

Cours de Botanique

Joël Reynaud

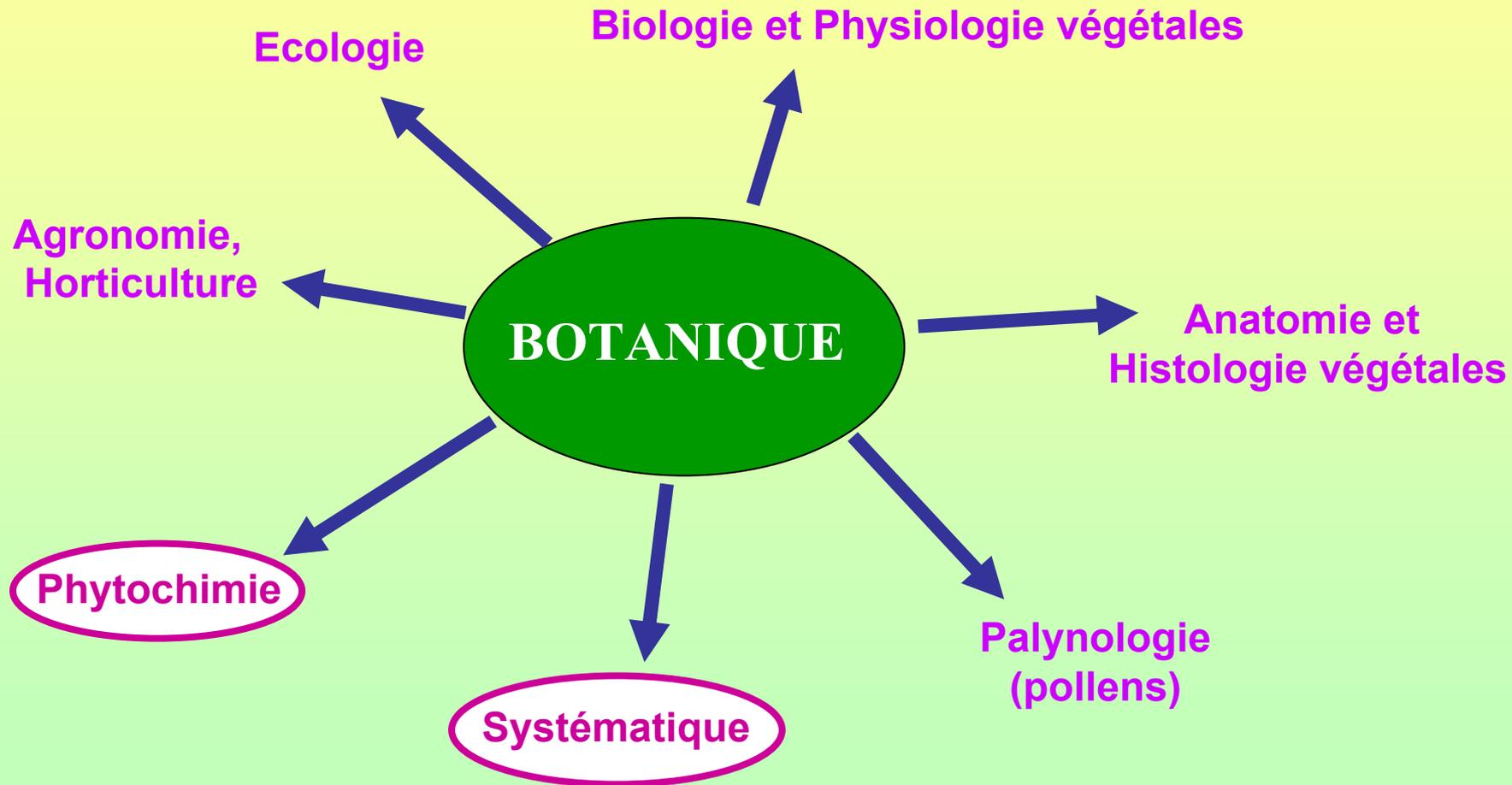
e-mail : jrmdv@free.fr

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 5

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)

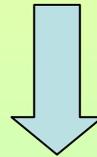
+ gemmothérapie : utilisation de macérations de Bourgeons

► **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^{ème} 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^{ème} siècle

copie 15^{ème}



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

- * **Dioscoride (env. 40-env. 90)**
médecin grec travaux utilisés
jusqu'au 16^{ème} siècle

copie 15^{ème}



parchemin 6^{ème} siècle

B. Moyen-Age (du 5^{ème} au 15^{ème} 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^{ème} et 16^{ème} siècles)

▶ invention de l'imprimerie

▶ renaissance scientifique

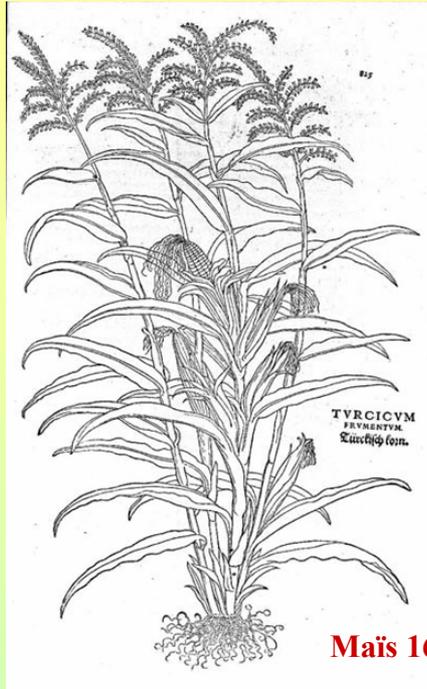
▶ grandes explorations et découvertes géographiques

* 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



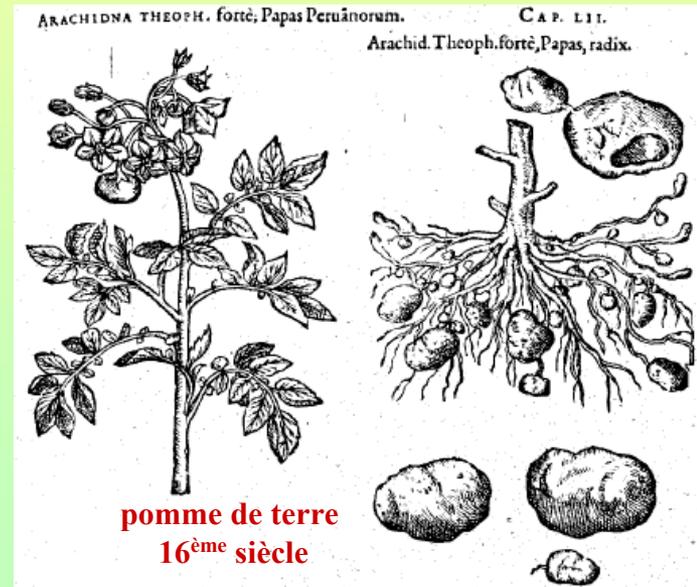
Maïs 16^{ème} siècle



* 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

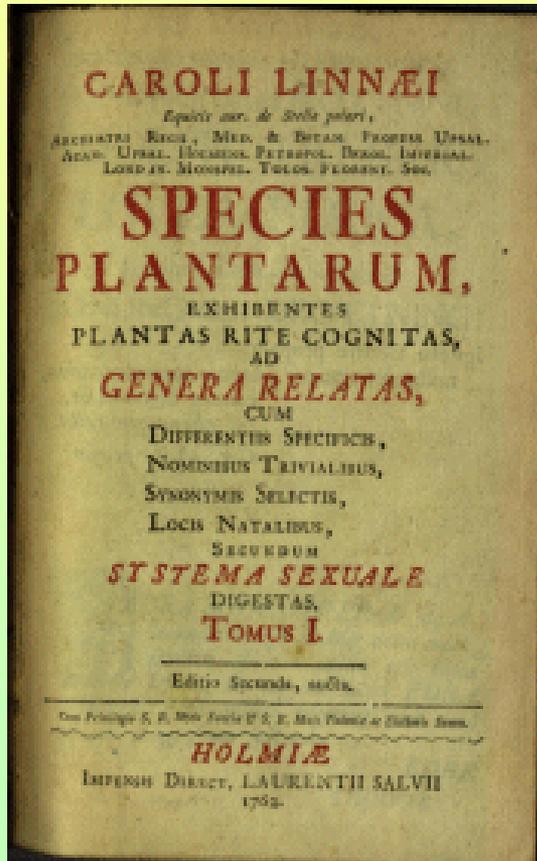
ex. les lauriers

* 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**



- * 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 :

Species Plantarum 1753

1^{er} 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:

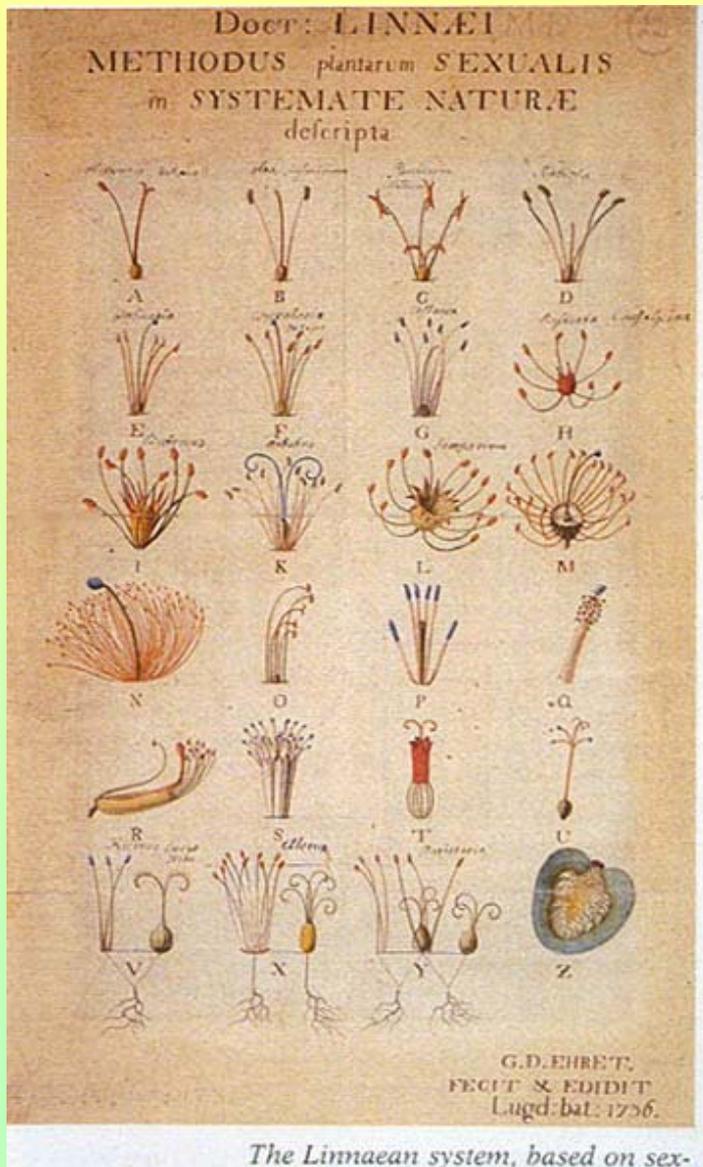
人參為多年生草本，根粗壯肥厚；葉具長柄，掌狀復葉，小葉 3-5 枚；花小，淡黃綠色。花後結二枚核果，扁球形，成熟時紅色。

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 abrotanum</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^{ème} siècle : démonstration de l'évolution du monde vivant

* jusqu'au 18^{ème} 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) :



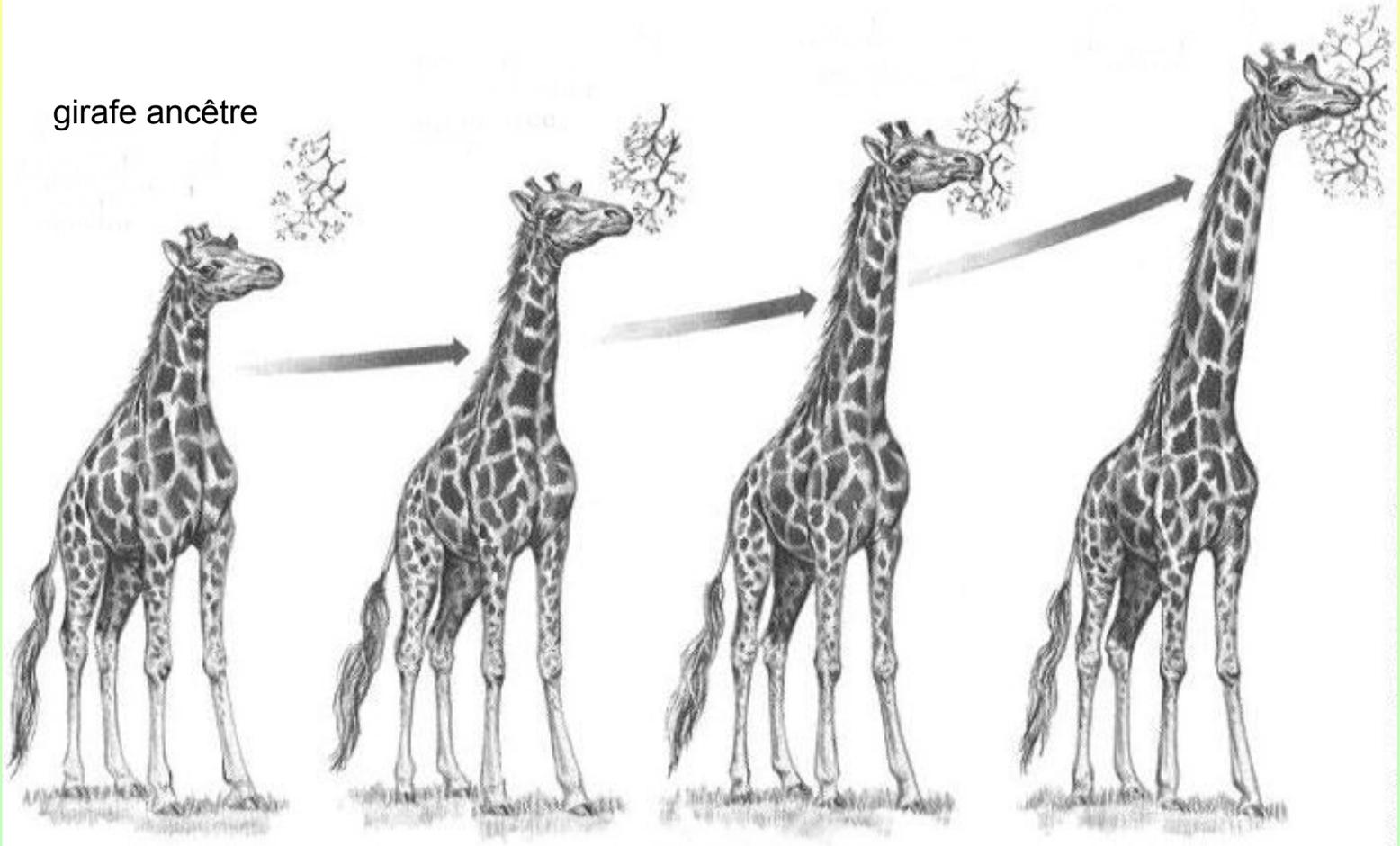
"...modification des espèces sous l'**action du milieu** et **hérédité** des caractères **acquis**..."

Théorie du **Transformisme**

schématisation de la théorie de Lamarck

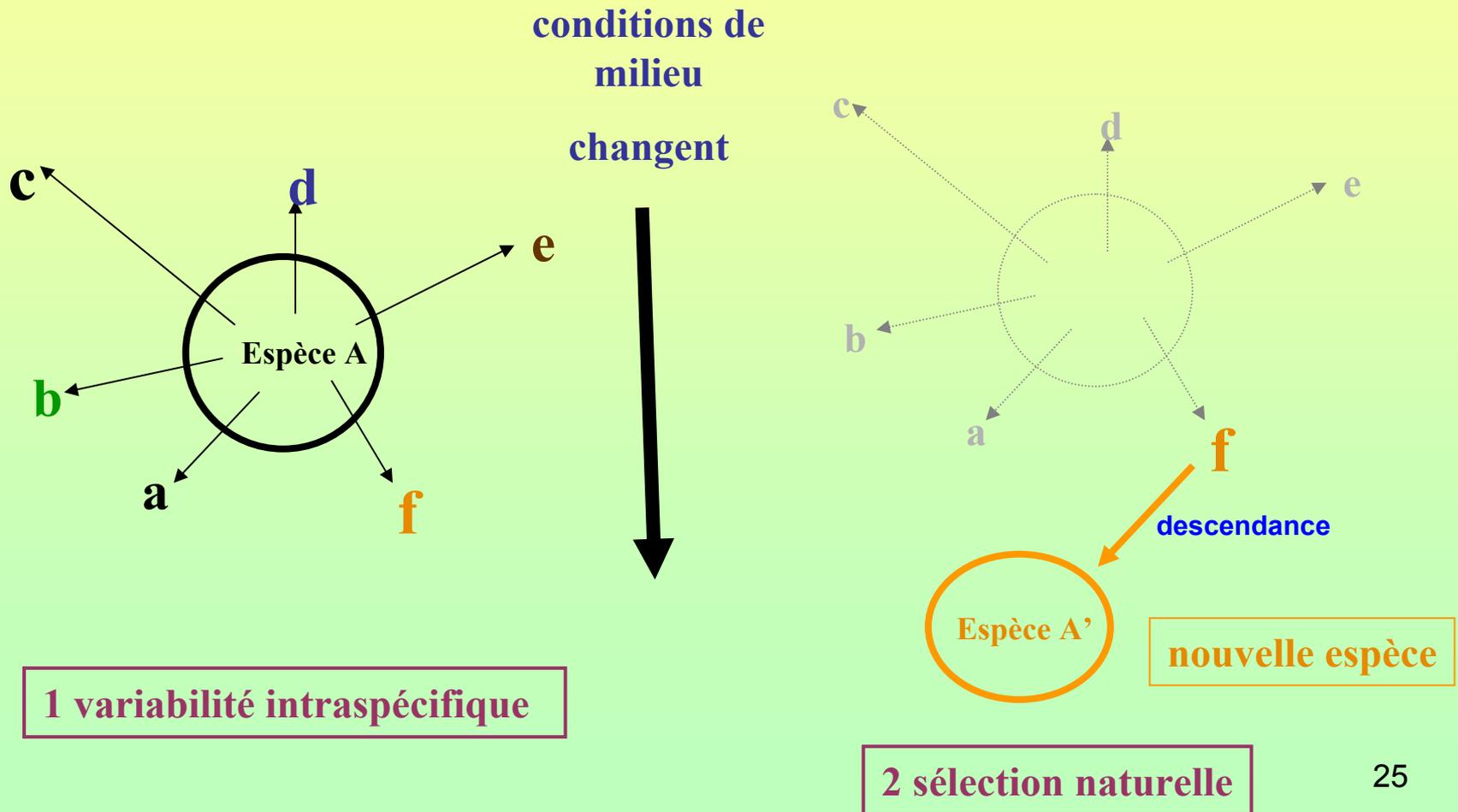
la position haute du feuillage **provoque** l'allongement du cou des girafes qui **transmettent** ce caractère à leurs descendants

girafe ancêtre



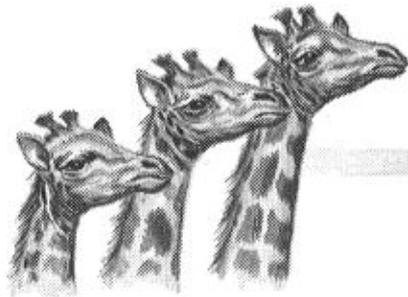
* **Charles Darwin** (dans "de l'origine des espèces" 1859) :

"...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**..."

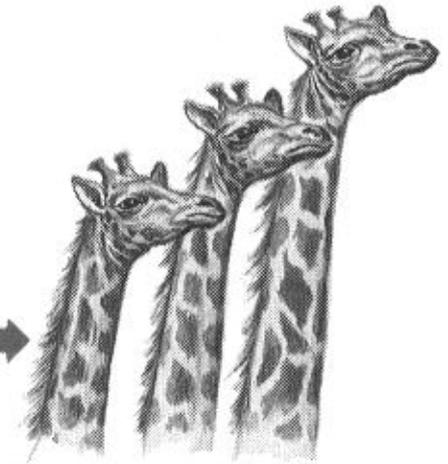


schématisation de la théorie de Darwin

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

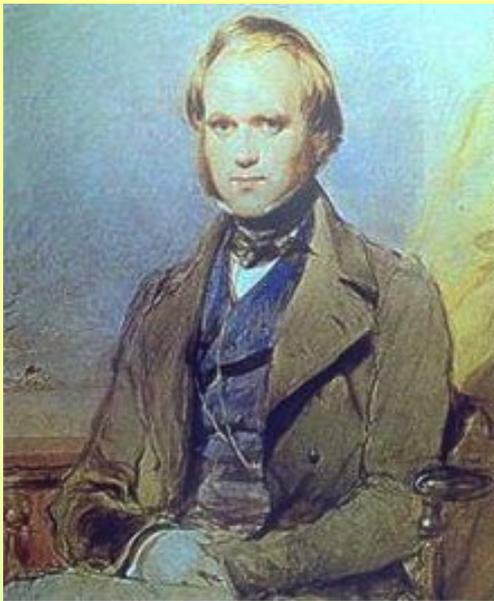


changement du couvert végétal, les individus ayant un long cou peuvent atteindre facilement le feuillage en hauteur et sont donc **favorisés**.
Ils auront **plus de descendants** (sélection naturelle)



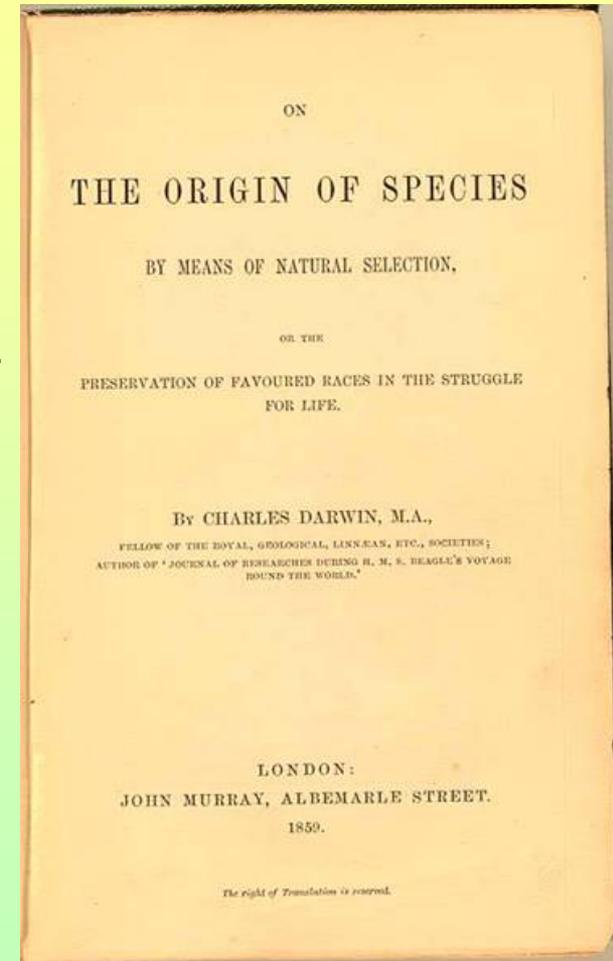
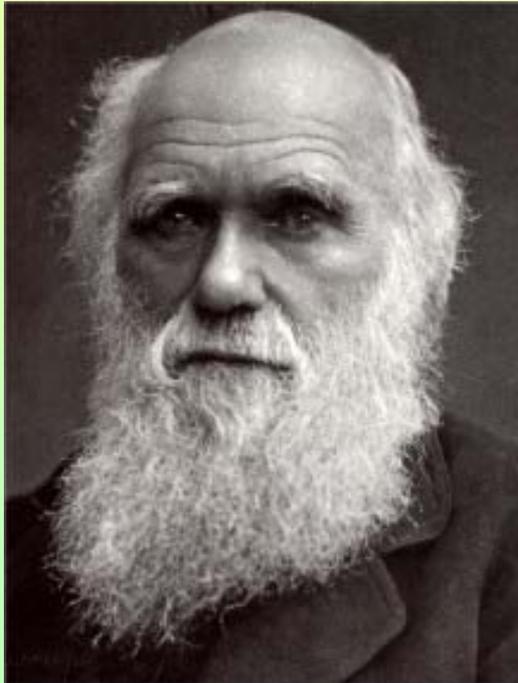
après **plusieurs générations**, toujours variabilité de longueur de cou mais, globalement, tous les individus ont un long cou

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 l'origine des espèces"
1859

F. Les classifications botaniques après Linné

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

essais de "classifications naturelles"

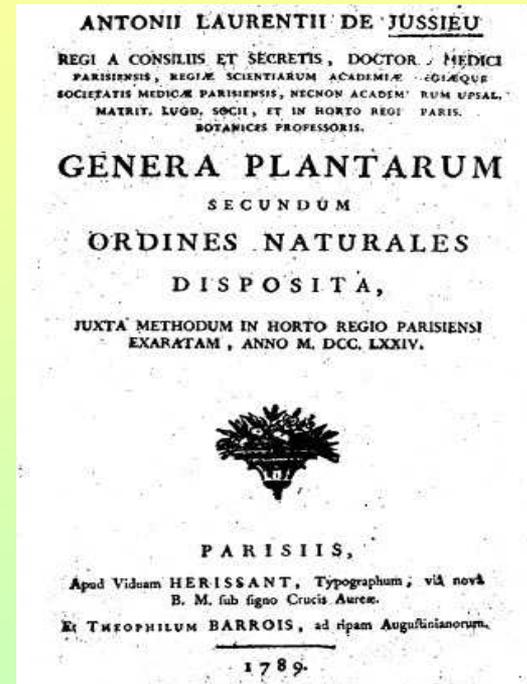
utilisant de nombreux caractères hiérarchisés



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)

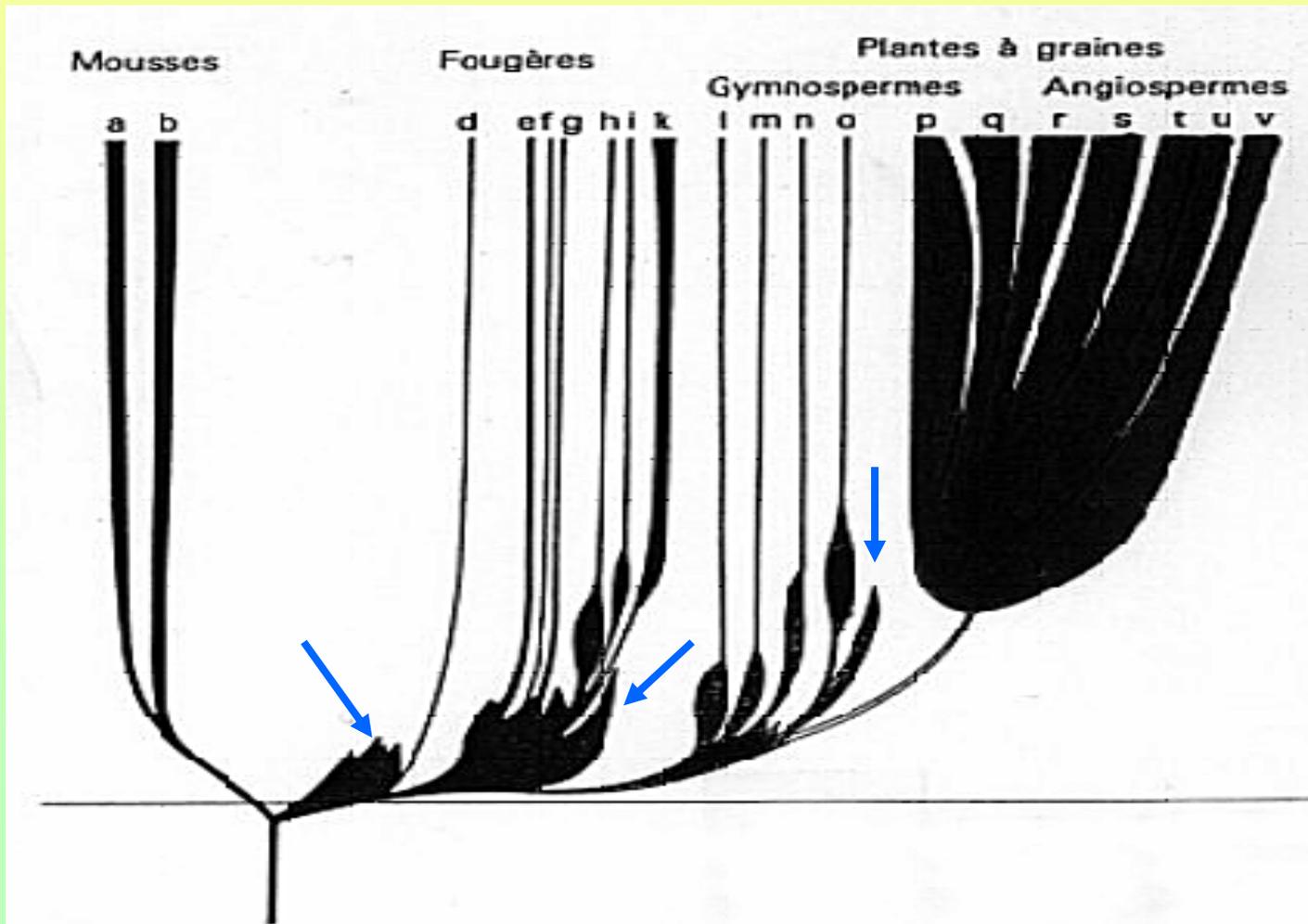
76 encore reconnues de nos jours

* 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

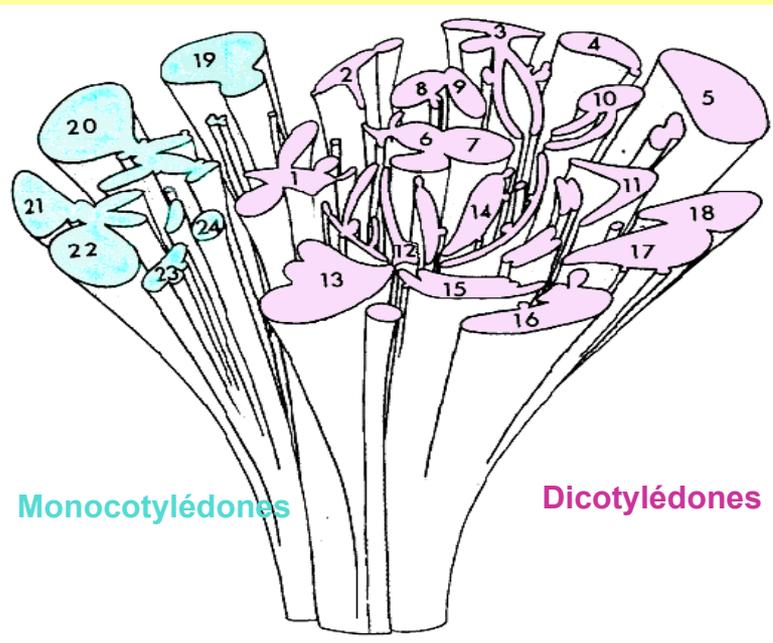
synthèse de très nombreux caractères ("classifications synthétiques")

+ **macroscopiques : fleur**

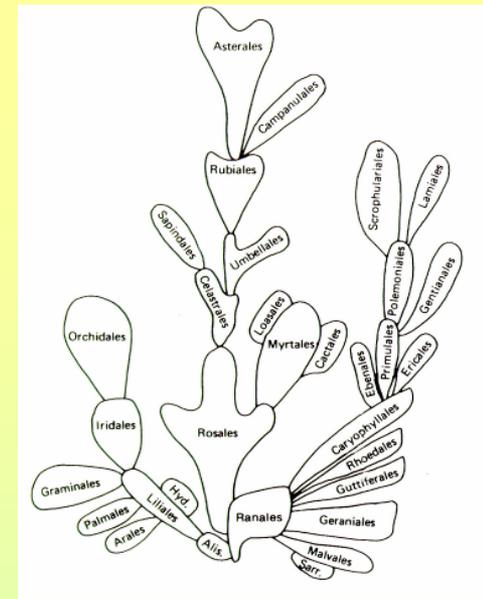
+ **microscopiques : pollen, embryon....**

+ **caryologiques : chromosomes**

+ **biochimiques : classes chimiques synthétisées**
(surtout métabolisme secondaire)



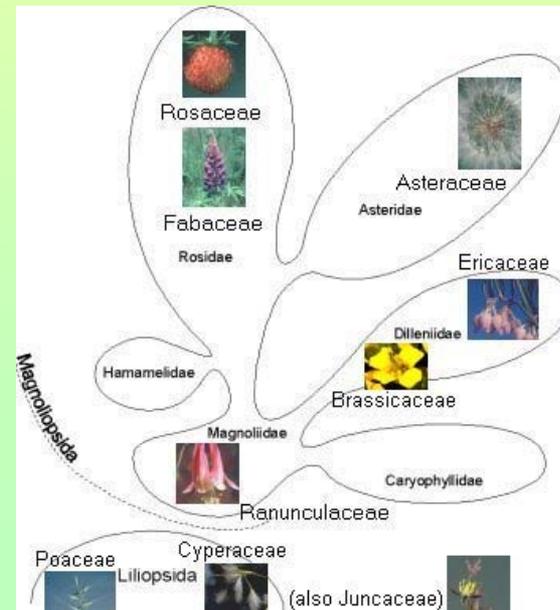
"arbre" de Dahlgren



"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

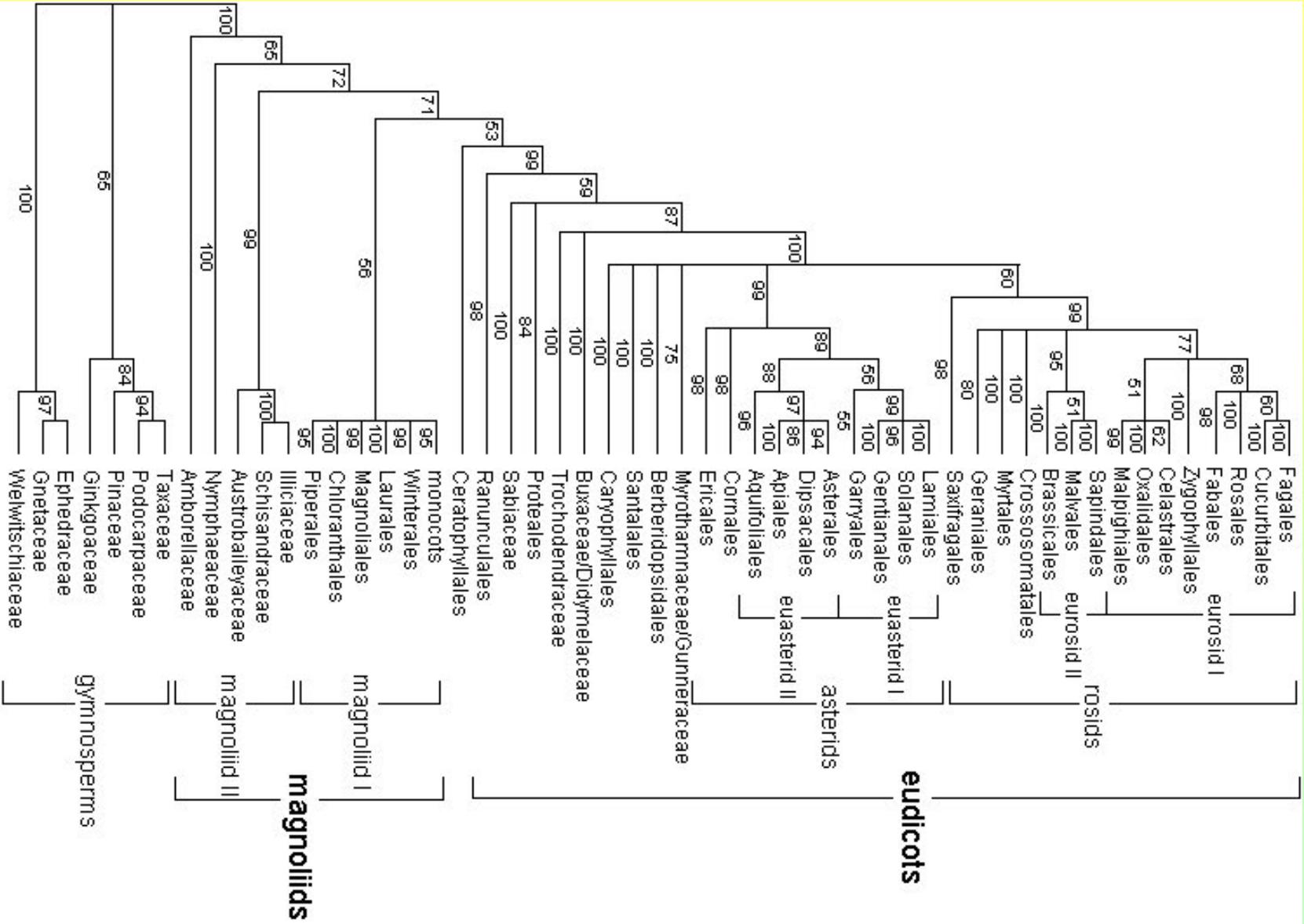
exprimant des degrés de similitude ou ressemblance

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

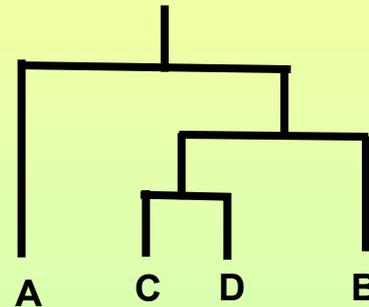
Phénogramme des Angiospermes Dicotylédones et des "Gymnospermes"



* 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)

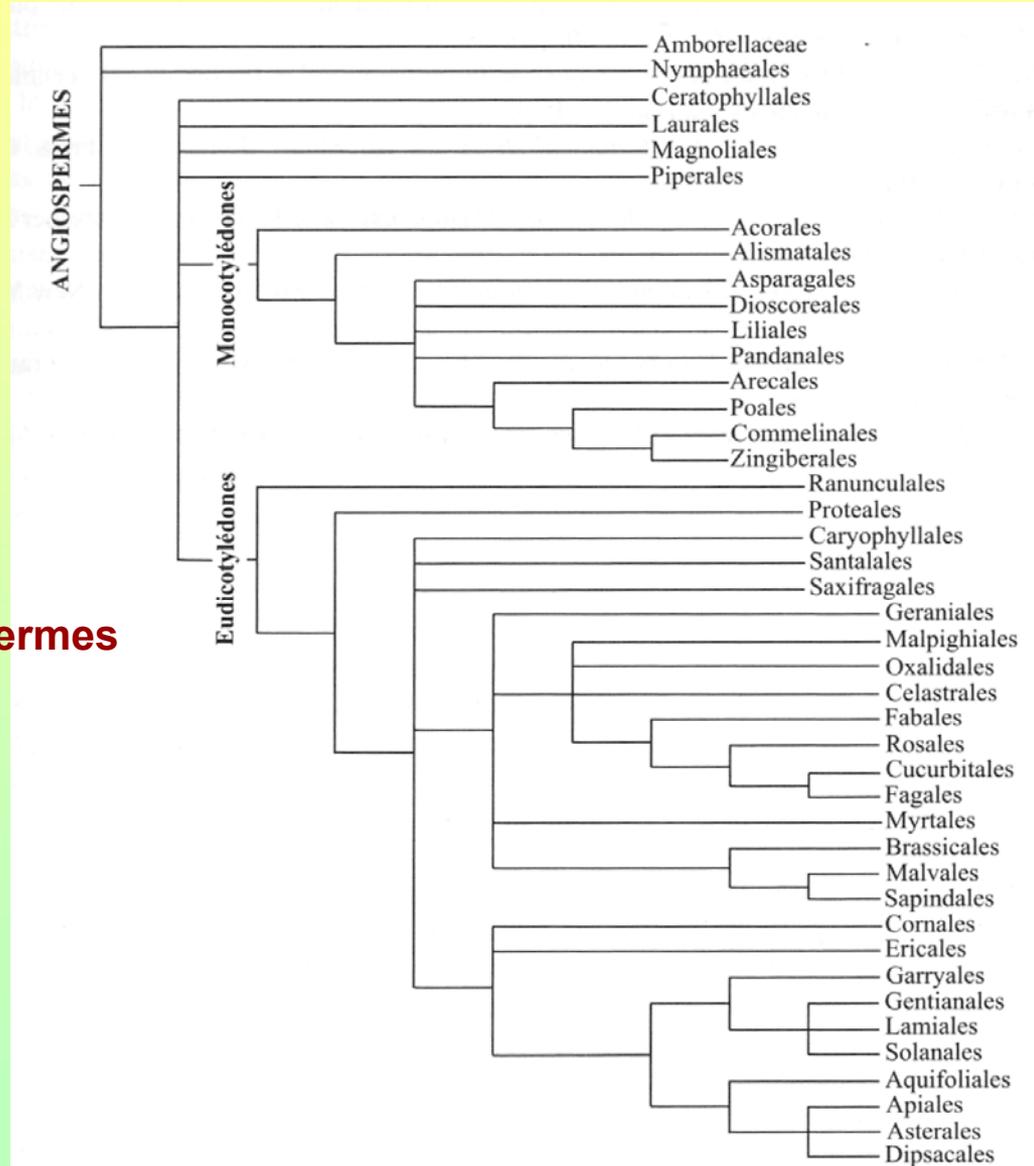
On parle alors **d'homoplasie**

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)



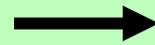
Végétaux (*Plantae*)*

■ uni ou pluricellulaires hétérotrophes, cellules avec paroi



Champignons
(et **Lichens***)

■ pluricellulaires hétérotrophes, phagocytose

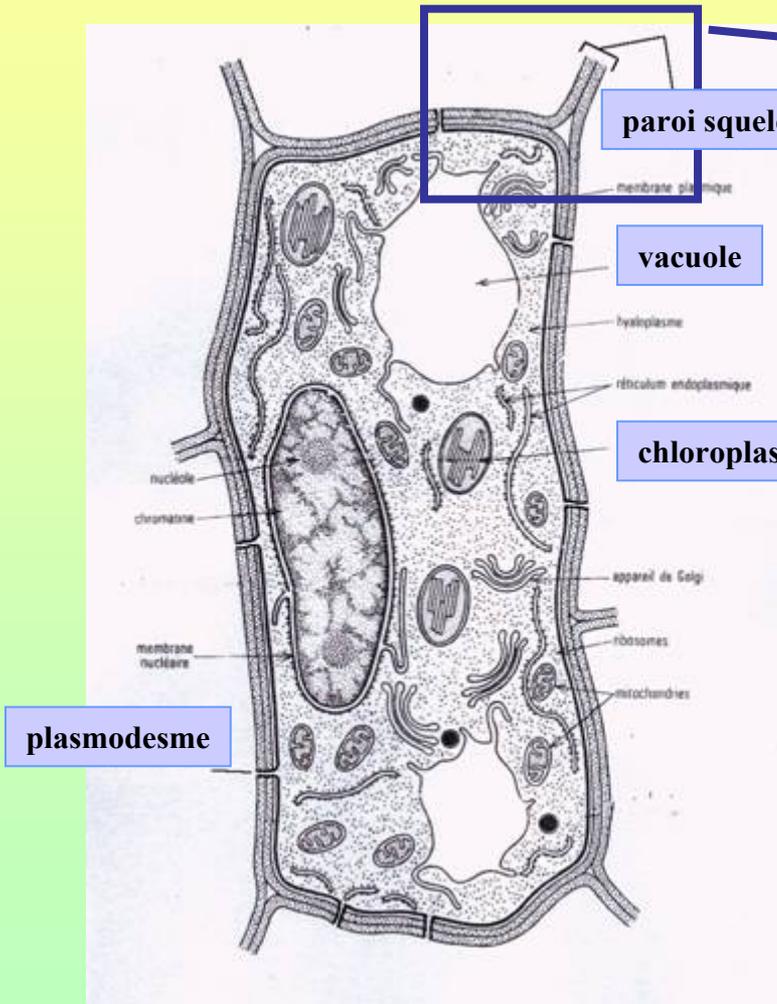


Animaux

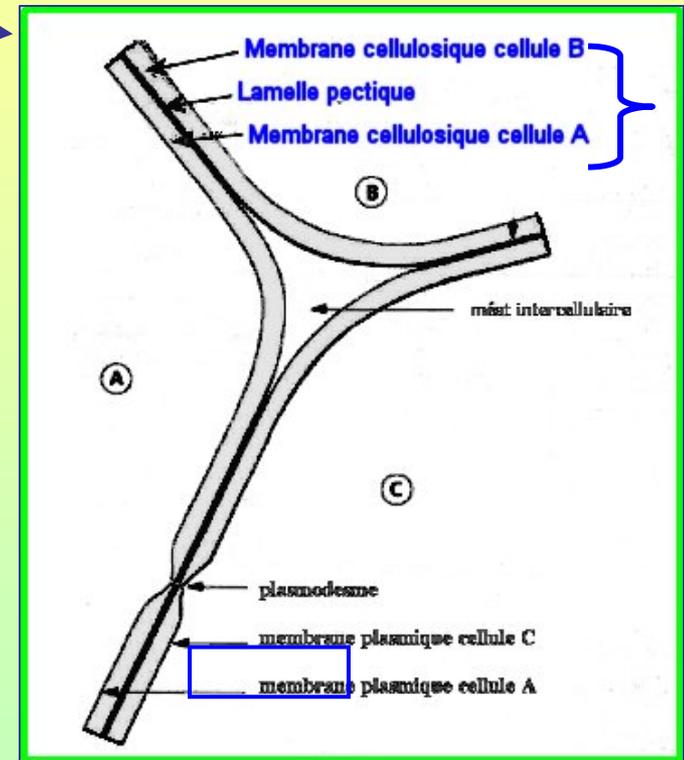
* groupes vus en cours

B. Principales caractéristiques des végétaux

a) la cellule végétale



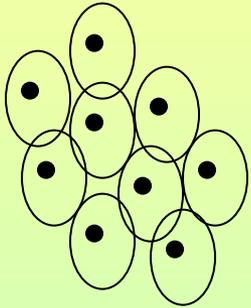
détail paroi squelettique



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

b) les tissus végétaux

**Multiplication
cellulaire (par mitose)**



méristèmes

cellules indifférenciées
mitoses permanentes

méristèmes I^{aires} : tissus **initiaux** de la plante

méristèmes II^{aires} : 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

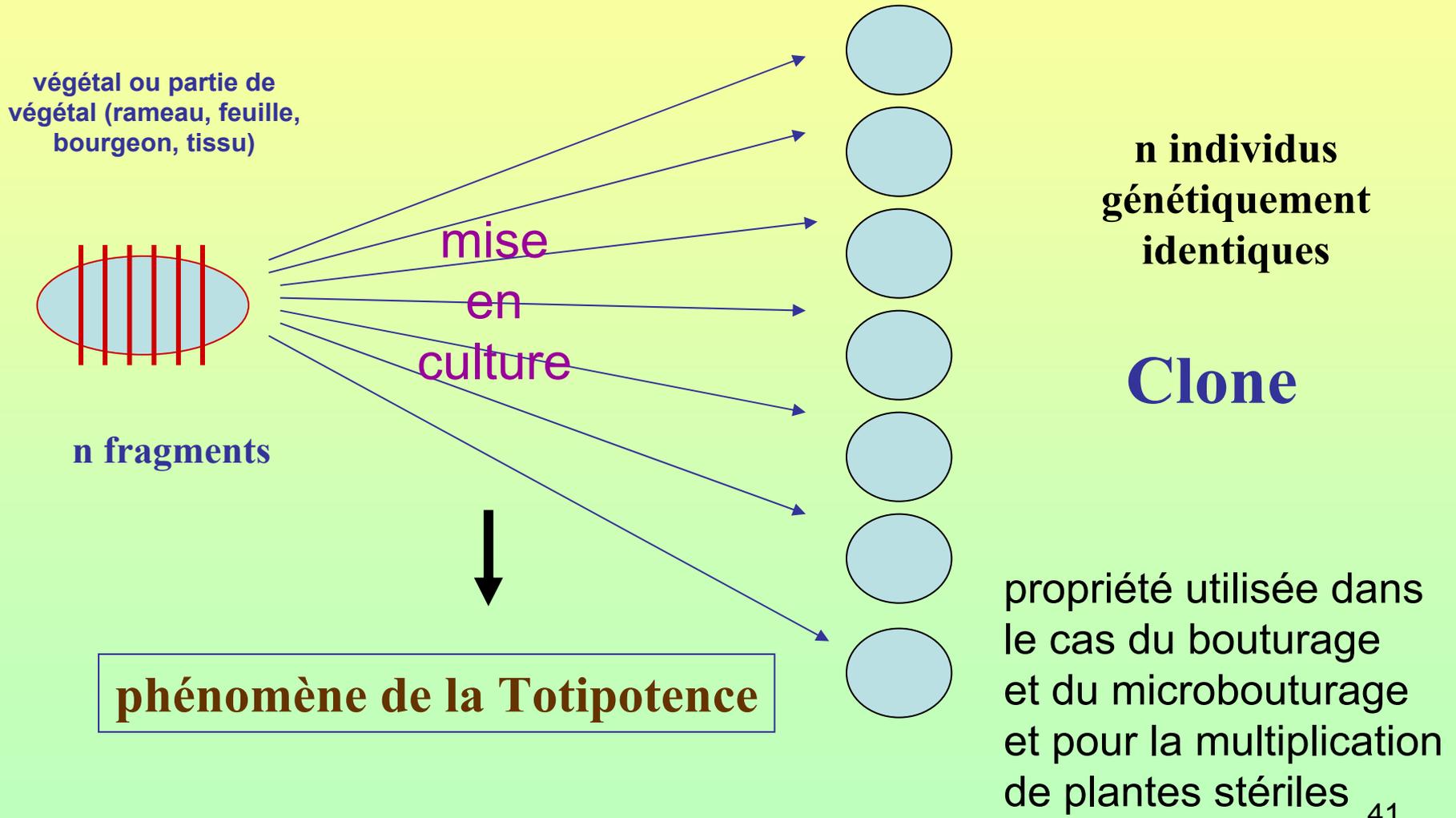
Sève élaborée : solution + ou – sucrée → **LIBER ou PHLOEME**
(photosynthèse)

* sève "descendante"

* cellules vivantes, en files

* parois transversales perforées

c) la multiplication végétative (multiplication non sexuée)

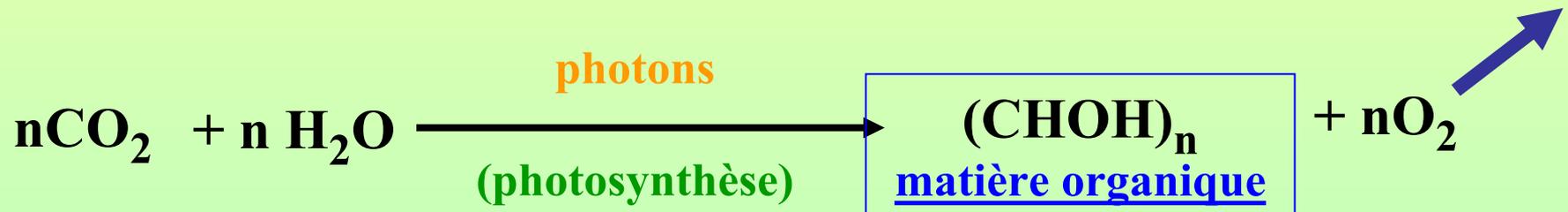


d) le métabolisme

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^{aire}
("chimie lourde")

métabolisme II^{aire}
("chimie fine")

a) Métabolisme I^{aire}

Métabolisme fondamental :
molécules indispensables à
la vie de la plante

acides aminés

cellulose

amidon

chlorophylle

etc...

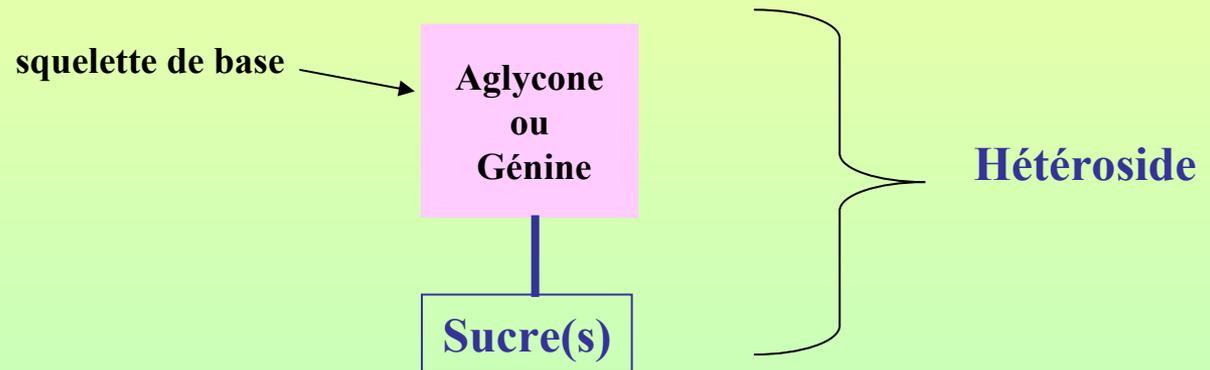
b) Métabolisme II^{aire}

- Molécules longtemps considérées comme **"non indispensables"** à la vie de la plante
- **dérive** du Métabolisme I^{aire}
- 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

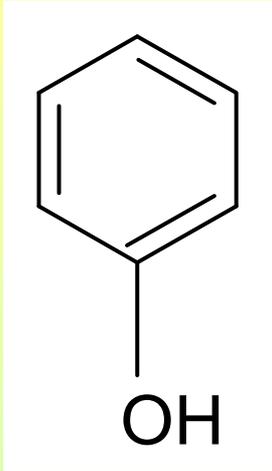
tous ces composés
le plus souvent
sous forme
d'hétérosides
(solubles dans la vacuole)



4. Glucosinolates, Hétérosides Cyanogènes...

1. Composés phénoliques ou aromatiques

unité de base

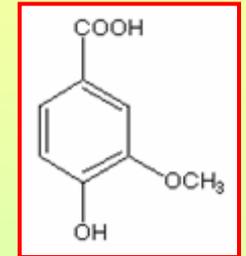
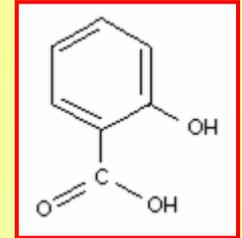


noyau aromatique

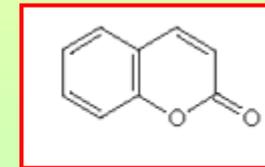
- **acides phénoliques** (C₆-C₁)

ex. ac. salicylique

ac. vanillique....



- **coumarines** (C₆-C₃)



coumarine

ex. furanocoumarines

ou furocoumarines (ex. bergaptène)

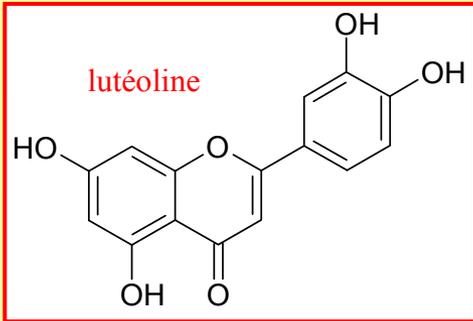
présentes chez les Apiacées et provoquant des phénomènes de photosensibilisation

- **Flavonoïdes >7000 structures**

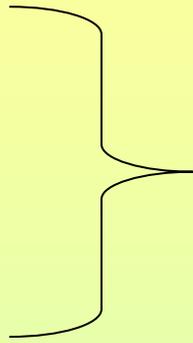


- * **dans tous les végétaux supérieurs**
- * **partie feuillée**
- * **mais surtout fleurs et fruits**
- * **subdivisés en une quinzaine de sous-classes**
- * **le plus souvent sous forme d'hétérosides**

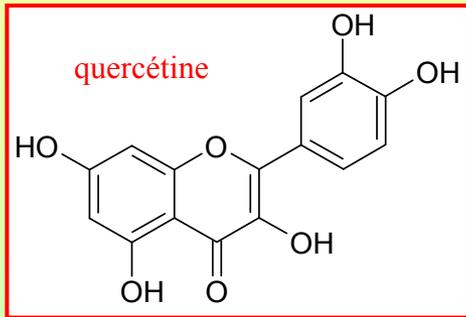
exemples de Flavonoïdes



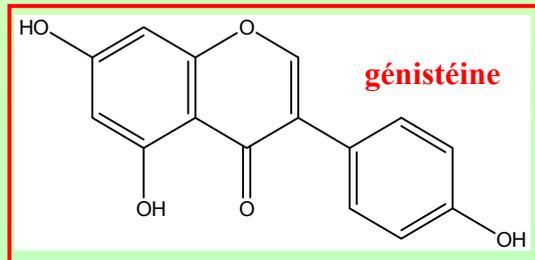
Flavones



incolores à + ou – jaunâtres,
dans tous les organes aériens,
ainsi que fleurs blanches, jaunes

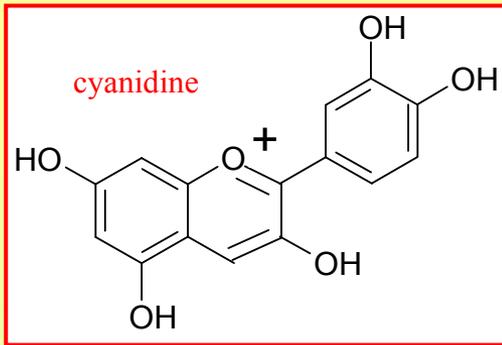


Flavonols



Isoflavones

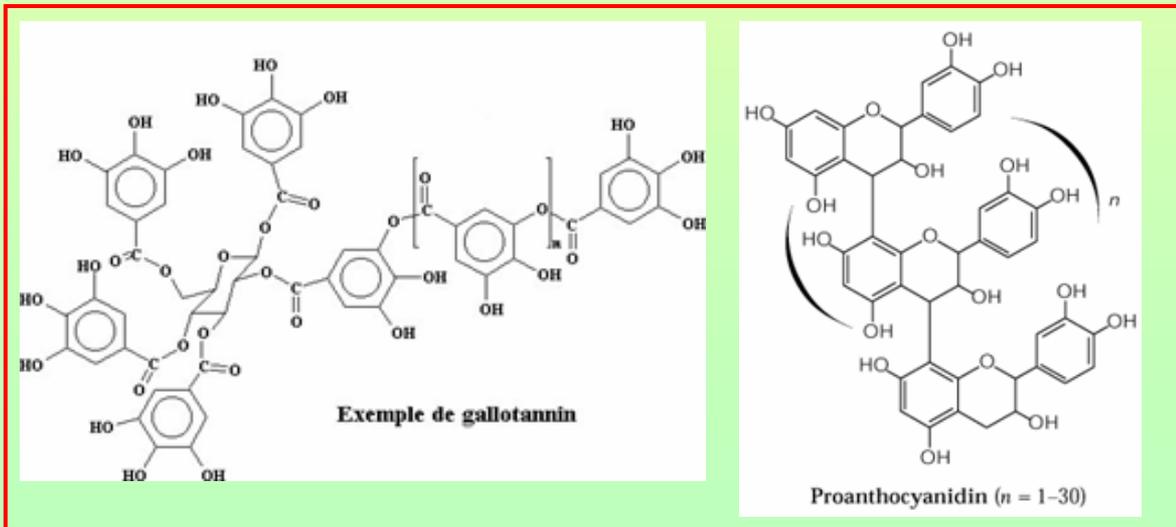
essentiellement dans
famille des Fabacées
ex. graines de soja



Anthocyanes

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

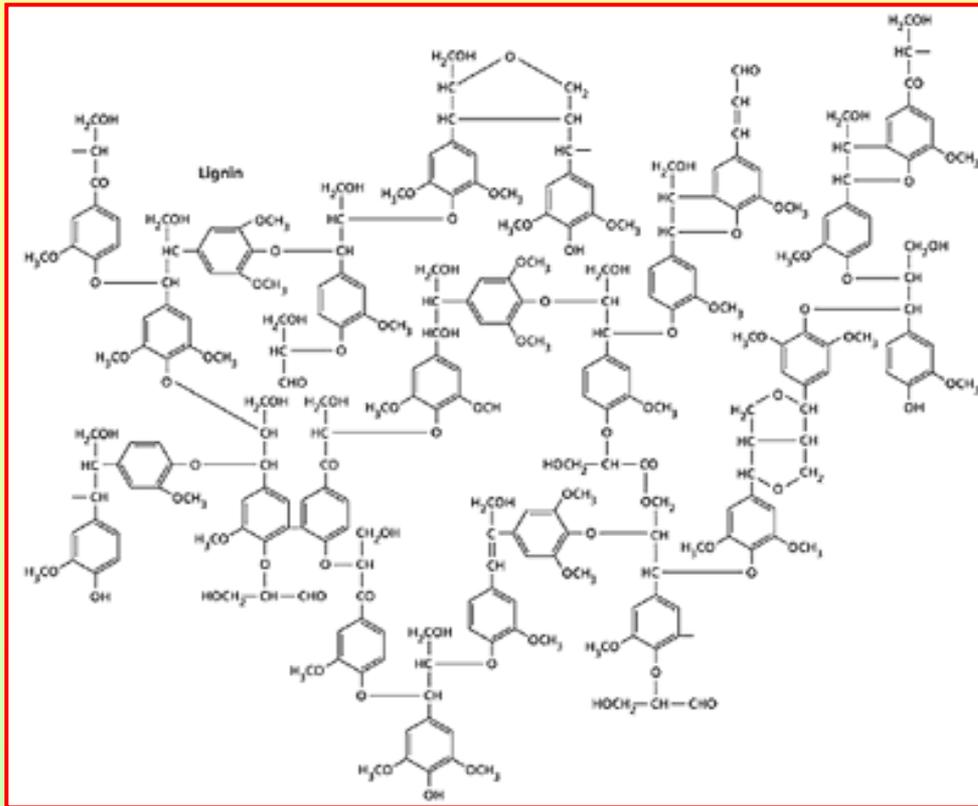
Tannins



Fruits non mûrs,
écorces d'arbres, vin

(tannage des peaux,
propriétés astringentes)

● Lignines (C₆-C₃)_n



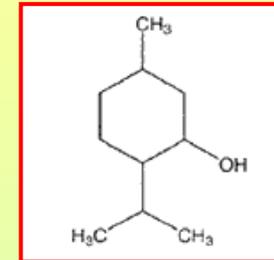
* parfois intégrées dans le **métabolisme I**aire

* **2^{ème} biomasse** en quantité après la cellulose

* imprègne la **paroi squelettique** de certaines cellules et assure la **rigidité** des tissus (bois, noyau des fruits...) 53

2. Composés terpéniques (>15 000 structures)

dérivés de l'**isoprène** : C_5H_8



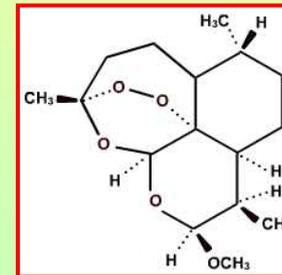
C_{10} : **Monoterpènes**

ex : menthol, camphre

menthol

C_{15} : **Sesquiterpènes**

ex : artemisinine



C_{20} : **Diterpènes**

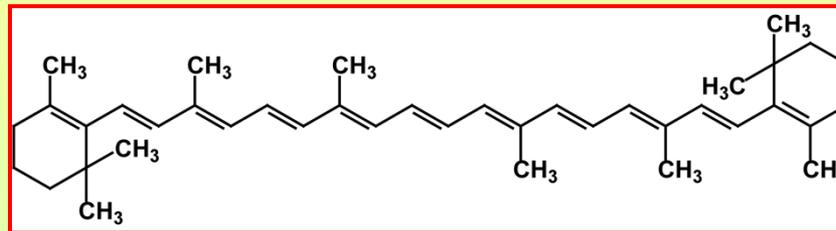
ex : acides résiniques des Conifères

C₃₀ : Triterpènes

ex : phytostérols

C₄₀ : 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

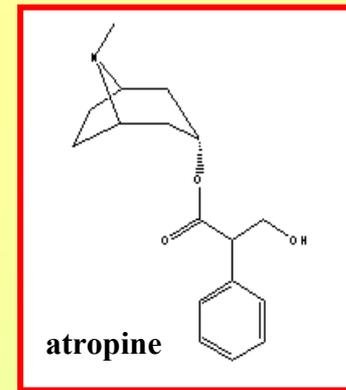
Toxicité fréquente

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

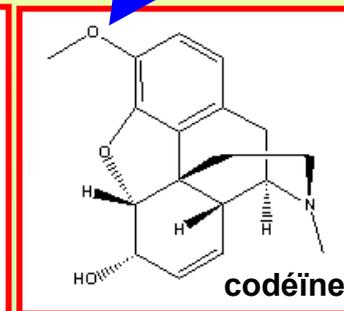
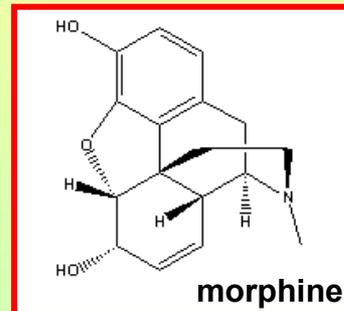
Rares chez les Ptéridophytes et chez les Gymnospermes (if : taxine)

Rencontrés essentiellement chez les Angiospermes Dicotylédones

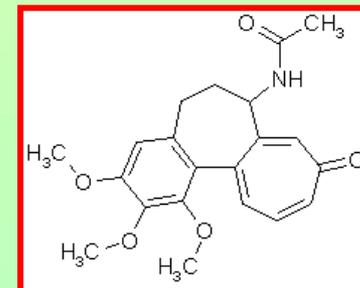
Solanacées : atropine, solanine, nicotine...



Papavéracées : morphine, codéïne



Liliacées (Monocotylédones) : colchicine



4. Glucosinolates, Hétérosides Cyanogènes...

Aglycone
ou
Génine

Hétérosides ayant des aglycones n'appartenant pas aux classes précédentes.

Sucre(s)

α / Glucosinolates (env. 50 connus)

A l'hydrolyse libération de glucose et de composés soufrés volatils à forte odeur piquante et désagréable :
fréquents chez les Brassicacées (chou, moutarde, radis,...)

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



Digitale pourpre



Muguet



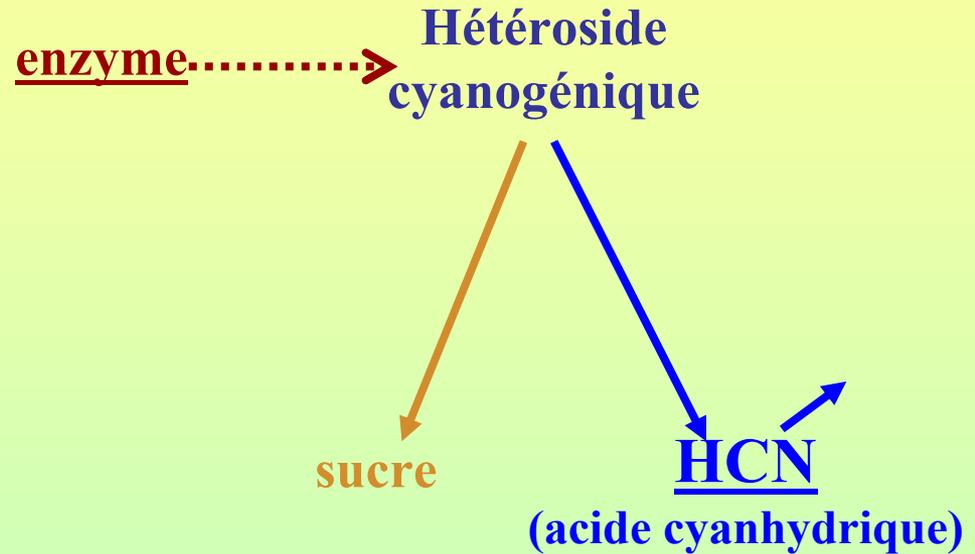
Laurier rose

γ / hétérosides cyanogènes (ou cyanogéniques)

> 2000 structures connues



Laurier cerise



Fréquents chez **Rosacées** :

laurier cerise : **prunaside**

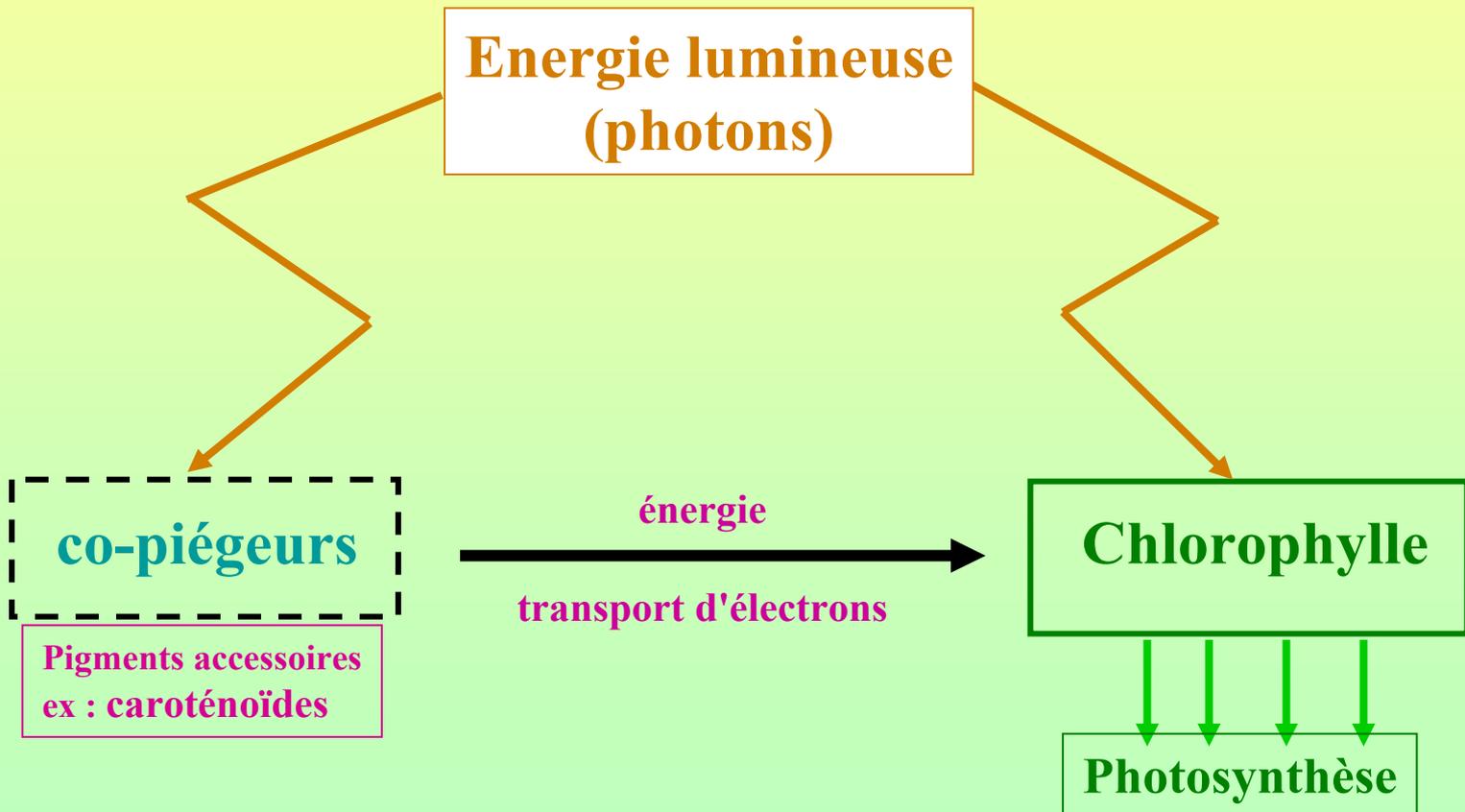
amandes amères, graines d'abricot, de pêche, de prune :
amygdalosite 60

c) Localisation des métabolites II^{aires}

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

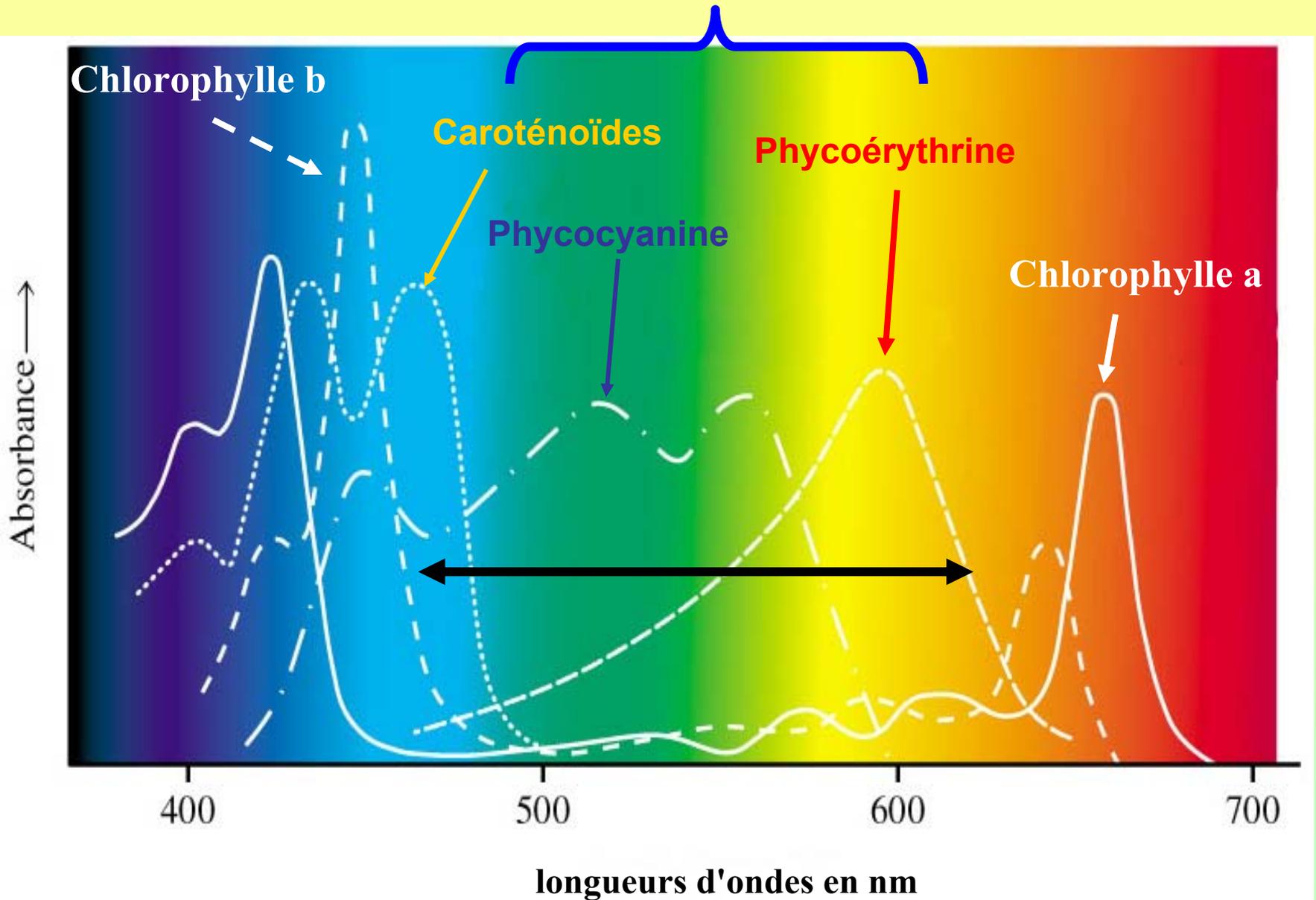
d) Fonctions des composés du Métabolisme II^{aire}

1. co-piégeurs de photons (pigments accessoires)

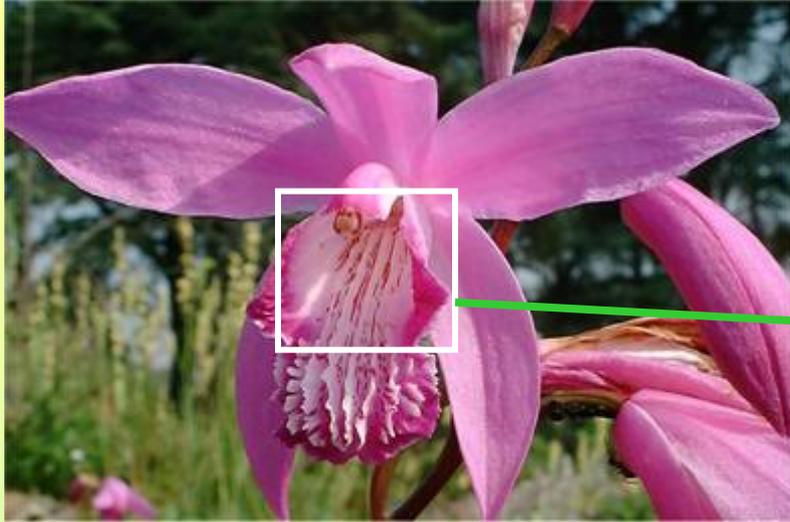


Spectres d'absorption des principaux pigments

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 (farines, fécula)

▶ Sucre

saccharose, dioside libère par hydrolyse du glucose et du fructose

▶ Cellulose (papier, fibres)

▶ Lipides : plantes à huile

▶ Caoutchouc naturel

▶ Colorants naturels

▶ Insecticides naturels

f) Intérêt des molécules du Métabolisme II^{aire} 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 ; artemisinine, sesquiterpène)**

*** activité anti cancer**

ex : taxol et dérivés (diterpènes de l'if), alcaloïdes (colchicine)

*** 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

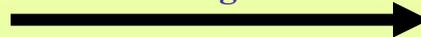
Producteurs I^{aires}

O₂

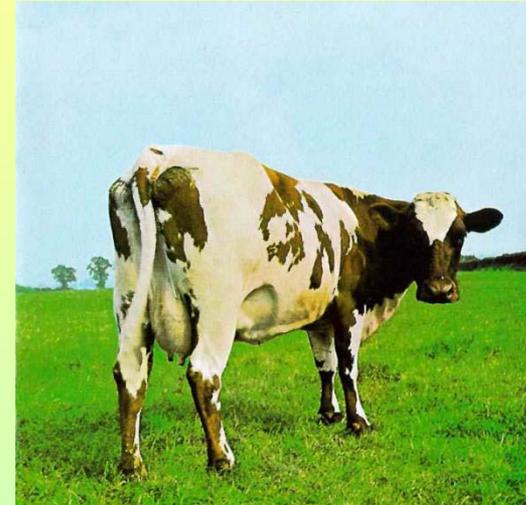


énergie

(matière organique)



Herbivores
Consommateurs I^{aires}



énergie
(matière organique)



Carnivores
Consommateurs II^{aires}



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

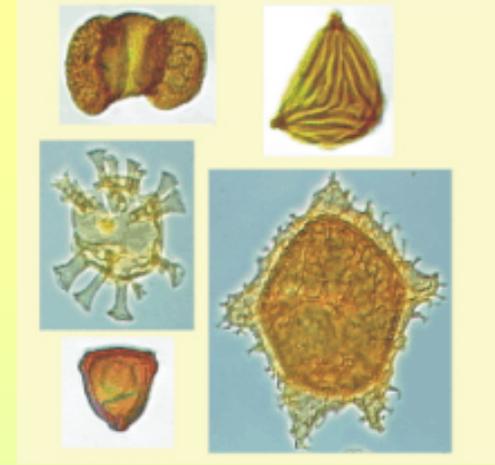
* sédimentation rapide (boue, vase...)



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



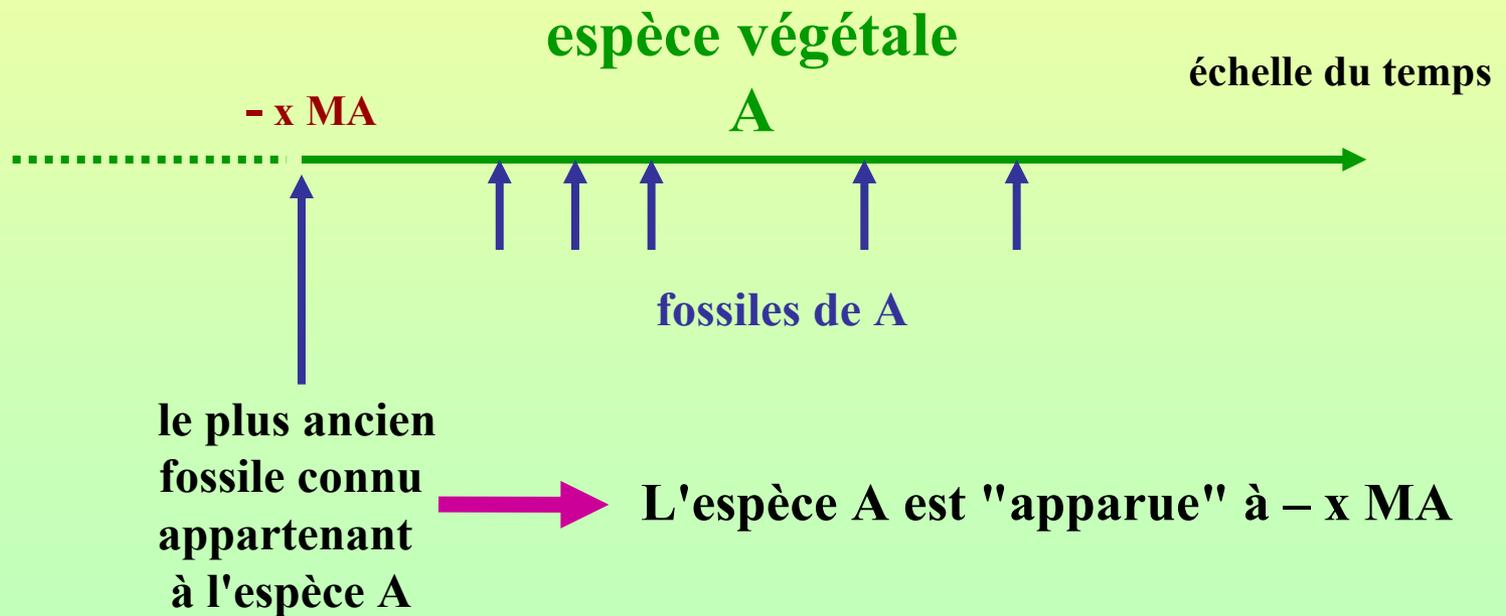
+ **pétrification** : matière végétale **remplacée** par matière minérale (ex. silice)



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)

- ▶ vie uniquement dans les océans
- ▶ au début, seulement 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^{aire} (-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) : Ptéridophytes ("fougères")

► Carbonifère : très nombreuses espèces de Ptéridophytes arborescentes (prêles, fougères...) formant des forêts (—→ dépôts de charbon)



60m



0,5 m



► fin du I^{aire} : premiers fossiles de Gymnospermes (probablement période climatique de refroidissement et d'assèchement)

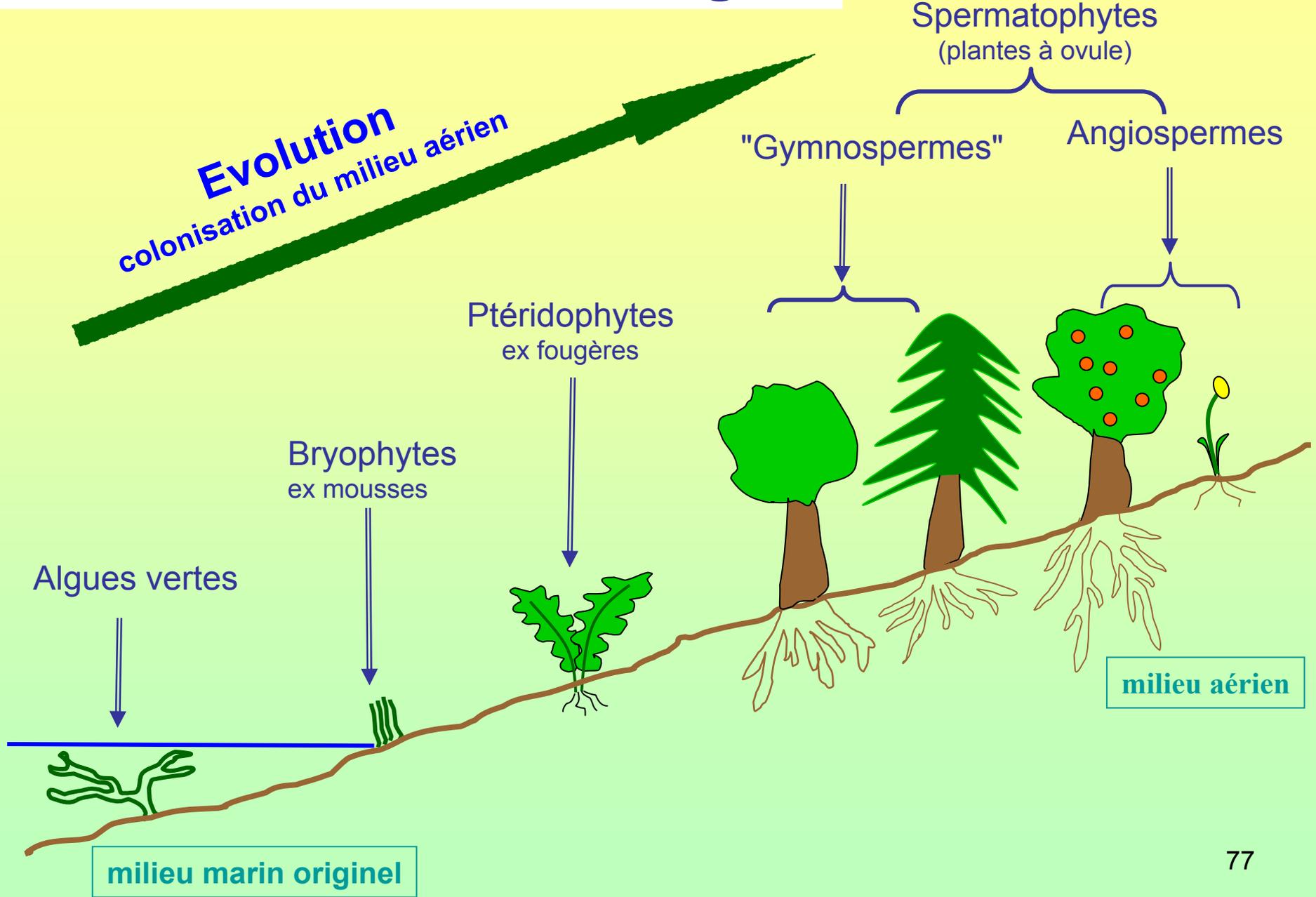
3. flore du II^{aire} (-225MA à -65MA)

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

4. depuis le III^{aire} (depuis -65MA)

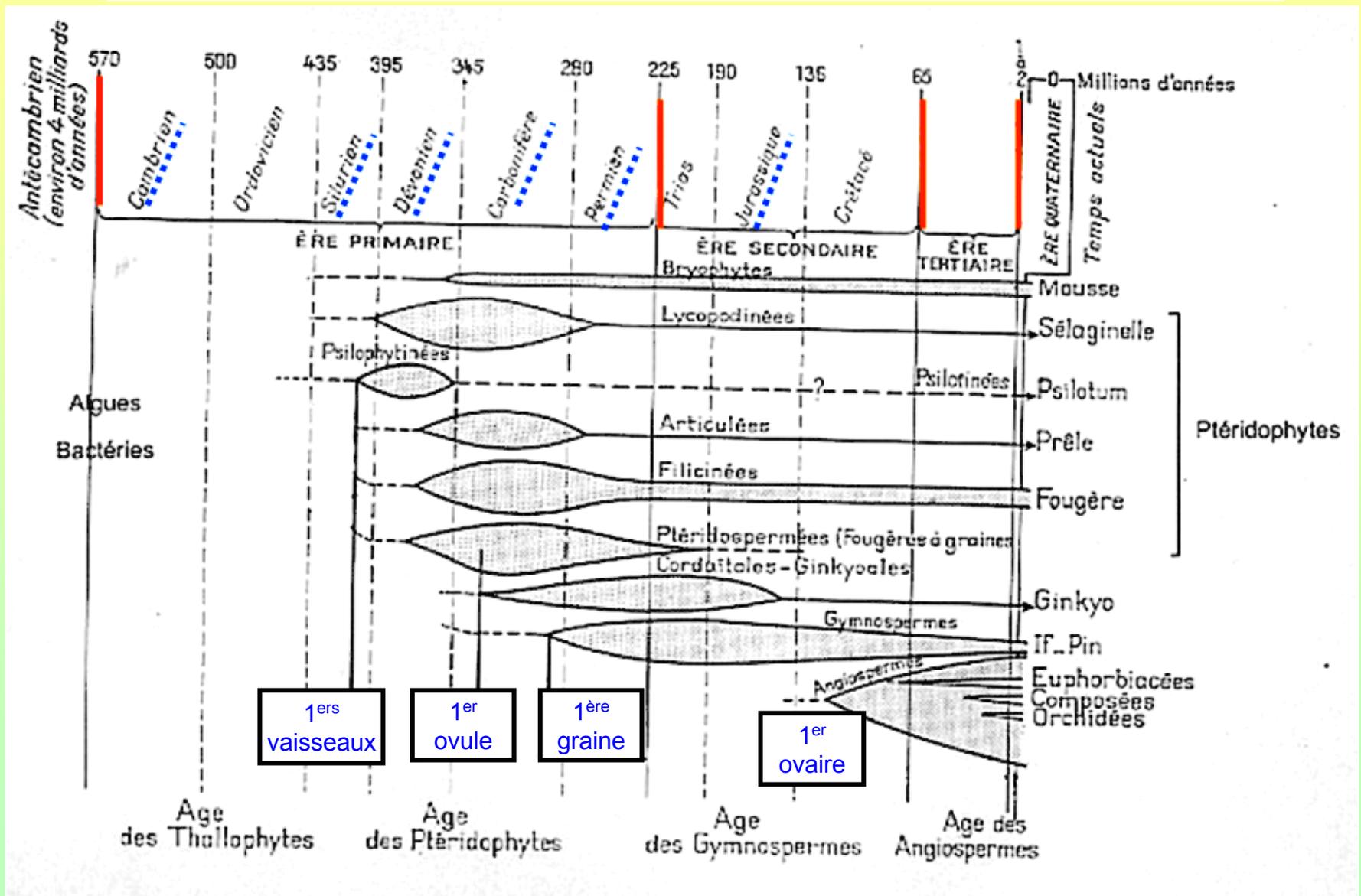
- ▶ régression des Ptéridophytes et des Gymnospermes
- ▶ très large domination des Angiospermes
(plus de 250 000 espèces décrites)

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

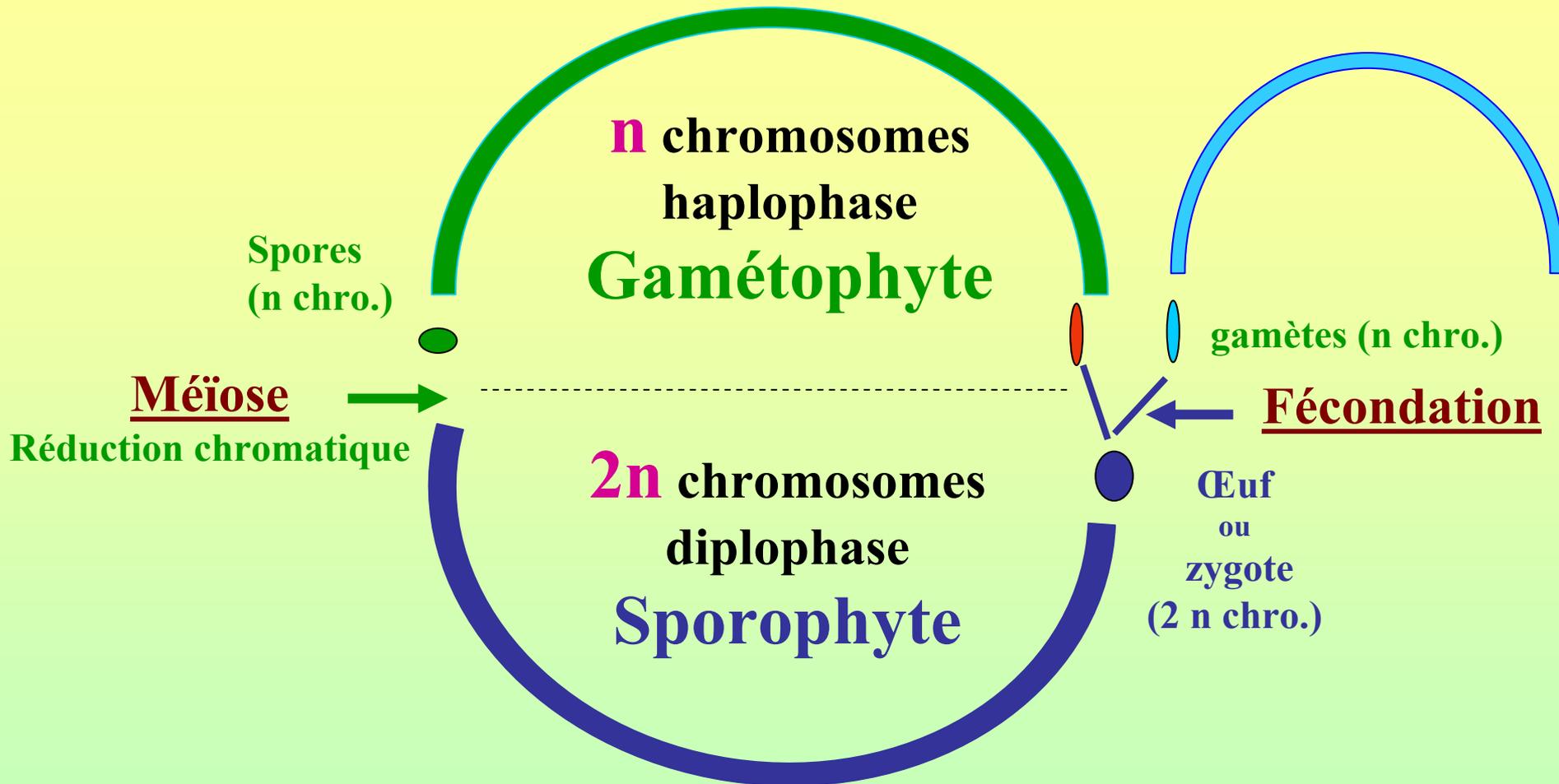
* **feuilles** : **synthèse organique** (photosynthèse)

stomates : structures bi-cellulaires
régulant échanges gazeux
et **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



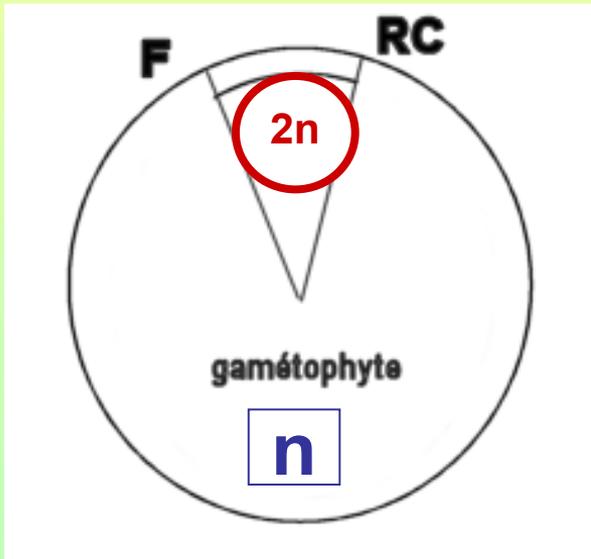
* Alternance de générations

* Cycle digénétique, hétéromorphe

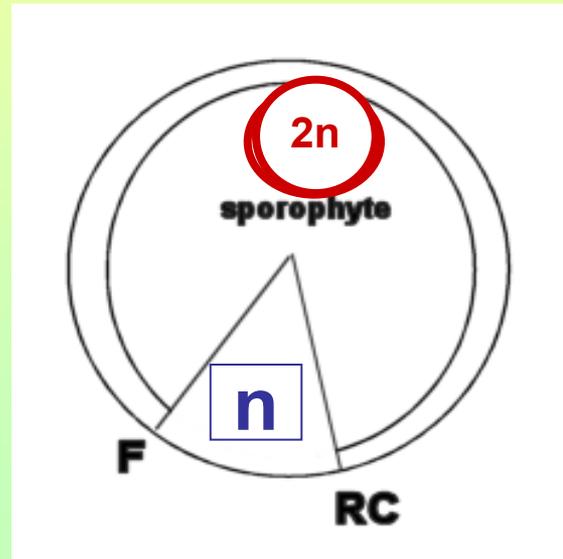
Tendances évolutives au niveau de ce cycle :

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

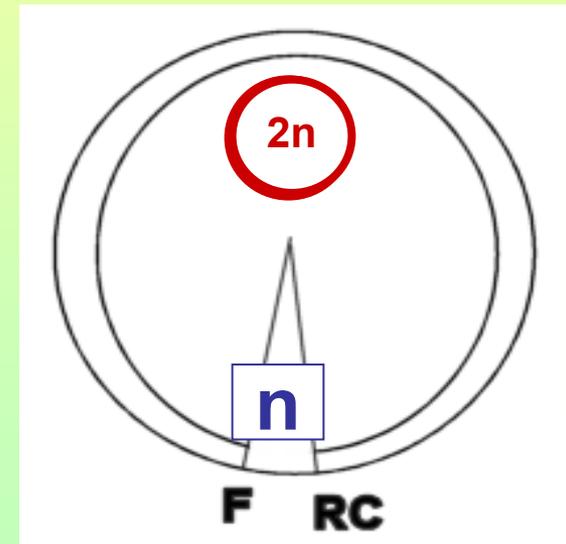
Evolution des cycles reproducteurs des Bryophytes aux Spermatophytes



Bryophytes
(ex : mousses)



Ptéridophytes
(ex : fougères)



Spermatophytes

Tendances évolutives au niveau de ce cycle (suite) :

*** Tendances 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

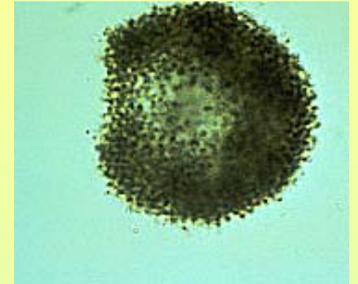
(Cyanophycées, "algues" bleues)

2000-2500 espèces (?)

a) généralités, biologie

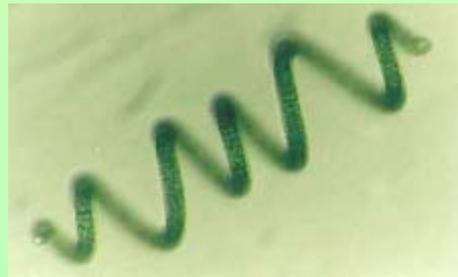
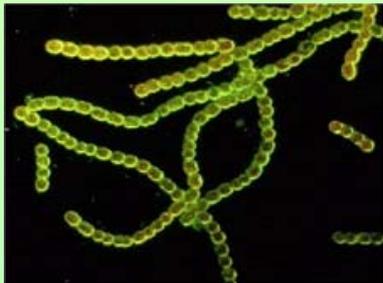
- * unicellulaires sans noyau : Procaryotes (Eubactéries)
- * présence d'une **paroi** recouverte le plus souvent par un **mucilage**
- * **autotrophes** : chlorophylles a et c
- * **certaines utilisent l'azote atmosphérique**

* souvent regroupements en colonies



Nostocs dans pelouse

Spiruline



* pigments accessoires :

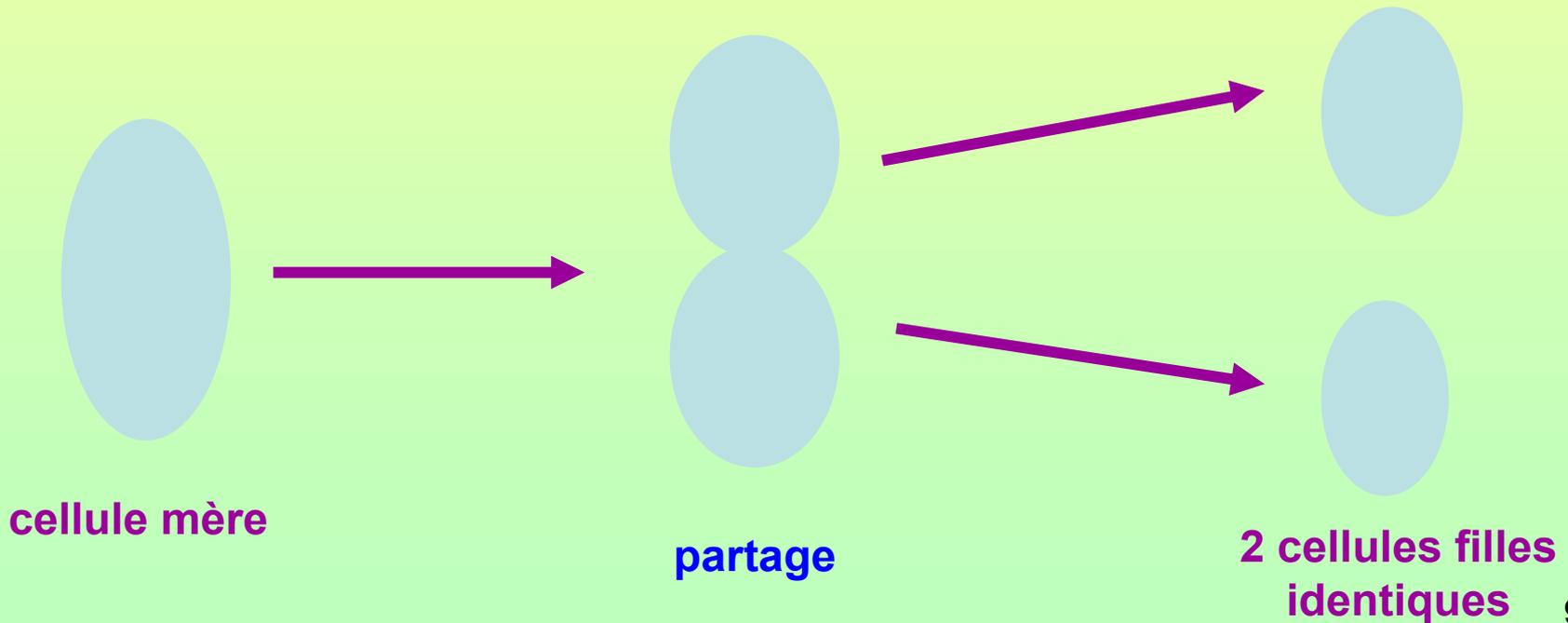
+ **phycocyanine** (bleu-vert)

+ **phycoérythrine** (rouge)

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

—————→ couleur variable

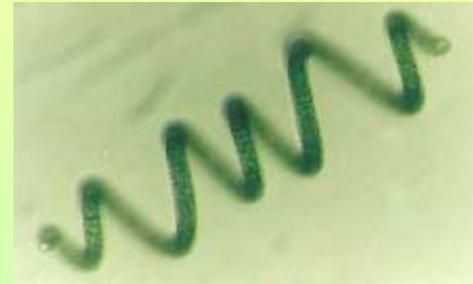
* multiplication par **scissiparité**



- * 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

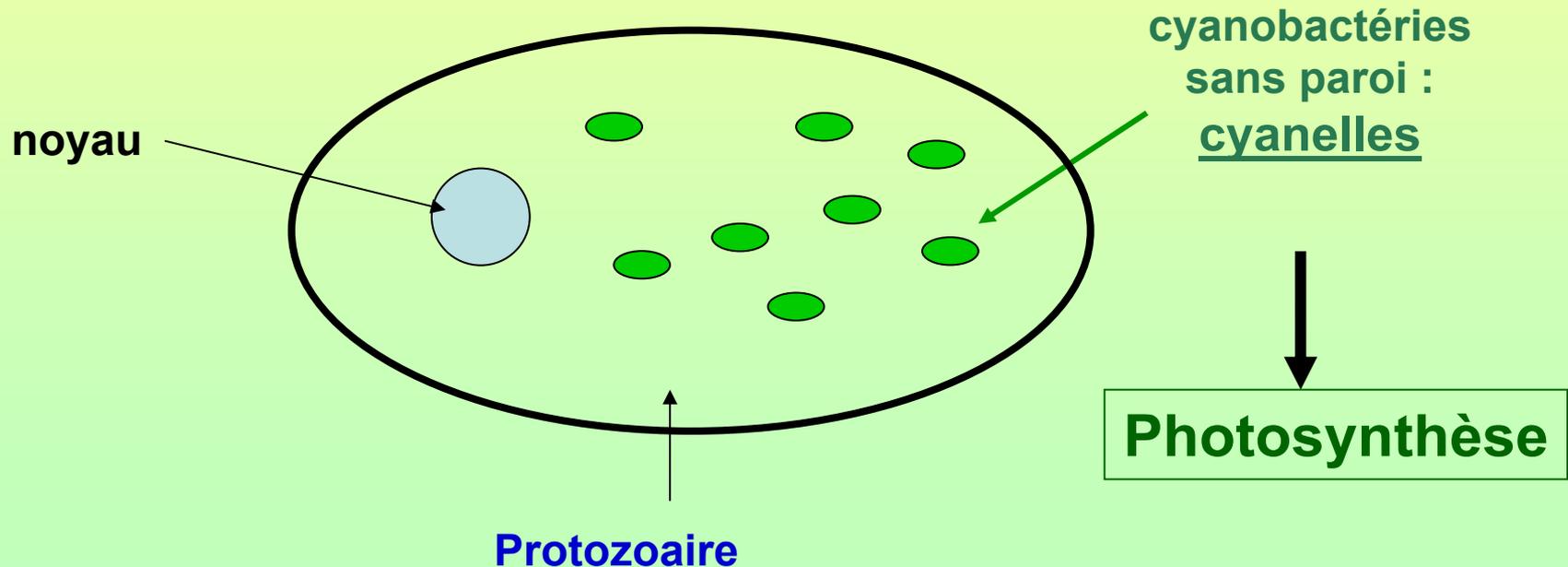
- * participation à des **symbioses**
- * libération d'**oxygène**
- * très riches en **protéines** (65 à 70% du poids sec), on les cultive parfois pour l'alimentation animale et humaine surtout la **Spiruline**



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**

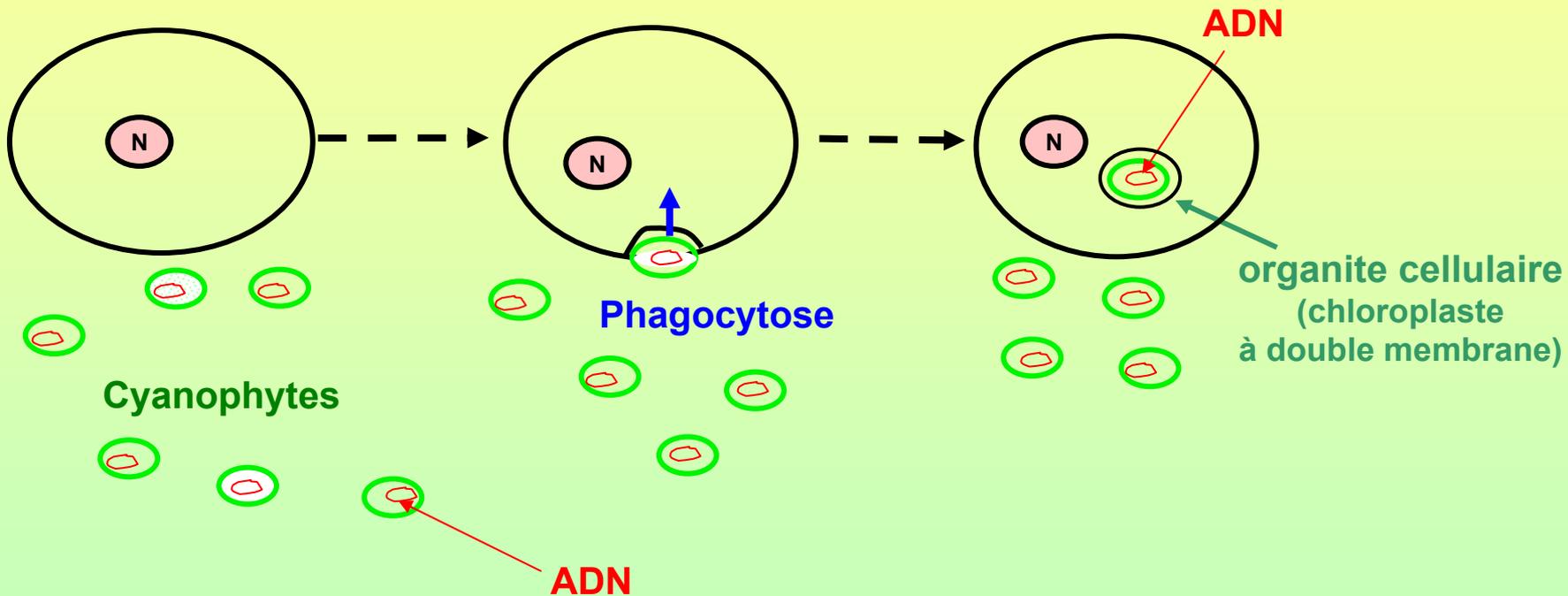
Théorie :

les **chloroplastes** auraient pour origine des **cyanobactéries** "phagocytées" par des cellules eucaryotes ancestrales :
on parle d'**endosymbiose** laire

(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"

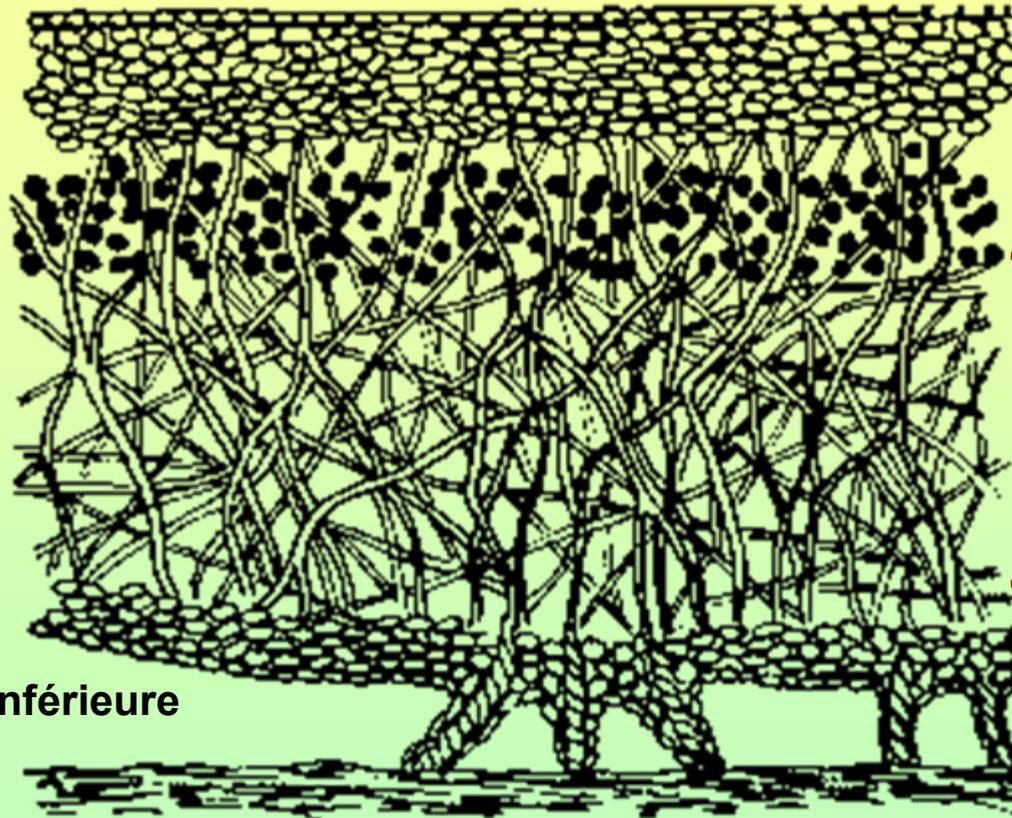
2. Lichens

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 **filamenteux**



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

* lichens **foliacés** : aspect lobé



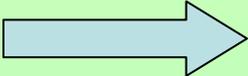
* lichens **fruticuleux** :
aspect buissonnant

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

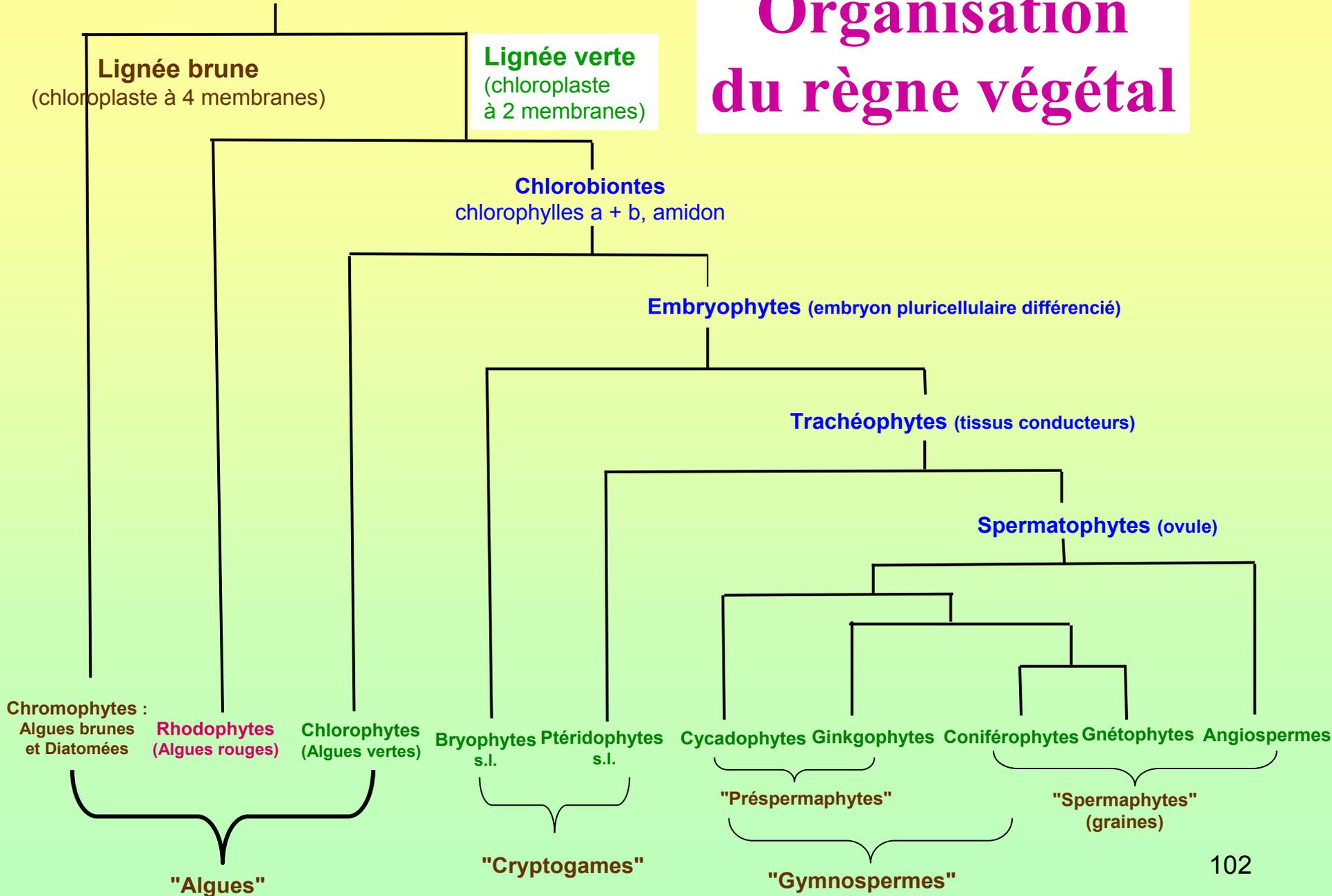


e) Intérêt des lichens

- * 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**

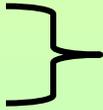
Règne végétal

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

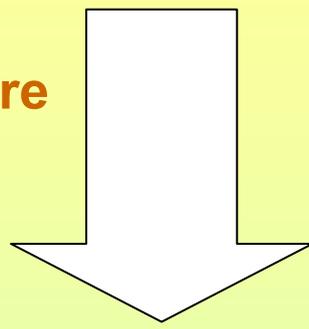
Etagement des algues marines :

* 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

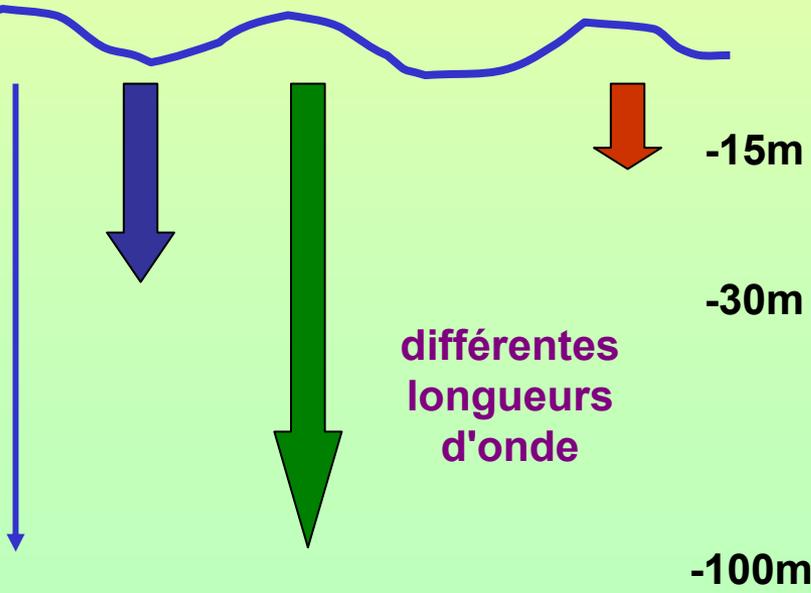


→ **étagement des algues**



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*)

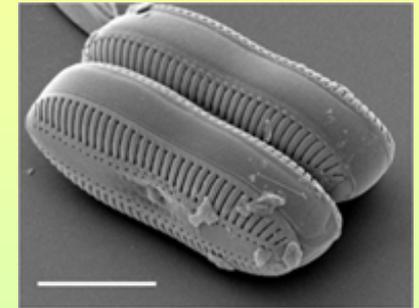
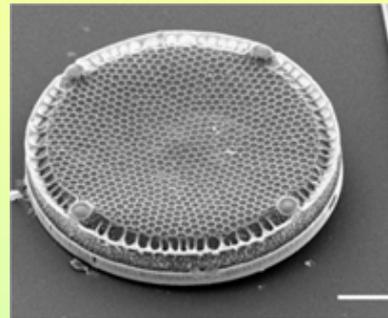


+ pseudo-tige avec crampons

+ 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 μ m

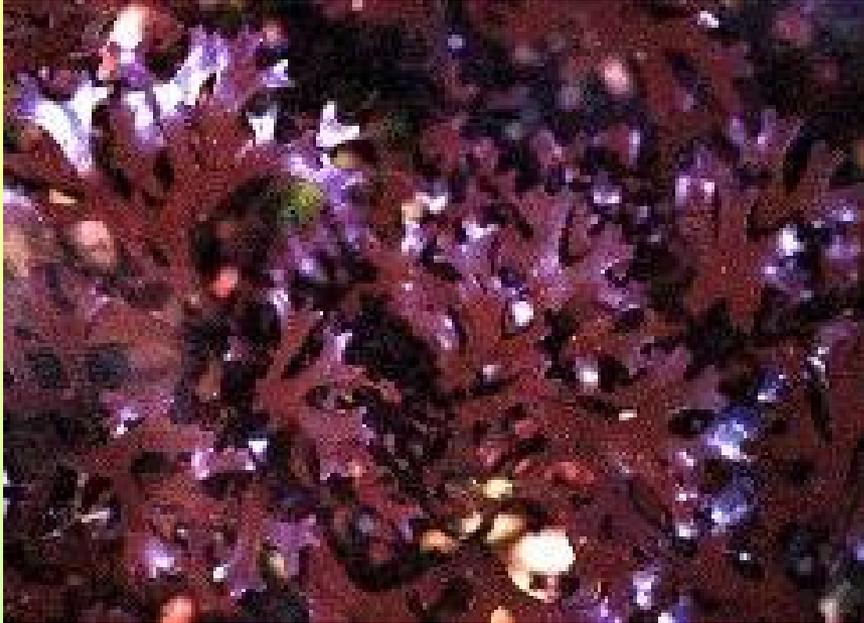
- * plusieurs centaines de milliers d'espèces ?
- * dans tous les milieux aquatiques (une partie du phytoplancton)
- * très bons indicateurs de la qualité des eaux (IBD : Indice Biologique Diatomées)
- * l'accumulation géologique de leurs carapaces donne une roche : la diatomite (utilisations : abrasif,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



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

+ fixée sur rochers par crampons

+ 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**.

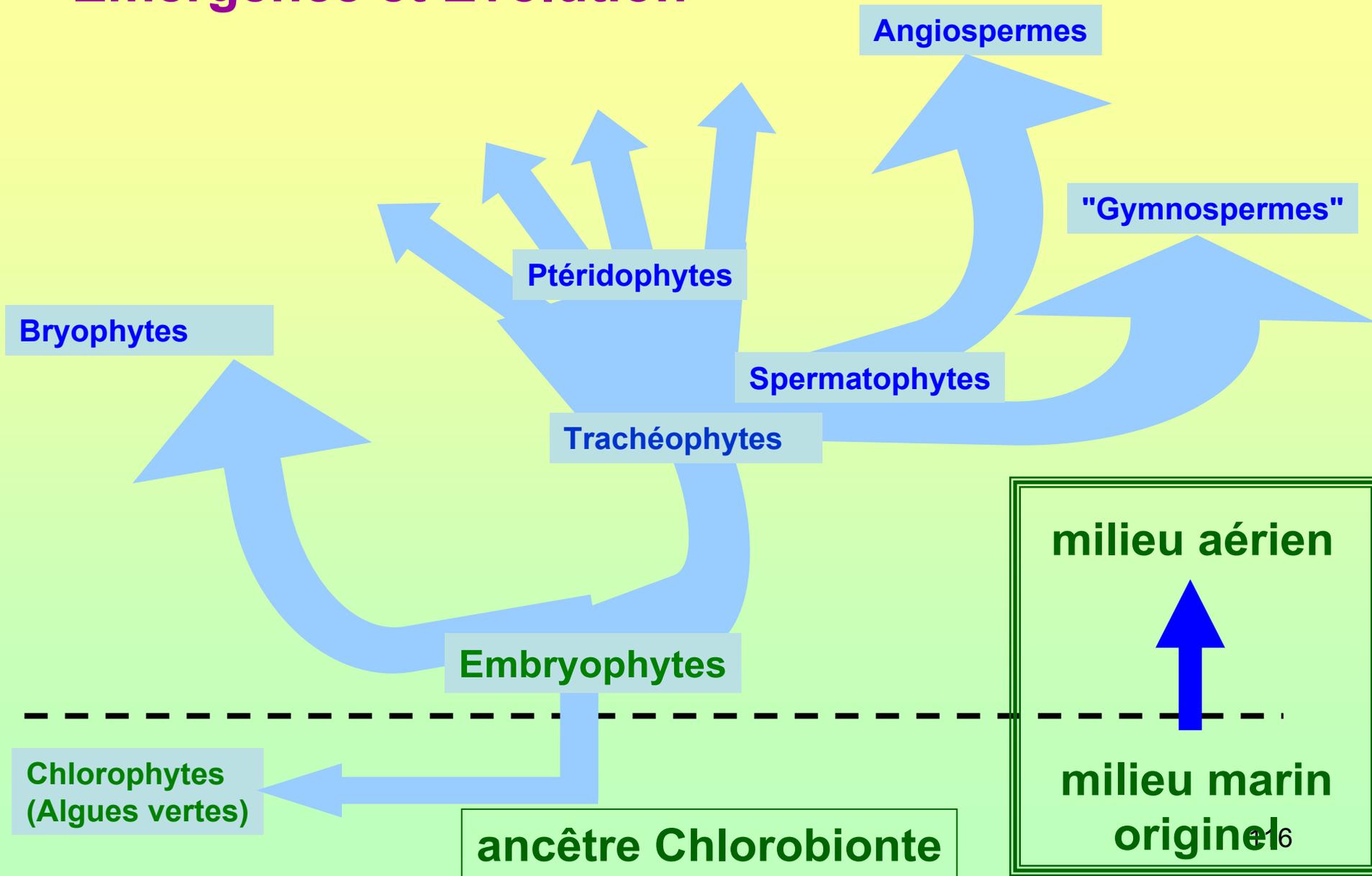
* à partir de cet ancêtre commun, certaines lignées auraient donné naissance aux **Bryophytes**

* 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** (couche recouvrant l'épiderme)
- * **Gamètes formés dans des structures à parois pluricellulaires : archégonies (femelles) et anthéridies (mâles)**

2. Les "Bryophytes"

Regroupent en fait 3 lignées différentes

A. Généralités

- * **Gamétophyte** (n chromosomes) = plante "feuillée" ou thalloïde
- * **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

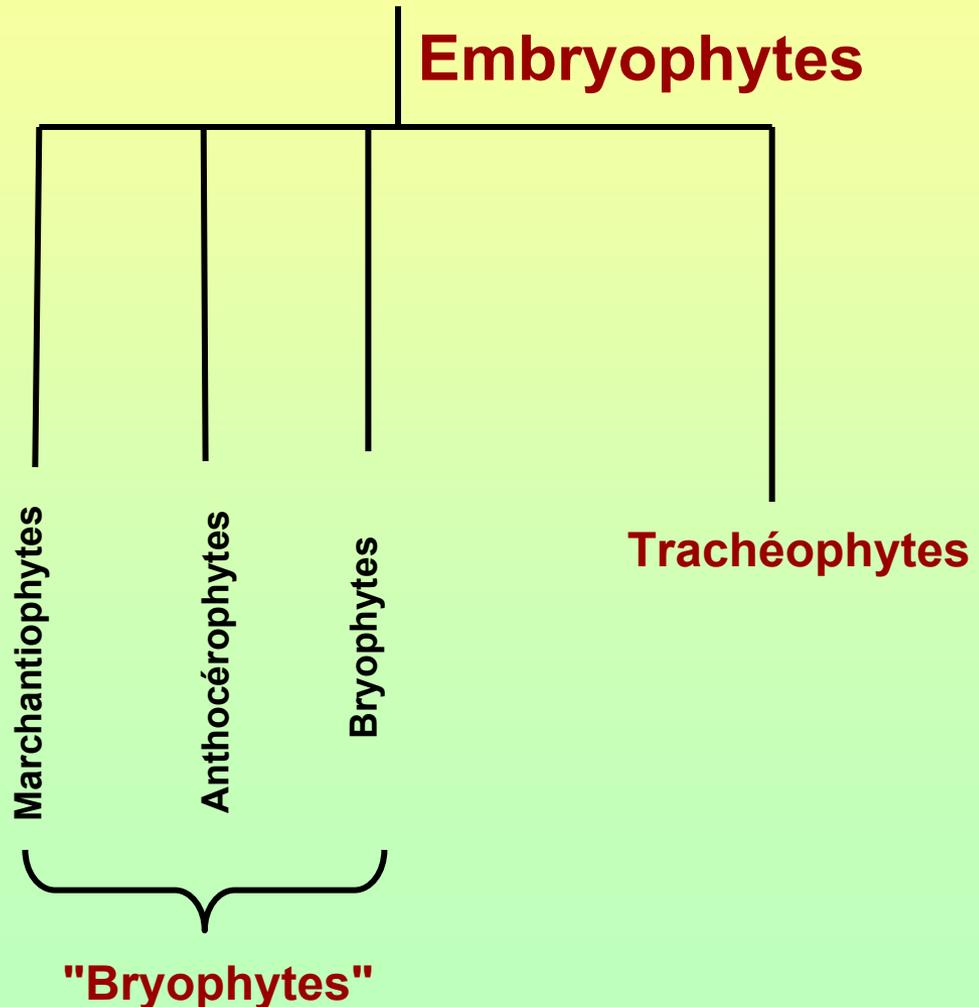
B. Biologie

- * 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 :



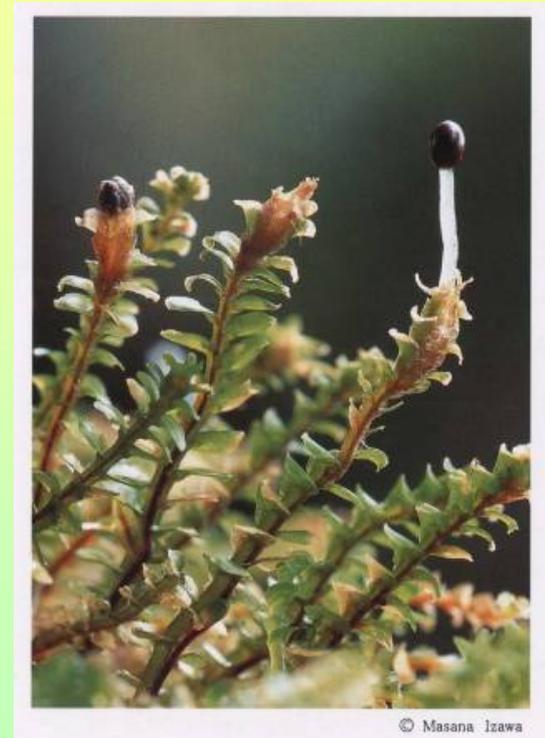
► les **Marchantiophytes** (ou **Hépatiques**) :

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



Polytrich

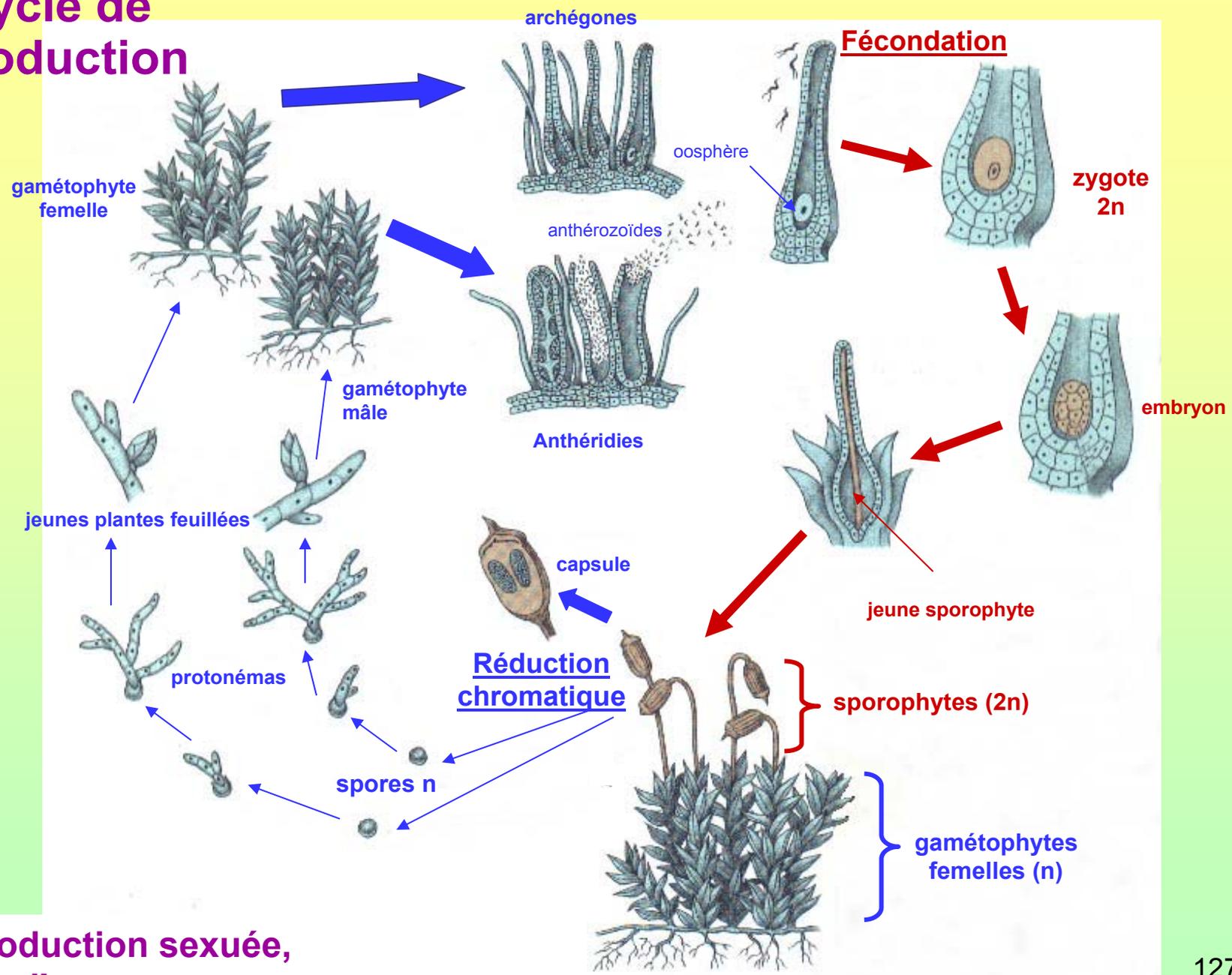
+ ordre des **Sphagnales**



Sphaigne

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

D. Cycle de reproduction



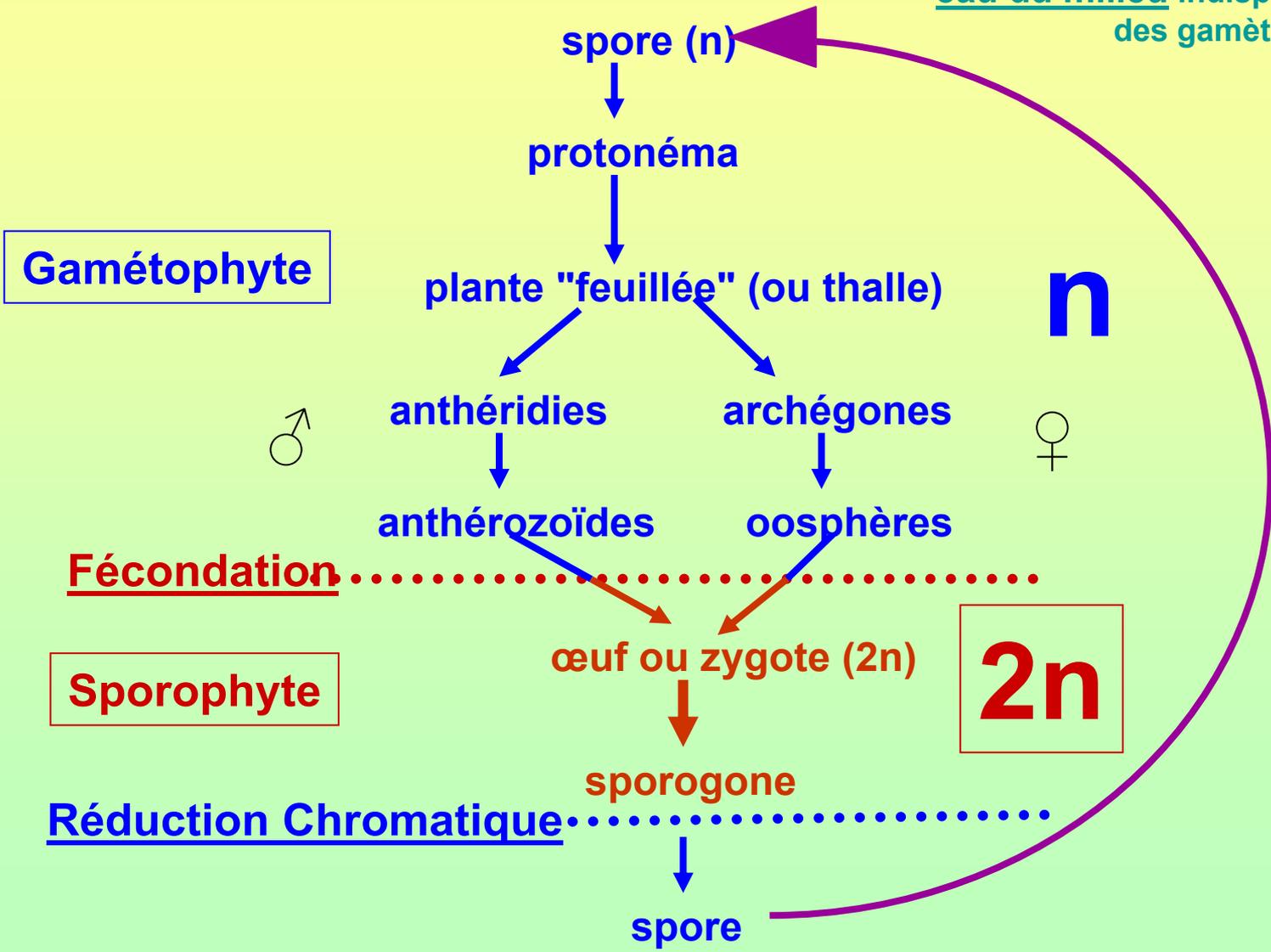
reproduction sexuée,
cas d'une mousse

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

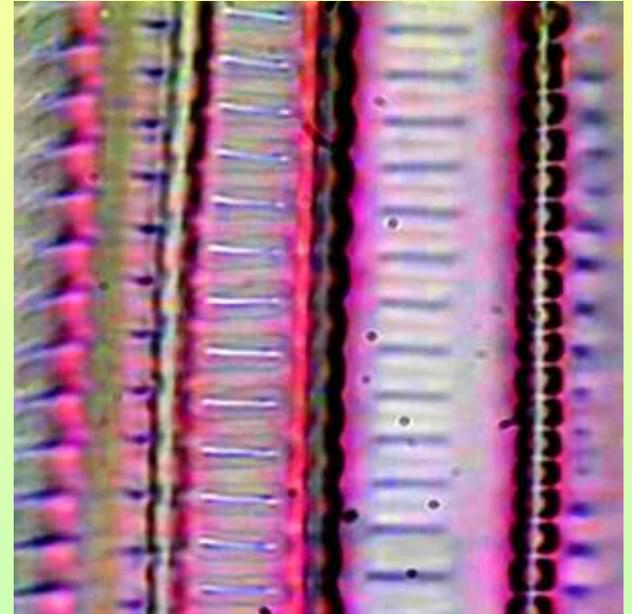
- * présence de **vrais tissus conducteurs** de sève (bois et liber)
- * synthèse de **lignine**
- * Phase **diploïde** dominante
- * Sporophyte **indépendant** du gamétophyte

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



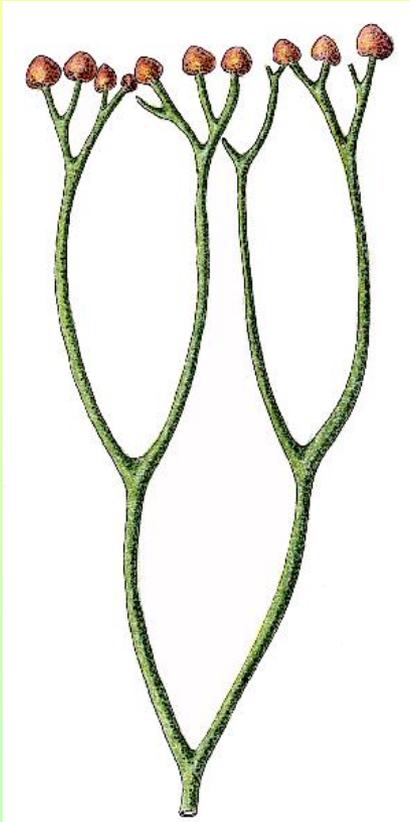
Polypode

Fougères arborescentes

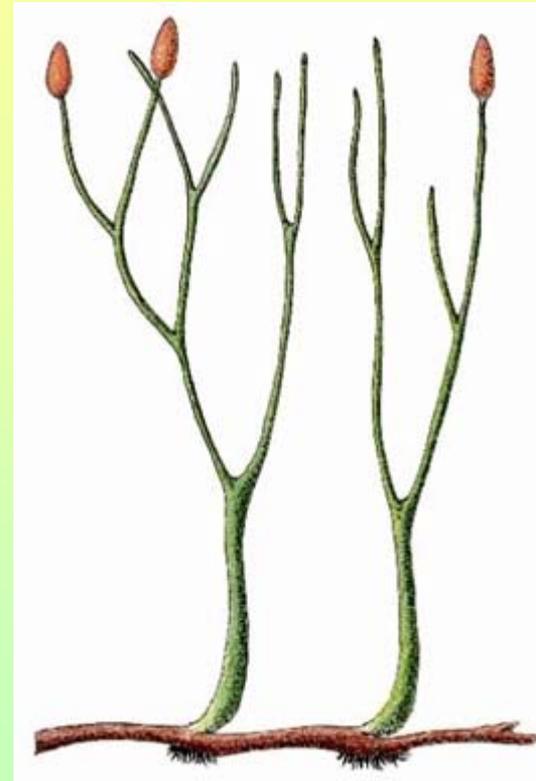


B. Classification

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



Cooksonia
(-425MA)



Rhynia
(-400MA)

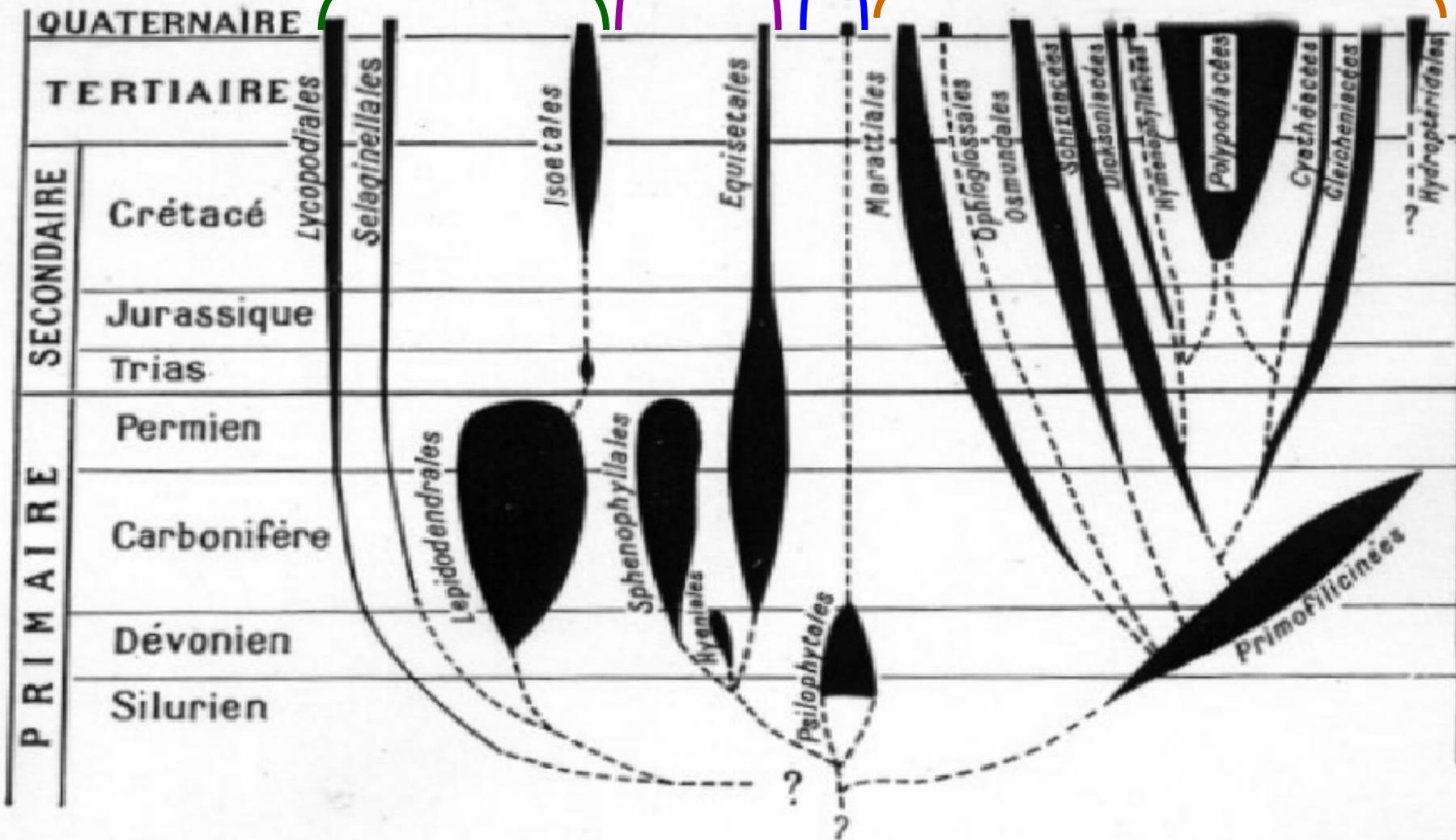
- * majeure partie de la flore de **l'ère laire**
(forêts du Carbonifère : charbon)
- * groupe en **extinction** : plus de genres fossiles connus que de genres actuels
(actuellement 11 000 espèces)
- * fossiles de "**fougères à graines**" (Ptéridospermées ou Ptéridospermales)
dans terrains du Carbonifère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

+ Equisétophytes = Sphénophytes :
prêles (15 espèces actuelles)

+ Lycophytes : lieux
humides, petite taille

+ Psilophytes : plantes
tropicales primitives

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



C. Reproduction

cas d'une fougère

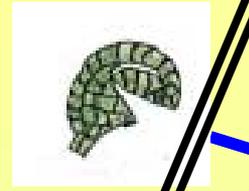


Sporophyte (2n)
plante feuillée

sores



sporangies



Réduction chromatique

spores (n)



archéogones



Gamétophyte (n)
Prothalle

oosphère



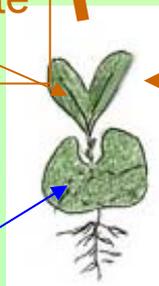
anthéridies

anthérozoïdes

Fécondation



œuf
ou
zygote (2n)



jeune sporophyte (2n)

gamétophyte (n)

sores



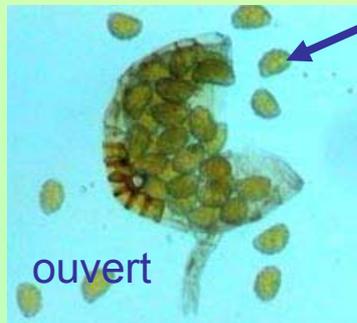
indusie

sporange

spores



fermé



ouvert

prothalle

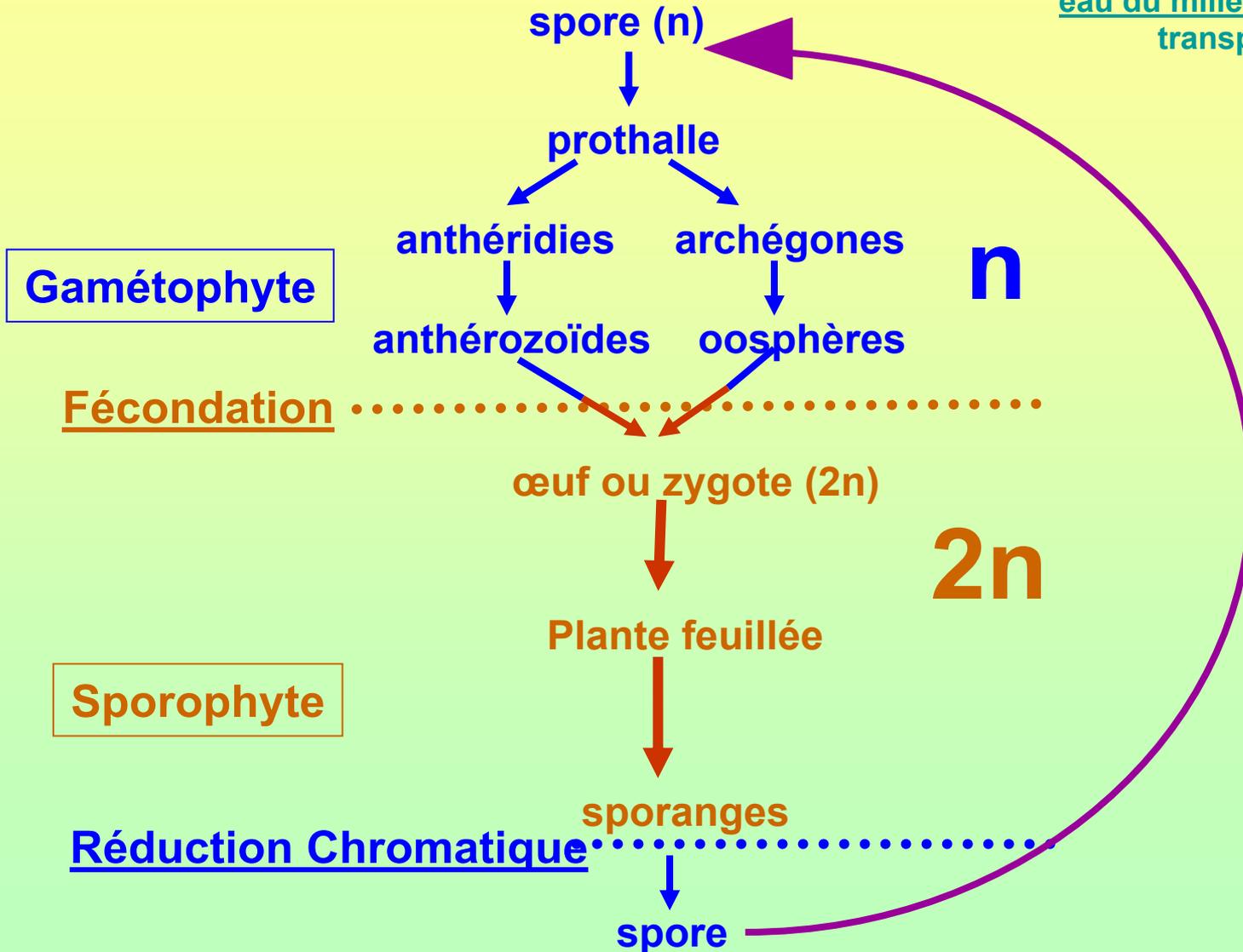


schéma récapitulatif du cycle

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**

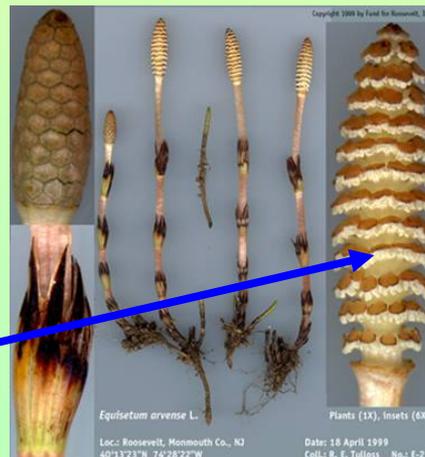


- ▶ feuilles réduites en **écailles**, en verticilles, soudés en une gaine

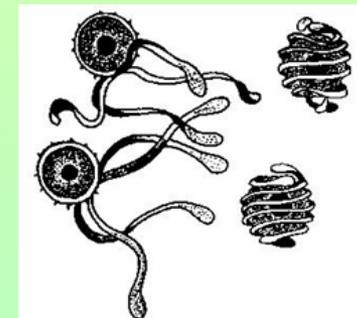
- ▶ rameaux verticillés, **articulés**

- ▶ sporanges regroupés en **épi**

épi de sporanges



- ▶ spores à **élatères**



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

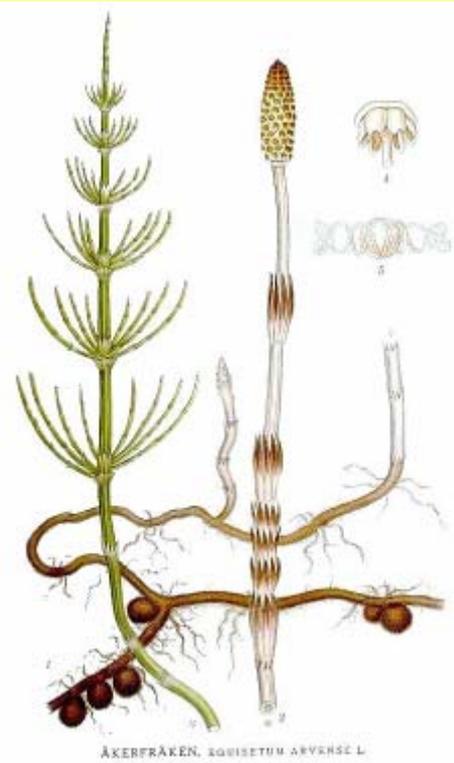
* prêle d'hiver : *Equisetum hyemale*

► 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



Asplenium scolopendrium

* Fougère mâle : *Dryopteris filix-mas*

+ sous-bois

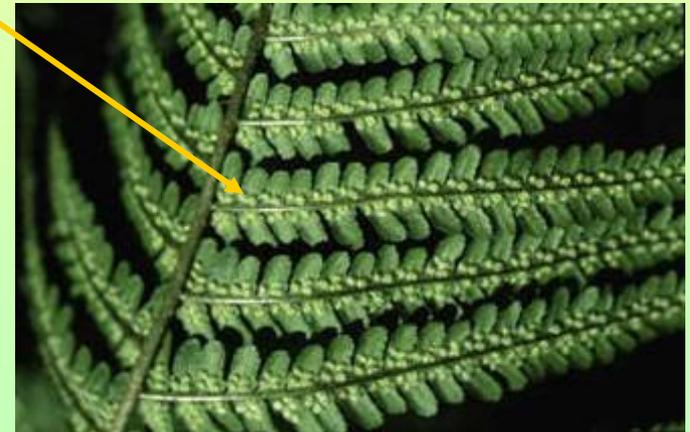
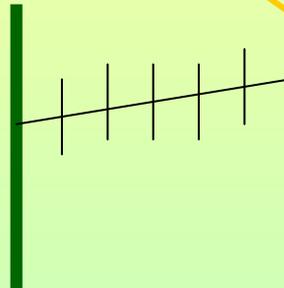
+ fronde : 50cm à 1,2m

+ 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

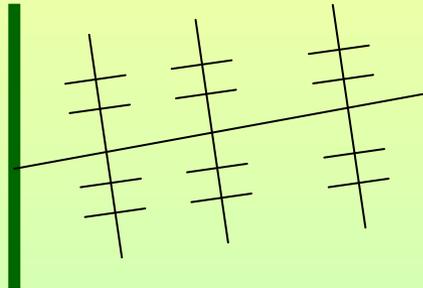
* Fougère aigle : *Pteridium aquilinum*

+ surtout terrains **siliceux**

+ grande fougère : 1,5 à >2m

+ fronde triangulaire

+ fronde divisée **3 ou 4 fois**



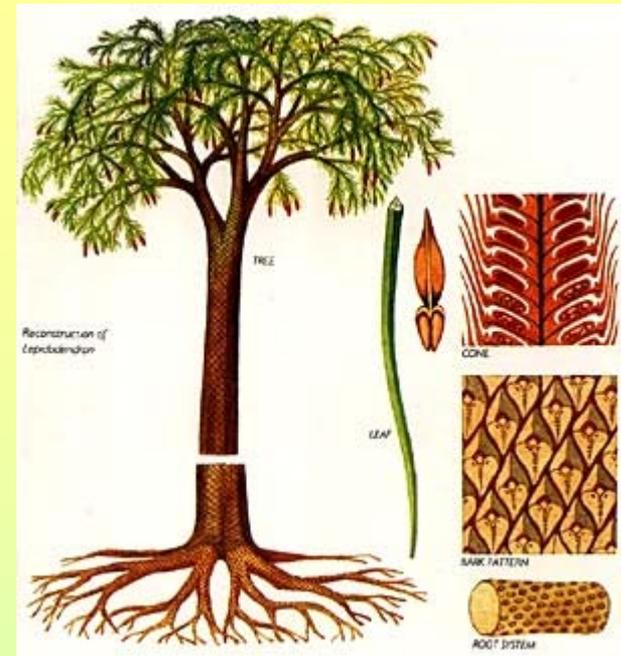
+ multiplication essentiellement **végétative**
(par le rhizome)

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

+ jeunes frondes parfois consommées (USA) bien que cancérigènes

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

plus de 200 **alcaloïdes** identifiés chez des
Lycopodiales dont un, l'**huperzine A** aurait une
activité contre la maladie d'**Alzheimer**



Isoetales

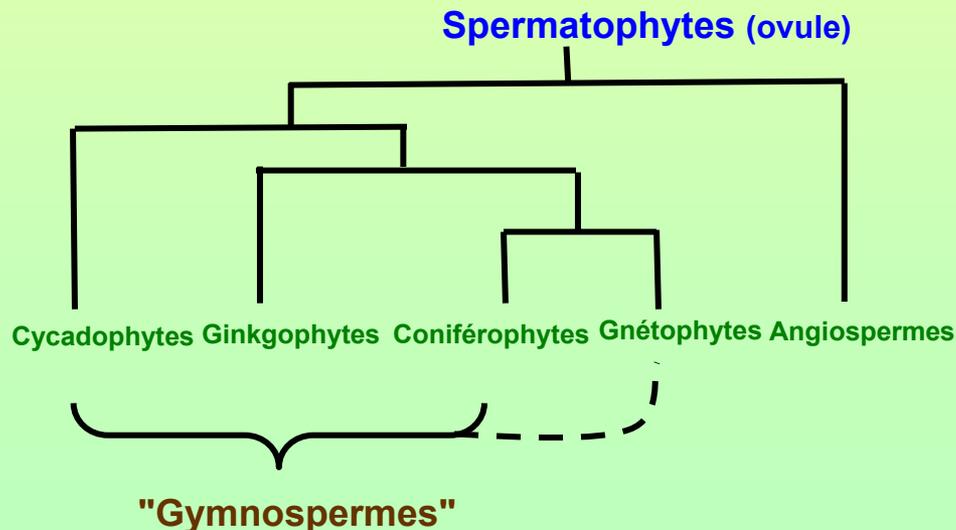
3 lignées

Selaginellales



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^{aire}** (**cambium bifacial** Bois II^{aire} vers l'intérieur, Liber II^{aire} vers l'extérieur), sauf chez Angiospermes Monocotylédones.

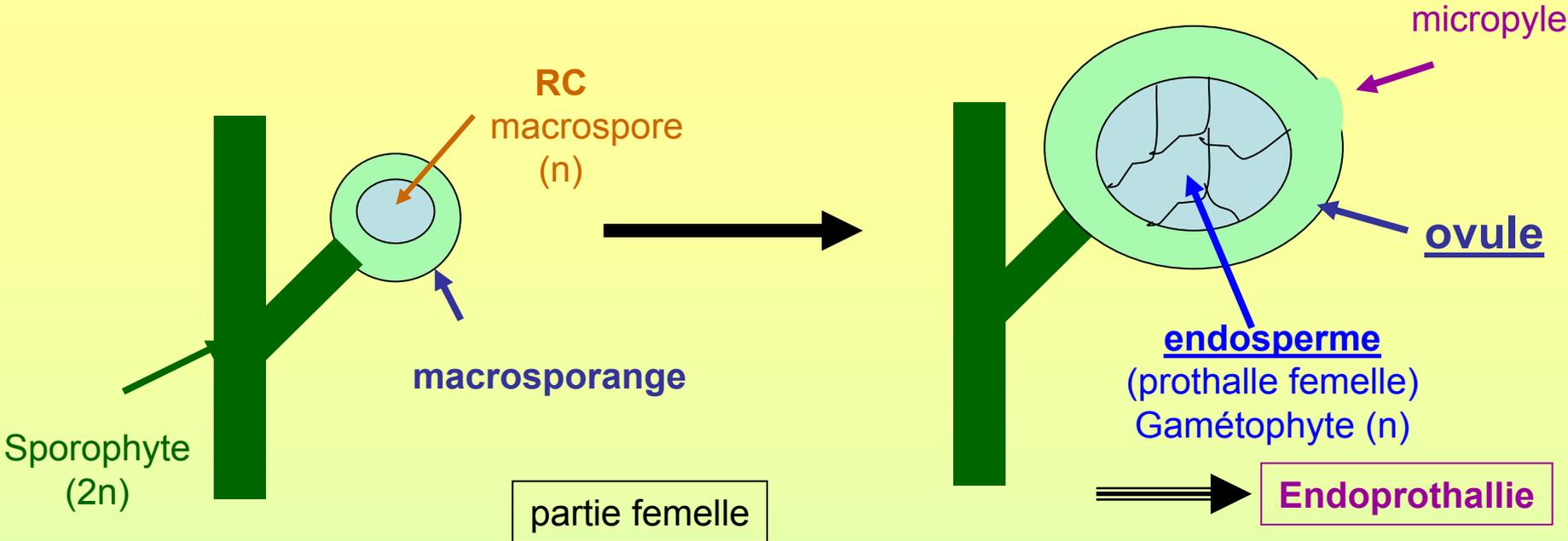


4. Cycadophytes et 5. Ginkgophytes

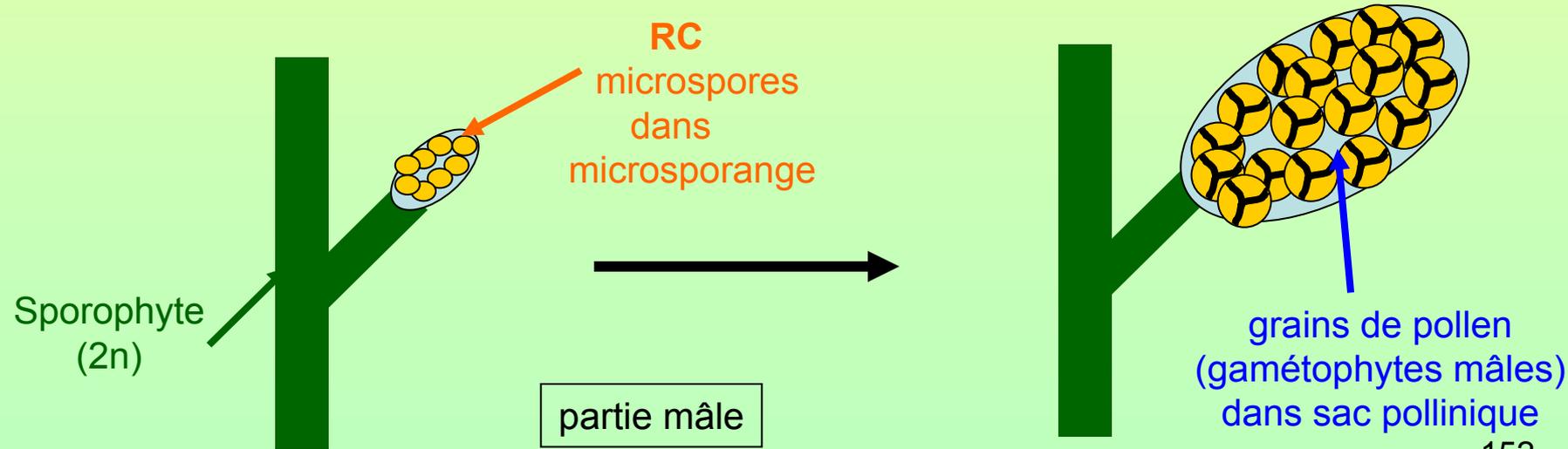
(regroupés parfois dans les Préspermaphytes)

A. Généralités

- * apparition : fin ère **primaire** (Permien)
- * pour les deux sexes, partie gamétophytique **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**
(cloisons transversales persistantes)
 - Bois **Homoxylé**
- * pratiquement que des espèces **fossiles**

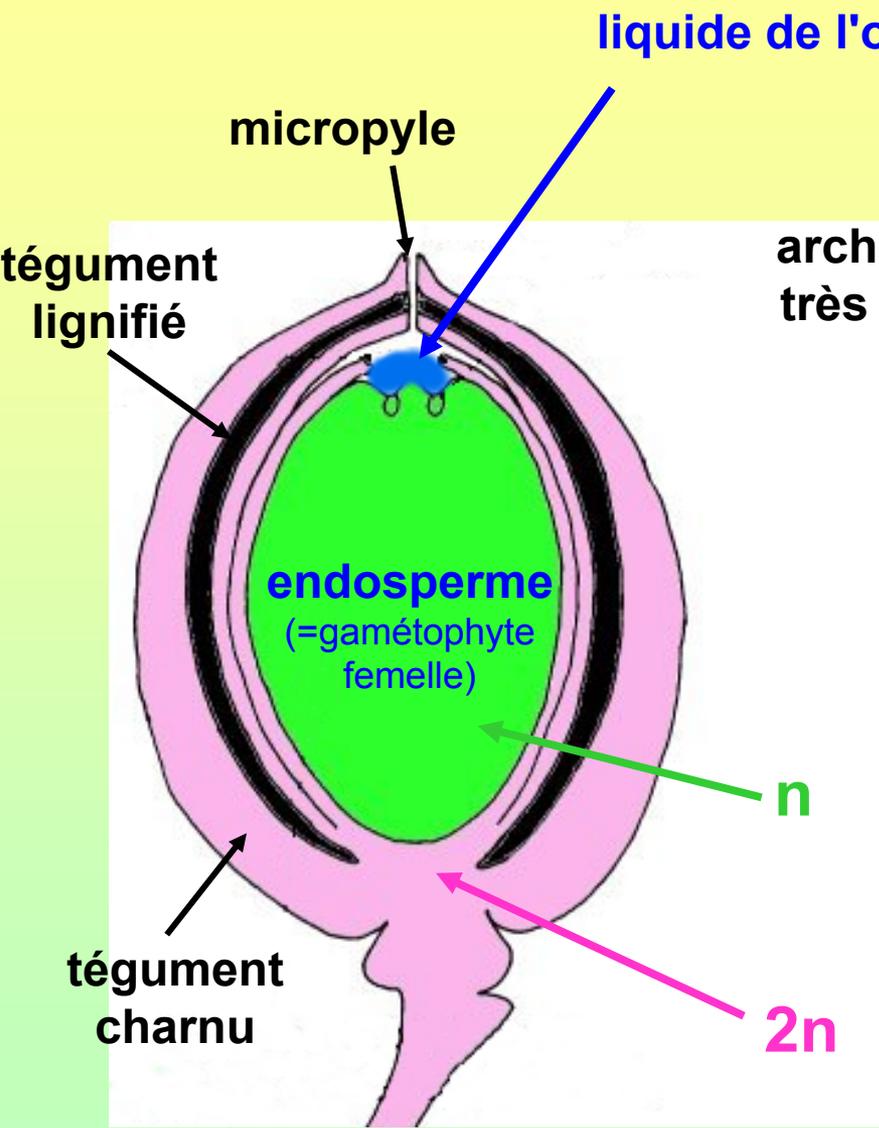


origine de l'ovule et des grains de pollen

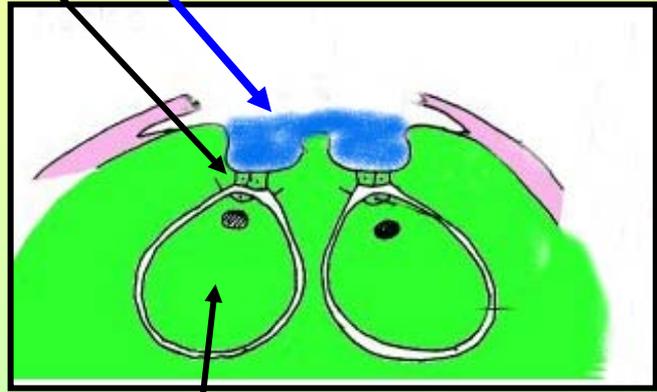


B. Reproduction

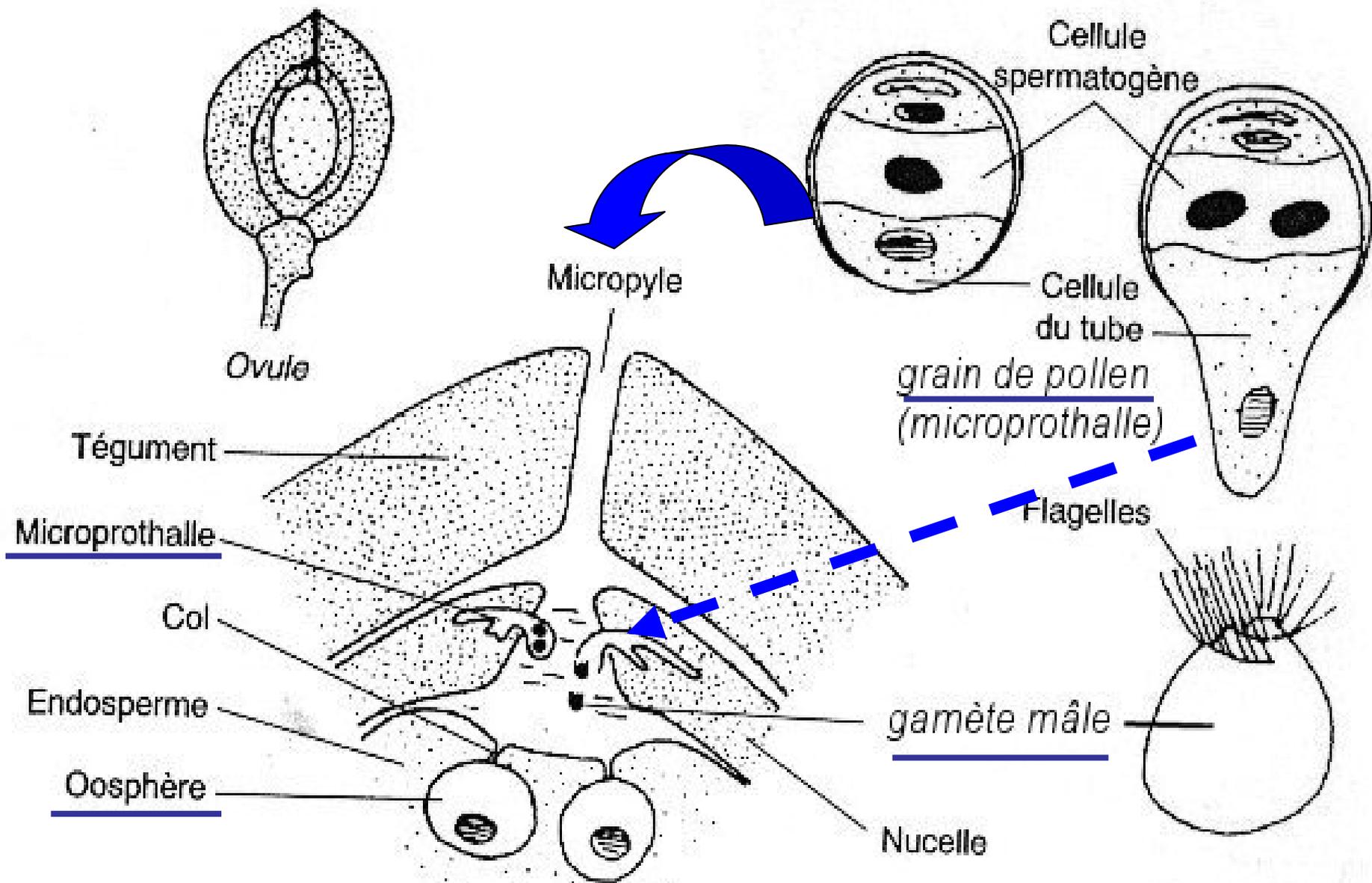
- * ovules de grande taille car **réserves faites avant** la fécondation
- * grains de pollen transportés par le **vent** (plante anémophile ou anémogame)
- * entrée du pollen dans l'ovule par le **micropyle**
- * grains de pollen **germent** et libèrent des **gamètes ciliés qui nagent** dans un **liquide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



ovule

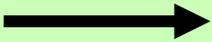


détail du sommet de l'ovule



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

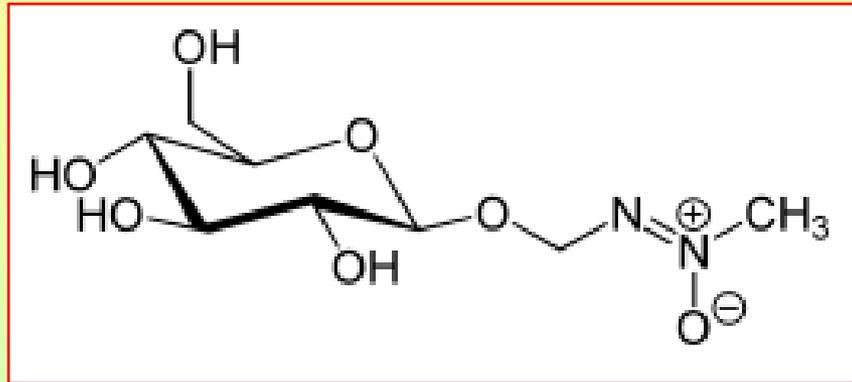
* feuilles composées pennées

* 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



ped femelle



ped 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)

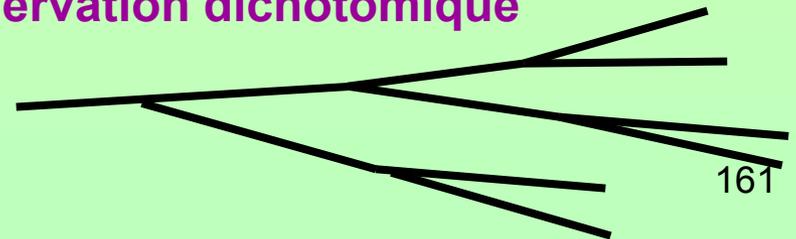


+

+ arbre **dioïque**, jusqu'à 30m

+ **nervation dichotomique**

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



ped femelle : ovules par 2 (dont un avorté)

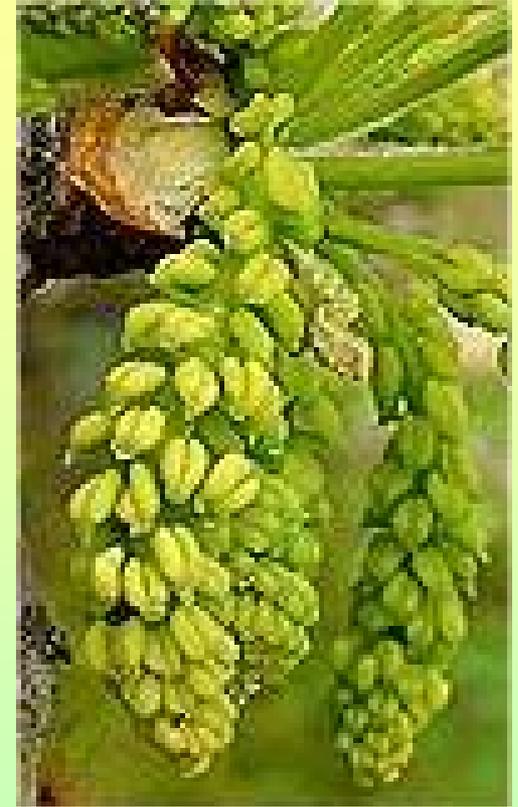


pédoncule

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

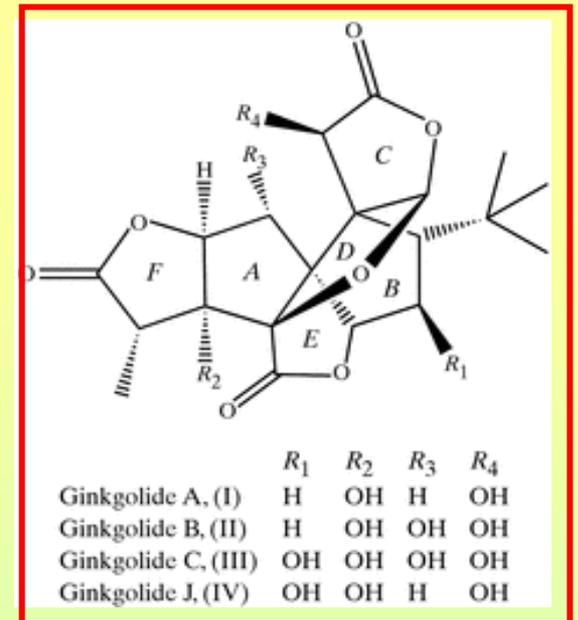


+ feuilles utilisées en Chine depuis 5000 ans

+ 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 mâles au contact de l'ovule

—————> Fécondation 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

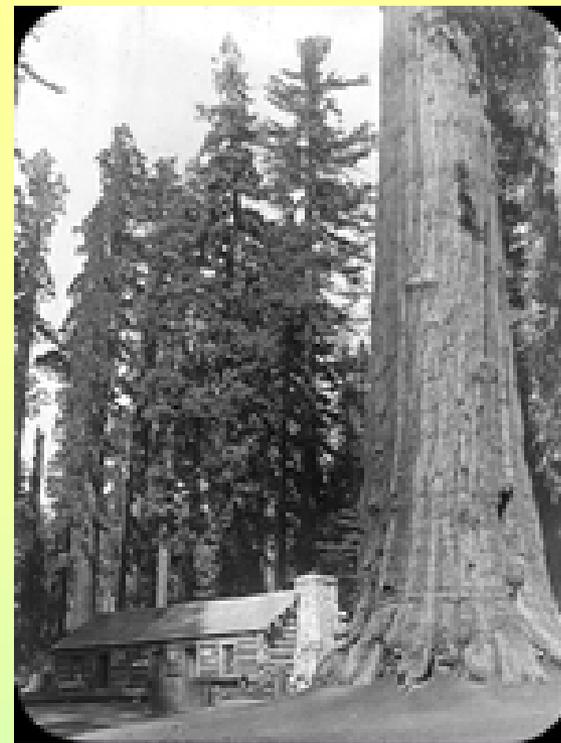
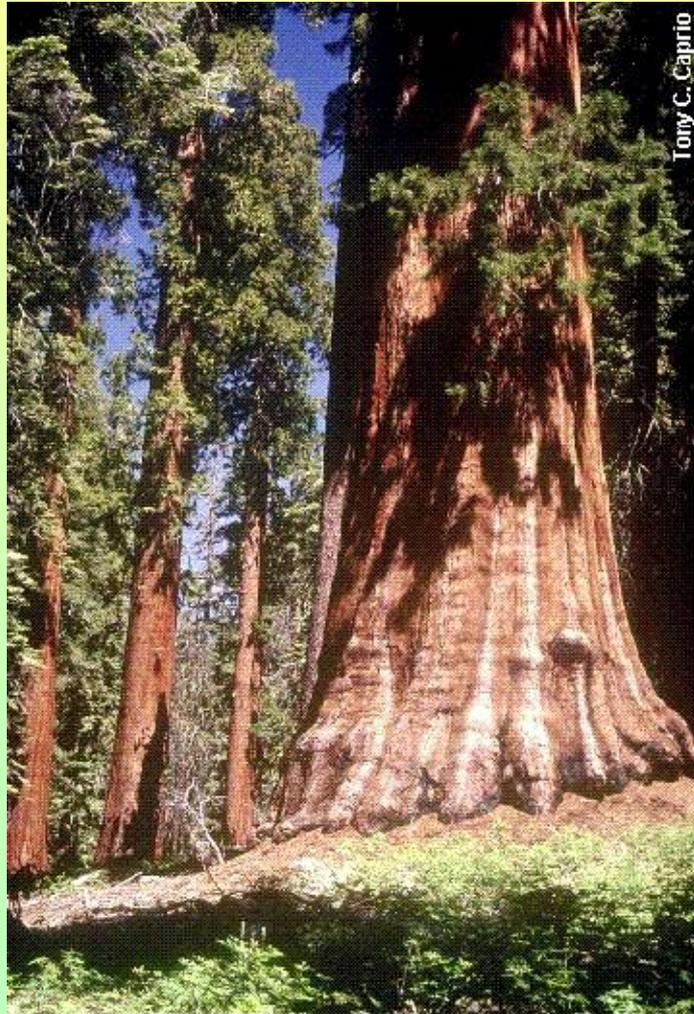
+ conduction de sève plus difficile

*** 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 :

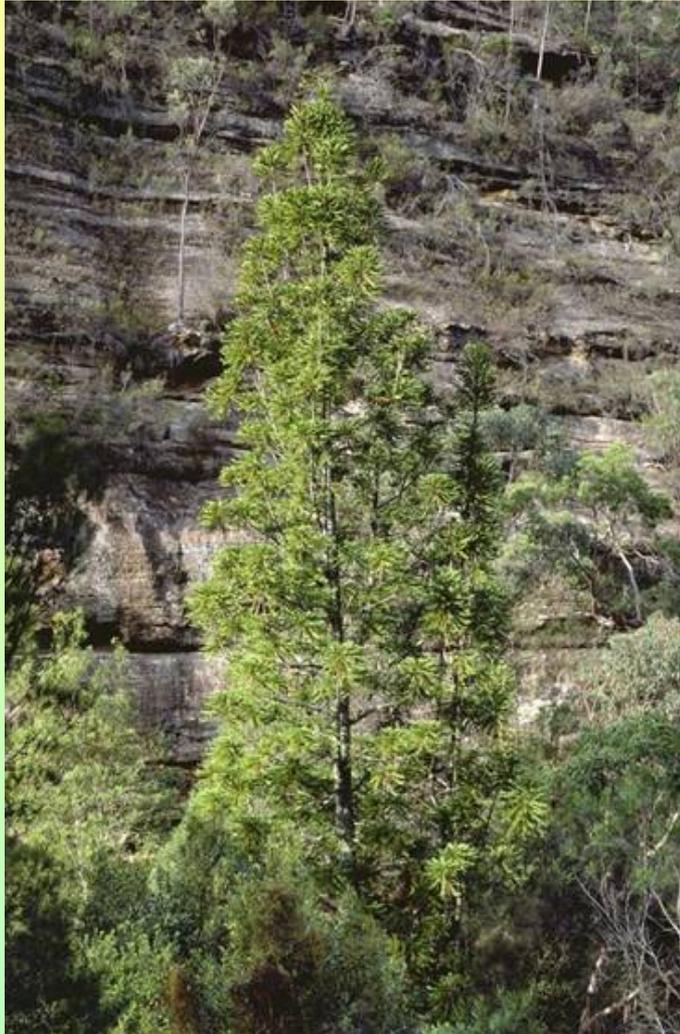
* en Californie des pins de l'espèce *Pinus longaeva* (pin de Bristlecone) dépassent les 4 000 ans (plus de 4700 ans pour le plus vieux)

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)



King Billy



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

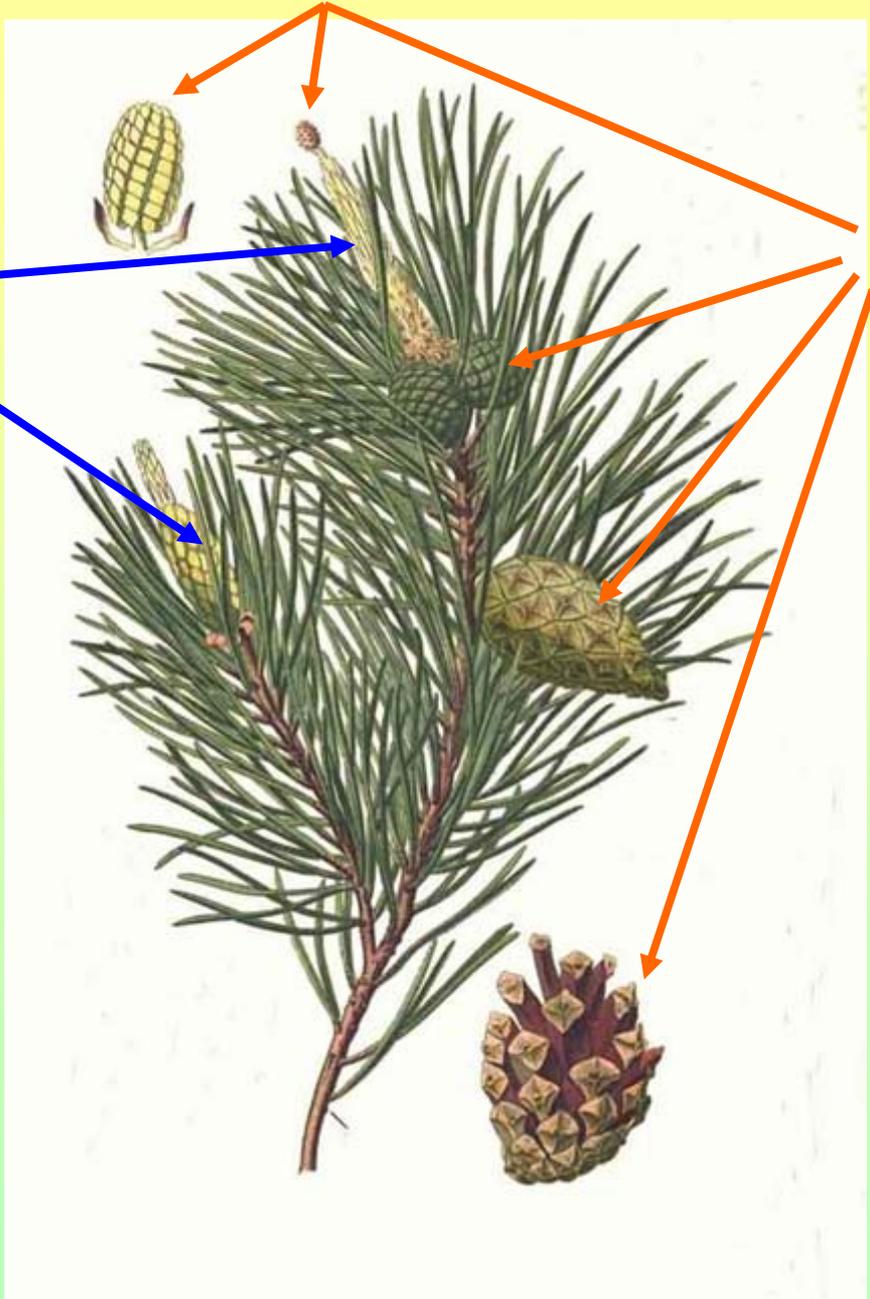
- * arbres **ornementaux**
- * industries du bois : charpente, meubles...
- * pâte à papier
- * industrie chimique : **térébenthine** (solvants, colles, parfums...)
- * pharmacie : désinfectant, **antiseptique** (terpènes), **anti cancéreux** (Taxol et dérivés)₁₇₄

D.Reproduction

ex. Pin sylvestre

* cônes mâles

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

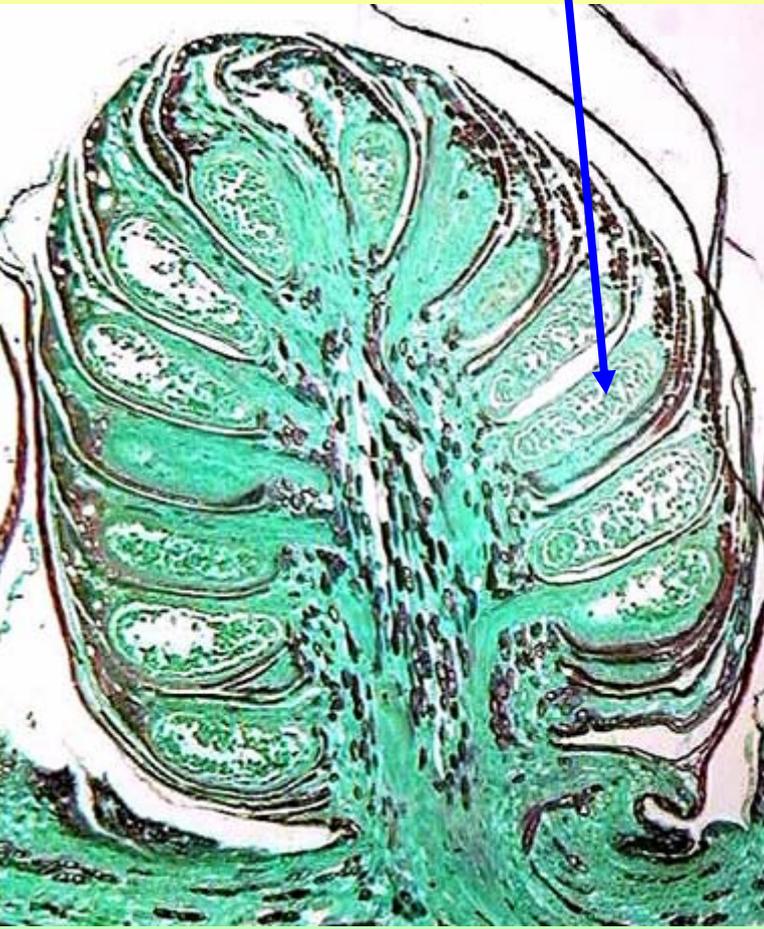


* cônes femelles

- + 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



écaïlle fertile
("étamine")

pollen

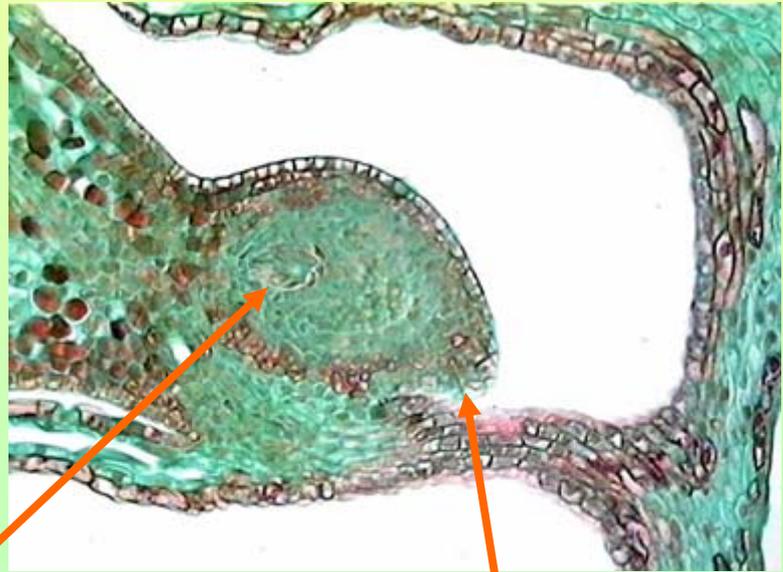


ballonnets aérifères

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



Cônes femelles



écaille fertile (ovulifère)

coupe longitudinale

2 ovules sur l'écaille fertile

micropyle

Cycle de reproduction

appareil reproducteur mâle

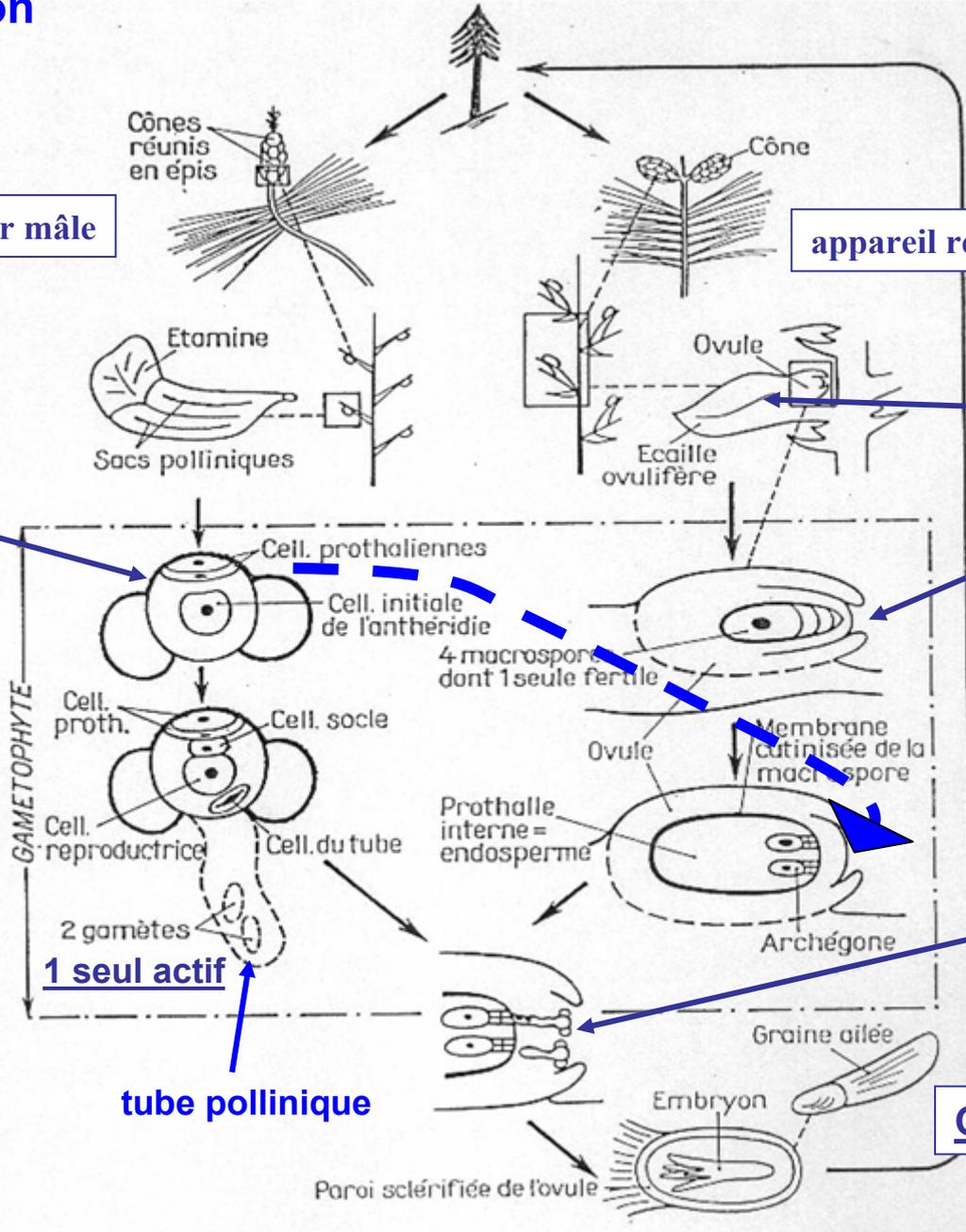
appareil reproducteur femelle

grain de pollen

ovule

micropyle

fécondation



1 seul actif

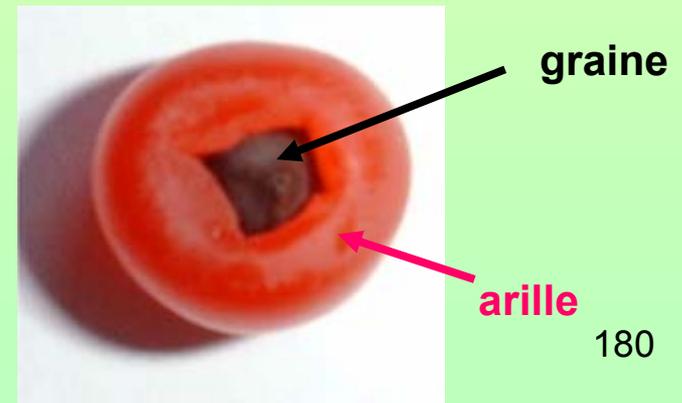
tube pollinique

Graine

E. Quelques exemples de Co

II. *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"



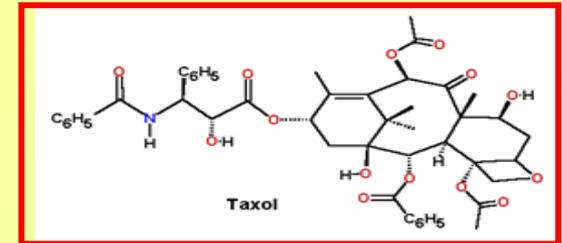
* toutes les parties de la plante (sauf arille) sont **très toxiques** :
taxoïdes diterpéniques et mélange d'alcaloïdes ou pseudo-alcaloïdes : **taxine**

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

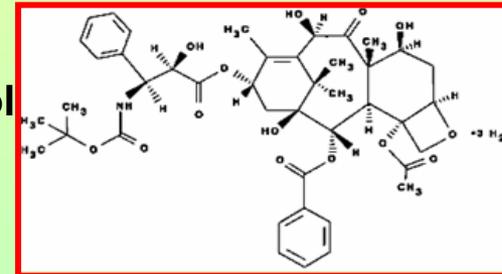
Paclitaxel (Taxol®), diterpène anticancéreux



(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 : **écailles orangées**
- * feuilles en aiguilles, 2-3cm, par **2**
- * cônes femelles appelés "pommes de pins"



cônes mâles

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

ppctrjeâgée

Pin maritime : *Pinus pinaster*



* aiguilles /2, 10 à 20 cm

* cônes femelles 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 principalement pour fabriquer de la **pâte à papier** (avec récupération de térébenthine)



Genévrier commun : *Juniperus communis*

* 1 à 6 m, dioïque

* feuilles en aiguilles très piquantes,
verticillées par 3

* cônes femelles bleu-noir, 6-8mm diamètre,
à 3 écailles charnues, soudées, ("baies de genévrier"),
aromatiques (riches en diterpènes)



* utilisation de ces fausses baies comme
épices ou pour faire des boissons (genièvre, gin)

* propriétés antiseptiques, apéritives et diurétiques

Sabine : *Juniperus sabina*

- * arbrisseau étalé, monoïque ou dioïque
- * petites feuilles triangulaires **opposées**, **décussées**, certaines redressées et piquantes, **forte odeur de cassis**



- * cônes femelles, 4-5mm diamètre, **charnus**, bleu-noir à maturité



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

Cadier : *Juniperus oxycedrus*

* région méditerranéenne

* cônes rouge-brun plus ou moins charnus, environ 15mm diamètre



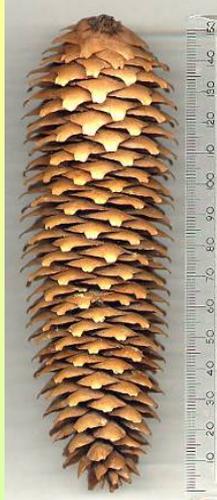
* son bois distillé fournit l'**huile** ou **goudron de cade** officinal, riche en **sesquiterpènes**, à propriétés **antiseptiques** (shampoings, traitement de la peau)



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** (autrefois Saccovulées) avec **micropyle allongé**
- ▶ **pseudo-fleur** unisexuée, étamines avec filet
- ▶ **pseudo-fruit**
- ▶ bois **hétéroxylé** :
 - + **vaisseaux parfaits** ou **Trachées** pour la sève
(ponctuations **aréolées**)
 - + **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

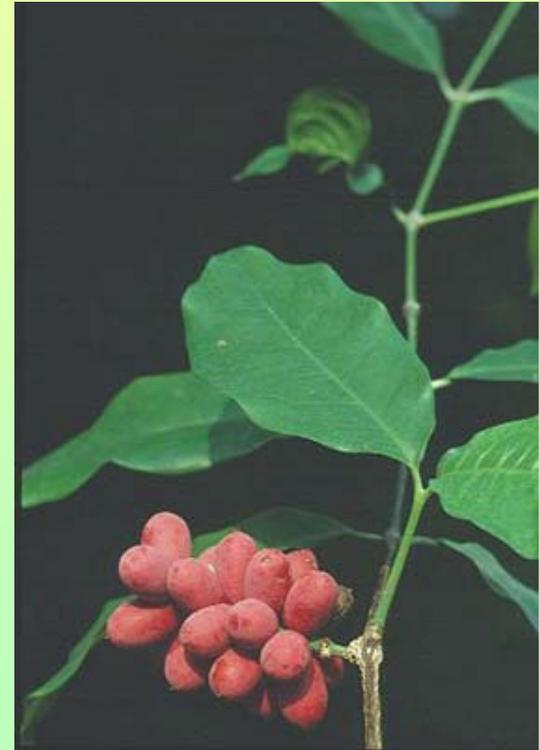
la double fécondation n'est donc pas effective, elle n'est pas homologue de la double fécondation des Angiospermes (non héritée d'un ancêtre commun).

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

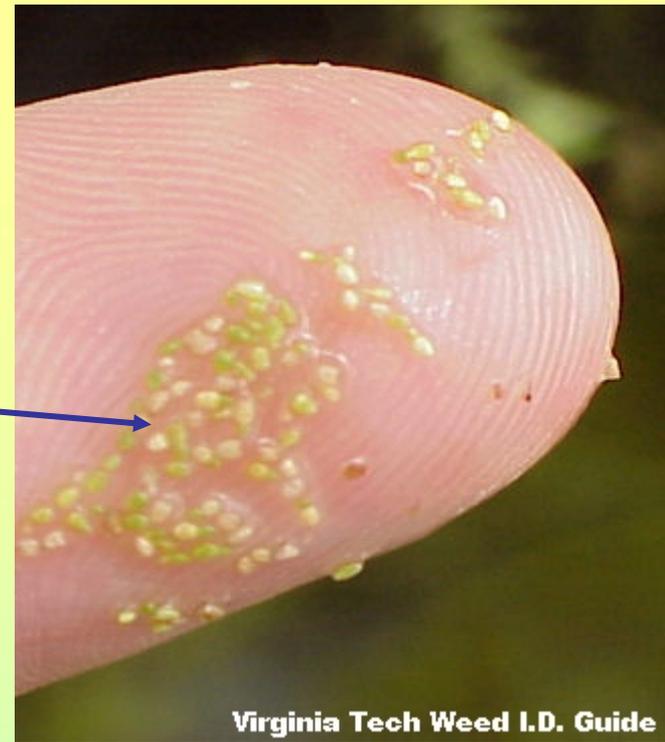
- ▶ ovule(s) dans **cavité close** : **Ovaire** (formé de 1 ou plusieurs carpelles)
- ▶ graine(s) dans **fruit**
- ▶ **vraie fleur**
- ▶ **double fécondation effective**
- ▶ bois **hétéroxylé** (vaisseaux parfaits + parenchyme ligneux)
- ▶ "apparition" à la **fin du Jurassique** (ère II^{aire}), en **expansion** 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....

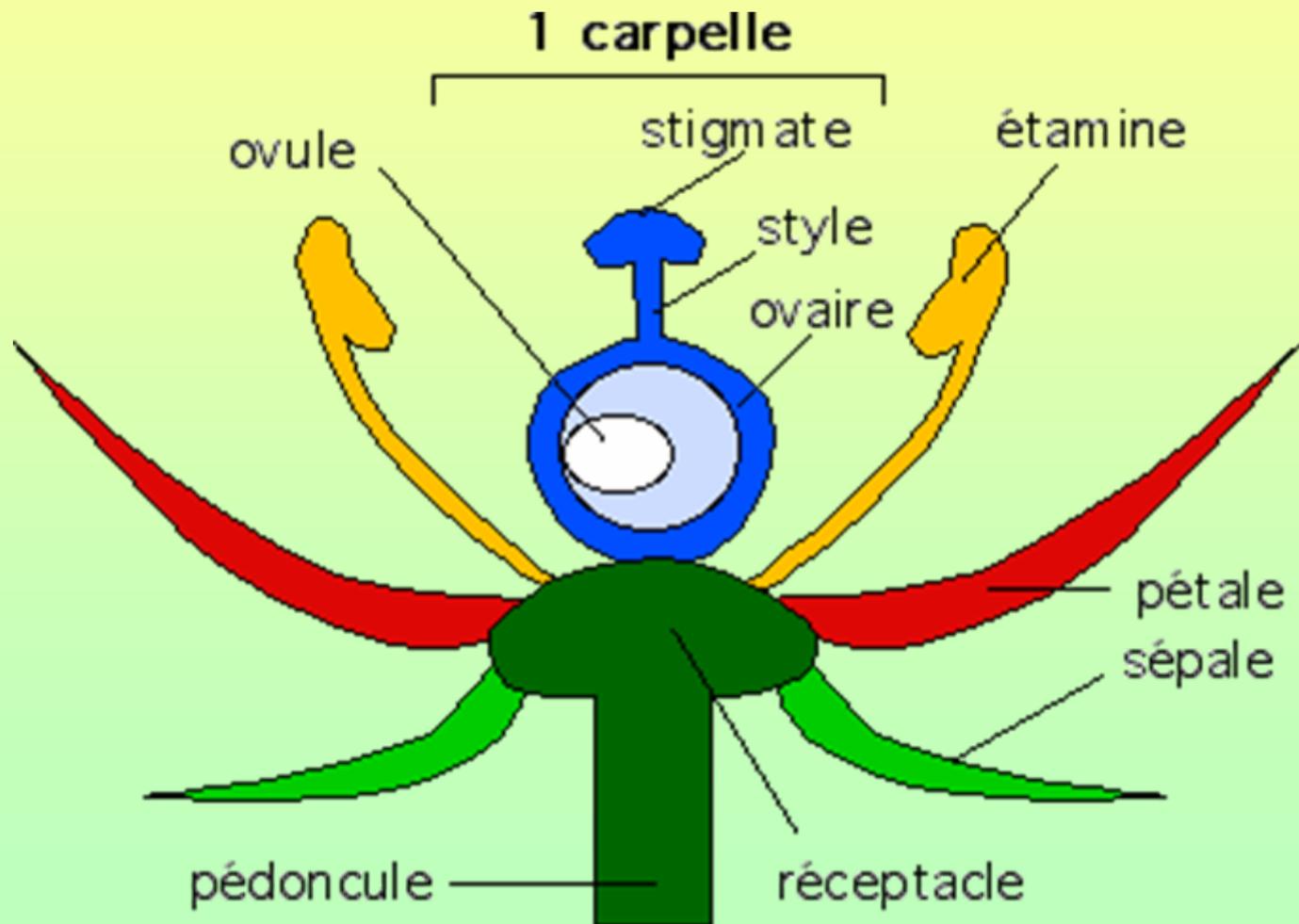
+ eaux douces ou marines



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

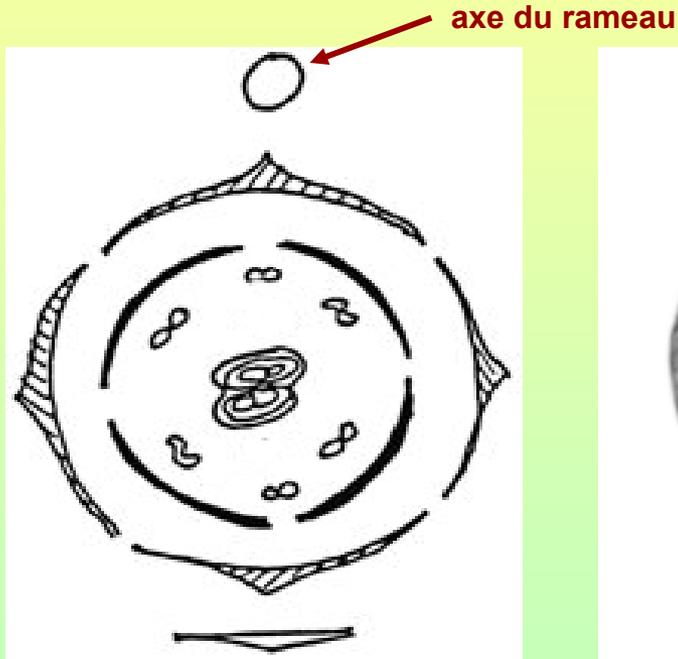
ex Brassicacées (ex-Crucifères) :

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

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

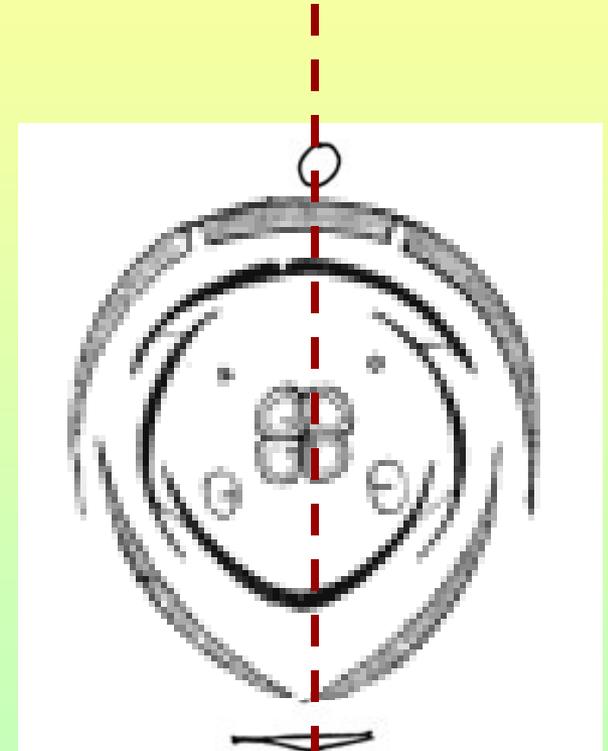
c) diagramme floral

représentation théorique et schématique des différentes pièces d'une fleur



plusieurs plans de symétrie :
fleurs actinomorphes

bractée florale



1 seul plan de symétrie :
fleur zygomorphe

d) rôle des pièces florales

- ▶ **Sépales S (Calice)**, le plus souvent verts : rôle protecteur
- ▶ **Pétales P (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**
- ▶ sépales et pétales forment le **Périanthe**
- ▶ Quand sépales et pétales plus ou moins identiques : **Tépales T**

► **appareil reproducteur :**

Etamines E (Androcée) et Carpelle(s) C (Gynécée ou Pistil)

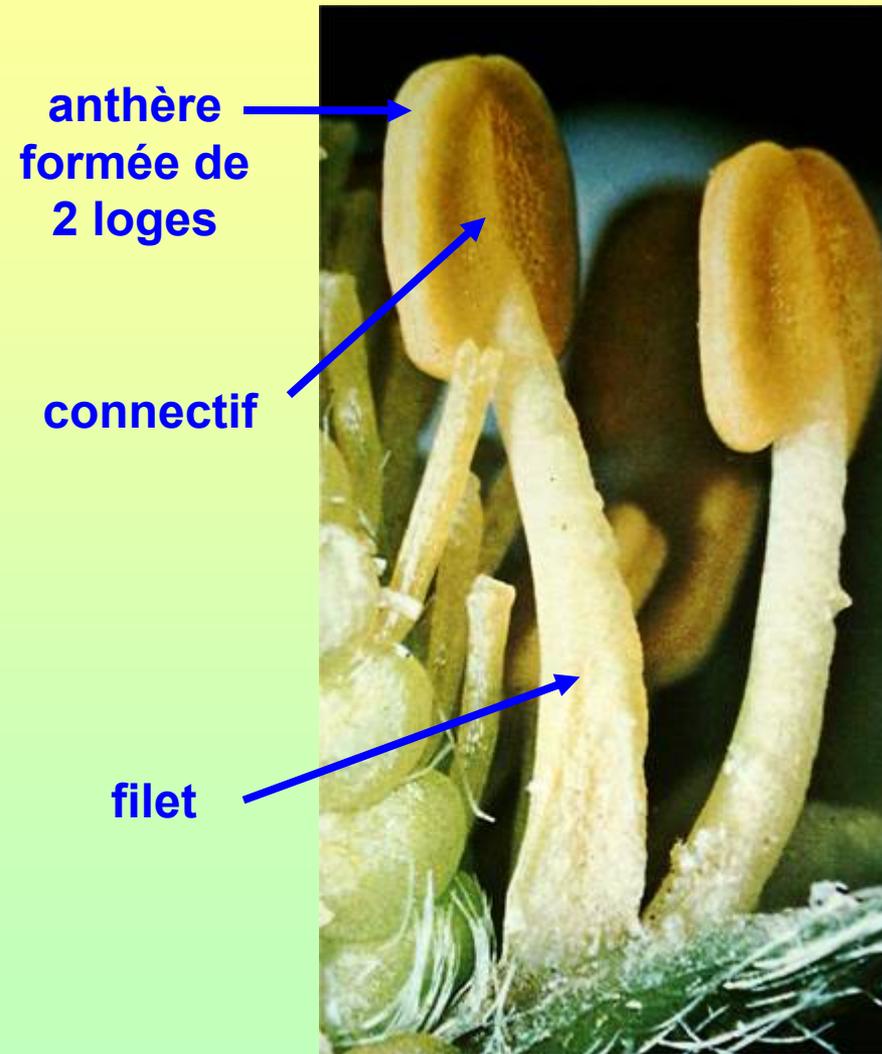
+ les 2 sexes sur la même fleur : fleur **hermaphrodite**

+ 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

1 à n ou ∞ étamines



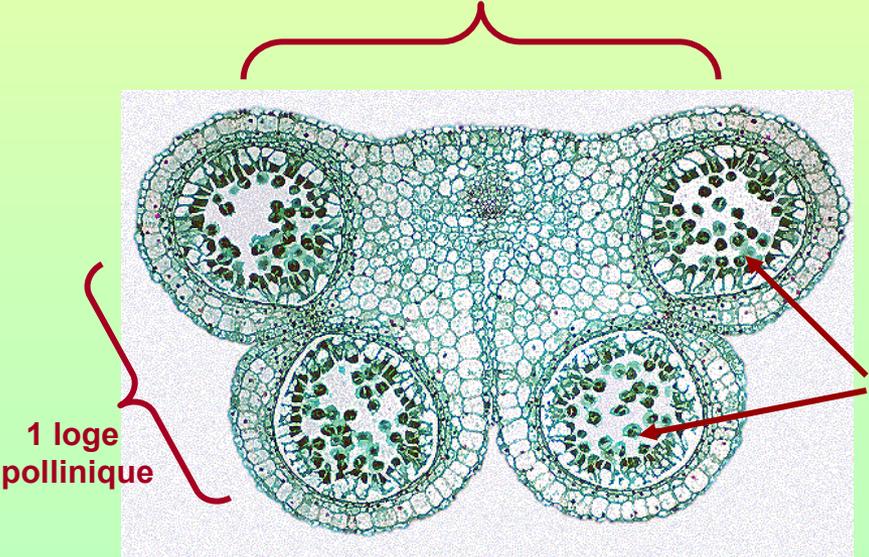
une étamine stérile : staminode

Formation du pollen

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

coupe transversale dans une anthère

anthère



loge déhiscente

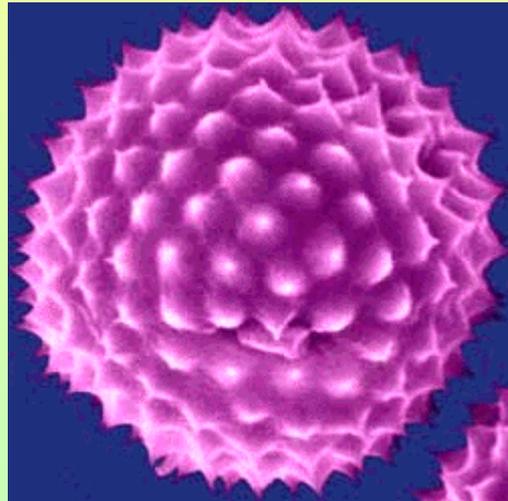
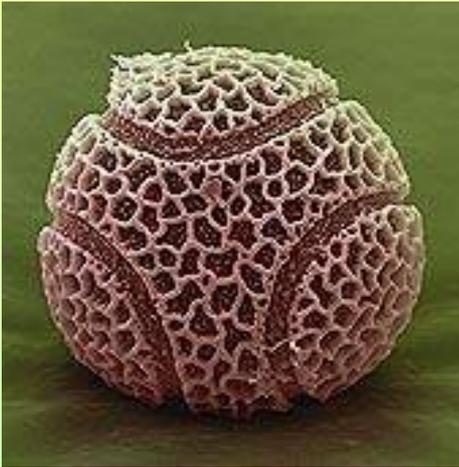


grains de pollen = **gamétophytes mâles** réduits à 2 ou 3 cellules :

1 ou cellules végétatives

+ 1 cellule reproductrice qui formera

2 gamètes mâles.

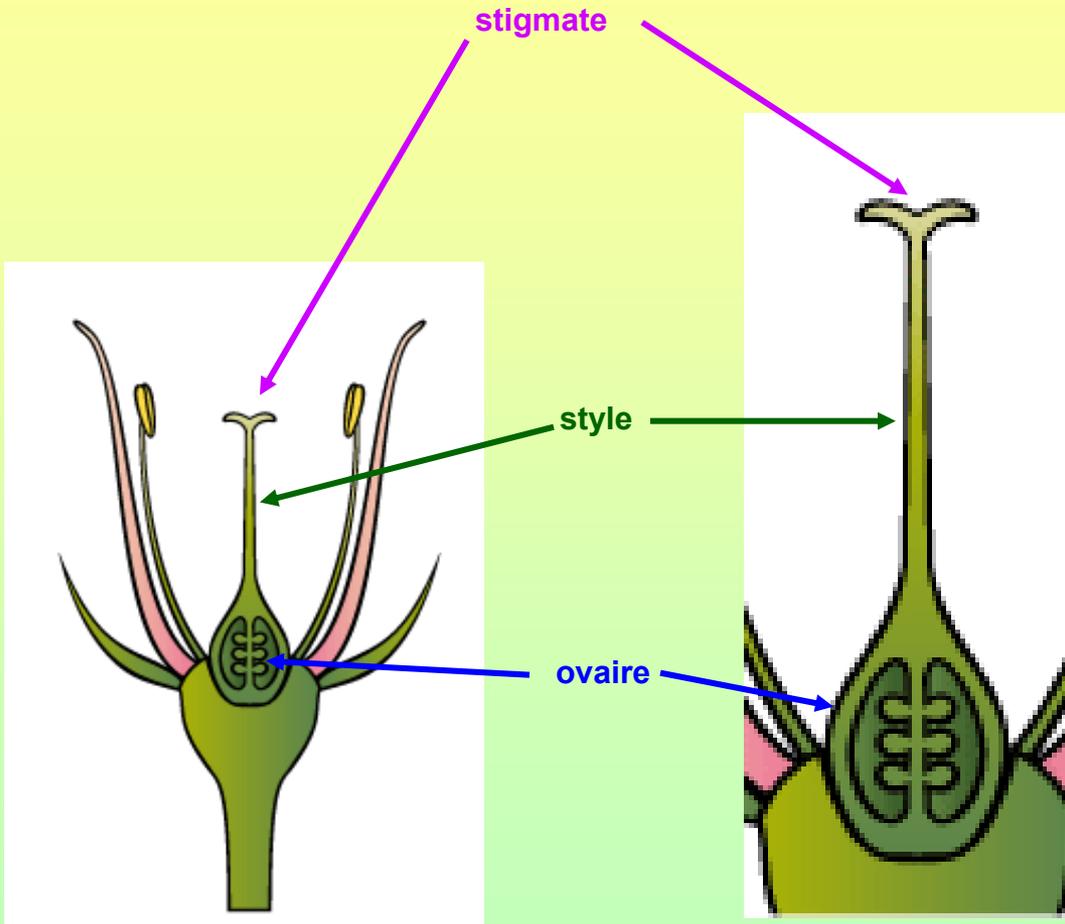


La paroi externe du grain de pollen, très résistante, s'appelle l'**EXINE**

Viabilité du pollen : de quelques heures (Poacées) à quelques jours
(plusieurs mois ?)

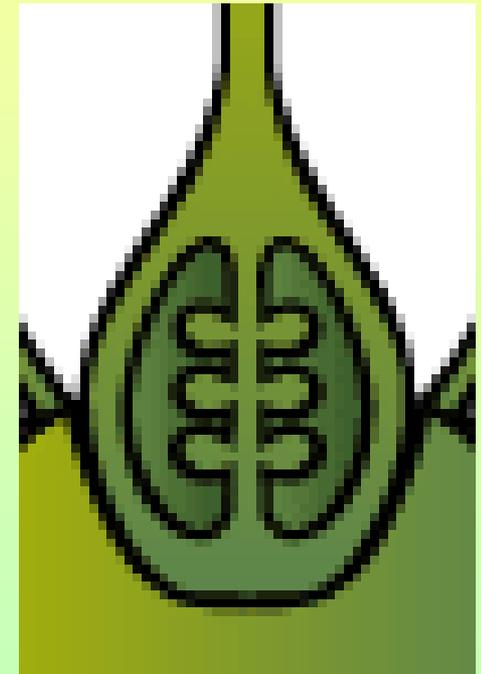
Gynécée ou Pistil

de 1 à n carpelles (libres ou soudés)



fleur complète

Pistil ou Gynécée



détail Ovaire
contenant les
Ovules

l'ovaire contient de 1 à plusieurs millions d'ovules (Orchidacées)

ovule des Angiospermes

micropyle

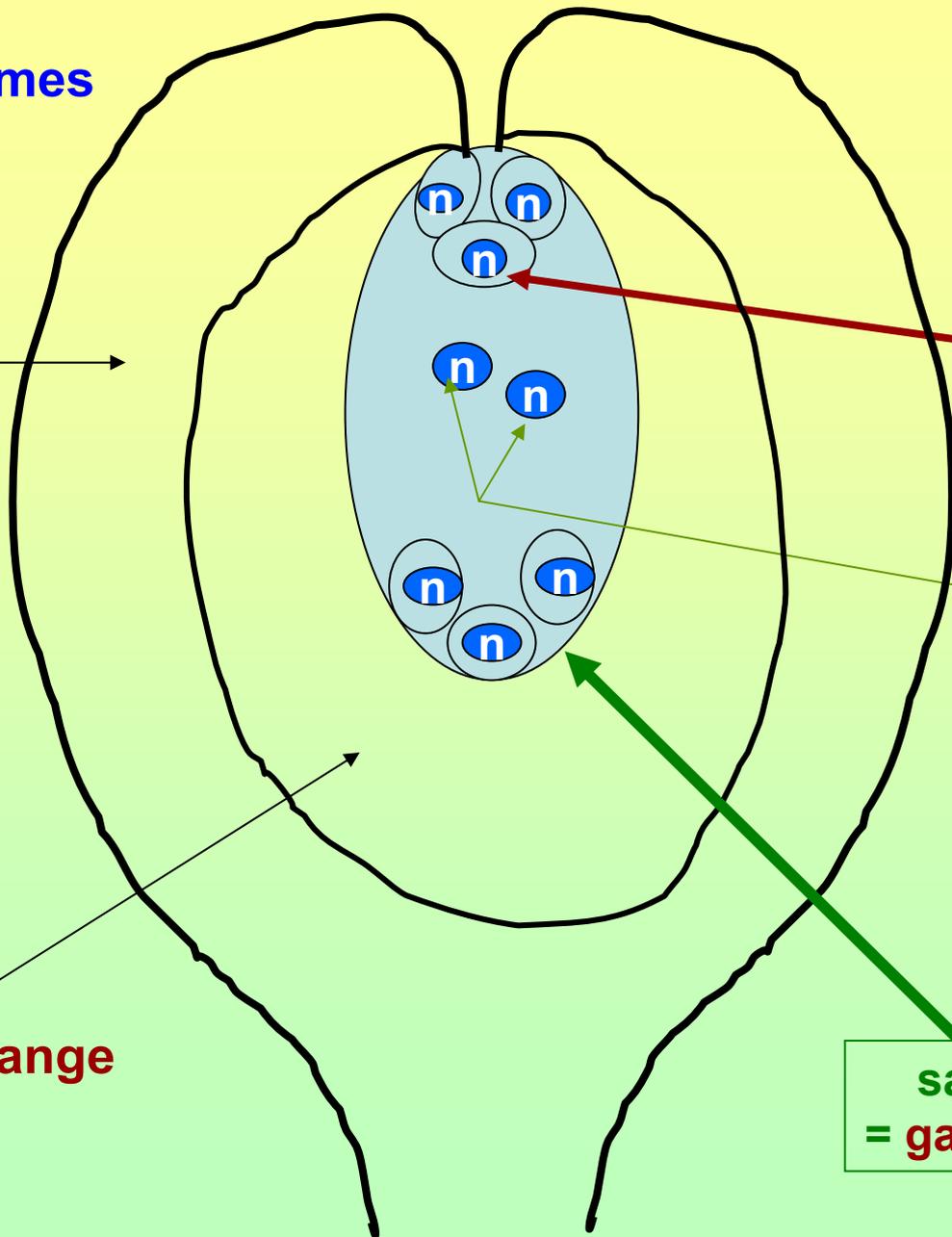
tégument

**oosphère
(gamète femelle)**

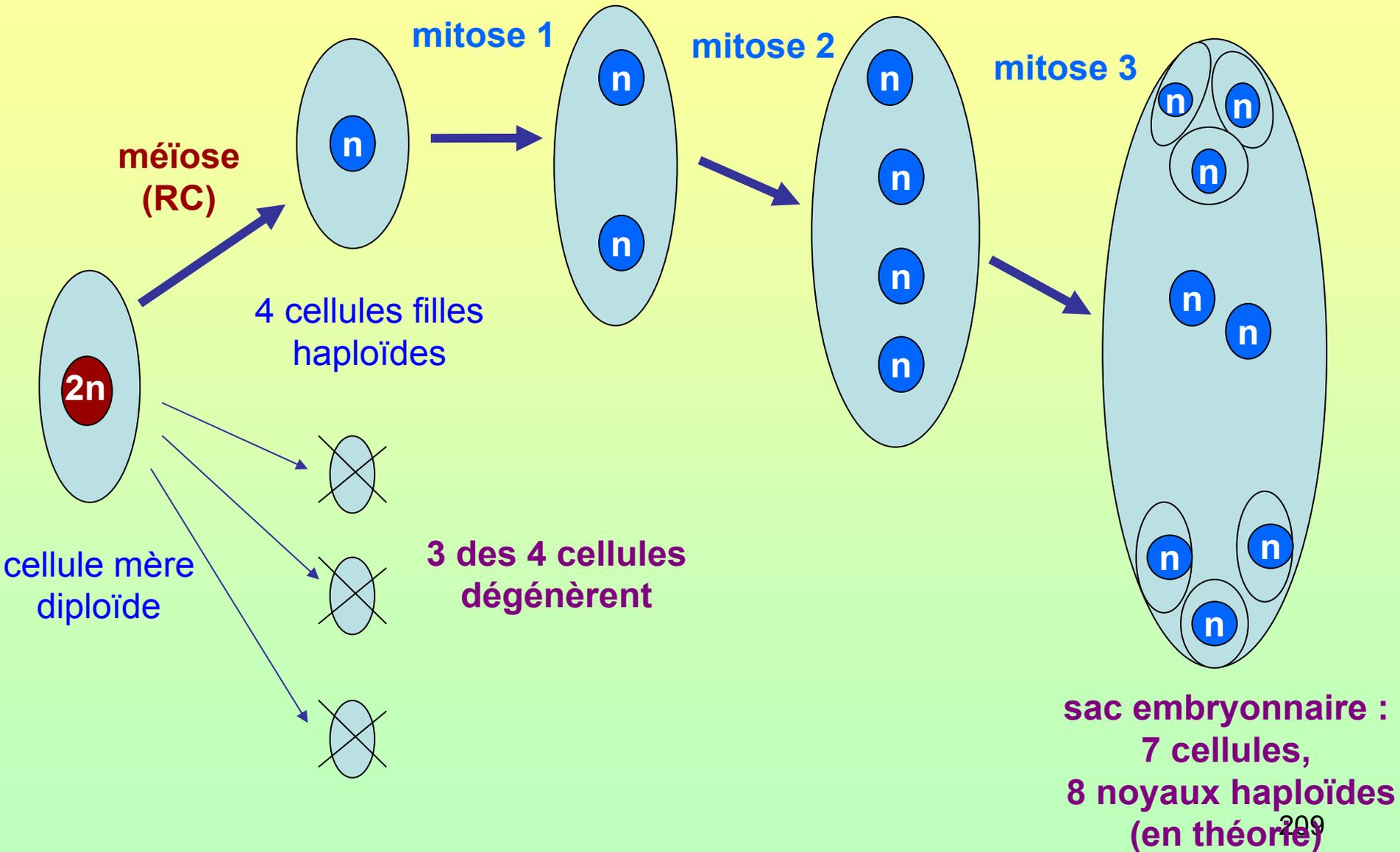
**2 noyaux polaires
(ou accessoires)**

**nucelle
(=macrosporangie
femelle)**

**sac embryonnaire
= gamétophyte femelle**



Formation du sac embryonnaire



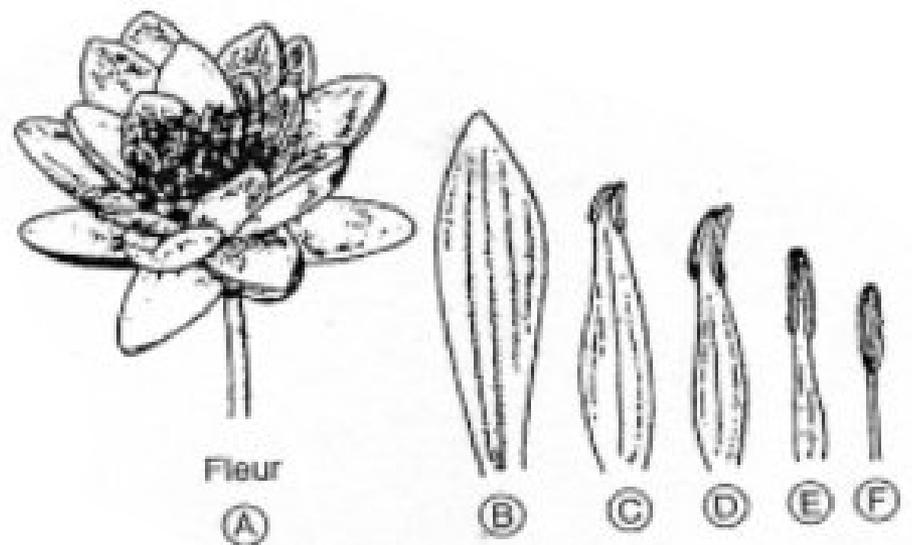
e) origine des pièces florales

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

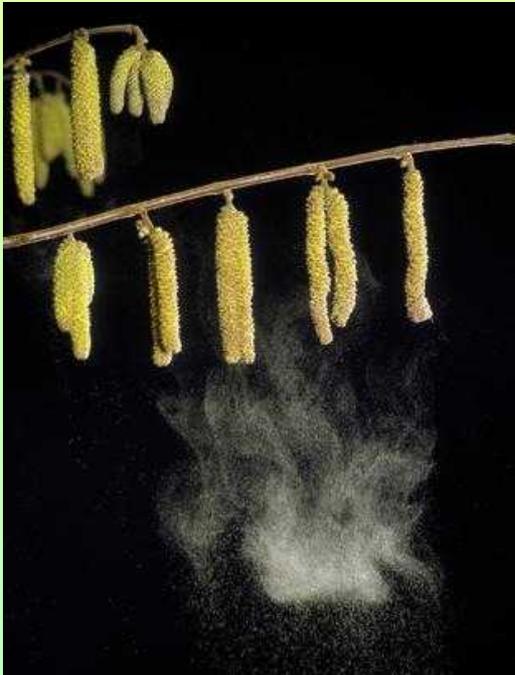
a) pollinisation

= **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

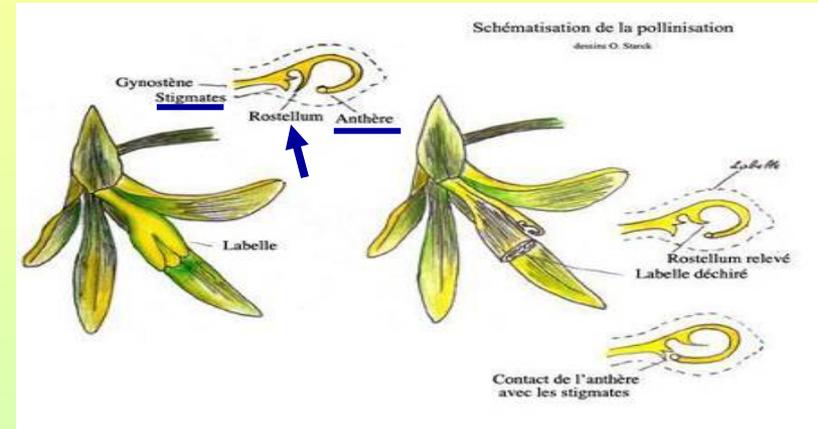
3. par l'eau : hydrogamie

(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 ?

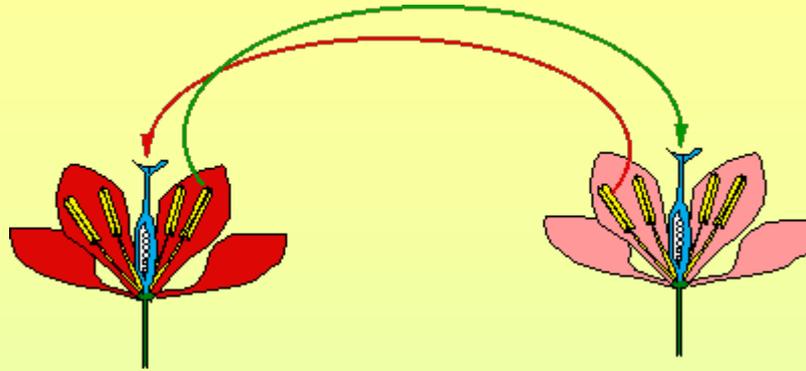
* pollinisation directe ou autogamie



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

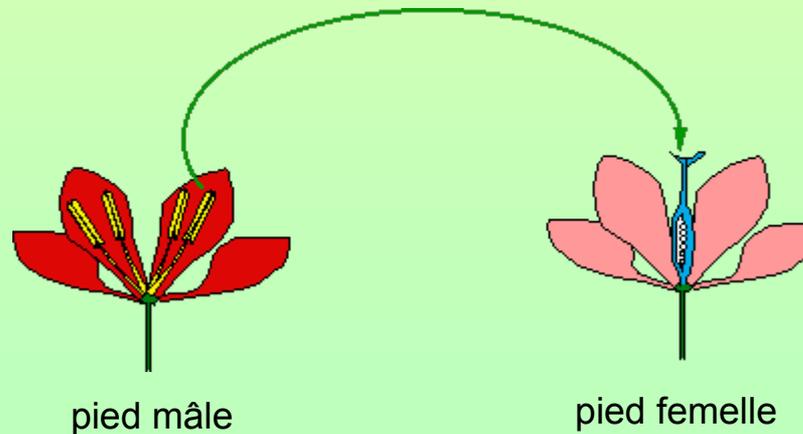
même patrimoine génétique, **pas de brassage génétique**

* 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 **protérogyne**

+ **disposition** des étamines et des stigmates d'une même fleur gênant ou empêchant l'autopollinisation (étamines sous le stigmate).

+ **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**)

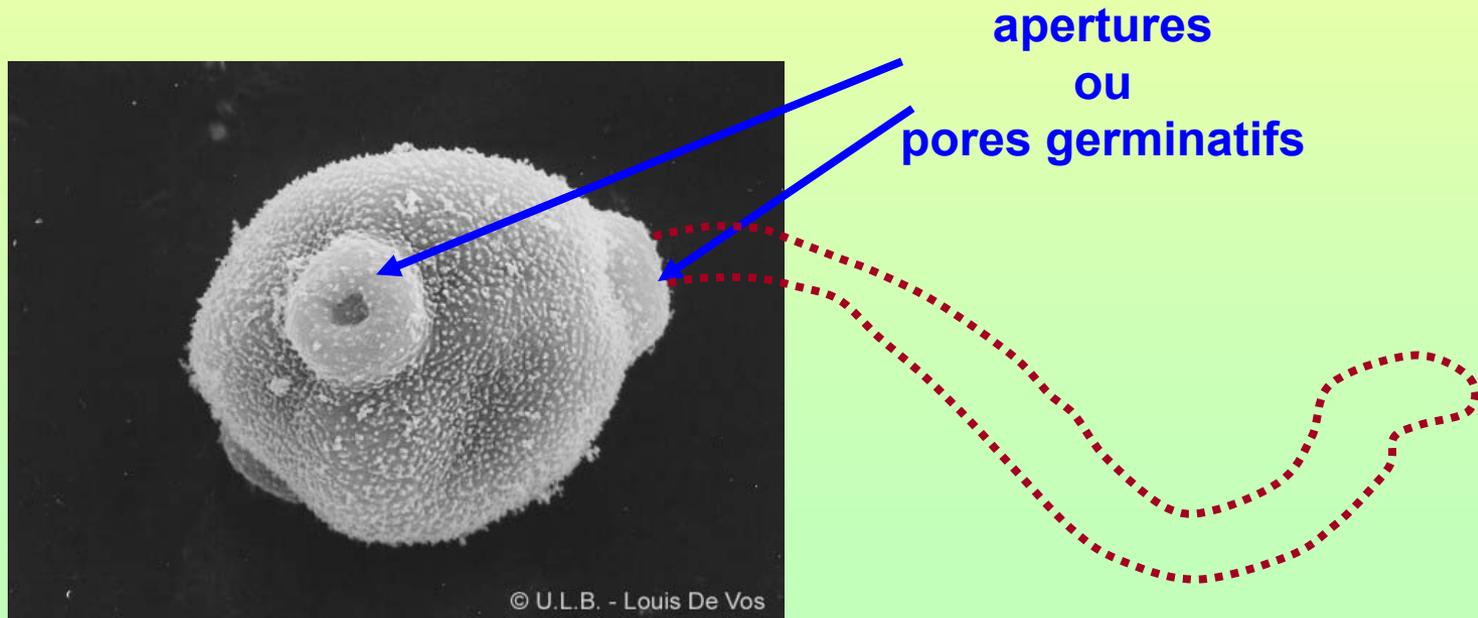
+ le plus souvent, **combinaison** de plusieurs facteurs....

b) fécondation

2 étapes : germination du grain de pollen puis fécondation proprement dite

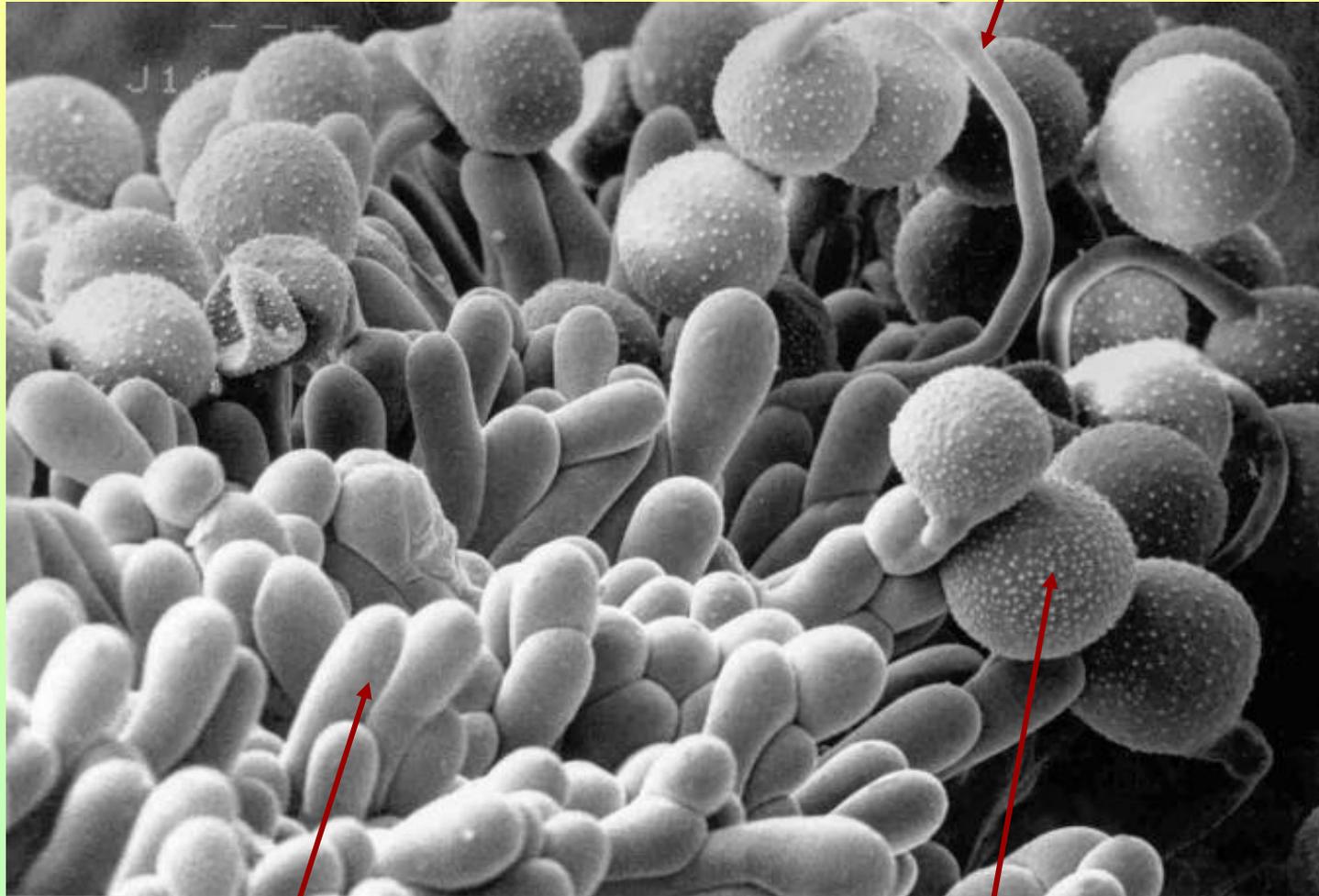
germination du grain de pollen :

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



Germination du pollen sur le stigmate

(vue au microscope électronique)



tube pollinique

papilles du stigmate

grains de pollen

Germination du pollen

(vue au microscope en fluorescence)

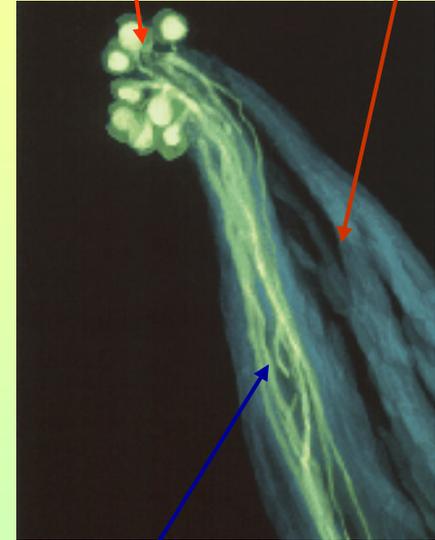
grain de pollen



tube pollinique

grains de pollen

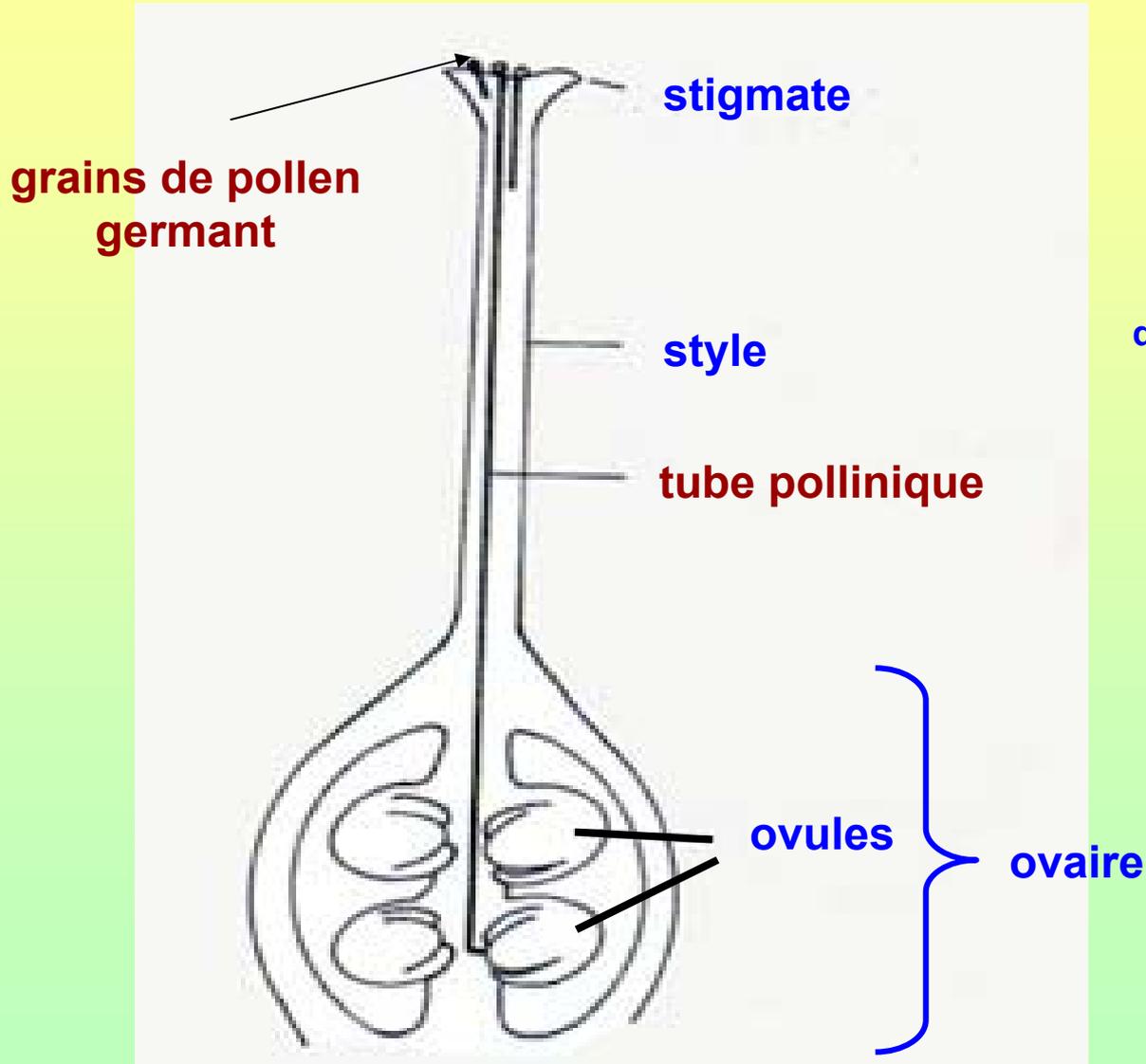
tissus du style



tubes polliniques

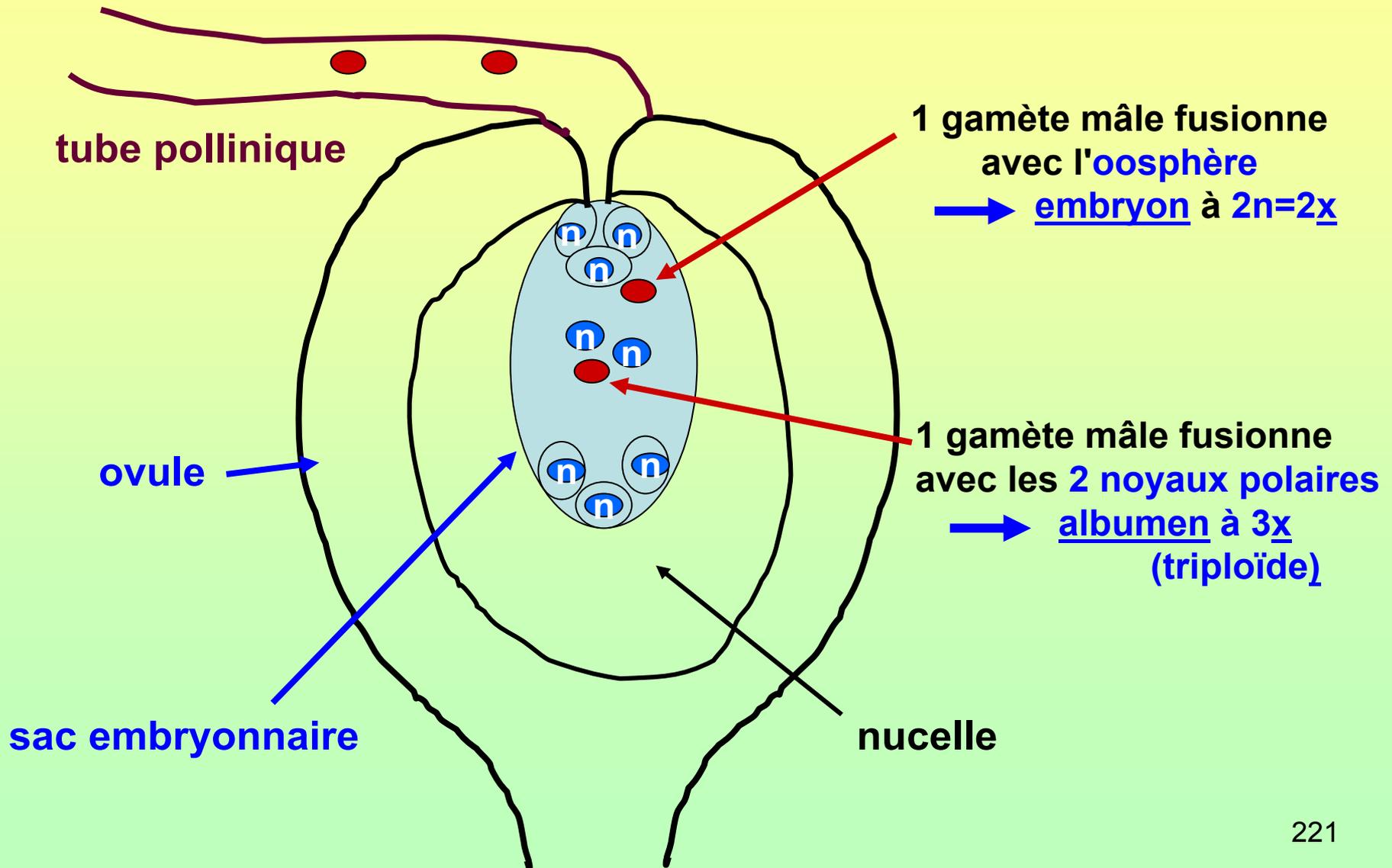
le tube pollinique mesure de quelques mm à plusieurs dizaines de cm

Germination du pollen



de très nombreux grains de pollen germent, il y a de 1 à plusieurs millions d'ovules à féconder

* 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)

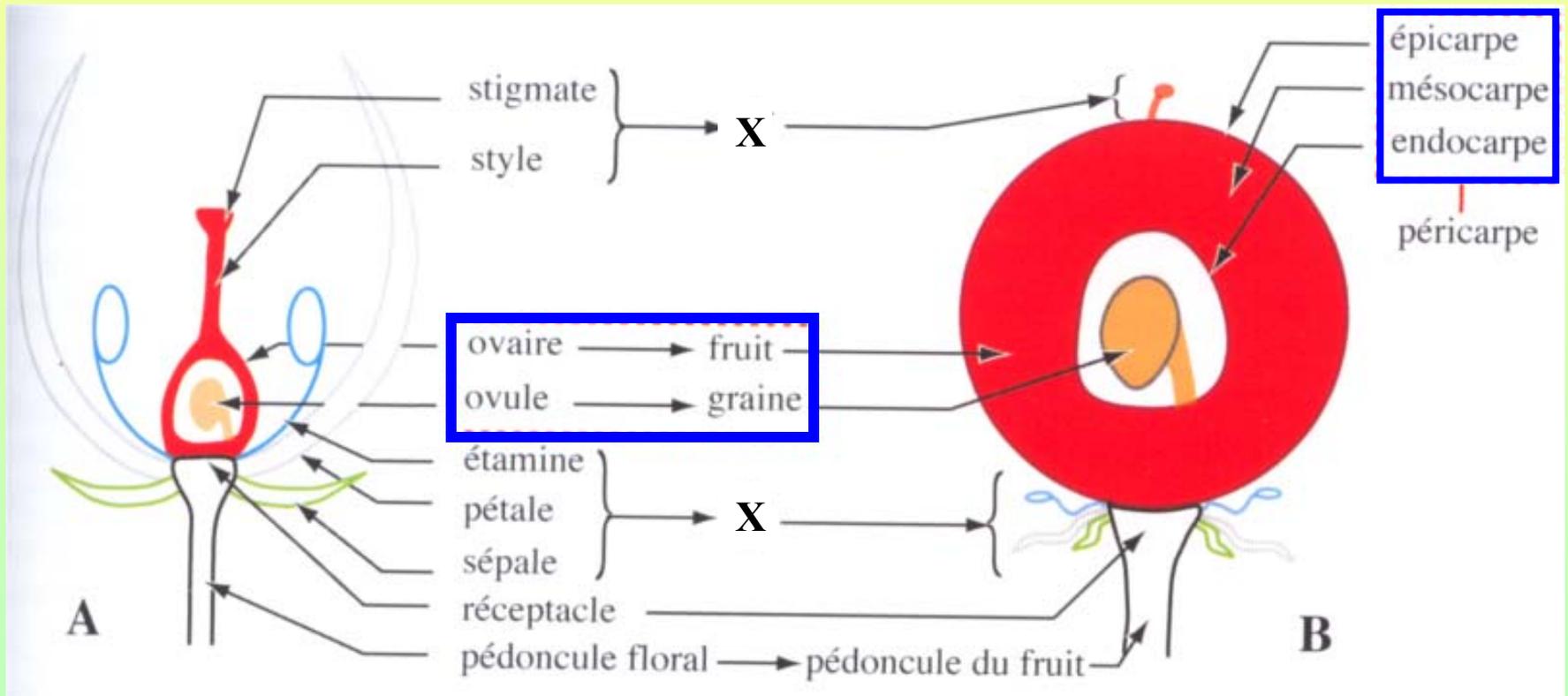


40 cm

225

d) fruit

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



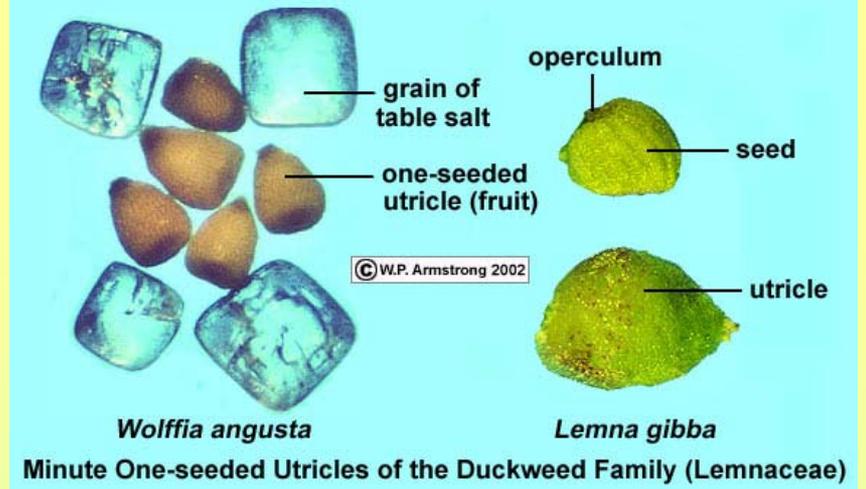
Poids :
de moins de 1/10 mg
à plusieurs centaines de kg !



668kg

courges

**2006
683kg**



0.3mm env. 70µg



**2007
768 kg**

2009 : 782 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

Bryophytes

Ptéridophytes

gamétophyte
n chromosomes



protonéma
+ plante feuillée



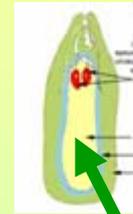
prothalle



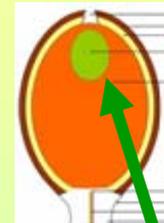
mâle : pollen



mâle : pollen



femelle :
endosperme



femelle :
sac embryonnaire

sporophyte
2n chromosomes



sporogone



plante feuillée



plante feuillée



plante feuillée

Fin de la deuxième partie