dans **archégonés réduits**)
- \* démarrage **immédiat** de la jeune plantule (**pas de période de repos**)

liquide de l'ovule

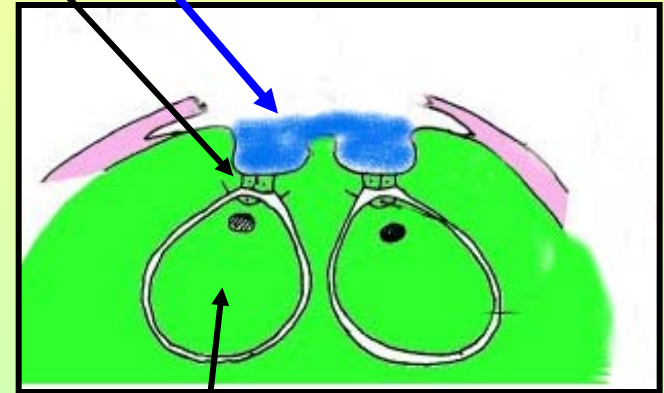
micropyle

archégonés  
très réduits

tégument  
lignifié

endosperme  
(=gamétophyte  
femelle)

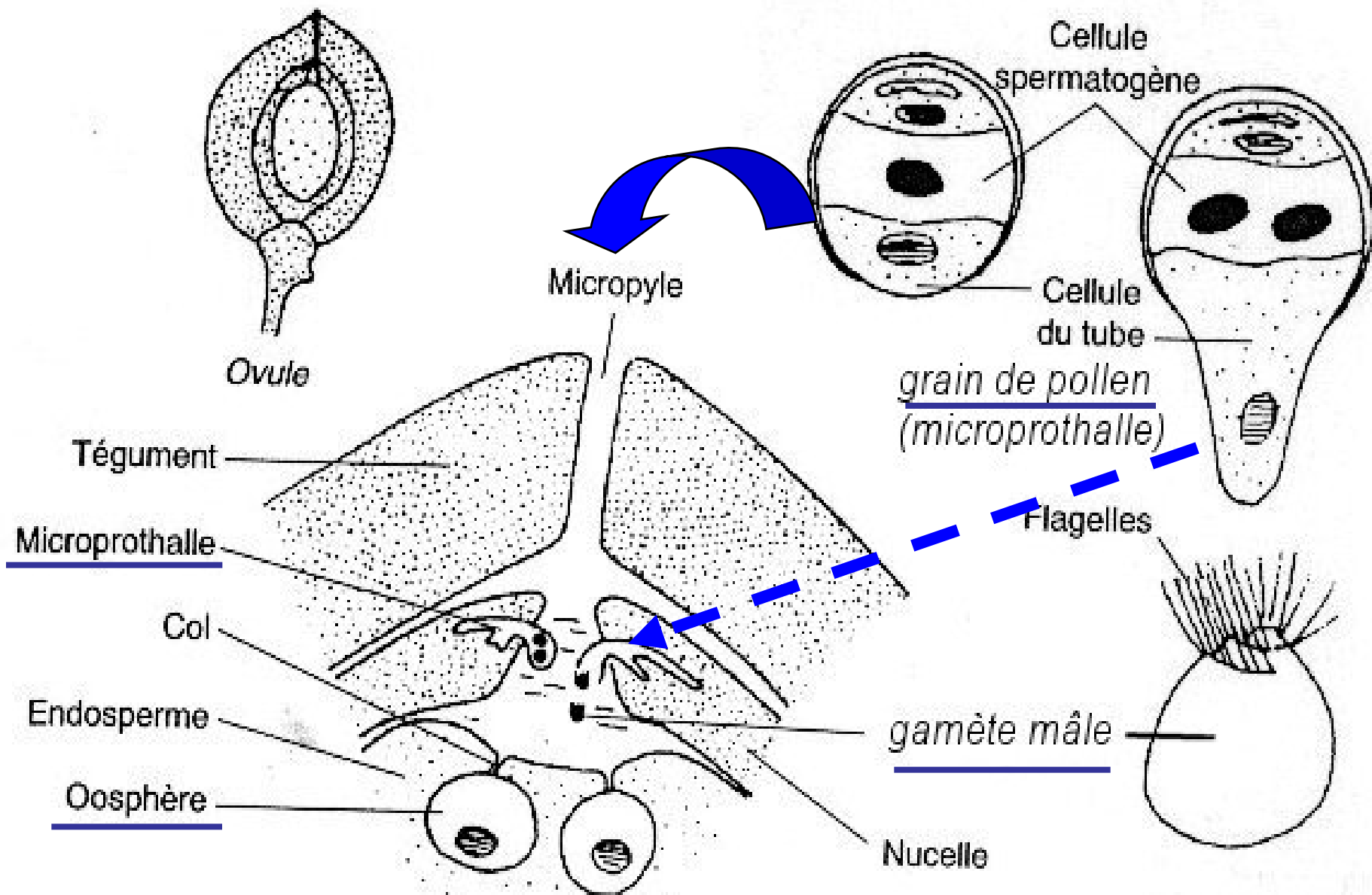
tégument  
charnu



oosphère

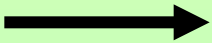
détail du sommet de l'ovule

ovule



Détail de la partie supérieure de l'ovule

# Caractéristiques du cycle

- \* cycle caractérisé par la très large dominance du **Sporophyte**
- \* transport des gamètes mâles **indépendant** de l'eau du milieu
- \* réserves de l'ovule faites **avant** la fécondation  
(plus de relations entre plante-mère et ovule au moment de la fécondation)
- \* **pas de vraie** graine (pas de dormance) :  
 autrefois Préspermaphytes



# C. Classification

**a) Cycadophytes** : environ 130 espèces

\* régions chaudes

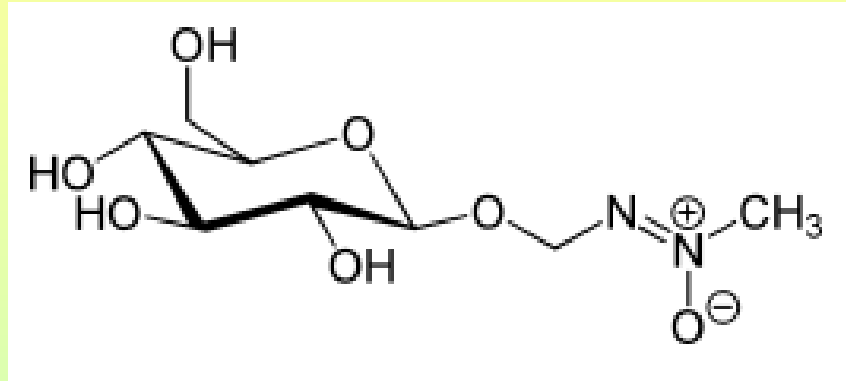
\* feuilles composées pennées

\* vrai tronc avec **accroissement secondaire** (≠ palmiers)

\* pas de bourgeons axillaires

\* ovules disposés en 2 rangées sur des feuilles ovulifères  
regroupées en **cônes**

- \* **synthèse d'un glycoside toxique** : cycasine (maladie neurodégénérative, démence de Guam)



- \* **symbiose** avec des cyanobactéries fixatrices d'azote au niveau de racines spécialisées dites "coralloïdes".

ex : **Cycas**

+ organes reproducteurs en cône  
au centre, feuilles spécialisées



*Cycas revoluta*

+ préfoliation circinée



pied femelle



pied mâle





+ très grand intérêt **ornemental**

+ en Asie ovules fécondés consommés (riches en amidon),  
mais toxiques à cause des **hétérosides toxiques**



*Cycas thouarsii*



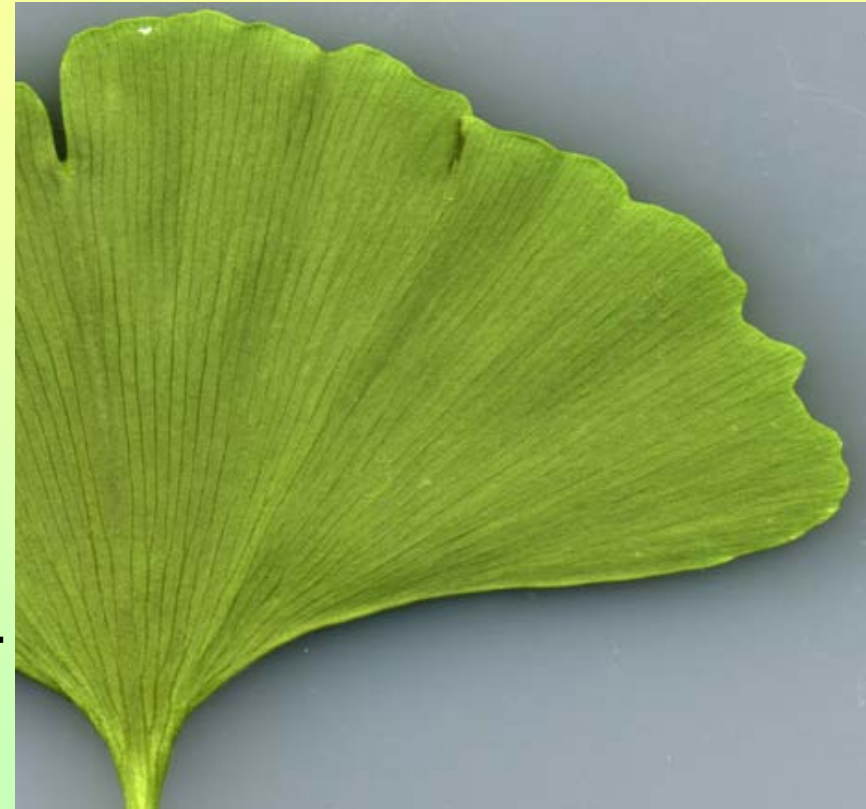
*Cycas revoluta*

b) Ginkgophytes : une seule espèce *Ginkgo biloba*  
(arbre aux 40 écus)

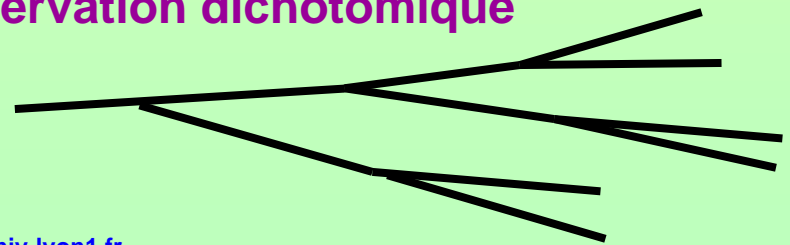


+ arbre **dioïque**, jusqu'à 30m

+ originaire de Chine, Grande-Bretagne  
17ème siècle, Montpellier **1771**



+ **nervation dichotomique**



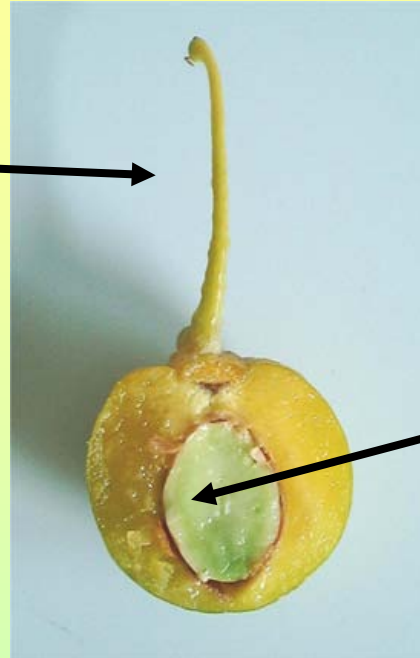


# **ped femelle : ovules par 2 (dont un avorté)**



← pédoncule

← ovule avorté



← "amande"



**ped mâle : chatons formés de nombreuses étamines à 2 sacs polliniques**



**germination  
immédiate**



+ très grand intérêt ornemental , résistant à la pollution urbaine....

**ped mâle**



**ped femelle**

...et à la bombe atomique

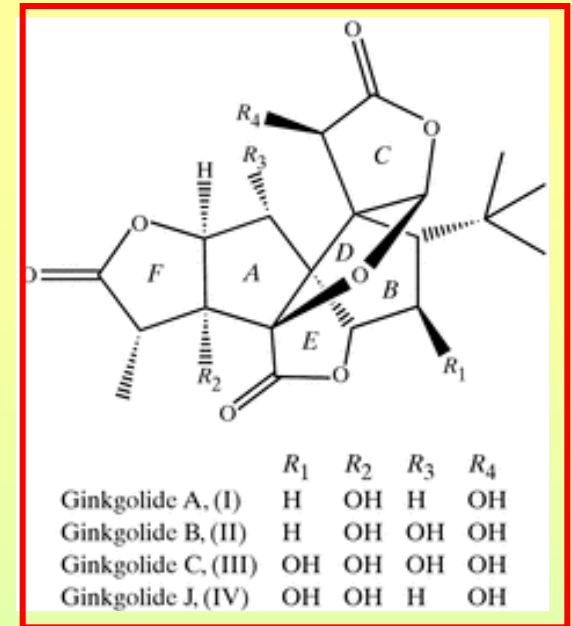


+ feuilles utilisées en Chine depuis 5000 ans

+ feuilles riches en **diterpènes (ginkgolides)**  
et en **biflavonoïdes**

+ préparation d'extraits de feuilles antioxydants  
et toniques cérébraux, améliorent irrigation tissulaire  
et métabolisme cellulaire

+ cultivé pour ses feuilles (ex en France)



+ "amande" de l'ovule consommée en Chine et au Japon  
(pulpe de l'enveloppe nauséabonde et très irritante)



# 6. Les Coniférophytes = Conifères

## A. Généralités

\* fécondation par **tube pollinique**

+ c'est le pollen qui **germe** et qui apporte les gamètes au contact de l'ovule

—————> Germination complètement **indépendante** de l'eau du milieu

\* la fécondation **déclenche** la mise en réserve (donc liens étroits avec la plante-mère) et la formation de la **graine**

—————> Réserves faites **après** la fécondation

\* formation d'une **graine** : organe de vie au ralenti (**dormance**).  
Adaptation aux variations des conditions climatiques du milieu aérien

- \* ovule **nu** (idem graine)
- \* plantes toujours **ligneuses**, **croissance secondaire** importante
- \* organes reproducteurs en **cônes** (ou **strobiles**) **unisexués**  
(on compare parfois les cônes à des fleurs ou des inflorescences)
- \* les 2 sexes sur le même pied (monoïques)  
rarement séparés (dioïques ex. If)
- \* **Bois Homoxylé** car formé d'un seul type d'éléments :  
**Trachéïdes à ponctuations aréolées**
- \* canaux sécréteurs de **résine** (sauf exceptions)
- \* feuilles le plus souvent en **aiguilles** ou **linéaires aplaties** ou en **écailles**
- \* feuilles **persistantes** (exceptions : mélèze, cyprès chauve)

\* **groupe en voie d'extinction :**

+ 5 000 espèces à la fin de l'ère Primaire

+ 20 000 espèces au jurassique (-225 à -65 MA)

+ entre 500 et 1 000 espèces actuelles

\* **moins compétitives que les Angiospermes :**

+ organes reproducteurs peu protégés

+ fécondation et maturation des graines : plusieurs années

+ conduction de sève plus difficile

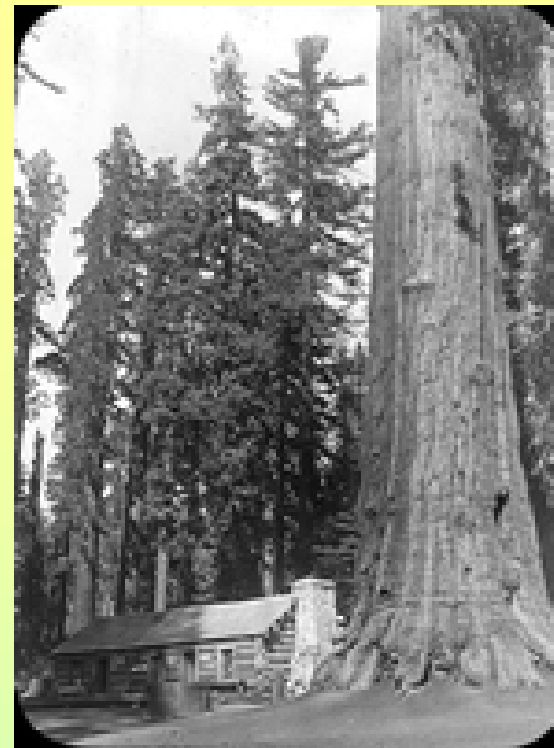
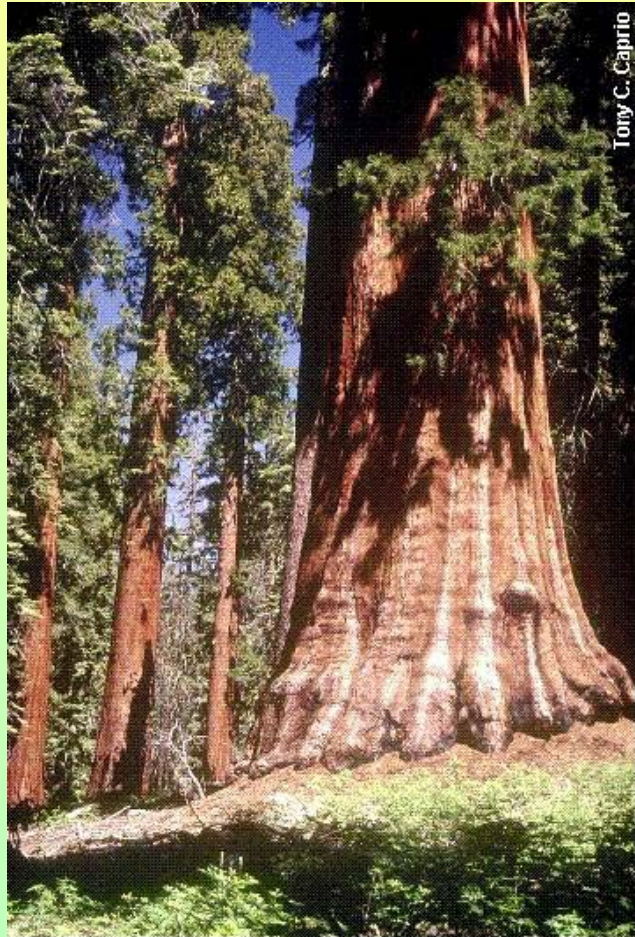
\* **remarque :**

**Bien qu'en extinction, les Coniférophytes détiennent plusieurs records**



+ les arbres les plus grands :

Séquoias : 80-120m,  
2000 à 3000 ans





+ les arbres les plus gros :

**Le *Taxodium* de Tulé (Mexique) :**  
**16m de diamètre, 48m de haut, plus de 2000 ans**



## + les arbres les plus vieux :

\* en Californie des pins de l'espèce *Pinus longaeva* (pin de Bristlecone) dépassent les 4 000 ans (plus de 4700 ans pour le plus vieux)

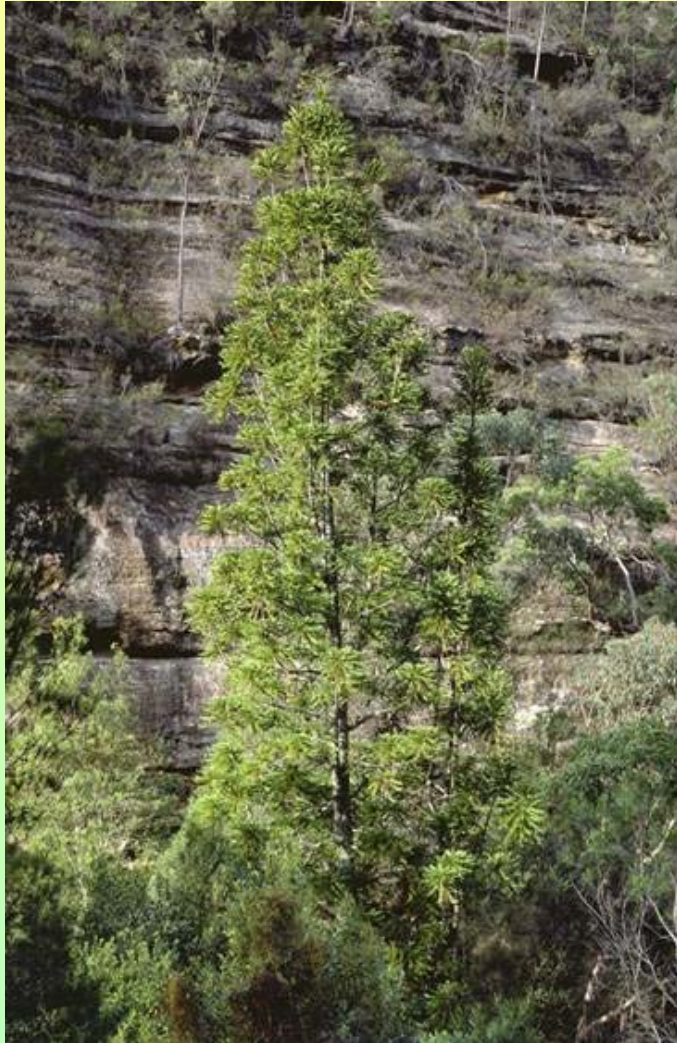
Californie, Sierra Nevada,  
climat désertique à 3500m



\* l'arbre vivant le plus vieux serait un **épicéa** âgé de presque 8000 ans, découvert en Suède



*Wollemia nobilis* (Araucariacées)  
redécouvert en 1994 à 200 km de Sydney  
< de 40 sujets sauvages connus  
avant connu uniquement comme fossile  
(période -200 à -90 MA)



jeune plant en serre

## B. Chimie

- \* en général, richesse en composés **terpéniques** (alpha et bêta pinène en particulier)
- \* présence de **flavonoïdes**
- \* parfois des **alcaloïdes** (if)

## C. Intérêt

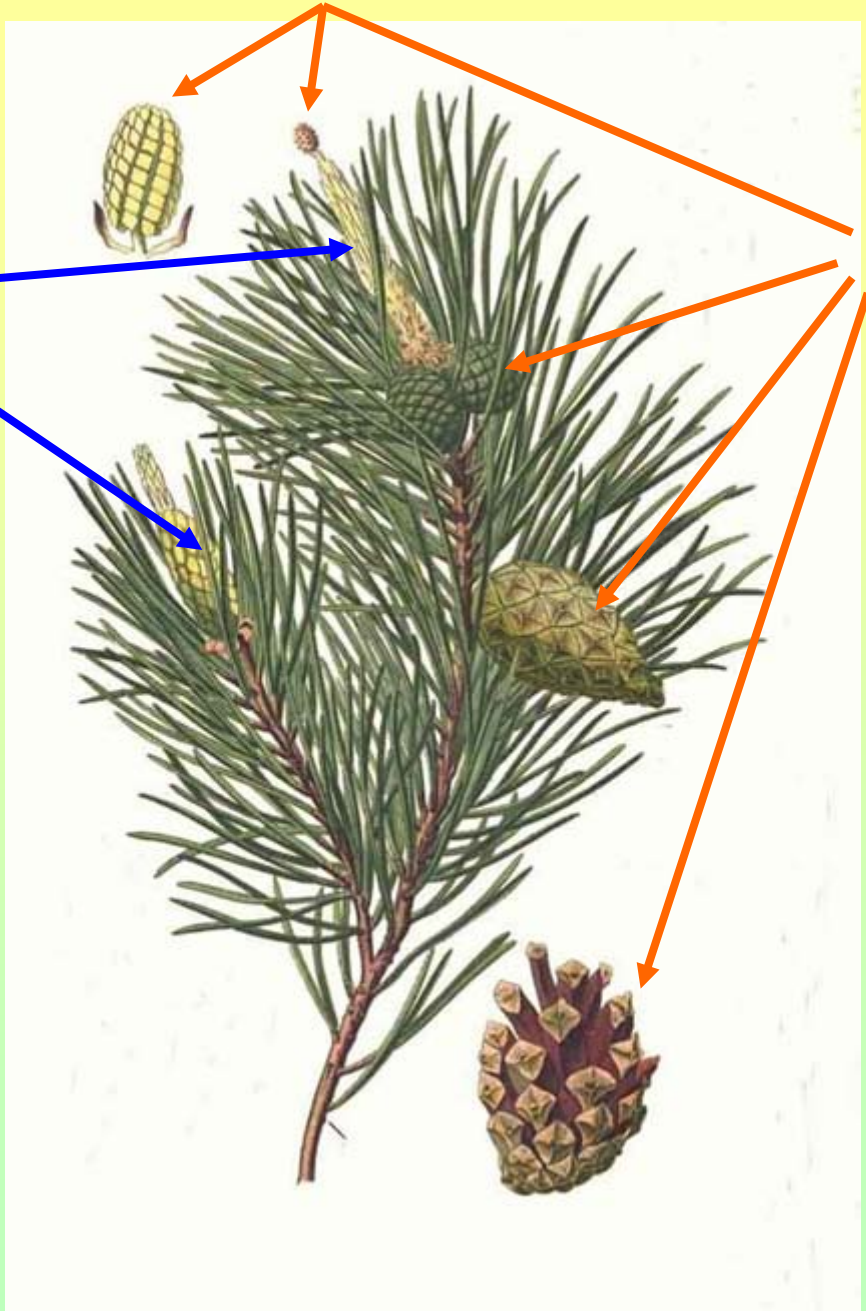
- \* arbres **ornementaux**
- \* industries du bois : charpente, meubles...
- \* pâte à papier
- \* industrie chimique : **térébenthine** (solvants, colles, parfums...)
- \* pharmacie : désinfectant, **antiseptique** (terpènes), **anti cancéreux** (Taxol et dérivés)...

# D.Reproduction

ex. Pin sylvestre

## \* cônes mâles

- + petits
- + nombreux
- + base des pousses de l'année
- + une saison



## \* cônes femelles

- + plus ou moins gros
- + peu nombreux
- + sommet des pousses de l'année
- + présents plusieurs années



# Cônes mâles

2 sacs polliniques  
sous les écailles fertiles



coupe longitudinale



écaille fertile  
("étamine")

pollen



ballonnets aérifères

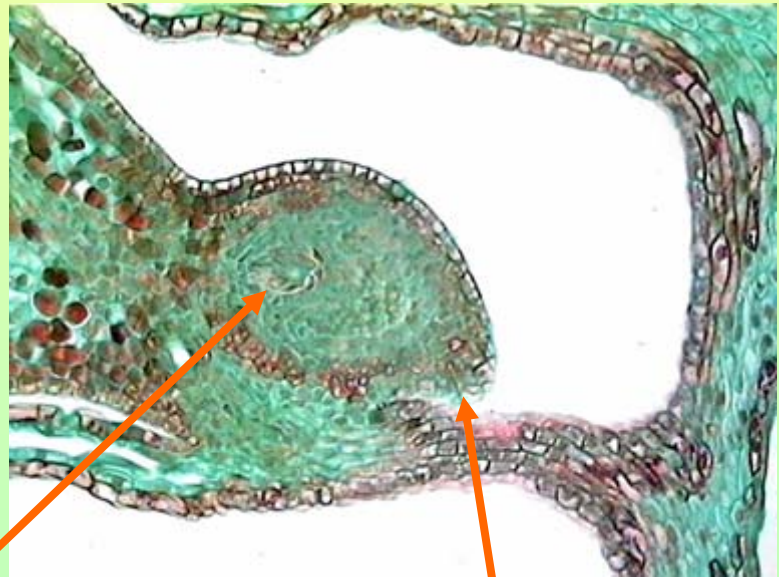
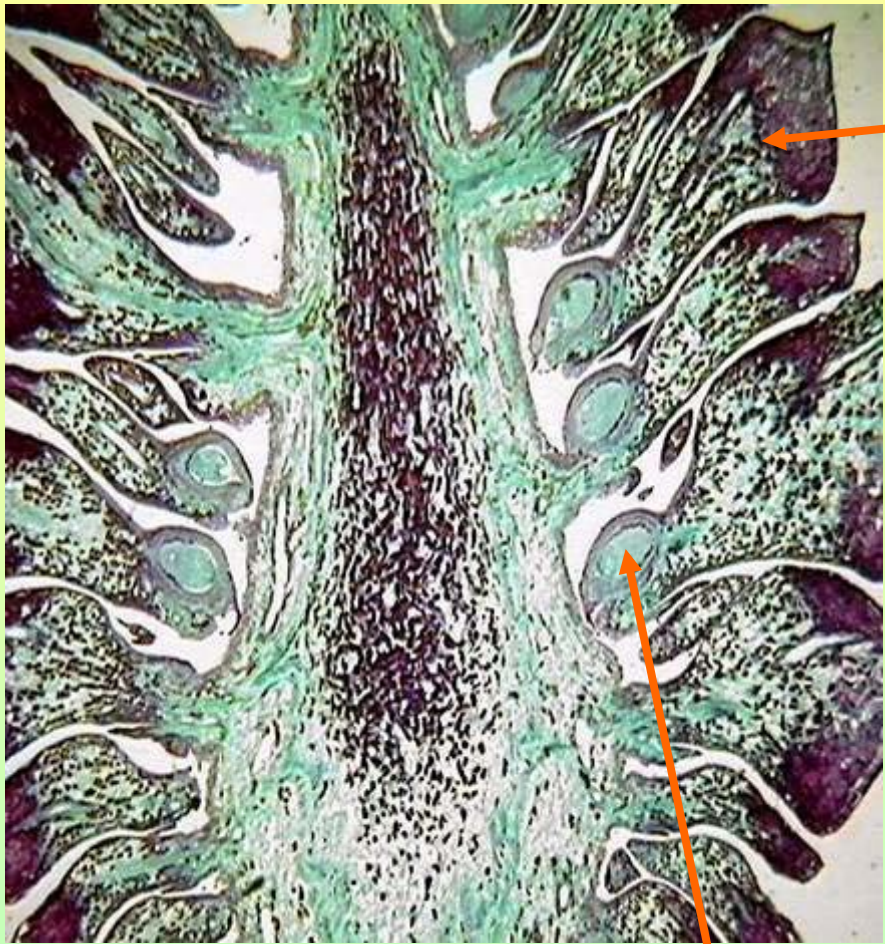


pollen très abondant, transporté par le vent (ex. "pluies de soufre")





# Cônes femelles



écaïlle fertile (ovulifère)

coupe longitudinale

2 ovules sur l'écaïlle fertile

micropyle

# Cycle de reproduction

appareil reproducteur mâle

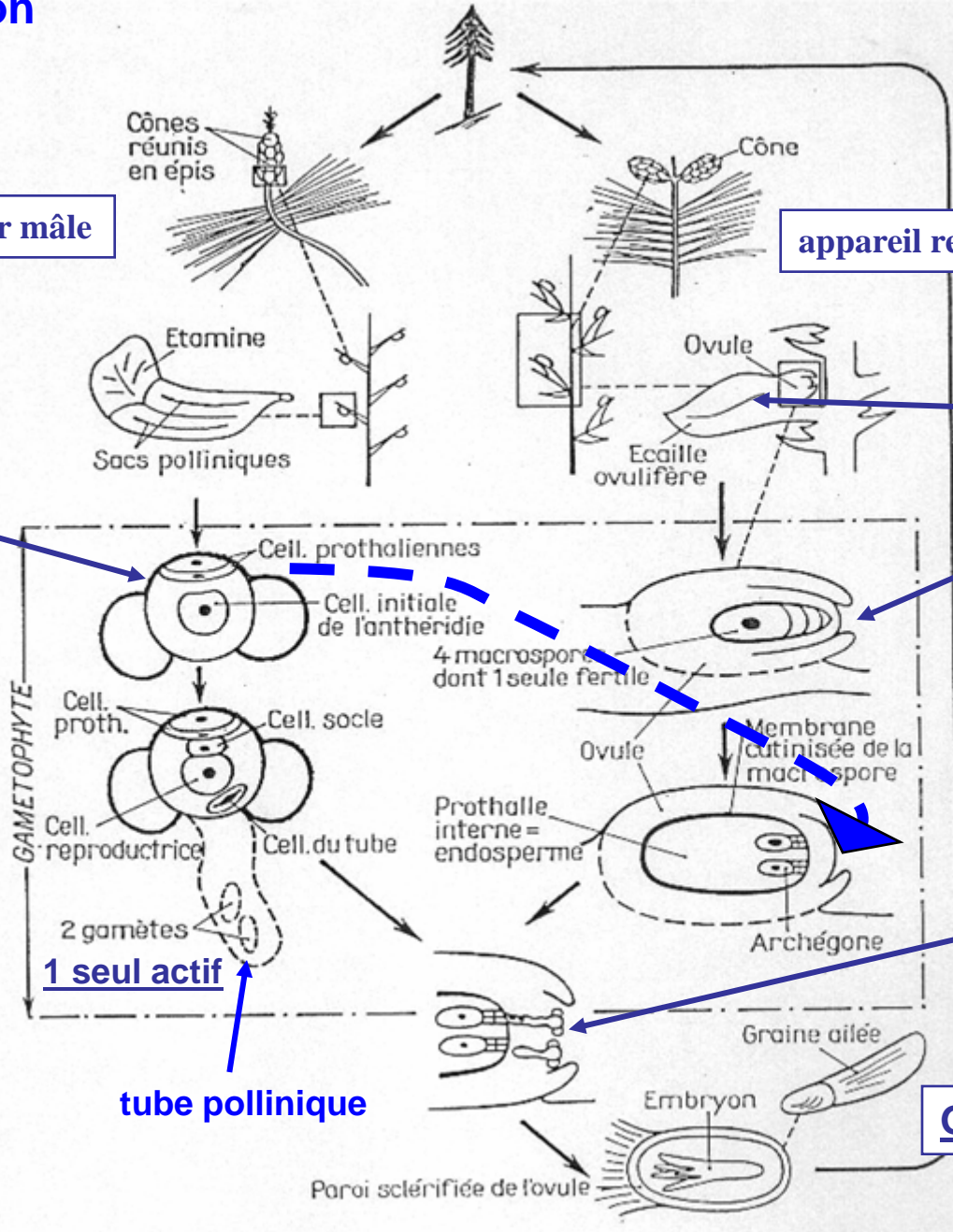
appareil reproducteur femelle

grain de pollen

ovule

micropyle

fécondation



1 seul actif

tube pollinique

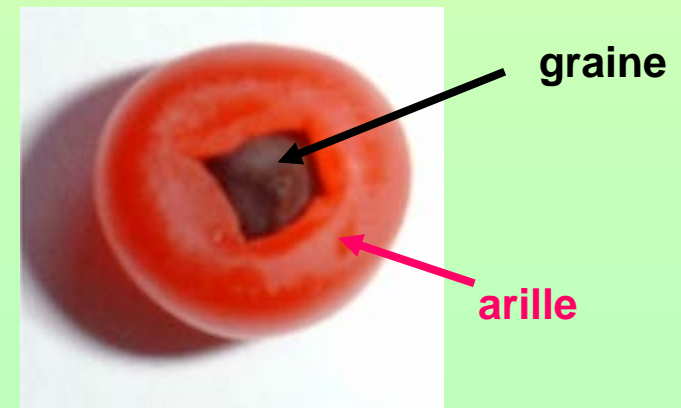
Graine



## E. Quelques exemples de Coniférophytes

### \* If : *Taxus baccata*

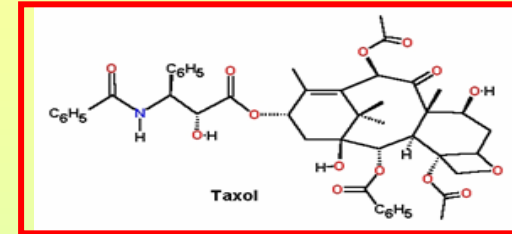
- \* arbuste ou arbre (10-15m)
- \* très grande longévité (1500-2000 ans)
- \* feuilles linéaires aplaties, 2-3cm sur 2 rangs, vert foncé, non piquantes
- \* pas de canaux sécréteurs de résine (exception)
- \* dioïque (rare)
- \* ovules isolés (exception)
- \* graine noire entourée par arille charnu : "baie d'if"



\* toutes les parties de la plante (sauf arille) sont **très toxiques** :  
**taxoïdes diterpéniques** et mélange d'alcaloïdes ou pseudo-alcaloïdes : **taxine**

\* à partir de l'écorce de l'if du Pacifique (*Taxus brevifolia*) :

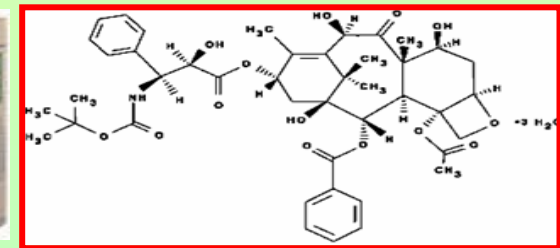
**Paclitaxel (Taxol®)**, diterpène anticancéreux



(100-150mg paclitaxel/if !)

\* à partir d'un **précurseur** présent dans le **feuillage**  
de l'if européen (**0,2-1g/kg !**) **hémisynthèse** du taxol

ainsi que d'**analogues** dont le **Docétaxel**  
(**Taxotère®**), plus actif que taxol



\* en Europe, on cultive maintenant des ifs qui  
avaient disparu depuis le Moyen-âge.

\* production de Paclitaxel par **biotechnologies**

# Cyprès : *Cupressus sempervirens*

\* petites feuilles en écailles triangulaires



\* cônes femelles, 8-12 écailles, riches en **tanins**, utilisés, verts, contre l'insuffisance veineuse "**galbules**" ou "**noix**" de cyprès

\* pollen très **allergisant** (avril-mai)



# Thuya : *Thuja occidentalis*



\* feuilles en écailles, rameaux aplatis disposés dans des **plans verticaux**



\* cônes femelles 8-10 écailles allongées, aiguës

\* utilisation des **rameaux** : Huile essentielle (grand remède **homéopathique**)

\* toxique à haute dose : **thuyone** (monoterpène)



# Pin sylvestre : *Pinus sylvestris*

- \* partie supérieure du tronc : **écaillés orangées**
- \* feuilles en aiguilles, 2-3cm, par **2**
- \* cônes femelles appelés "pommes de pins"



port âgé



port jeune



cônes mâles

- \* bourgeons riches en **HE**, utilisés contre la toux et les problèmes bronchiques légers (propriétés antiseptiques) :  
**"bourgeons de sapins"**

# Pin maritime : *Pinus pinaster*



\* aiguilles /2, 10 à 20 cm

\* cônes 12 à 18 cm

\* forêt des Landes (plantée début 19ème siècle, 1 Million d'ha)

\* écorce riche en **tanins**, utilisée contre l'insuffisance veineuse

\* la distillation de sa résine fournissait la **térébenthine de Bordeaux**, riche en alpha et bêta pinènes (d'autres espèces de pins fournissent de la térébenthine)

\* est utilisé maintenant pour fabriquer de la pâte à papier





# Genévrier commun : *Juniperus communis*

- \* 1 à 6 m, **dioïque**
- \* feuilles en aiguilles très piquantes, verticillées par 3
- \* cônes femelles, 6-8mm diamètre, à 3 écailles **charnues, soudées**, bleu-noir, aromatiques ("baies de genévrier")



- \* utilisation de ces **fausses baies** comme épices (riches en diterpènes) ou pour faire des boissons (genièvre, gin)



# Sabine : *Juniperus sabina*

- \* arbrisseau étalé, monoïque ou dioïque
- \* petites feuilles triangulaires opposées, décussées, piquantes, à **forte odeur de cassis**
- \* cônes femelles, 4-5mm diamètre, **charnus**, bleu-noir à maturité

- \* jeunes rameaux séchés et broyés constituaient une drogue officinale à propriété **abortive, très toxique**
- \* **HE très vésicante** : monoterpènes toxiques (sabinène et surtout sabinol)





# Cadier : *Juniperus oxycedrus*

- \* région méditerranéenne
- \* cônes rouge-brun plus ou moins charnus



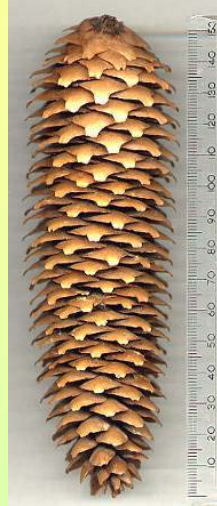
- \* son bois distillé fournit l'**huile** ou **goudron de cade** officinal, riche en **sesquiterpènes**, à propriétés **antiseptiques**



# Autres Gymnospermes

## épicéa

"sapin de Noël"



cônes pendants

## sapin



cônes dressés

## Cèdres



cônes femelles



cônes mâles  
(pollen en automne)



# 7. Les Gnétophytes (ex-Chlamydospermes)

## A. Généralités

- ▶ ovule dans **enveloppes non fermées** (Saccovulées) avec **micropyle allongé**
- ▶ **pseudo-fleur** unisexuée, étamines avec filet
- ▶ **pseudo-fruit**
- ▶ bois **hétéroxylé** :
  - + **vaisseaux parfaits** ou **Trachées** pour la sève  
(ponctuations **aréolées**)
  - + **cellules parenchyme ligneux** pour soutien

# Chez certaines Gnétophytes il existe un phénomène de **double fécondation** :

- \* le tube pollinique déverse **2 gamètes mâles** dans l'endosperme  
(gamétophyte femelle)
- \* **fusion** de ces 2 gamètes avec 2 noyaux présents dans l'oosphère  
(gamète femelle)
- \* **une seule** des cellules **diploïdes** formées donne un **embryon**,  
l'autre dégénère

la double fécondation n'est donc pas effective, elle n'est pas homologue de la double fécondation des Angiospermes (non héritée d'un ancêtre commun).

## B. Classification

- ▶ groupe comptant 96 espèces
- ▶ caractères à la fois de Coniférophytes et d'Angiospermes, mais les analyses moléculaires montrent que les Gnétophytes sont un **groupe frère des Coniférophytes**

- ▶ 3 familles, 3 genres

+ Gnétacées : *G. **Gnetum*** :  
lianes forêts tropicales  
(30 espèces)



+ Welwitschiacées :

**Welwitschia** : 1 seule espèce (*Welwitschia mirabilis*)

- \* plante acaule, 2 feuilles à croissance indéfinie (quelques cm/an)  
vivant plusieurs siècles, déserts du Sud de l'Afrique



+ Ephédracées :

G. *Ephedra* :

environ 65 espèces, régions chaudes, lianes ou arbrisseaux

\* certaines espèces asiatiques ont été utilisées pour leurs **alcaloïdes** (éphédrine et isomères)

\* éphédrine maintenant synthétisée

ex : raisin de mer, éphédra : *Ephedra distachya*



+ arbrisseau présent  
sur le littoral français



+ rameaux grêles, articulés,  
feuilles en écailles, verticillées



"fleurs" réduites



fleurs femelles

fleurs mâles

+ **toxique** (éphédrine mais  
faible teneur)



+ graines avec téguments internes  
lignifiés et téguments externes  
**charnus**, rouges à maturité

# 8. Les Angiospermes

## A. Généralités

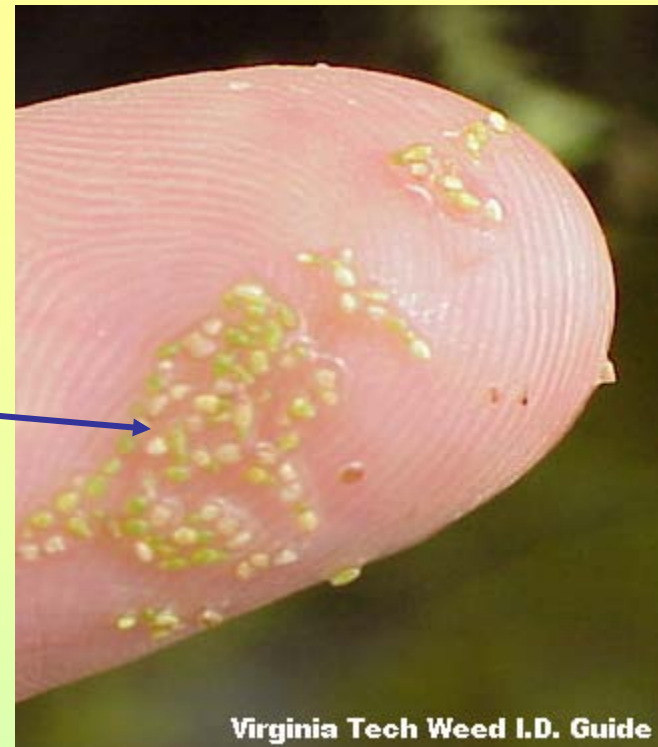
- ▶ ovule(s) dans **cavité close** : **Ovaire** (formé de 1 ou plusieurs carpelles)
- ▶ graine(s) dans **fruit**
- ▶ **vraie fleur**
- ▶ **double fécondation effective**
- ▶ bois **hétéroxylé** (vaisseaux parfaits + parenchyme ligneux)
- ▶ "apparition" à la **fin du Jurassique** (ère **II<sup>aire</sup>**), en **expansion** depuis  
(plus anciens fossiles : grains de pollen, à -135 MA)

▶ appareil végétatif très variable :

+ de moins de 1mm :

Wolffia (*Wolffia arrhiza*)

+ à plus de 100m (eucalyptus)



▶ **métabolisme secondaire** très important et très diversifié :  
très nombreuses molécules à propriétés thérapeutiques

► colonisation de tous les milieux :

+ aérien

+ climat froid, équatorial, désertique....

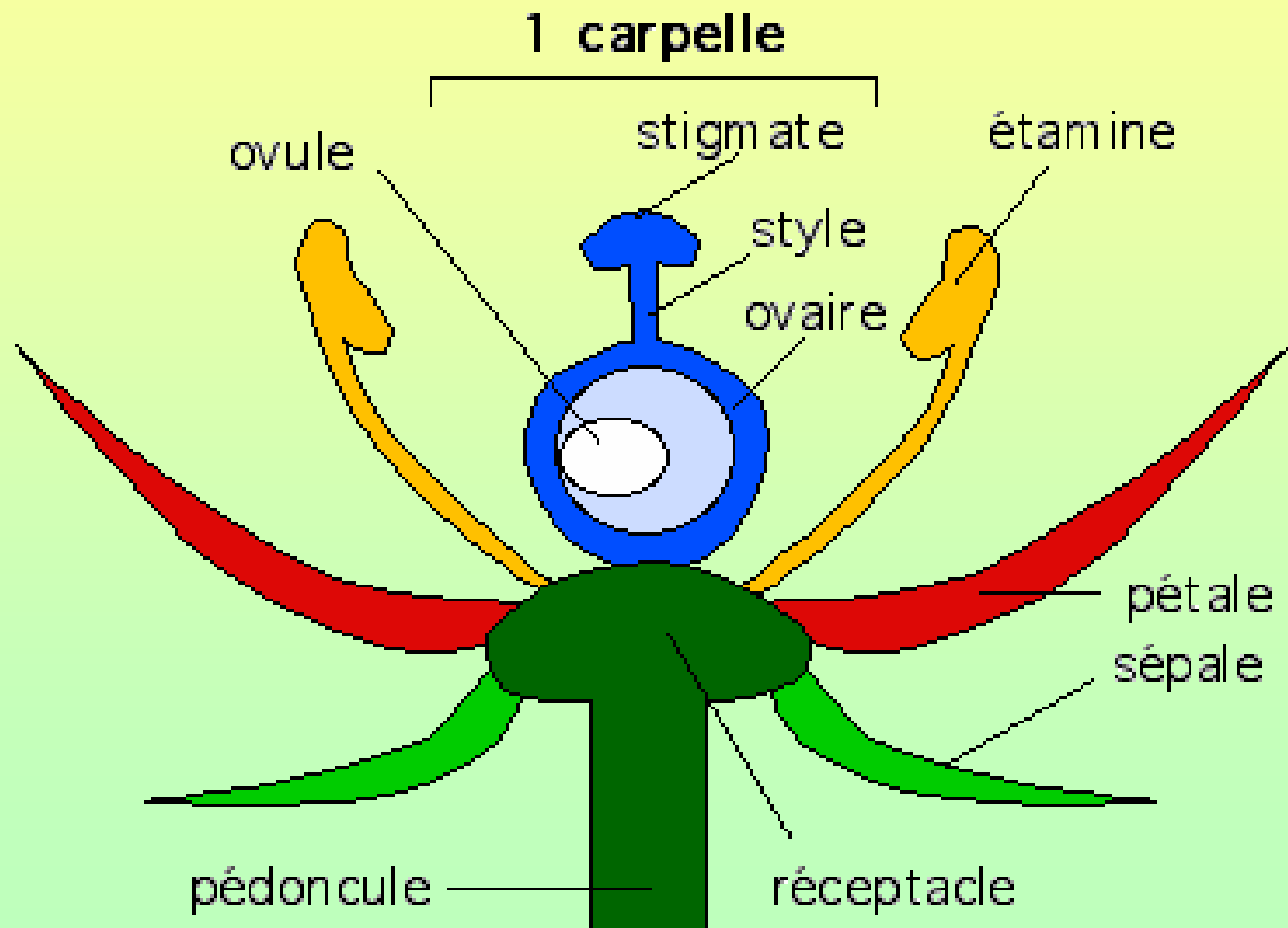
+ eaux douces ou marines



ex. prairie sous-marine à  
Posidonies (Monocotylédones)

# B. Morphologie florale

## a) différentes pièces florales





## b) formule florale

résume le nombre et la disposition des pièces florales



aubriette



colza

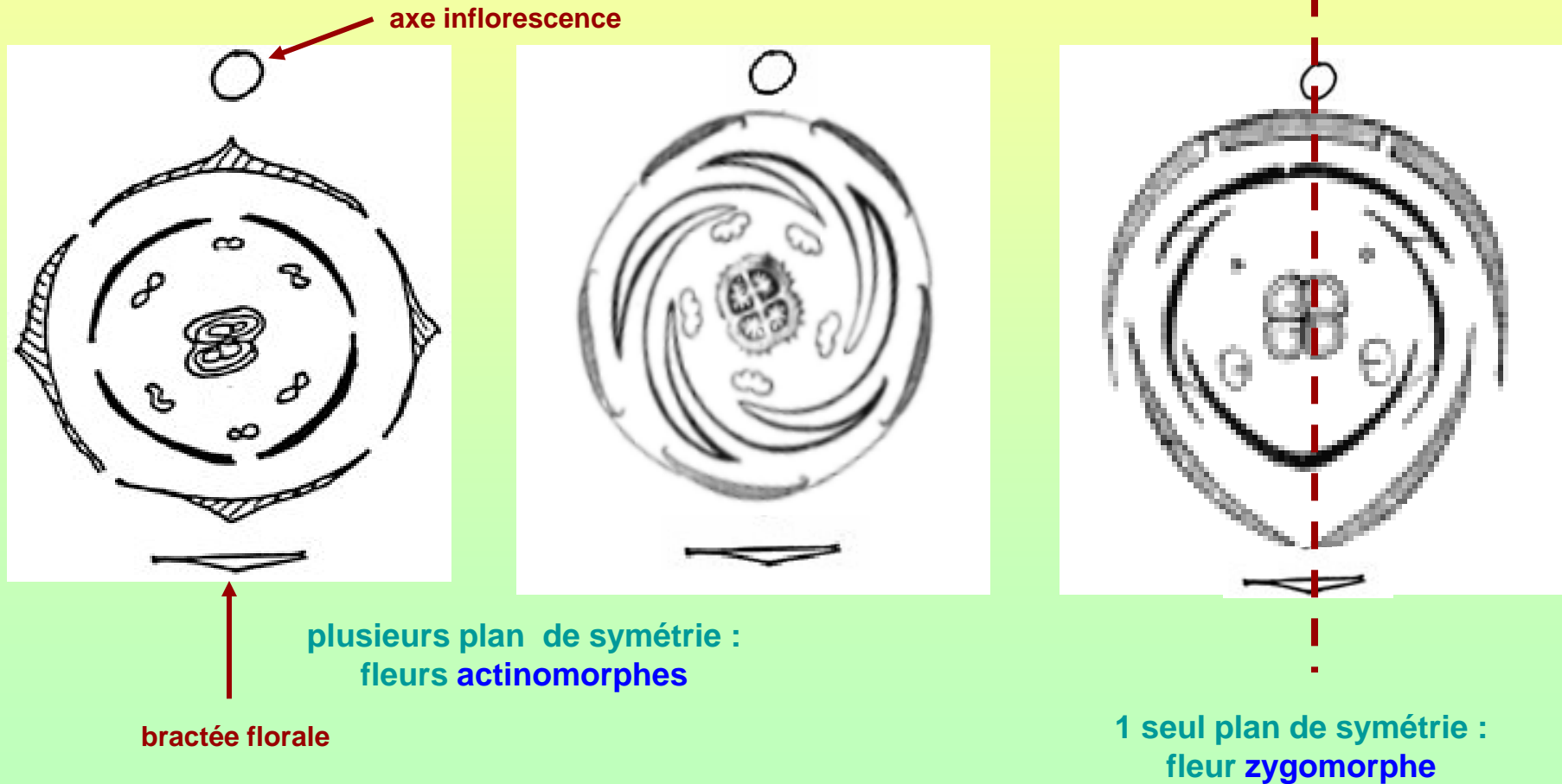
ex Brassicacées (ex-Crucifères) :

4 sépales, 4 pétales, 6 étamines en 2 verticilles, 2 carpelles

**4S+4P+(2+4)E+2C**

## c) diagramme floral

représentation théorique et schématique des différentes pièces d'une fleur



## d) rôle des pièces florales

- ▶ **sépales (calice)**, le plus souvent verts : rôle protecteur
  
- ▶ **pétales (corolle)** : rôle au niveau de la pollinisation
  - + fleurs pollinisées par le **vent** : pas de pétales, pas de nectar
  
  - + fleurs pollinisées par des **insectes** : présence de **pigments** colorés (anthocyanes, caroténoïdes...) ou non colorés (flavones, flavonols...) : "**appareil d'affichage**", souvent **nectar**

► **appareil reproducteur :**

**étamines (androcée) et carpelle(s) (gynécée ou pistil)**

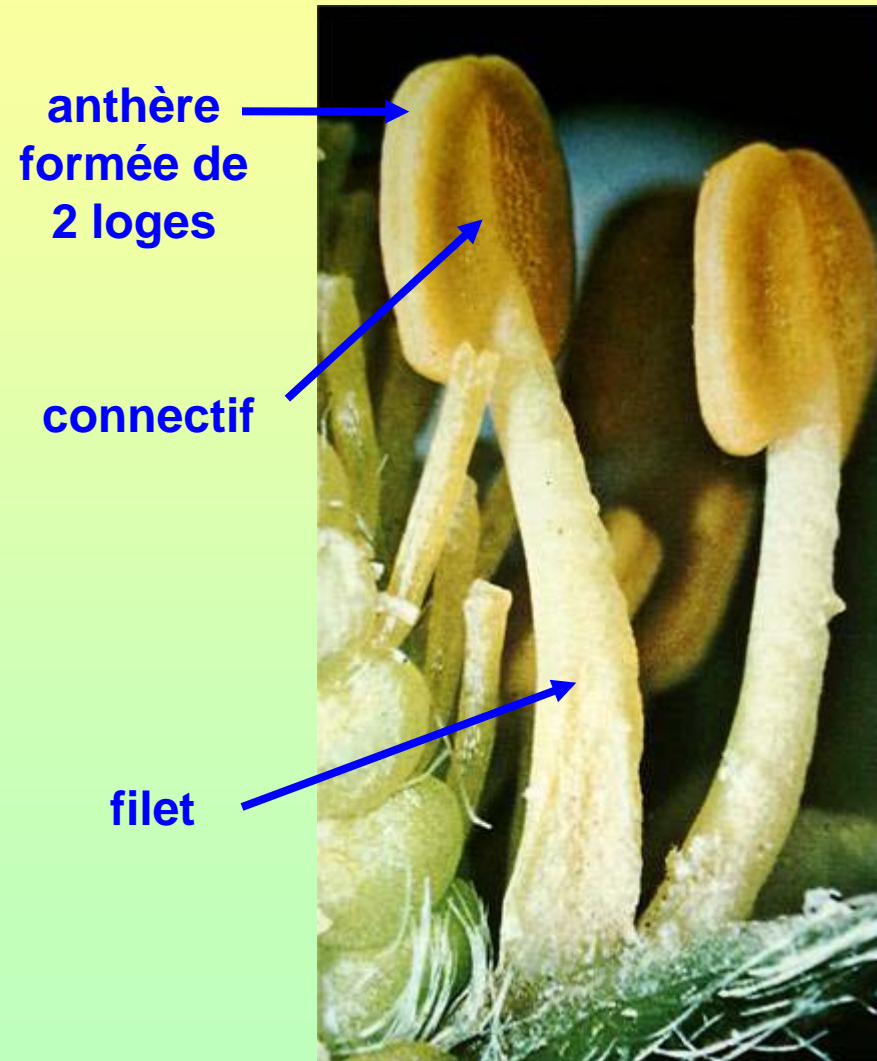
+ les 2 sexes sur la même fleur : fleur **hermaphrodite**

+ des fleurs mâles et des fleurs femelles sur le **même pied** : plante **monoïque**

+ les fleurs mâles et les fleurs femelles sur des **pieds différents** : plante **dioïque**

# Androcée

## étamines

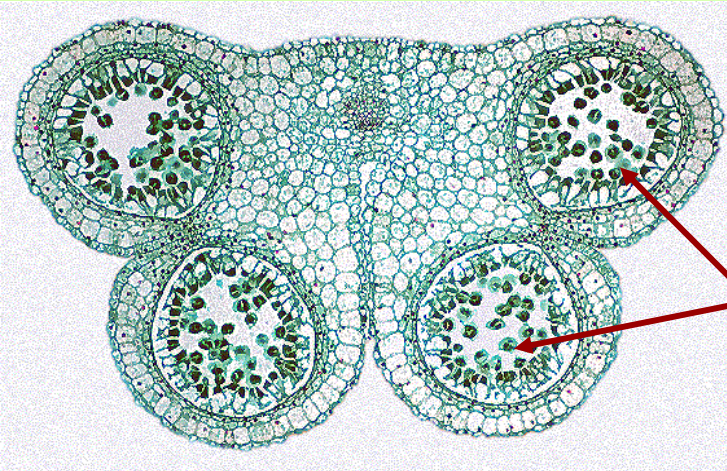




# Formation du pollen

Dans les étamines, au niveau des anthères, la **Réduction Chromatique** (méiose)  
de cellules mères diploïdes donne des **microspores** (haploïdes)  
évoluant en **grains de pollen**

coupe transversale dans une anthère



2 sacs  
polliniques

loge déhiscente



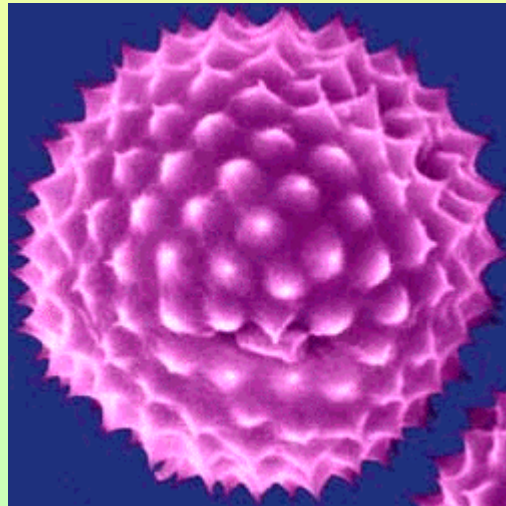
pollen

grains de pollen = **gamétophytes mâles** réduits à 2 cellules :

**1 cellule végétative**

+ **1 cellule reproductrice** qui formera

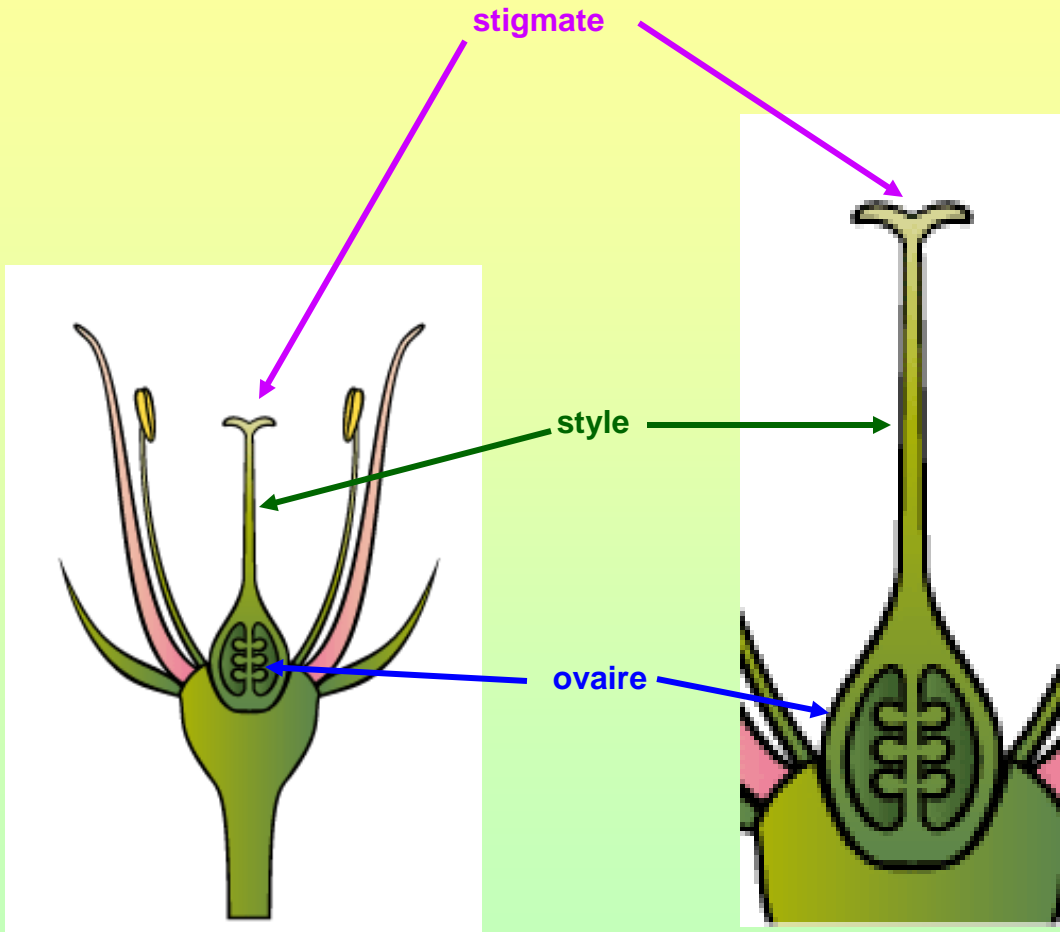
**2 gamètes mâles.**



La paroi externe du grain de pollen, très résistante, s'appelle l'**EXINE**

# Gynécée ou Pistil

de 1 à n carpelles (libres ou soudés)



fleur complète

Pistil ou Gynécée



détail Ovaire  
contenant les  
Ovules

# ovule des Angiospermes

micropyle

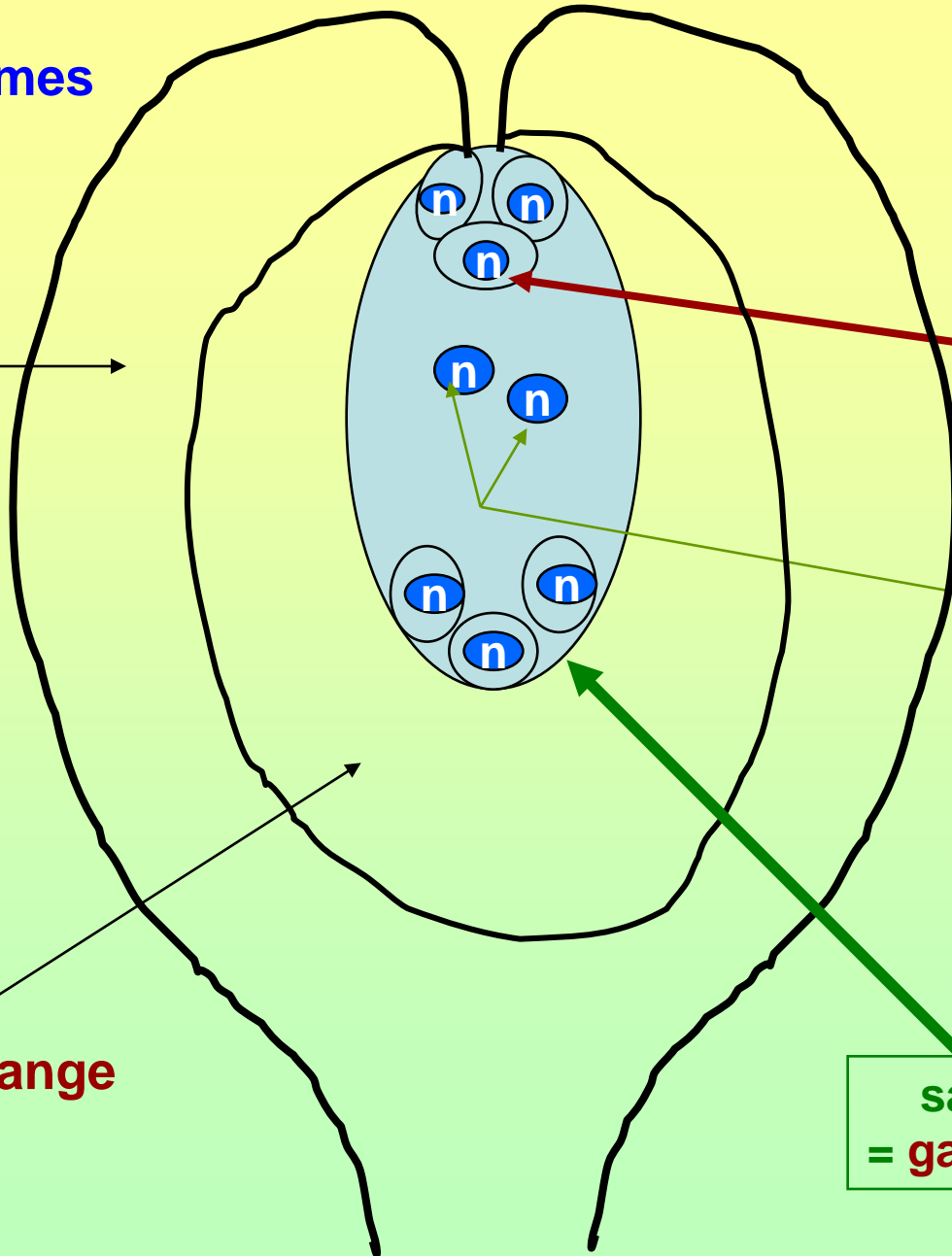
tégument

oosphère  
(gamète femelle)

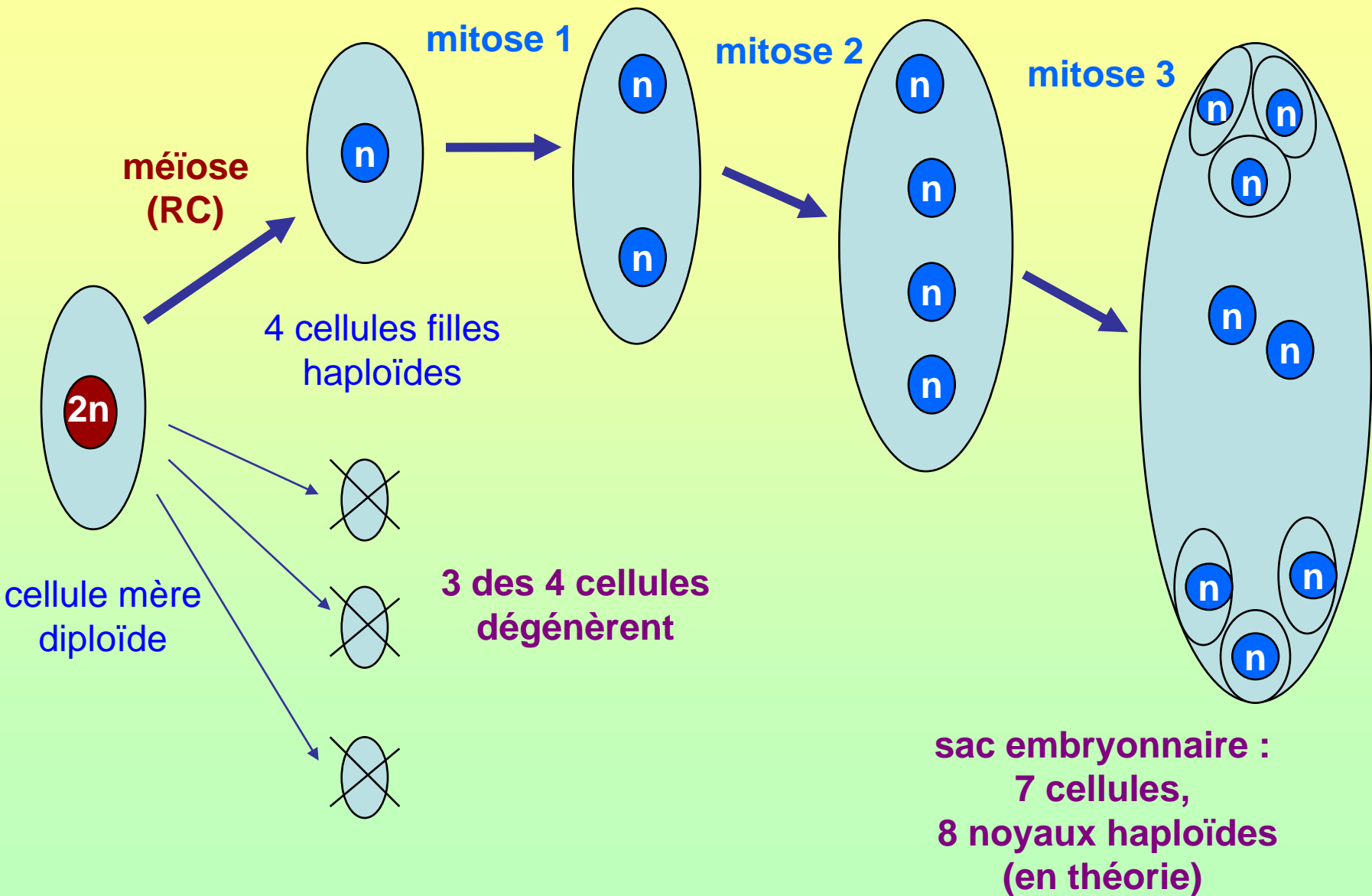
2 noyaux polaires  
(ou accessoires)

nucelle  
(=macrosporangie  
femelle)

sac embryonnaire  
= gamétophyte femelle



# Formation du sac embryonnaire



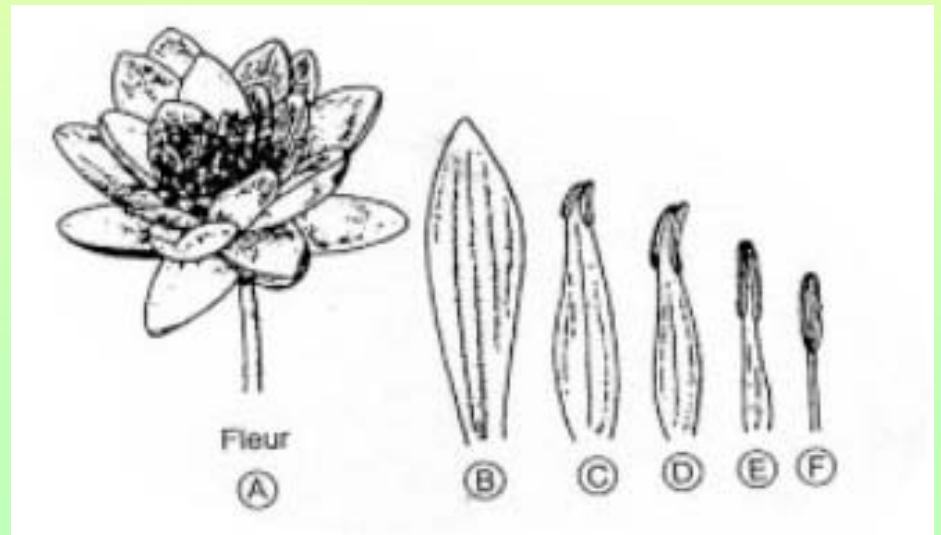


## e) origine des pièces florales

Les pièces florales seraient des **feuilles modifiées** adaptées à la **reproduction** (théorie de la "**métamorphose**", Goethe **1790**)

Parfois séquence de passage des bractées aux carpelles visible

ex : **nénuphar**



# C. Reproduction

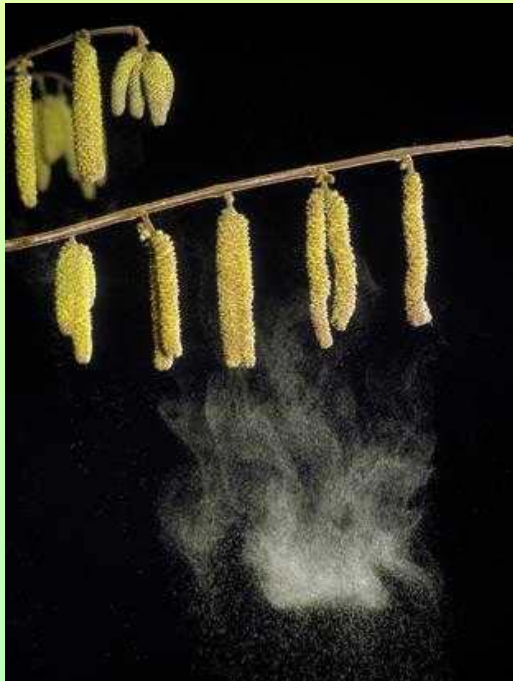
## a) pollinisation

= **transport** du pollen des anthères sur le stigmate

### 1. par le **vent** : **anémogamie** (ou anémophilie)

fleurs non colorées, beaucoup d'étamines,  
pollen abondant et petit, stigmates plumeux....

**libération de pollen**  
ex. noisetier



**stigmates de maïs**



## 2. par les insectes : entomogamie (ou entomophilie)

+ fleurs colorées, nectar, pollen peu abondant et gros,....

+ souvent adaptation parallèle entre forme de la fleur et forme de l'insecte : coévolution

ex pollinisation sauge et labelle des Ophrys (Orchidées)  
ressemblant à un insecte

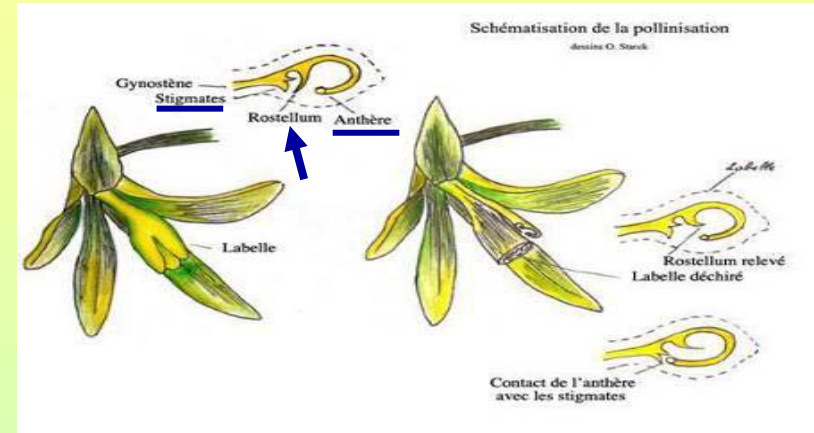
## 3. par l'eau : hydrogamie

(pollinisation, suite...)

4. par des oiseaux, des mollusques, des chauve-souris (baobab),....

5. par l'Homme

cas de la **Vanille** (Orchidacées)

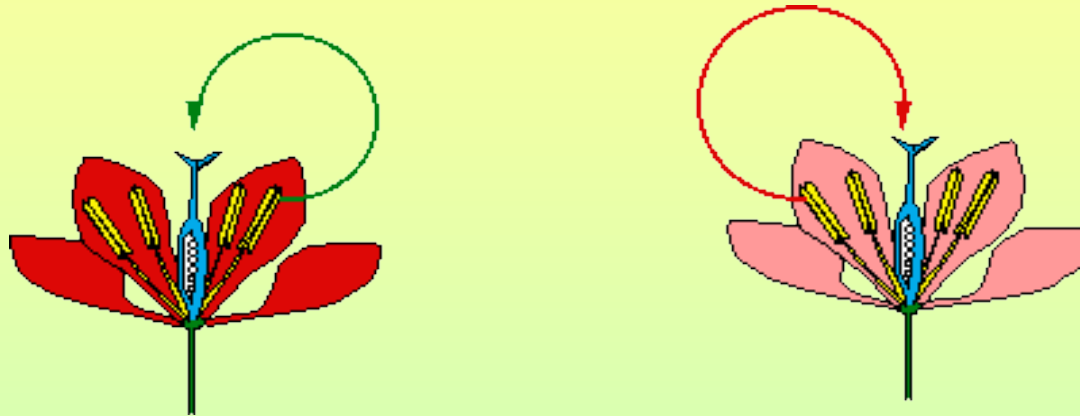


pas de contact entre anthères et stigmate possible sans intervention d'une abeille ou de l'Homme



# Pollinisation directe / pollinisation croisée ?

## \* pollinisation directe ou autogamie

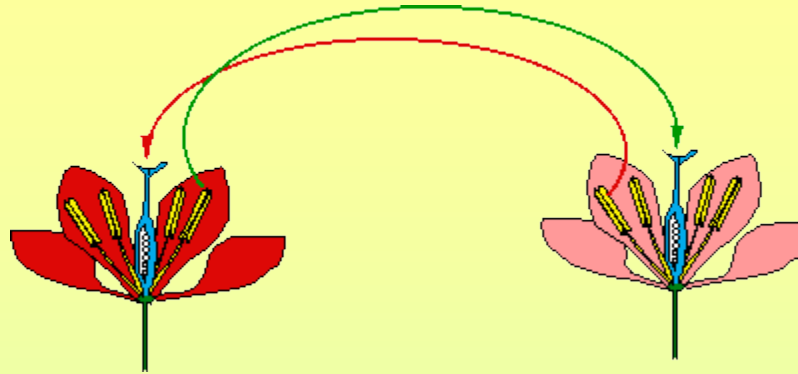


dépôt du pollen des étamines sur le **stigmate** de la **même fleur** :

même patrimoine génétique, **pas de brassage génétique**

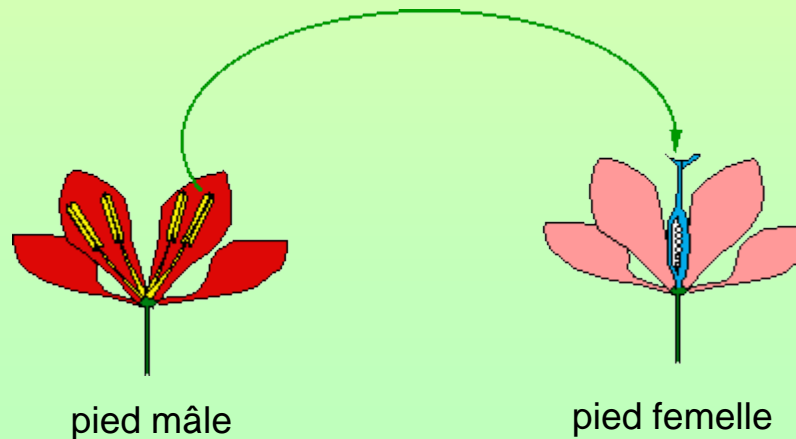


## \* pollinisation croisée ou allogamie



dépôt du pollen d'une fleur sur le stigmate d'une fleur de la même espèce mais située sur un **autre plant** :  
patrimoines génétiques différents, **brassage génétique**

obligatoire quand l'espèce est **dioïque**



# \* la pollinisation directe est gênée de différentes façons

+ **maturation** des 2 types d'organes reproducteurs d'une fleur **décalée dans le temps** (ex : maïs)

\* organes mâles mûrs les premiers :

fleur **protandre** ou **protérandre**

\* organes femelles mûrs les premiers :

fleur **protogyne** ou **protéogyne**

+ **disposition** des étamines et des stigmates d'une même fleur gênant ou empêchant l'autopollinisation.

+ **dispositifs** entre étamines et stigmates d'une même fleur gênant ou empêchant l'autopollinisation (cas de la vanille)

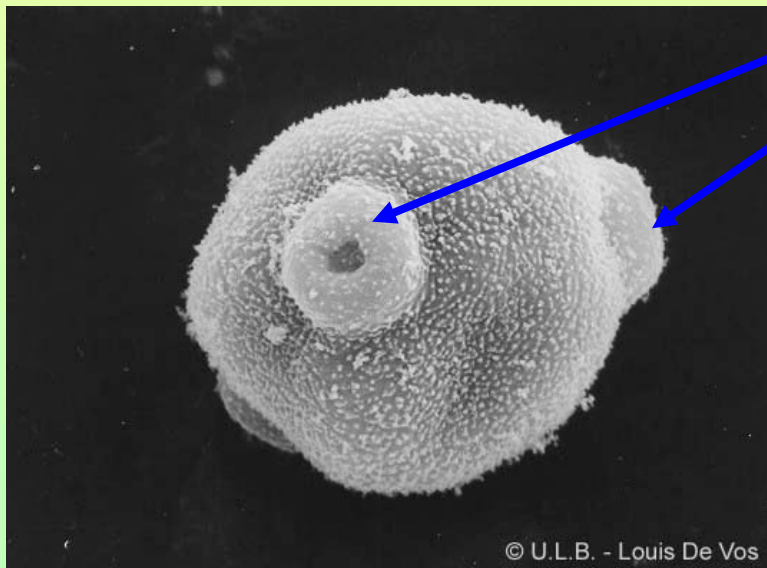
+ **incompatibilité** entre pollen et stigmate d'une même fleur (pollinisation croisée obligatoire)

+ le plus souvent, **combinaison** de plusieurs facteurs....

## b) fécondation

### germination du grain de pollen :

formation d'un **tube pollinique** traversant l'**exine** au niveau d'une **ouverture** ou **pore germinatif** (amincissement de l'exine)

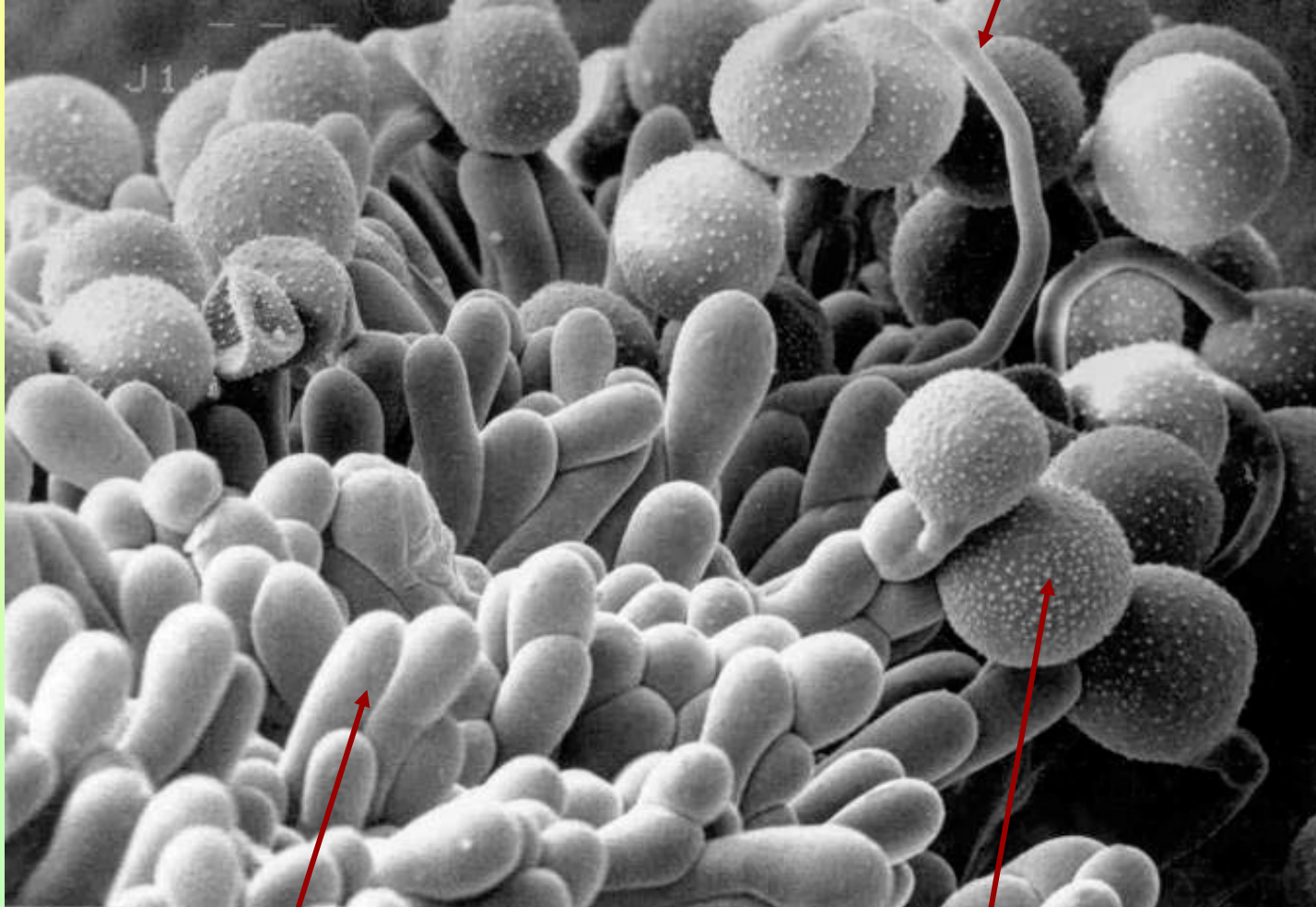


ouvertures  
ou  
pores germinatifs

© U.L.B. - Louis De Vos

# Germination du pollen sur le stigmate

tube pollinique

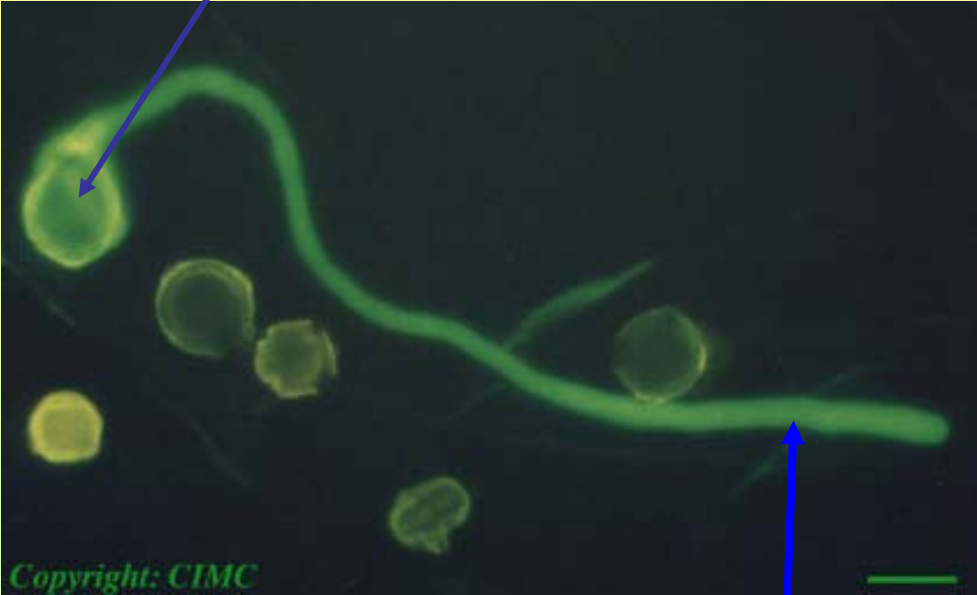


papilles du stigmate

grains de pollen

# Germination du pollen

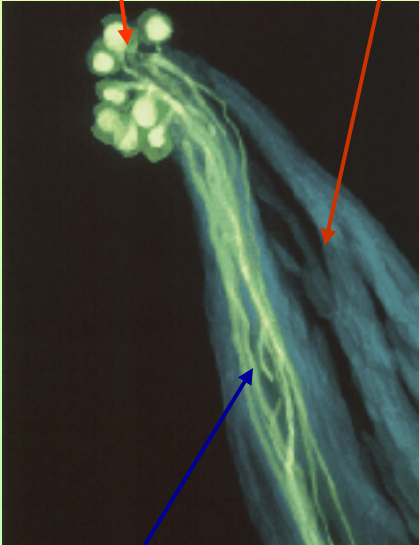
grain de pollen



tube pollinique

grains de pollen

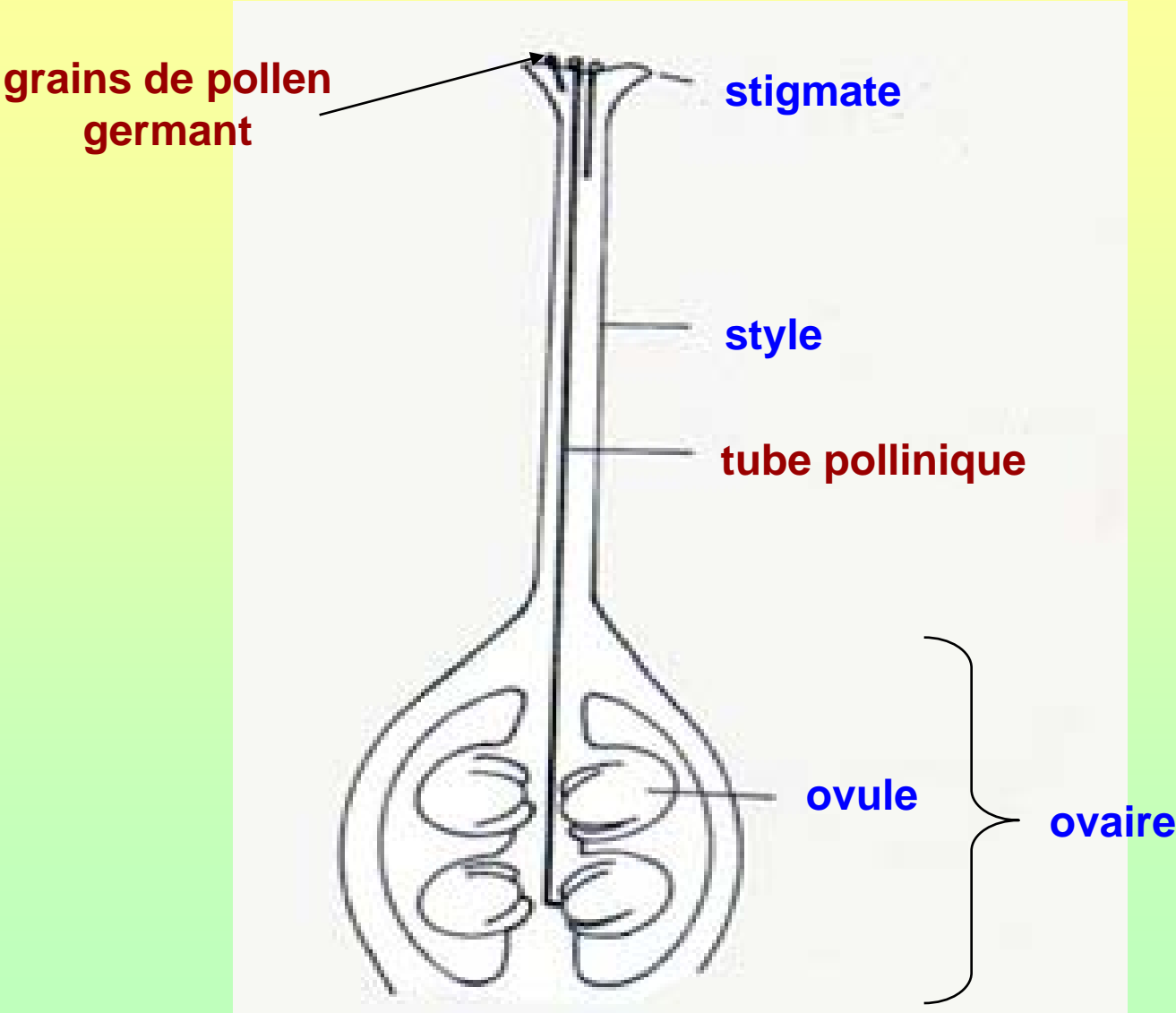
tissus du style



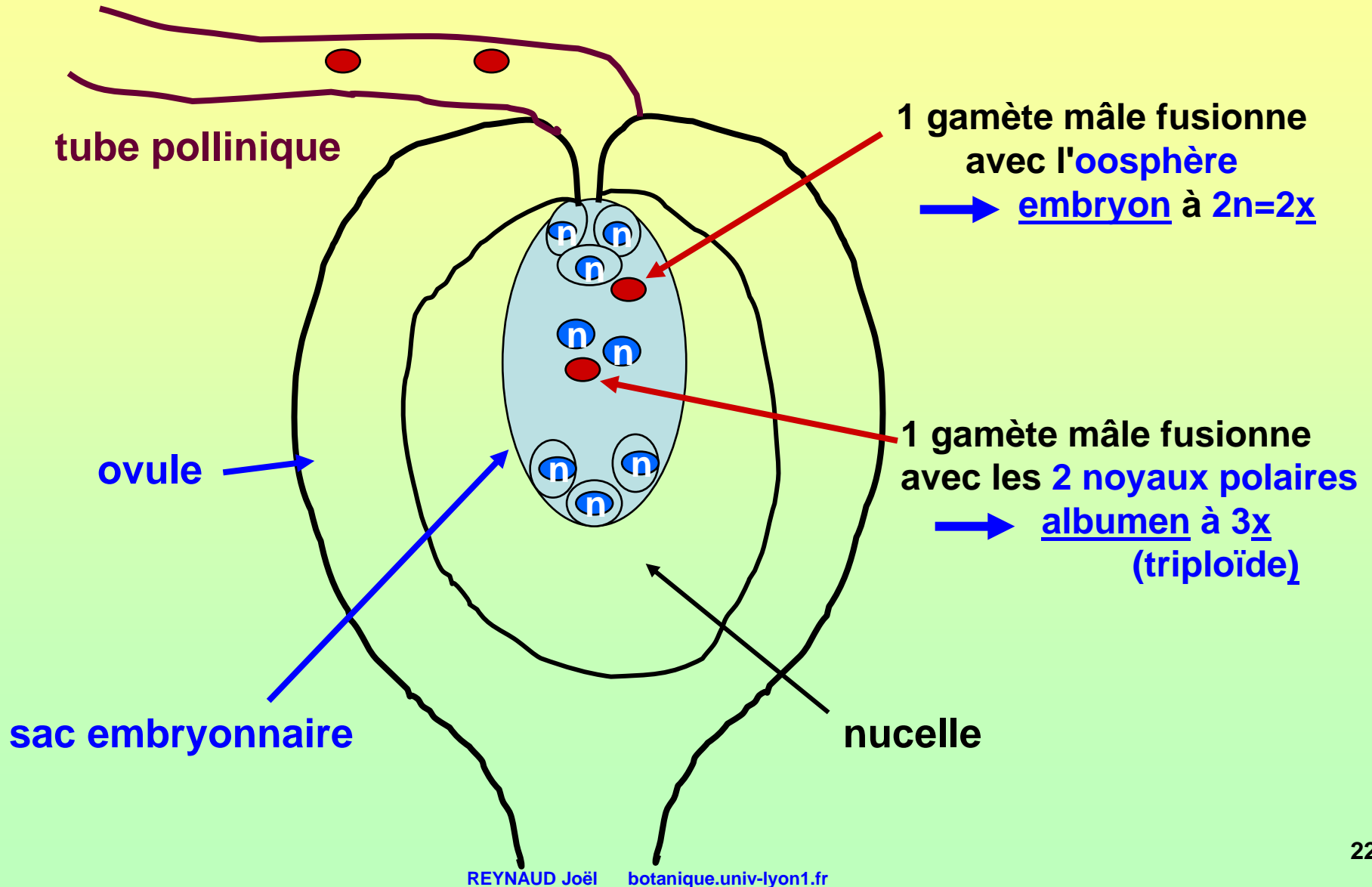
tubes polliniques



# Germination du pollen



\* dans le tube pollinique, le noyau reproducteur se divise en **2 gamètes** qui sont **déversés** dans le sac embryonnaire



cette **double fécondation vraie**,  
donnant un **embryon et un tissu de réserve**,  
est caractéristique des Angiospermes

la fécondation déclenche la formation de **l'embryon**  
**et la formation de réserves**

## c) graine

### L'ovule se transforme en graine :

- \* formation de l' **embryon**
- \* des **réserves** sont stockées. 3 possibilités :
  - + le **nucelle** peut persister sous le nom de **périsperme**
  - + le plus souvent, il est remplacé complètement par l'**albumen (3x)**
  - + parfois, l'albumen disparaît à son tour, les réserves sont alors stockées dans les **cotylédons** : graine **exalbuminée**
- \* les **téguments** se modifient (protection)
- \* l'ensemble se **déshydrate**

\* l'embryon entre en vie ralentie (**dormance**)

\* **germination**

▶ **reprise** de la vie et **développement** de l'embryon grâce aux réserves de la graine.

▶ germination non immédiate car **inhibée** par divers mécanismes.

+ la présence d'**inhibiteurs chimiques**

+ la présence de **protéines photosensibles**

+ l'**impermeabilité** des enveloppes à l'eau ou à l'oxygène

+ la **résistance mécanique** des enveloppes

▶ **Pouvoir germinatif** des graines ou longévité :

de quelques jours (peuplier) à quelques années (parfois quelques siècles ?)



+ taille et poids des graines extrêmement **variables** :

\* de quelques microgrammes chez certaines orchidées  
(500 000 graines par gramme !)

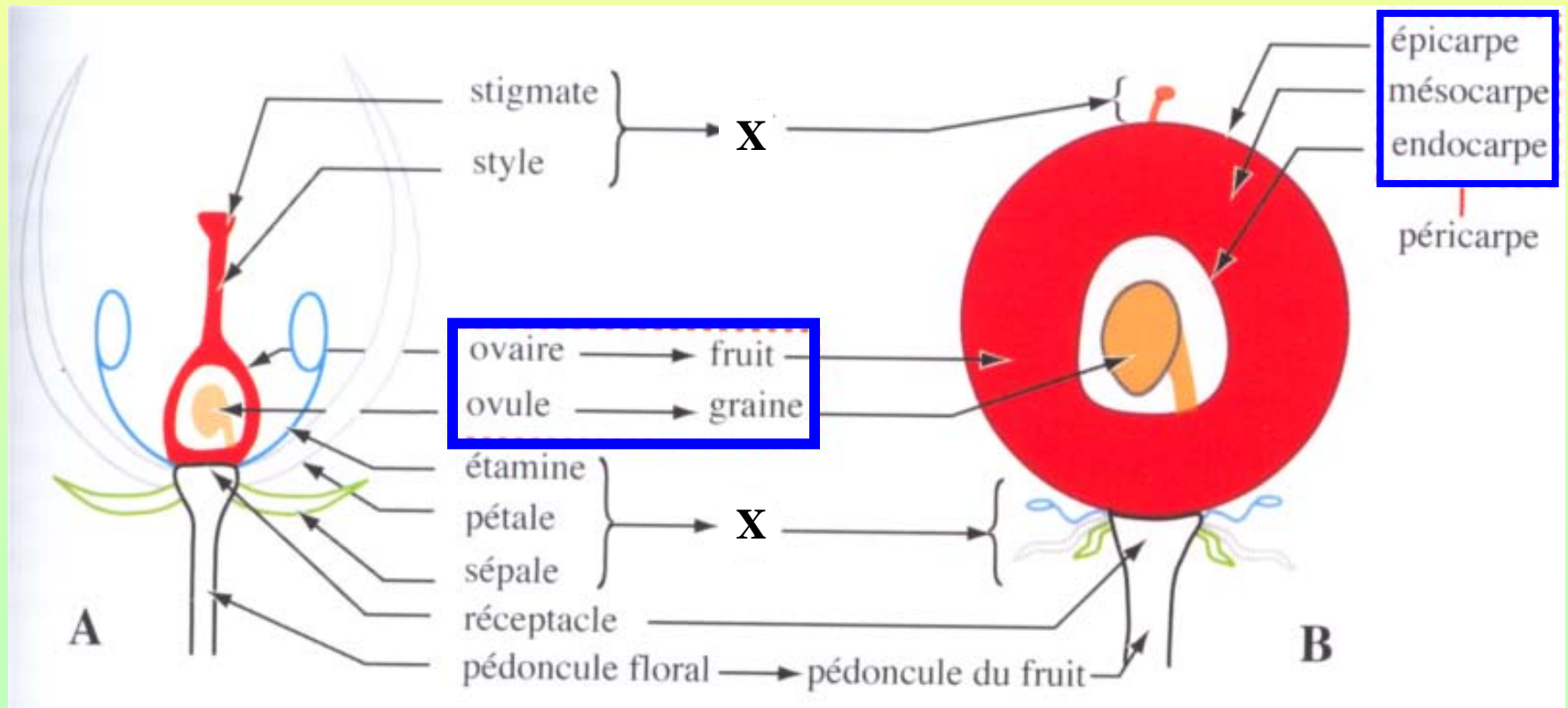
\* à 20 ou 30 kg chez le palmier des Seychelles  
(*Lodoïcea maldivica* ou coco fesse)



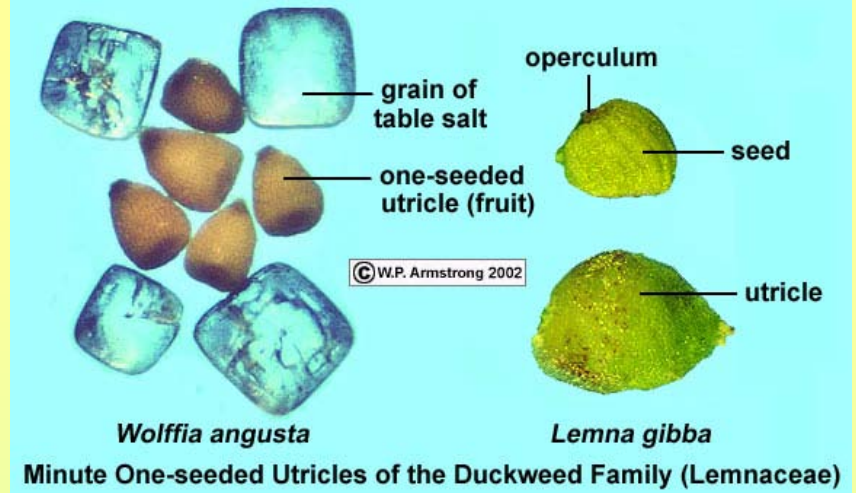
40 cm

## d) fruit

La fécondation déclenche également la transformation de l'**ovaire** en **fruit**



**Poids :**  
**de moins de 1/10 mg**  
**à plusieurs centaines de kg !**



**0.3mm env. 70µg**

**Concours internationaux  
 de la plus grosse courge :  
 les champion(ne)s**



**2006 : 683kg**



**2007 : 768 kg**



**2016 : 1190.5 kg !**



# Le fruit possède souvent des adaptations facilitant sa **dispersion** ou celle de ses graines

\* par le vent



samares



akènes à aigrette



\* par les animaux

+ transport externe (par accrochage)



galium



harpagophyton  
"griffes du diable"

+ "transport interne" (après ingestion)  
cas des fruits charnus

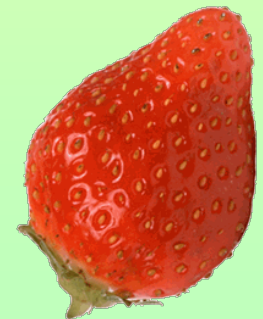


baies



drupes

fruits bacciformes  
"fruits complexes"  
avec partie charnue



\* par d'autres systèmes



torsion brusque des valves,  
projection des graines :  
genêt à balais



par projection explosive des graines :  
concombres d'âne



## Adaptations à l'auto plantation



**système vrille**  
**ex érodiums**



**système plantoir**  
**ex *Rhizophora* dans mangrove**

# 9. Evolution du rapport Gamétophyte/Sporophyte des Bryophytes aux Angiospermes

# Spermatophytes

"Gymnospermes"

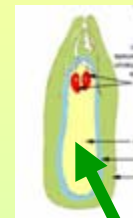
Angiospermes



mâle : pollen



mâle : pollen



femelle :  
endosperme



femelle :  
sac embryonnaire

Bryophytes

Ptéridophytes

**gamétophyte**  
n chromosomes



protonéma  
+ plante feuillée



prothalle

**sporophyte**  
2n chromosomes



sporogone



plante feuillée



plante feuillée



plante feuillée

# Fin de la deuxième partie