



Fête de la Nature 2014

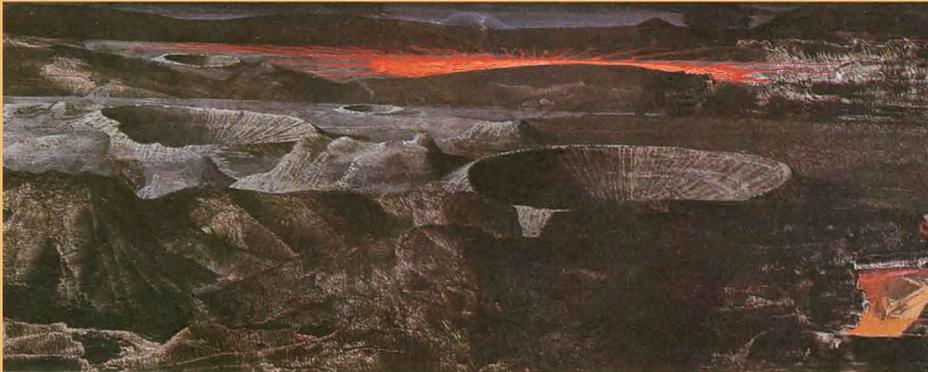
**Comment les fossiles racontent
l'histoire des plantes ?**

La Terre primitive



**L'âge de la Terre :
un peu plus de 4 500 millions d'années**

Immédiatement après sa formation la Terre montre une surface constituée de roches en fusion, soumise à une intense activité volcanique et météoritique. Absence d'oxygène.



Puis la croûte terrestre se solidifie lentement. L'activité météoritique se raréfie. Les gaz évacués par les volcans constitués de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et d'hydrogène vont former la première atmosphère.

Croûte solide et cratères de météorites

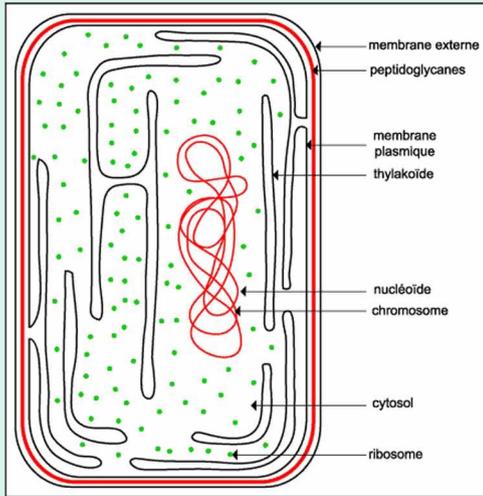


A 3 800 millions d'années, la vapeur d'eau s'est condensée et est tombée sous forme de pluies intenses, provoquant les premiers processus d'érosion et de sédimentation. Les premiers océans baignent les rivages des nouveaux continents. Il n'y a pas de vie sur la terre ferme.



Les cyanobactéries

La **vie** est apparue dans les océans vers 3 800 millions d'années sous forme de cellules du type des bactéries.

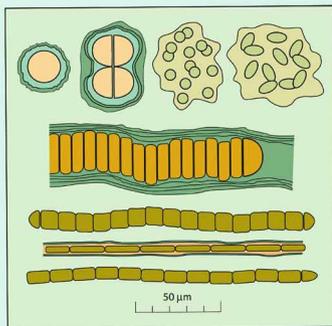


Mais la grande révolution de la vie est l'apparition des cyanobactéries (anciennement appelées algues bleues). Ces bactéries possèdent un pigment, la chlorophylle, qui permet la **photosynthèse** : grâce à l'énergie solaire, absorption de CO₂ et d'eau et rejet de l'oxygène.

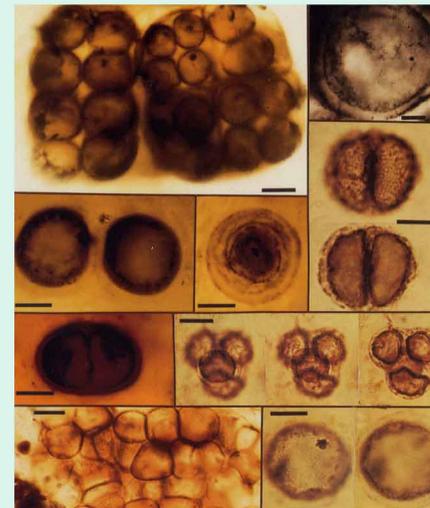
Elles sont responsables de l'**oxygénation des océans puis de l'atmosphère** vers 2 400 millions d'années.

Les cyanobactéries sont à l'origine des stromatolites.

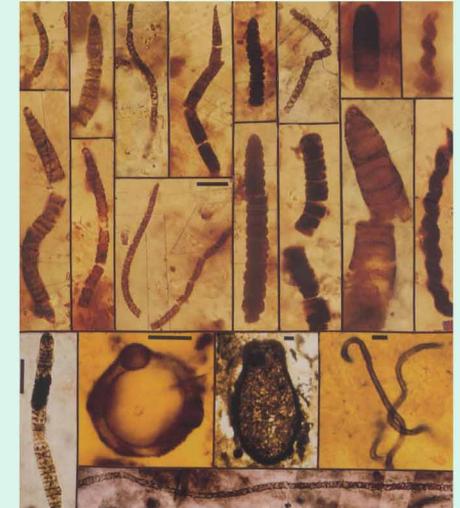
Schéma d'une cellule de cyanobactérie
Source Univ. Lille 1



Les cellules de cyanobactéries sont regroupées en filaments ou en colonies

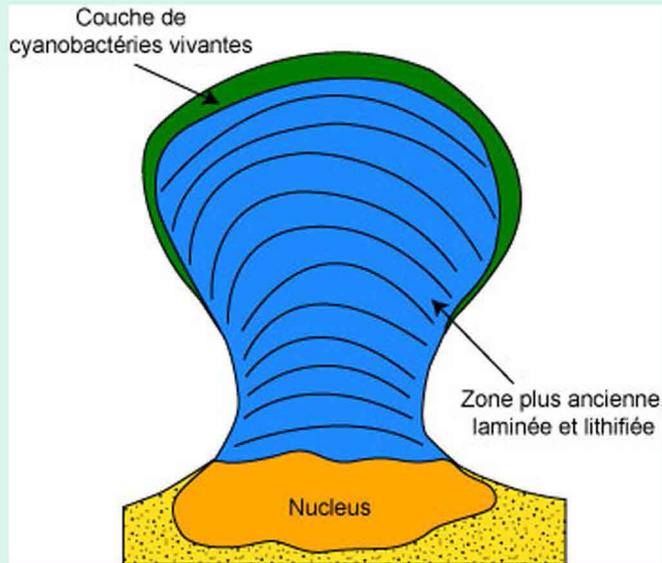


Cyanobactéries filamenteuses dans des roches de 850 MA à 2,1 milliards d'années. D'après Schopf, 1999



Cyanobactéries coccoïdes dans des roches de 770 MA à 1 milliard d'années. D'après Schopf, 1999

Les stromatolites



Les stromatolites sont des structures calcaires, laminées qui résultent d'une activité biologique (cyanobactéries) et de processus sédimentaires.

Une construction stromatolitique est constituée d'une mince couche superficielle de cyanobactéries vivantes, recouvrant une masse minérale, solide, laminée.

Dans cette couche superficielle les cyanobactéries piègent des particules sédimentaires entre leurs filaments.



Stromatolites de 2 milliards d'années en Afrique du Sud
McCarty et Rubdige 2005



Protérozoïque du Québec
hauteur = 60 cm



Tertiaire de Limagne
taille = env. 10 cm



Stromatolites actuels, Shark Bay, Australie

Les stromatolites sont connus du Précambrien à l'Actuel.

La fossilisation des plantes

De nombreux types de roches sédimentaires peuvent contenir des fossiles végétaux :

- grès fins, argiles, calcaires
- travertins
- tourbe, houille et certains schistes
- sédiments lacustres et marins.



Empreinte de *Pecopteris*,
Carbonifère supérieur



Feuille de hêtre, Pliocène

Les macrofossiles

Ce sont les organes végétaux conservés dans les sédiments : graines, feuilles, fleurs, ou encore tiges et racines, identifiables le plus souvent au niveau du genre, plus difficilement au niveau de l'espèce.

- Les **compressions** et **empreintes** en 2 dimensions : la plante (ou une partie, une feuille par exemple) est aplatie.
- Les **moulages** en 3 dimensions.
- Les **minéralisations** en 3 dimensions. Les tissus sont imprégnés par des minéraux qui conservent leur structure à l'identique. La minéralisation se fait généralement par de la silice, parfois par du carbonate de calcium ou de la pyrite.

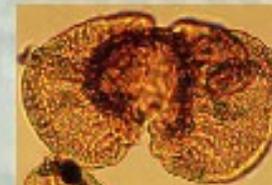


Ovule de fougère,
Permien

Parmi les plus spectaculaires formes de fossiles de plantes se trouve le bois silicifié.

Les microfossiles

- Spores (par ex. de fougères)
- Grains de pollen.



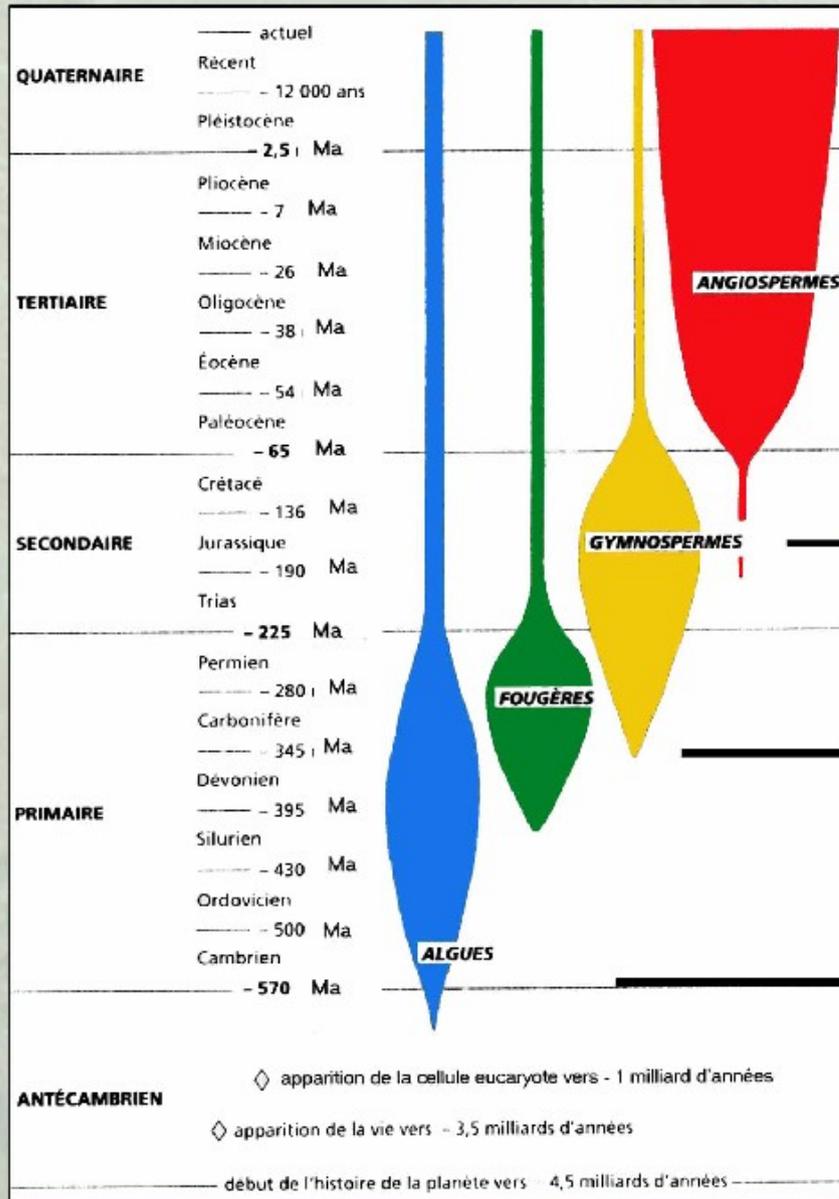
Spore de sélaginelle(?) Grain de pollen (conifère)
Crétacé inférieur, in Wei-ben Li, 2003



Tronc fossile, Trias
Petrified Forest, USA



Grands groupes végétaux au cours des temps géologiques



Magnolia



Fleur et fruit d'églantier
Source: visiflora.com



Poirier en fleurs



Ginkgo biloba



Cycas revoluta



Araucaria



Fougères avec sporanges



Dicksonia antarctica



Fougères arborescentes



Algue verte
(*Cladophora*)



Algue verte
(*Ulva*)



Algue rouge
(*Corallina*)



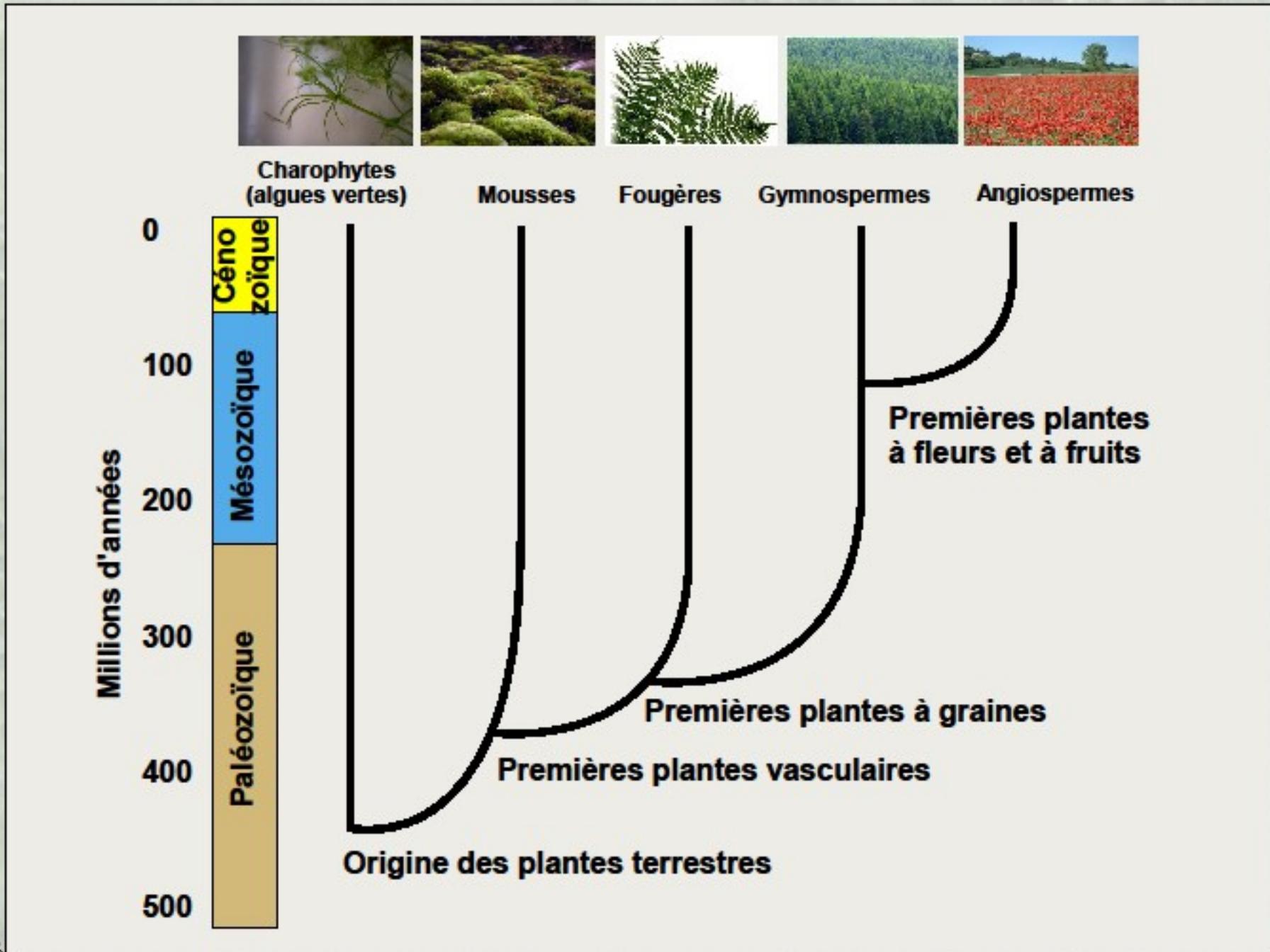
Algue brune
(*Laminaria*)

Quelques représentants actuels

D'après Raynal-Roques, 1994



Diversification des plantes terrestres



Les algues

La notion d'algues n'a plus actuellement de signification sur le plan systématique.



Les algues ont été les premières plantes à coloniser les mers.

Elles sont **photosynthétiques** : elles utilisent l'énergie solaire pour synthétiser des glucides à partir de l'eau et du CO₂.

Elles sont constituées de **thalles** et n'ont ni racine, ni tige, ni feuille. Certains pigments cachent parfois la couleur verte de la chlorophylle (algues rouges et brunes).

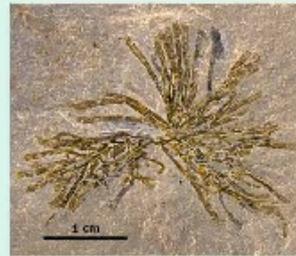
Elles ont laissé peu de fossiles. La plus ancienne algue verte identifiée avec certitude, proche de *Cladophora*, a été trouvée dans des couches datées de 800 millions d'années au Spitzberg.



Algue rouge
Eocène, Italie



Algue rouge
Jurassique, Grande-Bretagne



Algue verte
Cambrien, Utah



Une des premières flores terrestres : Rhynie (Ecosse) il y a 400 millions d'années

Représentants actuels



Psilotum



Lycopodium



Selaginella

Saga

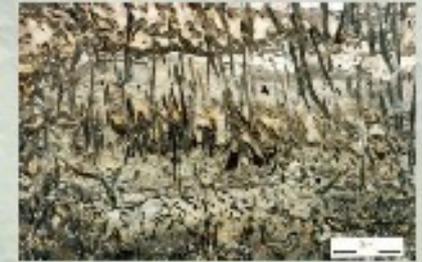
Les premières flores terrestres sont apparues au **Silurien** (415 millions d'années environ) et se sont diversifiées au **Dévonien**.

C'est l'époque de l'apparition de la **tige** aérienne dressée et du **rhizome** (tige souterraine).

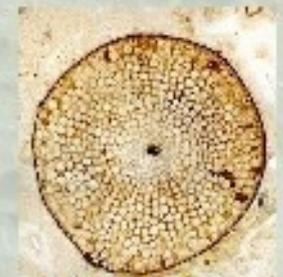
La tige porte au sommet un organe reproducteur (**sporange**), mais ne dépasse pas quelques dizaines de centimètres, et la reproduction reste tributaire du milieu aquatique.

Le **gisement de Rhynie** en Ecosse a fourni un grand nombre de ces fossiles particulièrement bien conservés.

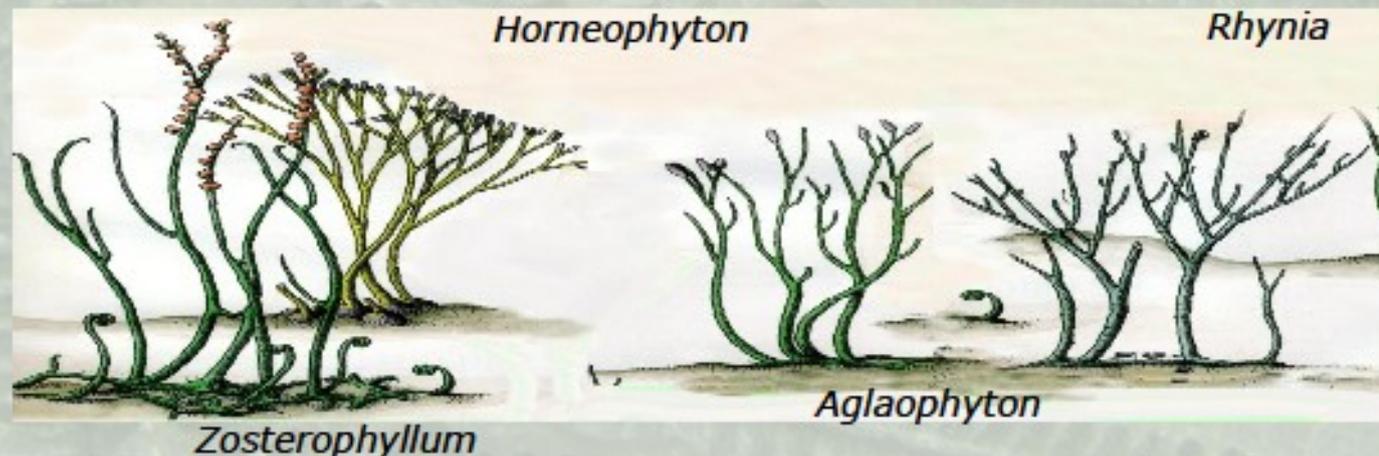
Fossiles



Rhynia



Rhynia
coupe d'une tige



Du Silurien au Dévonien : de la sortie des eaux aux premières forêts



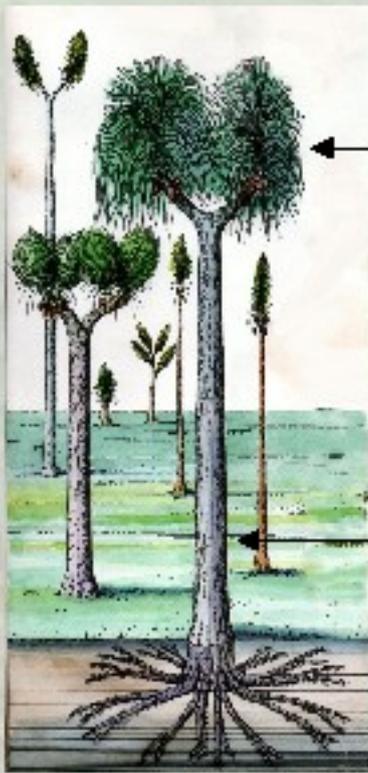
Paysage du Silurien



Forêt de la fin du Dévonien

Au **Dévonien**, les végétaux se sont considérablement diversifiés et leur morphologie a beaucoup changé : accroissement des hauteurs (grâce à la **vascularisation** qui améliore la distribution de la sève et à la **lignification** qui rigidifie le tronc) et apparition des feuilles.

Des rhizomes, des troncs et des feuilles



D'après *Les Iles du temps*
Editions Le Pommier

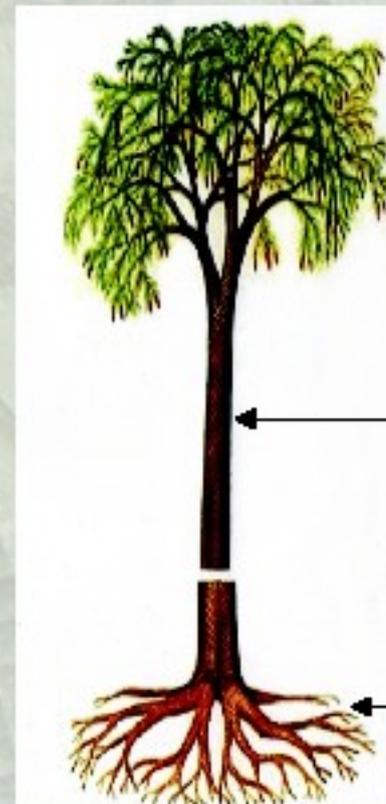
Sigillaria



Sigillariostrobus



Sigillaria



Lepidodendron



Lepidostrobus



Lepidodendron



Stigmaria

Les **forêts du Carbonifère**, riches de nombreuses espèces de végétaux, comprenaient des plantes arbustives et surtout de grands arbres pouvant atteindre trente mètres de haut. Parmi ceux-ci, **Sigillaria** et **Lepidodendron** sont connus par de nombreux restes auxquels on a donné des noms différents : **Stigmaria** pour les rhizomes, **Sigillaria** et **Lepidodendron** pour l'écorce, **Sigillariophyllum** et **Lepidophloios** pour les feuilles, **Sigillariostrobus** et **Lepidostrobus** pour les sporanges groupés en gros épis.

Les fougères à spores

Apparues au **Dévonien**, vers 410 millions d'années, les fougères (plantes à vaisseaux conducteurs de sève) s'épanouissent au **Carbonifère**, formant pour partie la flore houillère il y a 360 millions d'années.

Les fougères sont constituées d'un **rhizome** et d'une longue tige surmontée de grandes **frondes** portant de nombreuses petites feuilles (**pinnules**).

Archaeopteris



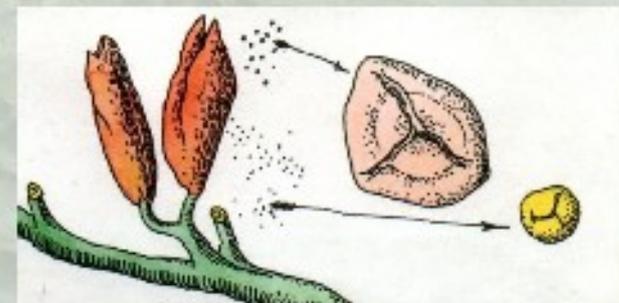
Archeopteris (fronde)



Fronde fertile



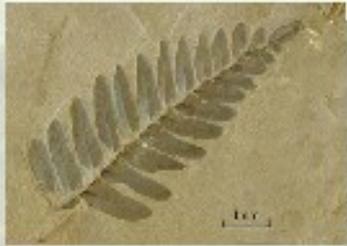
Psaronius (coupe de stipe « tronc »)



Sporanges et spores

Le groupe des fougères se reproduisant par spores a perduré jusqu'au présent.

Les fougères à ovules



Medullosaceae
(pennes portant des pinnules)

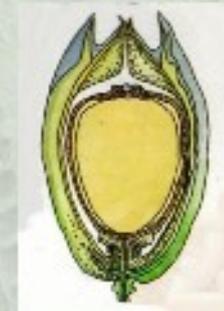


Trigonocarpus (ovule)

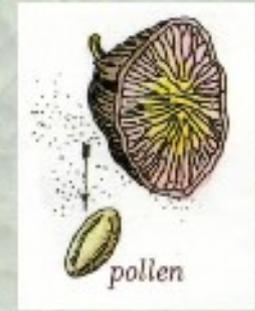
Medullosa



Ovule



Coupe de l'ovule



Organe mâle

Ces fougères constituent une lignée intermédiaire entre les fougères à spores et les végétaux plus évolués, qui génèrent des graines. Elles présentent l'aspect des premières, tout en adoptant un cycle de reproduction très différent : l'**ovule**, appareil reproducteur femelle, est fécondé par un grain de pollen, mais ne produit pas de graine et constitue néanmoins une structure robuste chargée de réserves.

Cette innovation représente un perfectionnement permettant la reproduction dans des milieux moins humides ; cet acquis évolutif a été repris par la majorité des plantes terrestres qui ont succédé aux fougères.

Le groupe des fougères à ovules a cependant disparu à la fin de l'ère Primaire, voici environ 245 millions d'années.



Les Gymnospermes

Les Gymnospermes apparaissent au Dévonien supérieur (vers 380 millions d'années) et « dominant » le monde végétal terrestre au **Trias** et au **Jurassique**.

Les Gymnospermes (plantes à **ovules nus**) comprennent différents groupes parmi lesquels :

- les Ginkgoales qui sont connues depuis le Carbonifère,
- les Cycadales qui existent depuis la fin de l'ère Primaire,
- et surtout les Coniférales connues depuis le Carbonifère et qui constituent le groupe de Gymnospermes le mieux représenté dans la nature actuelle.

Avec les conifères apparaissent les vraies **graines**. La graine constitue une innovation très performante pour l'évolution des plantes puisqu'elle contient un embryon et des réserves. Elle favorise le transport, la protection et la nutrition de l'embryon.

Hier :



Feuille de Ginkgo
Eocène, Canada



Feuille de Cycadale
75 Ma, Californie



Pinus resurgens : rameau
et cônes, 33 Ma, France



Brachyphyllum: rameau
feuillé, 155 Ma, France

Aujourd'hui :



Ginkgo biloba



Cycas revoluta



Pin sylvestre



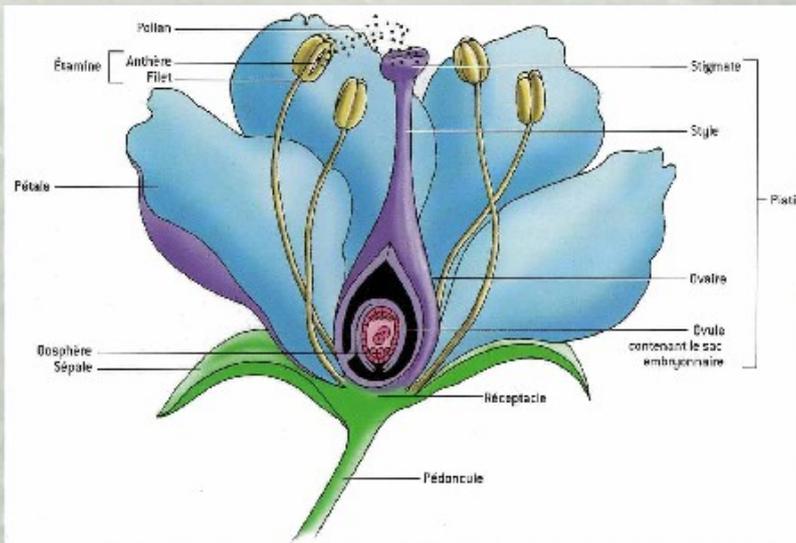
Araucaria bernieri



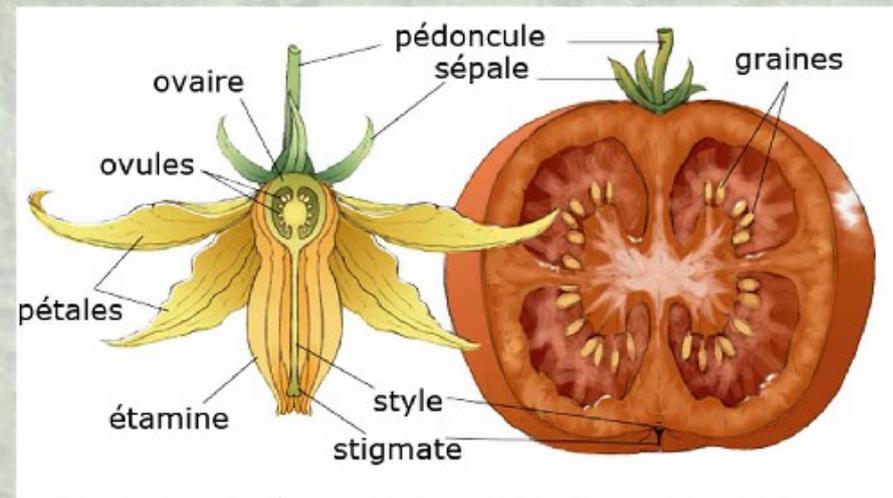
Les Angiospermes

Plantes à fleurs et à fruits

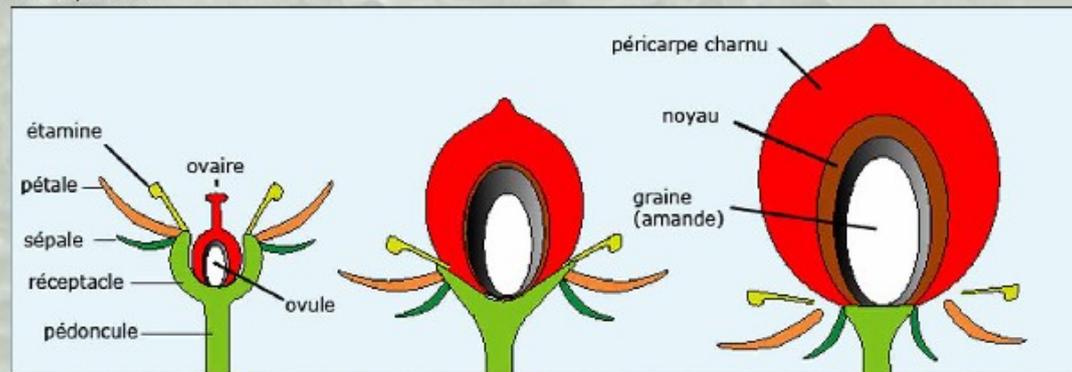
Les **Angiospermes** apportent une importante innovation dans le domaine de la reproduction. Les ovules, enfermés dans un **ovaire**, se transforment en **graines** après fécondation. Ces graines sont contenues dans un **fruit**, produit de la maturation de l'ovaire.



Structure d'une fleur
d'après Bournérias et Bock, 2006



Fleur et fruit de tomate



De la fleur au fruit : évolution schématique de l'ovaire de la cerise
Biologie et Multimédia - Université Pierre et Marie Curie



Les Angiospermes fossiles



Archaeoфраuctus liaoningensis
Chine, Crétacé
Source : Wikimedia Commons



Fleurs d'Asteraceae
Patagonie, Eocène
Photo Science/AAAS

Les **Angiospermes** sont apparues au **Crétacé**. Le plus ancien fossile connu à ce jour a été trouvé dans la formation de Jehol (Chine) et est daté de 125 millions d'années.

Elles ont colonisé toutes les zones climatiques et représentent actuellement plus de 250 000 espèces, c'est-à-dire la grande majorité des plantes terrestres.

Les Angiospermes constituent un groupe dont l'origine reste un sujet de débat.



Fleur fossile
Charente, Crétacé
Doc : Nicole Bertin



Fruits et feuilles de Theaceae
Messel (Allemagne), Eocène
in von Koenigswald et Storch, 1998



Les animaux pollinisateurs

La **pollinisation** est le processus de transport d'un grain de pollen depuis une **étamine** vers un **stigmate**. Pour beaucoup d'Angiospermes, la **fécondation est croisée** (le pollen d'une fleur est déposé sur le stigmate d'une autre fleur) et fait intervenir un animal attiré par le **nectar** secrété par la fleur : un **insecte**, un **oiseau**, ou un **mammifère** comme la chauve-souris.



Pollinisation d'une fleur de pissenlit par une abeille



Un exemple de coévolution : l'orchidée *Angraecum sesquipedale* et le papillon *Xanthopan morgani* (Madagascar)



Colibri thalassinus
Amérique du Sud et Centrale

Darwin décrit l'anatomie particulière de cette orchidée (son nectar est produit au fond d'un éperon de 30 cm de long) et prédit l'existence d'un animal pollinisateur adapté à cette morphologie. Le papillon fut découvert une quarantaine d'années plus tard.

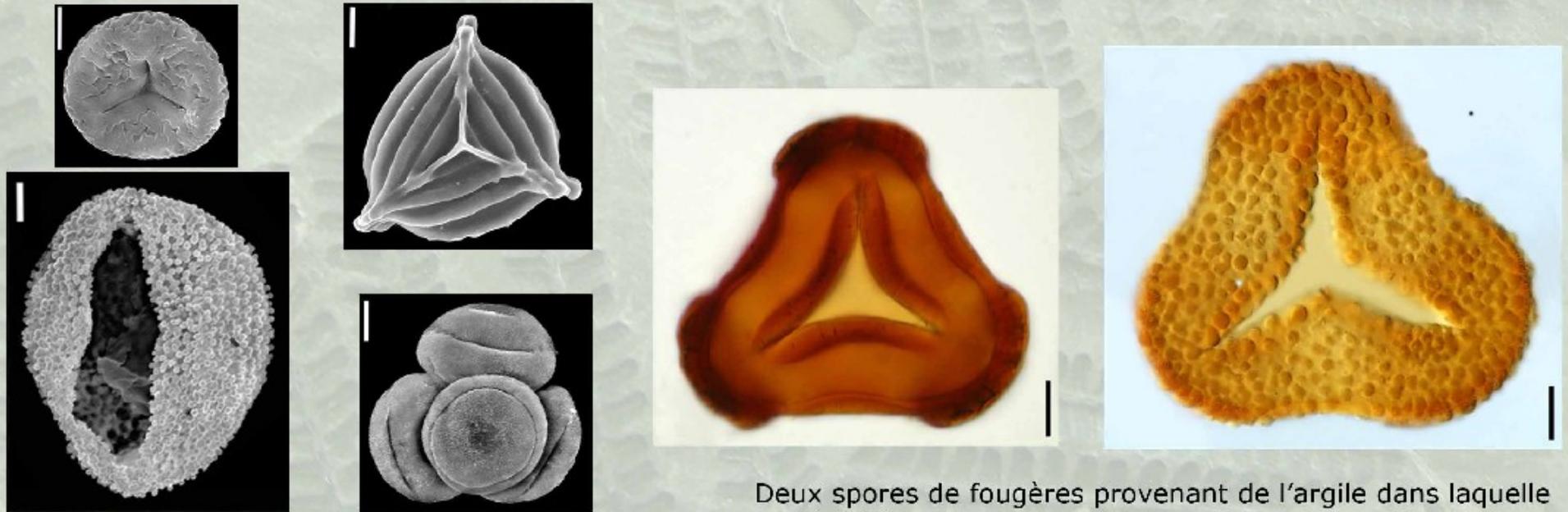


Spores et grains de pollen

Les spores et les grains de pollen sont des éléments de reproduction des végétaux, produits en très grande quantité par les plantes. Leur paroi, très résistante, peut se fossiliser.

L'étude des spores et grains de pollen conservés dans les roches (paléo-palynologie) permet :

- d'établir l'inventaire de la flore du passé et de reconstituer le paysage,
- de déduire le climat qui régnait alors,
- de dater les roches sédimentaires (très utile pour l'exploration pétrolière).



Spores (en haut) et grains de pollen (en bas) provenant de l'argile d'Archingeay (Charente-Maritime), caractéristiques du Crétacé inférieur.

Photos J. Dejax, au microscope électronique à balayage.

Deux spores de fougères provenant de l'argile dans laquelle ont été découverts les squelettes d'iguanodons de Bernissart (Belgique).

L'analyse palynologique a permis de préciser la datation de ce gisement, au sein du Crétacé inférieur.

Photos J. Dejax, au microscope optique.

Barres d'échelle = 10 μ m

