

Recherches sur l'*Ophioglossum vulgatum* L.

(Note préliminaire.)

Par

S. Rostowzew.

Avec deux planches.

Cette note est un extrait de mes études sur les *Ophioglosseae*, et renferme seulement les principaux résultats de mes recherches sur la morphologie et le développement de l'*Ophioglossum vulgatum*. Ce travail, commencé à Marburg, a été fait en grande partie au laboratoire de botanique de Copenhague, et je me fais un devoir, à cette occasion, de remercier M. E. Warming et M. K. Goebel de l'assistance qu'ils ont bien voulu me prêter.

I.

Développement de la tige adulte.

L'*Ophioglossum vulgatum* est une petite plante, à tige souterraine, à racines horizontales et à feuilles aériennes. La tige est verticale et toujours petite; chez les exemplaires les plus vieux que j'ai examinés, âgés de 25 ans environ, elle n'avait que 5 cm. de long sur 5 mm. d'épaisseur. Les entre-nœuds sont très courts et la surface de la tige est presque complètement recouverte par des restes de feuilles mortes et par des racines horizontales. A sa partie inférieure, la tige ne se détruit point

peu à peu comme chez la plupart des Fougères, mais elle repose constamment sur une racine horizontale semblable aux autres (Pl. I, fig. 1). Cette particularité de la tige de l'*Ophioglossum* a été constatée d'abord par Newmann¹⁾, Duval-Jouve²⁾, Stenzel³⁾ et d'autres botanistes. J'ai eu l'occasion d'observer un grand nombre d'exemplaires de l'*Ophioglossum vulgatum* dans trois localités différentes, où ils occupaient des espaces assez grands, et j'ai toujours constaté que leur tige reposait sur une racine horizontale, et qu'ils étaient unis en un réseau, quelquefois très large: c'était une seule famille. Bien qu'il y eût parfois çà et là dans les mailles de ce réseau quelques individus isolés, je pouvais facilement reconnaître que ces tiges, d'âge différent, avaient été isolées par des morsures de vers ou d'insectes etc.

A sa partie supérieure la tige porte une seule feuille pétiolée jaune verdâtre (rarement 2 à 4) et, à la base de celle-ci, un bourgeon végétatif. Al. Braun⁴⁾, Hofmeister⁵⁾ et Holle⁶⁾ ont étudié la structure de ce bourgeon remarquable. Le sommet de la tige de l'*Ophioglossum* n'est pas hémisphérique comme chez les autres plantes cormophytes, mais a la forme d'une coupe, à la surface intérieure de laquelle les feuilles plus jeunes sont disposées en une spirale, tournant à gauche ou à droite avec une divergence de $\frac{2}{5}$ ou $\frac{3}{8}$; au fond de la coupe se trouve le point végétatif de la tige. Chaque feuille du bourgeon est logée dans une cavité, qui n'est pas tout à fait fermée, mais possède un petit orifice au sommet; par ces orifices, les cavités des

¹⁾ Newmann: Brit. Ferns. 2^e éd. 1844. p. 348—351.

²⁾ Duval-Jouve: Etudes sur le pétiole des Fougères. Haguenau 1856—1861. p. 24.

³⁾ Stenzel: Stamm und Wurzel von *Ophioglossum vulgatum*. (Nova Acta cur. Bd. XXVI. 1857). p. 776.

⁴⁾ Al. Braun: Flora 1839, I, p. 301 et Verjung. der Natur. p. 21.

⁵⁾ Hofmeister: Beiträge zur Kenntniss der Gefässkryptogamen II (Abhandl. der königl. sächs. Gesellsch. der Wissensch. 1857), p. 662.

⁶⁾ Holle: Bot. Zeit. 1875, p. 241.

feuilles du bourgeon communiquent toutes avec un canal étroit et en zigzag, qui traverse le bourgeon depuis le point végétatif jusqu'à l'extérieur. La feuille adulte apparaît à l'extérieur du bourgeon enfermée dans une gaine incolore, qu'elle perce (Pl. I, fig. 1, f_1) en s'allongeant, et alors la gaine demeure à la base du pétiole presque jusqu'à la mort de la feuille. Hofmeister a étudié le développement de la tige et regarde la gaine comme une stipule. D'après lui, la gaine apparaît à la base du côté ventral d'une jeune feuille, et en croissant, se soude aux gaines des feuilles plus âgées, en laissant seulement un canal étroit au sommet. M. Holle, au contraire, se refuse à voir dans la gaine une stipule, autant parce qu'elle ne présente pas trace de soudure et qu'elle ne possède ni épiderme ni faisceaux vasculaires, que parce que la première feuille du bourgeon est toujours enfermée dans une gaine pareille et que la gaine se développe autrement que ne l'indique Hofmeister. Or, on sait aujourd'hui qu'il n'y a pas de limite absolue entre le phyllome et le caulome; de plus, les arguments que M. Holle a apportés contre la nature stipulaire de la gaine de l'*Ophioglossum* ne sont pas convaincants. «La soudure des organes» n'est souvent qu'une expression figurée, car il s'en faut qu'on aperçoive la trace d'une véritable soudure partout où l'on en parle. Dans la communication assez courte de Hofmeister, on ne voit pas pourquoi il a employé cette expression, et ses figures ne l'indiquent pas. L'absence ou la présence de l'épiderme, ou des faisceaux vasculaires, ne peut pas être considérée comme constituant des caractères fondamentaux d'un organe caulinaire ou foliaire¹⁾. L'origine d'un organe peut nous en indiquer la nature, mais M. Holle n'a pas clairement décrit le développement de la gaine, et ses figures ne l'indiquent pas non plus. D'après lui, la gaine est une partie des tissus de la tige qui croît tout autour de

¹⁾ La tige du *Botrychium* et celle de l'*Ophioglossum* n'ont pas d'épiderme. Comp. Holle l. c. p. 248.

chaque feuille, mais ses figures ne le montrent pas. M. Holle n'a pas étudié le développement de la gaine de la première feuille du bourgeon; on ignore comment le bourgeon se développe, et il n'est pas impossible que la gaine de la première feuille se développe d'une autre manière que celle des feuilles suivantes.

Si nous examinons en automne ou au printemps une plante adulte, nous verrons (Pl. I, fig. 1) que la feuille de l'année (f_1) est presque entièrement renfermée dans une gaine (g), qu'elle a seulement percée à son sommet. Dans un état moins avancé, la gaine est entière et la feuille en est complètement enveloppée; l'orifice du canal qui traverse le bourgeon n'est pas situé au sommet de cette gaine, mais sur son côté ventral, dans une proéminence triangulaire (Pl. I, fig. 1, x et Fig. 2, p. 58, x , o). Cette proéminence représente le sommet primitif de la gaine; en effet, le sommet de la gaine de la seconde feuille du bourgeon est encore enfoncé dans la cavité de la première feuille (comp. Pl. I, fig. 2); à ce moment, la gaine de cette dernière est solidement unie à celle de la seconde feuille (Pl. I, fig. 1, 2), mais plus tard, une petite fente apparaît à la base de la première gaine, sur son côté ventral, et il est alors possible de voir comment le sommet de la seconde gaine devient de plus en plus libre; après que la fente s'est agrandie, la première gaine n'est unie à la seconde qu'à sa base dorsale, où elle persiste très longtemps et représente la partie extérieure du reste de la feuille morte (Pl. I, fig. 1, Rst , Rst_1 , . . .). Cependant le sommet primitif de la gaine, une fois libre, n'en occupe pas l'extrémité supérieure, mais le côté ventral, ce qui est dû à la croissance inégale de la gaine (Pl. I, fig. 1, 3). Par suite, les gaines des feuilles d'un bourgeon, étant insérées les unes dans les autres, leur développement ne peut pas se faire comme M. Holle l'a décrit.

En examinant des sections transversales successives d'un bourgeon, on voit que, dans les sections supérieures, la feuille

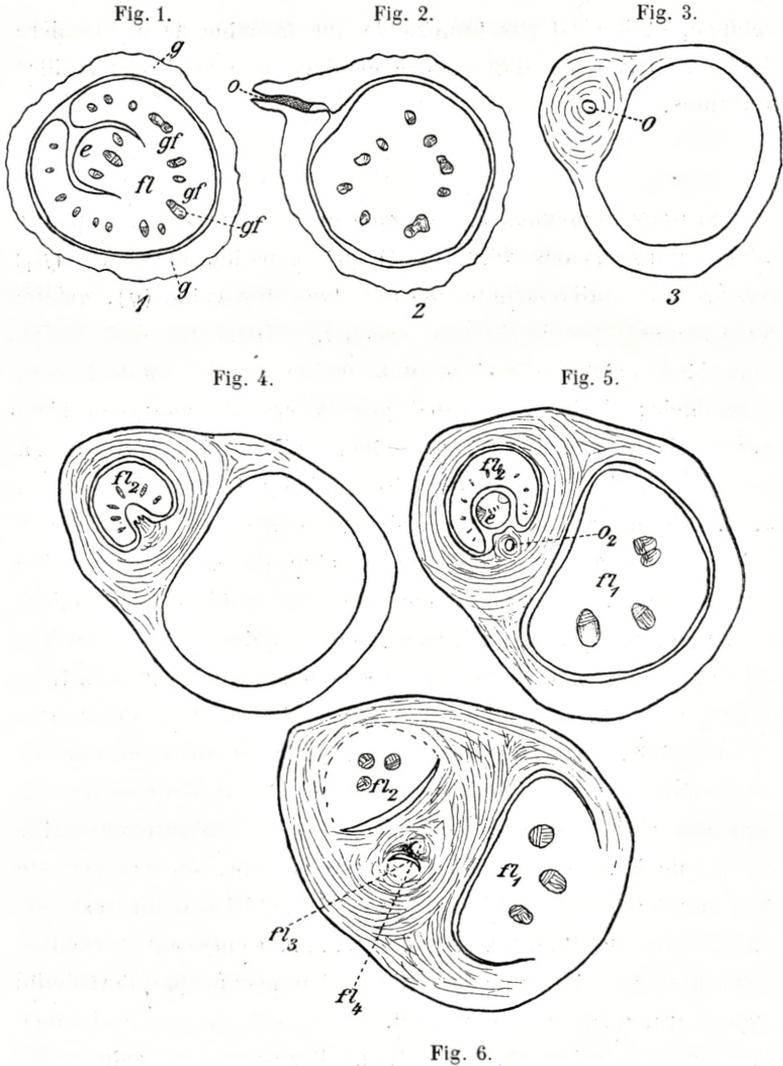


Fig. 1—6. Sections transversales successives d'un bourgeon. — $fl_1, fl_2 \dots$ feuilles successives; g , gaines; e , épi (partie fertile de la feuille); gf , faisceaux libéro-ligneux; x , proéminence triangulaire (sommet primitif de la gaine) avec le canal et l'orifice o .

(Fig. 1, p. 58) est complètement entourée par la gaine (*g*), qui n'a que deux couches de cellules; plus bas, la gaine devient plus épaisse, et l'on y trouve une couche interne qui ressemble à un épiderme; à la surface extérieure, elle est recouverte par les débris des cellules mortes; son épaisseur n'est pas égale sur tout son pourtour; elle est plus grande d'un côté que de l'autre (Fig. 3). Au milieu de la partie épaisse, on voit apparaître un petit orifice (Fig. 3, *o*), qui s'agrandit peu à peu en prenant la forme d'un croissant, et renferme la feuille suivante du bourgeon (Fig. 4, *f*₂); cette section transversale coupe donc deux gaines, bien qu'il n'y ait entre elles aucune limite bien distincte. C'est seulement la disposition circulaire des cellules qui nous autorise à admettre la présence de deux gaines soudées. Dans une section à un niveau inférieur apparaît devant la seconde feuille un autre orifice (Fig. 5, *o*₂), qui conduit dans la cavité de la troisième feuille (Fig. 6, *f*₃). Cette section transversale coupe donc trois feuilles et trois gaines (Fig. 5, 6); on ne distingue aucune limite entre les gaines, et c'est seulement la disposition circulaire des cellules autour de chaque feuille qui semble indiquer l'existence de trois gaines. Dans une section transversale, faite à un niveau encore plus bas, on voit la cavité de la quatrième feuille (Fig. 6, *f*₄) et enfin le sommet de la tige.

En combinant des sections transversales avec des sections longitudinales (Pl. I, fig. 2, 3), nous verrons que la structure du bourgeon peut être présentée de la manière suivante: le sommet de la tige est enfoncé; sur la face interne de la cavité au fond de laquelle est situé le sommet de la tige, quatre feuilles sont disposées en spirale; chaque feuille a devant elle un corps creux de forme presque conique, qui possède à son sommet un orifice, et qui renferme une autre feuille plus jeune et un autre corps etc., jusqu'au dernier corps qui renferme uniquement la feuille la plus jeune et le point végétatif de la tige; les corps sont soudés les uns aux autres sans limite visible, leurs cavités communiquant entre elles par les orifices, et c'est ainsi que le

point végétatif de la tige est en communication avec l'atmosphère. D'après cela, la gaine qui entoure la feuille développée pendant l'été (Pl. I, fig. 1) appartient à la feuille morte de l'été précédent. (1 b, f_0). Si la première feuille d'un bourgeon possède aussi une gaine, celle-ci se développe d'une autre manière que les gaines suivantes du bourgeon, et nous verrons plus tard par quel procédé. Le côté dorsal de la gaine croît avec plus de vigueur que le côté ventral (Pl. I, fig. 3), et c'est pourquoi le sommet primitif de la gaine apparaît plus tard sur la face ventrale sous forme d'une proéminence triangulaire (Pl. I, fig. 1, *x*).

Au fond de la cavité apicale de la tige est situé le point végétatif (Pl. I, fig. 2, 3). Il est un peu aplati et présente à son centre une grande cellule apicale (Fig. 7, *c*, Fig. 8, *c*). Cette

Fig. 7.

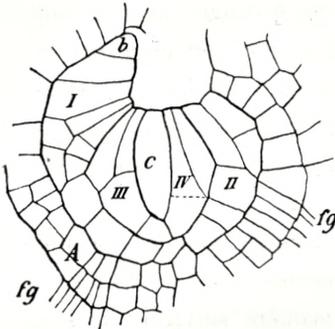


Fig. 8.

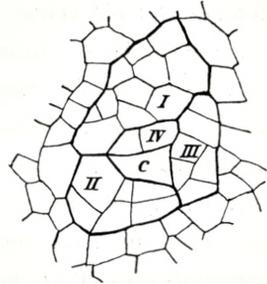


Fig. 7. Section longitudinale du point végétatif de la tige adulte: *c*, cellule apicale; *I*, *II*, *III*, *IV* ... segments; *A*, segments les plus âgés; *fg*, faisceaux; *b*, feuille.

Fig. 8. Section transversale du point végétatif de la tige adulte: *c*, cellule apicale; *I*, *II* ... , segments.

cellule est visible presque dans chaque section longitudinale axiale; elle est très grande et très longue, un peu dilatée au milieu, pointue à la base et aplatie au sommet. Dans de bonnes sections axiales, on peut voir la segmentation de cette

cellule apicale. Les jeunes segments, à gauche et à droite (Fig. 7), sont aussi très longs. Le segment se divise souvent en deux cellules, l'une supérieure plus longue et l'autre inférieure plus courte, qui se divisent à leur tour, la première par des cloisons longitudinales, la seconde par des cloisons transversales; ces deux cellules donnent naissance, la supérieure à une feuille avec sa gaine, l'inférieure, entre autres choses, aux faisceaux vasculaires de la tige. Il est très difficile, dans une section transversale, de distinguer la cellule apicale des segments les plus jeunes; elle n'en diffère ni par sa forme ni par son contenu. La disposition des cellules méristématiques dans l'*Ophioglossum* est différente de celle qu'on observe dans les autres Cryptogames vasculaires à une seule cellule apicale. Cette particularité de la tige de l'*Ophioglossum* est due à la forme du sommet de la tige, et à sa très faible croissance en longueur. La cellule apicale est tantôt triangulaire, tantôt quadrangulaire; peut-être ne produit-elle chaque année qu'un ou deux segments, et c'est pourquoi la disposition des cellules méristématiques n'est pas régulière, comme dans les autres tiges à une seule cellule apicale. Néanmoins, dans l'*Ophioglossum*, les segments sont disposés tout autour de la cellule apicale, parce que la tige est toujours cylindrique. En effet, on peut, dans une section transversale bien réussie, observer assez nettement la disposition des segments (Fig. 8); un jeune segment se divise par une cloison radiale en deux moitiés, puis, par une autre cloison perpendiculaire à la première, en quatre cellules. En combinant les sections longitudinales avec les sections transversales, nous pouvons construire le schéma suivant de la segmentation de la cellule apicale et de celle des segments: la cellule apicale a la forme d'un prisme allongé à trois ou quatre faces courbes et dont l'extrémité supérieure est coupée (Fig. 7, 8). Cette cellule donne naissance, par des cloisons parallèles à ces trois ou quatre faces, à des séries de segments; mais il est très probable que, chaque année, il n'ap-

paraît qu'un ou deux segments, qui croissent fortement en épaisseur, ce qui dérange la disposition primitive du méristème. Chaque segment se divise par une cloison transversale perpendiculaire à ses côtés en deux cellules, l'une supérieure et l'autre inférieure (Fig. 7), et plus tard, par une autre cloison radiale (Fig. 8), en deux autres cellules, ce qui fait en tout quatre cellules, dont deux supérieures et deux inférieures. Les deux dernières cellules se divisent ensuite par des cloisons transversales et radiales (anticlines), et produisent une plaque formée d'une couche de cellules qui, plus tard, se divise par des cloisons tangentielles (Fig. 7, *A*) et donne naissance au faisceau vasculaires (*fg*). Les deux cellules supérieures d'un segment se divisent d'abord par des cloisons radiales et tangentielles; les jeunes cellules prennent une direction de plus en plus inclinée vers la cavité située au-dessus de la cellule apicale (Fig. 7); elles forment le fond de cette cavité et donnent nais-

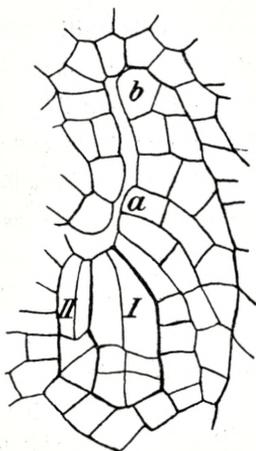


Fig. 9. Section longitudinale du point végétatif de la tige plus jeune (non axile): *I, II*, segments; *a*, gaine très jeune; *b*, feuille.

sance aux feuilles et aux gaines. Il est très probable que chaque segment ne produit qu'une feuille: une cellule superficielle du segment se divise par des cloisons plus inclinées et enfin presque horizontales, et produit une cellule d'où se développe une feuille (Fig. 7, fig. 9, *b*). Bientôt les cellules superficielles de la base de la jeune feuille se divisent par des cloisons tangentielles, et donnent naissance à la gaine (Fig. 7, 9, *a*); mais celle-ci n'est pas limitée seulement à la base de la feuille: les cellules voisines de la surface de la tige, tout autour et au-dessus du point végétatif, se divisent aussi par

des cloisons tangentielles, de sorte que la gaine de la jeune feuille se confond avec la gaine précédente.

Si nous comparons ce développement du bourgeon de l'*Ophioglossum* avec celui du *Magnolia*, du *Liriodendron* et d'autres plantes, qui ont des stipules en forme de cornets enveloppant les feuilles suivantes, nous trouvons ici une analogie. Dans ces plantes, deux stipules apparaissent à la base de la feuille et enveloppent de plus en plus le point végétatif de la tige¹⁾. De la même manière chaque gaine de l'*Ophioglossum* doit être regardée comme une stipule, une sorte d'*ochrea* unie aux stipules voisines. Il est impossible de dire quel est le rôle que joue la tige dans cette soudure. L'existence de la gaine de la première feuille d'un bourgeon de l'*Ophioglossum* n'est pas en contradiction avec cette hypothèse, comme nous le verrons plus bas.

II.

Développement des bourgeons des racines.

Stenzel²⁾ et Duval-Jouve³⁾ ont déjà observé la première apparition du bourgeon sur une racine horizontale; puis M. van Tieghem⁴⁾ et M. Holle⁵⁾ ont aussi observé les premières phases du développement du bourgeon. M. van Tieghem⁶⁾ a décrit encore le développement d'un jeune bourgeon, qu'il regarde comme un embryon; mais il n'a pas prouvé que

¹⁾ v. Eichler: «Zur Entwicklung des Blattes mit besonderer Berücksichtigung der Nebenblattbildungen». Marburg 1861.

²⁾ Stenzel: l. c. p. 775.

³⁾ Duval-Jouve: l. c. p. 26.

⁴⁾ Van-Tieghem: «Symétrie de structure des plantes» (Ann. des sc. nat. V. série. T. XIII, 1870—1871). p. 110.

⁵⁾ Holle: l. c. p. 313.

⁶⁾ l. c. p. 111.

ce bourgeon fût une plantule issue du prothalle, et il n'a pas observé le prothalle.

D'après les auteurs cités, ce sont seulement les racines les plus développées qui produisent un bourgeon, mais j'ai observé que ce dernier apparaît sur des racines longues et courtes, épaisses et minces, jeunes et adultes, et à une distance variable de la tige mère. Les racines de l'*Ophioglossum* sont ainsi à la fois des organes d'absorption et des moyens de propagation.

La première phase du développement du bourgeon est représentée par une protubérance hémisphérique à l'extrémité d'une racine. D'après M. van Tieghem cette extrémité se relève d'abord vers le ciel et perd sa coiffe. Ni les autres auteurs ni moi-même, n'avons vu cela. A la base d'un bourgeon apparaît de bonne heure une racine, que les auteurs regardent comme la première racine du bourgeon et qui croît dans la même direction que la racine mère; plus tard apparaissent d'autres racines du bourgeon et enfin la première feuille, qui, d'après M. van Tieghem, est toujours réduite à une gaine, tandis que, d'après les autres auteurs, elle est toujours munie d'un limbe et d'un pétiole. Bien qu'aucun auteur n'ait étudié au microscope le développement des bourgeons, ils sont regardés tantôt comme des bourgeons adventifs (Stenzel, Duval-Jouve, Holle), tantôt comme une transformation du cône végétatif de la racine (van Tieghem, Beijerinck¹), Lachmann²).

Il est très difficile d'observer les premières phases du développement du bourgeon. On y parvient cependant en coupant longitudinalement les extrémités des racines, qui sont un peu obtuses. La racine normale est légèrement pointue; la coiffe

¹) Beijerinck: Beobachtungen und Betrachtungen. Amsterdam 1886.

²) Lachmann: Contributions à l'histoire naturelle de la racine des Fougères p. 159. (Comp. mon article: «Umbildung von Wurzeln in Sprosse». Flora 1890, Heft 2, p. 158.)

lui est très intimement unie et la limite entre elle et la racine n'est pas visible extérieurement. La racine s'édifie entièrement aux dépens du cloisonnement d'une cellule mère en forme de pyramide triangulaire, dont la base un peu convexe est tournée vers le sommet de la racine (Fig. 10, *c*). Par des segmentations

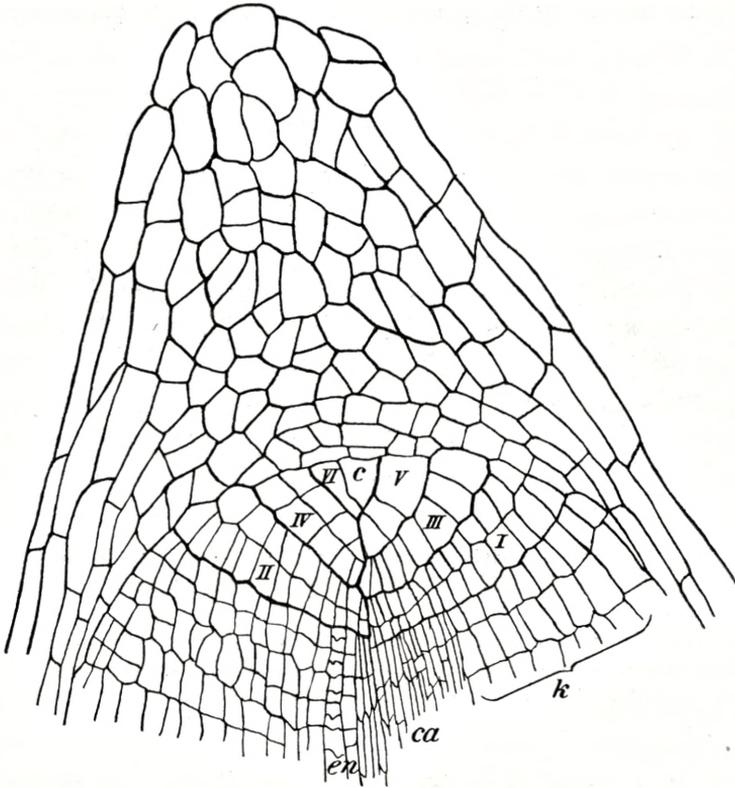


Fig. 10. Section longitudinale du cône végétatif de la racine: *c*, cellule apicale; *I, II... VI*, segments; *k*, écorce; *en*, endoderme; *ca*, procambium.

normales (Fig. 10, *I, II... IV*), comme dans les autres Cryptogames vasculaires, cette cellule produit le corps de la racine et la coiffe; le jeune segment (Fig. 10, *V*) se divise d'abord par deux cloisons tangentielles et plus tard par des cloisons anticlines

(Fig. 10, *IV*), comme dans les racines des autres Cryptogames vasculaires. Au contraire, quand la racine va produire un bourgeon, la cellule extérieure d'un segment très jeune (Fig. 11, *II*) se divise par une cloison anticline un peu inclinée en deux cellules, dont la plus grande (Fig. 11, *a*) est la cellule apicale du bourgeon futur. Cette cellule se divise d'une autre manière que la cellule apicale de la racine, et produit une petite proéminence

Fig. 11.

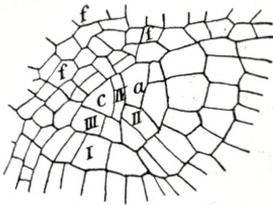


Fig. 12.

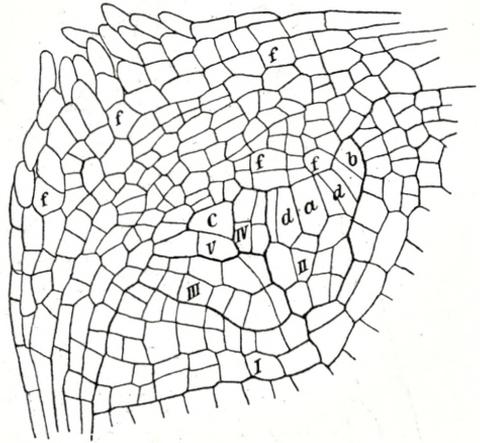


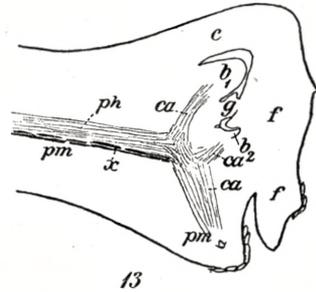
Fig. 11. Section longitudinale de la racine à la première phase du développement apical: *I, II*... segments de la racine; *a*, cellule apicale du bourgeon; *ff*, coiffe.

Fig. 12. Section longitudinale d'un bourgeon dont le développement est plus avancé. *c*, cellule apicale de la racine; *I, II*... segments de la racine; *a*, cellule apicale du bourgeon; *b*, sa première feuille; *d, d, d*, segments du bourgeon; *ff*... coiffe.

qui est l'origine de la tige (Fig. 12, *d— a— b*). Les segments de cette cellule (Fig. 12, *d, d*) se comportent comme ceux de la cellule apicale de la tige adulte (Fig. 7); pendant leur croissance, il se produit de bonne heure une petite cavité (Fig. 12), qui est remplie d'un tissu provenant des cellules voisines de la coiffe (Fig. 12, *f, f*). A ce moment, la première feuille du bourgeon (Fig. 12, *b*) est déjà apparue. La cellule apicale de la racine (Fig. 12, *c*) se divise ensuite et produit le prolongement de la

racine mère (Fig. 13; Pl. I, fig. 2 etc.); cette division se fait d'abord très lentement et, à mesure qu'elle s'active, l'extrémité de la racine se gonfle de plus en plus en un tubercule hémisphérique (Fig. 12, Pl. I, fig. 6). Le Fig. 6, Pl. I représente une

Fig. 13. Section longitudinale d'un jeune bourgeon (un peu grossi). b_1 , la première feuille du bourgeon; b_2 , la seconde feuille; ff , coiffe; e , écorce; ca , procambium; pm , racine mère; x , xylème; ph , phloème.



phase du développement d'un bourgeon, dont les deux premières feuilles sont déjà apparues, et la Fig. 13, p. 67 en donne une section longitudinale. La gaine de la première feuille du bourgeon est formée par l'écorce de la racine (Fig. 13, e , Pl. I, fig. 2, e) et par la coiffe (Fig. 13, ff , fig. 14, ff); cette dernière n'est jamais perdue; ses cellules se divisent et contribuent aussi pour une grande partie à la formation de la gaine de la seconde feuille du bourgeon (Fig. 14, ff , Fig. 13, Pl. I, fig. 2, 7); à la base de la première feuille apparaît un petit renflement, qui est l'origine de la seconde gaine; (Fig. 13, g , fig. 14, g)

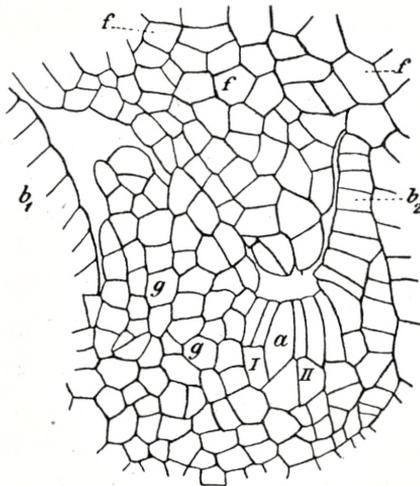


Fig. 14. Une partie de la même section très fortement grossie. a , cellule apicale du bourgeon; g , gaine; I, II , segments; b_1, b_2, ff , comme dans la fig. 13.

celle-ci, en continuant sa croissance, renferme la seconde feuille et le point végétatif du bourgeon (Fig. 14), car les cellules périphériques de la coiffe et de l'écorce de la racine prennent également part à sa constitution. La gaine de la seconde feuille est donc formée par la stipule de la première feuille (Fig. 13, 14, *g*), par la coiffe (*f, f*) et par l'écorce de la racine. A cette époque, la cellule apicale de la racine mère (Fig. 13, *pm*) commence à se cloisonner plus activement; elle produit le prolongement direct de la racine mère (Fig. 13, *pm*). Celle-ci, en perçant la coiffe ancienne (Fig. 13, *ff*), croît d'abord un peu obliquement (Fig. 13), et apparaît à la base du bourgeon comme «la première racine» des auteurs; puis, pendant la croissance simultanée du bourgeon, elle prend de plus en plus la direction horizontale en continuant directement la racine mère (Pl. I, fig. 1, 2, 3 etc., *rm*), et le bourgeon repose alors sur la surface de la racine horizontale (Pl. I, fig. 2, 3, 7).

Par ces observations, nous voyons que les bourgeons des racines de l'*Ophioglossum vulgatum* ne présentent pas une transformation du cône végétatif de la racine, comme cela arrive sans doute dans quelques autres Fougères¹⁾. La cellule mère de la racine de l'*Ophioglossum* reste sans changer de forme et, après un arrêt, elle produit le prolongement de la même racine; c'est ainsi que le bourgeon de la racine de l'*Ophioglossum vulgatum* est en réalité un *bourgeon adventif*, mais est-il d'origine exogène ou endogène? Nous avons vu que le bourgeon naît d'un jeune segment de la racine, et qu'il est couvert longtemps par la coiffe. Or, si l'on regarde celle-ci comme une partie de la racine, le bourgeon est endogène; si on la considère comme un organe propre, le bourgeon est exogène.

Le jeune bourgeon apparaît d'abord sous forme d'un corps conique (Pl. I, fig. 2, 7) et produit deux racines, dont la direction

¹⁾ Comp. mon article: «Umbildung von Wurzeln in Sprosse». Flora 1890. Heft 2.

dépend des conditions extérieures ; s'il n'y a aucun obstacle à son développement (une pierre, des racines d'autres plantes etc.), ces deux racines sont situées à gauche et à droite relativement à la racine mère (Pl. I, fig. 7). Après ces deux racines, le bourgeon produit un peu plus tard d'autres racines dans le même ordre que la plante adulte. La première feuille du bourgeon est cachée dans la première gaine, qui n'a aucun orifice (Fig. 13, Pl. I, fig. 2, 7) ; elle est ainsi tout à fait séparée de l'atmosphère. La communication des jeunes feuilles et du point végétatif du bourgeon avec l'atmosphère commence quand la première feuille perce sa gaine (Pl. I, fig. 7), et persiste jusqu'à la mort de la plante. Le jeune bourgeon s'allonge à sa base par croissance intercalaire (Pl. I, fig. 2, 3) et produit des feuilles et des racines ; les deux premières feuilles sont opposées, mais la troisième et toutes les suivantes sont spiralées avec une divergence de $\frac{2}{5}$ ou $\frac{3}{8}$. La première feuille fertile, d'après Duval-Jouve, apparaît la quatrième ou cinquième année. La racine mère, en s'allongeant rapidement, peut souvent produire encore un autre bourgeon. Stenzel et Duval-Jouve ont observé quatre bourgeons sur une même racine horizontale. Le bourgeon est ordinairement situé sur la racine du côté du phloème (Pl. I, fig. 2, 3 ; Fig. 13). J'ai observé seulement une fois un bourgeon avorté qui se trouvait sur le flanc de la racine.

III.

Développement de la feuille.

Kaulfuss¹⁾ a déjà observé que, dans le bourgeon de l'*Ophioglossum*, les feuilles ne sont pas enroulées en crosse, comme celles des autres Fougères. La croissance de la feuille est très lente. La feuille semble naître d'une cellule unique

¹⁾ Kaulfuss: «Ueber die Entwicklung der Wedel der Ophioglosseen». Flora 1822, H. 7, p. 97.

(Fig. 7, p. 60; Fig. 9, *b*, p. 62; Fig. 15, *b*), qui se divise et produit un petit tubercule, une feuille primordiale. Cette feuille croît assez longtemps par une cellule apicale, peut-être pendant une année, et sa croissance devient ensuite marginale, en même temps qu'apparaît le limbe. La feuille demeure dans cet état assez longtemps, le pétiole n'apparaît que la quatrième

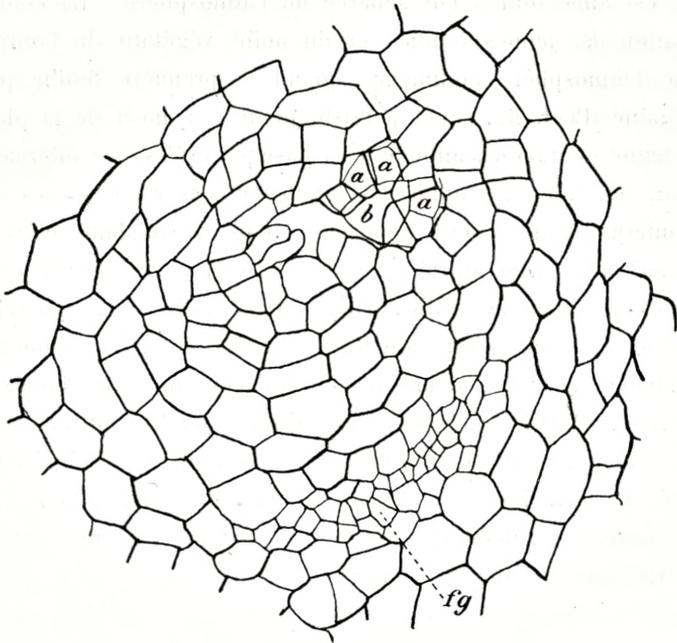


Fig. 15. Section transversale du bourgeon de la tige adulte près du point végétatif: *fg*, faisceau d'une feuille; *b*, jeune feuille; *a*, *a* ... gaine.

année, entre le bas de la feuille et le limbe. La feuille de l'*Ophioglossum* se développe donc essentiellement comme celles des Phanérogames¹⁾. La base de la jeune feuille s'épaissit par des divisions tangentiellles des cellules périphériques.

¹⁾ Comp. Eichler l. c.

Dans la feuille fertile, l'épi naît aussitôt après la première apparition du limbe: au milieu de la base de ce dernier, une ou deux cellules périphériques se gonflent et se divisent d'abord par des cloisons inclinées (Fig. 16, p. 71). Le limbe se dilate et s'enroule, et les bords se recouvrent l'un l'autre. Le pétiole apparaît la quatrième année; il s'allonge fortement au printemps suivant; les cellules au-dessous du limbe se divisent uniquement par des cloisons transversales, et produisent des séries longitudinales de cellules courtes, disposées en longues rangées d'abord contiguës, mais plus tard les cellules s'allongent beaucoup, laissent apparaître des méats et les rangées de cellules deviennent alors invisibles. Quelques-unes des cellules parenchymateuses du pétiole autour des faisceaux se déchirent, et produisent ainsi des canaux aëri-fères.

Le limbe est un peu charnu; il est formé d'épiderme, de mésophylle homogène et de faisceaux vasculaires.

La feuille ne dure qu'une période végétative; en automne elle meurt et se détache sans cicatrice bien limitée, en laissant un reste à la surface de la tige (Pl. I, fig. 1).

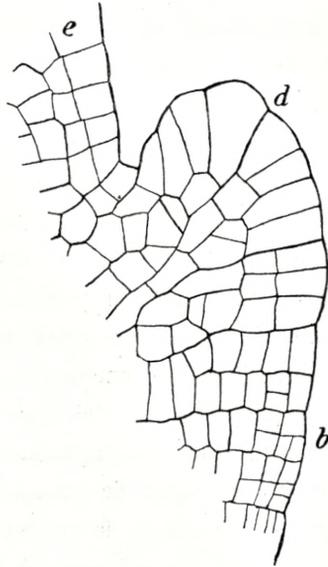


Fig. 16. Section longitudinale de la base d'une jeune feuille: *b*, base de la feuille, qui s'épaissit; *d*, jeune épi; *e*, limbe.

IV.

Anatomie.

La tige de l'*Ophioglossum* est composée principalement de tissu parenchymateux; elle n'a pas du tout de sclérenchyme. Au centre de la tige est un cylindre de faisceaux vasculaires, qui n'est pas compact, mais creux, et présente un réseau à mailles presque rhomboïdales (Pl. I, fig. 5). De l'angle inférieur de chaque rhombe part un faisceau pour la feuille (Pl. I, Fig. 5, $f_1, f_2, f_3 \dots$) et d'un côté du rhombe un faisceau pour la racine (ib. $r_1, r_2, r_3, r_4 \dots$). A chaque feuille correspond presque toujours une racine, très rarement deux. Le faisceau d'une racine mère horizontale, en entrant dans la tige, forme un cylindre central qui se dilate et devient concentrique (Pl. I, fig. 4); plus haut, il prend la forme d'un entonnoir, qui est rempli de moelle parenchymateuse, plus haut encore, le cylindre produit d'un côté une maille (Pl. I, Fig. 4), de l'angle inférieur de laquelle part le faisceau de la première feuille (f_1). Un peu plus haut, le cylindre central produit du côté opposé une autre maille; de l'angle inférieur de cette seconde maille part le faisceau de la seconde feuille (ib. f_2) et plus bas, un peu de côté, le faisceau de la première racine du bourgeon (ib. r_2). La première feuille du bourgeon n'a donc pas de racine. La troisième maille et toutes les mailles suivantes sont disposées en spirale. Le faisceau de la feuille et celui de la racine correspondante ne sont pas toujours disposés sur une ligne verticale. Si une feuille a deux racines, ces dernières sont placées l'une au-dessus de l'autre, mais pas sur une ligne verticale.

La tige a une croissance secondaire de très courte durée; à sa surface elle produit du liège simple. Je laisse de côté les détails anatomiques, que je publierai dans un mémoire plus complet.

Le xylème de la tige, comme celui des autres organes de

l'*Ophioglossum* est composé de trachéides. La phloème a des tubes criblés, dont les cribles sont disposés sur les parois longitudinales, comme dans les autres Fougères, mais non pas sur des cloisons transversales, comme M. Russow¹⁾ l'a indiqué.

Les faisceaux vasculaires sont collatéraux, mais, dans la feuille et les épis, on observe des passages aux faisceaux concentriques. Il n'y a pas d'endoderme dans la tige ni dans les feuilles, mais dans la racine il est toujours bien développé.

La racine est horizontale et n'a pas du tout de poils. Le cylindre central est monarche et le phloème se trouve au-dessus du xylème (Fig. 13, p. 67). M. van Tieghem²⁾ veut expliquer cette particularité du faisceau par dichotomie d'une racine diarque très jeune, lorsqu'elle se trouve encore renfermée dans l'écorce de la tige, et par l'avortement d'un des deux rameaux. J'ai étudié le développement de la racine; elle naît d'une cellule extérieure des faisceaux de procambium de la tige. Cette cellule se cloisonne en quatre directions, et produit le corps de la racine et la coiffe. La racine est toujours simple et monarche, en dehors comme en dedans de l'écorce de la tige. Dans le cylindre central de la racine, lorsqu'il est encore à l'état procambial, j'ai vu quelquefois apparaître d'abord des éléments de phloème un peu gonflés (protophloème) à la périphérie du faisceau, et, plus tard, des éléments de xylème (protoxylème) dans sa partie inférieure, en deux points opposés; c'est ainsi que la racine, dans ce cas, semble être diarque, mais elle devient ensuite monarche, parce que la partie inférieure du phloème ne se développe pas. Si une racine se ramifie par dichotomie, la partie inférieure du phloème se développe à son tour et le faisceau est alors concentrique. Je reviendrai plus tard sur cette ramification.

¹⁾ Russow: Vergl. Untersuch. St. Petersburg. 1872. p. 118.

²⁾ L. c. p. 108.

V.

Ramification.

a. **Ramification de la tige.** Quelques botanistes disent que la tige de l'*Ophioglossum vulgatum* peut se ramifier¹⁾, mais son mode de ramification est entièrement inconnu. J'ai trouvé 10 tiges ramifiées. La plupart de ces tiges avaient un seul rameau, mais l'une d'elles en avait trois (Pl. I, fig. 8). En observant plus attentivement une tige ramifiée, on voit que le rameau est situé au-dessous du reste d'une ancienne feuille, où ordinairement est placée une racine (Pl. I, fig. 8). On voit, sur les sections d'une tige ramifiée, que le rameau est endogène (Pl. II, fig. 4, *Br*). Le faisceau du rameau se détache du cylindre central de la tige, comme celui d'une racine, et, lorsqu'il se trouve dans l'écorce de la tige, il produit aussi de l'endoderme (Pl. II, fig. 4, *en*); en apparaissant à l'extérieur il se dilate en entonnoir (Pl. II, fig. 4, *f*), comme cela a lieu dans une racine qui développe un bourgeon, et, après la formation du rameau il continue sa croissance (Pl. II, fig. 4 *r'*). Le rameau de la tige n'est donc qu'un bourgeon d'une racine toute jeune, et non pas un vrai bourgeon latéral de la tige. Les tiges ramifiées de cette manière avaient toujours leurs sommets détruits (Pl. I, fig. 8).

b. **Ramification de la racine.** Les racines de l'*Ophioglossum vulgatum* sont ordinairement simples. J'ai vu seulement quatre racines ramifiées. Leur ramification est fautive ou véritable; la première provient de ce qu'un bourgeon adventif d'une racine produit une racine et, après cela, ne se développe plus; c'est alors que deux racines, une racine mère et celle du bourgeon, en s'allongeant, donnent l'aspect d'une ramification presque dichotomique.

¹⁾ Stenzel: l. c. p. 771. Duval-Jouve: l. c. p. 23. Luerssen: Rabenhorst's Kryptogamen Flora. III. Vol. p. 542.

La véritable ramification se fait par dichotomie et j'ai été à même d'en étudier le développement. Le faisceau central de la racine devient de plus en plus concentrique avant la ramification; au-dessous du xylème apparaissent plusieurs cellules à parois minces, qui ne sont pas différentes de celles du phloème; plus tard, le xylème se partage en deux moitiés (gauche et droite), le phloème et l'endoderme se partagent aussi, et donnent naissance aux deux faisceaux. Ils sont d'abord concentriques, mais le phloème situé au-dessous du xylème disparaît de plus en plus, jusqu'à ce qu'il n'en reste qu'une couche de cellules qui représente le péricycle, et le faisceau de chaque rameau de la racine devient ainsi monarche.

Il est très possible que les autres organes de l'*Ophioglossum vulgatum* puissent se ramifier. M. Luerssen¹⁾, par exemple, a observé un exemplaire de l'*Ophioglossum vulgatum*, qui avait deux limbes. J'ai vu moi-même, dans l'herbier de Copenhague²⁾ un exemplaire avec deux épis, l'un petit, inférieur, et l'autre grand, supérieur; dans l'herbier de Kew j'ai vu aussi un exemplaire avec trois ramifications de l'épi; la plus grande de ces ramifications était elle-même divisée à son tour, probablement par dichotomie.

VI.

Développement du sporange et des spores.

La partie fertile de la feuille, l'épi, se développe très lentement, presque pendant trois années. Comme je l'ai dit plus haut, les cellules périphériques à la base du limbe donnent naissance

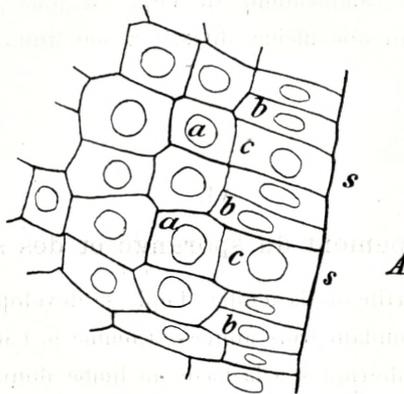
¹⁾ Luerssen: Zur Flora von Queensland. Journal des Museums Godefroy. Heft VIII. Taf. 13, Fig. 79, 80.

²⁾ Flora exsiccata Austro-Hungarica. Nr. 1505.

à cette partie. Elles se divisent par des cloisons diversement inclinées et produisent un corps conique très mince (Fig. 16, *d*, p. 71). Les sporanges apparaissent de bonne heure, quand l'épi est encore très petit. Leur apparition est principalement acropétale, les sporanges les plus jeunes étant les plus voisins du sommet de l'épi; mais j'ai vu de jeunes sporanges naître près de la base de l'épi ou au-dessous des plus vieux. M. Russow¹⁾ et M. Goebel²⁾ ont étudié le développement du sporange. M. Goebel a observé une phase jeune, où il y avait trois rangées de cellules de l'archéspore, et l'auteur admet, par analogie avec le *Botrychium lunaria*, que l'archéspore est ici d'abord une cellule unique, non pas hypodermique mais superficielle. M. Russow a étudié aussi le développement des spores.

Les cellules initiales des sporanges ne se distinguent pas des cellules méristématiques voisines; c'est pourquoi il est très difficile de reconnaître l'origine du sporange, mais plus tard, les cellules de l'archéspore sont plus riches en protoplasme que les cellules voisines. On peut observer les premières phases du développement du sporange dans une section longi-

Fig. 17.



¹⁾ Russow: l. c. p. 125.

²⁾ Goebel: Beiträge zur vergleichenden Entwicklungsgeschichte der Sporangien. Bot. Zeit. 1881. p. 685.

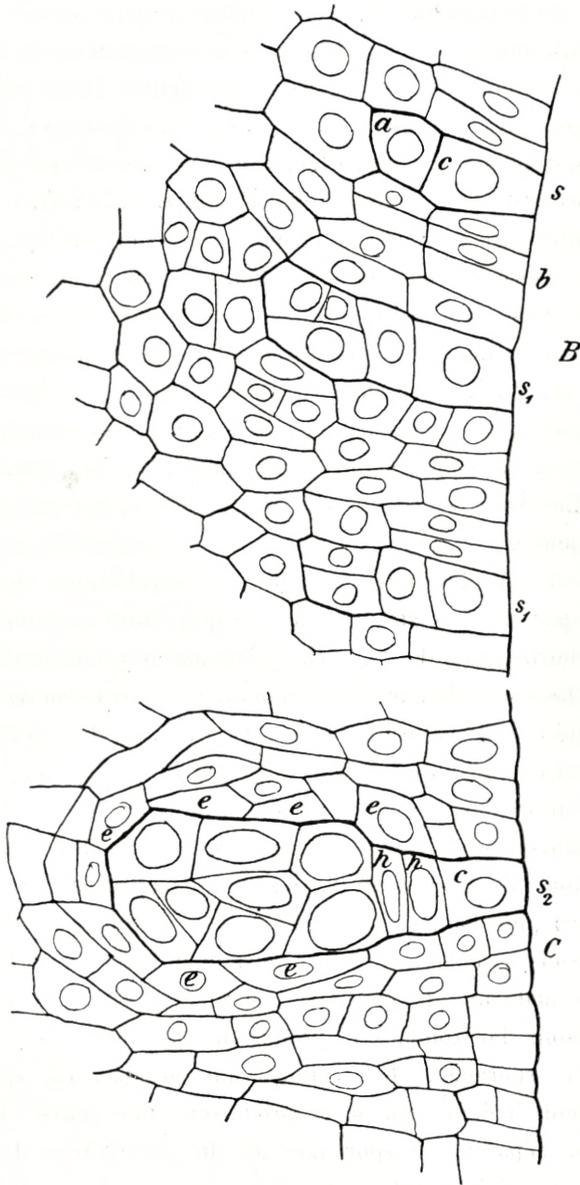


Fig. 17 (A p. 76, B, C). Section longitudinale d'un jeune épi; s, s... s₁, s₂, sporanges.

itudinale de l'épi. Bien que les cellules initiales soient ici pareilles aux autres, on peut reconnaître les premières phases du sporange en comparant les cloisons des cellules avec celles des phases plus avancées (Fig. 17, *s, s₁, s₂*), où les limites du sporange sont plus marquées. L'état le plus jeune que j'ai observé, présente deux cellules (Fig. 17, *A, s*, p. 76; *B, s*, p. 77), dont l'intérieure (*a*) est l'archéspore et l'extérieure (*c*) produit la paroi extérieure du sporange (Fig. 17, *C, s₂*). Cette cellule se divise par des cloisons tangentielle et radiales (Fig. 17, *s, s₁*), tandis que les cellules superficielles voisines de l'épi (Fig. 17, *A, B, b, b*) se divisent encore par des cloisons anticlines; c'est pourquoi la cellule extérieure du sporange (Fig. 17, p. 76, *A, c*), dans une section longitudinale, est plus grande que les cellules voisines, et on peut par là reconnaître le sporange le plus jeune.

Il est possible que la cellule de l'archéspore se divise d'abord par une cloison radiale, et plus tard par une autre cloison horizontale (Fig. 17, *B, s₁*) et par une cloison tangentielle. Dans cet état, le jeune sporange est peu marqué. Plus tard, dans la phase représentée Fig. 17, *C, s₂*, il est très nettement marqué et l'archéspore est alors divisé en plusieurs cellules, remplies de protoplasme et d'un grand noyau. Le paroi extérieure du sporange est formée de trois couches de cellules (Fig. 17, *C, s₂*), dont les intérieures (*h, h*) sont plus aplaties et les extérieures (*e*) plus hautes; ces cellules se divisent longtemps par des cloisons radiales, verticales et tangentielles, et seulement avant la maturité du sporange, elles se divisent une fois par des cloisons horizontales et produisent la couche par laquelle s'ouvre le sporange. Les cellules qui entourent le sporange se divisent irrégulièrement et produisent une masse de cellules, qui séparent les sporanges les uns des autres. Les cellules plus intérieures de cette masse forment la paroi interne du sporange (Fig. 17, *C, e, e*), elles se divisent par des cloisons parallèles à sa périphérie et deviennent de plus en plus aplaties.

(Pl. II, fig. 1, *a*). Les cellules de l'archéspore se divisent dans diverses directions et produisent un tissu compact de cellules (Pl. II, fig. 1, *A*), possédant un protoplasme granulé, de grands noyaux, de l'amidon (de la chlorophylle?) et des parois de cellulose. Le noyau est d'abord plus grand par rapport au protoplasme au centre duquel il est situé, mais plus tard il est placé plus près de la paroi de la cellule (voir le milieu de la fig. 1, Pl. II), et il est entouré d'une couche de protoplasme plus claire que l'autre, qui remplit la cellule et contient des grains très petits d'amidon. Dans cet état, les parois des cellules ne sont plus composées de cellulose. Les deux ou trois couches de cellules les plus extérieures (Pl. II, fig. 1, *c*) sont très riches en amidon et deviennent presque noires par l'iode. Ces cellules ne produisent pas de spores, mais se dissolvent et forment ainsi un épithélium analogue au «Tapet». L'ensemble des cellules mères se partage de plus en plus en groupes de cellules, et cela provient de ce que les parois plus âgées se gonflent plus tôt que les parois plus jeunes. Plus tard, ces groupes deviennent plus nombreux et en même temps plus petits; enfin, ils se divisent en cellules, qui commencent aussitôt à former des tétrades. L'intérieur du sporange est alors rempli d'une masse protoplasmique ayant la forme d'un réseau, dans les mailles duquel sont placées les tétrades (Pl. II, fig. 5). Cette masse renferme une très grande quantité d'amidon et des corps (ib. *c, c*) qui doivent être regardés comme des noyaux à cause de leurs réactions. Chaque tétrade est entourée d'une membrane hyaline (Pl. II, fig. 5, 6, 7, *a*) qui est soluble dans l'eau. La masse protoplasmique, pleine d'amidon, qui remplit le sporange entre les tétrades, est formée non seulement par les cellules détruites provenant de la paroi du tapète, mais aussi par d'autres cellules qui ne se divisent pas et ne produisent pas de tétrades, mais qui se fusionnent après la dissolution de leurs membranes. Leurs noyaux sont dispersés en grand nombre entre les tétrades, et ont des formes très différentes et irrégulières (Pl. II, fig. 5, *c, c*).

Selon les opinions actuellement dominantes¹⁾, la masse protoplasmique du sporange et ses noyaux («le plasmode») proviennent exclusivement des cellules épithéliales, mais dans l'*Ophioglossum* il n'en est pas ainsi. Je laisse de côté les détails du développement du sporange et des spores, me réservant de les publier dans un travail plus détaillé.

La masse protoplasmique sert probablement à la nutrition des tétrades et des spores; elle disparaît à mesure que les tétrades et les spores se développent. La cellule mère d'une tétrade se divise en quatre cellules mères de spores, qui sont disposées ou bien aux sommets d'un tétraèdre ou dans deux plans (Pl. II, fig. 5), et les spores sont ainsi tétraédriques ou bilatérales. Quelquefois la cellule mère d'une tétrade ne se divise pas, et elle produit alors une grande spore, ou bien elle se divise une fois et produit alors deux spores. La membrane de la tétrade (Pl. II, fig. 6, 7, a), est soluble dans l'eau. Chaque cellule mère de la spore a aussi une membrane propre (Pl. II, fig. 6, 7, b) qui ne se dissout pas aussi rapidement dans l'eau; elle est plus épaisse sur les côtés extérieurs des spores et plus mince dans leurs plans de contact (Pl. II, fig. 6); elle reste assez longtemps sur la spore mère et devient très visible après coloration par l'hématoxyline ou la safranine (Pl. II, fig. 2, b). La membrane extérieure de la spore (exospore) apparaît ensuite comme une couche homogène assez épaisse (Pl. II, fig. 7, c) qui se différencie en deux couches: une extérieure plus mince et une intérieure plus épaisse (Pl. II, fig. 6). Cette dernière ne se développe pas aux points de contact des spores (Pl. II, fig. 3, b), où l'exospore est représenté seulement par la couche extérieure (Pl. II, fig. 3, b). La surface convexe de la spore est recouverte par les proéminences de l'exospore. Une spore mère contient du protoplasme, un noyau, de l'amidon et de l'huile, mais il arrive souvent que les spores d'un sporange

¹⁾ Comp. p. ex. Strassburger: *Über das Wachstum vegetabilischer Zellhäute*. Jena 1889. p. 8.

sont tout à fait vides, et leurs membranes se plient alors sur la face ventrale (intérieure dans la tétrade), de sorte que la spore ressemble à une petite coupe. Quelquefois les membranes de ces spores sont tout à fait lisses. Il est très probable que, dans ces cas, les spores n'ont pas reçu une alimentation suffisante. Il est clair que ces spores ne germent pas, mais les spores qui paraissent être mûres et normales ne semblent pas non plus germer; en tout cas, la germination des spores de l'*Ophioglossum vulgatum*, son prothalle et son embryon sont encore inconnus. Mettenius¹⁾ a trouvé une fois des prothalles et des embryons de l'*Ophioglossum pendulosum*, qui a une si grande affinité avec l'*Ophioglossum vulgatum*, qu'il peut être regardé²⁾ comme une variété de celui-ci, et il est très probable, que ses prothalles et ses embryons sont pareils à ceux de l'*Ophioglossum vulgatum*. Jusqu'à présent, on n'a jamais réussi à trouver dans la nature des prothalles de l'*Ophioglossum vulgatum*, ni à en faire germer les spores dans les laboratoires. Mais cette particularité de ne pouvoir germer n'est pas propre à cette espèce. Nous connaissons à présent beaucoup de plantes phanérogames qui se multiplient par des organes végétatifs et ne portent pas de graines, ou dont les graines ne peuvent pas germer³⁾. Dans les Cryptogames vasculaires il y a des plantes, par exemple l'*Asplenium esculentum*⁴⁾, qui se multiplient par des bourgeons de racines et qui n'ont pas de spores. Nos *Lycopodium* se multiplient par des organes végé-

¹⁾ Mettenius: Filices horti bot. Lipsiensis. Leipzig 1856. p. 119.

²⁾ Comp. Luerssen: Zur Flora von Queensland. p. 7.

³⁾ Comp. Ch. Darwin: Das Variiren der Thiere und Pflanzen im Zustande der Domestication. Stuttgart. II. Bd. Cap. XVIII. p. 194.

⁴⁾ L'*Adiantum amabile* se multiplie aussi par des bourgeons radicaux, qui présentent une transformation du cône végétatif de la racine, comme cela arrive dans l'*Asplenium esculentum* etc. (comp. mon article Flora 1890, Heft 2), mais l'*Adiantum amabile* porte des spores. Il serait intéressant de connaître la relation qui existe entre ces deux modes de multiplication.

tatifs, et portent beaucoup de spores qui ordinairement ne germent pas. Bien qu'à présent les prothalles de quelques *Lycopodium* soient connus, les cas de germination de spores sont extraordinairement rares. Il est très probable que la plante, pour porter des spores tout à fait mûres, a besoin de circonstances particulières, qui manquent ordinairement. C'est pourquoi, je crois que tous nos essais pour obtenir la germination des spores des *Lycopodium* et de l'*Ophioglossum vulgatum* seront presque toujours vains, tant que nous ne connaissons pas les circonstances dans lesquelles la plante peut porter des spores capables de germer.

Explication des figures.

(Toutes mes figures sont faites à l'aide de la chambre claire d'Abbé, et la plupart avec l'oculaire 2 et l'objectif D de Zeiss.)

Planche I.

- Fig. 1. Plante adulte vers la fin de l'automne: f_1 , feuille de l'été suivant; g , gaine; x , sommet primitif de la gaine; f_2 , seconde feuille; f_3 , troisième feuille; Rst, Rst_1, \dots débris de feuilles mortes; rm , racine mère; la flèche indique la direction de la racine mère.
- Fig. 2. Section longitudinale d'un bourgeon très jeune. I, II, III , feuilles; e , écorce; g, rm comme dans Fig. 1; x , xylème; ph , phloème; g_1 , stipule de la feuille I ; g_2 , stipule de la feuille II .
- Fig. 3. Section longitudinale d'un bourgeon plus âgé, où la première feuille (I) est déjà épanouie; g , première gaine; g_1 , seconde gaine (stipule de la première feuille); c , canal; g_2 troisième gaine (stipule de la seconde feuille); g_3 , quatrième gaine (stipule de la troisième feuille).
- Fig. 4. Cylindre central d'un bourgeon très jeune, préparé par macération; f_1, f_2, \dots faisceaux des feuilles successives; r_2, r_3, \dots faisceaux des racines correspondantes.
- Fig. 5. Cylindre central d'une tige adulte.
- Fig. 6. Extrémité gonflée de la racine. Première phase de l'apparition du bourgeon.
- Fig. 7. Bourgeon un peu développé, où la première feuille (f_1) vient de percer sa gaine (g); rm , racine mère.
- Fig. 8. Une tige faussement ramifiée. I, II, III, \dots débris de feuilles; 1, 2, 3... racines correspondant aux feuilles. Dans chaque rameau, I, II, \dots feuilles; 1, 2, 3... racines; rm , racine mère.

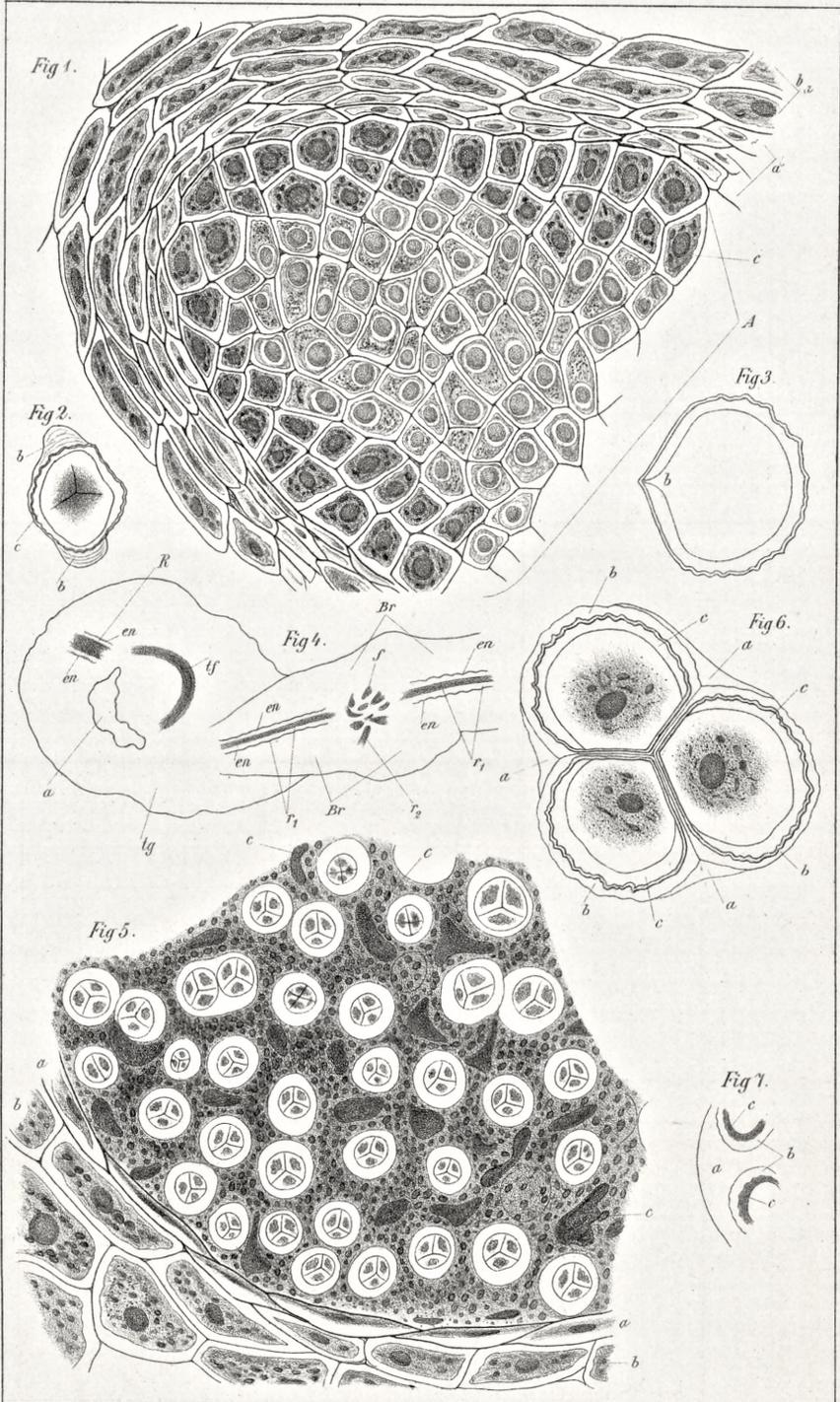


Planche II.

- Fig. 1. Fragment d'une section longitudinale d'un jeune sporange: *b*, cellules plus riches en amidon; *a*, cellules pauvres en amidon; *c*, cellules épithéliales (tapète).
- Fig. 2. Spore mûre; *c*, exospore; *b*, membrane de la cellule mère.
- Fig. 3. Section transversale d'une spore mûre. (Ocul. F, obj. 2.)
- Fig. 4. Section transversale d'une tige faussement ramifiée: *tg*, tige; *Br*, rameau; *r*, *r*₁, faisceau à la base du rameau; *en*, endoderme; *f*, entonnoir; *r*₂, racine du rameau; *R*, faisceau d'une racine de la tige; *tf*, faisceau du cylindre central de la tige; *a*, partie détruite de la tige.
- Fig. 5. Partie d'une section longitudinale d'un sporange; *a*, *b*, comme dans la Fig. 1.
- Fig. 6. Section d'une tétrade; *a*, membrane de la cellule mère de la tétrade; *b*, membrane de la cellule-mère de la spore; *c*, exospore. (Ocul. F, obj. 2.)
- Fig. 7. Partie d'une tétrade plus jeune. *a*, *b*, *c*, comme dans la Fig. 6, 7.
-