

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

CONFÉRENCES
DE
PALÉOBOTANIQUE

par **Paul BERTRAND**

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille



PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, ÉDITEUR

3, Rue Thénard

1926

Tous droits réservés.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE BOTANIQUE

Grandes divisions du règne végétal

Le règne végétal comprend quatre grands embranchements :

PLANTES	ayant des racines et des vaisseaux , c.à.d. des tubes ou canaux différenciés en vue de conduire la sève.	des fleurs et des graines. . .	Phanérogames
			Giroflée, Pois, Cerisier Tilleul, Chêne Blé, Palmier, Lis. . . . Sapin, Cèdre, etc.
		<i>pas de fleurs, microspores ou ovules ni fleurs, ni graines. . . . des spores</i>	Cryptogames vasculaires
			Fougères, Prêles, Lycopodes
	sans racines	ordinairement feuillées. . .	Muscinées Mousses, Hépatiques
		ordinairement sans feuilles. . . (Cryptogames cellulaires)	Thallophytes Algues, Champignons

I. - PHANÉROGAMES

Ce sont toutes nos plantes à fleurs: *Giroflée, Violette, Lis*, etc..., et tous les arbres de nos forêts et de nos vergers.

Les plus élevées en organisation de tout le règne végétal.

Elles vivent presque toutes sur la terre ferme ou dans l'eau douce, à l'exception des *Zostères* (varechs) qui vivent dans la mer.

Le corps de la plante comprend trois parties distinctes: TIGE, FEUILLES et RACINE.

Toutes ces plantes fleurissent: les *fleurs* sont les organes reproducteurs: elles ont pour rôle de donner les *graines*, qui serviront à reproduire la plante.

Les fleurs renferment: des *étamines*, ou organes mâles, qui produisent le *pollen*, et un *pistil*, ou organe femelle, qui produit les *ovules*.

Le *pollen* est une poussière jaune, très fine, constituée par des *grains de pollen* ou *éléments mâles*.

Les *ovules* sont de petits œufs, qui, fécondés par le pollen, deviendront les *graines*; ils sont renfermés dans une cavité du pistil, qui s'appelle l'*ovaire*.

Le *pistil* fécondé deviendra le *fruit*.

Subdivisions des Phanérogames

Fleurs très visibles, en général plus ou moins vivement colorées. Pièces du pistil, soudées en un *ovaire complètement clos*, qui renferme les ovules, c'est-à-dire les graines..... **Angiospermes.**

1. — Embryon, ou jeune plante, pourvu de deux cotylédons. Feuilles à nervures ramifiées et anastomosées. Les différentes parties de la fleur ne sont pas en général verticillées par 3; elles sont groupées le plus souvent par 4 ou par 5. Ex. : *Giroflée, Primèrè-re, Fraisier, Pensée, Tilleul, Chêne*.... **Dicotylédones.**

2. — Embryon pourvu d'un seul cotylédon. Feuilles à nervures parallèles. Différentes parties de la fleur verticillées par 3, par 6, ou par $n \times 3$. Ex. : *Lis, Jacinthe, Poireau*. — *Blé, Avoine, Herbe*. — *Palmiers, Dracena* **Monocotylédones.**

Organes reproducteurs de couleur terne, constitués par des écailles groupées, en forme de cônes. Graines nues, cachées entre les écailles des cônes. Pas d'ovaire clos. Ex. : les *Conifères* : *Pin, Sapin, Cèdre*, etc... Les *Cycadées* : *Cycas* (arbre de la Chine et du Japon)..... **Gymnospermes**

REMARQUES. — Les Cycadées sont de toutes les Phanérogames actuelles, les plus simples. Elles sont représentées dans les terrains secondaires par les *Bennettitées*.

A l'époque primaire, on trouve des Phanérogames gymnospermes encore plus simples, dont les organes reproducteurs ne sont pas groupés en cônes et sont simplement portés par les feuilles. Ce sont les *Ptéridospermées* ou *Fougères à graines* du Carbonifère.

II. - CRYPTOGAMES VASCULAIRES

Le corps de la plante comprend encore trois parties : TIGE, FEUILLES et RACINE.

Il est encore parcouru par des *vaisseaux*, comme chez les Phanérogames, c'est-à-dire par des tubes : tubes ou *vaisseaux ligneux*, destinés à l'ascension de la *sève brute* (Bois), et *éléments libériens*, destinés à la distribution de la *sève élaborée* (Liber).

Ces plantes ne produisent jamais ni fleurs, ni graines.

Elles se reproduisent au moyen de *spores*, contenues dans des sacs appelés *sporanges*.

Les spores forment une poussière très fine, brunâtre ou jaunâtre, analogue au pollen. Elles germent sur la terre humide et produisent des lames vertes (*prothalles*), sur lesquelles apparaissent les glandes mâles et femelles. La fécondation de la cellule femelle (ou *oosphère*) par un élément mâle (ou *anthérozoïde*) donne un *œuf* qui, en se développant, reproduit une plante identique à la plante mère.

Les Cryptogames vasculaires comprennent trois groupes principaux :

FOUGÈRES,
PRÊLES,
LYCOPODES.

1° — Fougères (*Filicinées*)

Feuilles très grandes, et presque toujours très divisées, très découpées, (feuilles composées au 3^e ou au 4^e degré). Ces feuilles sont appelées *frondes*. Elles sont enroulées en crosses quand elles sont jeunes.

Sporanges fixés à la face inférieure des feuilles.

Ex. : *Osmonde royale*, *Fougère mâle* de nos bois, *Polypode*.
— *Fougères arborescentes* des pays chauds : *Dicksonia d'Afrique*,
Cyathea de la *Nouvelle Zélande*.

2° — Prêles

(*Equisétacées* ou *Articulées*)

Les PRÊLES (ou queues de cheval = *Equisetum arvense*) se rencontrent dans presque toutes les prairies humides.

Tige formée d'*articles* (ou entrenœuds) emboîtés les uns dans les autres. A chaque nœud, il y a une *collerette de feuilles* (ou verticille de feuilles) ; ces feuilles, simples et pointues, semblables à des écailles, sont soudées les unes aux autres pour former la collerette.

Sporanges groupés en *épis* terminaux.

Forme actuelle : *La Prêle* ou *Equisetum*.

Représentants fossiles des Articulées : *Calamites*, *Annularia*,
Asterophyllites, *Sphenophyllum*, du Carbonifère et du Permien.

3° — Lycopodes (*Lycopodiacées*)

Rameaux feuillés, étalés sur la terre humide, et *bifurqués* en deux rameaux égaux, de distance en distance. Ces rameaux sont couverts de très petites feuilles, simples, à une seule nervure.

Sporanges fixés à la face supérieure des feuilles fertiles. — Les feuilles fertiles sont groupées en *épis*.

Il peut y avoir des *macrospores* et des *microspores*. — Les premiers renferment de grosses spores ou *macrospores* ; les seconds renferment des *microspores*.

Représentants actuels : *Lycopodes*, *Sélaginelles*, *Isoètes*.

Représentants fossiles : *Lépidodendrons*, *Sigillaires*, du Carbonifère.

III. - MUSCINÉES (MOUSSES)

(*Bryophytes*)

Tiges habituellement couvertes de petites *feuilles*.

Pas de racines. La plante est fixée sur la terre humide par des sortes de poils ou rhizoïdes.

Se reproduisent au moyen de glandes mâles et femelles, groupées en rosettes à l'extrémité des tiges feuillées.

La fécondation de la cellule femelle donne un œuf qui, en germant, produit un *Sporogone* = sac rempli de *spores*, porté à l'extrémité d'un pédoncule. — Les spores, en germant sur la terre humide, reproduisent la Mousse.

Ex. : Les *Mousses*, qui ont une tige feuillée. — Les *Hépatiques*, qui sont des lames vertes, étalées sur le sol.

Rares à l'état fossile. Elles existaient déjà à l'époque houillère.

IV. - THALLOPHYTES

Cryptogames cellulaires.

Corps de la plante très simple, réduit à une seule cellule, ou formé par un amas de cellules, en général toutes semblables entre elles, ou non différenciées et groupées en appareils spéciaux.

Ce corps de plante, qui n'est pas différencié en tiges, feuilles et racines, porte le nom de *thalle*.

Se reproduisent au moyen de spores souvent biciliées, qui nagent dans l'eau (voir figure ci-contre) et de cellules mâles et femelles.



Les Thallophytes comprennent :

ALGUES. — Végétaux aquatiques, *pourvus de chlorophylle*. — Algues marines : *Fucus*. — Algues d'eau douce : *Oscillaires* (bleues). — *Spirogyres* (vertes).

CHAMPIGNONS. — Végétaux dégradés, privés de Chlorophylle.

Ex. : *Champignon de couche*. — *Toutes les moisissures* du bois, du pain, du fromage, etc....

Différentes parties du corps de la plante chez les Phanérogames et chez les Cryptogames vasculaires

1° — La Racine

La *racine* s'enfonce verticalement dans le sol; elle sert à fixer la plante au sol et à absorber les substances nutritives contenues dans le sol. Ces substances nutritives (eau et sels dissous) constituent la *sève brute* qui s'élève dans la plante et est conduite aux feuilles par les *vaisseaux ligneux* ou *vaisseaux du bois*.

La racine, en se ramifiant donne d'autres racines, qui s'enfoncent plus ou moins obliquement dans le sol; celles-ci à leur tour donnent d'autres racines plus fines ou *radicelles*.



2° — La tige

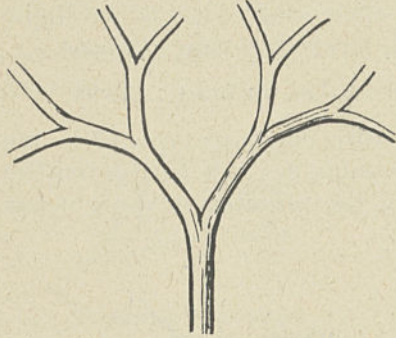
La *tige* est la partie de la plante qui, normalement, s'élève dans l'air et qui sert à porter les *feuilles* et, plus tard, les *fleurs* et les *fruits*.

Ramification de la tige. — La tige, en se ramifiant, donne d'autres tiges, que l'on appelle *rameaux* ou *branches*.

Si les rameaux sont plus faibles que la tige principale et disposés sur les côtés tout autour de cette tige, la *ramification est dite latérale.* — Ex.: Les arbres de nos contrées (voir figure ci-contre).

Si la tige se bifurque à son extrémité en donnant deux tiges égales, la *ramification est dite dichotome.* On dit encore que la plante se ramifie par *dichotomie*:

Exemples : Les Lépido-dendrons du Carbonifère; les Lycopodes actuels.



La tige est habituellement dressée verticalement, mais il y a : des *tiges grimpantes*, comme celles du Lierre et de la Ronce; — des *tiges rampantes*, comme celles du Fraisier.

Enfin, certaines tiges rampent horizontalement dans le sol; elles ressemblent à des racines: ce sont les *rhizomes*. Ex.: le sceau de Salomon. — On réserve également le nom de *rhizomes* aux tiges souterraines à trajet vertical.

3° — La Feuille

Toute feuille comprend deux parties: une lame verte, étalée dans l'air, le *limbe*, et un support, ou *pétiole*, qui porte le limbe et l'écarte de la tige.



Lilas



Lierre

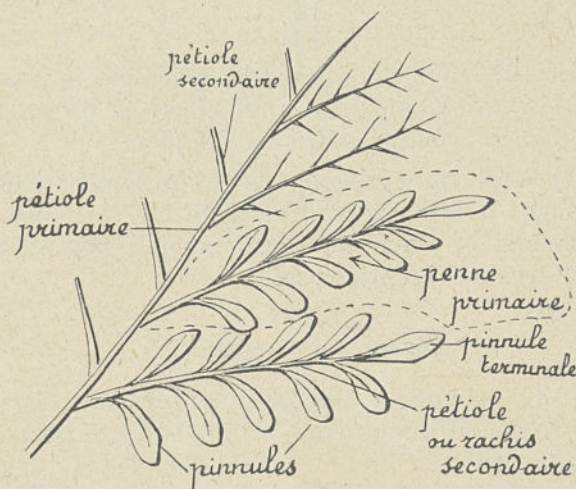
Si les feuilles sont fixées isolément tout le long de la tige, elles sont dites *alternes*.

Si les feuilles sont groupées par trois ou davantage au même nœud de la tige, elles sont dites *verticillées*.

La feuille est dite simple, quand la limbe est d'une seule pièce; Ex.: Tilleul, Orme, Charme, Platane.

Elle est *entière*: Lilas, ou *lobée*: Lierre.

La feuille est dite *composée*, quand le limbe est divisé en parties distinctes, semblables à de petites feuilles que l'on appelle *folioles* ou *pinnules*. Les pinnules ne doivent pas être confondues avec des feuilles.



Quand la feuille est composée, le pétiole est lui-même ramifié. Il y a lieu de distinguer :

- le pétiole primaire ou *rachis primaire*,
- les pétioles secondaires ou *rachis secondaires*,
- les pétioles tertiaires ou *rachis tertiaires*, etc...

On appelle *pennis* l'ensemble d'un pétiole secondaire et de ses ramifications avec les pinnules. C'est une *pennis primaire*.

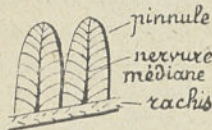
Un *pennis tertiaire* avec les pinnules qui le garnissent, constitue une *pennis secondaire* et ainsi de suite.

En paléobotanique, on a à s'occuper surtout des pennes de dernier ordre et des pinnules (ou folioles).

NERVURES. — Le limbe est parcouru par des nervures.

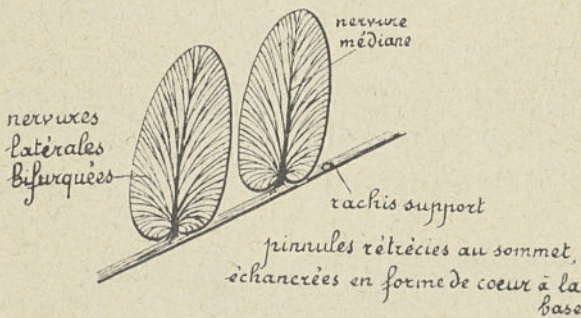
Il y a, en général, une nervure principale ou *nervure médiane*, et des nervures latérales ou *nervures secondaires*.

Les nervures secondaires sont *simples* quand elles gagnent le bord du limbe sans se ramifier (voir ci-dessous) :



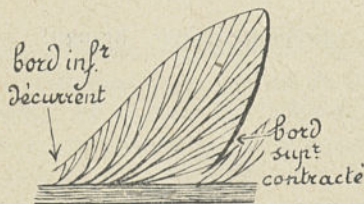
Pecopteris arborescens

Elles peuvent être bifurquées une ou plusieurs fois : *Neuropteris*.



Neuropteris

Tout en étant bifurquées, elles peuvent avoir un parcours sensiblement parallèle : *Odontopteris*.

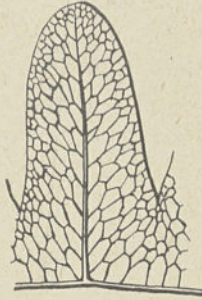


Odontopteris

Les nervures sont dites *anastomosées*, quand elles émettent des rameaux, qui se soudent les uns aux autres en formant une espèce de réseau : *Lonchopteris* (voir ci-dessous, p. 14).

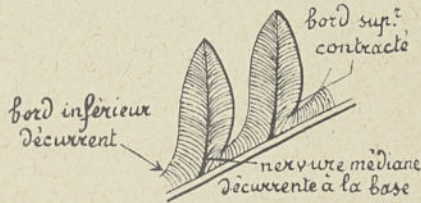
FORME DES PINNULES. — Les pinnules peuvent être attachées au rachis par un seul point: *Neuropteris* (voir ci-dessus).

Elles peuvent être attachées au rachis par toute leur base: *Pecopteris*. Elles peuvent être libres ou *adhérentes* entre elles: *Lonchopteris*.



Lonchopteris

Les pinnules sont dites *décurrentes*, quand leur bord inférieur se prolonge le long du rachis support. Ex.: *Odontopteris*, *Alethopteris*.



Alethopteris Serli. Brongn.

Introduction à l'étude des plantes fossiles

EVOLUTION DU RÈGNE VÉGÉTAL AU COURS DES PÉRIODES GÉOLOGIQUES. — Comme les espèces animales, les espèces végétales ne sont pas demeurées immuables au cours de l'histoire de la Terre; elles ont évolué: elles se sont transformées. Certaines espèces ont disparu; de nouvelles espèces ont apparu continuellement par transformation, nous disons par *mutation*, aux dépens de celles qui les avaient précédées. Ainsi, d'âge en âge, de terrain en terrain, la flore, comme la faune, a subi une transformation radicale. — D'une façon générale, le nombre des espèces végétales paraît être allé en croissant continuellement jusqu'à la période actuelle. En d'autres termes, les flores récentes paraissent plus riches que les anciennes.

Il résulte de ces observations que chaque terrain, chaque étage, même chaque subdivision d'étage, renferme des espèces différentes de celles que l'on trouve dans l'étage précédent et dans l'étage suivant. Par conséquent, on peut caractériser un étage donné par les plantes qu'il renferme; ceci permet de le reconnaître en toute certitude.

De là, le grand intérêt qu'il y a pour les exploitants de mines (surtout de minerais sédimentaires) à connaître les fossiles et à les utiliser dans leurs recherches. — la nature des roches est trompeuse; une même roche peut se rencontrer dans des terrains d'âges très différents. — Seuls les fossiles, c'est-à-dire seule la Paléontologie, permet de déterminer, en toute certitude, l'âge d'un terrain.

SUCCESSION DES FLORES FOSSILES. — Si l'on considère l'ensemble des terrains sédimentaires, depuis le terrain primitif, jusqu'à l'époque actuelle, et si l'on fait l'inventaire, le relevé des espèces végétales, terrain par terrain, on constate que les grands groupes végétaux ont apparu sensiblement dans l'ordre suivant lequel nous classons les végétaux vivants: *ce sont les plus simples qui ont apparu les premiers, en général.*

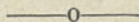
C'est ce que montre très nettement un coup d'œil sur le tableau ci-annexé (page 16).

RÉPARTITION STRATIGRAPHIQUE DES PRINCIPALES FLORES

QUATERNAIRE		ERE DES ANGIOSPERMES	Types actuels Flore des régions froides
TERTIAIRE			Types actuels associés à des Palmiers et à d'autres types des régions chaudes
SECONDAIRE			Multiplication et épanouissement des Dicotylédones
PRIMAIRE	Crétacique sup ^r moyen inf ^r	ERE DES GYMNOSPERMES Conifères : types parents des ARAUCARIÉES et des PINS. Cycadées : famille éteinte des BENNETITIÉES.	Premières Dicotylédones
	Jurassique		Flore à Glossopteris permo-triasique
	Triasique		
	Permien sup ^r inf ^r		
TERRAIN PRIMITIF	Carbonifère Stéphanien Westphalien Dinantien (Culm)	ERE DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES Lycopodiacées arborescentes Equisétacées arborescentes + Fougères anciennes et des PHANÉROGAMES ANCIENNES Fougères à graines (Ptéridospermées) Cordatiées	Psilophytales
	Dévonien sup ^r moyen inf ^r		
	Silurien	Premiers végétaux vasculaires terrestres	
	Cambrien	Algues	
Algonkien			
Archéen			

Dans les terrains les plus anciens, on ne trouve encore que des Algues. Puis on voit apparaître les premiers végétaux continentaux, ensuite les Cryptogames vasculaires prédominant, puis, à l'époque secondaire, ce sont les Phanérogames les plus simples, les Gymnospermes qui, par leur abondance, donnent son caractère à la flore. Enfin, les Angiospermes, apparues les dernières, sont actuellement en plein épanouissement. Donc, il y a évolution continue; rien n'indique que cette évolution ait atteint son terme à l'époque actuelle.

Ce qu'il faut retenir de ces considérations préliminaires, c'est que, grâce aux transformations continues, éprouvées par la flore au cours des âges, il est possible de classer les différents terrains dans leur ordre chronologique en se servant des végétaux fossiles, qu'ils renferment.



Flores des terrains les plus anciens

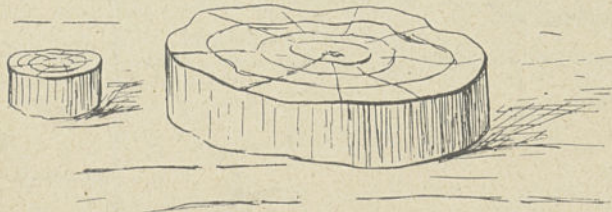
Dans le TERRAIN PRIMITIF, on n'a pas trouvé, jusqu'ici, de restes végétaux fossiles. *Corymum enigmaticum*

Dans le SILURIEN, on n'a trouvé, en fait de végétaux fossiles, que des *Algues*. Ce sont des Algues calcaires qui se présentent sous forme de nodules de carbonate de chaux. C'est grâce à leur propriété de s'encroûter de calcaire, que ces algues nous ont été conservées.

Dans le DÉVONIEN INFÉRIEUR ET MOYEN, les végétaux fossiles que l'on trouve, sont encore principalement des Algues, soit pétrifiées, soit à l'état d'empreintes. Les Algues pétrifiées ont été imprégnées de silice ou de carbonate de chaux.

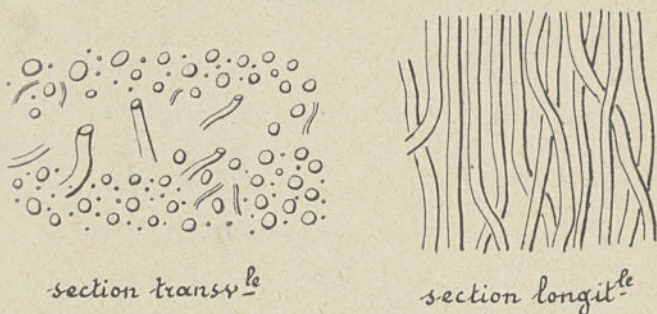
Parmi ces Algues, les plus intéressantes sont les *Nematophycus* du Silurien supérieur et du Dévonien inférieur. Les *Nematophycus* sont comparables aux *Laminaires* de nos côtes, aux *Lessonia* et aux *Macrocystis* des océans. Les *Macrocystis* sont des Algues géantes (2 à 3 m. de longueur); leur thalle est composé de lames et de flotteurs, qui sont entraînés par les courants et les vagues. L'ensemble est fixé au fond de la mer par une sorte de tige, aussi résistante qu'un câble, pourvue de crampons à sa base.

Chez les *Nematophycus*, la tige était énorme: avec ses crampons fixateurs, elle ressemblait à une souche de Pin enracinée. Ces algues ont été prises d'abord pour des troncs d'arbres, ancêtres des Pins (*Prototaxites*). Les *Nematophycus* sont probablement les plus grandes algues qui aient existé; les plus beaux exemplaires ont été trouvés dans le Dévonien de Gaspé, au Canada.



Nematophycus : souches trouvées à Gaspé

L'organisation interne de ces troncs consiste en tubes longitudinaux enchevêtrés et de diamètre variable :



Cette organisation est analogue à celle des *Laminaires* et des *Lessonia*.

Premiers végétaux continentaux. Les Psilophytons

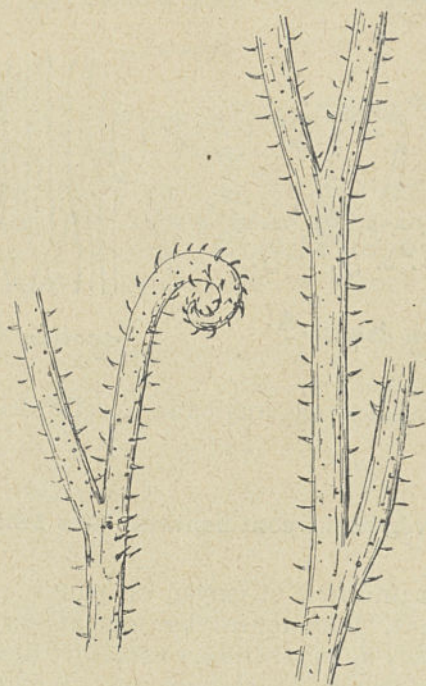
Le Dévonien inférieur et moyen est pauvre en végétaux terrestres. Cependant, dans toutes les formations lagunaires, on trouve déjà des *sols de végétation*, c'est-à-dire des bancs argileux ou gréseux, parcourus en tous sens par des racines en place. Ces racines appartiennent à des végétaux terrestres, mais vivant en milieu très humide. On trouve aussi des parties aériennes, rameaux dichotomes et fructifications, étalés à plat.

La plupart de ces débris ont été classés sous le nom de *Psilophyton*. Il est probable que l'on a réuni dans ce genre des fossiles appartenant aux groupes les plus divers : Fougères, Ptéridospermées, Lycopodiacées.

Psilophyton princeps Dawson. — Cette espèce, caractéristique du Dévonien inférieur (et peut-être moyen?), se rencontre au Canada, en Ecosse, en Scandinavie, en France (Basse-Loire, Pas-de-Calais). Elle comprend : 1° Des *axes*, ou tiges, bifurqués, c'est-à-dire ramifiés par dichotomie ; 2° Des *ramifications* plus grêles, également bifurquées, parfois *enroulées en crosses à leur extrémité*.

Axes et rameaux sont couverts d'appendices grêles qui sont des *épines* ou des *feuilles* (?).

Le *Psilophyton princeps* type de DAWSON est soit une Lycopodiacée, soit une Ptéridospermée.



Psilophyton princeps Dawson, forme type

On trouve encore, associés aux axes de *Psilophyton*, des rameaux lisses, bifurqués régulièrement de distance en distance et portant à leur extrémité des sacs, qui sont, soit des graines, soit des sporanges. Ces organes ne semblent pas appartenir au *Psilophyton princeps*. Il est néanmoins certain qu'ils proviennent soit d'une vraie Fougère, soit d'une Fougère à graines. On les a séparés du type de Dawson et classés dans le genre *Dawsonites* (figure ci-contre).

Nous signalerons enfin les *Arthrosthigma*, qui sont semblables au *Psilophyton princeps*, mais pourvus d'appendices spiniformes (feuilles ou écailles) plus gros et qui sont voisins des Lycopodiacées.



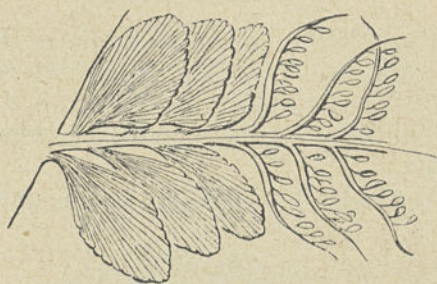
Flore du Dévonien supérieur

Cette flore est déjà plus riche en végétaux terrestres que celle du Dévonien inférieur et moyen. Elle comprend, outre des débris indéterminés, classés encore comme Psilophyton :

- des Fougères, comme l'*Archæopteris hibernica* ;
- des Calamariées, comme l'*Archæocalamites scrobiculatus* ;
- des Lycopodiacées, comme le *Pinakodendron kiltorkense* ;
- des Sphénophyllées.

C'est dans le Dévonien supérieur de l'île des Ours, que l'on trouve les premières couches de houille exploitables. C'est une houille d'*Archæopteris* et de *Pinakodendron*.

Archæopteris hibernica Forbes. — Grandes et belles feuilles de Fougères, semblables à celles des Neuroptéridées. Pinnules ovales, rétrécies à la base, arrondies au sommet, à nervures serrées rayonnant à partir du point d'attache. On trouve parfois des feuilles fructifiées : sur les pennes fertiles, les pinnules sont réduites chacune à une grosse nervure qui porte deux séries de capsules (= sporanges ou graines?).



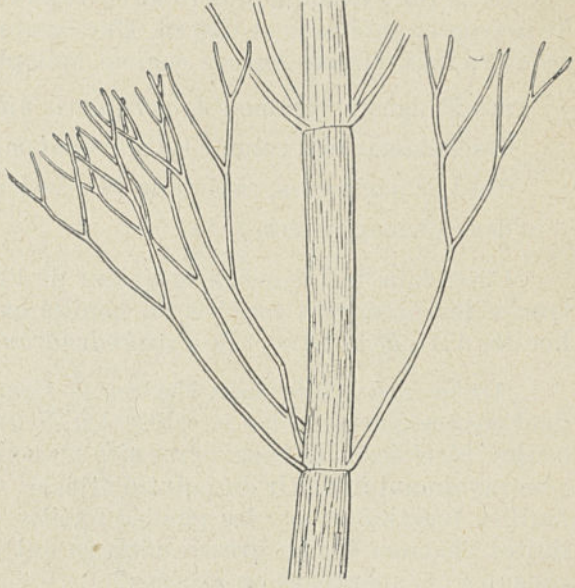
Archæopteris hibernica. Forbes

Archæocalamites scrobiculatus Schloth. = *Bornia radiata* Brongn. — Calamariée analogue aux *Calamites Cisti* et *Suckowi* ; mais, habituellement, les côtes se prolongent d'un entrecœud sur le suivant. En outre, on connaît des rameaux portant à chaque nœud un verticille de feuilles étroites, trois fois bifurquées.

Les *Archæocalamites* persistent dans le Carbonifère inférieur (Culm), où ils s'éteignent.



Moule interne d'une tige

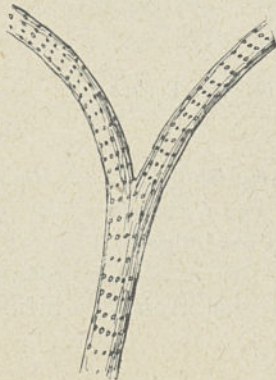


Rameau feuillé

Archæocalamites scrobiculatus Schloth

Pinakodendron kiltorkense Houghton. — Lycopodinée plus primitive que les *Lépidodendrons*. Rameaux étroits, bifurqués, couverts de cicatrices foliaires, très petites, à contour ovale. Ces cicatrices sont tantôt verticillées, tantôt disposées en hélice autour des rameaux.

Le genre *Pinakodendron* persiste jusque dans le Westphalien inférieur.



cicatrice
foliaire



rameau
gros

Pinakodendron kiltorkense. Houghton

Flore du Culm

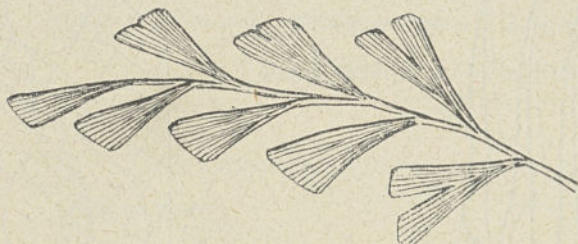
Cette flore (étage du Calcaire carbonifère) comprend encore des *Archæopteris*, des *Archæocalamites* et des *Pinakodendron*. Elle comprend, en outre :

des feuilles de Fougères : des *Adiantites* et des *Sphenopteris* à feuillage très découpé, à pinnules très petites ou très étroites (genres *Rhodea* et *Diplotmema*), des *Cardiopteris*, et des *Noggerathia* ;

des Lycopodiacées : *Lepidodendron*, *Ulodendron* ;

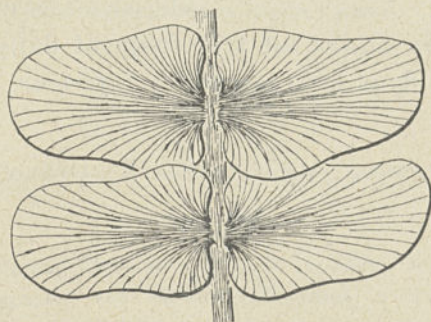
des Articulées : *Calamites*, *Annularia*, *Asterophyllites*, *Sphenophyllum*.

Adiantites bifidus auctor. — Feuille de Fougère, semblable à celles des Neuroptéridées et des *Archæopteris*. Pinnules rétrécies en forme de coin à la base, évasées à leur extrémité, pourvues de nervures espacées, bifurquées.



Adiantites bifidus auct.

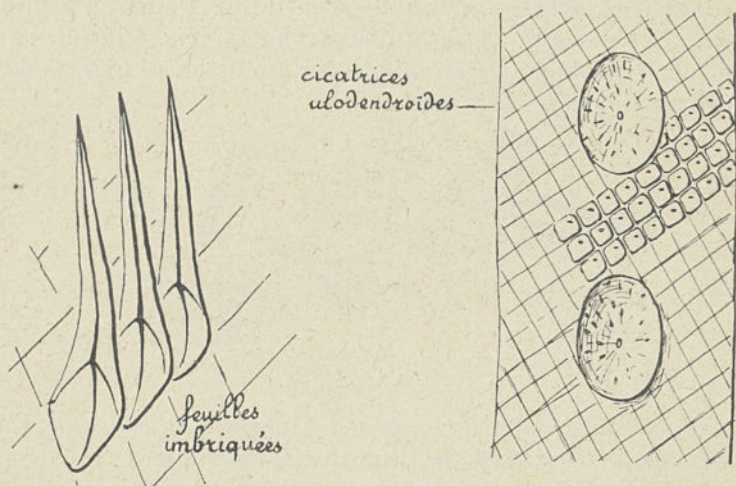
Cardiopteris frondosa Goppert. — Feuille de Neuroptéridée, mais simplement pinnée, à pinnules orbiculaires ou ovales, d'assez grande taille, attachées au rachis par un seul point, à nervures rayonnantes. — Très caractéristique du Culm.



Cardiopteris frondosa Goppert

Ulodendron minus L. et H. — Lépidodendrée à feuilles aciculaires imbriquées, élargies à leur base en forme de bouclier losangique. La base de la feuille recouvre toute la surface du coussinet foliaire, de sorte que toutes les feuilles sont contigües à leur base.

Les troncs et les rameaux portent deux rangées, diamétralement opposées, de dépressions circulaires, appelées *cicatrices ulodendroïdes*. Chaque cicatrice porte un ombilic excentrique. Ces cicatrices ont été laissées par des rameaux caducs, qui se détachaient quand l'arbre avait atteint une croissance suffisante.



Ulodendron minus Lindley et Hutton

L'*Ulodendron minus* est très fréquent dans le *Culm supérieur*; il s'éteint dans le *Westphalien inférieur*.



Flore houillère

Le terrain houiller est divisé en deux étages :

STÉPHANIEN,
WESTPHALIEN

qui renferment une flore très riche et très variée. Mais il ne faut pas perdre de vue que la plupart des types (genres ou familles) de cette flore ont débuté dans le Culm (Carbonifère inférieur) et même dans le Dévonien supérieur. D'autre part, beaucoup de types du houiller se continuent dans le Permien.

La flore houillère comprend :

DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES	}	Lycopodiacées arborescentes: Lépидодендрées, Sigillariées, Ulodendrées, etc.	
		Articulées	{ Equisétacées arborescentes: Calamariées
			{ Classe disparue Sphénophyllées
DES PHANÉROGAMES ANCIENNES (= Gymnospermes primitives)	}	Fougères vraies.....	} Feuilles de Fougères
		Ptéridospermées ou Fougères à graines	
		Cordaïtées (Gymnospermes, peut-être voisines des Conifères)	

Remarque importante.- Nous ne connaissons guère, de la flore houillère, que des espèces propres aux lagunes tourbeuses, c'est-à-dire des espèces adaptées à un genre de vie très spécial. La flore des régions sèches ou montagneuses nous est complètement inconnue.

Lycopodiacées arborescentes

Les Lycopodes actuels sont de petites plantes, d'apparence bien modeste, qui rampent sur la terre humide ou sur la mousse de nos bois. Ces plantes sont composées de rameaux feuillés, qui se bifurquent de distance en distance, en donnant deux rameaux égaux. Presque tous les rameaux sont terminés par des épis fructifères.

Les Sélaginelles sont des plantes voisines des Lycopodes, très recherchées comme plantes d'ornement.

Les Lycopodiacées actuelles sont peu répandues et ne comprennent qu'un petit nombre d'espèces.

Les Lycopodiacées arborescentes de l'époque primaire étaient de grands arbres, pouvant atteindre 25 à 30 m. de hauteur. Ces arbres vivaient le pied dans l'eau ; leurs racines (*Stigmaria*) s'élevaient horizontalement dans la vase.

Il y a lieu de distinguer :

- 1°) les formes à écorce divisée en losanges, disposés en hélice autour du tronc et des rameaux : *Lepidodendron*, *Ulodendron* ;
- 2°) les formes à écorce finement ridée, à cicatrices foliaires très petites : *Bothrodendron*, *Pinakodendron* ;
- 3°) les formes à écorce portant habituellement des cannelures longitudinales, et à cicatrices foliaires hexagonales verticillées : *Sigillariées*.

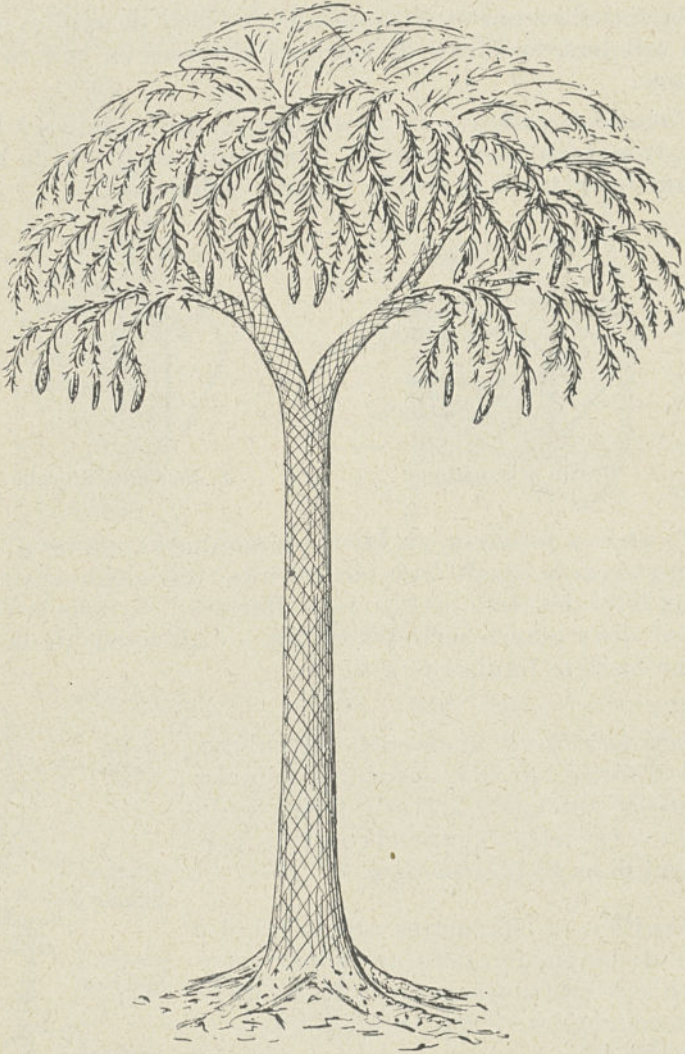
La houille du Nord de la France est constituée pour les 4/5 par des débris de Lycopodiacées arborescentes. Ceci donne une idée du rôle joué par ces végétaux à l'époque houillère.

1° Formes à écorce divisée en losanges

Ce groupe est en réalité très hétérogène. Malgré leur similitude d'aspect, il convient de séparer l'un de l'autre : le type *Lepidodendron* et le type *Ulodendron*.

TYPE LEPIDODENDRON. — Grands arbres rappelant un

peu, par la sévérité de leur port, les Sapins et les Araucarias, mais se ramifiant d'une façon très différente :



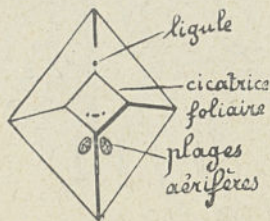
Ulodendron restauré

N.-B. — Les *Lepidodendron* avaient un aspect analogue à celui des *Ulodendron*, mais ils étaient moins abondamment ramifiés et pourvus de feuilles plus longues et plus rigides.

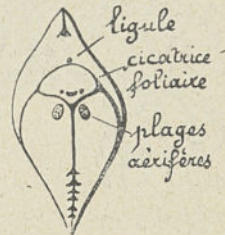
Gros tronc bifurqué à une certaine hauteur. Branches ramifiées par dichotomie. En général rameaux garnis de feuilles rigides.

Surface du tronc et des rameaux couverte de saillies ou coussinets foliaires, en forme de losanges, disposés en hélices autour du tronc.

Coussinets foliaires = pyramides quadrangulaires à base losange, tronquées à leur sommet. Troncature en forme de losange, donnant insertion à la feuille (figures ci-dessous) :



Dessin schématique



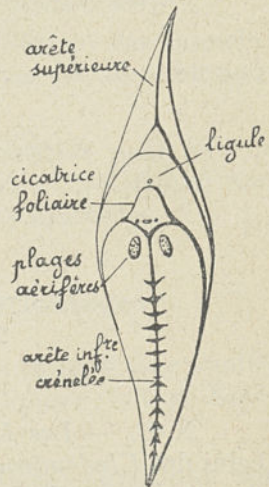
L. obovatum Sternb.

Cicatrices foliaires, en forme de losanges, munies à leur intérieur et vers le bas de trois cicatricules : une médiane (faisceau) et deux latérales (très petites, ponctiformes). — Sous la cicatrice foliaire : deux plages aëri-fères ovales. — Au-dessus de la cicatrice : une fossette ligulaire ou *ligule*.

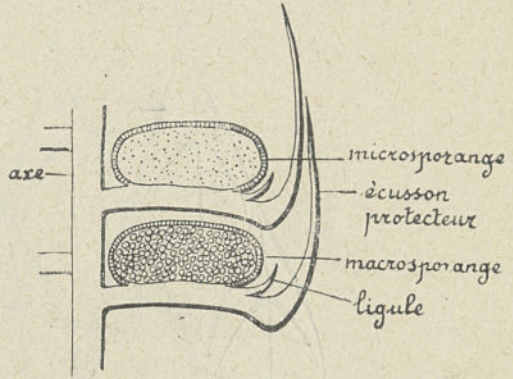
Lepidodendron aculeatum Sternberg. — Caractérisé par des coussinets foliaires à contour sinueux ; arête inférieure du coussinet crénelée (figure ci-contre). Très fréquent dans le *Westphalien*.

Feuilles. — Baguettes allongées (6 à 15 cm. de longueur), pointues à leur extrémité, à section transversale en forme de losange, comme les cicatrices foliaires.

Lepidodendron obovatum Sternb. — Coussinets foliaires souvent quadrangulaires ; cicatrices foliaires larges. Très fréquent dans le *Westphalien*.



Epis ou cônes fructifères (appelés *Lepidostrobus*) ; cylindriques et allongés ; composés d'écaillés imbriquées, se recouvrant les unes les autres. A l'intérieur, sur la base de chaque écaille est fixé un gros sporange (macrosporange ou microsporange). — Les cônes fructifères étaient portés à l'extrémité des rameaux.

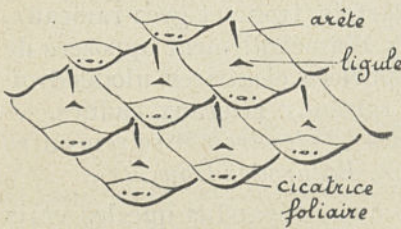


Coupe longitudinale

Lepidostrobus

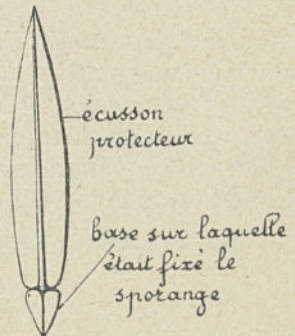
Lepidophloios. — Arbres voisins des Lépidodendrons ; s'en distinguent seulement parce que les coussinets foliaires, très développés, sont rabattus vers le bas et se recouvrent les uns les autres comme les tuiles d'un toit. — Ecaillés fructifères du type *Lepidophyllum lanceolatum*, *majus*, *Missouriense*.

Extension verticale très grande, depuis le Culm, jusqu'au Permien (?).

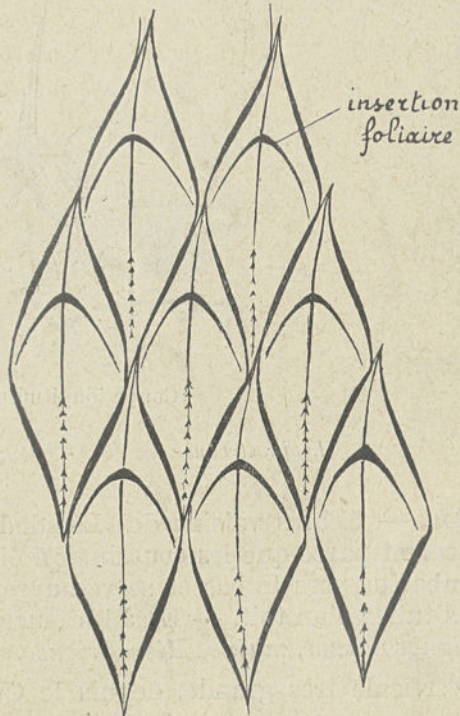


Coussinets foliaires

Lepidophloios



TYPE ULODENDRON. — Sur les rameaux jeunes, feuilles courtes, plutôt plates, élargies à la base, insertion foliaire, en forme d'arc étroit, située vers le sommet du coussinet; rameaux jeunes, feuillus, ressemblant tout à fait à des rameaux de Lycopodes actuels. — Sur les rameaux âgés et le tronc, coussinets foliaires élargis et épaissis, nettement imbriqués; ces coussinets forment un réseau losangique analogue à celui qui caractérise l'écorce des *Lépidodendron*, mais il n'y a jamais ni cicatrice foliaire en forme de petit losange, ni ligule (fig. ci-dessous).



Ulodendron ophiurus. Brongn.

Cicatrices ulodendroïdes. — Parfois, tronc et gros rameaux, pourvus de deux files longitudinales, diamétralement opposées de grandes dépressions circulaires (appelées cicatrices ulodendroïdes), marquant l'emplacement de rameaux latéraux caducs. — Ce caractère manque souvent chez les *Ulodendron* et se rencontre chez d'autres genres (*Lepidodendron*, *Bothrodendron*).

Les *Ulodendron* sont peut-être aussi répandus que les vrais

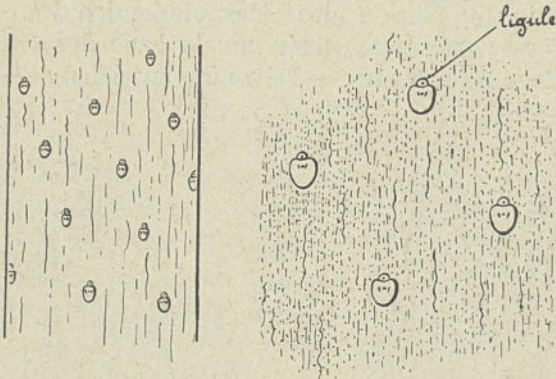
Lepidodendron. Ils avaient un aspect plus touffu et plus élégant. La restauration, reproduite ci-dessus (p. 27) s'applique mieux aux *Ulodendron* qu'aux *Lepidodendron*. On peut citer :

U. minus L. et H. du Culm (voir p. 24) ;

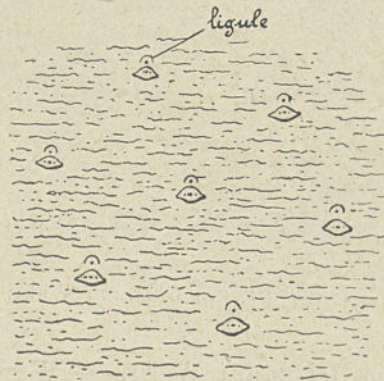
U. ophiurus Brongn. du Westphalien.

2°. — Formes à écorce finement ridée

GENRE BOTHRODENDRON. — Surface du tronc finement



Bothrodendron punctatum L. et H.



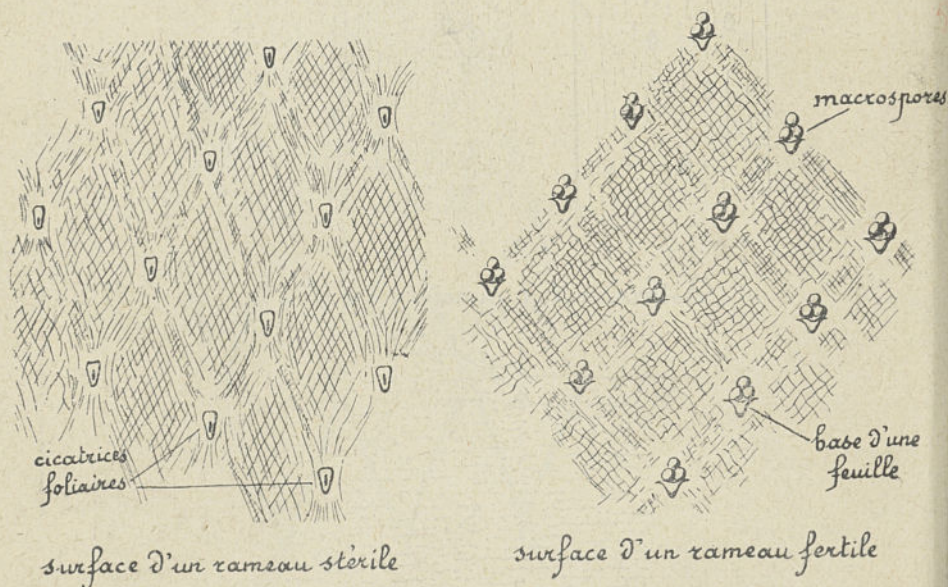
Bothrod. minutifolium Boulay

ridée et chagrinée ; tantôt rides longitudinales (*B. punctatum* L. et H.), tantôt rides horizontales (*B. minutifolium* Boulay). Pas

de coussinets foliaires, pas de saillies à la surface du tronc; mais cicatrices foliaires, très petites, ovales, surmontées d'une ligule.

Troncs et gros rameaux, pourvus de cicatrices ulodendroïdes, c'est-à-dire de grandes dépressions circulaires, profondes, laissées par des rameaux caducs, comme chez les *Ulodendrons*. Fins rameaux tout à fait comparables à ceux des *Lycopodes* actuels.

GENRE PINAKODENDRON. — Ecorce finement chagrinée et cicatrices foliaires très petites comme chez les *Bothrodendron*, mais pas de ligule; pas de cicatrices ulodendroïdes. — Pas de cônes fructifères; sporanges fixés sur la base des feuilles, tout contre la surface du rameau. — Dévonien supérieur. — Westphalien.



Pinakodendron Ohmanni Weiss

Pinakodendron Ohmanni Weiss. — Westphalien inférieur. — Cicatrices foliaires, à contour triangulaire ou ovale, distribuées en quinconce. Surface du tronc et des rameaux, finement chagrinée, ou plus exactement: couvertes de fines rides, disposées en diagonale, c'est-à-dire parallèlement aux côtés des losanges, dont les sommets sont occupés par les cicatrices foliaires.

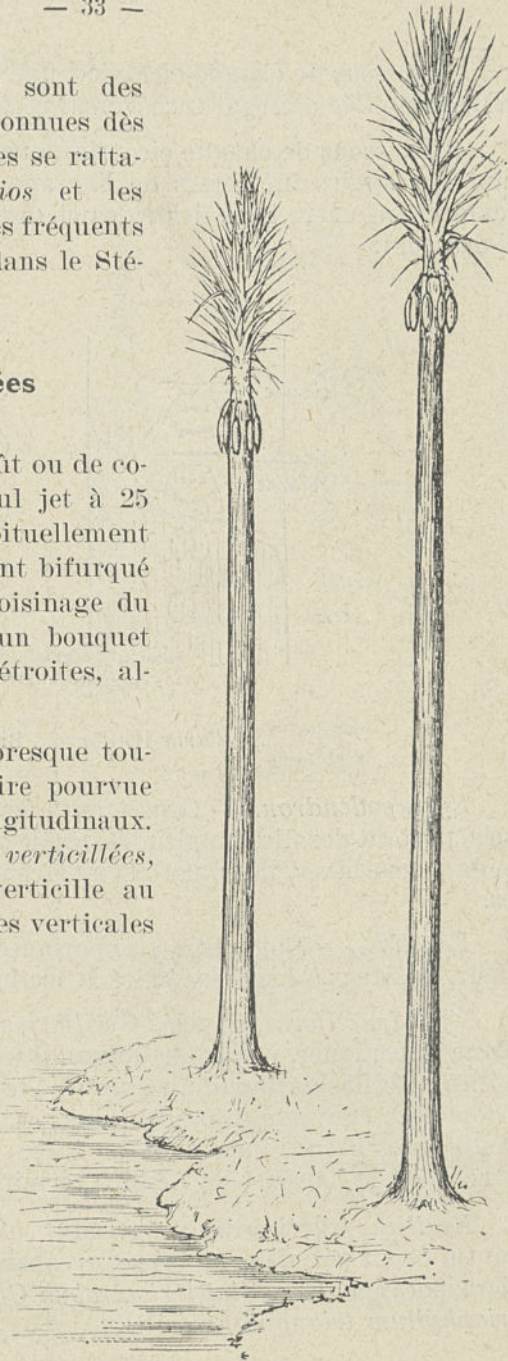
Les Pinakodendrées sont des formes très primitives, connues dès le Dévonien, et auxquelles se rattachent les *Omphalophloios* et les *Asolanus*, ces derniers très fréquents dans le Westphalien et dans le Stéphanien inférieur.

3°. — Sigillariées

Tronc en forme de fût ou de colonne, s'élevant d'un seul jet à 25 ou 30^m de hauteur, habituellement non ramifié, très rarement bifurqué deux ou trois fois au voisinage du sommet, couronné par un bouquet de feuilles aciculaires, étroites, allongées.

Surface du tronc, presque toujours *cannelée*, c'est-à-dire pourvue de côtes et de sillons longitudinaux. — Cicatrices foliaires *verticillées*, avec alternance d'un verticille au suivant; disposées en files verticales le long des côtes.

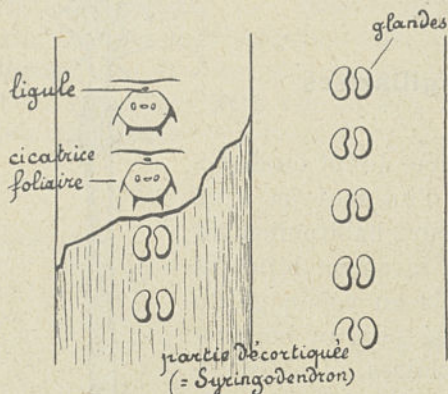
Cicatrices foliaires, à contour *hexagonal*, pourvues à leur intérieur et vers le haut de *trois cicatrices* : une médiane plus petite (faisceau), deux latérales (en forme de *reins* ou de *parenthèses*) = glandes, qui deviennent très grosses sur les tiges âgées.



Sigillaires cannelées restaurées

Au-dessus de chaque cicatrice, une *ligule* (= fossette *ligulaire*), surmontée d'un pli transversal rectiligne ou arqué.

Au-dessous de chaque cicatrice, quatre arêtes verticales, partant des angles inférieurs de l'hexagone, faiblement saillantes, comprenant entre elles des rides et des ornements variés (figure ci-dessous).



Sigillaria reniformis. Brongn.

et *Syringodendron*

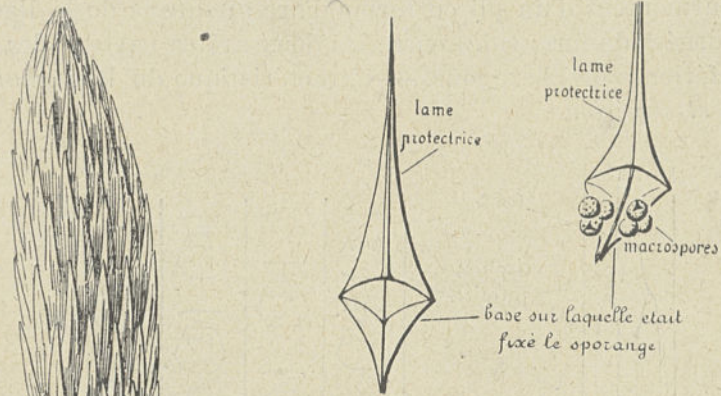
Syringodendron. — Gros troncs âgés de Sigillaires, décortiqués, portant des files longitudinales de glandes en forme de reins ou de parenthèses, marquant l'emplacement des cicatrices foliaires.

Feuilles. — Baguettes prismatiques de 30 à 60 cm. de longueur, pointues à leur extrémité, à section hexagonale.

Epis fructifères, appelés *Sigillariostrobis*, de grande taille, allongés, coniques, composés de grandes écailles, disposés en verticilles alternes autour d'un axe. Ils étaient portés par de longs pédoncules, couverts d'écailles plus petites; ils étaient fixés par groupes nombreux, formant des sortes de colliers autour du tronc, sous le bouquet de feuilles terminal.

Écailles fructifères comprenant un bouclier triangulaire, pointu, et un pétiole qui portait un sporange (macrosporange ou microsporange. Ex.: *Sigillariostrobis Goldenbergi* Zeiller, *Sigillariophyllum triangulare* Zeiller.

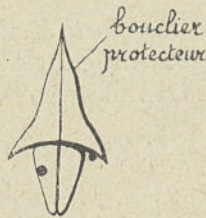
Macrospores: sacs sphériques pourvus, sur une de leurs faces, de trois petites crêtes divergentes. Fréquemment associées aux feuilles et aux épis de Sigillaires.



S. Goldenbergi. Zeiller.
écaïlles fructifères



Sigillariostrobus
(cône fructifère)



Sigillariophyllum triangulare. Zeiller
(écaïlle fructifère)

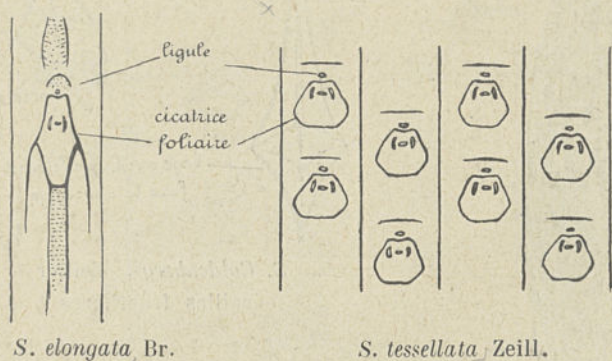
N.-B. — Certains charbons sont composés en entier de macrospores et de microspores de *Lépidodendrons* et de *Sigillaires*.

Les *Sigillaires* comprennent deux groupes :

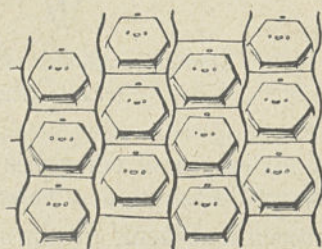
- 1°) Les *Sigillaires à côtes* ou *Sigillaires cannelées*, de beaucoup les plus nombreuses, caractéristiques du *Westphalien* et du *Stéphanien inférieur* (Etage de Rivede-Gier). — Rares dans le *Culm*.
- 2°) Les *Sigillaires sans côtes*, connues seulement dans le *Stéphanien* et le *Permien*.

1°) SIGILLAIRES CANNELÉES

Sigillaria elongata Brongniart. — Cicatrices foliaires allongées, surmontées d'un pli en forme d'arc au-dessus de la ligule. Côtes ornées de fines rides entre les deux arêtes partant des angles inférieurs de l'hexagone. — Caractéristique du *Westphalien moyen et supérieur*.



Sigillaria tessellata Zeiller. — Cicatrices foliaires plates, en forme d'hexagones réguliers, surmontées d'un pli transversal rectiligne; côtes très plates. — Très commune dans le *Westphalien supérieur*.



Sigillaria elegans Sternb.

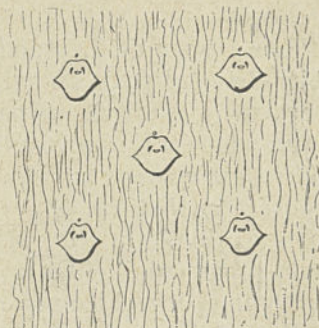
Sigillaria elegans Sternberg. — Cicatrices foliaires en forme d'hexagones réguliers, portées sur des coussinets saillants, très rapprochés, séparés par des sillons ondulés. — *Westphalien*.

2°) SIGILLAIRES SANS CÔTES

Sigillaria Brardi Brongn. — Type des Sigillaires sans côtes : se présente sous des aspects très variables. Cicatrices foliaires



forme *urceolata*



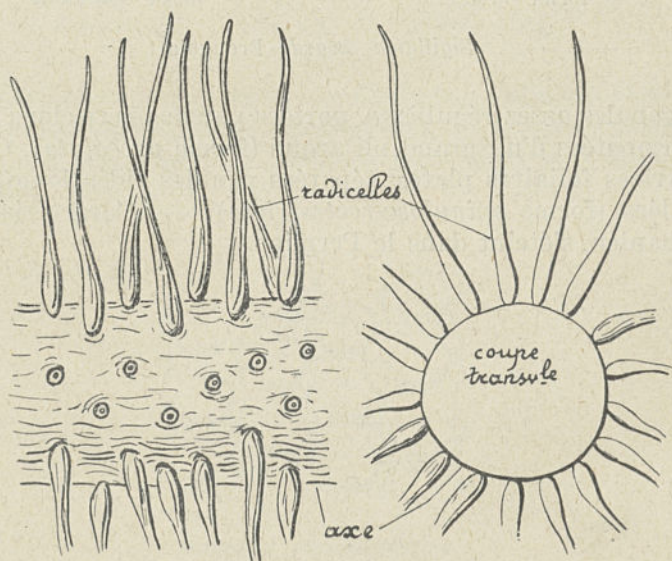
forme *spinulosa*

Sigillaria Brardi Brongniart

hexagonales assez régulières, portées par des mamelons saillants et surmontées d'un grand pli arqué (forme *urceolata*). Ou bien : Cicatrices foliaires plates, séparées par des rides longitudinales ondulées (forme *spinulosa-rectestriata*). — Caractéristique du Stéphanien, s'éteint dans le Permien.

Racines des Lépidoendrons et des Sigillaires (Stigmaria)

Les troncs de Lépidoendrons et de Sigillaires se trouvent habituellement fixés au sol par quatre grosses racines, disposées en croix, qui se divisent par dichotomie. Ces racines et leurs rameaux sont étalés horizontalement. Ces organes ont reçu le nom de *Stigmaria*. Leur surface est couverte de cicatrices circulaires, disposées en hélices. Sur chaque cicatrice s'insère une radicelle charnue, simple ou une seule fois bifurquée, fixée à angle droit sur la grosse racine. On considère généralement les grosses racines comme des rhizomes ou tiges souterraines, qui au lieu de feuilles sont pourvues de radicelles.



Stigmaria ficoides Sternb. var. *minor* Brongn.

On ne sait pas distinguer, le plus souvent, ceux de ces organes qui appartiennent aux Lépidoendrons, de ceux qui appartiennent aux Sigillaires.

Les murs des couches de houille sont presque toujours remplis de *Stigmaria*, dont les radicelles lardent la roche dans toutes les directions.

Stigmaria ficoïdes Sternberg, var. *minor* Brongn. — Axes relativement minces, à bifurcations nombreuses, donc abondamment ramifiés.

Foisonnent dans les murs du Nord de la France et de Rivede-Gier, qui sont pétris de leurs radicelles. Ce sont les racines des Sigillaires cannelées, mais on ne sait pas les distinguer de celles des Lépidodendrons. — Culm, Westphalien, Stéphanien inférieur.

Stigmaria ficoïdes, var. *major*. — Axes très gros, à dichotomies assez espacées. Représentent probablement l'appareil souterrain du *Sigillaria Bardi*. — Stéphanien.

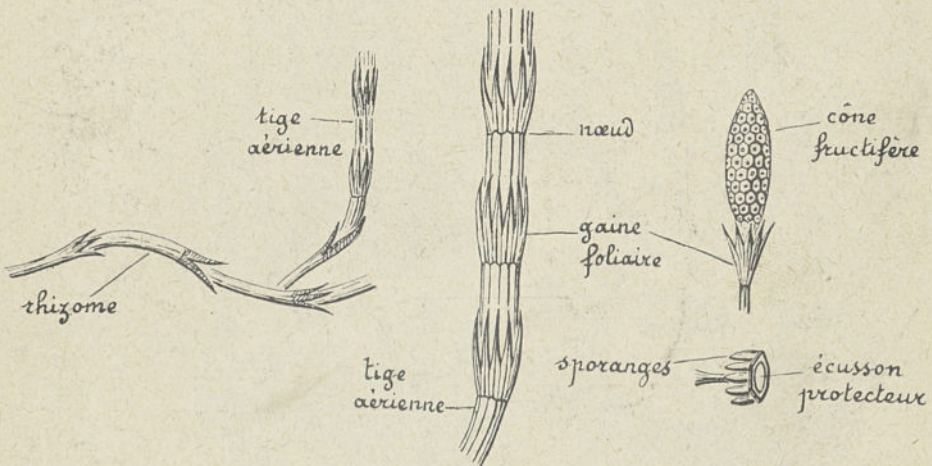
Stigmariopsis. — Espèces de *Stigmaria*, à branches plongeantes à ramification fréquente, à diamètre rapidement décroissant. Appartiendraient peut-être aussi aux Sigillaires sans côtes. — Stéphanien et Permien.

Calamariées

(Equisétacées arborescentes)

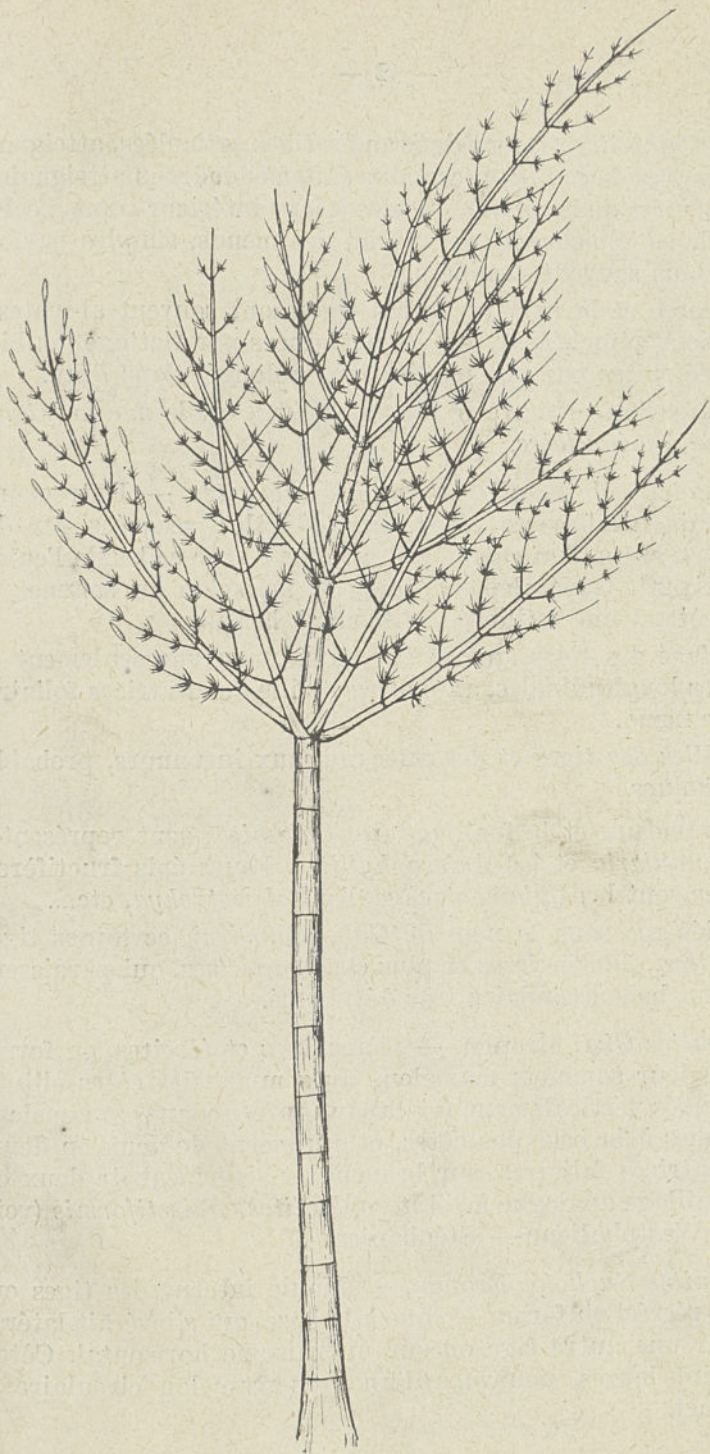
Dans la nature actuelle, les Equisétacées sont représentées par les Prêles, ou queues de cheval (Ex.: *Equisetum pratense*), plantes de faibles dimensions, que l'on trouve dans les marécages, dans les prairies humides, sur la berge des fleuves. Ces plantes ont des *tiges articulées*, c'est-à-dire, composées d'*entrenœuds*, ou *articles*, qui se séparent facilement les uns des autres au niveau des nœuds. A chaque nœud, il y a une sorte de manchette ou de collerette, constituée par des feuilles rudimentaires soudées les unes aux autres. Les entrenœuds sont finement cannelés.

Epis fructifères coniques, composés d'écaillés en forme de clous à tête hexagonale; sous cette tête sont fixés un grand nombre de sporanges.



Equisetum pratense. (Ehrh. (Prêle)

Les Equisétacées étaient représentées à l'époque houillère par les *Calamites*; c'étaient des végétaux arborescents. Leur port était comparable à celui des bambous de l'Inde et de l'Indo-Chine, ou à celui de grands roseaux (*Arundo donax* de Provence).



Calamite restauré

Les *Calamites* avaient de grandes tiges articulées, atteignant 8 à 12 mètres de hauteur (certains *Calamodendrons* atteignaient 20 à 30 mètres de hauteur), creuses à leur intérieur comme celles des bambous, cloisonnées au niveau des nœuds, simples parfois, mais le plus souvent ramifiées.

L'écorce et la surface de ces tiges sont souvent absentes ; elles se sont détachées et ont été entraînées par flottage, ou bien ont été détruites par une macération prolongée dans l'eau.

Ce que l'on retrouve le plus souvent, c'est le *moule interne* de la *cavité médullaire*.

Caractères du moule interne des Calamites. — Entrenœuds pourvus de nombreuses côtes longitudinales, séparées par des sillons. Les côtes d'un entrenœud alternent avec celles de l'entrenœud suivant. Généralement, un gros mamelon au sommet de chaque côte et une saillie ponctiforme à la base.

Surface des tiges, quand elle existe, pourvue seulement de fines ridés longitudinales, avec un verticille de cicatrices foliaires à chaque nœud.

Feuilles des tiges et des gros rameaux inconnues, probablement caduques.

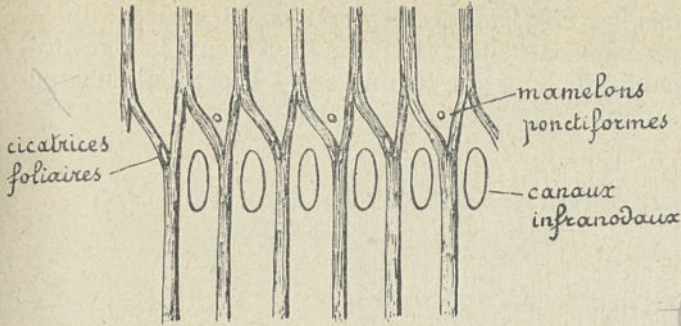
Les rameaux et le feuillage des *Calamites* sont représentés par les *Annularia* et les *Asterophyllites*. Leurs épis fructifères, très variés sont les *Calamostachys*, les *Palaeostachya*, etc....

On désigne sous le nom de *Calamodendron* certaines tiges de *Calamites*, plus épaisses et plus charbonneuses, qui paraissent avoir eu un bois secondaire très développé.

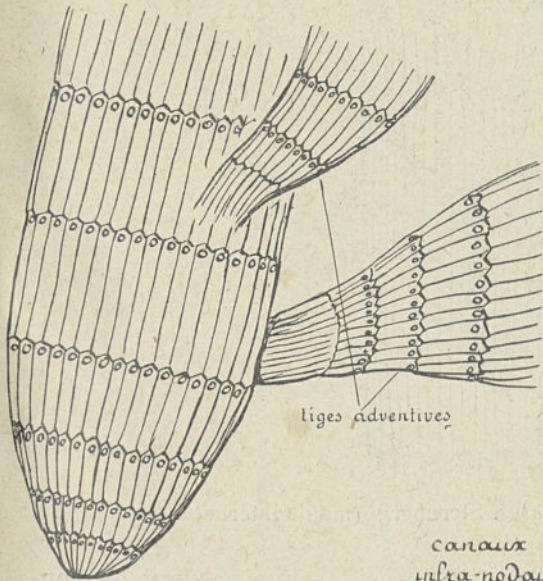
Calamites Cisti Brongn. — Côtes fines et étroites, en forme d'ogives à leur sommet ; mamelons au sommet des côtes elliptiques, allongés verticalement (= canaux infranodaux) ; mamelons ponctiformes à la base des côtes, et seulement de deux en deux. Enfin, cicatrices foliaires, sur le nœud et seulement de deux en deux. (Feuillage analogue à l'*Asterophyllites equisetiformis* (voir ci-après). Westphalien. — Stéphanien.

Calamites Suckowi Brongn. — Moule interne des tiges cylindrique, rétréci en forme de cône à la base, qui s'insérait latéralement sur une autre tige ou sur un rhizome horizontal. Côtes relativement larges, pourvues d'un gros mamelon circulaire à leur sommet.

Ce Calamite représente certainement, d'après Grand'Eury, les parties souterraines ou enfouies dans le sable, de *C. Cisti*; ce sont donc les rhizomes de *C. Cisti*.

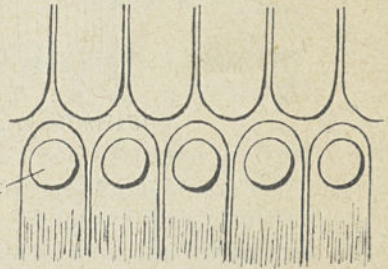


Calamites Cisti Brongn.
(Moule interne des tiges aériennes)



tiges adventives

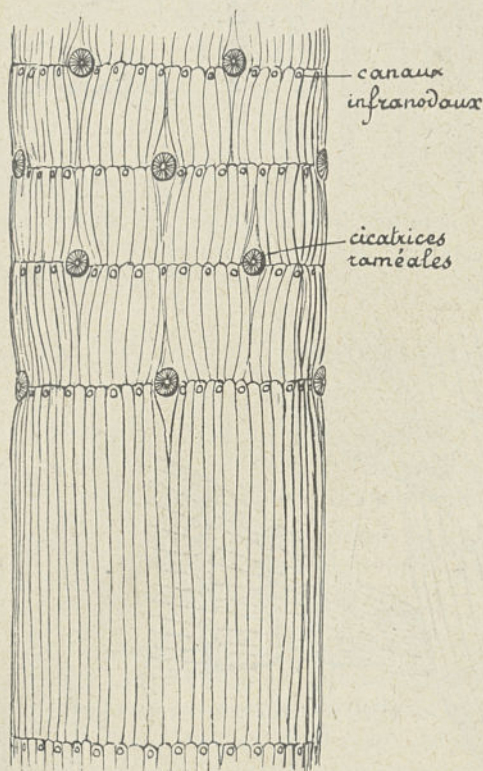
canaux
infra-nodaux



Calamites Suckowi Br.
(moule interne des parties souterraines des tiges de *C. Cisti*.)

Comme *C. Cisti*, très commun dans le Westphalien; se continue dans le Stéphanien et le Permien par des formes géantes, d'un diamètre beaucoup plus fort.

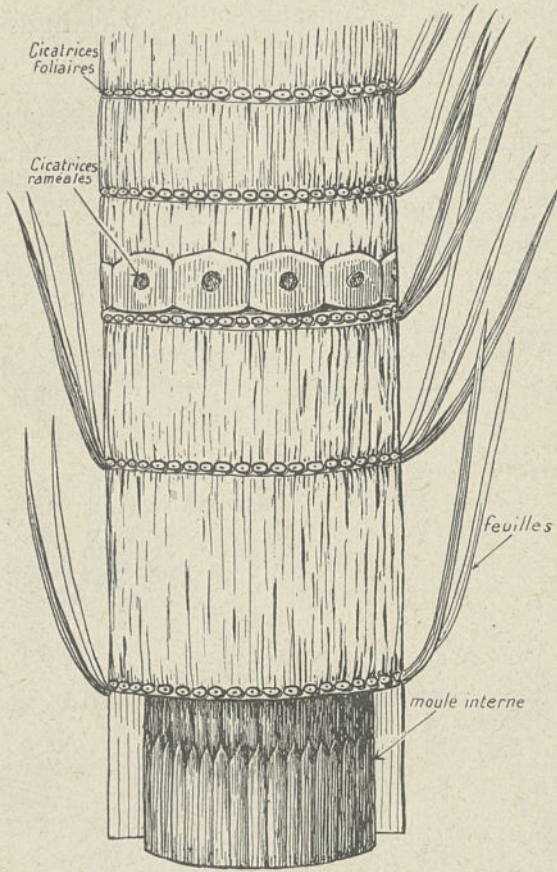
Calamites cruciatus Sternb. — Nœuds pourvus de gros mamelons ombiliqués, (= cicatrices raméales). Les cicatrices raméales alternent d'un nœud au suivant. Périodiquement, la tige présente un entrenœud plus long que les autres. — Westphalien supérieur. — Stéphanien.



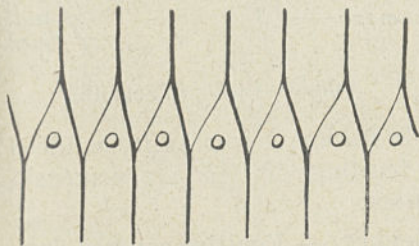
Calamites cruciatus. Sternberg (moule interne)

Calamites Göpperti Ettingshausen. — Espèce dont on connaît à la fois le moule interne et la surface finement ridée. Surface montrant un verticille de cicatrices foliaires à chaque nœud et un verticille de cicatrices raméales de distance en distance. Moule interne analogue à *C. Suckowi*, mais sans canaux infranodaux.

Le feuillage de *C. Gópperti* est représenté probablement par l'*Asterophyllites equisetiformis*. Westphalien. — Stéphanien.



Calamites Gópperti. Ettingsh Surface et moule interne



Calamites gigas Brongniart

Calamites gigas Brongn.
— Gros Calamite à côtes très larges. — Permien.

Archæocalamites scrobiculatus Schlotheim. — Espèce à caractères archaïques (voir ci-dessus). Dévonien. — Culm.

Rameaux et Feuillage des Calamites

GENRE ANNULARIA. — Rameaux feuillés, portant des ramules *distiques*, c'est-à-dire fixés par deux à chaque nœud et diamétralement opposés. Feuilles verticillées.

Feuilles lancéolées ou spatulées, pourvues d'une seule nervure, soudées entre elles à la base et étalées à plat dans le plan du rameau qui les porte.

Annularia radiata Brongn. — Feuilles effilées à leur extrémité, élargies vers le milieu, groupées par huit ou douze à chaque verticille, rarement plus (feuillage de *Calam. ramosus*). — Westphalien.

Annularia stellata Schlotheim. — Feuilles très allongées, spatulées, c'est-à-dire élargies dans leur tiers supérieur, rétrécies



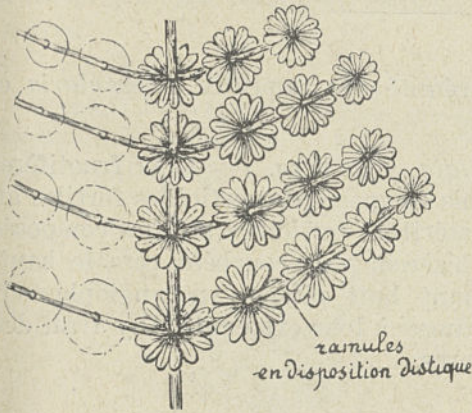
Annulaire radiata, Brongh.

Annularia stellata, Schloth.

à leur base, au nombre de 16 à 32 à chaque verticille, soudées entre elles à la base (probablement feuillage de *Calam. cruciatus*). Westphalien supérieur. — Stéphanien.

Annularia sphenophylloides Zenker. — Feuilles courtes, larges, spatulées, rétrécies en coin à la base; verticilles foliaires

comprenant 12 à 18 feuilles et formant de petites collerettes ou rosettes très caractéristiques. — Westphalien supérieur. — Stéphanien.



Annularia sphenophylloides

Zenker

GENRE ASTEROPHYLLITES. — Rameaux feuillés, portant des feuilles étroites, aiguës au sommet, à une seule nervure. Verticilles de feuilles habituellement recourbées vers le haut tout autour de la tige. — Tiges les plus grosses portant des rameaux en disposition distique.



Asterophyllites equisetiformis

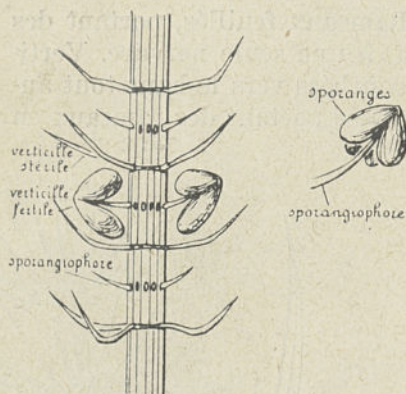
Schlotheim

Feuillage de *Calamites Göpperti*, et aussi de *C. Cisti*
Westphalien — Stéphanien

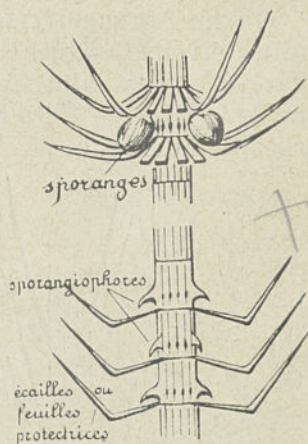
Epis ou cônes fructifères des Calamites

Ils sont portés à l'extrémité des rameaux d'*Annularia* et d'*Asterophyllites*.

Calamostachys tuberculata Sternberg. (= Epis fructifères d'*Annularia stellata*). — Epis composés de verticilles fertiles alternant avec des verticilles stériles. Verticilles stériles composés de 16 écailles protectrices légèrement recourbées vers le haut. Verticilles fertiles comprenant huit pièces (sporangiophores), portant chacune quatre sporanges à leur extrémité. Il y avait des macrospores et des microspores.



Calamostachys tuberculata Sternb.
(Epi fructifère d'*Ann. stellata*)



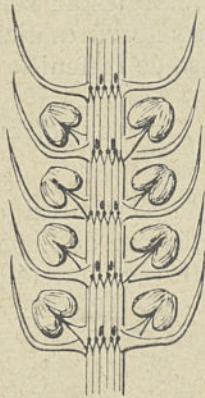
Epi fructifère d'*Ast. equisetiformis*

Epi fructifère d'*Asterophyllites equisetiformis* Schloth. (= probablement *Calamostachys germanica* Weiss). — Sporangio-phores courts et recourbés, ne portant qu'un seul sporange.

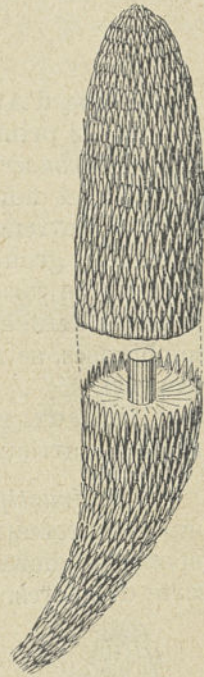
Palaeostachya. — On désigne sous ce nom les épis dans lesquels les pièces fertiles (sporangiophores) sont insérées dans l'aisselle des écailles protectrices, ou entre ces écailles (figure ci-après).

Macrostachya carinata Germar. — Gros épis cylindriques compacts, composés de verticilles alternes, formant comme des coupes à bords dentelés, emboîtées les unes dans les autres.

Ecailles constituant les verticilles protecteurs, très serrées, carénées, recourbées en forme de bouclier pointu à leur extrémité. — Westphalien supérieur. — Stéphanien.



Palaeostachya



Macrostachya carinata

Sphénophyllées

Groupe d'Articulées, complètement disparu, cantonné dans les terrains primaires (Dévonien supérieur. — Permien). *Petites plantes herbacées*, à tiges et rameaux cannelés, à *verticilles superposés* (et non alternes). Côtes peu nombreuses, n'alternant pas d'un entrenœud au suivant.

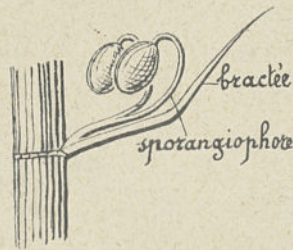
Feuilles, groupées par 6, 9 et 12 à chaque verticille (ou $n \times 6$), rétrécies *en forme de coin* à la base, élargies au sommet et plus ou moins dentelées; parcourues par des nervures dichotomes, peu nombreuses, se réduisant à 2 à la base de la feuille (voir figures ci-après).

Rameaux, recourbés à la base, insérés *isolément* sur les nœuds ou articulations de la tige.

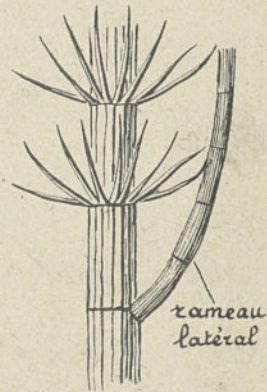
Epis fructifères. — Composés de verticilles d'écaillés ou bractées protectrices; sporanges, portés par de longs pédoncules (sporangiophores), fixés dans l'aisselle des bractées. Une seule sorte de spores.



Epi fructifère



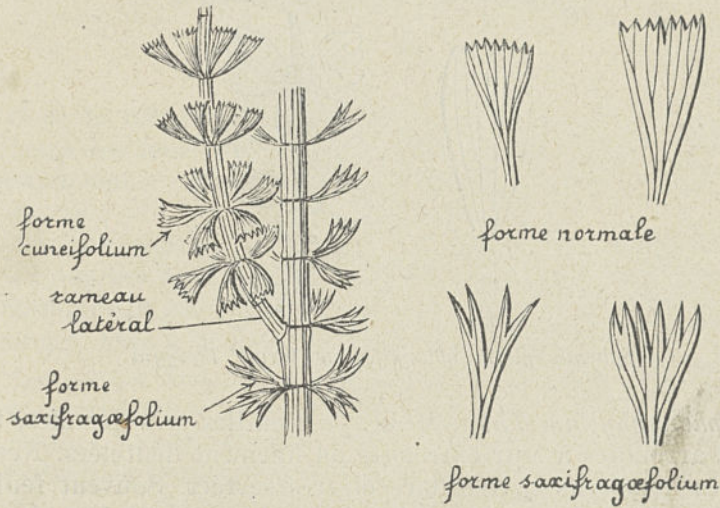
Sporanges fixés
à l'aisselle d'une bractée



rameau à feuilles
linéaires, étroites

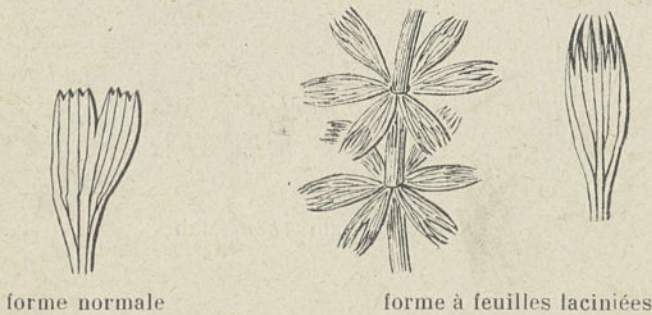
Sphenophyllum cuneifolium Sternb.

Sphenophyllum cuneifolium Sternberg. — Feuilles verticillées par six, très variables de forme; le plus souvent triangulaires, pourvues de six ou huit dents pointues, d'autres fois bifides et plus ou moins laciniées (forme *saxifragæfolium*). — Westphalien.



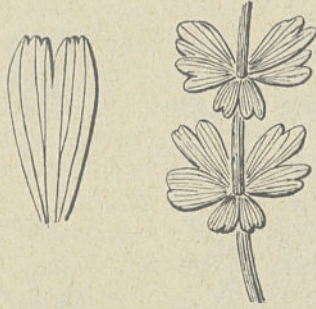
Sphenophyllum cuneifolium Sternb.

Sphenophyllum oblongifolium Germar. — Feuilles élargies et oblongues, (contour un peu ovale), pourvues de dents obtuses au sommet, ou ne présentant qu'une seule incision médiane; nervures fortes et distantes.



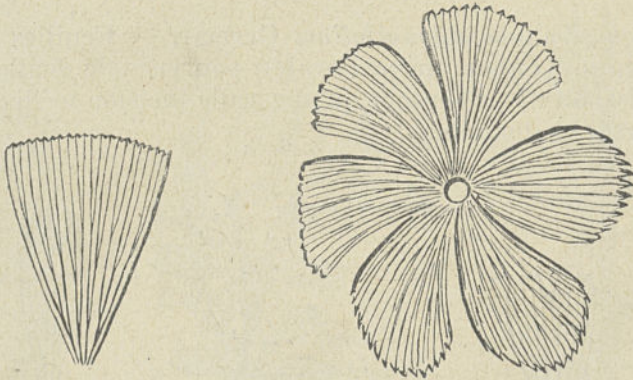
Sphenophyllum oblongifolium Germar

Forme Trizygia = rameaux, où les six feuilles de chaque verticille sont groupées en trois paires de taille inégale: les deux feuilles antérieures plus petites que les autres. — Stéphanien.



Sphenophyllum oblongifolium, forme *Trizygia*

Sphenophyllum Thoni Mahr. — Feuilles très grandes, très larges, arrondies à leur extrémité ou finement dentelées. Nervures très nombreuses, très fines et très serrées. Souvent feuilles laciniées à leur extrémité. — Stéphanien moyen — Permien.



Sphenophyllum Thoni Mahr

Feuilles de Fougères

Sous la dénomination générale de FEUILLES DE FOUGÈRES, on classe des feuilles stériles de grande taille, très divisées, qui appartiennent à deux groupes de plantes très différentes les unes des autres :

Les unes sont de *vraies Fougères*, comparables de tous points à nos Fougères actuelles, tantôt herbacées, tantôt arborescentes, se reproduisant au moyen de *spores*, contenues dans des sacs ou sporanges, fixés à la face inférieure des feuilles.

Les autres sont, en réalité, des *Phanérogames*, des *Gymnospermes primitives*, qui se reproduisaient au moyen de *graines*. Les graines étaient fixées en grappes sur les ramifications de certaines feuilles fertiles.

Les sacs polliniques étaient fixés à la face inférieure des pinnules fertiles de certaines feuilles; on les a pris longtemps pour des sporanges de Fougères. — Ces Gymnospermes primitives ont reçu le nom de *Ptéridospermées* ou *Fougères à graines*.

La découverte des Ptéridospermées remonte à 1903. C'est à cette époque que R. KIDSTON décrivit une graine de *Neuropteris*, fixée à l'extrémité d'une penna pourvue de pinnules normales. OLIVER et SCOTT, deux autres savants anglais, décrivirent les graines du *Sphenopteris Hæninghausi*. Enfin, GRAND'EURY décrivit, en 1904, des feuilles de *Pecopteris Plückeri*, portant un grand nombre de graines, fixées à leur face inférieure.

Jusqu'en 1903, les Ptéridospermées étaient considérées comme de vraies Fougères et confondues avec les autres Fougères houillères. *Cette erreur est due à la simplicité de la nervation*: les nervures, qui parcourent le limbe des pinnules sont d'ordinaire simplement bifurquées une ou plusieurs fois; quand elles sont anastomosées, le réseau qu'elles forment demeure toujours très simple. Or, cette simplicité de la nervation se retrouve de nos jours chez les Fougères: les feuilles des Phanérogames actuelles ont, au contraire, habituellement une nervation beaucoup plus compliquée.

D'ailleurs, il est impossible *à priori* de distinguer les feuilles des Ptéridospermées de celles des vraies Fougères houillères. Toutes sont des feuilles de grande taille (1^m50 à 2^m de longueur; 5 et 10^m pour certaines feuilles), très divisées, garnies de pinnules aux formes variées. C'est pourquoi, *dans la pratique, pour la commodité des déterminations, il est préférable de classer ensemble toutes les feuilles stériles.* A côté de cette classification provisoire, les spécialistes pourront établir, avec le temps, une *classification naturelle* des mêmes feuilles, basée sur la connaissance de leurs organes reproducteurs.

A vrai dire, ces feuilles, caractérisées par leurs grandes dimensions, enroulées en forme de crosse pendant leur jeune âge, doivent être désignées sous le nom de *frondes*, comme celles des Fougères actuelles.

OBSERVATION. — Pour la détermination des feuilles de Fougères fossiles, on utilise surtout les pinnules et les penes de dernier ordre, ce qui dispense en général de connaître l'architecture de l'ensemble de la feuille.

Nous étudierons successivement :

Les PÉCOPTÉRIDÉES : genre *Pecopteris*; leurs fructifications ; leurs troncs.

Les ALÉTHOPTÉRIDÉES : genres *Alethopteris*, *Lonchopteris*, *Callipteridium*, *Callipteris*.

Les NEUROPTÉRIDÉES : genres *Neuropteris*, *Linopteris*, *Odonopteris*, *Mixonocera*.

Les MARIOPTÉRIDÉES.

Les SPHÉNOPTÉRIDÉES.

Graines et organes mâles de Ptéridospermées.

Les TAENIOPTÉRIDÉES.

REMARQUES. — I. Les Pécoptéridées sont, pour la plupart, de vraies Fougères. Les Aléthoptéridées, les Neuroptéridées, les Marioptéridées sont des groupes très homogènes, comprenant presque exclusivement des Ptéridospermées. Les Sphénoptéridées représentent, au contraire, un groupe très hétérogène.

II. D'après GRAND'EURY, les Fougères vraies et les Ptéridospermées interviendraient pour une très forte proportion (au moins les deux tiers) dans la constitution du charbon des couches supérieures de St-Etienne (Faisceaux des 8^e, 3^e couches et couche des Rochettes).

Pécoptéridées

Les Pécoptéridées représentent un groupe complexe qui renferme des types d'affinités indéterminées. Cependant, le plus grand nombre d'entr'elles sont des *Fougères arborescentes*, voisines des Marattiées actuelles.

Caractères du genre Pecopteris. — Pinnules attachées au rachis par toute leur base, à bords parallèles ou faiblement convergents, arrondies au sommet; parfois pinnules lobées ou dentées. Nervure médiane très nette, nervures latérales simples, ou groupées par deux ou par trois.

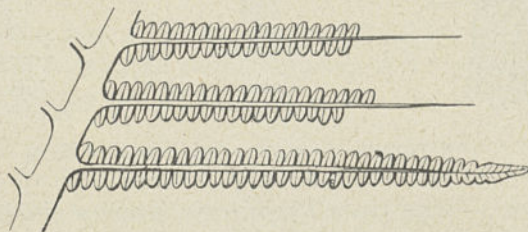
Pecopteris arborescens Schloth. — Rachis épais et couverts de ponctuations ou de poils. Pinnules courtes et trapues, arrondies au sommet, serrées les unes contre les autres, perpendiculaires au rachis support. Nervures latérales simples, fortes et bien distinctes les unes des autres. — Stéphanien inférieur (Rive-de-Gier).



pinnules
étroites



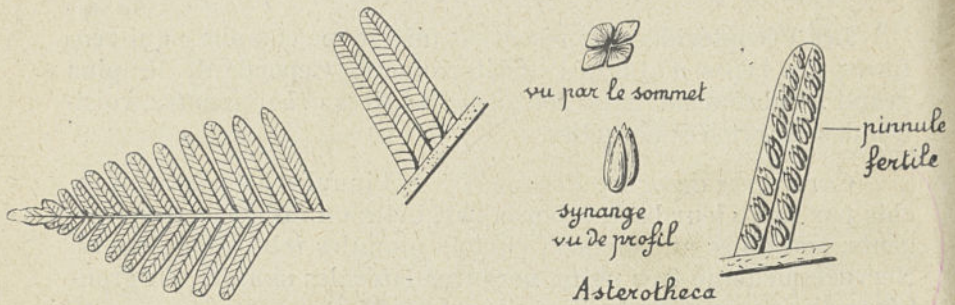
pinnules larges
(forme tyroche)



Pecopteris arborescens. Schlotheim

P. hemitelioides Brongn. — Rachis ponctués; pinnules, souvent insérées obliquement sur le rachis, plus grandes et plus larges que chez *P. arborescens* et *P. lepidorachis*. Nervures latérales simples et fines.

Fructifications du type *Asterotheca*: sporanges oblongs, groupés par quatre (synange) à la face inférieure des pinnules. — Stéphanien moyen et supérieur.



penne et pinnules stériles *hemitelioides* Sporangies et pinnule fertile
Pecopteris cyathea-lepidorachis. Brong.

P. cyathea-lepidorachis. — Rachis ponctués; pinnules étroites, perpendiculaires au rachis support. Nervures latérales simples, mais très serrées et paraissant souvent bifurquées à la base. *P. cyathea* Schloth. et *P. lepidorachis* Brongn. sont deux formes très voisines l'une de l'autre. — Stéphanien moyen et supérieur.

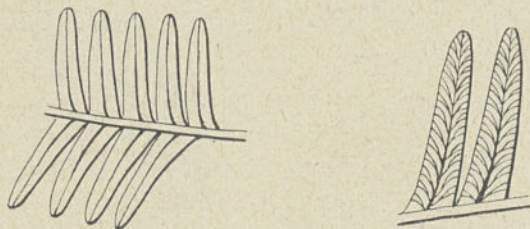


Pecopteris hemitelioides. Brong.

REMARQUE. — Les trois *Pecopteris*, décrits ci-dessus, ou *Pecopteris cyathéoides*, confondus souvent l'un avec l'autre sous le nom de *P. cyathea*, sont très caractéristiques du Stéphanien fran-

gais. Leurs fructifications à tous les trois sont du type *Asterotheca* décrit ci-dessus pour *P. hemitelioides*.

Pecopteris Candollei Brongn. — Pinnules grandes, allongées, à nervures latérales bifurquées. — Stéphanien moyen.

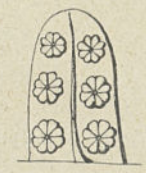
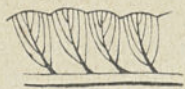


Pecopteris Candollei Brongn.

P. unita Brongn. — Pinnules adhérant souvent largement entre elles, de manière à former des sortes de petites pennes lobées; dans chaque lobe, une nervure médiane et des nervures latérales simples, recourbées vers le bord du lobe. — Stéphanien.



fragments de
pennes stériles



pinnule fertile



synange vu
par le sommet
et de profil

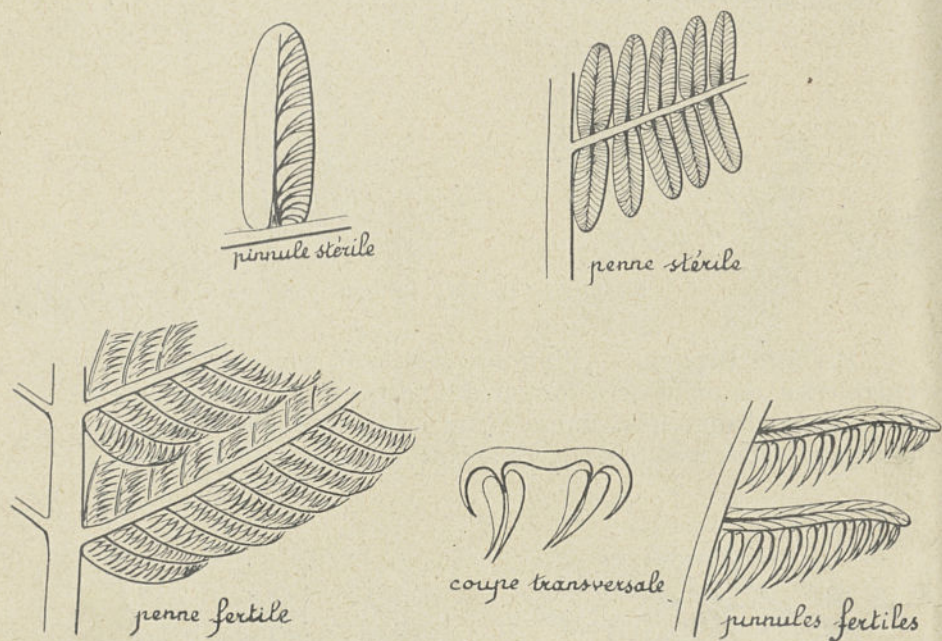
Ptychocarpus.

Pecopteris unita Brongn.

Les fructifications du *P. unita* appartiennent au type *Ptychocarpus*: sporanges groupés par huit (synange), sur une même colonne et adhérant les uns aux autres.

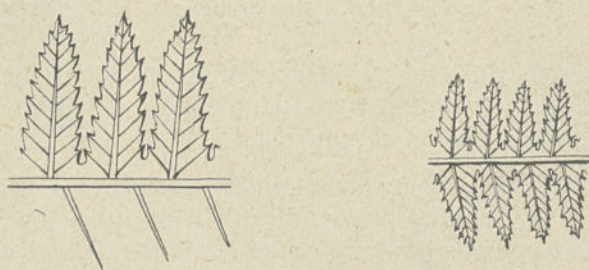
Pecopteris polymorpha Brongniart. — Pinnules ressemblant à des pinnules de *Neuropteris*, mais adhérant au rachis par toute leur base. Nervure médiane profonde. Nervures latérales très fortes, deux fois bifurquées, se recourbant perpendiculairement au bord de la pinnule. — Stéphanien. — Permien.

Les fructifications du *P. polymorpha* appartiennent au type *Scolecopteris* : sporanges allongés, effilés à leur extrémité, fixés par quatre sur un réceptacle. Les pinnules fertiles ressemblent à des épaulettes frangées.



Pecoapteris polymorpha Brongn.

N.B. — Le *Pecoapteris polymorpha* est l'espèce la plus fréquente du Stéphanien. Ses pennes fertiles ou stériles sont répan-



Pecoapteris feminaeformis Schloth

dues partout à profusion, mais surtout dans le Stéphanien inférieur.

P. femineiformis Schloth. — Pinnules triangulaires, pointues, à bords dentelés, adhérentes les unes aux autres par leur base. Nervures latérales simples et rectilignes. — Stéphanien moyen et supérieur. — Permien. Très rare dans l'étage de Rivede-Gier.

Pecopteris Plückereti Schlotheim. — Grandes pinnules à lobes arrondis, légèrement contractées à la base. — Fréquent dans le Stéphanien.

N.-B. — Cette espèce est en réalité une Ptéridospermée (Fougère à graine), qui n'a rien à voir avec les autres *Pecopteris* (voir plus loin, page 84, sa description et sa figuration).

Pecopteris penniformis

ME

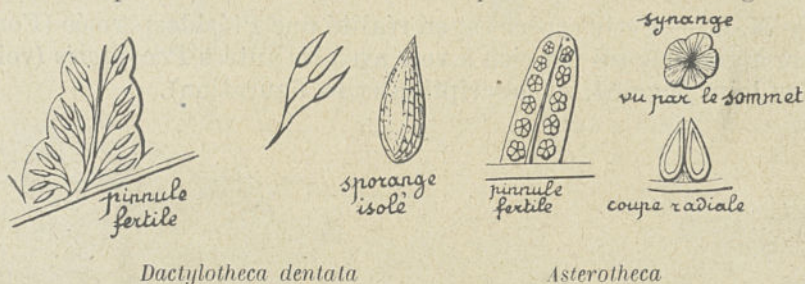
Pecopteris albivitta

ME

Fructifications de Pécoptéridées

Ces fructifications consistent en sporanges fixés à la face inférieure des feuilles. — Elles sont très variées. Nous ne signalerons ici que les principaux types, qui paraissent tous appartenir au groupe des Marattiales et dont les sporanges sont dépourvus d'anneau.

TYPE DACTYLOTHECA. — C'est le plus simple: les sporanges sont des sacs allongés, sans anneau, fixés isolément sur les nervures. Exemple: fructifications du *Pecopteris dentata* Brongniart.



TYPE ASTEROTHECA. — Sporangies, renflés, pointus au sommet, groupés par quatre ou cinq, mais libres ou à peine adhérents entre eux; ces groupes de sporanges sont appelés *synanges*. Les fructifications d'un très grand nombre de *Pecopteris* appartiennent à ce type. Nous citerons: *P. hemitelioides* (voir ci-dessus), *P. arborescens*, *P. cyathea-lepidorachis*, *P. abbreviata* Brongn.

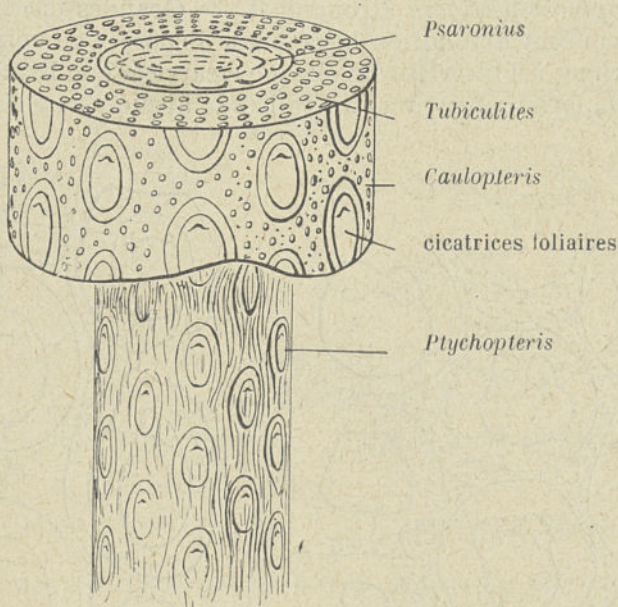
TYPE SCOLEOPTERIS. — Paraît ne différer d'*Asterotheca* que parce que les sporanges, groupés par quatre, sont très effilés et fixés sur un court pédicelle. Voir ci-dessus, page 58, les fructifications de *Pecopteris polymorpha* Brongn.

TYPE PTYCHOCARPUS. — Diffère d'*Asterotheca*, en ce que les sporanges, groupés au moins par huit, adhèrent les uns aux autres le long de l'axe central, de manière à constituer des *synanges* compacts. Voir ci-dessus, page 57, les fructifications de *Pecopteris unita* Brongn.

REMARQUE. — On doit tenir pour certain que les quatre types de fructifications, décrits ci-dessus, appartiennent à de véritables Fougères et ne représentent nullement des organes mâles de Ptéridospermées.

Troncs de Pécoptéridées

Ces troncs sont analogues à ceux de nos Fougères arborescentes; ils comprennent un cylindre central, qui renferme des bandes vasculaires concentriques, et un revêtement cortical. L'écorce est parcourue de haut en bas par des racines, à faisceau étoilé, très nombreuses et très régulièrement disposées. Autour des bandes vasculaires centrales, il y a donc un manchon de racines, souvent très beau sur les exemplaires silicifiés, qui ont reçu le nom de *Psaronius* Cotta. Ce manchon de racines a d'autre part



Tronc de fougère du terrain houiller

été désigné sous le nom de *Tubiculites* par GRAND-EURY, sur les exemplaires carbonisés. La surface de ces troncs présente de grandes cicatrices foliaires, laissées par la chute des feuilles. Le tronc portait à son sommet une couronne de grandes frondes qui, à l'état jeune, étaient enroulées en crosses.

Suivant l'état de conservation, dans lequel on les trouve, ces troncs ont reçu les noms de *Caulopteris*, *Ptychopteris* ou *Psaronius*. Chez les *Caulopteris*, les feuilles sont disposées en hélices tout autour du tronc. Chez les *Megaphyton*, elles sont disposées suivant deux génératrices diamétralement opposées.

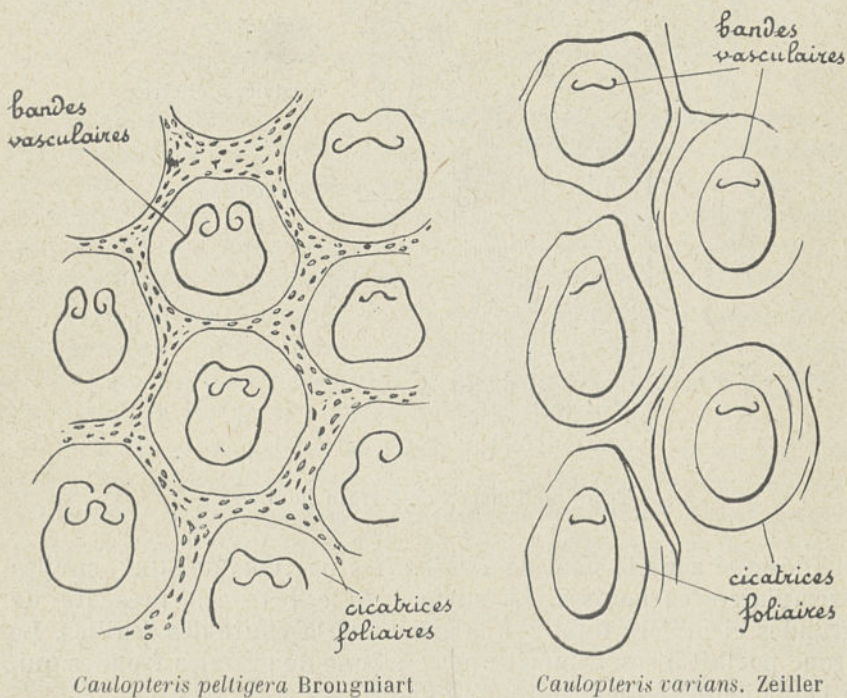
Psaronius Cotta : tronc silicifié avec les bandes vasculaires au centre et les racines autour du tronc.

Tubiculites Grand'Eury : manchon de racines.

Caulopteris Lindley et Hutton : nom réservé aux empreintes montrant la surface, c'est-à-dire l'extérieur du tronc.

Ptychopteris Corda : tronc dépouillé de son manchon de racines.

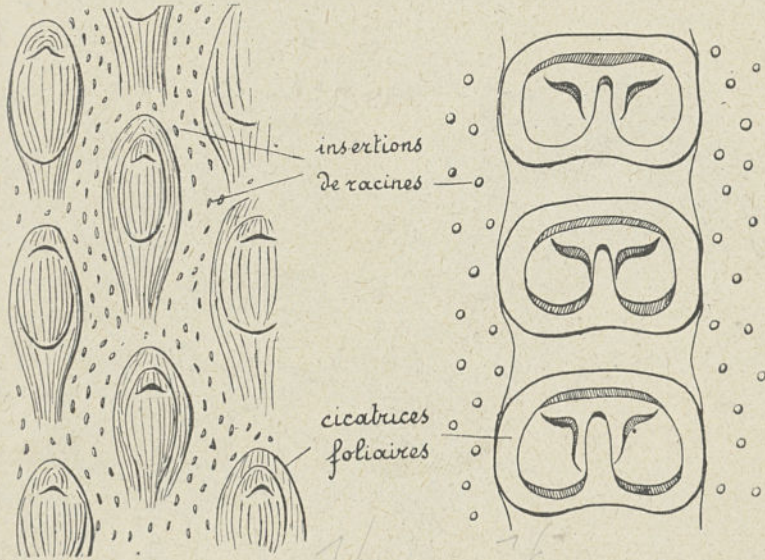
Caulopteris peltigera Brongniart. — Grandes cicatrices foliaires, à contour arrondi ou hexagonal, disposées en spirales autour du tronc ; à l'intérieur de chaque cicatrice, une bande vasculaire ovale, enveloppant une autre bande arquée. — Stéphanien.



Caulopteris varians Zeiller. — Très voisin du précédent ; mais cicatrices foliaires plus arrondies ; bandes vasculaires souvent en fer à cheval à extrémités enroulées en crosses ; souvent aussi crosses soudées entre elles et formant une bande vasculaire interne. — Stéphanien.

Ptychopteris Corda. — Nom réservé aux empreintes sous-corticales, c'est-à-dire aux troncs dépouillés de leur manchon de racines.

Ptychopteris macrodiscus Brongniart. — Cicatrices foliaires, à aspect fibreux, striées en long ; à contour ovale, généralement ouvert par en bas ; à l'intérieur, bande vasculaire ovale avec une bande interne en forme d'arc. — Stéphanien.



Ptychopteris macrodiscus. Brongn.

Megaphyton Mac Layi Lx

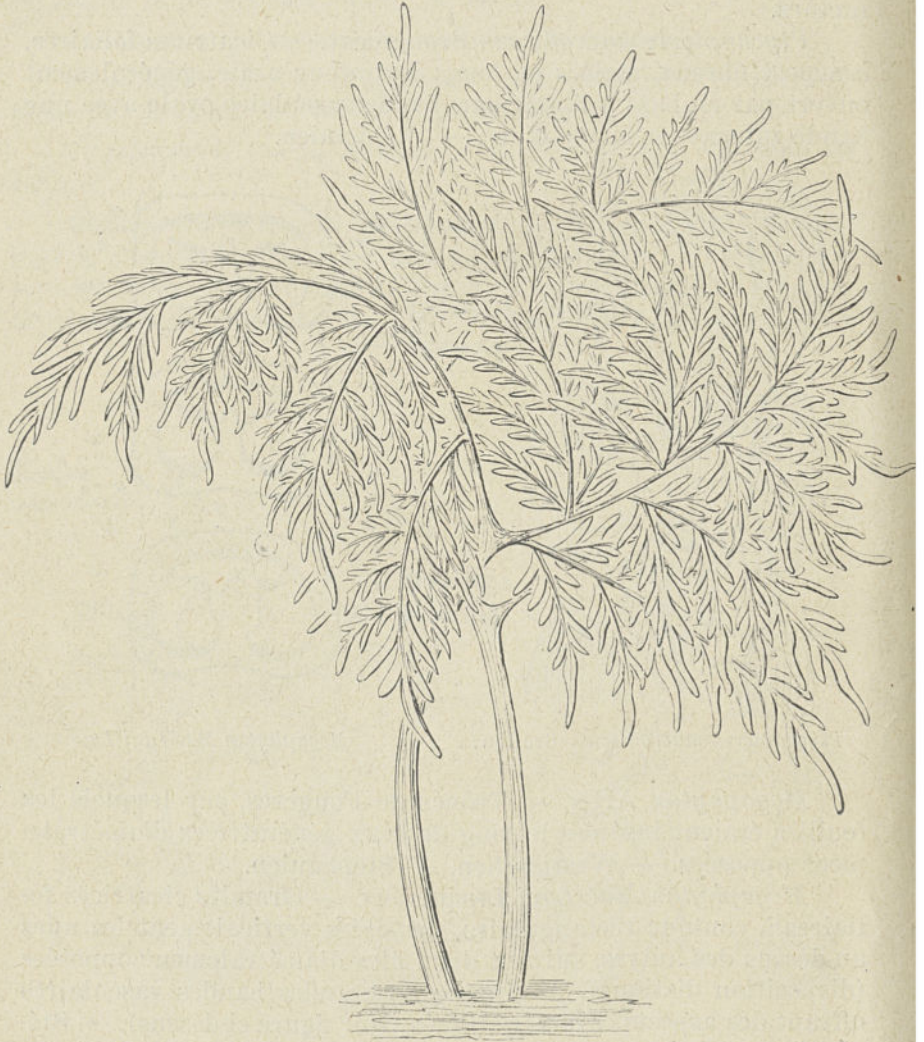
Megaphyton Artis. — Troncs de Fougères, sur lesquels les feuilles étaient insérées le long de deux génératrices diamétralement opposées. — Westphalien. — Stéphanien.

Megaphyton Mac Layi Lesquereux. — Grandes cicatrices foliaires à contour rectangulaire, disposées verticalement les unes au-dessus des autres, suivant deux files diamétralement opposées (disposition distique). A l'intérieur, grandes bandes vasculaires offrant des aspects caractéristiques (voir figure ci-dessus). — Stéphanien.

Aléthoptéridées

Groupe homogène, renfermant en principe exclusivement des Fougères à graines.

Frondes de grande taille, fixées sur des tiges courtes, de manière à constituer des sortes de buissons.



Alethopteris restauré

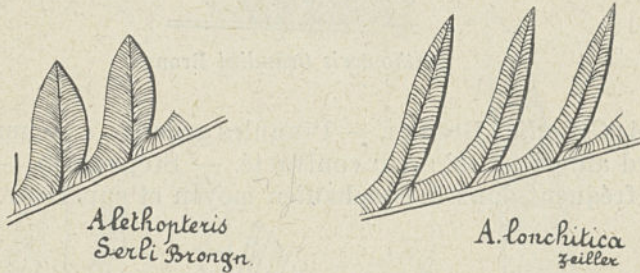
Dans la figure ci-dessus, on n'a représenté que deux frondes, qui sont elles-mêmes simplifiées, afin de rendre le dessin plus clair. La tige très courte serait ici submergée ou enfouie dans la vase.

GENRE ALETHOPTERIS. — Pinnules adhérentes entre elles à la base, à bord inférieur *décurrent* le long du rachis, à bord supérieur *contracté*. Nervure médiane forte; nervures latérales serrées, recourbées perpendiculairement au bord de la pinnule.

Graines des types *Trigonocarpus* et *Pachytesta*.

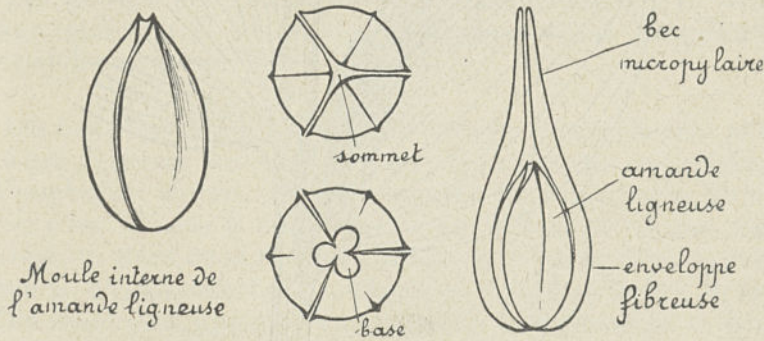
Organes mâles encore peu ou pas connus.

A. lonchitica Zeiller. — Pinnules allongées, étroites, lancéolées; nervures latérales très fines. — Westphalien inférieur.



A. Serli Brongniart. — Pinnules fortes, à bord supérieur nettement contracté; nervures latérales fortes et serrées. — Westphalien supérieur.

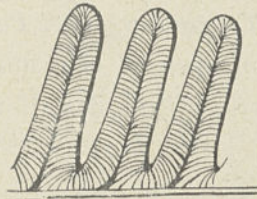
Trigonocarpus Noeggerathi Sternberg. — Noix ou amande ligneuse, ovoïde, pourvue de trois ailes ou crêtes saillantes et de



Trigonocarpus Noeggerathi. Sternberg

trois crêtes plus faibles dans l'intervalle des précédentes. L'emande s'ouvrait probablement en trois valves. La graine complète possédait une enveloppe fibreuse, prolongée par un long bec micropylaire. Sous cet aspect, elle a souvent été décrite comme *Rhabdocarpus*.

La plupart des *Alethopteris* (*A. lonchitica*, *A. Serli*, etc.) et les *Lonchopteris*, avaient des graines du type *Trigonocarpus*, décrit ci-dessus.



Alethopteris Grandini Brongn.

A. Grandini Brongn. — Pinnules grandes, à sommet arrondi, à bord antérieur très peu contracté. — Stéphanien. — Permien. Très fréquent dans le Stéphanien moyen et supérieur.

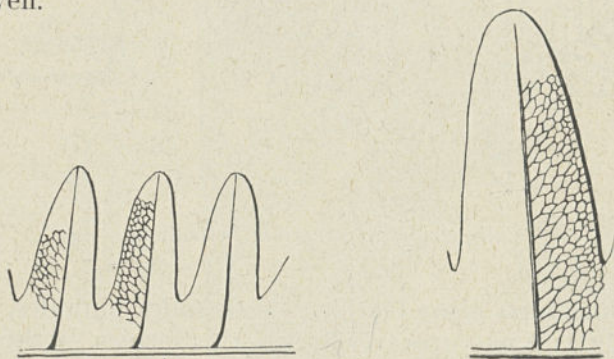


Pachylesta gigantea. Grand Eury

Les graines d'*Aleth. Grandini* ont été décrites sous le nom de *Pachytesta gigantea* Grand'Eury. Ce sont de très grosses graines, de forme ovoïde, comprenant une coque ligneuse épaisse, enveloppée d'une chemise fibreuse, à fibres nombreuses. Ces graines sont fixées en disposition alterne sur de gros rachis; elles devaient être aussi pourvues d'un bec micropylaire, à l'état jeune.

En dépit des apparences, il y a certainement de grandes analogies de structure entre les *Pachytesta* et les *Trigonocarpus*. Mais chez les premiers, la noix ligneuse devient très grosse.

Lonchopteris rugosa Brongniart. — Pinnules élargies à la base. Nervures latérales formant un réseau à mailles polygonales, de plus en plus serrées vers les bords de la pinnule. — Westphalien moyen.

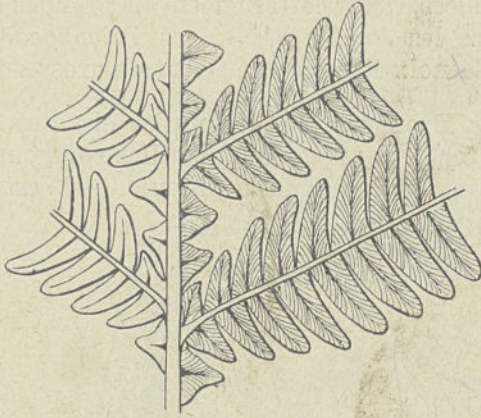


Lonchopteris rugosa. Brongn.

Les graines des *Lonchopteris*, comme *L. rugosa*, *L. Bricei* Brongn. étaient très semblables au *Trigonocarpus Noeggerathi*, décrit ci-dessus (page 65).

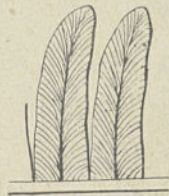
Les *Lonchopteris* diffèrent des *Alethopteris* simplement parce que leurs nervures latérales sont anastomosées. Ils caractérisent le Westphalien moyen, où ils présentent leur maximum d'abondance: c'est la zone à *Lonchopteris* qui s'étend à travers toute l'Europe, du Nord de la France à la Russie et qui ne dépasse guère 6 à 800 m. d'épaisseur. Les *Lonchopteris* à mailles lâches du type *L. Eschweileri* apparaissent toutefois très bas dans le Westphalien inférieur.

Callipteridium pteridium Schlotheim. — Pinnules attachées au rachis par toute leur base, non décurrentes, souvent un peu recourbées vers le haut. Nervures latérales fines et obliques. — Pennes se prolongeant le long des gros rachis par des pinnules de plus en plus petites ou par des pennes anormales. — Stéphanien.



Callipteridium pteridium Schlotheim

Callipteridium gigas Gutbier. — Grandes pinnules, à bords un peu ondulés, à nervures très fines et très serrées. — Stéphanien moyen et supérieur.



*Callipteridium
gigas* Gutbier

Bien qu'apparaissant dans les couches les plus élevées du Westphalien (Flambants supérieurs de Sarrebrück), les *Callipteridium* sont essentiellement caractéristiques du Stéphanien.

Callipteris conferta Sternberg. — Grandes feuilles, simplement bipinnées. Pinnules arrondies au sommet, à bord inférieur très décurrent, à bord supérieur très contracté; nervures très obliques. Pennes se prolongeant le long des gros rachis par une série de pinnules de plus en plus petites. — Permien.

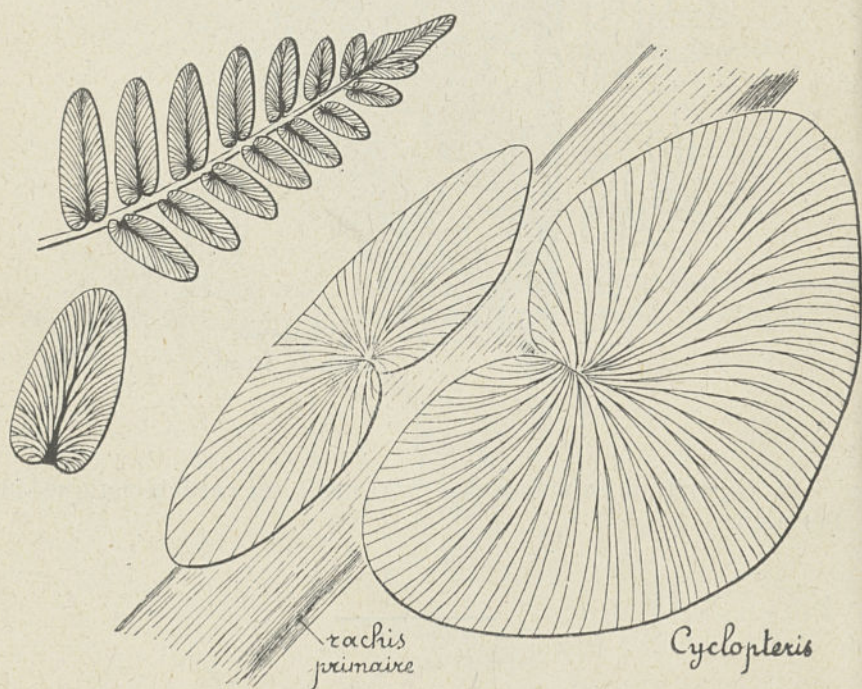


L'apparition en masse des *Callipteris* est caractéristique du Permien.

Neuroptéridées

Groupe paraissant très homogène, comme les Aléthoptéridées. Pinnules caractérisées par leurs nervures latérales fines et obliques, plusieurs fois bifurquées, et par leur nervure médiane n'atteignant pas le sommet.

Grandes feuilles, comprenant un gros rachis strié en long, bifurqué en forme de fourche à son extrémité. Les deux branches de la fourche sont ramifiées; elles portent des pennes et des pinnules normales. Le gros rachis porte des pinnules anormales, grandes, orbiculaires, appelées *Cyclopteris*.



Neuropteris heterophylla Brongniart

GENRE NEUROPTERIS. — Pinnules échancrées en cœur à la base, attachées au rachis par un seul point, arrondies au sommet;



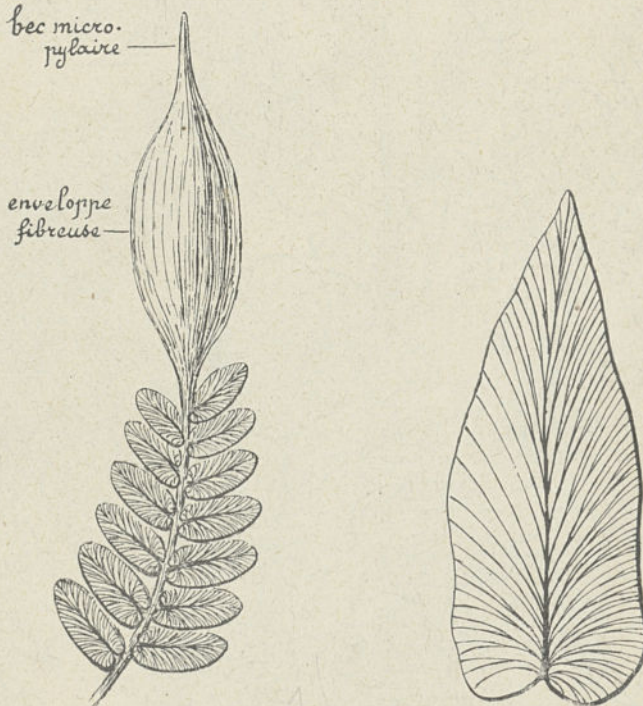
Neuropteris heterophylla, arbuste restauré

nervure médiane nette, mais s'évanouissant avant d'atteindre le sommet de la pinnule.

Neuropteris heterophylla Brongn. — Pinnules ovales, échan-
crées en cœur à la base; nervures latérales, fines et arquées, au
moins deux fois bifurquées. Rachis primaire bifurqué et garni
au-dessous de la bifurcation de deux rangées de grandes pinnules
orbiculaires (*Cyclopteris*). — Westphalien.

Les organes mâles de *N. heterophylla* sont encore inconnus.

GRAINES de *Neuropteris heterophylla*. — Découvertes par
KIDSTON en 1903. — Graines ovales, renfermant une petite aman-
de ligneuse ailée, noyée dans une enveloppe fibreuse, épaisse,



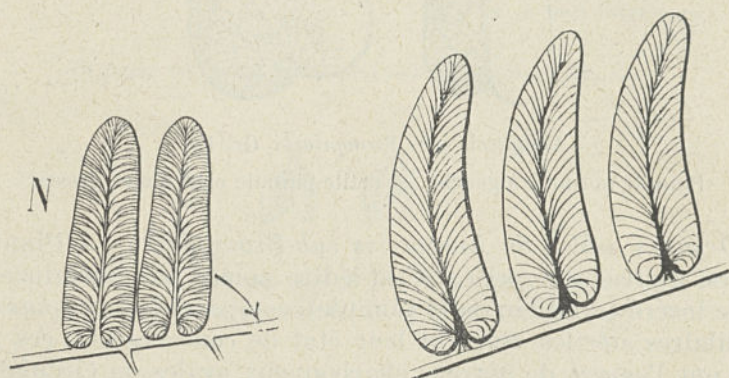
N. heterophylla penne fertile

Neuropteris cordata Brongn.

pourvues d'un bec micropylaire. Ces graines étaient portées à
l'extrémité de pennes, garnies de pinnules normales; la pinnule
terminale était remplacée par une graine.

Neuropteris cordata Brongn. — Grandes pinnules à contour un peu ondulé, à nervures latérales plusieurs fois bifurquées, épaisses. — Stéphanien.

Neuropteris Schlehani Stur. — Pinnules d'aspect coriace, à nervure médiane forte, à nervures latérales épaisses, serrées, incurvées normalement au bord de la pinnule. Nervation rappelant beaucoup celle d'*Alethopteris lonchitica* et de *Pecopteris polymorpha*. — Westphalien inférieur.



N. Schlehani. Stur

N. gigantea Sternb.

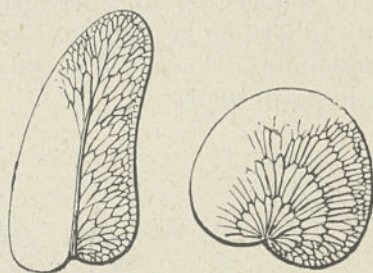
Neuropteris gigantea Sternb. — Pinnules grandes, recourbées en forme de faux, à nervures latérales très fines et très serrées. — Westphalien.

REMARQUE IMPORTANTE. — Les *Neuropteris* du groupe *gigantea* Sternb. offrent les plus grandes analogies avec les *Linopteris* du groupe *Brongniarti*: même édification générale de la fronde, mêmes formes de pinnules, mêmes formes de graines; inflorescences mâles, pratiquement identiques de part et d'autre.

GENRE LINOPTERIS. — Diffère de *Neuropteris* parce que les nervures latérales forment un réseau à mailles allongées, resserrées vers les bords de la pinnule.

Linopteris sub-Brongniarti Grand'Eury. — Forme ancestrale de *Lin. Brongniarti*, à pinnules de petite taille. — Pinnules

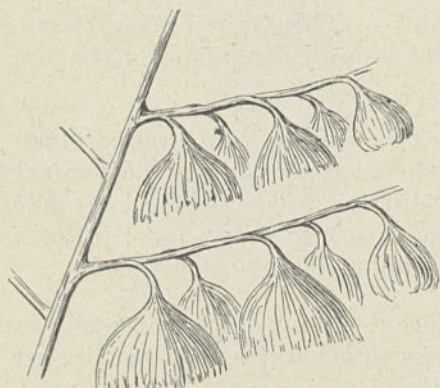
habituellement arquées sur leur bord supérieur, semblables à celles de *N. gigantea*, mais plus larges: parfois pinnules à contour ovale. — Petites pinnules à contour orbiculaire, tout le long des gros rachis. — Caractéristique du Westphalien supérieur du Nord de la France (zone de Bruay).



Linopteris sub. Brongniarti. Gr. E.

Pinnule normale à gauche, et petite pinnule orbiculaire grossie

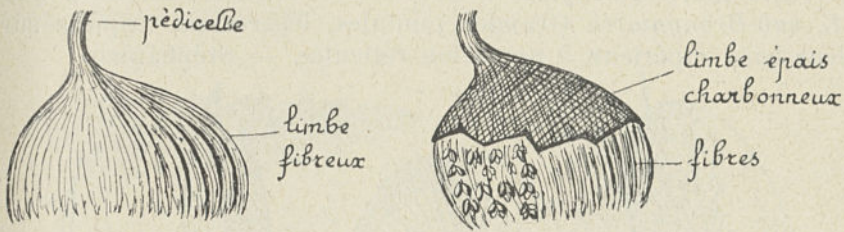
Organes mâles de Linopteris sub-Brongniarti. — Pinnules fertiles, à structure peltée (c'est-à-dire portée par un mince pédicelle inséré au milieu de la pinnule), comparables aux pinnules orbiculaires stériles. Suivant leur état de conservation, ces pinnules ont l'aspect de disques charbonneux ovales ou circulaires, ou bien de parasols. Ces pinnules ont un limbe épais, fibreux et renferment à leur face inférieure un très grand nombre de sacs polliniques, groupés en *synanges*.



Inflorescence mâle (*Potonia*)



pinnule mâle étalée à plat
et vue par dessus



pinnule mâle en forme de parasol, vue de profil

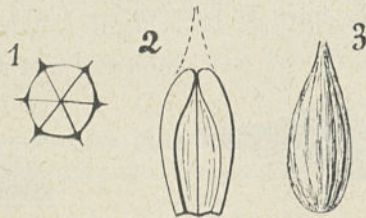
pinnule mâle laissant voir en partie, les sacs polliniques cachés à sa face inférieure

Organes mâles de *Linopteris sub-Brongniarti* Gr. E.



Sacs polliniques, groupés par 2, provenant d'une pinnule mâle de *Neuropteris gigantea* Sternb, d'après A. Carpentier

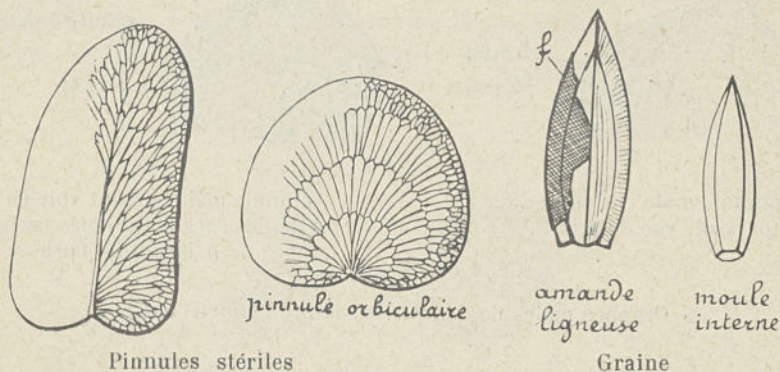
GRAINES de *Linopteris sub Brongniarti*. — Décrites par A. CARPENTIER en 1911. Coque ligneuse s'ouvrant en trois valves; pourvue de six ailes; moule interne en forme d'obus à six pans. Aplaties, ces graines ont un aspect fibreux et côtelé. — Très semblables à celles de *L. Brongniarti*, mais plus petites.



Graine de *Linopteris sub-Brongniarti*. Gr. E.

1. — Vue par la base
2. — 1 valve, vue par sa face interne
3. — Aspect extérieur de la graine

Linopteris Brongniarti Gutbier. — Mêmes caractères que *L. sub-Brongniarti*. Grandes pinnules, légèrement arquées sur leur bord supérieur, à nervation réticulée. — Stéphanien.



En f, restes charbonneux de l'enveloppe fibreuse

Linopteris Brongniarti Gutbier

GRAINES de *Linopteris Brongniarti* (connues sous le nom d'*Hexagonocarpus crassus*). — Moule interne en forme d'obus à six pans; coque ligneuse allongée à six ailes; en dépit des apparences, très semblables aux graines de *Lin. sub-Brongniarti*.

GENRE ODONTOPTERIS. — Pinnules attachées au rachis par toute leur base, à bord inférieur décurrent, à bord supérieur contracté. Nervure médiane faiblement marquée ou absente; nervures obliques bifurquées, issues pour la plupart directement du rachis support.

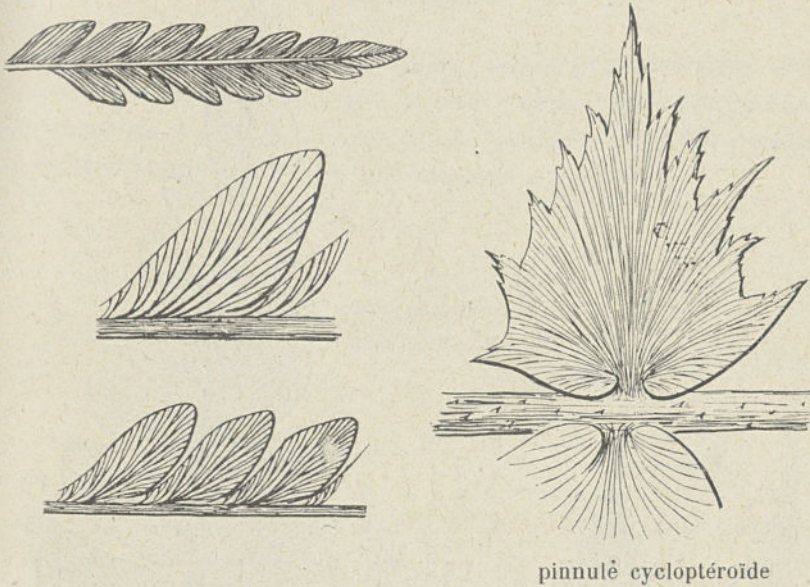
Odontopteris minor Brongn. — Pinnules sveltes, étroites, allongées, à nervures fines et serrées. — Caractérise le Stéphanien supérieur.



Odontopteris minor Brongniart

Odontopteris Reichi Gutbier. — Pinnules assez larges, à nervure médiane faiblement marquée. — Pinnules cycloptéroïdes, à contour plus ou moins triangulaire, et à bords laciniés, fixées sur

le gros rachis primaire au-dessous de la bifurcation. — Stéphanien inférieur et moyen.



Odontopteris Reichi Gutbier

GENRE MIXONEURA. — Offre des caractères intermédiaires entre les genres *Neuropteris* et *Odontopteris*. Les pinnules voisines de l'extrémité des pennes sont attachées largement au rachis support; la nervation rappelle celle des *Odontopteris*: nervure médiane faiblement marquée avec nombreuses nervures partant directement du rachis support. Au contraire, les pinnules, situées vers la base des pennes, sont très semblables aux pinnules de *Neuropteris*.

L'une des espèces les plus connues est le *Neuropteris* (*Mixoneura*) *obliqua* Brongn., du Westphalien inférieur et moyen.

Le *Mixoneura ovata* Hoffmann, que nous figurons ici, est caractéristique des flambants supérieurs du Bassin de la Sarre (= Westphalien supérieur). — Extrémité des pennes rappelant beaucoup les *Odontopteris*; bord inférieur de chaque pinnule formant souvent une petite expansion en forme d'oreille.

Pinnules cycloptéroïdes, triangulaires, à bords laciniés tout à fait semblables à celles d'*Odontopteris Reichi*.



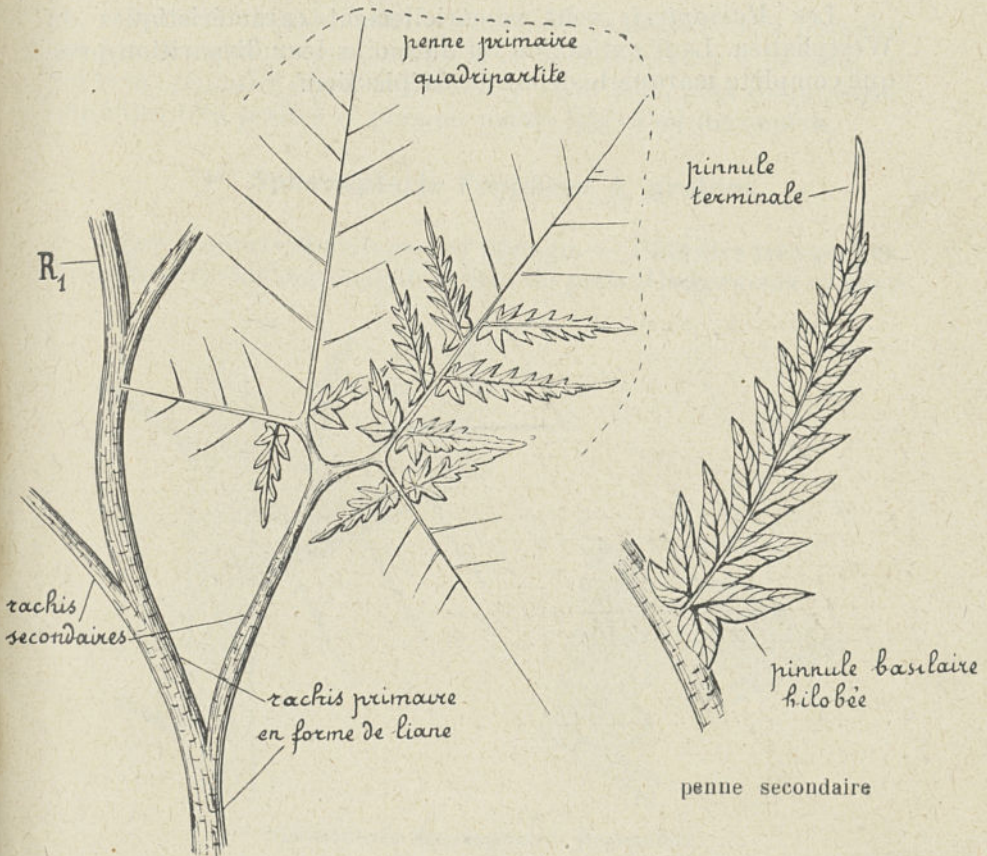
Pinnule cycloptéroïde

Mixoneura ovata Hoffmann.

Graines semblables à celles des *Neuropteris*.

Mariopteridées

Feuilles de très grande taille; rachis primaire doué d'une croissance indéfinie, semblable à une longue liane, portant latéralement des pennes primaires quadripartites, c'est-à-dire divisées en quatre pennes par deux bifurecations successives.



Mariopteris muricata Schlotheim

Mariopteris muricata Schloth. — Pinnules triangulaires, obliques, attachées au rachis par toute leur base. Nervures obliques, assez lâches, Pinnules basilaires (c'est-à-dire insérées à la base des pennes) bilobées. Rachis présentant de petites rides transversales caractéristiques. — Westphalien.

Les Marioptéridées sont certainement des Fougères à graines, voisines des Neuroptéridées et des *Sphenopteris* du groupe de l'*obtusiloba* Brongn.; mais leurs organes reproducteurs sont jusqu'ici totalement inconnus.

Les *Mariopteris* sont essentiellement caractéristiques du Westphalien. Leur extinction ou du moins leur disparition presque complète marque le début du Stéphanien.

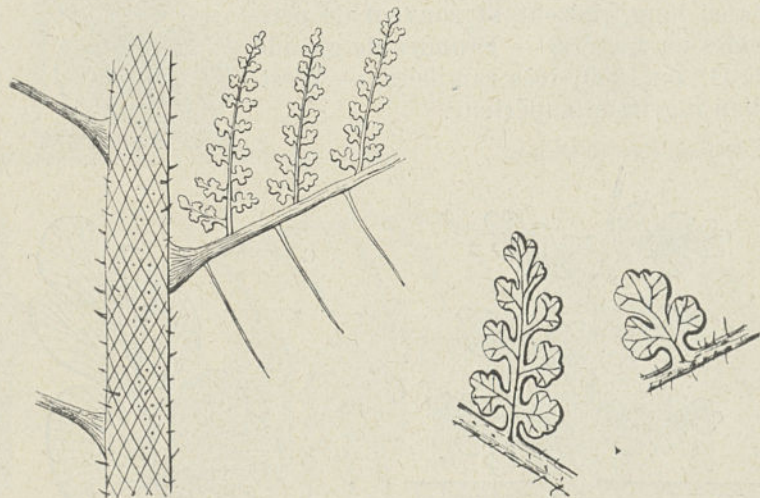
Sphénoptéridées

Groupe tout à fait hétérogène, composé en partie de vraies Fougères, appartenant à des familles très diverses, et en partie de Fougères à graines (Ptéridospermées), également très variées. — Toutes ces Fougères sont classées dans le genre compréhensif : *Sphénopteris*, dont la définition, donnée ci-après, est très large, très élastique.

GENRE SPHENOPTERIS. — Frondes très découpées, à pinnules ou à lobes généralement rétrécis en forme de coin à la base, — ou bien : pinnules étroites, linéaires, — ou bien, plus simplement : pinnules très petites et plus ou moins lobées ou découpées.

1° *Sphenopteris* Fougères à graines

Sphenopteris Hoeninghausi Brongn. — Pinnules très petites, trilobées : rachis couverts de sortes de poils. Gros rachis et tiges



Sphenopteris Hoeninghausi. Brongniart

présentant un réseau de losanges à leur surface, réseau dû à la disposition des fibres de l'écorce. — Caractéristique du Westphalien inférieur.

Les organes reproducteurs mâles et femelles de cette espèce sont aujourd'hui très bien connus. Ils sont semblables à ceux du *Sphenopteris striata* (voir ci-après).

Les organes mâles de *Sph. Hoeninghausi* ont été décrits par R. KIDSTON.

Les graines ont été découvertes en 1903 par OLIVER et SCOTT et décrites par ces auteurs. Elles étaient renfermées dans des cupules couvertes de poils glanduleux. Il n'est pas rare de trouver ces graines détachées, privées de leur cupule et parsemant les plaques de schiste, couvertes de feuilles de *Sph. Hœninghausi*. Ce sont des corps ovoïdes d'au plus 5^{mm} de longueur sur 2^{mm} de largeur.

Sphenopteris striata Gothan (= *Sphen. obtusiloba* auct.). — Pinnules assez larges, divisées en trois à cinq lobes arrondis; limbe épais fibreux, couvert de stries fines et serrées (= fibres). — Nervures difficilement visibles à cause de la nature fibreuse du limbe, bifurquées, groupées en un faisceau rayonnant à partir de la base de la pinnule. — Gros rachis fibreux également, striés en long, présentant souvent de petites rides en travers. — Frondes de grande taille (1^m ou 1^m50) très ramifiées. — Westphalien moyen et supérieur.

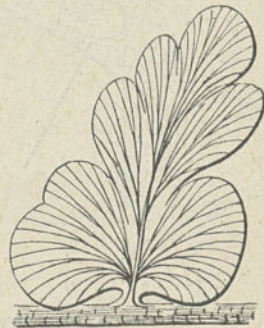
B.



A.



C.



A, B, pennes et pinnules montrant la structure fibreuse du limbe
C, petite penne montrant la nervation

Sphenopteris striata, Gothan

Le *Sph. striata* fait partie du groupe des *Sphenopteris* analogues à *S. obtusiloba* Brongn., groupe très vaste, qui renferme encore: *Sph. neuropteroides* Boulay, *Sph. nummularia* Gutbier et beaucoup d'autres espèces du Westphalien.

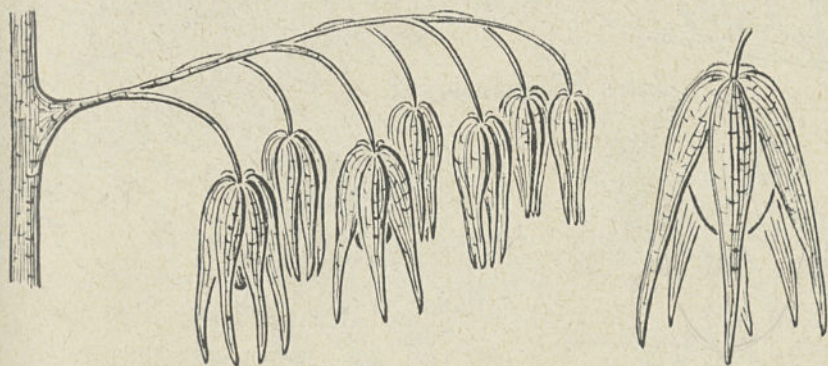
Grâce à A. CARPENTIER, le *Sphenopteris striata* est avec le *Sph. Hœninghausi* l'une des Fougères à graines les mieux connues dans toutes ses parties. Les organes reproducteurs de cette espèce ont été découverts et décrits en 1911 par A. CARPENTIER.

INFLORESCENCES MALES de *Sphenopteris striata* Gothan. — Constituées par des parties de fronde très ramifiées. Sur les parties fertiles de la fronde, les pinnules stériles sont remplacées par des groupes de sacs polliniques ou *microsporangés*. Chaque grou-



Inflorescence mâle de *Sphenopt. striata*

Groupe de sacs polliniques



Inflorescence femelle de *Sphenopteris striata*
d'après A. Carpentier

Cupule
renfermant une graine

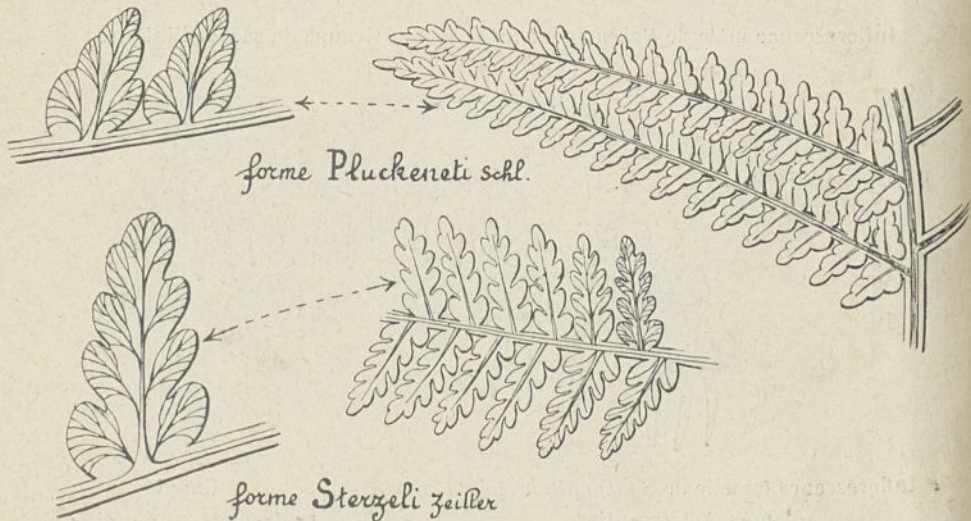
pe comprend six à huit sacs, fixés sur un même réceptacle à l'extrémité d'un pédicelle. La plus grande partie de la fronde mâle est d'ailleurs garnie de pinnules stériles normales, qui s'étendent jusque sur la base des pennes fertiles.

INFLORESCENCES FEMELLES. — Constituées aussi par des parties fertiles de la fronde. Ici chaque pinnule ou chaque lobe de pinnule est remplacé par une cupule à six languettes renfermant une graine ovoïde, allongée. La cupule s'ouvrait à maturité.

Il convient de remarquer que les organes mâles et femelles ne se trouvent pas sur la même fronde, ni sur la même plante. Les sexes étaient donc séparés.

Pecopteris Plückeri Schlotheim (désigné aussi sous les noms de *Pecopteris Sterzeli* ou *Sphenopteris Sterzeli* Zeiller. — Le *P. Sterzeli* Zeiller paraît n'être qu'une variété du *P. Plückeri*). — Grandes pinnules d'aspect pécoptéroïde, lobées, à lobes arrondis, légèrement contractées à la base. Nervures des lobes bifurquées, groupées en faisceau, disposées en éventail. Rachis présentant une grosse nervure médiane. — Stéphanien.

Le *Pecopteris Plückeri* est très différent de tous les autres *Pecopteris* qui sont, pour la plupart, de véritables Fougères; il nous paraît devoir en être séparé et être rapproché des Sphé-



noptéridées. Le *P. Plückereti* est une Ptéridospermée; ses graines ont été découvertes et décrites par GRAND'EURY en 1904. On a aussi des indications sur ses organes mâles, qui sont analogues à ceux de *Sphenopteris striata*.

GRAINES de *P. Plückereti*. — Petites graines digones, ailées, à surface granulée, fixées à la face inférieure de pinnules à limbe réduit, à raison d'une graine sur chaque lobe.

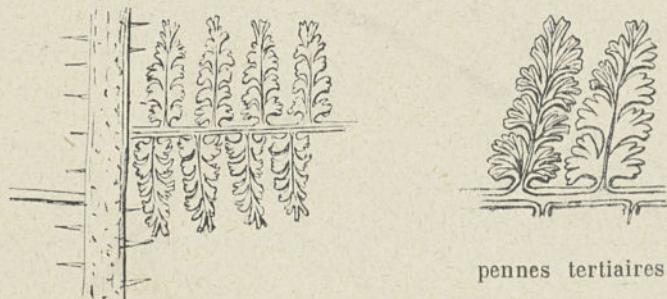
Les graines mûres, détachées des feuilles sont connues sous le nom de *Carpolithes granulatus* (voir figure ci-contre).



2° *Sphenopteris* vraies Fougères

Ils ont des fructifications très variées; leurs sporanges, isolés les uns des autres ou groupés en *synanges* à la face inférieure des pinnules, sont le plus souvent pourvus d'un anneau de cellules élastiques. Les fructifications, de beaucoup les plus fréquentes, appartiennent aux types: *Corynepteris* et *Renaultia*. Les autres genres: *Oligocarpia*, *Discopteris*, etc., sont plus rares. Faute de place, il ne nous est pas possible de décrire ici ces fructifications qui permettent de classer les Fougères en question dans des familles très différentes les unes des autres.

Sphen. coralloides Gutbier. — Petites pinnules à contour



Sphenopteris coralloides Gutbier

arrondi, à bord dentelé, lacinié; petites pennes (= pennes tertiaires) insérées perpendiculairement sur le rachis support; grandes pennes (= pennes secondaires) également perpendiculaires au rachis-support. Gros rachis ponctués et poilus. Fructifications du type *Corynepteris*. — Westphalien.



Sphen. chaerophylloides Brongniart (= *Hapalopteris typica* Stur). — Pinnules délicates, élargies et adhérentes à la base, à nervures obliques. Fructifications du type *Renaultia*. — Westphalien supérieur. — Stéphanien inférieur.

Organes reproducteurs des Ptéridospermées

Résumé d'ensemble

Les Fougères à graines se reproduisent au moyen d'organes mâles et femelles, groupés sur des ramifications particulières des feuilles, constituant des sortes de *grappes* ou d'*inflorescences*. Nous avons dit que les feuilles ou frondes étaient très grandes, très ramifiées; dans les feuilles fertiles, seules, certaines ramifications étaient fertiles et constituaient les inflorescences en question. Certaines feuilles portaient seulement des inflorescences mâles; et d'autres seulement des inflorescences femelles. Il est même probable qu'il y avait pour une espèce donnée deux sortes de plantes: des individus mâles et des individus femelles: les sexes étaient tout à fait séparés.

Les organes mâles et les graines des Ptéridospermées sont presque toujours détachés des feuilles qui les ont portés. Cependant, par suite des conditions très calmes qui ont présidé à la formation de beaucoup de toits, feuilles et fructifications sont restées associées; ceci a permis de retrouver avec un grand degré de certitude les fructifications de nombreuses espèces de Ptéridospermées. Parmi les espèces, dont on connaît le mieux à la fois l'appareil végétatif et les organes mâles et femelles, il faut citer:

Sphenopteris striata Gothan.

Neuropteris gigantea Sternberg.

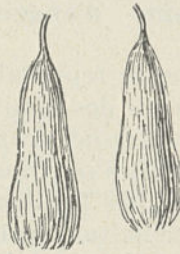
Linopteris sub-Brongniarti Grand'Eury.

I. — ORGANES MALES

Ceux des Sphénoptéridées sont très différents de ceux des Aléthoptéridées et des Neuroptéridées; ils sont aussi plus variables. Les sacs polliniques (ou microsporangies) renferment des microspores ou éléments mâles, destinés à la fécondation. Ils sont habituellement groupés en *synanges*.

1° ALÉTHOPTÉRIDÉES. — Les organes mâles des *Aléthopteris* et des *Lonchopteris* ne sont pas connus en toute certitude. (Au

contraire, leurs graines, les *Trigonocarpus*, sont très bien connues). On leur attribue avec beaucoup de vraisemblance des clochettes allongées étroites, complètement fermées à l'état jeune, et classées sous le nom de *Whittleseya*.

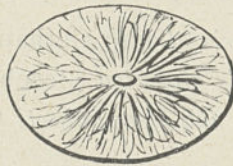


Organes mâles (*Whittleseya*) attribués aux *Alethopteris*.

Ces clochettes sont de même nature que les cloches mâles des Neuroptéridées.

2° NEUROPTÉRIDÉES. — Pinnules fertiles différant des pinnules stériles normales, en ce qu'elles sont *peltées* (c'est-à-dire orbiculaires, suspendues à un petit pédicelle, fixé près du centre du limbe, d'où la disposition rayonnée des fibres et des nervures).

Ces pinnules mâles se présentent tantôt sous forme de disques épais, charbonneux, fibreux (*disques mâles*) :



Disque mâle de *Neuropteris cordata* Brongn.
(vu par dessus)

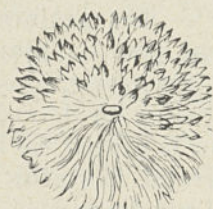
tantôt sous forme de parasols ou de cloches (*Potonica*), plus ou moins évasées, hémisphériques, ou même cylindriques (*Whittleseya*), fermées par en bas à l'état jeune.

Les sacs polliniques, groupés par deux ou par quatre (synanges), étaient plongés dans l'épaisseur du limbe, à la face inférieure de ces disques ou à la face interne de ces cloches.



Pinnules mâles (*Potonica*)
des *Linopteris* du groupe *Brongniarti*
et des *Neopteris* du groupe *gigantea*,
vues de profil.

Cloche mâle (*Whittleseyia*)
de *Mixoneura obliqua* Brongn.



Disque mâle (*Potonica*) de *Linopteris*,
laissant apercevoir les nombreux sacs polliniques, cachés à la face
inférieure, sous la couche fibreuse (grosi environ 3 fois)

La consistance charbonneuse de ces organes mâles les rend assez difficiles à découvrir, d'autant plus que leurs dimensions sont en général très exigues (4 à 5^{mm} au plus). Cependant, ils sont extrêmement fréquents et on les reconnaîtra surtout grâce à la structure fibreuse du limbe. — Chez certaines espèces, ces cloches atteignent de 2 à 5 centim. et ressemblent à des graines fibreuses (*Rhabdocarpus*).

3° SPHÉNOPTÉRIDÉES. — Sacs polliniques groupés en petits bouquets ou synanges (appelés *Telangium*). Chaque groupe de sacs est fixé sur un réceptacle, porté à l'extrémité d'un grêle pédicelle. Ex. : les inflorescences mâles du *Sphenopteris striata*.

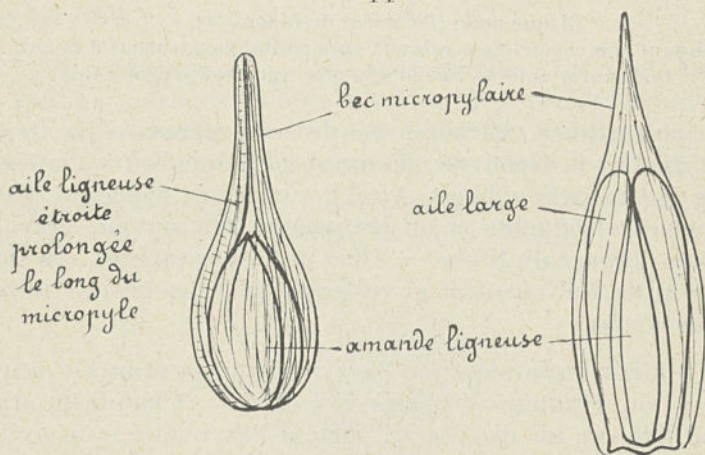


Fragment d'inflorescence mâle de *Sphenopteris*

II. — GRAINES

D'une façon générale, les graines de Ptéridospermées étaient groupées en *grappes* ou en *régimes*, sur certaines parties des feuilles. Elles ont presque toujours une *symétrie ternaire* (sauf quelques exceptions, où la symétrie est binaire); elles comprennent en principe deux parties: une *amande ligneuse* ou *noyau*, renfermant le sac embryonnaire et une *enveloppe charnue* ou *fibreuse*, prolongée à sa partie supérieure par un long bec micropylaire, qui avait pour rôle de collecter le pollen.

1° ALÉTHOPTÉRIDIÉES. — Les graines d'*Alethopteris* et de *Louchopteris*, appartiennent pour la plupart au type *Trigonocarpus*. L'amande ligneuse très grosse, constitue une sorte de noix ovoïde, renflée, pourvue d'ailes ou de crêtes saillantes. L'enveloppe fibreuse, appliquée sur la graine, est ici relativement mince; le bec micropylaire très grand. Les ailes ligneuses sont noyées dans la masse fibreuse de l'enveloppe.



Trigonocarpus

Dessin schématique montrant l'amande ligneuse à l'intérieur de l'enveloppe fibreuse.



Hexapterospermum

Certains *Alethopteris* ont des graines du type *Pachytesta*, qui n'est qu'une modification du type *Trigonocarpus*, avec crêtes ligneuses, très effacées ou nulles.

2° NEUROPTÉRIDIÉES. — Les graines des *Neuropteris* du groupe *gigantea* Sternberg et celles des *Linopteris* du groupe *Brongniarti* Gutbier ou *sub-Brongniarti* Grand'Eury sont classées en général comme *Hexapterospermum* ou *Hexagonocarpus*. Notre dessin ci-dessus donne une idée de ce type de graines, que l'on peut définir comme suit :

Moule interne allongé, étroit, en forme d'obus ou de fuseau à six pans, c'est-à-dire à six faces, planes ou déprimées. — Rarement moins de six ailes larges saillantes. (Souvent l'amande s'ouvre en trois valves, comme celle des *Trigonocarpus*).

Enveloppe fibreuse épaisse. Bec micropylaire assez court.

Aspect extérieur de la graine côtelé.

Nous avons pu constater pour le *Neuropteris gigantea*, que la graine était fixée sur une cupule à bords frangés.

Les graines des *Neuropteris* du groupe de l'*heterophylla* Brongn. sont analogues aux *Hexapterospermum*, mais l'amande ligneuse paraît n'avoir que trois ailes développées (type *Tripterospermum*). D'après KIDSTON, ces graines étaient aussi portées par un réceptacle en forme de cupule.

3° SPHÉNOPTÉRIDIÉES. — Les graines des *Sphenopteris* du groupe de l'*obtusiloba* (Ex. : *Sph. striata* Gothan, *Sph. neuropteroides* Boulay), étaient petites, ovoïdes, renfermées dans des cupules allongées, qui, à maturité, s'ouvraient en six ou huit lobes. Le plus souvent les graines, séparées de leurs cupules, gisent éparses parmi les plaques de schiste.



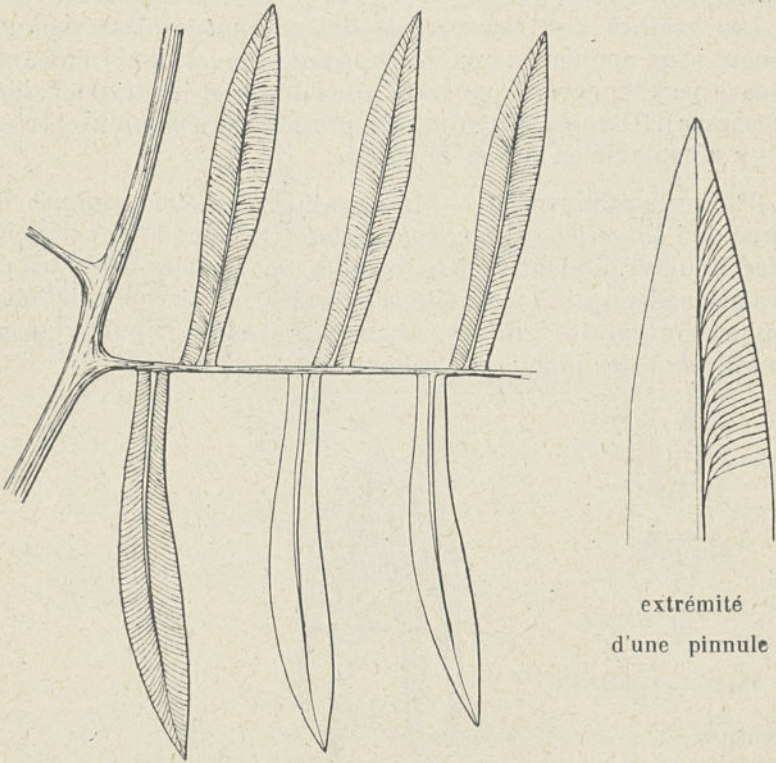
Sphenopteris striata Gothan. Graine dans sa cupule

Tænioptéridées

Groupe complexe, renfermant à la fois de vraies Fougères et des plantes à graines, voisines des Cycadales (voir ci-après). Surtout abondant pendant la période secondaire.

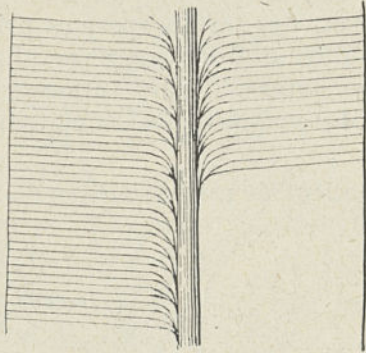
GENRE TAENIOPTERIS. — Feuilles simples ou bipinnées à nervation, rappelant celle des *Alethopteris*. — Certains *Taeniopteris* ne sont que des fragments de feuilles d'*Alethopteris*.

Grandes pinnules larges, oblongues ou lancéolées, pourvues d'une nervure médiane forte; nervures latérales fines, groupées par quatre, dirigées perpendiculairement au bord de la pinnule.



Taeniopteris jejunata Grand Eury

Tæniopteris jejunata Gr. E. — Stéphanien. — Assez fréquent dans le bassin de St-Etienne.



Tæniopteris multinervis Weiss

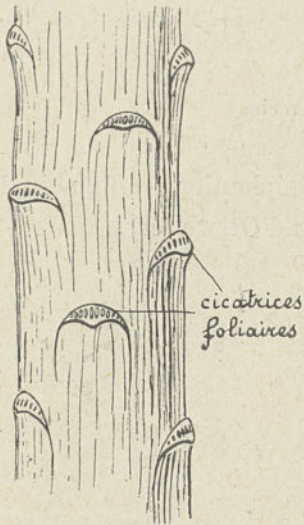
Tæniopteris multinervis Weiss. — Stéphanien. — Principalement dans le bassin de la Sarre (couches d'Ottweiler).



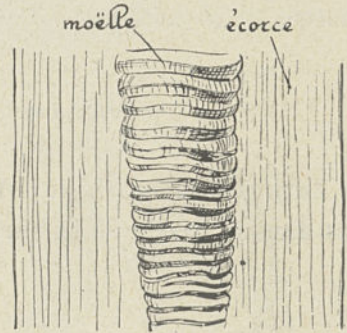
Les Cordaïtées

Les Cordaïtées sont des Gymnospermes primitives, voisines des Conifères, mais offrant des caractères plus simples: leurs feuilles sont plus développées; leurs inflorescences sont moins condensées: ce sont des épis très lâches et très allongés et non des cônes.

Les Cordaïtes étaient de grands arbres de 30 à 40^m de hauteur.



Tige de Cordaïte

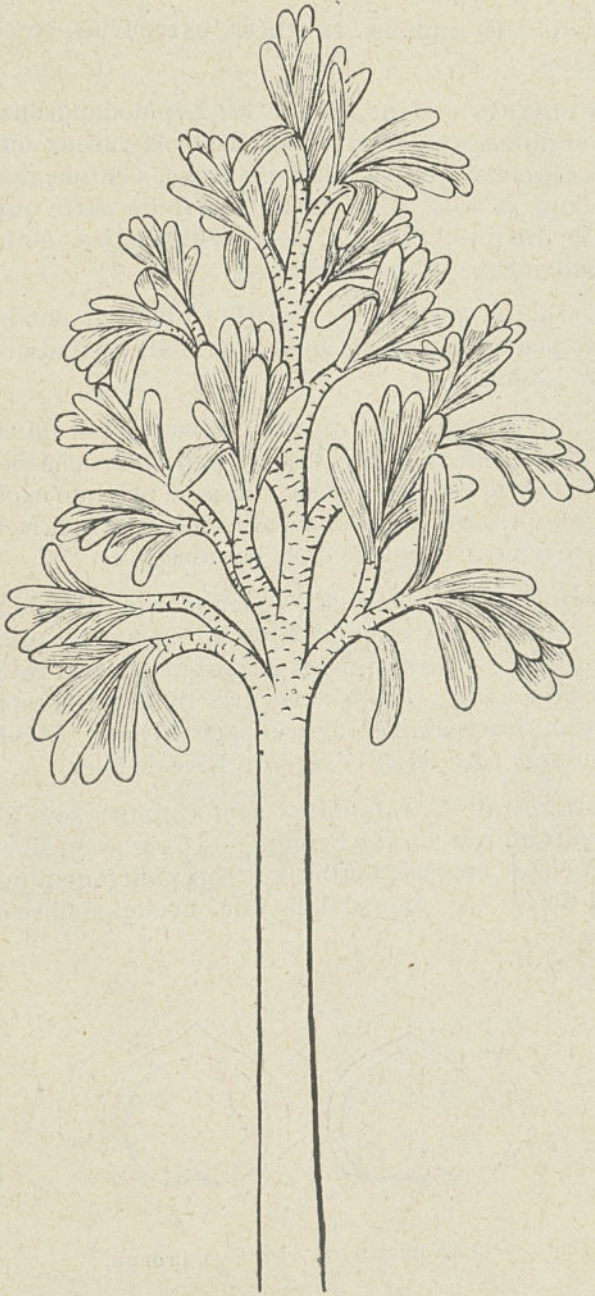


Artisia

Moule interne de la moëlle
d'une tige de Cordaïte

Tronc ramifié abondamment, ne portant de feuilles que sur les dernières branches. — Cicatrices foliaires, disposées en hélice, à contour elliptique surbaissé ou arqué, munies intérieurement de cicatricules ponctiformes (faisceaux). — Axe de la tige et des rameaux occupé par une large moëlle, massive à l'état jeune, plus tard condensée en planchers transversaux ou obliques. On a décrit sous le nom d'*Artisia* les moules internes de la tige des Cordaïtes.

Feuilles groupées en bouquets à l'extrémité des rameaux,



Cordaite restauré

simples, mais très grandes, rubanées, parcourues par des nervures parallèles.

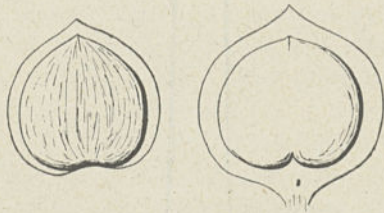
Les Cordaïtes étaient comme les Lépidodendrons et les Sigillaires, organisées pour vivre sur les sols vaseux ou tourbeux. Les grosses racines, qui partaient du tronc, s'enfonçaient horizontalement dans la vase, formant une sorte de patte qui soutenait l'arbre. Ces racines, différentes des Stigmarias, étaient striées longitudinalement et très ramifiées.

Les Cordaïtes, apparues dans le Culm, ont persisté dans le Permien et pendant une partie de la période secondaire (Trias et Jurassique inférieur).

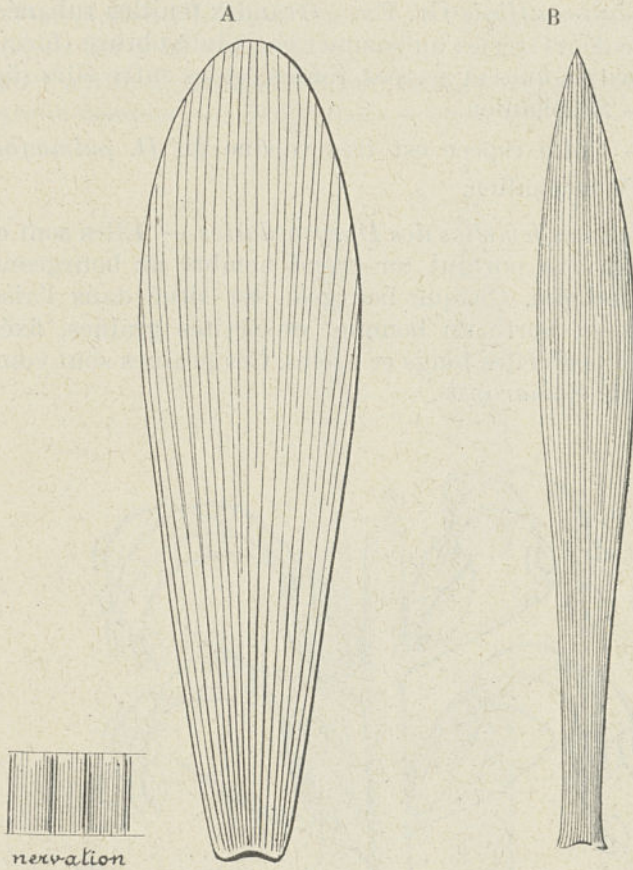
Les Cordaïtes ont joué un rôle prépondérant dans la formation de la houille dans le Stéphanien moyen. Le charbon des couches inférieures de St-Etienne est composé presque exclusivement de débris de *Cordaïtes*, principalement de *C. lingulatus*, qui est extraordinairement fréquent dans ce faisceau.

Cordaïtes lingulatus Gr. E. — Grandes feuilles de 40 à 60 cm. de longueur, à sommet circulaire, ou largement elliptique, à base un peu rétrécie. Feuilles épaisses à contour général rappelant une langue large et étalée. Grosses nervures très nettes, espacées, avec fine striation intercalaire (figure page 97). — Stéphanien. — (Absent ou très rare dans l'étage de Rive-de-Gier).

Les graines de *C. lingulatus* sont connues sous le nom de: *Cardiocarpus cf. sclerotesta* Brongn.. — Grosses graines en forme de cœur, à coque épaisse, bordée sur son pourtour d'une aile large; le tout devait être plongé dans une enveloppe fibro-charnue.



Cardiocarpus cf. sclerotesta Brongn.



Feuilles de Cordaïtes

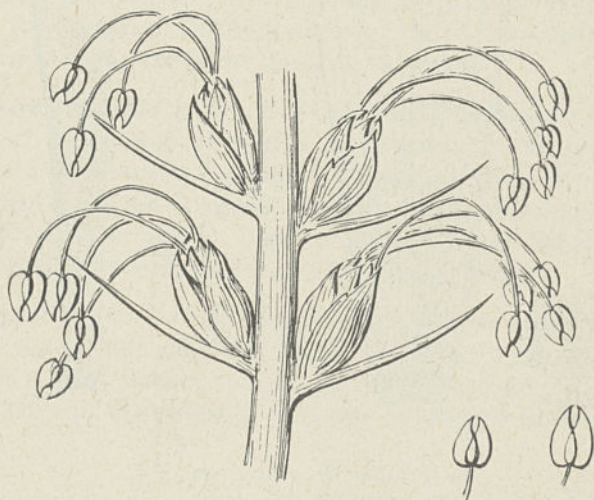
- A, feuille de *Cordaïtes lingulatus* Grand'Eury
B, feuille de *Dorycordaïtes affinis* Gr. E

Réduites à $\frac{1}{3}$ ^e de la grandeur naturelle

Dorycordaïtes affinis Gr. E. — Grandes feuilles rubanées, à contour lancéolé, rétrécies au sommet en pointe obtuse (forme de javelot). Nervures fines et serrées, toutes égales entre elles (figure ci-dessus). — Stéphanien.

N.-B. — Cette espèce est très voisine du *D. palmæformis* Göppert du Westphalien.

Inflorescences femelles des Dorycordaïtes. — Elles sont constituées par un axe portant un grand nombre de bourgeons en disposition distique. Chaque bourgeon est situé dans l'aisselle d'une bractée et porte un bouquet de petites graines, fixées à l'extrémité de pédicelles longs et grêles. Ces graines sont connues sous le nom de *Samaropsis*.

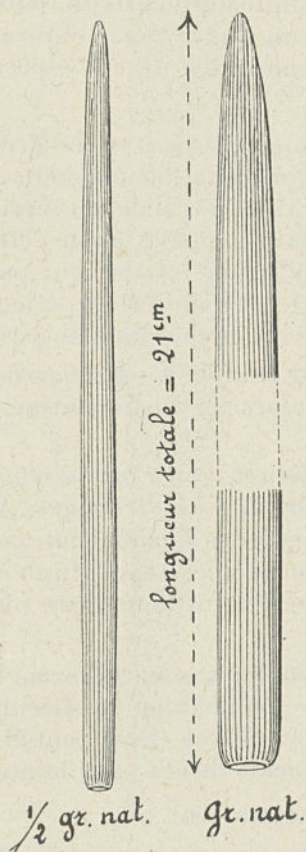


Inflorescence femelle et graines de Dorycordaïte

Samaropsis forensis Gr. E. — Petites graines, comprimées, pourvues d'une aile sur tout leur pourtour, échancrées au sommet. Ce sont les graines du *Dorycordaïtes affinis* Gr. E. (figure ci-dessus).

REMARQUE. — Les *Dorycordaïtes* sont beaucoup plus fréquents et plus répandus que les vrais *Cordaïtes* à feuilles larges et arrondis au sommet.

Poacordaïtes linearis Gr. E. — Feuilles rubanées, étroites, allongées (20 à 30 cm. de longueur sur 0,5 à 1 cm. de largeur), à sommet arrondi, parcourues par des nervures fines et délicates (figure ci-dessous). — Stéphanien moyen et supérieur.



REMARQUE. — Les *Poacordaïtes* se distinguent aisément des *Dorycordaïtes* par l'étroitesse de leurs feuilles.

La Flore à Glossopteris

Jusqu'au Carbonifère supérieur, la flore paléozoïque paraît avoir été répandue uniformément sur toute la surface du globe, c'est-à-dire que dans un étage comme le Westphalien, par exemple, on retrouve sensiblement les mêmes espèces en tout pays, sous toutes les latitudes.

Mais, du *Carbonifère supérieur au Trias*, on constate qu'une partie du globe comprenant l'hémisphère austral (Amérique du Sud, Afrique, Australie) et l'Inde renferme une flore différente de l'hémisphère boréal. L'apparition de cette flore succède immédiatement à une glaciation intense qui paraît avoir affecté ces mêmes régions dans le Carbonifère supérieur et qui y a laissé des traces sous forme de conglomérats glaciaires et de moraines.

On a supposé que les régions glaciées de l'hémisphère austral et l'Inde formaient alors un vaste continent: la Terre de Gondwana.

La *Flore de Gondwana* ou *Flore à Glossopteris* est donc une flore *permocarbonifère* et *permotriasique*. Au Brésil elle est associée à des *Psaronius* et à des *Lépidodendrons*. Dans le Permien de Russie, on l'a trouvée associée aux *Callipteris*. Enfin, elle persiste dans le *Trias*, où elle s'éteint pour faire place de nouveau à une flore cosmopolite.

La Flore à *Glossopteris*, sous sa forme la plus ancienne (Carbonifère supérieur = Stéphanien supérieur) ne comprend qu'un petit nombre de types. (Ceci tient peut-être à une exploration insuffisante des gisements de ces pays lointains).

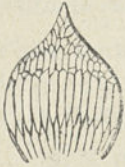
Elle comprend notamment :

- des Fougères très particulières: *Glossopteris* et *Gangamopteris* ;
- des Cordaïtées : *Cordaïtes Hislopi* (rappelant *Cord. lingulatus*) ;
- des Sphénophyllées : *Sphen. speciosum* (type voisin de notre *Sphen. oblongifolium*) ;
- des Annulariées : *Phyllothea*, *Schizoncra* ;
- des Lépidodendrées et des Sigillariées.

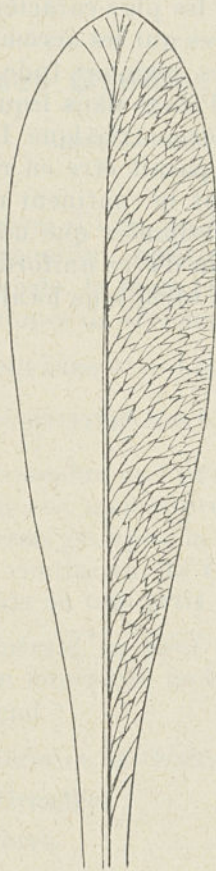
GENRE GLOSSOPTERIS. — Grandes feuilles simples, contour général rappelant une langue. — Nervures latérales arquées, formant un réseau à mailles allongées, de plus en plus serrées vers les bords de la feuille. — Une grosse nervure médiane.



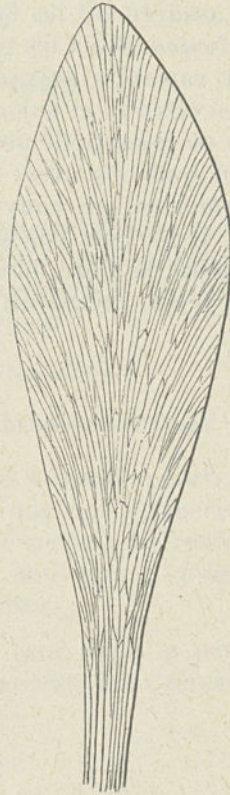
Vertebraria
(rhizome)



feuille écailleuse



Glossopteris Browniana Brongniart



Ganyamopteris,
cyclopteroïdes Feismant.

Ces feuilles étaient fixées le long d'un rhizome offrant des sillons longitudinaux profonds et des gradins transversaux, servant à l'insertion des feuilles. Ces rhizomes ont reçu le nom de *Vertebraria*. On trouve également avec les *Glossopteris* des feuilles écailleuses et des organes sporangiformes. — Permien. — Trias.

GENRE GANGAMOPTERIS. — Feuilles semblables à celles des *Glossopteris*, mais dépourvues de nervure médiane. — Permien. — Trias.

Les *Glossopteris* et les *Gangamopteris*, par leur abondance, sont assurément les types les plus caractéristiques de la flore de *Gondwana*. Mais les espèces qui les accompagnent, sont éminemment variables suivant les régions : Inde, Australie, Brésil, où on les observe et suivant l'étage dans lequel on les trouve. Cette flore est essentiellement permo-triasique. Les causes de son apparition sont obscures ; elle paraît être en relation manifeste avec les glaciers, qui couvraient le continent de *Gondwana*. D'autre part, il ne faut pas se dissimuler que même durant la période houillère, la flore, bien loin d'être uniforme sur toute la surface de la terre, présentait des variations locales très marquées.

Ere des Gymnospermes

On désigne sous le nom d'Ere des Gymnospermes la période qui s'étend entre le Carbonifère supérieur et le Crétacé inférieur. Durant toute cette période, la flore est caractérisée par la prédominance de deux groupes de Gymnospermes :

I. — Les CONIFÈRES avec les GINKGOALES ;

II. — Les BENNETTITIÉES (ou Cycadales primitives).

Il y a en outre bon nombre de FOUGÈRES VRAIES, appartenant aux mêmes familles, ou aux mêmes ordres que nos Fougères actuelles. A côté de ces trois groupes, la flore secondaire renferme encore quelques types continuant la flore houillère: *Cordaitées* et *Ptéridospermées*, mais en très petit nombre.

D'une manière générale, on peut dire que: dans la période considérée, du Permien supérieur inclusivement, au Crétacé inférieur, la flore comprend :

30 % de Conifères et de Ginkgoales ;

30 à 40 % de Cycadées ;

30 % de Fougères.

Dans ces conférences, nous ne parlerons pas des Fougères secondaires, d'ailleurs très voisines des Fougères actuelles.

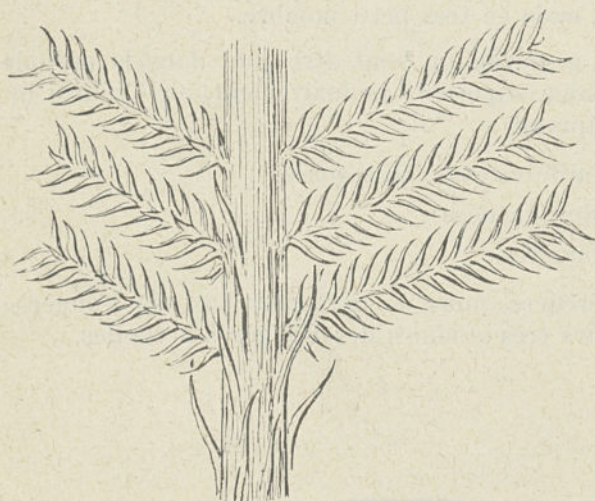
Les Conifères permienes et secondaires *Walchia, Voltzia, etc.*

1° Les *Walchia* sont caractéristiques du Permien, où ils atteignent leur apogée et s'éteignent. En réalité, ils apparaissent dès la base du Stéphanien moyen. C'étaient des arbres parents de nos Araucariées actuelles (= Conifères habitant de préférence les hauts plateaux de la zone équatoriale).

Le *Walchia piniformis* du Stéphanien et du Permien peut être pris comme type de ce groupe de plantes.

Ces arbres comprenaient : 1° un tronc vertical ou flèche ; 2° des rameaux horizontaux ou rameaux de premier ordre, comme ceux des sapins actuels ; 3° des rameaux de deuxième ordre, insérés en disposition distique sur les rameaux de premier ordre et étalés dans le même plan.

Les rameaux sont couverts sur toute leur surface de petites feuilles falciformes, carénées, élargies et décurrentes le long du rameau, tantôt étalées et tantôt dressées. — Ces rameaux feuillés offrent une ressemblance frappante avec ceux de l'*Araucaria excelsa* du Brésil.



Cône fructifère

Walchia piniformis Schlotheim

Cônes fructifères de Walchia. — Généralement cylindriques et allongés, parfois très grands (15 à 20 cm. de longueur), constitués par des écailles imbriquées, portant chacune une graine sur leur face interne.

2° *Voltzia heterophylla* Brongn. — Conifère rapprochée avec beaucoup de doute des Taxodinéés actuelles (Cyprés chauves et *Sequoia*). — Rameaux de second ordre, caractérisés par la présence de deux sortes de feuilles : à la base, petites feuilles falciformes, carénées, décurrentes ; au-dessus, feuilles allongées, étroites, décurrentes également le long du rameau, semblables à des aiguilles de Pin. *Grès bigarré des Vosges.*

Le genre *Voltzia* s'observe depuis le Permien jusqu'au Trias.



Cône
fructifère



Voltzia heterophylla Brongniart du Trias

3° Les *Dicranophyllum* sont des Conifères très spéciales, pourvues de feuilles étroites, rigides, semblables aux aiguilles des Conifères, mais deux ou trois fois bifurquées. Par leurs appareils fructifères, elles se rapprochent des Ginkgoales (voir ci-après).

Apparus dans le Culm, les *Dicranophyllum* sont surtout abondants dans le Stéphanien et le Permien.



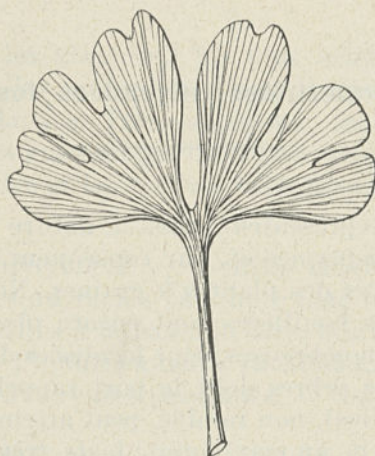
Rameau fructifère
avec graines ou ovules, fixés sur la
base des feuilles



Dicranophyllum gallicum Gr. Eury du Stéphanien

4° Pendant la plus grande partie de l'ère secondaire (du Trias au Crétacé inférieur), les Conifères sont représentées essentiellement par des types voisins des Araucariées et par des formes pas toujours nettement classées, parmi lesquelles doivent se trouver surtout des Abiétinées.

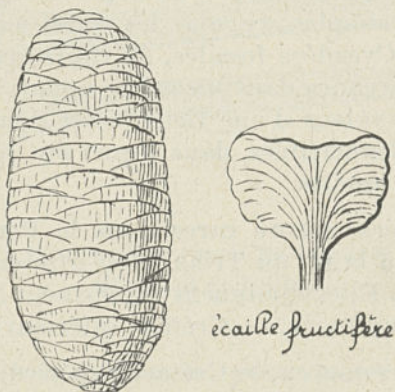
Pendant la même période (Trias — Crétacé inférieur), les *Ginkgoales*, groupe très primitif, classé à côté des Conifères, sont représentées par des formes très voisines des *Ginkgo* actuels. Ces formes, qui ne comportent qu'un très petit nombre de genres et d'espèces, étaient pourtant abondamment représentées dans les flores secondaires, dont elles constituent un élément caractéristique.



Ginkgoites Huttoni Sternb.

Le *Ginkgoites Huttoni* Sternberg du Jurassique est une forme très commune.

5° Dans le Crétacé moyen, les Abiétinées (groupe des Pins et des Sapins) deviennent abondantes : les genres *Pinus* et *Cedrus* sont alors représentés tant par des cônes que par des bois pétrifiés. Nous citerons ici : le *Cedrus Corneti* du Cénomanién.



Cedrus Corneti Coemans

Les *Sequoia* (Taxodinées; arbres géants de la Californie) apparaissent dès le Jurassique supérieur et sont assez abondants dans le Crétacé. Les formes fossiles sont pratiquement identiques aux formes actuelles.

Les Bennettitées (Cycadées fossiles)

Les Cycadées représentent, dans la nature actuelle, les plus simples des Gymnospermes et, par conséquent, les plus simples et les plus primitives des plantes à graines. Nous avons vu que les Ptéridospermées houillères sont encore plus primitives. Les Cycadées, très peu nombreuses, sont localisées dans la zone équatoriale. Ce sont des arbres dont le port rappelle celui des Palmiers : le tronc vertical, non ramifié, peut atteindre quelques mètres de hauteur (20 m. au maximum) ; mais, très souvent, les souches de Cycadées restent basses et renflées. Le tronc est couronné par un bouquet de feuilles, une seule fois divisées. Chaque feuille comprend un rachis primaire et deux rangées de pinnules.

Dans les couches géologiques, on trouve des feuilles, tout à fait semblables à celles des Cycadées actuelles, à partir du Stéphanien supérieur. Toutefois, les organes reproducteurs, qui accompagnent ces feuilles, sont très différents de ceux des Cycadées actuelles. Chez ces dernières, les organes sexuels constituent des appareils très simples : ce sont les cônes mâles et les cônes femelles. Chez les Cycadées fossiles, au contraire, il y a réunion des deux sortes d'organes dans un même appareil globuleux, qui a véritablement la valeur d'une fleur. C'est pourquoi, il a fallu créer l'ordre des Bennettitées, dans lequel ont pris place la plupart des Cycadées fossiles.

Les Bennettitées, encore rares dans le Permien, se multiplient rapidement à la fin du Trias ; *elles atteignent leur apogée dans le Jurassique*. Elles diminuent rapidement à la fin du Wealdien (Jurassique supérieur. — Crétacé inférieur).

Dans le Crétacé moyen, le Crétacé supérieur et le Tertiaire, les restes de Cycadées sont excessivement rares et il est généralement impossible de dire si l'on a affaire à des formes parentes des Bennettitées ou des Cycadées actuelles.

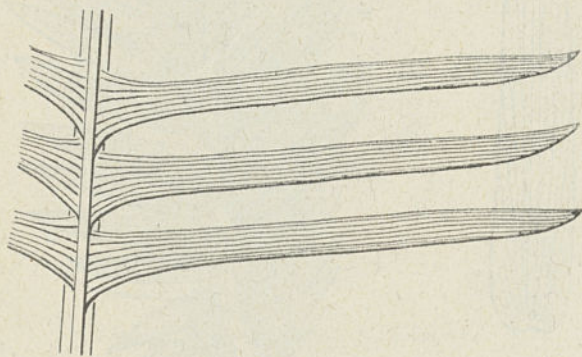
En résumé : 1° la présence des feuilles de Cycadées caractérise les terrains secondaires ; 2° *leur abondance, c'est-à-dire leur maximum de fréquence, caractérise le Jurassique*.

En Europe, les gisements les plus célèbres de feuilles de Bennettitées sont les couches de Lunz (Autriche); dans le Keuper, c'est-à-dire dans le Trias supérieur, les couches à plantes (dépôts d'estuaires entrecoupés de dépôts marins) du Jurassique moyen du Yorkshire et les couches bathoniennes de Brora (Nord de l'Ecosse).

GENRE PTEROPHYLLUM. — Feuilles simplement pinnées. — Pinnules attachées au rachis par toute leur base, ordinairement élargies plus ou moins à la base, de sorte que toutes les pinnules sont contiguës. — Pinnules à bords parallèles, à sommet arrondi, parcourues par des nervures parallèles. — Stéphanien supérieur. — Crétacé.

Apogée dans le Trias supérieur et le Jurassique supérieur.

On peut citer : *Pterophyllum Fayoli* du Stéphanien supérieur et *Pt. Jägeri* du Trias supérieur.

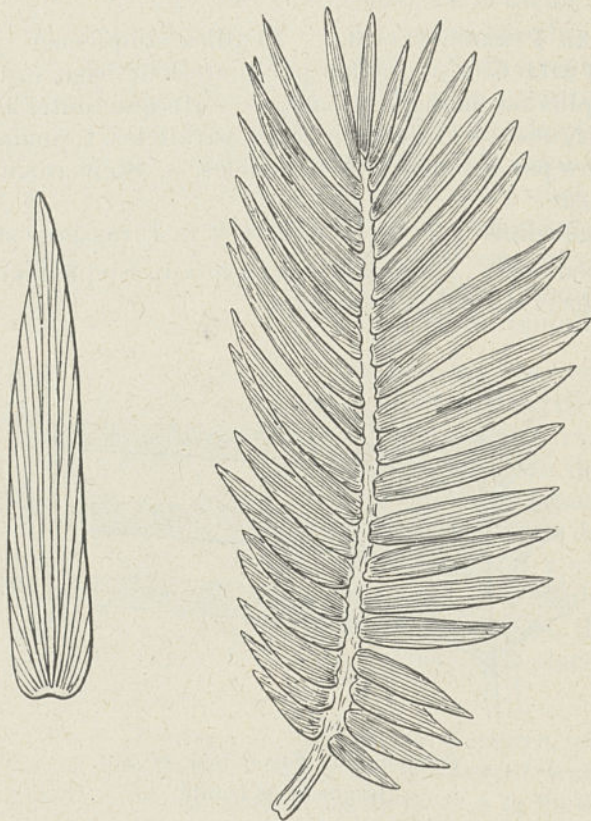


Pterophyllum Fayoli Ren. et Zeill.
(fragment de feuille)

A côté des *Pterophyllum*, on peut classer les *Ptilophyllum* dont le type est le *Ptilophyllum* (ou *Williamsonia*) *pecten*, très abondant dans le Jurassique moyen du Yorkshire. Leurs feuilles sont plus petites et plus fines dans toutes leurs parties, que celles des *Pterophyllum*.

Les feuilles des *Pterophyllum* et des *Ptilophyllum* ressemblent à celles des *Dioon* actuels.

GENRE ZAMITES. — Feuilles simplement pinnées. Pinnules oblongues ou allongées, distantes les unes des autres, rétrécies à leur base et présentant une callosité à leur insertion sur le rachis. Nervures parallèles. — Trias. — Crétacé.



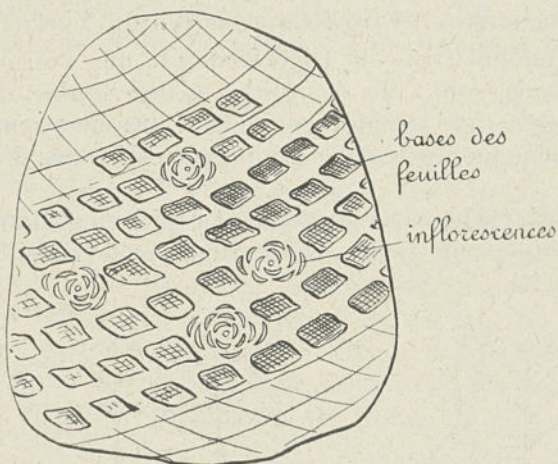
Zamites Feneonis Brong. (Jurassique supérieur)

Le *Zamites Feneonis* Brongniart, que nous figurons ici est une forme très répandue et très caractéristique du Jurassique supérieur.

Les genres *Zamites* et *Otozamites*, englobent un grand nombre de feuilles de Bennettitées. Comme leur nom l'indique, ces feuilles ressemblent à celles des *Zamia*, Cycadées actuelles.

Troncs de Bennettitées. — Semblables à ceux des Cycadées actuelles, mais de tailles beaucoup plus petites, n'excédant pas 2 m. de hauteur; souches renflées, tuberculeuses, recouvertes par les bases persistantes des feuilles.

On a trouvé en Amérique deux ou trois gisements qui ont fourni un grand nombre de ces souches de Bennettitées; le plus célèbre est celui des *Black-Hills* du *Dakota*. Le Yale Museum des Etats-Unis renferme plus de 1.000 troncs silicifiés, provenant du Jurassique supérieur, et, en partie, du Crétacé inférieur.



Tronc de *Cycadeoïdea* (Bennettitée)

Appareils reproducteurs (inflorescences) arrivant à constituer de véritables fleurs. Ces fleurs étaient fixées sur le tronc et cachées entre les bases des feuilles. Elles renferment au centre un pistil, ou cône femelle compact, entouré à sa base par les étamines ou organes mâles; le tout est enveloppé d'écaillés protectrices.

Ere des Angiospermes

Apparition et Epanouissement des Dicotylédones

Avec l'Aptien (Crétacé inférieur), commence l'ère des Angiospermes, c'est-à-dire l'ère des plantes à fleurs. On a relevé, en effet, la présence de plusieurs de ces plantes dans différents gisements d'âge aptien; deux de ces gisements, situés l'un en Portugal, l'autre dans l'Etat de Virginie sont célèbres.

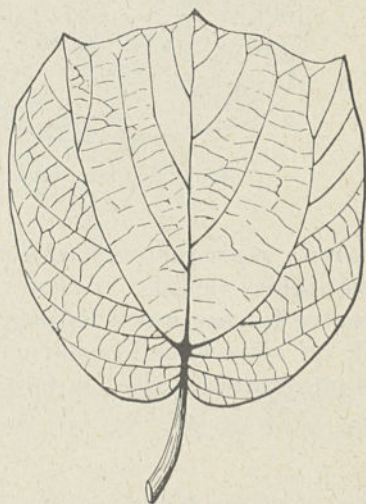
En réalité, les Angiospermes ont apparu beaucoup plus tôt, à une époque encore indéterminée. Les plus anciennes que l'on connaisse actuellement (les Caytoniales) ont été découvertes par M. H. Thomas dans le Jurassique moyen du Yorkshire.

Les premiers types de Dicotylédones, que l'on observe dans l'Infra-Crétacé, sont: des *Peupliers* et des *Saules*, des *Lauriers* et des *Figuiers*; ces derniers sont des types de pays chauds. On trouve également des feuilles rappelant celles des *Vignes* et des *Aralia*.

Les Dicotylédones se multiplient rapidement dans le Crétacé moyen et supérieur, pour s'épanouir dans le Tertiaire et à l'époque actuelle.



Liriodendron Meeki Heer
Tulipier
Crétacé du Groenland



Credneria triacuminata Cénomaniien
Types de Dicotylédones du Crétacé moyen

Les Liriodendrons ou Tulipiers sont parents des Magnolias. Les *Credneria* sont des formes disparues, parentes des Platanes, caractérisées par leurs nervures disposées en échelles.

Parmi les Monocotylédones, les plus précoces semblent être les *Palmiers*, qui seraient apparus dès le Lias; dans le Crétacé moyen, on trouve des fruits analogues aux noix de Coco.

Dans le Crétacé supérieur, aux Dicotylédones, citées plus haut, s'ajoutent: des *Bouleaux*, des *Hêtres*, des *Chênes*, des *Noyers*, des *Platanées*, des *Erables*, des *Lierres*, etc..., des *Eucalyptus* (grands arbres cantonnés aujourd'hui en Australie).

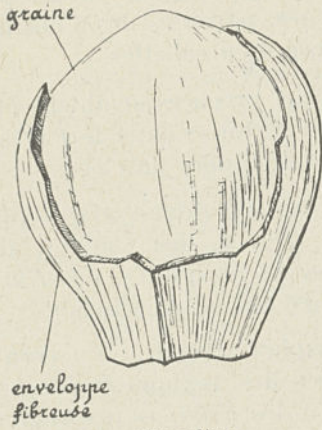
Dans plusieurs localités de l'hémisphère boréal, on a trouvé des *Peupliers* et des *Noisetiers* (arbres des régions froides ou tempérées), associés à des *Palmiers* et à des *Figuiers* des régions chaudes.

Variations de la flore et des conditions climatiques pendant l'ère secondaire. — A partir du Trias supérieur, c'est-à-dire: dès le déclin de la flore à *Glossopteris*, la flore paraît être redevenue uniforme sur toute la surface du globe; le même climat, probablement chaud, subtropical, régnait sous toutes les latitudes. C'est seulement à partir du Crétacé inférieur, qu'ont commencé à se différencier des zones climatiques, qui, dès lors, sont allées en s'accroissant pendant toute l'ère tertiaire, nous constatons donc à partir de cette époque un abaissement graduel et continu de la température générale du globe.

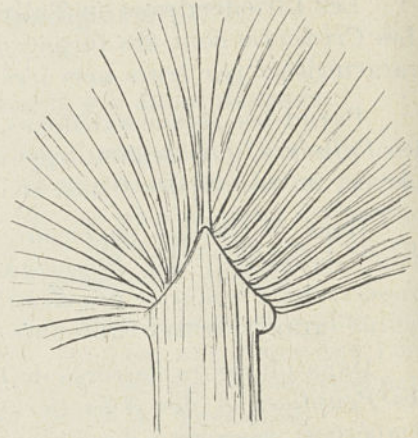
Flore tertiaire

La première partie de l'ère tertiaire (Eocène, Oligocène) est caractérisée par une flore nettement tropicale. Elle renferme notamment des *Palmiers* (*Sabalites*, *Nipadites*), des *Lauriers* (*Laurus primigenia*), des *Figuiers* (*Ficus Titanum*), associés à des *Peupliers* (*Populus primigenia*) et à des formes voisines des *Chênes* (*Dryophyllum Dewalquei*), etc. Cette flore se rencontre sous nos latitudes, en Europe, par exemple.

Pendant le Miocène et le Pliocène, toujours sous nos latitudes (Europe, Allemagne, France, etc.), on assiste à une élimina-



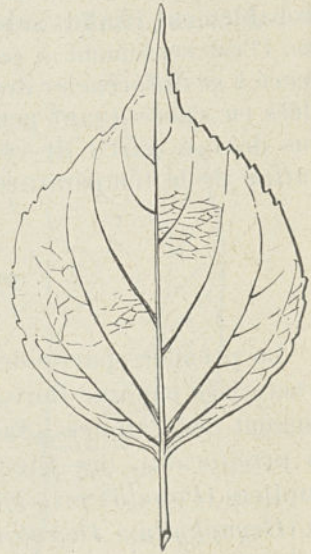
Nipadites
(fruit de palmier, semblable à celui
du cocotier) Eocène



Sabalites andegavensis
Palmier
Eocène



Dryophyllum Deualquei Sap et Mar.



Populus primigenia Sap.

Eocène

tion graduelle des types les plus nettement tropicaux, tandis qu'augmente la proportion des *types à feuilles caduques de plus en plus voisins des genres et des espèces qui habitent actuellement nos contrées.*



Laurus primigenia Unger

Oligocène



Ficus Titanum Ettingsh

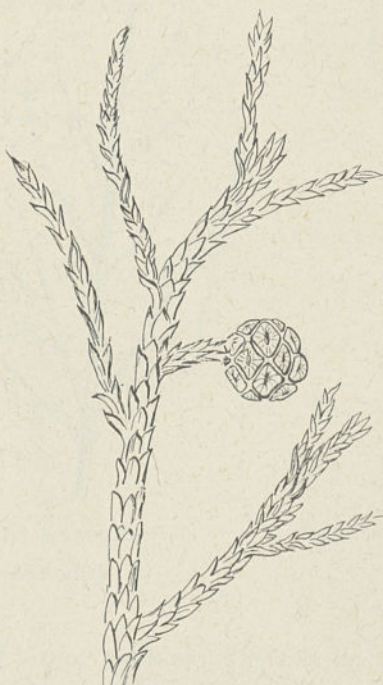
Oligocène

Dans l'ensemble, on observe pendant toute la période tertiaire un déplacement progressif des végétaux, du pôle vers l'équateur, ceux des pays chauds gagnant des latitudes plus basses et étant remplacés par d'autres types des régions septentrionales. Ceci indique un refroidissement graduel du globe.

Dans le *Miocène*, on a trouvé encore, par 81°44' de latitude (terre de Grinnell) une flore comprenant: Sapins, Cyprès chauves, Roseaux, Bouleaux, Peupliers, Saules, Ormes, Tilleuls, etc...;

cette flore paraît incompatible avec une nuit polaire de 4 à 5 mois et avec le froid hivernal correspondant; on ne peut l'expliquer, semble-t-il, que par une condensation beaucoup moins avancée du soleil, qui aurait eu un diamètre apparent beaucoup plus considérable, d'où réduction des nuits polaires.

LES LIGNITES TERTIAIRES. — Les grands dépôts de lignite (Houille brune, Braunkohle), qui contribuent si puissamment à la prospérité économique de l'Allemagne sont d'âge oligocène et miocène. Les plus importants sont miocènes: Districts de Cologne (Ichendorf, Liblar) et de Senftenberg (Basse-Lusace).



Sequoia Coultisiae Heer

Ces gisements sont constitués en majeure partie par des Conifères, appartenant au groupe des Taxodinéés; on y trouve en abondance des souches énormes, qui sont des *Sequoia* et des Cyprés chauves (= Cyprés des tourbières, = *Taxodium distichum*), très voisins des espèces actuelles, sinon identiques à ces espèces.

Le *Sequoia Couttsiae* de l'Oligocène, que nous figurons ci-contre, est une espèce très voisine du célèbre *Sequoia gigantea*. A l'époque miocène, les forêts de *Sequoia* s'étendaient sur tout l'hémisphère Nord, en Europe comme en Amérique. Les *Sequoia* sont cantonnés actuellement : 1° le long des chaînes côtières de la Californie (*S. sempervirens*), 2° sur le versant Est des Montagnes Rocheuses, en particulier dans le parc national du Yosé mite (*S. gigantea*).

Les *Taxodium* sont cantonnés actuellement dans les marécages de la côte orientale des Etats-Unis, et au Mexique.

Période quaternaire

L'époque quaternaire est caractérisée par un refroidissement intense; les glaciers couvrent le Nord de l'Europe et les Alpes. Aussi, on trouve en Europe des plantes qui vivent aujourd'hui, soit dans les régions arctiques, soit dans les régions montagneuses. Ce sont d'ailleurs des espèces identiques aux espèces actuelles ou très voisines, comme le *Salix polaris* des régions arctiques, et le *Dryas octopetala* (Rosacée alpine). Les forêts sont composées de *Mélèzes*, *Epicéas* et *Pins de Montagne*.

Le réchauffement, qui a suivi l'époque glaciaire, a provoqué le recul vers le Nord des types des régions froides et leur remplacement par d'autres venus du Sud, qui ont enfin constitué la flore de nos contrées, telle que nous la verrions actuellement, si des importations venues des autres continents et des destructions imputoyables n'en avaient pas modifié profondément le caractère.

CONCLUSION

Ainsi, la présence de feuilles de Peupliers, de Saules, de Bouleaux, etc..., c'est-à-dire de feuilles d'arbres semblables aux nôtres, caractérise les couches géologiques à partir du Crétacé inférieur. Les espèces archaïques ou primitives se trouvent dans les étages les plus anciens; dans les terrains plus récents, on trouve, au contraire, des espèces de plus en plus voisines des espèces actuelles.

Aperçu sur le mode de formation du terrain houiller

La houille, ou charbon de terre, est une roche sédimentaire. Elle fait partie du groupe des *combustibles d'origine organique (causto-biolithes)*. Elle est formée par une accumulation de débris végétaux, qui se sont décomposés lentement dans un milieu très humide, dans des eaux stagnantes par exemple. Dans ces conditions, l'oxygène de l'air n'arrive au contact des matières végétales qu'en quantité insuffisante pour amener leur destruction complète. Au bout d'un certain temps, la décomposition s'arrête; toutes les fermentations microbiennes sont suspendues par suite de la production de produits aseptiques (*produits humiques*). Il reste toujours un résidu, plus ou moins important, qui se distingue de la substance végétale primitive par un enrichissement en carbone. On a proposé le terme de *carbonisation* ou de *carbonisation naturelle*, pour désigner cette décomposition lente, qui a lieu, en particulier, dans les tourbières de nos pays et dans les forêts marécageuses de la zone intertropicale.

La houille se présente en couches plus ou moins puissantes, interstratifiées au milieu des autres terrains sédimentaires. Les couches de houille sont intercalées au milieu de couches de grès et de schistes; l'ensemble constitue le terrain houiller, qui atteint dans certaines régions une épaisseur considérable: 1.500 à 1.800 mètres pour le Bassin houiller franco-belge, 3.000 mètres pour celui de la Loire (y compris l'étage de Rive-de-Gier); 4.000 mètres pour celui du Gard. On compte environ 6 kilomètres pour l'épaisseur totale du terrain houiller.

Dans le bassin franco-belge, le nombre des couches de houille exploitables, c'est-à-dire de plus de 0 m. 35 d'épaisseur, est évalué à 80 ou 120. L'épaisseur des couches de houille varie de quelques centimètres à plusieurs mètres: 1 à 2 mètres pour les belles couches du Nord de la France, 20 à 25 mètres pour des couches très puissantes, 60 mètres dans les cas exceptionnels (Grande Couche de la Ricamarie).

I. — Définition des Bassins houillers

Le terrain houiller s'est déposé dans des *bassins*. Les géologues appellent *bassins* des dépressions, plus ou moins étendues, remplies par les eaux, par la mer par exemple, et où les matériaux enlevés par l'érosion aux continents voisins viennent s'accumuler. Le type des bassins est le Bassin de Paris, où les couches géologiques successives forment des cuvettes emboîtées les unes dans les autres.

L'étude des bassins a révélé deux faits fondamentaux :

1° La faible profondeur d'eau dans les bassins au moment de leur remplissage. (La plupart des bassins renferment des dépôts de mer peu profonde, des dépôts néritiques).

2° L'affaissement graduel (mais non continu) du fond des bassins au fur et à mesure de leur remplissage.

Ces deux circonstances ont permis l'accumulation dans un même bassin de sédiments homologues sur des épaisseurs considérables ; la profondeur de l'eau restant toujours à peu près la même, la nature des sédiments a pu se maintenir constante pendant des siècles.

La plupart des bassins ont une forme allongée ; ils tendent à prendre l'aspect de bras de mer ou de mers intérieures, comme la Manche, la Baltique, enserrées entre deux masses continentales voisines.

Caractère différentiel des bassins houillers. — Les bassins où s'est déposé le terrain houiller étaient situés à la surface des continents. Sur la plus grande partie de leur étendue, la profondeur de l'eau était assez faible pour permettre à des végétaux arborescents de s'y enraciner.

C'étaient, par conséquent, d'immenses lagunes marécageuses boisées. De semblables lagunes s'établissent de préférence sur les côtes basses, dans des plaines maritimes, que leur faible altitude expose aux invasions de la mer : Pays-Bas, lagunes des bords de la Baltique, côtes marécageuses de l'Amérique du Nord, depuis la Virginie jusqu'au golfe du Mexique. Les vastes *bassins paraliques* du Nord de la France, de la Belgique, de Westphalie, etc..., répondent à ce premier type.

Des dépressions analogues, mais généralement plus petites, peuvent aussi se former à l'intérieur des continents. Ce sont des plaines ou vallées marécageuses, qui peuvent éventuellement revêtir un caractère lacustre: Lac de Grand Lieu, tourbières de la vallée de la Somme, tourbières du Hanovre et du Brandebourg. Les *bassins limniques*, comme ceux du Centre de la France, répondent à ce second type.

II. — Origine des grandes lagunes houillères de l'époque westphalienne

Une carte d'ensemble montre que les grands bassins houillers d'Europe forment une bande ininterrompue depuis l'Ecosse et l'Irlande jusqu'en Russie, dans le Donetz, en passant par l'Angleterre, le Nord de la France, la Belgique, la Westphalie, la Saxe, la Silésie, la Pologne. (Voir la carte d'Europe publiée par DE LAPPARENT: *Traité de Géologie*, 1906, vol. II, p. 924, fig. 382).

Cette bande nous indique qu'à l'époque houillère, il y avait là un vaste système de lagunes en communication les unes avec les autres, tantôt parallèles les unes aux autres, tantôt situées dans le prolongement les unes des autres. L'origine de ces immenses lagunes houillères d'Europe est à rechercher dans les périodes géologiques antérieures, dans l'allure et l'évolution des plissements qui ont affecté la surface terrestre :

Dès le Dévonien inférieur, on constate que l'Europe est parcourue par des bras de mer ou des lagunes, dirigées d'O. en E. En particulier, les lagunes dirigées vers le N.-E., qui allaient des Iles Britanniques à la Scandinavie, ne sont pas sans analogies avec les lagunes houillères. Les sédiments saumâtres, déposés à faible profondeur, se sont accumulés dans ces lagunes sur une épaisseur de plus de 6.000 mètres: c'est ce que l'on appelle le vieux grès rouge d'Ecosse. Les mêmes lagunes subsistaient encore à la fin du Dévonien.

Au début du Dinantien, se sont formés de nouveaux plis synclinaux, avant-coureurs du ridement hercynien. C'est dans ces bras de mer, orientés encore d'O. en E., et très resserrés, que s'est déposé le *calcaire carbonifère*.

Mais progressivement, à mesure que le remplissage de ces synclinaux a avancé, le régime marin a fait place au régime lagunaire; la mer libre était rejetée très à l'Est, où elle couvrait l'Oural et une grande partie de la Russie; une autre mer libre devait s'étendre probablement à l'Ouest de l'Irlande et de l'Espagne.

Grosso modo, c'est donc sur l'emplacement des bras de mer dinantiens, que se sont établis les lagunes du Westphalien. Les lagunes houillères ont subi des invasions marines répétées, au nombre de 8 ou 10, ainsi qu'en font foi les horizons à fossiles marins, reconnus tant en Angleterre et en Westphalie, que dans le Nord de la France et la Belgique.

L'achèvement du ridement hercynien a eu pour conséquence la disparition de la plupart des lagunes westphaliennes et l'établissement de chaînes de montagnes sur leur emplacement ou à proximité. De nouveaux plis, des dépressions, en général moins étendues, se sont formées, qui sont devenues, à leur tour, des lagunes marécageuses. C'est là l'origine des bassins stéphaniens, qui sont presque tous du type limnique. Toutefois, dans certaines régions, les lagunes stéphaniennes sont en concordance sur les lagunes westphaliennes (Bassins de la Sarre, du Gard; Bassin des Apalaches, aux Etats-Unis).

D'ailleurs, au point de vue de la formation du terrain houiller, il n'existe aucune différence fondamentale entre les bassins limniques et les bassins paraliques.

III. — Origine des différentes roches houillères autres que la houille.

Le terrain houiller est constitué principalement par : des *poudingues*, des *grès*, des *schistes argileux* et des *charbons*.

En outre, la base du terrain houiller est souvent constituée par une brèche (brèche de base) : cette roche, composée de fragments anguleux, provient du démantèlement du fond du bassin, sous l'action de l'érosion. La brèche peut se superposer aux roches mêmes, auxquelles elle a été arrachée. Elle représente souvent de simples éboulis, provoqués par les intempéries.

Les *poudingues* et les *grès* représentent des graviers et des

sables, aglutinés par un ciment siliceux. Ils doivent leur origine à des phénomènes de ruissellement. Les éléments des poudingues ont été apportés par des eaux torrentielles : torrents ou cours d'eau à l'époque des crues. Ceux des grès ont été déposés par des courants plus ou moins forts selon qu'ils sont plus ou moins grossiers.

Les grès des bassins paraliques sont presque toujours à grains fins ; ils supposent un transport à longue distance effectué par des rivières ou des fleuves. Ils supposent de même l'existence d'un courant assez fort au milieu de la lagune au moment où s'est opéré le dépôt.

Dans les bassins limniques du Centre de la France, les *grès grossiers* et les *poudingues (grattes des mineurs)* sont les roches les plus communes. Ils ont été apportés certainement par des torrents ou par des cours d'eau rapides n'ayant probablement qu'un faible parcours : H. FAYOL a montré que les galets composant les poudingues houillers de Commentry et Decazeville, avaient été empruntés à des roches anciennes, situées dans le voisinage immédiat du bassin. Ces dépôts torrentiels montrent que les bords des bassins limniques étaient alors assez abrupts. La faible largeur de ces bassins explique d'autre part que ces dépôts aient pu couvrir toute leur étendue sur une grande épaisseur.

Ainsi, les grès et les poudingues répondent à des phases de sédimentation violente et rapide. Malgré leur grande épaisseur, ils ont demandé beaucoup moins de temps pour se déposer que les schistes.

Les schistes argileux représentent des boues, des argiles, qui ont été entraînées par les eaux sur de longues distances ; elles n'ont pu se déposer que dans des eaux calmes ou à courant très affaibli. Des fleuves ou des rivières, débouchant par plusieurs bras dans une lagune après un long parcours en plaine, n'apportent à celle-ci que des sédiments très fins. Le dépôt des schistes a demandé d'autant plus de temps qu'ils sont plus fins ; il dénote des phases de calme. Nous verrons que la formation des couches de houille correspond à des périodes de sédimentation encore plus calmes.

Les schistes houillers sont parfois feuilletés, surtout au contact du charbon. Le plus souvent, ils sont compacts, massifs et

en l'absence de débris végétaux, ils ne se fendent guère parallèlement à la stratification. Les mineurs de la Loire désignent ces schistes compacts sous le nom de *gores*, ceux du Nord sous le nom de *rocs*.

Nous mentionnerons ici, que le terrain houiller renferme des concrétions de diverses natures : nodules de carbonate de fer (sidérose), de dolomie (coal-balls), de phosphate de chaux (coprolithes), de pyrite.

Nous ne pouvons pas parler ici de l'origine de ces concrétions, qui se sont formées par ségrégation dans les sédiments où on les trouve.

IV.— Mode de formation des couches de houille

Tous les auteurs sont d'accord pour reconnaître l'origine détritique des roches sédimentaires encaissant les couches de houille; tous admettent également, aujourd'hui, que la houille est formée par une accumulation de débris végétaux en voie de décomposition. Mais l'origine de ces amas a donné lieu à de longues discussions, qui se poursuivent encore de nos jours.

Deux grandes théories sont en présence: la théorie de l'*autochtonie* et celle de l'*allochtonie*. Il convient, pour plus de clarté, de les énoncer toutes deux sous leur forme la plus tranchée.

1° Pour les partisans de l'autochtonie, *l'amas végétal, qui a donné naissance à la houille, s'est formé sur place*, dans des conditions analogues à celles qui sont réalisées dans les tourbières de nos contrées, ou mieux dans les tourbières boisées de la Virginie (Great Dismal Swamp) : *la tourbe se forme à la place même où ont vécu les végétaux qui servent à la former.*

2° Pour les partisans de l'allochtonie, les débris végétaux ont été entraînés dans des bassins de dépôt où ils ont pu s'accumuler sous des épaisseurs formidables, et très rapidement.

La théorie de l'allochtonie a été exposée de la manière la plus précise et poussée à ses extrêmes limites par H. FAYOL. Le traité de Géologie d'A. DE LAPPARENT a contribué puissamment à vulgariser cette théorie, plus connue peut-être sous le nom de *théorie des Deltas*. Pour ceux qui adoptent les idées de FAYOL

et de DE LAPPARENT, *la houille est une véritable alluvion végétale*: des masses végétales, arrachées à des forêts, ont été charriées par des cours d'eau à l'époque des crues ou par des torrents. Elles ont été emportées pêle-mêle avec de la vase et des graviers et déversées *dans des bassins profonds* : lacs ou golfes marins, comparables au golfe du Mexique. En arrivant dans des eaux tranquilles et profondes, les matériaux charriés se sont clarifiés et séparés par ordre de densité : gros graviers et sables se sont déposés les premiers dans les parties les plus élevées de la plaine alluviale ou au débouché du fleuve dans la nappe d'eau ; les débris végétaux entraînés au large se sont immergés seulement dans les régions les plus calmes de la nappe d'eau.

REMARQUES PRÉMONITOIRES. — L'accumulation des substances végétales, qui ont donné naissance à la houille, a exigé un temps considérable ; au cours de ce dépôt, bien des phénomènes contradictoires (antagonistes) ont pu intervenir. Il serait puéril de vouloir expliquer tous les faits observés au moyen d'une seule théorie ou d'un seul ordre d'idées. Dans la nature actuelle, nous voyons à chaque instant des effets inverses se superposer et concourir au même résultat ; c'est seulement ce résultat global que nous observons.

Il est bien *établi aujourd'hui que la formation sur place a joué un rôle capital dans les accumulations végétales de l'époque houillère*. Les phénomènes de transport ont joué également un rôle important dans la constitution de ces amas ; mais, en général, il s'agit seulement de flottage, c'est-à-dire d'entraînement par des courants lents, et non de charriage par des courants violents : le transport est toujours un transport à faible distance.

Nous ne pouvons pas présenter ici un exposé complet de la question. Nous nous bornerons à signaler sans démonstration, quelques faits fondamentaux que l'on peut observer dans tous les bassins houillers et qui nous permettront de nous faire une idée des conditions dans lesquelles s'est formée la houille.

1° ARBRES EN PLACE. — Il est exact que beaucoup de troncs, couchés ou même demeurés debout, ont pu être transportés par les eaux. Dans tous les bassins houillers, on observe aussi un grand nombre de souches, qui sont demeurées à la place où elles étaient enracinées. Il y a de nombreux exemples d'arbres debout au toit d'une couche de charbon et disposés en quinconce, à des

distances régulières, comme cela s'observe dans toutes les forêts, non soumises à l'intervention de l'homme.

Quand des arbres debout sont au toit d'une couche de houille, il n'est pas possible de suivre leurs racines dans le charbon : la transformation en houille est trop complète. Mais là où les arbres sont implantés sur une couche de schiste, on peut suivre leurs racines sur un trajet plus ou moins long et vérifier que chaque arbre est bien en place. De nombreux cas de ce genre s'observent dans les carrières à ciel ouvert de St-Étienne, par exemple : dans la carrière de l'Éparre. Les observations, que l'on peut faire à cet égard dans le terrain houiller de St-Étienne, sont même beaucoup plus démonstratives que dans le Nord de la France, où les travaux de mine ne donnent jamais qu'une coupe très insuffisante des terrains.

A la carrière du Treuil, on pouvait voir encore, il y a 30 ou 40 ans, de nombreuses tiges de Calamodendrées, dressées verticalement, à des intervalles réguliers, dans un banc de grès ; ces tiges, semblables à des tiges de Bambous, par leur port et par leur diamètre, mesuraient 3 à 4 mètres de hauteur. BRONGNIART, qui a décrit cette forêt fossile en 1821, s'est demandé si ces tiges étaient vraiment en place. GRAND'EURY a démontré que c'était bien le cas. De plus, il a noté que les souches verticales de Calamodendrées présentent presque toujours des racines à chaque nœud (*racines étugées*) ; en émettant de nouvelles racines, ces souches ont résisté à un enfouissement progressif dû à l'apport d'alluvions sableuses. Cet exemple confirme ce qui a été dit plus haut sur la rapidité avec laquelle se sont effectués les dépôts sableux.

L'existence d'arbres en place à différents niveaux du terrain houiller montre qu'à certaines époques tout au moins, les lagunes houillères n'étaient recouvertes que par une très faible épaisseur d'eau. Mais cette conclusion est encore mieux établie par les sols de végétation, que l'on trouve, sans exception peut-on dire, partout où il y a des couches de charbon.

2° SOLS DE VÉGÉTATION. — Les couches de houille sont intercalées entre deux bancs de roches, que l'on appelle le *toit* et le *mur*.

Le *mur* est généralement un schiste argileux, assez tendre, mal stratifié ; il peut être plus ou moins gréseux. Il est caractérisé par sa cassure irrégulière. Cette cassure irrégulière est due

à ce que le mur est traversé dans tous les sens par des radicelles, qui sont presque toujours les appendices des *Stigmaria*. Les *Stigmaria* sont les grosses racines ou les rhizomes des Lépido-dendrons et des Sigillaires; ils ont un trajet à peu près horizontal et donnent naissance à une infinité de radicelles, qui rayonnent tout autour d'eux en s'enfonçant dans la roche (voir ci-dessus page 38). Il n'est pas douteux que ces racines et ces radicelles soient plongées dans le sol même où elles ont poussé. Les murs ne renferment d'ailleurs pas d'autres fossiles, excepté lorsqu'un mur se superpose directement à un toit.

Les murs sont d'anciens sols de végétation, d'anciens sols de forêts tourbeuses; ils conservent leurs caractères sur de vastes étendues et souvent aussi sur une grande épaisseur.

L'existence d'un mur sous toutes les couches de charbon, si minces soient-elles, est un fait absolument général. Les bassins houillers du Centre de la France ne font pas exception à cette règle; celui de Commentry non plus. Il faut donc admettre que toutes les veines de houille, ou presque toutes, se sont déposées sur l'emplacement d'une forêt.

REMARQUE I. — Le mur est un élément plus constant que la veine: il continue d'exister lorsque la veine s'amincit et disparaît. On trouve fréquemment des murs qui ne sont pas surmontés par une veine et qui sont recouverts directement par un toit ou par une roche stérile.

REMARQUE II. — Quand une veine présente à son toit une autre veine, ou une passée, ou même plusieurs filets charbonneux, on constate très souvent que les bancs schisteux, qui séparent les minces couches de charbon, sont pétris de radicelles de *Stigmaria*. Si le schiste renferme des empreintes de toit, c'est-à-dire des feuilles, tiges ou écorces, étalées à plat entre les feuillettes, ces débris végétaux sont perforés par les radicelles. Ce sont là des faits très fréquents dans le terrain houiller de St-Etienne. Toutefois, à St-Etienne, les radicelles des murs appartiennent le plus souvent à d'autres racines ou à d'autres rhizomes que les *Stigmaria*.

3° CARACTÈRES TIRÉS DES COUCHES DE HOUILLE ELLES-MÊMES. — La houille est, d'après les observations de C. GRAND'EURY et d'autres auteurs, composée de débris végétaux étalés horizontalement les uns au-dessus des autres. L'aspect nettement stratifié

de la houille est bien connu. Les lits brillants sont constitués par des écorces ou des feuilles; les lits ternes sont constitués par des cuticules, des spores, des membranes végétales, etc..., enrobées dans une masse charbonneuse amorphe, résultant d'une décomposition plus avancée des matières organiques. La houille mate peut aussi avoir une structure qui la rapproche du cannel coal ou du boghead.

Les débris végétaux de la houille ont évidemment flotté avant de se déposer sur le fond de la lagune. Ceux qui s'accumulent au pied des arbres dans une tourbière boisée se présentent précisément sous cet aspect. On ne peut rien conclure *à priori* de cette observation en faveur de l'autochtonie ou de l'allochtonie, sinon que ce dépôt s'est effectué dans des conditions de calme parfaites.

Mais il y a des cas où l'on peut pousser les observations plus loin : c'est lorsque l'amas végétal, qui constitue la veine de houille, a été en partie pétrifié avant sa transformation en charbon. Ceci se présente dans plusieurs couches du Lancashire, de Belgique, de Westphalie, de Silésie, qui ont à leur toit des fossiles marins (*Aviculopecten*, *Goniatites*), ce qui indique qu'elles ont été recouvertes par la mer après leur dépôt. Or, ces couches renferment fréquemment des concrétions de nature dolomitique (*coal-balls*); ces concrétions sont remplies, comme la houille, de débris végétaux : tiges de *Lépidodendrons*, de *Sigillaires*, de *Fougères*, à tous les états de décomposition, affaissés et étalés à plat les uns au-dessus des autres. Un fait très frappant, c'est que la masse toute entière est taraudée par des radicelles de *Stigmaria*, qui s'insinuent dans les débris des autres plantes en les perforant (1).

Ainsi, dans les lagunes houillères, comme dans les tourbières actuelles, une nouvelle végétation croissait et se développait sur les débris des végétaux morts; elle contribuait chaque année à accroître l'amas végétal de ses propres débris.

4° CARACTÈRES DU TOIT. — Les toits sont de nature très variable, tantôt gréseux, tantôt schisteux; ils renferment des tiges, des feuilles et même des racines, appartenant à toutes sortes d'espèces. Les toits sont évidemment formés par transport.

(1) Tous les *coal-balls* sans exception offrent ce caractère. En certains points de la couche, le charbon est entièrement remplacé par des concrétions dolomitiques: on constate alors l'existence de racines en place sur toute l'épaisseur de la masse végétale.

Il n'est pas permis d'étendre à la couche de charbon le mode de formation reconnu pour le toit; par exemple, on n'a pas le droit de conclure qu'une couche recouverte par un toit marin s'est formée en pleine mer.

Il y a cependant un cas, très fréquent, où la formation du toit semble prolonger la formation de la couche de charbon. C'est celui où le toit est un schiste assez fin, riche en débris végétaux. On constate alors que le toit ne renferme qu'un petit nombre d'espèces, toujours les mêmes, sur de grandes étendues (2 à 3 km. dans le Nord de la France). On trouve associées toutes les parties d'une même espèce: feuilles entières ou fragments de feuilles très complets, tiges, rameaux, fructifications. Tous ces débris sont étalés à plat, comme dans un herbier, et parfaitement conservés. Ils sont conservés dans l'état de décomposition ou de macération où ils se trouvaient au moment de leur enfouissement. Il s'agit là, comme pour la houille, de débris qui ont flotté à la surface de l'eau. Mais, si ces débris ont pu être entraînés par des courants lents, en aucun cas ils n'ont été soumis à un charriage violent par des eaux tourbillonnantes, ce qui les aurait réduits en menus fragments. On peut assurer que les beaux exemplaires de feuilles de Fougères et de Cordaïtes qui font l'ornement de nos collections, se sont étalés dans la vase, à peu de distance ou au pied de la plante dont ils s'étaient détachés.

Les toits à grain plus grossier (schistes gréseux, grès) ne renferment que des débris végétaux hâchés, qu'il est impossible de déterminer spécifiquement.

Les grès renferment souvent des tiges ou de gros rameaux jetés pêle-mêle dans la masse sableuse.

5° FORMATIONS LACUSTRES ET BITUMINEUSES DU TERRAIN HOULLER. — Certains toits, constitués par des schistes très fins, renferment des coquilles d'eau douce: Lamellibranches, Crustacés, ou des écailles de Poissons. Quand ils sont très riches en matière organique, ils sont bruns ou noirs; leur rayure est brune et luisante: ce sont des *schistes bitumineux*. Le charbon recouvert par de tels schistes présente souvent les caractères du Cannel Coal ou du Boghead.

Le *Cannel Coal* et le *Boghead* sont des *charbons bitumineux*. Ils sont très différents des *houilles ordinaires* qui, avec les tourbes et les lignites, font partie du groupe des *charbons humiques*.

Le *Boghead* est formé par une accumulation d'algues et d'organismes aquatiques (Infusoires, Crustacés, Poissons), riches en matières grasses et albuminoïdes. Les schistes bitumineux eux-mêmes sont formés de la même façon, mais avec de l'argile en plus.

Le *Cannel-Coal* (Gayet des mineurs) constitue très probablement un charbon intermédiaire entre le boghead et la houille ordinaire. Au microscope, on y reconnaît principalement des spores de cryptogames vasculaires; il y a aussi des algues, des cuticules, etc..., mais la plus grande partie de la masse est amorphe.

Les toits à animaux, les schistes bitumineux, les bogheads et les cannel-coals sont des *formations lacustres*; ils se sont déposés dans des nappes d'eau relativement profondes et dans des conditions de calme et de tranquillité absolues, ainsi qu'en témoigne la finesse des lits qui les constituent.

Ceci montre qu'à la suite d'affaissements importants, certaines parties des lagunes houillères devenaient de véritables lacs.

6° FORMATIONS MARINES DU TERRAIN HOULLER. — Les toits à fossiles marins révèlent des affaissements plus importants et plus généraux, qui ont permis à la mer de recouvrir à certaines époques les lagunes houillères sur toute leur étendue. Par exemple: on a retrouvé dans le terrain houiller du Nord de la France la trace d'invasions marines, signalées en Belgique et en Westphalie. Ces invasions sont plus fréquentes à la base du Westphalien, qu'au sommet. Ces niveaux marins, à cause de leur petit nombre et de leur extension superficielle considérable, constituent donc des *niveaux-repères*, très précieux pour l'établissement de l'échelle stratigraphique du terrain houiller.

7° GALETS. — On trouve assez souvent dans la houille et dans les roches encaissantes des *galets*, très bien roulés, de toutes tailles (jusqu'à 50, 100 et 120 kgr.), formés de roches provenant de la région ou d'origine lointaine. Ces galets se rencontrent isolément ou par petits paquets isolés les uns des autres.

Il est clair que ces galets n'ont pas pu être poussés directement par des eaux torrentielles dans le charbon, ni dans le schiste surmontant la veine: sous l'action du ravinement, ces formations meubles auraient été démantelées. Les galets n'ont pu arriver

que par flottage en suivant les chenaux, qui traversaient la forêt-marécageuse et qui étaient parcourus par des eaux d'origine continentale.

L'hypothèse la plus vraisemblable est que ces galets ont été apportés par des radeaux ou îlots de végétation flottante, analogues à ceux qui encomrent certaines parties du cours du Nil ou de l'Amazone.

L'hypothèse d'un transport par des glaces flottantes doit être rejetée pour diverses raisons.

8° GALETS DE HOUILLE. — On trouve parfois des galets de houille dans les grès. Ces galets proviennent évidemment d'une couche de charbon, qui a été ravinée par des eaux torrentielles. Ils ne permettent nullement de conclure que l'amas végétal était déjà transformé en houille, quand il a été démantelé. Au contraire, il y a tout lieu de supposer qu'il était à l'état de tourbe; toutes les tourbes suffisamment consistantes se laissent facilement rouler par la mer: les galets de tourbe sont bien connus.

Notons ici, que sous l'action de la carbonisation naturelle (enrichissement en carbone par perte de CO_2 , H_2O , CH_4), l'amas végétal est certainement passé par des états analogues à la tourbe, puis à la houille brune (lignites) avant de se transformer en houille et en anthracite. Le phénomène de la carbonisation n'a rien à voir avec les époques géologiques; son état d'avancement est fonction du temps écoulé et des actions ultérieures, auxquelles la masse a été soumise.

CARBONISATION NATURELLE. — C'est par définition, l'ensemble des phénomènes, qui ont pour résultat la transformation progressive d'un amas de débris végétaux en charbons de terre, c'est-à-dire en substances de plus en plus riches en carbone. La carbonisation naturelle comprend deux phases :

La première phase est caractérisée par la macération et la fermentation des matières végétales sous l'action des bactéries, principalement de bactéries anaérobies. Cette fermentation a lieu, comme nous l'avons vu, dans des eaux stagnantes privées d'oxygène, ou très pauvres en oxygène.

La deuxième phase est caractérisée, en principe, par la suppression de toute action bactérienne. La carbonisation se conti-

nue dans la profondeur du sol et exige pour se parachever un laps de temps considérable. Sous l'action combinée de la chaleur interne et de la pression, il y a déshydratation, départ de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2), d'où enrichissement en carbone. Il faut très probablement faire intervenir aussi des réactions chimiques encore mal connues; toutefois, il semble qu'il faille attribuer aux sulfates et aux sulfures un rôle important dans la carbonisation naturelle de la cellulose, du bois et des matières organiques de toute nature.

BITUMINISATION. — Par définition également, nous appellerons bituminisation l'ensemble des phénomènes de décomposition incomplète, qui conduisent à la transformation d'un dépôt de matières grasses, d'origine animale ou végétale, en une roche bitumineuse. Il y a également ici deux phases, mais la suppression des fermentations bactériennes est beaucoup plus rapide que dans la carbonisation; en outre, il y a non seulement enrichissement en carbone, mais aussi en hydrogène.

Combustibles humiques et combustibles bitumineux. — D'après ce qui a été dit plus haut, il existe deux catégories bien distinctes de combustibles :

1° Les substances végétales, riches en cellulose et en lignine ont donné des *combustibles humiques*, comme la *tourbe*, les *lignites* (houille brune), la *houille*.

2° Les débris organiques, riches en matières grasses et albuminoïdes, ont donné des *combustibles bitumineux*, comme les *cannels*, les *bogheads*, les *schistes bitumineux*.

Les phénomènes de carbonisation et ceux de bituminisation n'affectent pas les mêmes substances, et ils donnent naissance à des combustibles très différents. Ces deux sortes de roches, à leur tour, donnent naissance, quand on les soumet à la distillation, à des produits très différents. Ainsi, la nature des combustibles dépend dans une large mesure de la nature des substances animales ou végétales, qui ont servi à les former. Leurs qualités finales, par exemple leur teneur en matières volatiles, dépendent aussi de leur âge et des actions qu'ils ont subies après leur dépôt.

Mais le vieillissement des combustibles a pour résultat, à partir d'un certain stade, de les faire tendre tous vers l'état d'anhracite, par élimination complète de toutes les matières volatiles.

CONCLUSIONS

1. — Idée générale des conditions dans lesquelles s'est déposée la houille

Les accumulations végétales, qui ont donné naissance à la houille, se sont formées dans de vastes lagunes, situées à une faible altitude au-dessus du niveau de la mer (*bassins paraliques*) ou dans des dépressions marécageuses, moins étendues, situées à l'intérieur des continents (*bassins limniques*). Les premières étaient remplies par de l'eau douce ou saumâtre.

La formation d'une couche de charbon coïncide avec une période de calme dans la sédimentation ; à ce moment, les lagunes houillères ne recevaient que peu de sédiments étrangers ; elles étaient recouvertes sur une grande partie de leur étendue par des forêts marécageuses. Ces forêts étaient baignées par des *eaux stagnantes*, ou traversées par des *courants très lents*, sensibles surtout à l'époque des crues. Les fleuves et rivières, qui se déversaient dans les lagunes se divisaient en une multitude de bras et de chenaux, comme le Niémen, traversant les forêts marécageuses du Kurisches Haff.

Les débris végétaux flottés, immergés soit au pied des arbres, soit au voisinage des forêts, ont donné naissance à de la tourbe qui, avec le temps, s'est transformée en houille.

Les formations lacustres (boghead, cannel-coal, schistes bitumineux, schistes à animaux d'eau douce), qui accompagnent les couches de charbon, confirment le caractère lagunaire des bassins houillers. Elles indiquent l'existence de nappes d'eau, calmes et profondes, au sein des lagunes.

Les invasions marines successives confirment le caractère de pays bas, de *plaines maritimes* des lagunes houillères. Avec les murs, ou sols de végétation, si généralement répandus dans tout le terrain houiller, avec la présence fréquente d'arbres en place, elles démontrent que les lagunes, au fur et à mesure de leur remplissage, subissaient des affaissements successifs.

Les poudingues et les grès dénotent des phases de sédimentation rapide et violente (régime torrentiel), consécutives à un relèvement accusé des masses continentales voisines, donnant lieu à une érosion plus active.

Les schistes argileux exigent des conditions de dépôt plus calmes, et par conséquent ils font prévoir le retour de conditions favorables à la formation de la tourbe.

II. — Rôle de l'allochtonie dans la formation des couches de houille

Les phénomènes de transport ont concouru à la formation des couches de charbon. Mais ils n'ont pas en général le caractère de charriage par des eaux tourbillonnantes; les débris végétaux, réduits en menus fragments déjà macérés, auraient subi une décomposition complète au contact de l'oxygène dissous dans l'eau. Il y a eu simplement transport par flottage sous l'action de courants lents et sur de courtes distances. Il est facile d'en citer quelques exemples :

1° Des débris végétaux, plus ou moins macérés, ont pu être transportés par les courants lents, traversant les forêts marécageuses, d'un point à un autre de la lagune. Toute couche de houille peut renfermer sur son épaisseur, une forte proportion de débris allochtones, c'est-à-dire provenant d'autres parties de la tourbière.

2° Une couche de charbon peut, en certains points, être allochtone à sa base, ou sur toute son épaisseur; *elle peut ne pas reposer sur un mur*. Il suffit que ces parties de la couche se soient déposées dans des régions plus profondes de la lagune, situées en bordure des forêts marécageuses.

3° De même, des îlots de végétation flottante, analogues à ceux que charrient l'Amazone ou le Nil, en s'immergeant soit dans les chenaux, soit dans les parties profondes de la lagune, ont pu donner naissance à de la tourbe, puis à de la houille allochtone.

Deux autres cas d'allochtonie peuvent encore se présenter :

1° Il est possible, que des couches de charbon allochtones se

soient formées au large d'un estuaire ou d'un delta, dans les parties profondes et tranquilles d'un golfe, conformément aux idées d'H. FAYOL. Ce cas ne paraît pas se présenter dans le terrain houiller, si ce n'est à titre exceptionnel, et il faut noter qu'il ne peut se former ainsi qu'un dépôt lenticulaire de peu d'étendue, inclus au milieu de sédiments stériles.

2° Certaines couches de tourbe, déjà formées, ont pu être démantelées par des eaux torrentielles; leurs débris ont pu être entraînés et déposés dans des parties plus profondes de la lagune.

BASSINS LIMNIQUES. — Les couches des bassins limniques se sont formées de la même façon que celles des bassins paraliques. Elles doivent leur grande épaisseur à ce que l'affaissement de la lagune était alors sensiblement proportionnel à l'accroissement de la tourbe. *Les débris végétaux flottés ont pu contribuer à accroître certaines parties de la couche de tourbe en formation au détriment des autres; ceci se serait produit sous l'action d'un relèvement des bords de la lagune.* A cet égard, l'allochtonie aurait joué un rôle plus important dans la formation de ces couches que dans celles des bassins paraliques. Enfin, ces couches doivent vraisemblablement leurs irrégularités au voisinage des bords du bassin, qui facilitait l'arrivée d'eaux torrentielles et par conséquent de sédiments sableux et argileux dans la lagune. De là, la fréquence du phénomène, dit: *Schistification des couches de houille*, étudié par GRAND'EURY.

III. — Lagunes marécageuses actuelles comparables aux lagunes houillères

1° Les tourbières houillères n'ont rien de comparable aux *tourbières bombées* ou *tourbières des pentes*. Ces tourbières doivent leur existence à l'activité des Sphaignes, espèces de mousses très particulières; on ne connaît pas de végétaux jouant le même rôle dans les dépôts de combustibles tertiaires, secondaires et primaires. Dans les tourbières des pentes (Irlande, Jura), l'eau est retenue par les feuilles des Sphaignes, qui l'empêchent de s'écouler et la maintiennent à un niveau supérieur à celui des prairies voisines. Dans les tourbières plates boisées, le niveau de l'eau est réglé par les fleuves et rivières, qui alimentent la lagune.

2° Les tourbières plates de nos vallées (vallée de la Somme), constituées surtout par des végétaux analogues aux roseaux (Cypéracées et Graminées) et par des mousses comme les *Hypnum*, n'offrent que des analogies restreintes avec les tourbières houillères.

3° Dans la nature actuelle, les lagunes houillères sont comparables :

aux lagunes des bords de la Baltique (Kurisches Haff, Frisches Haff), ces lagunes sont bordées de *tourbières plates boisées*, qui, le long du Kurisches Haff, atteignent près de 100 km. de longueur ;

aux marécages boisés de la Virginie (Great Dismal Swamp), des deux Carolines, de la Floride, de la Louisiane, etc.... ;

aux marécages boisés des régions équatoriales : tourbière du fleuve Kampar à Sumatra, lagunes de la Côte d'Ivoire, etc.....

Si l'on tient compte des conditions de vie et de l'aspect des arbres, ce sont les tourbières plates boisées des régions équatoriales qui donneraient l'idée la plus approchée des tourbières houillères.

D'autre part, on peut se faire une idée très exacte de l'étendue des lagunes houillères, en supposant que la mer Baltique, devenue moins profonde, en partie comblée par des sédiments, soit envahie toute entière par le régime lagunaire, avec extension des forêts marécageuses, limitées actuellement aux lagunes de l'Allemagne du Nord.

IV.— Explication de la répétition du cycle houiller

La succession : *grès, schiste, mur, couche de charbon, toit grès*, etc...., se répète un grand nombre de fois du bas en haut du terrain houiller. Le nombre des veines du bassin franco-belge est estimé à 80 ou 120. Il faut quintupler ou décupler ce nombre, si l'on veut tenir compte de toutes les passées et de tous les filets charbonneux reposant sur un mur.

Il peut sembler surprenant que les conditions favorables à

la formation d'une couche de charbon aient pu se répéter pour ainsi dire indéfiniment pendant des périodes de temps incalculables.

Ceci tient à ce que tout bassin constitue avec les masses continentales voisines un système en équilibre, s'appuyant sur un fluide pesant (laves souterraines). L'équilibre réalisé entre les deux pistons d'une balance hydraulique nous offre quelque chose de très analogue: quand, par suite d'une augmentation de poids, l'un des pistons s'abaisse, l'autre s'élève d'autant, entraînant le fluide pesant à sa suite, jusqu'à ce que l'équilibre se rétablisse de lui-même.

Dans le cas d'un bassin, les ruptures d'équilibre se produisent presque toujours dans le même sens. Elles sont dues, soit à l'érosion, qui diminue le poids des continents au profit du bassin, soit aux plissements lents de l'écorce terrestre qui accentuent le relief des continents et augmentent la profondeur du bassin. Dans le premier cas, l'équilibre se rétablit par affaissement du fond du bassin; dans le deuxième cas, l'équilibre se rétablit par l'érosion qui comblera le bassin jusqu'à ce que les pentes soient de nouveau nulles ou très faibles, c'est-à-dire jusqu'au retour d'une phase calme, favorable à la formation de la tourbe et aux dépôts lacustres (boghead, schistes bitumineux).

En résumé, tout bassin houiller, avec les masses continentales qui l'entourent, constitue un système où les ruptures d'équilibre sont compensées très exactement et automatiquement.

L'affaissement graduel du fond du bassin n'entraîne que des différences de profondeur en somme très limitées, qui sont destinées à s'annuler au bout d'un certain temps pour recommencer un peu plus tard.

La répétition indéfinie des mêmes phénomènes et par conséquent, des mêmes dépôts, n'a donc rien qui puisse surprendre. Le même mécanisme rend compte d'ailleurs du remplissage de tous les bassins géologiques.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Notions élémentaires de botanique	3
Grandes divisions du règne végétal	3
Différentes parties du corps de la plante chez les Phanérogames et chez les Cryptogames vasculaires	10
Introduction à l'étude des plantes fossiles	15
Répartition stratigraphique des principales flores	16
Flores des terrains les plus anciens	18
Premiers végétaux continentaux ; les Psilophytons	19
Flore du Dévonien supérieur	21
Flore du Culm	23
Flore houillère	25
Lycopodiacées arborescentes	26
Lepidodendron, 26. — Ulodendron, 30. — Bothrodendron, 31. — Pinakodendron, 32. — Sigillariées, 33. — Stigmaria, 38.	
Calamariées	40
Rameaux et feuillage des Calamites, 46. Epis ou cônes fructifères des Calamites, 48.	
Sphénophyllées	50
Feuilles de Fougères	53
Pécoptéridées, 53. — Aléthoptéridées, 64. — Neuroptéridées, 70. — Marioptéridées, 79. — Sphénoptéridées, 81. — Sphenopteris, Fougères à graines, 81. — Sphenopteris, vraies Fougères, 83.	

Organes reproducteurs des Ptéridospermées	87
Organes mâles, 87. — Graines, 90.	
Tænioptéridées	92
Cordaïtées.	94
La flore à Glossopteris	100
Ere des Gymnospermes.	103
Les Conifères permienes et secondaires	104
Walchia, 104. — Voltzia, 105. — Dicranophyllum, 105. — Ginkgoites, 106. — Cedrus Corneti, 107. — Sequoia, 107.	
Les Bennettitées.	108
Ere des Angiospermes	112
Apparition et épanouissement des Dicotylédones	112
Flore tertiaire	113
Flore quaternaire	117
Conclusion de l'étude des flores successives	117
Âperçu sur le mode de formation du terrain houiller	118
I. Définition des bassins houillers, 119. — II. Origine des grandes lagunes houillères de l'époque westphalienne, 120. — III. Origine des différentes roches houillères autres que la houille, 121. — IV. Mode de formation des couches de houille, 123.	
Conclusions relatives au mode de formation du terrain houiller	132
I. Idée générale des conditions dans lesquelles s'est dépo- sée la houille, 132. — II. Rôle de l'allochtonie dans la formation des couches de houille, 133. — III. Lagunes marécageuses actuelles comparables aux lagunes houil- lères, 134. — Explication de la répétition du cycle houil- ler, 135.	

CLF. P. 107011

1000 LA-DEPARTMENT OF CHEMISTRY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA

1. Nervous and anesthetic

1.1. Nervous system, general

1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1. Nervous system, general

CLEF DICHOTOMIQUE

POUR LA DÉTERMINATION DES GENRES DE FOUGÈRES HOULLÈRES

I. — Nervures non anastomosées.

A. — *Pinnules petites, toutes semblables entre elles.*

- 1^o pinnules à bords parallèles, attachées au rachis par toute leur base, non décurrentes, parfois à bords faiblement lobés. **Pecopteris.**
- 2^o pinnules décurrentes ; nervures latérales arquées, obliques aux bords de la pinnule ; des pinnules intercalaires sur le rachis primaire **Callipteris.**

B. — *Pinnules grandes.*

- a. Pinnules attachées au rachis par un seul point, échancrées à la base, arrondies au sommet **Neuropteris.**
- a'. Pinnules de deux sortes, les unes comme *Neuropteris*, les autres comme *Odontopteris* **Mixoneura.**
- b. Pinnules attachées au rachis par toute leur largeur.
- α. Pinnules décurrentes ou obliques.
- ☐. nervure médiane peu marquée ou nulle ; nervures plus ou moins parallèles à l'axe de la pinnule **Odontopteris.**
- ☐. nervure médiane bien marquée.
- Δ. nervures latérales serrées, recourbées normalement aux bords de la pinnule **Alethopteris.**
- Δ. nervures latérales obliques.
- 1^o nervures latérales assez espacées ; pinnules triangulaires ; pinnules basilaires bilobées **Mariopteris.**
- 2^o nervures latérales arquées, très obliques ; des pinnules intercalaires sur le rachis primaire. **Callipteris.**
- β. Pinnules non décurrentes.
- ☐. Pinnules perpendiculaires au rachis, légèrement arquées ; nervures latérales obliques ; des pinnules ou des pennes intercalaires **Callipteridium.**

☐ Mêmes caractères que *Callipteridium*, mais pas de pinnules intercalaires. **Pecopteridium.**

C. — *Pinnules lobées, souvent trilobées, à lobes arrondis, ou bien : pinnules très découpées, laciniées, etc.* . . . **Sphenopteris.**

II. — **Nervures anastomosées** (réseau nervuraire).

a. Pinnules attachées au rachis par un seul point, échancrées à la base, comme *Neuropteris* **Linopteris.**

b. Pinnules largement attachées au rachis.

1° Pinnules très larges, ou décurrentes sur le rachis, comme *Alethopteris* **Lonchopteris.**

2° Pinnules perpendiculaires au rachis, faiblement arquées ; nervures latérales obliques ; réseau souvent très lâche, difficile à voir ⁽¹⁾. **Pecopteridium.**

III. — **Pinnules orbiculaires** (*Cyclopteris*).

a. de petite taille.

☐. Nervures non anastomosées. **Neuropteris** du type *Gigantea*.

☐. Réseau nervuraire **Linopteris.**

b. de grande taille.

☐. à bord entier **Neuropteris.**

☐. à bord lacinié, à contour parfois triangulaire. } **Mixoneura.**
Odontopteris.

(1) Il s'agit de *P. Defrancei*, Brongn. — La plupart des *Pecopteridium* ont des nervures non anastomosées et se classent entre les *Alethopteris* et les *Callipteridium*.

BECQ. — Cours élémentaire d'électricité théorique et industrielle*.

LIVRE I. — Electricité théorique. Machines électriques (18^e édition, 361 pages, 167 figures).
Prix. 24 fr.

LIVRE II. — Applications industrielles de l'électricité (18^e édition, 288 pages, 119 figures et 18 planches hors texte).
Prix. 22 fr.

LIOVICI. — Cours moyen d'électricité industrielle*.

LIVRE I. — Electricité théorique. Dynamos et moteurs à courant continu (9^e édition, 286 pages, 311 figures).
Prix. 25 fr.

LIVRE II. — Dynamos et moteurs à courants alternatifs. Transformateurs. Applications industrielles de l'électricité (8^e édition, 241 pages, 167 figures).
Prix. 25 fr.

— Cours supérieur d'électrotechnique.

LIVRE I. — Lois générales de l'électricité et du magnétisme (482 pages, 248 figures).
Prix. 40 fr.

LIVRE II. — Étude des dynamos à courant continu (500 pages, 259 figures et 23 planches hors texte).
Prix. 45 fr.

LIVRE III. — Étude générale des courants alternatifs. Transformateurs.
Prix. 30 fr.

EUG. VIGNERON. — Cours de mesures électriques et essais de machines.

LIVRE I. — Essais de laboratoire. Description des méthodes et des appareils (5^e édition, 551 pages, 416 figures).
Prix. 35 fr.

LIVRE II. — Essais de machines (613 pages, 312 figures).
Prix. 40 fr.

RENÉ MARTIN. — Traction électrique (3^e édition, 872 pages, 595 figures et 55 planches hors texte).

Prix. 70 fr.

MÉTALLURGIE.

**FABRICATIONS MÉCANIQUES.
EXPLOITATION DES MINES**

GÉNÉRAL GAGES. — Cours de Métallurgie (2^e édition).

LIVRE I. — La fonte (354 pages, 115 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE II. — Elaboration des fers et des aciers (351 pages, 126 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE III. — Travail du fer et de l'acier (431 pages, 389 figures).
Prix. 35 fr.

LIVRE IV. — Essais mécaniques des fers et des aciers (320 pages, 157 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE V. — Métallurgie des alliages métalliques et des métaux autres que le fer (432 pages, 128 figures).
Prix. 35 fr.

Les 5 volumes ensemble:
Prix. 145 fr.

— Cours de machines-outils*.

LIVRE I. — La machine. L'outil et les mécanismes (484 pages, 506 figures).
Prix. 45 fr.

LIVRE II. — Étude de détail des différents types de machines (664 pages, 771 figures).
Prix. 55 fr.

— Cours d'organisation des fabrications mécaniques*.

LIVRE I. — Services de préparation (outillage, précision, machines) (480 pages, 401 figures).
Prix. 45 fr.

LIVRE II. — Montage et exécution des fabrications mécaniques (490 pages, 300 figures).
Prix. 45 fr.

— Standardisation (319 pages, 300 figures).
Prix. 30 fr.

GRUNER. — Cours d'exploitation des Mines (3^e édition).

LIVRE I. — Préliminaires. Recherches et Sondages. Abatage (420 pages, 282 figures).
Prix. 35 fr.

LIVRE II. — Soutènement des chantiers et galeries. Fonçage et soutènement des puits (362 pages, 247 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE III. — Méthodes d'exploitation en carrière et souterraine (330 pages, 201 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE IV. — Transports souterrains. Extraction (306 pages, 160 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE V. — Epuisements. Aérage et éclairage (343 pages, 170 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE VI. — Accidents et Hygiène. Installations à la surface. Statistiques. Règlements. (1 vol. de 368 pages, 104 figures).
Prix. 35 fr.

HYDRAULIQUE ET FORCES

HYDRAULIQUES. HOUILLE BLANCHE

CAUVIN-LÉVY-SALVADOR. — Distributions d'eau. Egouts* (464 pages, 304 figures, 16 planches).
Prix. 40 fr.

DIÉNERT. — Epuration des eaux et assainissement des cours d'eau* (2^e édition, 391 pages, 66 figures, 3 planches).
Prix. 30 fr.

LÉVY-SALVADOR-CAUVIN. — Aménagement des chutes d'eau. Utilisation de la houille blanche* (6^e édition, 418 pages, 170 figures dont 16 planches hors texte).
Prix. 30 fr.

BONNET. — Cours de barrages (2^e édition, 635 pages, 346 figures et 2 planches).
Prix. 40 fr.

DEGOVE. — Les grands barrages en maçonnerie aux Etats-Unis (1 volume in-f^o tellière 21 x 31 de 95 pages et 46 planches hors texte).
Prix. 30 fr.

TRAVAUX MARITIMES (5^e Édition)

BÉNÉZIT. — Cours de Ports et travaux maritimes.

LIVRE I. — Notions générales. Outillage et exploitation. Etude du plan d'un port (342 pages, 180 figures dont 10 planches hors texte).
Prix. 30 fr.

LIVRE II. — Ouvrages des ports (388 pages, 236 figures).
Prix. 30 fr.

LIVRE III. — Côtes. Fleuves et Canaux maritimes. Outillage. Administration (307 pages, 174 figures).
Prix. 30 fr.

HAELLING. — Le Rhin politique, économique, commercial (296 pages, 3 figures et 11 cartes en hors texte).
Prix. 24 fr.

TOPOGRAPHIE

PRÉVOT-QUANON. — **Topométrie*** (19^e édition, 456 pages, 147 figures).

Prix. 35 fr.

CHOLESKY. — **Topographie générale*** (3^e édition, 594 pages, 100 figures, 10 planches).

Prix. 35 fr.

DOUAT. — **Opérations souterraines*** (7^e édition, 50 pages, 39 figures).

Prix. 4 fr.

PRÉVOT. — **Cours de tachéométrie*** (5^e édition, 192 pages, 124 figures, 2 planches).

Prix. 30 fr.

QUANON. — **Dessin des plans*** (15^e édition, 96 pages, 33 figures, 11 planches hors texte).

Prix. 15 fr.

PRÉVOT. — **Etude critique des instruments et des procédés topométriques** (91 pages, 25 figures).

Prix. 15 fr.

RENÉ DANGER. — **Cours de topométrie urbaine. Lever des plans de ville** (1 volume in-4^e tellière 21 x 31 de 216 pages, 63 figures et 25 graphiques).

Prix. 60 fr.

PH. JARRE. — **Cours de Géodésie** (1 volume, in-4^e tellière 21 x 31 de 118 pages, 44 figures).

Prix. 30 fr.

— **La Tachéométrie de précision* (Méthode J.-L. Sangnet)**. Traité théorique et pratique concernant le lever des plans exécutés au moyen du tachéomètre autoréducteur Sangnet, (250 pages, 75 figures, 11 tableaux et 5 planches hors texte).

Prix. 35 fr.

JOYANT. — **Traité d'Urbanisme** (2 volumes in-4^e tellière 21 x 31).

1^{er} volume (196 pages et 316 figures sur 99 planches hors texte). Prix. 60 fr.

2^e volume, Etude des plans de ville (112 pages et 81 planches hors texte). Prix. 60 fr.

TRAVAUX PUBLICS EN GÉNÉRAL

EYROLLES-LUDINART. — **Cours moyen de pratique des travaux***.

1^{re} PARTIE. Matériaux de construction (147 pages, 95 figures). Prix. 18 fr.

2^e PARTIE. Préparation et mise en œuvre des matériaux (153 pages, 303 figures). Prix. 18 fr.

3^e PARTIE. Procédés généraux de construction (258 pages, 296 figures). Prix. 20 fr.

4^e PARTIE. Outillage général des chantiers de travaux publics (230 pages, 183 figures, 20 planches). Prix. 20 fr.

ANSTETT. — **Cours d'analyse et essai des matériaux de construction*** (235 pages, 32 figures).

Prix. 29 fr.

BENEZECH. — **Organisation générale d'une entreprise de Travaux publics*** (8^e édition, 216 pages, 14 figures et 3 planches).

Prix. 25 fr.

GRENÉ-MALAVAL. — **Cours de matériel d'Entrepris de travaux publics et installation de chantiers***.

LIVRE I. — Outillage général (367 pages, 362 figures). Prix. 35 fr.

LIVRE II. — Gros outillage (328 pages, 96 figures, 29 planches). Prix. 40 fr.

LIVRE III. — Installation de chantiers (en impression).

CHEMINS DE FER

DAUTRY-GERVET. — **Cours de chemins de fer**

1^{re} PARTIE. — Etudes et travaux d'infrastructure (126 pages, 85 figures et 5 planches). Prix. 12 fr.

2^e PARTIE. — Matériel fixe de la voie (202 pages, 117 figures, 1 planche). Prix. 14 fr.

3^e PARTIE. — Superstructure et entretien de la voie des bâtiments (198 pages, 97 figures, 4 planches). Prix. 18 fr.

4^e PARTIE. — Matériel roulant et traction des trains (177 pages, 86 figures, 7 planches). Prix. 15 fr.

5^e PARTIE. Exploitation technique (150 pages, 39 figures). Prix. 15 fr.

LEBOUCQ. — 6^e PARTIE. — Exploitation commerciale (280 pages). Prix. 25 fr.

ALBERT DUFOUR. — **Cours de chemins de fer. Pratique des études et de la construction spécialement aux colonies et en pays de montagne** (format 22 x 34).

Le volume texte de 392 pages, 270 figures. Atlas n° 1 : 48 tableaux, 43 planches. Atlas n° 2 : 154 planches. Prix cartonné. 16 fr.

RICHARD BLOCH. — **Questions de chemins de fer. Etudes commerciales** (218 pages, 9 figures).

Prix. 7 fr.

ALLEGRET. — **Notice sur les enclenchements** (81 pages, 22 figures, 13 planches).

Prix. 3 fr.

LÉVY-LAMBERT. — **Chemins de fer à crémaillère, funiculaires et transports aériens** (125 pages, 86 figures).

Prix. 1 fr.

DRIT. LÉGISLATION

GEORGIN. — **Notions élémentaires de droit civil** (660 pages).

Prix. 3 fr.

MASSÉ-BOVIER-LAPIERRE. — **Législation du travail et prévoyance sociale** (477 pages).

Prix. 3 fr.

GEORGIN. — **Cours de droit administratif**

LIVRE I. — Organisation générale des services publics (169 pages). Prix. 1 fr.

LIVRE II. — Fonctionnement de quelques services publics (228 pages). Prix. 1 fr.

Annexe de 124 pages. Prix. 1 fr.

— **Commentaires des clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs** (228 pages).

Prix. 1 fr.

DANIEL MASSÉ. — **Droit commercial et introduction à la pratique des affaires** (218 pages).

Prix. 1 fr.

Envoi gratuit sur demande du Catalogue général.

Les ouvrages suivis du signe * sont du format in-4 tellière (17x23). Les autres ouvrages sont édités en format in-8 raisin (16x25).