50376 1959 18

### UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DES SCIENCES

50376 1959 81

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES

ETUDE DES STRUCTURES

DE QUELQUES LAMES MINCES D'UN COAL-BALL

DE WESTPHALIE



Présenté à Lille, en Février 1959 par Jacqueline RARBIER

### MEMBRES DU JURY

Monsieur le Professeur Maurice HOCQUETTE

Président du Jury.

Monsieur le Professeur Paul CORSIN

Membre correspondant de l<sup>n</sup> Institut Rapporteur.

Monsieur le Professeur Chardes DELATTRE

Examinateur.

Je remercie Monsieur le Professeur CORSIN de m'avoir confié le sujet de ce diplôme.

Je lui suis reconnaissante pour la bienveillance qu'il m'a témoignée et pour les facilités de travail qu'il m'a accordées au Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de LILLE.

# SOMMAIRE

\_

Pages
INTRODUCTION1
PREMIERE PARTIE
GENERALITES SUR LES COAL-BALLS 2
I - DEFINITION DES COAL-BALLS
II - GISEMENT ET ORIGINE DES COAL-BALLS 4
a) Conditions de gisement de ces coal-balls 4
b) Position de ces coal-balls dans la veine (PL.A) 5
c) Pour quelles raisons se sont formées ces concrétions 6
III - COMPOSITION CHIMIQUE DES COAL-BALLS 8
IV - PETRIFICATION DANS LES COAL-BALLS

# DEUXIEME PARTIE

EXAMEN DES LAMES MINCES DU COAL-BALL ETUDIE12
A - DETERMINATION DES STRUCTURES RENCONTREES DANS LES LAMES14
I – LES ELEMENTS PRIMAIRES14
1 - présence de Lyginopteris cldhamia14
2 - présence de Stauropteris oldhamia15
3 - présence de Cordaites17
II - LES ELEMENTS SECONDAIRES
Présence de Stigmaria ficoides

B - DESCRIPTION DES STRUCTURES OBSERVEES DANS LES LAMES
I – LYGINOPTERIS OLDHAMIA
1- La tige
a) Vue d'ensemble de la section transversale (PL.B)20 b) Etude du développement de la structure anatomique21 c) Etude des divers tissus
2- Le feuille
11 - STAUROPTERIS OLDHAMIA
l- Morphologie de cette Fougère fossile
2- Anatomie de Stauropteris oldhamia
a) Structre générale d'un gros rameau
•1ºécorce
b) Etude des sorties de rameaux
III - STIGMARIA FICOIDES
1- Constitution et caractères externes (PL.D)
2- Structure anatomique
a) Axe principal de Stigmaria ficoides
b) Appendices de Stigmaria
•départs de radicelles
•section transverse de radicelle
CONCLUSIONS GENERALES
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

CLASSIFICATION DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES ET DES PREPHANEROGAMES .....47

# PLANCHES de I à VI

### INTRODUCTION

Alors que les traits généraux concernant la théorie de la formation de la houille sont bien dégagés et presque admis universellement, certains points particuliers soulèvent encore des difficultés. C'est ainsi que des concrétions calcareuses à structures végétales conservées, appelées coal-balls ont suscité de nombreux problèmes dont certains sont, d'ailleurs, encore inexpliqués :

- Leur présence dans certains gisements (on en rencontre dans le Yorkshire, dans le Lancashire, en Hollande et en Westphalie) et leur absence dans d'autres (Bassin Français du Nord et du Pas-de-Calais).

- L'époque de leur formation : on admet qu'elle est vraisemblablement antérieure à celle de la houille et proche du dépôt de la tourbe.

- Leur mode de formation qui est actuellement un objet de recherche.

Nous étudierons particulièrement un coal-ball originaire de Westphalie, provenant de la localité : Schnabell in's Osten. De la détermination des structures conservées, nous essaierons de dégager une hypothèse relative à la formation de ce coal-ball.

- I -

# PREMIERE PARTIE

GENERALITES SUR LES COAL-BALLS

1 - Définition des coal-balls

2 - Gisement et origine des coal-balls

3 - Composition chimique des coal-balls

l

4 - Pétrification dans les coal-balls

#### I - GENERALITES SUR LES COAL-BALLS

Depuis leur découverte, affirme M. STOPES (1), "les concrétions calcaires trouvées dans les veines de houille et renfermant des végétaux à structure conservée ont soulevé une série de problèmes concernant aussi bien la pétrographie et la minéralogie que la sédimentologie, la tectonique et la paléobotanique".

Dans ce chapitre, nous nous proposons de définir d'abord ce qu'est un coal-ball, de tenter d'expliquer ensuite son origine, son gisement et de rappeler brièvement sa composition chimique et ses caractéristiques.

#### I - DEFINITION

Les coal-balls proprement dits sont des masses calcareuses arrondies dont la taille varie entre celle d'une bille et celle d'un bloc de près d'un mètre de diamètre. Ges nodules sont englobés à l'intérieur d'une veine de houille.

Leur surface extérieure, assez régulière, montre une pellicule charbonneuse noire, brillante sous laquelle la concrétion elle-même

- 3 -

<sup>(1)</sup> Watson et M. Stopes : Fhil Trans.Roy Soc., London, série B, vol.200: "On the present distribution and origin of coal-balls".

apparaît grisâtre. A l'intérieur de ces coal-balls, se trouve un feutrage d'éléments végétaux : axes , feuilles, pétioles, racines qui ont sensiblement gardé leur volume initial et dont la structure cellulaire est, le plus souvent, admirablement conservée, permettant une étude anatomique complète. Les coal-balls désignent, par conséquent, des concrétions à structure conservée d'une partie de la couche de sédiments végétaux qui, plus tard, donnera le charbon.

#### II - GISEMENT ET ORIGINE DES COAL-BALLS

a) Les conditions de gizement de ces coal-balls sont très discutées, mais presque tous les auteurs s'accordent pour reconnaître la présence de ces concrétions uniquement dans des veines possédant un toit marin, reconnaissable grêce aux coquilles de Productus, Lingules et Discines. Très souvent, on observe la présence de "nodules du toit" situés au-dessus de la veine. Ces "nodules du toit" sont d'aspect très peu différent de celui des véritables concrétions trouvées dans l'épaisseur de la veine, mais ils renferment rarement des restes végétaux ; par contre, ils contiennent très fréquemment des fossiles animaux d'origine marine, tels que les Goniatites. Ce toit marin expliquerait la présence dans les coal-balls d'un minéral d'origine essentiellement marine : <u>la dolomite</u>. On peut citer, à ce sujet, les travaux de Leoney qui, dès 1836, remarquait déjà l'association de coquilles marines avec les veines à caol-balls et, dans une publication faite en collaboration avec Mooker, attribuait à ces coquilles la calcification des plantes trouvées à l'intérieur de ces nodules.

Cependant, Arnold signale que les veines à coal-balls, en Illinois, n'ont pas toujours un toit marin. L'absence de toit marin concorderait

-- 4 ---

pour cet auteur, avec une notable transformation de la composition chimique de la concrétion, se traduisant par une forte augmentation de la teneur en sulfure de fer. Cette observation d'Arnold laisse donc supposer l'existence de deux sortes de coal-balls : les uns d'origine marine sont plus fréquents, les autres d'eau douce seraient des concrétions sulfureuses.

### b) Quelle est la position de ces coal-balls dans la veine ?

Notons qu'ils ne forment pas un ou plusieurs bancs réguliers, comme c'est le cas pour les silex de la craie ; mais qu'ils se trouvent disposés sans aucun ordre depuis le mur jusqu'au toit de la veine et reposent directement dans le charbon lui-même. Il a été constaté que, régulièrement, les lits de houille "entouraient" les coal-balls qui ne sont pas écrasés (PL. A, fig. 1). Cette constatation montre que le tassement des végétaux n'avait pas encore eu lieu lors de la formation de la concrétion; cet arrangement suppose donc que le nodule calcareux doit avoir été mis en place dans les sédiments végétaux tourbeux se transformant en houille.

On relève, également, des traces de frottement sur les surfaces de contact charbon - coal-balls ; par conséquent, ces derniers étaient déjà consolidés lors des mouvements géologiques qui ont modifié l'allure de la veine de houille. Néanmoins, les axes végétaux contenus dans le coal-ball ne sont que très peu ou pas aplatis. Ce qui permet de conclure que le dépôt des minéraux a eu lieu peu de temps après la formation de la veine et qu'il s'est effectué de façon suffisamment rapide pour que l'épaississement continu des sédiments n'ait pas eu le temps de modifier le volume des végétaux ainsi "pétrifiés".

- 5 -

PLANCHE A

<u>Figure 1</u>: Position des COAL-EALLS dans les veines de houille. a - COAL-BALL b - lit de houille.

Figure 2 : Position des pierres lenticulaires entre les lits de charbon.

# Figure 3 : Coupe transversale d'un fragment de radicelle de <u>STIGMARIA</u> FICOIDES

- px : protoxylème spiralé
- x : métaxylème scalariforme
- ph : phloème

İ

- i : écorce interne
- e : écorce externe.

PL. A



Ces différentes observations conduisent à une conclusion générale indiscutable : les coal-balls ont été individualisés à l'intérieur de la masse de débris végétaux destinés à se transformer en charbon. La minéralisation est intervenue peu de temps après le dépôt de la couche végétale.

c)-Cependant, un problème reste en suspens : pour quelles raisons se sont formées ces concrétions ? Existait-il dans l'épaisseur de la veine des ensembles ou des agglomérats susceptibles de constituer préférentiellement le point de départ d'une concrétion ou bien ces derniers se sont-ils distribués au hasard ? Trop d'éléments mal connus rentrent en jeu pour que l'on puisse donner une réponse satisfaisante à ces questions. Il est, en effet, évident que, à l'origine, la couche de débris végétaux n'était pas homogène ; mais, en outre, si l'on admet que les minéraux des coal-balls sont d'origine marine, on est amené à envisager que l'arrivée de la mer au-dessus du dépôt végétal non tassé a peut-être provoqué des remaniements dans les couches superficielles seulement. Car la présence presque générale de nodules marins au toit des veines à coalballs montre qu'il y a eu, à un certain moment, contact direct entre la mer et les éléments végétaux ; cette dernière déduction trouve d'ailleurs confirmation dans la théorie qui a voulu exprimer le groupement des coalballs en "poches" plus ou moins importantes, en considérant ces poches comme la section de la zone d'influence d'un courant marin.

L'origine des coal-balls a cependant donné lieu à une autre interprétation de la part de Lomex. Cet auteur pensait, en effet, que les coal-balls étaient des "galets" provenant de formations houillères anté-

--- 6 ---

rieures et amenées dans la veine par un jeu mécanique quelconque. Cette théorie fut rapidement combattue car elle est mise en défaut par les arguments suivants :

- l- la structure caractéristique des concrétions est nettement visible dans les coal-balls ;
- 2- certains coal-balls sont de taille trop importante pour avoir pu être transportés ;
- 3- la forme des coal-balls (souvent irrégulière et montrant éventuellement des fines arêtes vives) s'oppose à toute idée de transport;
- 4- des coal-balls voisins contiennent des parties différentes de la même plante ;
- 5- la présence, dans certaines veines de masses calcareuses contenant des restes de plantes extrêmement fragmentées et pétrifiées d'une manière semblable à celles des coal-balls usuels qui, au lieu de former de grandes concrétions rondes, reposent en lits dans le charbon formant des morceaux lenticulaires pouvant atteindre 20 à 40 cm. Ces pierres sont déposées horizontalement entre les lits de charbon (PL. A, fig.2). Les plantes pétrifiées dedans sont beaucoup moins bien conservées que les plantes des vrais coal-balls, et il peut même arriver que ces plantes soient les mêmes que celles formant le charbon dans lequel reposent ces masses calcareuses.

Il semble donc évident que les concrétions calcareuses du terrain houiller se soient formées sur place : la matière calcaire, remplaçant le charbon en cet endroit, doit s'être précipitée localement dans l'eau de mer baignant la couche de sédiments végétaux, la formation de ces concrétions pouvant être favorisée par l'action de facteurs internes tels que variations de tension des sels de dolomite dans l'eau de mer en ces points et le Ph du milieu ambiant,

#### III - COMPOSITION CHIMIQUE DES COAL-BALLS

Les indications suivantes ont été fournies par des analyses de coal-balls provenant de Grande-Bretagne.

Le principal constituant des concrétions à structure conservée du terrain houiller est le carbonate de chaux qui est très souvent accompagné d'une importante proportion de carbonate de magnésium. Ces deux éléments peuvent varier dans des limites assez étendues, soit de 49 à 91 °/<sub>o</sub> pour le carbonate de chaux. Ces deux carbonates sont d'ailleurs le plus souvent associés sous forme de <u>dolomite</u> et leur ensemble représente généralement plus de 90 °/<sub>o</sub> de la masse totale.

D'autres sels minéraux entrent dans la composition des coalballs : le carbonate de fer, qui est toujours présent avec les deux autres carbonates précipités et peut atteindre 9,8  $^{o}/_{c}$ , l'oxyde ferrique, le carbonate de manganèse, l'alumine, le phosphate trical cique et le sulfure de fer. Ces sels ne sont d'ailleurs pas toujours régulièrement trouvés dans les coal-balls.

Les matières charbonneuses sont, elles, en quantité variable entre 1,8  $^{0}/_{0}$  et 3,8  $^{0}/_{0}$  et sont fonction du stade plus ou moins avancé de la macération des végétaux avant leur "pétrification".

La "source des carbonates" constituant les coal-balls est l'eau de mer, comme nous l'avions indiqué précédemment : en effet, la présence d'eau de mer au contact de l'amas végétal explique de façon relativement

-- 8 --

facile la formation de la dolomite, carbonate double de calcium et de magnésium. Aucune autre théorie n'a, jusqu'à présent, été jugée satisfaisante. car l'origine du magnésium ne peut être placée que dans les sels marins.

#### IV - PETRIFICATION DANS LES COAL-BALLS

Les cristallisations des carbonates de magnésium et de calcium peuvent se faire, dans la mer, séparément ou simultanément c'est-à-dire sous forme de dolomite. Ces minéraux se déposant très progressivement, ont, dans le cas des coal-balls, rempli tous les interstices laissés libres à l'intérieur des végétaux par la disparition des contenus cellulaires et c'est ainsi que la conservation des axes a pu se faire de façon aussi parfaite. Arnold (1) insiste d'ailleurs sur le fait qu'il ne faut pas confondre "fossilisation des végétaux des coal-balls" avec épigénisation. Il y a eu simplement remplissage des vides et les parois cellulaires que l'on observe actuellement sont, dans la plupart des cas, les parois mêmes du végétal qui n'a subi que très peu de modifications.

L'observation de lames minces obtenues à partir de coal-balls nous montrent l'extrême finesse des tissus conservés dans les nodules calcareuse, malgré la nature destructible de ces tissus préservés. Ceci a été constaté depuis longtemps par Williamson, Scott, Seward qui avaient remarqué que les tissus les plus délicats des plantes tels que "phloème, endoderme, parenchyme, peuvent être conservés avec une grande perfection dans les coal-balls". Ceci prouve la difficulté de trouver une théorie satisfaisante de fossilisation, parce qu'il est impossible de supposer que de tels tissus puissent rester inaltérables durant une période si longue, avant l'arrivée du fluide fossilisant.

--- 9 ---

<sup>(1)</sup> Arnold : "The petrification of wood", The Mineralogist magazine, Sept. 1941.

De même, nous ne pouvons expliquer les raisons pour lesquelles, seuls, quelques points dispersés, semble-t-il, au hasard, dans la couche végétale, ont servi de point de départ à des concrétions. Nous pouvons uniquement constater qu'une pétrification si minutieuse maintenant les végétaux dans leur volume initial et leur gardant la majorité de leurs tissus, nous permet actuellement de faire une étude parfaite morphologique et anatomique de ces dites plantes.

# DEUXIEME PARTIE

EXAMEN DES LAMES MINCES DU COAL-BALL ETUDIE

A - Détermination des structures rencontrées dans les lames.
B - Description des structures observées dans les lames.

II - EXAMEN DES LAMES MINCES DU COAL-BALL ETUDIE

Il a été effectué dans le coal-ball étudié, provenant de Westphalie, huit lames minces toutes transversales. Ces lames font partie de la Collection du Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille, elles sont cataloguées sous la rubrique : 2,036 et sont numérotées de l à 8.

Une observation assez grossière de ces lames, d'abord à l'oeil nu puis au binoculaire, en utilisant le faible grossissement, nous donne un aspect général de l'ensemble des structures rencontrées dans le coalball considéré et de leur disposition (PL. I, fig. l et 2). Dès le premier examen de ces lames, nous remarquons la finesse et la netteté des structures non écrasées qui se détachent sur le fond de la lame mince et qui rappellent à première vue de la dentelle. Des éléments de grande taille, visibles à l'oeil, apparaissent placés à côté d'éléments de taille beaucoup plus petite ; et toutes ces structures sont disposées en lits parallèles, ce qui prouve qu'avant d'être pétrifiés, ces végétaux s'étaient sédimentés dans une lagune marécageuse.

Les éléments de taille importante semblent enrobés dans une sorte de pâte constituée par des éléments beaucoup plus petits. Un examen plus attentif de ces lames permet d'observer la présence d'éléments allongés, fins, plus ou moins complets qui viennent s'intriquer entre des structures beaucoup plus arrondies ou ovales, et qui ne suivent pas toujours les lits réguliers (P. I, fig.2 surtout) : ce sont des éléments de seconde formation qui ont pris place dans les espaces laissés libres par les premiers et qui se sont intriqués même à l'intérieur de ces végétaux sédimentés. Cette observation entraîne donc la présence dans le coal-ball à étudier de deux groupes d'éléments : des éléments mis en place et disposés en lits parallèles ou éléments primaires, qui constituent la trame du nodule calcareux, et des éléments de seconde formation qui pénètrent parfois cex éléments lités. De cette constatation, peut-être pourrons-nous déduire une théorie relative à la formation du nodule lui-même. Auparavant, il reste à déterminer les diverses plantes qui ont été pétrifiées dans la concrétion calcareuse.

- 13 -

A - DETERMINATION DES STRUCTURES RENCONTREES DANS CES LAMES

#### 1 - LES ELEMENTS PRIMAIRES

## 1 - Présence de Lyginopteris oldhamia

a) Les plus gros éléments observés dans la série des lames, numérotées 2.036 (de 1 à 8), sont des sections d'axes à symétrie radiaire caractéristiques de tiges. Elles nous apparaissent, en coupe, losangiques à coins arrondis et, le plus souvent, à l'état de fragments. Cependant la lame 2.036<sup>II</sup>-6 nous révèle une section entière de cette tige (PL. II, fig. 1), remarquablement conservée et qui présente vers la gauche une sortie de faisceau libéro-ligneuse double, correspondant au futur départ d'une feuille. Cette structure nous montre les différents tissus constituant cette tige. Nous distinguons nettement à l'extérieur une écorce, présentant des amas très importants de sclérenchyme à édification spéciale, et entourant le cylindre central qui est très développé. Ce dernier présente des faisceaux ligneux primaires, avec un anneau imparfait de bois secondaire et l'individualisation sur le pourtour de cordons vasculaires annonçant le départ plus ou moins prononcé de feuilles. Cette structure caractérise <u>la tige de Lyginopteris oldhamia</u> que nous ne verrons pas en détail maintenant car elle fera l'objet d'un paragraphe suivant où les différentes structures observées dans les lames à étudier seront décrites minutieusement.

b) <u>Lyginopteris oldhamia</u> appartient à la famille des Lyginoptéridacées, elles-mêmes faisant partie du groupe des Ptéridospermophytes ou Fougères à graines que l'on classe dans les Préphanérogames. Ces derniers sont, pour ainsi dire, des Cryptogames Vasculaires à ovules, qui font le passage entre les Cryptogames Vasculaires vraies et les Phanérogames. <u>Lyginopteris oldhamia</u> a été étudiée par Potonié ; elle était abondante au Westphalien inférieur, mais a existé depuis le Namurien. C'était probablement un arbuste ayant le port de fougère subarborescente et qui vivait dans les stations marécageuses.

c) Une observation plus minutieuse des différentes lames nous permet de remarquer la présence d'autres organes de Lyginopteris. Les lames minces numérotées  $2.036^{I} - 1$ ,  $2.036^{I} - 2$ ,  $2.036^{I} - 3$ , nous montrent, en effet, de magnifiques sections transversales de <u>pétiole de Lyginopteris</u> bien reconnaissables grâce à leur symétrie bilatérale, à leur forme échancrée rappelant de loin un coeur et, surtout, grâce à la présence d'une gaine de sclérenchyme à allure spéciale dans l'écorce périphérique (PL.III,fig.4). De même, des fragments de <u>feuilles</u> isolées et plus ou moins bien conservées de cette plante subarborescente sont reconnaissables dans la pâte enrobant l'ensemble des structures.

# 2 - Présence de Stauropteris oldhamia

Les éléments les plus imposants, après les tiges de Lyginopteris, sont représentés par des sections arrondies plus ou moins déformées où l'on distingue une écorce sclérifiée intérieurement, qui entoure un cylindre central de forme quadrangulaire comprenant un faisceau vasculaire ligneux, présentant l'aspect d'une croix. Cette structure caracté-

- 15 -

rise les <u>phyllophores de Stauropteris oldhamia</u> et leurs ramifications, car ces axes se ramifient généralement et assez rapidement.

Les Stauropteris sont des Cryptogames Vasculaires qui font partie du groupe des Ptéridophytes ou Filicales. Ce sont des Filicinées dont les frondes sont entièrement à l'état d'axes ou de phyllophores.Elles ont été étudiées par Williamson (1), Scott (2) et surtout par P.Bertrand(3).

<u>Stauropteris oldhamia</u> était probablement une plante humicole et épiphyte. Elle possède des frondes catadromes, composées d'un rachis allongé et ramifié un certain nombre de fois. Chaque rachis d'un ordre donné porte 4 files de rachis d'un ordre supérieur, émis par paires alternativement à droite et à gauche.

Nous observons d'ailleurs sur les lames données, la présence de rachis principal, de rachis secondaires, tertiaires...(Pl.IV, V). Le diamètre du rachis principal de Stauropteris atteint 4 à 5 mm., tandis que celui des ramifications ultimes est de l'ordre de 0,32 mm. à 0,24 mm. (ces mesures ont été effectuées à l'aide d'une chambre claire et d'un micromètre objectif). Les pennes de second ordre sont plus petites et beaucoup plus nombreuses que celles de premier ordre et ainsi de suite ; les pennes de dernier ordre, très petites entourent les éléments les plus gros, et constituent des lits réguliers déterminant ainsi le dépôt de ces végétaux.

- (1) Williamson : "On the organization of the Fossil Plants of the Coal Measures".
- (2) Scott : "Studies in Fossil Botany" Tome II.
- (3) P. Bertrand : "Conférences de Paléobotanique".

- 16 -

### 3 - Présence de Cordaites

La pâte est constituée d'éléments très petits, décomposés, plus ou moins en bouillie, où se reconnaissent parfois des sections de feuilles de Cordaites, d'ailleurs très mal conservées.

Les Cordaites sont également des Préphanérogames comme les Lyginopteris, mais elles appartiennent à l'embranchement non plus des Ptéridospermophytes, mais à celui des Préconiférophytes, caractérisé par la présence de tiges ramifiées et de feuilles ordinairement larges et à nervures parallèles.

#### II - LES ELEMENTS SECONDAIRES

- Présence de Stigmaria ficoides -

La lame numérotée 2.036<sup>1</sup>-1 nous présente un très bel exemple d'éléments de deuxième formation, disposés parallèlement aux couches de végétaux primaires et envoyant des prolongements longitudinaux qui pénètrent généralement entre et même dans les structures déjà mises en place (FL. I : partie supérieure de la fig.2). Ces figures caractéristiques, allongées, présentant des ramifications partant d'une petite proéminence, apparaissant plus foncée sur les lames, ne sont autres que des départs de "<u>racines</u>" ou "<u>radicelles</u>" à partir d'un axe principal de <u>Stigmaria</u>. Des portions longitudinales de radicelles isolées, plus ou moins étendues ou repliées sur elles-mêmes, abondent également dans chaque lame où elles remplissent tous les creux de la trame primaire du nodule et pénètrent dans les éléments eux-mêmes, ce qui explique leur orientation quelconque, indépendante des lits de substances végétatives.

- 17 -

Les <u>Stigmaria</u> représentent les organes souterrains des Lycopodiales fossiles, classe du sous-embranchement des Lépidophytes faisant lui-même partie des Cryptogames Vasculaires. Les <u>Stigmaria ficoides</u> sont les organes souterrains, en particulier des Lepidodendrons et Sigilkires, et se rencontrent fréquemment dans les "murx" des dépôts houillers. Ces Stigmaria se présentent normalement sous la forme d'un ensemble de rhizomes rigoureusement dichotomes, portant en ordre spiralé les racines ou appendices qui sont presque toujours simples mais très longues. Leur présence, en tant qu'éléments de deuxième formation dans le coal-ball laisse supposer qu'une forêt houillère d'arbres géants s'est installée sur les végétaux sédimentés de la lagune houillère.

### B - DESCRIPTION DES STRUCTURES OBSERVEES DANS LES LAMES

La détermination des structures rencontrées dans les lames à étudier entraîne obligatoirement ensuite leur description détaillée, qui se présente ainsi comme un moyen de vérification.

Nous allons donc examiner successivement ces différentes structures en insistant plus particulièrement sur celles qui abondent ou qui sont très bien conservées dans le matériel donné. <u>Lyginopteris oldhamia</u> que l'on rencontre sous différents aspects (tige, pétiole, folioles) sera observée en premier, puis <u>Stauropteris oldhamia</u> caractérisé dans ces lames minces par la multitude de ses rachis d'ordre différent permettant l'étude assez poussée de ses ramifications. Enfin, les <u>Stigmaria</u> et leurs appendices finiront cette étude de détails.

#### I - LIGINOPTERIS OLDHAMIA

C'est une plante extrêmement commune dans les coal-balls de Westphalie ; elle est également présente dans ceux du Lancashire et du Yorkshire. Dans le nodule calcareux que nous analysons, <u>Lyginopteris</u> est la plante qui se présente sous le plus grand nombre d'organes, ces derniers ayant été sédimentés côte à côte au cours du dépôt végétal tourbeux.

# 1 - La Tige

Les dimensions de la tige sont variables, d'autant plus que les spécimen observés, plus ou moins entiers, ont été écrasés et présentent une section non plus circulaire mais ovalaire, allongée dans le sens perpendiculaire à la poussée provoquée par le dépôt des végétaux. La section transversale entière de la lame numérotée 2.036<sup>II</sup>-6 présente un grand diamètre de 2,75 cm. et un plus petit de 1,85 cm. (PL. II, fig. 1). En général, les plus grands spécimens ont un diamètre d'environ 4 cm. et les plus petits de 2 mm., <u>Lyginopteris</u> étant connu pour ses départs foliaires fréquents.

a) Vue d'ensemble de la section transversale (PL.II, fig.1 - PL.B, fig.1)

- La stèle. Dans les sections de tiges de Lyginopteris, nous observons normalement une moelle de grande taille, comparativement à la tige entière. Autour de la moelle, sept massifs de xylème clairsemés se rattachant à un système de traces foliaires, sont disposés en anneau. En dehors de cet anneau, nous trouvons une zone de bois secondaire, puis font suite be phloème secondaire et le phloème primaire qui sont peu visibles sur les coupes données et ont dû probablement disparaître au cours de la fossilisation, ainsi d'ailleurs que la zone de croissance libéro-ligneuse.

Au-delà du phloème, se trouve un péricycle bien marqué, dont la limite externe est accentuée par la présence d'une zone de périderme. Ceci complète la stèle.

- Nous atteignons ensuite <u>l'écorce</u> la plus interne de structure parenchymateuse, peu développée et écrasée i, puis l'écorce la plus externe qui est très caractéristique. Cette écorce externe consiste en un

#### PLANCHE B

### LYGINOPTERIS OLDHAMIA

Figure 1 : Section de tige de LYGINOPTERIS OLDHAMIA (interprétation de la figure 1, planche II). Autour de la moelle m, contenant des noyaux de cellules scléreuses ns, se trouvent 5 faisceaux caulinaires ligneux numérotés I, II, .... V, simples ou divisés ; au-delà, s'étend l'anneau de bois secondaire, puis vient le phloème. ph ; un groupe de phloème primaire, pd : périderme, marquant la limite externe du péricycle. Au-delà du périderme, débute l'écorce interne, puis l'écorce externe e. avec ses bandes radiales foncées de sclérenchyme SC 1, 2, ... 5, représentent les 5 sorties foliaires numérotées suivant la phyllotaxie (dans le sens de la flèche). Figure 2 : Schéma de la ramification de la fronde de LYGINOPTERIS OLDHA-MIA et de la disposition du faisceau vasculaire. a : double faisceau vasculaire foliaire à la base du pétiole principal.

- b : pétiole principal,
- c : rachis secondaire porté par le pétiole principal (opposé),
- d : forme W du faisceau vasculaire,
- e : forme en V du faisceau vasculaire dans les rachis primaires,
- f : rachis primaire,
- g : rachis secondaire porté par le rachis primaire (alterne).

Figure 3 : double faisceau vasculaire de la base du pétiole.

px : protoxylème,

- x : métaxylème centripète,
- x<sup>1</sup> : xylème primaire centrifuge,
- ph : phloème,
- par : parenchyme chlorophyllien.



LYGINOPTERIS OLDHAMIA

réseau de bandes radiales fibreuses renfermant du tissu cellulaire dans ses mailles : l'écorce de la tige est donc parcourue par des cordons de sclérenchyme anastomosés en réseau. Parfois l'épiderme externe superficiel peut avoir été conservé, dans les cas les plus favorables, mais le plus souvent, il a disparu.

Les bases des feuilles sont trouvées fréquemment en connection avec la tige ; à travers tous les tissus de la tige, depuis le bois jusque vers l'extérieur, des faisceaux vasculaires foliaires, sont rencontrés dans chaque section transversale, qui peut également présenter une sortie foliaire caractéristique dans l'écorce même de la tige (PL.II, fig. 1, 5).

### b) Etude du développement de la structure anatomique

Les coupes à travers des organes jeunes de <u>Lyginopteris oldhamia</u> permettent de comprendre la structure anatomique de cette Ptéridospermée. A l'état très jeune, celle-ci montre des faisceaux primaires, séparés les uns des autres et groupés en une eustèle typique. Bientôt, apparaît le bois secondaire. Celui-ci est très régulier et est parcouru par de nombreux rayons médullaires.

Les faisceaux libéro-ligneux primaires sont au nombre de cinq ; ces faisceaux caulinaires primitifs se dédoublent tangentiellement en suivant une divergence de 2/5 pour préparer les sorties foliaires, ce qui explique la présence, dans notre section, de sept massifs ligneux autour de la moelle : en réalité, on observe les cinq faisceaux caulinaires primitifs, dont certains sont dédoublés (par exemple, les faisceaux IV et V de la fig. 1, FL. B). Ces traces foliaires ont, à l'origine d'ailleurs, du bois secondaire (FL. II et FL. B : fig.1, trace foliaire 1), mais il disparaît au passage par l'écorce interne. Avant de percer l'endoderme, chaque

- 2I -

faisceau foliaire issu d'un faisceau caulinaire primitif se dédouble de nouveau, de sorte que la vascularisation de la feuille de <u>Lyginopteris</u> comporte deux faisceaux comme chez les Cycadales actuelles.

### c) Etude des divers tissus

Considérons, maintenant, les divers tissus plus en détail. <u>La moelle</u> consiste en une matrice de cellules hexagonales, grandes, parmi lesquelles sont encastrés des groupes caractéristiques d'éléments foncés, connus sous le nom de "nids scléreux" (PL. II, fig. 4). Les parois de ces cellules scléreuses sont quelquefois extrêmement épaissies et paraissent stratifiées. Les cellules de chaque nid sont habituellement rangées en files verticales, suivant l'axe de la tige.

En observant <u>les tissus vasculaires</u>, nous trouvons que le bois primaire de la stèle se compose uniquement de massifs ligneux isolés entourant la moelle. Dans les coupes que nous examinons (PL. II et PL. B : fig.l), le faisceau caulinaire I est simple, tandis que les faisceaux II et III sont en train de se diviser (2 pointements de protoxylème apparaissent), les faisceaux IV et V sont totalement dédoublés et préparent une sortie foliaire. Tous ces faisceaux caulinaires primitifs présentent une structure mésarche.

Le protoxylème est situé plus près du bord du faisceau dirigé vers l'écorce que du bord interne, mais il est placé de telle façon qu'il est "coiffé" par une quantité appréciable de xylème primaire centrifuge (PL.II, fig. 2). A cet endroit, un ilôt de tissu cellulaire, plus ou moins écrasé dans les structures observées, touche le protoxylème et se trouve en contact avec la région centrifuge du faisceau. Le protoxylème est entouré latéralement et vers la moelle par du bois primaire à différenciation centripète, caractéristique avec la présence de vaisseaux ligneux plus larges dirigés vers l'intérieur de l'axe. Les éléments du xylème centrifuge sont normalement spiralés ou scalariformes, tandis que les éléments du bois centripète sont ponctués : nous ne pouvons mettre en évidence ces constatations par l'examen de nos lames, puisque nous n'avons pas de coupes longitudinales, de même nous n'observons pas parfaitement la présence dans ce bois de trachéides dans les parois ligneuses.

Lorsque cette Fougère à ovules s'épaissit, les espaces entre les faisceaux de xylème primaire sont d'abord reliés par l'activité d'un cambium interfasciculaire, si bien que le bois secondaire forme pratiquement une zone continue, interrompue seulement par la sortie de traces foliaires (PL. II, fig.l). Cette zone ligneuse présente une structure lâche dûe à la présence de nombreux rayons médullaires, souvent mal conservés. Au fur et à mesure de la croissance, de nouveaux rayons viennent s'ajouter entre les anciens et contribuent ainsi à la croissance en épaisseur de cette plante. Le cambium, mal conservé sur les lames examinées, semble même avoir disparu et n'apparaît qu'en certains endroits très réduits.

Le liber entoure complètement le bois et, en face des sorties de pétioles, on observe des amas libériens ; ce tissu est peu visible sur l'échantillon examiné. Le phloème secondaire ajouté par le combium se distingue normalement par une sériation radiale de ses éléments. Il est séparé en groupes étroits par les rayons médullaires secondaires ayant pris naissance au niveau du bois secondaire et se poursuivant jusqu'à l'extrémité du liber de seconde formation. Ce dernier est d'abord formé d'éléments assez régulièrement disposés en files près de l'assise génératrice, puis au fur et à mesure qu'il s'en éloigne, il est constitué d'éléments plus grands et

- 23 -

et plus petits dans les couches tangentielles. Le phloème primaire, opposé à chaque groupe de bois primaire, est constitué de cellules petites, irrégulières, formant un ilôt libérien minuscule en arrière du faisceau. Le phloème de nos coupes, très étiré, a presque entièrement disparu également au cours de la fossilisation,

- <u>Le péricycle</u> (PL. II, fig. 1, 3, 5 ° pd) à l'extérieur du phloème, est une zone de petites cellules régulières parmi lesquelles sont encastrés de nombreux nids scléreux comme ceux de la moelle. Dans les couches externes du péricycle apparaît un phellogène qui forme sur son côté externe un périderme interne, bien visible et représenté en section transversale par des files régulières de cellules rectangulaires très nettes. Au-delà du périderme commence l'écorce.
- <u>L'écorce</u> interne, constituée d'un tissu à grandes cellules, est habituellement la partie la plus mal conservée de la tige. L'écorce externe présente possède une forte charpente mécanique et était sans aucun doute de beaucoup plus grande importance comme soutien de la plante que le bois qui est assez lâchement édifié (PL. B, fig.] et PL.II, fig. 1, 5). Les bandes fibreuses foncées de sclérenchyme sont unies dans la direction tangentielle en un réseau régulier dont les mailles sont remplies d'un tissu cellulaire.

Les traces foliaires (PL. II, fig.l, PL. B, fig. 1) : après l'étude de la tige, il serait intéressant d'examiner le trajet des départs foliaires, les changements de structure qu'ils présentent durant leur passage vers l'extérieur, mais ceci n'est guère visible avec les quelques lames que nous analysons. Nous pouvons cependant décrire l'arrangement des faisceaux foliaires et l'allure qu'ils présentent dans une section transversale de tige. C'est une règle généralement admise que dans les grandes tiges de <u>Lyginopteris</u>, il existe cinq traces foliaires, bien visibles, d'édoublées le plus souvent et situées à l'extérieur de la couronne de bois secondaire de la stèle et ceci se retrouve dans n'importe quelle section transversale de tige. Les cinq doubles faisceaux foliaires peuvent encore se trouver à l'intérieur des limites du péricycle, le plus externe lui faisant peutêtre une proéminence superficielle, détruisant la symétrie radiaire de la stèle.

Les cinq faisceaux foliaires de la tige, issus des faisceaux caulinaires primitifs, sont plus ou moins différenciés et représentent cinq stades successifs de développement, Examinons la section transversale de tige de Lyginopteris oldhamia représentée sur la lame numérotée 2.036<sup>II</sup>.-6 (PL.II, fig. 1). Nous observons un faisceau foliaire simple 1, présentant encore du bois secondaire et situé à l'intérieur de l'anneau ligneux ; puis ces faisceaux se dédoublent et s'accroissent progressivement, en même temps que le xylème de seconde formation disparaît totalement au fur et à mesure qu'ils se rapprochent de la périphérie de la tige. Comme les faisceaux foliaires 2, 3, 4 sont encore situés à l'intérieur du péricycle tandis que la double vascularisation foliaire 6 est en train de traverser l'écorce, avant d'atteindre la base de la feuille, il s'ensuit logiquement que le faisceau foliaire qui se détache d'un massif ligneux de la stèle s'en éloigne d'abord progressivement sous un angle petit, puis finalement sort de la tige en se courbant brusquement pour passer à travers l'écorce. D'après la position et le degré de différenciation des

- 25 -

faisceaux foliaires rencontrés dans cette section transversale de tige, nous pouvons déterminer la spirale suivant laquelle s'insèrent les feuilles et reconnaître ainsi la phyllotaxie qui est ici de 2/5 (le sens de cette spirale étant représenté par la flèche). Nous pouvons également déduire de quel faisceau caulinaire est issue une trace foliaire, sachant que la vascularisation foliaire la plus différenciée provient du faisceau caulinaire le plus différencié également, c'est-à-dire de celui qui donnera, le premier, une nouvelle sortie foliaire ; nous voyons ainsi, d'après la section observée que le départ foliaire l provient du faisceau central I, que 2 dérive de II et ainsi de suite....

Si nous examinons la structure d'une trace foliaire (PL.II, fig.3 et PL.III, fig. 1), nous constatons qu'elle est identique à la structure primaire d'un faisceau caulinaire : le protoxylème bien visible est entouré latéralement et vers le centre de la tige par du bois primaire centripète, extérieurement il est coiffé de bois primaire centrifuge et entouré de liber. Les éléments du xylème centrifuge sont également spiralés ou scalariformes alors que les éléments du xylème centripète sont ponctués. L'observation des traces foliaires de la tige nous amène normalement à

l'étude de la feuille de cette Ptéridospermée.

### 2 - La Feuille

Comme Zéiller (1) nous l'a défini, le feuillage de <u>Lyginop-</u> téris oldhamia est connu sous le nom de <u>Sphenopteris Hoeninghausi</u>. La feuille de Lyginopteris a l'aspect typique d'une fronde de Fougère, évidenment

(1) Zeiller : Bassin houiller de Valenciennes, p. 84,

très décomposée, Le rachis principal ou pétiole principal de la fronde était bifurqué, comme l'a démontré Potonié (1), et donnait naissance à deux rachis primaires portant des rachis secondaires alternes, tandis que le pétiole principal portait des rachis secondaires opposés (PL.B, fig. 2). L'évidence de la bifurcation est aussi montrée, sur les spécimens pétrifiés, en section transverse par la présence de deux faisceaux vasculaires destinés à pénétrer dans les deux limbes du rachis bifurqué. Si nous regardons les faits les plus strictement anatomiques, nous trouvons tout à fait à la base du pétiole principal (PL. B, fig.2), les deux faisceaux trace foliaire visibles ovalaires do 1a dans 18 tige, qui se rapprochent pour se souder. Le faisceau foliaire prend alors la forme d'un V puis il se divise et prend la forme d'un W qui est sans doute une préparation en vue de la ramification du faisceau dans les rachis primaires, pù la forme V du faisceau est maintenue. Les pinnules ultimes portaient sur leur tige deux séries alternes de folioles petites, légèrement conchoïdales, convexes au-dessus et concaves en dessous. Etant doncéssa ramification et sa taille, la feuille est généralement rencontrée à l'état fragmentaire et dans les lames du coal-ball à examiner, nous pouvons observer divers stades de ramification de la feuille depuis le petiole principal aux ultimes folioles.

### a) Le pétiole principal (PL.III, fig.4)

Il n'est présent que dans deux ou trois lames et toujours en section transversale, mais il offre une structure anatomique à peu près complète. Il a la forme d'un demi-ovale dont le petit diamètre est profondé-

<sup>(1)</sup>Potonié : "Uber einige Carbonfarne", Jahrbuch d.K. Preuss. Geol. Landesanstalt, Berlin 1890, p.16.
ment échancré, ce qui lui donne très grossièrement d'ailleurs une allure générale de coeur entourant un double faisceau libéro-ligneux. central, bien visible et caractéristique de la base du pétiole.

<u>L'écorce</u> de ce pétiole est bien délimitée grâce à un halo périphérique de solérenchyme, unissant une suite d'amas superficiels de cellules à parci épaissie, le tout étant enveloppé dans un épiderme plus ou moins bien préservé.

A cet ensemble lignifié, fait suite un tissu à cellules beaucoup plus grandes, hexagonales, cellules à paroi non épaissie, qui pénètrent dans les intervalles laissés entre les amas sclérenchymateux. Ce tissu représentait un parenchyme lâche, apparemment chlorophyllien, qui emboitait étroitement le double faisceau central et qui jouait un rôle dans l'assimilation.

Le faisceau libéro-ligneux est constitué de deux cordons vasculaires accolés vers la partie inférieure du pétiole. Ils présentent la même structure que les faisceaux vasculaires foliaires rencontrés dans la tige. Le bois primaire est bien représenté et constitue la presque totalité des cordons vasculaires centraux dont la structure est toujours concentrique (PL. B, fig.3). Le protoxylème est encastré dans le bois vers le côté convexe du pétiole, qui correspond naturellement au côté externe du faisceau foliaire de la tige. Les trachéides sont, pour la plupart, spirales ou scalariformes, mais quelques éléments ponctués sont présents dans la portion centripète du xylème (PL. III, fig. 3). Le phloème entoure le bois ; il est peu net ici.

- 28 -

b) Les rachis

Ils présentent la même structure anatomique que le pétiole principal. Le faisceau vasculaire central est ici en forme de V et garde sa structure plus ou moins concentrique.

# c) Dans la foliole,

le faisceau finalement perd sa structure concentrique et devient collatéral : le xylème est très développé tandis que le phloème est limité à la partie inférieure. Ces folioles étaient particulièrement épaisses avec leurs lobes incurvés. Sous l'épiderme supérieur, se trouvaient une couche hypodermique de cellules à paroi plus épaisse, puis un tissu palissadique bien marqué avec des cellules allongées verticalement. Vers la région inférieure, ces cellules sont plus petites et serrées moins étroitement, forment le parenchyme spongieux. Dans les sections de notre échantillon, nous observons de nombreuses folioles plus ou moins bien conservées, mais ne présentant aucun système vasculaire entier.

#### II - STAUROPTERIS OLDHAMIA

Les lames examinées présentent une série abondante et variée de coupes transversales des différentes ramifications de <u>Stauropteris</u> <u>oldhamia</u>, Filicales primitives, dont les frondes sont entièrement à l'état d'axes ou de phyllophores. C'étaient probablement des plantes humicoles, ayant vécu au Westphalien.

# 1 - Morphologie de cette Fougère fossile

La tige est inconnue. Ses rhizomes sont connus sous le nom de "<u>Rachiopteris dubia</u>" et ont été étudiés par Mlle Leclercq et P. Bertrand. Les frondes qui s'en détachent sont caractérisées par l'absence totale de parties foliacées, composées exclusivement d'axes disposés en plusieurs plans, ce qui donne à la fronde un aspect buissonnant. <u>Stauropteris oldhamia</u> possède des frondes catadromes comme la plupart des Fougères anciennes, composées d'un rachis allongé et ramifié un grand nombre de fois (les ramifications de second ordre sont insérées sur le rameau primaire du côté opposé à l'axe principal et non du côté tourné vers l'axe).

Chaque rachis d'un ordre donné porte quatre files de rachis d'un ordre supérieur émis par paires alternativement à droite et à gauche. (PL. C, fig.l). Les deux rameaux d'une même paire sont coalescents et représent nt par rapport à l'axe envisagé, selon P. Bertrand, des rameaux de deuxième ordre. Il n'y a jamais de limbe foliaire.

Par comparaison avec les Fougères actuelles, l'axe principal de ce système de ramifications, étant inséré sur le rhizome correspond à deux pennes richement découpées, les cordons vasculaires des axes représentant les nervures des pinnules dépourvues de limbe. Chez les Fougères actuelles, il n'y a plus que deux files de pennes en position distique, disposées dans un seul plan, alors que chez les <u>Stauropteris</u>, il en existe quatre, elles-mêmes composées et disposées suivant quatre plans, d'où l'aspect buissonnant de la fronde.

- 30 -

Les rachis très ramifiés portent sur leurs branches ultimes des sporanges terminaux, sphériques, solitaires, d'assez grande taille. Ces sporanges ont été découverts et décrits par Scott ; leur point d'attache est petit, ce qui permet de croire que ces sporanges se détachaient facilement. La dissémination des spores arrondies se faisait par une ouverture apicale.

# 2 - Anatomie de Stauropteris oldhamia

L<sup>‡</sup>anatomie est dans ses traits fondamentaux la même dans tous les rameaux. Les sections pétrifiées de Stauropteris, dans le coalball donné, représentent des rachis de fronde, d<sup>2</sup> ordre plus ou moins élevé.

#### a) Structure générale d'un gros rameau (PL, IV, fig.1)

Il y a une masse libéro-ligneuse centrale et, autour du faisceau vasculaire, une couronne de tissus sclérifiés précédant un parenchyme aérifère et enfin l'épiderme.

<u>La stèle</u> présente dans les gros rameaux la masse libéro-ligneuse décomposée en quatre faisceaux ligneux séparés ; elle est entière dans les rameaux supérieurs.

Dans le rachis principal, le xylème a une section caractéristique en croix, tandis que la stèle toute entière est approximativement carrée (PL. C, fig.3). Le phloème plus ou moins bien préservé remplit les travées entre les bras de xylème et souvent s'étend jusqu'au centre comme pour interrompre la continuité du bois. Ce liber entoure normalement le bois : il est bien développé dans les sinus ligneux, mais il est écrasé

- 3I -

#### PLANCHE C

# STAUROPTERIS OLDHAMIA

- <u>Figure 1</u> : Diagramme de la fronde d'après ZIMMERMANN ; les ramifications sont toujours insérées par paires.
- Figure 2 : Ramification d'une penne secondaire (interprétation de la figure 5, planche IV).
  - R<sub>II</sub> : faisceau vasculaire de rachis secondaire en train de se diviser,
  - $R_{TTT}$ : faisceau vasculaire d'un rachis tertiaire émis.
  - px : protoxylème.
  - i ; écorce interne s'individualisant autour de chaque faisceau vasculaire.
  - e : écorce externe commune.
- Figure 3 : Diagramme de la ramification d'un rachis primaire (Structure anatomique et sorties de rameaux).
  - a : grosse tige préparant une sortie.
  - b-d ; sortie d'une paire de pennes primaires avec aphlébies.
  - e-e<sup>2</sup>: ramification de 2e ordre.
  - frog ; ramification de 30-4e ordre.
- Figure 4 : Section de faisceau vasculaire de rachis principal, montrant le xylème en croix avec le protoxylème près des 4 angles.
  - i : écorce interne sclérifiée.
  - px : protoxylème.
  - x : métaxylème.
  - ph : phloème. Des groupes de larges tubes libériens sont vus, dans les sinus ligneux et des petites cellules libériennes se trouvent entre le bois et l'écorce et dans le milieu.

# PL.C



STAUROPTERIS OLDHAMIA

en face des pôles et disparaît en partie. Chaque wassif est commandé par un pôle ligneux fondamental mésarche ; on y distingue facilement le pointement de protoxylème situé vers l'extérieur, assez réduit, et le métaxylème interne à cellules beaucoup plus grandes, occupant presque la totalité de la stèle, L'exemple figuré planche C est ainsi tétrarche. Mais le plus souvent, à chaque angle de la croix ligneuse, on n'observe non plus une unique proéminence de protoxylème comme dans l'exemple précédent. mais la présence de deux pointements ligneux bien visibles (PL.IV, fig.2) : cette disposition des pôles ligneux étant en relation avec les traces sortantes qui caractérisent ces Fougères. Dans ce cas, le protoxylème tend à se retourner légèrement contre la surface du bois (représentée par le métaxylème) et présente alors une structure qui n'est pas strictement exarche, comme l'avait observé P. Bertrand. Le protoxylème serait constitué normalement par des trachéides spirales (PL. V, fig.6), caractérisant les Fougères, mais que nous ne pouvons mettre en évidence sur les structures observées et les vaisseaux du métaxylème seraient scalariformes. Le phloème, assez mal conservé dans les échantillons examinés est normalement constitué de larges tubes criblés ; des plaques criblées ont été parfois aperçues sur leurs parois latérales. Ces groupes de vaisseaux libériens permettant la montée de la sève sont reconnus dans les sinus ligneux tandis que le phloème à petites cellules est situé entre le bois et l'écorce, et tout à fait au centre de la stèle. Le liber présente la structure typique du liber de Fougère (PL.C, fig.4).

La figure 2 de la planche IV, représentant une coupe transversale de faisceau vasculaire de rachis principal, nous montre la disposition caractéristique en croix du xylème, dont les pôles ligneux sont déjà dédoublés. Le phloème plus fragile a disparu presque complètement sauf dans les deux sinus ligneux situés en haut et en bas, où l'on distingue à peu près de grands vaisseaux libériens à section irrégulière.

<u>L'écorce</u> : autour du cylindre central, il y a une couronne bien nette de tissus sclérifiés (FL. IV, fig.1) dont les cellules hexagonales assez régulières sont disposées habituellement sur deux ou trois rangs ; puis vient un tissu lâche assez étendu, dont les cellules plus arrondies et à paroi mince rappellent le tissu palissadique. Ce parenchyme avait probablement la fonction d'assimilation et représente, par conséquent, le tissu chlorophyllien de cette Fougère. Finalement, l'épiderme avec des stomates peu nombreux entoure l'ensemble.

Nous remarquons que cette structure ne présente pas de moelle et que les tissus sclérifiés qui servent de soutien sont situés, ici, dans l'écorce interne.

# b) Etude des sorties de rameaux (PL. C, fig.3) ·

Nous avons indiqué en étudiant la morphologie de cette Fougère, que les ramifications sortaient par paires et que les paires successives jaillissaient de deux côtés opposés du rachis d'ordre inférieur. Nous retrouvons ces résultats d'après l'étude anatomique des sorties de rameaux en examinant les sections transversales de ces plantes. Les faisceaux de l'axe principal présentent une forme particulière en raison de l'existence d'une excroissance ligneuse, bien apparente au moment de l'émission des rachis.

Les sorties de rameaux s'effectuent alternativement de chaque côté des faisceaux impliqués. Elles débutent par le dédoublement des pôles ligneux et l'union de deux pièces du quadruple (PL. IV, fig.2, partie droite du faisceau ligneux). Le pôle ligneux initial se dédouble une seconde fois et chaque extrémité de la masse ligneuse unique présente deux excroissances commandées par les protoxylèmes ainsi individualisés à partir du pôle ligneux de la grosse tige présentant une sortie. A ce stade, une portion ligneuse infime, ne comportant pas de protoxylème, se sépare de la masse vasculaire unique et ainsi s'individualise une aphlébie qui protège une frende en vernation.

Les pôles ligneux, ainsi formés à chaque extrémité du cordon vasculaire unique, se dédoublent de nouveau tandis que l'excroissance ligneuse qui les menferme se détache du cordon ligneux unique des deux sorties, et ainsi s'effectue l'individualisation de la première paire de pennes : les quatre petits pointements de protoxylème occupent les quatre coins de la masse ligneuse unique libérée à chaque extrémité et qui précente une forme plus ou moins quadrangulaire.

Les aphlébies se détachent avant la disjonction du cordon unique des deux sorties, d'où le nom de "sorties hâtives" qui leur a été donné.

Le gros remeau qui vient de donner la sortie d'une paire de pennes d'un côté, prépare la sortie d'une paire de pennes primaires de l'autre côté. Les rachis primaires ainsi émis ont un cylindre central plus petit que celui du rachis principal dont ils dérivent et sont caractérisés par la présence d'une seule masse ligneuse disposée en croix transversalement et dont les extrémités sont occupées par du protoxylème. Ces rachis émettent,à leur tour et de la même façon, des pièces de l'ordre suivant ne comportant plus que trois pôles ligneux et dont la section est triang.laire (PL, IV, fig.5 et PL. C, fig.2), ce qui conduit à une réduc-

- 34 -

tion progressive de l'appareil vasculaire. Finalement, dans les ramifications ultimes, il n'y a plus qu'une petite protostèle triangulaire à pôle central (PL. V, fig.4). Les planches IV et V présentent ainsi divers stades de ramification de Stauropteris oldhamia.

La grande particularité des <u>Stauropteris</u> est que les faisceaux du rachis primaire répète la structure du faisceau principal. La structure quadruple de l'axe peut également être répétée dans le rachis tertiaire où le faisceau peut ici prendre une structure triangulaire. Cette structure triarche apparaît, dans quelques cas, dans les rachis quaternaires, finalement les ramifications terminales de rachis nu ont une structure vasculaire relativement simple. Ces ramifications diverses expliquent bien la complexité de la fronde de cette Fougère.

#### III - STIGMARIA FICOIDES ET SES APPENDICES

C'est Brongniart qui a donné le nom de <u>Stigmaria ficoides</u> aux organes souterrains des Lépidodendracées et des Sigillariacées.

### 1 -- Constitution et caractères externes

Ce sont des organes très étalés, puissants, pouvant recouvrir une étendue circulaire de plus de 25 m. de diamètre ; ces organes représentent un ensemble de rhizomes longs, plus ou moins cylindriques ou s'effilant lentement, mais rigoureusement dichotomes, qui portent des "appendices" correspondant à ce que nous appelons ordinairement des racines ou des radicelles. Ces appendices étaient disposés normalement le long d'une spirale. Le tout fixait les arbres au sol. L'axe principal de ces Lépidophytales fossiles arborescentes, peu après leur pénétration dans le sol, se divisait une première fois et, presque aussitôt, une deuxième puis une troisième fois ; aussi, à courte distance lu tronc, observe-t-on autour de celui--ci une couronne de quatre à huit rhizomes portant des racines (PL. D, fig.1), qui "étaient presque toujours simples, rarement dichotomes" (1). Ces racines laissaient à la surface de l'axe principal des <u>Stigmaria</u>, après leur chute, des cicatrices circulaires caractéristiques, déprimées au centre et disposées en quinconce (PL. D, fig.2).

Les <u>Stigmaria</u> se rencontrent généralement dans les murs des veines de houille. Aussi leur présence inhabituelle à côté de tiges et de feuilles de Filicales, de Ptéridospermées, et de Cordaïtes s'explique parce qu'ils constituent non pas les éléments primaires du coal-ball comme les organes décrits précédemment, mais des éléments de deuxième formation ; et cette coexistence, dans le coal-ball donné, d'organes végétaux aériens et d'organes végétaux souterrains remplissant les creux laissés par les premiers ou s'intriquant même dans les éléments primaires suggère quelques réflexions quant à la formation du coal-ball considéré, que nous examinerons en conclusion de cette étude.

# 2 - Structure anatomique

a) <u>L'axe principal de Stigmaria ficoides</u> non trouvé dans les lames étudiées a été bien décrit par Scott (2). Il est constitué d'un cylindre vasculaire bien développé, entouré par l'écorce et le périderme. Le centre

(1) (2) Scott : "Studies in Fossil Botany", tome I.

- 35 -

PLANCHE D

# STIGMARIA FICOIDES

Figure 1 : Stigmaria ficoides d'après POTONIE (pris dans EMBERGER).

# Figure 2 : Appendices de Stigmaria et cicatrices radicellaires d'après SCHIMPER.

Figure 3 : Départ d'une radicelle, en coupe transversale.

- tr : trachéides de l'axe principal de <u>STIGMARIA</u> passant dans la radicelle.
- pd : périderme de l'axe principal.
- e.st. : écorce externe de l'axe principal avec l'hypoderme hyp.
- x : xylème de la radicelle.
- i : écorce interne de la radicelle.
- e : écorce externe et hypoderme de la radicelle.

PL.D



STIGMARIA FICOIDES

de la stèle était occupée par une moelle rarement trouvée conservée, excepté dans la partie la plus externe après le bois (la moelle peut d'ailleurs avoir été fistulaire au cours de la vie de la plante).

Le bois forme une zone large, divisée en feisceaux par les rayons médullaires principaux. A travers l'épaisseur presque toute entière de la zone du bois, un alignement régulier des cellules prédomine et aucune distinction nette n'apparait entre le xylème primaire et le xylème secondaire. De même chez <u>Stigmaria ficoïdes</u>, on dénote l'absence de bois centripète : or le bois centripète est un des principaux caractères structurals de Lycopodes récentes ou fossiles.

En dehors du bois, quelques vestiges cambiaux peuvent être préservés, faisant passer à un tissu délicat : le phloème. Puis, vient une zone imparfaitement conservée, qui est l'écorce moyenne, entourée par l'écorce externe faite d'un parenchyme à grandes cellules présentant à la périphérie une zone hypodermique de cellules beaucoup plus petites qui se détache du reste de l'écorce grâce à une étroite bande de tissu foncé, probablement scléreux.

b) <u>Les appendices de Stigmaria ficoides</u> : ils sont dénommés "radicelles" suivant la terminologie de Williamson et abondent dans le coal-ball que nous étudions. Ces radicelles sont généralement coupées longitudinalement et semblent être constituées d'un parenchyme régulier à grandes cellules allongées, rappelant l'écorce externe de l'axe principal.

Les départs de radicelles de l'axe principal du <u>Stigmaria</u> sont fréquemment rencontrés, coupés sagittalement, dans les lames que nous observons. La lame numérotée 2.036<sup>I</sup>-1 nous donne, comme nous l'avons déjà dit précédemment, un magnifique exemple de leur structure et de leur disposition en quinconce à la surface du Stignaria (PL.I, fig.2, région supérieure). Ces radicelles semblent se disperser à partir d'amas plus foncés représentant probablement des groupes de cellules à paroi assez fortement sclérifiée : ces amas délimitent une lacune centrale en forme de coeur. d'où partent des radicelles et ils rappellent les cicatrices radicellaires laissées sur l'axe du Stigmaria (PL. VI, fig. 4). La lacune correspond à la surface déprimée de la cicatrice, la zone foncée en forme de monticule représente le cercle interne de la cicatrice et concerne probablement le passage, dans la radicelle, du faisceau vasculaire issu du faisceau de l'axe principal du Stigmaria (PL. D, fig.3). La zone hypodermique et une partie de l'écorce externe correspondent au bord circulaire externe et élevé de la cicatrice radicellaire et constituent par suite, chez la radicelle, la région externe. Nous retrouvons donc dans la radicelle, les trois zones corticales de l'axe principal du Stigmaria et un prolongement vasculaire de ce même axe.

Les racines de <u>Stigmaria</u> sont des structures communes dans les coal-balls. Bien que ces radicelles présentaient des dimensions variables, leur structure sur leur totalité était uniforme ; d'autre part, elles étaient rarement dichotomes, cependant la lame numérotée 2.036<sup>II</sup>-6 présente une admirable section transversale de radicelle qui sè dédouble et que nous ne retrouvons d'ailleurs dans aucune autre lame (PL. VI, fig. 1). Cette section transversale nous permet de déterminer les différentes parties de la radicelle de <u>Stigmaria</u> que nous avons énumérées précédemment. - <u>L'écorce externe</u>, généralement bien conservée est très nette ici : elle présente huit à dix rangées concentriques de cellules parenchymateuses hexagonales plus ou moins aplaties et à paroi mince. Les cellules les plus internes de cette écorce externe semblent être plus petites, comprimées et avoir leurs parois plus épaissies que les cellules superficielles externes, ce qui différencie l'écorce externe en deux régions bien visibles : une zone externe et une zone interne dont nous ne connaissons pas la signification ; la zone interne interviendrait peut-être dans la rigidité de la radiaelle.

Cette écorce externe entoure un large espace vide qui correspond à l'écorce moyenne dont les tissus trop fragiles ont disparu au cours de la pétrification.

- L'écorce interne : dans cette lacune médiane se détache un anneau de parenchyme entourant un faisceau central très net (PL.A, fig.3). Cet anneau représente l'écorce interne qui est, sur l'exemple étudié, mal conservée et accolée en un point à l'écorce externe. Normalement, l'écorce interne est concentrique et intérieure à l'écorce externe dont elle est séparée par l'écorce moyenne qui résiste très peu au temps et le plus souvent l'anneau cortical interne n'est plus melié à l'anneau cortical externe que par un fin trabécule parenchymateux, vestige de l'écorce moyenne. Sur l'exemple observé (PL. VI, fig. 1), l'écorce intermédiaire a disparu complètement, l'anneau interne est venu s'accoler à l'écorce externe puis a disparu au cours de la pétrification, ce qui explique la présence d'un simple halo blanc et d'une seconde lacune à l'emplacement de l'écorce interne. Le faisceau central plus résistant a été préservé. Cette écorce interne forme normalement un anneau clair de très petite taille comparativement à l'écorce externe (voir sa reconstitution :PL.A, fig.3) ; elle est constituée de quelques rangées d'un parenchyme très délicat qui entoure la vascularisation de la radicelle.

- 39 -

- Le faisceau qui occupe une position centrale dans la structure toute entière, est excentrique ici (PL. VI, fig. 2 et 3) et présente uniquement des vaisseaux ligneux ; les vaisseaux libériens ayant disparu au cours du dépôt végétal. Le xylème bien représenté est constitué d'un petit faisceau de trachéides dont la section transversale est sensiblement triangulaire. Un angle est plus proéminent que les autres : il est caractérisé par la présence de vaisseaux plus étroits, les vaisseaux les entourant et constituant les deux autres coins du triangle sont plus larges et leurs parois sont épaissies. Des coupes longitudinales prouveraient que les éléments plus petits sont épaissis en spirale tandis que les éléments restant du xylème sont scalariformes : ces observations ont été indiquées par Weiss (1).

Cette structure prouve clairement que la radicelle possédait un unique groupe de protoxylème suivi de métaxylème centrifuge, ce qui revient à dire que la radicelle de Stigmaria présente un faisceau vasculaire monarche.

(1) Weiss : "The vascular Branches of Stigmarian Rootlets".

- 40 -

# CONCLUSIONS GENERALES

Des observations précédentes, il est possible de déduire une explication plausible de la formation du coal-ball dont nous avons examiné les différentes structures. Pour cela, il faut se représenter auparavant l'aire dans laquelle se déposaient les végétaux que nous retrouvons actuellement pétrifiés et suivre les séries d'évènements qui ont abouti à la formation du coal-ball,

A l'origine, des bosquets avec de grands arbres entourés de plantes herbacées plus petites, de fougères bien développées, où dominaient les <u>Stauropteris</u> et les <u>Lyginopteris</u> arborescentes se trouvaient sur place et poussaient dans un pays plat marécageux, pas loin de la mer. Cette forêt marécageuse entourait plus ou moins une vaste étendue d'eau libre et peu profonde dans laquelle tombaient ou étaient entraînées des brindilles, des branches, des feuilles, des graines, lesquelles appartenaient à ces plantes, situées sur le bord de ce marécage où elles formaient une forêt périphérique, probablement assez dense. Ces fragments s'enfonçaient dans l'eau en bordure de la lagune et gagnaient le fond où

- 4I -

ils se sédimentaient. Ainsi des débris végétaux s'accumulaient, se disposaient en lits et se tassaient plus ou moins. Cette lagune était alimentée par les fleuves et les rivières, traversant les régions avoisinantes, dont les eaux étaient filtrées au passage à travers la forêt houillère qui retenait leux apports minéraux, ce qui expliquerait la présence d'eau limpide permettant l'installation d'une tourbière marécageuse.

Le fond de cette lagune a dû ensuite s'affaisser sous le poids des végétaux entassés et ce phénomène de subsidence a entraîné un déséquilibre certain entre les fleuves et les rivières, qui se déversaient auparavant dans la tourbière, et la lagune. La forêt bordant la lagune, de ce fait, s'est trouvée immergée et les apports minéraux des fleuves et rivières qui n'étaient plus retenus tombèrent brusquement dans la lagune qu'ils comblèrent au bout d'un certain temps. Il se forma ainsi une couche minérale au-dessus de la tourbière primitive. Sur ce terrain reconquis, prit naissance ensuite une forêt d'arbres géants d'une trentaine de mètres, dont les organes souterrains horizontaux prirent appui dans cette couche minérale, suffisante pour assurer leur nutrition, qu'ils traversèrent parfois et atteignirent ainsi la région supérieure de la tourbière, s'intriquant dans les végétaux primitifs entassés en lits. Il faut ensuite supposer que la mer, proche de cette ancienne lagune marécageuse, est arrivée brusquement : elle éroda la forêt nouvelle et enleva la couche minérale, mettant à nu l'ancienne tourbière où étaient accumulés les débris végétaux et où pénétraient parfois des radicelles de la seconde forêt. Cette mer, qui contenait des sels minéraux en grande quantité et particulièrement des sels de calcium et de magnésium, recouvrit les débris tourbeux tassés les uns sur les autres, mais non écrasés. Ces sels de magnésie et de chaux étaient

- 42 -

d'abord uniformément répandus dans toute la masse de l'eau de mer qui baignait les débris végétaux. Puis, en différents points des variations de tension se produisirent, sous l'action de facteurs encore inconnus, ce qui a provoqué en ces points la précipitation, dans le fond de cette mer, de dolomite qui a imprégné les végétaux accumulés et tassés là. Peu à peu, cette dolomite a occupé les vides cellulaires des végétaux et a ainsi pétrifié ces plantes en les durcissant. Corrélativement, les débris végétaux situés à côté de ces amas minéralisés se sont tassés de plus en plus et transformés progressivement en houille tandis que les plantes pétrifiées étaient préservées. Ainsi, pourrait s'expliquer la formation de ce coal-ball enfoui dans une veine de charbon.

Tout esprit curieux ne peut être qu'attiré par l'étude des coal-balls, car il est intéressant de rechercher une théorie de formation de ces concrétions calcareuses à l'intérieur des gisements houillers.

Si nous arrivons à trouver une théorie valable de la formation de ces coal-balls, cela ne fera qu'ajouter un complément de précision aux théories de la formation de la houille en général.

Si, au contraire, l'origine de ces nodules reste toujours inconnue, les coal-balls nous permettent cependant de retrouver des structures de l'époque houillère admirablement bien conservées et, par suite, d'en faire une étude précise.

Un autre intérêt des coal-balls est encore à signaler : ils nous permettent de comparer aux plantes fossiles conservées dans les murs et les toits des couches de houille, les plantes fossiles des couches mêmes de charbon.

- 43 -

\* \* \* \* \*

# LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

ARNOLD A.	194 <b>I</b>
	The petrifaction of wood, the Mineralogist magazine, Sept. 1941;
	1947 An introduction to palaeobotany, New-York.
BERTRAND P.	
	1926 Conférences de Paléobotanique.
673	Mai 1933 Article sur "Zygopteridées - Stauroptéridées et Cladoxylales".
BI NNEY E.W.	
£79	1840 "Remarks on the Marine Shells found in the Lancashire Coal- Fields", Trans. Manchester Geol. Soc., vol. I.
BRONGNIART A.	
	1828-1838 Histoire des Végétaux Fossiles ou Recherches Botaniques et Géo- logiques.
CHAPMAN	
-	1906 On concretionary nodules with plant remains, <u>Geol. Mag.</u>
CORSIN P.	
	1956-1957 Notes de cours de Paléobotanique.
CROOKALL	
	1929 Coal Measures Plants, London.

- 44 --

#### EMBERGER

**-** I944

Les Plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants.

#### HIRMER

-I927

Handbuch de Paläobotanik, Munich und Berlin.

HOOKER et BINNEY - 1855 "On the structure of certain limestone nodules enclosed in seams...", Phil. Trans. Roy. Soc. London.

#### LOMAX

- 1902 "On the occurence of the Nodular concretions in the Lower Coal Measures", <u>Brit, Assoc. for Advanc. of Science</u>, section K.

#### MAGDEFRAU

- 1955 Paläobilogie der Pflanzen, Iéna.

#### MORET L.

- 1943 Manuel de Paléontologie végétale.

#### POTONIE H.

#### ↔ 1905

Abbildungen und Beschreibunge fossiler Pflanzen Reste der palaespischen und mesozoischen Formationen.

#### RENAULT B.

#### - 1879

"Structure comparée de quelques tiges de la flore carbonifère". Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat.

#### SCOTT

- 1923 Studies in Fossil Botany (3e édition).

#### STOPES M.

- 1906

"On the coal balls found in coal seams", Brit. Assoc. for Advane. of Science, section K.

#### WALTON

- 1953 An introduction to the study of fossil plants. London.

# WATSON et STOPES

- 1909

"On the present distribution and origin of the calcareous concretions in coal seams, known as coal-balls", <u>Fhil. Trans.</u> Roy. Soc., London, série B, vol. 200.

## WEISS

••• I906

"On the occurence, distribution and mode of formation of the calcareous nodules...", Brit. Assoc. for Advanc. of Science, section K.

## WILLIAMSON

On the organization of the Fossil plants of the Coal Measures.

# ZEILLER R.

- 1900 Eléments de Paléobotanique.



CLASSIFICATION DES CRYPTOGAMES VASCULAIRES

mentionnées dans le texte

Les Cryptogames Vasculaires se divisent en 4 embranchements :

# I - PSILOPHYTES

II - LEPIDOPHYTES

Divisées en 4 classes.

1- Lycopodiales

"Lepidodendracées

.Bothrodendracées

cUlodendracées

.Sigillaniacées

.Lycopodiacées

.Selaginellacées

2- Lepidospermales

3- Isoétales

4- Psilotales

III - ARTHROPHYTES

IV - PTERIDOPHYTES ou FILICALES

1- Renaultifilicales

.Iridoptéridales

.Cladoxylales

"Zygopteridales Zygopteridacées Asteropteridacées

.In versicatenales

2- Filicales

# CLASSIFICATION DES PREPHANEROG/MES

I - PTERIDOSPERMOPHYTES

= Fougères à graine.

.Lyginoptéridales

.Calamophytales

.Medullosales

.Pteridospermales

Caytoniales

II - CYCADOPHYTES

III - PRECONIFEROPHYTES

1 - Cordaitales

2 - Ginkgoales

#### PLANCHE I

#### COUPES TRANSVERSALES DE COAL-BALLS

Figure 1 : Vue d'ensemble d'une la me mince entière appartenant au coalball étudié (la me nº 2.036<sup>I</sup>-1) montrant les éléments primaires lités et des éléments secondaires allongés enrobant les précédents.

 $G = 5_{\circ}$ 

Figure 2 : Vue d'ensemble d'une partie de la lame 2.036<sup>1</sup>.4.

La région supérieure présente un très bel exemple de départs radicellaires de STIGMARIA FICOIDES, élément de seconde formation venant s<sup>®</sup>intriquer dans les éléments primaires, représentés surtout par des phyllophores de STAUROPTERIS OLDHAMIA.



COUPES TRANSVERSALES DE COAL-BALL

#### PLANCHE II

## LYGINOPTERIS OLDHAMIA

#### - Section transversale de tige -

Figure 1 : Section transversale de tige de Lyginopteris oldhamia.

- I, II, III, IV, V: 5 faisceaux caulinaires ligneux, entourés par un anneau de bois secondaire.
- ph : un groupe de phloème primaire.
- pd : périderme, marquant la limite externe du péricycle.
- 1, 2, 3, 4, 5 : 5 sorties foliaires numérotées suivant le phyllotaxie (sens de la flèche).
- e : écorce externe avec ses bandes radiales foncées de sclérenchyme.

Figure 2 : Faisceau ligneux caulinaire entouré par la moelle.

- px : protoxylème.
- x : xylème primaire centripète.
- x : xylème primaire centrifuge.
- $x^2$ : xylème secondaire.
- Figure 3 : Faisceau foliaire dédoublé rencontré dans la tige de LYGINOPTE-RIS OLDHAMIA à la limite du péricyele.
- Figure 4 : Détail de la moelle m et de ses "nids scléreux" ns.
- Figure 5 : Passage écorce xylème secondaire.
  - e : écorce externe.
  - sc : bande de sclérenchyme de l'écorce externe.
  - i : écorce interne.
  - pd : périderme.



# LYGINOPTERIS OLDHAMIA

#### PLANCHE III

#### LYGINOPTERIS OLDHAMIA

<u>Figure 1</u> : Double strtie vasculaire foliaire rencontrée dans une section de tige et tissus adjacents.

- px : protoxylème dédoublé des faisceaux.
- x : xylème primaire centrifuge.
- x<sup>1</sup> : xylème primaire centripète.
- ph : phloème de la trace foliaire.
- pd : périderme de la tige.

Figure 2 : Ecorce externe de la tige de Lyginopteris oldhamia.

- e : écorce externe.
- sc : bande foncée de sclérenchyme.

Figure 3 : Détail d'une moitié de faisceau vasculaire foliaire de la base du pétiole.

(Mêmes annotations que précédemment).

- Figure 4 : Section de pétiole principal, à sa base, présentant un double fais ceau vasculaire.
  - sc : gaine périphérique de sclérenchyme, très caractéristique.
  - par : parenchyme lâche chlorophyllien.

# LYGINOPTERIS OLDHAMIA



PL.111

PLANCHE IV

#### STAUROPTERIS OLDHAMIA

- Etude des divers stades de ramification de la fronde -

Figure 1 : Section à travers un rachis principal montrant le xylème en croix.

- e : écorce externe.
- i : écorce interne sclérifiée entourant la stèle typique.
- x : métaxylème.
- px : protoxylème situé près des 4 angles.
- ph : phloème.
- <u>Figure 2</u> : Section vasculaire de Rachis principal se préparant à émettre une paire de pennes primaires. Le phloème est encore visible dans les sinus ligneux médians.

Figure 3 : Dichotomie de rachis primaire.

Figure 4 : Rachis de 4e ordre.

Figure 5 : Ramification d'un rachis de 2e ordre.

R<sub>II</sub> : Rachis secondaire effectuant une sortie de rameaux.

R<sub>III</sub>: Faisceau vasculaire d'un rachis tertiaire émis.

PL.IV



STAUROPTERIS OLDHAMIA

#### PLANCHE V

# STAUROPTERIS OLDHAMIA

- Etude de divers stades de ramification de la fronde -

Figure 1 : Dichotomie d'une penne de 4e ordre.

Figure 2 : Penne de 4e ordre.

Figure 3 : Penne de 3e ordre.

Figure 4 : Pinnules de dernier ordre.

Figure 5 : Rachis de 3e ordre préparant une sortie.

Figure 6 : Trachéides de Stauroptopteris oldhamia en coupe transversale.



STAUROPTERIS OLDHAMIA

#### PLANCHE VI

#### STIGMARIA FICOIDES

Etnde d'une radicelle

Figure 1 : Section de radicelle dichotome.

- e : écorce externe divisée en 2 zones.
- i : écorce interne.
- x : xylème de la radicelle.

<u>Figure 2</u> : Vue détaillée d'une portion de cette radicelle coupée transversalement.

Figure 3 : Faisceau vasculaire ligneux de la radicelle.

px : protoxylème spiralé.

x : métaxylème scalariforme.

Figure 4 : Départ de radicelle.

e.st. : écorce externe de l'axe principal de Stigmaria ficoides.

e : écorce externe de la radicelle.




STIGMARIA FICOÏDES