bleau ci-joint permettra d'embrasser d'un coup d'œil ce classement.

MOUVEMENTS	apparents, dus à des inégalités de croissance.	cause interne.....		*Nutation*, *Circumnutation*, *Enroulement*.
		cause externe.	pesanteur...	*Géotropisme*.
			lumière.....	*Phototropisme*.
			température.	*Thermotropisme*.
			humidité....	*Hydrotropisme*.
	vrais, affectant des organes développés.	cause externe.	lumière.....	*Phototactisme*, *Nyctitropisme*.
			contact.....	*Mouvements de la Sensitive, des plantes carnivores, etc.*
		cause interne.....		*Mouvements périodiques spontanés* (*Hedysarum gyrans*).

a ca 476

VINGT-CINQUIÈME LEÇON

Les Cryptogames vasculaires. Les Fougères.

Classification des plantes vasculaires. — Les plantes vasculaires, dont nous connaissons maintenant l'organisation générale, se répartissent entre deux embranchements. L'un comprend celles qui sont dépourvues de fleurs ou, comme on dit, Cryptogames : c'est l'embranchement des *Cryptogames vasculaires*. L'autre comprend l'ensemble des plantes à fleurs : c'est l'embranchement des *Phanérogames*.

Les Cryptogames vasculaires. — L'embranchement des *Cryptogames vasculaires* se partage lui-même en trois classes. A la classe des *Filicinées* appartient l'ordre des *Fougères*, dont l'étude fera l'objet de la leçon d'aujourd'hui.

Les Fougères. — Nous pouvons prendre, comme type

de Fougères, une des espèces les plus communes dans nos pays, telle que le Polypode vulgaire (*Polypodium vulgare*) (*fig.* 284), la Fougère mâle (*Polystichum* ou *Aspidium Filix mas*), la Fougère Grand Aigle (*Pteris aquilina*), etc.

Fig. 284. — Fougère (Polypode).

Appareil végétatif. — Dans toutes ces espèces, la tige est entièrement souterraine et suit ordinairement une direction horizontale : c'est un rhizome. A ce rhizome sont fixées, de distance en distance, des racines latérales qui se ramifient à l'intérieur du sol. Il porte, d'autre part, des feuilles grandes et découpées, dont les pétioles se dressent verticalement et qui constituent à elles seules toute la partie aérienne de la plante. Tige, racine, feuilles, tels sont les trois membres dont nous avons à reprendre sommairement l'étude pour connaître, dans ses grandes lignes, l'organisation de l'appareil végétatif des Fougères.

Tige. — La tige, souterraine et horizontale dans toutes les Fougères de nos pays, se montre au contraire aérienne et verticale chez beaucoup d'espèces des pays chauds ; ces

espèces ont à peu près le même port que les Palmiers : ce sont des « Fougères arborescentes ».

La tige des Fougères se ramifie fréquemment ; mais la position des mamelons latéraux, qui donnent naissance aux branches, n'a pas chez elles la même fixité que chez les Phanérogames : leur position est bien en relation plus ou moins étroite avec celle des feuilles ; mais, loin d'occuper constamment l'aisselle de la feuille, le mamelon est souvent situé au-dessous ou à côté de son point d'insertion.

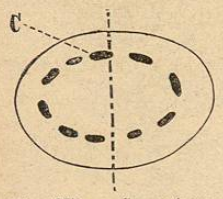

Fig. 285. — Coupe transversale d'un rhizome de *Polystichum Filix mas* (schéma). — C, cordon vasculaire. (Le trait discontinu indique le plan de symétrie.)

Une coupe transversale faite dans un rhizome de Polypode ou de Fougère mâle (*fig.* 285) y révèle l'existence d'un certain nombre de cordons vasculaires dont les sections (C) sont distribuées assez régulièrement sur une courbe concentrique à la surface de la tige. En dehors de ce cercle principal de cordons vasculaires, on observe quelques cordons plus étroits, disséminés plus ou moins irrégulièrement dans la zone externe de la tige. Si on isole par la macération l'ensemble de ces cordons vasculaires, de manière à en obtenir une sorte de dissection naturelle, on observe (*fig.* 286, A) que les cordons principaux forment, en se ramifiant et en anastomosant leurs branches, une sorte de réseau à mailles assez régulières dont la surface générale présente la forme d'un cylindre concentrique à la surface du rhizome ; c'est du fond des mailles de ce réseau que se détachent (*fig.* 286, B) les cordons plus grêles

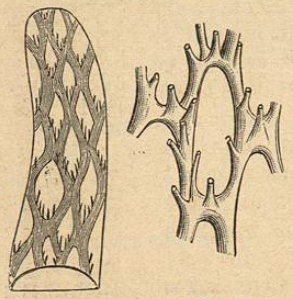

Fig. 286. — A, réseau vasculaire d'un rhizome de *Polystichum Filix mas*, vu en perspective (schéma). — B, une maille du même réseau, plus grossie.

qui se dirigent vers les régions extérieures de la tige et que la coupe transversale rencontre en dehors du cercle principal ; disons tout de suite que, si l'on suit jusqu'au bout le trajet de ces cordons étroits, on les voit se rendre aux feuilles portées par la tige : ce sont des cordons foliaires.

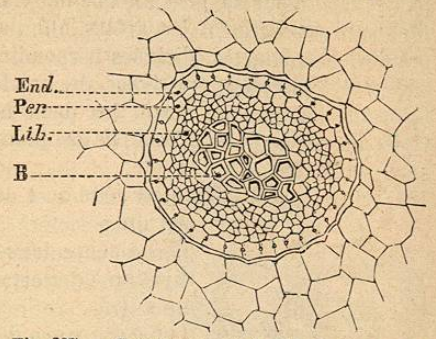

Fig. 287. — Coupe transversale d'un cordon vasculaire d'une tige de Fougère. — *End.*, endoderme ; *Per.*, péricycle ; *Lib.*, liber ; B, bois.

Une coupe transversale, plus grossie, d'un cordon vasculaire permet d'en étudier la structure (*fig.* 287). Le cordon est séparé du parenchyme qui l'enveloppe par une assise présentant les caractères d'un endoderme. Au-dessous de cet endoderme, quelques assises de cellules à parois minces représentent une sorte de péricycle. Puis vient un anneau de liber dont la forme générale est celle d'une ellipse plus ou moins déformée, et dans lequel les tubes criblés, imparfaitement différenciés, ne perforent jamais complètement les orifices de leurs cribles. L'espace circonscrit par le liber est occupé par un massif ligneux. Entièrement dépourvu de fibres, ce bois renferme, avec quelques cellules vasculaires, des vaisseaux généralement imparfaits. Ceux qui se différencient les premiers occupent les deux foyers de l'ellipse qui limite la section transversale du bois : ce sont des vaisseaux annelés et spiralés. Les vaisseaux qui se différencient en dernier lieu sont, au contraire, groupés autour du centre de la section : ce sont généralement des

Fig. 288. — Vaisseaux scalariformes.

vaisseaux scalariformes (*fig.* 288). Un vaisseau scalariforme offre l'aspect d'un prisme hexagonal dont chaque pan présente sur sa face interne deux bandes d'épaississement qui en occupent les arêtes latérales et de nombreuses bandes, plus courtes, dirigées perpendiculairement aux précédentes : ces deux systèmes de bandes d'épaississement figurent, en quelque sorte, les deux montants et les multiples barreaux d'une échelle, ce qui justifie le nom de « vaisseau scalariforme ».

L'imperfection des tubes criblés et des vaisseaux ligneux est un caractère général des Cryptogames vasculaires; la sculpture scalariforme de certains vaisseaux en est un autre.

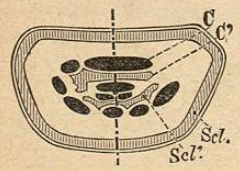

Fig. 289. — Coupe transversale d'un rhizome de *Pteris aquilina* (schéma). — C, C', cordons vasculaires (le trait pointillé partant de C' devrait atteindre une des taches noires intérieures); *Scl.*, *Scl'*, sclérenchyme. (Le trait discontinu indique le plan de symétrie.)

La structure de la tige des Fougères, dont on vient d'étudier la forme la plus simple, se complique parfois par un accroissement du nombre des cordons vasculaires qui la parcourent. C'est ainsi que, dans le rhizome de *Pteris aquilina*, les cordons principaux sont répartis en deux réseaux concentriques dont la section transversale révèle immédiatement l'existence (*fig.* 289).

Souvent aussi cette structure se complique par la présence d'un appareil de soutien, formé de fibres à parois épaisses et lignifiées. Destiné à suppléer à l'absence de fibres dans l'appareil vasculaire, il forme ce qu'on pourrait appeler le squelette de la tige. Cet appareil fait entièrement défaut dans le rhizome de *Polypodium vulgare* ou d'*Aspidium Filix mas*. Il suffit, au contraire, d'examiner à l'œil nu une section transversale du rhizome de *Pteris aquilina* pour y observer un appareil de soutien très développé. Un premier anneau fibreux, concentrique à la surface générale du rhizome, représente la section d'une gaine à peu près fermée qui enveloppe extérieurement les deux réseaux vasculaires : elle ne s'ouvre

que de distance en distance, par des sortes de fenêtres qui établissent une communication entre les parenchymes extérieur et intérieur. Un second anneau, beaucoup moins continu que le premier, représente la section d'un réseau à mailles très larges intercalé entre les deux réseaux vasculaires. Pourvus de membranes fortement colorées en brun, les éléments fibreux de ces deux anneaux communiquent à l'appareil de soutien une teinte noirâtre qui le fait reconnaître de prime abord.

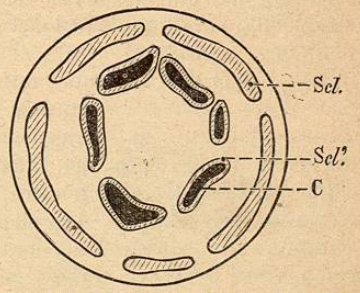

Fig. 290. — Coupe transversale d'une tige aérienne de Fougère arborescente (schéma). — C, cordons vasculaires; *Scl.*, *Scl'.*, sclérenchyme.

Dans les tiges de la plupart des Fougères arborescentes (*fig.* 290) une première gaine fibreuse enveloppe, à l'intérieur de la tige, l'ensemble des cordons vasculaires; chacun de ceux-ci est, à son tour, enveloppé par une gaine spéciale, différenciée aux dépens du parenchyme ambiant.

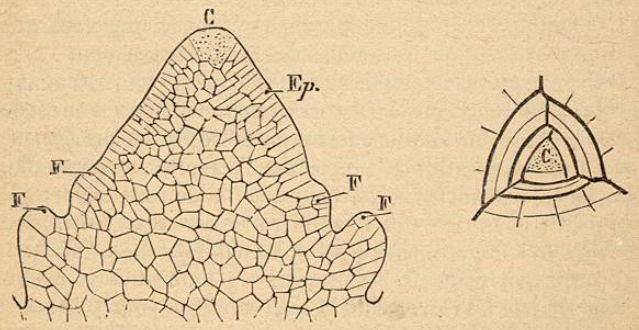

Fig. 291. — A gauche, coupe longitudinale et axile du sommet d'une tige de Fougère; à droite, le centre de ce même sommet, vu de face. — C, cellule initiale; *Ep.*, épiderme; F, feuilles en voie de développement.

C'est par les cloisonnements d'une cellule initiale unique,

occupant exactement le sommet de la tige et présentant ordinairement la forme d'un tétraèdre dont la base coïncide avec la surface de la tige (*fig.* 291), que prend naissance le méristème d'où proviennent tous les éléments qui viennent d'être étudiés.

Par des cloisonnements parallèles à ses faces latérales, cette cellule détache sans cesse des segments aplatis, qui s'empilent les uns au-dessus des autres en trois séries longitudinales et poussent continuellement en avant la cellule initiale; puis des cloisonnements nouveaux interviennent pour décomposer ces segments en cellules qui évoluent de diverses façons et se différencient de manière à constituer les divers tissus de la tige. A ces tissus, que leur origine classe parmi les tissus primaires, ne s'ajoute jamais aucune formation secondaire. — Existence d'une initiale unique, commune à tous les tissus de la tige, absence de formations secondaires dans cet organe, ce sont là deux caractères essentiels et généraux des Cryptogames vasculaires.

Feuille. — Toujours isolée et pourvue d'un pétiole, ordinairement grande et souvent très découpée, la feuille des Fougères présente dans sa structure et son développement quelques caractères spéciaux.

L'épiderme est toujours chargé de corps chlorophylliens, comme il arrive dans les feuilles des plantes aquatiques.

Des cordons vasculaires, issus d'une maille du réseau de la tige, pénètrent dans le pétiole en conservant leur structure concentrique. Après avoir passé dans le limbe, ils simplifient peu à peu cette structure : ils perdent d'abord la portion de leur liber qui regarde la face supérieure de la feuille et se rapprochent des faisceaux collatéraux qui constituent les nervures des feuilles chez les Phanérogames; se ramifiant de proche en proche, ils se simplifient plus encore, perdent le liber de leur face inférieure et enfin se réduisent à quelques vaisseaux seulement.

Enroulée en crosse quand elle est jeune, la feuille est douée d'une croissance très lente, mais qui se poursuit très longtemps, parfois même indéfiniment

C'est aux dépens d'une seule cellule initiale, occupant le sommet de l'organe, que prennent naissance tous les tissus de la feuille.

Racine. — La structure de la racine (*fig.* 292) présente ce caractère général que les faisceaux ligneux s'adossent par leur base suivant l'axe de l'organe, de manière à supprimer toute

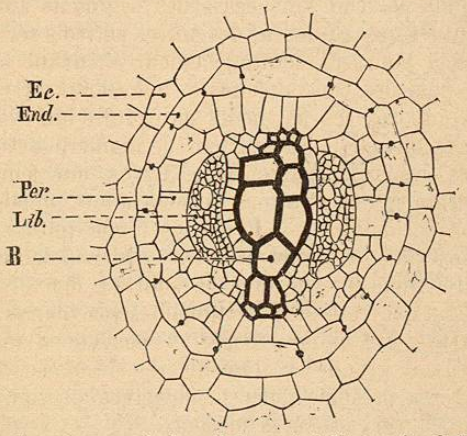

Fig. 292. — Coupe transversale du cylindre central d'une racine de Fougère. — *Ec.*, écorce; *End.*, endoderme; *Per.*, péricycle; *Lib.*, liber; B, bois.

trace de moelle; souvent, d'ailleurs, le nombre des faisceaux se réduit à deux et ils forment tout le long de la racine une sorte de lame vasculaire intercalée entre les deux faisceaux libériens : la racine possède alors une structure « binaire ». Les vaisseaux du bois sont presque toujours imparfaits.

Le centre du méristème subterminal de la racine est occupé (*fig.* 293) par une initiale unique dont la forme est généralement tétraédrique : par des cloisonnements parallèles à sa base, légèrement convexe, cette cellule forme les calottes successives de la coiffe; c'est grâce à des cloisonnements parallèles aux trois faces latérales que s'édifient les divers tissus de l'écorce et du cylindre central. Jamais on ne voit la structure primaire se compliquer de formations secondaires.

La naissance des radicelles chez les Fougères offre quelques caractères spéciaux. Ce n'est pas dans le péricycle, comme chez les Phanérogames, mais dans l'endoderme qu'il faut en chercher l'origine. Une cellule unique de cette assise, placée exactement en face d'un faisceau ligneux, subit quatre cloisonnements successifs, l'un parallèle à la surface de l'endoderme, les trois autres obliques; ainsi se trouve isolée, en son milieu, une cellule tétraédrique qui devient l'initiale des tissus d'une radicelle. Bientôt dans celle-ci s'organisent des faisceaux ligneux et libériens qui se raccordent avec ceux de la racine principale; quand la structure de la racine principale offre le type binaire, comme il arrive fréquemment, c'est ce type qui se retrouve aussi dans la radicelle et le plan de la lame vasculaire de celle-ci est perpendiculaire à celui de la lame vasculaire dans la racine principale (*fig.* 294).

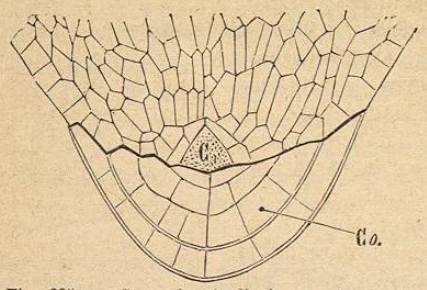

Fig. 293. — Coupe longitudinale et axile dans le sommet d'une racine de Fougère. — C, la cellule initiale; Co, coiffe.

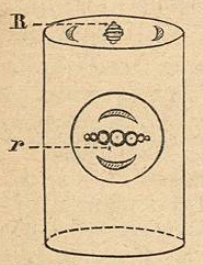

Fig. 294. — Schéma de la disposition des plans vasculaires dans une racine principale et une radicelle à structure binaire, chez une Fougère. — R, section transversale de la racine principale, vue en perspective; *r*, section transversale de la radicelle, vue de face.

L'existence d'une initiale unique pour les tissus de la racine, l'absence de formations secondaires dans cet organe, l'origine de chaque radicelle dans une cellule unique de l'endoderme, la direction que prend le plan de la lame vasculaire dans la radicelle par rapport à celui de la racine principale, sont autant de caractères généraux chez les Cryptogames vasculaires.

Reproduction et développement. — Un chapitre important, dans l'étude des Fougères, est celui de la reproduction et du développement.

Sporange et spores. — Quand on examine, à l'époque de la reproduction, la face inférieure d'une feuille de Fougère, d'*Aspidium Filix mas*, pour fixer les idées, on observe de distance en distance, le long des nervures, de petites taches brunes et granuleuses qu'on appelle des *sores*, et dont chacune est protégée par une fine membrane, au contour arrondi et échancré en forme de rein, qu'on appelle une *indusie* (*fig.* 295).

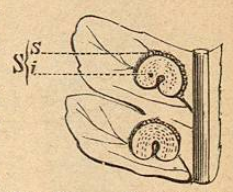

Fig. 295. — Un fragment de la face inférieure d'une feuille de *Polystichum Filix mas*. — S, un sore; *s*, sporange; *i*, indusie.

Une coupe transversale faite à travers le limbe de la feuille, au niveau d'un sore, montre (*fig.* 296) que le centre de ce massif est occupé par une proéminence, de forme à peu près hémisphérique. Du sommet de cette proéminence se détache un court pédicelle qui

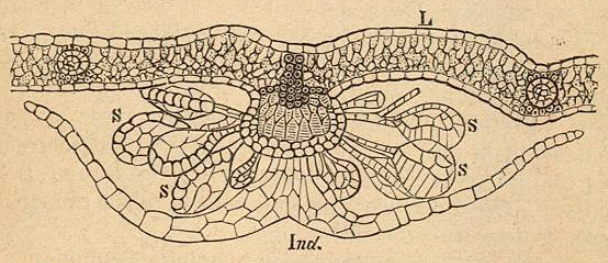

Fig. 296. — Coupe dans le limbe d'une feuille de *Polystichum Filix mas*, au niveau d'un sore. — L, limbe; *Ind.*, indusie; S, sporanges.

supporte l'indusie. A ses flancs sont fixés un certain nombre d'organes bruns, dont la grosseur ne dépasse pas, ordinairement, celle d'une très petite tête d'épingle et qui sont des *sporanges*. Un sore est donc, en définitive, un groupe de sporanges protégé par une indusie.

Le sporange, arrivé à maturité, se montre formé de deux

parties (*fig.* 297). Un pied, qui comprend une ou plusieurs files de cellules, le rattache à la face inférieure du limbe. La partie principale du sporange est une sorte de sac dont la paroi est constituée par une seule assise de cellules : il contient un nombre plus ou moins grand de spores, groupées quatre par quatre ; leurs membranes sont fortement cutinisées, colorées en brun et hérissées d'aspérités diverses. Le long d'une ligne qui occupe un des méridiens de la surface du sporange, si on veut assimiler celle-ci à une surface de révolution, une file de cellules, formant ce qu'on appelle l'*anneau*, subissent une différenciation spéciale : chacune d'elles épaissit et lignifie sa membrane sur la face interne et sur les faces de contact avec les deux cellules voisines de l'anneau, de manière à former une sorte de fer à cheval dont les branches sont ouvertes vers l'extérieur.

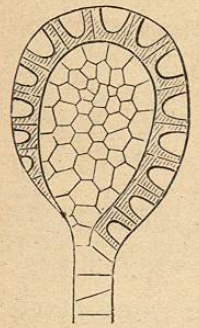

Fig. 297. — Un sporange de Fougère, très grossi.

Telle est la structure ordinaire d'un sore chez les Fougères les plus communes de nos pays. Cette structure est sujette à quelques variations. L'indusie peut manquer et le sore est alors à nu : c'est ce qui arrive chez les Polypodes (*fig.* 298) ; elle peut être composée de deux lèvres inclinées l'une vers l'autre et formant comme les deux moitiés d'un toit entr'ouvert sur son arête : c'est ce qui arrive chez les Scolopendres (*fig.* 299). L'anneau du sporange peut affecter les dispositions les plus variées : ordinairement incomplet comme dans la Fougère mâle, il s'étend quelquefois sur un méridien tout entier de la surface; dans certains cas, sa direction est transversale par rapport à l'axe du sporange ; parfois encore il forme, au sommet de ce dernier, une sorte de calotte terminale.

Fig. 298. — Sore d'un Polypode (il n'y a pas d'indusie).

Fig. 299. Un pied de Scolopendre.

Toutes ces variations n'ont qu'une importance secondaire. Il est plus important de savoir quelle est l'origine et la signification morphologique du sporange (*fig.* 300).

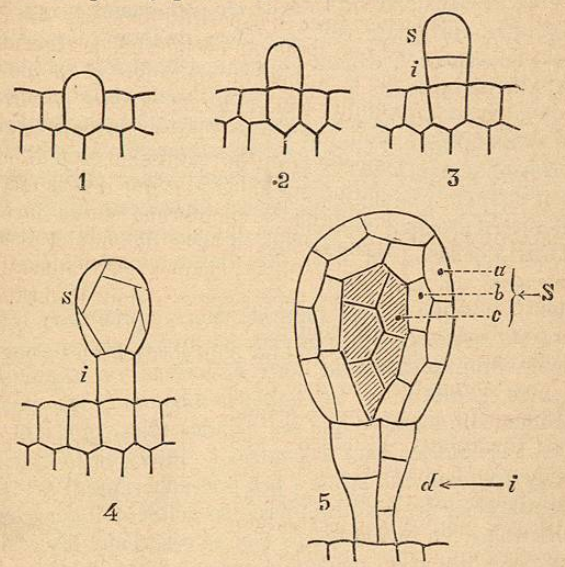

Fig. 300. — Développement d'un sporange de Fougère (schéma).

Quand un sporange va se former, on voit une cellule épidermique de la feuille pousser vers l'extérieur une sorte de papille (1). Puis celle-ci se cloisonne à sa base et se sépare de sa cellule mère (2). Plus tard, elle subit un cloisonnement transversal qui la divise en deux cellules successives, S et *i* (3). De ces deux cellules, la plus voisine de l'épiderme générateur (*i*) forme, après quelques cloisonnements, le pied

du sporange (*d*). C'est la cellule terminale (S) qui va constituer le sac sporangial. A cet effet, elle prend quelques cloisons tangentielles, plus ou moins obliques les unes par rapport aux autres ; ce cloisonnement isole une cellule centrale, de forme polyédrique, enveloppée par une assise pluricellulaire (4). Ce sont les cellules extérieures qui, par des cloisonnements perpendiculaires à la surface du sporange, donnent naissance à l'enveloppe de ce dernier (*a*). Quelques-unes des cellules résultant de ce cloisonnement épaississent et lignifient fortement diverses faces de leurs membranes : ce sont elles qui constituent l'anneau. Quant à la cellule centrale, elle ne tarde pas à subir de nombreux cloisonnements, qui donnent naissance à un massif de cellules, au nombre de seize ordinairement : ce sont les *cellules mères des spores* (*c*). Les cloisonnements qui se produisent vers la périphérie du massif donnent une ou deux assises de cellules (*b*) qui doublent intérieurement l'enveloppe du sporange et que nous pouvons appeler, pour fixer dès maintenant les idées, des *assises nourricières*.

Bientôt chaque cellule mère de spore, après deux bipartitions successives de son noyau, se divise, par un cloisonnement simultané suivant deux directions rectangulaires, en quatre cellules filles. Les lamelles moyennes des cloisons se gélifient, de manière que les cellules filles, qui sont des spores, s'isolant les unes des autres à l'intérieur de la cellule mère, y prennent une forme à peu près sphérique. Plus tard, les membranes des cellules mères se gélifient à leur tour et se détruisent, en même temps que se résorbent les assises nourricières qui protégeaient le massif des cellules mères. Les débris provenant de ces multiples destructions sont utilisés par les spores, qui achèvent de croître et de se différencier. Chacune d'elles cutinise entièrement sa membrane et la dédouble en deux couches dont la plus externe se colore fortement et se hérisse d'ornements divers.

En résumé, le sporange, développé de la sorte aux dépens d'une cellule épidermique de la feuille, possède l'origine et la valeur morphologique d'un poil.

Quand le sporange est arrivé à maturité et qu'il se trouve exposé à la sécheresse, il se déchire brusquement, et par l'ouverture ainsi produite les spores sont mises en liberté : c'est le phénomène de la déhiscence du sporange (*fig.* 301). Le mécanisme de ce phénomène a été étudié par M. Leclerc du Sablon dans ses moindres détails (*fig.* 302). Il serait fort long de les exposer complètement. Retenons simplement que c'est la structure spéciale des cellules de l'anneau qui rend la paroi du sporange sensible aux alternatives d'humidité et de sécheresse. Dans une atmosphère sèche, chaque cellule de l'anneau évapore, à travers la face externe et mince de sa membrane, une partie de l'eau qu'elle contient. De là résulte une tendance des deux branches du fer à cheval à rapprocher leurs extrémités, et, comme cette tendance se manifeste simultanément dans toutes les cellules

Fig. 301. — Sporange d'un Polypode.

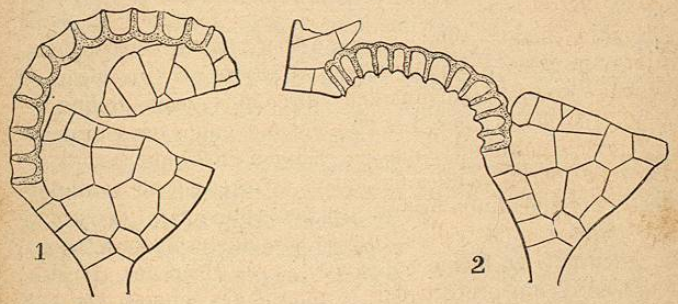

Fig. 302. — Deux phases de la déhiscence d'un sporange de Fougère (d'après M. Leclerc du Sablon).

de l'anneau, celui-ci, qui présentait dans le sporange mûr sa convexité vers l'extérieur, tend à se retourner en sens inverse ainsi qu'un arc bandé qui se relâcherait brusquement. Bientôt la membrane mince et peu résistante du sporange cède à la traction que l'anneau exerce sur elle et se déchire irrégulièrement.