

50376
1963
80

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DES SCIENCES

50376
1963
80

DIPLOME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

(Mention Paléobotanique)



Contribution à l'Étude de la Flore Houillère

Etude anatomique d'un Sphenophyllum

du niveau marin de Katharina

Soutenu à Lille, le 24 Juin 1963

SCD LILLE 1



D 030 255454 9

50376
1963
80

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DES SCIENCES

50376
1963
80

DIPLOME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

(Mention Paléobotanique)



Contribution à l'Étude de la Flore Houillère

Etude anatomique d'un Sphenophyllum du niveau marin de Katharina

Soutenu à Lille, le 24 Juin 1963

par Robert COQUEL

M E M B R E S d u J U R Y

Monsieur P. CORSIN Correspondant de l'Institut
Président du Jury

Monsieur G. WATERLOT Examineur

Madame P. DANZE Rapporteur

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur CORSIN, Professeur de Paléobotanique, Membre Correspondant de l'Institut, qui m'a fait l'honneur de me confier le sujet de ce diplôme.

Je suis heureux de l'assurer ici de ma respectueuse reconnaissance.

J'exprime également toute ma gratitude à Madame DANZE pour les conseils éclairés qu'elle a bien voulu me donner lors de la réalisation de ce travail.

Je me permets d'adresser à Monsieur DANZE mes plus vifs remerciements pour l'amabilité avec laquelle il a toujours accueilli mes démarches et requêtes.

Que Monsieur LEBLANC, photographe, à qui je dois la réalisation de toute la partie photographique de ce travail reçoit ici mes remerciements les plus sincères.

S O M M A I R E

PREMIERE PARTIE -

- 1 - Description d'une empreinte de Sphenophyllum
- 11 - Position systématique et classification des Sphenophyllum

DEUXIEME PARTIE -

- 1 - L'échantillon en structure conservée
- 11 - Connaissances générales sur la structure interne des Sphenophyllum
- 111 - Etude des lames minces
 - A) Les différents tissus des rameaux
 - B) Les différents rameaux
 - C) Les sorties raméales
 - D) Les racines
 - E) Les feuilles

CONCLUSION -

P R E M I E R E P A R T I E

- 1 - Description d'une empreinte de Sphenophyllum

- 11 - Position systématique et classification des Sphénophyllum

1 - DESCRIPTION D'UNE EMPREINTE DE SPHENOPHYLLUM

Si les Arthrophytes ne sont plus représentées de nos jours que par les Equisétacées avec l'unique genre Equisetum groupant vingt quatre espèces, elles étaient par contre très abondantes durant le Carbonifère.

Les Sphénophyllales que nous nous proposons d'étudier renferment un seul genre, à savoir le genre Sphenophyllum Brongniart, plante de taille médiocre de quelques mètres de haut et de diamètre inférieur à 1 cm.

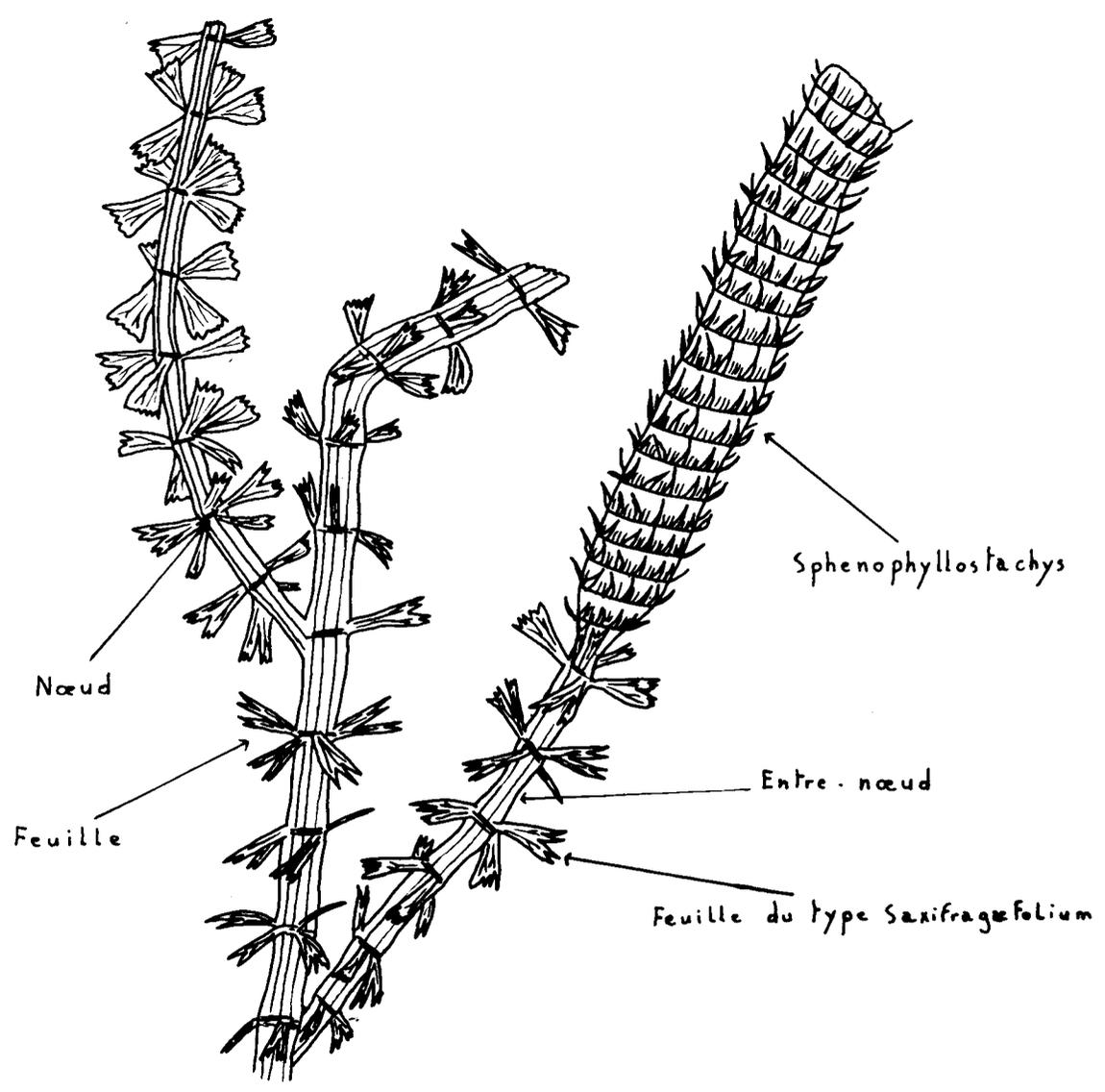
Nous décrivons l'empreinte de Sphenophyllum cuneifolium Sternberg du Westphalien A et B qui pourrait bien correspondre à l'espèce conservée dans un coal-ball du niveau de Katharina dans lequel furent réalisées les lames minces examinées.

Etude de l'empreinte de Sphenophyllum cuneifolium (p.4, PL.A.)

La tige articulée, divisée en segments étroits et allongés, séparés par des noeuds renflés, porte des feuilles disposées en couronnes de six aux noeuds sans alternance d'un verticille au suivant. Elles sont très polymorphes: soit rétrécies à la base et de forme générale triangulaire avec cinq, six dents pointues à l'extrémité et toutes égales, soit bifides, c'est-à-dire divisées en deux par un sinus médian nettement plus profond que les petites échancrures de chaque lame, ceci est la forme saxifragaefolium - Enfin, parfois toutes les dents uninervées sont séparées en fines lanières par de profondes dépressions. Cette hétérophyllie paraît être en rapport avec la force des axes plutôt qu'avec leur position relative.

La surface des tiges présente des cannelures longitudinales ininterrompues d'un article au suivant. Cependant elles sont peu visibles au niveau des noeuds.

Les rameaux naissent isolés aux articulations sans ordre apparent, c'est également là que se formaient les racines aériennes.



SPHENOPHYLLUM CUNEIFOLIUM

Les sporanges se groupent en strobiles terminaux étroits et allongés appelés Sphenophyllostachys.

REMARQUE - Nous comparerons plus loin les résultats morphologiques fournis par l'étude de la structure de notre échantillon à ceux que nous venons ici de citer brièvement pour essayer de donner à ce Sphenophyllum de Katharina un nom d'espèce qui serait de par la position stratigraphique du coal-ball Sphenophyllum cuneifolium.

11 - POSITION SYSTEMATIQUE et CLASSIFICATION des SPHENOPHYLLUM -

La position systématique des Sphénophyllales fut longtemps discutée. Renault (7, 7 bis) les rapprochait des Salvinia à cause de la disposition des feuilles chez ces Hydroptéridacées en verticilles ternaires, et de la présence dans leur tige de trois faisceaux soudés.

Pour Seward (8) les Sphénophyllales n'étaient qu'une classe bien individualisée parmi les Cryptogames vasculaires qui groupaient alors outre les Sphénophyllales, les Equisétales, les Lycopodiales et les Filicales.

Pour Zeiller (12) les Sphenophyllum constituaient : " une classe particulière, sans affinité réelle avec aucun type vivant ".

Lignier (5) fut, en 1908, le premier à réunir les Sphénophyllales, les Pseudoborniales, les Equisétales et Calamariales dans le groupe des Articulatae.

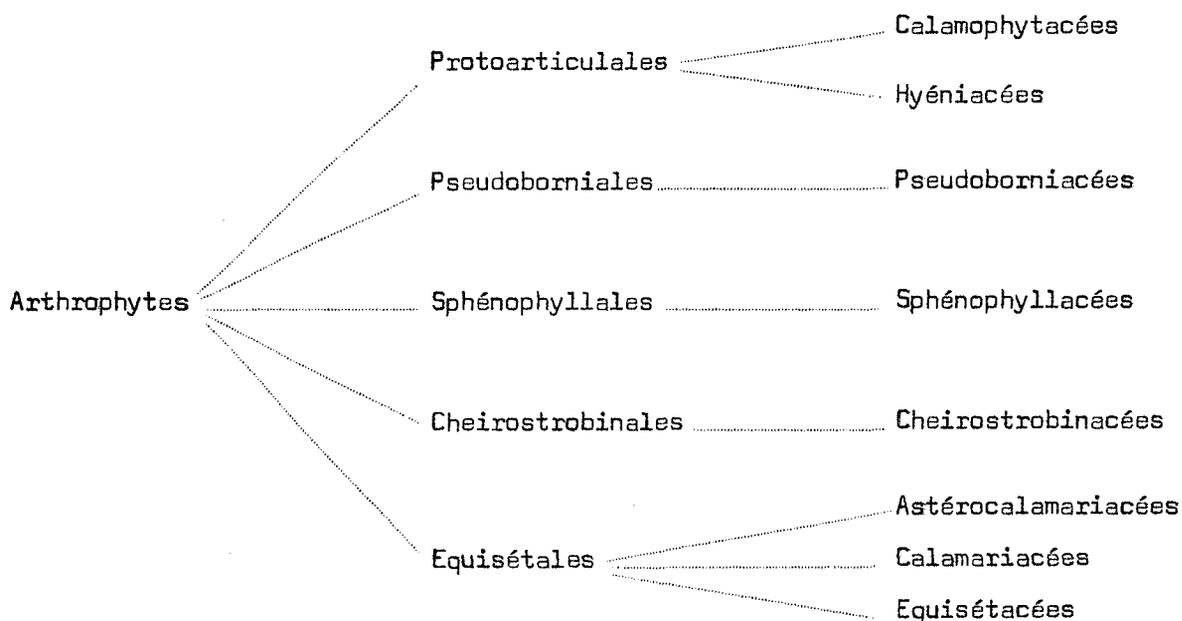
Scott (8) en 1920 définissait l'embranchement des Sphenopsida qui n'était autre que celui des Articulatae de Lignier.

H. Potonié (6) proposa en 1921 une classification plus complète des Articulatae groupant les Sphénophyllales, les Pseudoborniales, les Equisétales et aussi les Cheirostrobales connues que par leurs strobiles.

Mais ce ne fut qu'en 1927, date à laquelle Hirmer publia dans son traité de Paléobotanique (4) une classification des Articulates que les Sphénophyllales furent définitivement fixées dans cet embranchement.

Plus récemment Walton (10) et aussi Gothan et Weyland (3) confirmèrent les vues de Hirmer.

Voici le tableau définissant la position systématique des Sphenophyllum telle qu'elle est admise actuellement par les auteurs.



Le genre Sphenophyllum apparaît au sommet du Dévonien pour s'éteindre au Permien. Il est surtout abondant et représenté par de nombreuses espèces au Houiller.

Le principal critère permettant la détermination des diverses espèces est la feuille, accessoirement la dimension des articles, la profondeur des cannelures..... peuvent servir de complément à la diagnose.



DEUXIEME PARTIE



Etude anatomique d'un Sphenophyllum du niveau marin de Katharina.

- I - L'échantillon en structure conservée
- II - Connaissances générales sur la structure interne
des Sphenophyllum
- III - Etude des lames minces



1 - L'ECHANTILLON EN STRUCTURE CONSERVEE

Les lames minces étudiées furent réalisées dans un coal-ball de WESTPHALIE trouvé dans le niveau de Katharina, caractérisé par Gastrioceras katharinae et Productus piscariae, séparant le Westphalien A et B.

Nous avons examiné les lames minces numérotées suivantes : 883 IT₂4, 883 IT₂8, 883 IT₂9, 883 IIT₂13 à 883 IIT₂22, 883 IIT₂23 à 883 IIT₂30, 883 IVT₂31 à 883 IVT₂40, 883 VT₂41, 883 VT₂42, 883 VIT₂43 à 883 VIT₂47, 883 IIRII et 883 IIR12 - Toutes ces plaques font partie des Collections de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille.

Le coal-ball est le résultat d'un mode de fossilisation lié à des circonstances particulières et décrit sous l'appellation : Pétrification par Dolomitisation que nous définirons brièvement.

Ces nodules résultent de la concentration autour de points particuliers (tiges, racines...) de dolomite par suite de rupture de tension. Cette dolomite est contenue dans les boues marines déposées par la mer qui par suite d'une saccade tectonique plus prononcée a envahi le continent et détruit la forêt.

Avant que les fragments aient été englobés et imprégnés tissus par tissus, ceux-ci ont plus ou moins subi une déformation et une décomposition qui peuvent avoir conduit à leur destruction totale. Ceci concerne avant tout les éléments parenchymateux, les formations lignifiées comme le bois auront dans la majorité des cas résisté.

11 - CONNAISSANCES GENERALES SUR LA STRUCTURE INTERNE
DES SPHENOPHYLLUM

La structure interne des tiges de Sphenophyllum est relativement bien connue comparativement à celle de beaucoup d'autres Arthrophytes, les échantillons étant plus courants.

D'une façon générale, les fragments d'axes aériens à structure conservée ont été étudiés notamment par Renault (7, 7 bis), Williamson (11) Scott (8).

Nous reprendrons ici une description faite par Zeiller (12). Il écrit notamment : " Des tiges à axe plein, constitué, dans la région centrale, par une stèle de bois primaire à développement centripète affectant en section transversale la forme d'un triangle équilatéral à côtés concaves : à chacun des sommets du triangle se trouve suivant les espèces, tantôt un pôle trachéen, tantôt deux pôles trachéens très rapprochés d'où partent les cordons foliaires.... Autour de ce bois primaire il se forme un bois secondaire à développement centrifuge. Autour de ce bois secondaire existe une zone cambiale annulaire, puis vient le liber formé d'éléments parenchymateux et de tubes criblés, et ensuite l'écorce avec une ou plusieurs assises subéreuses ".

Si l'anatomie des tiges est relativement bien connue, celle des racines aériennes présentant ordinairement une stèle de bois primaire bipolaire l'est beaucoup moins. Autour du xylème primaire, les trachéides secondaires disposées radialement résultent du fonctionnement du cambium, qui a également fourni vers l'extérieur le phloème secondaire. Enfin l'écorce secondaire ou périderme remplace chez les formes âgées l'écorce primaire.

Les racines souterraines ne sont pas connues avec certitude.

La naissance des rameaux et des racines aériennes à partir de la tige mère est très mal connue.

Telles sont en résumé les connaissances générales acquises jusqu'alors sur la structure interne des Sphenophyllum.

111 - ETUDE DES LAMES MINCES

Nous la scinderons en cinq parties :

- A) Les différents tissus des rameaux
- B) Les différents rameaux
- C) Les sorties raméales
- D) Les racines
- E) Les feuilles

A - LES DIFFERENTS TISSUS DES RAMEAUX - (p.12, PL.8 - p. 15, PL.C - p.20, PL.D - p.26, PL.E - p.30, PL.F - PL.1 - PL.11 - PL. 111, Fig. 5 à 7).

1^a) Le xylème primaire -

Les tissus de la région axiale forment un amas triangulaire de bois pouvant présenter à chaque sommet un double pôle de protoxylème (p.12, PL.8, Fig.2) constitué d'éléments de petite taille à contour polyédrique. Vers l'intérieur le métaxylème est composé de trachéides dont la taille croît en direction du centre. La différenciation du xylème primaire est donc centripète.

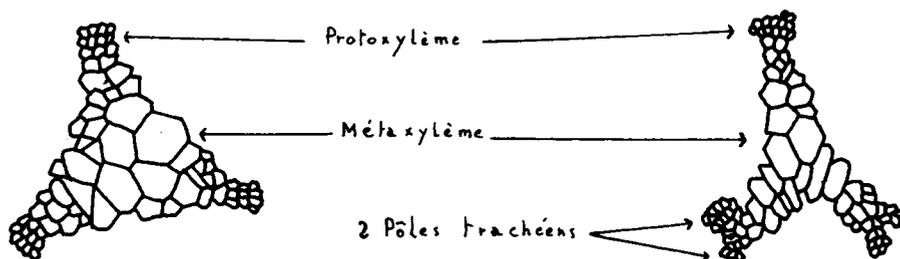
Nous notons ici l'absence totale de moelle.

La stèle de bois primaire délimite un triangle à côtés plus ou moins concaves selon sa différenciation (p.12, PL.8, Fig. 1 à 5). Elle constitue un ensemble caractéristique des Sphenophyllum.

- Le protoxylème -

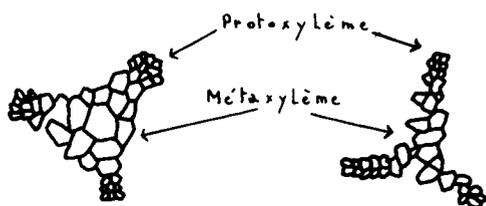
Il apparaît en section transversale formé de un ou deux petits pôles situés à l'extrémité de chaque bras au dessus du métaxylème. Lorsque chaque bras porte à son extrémité deux pôles initiaux, ceux-ci sont plus ou moins divergents à partir de leur base commune (PL.1, Fig.6). Il se compose de vaisseaux imparfaits montrant en section oblique et longitudinale (p.12, PL.8, Fig.6) leurs fins épaissements lignifiés très rapprochés les uns des autres et de ce fait délicats à identifier. Ils sont surtout annelés, accessoirement ce bois renferme quelques trachées spiralées. Nous n'en avons pas noté de réticulées. Ultérieurement nous étudierons l'évolution des doubles pôles fondamentaux à partir desquels débutent les traces foliaires.

LES STÈLES LIGNEUSES DES TIGES



1 Stèle ligneuse
de la Tige principale
(Plaque 883 II T₂ 4)

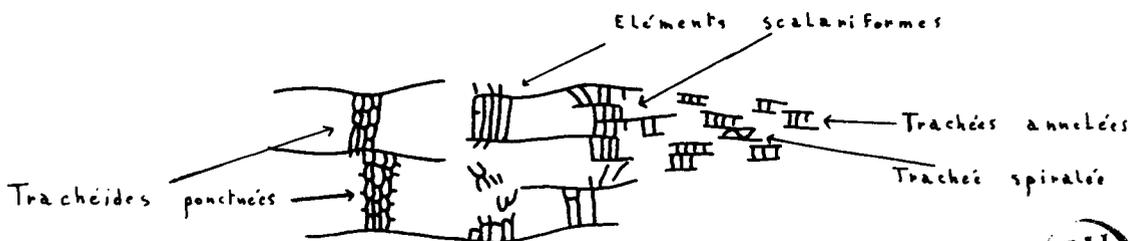
2 Stèle Ligneuse
d'un Rameau de 2^e ordre
du Type 2
(Plaque N° 883 II T₂ 22)



3 Stèle ligneuse
d'un Rameau de 2^e ordre
du Type 1
(Plaque 883 II T₂ 15)

4 Stèle Ligneuse
d'un Rameau de 3^e ordre
(Plaque 883 II T₂ 17)

5 Stèle Ligneuse
d'un Rameau de 4^e ordre
(Plaque 883 II T₂ 19)



6 Coupe oblique de la Stèle ligneuse
(Plaque N° 883 III T₂ 24)



- Le métaxylème -

En coupe transversale, la zone vasculaire ligneuse interne relativement importante, se révèle constituée d'éléments à section polyédrique irrégulière. Ces éléments, à cloison épaisse, d'épaisseur constante augmentent de taille en direction du centre occupé par les plus grosses trachéides. La différenciation du xylème primaire est donc bien centripète à partir d'un protoxylème exarche (PL.1, Fig.6).

En section longitudinale ou oblique (p.12, PL.8, Fig.6) le métaxylème se montre composé de deux types de trachées. Au centre, nous distinguons les éléments à paroi ponctuée dont les punctuations sub-rectangulaires, allongées transversalement et de type simple ont plus ou moins conflué en bandes parallèles. Quant au métaxylème le plus externe il présente des épaisissements parallèles de lignine prenant appui le long des arêtes également lignifiées. C'est le métaxylème scalariforme ne comportant que quelques trachéides, il passe progressivement au bois primaire ponctué.

Ce sont des éléments étirés longitudinalement dont la cloison transversale légèrement épaissie n'offre pas de ponctuation (PL.11, Fig.2).

L'étude de la stèle ligneuse primaire montre une évolution allant de la trachéide annelée à ponctuée en passant par la trachée scalariforme. Cette évolution ontogénique du xylème primaire est parallèle à l'évolution phylogénique des vaisseaux mais ici le stade spiralé est le plus souvent absent tandis que le stade réticulé a disparu.

Le cylindre ligneux ainsi décrit se compose de trois unités équivalentes, divergentes d'un angle de 120° et soudées à leur base. Chaque unité comprend de l'extérieur vers l'intérieur : des trachées annelées, accessoirement des trachées spiralées, ensuite viennent les éléments scalariformes passant aux vaisseaux imparfaits ponctués.

2^e) Le phloème primaire -

Ce phloème primaire entoure complètement la stèle ligneuse chez les formes jeunes (p.30, PL.F - PL.11, Fig.6). Il est nettement plus abondant au niveau des concavités déterminées par le bois primaire. Au dessus des pôles initiaux il est réduit à une mince bande libérienne. Sur les rameaux à structure secondaire par suite de l'activité cambiale, il doit se retrouver placé au dessus du liber de deuxième formation (p.26, PL.E), mais dans ce cas nous n'avons pu le discerner des tissus voisins.

En raison même de sa nature fragile, il a été rarement fossilisé. Lorsque exceptionnellement il fut conservé, il s'est déformé par suite de pressions exercées sur lui. Néanmoins la lame 883 111T₂30 présente un liber primaire qui semble avoir gardé sa configuration initiale (PL.11, Fig.6).

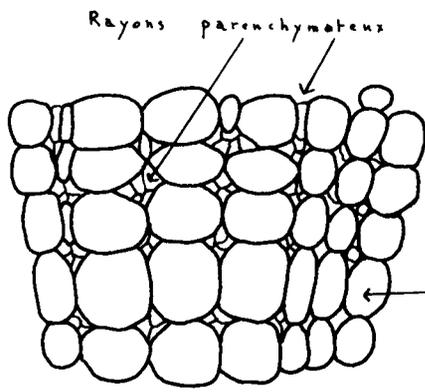
Il apparaît constitué d'éléments à paroi fine, cellulosique à section transversale variable mais de taille semblable. Ils ne montrent pas entre eux de méats. Sur de telles coupes il est difficile de différencier les tubes criblés des éléments parenchymateux. Sur des sections obliques (lame mince 883 111T₂16) nous avons observé des cellules élargies au niveau des cloisons transversales (PL.11, Fig.4), ceci n'est pas nécessairement un tube criblé. Il pourrait s'agir de cellules parenchymateuses banales aplaties dans leur région médiane, car, nous n'avons pas noté de perforations sur ce qui semblait être un crible. Cependant bien que nos observations ne nous autorisent pas cette affirmation, le tube criblé pour des raisons d'ordres physiologiques (transport de la sève élaborée) existe.

3^e) Le xylème secondaire -

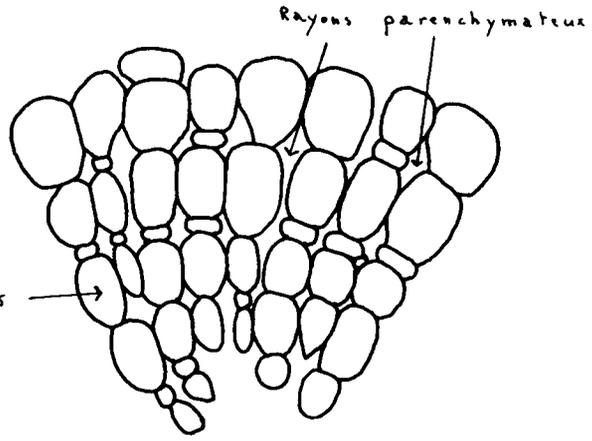
Ce tissu n'est présent que sur les tiges âgées. Il résulte avec le liber de deuxième formation du fonctionnement d'un cambium individualisé à partir de cellules procambiales, qui par son activité mitotique assure l'accroissement en diamètre de la plante.

En section transversale, le bois secondaire constitue chez les axes évolués un anneau complet entourant le xylème primaire duquel il est séparé par une très mince bande parenchymateuse (p.26, PL.E, - PL.1, Fig. 1 et 2). Ses éléments vasculaires augmentent légèrement de taille en se rapprochant de la périphérie. Son développement est donc centrifuge. Il est scindé en zones nettement distinctes les unes des autres. En face des pôles initiaux se situe un xylème riche en éléments parenchymateux. Il se compose de petites trachéides sub-rectangulaires arrondies aux angles et alignées radialement. Il est appelé bois fasciculé (p.15, PL.C, Fig.1). Son contour est triangulaire en section transversale. Il alterne avec un deutéroxyème plus large à éléments sub-quadratiques de grande taille arrondis aux angles et diminuant de calibre en se rapprochant du xylème fasciculé. C'est le bois inter-fasciculé à éléments parenchymateux peu développés (p.15, PL.C, Fig.2). La limite des deux types de bois n'est pas tranchée, il y a passage progressif au xylème fasciculé (PL.1, Fig.1 et 2).

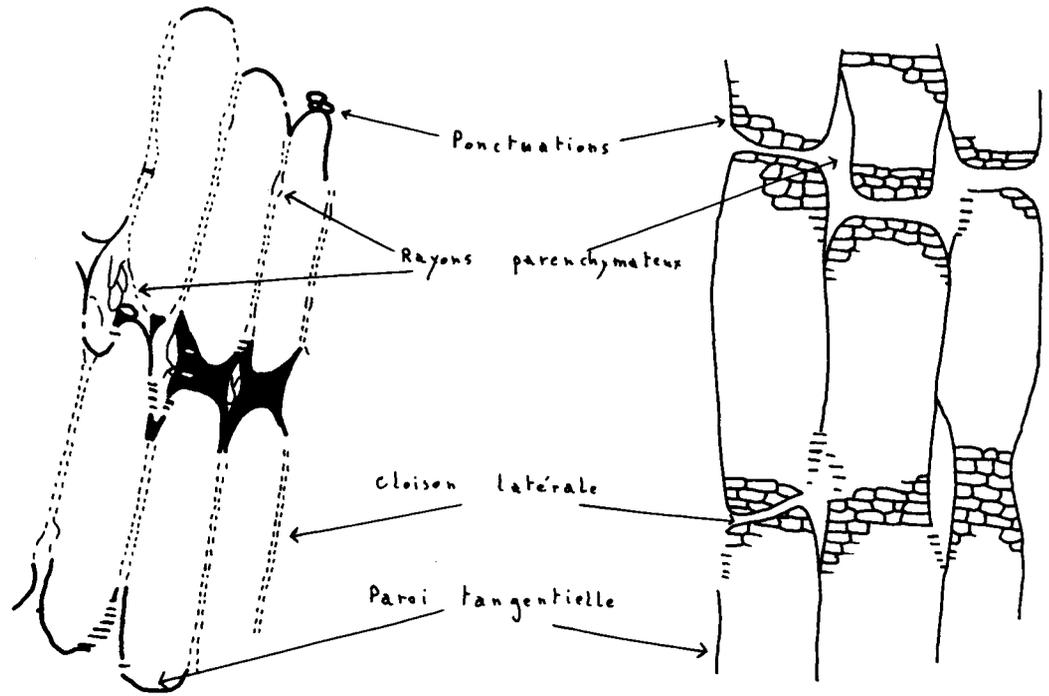
LE BOIS SECONDAIRE DES TIGES



1 Bois inter-fasciculé
en section transversale
(Plaque N° 883 II, 4)



2 Bois Fasciculé
en section transversale
(Plaque 883 II, 4)



3 Bois inter-fasciculé
en section oblique
(Plaque N° 883 II, 34)

4 Bois inter-fasciculé
en section oblique
(Plaque 883 II, 24)

A une disposition radiale des fibres vasculaires ligneuses se superpose une disposition en zones concentriques. Souvent à une rangée de bois inter-fasciculé correspond deux rangées de bois fasciculé (PL.1, Fig. 1 et 2).

L'augmentation du nombre des rayons est rare. Nous reviendrons sur cette remarque lors de l'étude du cambium.

L'élément fondamental de ce tissu est la trachéide. Nous ne possédons pas sur nos lames minces de coupes longitudinales du bois secondaire. Néanmoins les sections obliques montrent que toutes les trachées, qu'elles appartiennent au xylème fasciculé ou inter-fasciculé, sont ponctuées (lame 883 IIT₂²⁴). Les ponctuations de petite taille, sub-rectangulaires, allongées transversalement, ont conflué en bandes parallèles transversales et ceci, aussi bien pour les parois radiales que tangentielles (p. 15, PL.C, Fig.3 et 4). Nous retrouvons la même ornementation que pour le métaxylème central. Mais ici la trachéide semble se terminer en biseau.

En section transversale nous notons aux angles de presque toutes les trachéides du bois inter-fasciculé des amas de quelques petites cellules ovalaires à paroi fine, tassées les unes contre les autres. Elles sont réunies, de place en place à d'autres amas identiques généralement par une cellule parenchymateuse allongée radialement entre deux vaisseaux imparfaits (p.15, PL.C, Fig.1 - PL.1, Fig.1 et 2). Ces files cellulaires sont dénommées : rayons médullaires intra-ligneux. Ils prennent appui sur le mince anneau parenchymateux entourant la stèle ligneuse primaire. Les coupes obliques ne nous donnent guère de renseignements complémentaires. Elles montrent néanmoins que les éléments parenchymateux allongés radialement sont constitués soit par une, soit par deux cellules ovalaires superposées dans un plan vertical (p.15, PL.C, Fig.3). Du fait de l'absence de sections longitudinales nous ignorons l'étendue verticale des îlots situés aux angles des trachéides. Mais leur présence quasi constante laisse supposer qu'ils étaient très allongés.

Les divers rayons ne sont réunis entre eux que par l'intermédiaire de la bande parenchymateuse entourant le bois primaire. Cependant au niveau de trachées plus réduites, les îlots peuvent s'étendre latéralement et entrer en contact avec les amas voisins (lame mince 883 IIT₂¹⁴).

Au niveau du xylème fasciculé nous retrouvons ce qui vient d'être dit, mais ici les rayons médullaires beaucoup mieux développés sont fréquemment visibles sans interruption durant plusieurs rangées de fibres vasculaires ligneuses (p.15, PL.C, Fig.2 - PL.1, Fig.1 et 2).

Le bois secondaire ne présente pas comme pour nos plantes actuelles d'anneaux annuels de croissance dus à l'arrêt du fonctionnement du cambium durant l'hiver. Néanmoins, l'uniformité du xylème secondaire peut être interrompue par une rangée de fibres vasculaires ligneuses plus petites qui ne constituent pas nécessairement une assise complète. Nous ne pouvons donc parler d'anneaux annuels de croissance. Les séries de trachéides plus petites correspondent certainement à une période un peu plus rude pour la plante qui de ce fait n'a pu différencier correctement ses vaisseaux imparfaits en formation lors de cette phase (PL.1, Fig.1 et 2).

En contact avec l'assise génératrice (si elle a été préservée) se situent les trachées en voie de différenciation. La lignification s'opère alors que les futurs éléments vasculaires augmentent de calibre. L'épaississement précoce des cloisons n'entraîne pas immédiatement la mort de ce qui sera la fibre vasculaire. Si, son mode de formation est identique à celui observé sur nos plantes actuelles, elle doit se vider progressivement de sa substance vivante.

4^e) Le cambium -

La zone cambiale fut au cours de la fossilisation très abîmée sinon complètement détruite, ceci en raison même de la nature fragile des éléments la constituant. A sa place nous observons des débris cellulaires. Cependant, parfois nous arrivons à distinguer au dessus d'une trachéide en formation, une ou deux cellules aplaties tangentiellement à paroi mince représentant une ou deux cellules cambiales (p.20, PL.D, Fig.4) - Malgré ces résultats fragmentaires nous reconstituerons ce méristème secondaire tel qu'il aurait dû se présenter à nous s'il n'avait été détruit.

La présence d'un anneau de bois continu implique un cambium entourant entièrement le xylème secondaire et se composant d'après nos observations, d'au moins deux assises de cellules sub-rectangulaires aplaties tangentiellement, à cloison mince. Ces éléments devaient au cours du développement du Sphenophyllum subir un étirement tangentiel pour suivre l'accroissement diamétral de la tige comme semble le prouver l'observation des files radiales. L'intercalation de nouvelles files de trachées secondaires est relativement peu fréquente aussi devons-nous penser que les cloisonnements anticlines étaient peu nombreux. La présence quasi constante des amas parenchymateux aux angles des trachéides nous fait concevoir que cette assise devait comporter deux types morphologiques d'éléments : les uns évoluant en

fibres vasculaires ligneuses, allongés tangentiellement, et les autres donnant les rayons intra-ligneux, de plus petite taille.

Dans l'anneau de bois secondaire, le bois fasciculé montre un plus grand nombre de rangées de vaisseaux imparfaits, à ce niveau, le cambium devait donc se diviser plus activement.

Ce méristème secondaire par son activité mitotique fournissait :

- vers l'axe : le xylème secondaire
- et vers l'extérieur : le phloème secondaire

5°) Le phloème secondaire -

Il se présente sous forme d'un mince anneau continu assez fréquemment fossilisé, mais sa conservation semble avoir été particulière.

Certaines de ses parois radiales comportent des épaisissements lamellaires. A ces niveaux, elles furent préservées. Ainsi la reconstitution du liber s'avère possible mais délicate. Il n'est constitué ici que de quelques assises de cellules sub-rectangulaires plus ou moins aplaties tangentiellement (PL.1, Fig.1 et 2 - p.20, PL.0, Fig.4). Ces épaisissements apparemment anormaux pour un phloème impliqueraient une fossilisation spéciale. Par suite d'un début de désorganisation, de petits méats seraient apparus dans lesquels se serait déposée de la matière minérale. Ceci aurait contribué à donner au tissu libérien un aspect de collenchyme. Parmi ses éléments certains ont évolué en tubes criblés parfois visibles sur nos sections obliques (lame 883 111T₂24) et identiques à ceux déjà décrits. Mais comme pour le liber primaire, il pourrait s'agir de cellules parenchymateuses banales aplaties dans leur partie médiane, lors de la fossilisation, car nous n'avons pas noté de perforations sur ce qui semblait être un crible.

6°) Le péricycle et l'endoderme -

Le péricycle et l'endoderme limitent chez les formes jeunes le cylindre central (PL.1, Fig.6). Très peu différenciés, ils ne se distinguent pas l'un de l'autre, aussi parlerons nous de péricycle-endoderme sans chercher à préciser. Avec l'individualisation et le fonctionnement du cambium, ce tissu est repoussé vers l'extérieur avec le liber primaire. Il se déforme alors sous l'effet de la pression exercée et acquiert un aspect particulier (p.20, PL.0. Fig. 2 à 4 -

PL.1, Fig. 1 et 2).

Il constitue autour de la stèle un anneau complet aminci en face des pôles trachéens. Il se compose de cellules parenchymateuses de taille moyenne à paroi fine, à contour plus ou moins ovalaire en section transversale. Elles sont séparées par de rares petits méats (PL.11, Fig.6). La coupe longitudinale 883 111T₂²⁴ montre des éléments très allongés aux entre-noeuds, sub-rectangulaires, diminuant rapidement de taille en se rapprochant des noeuds. (PL.111, Fig.5 et 6).

La principale caractéristique de cette formation est de renfermer des inclusions sombres. Ceci semble indiquer que nous nous trouvons ici en présence d'un tissu emmagasinant les matières de réserve amylacées. Ce rôle de stockage est caractéristique de l'endoderme lorsque celui-ci n'a pas sclérifié ses parois.

Nous verrons plus loin que cette interprétation est renforcée par l'existence d'une sortie de racine. La présence d'un endoderme entraîne celle d'un péricycle qui ici ne s'est pas suffisamment différencié pour être reconnu et distingué de l'endoderme, c'est pourquoi il est préférable de les confondre.

7^e) L'écorce primaire -

L'écorce primaire est limitée extérieurement par l'épiderme et intérieurement par le péricycle-endoderme (PL.1. Fig.6).

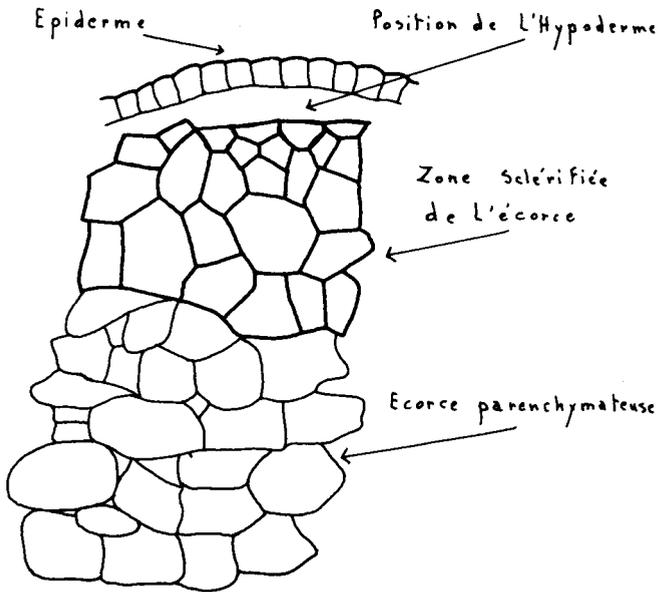
L'écorce primaire présente en général six fortes côtes alternant avec six profonds sillons. Très fréquemment, elle s'est déformée par suite de la compression des tissus lors de la sédimentation. Les cellules les plus internes à paroi moins différenciée se sont aplaties tangentiellement et leur forme de sub-ovalaire à polyédrique est devenue sub-rectangulaire (PL.1, Fig.6). Ceci est surtout marqué au niveau des sillons, qui ainsi se trouvent accentués.

Lors de l'étude des rameaux latéraux nous examinerons la disposition caractéristique des côtes et des sillons.

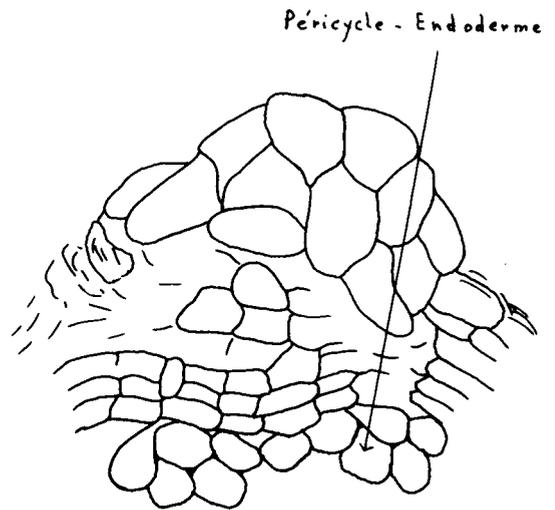
- Ecorce parenchymateuse interne -

Dans les cas favorables où l'écrasement des cellules profondes n'a pas eu lieu, cette zone se montre composée d'éléments d'assez grande taille à contour variable, à cloison mince. Elles ménagent entre-elles de petits méats (p. 20, PL.0, Fig.1).

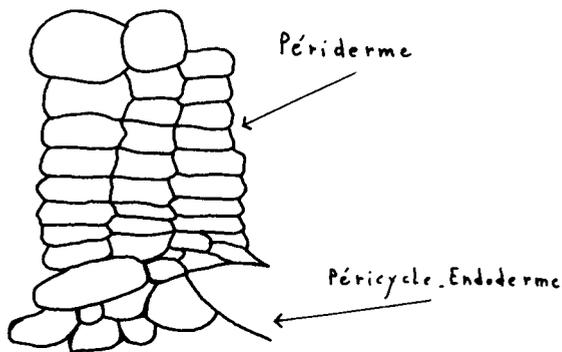
LES TISSUS DES TIGES



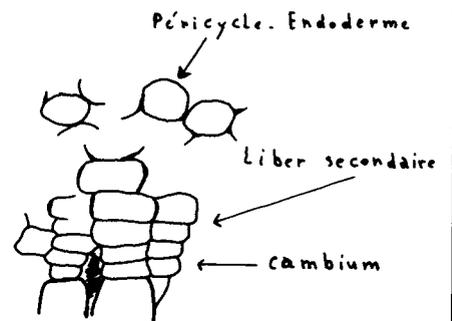
1 Ecorce primaire et Epiderme
(Plaque N° 883 II T₂30)



2 Lenticelle
(Plaque N° 883 II T₂19)



3 Périderme et Péricycle . Endoderme
(Plaque 883 I T₂4)



4 Cambium
(Plaque 883 III T₂27)

- Ecorce moyenne sclérifiée -

En se rapprochant de l'épiderme un changement progressif s'opère dans la forme et la dimension des cellules. Elles deviennent nettement polyédriques, diminuent de taille, les méats disparaissent et elles épaississent régulièrement leur paroi. Ce tissu est du sclérenchyme surtout développé au niveau des saillies et à la base des sillons. Ce tissu de soutien paraît trop peu différencié pour assurer à la plante un port rigide (p.20, PL.D, Fig.1) -

- Hypoderme -

Au niveau des cannelures la sclérification est brusquement interrompue pour laisser la place à un ensemble très peu épais constitué de petites cellules arrondies à cloison mince et rarement conservées. Cette formation comprise entre l'épiderme et le sclérenchyme semblerait provenir du dédoublement de l'assise superficielle. Nous l'appellerons hypoderme (PL.1, Fig.6).

L'écorce précédemment décrite est celle d'un entre-noeud. Au niveau des noeuds nous retrouvons les mêmes caractères, mais ici le parenchyme cortical est nettement plus important et souvent bien conservé. Un plus grand nombre de cellules légèrement plus larges est responsable du diamètre supérieur des tiges à ces niveaux. La sclérification y est à peine moins poussée mais l'hypoderme est absent ou plus précisément il s'y termine (PL.11, Fig.2 - PL.111, Fig.7).

En coupe longitudinale le parenchyme cortical se montre formé d'éléments très allongés suivant l'axe de la plante. Ils décroissent rapidement de taille en se rapprochant des noeuds (PL.111, Fig.5 et 6). La tige présente à ces niveaux une zone de moindre résistance permettant l'articulation des divers segments. Cependant le très faible développement des méats, la légère sclérification indiquent que la mobilité des différents articles entre eux ne devait pas être importante.

8^e) L'écorce secondaire -

L'écorce secondaire est issue du fonctionnement de l'assise subéro-phello-dermique. Cette assise apparaît alors que le cambium a déjà fonctionné, nos lames ne nous ont pas permis d'assister à la différenciation ni au début du fonctionnement de ce méristème secondaire. Nous observons le suber alors qu'il est

déjà assez important.

L'assise subéro-phellodermique fournit sur sa face externe des cellules qui vont se subérifier pour constituer le liège, et vers l'intérieur des éléments qui vont très peu se différencier pour former un parenchyme secondaire : le phelloderme.

Sur nos lames il est très difficile de localiser avec précision l'assise subéro-phellodermique, de la discerner du phelloderme et des premières couches de suber. Aussi employerons nous plus volontiers le terme général de périderme.

L'écorce secondaire ici unique, repose sur un tissu que nous avons appelé péricycle-endoderme. Il en résulterait donc pour celle-ci une origine péricyclique-endodermique (p.20, PL.D, Fig.2 et 3).

La fossilisation a bien conservé le périderme qui en section transversale se montre constitué de files radiales régulières d'éléments rectangulaires aplatis tangentiellement à paroi mince. Vers l'extérieur la disposition radiale est moins nette, les cellules tendent à s'arrondir et la dernière assise de liège en contact avec le milieu extérieur laisse apercevoir une cloison externe nettement convexe et des parois latérales plus ou moins arrondies (p.20, PL.D, Fig.3). Il présente dans la majorité de ses éléments une sorte de voile brunâtre qui parfois semble s'être concentré en amas noirâtres (PL.1. Fig.1 et 2). Ceci intéresse surtout le suber externe et serait peut-être le résultat de l'imprégnation du tissu par des matières de nature colloïdale. Bach indique dans son " Cours de Botanique Générale" : " Le suber joue un rôle de protection pour la tige dont l'accroissement de volume, dû à la formation du pachyte entraîne l'éclatement des tissus externes..... La présence d'un suber compact, entier, entraînerait inmanquablement la mort de la tige tout entière s'il n'était interrompu de place en place par les lenticelles" (1).

Seule la lame 883 117₂14 montre une telle formation. Le périderme interne présente une nette concavité constituée de quelques assises de cellules régulièrement empilées les unes sur les autres. Au dessus, cette organisation régulière s'estompe pour disparaître et faire place à un parenchyme composé de larges cellules à paroi mince, saillantes à la surface de la tige (p.20, PL.D, Fig.2).

Il est à remarquer que lorsque la plante fut plus ou moins écrasée lors

de son dépôt, le périoderme s'est adapté aux pressions exercées en se déformant. La disposition radiaire a disparu, les cellules ont augmenté de taille, se sont allongées dans des directions variables mais ceci sans qu'apparaissent de méats importants (lame mince 883 111T₂₇). Nous retrouvons là une formation du type " parenchyme ". Ceci nous amène à penser que la subérification était peu poussée, et de ce fait la cellule demeurerait modifiable.

La faible épaisseur des parois du liège, sa déformation facile augurent d'une imprégnation de subérine lente et faible, par suite les éléments le constituant conservaient assez longtemps une certaine vitalité.

9°) L'épiderme -

L'épiderme recouvre la surface des tiges. Il met la plante au contact avec le milieu extérieur, aussi fut-il le premier à subir les attaques des divers agents naturels et des organismes. Nous concevons dès lors pourquoi sa fossilisation fut rare (PL.1, Fig.6 - PL.11, Fig.2).

Lorsqu'il fut préservé, il se montre composé en section transversale d'une couche unique de petites cellules sub-carrées au niveau des sillons devenant rectangulaires au niveau des cannelures. Les cloisons externes convexes sont légèrement épaissies et cutinisées, tandis que les membranes latérales et internes minces ont gardé leur nature cellulosique (p.20, PL.D, Fig.I).

La seule section longitudinale que nous possédons (lame 883 111T₂₄) présente une assise superficielle très mal conservée, surtout aux entre-noeuds où sa destruction est totale: Au niveau des zones articulaires la cellule épidermique, rectangulaire est légèrement étirée longitudinalement. Juste au dessus et en dessous des noeuds l'allongement est nettement plus grand. Il paraît probable que tout comme les cellules du parenchyme cortical, les éléments épidermiques très allongés aux entre-noeuds diminuaient rapidement de taille au fur et à mesure que nous rapprochions des zones articulaires (PL.111, Fig. 5 et 6). Nous n'avons pas noté l'existence de stomates, ceci ne veut pas dire qu'il n'y en a pas; mais s'il y en a, ce qui probable, ils sont rares. Cette constatation semblerait indiquer que notre plante vit dans un milieu d'éclairement réduit et humide. La présence d'une mince couche cuticulaire renforce cette hypothèse.

A certain niveau, la régularité de l'épiderme est interrompue par de

grosses cellules étirées radialement ou à contour sub-circulaire. Il s'agit d'éléments épidermiques modifiés ayant augmenté de taille (PL.I, Fig.6) .

L'assise superficielle montre parfois de petites expansions pluricellulaires de trois, quatre éléments à paroi externe légèrement épaissie. Ce sont de petits poils. Très rares, ils ne semblent pas posséder de rôle particulier (lame 883 11T₂19).

B - ETUDE DES DIFFERENTS RAMEAUX - (p.12, PL.B - p.15, PL.C - p.20, PL.D - p.26, PL.E - p.30, PL.F - PL.I - PL.11 - PL.111, Fig. 5 à 7).

La tige principale ou de premier ordre (p. 26, PL.E - PL.1, Fig.1 et 2) émet des ramifications latérales dites de second ordre (p. 30, PL.F - PL. 1, Fig. 3 à 6 - PL. 11, Fig. 1 et 2) qui à leur tour peuvent se diviser (PL.11, Fig. 4 et 5).

Sur nos coupes, l'axe principal sur lequel se rattachent les branches est nettement différent de celles-ci puisqu'il possède une structure secondaire typique.

1^o) La tige principale -

La structure interne de cet axe principal est représentée schématiquement à la page 26, planche E. Pour sa taille qui n'excède pas 3 mm, elle présente une grande stèle ligneuse (PL.1, Fig. 1 et 2).

- Le bois primaire -

Il occupe le centre de l'axe, son contour est pratiquement celui d'un triangle équilatéral dont chaque sommet est occupé par le protoxylème en voie de régression. La tige principale sur la lame 883 1T₂4 le montre légèrement aplati à chaque extrémité des bras (p.12, PL.B. Fig.1). Sur la lame 883 11T₂9 un des pôles de l'axe caulinaire paraît simple tandis que les deux autres sont nettement dédoublés. La section 883 1VT₂32 présente même une lacune délimitée par des trachéides annelées. Ces résultats à première vue bizarres mettent en évidence une évolution du protoxylème que nous étudierons avec les rameaux de second ordre où elle apparaît beaucoup plus clairement. Le métaxylème composé de trachéides à section transversale polyédrique est toujours bien représenté. Il ne semble pas être en voie de régression.

- La zone de parenchyme -

De faible épaisseur elle entoure entièrement la stèle ligneuse primaire (PL.1, Fig.1). Elle est surtout bien représentée au contact du métaxylème. Ce parenchyme à petites cellules ovalaires à paroi fine, séparées par de rares méats va en s'amincissant en direction des pôles initiaux, où écrasé, il n'est en général plus visible. La disposition quelconque de ses éléments par rapport au bois secondaire indique pour ce tissu une origine primaire. Le cambium ne s'est donc pas individualisé contre le xylème de première formation, en plus, ceci montre que le tissu libérien ne comporte à sa base que des éléments parenchymateux.

- Le bois secondaire -

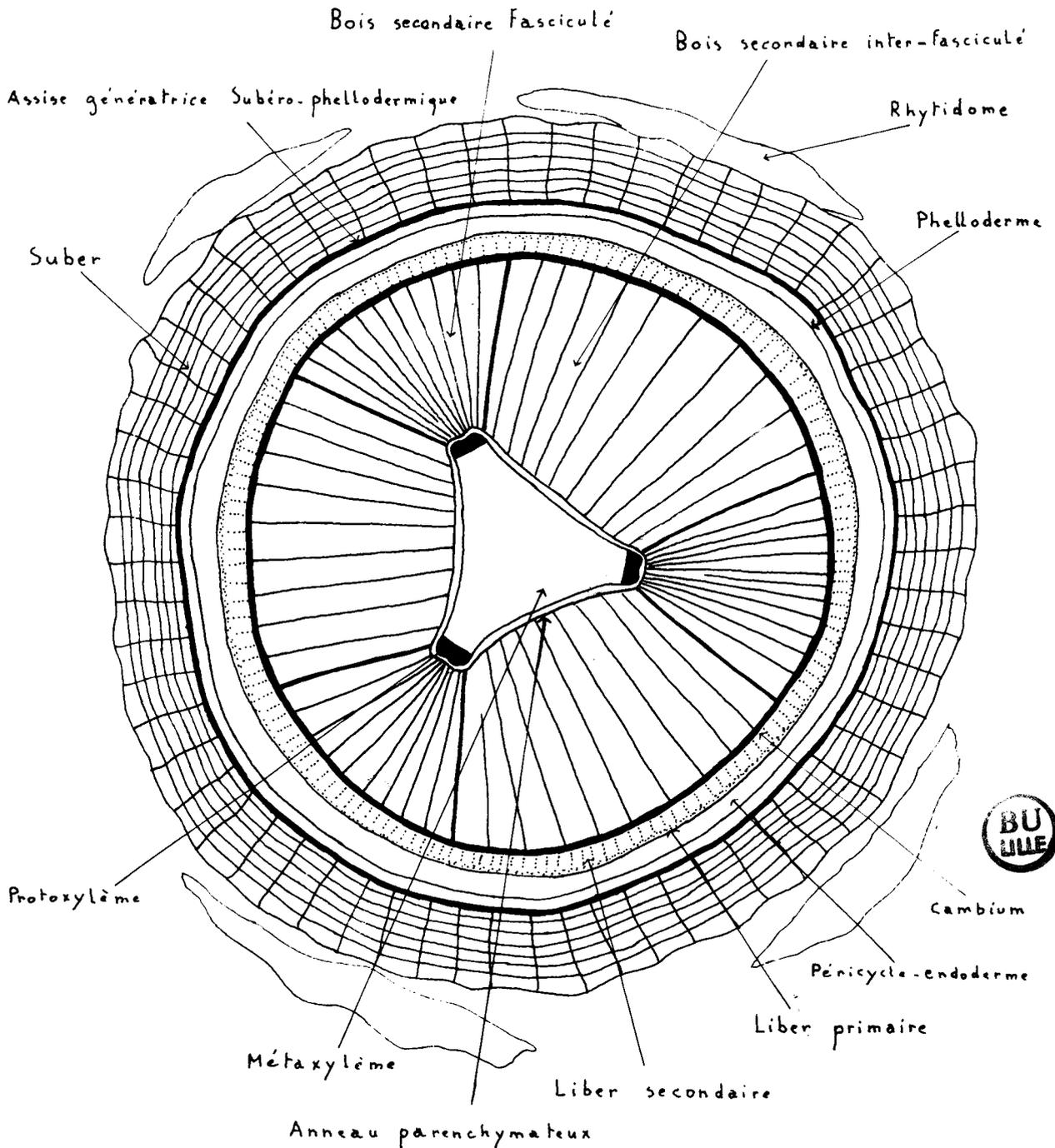
Il forme un anneau complet à développement centrifuge. L'épaisseur de l'anneau de bois est de l'ordre de 1,5 mm. (PL.1, Fig.1). Le xylème secondaire se compose de files radiales régulières de trachéides. A cet alignement radial se superpose une disposition circulaire des vaisseaux. Il renferme en outre des éléments parenchymateux déjà étudiés.

Les fibres vasculaires de bois permettent d'orienter nos lames. La tige principale sur la plaque 883 IT₂4 présente cinq rangées de trachées secondaires pour une zone de bois inter-fasciculé, la même zone n'en montre que quatre sur la section 883 IIT₂19. Nos sections sont donc numérotées en s'élevant le long de l'axe principal.

Nous constatons que les zones de bois inter-fasciculé d'une même lame ne sont pas toujours arrivées au même stade de développement, la différenciation des vaisseaux pouvant être plus lente dans une zone. Il en est de même pour le bois fasciculé (PL.1, Fig.1 et 2).

Il a souvent été dit que le bois secondaire ne forme un anneau complet qu'à partir de la deuxième assise de trachéides. Cette vue est inexacte ici. La plupart des sections transversales de l'axe caulinaire principal qui ont été étudiées présentent une première rangée de deutéroxylème complète (PL.1, Fig.1). Le bois fasciculé comporte un nombre de rangées nettement supérieur à celui du xylème inter-fasciculé. Ceci nous oblige à admettre que l'activité mitotique du cambium, au niveau du bois fasciculé, était plus intense qu'au niveau du xylème inter-fasciculé.

Schéma de La structure interne de La Tige principale d'un Sphenophyllum de katharina



Le xylème se montre à certains endroits " entamé ". Cette anomalie se suit sur plusieurs lames (883 11T₂13 à 883 11T₂18) où elle dessinait sur le bois une dépression ovalaire. La différenciation des trachéides y est particulière. Leur paroi externe a pris des formes spéciales allant de la denticulation à une disposition en escalier, de même pour les cloisons latérales (PL.1, Fig.2).

- Le cambium -

Déjà étudié, il entoure complètement le bois (p.20, PL.0, Fig.4).

- Le liber -

Il constitue un anneau complet, mince (PL.1, Fig.1). Sur nos sections, la distinction entre phloème primaire et secondaire est impossible, ce tissu a aspect secondairement acquis de collenchyme étant trop abimé. Le liber primaire repoussé vers l'extérieur était certainement en voie de régression. La phloème est au niveau des dépressions (PL.1, Fig.2) notablement plus épais, le cambium y a fonctionné anormalement pour produire surtout du liber, les éléments des fibres vasculaires de bois qu'il fournit se différenciant différemment.

Une telle activité mitotique se rencontre aussi accidentellement sur nos plantes actuelles.

- Le péricycle et l'endoderme -

Ils forment une mince bande circulaire très mal délimitée (PL.1, Fig.1). Ils ne représentent plus d'inclusions sombres et sembleraient ainsi avoir perdu leur rôle de tissu de réserve. Ils montrent des épaisissements angulaires s'étendant légèrement sur les parois. Cet aspect de collenchyme serait comme pour le liber secondairement acquis. Par suite d'un début de désorganisation, de petits méats inter-cellulaires seraient apparus dans lesquels de la matière minérale se serait déposée (p.20, PL.0, Fig. 2 à 4).

- Le périderme -

Sur nos lames il constitue toujours une assise unique complète épaisse de moins de 0,5 mm (PL.1, Fig.1). Il repose par l'intermédiaire du phelloderme parenchyme secondaire sur une formation avec laquelle il se confond à l'examen microscopique qui est le péricycle-endoderme. Ainsi nous ne pouvons exactement délimiter le périderme du côté interne. Il comporte à sa base des cellules ova-

laires qui s'aplatissent, deviennent rectangulaires pour s'ordonner en files radiales régulières constituées d'une dizaine de cellules. Cette organisation s'estompe vers la périphérie. La partie externe du suber riche en inclusions est généralement irrégulière par suite de lambeaux de liège détachés (PL.1, Fig.1). Bach (1) indique que : " à la suite de la formation du suber, les parties externes de la tige sont isolées, par cette assise imperméable. Elles sont donc condamnées à mourir. Leur ensemble constitue un rhytidome."

Ici les parties externes au liège correspondent à l'écorce primaire et l'épiderme. Sur certaines lames (883 1T₂4) nous les rencontrons encore rattachées par quelques cellules à la tige, ce rhytidome en voie d'exfoliation ne persiste guère longtemps et finit par disparaître.

Rappelons que ce liège peu subérifié porte de place en place de petites lenticelles permettant les échanges (p.20, PL.D, Fig.2).

REMARQUE - Une telle structure n'est pas sans rappeler celle des lianes du genre Bignonia. Ceci n'est cependant pas suffisant pour affirmer que les Sphenophyllum étaient des lianes.

2°) Les rameaux de second ordre -

Sur l'axe principal se rattachent des rameaux que nous qualifierons de second ordre (p.30, PL.F - PL.1, Fig. 3 à 6 - PL.11, Fig. 1, 2 et 4).

Plus un rameau secondaire est ancien plus il est près de la base, plus sa structure sera évoluée. Nous considérerons donc plusieurs types d'axes de second ordre.

1°) Type : Nous le rencontrons pour la première fois sur la lame 883 1T₂4 (PL.I, Fig.4), la lame 883 11T₂13 en montre également un qui vient de se détacher de l'axe principal (PL.1, Fig.3) - Malheureusement ils sont très mal conservés et n'apportent guère de nouvelles données.

- La stèle ligneuse -

Elle est plus petite que celle de la tige mère, ses côtés sont également un peu plus concaves et les trachéides de taille plus réduite. A chaque

extrémité des bras, le protoxylème très abîmé ne nous permet pas de savoir s'il comprend un ou deux pôles trachéens (p.12, PL.8. Fig.3).

En plus de la protostèle ligneuse, le bois comporte une rangée de trachées secondaires en voie de différenciation se logeant dans une des trois concavités. Ces fibres vasculaires ligneuses diminuent nettement de taille en se rapprochant des pôles initiaux. Elles sont séparées du métaxylème par une mince bande parenchymateuse souvent détruite (PL.1, Fig. 3 et 4). Ainsi le cambium apparaît en premier lieu au niveau des concavités. Cette assise génératrice est tout d'abord discontinue. Son individualisation n'a pas lieu simultanément le long des trois côtés de la stèle ligneuse, il y a un léger décalage dans le temps. Par la suite, le cambium se complète pour engendrer un pachyte continu, grâce à son activité mitotique. C'est-à-dire que l'ensemble du liber et bois secondaires constitue alors un anneau complet. L'examen de la lame 883 IVT₂³² comportant un rameau d'ordre deux de type 1 déjà plus différencié confirme nos dires (PL.1, Fig.5).

- Le cambium et le liber -

Sur ces rameaux, ils sont totalement disparus.

- Le péricycle et l'endoderme -

Cette formation fut également entièrement détruite.

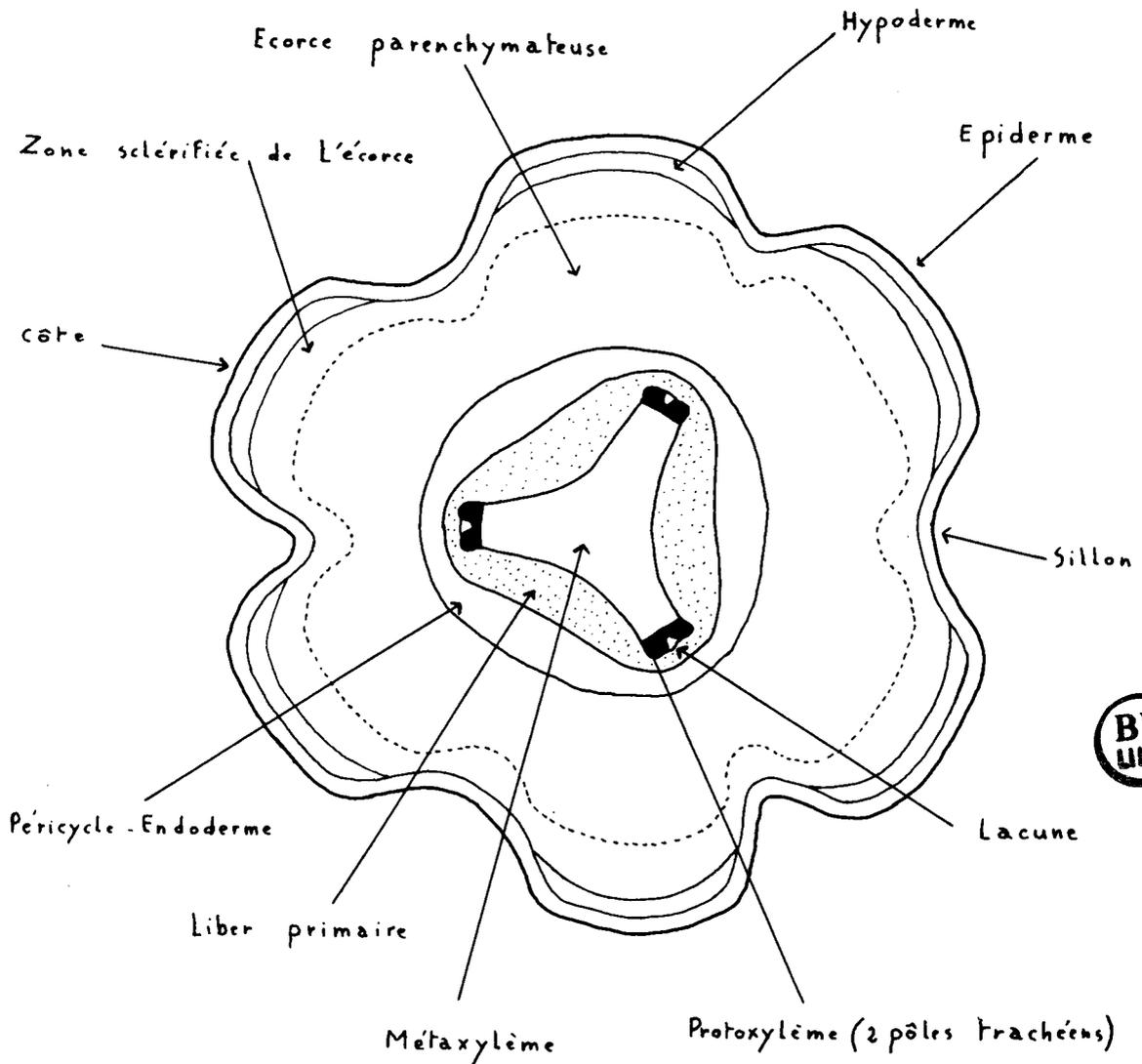
- L'écorce primaire et l'épiderme -

De l'écorce primaire ne subsiste guère que la partie sclérifiée (PL.1, Fig.3 et 4). L'épiderme abîmé est souvent déchiré. Cette zone présente des côtes et des sillons déformés n'occupant plus en général, leur place originelle par rapport au bois, aussi, nous les étudierons ultérieurement. Entre l'écorce et l'épiderme, au niveau des cannelures, un espace est souvent ménagé où devait se loger l'hypoderme qui sur ce type de rameau mal conservé n'a pu être observé.

2°) Type : Ce second type apparaît sur la lame 883 11T₂¹⁹. C'est un rameau de taille importante, sensiblement égale à celle de la tige mère. Sa fossilisation fut bonne (PL.1, Fig.6 - PL.11, Fig.2).

Nous avons, à la page 30, planche F, représenté schématiquement la structure interne de cet axe.

Schéma de La structure interne d'un Rameau de second ordre du Type 2



- La stèle ligneuse -

Elle est de dimension identique à celle de l'axe principal. Elle est toujours triangulaire, mais les concavités sont très nettement marquées. Les bras larges diminuent légèrement de dimension pour se terminer par deux pôles trachéens divergents délimitant entre eux une petite lacune (PL.1, Fig.6). Ce rameau juste avant une émission foliaire présente sur la section 883 111T₂³⁰ deux très belles boucles, malheureusement le troisième pôle abimé ne la montre plus (PL.11, Fig.6). Un axe semblable sur la lame 883 IVT₂³⁹ étale une très belle lacune entièrement entourée de protoxylème disposé en deux amas principaux réunis extérieurement par une rangée de petites trachéides. Ceci se situe juste au-dessus d'une sortie foliaire (PL.111.Fig.7).

Nous pouvons donc reconstituer l'évolution des pôles initiaux s'appliquant à la tige mère et aux rameaux de second ordre. Au niveau des entre-noeuds, chaque pôle trachéen est dédoublé en deux petites masses comme chez Sphenophyllum quadrifidum. En se rapprochant des noeuds, ces deux amas se développent pour tenter d'établir une boucle qui existe juste avant et après l'émission foliaire comme chez Sphenophyllum insigne. Nous verrons ultérieurement que la boucle s'ouvre lors de l'émission foliaire. Cette évolution est peu perceptible sur la tige principale car là, par suite du fonctionnement du cambium, le protoxylème s'est trouvé écrasé, ses éléments ont pu ainsi, pour s'adapter aux nouvelles conditions, se déplacer en direction de la lacune (p.12, PL.B.Fig.1).

- Le liber -

Il s'agit comme pour le bois de phloème primaire très bien conservé sur la lame 883 111T₂³⁰ qui nous a permis de décrire ce tissu si rarement fossilisé (PL.11, Fig.6).

- Le péricycle et l'endoderme -

Tout cylindre central est limité par un péricycle alternant en principe avec un endoderme. Nos sections ne nous permettent pas de différencier ces deux formations qui ici présentent les mêmes caractères morphologiques par suite d'une évolution trop peu poussée comme chez la plupart des tiges des Spermaphytes actuelles. Il en résulte que la délimitation de la protostèle ne peut être précise (PL.1, Fig.6).

Le phloème primaire plus épais dans les concavités atténue la forme triangulaire, le plérome c'est-à-dire le cylindre central est alors sub-circulaire, légèrement plus aplati en face du métaxylème (p.30, PL.F).

- L'écorce primaire et l'épiderme -

Nous les avons déjà décrits, et ici nous étudierons plus spécialement la disposition des côtes et des sillons.

Face à chaque simple pôle trachéen se trouve une côte séparée de la suivante par un sillon (PL.1, Fig.6). Les sillons situés en regard du métaxylème se montrent plus importants que ceux compris entre deux côtes placées dans le prolongement de deux pôles initiaux d'un même bras. Ainsi les cannelures sont groupées en trois ensembles, séparés par les trois plus importantes vallécules (p.30, PL.F). Ceci ne s'observe que sur les plus belles écorces primaires, autrement, les sillons nous apparaissent identiques à l'examen microscopique. Nous verrons lors de l'étude des feuilles que celles-ci se rattachent par l'intermédiaire des côtes sur les tiges. L'analyse de sections réalisées à des niveaux différents montre que les cannelures n'alternent pas, mais qu'elles se prolongent sans interruption d'un article au suivant. Cependant, elles sont peu marquées aux noeuds. Leur nombre typiquement de six peut passer à sept et même huit (PL.11, Fig.2). Au niveau des zones articulaires, la tige est nettement plus large, ceci n'est dû qu'à un développement plus important de l'écorce.

Il est à remarquer que ce second type de rameau plus jeune que le type 1 mais de taille supérieure présente une stèle ligneuse plus grande à bords plus concaves par rapport à la première forme d'axe d'ordre deux.

3^e) Type : Nous ne le rencontrons qu'une seule fois et ceci sur la lame mince 883 11T₂ 16 (PL.11, Fig.1). Nous possédons de cette formation sa trace raméale que nous étudierons plus loin.

C'est une masse arrondie, de dimension voisine de celle du rameau primaire. Elle est aplatie en regard de la tige mère. Elle est coupée un peu obliquement par rapport à l'axe principal qui a repris sa structure habituelle sur cette section.

- La stèle ligneuse -

Au centre se distingue un amas sombre triangulaire formé d'éléments à paroi épaisse dont certains situés vers les extrémités des bras montrent des épaisissements scalariformes. Nous sommes donc bien en présence du bois primaire mal conservé, de petite taille, dans lequel le protoxylème ne se différencie pas à l'observation du métaxylème.

- Le liber -

A l'observation microscopique le xylème primaire semble entouré de petites cellules à paroi fine, disposées sans ordre, mieux représentées en regard de l'axe principal où elles ne paraissent pas avoir subi de déformations importantes. Ce serait donc le phloème.

- Ensemble des tissus externes -

Un ensemble de cellules ovalaires à sub-rectangulaires plus ou moins empilées radialement entoure le liber. La limite entre, ce que nous avons supposé être du phloème et les tissus externes n'apparaît pas nettement à l'observation. En regard de l'axe principal cette formation périphérique plus épaisse est coupée plus obliquement. Elle renferme deux travées de vaisseaux surtout ponctués entourés d'éléments libériens très détruits. Un de ces deux manchons est en relation avec deux petites racines à structure primaire. L'absence de tissus sclérifiés et d'épiderme est totale.

Nous n'observons cette formation que sur la lame 883 11T₂16. Sa longueur réduite et sa petite stèle peu évoluée nous font penser à un très jeune rameau. Les cellules ovalaires plus ou moins disposées radialement doivent être interprétées comme faisant partie d'une écorce secondaire qui n'aurait pas, ou très peu, subi une imprégnation de subérine prouvée par la présence des deux petites racines. Il semblerait donc que par suite d'une croissance très lente, le bourgeon se soit trouvé repris à sa base par les formations secondaires dont celle du périoderme. Augmentant de taille, il se serait dégagé de la tige en entraînant avec lui une écorce secondaire non ou peu subérifiée allant certainement en diminuant de taille pour laisser la place à l'écorce primaire.

3^e) Les rameaux d'ordre trois -

Ils présentent une structure exclusivement primaire. Ils furent malheureusement très abimés lors de leur fossilisation (PL.11, Fig.4 et 5).

- La stèle ligneuse -

Plus petite que celle de l'axe principal, ses côtés sont très nettement concaves (PL.11, Fig.5). Ses éléments moins nombreux comparativement aux autres rameaux sont de dimension notablement plus réduite. A chaque extrémité, des bras grêles se situe le protoxylème. Sa conservation fut mauvaise et souvent, il a disparu lors de la fossilisation. Les lames minces 883 11T₂17 et 883 11T₂22 nous le montrent formant une masse unique (p.12, PL.8, Fig.4 - PL.11, Fig.5). Ce sont pratiquement les deux seules observations précises que nous avons pu réaliser. Il semblerait donc qu'il n'existe pas ici de doubles pôles trachéens en dehors des émissions foliaires.

Ainsi la présence de doubles pôles initiaux paraît être en relation avec l'ordre des rameaux : ils existent pour la tige principale et les rameaux secondaires évolués, à partir des ramifications tertiaires le protoxylème devient simple.

- Le phloème -

Très fréquemment détruit nous l'avons cependant rencontré sur la section 883 11T₂16 (PL.11, Fig.4).

- Le péricycle et d'endoderme -

Cette formation n'a pas été observée de façon certaine sur ce type d'axe.

- L'écorce primaire et l'épiderme -

L'écorce primaire est pratiquement réduite à sa zone sclérifiée. La sclérification est ici plus poussée que précédemment. La destruction de la partie interne du parenchyme cortical a eu pour effet d'accentuer les cannelures en principe au nombre de six (PL.11, Fig.5). L'hypoderme semblerait avoir existé mais il est détruit et n'est plus visible. Sa position est marquée par une lacune (PL.11, Fig.5) qui dans ce cas ne correspond pas à un décollement de l'assise superficielle souvent déchirée.

4^e) Les rameaux d'ordre quatre -

Leur présence n'est pas certaine, néanmoins nous décrirons sous ce nom une structure primaire rencontrée sur les lames 883 11T₂13 et 883 11T₂14 - Ce rameau de taille très réduite est circulaire en section transversale (PL.11, Fig.3). C'est d'ailleurs le seul type de sections que nous possédons de cette formation.

- La stèle libéro-ligneuse -

Au centre, la stèle ligneuse triangulaire à côtés nettement concaves, se termine à l'extrémité de chaque bras par un pôle simple de protoxylème. Le bois se compose d'un petit nombre de trachéïdes de calibre réduit (p.20, PL.0, Fig.5).

Le liber se dispose en trois masses distinctes dans les concavités, de telle sorte que le cylindre central soit circulaire.

- Le péricycle et l'endoderme -

Autour du liber une assise de cellules à paroi mince sub-quadratiques alterne avec une rangée d'éléments sub-rectangulaires à cloison latérale très légèrement épaissie. La rangée interne est donc le péricycle qui termine la stèle ici nettement délimitée pour la première fois. Elle est entourée de l'endoderme. (PL.11.Fig.3).

- L'écorce primaire et l'épiderme -

Contre l'endoderme s'appliquent des cellules parenchymateuses à paroi fine, plus ou moins arrondies et ménageant entre elles de petits méats.

Au dessus nous trouvons un parenchyme très mal conservé formé d'éléments ovalaires, de grande taille à membrane très fine et séparés par de larges méats.

Ensuite un épiderme et un sous-épiderme terminent la tige. Ils sont constitués chacun d'une assise de cellules à paroi mince, sub-circulaires de dimension importante. La paroi externe de l'assise superficielle est à peine épaissie.

REMARQUES - Ce rameau décrit est par son plérome un Sphenophyllum mais par son écorce il s'éloigne notablement de ce genre. Il se pourrait que le cylindre libéro-ligneux de cet axe ne présente avec celui des sphénophyllales qu'une convergence de forme.

Si c'est un Sphenophyllum il est intéressant de noter qu'ici la stèle est, pour la première fois parfaitement délimitée. Il semblerait donc, que l'ordre des rameaux s'élevant, le cylindre central se simplifie pour acquérir une forme plus classique de stèle de Cryptogam^e vasculaire. Une telle modification du plérome se rencontre sur nos plantes actuelles, et c'est là un argument en faveur de l'hypothèse attribuant cet axe au genre Sphenophyllum.

C - LES SORTIES RAMEALES - (PL.1, Fig. 1 à 6 - PL.11, Fig. 1 à 6).

La tige des Sphenophyllum se ramifie comme toute tige par la formation de rameaux latéraux. Seule la lame 883 11T₂15 nous a permis d'observer la naissance d'un axe dont nous étudierons préalablement la trace (PL.1, Fig.2).

I^o) Trace raméale -

Cette émission débute au niveau du double pôle de protoxylème qui s'est aplati transversalement et allongé radialement. Des trachéides ponctuées et scalariformes aussi étirées radialement, constituent avec le protoxylème un manchon de bois primaire entouré d'éléments secondaires fasciculés. Cette zone de xylème secondaire se montre nettement plus développée que les autres zones de bois de la section qui de ce fait, prend un contour ovalaire. Le manchon ligneux primaire semble se redresser assez rapidement, en effet : la taille de ses éléments diminue notablement à son extrémité. La trace raméale ne montre pas ici les autres tissus rencontrés sur les jeunes structures. Cette absence paraît imputable à la différenciation et au fonctionnement du cambium qui a repoussé ces formations vers l'extérieur. C'est-à-dire : le liber primaire, le péricycle-endoderme et l'écorce primaire avec l'épiderme. L'assise subéro-phéllodermique, à son tour, s'individualise et fonctionne ce qui entraîne la chute de l'écorce primaire avec son épiderme. Il est intéressant de noter que le périoderme en regard de la trace raméale a perdu sa disposition caractéristique. Il s'est déformé pour prendre l'aspect d'un parenchyme composé de cellules sans forme définie, agencées de manière quelconque. Nous pouvons nous demander si un tel remaniement opéré du vivant de la plante n'a pas empêché la subérification normalement faible. Dans l'affirmative, ce qui paraît être le cas ici nous aurions une large lenticelle. Cette interprétation se trouve corroborée par notre étude du rameau secondaire du type 3 situé sur la lame 883 11T₂16 (PL.11, Fig.1)

2°) Les sorties raméales -

Nous pouvons observer les sorties raméales grâce à une série de coupes échelonnées et orientées. Cette étude est rendue délicate par le fait que certains rameaux brisés ont pu changer de place et se présenter sur la même lame à côté de celui qui seul devrait exister. En plus certaines portions de branches ont pu disparaître lors de la fossilisation et être ainsi absente sur un certain nombre de lames. Cette même formation retrouvée à un niveau supérieur pourrait alors être appelée nouvelle sortie raméale ce qui serait totalement faux.

Nous n'étudierons que les sorties concernant la tige principale et les axes qui l'entourent sur les lames numérotées de 883 1T₂4 à 883 111T₂29.

Le premier axe d'ordre deux observé, issu d'une ramification monopodiale de la tige principale est situé sur la lame 883 1T₂4 (PL.1, Fig.4). Cette branche absente sur les plaques 883 1T₂8 et 883 1T₂9 réapparaît un peu plus haut sur la plaque 883 11T₂13. Elle porte un rameau tertiaire déjà individualisé sur la lame 883 1T₂4 (PL.11, Fig.5). La tige mère se divise à nouveau pour donner un axe caulinaire d'ordre deux observé pour la première fois sur la section 883 11T₂13. Ce nouvel axe ne tarde pas à diviser pour former un nouveau rameau d'ordre trois uniquement présent sur les lames 883 11T₂16 et 883 11T₂17 (PL.11, Fig.4). Un peu plus haut s'insère sur la tige mère (lame 883 11T₂15) un rameau secondaire très peu évolué (PL.11, Fig.1). La dernière division de la tige principale fut observée sur la lame 883 11T₂19. Ce nouvel axe secondaire bien conservé (PL.1, Fig.6) ne porte qu'une petite racine aérienne (lame mince 883 111T₂26 - PL.11, Fig.2).

CONCLUSION -

La naissance de rameaux latéraux se réalise à partir des tiges principales sans ordre apparent. Ils s'y rattachent face au protoxylème. Cette insertion a lieu au niveau des nœuds. Ce résultat nous est fourni par les empreintes. Nous pouvons alors dire que la trace raméale chemine horizontalement dans la zone articulaire pour se redresser brusquement suivant un angle voisin de 90° pour constituer un nouvel axe. Les rameaux secondaires de la base différenciés les premiers seront en principe plus évolués que ceux apparus plus tardivement. Mais il arrive fréquemment qu'une sortie présente un retard dans sa croissance et soit moins évo-

luée qu'une émission située à un niveau supérieur. C'est notamment le cas de la ramification située sur la lame 883 11T₂16 nettement moins différenciée que celle apparue sur la section 883 11T₂19.

La naissance de rameaux de troisième ordre est assez rare, celle de rameaux du quatrième ordre très incertaine.

Une telle étude permet la reconstitution de la plante.

D - LES RACINES - (p.42, PL.G - p.46, PL.H - PL.11, Fig 1 - PL.111, Fig.1 à 3)

Les racines sont sur nos coupes relativement nombreuses, disposées autour des rameaux sur lesquels elles se rattachent au niveau des noeuds. Il s'agit là de racines adventives. C'est sur elles que notre étude portera. Les Sphenophyllum possédaient néanmoins un organe souterrain fixateur comme toute plante évoluée. En principe de par sa position, il devrait être absent de nos lames, mais lors de la fossilisation, certains fragments brisés ont pu se trouver entraînés à la hauteur des axes aériens et figurer ainsi sur nos sections. Si cela est, il est identique aux racines aériennes. La similitude des deux types de racines n'est pas une règle absolue chez nos plantes actuelles, aussi nous ne pouvons affirmer que les Sphenophyllum possèdent des racines adventives et souterraines semblables.

Nous adopterons le plan suivant :

- 1^o) Etude des différents tissus
- 2^o) Etude de la structure primaire
- 3^o) Passage à la structure secondaire
- 4^o) Etude de la structure secondaire
- 5^o) Origine de la racine adventive, sa division.

I^e) Etude des différents tissus -

Nous allons rencontrer les mêmes tissus que ceux déjà examinés pour les tiges, aussi notre étude sera brève et comparative.

- Le bois primaire -

Souvent le bois primaire se présente sous une forme ovale de dimension très réduite. Ses éléments peu nombreux à section transversale polyédrique augmentent de taille en direction du centre. Sa différenciation est donc centripète. Chaque extrémité du grand axe est en général occupée par un simple amas de trachéides au nombre de trois, quatre, parfois moins, constituant le protoxylème. Le métaxylème joint les deux pôles trachéens (p.42, PL.G - p.46, PL.H, Fig.3):

Nos lames n'offrent pas de sections longitudinales, et les coupes obliques du xylème primaire ne nous permettent guère d'étudier correctement l'ornementation de ses vaisseaux imparfaits. Cependant, le bois primaire des racines comporte les mêmes types de trachéides que celui des tiges : chaque pôle initial comporte des trachées annelées tandis que le métaxylème central renferme des éléments ponctués. En se rapprochant du protoxylème, les éléments ponctués font place aux fibres vasculaires ligneuses scalariformes (lame 883 11T₂22).

- Le liber primaire -

Chez les structures jeunes le liber primaire s'applique contre le bois primaire (p.42, PL.G, Fig.1). Il n'a pas été noté sur les racines à structure secondaire.

En raison de sa nature fragile, sa fossilisation fut très imparfaite. Souvent chez les formes jeunes il a substitué en partie après s'être déformé, il ne demeure en général de ses éléments que des fragments des parois qui ont pu subir une imprégnation anormale (p.42, PL.G, Fig.1 et 2). Elles apparaissent alors épaissies comme pour le liber secondaire des tiges. Les traces cellulaires et parfois aussi les cellules entières permettent la reconstitution de ce liber semblable à celui des tiges. Il se composait de petits éléments à contour polyédrique variable, semblables entre eux. En section transversale le tube criblé ne se distinguait donc pas des éléments parenchymateux.

- Le bois secondaire -

Il est assez semblable à celui des axes aériens. Ses éléments sub-quadratiques augmentent de taille vers la périphérie. Son développement est donc centrifuge. Les trachéides le composant sont de dimension très inférieure à celle de la tige.

Les sections transversales montrent un xylème homogène dans lequel nous ne pouvons délimiter un bois fasciculé et inter-fasciculé (PL.111, Fig.1). Cependant lorsque le deutéroxylème est peu abondant il est possible de localiser un étroit xylème fasciculé situé au dessus des pôles trachéens formé d'éléments de petite taille et de nombreuses cellules parenchymateuses alternant avec un xylème inter-fasciculé de grande largeur à trachéides plus volumineuses (PL.111, Fig.2). Lorsque l'anneau de bois s'accroît, cette légère différence s'estompe. Le deutéroxylème constitue alors un ensemble homogène.

Les trachéides présentent, en sections obliques, sur leur paroi tangentielle et radiale de nombreuses ponctuations sub-rectangulaires identiques à celles des tiges. Elles sont également disposées en bandes plus ou moins parallèles. (lame 883 11T₂22).

Bien qu'homogène ce bois n'offre pas une organisation aussi régulière que celui des axes caulinaires.

Les éléments parenchymateux abondants sont disposés en rayons médullaires tout à fait comparables à ceux du bois fasciculé (p.46, PL.M, Fig.4).

- Le cambium et le liber secondaire -

Le phloème secondaire résulte du fonctionnement du cambium qui n'a laissé sur nos lames aucune trace. Le liber secondaire n'existe pas de façon certaine sur nos sections. Parfois, sur son emplacement nous notons une, deux cellules sub-rectangulaires à paroi mince qui paraissent appartenir au phloème.

De ces résultats plus qu'imprécis nous ne pouvons guère tirer de renseignements.

Cependant, comme pour les tiges, l'anneau de bois continu nous oblige à admettre la présence d'un cambium appuyé contre lui.

- Le péricycle -

En section transversale le péricycle forme un anneau complet d'une seule assise de cellules à membrane fine, de taille moyenne (p.42, PL.G, Fig.1 et 2).

- L'endoderme -

L'endoderme constitue une assise unicellulaire complète d'éléments de dimension moyenne, sub-rectangulaires à cloison très légèrement épaissie. Souvent il renferme des inclusions opaques qui prouveraient son rôle de tissu de réserve. (p.42, PL.G, Fig.1 et 2 - PL.11, Fig.1 - PL.111, Fig.3).

Avec le passage à la structure secondaire, péricycle et endoderme perdent leur individualité pour se confondre avec le parenchyme cortical (p.42, PL.G, Fig.2 - PL.111, Fig.2).

- L'écorce primaire -

L'écorce primaire peu épaisse, circulaire, se termine par un épiderme. Nous n'en possédons que des coupes transversales ou un peu obliques.

a) La zone interne - Elle se compose d'une assise de cellules superposées à l'endoderme (p.42, PL.G, Fig.1). Elles sont à fine membrane, à contour variable mais toujours voisin du rectangle. Cette zone importante sur les racines actuelles n'est ici qu'ébauchée.

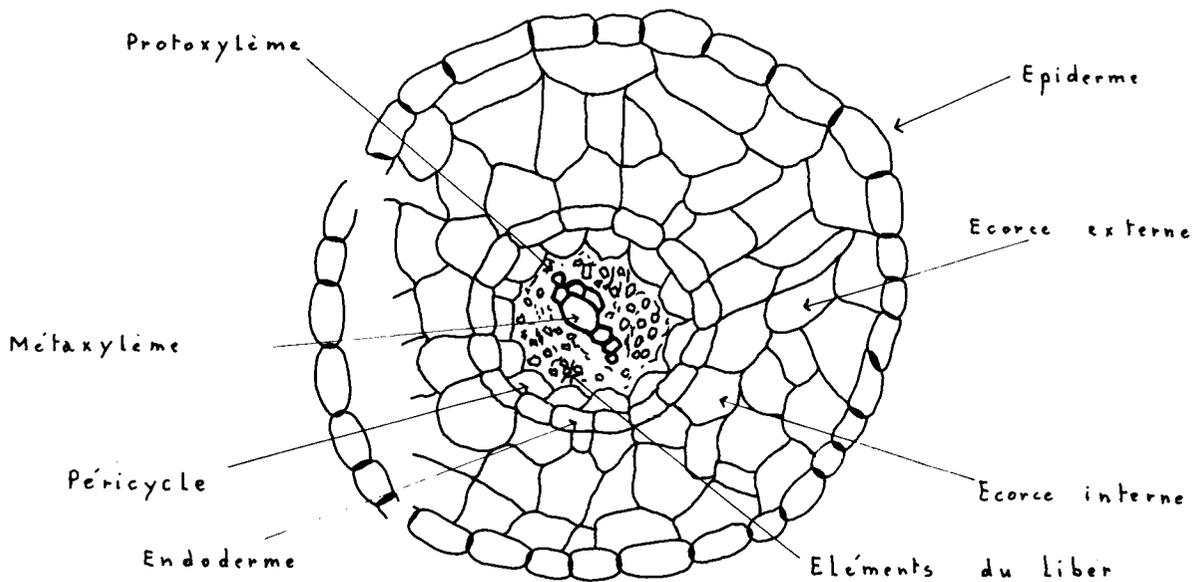
b) La zone externe - Elle est constituée de quelques assises de cellules à paroi mince, à contour relativement géométrique et à disposition quelconque.

Les cellules de l'écorce primaire intimement accolées les unes contre les autres ne laissent subsister entre elles que de très rares méats (p.42, PL.G, Fig.1 et 2). Le parenchyme cortical renferme souvent des inclusions sombres qui indiqueraient le rôle de tissu de réserve de cette formation (PL.111, Fig.2).

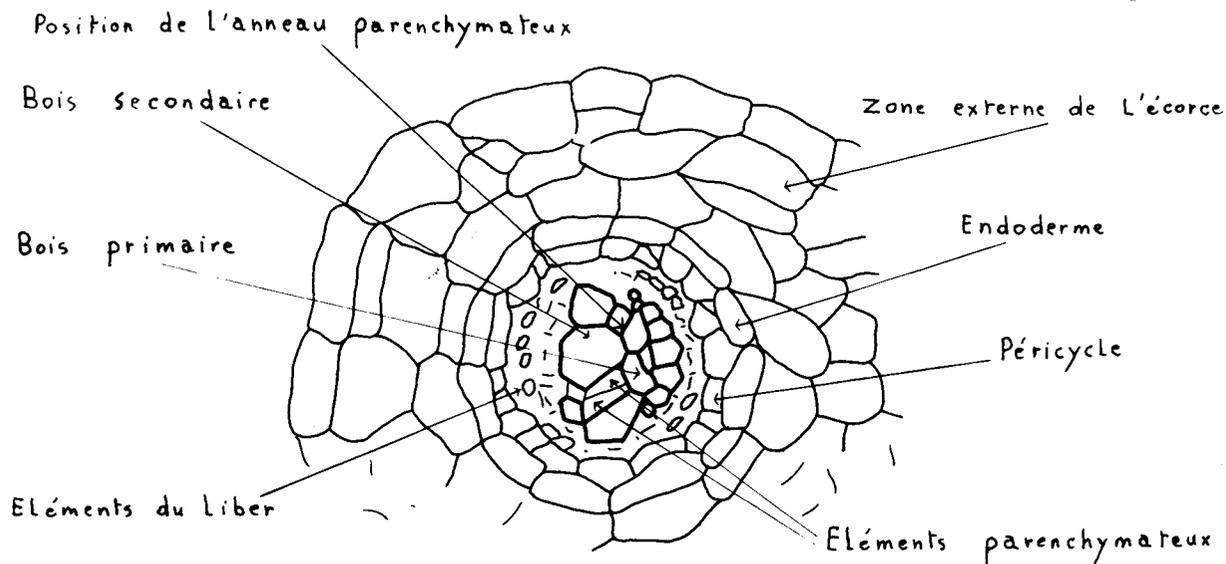
- L'écorce secondaire -

L'écorce secondaire résulte du fonctionnement d'une assise génératrice subéro-phellodermique. Nous n'avons observé cette écorce que sur la lame mince 883 VIT₂47. Le périderme de la racine présente les mêmes caractéristiques que

RACINES AERIENNES



1 Structure primaire (plaque 883 II T₂ 22)



2 Passage à la Structure Secondaire

(plaque 883 III T₂ 28)

celui de la tige. Il en diffère cependant par deux petits détails : tout d'abord il est moins épais, et ensuite ses parois sont mieux subérifiées (p.46, PL.H, Fig.5 - PL.III, Fig.1). Nous n'avons pas observé de lenticelles.

- L'épiderme -

L'épiderme recouvre les racines (p.42, PL.G, Fig.1 - PL.III, Fig.3). Il est en contact avec le milieu extérieur, c'est dire que sa fossilisation fut imparfaite et ceci pour les raisons déjà invoquées lors de l'étude de l'épiderme des tiges.

En section transversale il est circulaire, formé d'une couche de cellules d'assez grande taille, sub-rectangulaires. Il offre une particularité spéciale : les épaisissements sont localisés sur les parois latérales qui parfois se sont décollées dans leur partie médiane. Ceci pourrait bien être le résultat de déformations subies par l'assise superficielle lors de sa pétrification par dolomitisation.

Une telle organisation n'est pas sans rappeler l'endoderme tel que nous le voyons sur certaines de nos plantes actuelles.

2^e- Etude de la structure primaire -

Cette structure nous la rencontrons chez les jeunes racines où se distinguent nettement une zone interne : le plérome et une zone externe : l'écorce primaire terminée par l'épiderme. Elles sont toujours de très petite taille (p.42, PL.G, Fig.1 - PL.II, Fig.1).

- La stèle ligneuse -

La stèle ligneuse en position centrale, ovale, de petite taille présente ordinairement à chaque extrémité du grand axe un pôle initial (p.46, PL.H, Fig.3). Cependant une petite racine située sur la lame 883 1T₂⁴ ne présente qu'un pôle de protoxylème (p.46, PL.H, Fig.1). Il pourrait s'agir là d'une ultime ramification où se sont différenciées quatre fibres de bois. La section 883 11T₂¹⁴ présente quant à elle une stèle ligneuse tripolaire semblable à celle des tiges (p.46, PL.H, Fig.2).

Nous voyons donc que contrairement aux tiges, le bois de la racine, de forme variable n'est pas aussi caractéristique.

- Le phloème primaire -

Il se dispose en deux amas principaux situés face au métaxylème, indépendants ou non selon l'allongement du bois primaire (p.42, PL.G, Fig.1). L'étude des structures secondaires montre que sa partie profonde au contact du xylème primaire ne comporte que des éléments parenchymateux. Nous avons également ceci pour le liber des rameaux.

- Le péricycle et l'endoderme -

Le péricycle se compose d'une assise de cellule. Il termine le cylindre central ou plérome. Il alterne avec l'endoderme. La présence de la gaine protectrice a pour résultat de délimiter la stèle avec précision (p.42, PL.G, Fig.1) -

- L'écorce primaire et l'épiderme -

L'écorce primaire peu épaisse se termine par un épiderme (p.42, PL.G, Fig.1). Ce dernier n'existe que pendant une courte période. En effet il s'altère très vite et sur les formes plus évoluées, il n'est plus représenté que par quelques reliquats. Parfois il est totalement disparu (PL.11, Fig.1). Ceci rappelle l'assise pilifère qui, sur nos plantes actuelles se détache rapidement de la racine pour découvrir une zone subéreuse. Il semblerait donc que les cellules corticales externes subérifient très légèrement leur paroi. Cette modification très peu marquée n'est pas perceptible sur nos lames, mais elle serait responsable de la chute de l'épiderme.

REMARQUE - Le terme d'épiderme employé n'est pas très correct. La racine adventive ayant nous le verrons plus loin une origine endogène, son assise superficielle n'a de commun avec celle de la tige que sa position externe.

3^e) Passage à la structure secondaire -

Les tissus secondaires se forment à partir du fonctionnement d'assises génératrices qui assurent l'accroissement des organes en épaisseur.

La première apparue est le cambium (p.42, PL.G, Fig.2) ensuite se différencie l'assise subéro-phellodermique.

- Différenciation du cambium -

Le cambium n'a jamais été observé sur nos coupes, mais il donne du bois vers l'intérieur qui lui a été conservé. Les résultats fournis par l'examen des lames montrent que la différenciation du cambium chez la racine est identique à celle de la tige. Ainsi : l'assise génératrice s'individualise d'abord au niveau du métaxylème tout en restant séparé de celui-ci par une mince bande parenchymateuse. Ce méristème secondaire s'étend ensuite latéralement pour constituer un anneau complet. Il engendre par son activité mitotique : le bois secondaire à différenciation centrifuge et le liber secondaire à différenciation centripète.

- Différenciation de l'assise subéro-phellodermique -

L'assise subéro-phellodermique n'a pu être observée. Le périderme des racines n'a été noté que sur la lame 883 VIT₂47 où sa base est détruite avec les tissus sur lesquels il reposait. Nous ne pouvons donc dire à partir de quels éléments ce méristème tire son origine. Cependant l'existence d'un rhytidome important suggère l'idée d'une individualisation profonde (PL.111.Fig.1).

4^o) Etude de la structure secondaire -

Cette structure nous la rencontrons chez les racines âgées. La radicle la plus différenciée située sur la lame 883 VI T₂47 mesure moins de 2 mm en section transversale (PL.111, Fig.1).

- La stèle ligneuse primaire -

En position centrale, ovales, de petite taille, toutes les stèles ligneuses primaires observées n'ont présenté qu'un pôle trachéen à chaque extrémité du grand axe (PL.111, Fig. 1 et 2).

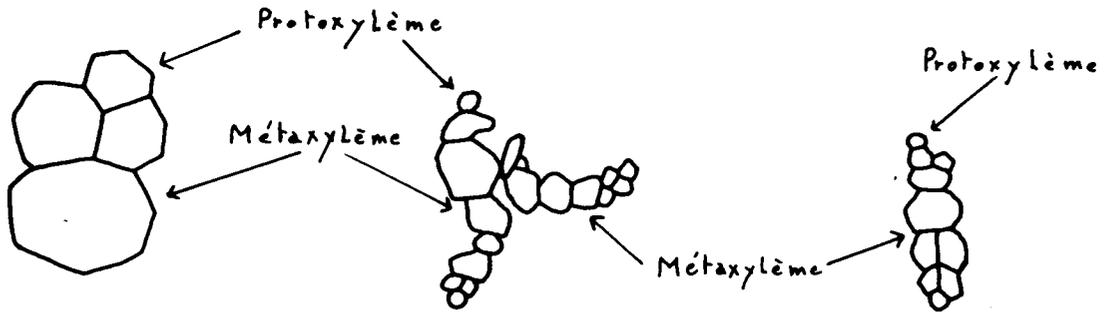
- La zone parenchymateuse -

Peu développée, souvent détruite, elle entoure le bois primaire (PL. 111. Fig.1 et 2). Elle est comme pour la tige plus épaisse au contact du métaxylème ponctué. Elle s'amincit en direction des pôles de protoxylème.

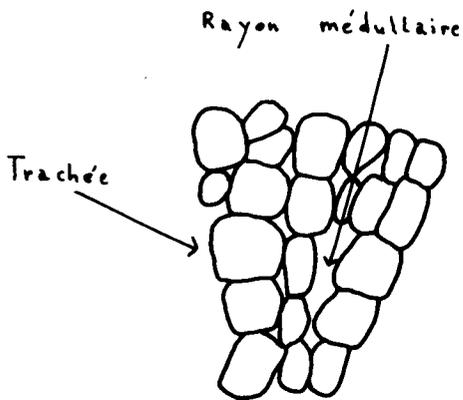
- Le bois secondaire -

Le bois secondaire à développement centrifuge forme un anneau complet de trachéides ponctuées autour de la zone parenchymateuse (PL.111, Fig.1 et 2).

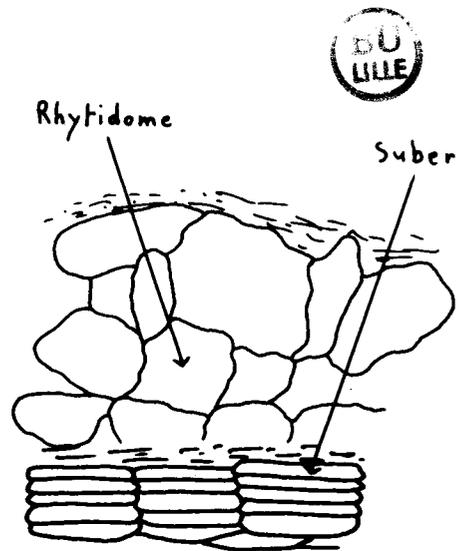
RACINES AÉRIENNES



- 1 Stèle ligneuse unipolaire (plaque N° 883 I T₂ 4)
 2 Stèle ligneuse tripolaire (plaque 883 II T₂ 14)
 3 Stèle ligneuse bipolaire (plaque 883 II T₂ 17)



- 4 Bois secondaire
(plaque 883 III T₂ 47)



- 5 Suber et Rhytidome
(plaque 883 III T₂ 47)



La disposition radiale des fibres ligneuses vasculaires est relativement régulière, par contre les rangées concentriques sont plus difficilement observables par suite de l'intercalation de nouveaux rayons et d'éléments trachéens de dimension réduite (p. 46, PL.H, Fig.4).

Au dessus du protoxylème la différenciation du cambium est plus tardive, il y a là retard dans la trachéogénèse, les vaisseaux imparfaits y seront donc, du moins au début de la formation de l'anneau de bois plus petits. Il est alors possible de définir un xylème fasciculé et inter-fasciculé. Cette distinction visible sur la racine située sur la lame 883 IT₂4 (PL.111, Fig.2) va en s'atténuant avec l'accroissement diamétral du deutéroxylème, et la racine de la lame 883 VIT₂47 (PL.111, Fig.1) n'offre à l'observation qu'un seul type de bois secondaire avec d'abondantes formations parenchymateuses.

- Le cambium et le liber secondaire -

Leur présence est certaine bien que l'examen de nos sections ne nous permette pas cette affirmation. Ils entouraient le deutéroxylème.

- Le liber primaire -

Il n'est pas visible. Repoussé par le bois et le phloème secondaires il devait constituer un tissu en voie de régression.

- Le péricycle et l'endoderme -

Par suite de l'augmentation du diamètre de la racine ces deux assises perdent leurs caractères propres, et nous n'arrivons plus à les distinguer de l'écorce banale.

Deux cas sont maintenant à considérer : voici le premier (PL.111, Fig.2)

- L'écorce primaire et l'épiderme -

L'assise subéro-phéllodermique ne s'est pas encore individualisée, aussi l'écorce primaire fait partie intégrante de la racine. De l'épiderme peuvent encore subsister quelques lambeaux. Le parenchyme cortical repoussé par les formations secondaires s'est adapté aux nouvelles conditions, ses cellules se sont aplaties tangentielllement et sont devenues, en section transversale, sub-rectangulaires. Du fait de leur tassement, les méats sont très rares. Ce tissu renfer-

me toujours des inclusions qui indiqueraient son rôle d'organe de réserve.

Un autre cas se présente sur la lame mince 883 VIT₂⁴⁷ (Pl.111, Fig.1)

- Le périderme et le rhytidome -

Le périderme dont nous ignorons l'origine comporte un nombre d'éléments moins élevé que celui des tiges, mais leur paroi plus épaisse indique une différenciation plus prononcée. Le suber isole l'écorce primaire, ignorant l'origine de cette formation secondaire, nous ne savons s'il s'agit de la totalité ou non du parenchyme cortical dont les éléments repoussés par le développement des axes en diamètre s'écrasent les uns contre les autres. Les cellules s'adaptent à la pression mécanique exercée en se déformant, de sub-rectangulaires, elles sont passées à des formes et des dimensions différentes selon les éléments considérés (Pl.111, Fig 1). Mais isolé des racines par le liège, l'écorce régresse, et sur la section 883 VIT₂⁴⁷ elle montre des parois peu nettes altérées. Ce rhytidome finit probablement comme celui des tiges par tomber.

Le liège devait de place en place être interrompu par des lenticelles. La seule plaque (883 VIT₂⁴⁷) présentant un suber n'en comporte pas, cependant leur existence pour des raisons d'ordres physiologiques ne peut être rejetée.

REMARQUE - Nous notons une grande analogie entre la structure primaire et secondaire de la tige et celles correspondantes de la racine. Notre étude comparative se trouve résumée dans le tableau de la page 58.

5^o) Origine de la racine adventive, sa division. -

- Origine de la racine adventive.

Seule la lame 883 111T₂²⁶ nous a permis d'observer le raccordement des tissus d'une racine adventive avec ceux de la tige mère et ainsi de connaître l'origine et le mode de formation de ces racines (Pl.11, Fig.2).

Elles prennent naissance aux noeuds, là, où l'écorce primaire est plus épaisse. La section nous préoccupant située sur la lame 883 111T₂²⁶ ne montre pas de faisceaux foliaires dans les côtes ni dans le parenchyme cortical, cependant les boucles sont ouvertes. Nous sommes donc à un niveau légèrement inférieur à celui des émissions vasculaires foliaires que nous étudierons un peu plus loin.

La racine s'insère sur l'axe aérien entre deux cannelures et en face d'un des trois bras ligneux. Elle se situe donc un peu en dessous de deux feuilles, chacune ayant pour origine un pôle initial simple du même groupement de protoxylème. Il semblerait que le bourgeon point de départ d'une racine qui, d'après les données de botanique, devait se placer à l'aisselle d'une feuille ait migré au cours de son développement, tout comme celui à l'origine des rameaux latéraux. Ce phénomène assez spécial se rencontre sur certaines de nos plantes actuelles dont les Prêles.

Décrivons maintenant les tissus intervenus dans la formation de la racine et observés sur la plaque 883 111T₂26 (PL.11, Fig.2).

A l'extrémité d'un des trois bras, le protoxylème et le métaxylème sous-jacent se sont abondamment divisés et étalés tangentiellement. A partir de cette base se dirige radialement un manchon de bois primaire qui se termine en se recourbant brusquement. Ce xylème était entouré de liber disparu lors de sa fossilisation. Entourant la stèle libéro-ligneuse, le péricycle-endoderme constitue une gaine dont les cellules allongées radialement, sont nettement séparées du parenchyme banal par une mince bande à inclusions sombres et débris cellulaires constituant une zone de rupture provoquée par la croissance de la racine qui finit par déchirer l'écorce. Elle est alors par l'intermédiaire du péricycle-endoderme ici très détérioré en contact avec le milieu extérieur, et elle fait saillie à la surface de la tige. Cette radicelle nous l'avons retrouvée très abimée sur la lame 883 111T₂25. Là encore, nous n'avons pu discerner l'épiderme si caractéristique.

REMARQUES - L'écorce primaire de la tige n'intervient pas dans la formation de la racine aérienne qui a ainsi pris naissance dans la profondeur du rameau, d'où le terme d'origine endogène employé par les botanistes.

Notons également que les racines aériennes croissaient en direction du sol.

- Division de la racine aérienne -

Les racines se présentent fréquemment groupées par paires d'égale importance (PL.11, Fig.1 - PL.111, Fig.1) - Ceci implique une ramification par dichotomie. Elle débute comme le montre une radicelle de la lame 883 111T₂22 par

la division longitudinale du faisceau ligneux primaire en deux masses identiques (PL.111, Fig.3) - Par la suite un étranglement apparaît entre les deux amas de bois qui finit par séparer deux racines de taille semblable.

Fragiles, les radicelles sont souvent détériorées et nous n'avons pas pu en général les suivre de section en section. Aussi, nous ignorons si elles se ramifiaient abondamment ou non par dichotomie.

REMARQUE - Si par sa structure la racine est équivalente à la tige, par son mode de division, le plus simple, elle se montre très primitive.

E - LES FEUILLES - (p.52, - PL.I.Fig.6 - PL.11, Fig.2 - PL.111, Fig. 4 à 7).

L'étude des empreintes montre que les feuilles disposées en verticilles à chaque noeud n'alternent pas d'un verticille au suivant. L'examen de sections successives vérifie cette donnée tout en prouvant que le limbe n'est qu'une expansion de la côte au niveau de la zone articulaire. L'épiderme de la feuille n'est que le prolongement de celui de la tige, d'où le terme d'origine exogène employé par les botanistes.

Nous verrons tout d'abord le raccordement des tissus de la lame foliaire avec ceux de la tige et ensuite la structure du limbe.

1^o) Raccordement des tissus foliaires avec ceux de la tige -

Lors des émissions foliaires, les boucles de protoxylème s'ouvrent (PL.11, Fig.2) - Les trachéides annelées d'un pôle initial simple s'allongent dans un plan sub-horizontale (lame 883 11T₂19). Ceci se produit aux noeuds pour chaque amas de protoxylème, nous avons donc au départ six ébauches foliaires. Le liber leur cède quelques éléments qui furent lors de la fossilisation détruits. L'ensemble péricycle-endoderme atteint, une ou deux assises de ses cellules s'allongent radialement et s'accolent à la trace, de même pour l'écorce (PL.11, Fig.2). Cette trace juste avant de pénétrer dans la côte se redresse suivant un angle proche de 90° (PL.111, Fig.5) et se divise aussitôt en deux par une égale dichotomie (PL.111, Fig.7). La portion foliaire de la cannelure se rétrécit à sa base (lame 883 11T₂22), s'aplatit rapidement suivant un plan droite gauche tandis que ses tissus se modifient. Nous avons alors le limbe que nous allons étudier.

2^e) La lame foliaire -

A leur base bistéliques, les feuilles se rattachent à la tige sur toute la largeur de la côte. Ceci n'est pas anatomiquement et morphologiquement parlant un pétiole, ainsi la feuille est réduite à un limbe à très nette symétrie bilatérale.

Une vue d'ensemble des diverses sections de lames foliaires nous montre que le nombre de stèles qu'elles renferment est généralement de deux (p.52, PL.I, Fig.3), très rarement de quatre (p.52, PL.I, Fig.1) et assez fréquemment de une (p.52, PL.I, Fig.2 - PL.III, Fig.4). Qu'ils soient au nombre de deux ou de quatre les faisceaux vasculaires d'un même niveau du limbe sont identiques.

Ces quelques considérations nous permettent de tenter la reconstitution de la feuille du Sphenophyllum étudié : à sa base, bistélique, à peine aplatie, elle s'amincit très rapidement et par une égale dichotomie double le nombre de ses cordons vasculaires, aussitôt après le limbe se divise en deux lobes à deux nervures, ces lobes vont à leur tour, à leur extrémité se scinder en dents simples uninervées.

Ce type de feuille est celui de la varicété saxifragaefolium de l'espèce Sphenophyllum cuneifolium. Mais nous savons que chez la majorité des Sphénophyllales, l'hétérophyllie est de règle, aussi cette synthèse des données anatomiques ne nous fournit qu'une idée sur la morphologie du limbe qui s'il n'était pas du type saxifragaefolium devait néanmoins en dériver.

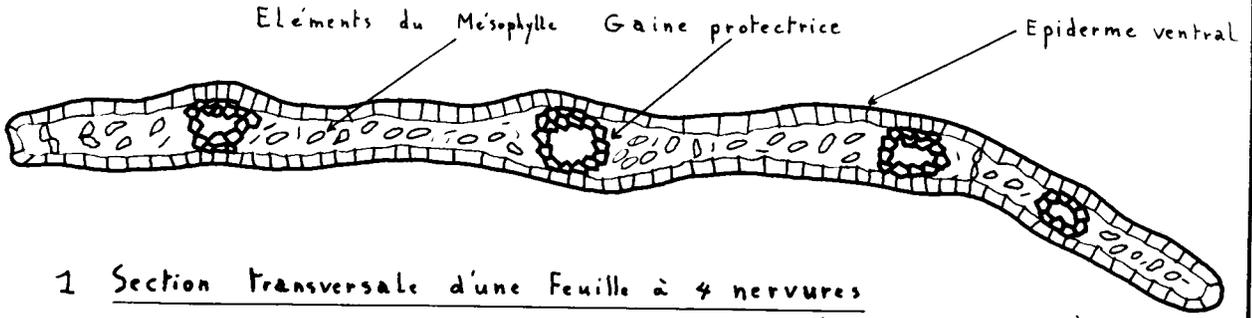
Voyons maintenant la structure des feuilles.

- Les stèles -

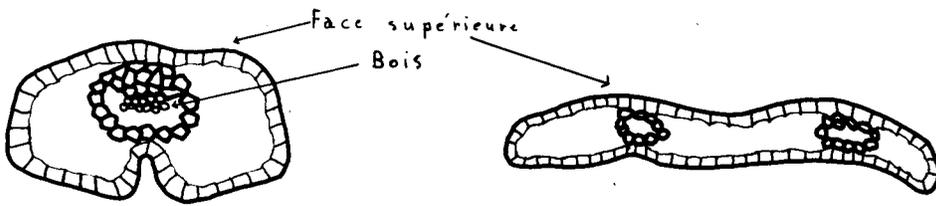
a) Le bois - Chacune des stèles présente un amas de trachéides à petites lumières, sub-circulaires allongé transversalement. Elles s'appuient sur une formation : la gaine protectrice. Les sections obliques montrent la fine ornementation annelée de ses éléments, ils correspondent donc au protoxylème. Nous n'avons pas rencontré de vaisseaux imparfaits spiralés ni réticulés, il semblerait donc que seuls les éléments les plus primitifs du protoxylème interviennent dans la constitution de la feuille (p.52, PL.I, Fig.2 - PL.III, Fig.4).

b) Le liber - Il n'a pas été conservé, mais il subsiste souvent sous

LES FEUILLES

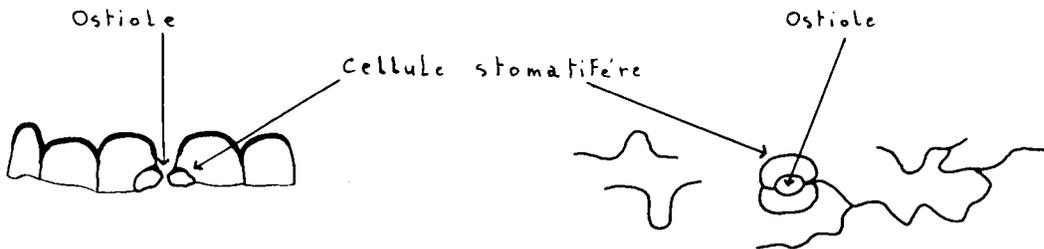


1 Section transversale d'une Feuille à 4 nervures
(plaque N° 883 III T₂ 28)

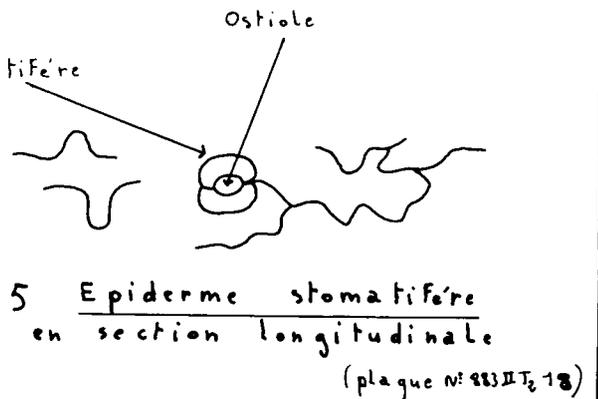


2 Feuille uninervée
en section transversale
(plaque N° 883 III T₂ 28)

3 Feuille à 2 nervures
en section transversale
(plaque N° 883 II T₂ 22)



4 Epiderme stomatique
en section transversale
(plaque 883 II T₂ 19)



5 Epiderme stomatique
en section longitudinale
(plaque N° 883 II T₂ 18)

le bois une petite lacune matérialisant la position du phloème d'origine primaire peu abondant (p.52, PL. I, Fig.2).

c) La gaine protectrice - Chaque stèle est limitée par un anneau de petits éléments polyédriques à paroi régulièrement épaissie. Il s'agit là d'une gaine protectrice en contact avec les deux épidermes où elle comporte souvent plusieurs assises de cellules (p.52, PL. I, Fig. 1 à 3). Ceci est très nettement marqué pour la zone supérieure là où s'appuie le xylème. Elle peut permettre en l'absence du bois souvent disparu, de définir, si elle n'est pas détériorée la face ventrale et dorsale. L'anneau protecteur renferme pratiquement toujours des inclusions sombres à noires le rendant très visible (PL.1, Fig.6 - PL.111, Fig.4).

REMARQUES - Les nervures sont souvent très apparentes, le manchon scléreux n'en est pas la cause, nous verrons que cela incombe à la nature du mésophylle.

La gaine protectrice délimite bien la stèle, mais nous n'avons pu déterminer à partir de quels éléments cet anneau s'est formé. De par sa position, il semblerait correspondre au péricycle ou à l'ensemble péricycle-endoderme.

- Le parenchyme foliaire -

Très peu développé, le mésophylle ne s'est pas organisé en parenchyme palissadique (p.52, PL. I, Fig.1). Les éléments le constituant, à paroi mince, de forme ovale renferment fréquemment des inclusions brunes prouvant leur fonction de synthèse de la matière organique. La fragilité de ses cloisons est responsable de sa rare fossilisation. Lorsqu'il est visible, il montre ses cellules peu nombreuses de taille moyenne ménageant entre elles de larges méats. La fonction chlorophyllienne de la feuille devait donc être peu importante.

Le parenchyme foliaire ne comporte pas de sclérites, c'est-à-dire de grandes cellules scléreuses, aussi lors de sa conservation ce tissu fut-il souvent compressé entre les deux épidermes. Au niveau de la nervure rigide, les éléments sont en général restés en place, et elle apparaît alors saillante si le mésophylle voisin a été écrasé.

- L'épiderme -

L'assise superficielle abimée lors de sa fossilisation se compose en section transversale d'une rangée de cellules sub-rectangulaires devenant plus petites et sub-quadratiques au niveau des nervures. L'épiderme des deux faces se montre semblablement épaissi et cutinisé (PL.1, Fig.6). Cette différenciation s'est opérée sur les parois externes et à un degré moindre sur les cloisons latérales, seule la membrane interne cellulosique très mince, rarement conservée, a échappé à ce processus.

L'épaississement de la paroi externe comporte au moins deux zones : la plus externe parfois décollée, fine, forme la cuticule proprement dite, dessous la zone interne s'étendant aussi sur les cloisons latérales correspond à la couche cuticulaire.

L'identité de structure des deux faces en section transversale s'explique par le fait que la feuille était comme le montre la coupe longitudinale de la lame 883 111T₂24 légèrement redressée (PL.111, Fig.5). Alors l'épiderme dorsal est aussi soumis à l'action de la lumière solaire, et nous concevons dès lors fort bien la grande ressemblance des deux assises superficielles.

Nous possédons de l'épiderme des fragments de sections longitudinales et obliques. Ses cellules sont nettement allongées suivant l'axe, à parois latérales fortement sinueuses tandis que les cloisons transversales courtes sont à peine ondulées (p.52, PL.I.Fig.5). Elles sont intimement imbriquées les unes dans les autres, sans méats et disposées en files radiales plus ou moins régulières. En se rapprochant de la nervure, les éléments épidermiques s'étirent longitudinalement tout en devenant moins larges et prennent une forme rectangulaire à membrane rectiligne (lame 883 11T₂21).

Qu'il s'agisse de la face supérieure ou inférieure, les coups obliques nous les montrent identiques à l'observation, de même pour les sections transversales. Il n'est donc pas possible de discerner la face ventrale de la face dorsale par l'examen de l'assise superficielle. Cependant chez les feuilles uninervées et parfois aussi binervées, l'existence d'un profond sillon dorsal opposé au bois permet d'orienter la lame foliaire. Dans les autres cas, si le xylème a disparu, la gaine protectrice a en général été détériorée et alors la

distinction des deux faces n'est plus possible.

La paroi externe de l'épiderme épaissie et cutinisée est rendue ainsi imperméable. Cependant, ce revêtement ne saurait être continu, il est interrompu de place en place par des stomates par lesquels se font les échanges gazeux (air et vapeur d'eau). Ils sont peu fréquents. En section transversale nous avons rencontré sur les lames 883 11T₂17 et 883 11T₂22 des formations qui semblent en être. Deux éléments épidermiques contigus ménagent chacun à leur base une alvéole où se loge une petite cellule avec une crête d'accolement à sa partie supérieure. C'est donc une cellule stomatifère, nous sommes en présence d'un stomate placé au dessous du niveau de l'assise superficielle (p.52, PL.I, Fig.4). Cette interprétation semble être confirmée par l'écartement des deux cellules épidermiques situées au dessus de la formation étudiée. Le mésophylle détruit la chambre sous-stomatique n'existe plus. Les sections longitudinales du limbe sur les lames 883 11T₂18 et 883 VIT₂46 présentent également des structures que nous devons appeler stomates. Ils se composent de deux petites cellules brunâtres assez mal conservées, réniformes laissant entre elles une ouverture : l'ostiole (p.52, PL.I, Fig.5).

REMARQUES - Le faible développement du parenchyme foliaire, la rareté des stomates indiquent un pouvoir anabolique de la feuille peu marqué, certainement compensé par le grand diamètre des trachéides des axes qui apportaient à la plante d'importantes quantités d'eau chargée de sels minéraux.

Nous n'avons rencontré de formations foliaires que pour les structures jeunes, c'est-à-dire pour les Sphenophyllum n'ayant pas encore, ou très peu, de formations secondaires. Les feuilles sont absentes sur les rameaux âgés.

La tige principale située sur la plaque 883 11T₂8 nous a permis d'observer un reliquat de trace foliaire (PL.I, Fig.1). Cette trace identique à celle déjà décrite est écrasée par les trachéides secondaires. Elle s'arrête dans le périderme qui à ce niveau détermine une petite proéminence à la surface de la tige. Il semble en quelque sorte avoir été soulevé par la trace foliaire. Ainsi l'axe caulinaire principal montre encore l'emplacement des zones articulaires. Ceci est cependant peu marqué.

C O N C L U S I O N

Avant de dégager les incidences qui peuvent résulter de notre étude sur les connaissances actuelles des Sphenophyllum, nous rappellerons brièvement les caractères essentiels de la tige âgée dont la structure interne est schématisée à la page 26, planche E.

En section transversale, elle présente successivement de l'axe vers la périphérie :

- Une couronne vasculaire ligneuse se subdivisant en :
 - Une zone interne triangulaire constituée par un xylème primaire à différenciation centripète très nette.
 - Une zone externe formée par le deutéroxyème à différenciation centrifuge, séparé du bois primaire par un anneau de parenchyme.
- Un anneau de phloème
- Une couronne de tissu d'aspect parenchymateux correspondant au péricycle endoderme.
- Un périderme épais, peu différencié.
- Un rhytidome.

Le tableau récapitulatif de la page 58 résume notre étude de la structure des tiges et racines aériennes d'un Sphénophyllum du niveau marin de Katharina.

Plusieurs faits sont à dégager :

1^o) La protostèle de la racine et de la tige à différenciation centripète est interprétée comme étant un caractère primitif. La plupart de nos plantes actuelles ne montrent de stèle ligneuse à pôles exarches que pour la racine marquant ainsi le caractère plus ancestral de celle-ci.

2^o) L'absence de moelle est également l'indice d'une plante peu évoluée. Ces deux arguments nous prouvent que les Sphenophyllum constituent une famille à caractères archaïques marqués.

3^o) Le grand développement des trachéides des tiges indique une circulation intense de sève brute palliant le faible développement des feuilles. La réduction du limbe est peut-être le résultat de l'action d'un milieu humide et ombragé.

	<u>T I G E</u>	<u>R A C I N E</u>
STRUCTURE PRIMAIRE	<p>Protostèle triangulaire à pôles exarches</p> <p>Liber entourant le bois primaire</p> <p>Péricycle-endoderme mal délimité</p> <p>Ecorce bien développée, cannelée</p> <p>Epiderme stomatifère avec une fine cuticule</p>	<p>Protostèle bipolaire à pôles exarches</p> <p>Liber entourant le bois primaire</p> <p>Péricycle et endoderme bien délimité et distinct.</p> <p>Ecorce peu développée non cannelée</p> <p>Epiderme avec épaisissements latéraux se détache rapidement</p>
STRUCTURE SECONDAIRE	<p>Protostèle</p> <p>Anneau parenchymateux</p> <p>Bois secondaire ponctué</p> <p>Xylème fasciculé et inter-fasciculé</p> <p>Cambium circulaire</p> <p>Liber peu épais</p> <p>Péricycle-endoderme à partir duquel se différencie l'assise subéro-phello-dermique</p> <p>Périderme épais peu différencié</p> <p>Rhytidome</p>	<p>Protostèle</p> <p>Anneau parenchymateux</p> <p>Bois secondaire ponctué</p> <p>Un seul type de xylème secondaire</p> <p>Cambium circulaire</p> <p>Liber peu épais</p> <p>Péricycle-endoderme ayant perdu leurs caractères distinctifs</p> <p>Périderme : origine (?)</p> <p>Périderme peu épais bien différencié</p> <p>Rhytidome</p>
RAMIFICATIONS	<p>Bourgeon non à l'aisselle d'une feuille</p> <p>Tige à ramifications monopodiales</p>	<p>Bourgeon non à l'aisselle d'une feuille</p> <p>Racine se ramifiant par dichotomie.</p>

4^e) Les trachéides constituent le seul élément de soutien important des tiges. Cependant leur grand diamètre, leur paroi relativement peu épaissie ne leur permettaient pas d'assurer à la plante un port rigide. Pour les axes à structure primaire l'articulation se faisait aux noeuds zones plus fragiles, mais la tige principale à structure secondaire montre un anneau important de xylème, elle présentait donc une articulation moins nette. Elle était ce qui est logique plus rigide que les rameaux latéraux.

5^e) La présence de racines aériennes n'implique pas nécessairement une plante vivante fixée par ses radicelles sur un substratum. Situées aux noeuds, zones plus fragiles, elles devaient intervenir en cas de rupture accidentelle en fixant et amenant de l'eau chargée de sels minéraux aux rameaux isolés qui de ce fait pouvaient plus facilement surmonter la période difficile de la fixation. Il est même possible que les racines adventives de la base de la tige s'enfonçaient dans le sol, comme chez les Pandanus actuels, pour accrocher plus solidement le Sphenophyllum sur un substratum mou.

Pour nous résumer brièvement nous dirons que : le Sphenophyllum du niveau marin de Katharina, plante de sous-bois à tige grêle et flexueuse représente par son protoxylème particulier une forme évoluée de Sphénophyllales. Par ses articulations peu développées, mais néanmoins nettes, par l'évolution de ses pôles trachéens, cette classe s'apparente aux Equisétales tout en formant un groupe bien individualisé parmi les Arthropytes.

Voyons maintenant si le Sphenophyllum étudié correspond à l'espèce Sphenophyllum cuneifolium Sternberg.

Le premier argument favorable à cette hypothèse est d'ordre stratigraphique. Notre coal-ball fut trouvé dans le niveau marin de Katharina, c'est-à-dire dans le Westphalien inférieur caractérisé notamment par Sphenophyllum cuneifolium.

Le deuxième argument confirme le premier. Outre l'existence de six feuilles par verticilles, celles-ci sont d'après notre reconstitution du type saxifragaefolium ou bien elles se rattachent à cette forme particulière du feuil-

lage de Sphenophyllum cuneifolium.

D'autres indices viennent également renforcer notre hypothèse, il s'agit principalement des articles courts et des noeuds nettement renflés de notre échantillon, autant de caractères de Sphenophyllum cuneifolium.

Il semble donc logique de prétendre que le Sphenophyllum du niveau marin de Katharina n'est autre que Sphenophyllum cuneifolium en structure conservée.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - Bach D. (1955) - Cours de Botanique Générale. T.I, nouvelle édition. PARIS
- 2 - Emberger L. (1944) - Les Plantes Fossiles dans leurs rapports avec les Végétaux vivants. PARIS.
- 3 - Gothan W. Weyland H. (1954) - Lehrbuch der Paläobotanik. BERLIN.
- 4 - Hirmer M. (1927) - Handbuch der Paläobotanik. Band I, Thallophyta - Bryophyta Pteridophyta. MUNICH et BERLIN.
- 5 - Lignier O. (1908) - Essai sur l'évolution morphologique du règne végétal. Bull. Soc. Linn. Normandie.
- 6 - Potonié H. (1921) - Lehrbuch der Paläobotanik. BERLIN.
- 7 - Renault B. (1873) - Recherches sur l'Organisation des Sphenophyllum et des Annularia. Ann. Sc. nat. 5è série, Bot. XVIII, p.143.
- 7 bis - Renault B. (1876) - Nouvelles recherches sur la structure des Sphenophyllum et sur leurs affinités botaniques. Ann. Sc. nat. 6è série, Bot. IV, page 277.
- 8 - Scott D - H. (1920) - Studies in fossil Botany. Part.11, LONDON.
- 9 - Seward A - C (1898) - Fossil Plants. Vol.1, Cambridge University Press.
- 10 - Walton J. (1953) - An Introduction to the study of fossil plants. 2è édition LONDON.
- 11 - Williamson W.C. (1871) - On the organisation of fossil plants of the Coal. Measures. Part.1, LONDON.
- 12 - Zeiller R. (1900) - Eléments de Paléobotanique. PARIS

PLANCHE 1

ETUDE ANATOMIQUE D'UN SPHENOPHYLLUM du NIVEAU MARIN de KATHARINA

Figure 1 - Section transversale de l'axe principal - Gr = 25

Origine : : Westphalie
Niveau : Katharina
Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
Lille - Lamé 883 11T₂^B

B_I : bois primaire séparé du bois secondaire par l'anneau parenchymateux.

B_{II} : bois secondaire divisé en zones fasciculées et inter-fasciculées.

L : liber à aspect secondairement acquis de collenchyme.

RTF : reliquet de trace foliaire.

Pe : périderme avec inclusions

Rh : rhytidome.

Figure 2 - Section transversale de l'axe principal au niveau d'une sortie raméale
Gr = 25

Origine : Westphalie
Niveau : Katharina
Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
Lille - Lamé 883 11T₂¹⁵

TR : trace raméale entourée de bois fasciculé

B_{II} : bois secondaire "entamé" au niveau d'une zone de bois fasciculé

Pe : périderme déformé en regard de la trace raméale.

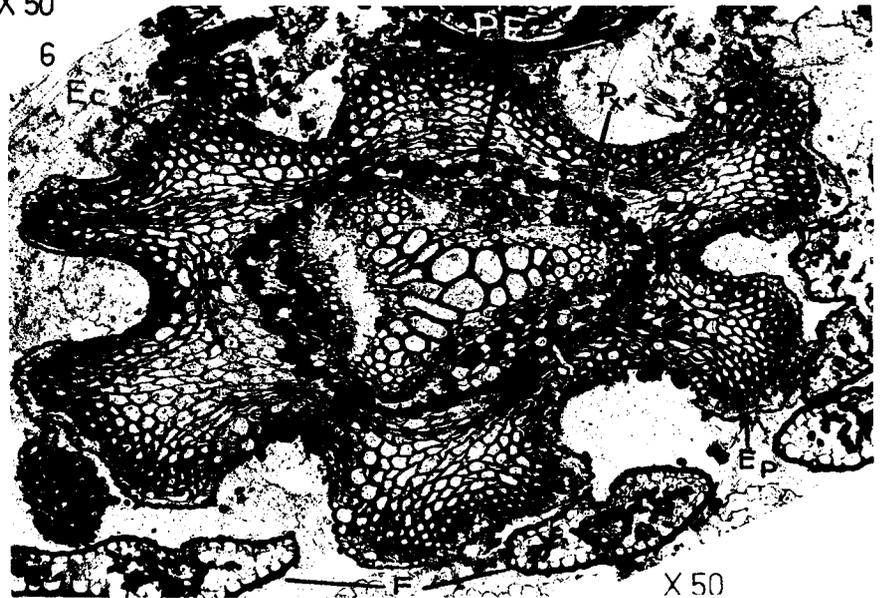
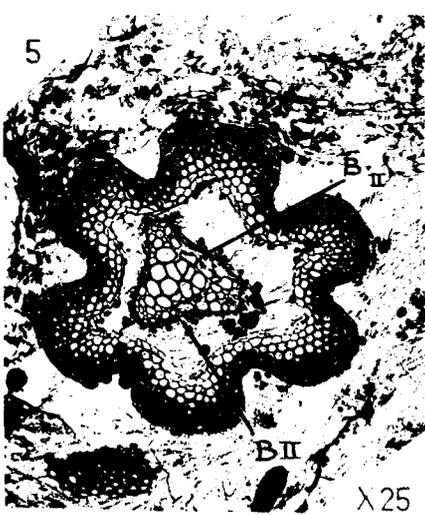
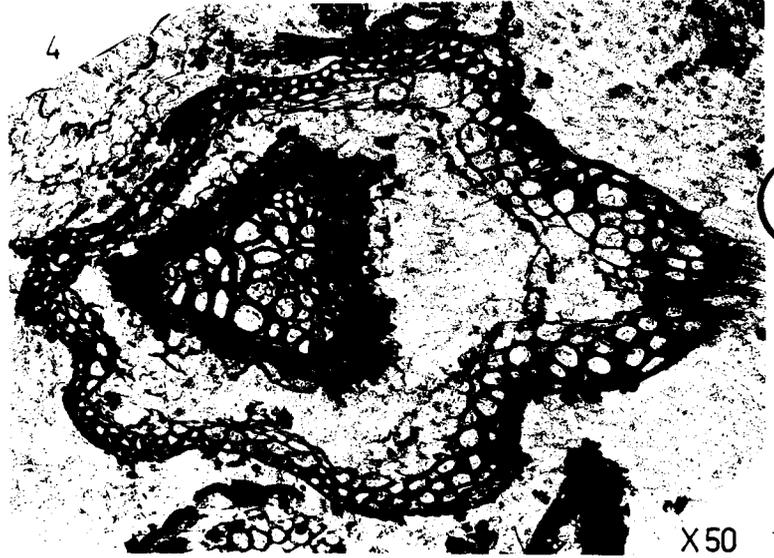
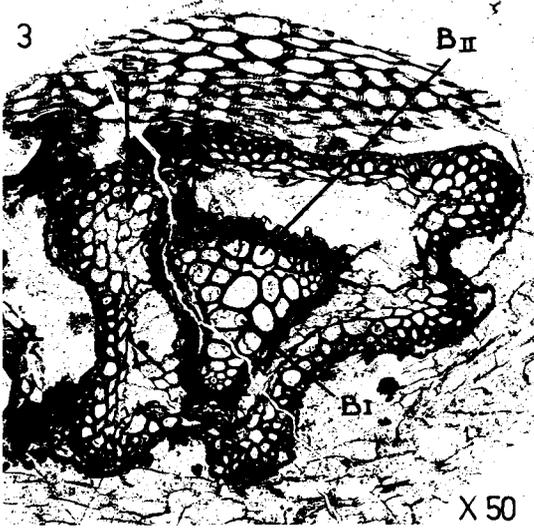
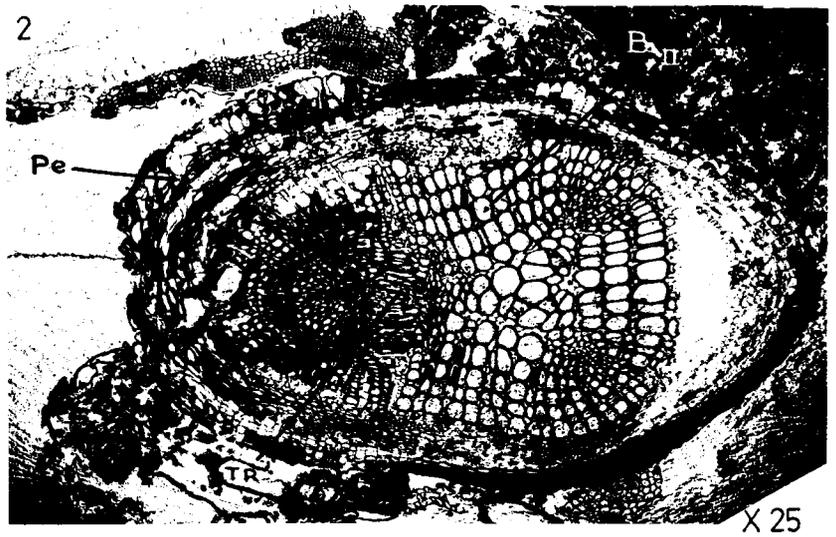
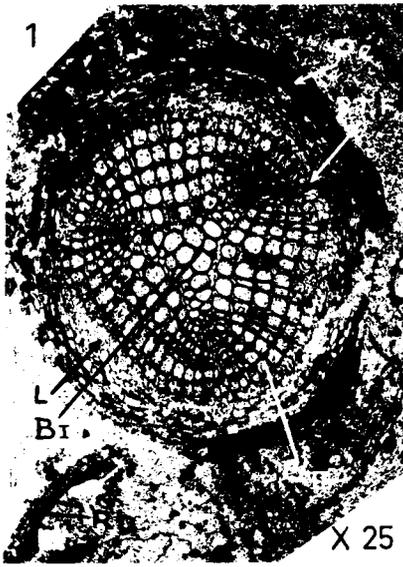
Figure 3 - Section transversale d'un rameau de second ordre de type 1 apparu pour
la première fois sur la lamé 883 11T₂¹³ - Gr = 50

Origine : Westphalie
Niveau : Katharina
Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
Lille. Lamé 883 11T₂¹⁵.

B_I : bois primaire

B_{II} : bois secondaire représenté par une rangée de trachéïdes.

Ec : écorce primaire très détériorée terminée par un épiderme.



BU
LIL

ETUDE ANATOMIQUE D'UN SPHENOPHYLLUM DU NIVEAU MARIN DE KATHARINA

Figure 1 - Section légèrement oblique d'un rameau d'ordre 2 de type 3 dont la naissance fut observée sur la lame 883 11T₂¹⁵ (PL.1, Fig.2) - Gr = 25

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille. Lame 883 11T₂¹⁶

B₁ : bois primaire
 TE : téguments externes
 R : racines à structure primaire

Figure 2 - Section transversale d'un rameau d'ordre 2 de type 2 au niveau d'une émission de racine aérienne - Gr = 25

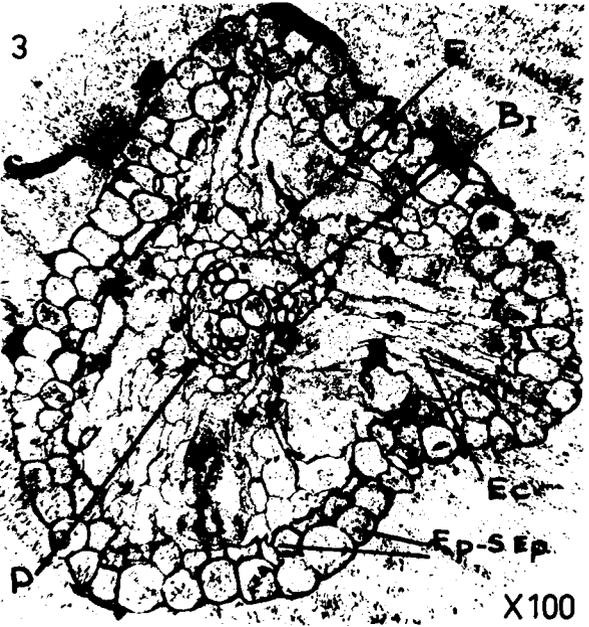
Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille - Lame 883 111T₂²⁶.

TRa : trace de la racine aérienne
 TF : partie inférieure d'une trace foliaire (pas de vaisseaux)
 Ec : écorce primaire montrant une côte supplémentaire, hypoderme réduit

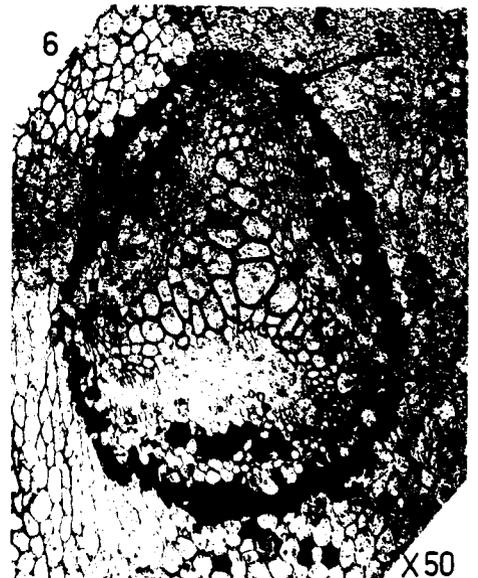
Figure 3 - Section transversale d'un rameau d'ordre 4 - Gr = 100

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de Lille. Lame 883 11T₂¹⁴.

B₁ : bois primaire
 P : péricycle
 E : endoderme
 Ec : écorce primaire montrant ses deux zones
 Ep-SEp : épiderme et sous épiderme



BULL



ETUDE ANATOMIQUE D'UN SPHENOPHYLLUM DU NIVEAU MARIN DE KATHARINA

Figure 1 - Section transversale de deux racines à structure secondaire - Gr = 50

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
 Lille - Lamé 883 V1T₂47

B₁ : bois primaire
 B₁₁ : bois secondaire séparé du bois primaire par un anneau parenchymateux
 Pe : périderme
 Rh : Rhytidome

Figure 2 - Section transversale d'une racine à structure secondaire mais ici il n'y a pas encore de suber - Gr = 50

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
 Lille - Lamé 883 1T₂4

B₁₁ : bois secondaire avec au dessus du protoxylème un étroit bois fasciculé.
 Ec : écorce primaire, l'épiderme est absent.

Figure 3 - Section transversale d'une racine à structure primaire montrant son mode de division (dichotomie) - Gr = 100

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
 Lille - Lamé 883 11T₂22

B₁ : deux amas de bois primaire

Figure 4 - Section transversale de trois feuilles uninervées - Gr = 50

Origine : Westphalie
 Niveau : Katharina
 Collection : Laboratoire de Paléobotanique de la Faculté des Sciences de
 Lille - Lamé 883 11T₂18 -

