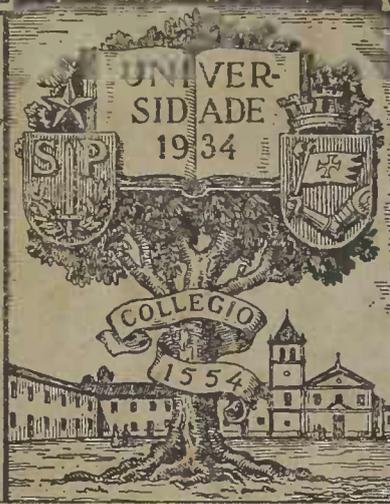


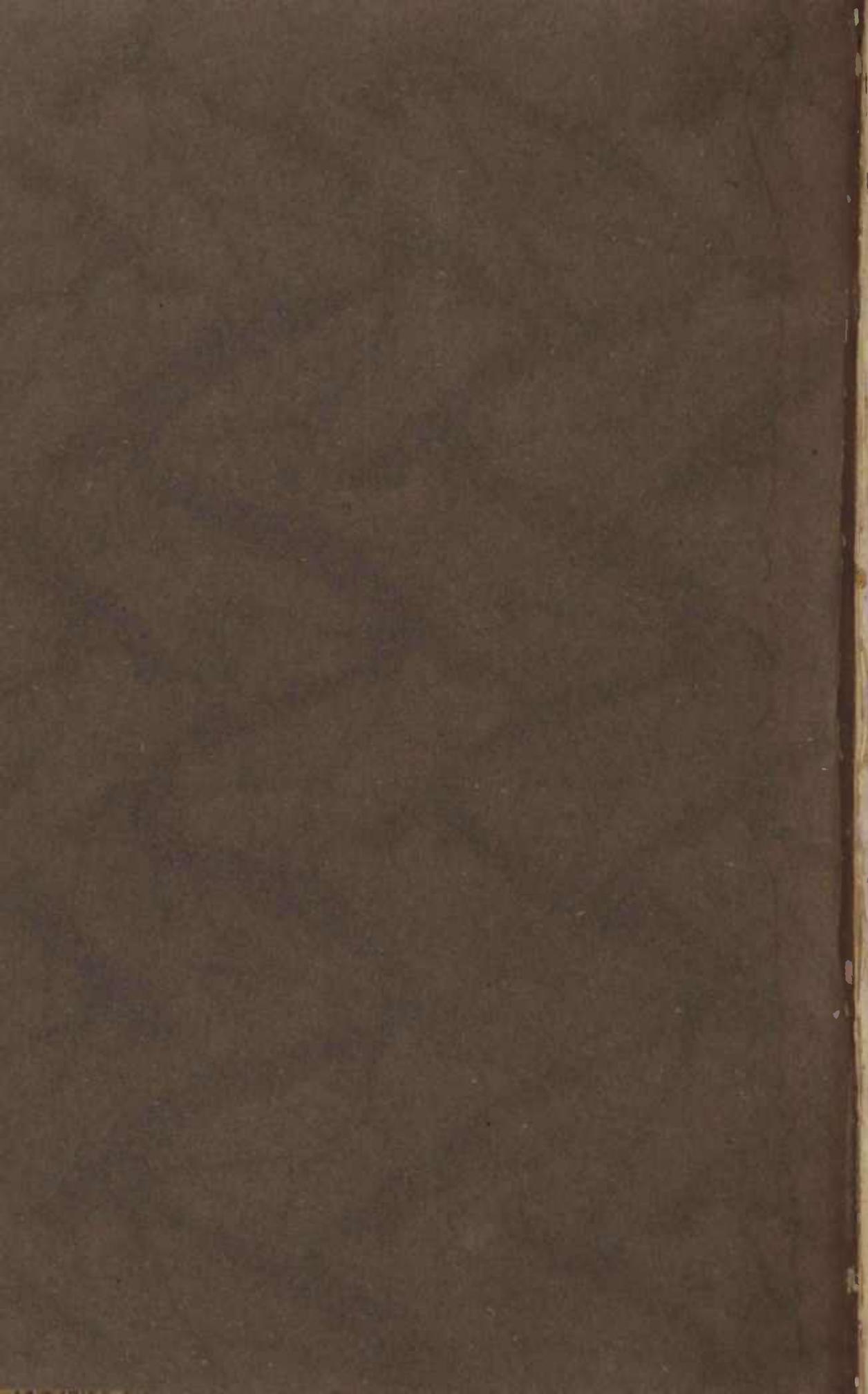
EX-LIBRIS



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA
LUIZ DE QUEIROZ

Nº 379





BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M ÉM AGLAVE

LXXXVIII

**BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE**

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. ÉM. ALGLAVE

Volumes in-8, reliés en toile anglaise. Prix..... 6 fr.
en demi-reliure d'amateur, 10 fr.

88 VOLUMES PUBLIÉS

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

- Roché.** LA CULTURE DES MERS EN EUROPE (Piscifaculture, pisciculture, ostréiculture), avec 81 figures. 6 fr.
- G. de Mortillet.** FORMATION DE LA NATION FRANÇAISE (textes, linguistique, paléontologie), avec 150 figures dans le texte et 18 cartes 6 fr.
- J. Demoor, J. Massart et E. Vandervelde.** L'ÉVOLUTION RÉGRESSIVE EN BIOLOGIE ET EN SOCIOLOGIE, avec 81 figures 6 fr.
- Niewenglowski.** LA PHOTOGRAPHIE ET LA PHOTOCIMIE, avec 120 figures. 6 »
- J.-L. de Lanessan.** PRINCIPES DE COLONISATION. 6 »
- Le Dantec.** THÉORIE NOUVELLE DE LA VIE. 6 »
- Stanislas Meunier.** LA GÉOLOGIE COMPARÉE, avec 35 figures 6 »
- Jaccard.** LE PÉTROLE, L'ASPHALTE ET LE BITUME au point de vue géologique, avec 70 figures 6 fr.
- A. Angot.** LES AUBURES POLAIRES, avec figures. 6 »
- P. Brunache.** LE CENTRE DE L'AFRIQUE (Autour du Tchad), avec 41 figures et 1 carte. 6 fr.
- De Quatrefages.** LES ÉMULES DE DARWIN, avec préfaces de MM. E. PERRIER et HAMY, 2 vol. 12 fr.
- DARWIN ET SES PRÉCURSEURS FRANÇAIS, 2^e édition. 6 »
- A. Lefèvre.** LES RACES ET LES LANGUES. 6 »
- A. Binet.** LES ALTÉRATIONS DE LA PERSONNALITÉ, avec figures. 6 »
- Topinard.** L'HOMME DANS LA NATURE, avec 101 figures. 6 »
- S. Arloing.** LES VIRUS, avec 47 figures 6 »
- Starcke.** LA FAMILLE PRIMITIVE 6 »
- Sir J. Lubbock.** LES SENS ET L'INSTINCT CHEZ LES ANIMAUX, et principalement chez les Insectes, avec 117 figures. 6 fr.
- Berthelot.** LA RÉVOLUTION CHIMIQUE, LAVOISIER, avec figures . . . 6 »
- Cartailhac.** LA FRANCE PRÉHISTORIQUE, avec 162 figures, 2^e édition. 6 »
- Beaunis.** LES SENSATIONS INTERNES. 6 »
- A. Falsan.** LA PÉRIODE GLACIAIRE, principalement en France et en Suisse, avec 105 figures. 6 fr.
- Richet (Ch.).** LA CHALEUR ANIMALE, avec figures. 6 »
- Sir John Lubbock.** L'HOMME PRÉHISTORIQUE, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une étude sur les mœurs et les coutumes des sauvages modernes, avec 228 gravures, 3^e édition, 2 vol. 12 fr.
- Daubrée.** LES RÉGIONS INVISIBLES DU GLOBE ET DES ESPACES CÉLESTES, avec 78 fig., 2^e édition, revue et augmentée 6 fr.

OUVRAGES SUR LE POINT DE PARAÎTRE :

- Guignet.** POTERIES ET ÉMAUX.
- Du Mesnil.** L'HYGIÈNE DE LA MAISON, avec figures.
- Gellé.** PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION, avec figures.
- Kunckel d'Herculais.** LES SAUTERELLES, avec figures.
- Cartailhac.** LES GAULOIS, avec figures.
- Ed. Perrier.** L'EMBRYOGÉNIE GÉNÉRALE, avec figures.

LES
VÉGÉTAUX

ET

LES MILIEUX COSMIQUES

(ADAPTATION — ÉVOLUTION)

PAR

J. COSTANTIN

Maitre de Conférences à l'École normale supérieure

AVEC 171 GRAVURES DANS LE TEXTE

PARIS

ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET C^{ie}

{ FÉLIX ALCAN, } ÉDITEUR

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—
1898

Tous droits réservés

PRÉFACE

Vers quel but tendent les sciences de la nature ? Doivent-elles « se borner à observer, constater, décrire les faits et les coordonner à l'aide de la classification », comme le voulait Cuvier ? Est-il admissible que l'édification de la « méthode naturelle » soit « toute la science » ? Malgré tout le respect dû à une des plus grandes gloires de notre pays, nous ne pouvons nous empêcher de trouver cette conception bien étroite. Cuvier, d'ailleurs, ne s'était pas toujours exprimé ainsi, et, en 1796, dans le plein épanouissement de son génie, il voulait que le savant s'élevât « avec enthousiasme à la recherche des causes ».

La découverte des causes n'est pas toujours facile en Biologie, et bien souvent le naturaliste les remplace par les hypothèses les plus chimériques ; aussi ces dernières sont-elles suspectes à beaucoup d'excellents esprits, à ceux en particulier qui, sans rechercher la gloire bruyante, contribuent le plus puissamment aux progrès de la science. Ces pionniers patients du progrès, qui sont légion, répètent volontiers avec Cuvier que « les faits sont pour l'esprit humain la seule acquisition durable et que c'est vers leur découverte que les esprits sages doivent diriger leurs efforts ». C'est à la science des faits que ces savants croient devoir se tenir, car, en dehors d'elle « il n'y a que succès illusoire et triomphe d'un jour ».

Personne ne saurait protester contre des opinions aussi justes ; c'est grâce à leur triomphe définitif que notre époque

mériterait de s'appeler dans l'avenir le siècle de la science.

Les efforts de beaucoup de chercheurs tendent maintenant avant tout vers un but : accumuler des documents. Surtout dans les sciences d'observation, le nombre des faits trouvés chaque jour devient incalculable, les savants ne peuvent plus connaître qu'un petit nombre de travaux ayant rapport à la partie de la science qu'ils étudient. La plupart des faits nouveaux restent inconnus, ils demeurent stériles et tombent quelquefois dans l'oubli. Beaucoup d'esprits judicieux voient ces résultats avec tristesse et pensent que l'on a un peu trop oublié que les faits ne constituent pas la science.

« Si l'homme, a dit Laplace, s'était borné à recueillir des faits, les sciences ne seraient qu'une nomenclature stérile, et jamais il n'eût connu les grandes lois de la nature. »

Cette opinion est d'ailleurs celle de tous les savants les plus illustres ; on ne saurait oublier, à ce propos, ce qu'a dit Claude Bernard :

« Un fait n'est rien par lui-même ; il ne vaut que par l'idée qui s'y rattache ou par la preuve qu'il fournit. Quand on qualifie un fait nouveau de *découverte*, ce n'est pas le fait lui-même qui constitue la découverte, mais bien l'idée nouvelle qui en dérive. »

N'excluons donc pas les théories du domaine de la science car nous proscriirions par cela même les idées, dont l'acquisition est le but ultime des efforts des savants. Loin de regarder les hypothèses comme suspectes, recueillons-les si elles sont fécondes et si elles nous permettent d'expliquer et de relier des faits de plus en plus nombreux.

Cuvier a dit avec raison qu'en dehors des ouvrages d'Aristote et de Théophraste, il ne nous était rien resté de l'antiquité au point de vue des sciences physiques et naturelles. Mais n'exagérât-il pas en prétendant que tout ce qu'ont pensé les anciens philosophes ne nous intéresse plus et que toutes leurs hypothèses, « toutes leurs idées systématiques, doivent tomber dans l'oubli ? » La théorie atomique, modifiée, il est vrai, mais reconnaissable, n'est-elle pas acceptée aujourd'hui par les chimistes ? La théorie de la transformation des êtres formulée par Thalès et Empédocle, chantée par Lucrèce, n'a-t-elle pas été reprise de nos jours par Darwin, qui a pu, grâce à elle, imprimer à la Biologie une impulsion si féconde ?

Tous les savants, d'ailleurs, n'affectent pas ce superbe dédain de la philosophie.

« J'aime beaucoup les philosophes, disait Claude Bernard, et je me plais dans leur commerce. » — « Les philosophes se tiennent toujours dans les régions élevées, limite supérieure des sciences. Par là ils communiquent à la pensée scientifique un mouvement qui la vivifie et l'anoblit ; ils reportent vers les solutions inépuisables des grands problèmes, ils entretiennent ainsi une sorte de soif de l'inconnu et le feu sacré qui ne doit jamais s'éteindre chez un savant. »

Ne dédaignons donc pas les plus vieilles idées des philosophes, car les antiques hypothèses qu'on croyait à jamais mortes sont susceptibles de renaître. Les mythes enfouis dans la nuit du passé peuvent reflleurir, et le dernier effort de la science moderne semble devoir confirmer une idée vieille de quatre mille ans.

LES VÉGÉTAUX

ET

LES MILIEUX COSMIQUES

INTRODUCTION

CHAPITRE PREMIER

IDÉES DE GOETHE SUR LA VARIATION DES PLANTES

Lorsque, le 2 août 1830, les nouvelles de la révolution de juillet arrivèrent à Weimar, toute la ville fut en émoi. Eckermann alla chez Goëthe dans le cours de l'après-midi. « Eh bien ! lui cria le grand poète en le voyant entrer, que pensez-vous de ce grand événement ? Le volcan a fait explosion : tout est en flammes, ce n'est plus un débat à huis clos ! — C'est une terrible aventure, répondit Eckermann ; mais dans des circonstances pareilles, avec un pareil ministère, pouvait-on attendre une autre fin que le renvoi de la famille royale ? — Nous ne nous entendons pas, mon bon ami, dit Goëthe. Je ne vous parle pas de ces gens-là. Il s'agit pour moi de bien autre chose ! Je vous parle de la discussion, si importante pour la science, qui a éclaté entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire. » Eckermann restait muet et interdit : « Le fait est de la plus extrême importance, continua Goëthe, et vous pouvez vous faire une idée de ce que j'ai éprouvé à la nouvelle de la séance

du 19 juillet (1). Et voyez combien est grand en France l'intérêt de cette affaire, puisque, malgré les terribles agitations de la politique, la salle était pleine à cette séance. La méthode synthétique ne reculera plus maintenant, voilà ce qui vaut mieux que tout. La question est devenue publique, on ne l'étouffera plus... Voilà cinquante ans que je travaille à cette grande question ; j'ai commencé seul ; j'ai rencontré plus tard quelques secours, et enfin, à ma grande joie, j'ai été dépassé par des esprits de ma famille. Mais voilà que Geoffroy Saint-Hilaire passe de notre côté et avec lui tous ses grands disciples, tous ses partisans français ! Cet événement est pour moi d'une importance incroyable, et c'est avec raison que je me réjouis d'avoir assez vécu pour voir le triomphe général d'une théorie à laquelle j'ai consacré ma vie, et qui est spécialement la mienne. »

Et, plus tard, après avoir consacré ses dernières forces à rédiger un mémoire sur la discussion de l'Institut, il dit à ses amis : « Maintenant je puis mourir ! »

Goethe se trompait cependant quand il croyait assister au triomphe définitif de ses conceptions, car sa théorie n'est devenue classique que tronquée et presque défigurée. Les idées qui lui avaient été si chères furent étouffées et bientôt si complètement oubliées, que bien des personnes éclairées apprendront avec surprise quelle conception profonde se cachait sous la théorie de la métamorphose des plantes.

Tous ceux qui ont appris la botanique sur les bancs du collège ont entendu parler de la métamorphose des feuilles d'après Goethe ; partout on enseigne que les diverses parties d'une fleur : calice, corolle, étamines et pistil, sont des feuilles transformées. C'est là une vue ingénieuse qui a été exposée, en effet, avec détails par l'écrivain allemand dans un petit travail publié en 1790 ; c'est une manière élégante de grouper et d'expliquer un grand nombre de faits qui sans cela seraient épars, mais c'est tout. On n'entrevoit pas là une de ces notions maîtresses qui orientent la science dans une voie nouvelle, et on peut se demander si Goethe ne s'est pas un peu mépris sur la portée de ses découvertes scientifiques.

Cependant, en lisant le récit d'Eckermann, on y trouve une

(1) De l'Académie des sciences de Paris.

telle passion, que l'on est amené à se demander si la théorie à « laquelle Goethe avait consacré sa vie » est bien celle que l'on enseigne aujourd'hui. L'objet du débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire peut d'ailleurs servir à nous éclairer, il s'agissait de l'idée de l'unité de plan dans le règne animal que défendait avec ardeur le second de ces deux savants. La portée philosophique d'une pareille discussion ne pouvait échapper à personne. « Derrière votre théorie des analogues, reprochait Cuvier à son adversaire, se cache au moins confusément une sorte de panthéisme. » — « La doctrine de Geoffroy, a dit M. Perrier, faisait entrevoir sous cette unité une sorte de révélation de la pensée divine, présente dans toutes les parties de l'univers, travaillant sans relâche à ses métamorphoses, se plaisant à étonner notre imagination par l'infinie variété de ses combinaisons. » Les larges conceptions de Geoffroy Saint-Hilaire nous permettent d'entrevoir déjà quelle a été la pensée réelle de Goethe en écrivant la métamorphose des plantes. Un examen plus attentif des autres écrits du grand écrivain allemand va d'ailleurs confirmer pleinement nos présomptions.

Dans un petit ouvrage intitulé *Histoire de mes études botaniques*, écrit en 1831, Goethe a raconté comment il avait été amené, poussé, pour ainsi dire, à s'occuper de botanique et quelle direction il imprima à ses études. « Tous les objets, dit-il, dont nous sommes entourés dès l'enfance conservent toujours à nos yeux quelque chose de commun et de trivial » ; aussi est-ce dans un voyage en Italie, par un changement de climat, que la nature se révèle à lui pour la première fois. L'aspect magique d'un *Bignonia radicans* « dont les rouges campanules tapissaient une haute muraille qui paraissait tout en feu » lui fait comprendre la végétation exotique. La germination d'un *Chamærops humilis*, qu'il observe à Rome et dont il voit les feuilles se modifier et se compliquer, fait naître en son esprit l'idée de la métamorphose. Le passage des Alpes, pendant lequel il compare les formes « hypertrophiées de la plaine » et les formes « rabougries » des stations sèches et élevées, frappe son imagination et lui fait concevoir la notion de la « variabilité des formes végétales » ; par la pensée, il assiste à la transformation « des genres en espèces, des espèces en variétés ».

Il cherche à rendre cette conception plus sensible, et imagine la « plante primitive » à l'aide de laquelle il pénétrera enfin le mystère de la naissance et de l'organisation des végétaux. « Avec ce modèle et sa clef, écrit-il à Herder, on inventera une infinité de plantes nouvelles qui, si elles n'existent pas, pourraient exister et qui, loin d'être le reflet d'une imagination artistique et poétique, auront une existence intime, vraie, nécessaire, et *cette loi créatrice pourra s'appliquer à tout ce qui a une vie quelconque.* »

C'est cette dernière conception qui a fini par prédominer dans la rédaction de son ouvrage de la métamorphose des feuilles. Cette « plante primitive » a fait illusion, on y a vu une abstraction, et c'est sous cette forme que la théorie de Goethe est entrée dans le domaine de la science classique.

D'ailleurs, elle ne pouvait pas pénétrer dans l'enseignement sous une autre forme. Après le grand effort philosophique des naturalistes du commencement de ce siècle, la pensée scientifique, dégoûtée des hautes théories, est revenue à l'étude attentive et approfondie de la nature. Les spéculations des Buffon, des Lamarck, des Geoffroy Saint-Hilaire, ont paru imprudentes et peu dignes d'occuper des savants. Quant aux idées de Goethe, on ne pouvait les rejeter tout à fait, car elles avaient un fondement incontestable ; mais on eut grand soin de les séparer de leur partie philosophique, ce triage fut même si bien fait, que l'on oublia rapidement et presque complètement cette dernière.

Il est bien curieux de suivre le travail qui s'est fait à ce sujet dans la pensée des savants vers le milieu de ce siècle. Cette étude révèle un fait dont nous aurons l'occasion de donner de nouvelles preuves, c'est la facilité avec laquelle certaines notions tombent plus ou moins dans l'oubli.

Schleiden regrette pour la botanique que la théorie de Goethe ait triomphé au lieu de celle de Wolf, parce qu'elle a eu une influence troublante malgré son mérite : or on verra plus loin s'il y a une différence entre ces deux théories.

En 1851, Alexandre Braun considère la métamorphose des feuilles en fleurs comme purement idéale ; c'est, en somme, pour lui et pour presque tous ses contemporains une pure conception de l'esprit fondée sur la généralisation de la notion de feuille. Vingt ans après, en 1872, le même savant revient

sur cette question et exprime la même idée avec plus de force encore.

Sachs pose nettement le problème : « Le botaniste, dit-il, n'a aucun droit de parler d'une transformation des feuilles aussi longtemps qu'il considère la plante comme une forme végétale qui se maintient constante. La notion de métamorphose ne peut avoir, par conséquent, qu'un sens figuré lorsqu'il est question d'une forme végétale constante (1). »

La possibilité d'interpréter la pensée de Goëthe de deux manières très différentes a été saisie d'ailleurs dès l'origine ; elle se manifeste d'une manière éclatante dans le récit que nous a laissé le poète de sa première rencontre avec Schiller. C'est, en effet, à propos de la théorie des métamorphoses que Goëthe fit sa connaissance. Ils se rencontrèrent pour la première fois à la Société d'histoire naturelle fondée par Batsch ; à la sortie de la séance, Schiller accompagna Goëthe jusqu'à sa maison. Chemin faisant, l'illustre auteur de *Guillaume Tell* s'élève contre la façon fragmentaire d'étudier la nature qui domine parmi les botanistes. Goëthe, placé sur son terrain favori, et pour qui la présence d'un pareil interlocuteur valait un grand auditoire, prend la défense de la science. A côté du collectionneur notant les détails, classant et étiquetant, sans jamais jeter les regards au dehors, il montre le penseur cherchant à découvrir l'harmonie des êtres ; il expose la métamorphose des feuilles en fleurs et décrit en quelques mots la plante symbolique qui, pour lui, résumait toutes les autres. Schiller, qui l'écoutait avec le plus grand intérêt, s'écrie tout à coup : « Tout ceci n'est pas de l'observation, c'est une *idée*. » Goëthe, dans son récit, ne dissimule pas la surprise pénible que lui causèrent ces paroles. « Je suis fort satisfait, répondit-il, d'avoir des idées sans le savoir, et de les voir même de mes yeux. »

La discussion qui s'élevait ainsi entre ces deux nobles esprits est celle du sujet et de l'objet, des *réalistes* et des *nominalistes*. Qui aurait pu penser que cette querelle surannée de la philosophie scolastique renaîtrait au xix^e siècle, non parmi les théologiens, mais parmi les savants ?

Cette opinion que la métamorphose est réelle, conception

(1) On peut consulter aussi les travaux de Hanstein (1882), Schmitz, etc.

qui a été défendue en particulier en 1846 par M. Wigand, peut d'ailleurs se soutenir, jusqu'à un certain point, par la considération des anomalies dans lesquelles on voit diverses parties de la fleur retourner à l'état de feuilles. Il est vrai, a-t-on argué, qu'il s'agit, dans ce cas, de monstruosité et qu'il ne faut tirer de ces exceptions aucune conséquence pouvant s'appliquer aux métamorphoses normales. Goethe a dit à ce propos avec profondeur : « Tout ce qui est anormal ne doit pas être considéré pour cela comme pathologique ; le normal et l'anormal vivent de la même vie, il en résulte des formations et des transformations alternatives, une oscillation entre le normal et l'anormal qui est tel que la règle sera prise pour l'exception et *vice versa*. » En somme, ajoute-t-il, « la nature n'a point de règle qui n'ait ses exceptions, ni d'exception qui ne puisse être ramenée à quelque règle ». Il espérait par ces considérations mettre un terme « à cette méthode vicieuse et rétrograde qui ne parle de métamorphose que lorsqu'il s'agit de monstruosité ».

Les éclaircissements donnés par Goethe à son traité primitif dévoilent sa véritable pensée. Ils font comprendre à quelle notion inquiétante (1) les botanistes ont fait accueil pendant près d'un siècle. Il s'agit de savoir s'ils continueront à considérer la métamorphose comme purement idéale, comme une simple généralisation de la notion de feuille, ou s'ils la regarderont comme correspondant à une transformation réelle ayant pu se faire autrefois ou pouvant même se produire encore actuellement. Ce n'est pas là un problème sans importance, car, depuis que les travaux de Darwin ont paru, les questions que la plupart des savants, à la suite de Cuvier, avaient cru devoir reléguer hors du domaine de la science, ont été ouvertes à nouveau, et elles constituent maintenant une des plus graves préoccupations du monde scientifique. Malgré les grands efforts de l'illustre savant anglais, il ne semble pas que le débat soulevé sur ces questions puisse être considéré comme clos ; nous n'invoquerons, comme preuve de ce que nous avançons, que deux témoignages assez caractéristiques.

(1) FERBER, au XVIII^e siècle, un des prédécesseurs de Goethe, avait déjà qualifié cette étude de *dangereuse et perfide*.

« La lutte entre l'ancienne école (celle de la fixité des espèces) et celle du transformisme, disait en 1873 M. Marey, menace de durer longtemps encore sans que l'un des partis trouve pour abattre l'autre quelque argument victorieux.

« Quand et comment finira cette lutte ? Nul ne saurait le dire encore. Cependant, si l'on osait émettre une prévision sur l'issue du combat, d'après l'attitude actuelle des deux parties adverses, on présagerait la défaite de la vieille école. Celle-ci voit, en effet, ses rangs s'éclaircir chaque jour ; elle se décourage visiblement et semble avouer son impuissance à fournir des preuves d'ordre scientifique en s'abritant derrière une sorte d'orthodoxie qui n'a rien à faire avec le débat. »

Beaucoup plus récemment, en 1894, M. Delage, bien que partisan décidé de la théorie de l'évolution, n'en écrivait pas moins : « Aucun fait ne démontre que la variation ait jamais donné naissance à une espèce. »

Il nous a paru que la voie où Darwin s'était engagé ne conduirait jamais à une solution définitive. C'est d'ailleurs l'opinion à laquelle semblent se rallier à l'heure actuelle beaucoup de naturalistes. Nous assistons depuis quelques années à l'éclosion de ce que l'on appelle le néo-lamarckisme ; le nom du grand naturaliste français Lamarck prend une place grandissante dans l'histoire de la science. Ce savant a été longtemps maltraité : l'illustre Cuvier, à propos de la publication d'un de ses ouvrages, parlait d'une de ses « nouvelles folies » ; Darwin lui-même, si correct d'ordinaire envers ses contradicteurs ou ses précurseurs, s'exprime sur lui avec un certain dédain. L'histoire, même celle de la science, a des revirements, et elle finit par mettre chacun à son rang.

Lamarck, disciple de Buffon, avait été frappé, comme son maître, de l'harmonie des êtres avec les conditions dans lesquelles ils vivent. L'action des agents extérieurs lui parut suffire pour comprendre les changements des végétaux ; il n'approfondit pas malheureusement cette idée, absorbé surtout par ses études zoologiques. Les variations évolutives des animaux lui parurent relever d'une autre cause ; il chercha à expliquer le développement ou l'atrophie des organes par l'usage ou le défaut d'usage. Cette conception profonde a été généralisée par lui sans mesure ; ses explications ont prêté à des plaisanteries faciles, et en somme souvent justifiées, qui ont fait

oublier pendant de longues années les grands mérites du zoologiste français.

L'idée d'expliquer par deux théories les transformations des animaux et des végétaux ne choquait pas au commencement de ce siècle ; les travaux élaborés depuis cette époque nous ont familiarisés avec la notion, inconnue alors, des profondes ressemblances qui existent anatomiquement et physiologiquement entre un animal et un végétal ; aussi la double explication de Lamarck nous paraît presque inconcevable.

Les deux conceptions de Lamarck peuvent être vraies et applicables toutes deux aux deux règnes. Le problème de l'heure présente consiste à en rechercher des preuves expérimentales que ce savant n'a pas pu rassembler ou qu'il n'a pas su trouver. L'étude des végétaux présente à ce point de vue d'incontestables avantages. Ce sont des êtres plus malléables, de plus, normalement attachés au sol ; ils n'ont pas, comme les animaux, les moyens de fuir les conditions qui ne leur plaisent pas, et de s'éloigner du milieu qui les opprime ; pour eux, la règle est qu'il faut s'adapter ou disparaître.

Nous sommes ainsi ramenés à Goethe et à ses études de botanique, car il a eu la notion juste de la voie où il fallait engager la science pour chercher la solution de la question que nous venons de poser. La découverte de la métamorphose des feuilles en fleurs lui a fait entrevoir les causes profondes et primordiales de la variabilité des êtres.

Il avait d'ailleurs été précédé dans cette étude par plusieurs naturalistes, parmi lesquels il faut citer Linné (1) et surtout Gaspard Wolf (2) (né à Berlin en 1733). Pour ce dernier observateur, non seulement le calice et la corolle se distinguent à peine des feuilles, mais les étamines ne sont que des feuilles modifiées : « Dans les fleurs polyandres, les étamines se changent en pétales et donnent naissance aux fleurs doubles. » — « Le péricarpe résulte encore évidemment de la réunion de plusieurs feuilles », on le voit à la déhiscence d'un

(1) Les fleurs, les feuilles et les bourgeons ont une même origine... Le périanthe est formé par la réunion des feuilles rudimentaires. Une végétation luxuriante détruit les fleurs et les transforme en feuilles. Une végétation pauvre, en modifiant les feuilles, les transforme en fleurs. » (*Phil. bot.*, édit. Gleditsch., 361).

(2) La première édition de *Theoria generationis* est de 1759.

grand nombre de capsules dont les segments « ne sont autre chose que les diverses feuilles dont se compose le fruit ». « En un mot, la plante dont les différentes parties semblent, au premier coup d'œil, si étrangères l'une à l'autre, se réduit en dernière analyse aux feuilles et à la tige, car la racine fait partie de celle-ci. »

Les vues de Wolf étaient donc plus larges que celles de Goethe ; ce n'est pas seulement la métamorphose des feuilles qu'il conçoit, mais celles de tous les organes. Il allait un peu trop loin en confondant la racine et la tige, mais il avait une idée juste en généralisant la théorie de la métamorphose.

Goethe l'a parfaitement senti, aussi quand, en 1817, les écrits de ce savant furent connus de lui, écrivait-il : « Puisse la Parque m'accorder la faveur de faire voir un jour avec détail que depuis longtemps je suis les traces de cet homme célèbre (Wolf) ; que je cherche à pénétrer son caractère, ses convictions, ses doctrines ; de montrer sur quels points je suis tombé d'accord avec lui et de prouver que jamais dans les derniers pas que j'ai faits, je ne l'ai perdu de vue. »

L'idée d'élargir sa théorie semble être née à ce moment dans son esprit. Aussi, en 1820, insiste-t-il sur les transformations des autres organes des végétaux ; il s'occupe de la racine (1) et de la tige (2), qu'il avait négligées jusque là.

G. Wolf avait d'ailleurs entrevu la cause de ces modifications de la plante, point capital dont Goethe n'avait pas encore parlé dans son premier écrit et qu'il n'a mentionné d'ailleurs que beaucoup plus tard (en 1820 et surtout en 1831). Ce point est du plus haut intérêt, et c'est lui qui va nous occuper dans cet ouvrage. C'est grâce à la méthode expérimentale, entrevue pour la première fois par Wolf, que la théorie des métamorphoses a pu faire de grands progrès dans ces dernières années ; c'est en s'engageant résolument dans cette voie que les savants de la seconde moitié de ce siècle espèrent

(1) Au lieu d'être ramifiée, elle se gonfle quelquefois et prend la forme d'une Carotte. »

(2) « Au milieu des pierres, sur des rochers calcaires exposés au soleil, la *Carlina* justifie complètement son épithète *acaulis* ; sur un sol moins compact, elle commence à s'élever ; dans une bonne terre, on ne la reconnaît plus, tant la tige est haute : on la nomme alors *Carlina acaulis caulescens*. — « La nature, ajoute-t-il, nous force à varier nos dénominations et de les plier à ses libres allures. »

résoudre, dans un avenir qui ne sera peut-être pas très lointain, le problème de l'évolution des êtres que, depuis Thalès et Empédocle, se pose l'esprit humain.

Les variations de la nutrition sont, d'après Wolf, les causes des changements des plantes. « Toutes les modifications sont dues au décroissement de la force végétative. » Cette notion, qu'il a pu vérifier « dans une foule d'essais », lui a permis d'entrevoir « la théorie de la génération ».

Voilà donc un des grands facteurs de l'évolution bien mis en lumière ; mais il y en a d'autres et, quelque temps avant sa mort (1831), Goëthe les entrevoit, seulement il ne fait que les mentionner. « Chaque plante choisit, dit-il, la localité qui réunit toutes les conditions qui peuvent la faire prospérer et multiplier. Ainsi, les *sommets élevés* ou les lieux bas, la *lumière*, l'obscurité, la *sécheresse*, l'humidité, les divers degrés de *chaleur* et *mille autres conditions encore*, exercent, *ensemble ou séparément*, une influence réelle sur les espèces (et sur les genres) qui ne sont fortes et nombreuses que dans les localités où des conditions favorables à leur développement se trouvent réunies. Placées dans certains lieux, exposées à de certaines influences, les espèces semblent céder à la nature en se laissant modifier. »

Ce passage peut être considéré comme un vaste programme tracé par Goëthe avant de mourir à ses successeurs. On verra, nous l'espérons, en parcourant ce livre, quelle vue juste il eut de la méthode à suivre pour arriver à des résultats rigoureux. Disons-le hautement, personne, sans en excepter Darwin, n'a rien formulé d'aussi net sur les procédés devant conduire à résoudre les difficiles problèmes de l'évolution.

A trente-sept ans, lors d'un voyage en Italie, Goëthe est frappé par les changements d'aspect de la nature ; une idée féconde entre dans son esprit et s'empare en maîtresse de sa pensée. Dans cette phase d'enfancement, cette idée lui donne « les plus beaux moments de sa vie » ; nous la suivons à travers ses œuvres pendant plus de quarante ans. C'est la même conception que nous retrouvons dans ses mémoires de zoologie sur la théorie de la vertèbre, c'est elle qui imprime à sa philosophie son caractère et qui se dissimule dans plusieurs œuvres littéraires.

Illustre comme poète en Allemagne et à l'étranger, Goëthe

eût voulu voir reconnaître son mérite de savant, il s'en plaint dans ses derniers écrits. « Ce qu'on n'a pas suffisamment pris en considération, c'est que je me suis occupé sérieusement et longuement des phénomènes physiques et physiologiques de la nature, que j'avais observés en silence avec cette persévérance que la passion seule peut donner. »

La postérité sera probablement plus juste pour lui sur cette question que ses contemporains, surtout si elle ratifie le jugement d'Auguste Saint-Hilaire, qui disait à propos du mémoire de Goëthe de 1790 qu'il « est du petit nombre des ouvrages, qui non seulement immortalisent leur auteur, mais qui sont eux-mêmes immortels ».

PREMIÈRE PARTIE

CHALEUR

CHAPITRE II

FLORE POLAIRE ET FLORE TROPICALE

Le problème de l'action des forces cosmiques sur les êtres vivants, tel que le posait Goethe avant de mourir, avait déjà été entrevu avec précision par Buffon. Dans un chapitre très remarquable consacré au plus humble de nos animaux domestiques, l'âne, il dit : « A considérer cet animal, même avec des yeux attentifs et dans un assez grand détail, il paraît n'être qu'un cheval dégénéré. » Il émet l'idée « qu'on pourrait attribuer les légères différences entre ces deux animaux à l'influence très ancienne du climat, de la nourriture ». C'est là une idée qui lui est chère, sur laquelle il revient à maintes reprises : à propos des différentes races d'hommes, des modifications dues à la domestication d'animaux sauvages, de la disparition du mammoth. « Combien d'autres espèces, s'étant dénaturées, c'est-à-dire perfectionnées ou dégradées par les grandes vicissitudes de la terre et des eaux, par l'abandon des cultures de la nature, par la longue influence d'un climat contraire ou favorable, ne sont plus les mêmes qu'elles étaient autrefois? » A propos des animaux du nouveau monde, il

émet l'hypothèse qu'il se pourrait qu'ils ne fussent en définitive que ceux de l'ancien ; ces deux sortes d'animaux ayant été séparés dans le cours des âges par des mers immenses ou des terres impraticables, « ils auront avec le temps reçu toutes les impressions, subi tous les effets d'un climat devenu nouveau lui-même et qui aurait aussi changé de qualité par les causes qui ont produit la séparation ; que, par conséquent, ils se seront avec le temps rapetissés, dénaturés. Mais cela ne doit pas nous empêcher de les regarder aujourd'hui comme des animaux d'espèces différentes. »

L'idée de l'action du climat est ainsi formulée par le grand écrivain naturaliste avec la plus parfaite netteté. Buffon a donc mérité, à juste titre, d'être appelé le « fondateur de la théorie de l'évolution ».

Cette idée, il faut le dire, ne s'appuyait que sur une connaissance assez superficielle des êtres vivants, et elle était purement spéculative. Elle n'en est pas moins le germe fécond dont nous allons décrire le riche épanouissement.

L'expression de climat est un terme vague ; la notion à laquelle elle correspond comprend des éléments divers, parmi lesquels il faut citer en première ligne la chaleur. De tous les facteurs qui agissent sur les êtres vivants, la chaleur est certainement le plus important, celui dont les effets se manifestent avec le plus d'éclat.

Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur la carte ci-jointe (fig. 1), sur laquelle on a marqué l'aspect de la végétation à la surface du globe au 1^{er} janvier. On voit tout de suite qu'en cette saison, pour une immense partie de la terre, la vie des plantes est assoupie : sur presque toute l'Europe du Nord et de l'Est, sur la Sibérie et sur l'Amérique septentrionale, la végétation est arrêtée. Elle se manifeste avec une faible intensité sur les bords de l'Atlantique en Europe, grâce au Gulf-Stream, ce courant d'eau chaude qui, venu du golfe du Mexique, réchauffe un peu les îles Britanniques, les côtes de France et le sud de la presqu'île scandinave. Tout autour de la Méditerranée, nous remarquons, au contraire, une végétation rapidement renaissante. Enfin, près de l'équateur, nous rencontrons la région de l'éternel été. Il n'y a pas lieu d'insister sur la répétition des mêmes phénomènes dans l'hémisphère austral.

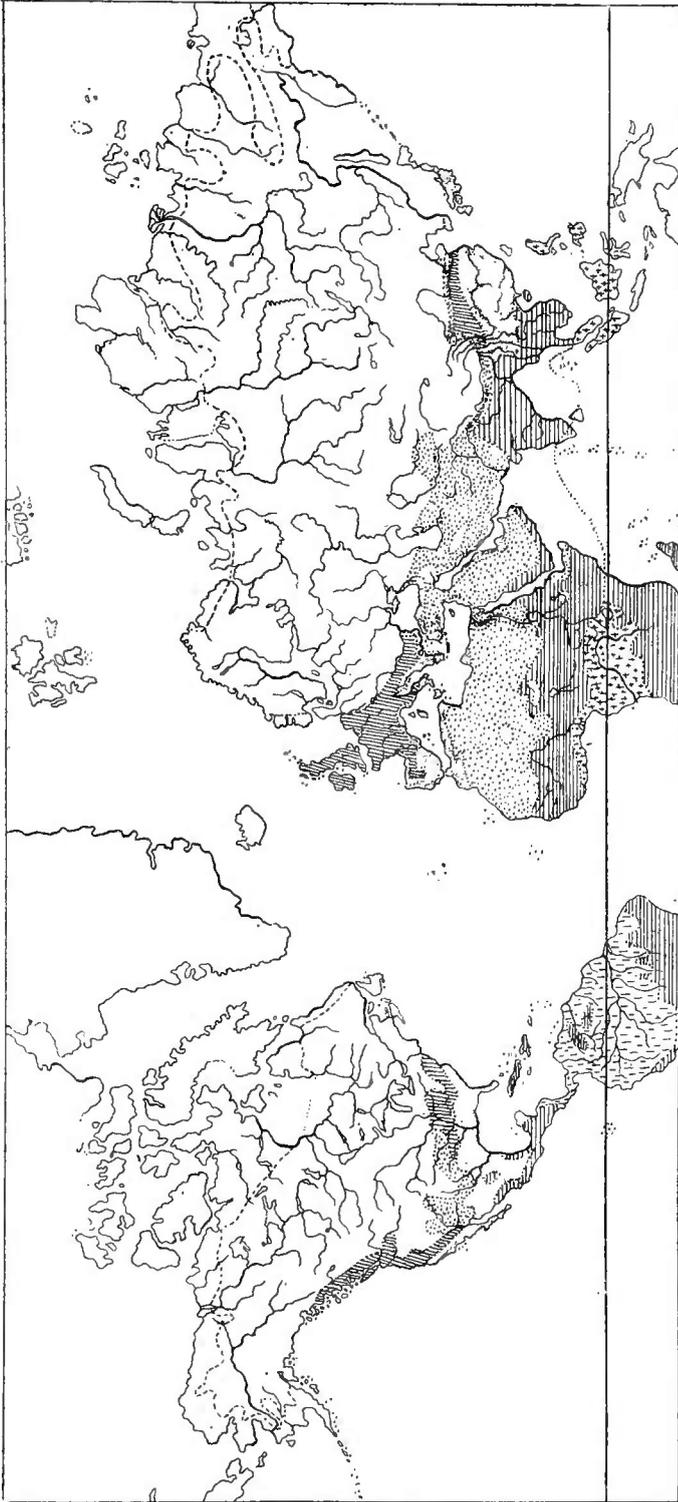


FIG. 1. — État de la végétation au 1^{er} janvier. — Région blanche où la végétation est complètement arrêtée. — ||| Traits verticaux, région où la végétation renaît en février et mars. — . Grand pointillé, région où la végétation renaît en avril. — ■ Traits horizontaux, végétation désertique. — || Traits verticaux, végétation tropicale épanouie toute l'année, sauf pendant la saison sèche. — *** ||| Petites croix et traits verticaux compés, régions où la région tropicale atteint son maximum de développement. — Le trait horizontal figure l'équateur.

Si nous voulons avoir une idée de la répartition de la chaleur à la surface de la terre, la considération des lignes isothermes (qui réunissent les points d'égale moyenne de température annuelle) ne peut nous renseigner, car ce qui importe pour la végétation d'un pays, c'est le nombre des mois chauds et la durée du froid ; c'est, en un mot, la quantité totale de chaleur déversée par le soleil sur une région. La carte ci-jointe (fig. 2), dressée selon M. Kœppen, nous permet de diviser le globe en six zones :

- 1° Une zone *polaire*, où tous les mois sont froids (au-dessous de 10°) ;
- 2° Une zone *froide*, où il y a un à quatre mois tempérés, les autres froids ;
- 3° Une zone *tempérée froide*, avec un été tempéré et un hiver froid ;
- 4° Une zone *tempérée chaude*, avec un été chaud ;
- 5° Une zone *subtropicale*, ayant de nombreux mois chauds ;
- 6° Une zone *tropicale*, ayant tous les mois chauds (au-dessus de 20°).

Les régions ainsi isolées se distinguent par leur aspect, et l'explorateur qui passe de l'une à l'autre est tout de suite saisi par le changement de la végétation. Cette modification du tapis végétal a frappé autrefois Humboldt, qui disait à ce sujet que c'est un des spectacles « les plus curieux de l'histoire des formes organiques ; je dis histoire, ajoutait-il, car c'est en vain que la raison voudrait empêcher l'homme de faire des hypothèses sur l'origine des choses ». C'est la contemplation de ces variations qui a fait naître dans l'esprit de Darwin l'idée de la transformation des êtres ; quand, tout jeune, il s'embarqua, en 1834, à bord du *Beagle* pour faire le tour du monde, il était partisan de la fixité des espèces ; une navigation de trois années à travers le monde changea ses opinions, et, quand il revint en Angleterre, il portait en son esprit les germes du système destiné à révolutionner les sciences de la nature.

Tous les naturalistes qui se sont occupés de la distribution géographique des plantes ont d'ailleurs été amenés, presque involontairement, à la notion de l'évolution. Alphonse De Candolle, cet esprit si sage et si pondéré, que l'on peut appeler le créateur de la Géographie botanique, a été un des précur-

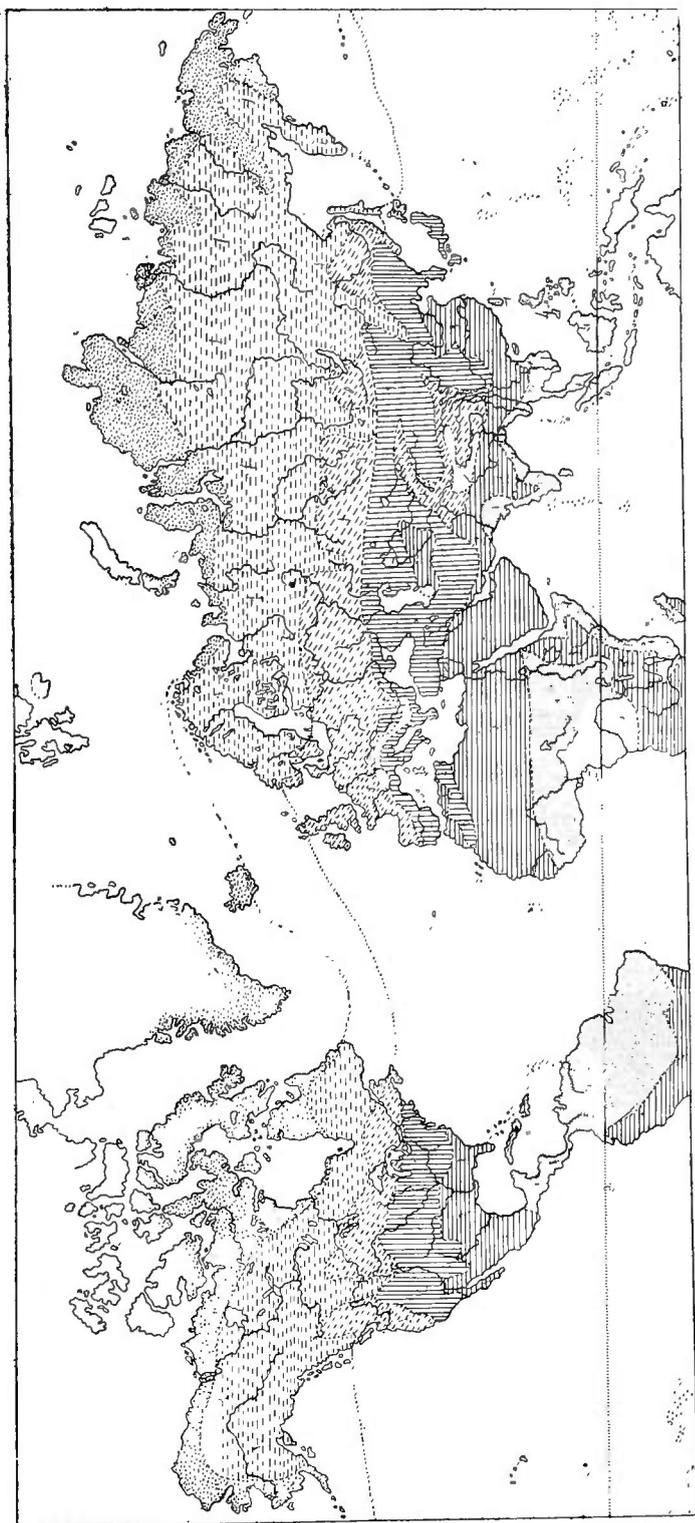


FIG. 2. — Carte des zones de températures. — ■■■ Pointillé lâche, zone polaire (tous les mois au-dessous de 10°). — |||| Traits coupés et horizontaux, zone froide (8 mois froids). — \\\ Traits coupés inclinés, zone tempérée froide (été tempéré, hiver froid). — ||| Traits verticaux, zone tempérée chaude (été chaud). — |||| Traits horizontaux, zone subtropicale (4 à 11 mois au-dessus de 20°). — ■■■ Fin pointillé, zone tropicale (tous les mois chauds, au dessus de 20°). — Le trait horizontal représente l'équateur.

seurs de Darwin. Il a divisé le monde végétal en flores ou domaines caractérisés par des aspects spéciaux et une végétation typique. Or il se trouve que ces flores correspondent à peu près aux zones précédentes isolées à l'aide de la répartition de la chaleur à la surface de la terre. La flore polaire coïncide à peu près avec la zone polaire ; la flore des forêts septentrionales comprend la zone froide et la zone tempérée froide ; la flore méditerranéenne se superpose presque à la zone tempérée chaude ; etc.

La coïncidence des flores et des zones de chaleur n'est pas absolue, avons-nous dit, cela ne doit pas nous étonner ; la végétation ne dépend pas seulement de la chaleur, l'humidité intervient également d'une manière marquée, et l'on peut dire, sans se tromper beaucoup, que c'est à l'association de ces facteurs que le monde des plantes doit sa variété.

La chaleur et l'humidité semblent créer l'aspect d'un pays. Ce résultat est certainement un des plus merveilleux parmi ceux que nous aurons à exposer. Le but de ce chapitre est de l'expliquer et de le justifier.

Mais, avant d'aller plus loin, il nous faut relever une cause perturbatrice de la distribution de la chaleur à la surface de la terre qui tient à l'existence des chaînes de montagnes. Si l'on s'élève vers les grandes sommets du globe, on voit la température baisser progressivement et, en même temps, la végétation se modifier de nouveau. On retrouve successivement, en faisant l'ascension des Alpes, les flores que l'on rencontre en traversant l'Europe, et la flore des prairies supérieures des montagnes de Suisse rappelle la flore polaire.

Afin de nous rendre un compte exact du rôle si important que joue la chaleur à la surface du globe, la méthode la plus simple consiste à étudier les caractères des flores des régions soumises à l'action des températures les plus extrêmes : la flore polaire et la flore tropicale.

Flore polaire. — Malgré l'immense étendue du territoire sur lequel elle s'observe, cette flore ne comprend qu'un nombre très restreint d'espèces (1). Il faut, pour qu'une plante s'installe et se maintienne dans ces régions glacées, qu'elle ait des

(1) 750 à 800 espèces de plantes à fleurs ; la flore méditerranéenne, sur une surface beaucoup plus faible, en comprend 7.000.

moyens de se protéger contre le froid. Cela est surtout vrai pour ces végétations si singulières qui se développent sur les champs de neige, qu'elles colorent de teintes variées. Ces Algues, qui constituent en particulier ce que l'on appelle la neige rouge, forment l'avant-garde du monde végétal vers le pôle.

L'observateur qui voyage à travers les plaines arctiques est surtout frappé par un fait très saillant, c'est l'absence de forêts. Les plantes ligneuses sont en très petit nombre, quelques Saules rabougris, quelques Bouleaux nains rampent à la surface du sol. Les végétaux herbacés sont, par contre, prédominants ; ils sont presque toujours de petite taille, formant des touffes serrées ou couchées sur le sol ; ces plantes atrophiées par le froid ont souvent l'aspect de Mousses, et l'on peut s'y tromper au premier aspect, quand elles ne sont pas fleuries. La durée de la vie des représentants de cette flore est également très caractéristique ; tandis que dans nos pays tempérés les végétaux qui vivent une ou deux années sont très nombreux, ici ils sont excessivement rares, et on les cite (*Koenigia Islandica*, *Gentiana nivalis*, annuels ; *Draba crassifolia*, bisannuel) ; presque toutes les espèces sont vivaces, c'est-à-dire installées à poste fixe, pour un nombre variable d'années. On ne trouve donc pas dans ces pays glacés la végétation éphémère mais variée de nos contrées ; les plantes sont là comme agrippées au sol, sur lequel elles mènent une vie misérable. La période pendant laquelle la vie se réveille, après la longue torpeur de l'hiver, est très brève ; le végétal n'a donc qu'à se hâter s'il veut avoir le temps de fleurir et de fructifier pendant la trop courte belle saison ; on serait tenté de dire qu'il semble le comprendre, car il épanouit ses fleurs dès que le printemps arrive, cherchant à utiliser ainsi toute la période chaude que la nature met à sa disposition.

On voit, d'après ce qui précède, que l'on ne saurait mieux caractériser l'aspect de la végétation dans ces plaines arctiques désolées que par le rabougrissement, par la taille chétive de toutes les plantes qui y croissent.

Si maintenant nous abandonnons la terre ferme pour explorer les rivages et les profondeurs de l'océan glacial ou des mers antarctiques, nous jouissons d'un spectacle bien fait pour nous surprendre : à la place des pygmées, des nains de

la terre ferme, la mer nous révèle les géants du règne végétal. C'est, en effet, dans les régions polaires que s'observent les plus grandes Algues connues : là dominent les *Macrocystis*, les *Nereocystis* (fig. 3 et 4) qui atteignent des tailles colossales (100 à 200 mètres de long), les *Lessonia*, qui forment de véritables forêts sous-marines dont les branches retombantes rappellent celles d'un Saule pleureur (ces plantes peuvent avoir 3 mètres de haut).

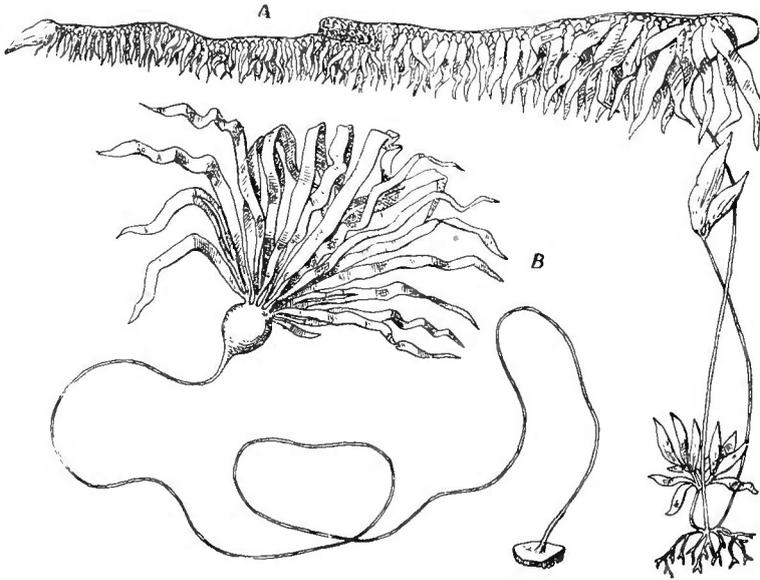


FIG. 3 et 4. — A. *Macrocyste*; B, *Nereocyste*.

D'où vient cette antithèse entre la vie aquatique et la vie terrestre ? A-t-on affaire à un de ces jeux inexplicables de la nature ? Ou bien y a-t-il des raisons cachées permettant d'éclairer ces faits en apparence contradictoires ? Avant d'aborder l'examen des causes profondes de ces phénomènes, transportons-nous dans une région différente du globe où règnent toute l'année les températures les plus élevées.

Flore tropicale. — Notre intention n'est pas de décrire ici avec détails la magnifique flore des tropiques. Si l'on peut dire, sans être taxé d'exagération, que la flore arctique prend un aspect spécial par suite du froid qui règne près du pôle, on ne saurait affirmer que la chaleur seule imprime à la végétation des régions chaudes son facies caractéristique : la répartition de l'humidité vient compliquer le problème que nous étudions en ce moment. Si l'eau est fournie en quantité

suffisante à la végétation, on rencontre dans le voisinage de l'équateur des forêts puissantes formées de hautes plantes ligneuses autour desquelles s'enroulent des lianes, à la surface desquelles pullulent des plantes épiphytes et parasites nombreuses et variées. Cette exubérance de vie, ces enlacements, ces enchevêtrements de plantes, caractérisent la forêt vierge. Dans ces contrées bienheureuses, la nature paraît toujours en fête, les arbres gardent toute l'année leur feuillage ainsi que leur parure de fleurs et de fruits.

Dans les mers chaudes, par contre, nous ne retrouvons plus la même puissance végétative, les Algues sont relativement petites et ne rappellent en rien les géants de la flore polaire.

Il y a donc une double antithèse entre les plantes des pays froids et celles des pays chauds. Pour les végétaux terrestres, le froid *semble* amener un affaiblissement, la chaleur une exaltation de la puissance vitale ; pour les plantes marines, le résultat inverse *paraît* vrai.

Les deux mots que nous venons de souligner laissent planer un doute. N'avons-nous pas le droit de conclure de la description précédente que la chaleur et, d'une façon plus générale, le climat sont les causes cachées de toutes ces différences ? On procédait ainsi au siècle dernier ; la science est aujourd'hui plus difficile : elle exige que chaque théorie donne des preuves rigoureuses, et c'est grâce à ces exigences qu'elle progresse d'une manière si régulière et si manifeste.

Pourquoi, objectera-t-on à l'hypothèse précédente, vouloir expliquer l'inexplicable ? Si les plantes polaires sont naines et les plantes tropicales géantes, cela tient à leur nature ; elles ont été créées comme cela, et il ne faut pas plus chercher à comprendre cette différence qu'à expliquer pourquoi, dans une famille, un frère est grand et l'autre petit.

Nous croyons que cette manière de raisonner est inexacte, et nous allons essayer de le prouver dans les chapitres suivants. Il s'agit là, comme on le comprendra facilement, d'une question de la plus haute importance ; nous ne saurions donc apporter trop de soin à notre démonstration. On a affirmé que les naturalistes avaient échoué, dans leurs tentatives de démonstration de la transformation des espèces les unes dans les autres. Aussi, comme l'écrivait en 1873 M. Marey « pour

quelques savants ces études sont frappées d'une sorte de discrédit : pour eux, l'immutabilité et la variabilité de l'espèce rentrent dans le domaine des questions insolubles. » — « En l'absence de toute solution expérimentale, l'hypothèse du transformisme ne peut être ni prouvée ni réfutée. Les savants dont l'esprit est habitué aux démonstrations rigoureuses se désintéressent de pareilles questions ; pour eux, elles n'ont rien de scientifique. »

Ce jugement paraîtra peut-être bien sévère aux naturalistes qui savent quel nombre immense de faits la théorie de l'évolution permet de grouper, de synthétiser et d'expliquer. Peut-être, à ce propos, pourrait-on rappeler les paroles d'un savant dont l'esprit très critique a été formé à l'école de Pasteur ; parlant de la théorie de Stahl, M. Duclaux s'exprime ainsi : « Une théorie n'a pas besoin d'être philosophique et séduisante, elle n'a même pas besoin d'être vraie, au sens absolu du mot. Il lui suffit d'être féconde. Or la théorie de Stahl ne l'a pas été. » Personne ne fera, pensons-nous, un pareil reproche au transformisme, et de Quatrefages, qui est resté jusqu'au bout un adversaire loyal de cette doctrine, disait à ce sujet : « Sans doute, le point de départ, la croyance à la transmutation des espèces, est erroné. Pourtant cette erreur même a conduit Carl Vogt et conduira ses disciples à considérer les phénomènes à un point de vue spécial qui peut leur ouvrir des horizons nouveaux. Peut-être leur arrivera-t-il comme à Darwin, qui a dû quelques-unes de ses découvertes les plus curieuses et les mieux prouvées à la foi qu'il avait en sa théorie. »

Malgré cela, nous serions tenté, pour notre part, de souscrire au jugement formulé plus haut par M. Marey, car le défaut des sciences de la nature a été trop souvent de donner asile avec beaucoup trop de facilité à des hypothèses tout à fait injustifiées.

Nous n'avons pris la plume que parce que nous avons cru apercevoir un ensemble de faits, intimement liés les uns aux autres, qui ne peuvent s'expliquer qu'en admettant la variabilité de l'espèce, prise au sens linnéen du mot. Notre explication est fondée sur les expériences les plus positives, sur les observations les plus certaines ; elle nous fait assister, pas à pas, à la métamorphose d'une flore entière.

Ce sont ces faits et les arguments qui en découlent que

nous allons exposer dans la première partie de cet ouvrage ; ils nous sont justement fournis par l'étude comparée des flores polaire et tropicale.

Afin de fixer notre opinion sur les causes qui donnent à ces flores leurs caractères, nous allons étudier successivement les conditions dans lesquelles varie la durée de la vie des plantes, puis celles qui agissent sur la floraison ; nous aborderons ensuite l'examen de l'influence de la chaleur se distribuant dans l'eau et dans le sol.

CHAPITRE III

LA DURÉE DE LA VIE DES PLANTES EST MODIFIABLE

Variations dans les contrées froides. — L'étude des variations de la durée de la vie des plantes se trouve intimement liée à la question que nous abordons, puisque, ainsi que nous l'avons vu, les végétaux polaires sont toujours des plantes herbacées vivant plusieurs années, tandis que les plantes annuelles sont au contraire très communes dans les contrées tempérées.

Cet allongement de l'existence dans les régions froides a depuis longtemps frappé les botanistes. Braun et De Candolle l'avaient déjà signalé, mais toute l'importance de ce caractère a été mise en relief par MM. Bonnier et Flahault. Dans un voyage qu'ils firent en Suède et en Norvège, ils furent frappés de la diminution progressive et régulière du nombre des espèces annuelles et bisannuelles à mesure que l'on se rapproche du pôle. Le tableau suivant traduit ce fait d'une manière saisissante :

LOCALITÉS	LATITUDES	PROPORTION des espèces annuelles et bisannuelles
Environs de Paris	49°	45 %
— de Christiania	59°,55'	30
— de Listad.	61°,40'	26

Au Spitzberg et au Groenland, on ne trouve plus que des espèces vivaces.

Nous avons signalé précédemment un refroidissement très intense de la surface de la terre lorsqu'on s'élève sur les hautes montagnes, ainsi qu'une analogie frappante entre la flore alpine et la flore polaire ; nous pouvons donc nous attendre à voir diminuer le nombre des espèces annuelles et bisannuelles quand nous nous élèverons vers une sommité couverte de neige. M. Bonnier par des observations faites sur les Alpes a pu mettre ce fait en évidence.

ALTITUDES	PROPORTION DES ESPÈCES ANNUELLES ET BISANNUELLES
De 200 ^m à 600 ^m	60 %
De 600 ^m à 1.800 ^m	33 %
De 1.800 ^m à la neige persistante	6 %

Il semble, d'après ces résultats si nets, que le refroidissement tend à allonger la vie des végétaux. En réalité, il ne faut pas se hâter de conclure, car nous comparons ici des espèces différentes. Cependant si nous suivons une même espèce croissant spontanément en des lieux bas ou élevés, en des latitudes faibles ou fortes, nous verrons des changements de même nature se produire ; ils ont été observés encore par M. Bonnier. La Linaire alpine vit plusieurs années sur les hautes Alpes par suite de la persistance de sa racine qui peut présenter jusqu'à huit couches annuelles de bois ; à chaque printemps, il se développe sur cet organe souterrain des bourgeons qui donnent de nouvelles pousses ; dans les basses altitudes, cette plante est annuelle, elle devient bisannuelle à des altitudes moyennes.

L'*Arenaria serpyllifolia* (fig. 5), Caryophyllée très commune des plaines, vit toujours un an dans les régions basses ; sur les pics des Pyrénées, cette espèce

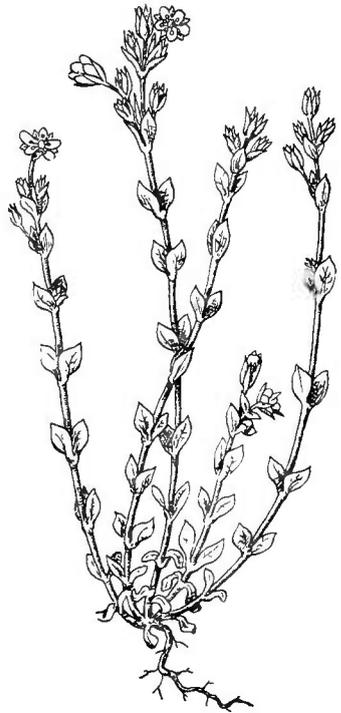


FIG. 5.— *Arenaria serpyllifolia*
forme annuelle.

se maintient plusieurs années en un lieu grâce à un rhizome pénétrant profondément en terre. Le *Poa annua*, dont le nom spécifique est assez significatif, devient vivace sur le pic d'Ardiden dans les Hautes-Pyrénées. Le *Senecio viscosus* et le *Ranunculus Philonotis* présentent des variations du même ordre.

M. Grisebach avait d'ailleurs autrefois constaté quelque chose d'analogue pour le *Gentiana campestris* : annuelle dans la plaine, cette plante devient bisannuelle sur les montagnes.

Nous pouvons chercher à entrevoir comment une pareille variation se produit. Si nous nous élevons en latitude, nous voyons aisément que la durée de la période de végétation diminue régulièrement ; le tableau suivant de M. Hult met ce résultat en lumière :

PAYS	LATITUDE	DURÉE DE LA PÉRIODE DE VÉGÉTATION	
		PLANTES LIGNEUSES	PLANTES HERBACÉES
Scanie	56°	304 jours.	256 jours.
Upsal.	60°	245 —	213 —
Jemtland.	63°	219 —	164 —
Laponie.	67°	187 —	139 —

La durée de la végétation diminuant de plus en plus, la plante n'a souvent plus le temps de fleurir la première année, c'est seulement la deuxième année qu'elle donne des fleurs : elle devient bisannuelle. Certaines *Gentianes* sont annuelles dans le centre de l'Europe et bisannuelles dans la presqu'île scandinave.

La transformation d'une plante annuelle en bisannuelle peut d'ailleurs se produire autrement et d'une manière accidentelle pour les graines des plantes adventives qui accompagnent d'ordinaire le Blé. Si le Blé est semé en automne, le Bleuet, le *Lycopsis arvensis*, les Lithospermes, qui se trouvent semés en même temps, végètent pendant les derniers mois de l'année, puis leur croissance est arrêtée par les froids ; au printemps, le développement reprend, et les plantes ne donnent leurs fleurs que la deuxième année. Ces plantes ordinairement annuelles ont dans ce cas deux périodes de végétation.

En dehors des cultures, le même fait peut se produire spontanément pour des plantes qui germent sans l'intervention de l'homme.

Dans les cas précédents, la première période végétative est tellement écourtée, que la plante ne peut plus fleurir. On peut imaginer, au contraire, que la durée de végétation soit allongée; l'expérience a été réalisée par M. Hildebrandt : il sème de très bonne heure une plante bisannuelle de façon qu'elle ait devant elle la première année une très longue période végétative. Pour certaines espèces, comme l'*Oenothera biennis*, le *Malva sylvestris*, le *Reseda alba*, la floraison a lieu cette année-là en juillet, et le végétal meurt après la production et la dissémination des graines en septembre : l'espèce normalement bisannuelle est devenue accidentellement annuelle.

Les horticulteurs ont d'ailleurs entrevu ces résultats, car ils savent au besoin allonger la vie d'une plante en l'empêchant de fructifier. C'est un procédé qu'ils emploient très communément avec le *Reseda odorata*. La plante évite ainsi une grande dépense de force qui l'épuise d'ordinaire : elle peut aussi consacrer son énergie à consolider sa tige, à lignifier ses tissus, ce qui lui permet d'allonger considérablement son existence.

Braun a cité pour les Molènes un fait qui paraît d'abord inexplicable, mais qui se comprend aisément si l'on tient compte de ce qui précède. Deux espèces annuelles et bisannuelles de *Verbascum* donnent par croisement un hybride vivace : la fructification avortant dans ce dernier par suite de l'hybridité, l'activité de cet individu est consacrée à l'allongement de sa vie, aussi devient-il vivace.

Il peut arriver de même pour une plante normalement annuelle, comme la constatation en a été faite pour des *Digitalis* (*Digitalis purpurea*), pour l'*Anchusa officinalis*, etc., que la floraison ne soit pas bien régulière : le végétal n'étant pas épuisé par la production des graines qui sont peu nombreuses donne de nouveaux rejetons l'année suivante qui fleuriront ultérieurement. La plante qui ne fleurissait qu'une fois peut fleurir plusieurs fois : de monocarpique, elle est devenue polycarpique. (Ces faits ont été observés par M. Haberlandt).

Par tout ce qui précède, on comprend maintenant que, si

dans les régions polaires et sur les montagnes les espèces vivaces sont si nombreuses, cela tient à ce que le froid qui domine dans ces régions empêche la plante de fleurir durant la première ou les premières années qui suivent sa germination ; non épuisée par la maturation des graines, la plante reste vivante, se consolide et devient bisannuelle ou vivace. Cette explication nous fait entrevoir l'origine de la variation, mais elle n'éclaire pas un point très important sur lequel nous allons revenir plus loin, qui est de savoir comment cette variation devient héréditaire.

L'allongement de la vie de la plante, qui semble donc en apparence lié au froid, est en réalité d'une façon plus générale lié à la nutrition. Toute cause qui amène un changement dans la nutrition du végétal peut avoir un retentissement sur la durée de son existence : tel est un changement de climat qui empêchera la plante de fleurir. L'Agave américain, qui dans sa patrie pousse sa hampe florale au bout de cinq ans, ne donne ses fleurs aux Canaries qu'au bout de dix années et dans nos pays qu'au bout d'un siècle.

Variations dans les contrées chaudes. — Une température supérieure à 19° empêche le Blé également de se reproduire, parce que la nutrition est modifiée (recherches d'Edwards et Colin). Cette expérience permet d'expliquer ce que rapporte Humboldt dans son ouvrage sur le Mexique à propos de la culture des céréales dans ce pays : « la pratique a appris aux habitants de Xalapa, dit-il, que le froment semé autour de la ville végète vigoureusement, mais qu'il ne monte pas en épis ; on le cultive parce que son chaume et son feuillage sont succulents et servent de fourrage aux bestiaux. »

Les phénomènes que nous étudions n'ont pas seulement, nous le voyons, une haute portée théorique, ils peuvent également ouvrir aux praticiens des voies nouvelles.

Les variations nombreuses que nous venons de décrire nous préparent à concevoir la possibilité d'une métamorphose plus remarquable encore qu'il nous reste à indiquer. Quand on cultive le Ricin dans nos pays tempérés, il revêt le caractère d'une herbe un peu élevée qui meurt après avoir donné des graines à la fin de l'année de sa germination. Dans les régions chaudes du globe, dans le sud de l'Afrique, dans l'Inde et au Brésil, le végétal devient un arbre qui fleurit plu-

sieurs fois. Ce sont là des modifications considérables et on ne saurait en imaginer de plus profondes ; on assiste à la transformation d'une plante herbacée annuelle et monocarpique en un arbre polycarpique. D'autres plantes d'ailleurs, les *Maraudia* et les *Caiophora*, présentent des phénomènes semblables. Les changements sont tellement profonds que l'on peut se demander si ces faits ont été observés par des savants dignes de foi : il n'y a aucun doute à cet égard, cette métamorphose est relatée par des observateurs éminents comme Darwin, Fritz Müller et Brandis.

Cette étude jette une vive lueur sur l'origine de la flore tropicale. Par suite des hautes températures qui règnent toute l'année au voisinage de l'équateur, la végétation ne s'arrête point quand arrivent les mois qui caractérisent l'hiver en Europe ; les froids ne peuvent donc pas détruire la plante comme dans nos pays, elle continue à végéter et à donner de nouvelles feuilles et de nouvelles fleurs ; par cet allongement de sa vie, son organisation se consolide, elle lignifie sa tige, s'accroît de plus en plus et devient un arbre. Nous entrevoyons donc comment la forêt tropicale peut naître ; nous n'avons pas à dire, pour le moment, comment les lianes et les plantes grimpantes y apparaissent, nous reviendrons plus loin sur ce sujet en étudiant l'action du facteur lumière. Plus tard enfin, et dans un autre ouvrage si cela nous est possible, nous expliquerons de même l'origine des plantes épiphytes et parasites, qui achèvent de donner à la flore tropicale son aspect caractéristique.

Ainsi donc, toutes les causes qui rendent uniformes les conditions de vie, tendent, par cela même, à allonger l'existence de la plante et à favoriser le développement des végétaux ligneux. Les îles qui se trouvent au voisinage de l'équateur offrent un climat d'une constance admirable, aussi la proportion des espèces arborescentes y est-elle considérable. Aux îles Sandwich, sur les 535 représentants de la flore, il y a 296 plantes ligneuses, et la lignification s'observe pour des familles composées à la surface des continents seulement de végétaux herbacés : les *Isodendron* sont dans cet archipel les représentants des Violacées ; les *Alsiodendron*, des Caryophyllées. L'île Sainte-Hélène nous fournit des exemples très frappants qui plaident dans le même sens ; on sait que la famille des Composées ne comprend dans nos

pays que de petites plantes basses et molles ; or, dans l'île précédente, il y a dix espèces de Composées qui sont des arbres.

L'expérience prouve d'ailleurs que les faits précédents ne sont pas purement fortuits, qu'ils ont une cause climatérique : M. Hildebrandt a fait semer en même temps un certain nombre de plantes à Fribourg en Brisgau et à Madère ; or, dans cette dernière île, les plantes ont fleuri plus tardivement, mais leur lignification s'est au contraire beaucoup accentuée.

En somme, pour des raisons différentes, la chaleur et le froid tendent à allonger la vie de la plante. Dans les régions polaires, le végétal annuel devient une plante herbacée vivace ; dans les régions tropicales, il peut se transformer en un arbre à floraison indéfiniment renaissante.

Qualités et défauts des plantes herbacées et ligneuses. — Nous venons d'être amenés à caractériser différents types végétaux se distinguant les uns des autres par la durée de leur existence ; chacun de ces types offre des qualités et des défauts qu'il est bon de préciser.

Les plantes *annuelles* n'ont rien à craindre de l'hiver, car elles produisent leurs graines avant l'arrivée des froids ; elles peuvent donc s'installer dans les pays tempérés où les gelées n'arrivent pas trop tôt. Toute leur activité est consacrée à la formation de leurs fleurs et de leurs fruits, elles ne peuvent donc ni durcir leur tige ni y accumuler des réserves, mais par contre leur fécondité est en général très grande. Elles doivent chaque année soutenir des luttes souvent intenses pour la possession du sol où peuvent être installées les plantes vivaces ou arborescentes ; cette lutte sera impossible si ces dernières sont trop nombreuses, et nous ne les rencontrerons pas dans les forêts vierges où tout le sol est occupé ; le climat chaud ne s'oppose cependant pas à leur développement, car, partout où la forêt tropicale disparaît, elles se montrent en grand nombre (côte de Malabar).

Les plantes *bisannuelles* et *plurannuelles* se rencontrent en plus petit nombre, elles constituent un stade de transition entre les espèces annuelles et les espèces vivaces ou ligneuses. Ces végétaux apparaissent quand deux ou plusieurs années d'activité vitale sont nécessaires pour la floraison. Grâce à

cet allongement de la vie, ces plantes peuvent s'acclimater dans les pays froids ayant une saison chaude très courte. Vis-à-vis des plantes vivaces, elles ont le désavantage de ne pas survivre à leur floraison et à leur fructification.

Les plantes *herbacées vivaces* présentent par rapport aux espèces annuelles le désavantage de former des réserves, ce qui les rend moins fécondes ; par contre, une fois installées en un point, elles restent maîtresses du sol. Relativement aux arbres, elles sont moins exposées au froid, car leurs rhizomes ou leurs racines sont cachés en terre, aussi exigent-elles une structure moins compliquée et plus facilement réalisable.

Les plantes *ligneuses* ont les avantages qui résultent de la puissance de leur squelette ; cette supériorité, il est vrai, peut être compensée par plusieurs défauts, car un arbre ne peut pas en même temps consolider sa tige, s'épaissir et se reproduire : aussi est-ce très tardivement que les fleurs se montrent, au bout d'un demi-siècle quelquefois. Quand ce mode d'existence est, par hasard, réalisé, on assiste au plus magnifique épanouissement de la vie végétale que l'on connaisse : un Sequoia, un Dragonnier, un Baobab, un Cyprès, qui peuvent vivre de 3 à 6.000 ans, comptent certainement parmi les êtres les plus splendides de la création.

La vie arborescente se développe tout naturellement dans les régions tropicales, grâce à la chaleur et à l'humidité ; dans les pays septentrionaux, les arbres ne peuvent croître et résister aux rigueurs du climat que parce qu'ils possèdent diverses particularités de structure que nous allons examiner.

CHAPITRE IV

ÉPANOUISSEMENT DE LA VIE ARBORESCENTE DANS LES PAYS TEMPÉRÉS

On conçoit, d'après ce que nous avons rapporté dans le chapitre précédent, pourquoi les régions tropicales réalisent aisément les conditions qui favorisent le développement des arbres. L'explication qui vient d'être donnée ne s'applique évidemment pas aux végétaux ligneux qui croissent en dehors des pays chauds, il nous faut donc maintenant chercher à comprendre à quelles causes on doit attribuer le riche épanouissement de la vie arborescente dans les pays tempérés. L'Europe septentrionale et centrale était autrefois couverte d'immenses forêts dont le défrichement est dû aux progrès de la civilisation : la Gaule et la Germanie présentaient des bois immenses et impénétrables qui ont longtemps arrêté les légions de Rome.

Si Darwin avait songé au problème que nous venons de poser, il en aurait trouvé une solution simple grâce à l'intervention de la sélection naturelle.

Les plantes, aurait-il pu dire, qui croissent dans nos pays ont chaque année à souffrir de l'hiver ; celles qui résistent au froid dans leurs parties aériennes ne se maintiennent que grâce à quelques propriétés devenues caractéristiques dans le cours des générations, car les individus qui ne les présentent pas sont voués à une mort certaine.

Nous avons vu, pendant le grand hiver de 1879, le Pin sylvestre acclimaté depuis un temps indéfini dans le nord de la France, résister aux grandes gelées qui ont détruit un nombre immense de Pins maritimes, essence que l'on y cultive depuis

près de cent ans. Une nuit de très grand froid a suffi pour anéantir les résultats obtenus par plusieurs générations de forestiers. Si les Pins sylvestres ont survécu, cela tient évidemment à l'élimination, par une sélection naturelle poursuivie pendant de nombreux siècles, de tous les individus incapables de résister aux grandes gelées.

Si, en même temps, les autres arbres de nos forêts ont résisté à l'action destructive des températures très basses, cela tient à ce qu'ils avaient perdu leurs feuilles à la fin de l'automne : les organes sensibles de la plante étant tombés, elle a moins à craindre pour sa tige dure et résistante. On peut concevoir qu'un hasard heureux a fait autrefois varier quelques représentants de ces espèces, amenant le durcissement des bourgeons pendant l'hiver et la chute des feuilles adultes avant les grands froids ; ces variations ont assuré aux individus qui les présentaient une supériorité incontestable. Grâce à ces caractères nouveaux, ces végétaux ont pu se maintenir pendant une longue série d'années, se lignifier, puis se reproduire et transmettre leurs qualités à leur descendance. +

L'explication que nous venons de donner est jusqu'ici purement hypothétique. Peut-on l'appuyer sur des faits observables ? Nous avons admis que les ancêtres des arbres de nos forêts n'ont pas toujours eu leurs feuilles caduques ; en avons-nous le droit ? Une expérience séculaire ne nous apprend-elle pas, au contraire, que la chute des organes foliaires est un caractère absolument fixe ? Une étude attentive de ce premier point va nous permettre de répondre à ces questions.

Chute des feuilles. — Cherchons d'abord à nous rendre compte de l'importance que présente pour la plante ce caractère tiré de la chute des feuilles.

Quand les froids arrivent très prématurément en automne ou lorsqu'au printemps des gelées tardives se produisent après l'éclosion des bourgeons, il en résulte des troubles profonds pour la plante ; le plus souvent les feuilles sont comme carbonisées (1), mais il peut arriver que la tige soit fendue, on prétend même que les plantes peuvent être quelquefois déracinées. Un abaissement de température amène une rup-

(1) Les gelées tardives qui ont eu lieu en mai 1897 ont carbonisé les Vignes, les Chênes et ont fait un tort considérable à ces végétaux.

ture d'équilibre entre les feuilles, qui continuent à transpirer, et les racines, qui absorbent mal les liquides du sol : ces derniers organes ne répondent donc plus à l'appel d'eau des parties aériennes. Lorsque les feuilles sont tombées, l'arbre passe à l'état de repos, et le froid, à moins d'être excessif, ne présente plus de danger pour lui.

Le caractère de la chute des feuilles a donc une importance considérable pour les arbres de nos pays. Il n'en est plus de même à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. On a quelquefois objecté à l'influence du climat que, même dans les pays chauds, les arbres de nos pays continuaient à perdre leurs feuilles. Cela est vrai en particulier à Madère, mais on peut remarquer déjà que le temps pendant lequel l'arbre reste dépouillé de sa parure verte est beaucoup plus court ; c'est ce que l'on constate pour les Chênes et les Hêtres. Il en est de même pour le Caquier ou *Diospyros Kaki*, arbre du Japon que l'on a acclimaté à Java : dans sa patrie, cette plante perd ses feuilles en octobre pour reverdir au printemps ; à Batavia, elle ne se dépouille de sa frondaison verte que pendant quelques semaines seulement (1).

Les cas précédents peuvent nous permettre d'imaginer celui où l'arbre gardera indéfiniment son feuillage. On ne citait autrefois qu'un seul exemple d'une si curieuse métamorphose, celui rapporté par Gardner en 1848, qui avait constaté que le Cerisier à Ceylan est un arbre toujours vert. Ce cas a beaucoup embarrassé M. Weismann, un des savants qui ont le plus énergiquement dénié au milieu une action sur les êtres vivants : pour lui, les modifications dues aux agents extérieurs sont instables et incapables de devenir héréditaires ; aussi, pour expliquer le fait précédent, prétend-il que, selon toute probabilité, les Cerisiers sont reproduits à Ceylan par bouture. Laissons de côté cette hypothèse purement gratuite ; nous aurons d'ailleurs l'occasion de montrer, un peu plus loin, des exemples de variations héréditaires nées expérimentalement sous l'influence de modifications dans les conditions de vie.

Au fait que nous venons de mentionner, nous pouvons en ajouter d'autres nombreux qui prouvent bien que la persis-

(1) D'après M. MASSART.

tance des feuilles dans les régions chaudes et humides est bien due au climat. M. Kerner von Marilaun cite les exemples suivants : le Châtaignier aux environs de Naples, près des solfatares, garde toute l'année son feuillage ; il en est de même du Platane en Grèce (fait cité autrefois par Pline), du Lilas sur les bords de la mer Noire, du Pêcher dans les oasis du nord de l'Afrique. A Java, selon Junghuhn et Hoffmann, ce dernier arbre est toute l'année en fleurs et aussi en feuilles. Humboldt a relevé une variation toute semblable sur une Vigne qu'il a observée à Cucuma.

Nous signalions plus haut le Chêne comme faisant exception à la règle que nous cherchons à établir ; s'il perd encore son feuillage à Madère, il n'en est plus de même dans l'Inde, aux environs de Madras. Cette observation, qui est de M. Brandis, est également vraie, dans ce même pays, pour une Anacardiacee, l'*Odinia Wodier*, espèce qui dans l'Himalaya a des feuilles caduques.

M. Rutland a signalé, il y a peu d'années, des faits de même ordre dans la Nouvelle-Zélande pour deux Malvacées (*Plagianthus betulinus* et *divaricatus*), une Composée (*Olearia Hectori*) et une Verbenacée (*Lippia citriodora*).

Il est à remarquer d'ailleurs que le froid n'est pas la seule cause pouvant amener la caducité des feuilles ; la sécheresse peut produire le même résultat. Dans les régions très chaudes mais sèches, comme celles que l'on désigne au Brésil sous le nom de Catinga, les arbres ont à redouter la période de l'année pendant laquelle il ne pleut pas ; si les plantes gardent leurs feuilles pendant ce temps, ces organes continuant à transpirer, et, l'eau ne venant plus des racines, les mêmes troubles doivent donc s'y produire que dans les végétaux de nos pays quand arrive l'hiver. Pour éviter ces perturbations, l'arbre perd ses feuilles au commencement la saison sèche (1).

La chute des feuilles est donc avant tout un procédé employé par la plante pour ralentir sa transpiration (2). Aussi

(1) M. LECLERC DU SABLON a observé un cas accidentel de chute de feuilles du *Prunus Lauro-cerasus*, plante qui reste d'ordinaire toujours verte ; cette anomalie a été attribuée par cet observateur à la sécheresse.

(2) Les travaux de MM. MOLISCH, SCHIMPER et BORBAS plaident dans le

les pays froids mais très humides, comme la pointe méridionale de l'Amérique du sud, peuvent être couverts de forêts de Hêtres à feuilles persistantes (*Notofagus*), et cette dernière particularité est due à la grande humidité qui règne dans cette région.

De tout ce qui précède, il résulte très vraisemblablement que c'est la sélection opérée grâce à l'intervention du climat qui a amené la chute des feuilles. Mais la protection qui résulte de cette disparition des parties vertes serait illusoire si une autre variation ne se produisait pas également.

Bourgeons. — Un second caractère a grandement contribué à donner aux arbres une supériorité marquée dans la lutte pour la vie, c'est celui qui permet à la plante d'assurer aux jeunes feuilles, déjà ébauchées à l'automne, une protection pendant l'hiver. Ce rôle protecteur est dévolu aux écailles des bourgeons. Elles n'existent pas dans les plantes annuelles, elles sont surtout développées dans les végétaux ligneux de la zone froide (1). Un certain nombre d'espèces de nos pays protègent, il est vrai, leurs jeunes feuilles non avec des écailles, mais avec des poils; telles sont, par exemple, les Viornes et les Bourdaines.

Les écailles, qui constituent l'organe protecteur le plus ordinaire, doivent être regardées comme des feuilles métamorphosées. C'est ainsi que nous sommes amenés, pour la première fois, à élargir la théorie de Goethe, qui n'a guère considéré que l'évolution de la feuille vers la fleur. L'organe foliaire peut se transformer dans beaucoup d'autres sens, et l'exemple actuel en est une preuve. Quand Goethe a cherché à établir sa conception pour la fleur, il a montré d'abord qu'entre les différentes parties de la fleur et les feuilles on pouvait trouver toutes les transitions; l'examen des monstruosité a confirmé ensuite sa démonstration en lui montrant ce qu'il y avait de *réel* dans son hypothèse. Nous pouvons procéder de même ici. L'étude du Lilas, surtout des Pruniers (*Prunus*

même sens. MM. VAN TIEGHEM et GUIGNARD hâtent la chute des feuilles en coupant les branches d'un arbre et en les plaçant dans une boîte de botanique.

(1) Cependant les Cycadées et un certain nombre de plantes des tropiques en possèdent; elles jouent évidemment dans ce cas un autre rôle.

Padus), nous permet de trouver toutes les transitions entre les écailles les plus externes et les feuilles les plus caractérisées (fig. 6 à 10) (1).

L'étude des monstruosités confirme entièrement les résultats précédents. M. Gœbel a fait à ce sujet une expérience très intéressante qui montre, en même temps, que le bourgeon hivernal est un organe sur lequel on peut agir et que l'on peut modifier d'une manière profonde. D'ordinaire dans les arbres fruitiers tels que les Pruniers, on observe, à l'aisselle des branches qui s'allongent au printemps, des bourgeons nouveaux qui s'ébauchent et se différencient en été, puis passent l'hiver à l'état de repos pour se transformer au printemps en pousses nouvelles.

M. Gœbel a eu l'idée d'effeuiller ces pousses ou de couper leur bourgeon terminal ; la plante ainsi affaiblie donne encore naissance à des bourgeons nouveaux, mais, au printemps suivant, on constate un changement complet dans les éléments de ces bourgeons : les pièces qui normalement sont des écailles se trouvent ici métamorphosées en feuilles. M. Gœbel a donc prouvé expérimentalement que l'on peut transformer réellement une écale en une feuille.

Au point de vue anatomique, les écailles ont une structure qui justifie parfaitement leur fonction protectrice. Les

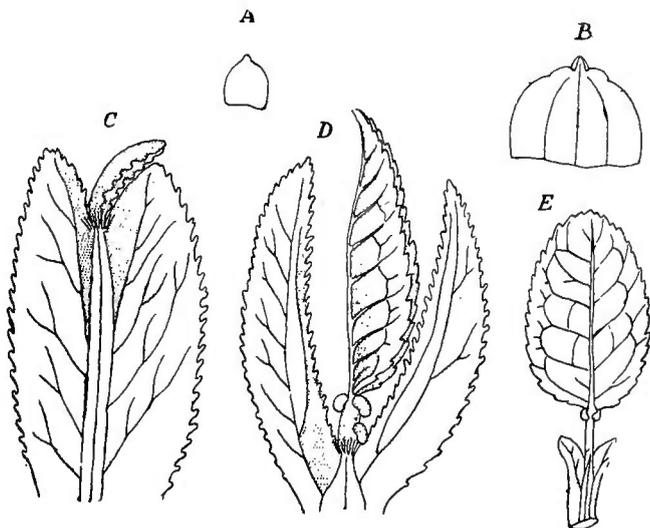


FIG. 6 à 10. — Dessins représentant, d'après M. Gœbel, les passages des écailles du bourgeon du *Prunus Padus* aux feuilles normales : A, écale externe, la petite pointe du sommet est l'ébauche du limbe ; B, écale plus interne, la pointe du limbe est plus accusée, les stipules s'ébauchent de part et d'autre ; C et D, le limbe devient de plus en plus net ainsi que les stipules ; E, feuille normale.

(1) GOEBEL.

feuilles ordinaires sont destinées à beaucoup transpirer, aussi sont-elles couvertes de stomates, qui sont les orifices par lesquels s'échappe la vapeur d'eau ; les écailles doivent au contraire transpirer aussi peu que possible, car nous avons vu que c'est surtout l'abolition de cette fonction qui importe pour le végétal pendant l'hiver ; nous ne nous étonnerons donc pas de constater que les écailles sont dépourvues de stomates. Leurs tissus sont formés de cellules à parois très épaisses qui protègent évidemment le centre du bourgeon contre le froid ; ces épaissements sont d'ailleurs moindres sur les écailles internes.

Le changement que nous avons signalé dans l'aspect extérieur des écailles, d'après M. Goebel, se retrouve également dans la structure. On peut montrer, grâce à une expérience due à M. Gruess, que cette transformation est aussi réelle que la précédente. Si l'on enlève les écailles externes des bourgeons au mois de mars, deux cas pourront se présenter quand on examinera ces bourgeons au mois d'avril : ou bien ils seront morts n'étant plus protégés contre le froid, ou bien ils se seront métamorphosés anatomiquement. Les écailles internes, avons-nous dit, ont les parois peu épaisses dans le bourgeon normal ; ces écailles mises à nu par l'opération précédente se sont modifiées, leurs parois sont fortement épaissies, aussi ont-elles pu protéger les jeunes feuilles contre les froids tardifs.

Nous savons maintenant comment la végétation arborescente, qui s'épanouit tout naturellement dans les régions chaudes du globe, exige pour se maintenir dans les pays tempérés, mais à hiver froid : soit des feuilles caduques, soit des bourgeons à écailles, soit d'autres particularités de structure. Dans les régions polaires, ainsi que nous l'avons vu, les arbres à proprement parler n'existent plus, il n'y a plus que des espèces ligneuses rampantes, en petit nombre, dont l'aspect est rabougri. Cette réduction des arbres quand on s'avance vers le pôle, nous amène à aborder la question de la variation de la taille des végétaux.

Variations de la taille. — Les recherches des physiologistes ont montré que la croissance d'une plante, de la tige par exemple, est directement influencée par la chaleur. Si l'on soumet une tige de Haricot à des températures de plus en

plus élevées, on voit que sa vitesse de croissance devient de plus en plus grande jusqu'à 31°; au delà la rapidité d'élongation diminue. Cette température de 31° est ce que l'on appelle l'optimum; quand elle est réalisée, la plante se développe avec la plus grande rapidité possible. Cette température optimale est variable avec les espèces, mais elle est le plus souvent élevée: pour le Melon, elle est de 37°; pour le Lin, de 27°.

D'après cela, nous concevons (abstraction faite des tem-

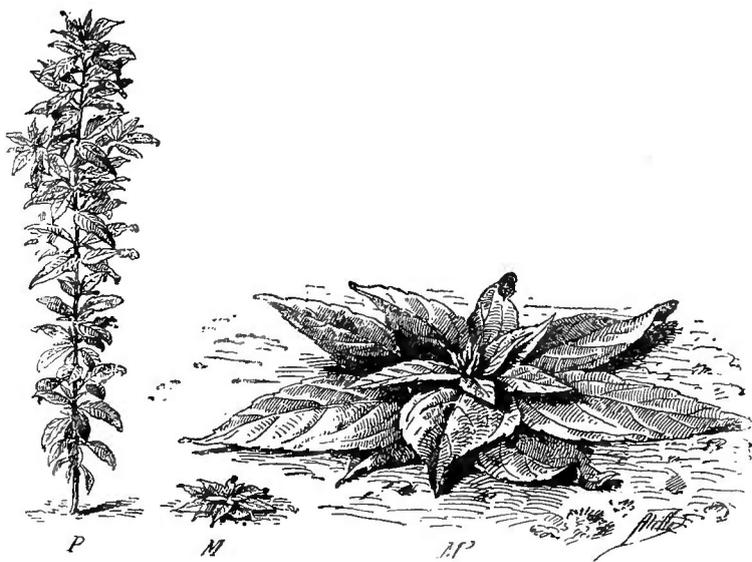


FIG. 11 et 12.— Topinambour : *P*, individu développé dans la plaine; *M*, individu développé sur la montagne (ces deux dessins sont au même grossissement); *M'*, le second dessin grossi. Cultures expérimentales de M. Bonnier.

pératures trop élevées) que les plantes s'allongent plus dans les pays chauds que dans les pays froids; il doit vraisemblablement en résulter que la flore tropicale est surtout formée de végétaux élevés et la flore polaire de végétaux nains.

Les expériences très remarquables de M. Bonnier ont d'ailleurs établi avec une netteté saisissante l'influence d'un climat froid sur le rabougrissement des végétaux. Il a installé dans les Alpes et les Pyrénées des cultures expérimentales de plantes de la plaine. Les transformations qu'il a pu ainsi obtenir ont été frappantes, le plus souvent dès la première année. Le changement du Topinambour est presque invraisemblable (fig. 11 et 12): au lieu d'une plante élancée, couverte de fleurs, on n'observe plus qu'une rosette de feuilles aplaties et

velues, couchées sur le sol. La modification était si grande et le végétal si méconnaissable, que M. Bonnier avait d'abord noté cette espèce parmi celles ayant péri. L'Alchemille vulgaire, le Lotier corniculé, deviennent des plantes rabougries et rampantes. Le *Teucrium Scorodonia*, à 1,500 mètres d'altitude, ne laisse sortir hors du sol qu'une à quatre paires de feuilles rapprochées les unes des autres par suite de la petitesse des entre-nœuds ; dans l'échantillon de la plaine, il y a cinq à douze paires de feuilles largement séparées les unes des autres.

Ces changements dans les parties aériennes sont accompagnés d'un développement considérable des parties souterraines. Toute l'activité vitale se trouve portée de ce côté.

« Dans les cultures les plus élevées, dit M. Bonnier, la neige a disparu, en moyenne, à la fin de mai, et la neige d'hiver a reparu à la fin de septembre. Les plantes n'avaient donc que quatre mois pour accomplir l'évolution de leurs parties aériennes. Il faut remarquer en outre que la neige venait recouvrir deux ou trois fois les cultures en plein été. Cette chute de neige en été, qui a lieu tous les ans dans la région alpine, contribue sans doute pour beaucoup à modifier l'aspect des végétaux. » Quand il n'y a pas de gelées en été, l'aspect est beaucoup moins différent, c'est ce que M. Bonnier a remarqué pour une Achillée millefeuille qui avait pu ainsi atteindre 40 centimètres de hauteur (le pied correspondant de la station inférieure ayant 70 centimètres).

Depuis longtemps déjà, les observateurs avaient été frappés par les caractères des flores polaire et montagnarde. Quelques-uns même, parmi lesquels il faut surtout citer Gubler (1) et Faivre; ont formulé nettement l'opinion que le nanisme des espèces y est dû à l'action du climat. Ce dernier observateur a suivi la Brunelle commune à diverses altitudes ; « dans les lieux secs et élevés », il a remarqué que la taille « et le déve-

(1) Est-ce, au contraire, la chaleur qui a manqué ou le vent qui a sévi : la plante, rabougrie, déprimée, semble ne pouvoir se détacher de la terre, qui la nourrit, l'échauffe et l'abrite. Elle est constituée par une simple rosette de feuilles, du milieu de laquelle se détache à peine un axe florifère raccourci. C'est la variété *alpine*, que je proposerai d'appeler *frimaire*, parce qu'elle se rencontre ailleurs que sur les sommités montueuses et qu'elle appartient à beaucoup d'espèces précoces de nos contrées. »

loppement sont ceux des formes alpestres » ; « dans les prairies basses et marécageuses, l'espèce se présente avec une autre physionomie : le système souterrain est réduit. »

Il conclut de son étude que la plante « se modifie avec le milieu dans ses traits accessoires ; mais ses caractères essentiels demeurent. » La culture a levé à cet égard les doutes qu'il avait pu concevoir.

M. Bonnier a remarqué également « ce fait très frappant que le changement si grand produit par le climat sur les feuilles et sur les tiges était presque nul sur les fleurs. »

Ce sont des résultats analogues qui ont conduit Naegeli à affirmer que les adaptations si notables que nous venons de signaler n'avaient aucune signification, car, selon lui, elles ne touchent pas à la fleur et ne sont pas héréditaires. Il a institué une expérience très vaste sur le genre *Hieracium* ; il a récolté un nombre considérable de types de la tribu des Pilosellidées ; il en a réuni ainsi 2,500, qu'il a pu suivre pendant treize années au jardin botanique de Munich. Or il a constaté que le caractère des formes de plaine se montrait immédiatement, dès la première année. Il en a conclu que ces différences toutes quantitatives n'atteignent en rien la caractéristique essentielle de l'espèce, qu'elles sont le produit immédiat des conditions climatiques et ne deviennent en rien héréditaires après une immense série de générations.

La conclusion de Naegeli est donc purement négative. On peut, il est vrai, attribuer ce résultat à la nature des plantes sur lesquelles il expérimentait. Nous aurons, à maintes reprises, l'occasion de signaler dans cet ouvrage des faits montrant que certaines espèces sont très sensibles à l'action d'un milieu spécial tandis que d'autres réagissent à peine. M. Bonnier d'ailleurs, dans ses cultures sur les Alpes et les Pyrénées, a signalé des exemples probants à cet égard : le *Thymus Serpyllum*, le *Chenopodium Bonus-Henricus*, par exemple, sont à peine modifiés par le climat alpin.

Nous allons d'ailleurs opposer aux résultats négatifs de Naegeli des faits parfaitement positifs et de la plus grande netteté obtenus par Schübeler et divers autres expérimentateurs et démontrant que les caractères acquis peuvent devenir héréditaires.

CHAPITRE V

LES CARACTÈRES ACQUIS SONT HÉRÉDITAIRES

Hérédité des variations. — Toutes les expériences et observations qui viennent d'être décrites fournissent des preuves irréfutables de l'action immédiate et profonde qu'exerce la chaleur sur les végétaux.

Les modifications ainsi produites sont-elles éphémères ou peuvent-elles se transmettre à la descendance ? Tel est le problème capital qu'il faut essayer de résoudre. Pour M. Weismann la réponse à cette question est négative : la seule cause de variation des êtres réside dans le mode de formation de l'œuf. Les protoplasmas des cellules reproductrices mâle et femelle étant différents donnent, en se fusionnant entre eux, un œuf qui participe des propriétés du père et de la mère et qui, par cela même, offre des caractères nouveaux. Ce serait sur cette seule cause de variation qu'opérerait la sélection.

On voit combien cette opinion est étrange : le hasard de la fusion de deux plasmas fait naître la variation, et il se trouve cependant que partout les êtres sont adaptés au milieu. Cette théorie a été formulée par Darwin avec tout ce qu'elle a d'excessif, dans la première édition de l'*Origine des espèces*, publiée en 1859. Le savant anglais paraît avoir cherché avant tout, à cette époque, à bien séparer sa manière de voir de celle de Lamarck. « Que le ciel me préserve du non-sens de Lamarck, écrit-il à Hooker en 1844. » — « Les œuvres de Lamarck me paraissent extrêmement pauvres. Je n'en tire pas un fait, pas une idée. » Les adversaires du darwinisme ont tout de suite trouvé le point faible de cette théorie : les transformations faites par la sélection *seule* doivent s'accomplir avec une lenteur infi-

nie. « Darwin admet, dit M. de Quatrefages, que dix mille années sont nécessaires pour transformer une espèce qui peut se reproduire un an après sa naissance ; mais il en faut le double, le triple pour celles dont les représentants ne sont adultes que plus tard. Qu'on juge du nombre de siècles qu'a dû exiger, dans cette hypothèse, le passage d'un type à l'autre, la réalisation d'un animal, d'un végétal supérieur dont le premier ancêtre était quelque chose de moindre et de plus simple que la plupart de nos infusoires, que les spores de nos conferves ! » D'ailleurs, l'examen des animaux et des plantes retrouvés dans les tombeaux d'Égypte, remontant à près de 6.000 ans, n'a révélé aucune différence avec ceux qui vivent de nos jours.

Les objections faites à la théorie de la sélection par Nægeli, Romanes, Spencer, Mivart, Wolf, Pfeffer, etc., sont devenues de plus en plus nombreuses d'année en année. Citons-en quelques-unes des plus typiques.

Quand une variation se produit, elle n'atteint qu'un petit nombre d'individus, un sur mille par exemple ; à la génération suivante, il n'y aura plus de nouvelle variation s'ajoutant à la précédente que sur un millièmè d'un millièmè, et pratiquement elle se réduit bientôt à zéro au bout d'un petit nombre de générations (1).

Imaginons, dit Nægali, que la Girafe ait mis mille générations à acquérir la longueur de son cou ; le gain aura dû être de un millimètre par génération. Or un cou de un millimètre de plus ne constitue aucun avantage, même en temps de disette.

Darwin paraît avoir senti d'assez bonne heure ce que sa théorie avait d'aventureux. En 1862, il écrit à Lyell : « Je reconnais avec peine, parce que j'en suis un peu affligé, que mes travaux actuels me conduisent à croire plus à l'action directe des conditions physiques. Je présume que je le regrette parce que cela amoindrit la gloire de la sélection naturelle qui devient ainsi extrêmement douteuse. » Dans la cinquième édition anglaise de son principal ouvrage, il re

(1) Darwin lui-même avoue dans l'*Origine de l'homme* avoir été amené, par un article du *North British Review* de mars 1867, à reconnaître combien la vraisemblance parle contre le maintien héréditaire des modifications qui, importantes ou non, n'apparaissent que sur des individus isolés.

connaît qu'il a commis là « une très grande erreur ».

Laissons donc pour le moment de côté les hypothèses, remarquons seulement que, si la sélection joue un rôle, ce que personne ne nie, c'est un rôle subordonné. Examinons les faits, et tâchons de mettre en évidence leur importance relative. Quand nous rencontrons, en particulier, des expériences aussi bien faites que celles de Schübeler et aussi décisives, nous devons les mettre dans la pleine lumière qu'elles méritent.

En 1852, cet agronome norvégien eut l'idée de semer dans le nord de la presqu'île scandinave des graines de céréales qui avaient été récoltées à Hohenheim, près de Stuttgart. La première récolte ne fut obtenue qu'au bout de 120 jours; la culture fut poursuivie les années suivantes; en 1857, il sema des graines recueillies par lui en 1855 et constata avec étonnement qu'il pouvait récolter les graines (qui étaient plus pesantes) au bout de 70 jours. En cinq années, la plante s'était donc accommodée au climat et était susceptible de mûrir 50 jours plus tôt qu'avant. Pendant ce temps, des graines de la même variété, semées à Breslau, exigeaient pour mûrir une période de végétation de 122 jours. ↗

Les résultats précédents acquis par un semis dans le nord de l'Europe peuvent s'obtenir également dans une culture sur une montagne. Il en découle donc que c'est le climat froid qui produit ces changements. Ces faits s'accordent avec tout ce que nous avons dit sur la variation de la durée de la vie des végétaux : une plante qui se trouve dans un climat rigoureux doit d'abord raccourcir sa période de végétation, fleurir et fructifier plus tôt; plus au nord ou à une altitude plus élevée, il peut même arriver que la floraison ne se produise plus la première année.

L'expérience de Schübeler a été poussée plus loin. Si au bout de quelques années on vient à semer en Allemagne les graines récoltées en Scandinavie qui sont plus lourdes, les plantes ainsi obtenues fructifient beaucoup plus tôt que leurs congénères d'Allemagne et elles gardent leur forte densité. Le même résultat s'observe avec des plantes semées en montagne.

Ainsi donc ce n'est pas une simple variation éphémère, ce que l'on appelle une *variété*, que l'on a obtenue ainsi dans les pays froids, c'est une forme qui a une certaine stabilité, c'est l'ébauche d'une *race*. Cette race ne se trahit pas seulement

par la brièveté de sa végétation, mais aussi par les qualités de ses graines ; celles-ci sont plus grosses et plus lourdes dans les pays du nord, et ce caractère se maintient, au moins pendant les premières générations, dans les pays plus tempérés.

L'intérêt pratique que présente ce résultat a suscité des recherches de contrôle comme celles de M. Petermann, et à l'heure actuelle les graines employées dans les grandes cultures de Lin sont récoltées dans les régions froides (1). Les agronomes auraient donc tort de se désintéresser d'études telles que celles qui nous préoccupent et qui paraissent, de prime abord, purement spéculatives.

Ce côté spéculatif de la question nous occupe seul ici. Il a une importance théorique considérable. Les expériences de Schübeler nous font assister à l'élaboration des caractères héréditaires sous l'action des agents extérieurs, travail caché que nous nous efforcerons de découvrir partout dans la nature.

Dans les essais de l'agronome norvégien, l'action du milieu est profonde et totale, et il n'est pas nécessaire que l'expérimentateur intervienne pendant le cours de la transformation. Si les modifications dans les conditions de vie sont moins radicales, la sélection par l'homme devient indispensable pour compléter les effets des agents physico-chimiques. Monnier, ainsi que le rapporte Darwin, a pu transformer par ce procédé un Blé d'automne en un Blé de printemps. Pour y parvenir, au lieu de mettre les graines en terre en automne, il les sème au mois de mars. Sur cent plantes, quatre seulement, par exemple, mûrissent leurs graines cette première année. En semant ces dernières l'année suivante au printemps, et en continuant de même la sélection pendant trois années, cet agronome arrive à modifier complètement la première race et à créer une race nouvelle mûrissant comme le Blé de mars.

Si l'expérimentateur a été obligé d'intervenir, dans ce dernier cas, pour récolter les graines et les semer de nouveau au printemps de l'année suivante, c'est qu'il n'a que faiblement modifié les conditions de développement : si l'hiver est, en effet, peu rigoureux, la croissance d'un Blé semé en automne peut être presque continue comme celle d'un Blé de mars.

(1) Cette pratique agricole tend à se vulgariser de plus en plus pour diverses espèces. On l'applique en Suède, en Autriche-Hongrie, etc.

La comparaison de ces deux cas (l'expérience de Schübeler et celle de Monnier) montre bien quelle est la nature de la sélection naturelle et comment elle opère dans les régions septentrionales. C'est le climat qui se charge de faire le triage, qui tue par la gelée les graines incapables de supporter les froids. Quant aux autres plantes, elles sont *toutes* modifiées et à peu près également par les basses températures; la métamorphose du végétal est importante, souvent très profonde et même très apparente *dès la première année*, comme dans l'expérience de M. Bonnier (1); enfin la variation tend à devenir héréditaire.

Les nombreuses objections faites à la théorie de la sélection naturelle nous paraissent levées avec cette nouvelle conception. Quand les graines sont transportées d'une manière quelconque, par le vent ou les oiseaux, dans un nouveau climat, *tous* les individus sont modifiés dans un sens favorable à l'adaptation, sans quoi ils meurent. La variation ne s'étend pas à une minorité, mais à tous les représentants de l'espèce. Les transformations ne sont pas lentes, mais *brusques* à l'origine. Le temps n'a plus qu'à intervenir pour la fixation progressive des caractères qui deviennent héréditaires: sur cette dernière question de la durée nécessaire à la fixation complète d'un caractère nouveau, la science ne possède que très peu de données, ce qui se conçoit aisément, car ces problèmes ne sont, en somme, nettement posés que depuis peu de temps.

M. Bonnier a fait une expérience intéressante à ce point de vue; pendant huit années, il a suivi les variations d'un *Teucrium* sur la montagne et dans la plaine. Il a vu ainsi qu'un certain nombre de caractères nouvellement acquis par le transport sur les hauteurs disparaissent *au bout du même temps* lorsqu'on replace la plante dans son climat primitif.

Si ce dernier résultat pouvait se généraliser, nous aurions dès aujourd'hui la clef de tous les phénomènes héréditaires. La prudence nous invite à attendre, mais nous pouvons cependant affirmer aujourd'hui avec certitude qu'il y a un commencement de fixation des caractères acquis par l'action du milieu.

Cette nouvelle manière d'envisager la sélection naturelle

(1) Voir p. 43.

présente, selon nous, l'avantage de la faire sortir de l'ombre métaphysique où elle se cachait. On possède enfin une méthode expérimentale qui permettra de mettre l'hypothèse en face des faits, et on aura une raison péremptoire pour la rejeter si elle ne s'accorde pas avec eux.

Il est indispensable, à l'heure actuelle, de grouper les faits analogues à ceux que nous venons de citer. C'est dans cette voie que la science pourra progresser, car elle s'engagera ainsi dans un chemin bien tracé au lieu de marcher à l'aventure.

Ce n'est pas seulement par le transport d'une graine vers le nord de l'Europe que l'on obtient des métamorphoses profondes, Metzger (1) a montré que le Maïs apporté d'Amérique en Europe s'y est changé complètement, en un petit nombre de générations en une race nouvelle. Dans les pays chauds du nouveau monde, cette plante mûrit en six à sept mois ; dans les pays froids de l'ancien continent, la fructification est obtenue en trois ou quatre mois, et la taille est beaucoup plus petite. Ceci se manifeste déjà à la deuxième génération. La dépression qui existait à la partie antérieure des grains disparaît, et la couleur blanche du caryopse se transforme en une couleur jaune.

M. L. de Vilmorin a réussi, par un procédé de sélection, à mettre hors de doute l'origine des Carottes cultivées (fig. 13 et 14) en montrant qu'on pouvait les faire dériver des Carottes sauvages ; on sait qu'il échoua tant qu'il se borna à choisir avec soin les porte-graines et à multiplier les soins d'élevage. Il obtint

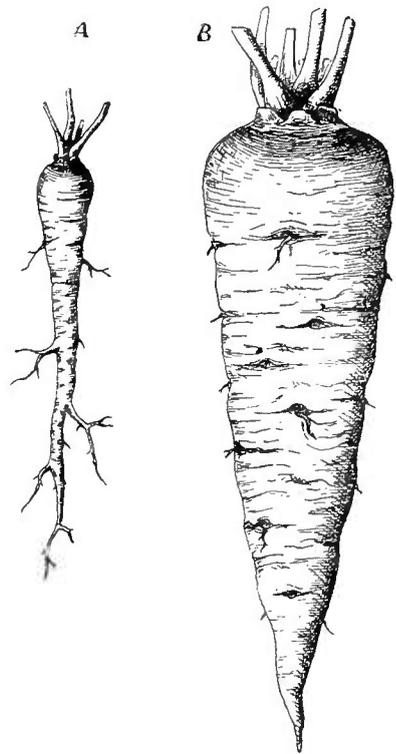


FIG. 13 et 14. — A, partie souterraine d'une Carotte sauvage ; B, partie souterraine d'une Carotte cultivée.

(1) HODGET, dans l'Amérique du Nord, a également raccourci la vie du Maïs de 6 semaines. On connaît des races de Riz à vie très courte, selon GRISEBACH.

la transformation en faisant garder l'hiver quelques individus tardifs dont il prolongea ainsi l'existence et qu'il fit repiquer au printemps. Il obligea ainsi une plante annuelle à vivre deux ans. En quatre générations, la transformation était faite (1).

Les *Brassica napus* et *rapa* ont de même des variétés annuelles et bisannuelles qui peuvent s'obtenir par des procédés semblables.

On peut objecter à ces transformations qu'elles se produisent surtout chez des plantes cultivées qui présentent une variabilité qu'on n'observe pas chez les plantes sauvages. A cette objection, nous répondrons que plusieurs faits cités plus haut indiquent suffisamment que la variation se manifeste aussi bien sur les plantes sauvages que sur les plantes cultivées, et, si nous avons pris pour l'étude des variations fixables nos exemples surtout parmi ces dernières, c'est que les observations les plus nombreuses et les plus suivies ont été faites depuis de longues années sur elles seulement.

Nous possédons d'ailleurs quelques données sur la fixation des variétés des plantes sauvages ; nous y reviendrons plus loin en parlant de la floraison. Signalons, pour l'instant, un travail très intéressant de M. Murbeck qui a un rapport très immédiat avec la question qui nous occupe.

Nous avons mentionné plus haut l'existence de types de Gentianes annuelles dans la plaine, bisannuelles dans la montagne. M. Murbeck a étudié des variations analogues que l'on observe en passant du centre au nord de l'Europe ; il s'agit là de formes stables méritant d'être érigées à l'état d'espèces.

L'ancienne espèce *Gentiana campestris* doit être décomposée, d'après lui, en deux espèces nouvelles : le *Gentiana Baltica* Murbeck, qui est une espèce annuelle, et le *Gentiana Suecica* Froel, qui est bisannuel. La première espèce est répandue dans les contrées dont le climat n'est pas très rigoureux comme l'Angleterre, la Prusse, le nord de la Bavière, la Bohême ; la deuxième espèce est uniquement suédoise. Une autre Gentiane, le *Gentiana amarella*, se dédouble

(1) M. CARRIÈRE a transformé de même, en cinq ans, le Radis sauvage. Les pieds primitifs présentaient une racine non mangeable pesant 22 grammes ; la plante métamorphosée a donné un légume excellent, pesant de 300 à 600 grammes.

de la même manière, elle donne naissance à deux espèces : l'une annuelle, le *G. uliginosa* Willd ; l'autre bisannuelle, le *G. lingulata* Agardh.

M. Murbeck imagine que ces diverses formes se sont séparées des *Gentiana campestris* et *amarella* depuis la période post-glacière. Nous croyons qu'il y a lieu d'être réservé, dans l'état actuel de la science, relativement à la fixation de l'ancienneté d'une race spontanée, mais il faut espérer que des expériences longtemps poursuivies nous renseigneront peut-être plus tard à cet égard (1).

(1) M. FAIVRE rapporte les expériences suivantes dues à M. VERLOT, directeur du jardin botanique de Grenoble. D'après ce praticien habile, « le Ceraiste des Alpes reprend la livrée du Céraiste des champs, et la Betoine hérissée des hauts sommets se rapproche, en modifiant ses caractères, de la Bétoine officinale.

CHAPITRE VI

VARIATIONS DE L'ÉPOQUE DE FLORAISON

L'étude des variations de l'époque de floraison va nous fournir des résultats qui confirment et étendent ceux que nous avons obtenus précédemment.

On peut, pour fixer les idées, distinguer parmi les plantes à fleurs plusieurs types qui se séparent les uns des autres soit par la considération de la *durée* de la floraison, soit par l'*époque* de l'année pendant laquelle les fleurs se montrent, soit par l'*ordre de succession de la floraison et de la feuillaison*.

I. — Au premier point de vue, on peut diviser les végétaux de nos pays en trois groupes :

1° Les plantes *euchrones* (1) sont celles dont tous les individus fleurissent en même temps et pendant une période très courte. Le Muguet en est un exemple.

2° Les plantes *achrones* sont en fleurs presque toute l'année parce que les graines des générations successives germent peu à peu pendant une saison. Le Senegon, la Pâquerette rentrent dans ce groupe.

3° Les plantes *polychrones* fleurissent également pendant une longue période, mais pour une autre raison, parce que les rameaux nouveaux d'un même individu portent de nouvelles fleurs qui s'épanouissent lorsque les premières sont flétries. On peut citer les plantes tropicales comme exemple de ce troisième type.

II. — L'époque de la floraison mérite également d'être considérée. Certains végétaux fleurissent *au printemps* ; c'est

(1) TOMASCHEK.

en cette saison que s'ouvrent les bourgeons floraux des Saules, des Coudriers, du Perce-Neige (*Galanthus nivalis*) dont le nom rappelle bien la précocité des fleurs.

Certaines fleurs apparaissent, au contraire, assez tardivement *en été* ; telles sont les Bruyères franches (*Calluna vulgaris*) qui ne fleurissent guère avant le mois d'août.

Enfin, quelques rares espèces s'épanouissent en septembre et octobre comme la Colchique d'automne et le *Scilla autumnalis*.

III. — Au troisième point de vue mentionné plus haut, on peut distinguer plusieurs cas suivant que les feuilles apparaissent avant les fleurs, en même temps ou après.

a) Le Cornouiller (*Cornus mas*), le Coudrier, le Tussilage, montrent leurs fleurs avant leurs feuilles.

b) Le Pommier développe à peu près en même temps ces deux organes.

c) L'Épine-Vinette, le *Prunus Padus*, épanouissent leurs fleurs une ou deux semaines après leurs feuilles ; la Vigne, le Chèvrefeuille (*Lonicera caprifolium*), la Clématite ont besoin de plusieurs semaines pour ébaucher les fleurs après l'apparition du feuillage.

Au point de vue de l'influence de la chaleur, ces trois derniers types de plantes se comportent différemment, et les premières n'exigent qu'un peu de chaleur pour l'ouverture de leur corolle. Le pollen du Coudrier commence quelquefois à se montrer à une température très basse (les sacs polliniques commencent à s'ouvrir à 2°, d'après une observation de M. Tomaschek) ; dès qu'on transporte les chatons de cet arbre dans une chambre un peu chaude, le pollen est immédiatement mis en liberté (1). Il ne faut pas fournir d'ailleurs à ces plantes printanières une trop forte dose de chaleur, car on peut alors leur nuire. Si l'on place dans une chambre à 15 ou 18° des Safrans, des Pulmonaires et des Ficaies, elles ne fleurissent pas, les boutons se dessèchent et tombent : la température est trop élevée ; tandis que, dans une chambre à 5 ou 10°, la floraison a lieu normalement (2).

Ces fleurs de printemps, qui ont de si faibles exigences

(1) TOMASCHEK.

(2) BATALIN.

calorifiques, doivent être souvent exposées à des retours offensifs du froid. On peut donc se demander si elles n'ont pas des moyens de se protéger contre des abaissements trop grands de température. On a trouvé que certaines fleurs, celles du Safran en particulier, présentent la propriété de se fermer quand la température s'abaisse et de s'ouvrir dès qu'elle s'élève. Une élévation brusque de 5° fait ouvrir une fleur de *Crocus* en huit minutes; une élévation de 10° en amène l'ouverture en une minute. Le végétal, dans ce cas, devient une sorte de thermomètre assez sensible qui peut manifester ses mouvements pour un changement de température d'un demi-degré (1).

Les fleurs qui s'épanouissent après les feuilles ont besoin de plus de chaleur, mais la lumière joue surtout un rôle dans leur développement; c'est grâce à la lumière que les feuilles assimilent le carbone de l'atmosphère et fabriquent les substances indispensables pour l'édification des boutons floraux (2).

Il s'établit, on peut dire, entre la tige et les fleurs, d'une part, la chaleur et la lumière, de l'autre, un rapport de dépendance: la lumière agit par l'assimilation du carbone sur la production des fleurs; la chaleur modifie la respiration et aussi le développement des entre-nœuds de la tige.

Dans ce qui précède, nous avons décrit comme stables les caractères tirés de la floraison; c'est en effet ce qui s'observe normalement: la durée de floraison, l'époque de l'année où elle se produit, son apparition précoce ou tardive relativement à la feuillaison, sont autant de faits qui nous permettent de définir une espèce. Ce sont, le plus souvent, des caractères héréditaires. Ces caractères sont cependant susceptibles de variations qui, depuis longtemps, ont frappé les observateurs même les plus inattentifs. L'étude de ces variations est même devenue l'objet d'une branche de la météorologie que l'on appelle la *phénologie*.

Si l'on se dirige vers le nord de l'Europe, on remarque que l'épanouissement des fleurs du printemps se fait de plus en plus tard.

Si l'on compare, par exemple, l'époque d'apparition du

(1) PFEFFER.

(2) Ceci sera développé plus loin.

printemps à Paris et dans le nord de l'Europe, on trouve un retard qui va croissant à mesure que l'on s'élève vers le pôle (1).

LATITUDE	ENVIRONS DES VILLES	RETARD dans l'apparition du printemps
49°	Paris .	"
50-51°	Bruxelles .	13 jours
52-53°	Osnabruck .	20 —
59-60°	Christiania .	43 —

A. de Candolle a confirmé ce résultat par l'étude de la variation de la somme des températures. Il a montré que si, pour une région peu étendue en longitude et en latitude, la somme des températures nécessaires pour l'épanouissement des fleurs est constante, il n'en est plus de même quand on s'élève vers le pôle. La somme des températures nécessaires pour la floraison diminue quand on va vers les pays froids ; ce fait a une importance théorique, car il traduit évidemment une accommodation progressive des végétaux à des climats de plus en plus rigoureux.

Ce que nous signalions tout à l'heure pour la floraison du printemps se produit également pour la végétation plus tardive. Mais ici, à mesure que l'année avance, le retard de la floraison devient de moins en moins grand, ce qui ne doit pas nous étonner, puisque la chaleur devient de plus en plus grande et tend à s'uniformiser du nord au sud.

M. Arnell a calculé le temps que les différents phénomènes de la vie végétale mettent à avancer de 1° de latitude.

MOIS DE FLORAISON en SCANDINAVIE	Temps que la floraison met à avancer de 1° en latitude.
—	— jours
Avril	4,3
Mai	2,3
Juin.	1,5
Juillet	0,5

(1) D'après M. KERNER VON MARILAUN.

Les fleurs d'été, dans le nord, sont donc moins retardées dans leur épanouissement que les fleurs de printemps. Le même phénomène se produit dans les montagnes.

A mesure que l'année avance, le retard diminue, et il peut même arriver qu'au delà d'une certaine époque, l'avance se manifeste pour les plantes des régions froides.

Ainsi certaines espèces qui fleurissent sur les montagnes en juillet peuvent ne montrer leurs fleurs dans la plaine ou sur les collines basses qu'au mois d'août (1). Telles sont :

Gnaphalium dioicum,
Dianthus superbis,
Gentiana Germanica.

Les *Solidago*,
Les *Parnassia*.

Au lieu de nous déplacer en latitude, déplaçons-nous en longitude. Comparons l'éclosion du printemps, par exemple, pour trois villes à peu près sur la même latitude, mais les unes à l'ouest de l'Europe, les autres à l'est :

LATITUDE	ENTRE 20 ET 30° de longit.	RETARD	ENTRE 30 ET 40° de longit.	RETARD	ENTRE 40 ET 62° de longit.	RETARD
48-49°	Paris.....	»	Presbourg.	45 j.	Sarepta...	53 j.
50-51°	Bruxelles .	13 j.	Prague ...	46	Kiew.....	55
52-53°	Osnabruck	20	Varsovie ..	52	Orel.....	66
59-60°	Christiania	43			Pulkowa..	87

On voit donc que vers l'est l'éclosion du printemps est retardée. A mesure que l'année avance, le phénomène change, et l'on constate que les fleurs d'été sont plus tardives vers l'ouest (2). Le changement qui se manifeste ainsi tient évidemment à l'intervention du climat continental : le long de l'Atlantique règnent des températures moins froides pendant l'hiver, mais la sécheresse y est moins grande pendant l'été. On voit d'ailleurs se manifester l'influence de ce climat océanique par les cartes de la végétation en hiver (p. 19, fig. 1).

De Candolle a constaté que la somme des températures nécessaires à la floraison est plus grande dans l'ouest (climat

(1) KNY.

(2) HOFFMANN.



FIG. 15. — Carte de floraison du Lilas. — ···· Traits coupés, région où la floraison a lieu au delà du 16 juin. — ···· Pointillé, région où la floraison a lieu du 1^{er} au 15 juin. — ||| Traits verticaux, région où la floraison a lieu du 16 au 31 mai. — — Traits horizontaux, région où la floraison a lieu du 1^{er} au 15 mai. — x x Traits inclinés et pointillés, région où la floraison a lieu du 20 au 30 avril.

humide) que dans l'est (climat sec), comme de juste pour une même altitude et longitude (1).

Le climat de l'Europe n'est pas non plus le même que celui de l'Amérique du Nord.

On voit apparaître le printemps en même temps dans les villes suivantes (sur la même ligne horizontale) situées aux États-Unis et en Europe sur des latitudes différentes (2).

AMÉRIQUE DU NORD	LATITUDE	EUROPE	LATITUDE	DIFFÉRENCE de latitude
New Albany.....	38° 17'	Dijon	47° 19'	9° 2'
Belle Centre	40° 28'	Heidelberg	49° 28'	9°
New York.....	40° 42'	Marbourg	50° 47'	10° 05'
Baldinville	43° 40'	Utrecht	52° 03'	8° 23'

Nous venons de constater des variations nombreuses quand nous nous déplaçons vers le nord, vers l'est ou l'ouest et aussi quand nous nous élevions sur une montagne.

On a essayé de résumer ces divers résultats par des cartes phénologiques. Le dessin ci-joint (fig. 15) en représente une, dressée d'après M. Ihne, qui correspond à la floraison des Lilas dans le nord de l'Europe (3). On y voit nettement le retard de la floraison s'accuser vers le nord, vers l'est et sur les montagnes. On remarque que dans le sud de l'Angleterre, à Plymouth, qui a comme moyenne de température d'hiver 7°,2, l'éclosion de la fleur du Lilas a lieu en même temps qu'à Budapest, qui a comme moyenne de température d'hiver 0°,3. La plante a plus de chaleur au début de l'année dans le premier cas ; dans le second, les jours deviennent plus chauds en avril.

L'étude de la floraison peut, jusqu'à un certain point, nous fournir des données sur la patrie d'origine d'une plante par la considération de ce que l'on a appelé le *sérotinisme*, notion introduite dans la science par M. Krasan.

Selon cet auteur, on peut distinguer trois catégories de plantes :

- (1) Constatation faite aussi par LINSSER.
- (2) D'après M. KERNER VON MARILAU.
- (3) HOFFMANN en a dressé de semblables.

1° Celles qui dans les climats chauds fleurissent *plus tard* que dans les pays froids, par exemple :

Aconitum variegatum;
Allium ochroleucum;
Heracleum sphondylium;

Aster Amellus;
Gentiana Pneumonanthe.

M. Krasan dit, dans ce cas, que le *sérotinisme est négatif*. La plante fleurit d'autant *plus tardivement* qu'on lui fournit *plus* de chaleur (1).

2° La plupart des végétaux fleurissent *plus tôt* dans les climats chauds que dans les climats froids. Le Lilas, la Luzerne, l'*Hypericum perforatum* rentrent dans ce type.

Dans ce cas, le *sérotinisme est positif*; la plante fleurit d'autant *plus tard* qu'on lui fournit *moins* de chaleur.

3° Certaines espèces peuvent enfin présenter un *sérotinisme variable*. Positif dans le nord de l'Europe, le sérotinisme deviendra négatif dans le midi. C'est ce qui arrive, selon M. Krasan, pour le Lierre.

Le cas précédent indique donc que dans la région méditerranéenne un excès de chaleur non seulement n'accélère plus la floraison de cette plante, mais au contraire la retarde.

C'est là d'ailleurs un principe qui se manifeste dans l'étude de tous les phénomènes. On l'a formulé de la manière suivante : l'action de la chaleur sur les plantes se subordonne dans son effet utile à ce que l'on peut appeler la loi de l'optimum. Une élévation de température est utile si elle ne dépasse pas une limite; si en même temps que la température s'élève, les autres facteurs de la vie (lumière, matières nutritives du sol, eau) restent constants, une nouvelle quantité de chaleur ne sert plus à rien ou est nuisible. La même règle peut s'appliquer à l'humidité de l'air, du sol, etc. (2).

Au printemps, la chaleur est faible; pendant l'été, c'est l'humidité de l'air ou du sol qui manque. Au début de l'année, la température étant basse, on peut fournir à la plante de grandes quantités d'humidité sans qu'elle ait un effet utile à cause du froid. Pendant l'été, l'eau étant en faible quantité, la plante a beau être exposée à des températures de

(1) Cela arrive souvent pour les plantes d'été.

(2) TSCHAPLOWITZ.

plus en plus hautes, elle n'en profite pas plus pour cela.

Dans les régions tropicales, où il y a beaucoup de chaleur et de lumière, la végétation est puissante quand l'humidité ne manque pas, et, par le concours de ces trois facteurs, on a production des feuilles et des fleurs d'une manière ininterrompue de sorte qu'une nouvelle période florale commence avant que les fruits d'une récolte soient mûrs. C'est ainsi qu'à Java le Pêcher, qui dans nos pays ne fleurit qu'au printemps, a toute l'année des fleurs et des fruits; il en est de même de la Vigne dans certaines régions tropicales.

Dans nos pays, pendant deux ou trois mois seulement, chaleur, lumière et humidité agissent de concert; c'est dans cette période que s'observent les plantes *polychrones*, comme les Centaurées, les Bluets, le *Campanula persicæfolia*, qui pendant un temps assez long redonnent de nouvelles fleurs; ces espèces se rapprochent ainsi, jusqu'à un certain point, des fleurs tropicales.

Dans le sud de l'Europe, certaines plantes refleurissent souvent en novembre ou décembre, et il n'est pas rare de voir une plante couverte de nouvelles fleurs, bien qu'elle n'ait plus de feuilles depuis plusieurs semaines. Une chaleur très modérée peut amener l'apparition des fleurs à cette époque.

Des faits analogues peuvent se passer dans les environs de Paris, tout le monde a pu observer le fait pour les Marronniers et pour les arbres fruitiers. Dans ce cas, les individus qui ne devaient épanouir leurs fleurs qu'au printemps de l'année suivante, les donnent en octobre. Imaginons que la plante, qui a produit ainsi ses fleurs d'une manière anormale en automne, soit épuisée par ce travail; quand arrivera le printemps suivant, elle restera stérile. Si le fait précédent, qui était une anomalie, devient régulier, la plante qui fleurissait au printemps deviendra une plante automnale.

La conception précédente n'est pas hypothétique; elle est justifiée par l'étude des plantes d'automne qui peuvent accidentellement fleurir au printemps, aussi bien que par l'examen des plantes de printemps qui peuvent fleurir en automne.

La Colchique automnale est une plante fleurissant normalement en septembre et octobre. Dans le sud de l'Europe, c'est le cas parce qu'à l'arrière-saison, la plante a toujours à sa

disposition assez de chaleur pour fleurir. Mais, à mesure que l'on s'avance vers le nord, on trouve de plus en plus de retardataires et l'on observe quelquefois une proportion notable d'individus qui fleurissent au printemps. Par exemple, en vingt-quatre années, à Giessen en Allemagne, la Colchique a fleuri quatre fois au printemps (1).

Il arrivera inversement, mais rarement, que le Perce-Neige se développera en automne (2).

Les changements ne se manifestent pas seulement dans la saison de floraison, ils peuvent se traduire par des renversements dans la succession des fleurs et des feuilles. Dans notre climat, les fleurs du Robinier faux-Acacia apparaissent un peu après les feuilles ; dans le nord de l'Italie, on peut voir les fleurs se produire les premières. De même, les fleurs mâles du Coudrier se montrent en Europe avant les fleurs femelles ; l'inverse peut s'observer dans l'Amérique du Nord.

Ce dernier changement tient à une action de la chaleur, car, d'après M. Meeham, une soudaine élévation de température amène l'éclosion des fleurs mâles longtemps avant les femelles, tandis qu'une élévation de température progressive et longtemps continuée favorise l'épanouissement des fleurs femelles. Cette variation présente de l'intérêt parce qu'elle montre que la *protérandrie* et la *protérogynie* (3) ne sont pas des phénomènes aussi constants qu'on pourrait le supposer. On sait que Sprengel, qui a découvert cette particularité du développement de la fleur, a montré quelle importance elle avait pour la pollinisation par les Insectes ; Darwin a fait sienne cette théorie en expliquant le rôle mystérieux que la nature faisait jouer à ces animaux : ce sont eux qu'elle chargerait d'assurer la fécondation croisée, qui amène la production d'individus plus vigoureux, plus armés pour la lutte. L'Insecte qui butine une première fleur d'une espèce protérandre, se couvre de pollen qu'il ne dépose pas sur le stigmate de la même fleur (dans le cas d'une fleur hermaphrodite), car le pistil n'est pas mûr ; il transporte, au contraire, cette poussière fécondante

(1) HOFFMANN.

(2) HOFFMANN.

(3) Lorsque le pistil arrive à maturité avant les étamines, on dit qu'il y a protérogynie ; il y a protérandrie si les étamines s'épanouissent d'abord.

sur une fleur d'un autre individu, réalisant ainsi la fécondation croisée. Par ce mécanisme ingénieux, l'auto-fécondation est évitée et, par cela même, l'affaiblissement progressif de la race.

Dans cette conception de Darwin, ce caractère de la protérandrie serait acquis lentement, par des variations faibles. L'observation précédente, qui, il est vrai, s'applique à des plantes pour lesquelles le vent est l'agent servant au transport du pollen, ne semble pas favorable à l'idée de cette variation lente. Ce sont plus vraisemblablement les agents physiques qui produisent des variations accidentelles dont la sélection trouve par hasard son profit.

Les modifications que nous venons de décrire se manifestent le plus souvent en même temps que les changements de climat et, par cela même, de pays. Il n'est pas rare cependant de voir, d'une année à l'autre et dans un même lieu, des transformations dans la floraison des diverses plantes qui s'y développent. Il se produit ainsi ce que l'on appelle des *inversions* (1), c'est-à-dire des variations dans la succession des espèces qui fleurissent ordinairement les unes à la suite des autres dans un ordre déterminé. Ces résultats s'expliquent par l'intervention des divers facteurs qui concourent à amener la floraison, par exemple la chaleur et l'humidité : les pluies, survenant quand la température est haute, retardent la floraison ; elles peuvent l'accélérer, si la température est basse. Divers facteurs, lumière, chaleur, humidité, en se combinant, agissent inégalement sur les diverses espèces, accélèrent l'éclosion florale des unes, retardent celle des autres.

Il n'y a d'ailleurs pas seulement à tenir compte, pour l'époque d'apparition de la floraison, des phénomènes thermiques du printemps, il y a lieu de noter ceux qui se passent pendant l'hiver.

Cela résulte d'une expérience faite sur des branches de Saules (*Salix nigricans*) par M. Krásan. A la suite de l'hiver rigoureux 1870-71, il coupa des pousses de cet arbre et les transporta en janvier dans une chambre dont la température oscillait entre 15 et 22° ; en une semaine, presque tous les bourgeons s'ouvrirent et donnèrent des chatons. Voulant répéter l'expérience en 1873, le savant constata qu'il n'y avait pas

(1) RAIN.

de développement parce que l'hiver, cette année-là, avait été très doux et très mou.

Il semble donc que les grands froids de l'hiver aient un rôle accélérateur dans le développement. Cette opinion se trouve confirmée par une remarque faite à Saint-Pétersbourg sur les graines de Maïs qui y gèlent ; elles fournissent des plantes allant jusqu'à fructification dans une région où le Maïs ne mûrit pas d'ordinaire.

On a vu, pour le Lin et pour plusieurs autres espèces, que les graines qui ont été longtemps exposées au froid donnent des plantes fleurissant plus tôt et produisant plus rapidement leurs graines (1).

On conçoit maintenant combien la question de l'époque de floraison des végétaux est complexe et de quelles conditions variées elle dépend. Nous ne serons plus étonnés d'apprendre les faits souvent si singuliers qui accompagnent l'*acclimatation* de certains végétaux (*Diospyros* et *Acacia*, pp. 66 et 67).

Dans le cas le plus simple, une plante transportée loin de sa patrie d'origine cesse de fleurir ou, quand elle donne des fleurs, elle ne fructifie pas. Le Dattier a besoin, pour donner ses fruits succulents, des fortes chaleurs qui règnent dans les oasis du désert ; l'Agave exige pour fleurir le climat du Mexique. La stérilité ou la fécondité d'une plante nous renseignent sur ses besoins calorifiques.

Quand on ne connaît pas la patrie d'origine d'une plante, les données précédentes peuvent quelquefois nous fournir des indications utiles sur elle. M. Krasan a été conduit à penser que le sérotinisme positif n'existe pas pour les plantes d'origine polaire ou septentrionale et que le sérotinisme négatif ne se présente pas pour les plantes tropicales ou équatoriales. Il est amené à croire enfin, pour les espèces à sérotinisme variable, que la zone neutre où le changement de signe s'opère est celle où doit se trouver la patrie de l'espèce.

Ces spéculations sont ingénieuses, elles ont vraisemblablement un fondement si l'on admet que l'on n'est pas trop éloigné du point de départ de la plante, surtout si l'on n'a pas changé d'hémisphère.

(1) Ces faits sont établis par les recherches de Müller Thurgau Wittmack, Kienitz, Schübeler, Haberlandt et Kny.

Dans ce dernier cas, les changements sont tout à fait complets : le Pêcher transporté au Cap et à Melbourne fleurit en août et en septembre (1) ; nous avons vu plus haut comment il se comportait à Java.

Quelquefois le dépaysement des plantes est complet, et elles paraissent comme désorientées. Rien n'est plus caractéristique, à ce propos, qu'un fait rapporté par M. Massart et observé par lui dans son voyage à Java. Il y a au jardin de Tjibodas, dépendant du laboratoire de Buitenzorg, deux *Diospyros Kaki*, arbre originaire du Japon, pays où les saisons sont très marquées et où l'arbre porte des fruits en août et septembre, perd ses feuilles en octobre, et se couvre de feuilles nouvelles au printemps. A Tjibodas, des deux arbres qui ont été plantés en même temps, l'un fructifie en avril et perd ses feuilles en juillet, l'autre fructifie en octobre et se dépouille en janvier. Tous deux restent chauves pendant une quinzaine de jours seulement. Ils semblent avoir été surpris par la constance du climat et ont réagi chacun d'une façon spéciale sous l'action des mêmes causes. Cependant ils paraissent se souvenir de leur patrie d'origine, car ils ne fructifient que tous les douze mois, continuant à suivre le rythme de végétation auquel leurs ancêtres ont été accoutumés depuis un nombre indéfini de générations.

(1) HOFFMANN.

CHAPITRE VII

VARIATIONS FLORALES DEVENANT HÉRÉDITAIRES

L'exemple qui a été cité à la fin du précédent chapitre nous amène à dire un mot des phénomènes héréditaires qui se manifestent dans l'étude de la floraison, et qui semblent plaider en faveur de l'évolution progressive et lente des organismes. Le fait le plus frappant à signaler à ce propos est celui qui a été mis en lumière par M. Brandis ; il se rapporte à un cas d'acclimatation dans l'Inde de l'*Acacia dealbata* qui y fut importé il y a plus de cinquante ans. Cette plante fleurit en Australie, dans la Nouvelle-Galles du Sud et en Tasmanie au mois d'octobre, c'est-à-dire au printemps dans cette région. Transportée dans l'Inde (sur l'Octaca), elle a commencé à modifier lentement son époque de floraison d'une manière progressive et régulière : de 1845 à 1850, elle a continué à fleurir en octobre, plus tard, en septembre ; vers 1870, en août ; en 1878, en juillet ; enfin à partir de 1882, en juin.

Ce fait, il nous semble, a une incontestable portée ; les expériences telles que celles-ci poursuivies pendant un demi-siècle sont rares en biologie. Cette science est très récente, et les problèmes qu'elle commence à aborder n'ont été posés que peu à peu et avec timidité ; les recherches et les observations les plus suivies ne sont continuées que durant quelques années au plus. Il est donc juste de mettre en relief une expérience aussi vénérable que la précédente. Il importe surtout d'appeler l'attention sur elle, afin de provoquer des vérifications et des essais nouveaux dans la même direction.

D'après la relation historique qui vient d'être mentionnée, il résulte que, depuis un demi-siècle, l'*Acacia* est en quête

d'une saison favorable pour fleurir. Il est probable qu'il finira par trouver une époque d'équilibre à laquelle il se fixera définitivement.

L'étude de la question précédente, qui est intimement liée à celle de l'hérédité, nous amène à dire un mot, en nous plaçant au point de vue de la floraison, de quelques faits peu étudiés qui touchent à la notion de race.

Parmi tous les Marronniers d'un jardin ou d'un parc, il est certains individus qui se distinguent des autres par leur précocité. Tel est le cas du célèbre Marronnier du 20 mars des Tuileries. A. de Candolle a fait remarquer, à l'égard de cette plante, que rien, sauf sa floraison précoce, ne la distingue de ses voisines : tous les caractères de cet individu sont normaux, il perd notamment ses feuilles en même temps que ses congénères. Cette variété curieuse n'est qu'un cas particulier de beaucoup d'autres, car on connaît des types à feuillaison précoce ou tardive, d'autres à fruits hâtifs ou tardifs, etc.

Ces variétés ont quelquefois une certaine fixité et donnent naissance à des races telles que celles qui ont été étudiées pour les Pomacées par Decaisne et par M. Wenzig. Il y a donc chez les végétaux ce que De Candolle a appelé des races physiologiques ; elles s'observent non seulement dans les espèces cultivées mais aussi chez les espèces sauvages, c'est ce qui résulte des études faites par MM. Naudin et Radlkofer (1).

Ces races ne se distinguent pas seulement par leur floraison précoce ou tardive, elles présentent souvent, en outre, des caractères extérieurs qui les font aisément discerner ; parmi ces derniers, nous pouvons signaler d'abord la teinte de la fleur.

Hoffmann a fait pendant un certain nombre d'années des observations intéressantes sur ce point. Il a remarqué que le Lilas vulgaire à fleurs blanches fleurit en moyenne six jours plus tôt que la forme normale à fleurs violacées ; ce résultat lui a été fourni par huit années d'observations (2). Ce pourrait être là une anomalie curieuse et sans portée ; mais, plus on avance dans l'étude de la nature, plus on s'aperçoit que

(1) Cultures à Munich d'espèces de Collioures et inversement.

(2) Des constatations semblables ont été faites à Saint-Petersbourg et à Budapest.

tous les phénomènes, même les plus insignifiants, méritent d'être examinés. Or il se trouve que des résultats semblables ont été observés pour les variétés du Radis (*Raphanus Raphanistrum*) et du Safran (*Crocus vernus*); pour la première espèce, les formes blanches fleurissent en moyenne seize jours plus tôt que les formes jaunes (douze années d'observation); pour la deuxième plante, la différence entre les deux époques est plus faible, de quatre jours seulement (et cela d'après cinq années d'observations).

Ces changements de teinte paraissent souvent sous la dépendance de la chaleur. On sait que le Lilas blanc est obtenu par les horticulteurs grâce à l'action d'une température de 30° à 35°. C'est en 1858 qu'apparurent pour la première fois dans le commerce les magnifiques inflorescences blanches de cette plante dont le succès durable fut prodigieux dès l'origine (1).

On ne peut affirmer que les races spontanées à fleurs blanches ont la même origine que le Lilas blanc horticole, car aucune recherche expérimentale n'a été faite sur cette question. Contentons-nous d'indiquer certains faits qui contribueront à guider ceux qui chercheront comment ces variétés diversement colorées peuvent prendre naissance. Le *Papaver alpinum* (2) (fig. 16) a une variété à fleurs jaunes très stable



FIG. 16. — *Papaver alpinum*, forme à fleur blanche observée en Suisse.

(1) M. Herincq a décrit, il y a quelques années, cette méthode avec précision. M. Duchartre, qui s'était beaucoup occupé de cette question, a fait remarquer qu'on peut quelquefois obtenir une coloration blanche à 15°. Il semble cependant qu'une température de 15° à 20° ne suffit pas en général pour obtenir ce résultat à coup sûr.

(2) Les expériences d'Hoffmann sur le *Papaver alpinum* ont été poursuivies pendant vingt années. Il y aurait lieu, d'après lui, de rattacher à cette espèce un certain nombre de races bien fixées (*rhæticum*, *pyrenaicum*, *nudicaule*, *albiflorum*, *Linnæanum*). En les cultivant à Giessen, en Allemagne, à une faible altitude, il a constaté que les formes à fleurs jaunes pouvaient souvent garder leur couleur avec une fixité.

que l'on observe dans les régions circumpolaires (d'après Focke), tandis que les variétés blanches ont été signalées en Suisse. Les cultures faites à Giessen en Allemagne de cette même espèce ont permis d'obtenir des individus à fleurs blanches par métamorphose d'individus à fleurs jaunes. Est-ce la chaleur qui produit ces changements dans ce cas ? Nous n'osons répondre ni oui ni non (1). Les expériences de Schübeler et de M. Bonnier ont bien établi que dans les régions élevées et au voisinage du pôle la couleur des fleurs devient plus foncée, mais sans changement de teinte : seulement ce phénomène est dû à la lumière et non à la chaleur.

Quelle que soit d'ailleurs l'origine de ces formes blanches et colorées, elles ont souvent une fixité très remarquable.

En dehors de ces races précoces et tardives que nous venons de signaler précédemment, dont l'origine est encore assez obscure, on en connaît d'autres dont la genèse semble plus nettement explicable.

L'*Allium ochroleucum* présente sur les Alpes une variété *alpestre* et au pied des montagnes une variété *ericetorum* qui diffèrent par l'époque de floraison, et ces variétés stables forment des races.

M. Hoffmann a cultivé à Giessen le *Solidago Virga-aurea* des Alpes ; or ces exemplaires ont fleuri plusieurs semaines

remarquable pendant un grand nombre de générations (vingt générations dans une forme *latilobatum*) ; dans d'autres cas, des variations se produisent dans la couleur, et une plante à fleurs jaunes donnera dans sa descendance des individus à fleurs jaune-citron, orangé, minium et aussi des représentants dont la fleur sera blanche. Une de ces formes à fleurs blanches a pu se maintenir pendant plusieurs générations.

Entre les races à fleurs blanches et à fleurs jaunes du *Papaver alpinum*, M. Hoffmann n'a pas constaté, à Giessen, de différence au point de vue de l'époque de floraison ; elles commencent à fleurir toutes, en moyenne, le 31 mai (vingt années d'observations), tandis que les races polaires fleurissent, d'après M. Copeland, à 75° de latitude (île Sabine), vers la fin de juin.

(1) On pourrait penser que les races de Radis, de Crocus et de Lilas à fleurs blanches ont été produites par l'action de la chaleur qui aurait décoloré ces fleurs. On ne s'explique pas bien, il est vrai, dans cette hypothèse pourquoi les races décolorées sont plus précoces : d'ordinaire ce sont les races formées dans le nord ou sur les montagnes qui ont ce caractère. Il est vrai que pour les plantes à sérotisme variable ou négatif, on peut avoir un résultat inverse. L'expérience seule permettra de voir quelle explication est justifiée.

avant leurs congénères de la plaine, bien que les conditions climatiques fussent désormais semblables pour les uns et les autres.

L'*Odontites verna* est le type primitif de deux formes dérivées (*serotina* et *Kochii*), la première précoce, les secondes tardives; l'une prédomine dans le Nord, les autres dans les régions moins septentrionales.

Ces faits conduisent à donner l'explication du *dimorphisme saisonnier* qui a été mis en lumière récemment par les recherches intéressantes de M. Wettstein.

On a signalé depuis longtemps l'existence de types tardifs de certaines plantes : tels sont ceux désignés sous les noms de *Gypsophila serotina*, de *Chlora serotina*, etc. Pour certains auteurs ce sont de simples variétés accidentelles et sans valeur ; pour d'autres, ce sont de véritables espèces. M. Wettstein a soumis

cette question à un examen approfondi et, par des cultures répétées pendant trois ans au jardin botanique de Prague, il s'est convaincu qu'il s'agissait de formes stables qui gardaient leurs caractères dans les semis successifs. Il a constaté que pour un certain nombre d'espèces appartenant à plusieurs genres (*Euphrasia*, *Odontites*, *Gentiana*, *Chlora*, *Alectrophorus*), on pouvait distinguer, comme dérivant d'une espèce primitive, deux sous-espèces, l'une de printemps, l'autre d'été (fig. 17 et 18).

Par exemple, on peut isoler les types suivants :

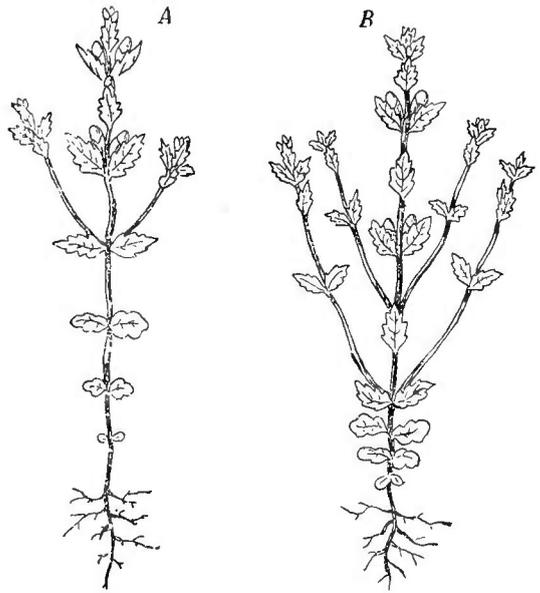


FIG. 17 et 18. — Deux races dérivées d'une forme primitive d'*Euphrasia* : A, représentant de la race précoce ; B, représentant de la race tardive.

ESPÈCES PRIMITIVES	ESPÈCES PLUS RÉCENTES	
	ESPÈCES PRÉCOCES	ESPÈCES TARDIVES
Euphrasia Rostkoviana	E. montana Jord.	E. Rostkoviana Hayne.
Euphrasia brevipila	E. tenuis (Brenn)	E. brevipila Burn et Grelli.
Alectrophorus alpinus	A. pulcher (Schum.)	A. alpinus Baumg.
Gentiana præcox	G. præcox A. et J. Kerner	G. Carpatica Wettst.

Ce qui semble bien indiquer pour ces divers types que ce sont toujours les mêmes causes qui ont produit cette différenciation en deux sortes de formes, c'est que le port des espèces précoces est partout analogue ; il se distingue nettement, dans tous les cas, du facies des espèces tardives qui ont, par contre, des aspects semblables.

Une Gentiane précoce comme une Euphrase précoce ont un appareil végétatif réduit, car la tige est peu ramifiée et les premiers entre-nœuds sont longs ; les formes tardives de ces deux genres ont, au contraire, la ramification riche et les premiers entre-nœuds courts (fig. 17 et 18).

Les faits si intéressants mis en évidence dans ce travail complètent ceux qui résultent des recherches de M. Murbeck, dont nous avons parlé plus haut, d'après lesquelles trois espèces secondaires dériveraient d'une espèce primitive ; on a, dans ce cas, ce que l'on peut appeler un *trimorphisme saisonnier*.

ESPÈCES PRIMITIVES	ESPÈCES PLUS RÉCENTES		
	ESPÈCES ANNUELLES	ESPÈCES BISANNUELLES	
		Espèces précoces	Espèces tardives
Gentiana campestris	{ G. Baltica Murb.	{ G. Suecica Murb.	G. Germaniæ Froel.
Gentiana amarella	{ G. uliginosa Willd.	{ G. lingulata Ag.	G. axillaris Schm.

Ces résultats ne sont pas isolés, ils s'appliquent aux Hellebores, aux Safrans, aux Colchiques, aux Scilles.

On assiste évidemment là à la création de formes stables

sous l'action du climat. C'est par une émigration vers le nord ou sur les montagnes que ces petites espèces bisannuelles et précoces ont été créées : toutes les observations et expériences que nous avons rapportées au cours de cette étude plaident en faveur de cette interprétation. Une fois différenciées et devenues stables par l'action prolongée de la cause modificatrice, ces espèces ont pu revenir dans des régions moins froides en conservant leurs caractères, mais avec moins de constance que dans les pays élevés soit en altitude, soit en latitude.

Nous avons trouvé ainsi une explication de l'origine de ces petites espèces qui sont tout à fait analogues à celles que Jordan considère, non sans quelques raisons sérieuses, comme des espèces, au même titre que celles discernées par Linné. Nous examinerons à la fin de la première partie de cet ouvrage quelles conséquences importantes nous devons déduire de cet ensemble de considérations.

CHAPITRE VIII

CHALEUR DANS L'EAU ET DANS LE SOL

Dans les chapitres précédents, nous avons laissé de côté l'influence spéciale que peut avoir la chaleur se propageant dans des milieux différents de l'air, comme l'eau ou le sol. Ces questions méritent cependant de fixer notre attention ; l'effet de la chaleur sur les plantes marines, en particulier, nous a révélé des anomalies si singulières qu'il est indispensable de les expliquer.

Action de la chaleur sur les Algues marines. — Nous avons vu que sous le rapport de la taille, il y avait une contradiction complète entre les plantes végétant dans la mer et celles qui croissent sur les continents. Tandis que ces dernières sont naines au pôle et géantes à l'équateur, l'inverse s'observe pour les Algues marines. C'est dans les mers arctiques que se rencontrent les Algues gigantesques qui dépassent par leur taille tous les autres êtres vivants peuplant notre globe (1) (fig. 3, p. 24).

Nous ne pouvons certes pas espérer expliquer les différences qui se manifestent entre les dimensions de tous les végétaux, mais nous pouvons essayer de faire comprendre comment la chaleur peut intervenir pour modifier les dimensions des divers représentants d'un type.

On connaît, en effet, un certain nombre d'espèces qui peuvent parfaitement vivre dans les mers glacées et sur les côtes

(1) Les plantes grimpantes (en particulier les Rotangs ou Calamus) dans les régions chaudes peuvent seules rivaliser avec les Macro-cystes.

de mers moins septentrionales, comme la mer du Nord ou la Baltique. Or on voit pour ces espèces la taille diminuer progressivement à mesure que les eaux deviennent moins froides.

L'observation précédente nous apprend donc bien qu'il s'agit d'une variation en rapport avec la latitude, mais elle ne laisse pas entrevoir le mécanisme de la transformation.

M. Kjellman a montré que dans la profondeur de l'Océan Glacial, où la plus riche végétation apparaît, la température à aucun moment de l'année ne s'élève au-dessus de 0°. Dans les eaux douces, à cause du maximum de densité de l'eau, les couches profondes étant plus lourdes sont à une température plus élevée. Il n'en est plus de même dans les eaux salées, les couches sont d'autant plus froides qu'elles sont plus profondes.

Les basses températures de l'eau de mer dans ces régions froides sont très favorables à la nutrition des Algues ; cet énoncé paraît d'abord paradoxal, mais rien n'est cependant plus exact. A mesure que la température s'abaisse, la richesse de l'eau en acide carbonique et en oxygène devient plus grande. Or on sait que les plantes se nourrissent surtout de matières gazeuses et principalement d'acide carbonique ; il en résulte donc que l'Algue, quand la température s'abaisse, se trouve environnée d'un milieu de plus en plus riche, de plus en plus nourricier. La fonction qui préside à cette nutrition (à la décomposition de l'acide carbonique) n'est d'ailleurs pas abolie par le froid. Les expériences de M. Jumelle sont très probantes à cet égard ; elles ont trait, il est vrai, à des plantes terrestres, mais leur portée n'en est pas moins générale : elles ont établi que, tandis que la respiration des Lichens est supprimée à de très basses températures, leur assimilation chlorophyllienne, c'est-à-dire leur nutrition, n'en continue pas moins jusqu'à — 50°.

Ces faits laissent donc entrevoir l'explication de l'anomalie que nous citons plus haut ; ils permettent surtout de saisir pourquoi la taille des Algues doit diminuer quand elles vivent dans les mers chaudes.

Les Algues sont accommodées à ces températures qui paraissent si pénibles à tous les êtres aériens. Cette adaptation se manifeste d'ailleurs par les basses températures auxquelles elles fructifient. Sur les côtes du Spitzberg, à 80° de latitude,

ces végétaux croissent et se reproduisent de $-1^{\circ},8$ à 0° ; sur 27 espèces observées en ce pays par M. Kjellman, 22 étaient en fructification lorsque le thermomètre était au-dessous de zéro.

Les mêmes considérations donnent l'explication du développement prodigieux de ce qu'on appelle la neige rouge. Combien de voyageurs ont eu l'occasion d'observer sur les champs de neige des régions polaires ces larges surfaces cou-

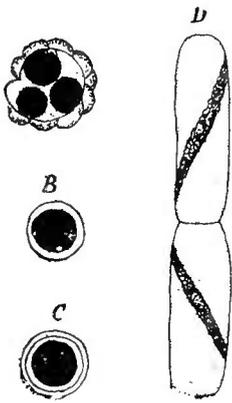


FIG. 19 et 20. — A, B et C, divers aspects de la neige rouge ou *Spherella nivalis* ; D, aspect de l'*Ancydonema Nordenskiöldii*, qui s'observe aussi dans les champs de neige.

leur de sang formées par multiplication extraordinaire d'une Algue, le *Spherella nivalis* (1) (fig. 19) ; cette petite plante microscopique végète à des températures très basses et se reproduit avec activité dès que la neige fond sous un pâle rayon de soleil. Grâce à cette accommodation à de basses températures, ces Algues sont les seuls végétaux qui puissent vivre dans ces régions désolées.

Ce dernier cas nous conduit à examiner comment la chaleur se propage dans les milieux solides, quel rôle joue la chaleur du sol dans la distribution des végétaux et quelle influence elle exerce sur l'aspect extérieur des plantes.

Chaleur du sol. — L'échauffement du sol est variable, il dépend à la fois de l'orientation du lieu vers le nord ou le midi et de son inclinaison par rapport à la verticale.

On sait très bien qu'un mur aussi bien que le sol s'échauffent d'autant plus fort qu'ils sont plus exposés au sud. Voici par exemple les chiffres cités par M. Kerner von Marilaun se rapportant à une colline de sable des environs d'Innsbruck. La température est prise à 80 centimètres de profondeur :

Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord-ouest
15°,3	17°	18°,7	20°	19°,3	18°,3	18°,5	15°

De ces différences dans la température du sol, il résulte

(1) Dans certains pays, on trouve une autre plante, une Desmidiée, l'*Ancydonema Nordenskiöldii* (fig. 20).

des changements dans la distribution des végétaux sur les pentes nord et sud d'une montagne. Dans le Tyrol, le Hêtre s'observe à une altitude moyenne de 1.430 mètres environ ; sur les pentes orientées au sud, il s'élève à 149 mètres au-dessus de la moyenne ; sur le côté nord, il reste à 112 mètres au-dessous. M. Bonnier a observé des faits semblables dans les Pyrénées.

Si la pente d'une montagne est plus ou moins inclinée, le sol reçoit plus ou moins obliquement les rayons solaires, qui sont par cela même plus ou moins actifs. L'angle d'inclinaison qui, pour l'orientation sud, correspond au maximum de température du sol varie avec la saison. Selon M. Wollny, de février à avril et d'août à octobre, il est de 48° ; pendant les mois de mai à juillet, il est de 32° ; au cours des mois d'hiver, de 0° . Si l'on ne considère que le temps de végétation de mars à octobre, pour les pentes qui rendent la culture agricole possible sur les montagnes, on peut dire que (jusqu'à 30°) le sol est d'autant plus chaud qu'il est plus incliné.

Quel peut être ce degré d'échauffement ? Relativement à celui de l'air, il est quelquefois considérable. Près du glacier d'Aletsch dans les Alpes, à 3.140 mètres d'altitude, M. Ball a trouvé pour la température du sol éclairé par le soleil $46^{\circ},1$ à 2 centimètres de profondeur ; $41^{\circ},6$ à 12 centimètres. Dans les Pyrénées, il a vu dans le sol le thermomètre marquer $59^{\circ},77$, au voisinage des champs de neige. A ces altitudes, il a observé entre la température d'ombre et de soleil des différences importantes qui, à 3,660 mètres, peuvent s'élever à $25^{\circ},5$.

Le sol ainsi surchauffé doit évidemment contribuer à modifier les parties souterraines d'une manière très appréciable. Les expériences de M. Prillieux renseignent sur les changements qui peuvent ainsi se produire : il a observé dans les plantes développées en un sol surchauffé une hypertrophie en épaisseur de la tige, un élargissement du parenchyme et une multiplication anormale des noyaux.

Si pendant l'été le sol est soumis à des températures très élevées, il est, par contre, pendant l'hiver, protégé contre les grands froids par la couche épaisse de neige qui le couvre. Au Spitzberg, quand la température de l'air est de -35° , celle de la neige à 40 centimètres de profondeur n'est que de -20° . Dans le Tyrol, entre 1.200 mètres et 2.000 mètres d'altitude

sous deux ou trois mètres de neige, la température du sol est de $+ 0,2$ ou même $+ 1^{\circ},35$.

Les différences de température que nous venons de constater entre la terre et l'air qui est à sa surface interviennent pour courber les tiges contre le sol. On sait, en effet, que lorsque les deux faces d'une tige sont mises en présence de deux sources inégales de chaleur, la tige s'incline d'un côté et présente des courbures, et l'on désigne, d'après M. Van Tieghem, ce phénomène sous le nom de *thermotropisme*.

Ces conditions de vie *hétérothermiques*, selon l'expression de M. Krasan, interviennent d'une manière prépondérante pour faire prédominer la vie rampante dans les prairies alpines ou arctiques. Ce sont elles qui déterminent l'inflexion vers le sol des Bouleaux nains, des Saules, des Genévriers.

La vie grimpante, qui prend un si grand développement dans les forêts vierges des contrées tropicales, manque ici complètement. Ce sont bien les conditions de climat qui s'opposent à son apparition, car on peut voir, ainsi que l'a fait remarquer M. Schenck, le *Vicia Pyrenaica* se transformer complètement avec l'altitude : au bas des Pyrénées, cette plante grimpe comme ses congénères à l'aide de vrilles, tandis qu'elle devient rampante sur la montagne.

Les variations dans la température des couches superficielles du sol sont dues exclusivement à l'action du soleil. La chaleur terrestre n'intervient-elle pas également pour modifier la température de la croûte solide de notre globe?

On sait que, lorsqu'on creuse en terre un puits ou une mine, la température s'élève progressivement de 1° par 33 mètres de profondeur (degré géothermique). Cette variation du thermomètre a été expliquée par l'existence, au-dessous de la pellicule solide qui couvre la sphère terrestre, d'une nappe de substances en fusion. Ces matières portées au rouge dégagent une quantité de chaleur considérable et, si cette source calorifique venait à manquer, on peut penser que la vie deviendrait impossible à la surface de la terre.

Cette chaleur interne est conduite graduellement à travers les couches de l'écorce terrestre vers la surface ; elle rencontre des roches inégalement conductibles, c'est ce qui explique les variations du degré géothermique suivant les lieux. M. Krasan s'est demandé si cette variabilité de la cons-

titution lithologique du sous-sol ne pouvait pas amener des changements appréciables dans le climat d'un pays. Il pense qu'il doit en être ainsi et il explique à l'aide de cette hypothèse certains faits de géographie botanique assez énigmatiques.

Une pareille intervention de la non-conductibilité du sous-sol résulterait, selon ce botaniste, de l'étude de la flore du Karst (1), où l'on trouve dans un pays relativement très méridional, la flore des prairies alpines à une altitude de 1.400 mètres (2). Cette même flore, on le sait, ne se rencontre dans les massifs alpins de la Jungfrau et du Gross Venediger, qui sont plus au nord, qu'à 2.500 mètres (3).

Les géologues que nous avons consultés au sujet de cette explication ne pensent pas qu'elle soit admissible, car les calculs de l'illustre physicien Thomson démontrent que, depuis un nombre incalculable d'années, la chaleur terrestre n'intervient plus d'une manière appréciable à la surface de la terre.

Ce n'est pas non plus cette cause qu'il faut invoquer pour expliquer ce que l'on a appelé le phénomène paléothermal.

Phénomène paléothermal. — La flore qui couvre actuellement la terre n'a pas toujours existé. La géologie nous apprend que l'aspect de la végétation a présenté de nombreux et profonds changements qui, en même temps, nous indiquent clairement que la température n'a pas toujours été distribuée à la surface de notre globe comme elle l'est aujourd'hui.

Pendant l'époque glaciaire, qui n'est pas très éloignée de la période actuelle du globe, les glaciers des Alpes s'étendaient jusqu'à Lyon et dans la vallée du Rhône; ils couvraient la Scandinavie et une partie de l'Allemagne du Nord.

Si l'on remonte plus loin dans l'histoire de la terre, on trouve à l'époque tertiaire, aux environs de Paris, une flore offrant des caractères presque tropicaux; c'est ainsi qu'on y a signalé, par exemple, l'existence de Palmiers. Mais ce fait n'est qu'un accident local, et il peut s'expliquer par des courants

(1) Dans la péninsule d'Istrie, au nord de l'Adriatique.

(2) A cette altitude, on rencontre des Saules rampants (*Salix retusa*), des *Gentiana imbricata*, etc.

(3) Le même auteur explique de la même manière la présence dans le haut Wallis en Suisse (vallée du Rhône), de plantes de la région méditerranéenne, telles que les *Opuntia* et les Grenadiers.

d'eau chaude venant de l'équateur et réchauffant localement ces régions.

Cette explication ne peut plus convenir lorsqu'il s'agit d'une flore beaucoup plus ancienne, celle du terrain Houiller. Cette flore était formée de Fougères arborescentes, de Lycopodiées gigantesques, de Cordaitées, etc. Toutes ces plantes, par la hauteur de leur tige, par le magnifique développement de leurs feuilles, évoquent dans notre esprit la flore actuelle des régions tropicales. Il y a lieu de penser, et cela est confirmé par l'étude des animaux qui vivaient pendant la même période, que la température moyenne de l'année était à cette époque de 20°, au moins dans les régions où l'on trouve actuellement des débris de cette superbe végétation.

La terre n'a été explorée jusqu'ici par les géologues que sur une faible partie de son étendue, malgré cela nous savons actuellement que la flore houillère a été trouvée non seulement en différents points de la France, de la Belgique, de l'Angleterre, mais qu'elle a été signalée au Spitzberg et dans l'Inde.

C'est là un des résultats les plus remarquables et les plus inattendus mis en évidence par la géologie. La même flore tropicale a été retrouvée au pôle et à l'équateur; il y a donc lieu de penser qu'elle couvrait tous les continents à cette période très reculée de l'histoire de notre planète. C'est là ce qu'on a appelé le phénomène paléothermal. Il prouve qu'il y a opposition complète entre la distribution actuelle des plantes et celle des temps passés.

On a imaginé diverses hypothèses pour expliquer la présence de cette flore tropicale au pôle.

L'idée de la variabilité de l'axe terrestre a été repoussée quand les calculs de G. Darwin et de Thomson eurent démontré qu'un faible changement de l'axe de notre globe devait entraîner des bouleversements dans l'écorce terrestre qui ne paraissent pas avoir eu lieu. La chaleur interne de la terre, que l'on a voulu faire intervenir, n'aurait pu amener au pôle une élévation de température de 20° qu'en produisant à l'équateur des températures y rendant la vie impossible; or, nous avons dit que la flore houillère avait été retrouvée dans l'Inde. D'ailleurs, les calculs de Thomson ont établi que cette cause n'intervient pas.

Une seule hypothèse semble devoir actuellement réunir les suffrages des géologues, celle qui fait supposer que le diamètre apparent du soleil était autrefois plus grand qu'aujourd'hui. Il suffit d'un diamètre apparent de 47° pour supprimer les nuits polaires et rendre par cela même possible l'échauffement de ces régions. Le soleil présentait autrefois, selon cette conception, un volume bien plus considérable qu'actuellement; c'est sa condensation graduelle qui a provoqué un dégagement de chaleur indéfiniment renouvelé dont la terre bénéficie encore aujourd'hui.

Les études géologiques nous conduisent à poser d'importants problèmes touchant les anciennes flores du globe, de plus elles élargissent singulièrement le champ de nos études dans le temps. Elles nous apprennent que la terre a une histoire qui se perd dans un passé lointain, et cette considération a une importance considérable au point de vue qui nous occupe, car le temps est l'élément indispensable de toutes les transformations. Ce n'est certes pas une longue durée qui a manqué aux êtres vivants pour leur évolution car, selon les calculs de Thomson, la terre était déjà assez refroidie, il y a cent millions d'années, pour permettre l'apparition de formes animées à sa surface.

Si l'on a pu dire que ce nombre immense de siècles ne suffirait pas pour permettre l'évolution telle que la conçoit Darwin, en s'appuyant sur des variations très faibles, se produisant au hasard sur un petit nombre d'individus, il n'en est plus de même si l'on tient compte de l'action du milieu qui produit des variations brusques, souvent considérables en un laps de temps très court, variations qui atteignent tous les individus et qui se produisent dans une direction bien déterminée.

CHAPITRE IX

CONCLUSIONS DE LA PREMIÈRE PARTIE

L'étude que nous venons de faire de l'action de la chaleur sur les plantes nous a conduit successivement à l'examen des problèmes les plus variés, qui ont pu quelquefois masquer l'objectif principal de notre travail ; il est donc indispensable, à la fin de cette recherche, de jeter un coup d'œil en arrière sur les principaux points acquis, afin de mettre nettement en lumière leur importance.

Les expériences que nous avons rapportées nous ont montré comment, sous l'influence du climat, les végétaux subissent des modifications profondes, s'accomplissant souvent en un temps relativement court. Grâce aux résultats qu'elles nous fournissent, nous assistons, pour ainsi dire, à la création des caractères qui définissent les flores polaire et tropicale.

I. — Transportée accidentellement dans les régions froides, une plante herbacée, qui ne vit qu'une année dans les régions tempérées, n'a plus pour mener à terme sa floraison et sa fructification qu'une période très courte de végétation ; il est donc peu vraisemblable qu'elle pourra conduire ses graines jusqu'à maturité ; elle devra donc, puisqu'elle ne peut plus normalement se reproduire, disparaître ou se modifier. La modification se produira d'elle-même et tout naturellement. N'ayant pu fleurir la première année, le végétal ne sera pas épuisé, il pourra donc donner ses fleurs au printemps suivant. Le climat polaire rend donc d'abord la plante *bisannuelle* et sa floraison *printanière*.

Mais, plus on s'élève vers le nord, plus le froid devient rigoureux, plus la période de végétation devient courte ; deux

années ne suffisent plus au végétal pour donner des fleurs, il lui en faut plusieurs. Il doit consacrer toute son énergie à accumuler des réserves dans ses parties végétatives ; il en accumule même trop, aussi sa floraison ne l'épuise-t-elle pas et peut-il fleurir à nouveau les années suivantes : l'espèce est devenue *vivace*.

La plante primitive qui ne vivait qu'une année s'est donc transformée profondément, elle peut maintenant longuement prolonger son existence. Va-t-elle, grâce à cela, acquérir une grande taille ? Non, car elle a trop peu de temps pour s'accroître chaque année, et le retour des froids intenses amène le plus souvent la destruction des parties restées herbacées. Le végétal sera donc *nain*, souvent réduit dans ses parties aériennes à des touffes ou à des rosettes de feuilles, et, si le sol glacé ne s'y oppose pas, les parties souterraines se développeront puissamment.

Si la plante lignifie sa tige, elle pourra s'accroître d'année en année, elle ne constituera cependant pas un arbre dressé. Le poids de la neige fléchira les branches vers le bas et le grand échauffement du sol pendant l'été amènera des courbures définitives : les arbustes seront *rampants*.

II. — Supposons maintenant, au contraire, qu'une plante herbacée annuelle soit transportée de même dans les régions tropicales ; des transformations également merveilleuses vont se produire. Stimulé par les fortes chaleurs, le végétal va croître beaucoup plus rapidement, sa taille sera beaucoup plus haute à la fin de la première année et son bois plus épais. Lorsque arriveront les mois qui amènent l'hiver en Europe, la température restera élevée ; le froid, cause ordinaire de mort, ne se produisant pas, la plante continuera à vivre, donnant indéfiniment de nouvelles feuilles et de nouvelles fleurs. L'herbe annuelle sera transformée en un *arbre toujours vert à floraison indéfinie*.

Si, au lieu d'une plante herbacée, c'est un arbre de nos pays que nous transportons dans les régions chaudes, nous le verrons se transformer également : ses feuilles ne seront plus caduques, le *feuillage sera persistant*.

La forêt tropicale une fois née, à son ombre végèteront une multitude de plantes qui s'étioleront et deviendront grim-pantes. L'humidité de l'air permettra aux graines transportées

par le vent ou les oiseaux de germer partout : la vie épiphyte et parasite s'épanouira aussi bien sur la couronne des arbres que dans l'épaisseur sombre de la forêt.

III. — Pendant que la végétation aérienne se transforme comme nous venons de le dire, les Algues marines se modifient en sens inverse. L'eau de mer glacée dissout plus de nourriture que l'eau échauffée. Les Algues polaires, continuant à se nourrir malgré les basses températures, s'accroissent énormément et tendent à devenir *gigantesques*.

Tous les changements dont on vient de lire la description, qui paraissent presque invraisemblables, ont été observés et démontrés par des expérimentateurs sagaces. L'avenir permettra d'allonger certainement beaucoup la liste des exemples que nous avons cités.

Jusqu'ici, toutes les variations que nous avons mentionnées, malgré leur importance, peuvent être considérées comme donnant naissance à de simples *variétés*, ce sont donc à des métamorphoses éphémères méritant souvent presque le nom de monstruosité à cause de leur amplitude. Si l'effort de la science ne devait aboutir qu'à cette conclusion, ce résultat serait intéressant, mais sans portée générale.

IV. — Les recherches de divers savants ont montré, pour quelques-uns des résultats précédents, que les variations ont une autre signification. La culture dans les régions froides, pendant un petit nombre de générations, amène un commencement de fixation de ces caractères nouvellement acquis. Il est certain, et tout ce que l'on sait sur la naissance des caractères héréditaires nous l'apprend, que l'on arriverait à fixer d'une manière plus complète les variations primitives par des expériences prolongées pendant une plus longue durée. Ces nouvelles études nous apprennent donc que les variétés peuvent donner naissance à des *races*.

Ces races déjà fixées depuis de longues générations peuvent d'ailleurs se rencontrer dans la nature. Elles correspondent à ces formes stables qu'une étude attentive amène à distinguer dans les anciennes espèces linnéennes. Bien souvent, l'origine de ces *petites espèces* est inconnue ; il n'en est pas toujours ainsi, et nous entrevoyons le mode de naissance des sous-espèces que nous avons eu l'occasion de mentionner plus haut.

Quand nous sommes amenés à diviser une espèce primitive

en deux ou trois espèces secondaires (annuelles et bisannuelles ou précoces et tardives), il vient nécessairement à l'esprit l'idée de rapprocher ces petites espèces des variétés premières. Cette manière de voir est d'autant plus justifiée que les espèces bisannuelles et précoces se rencontrent dans l'extrême nord ou sur les montagnes.

Jusqu'ici tous les faits et toutes les conclusions que nous en avons tirées peuvent être acceptés sans contestation par les partisans les plus résolus de la fixité de l'espèce. Ils admettent, en effet, parfaitement l'existence de variétés éphémères souvent très différentes du type primitif ; les expériences des éleveurs et des horticulteurs sur les animaux domestiques et sur les plantes cultivées ont pu également les convaincre que des races très différentes du type primitif peuvent naître par la sélection artificielle. Seulement leurs concessions s'arrêtent là ; au delà de cette limite, ils répondent par un *non possumus* : l'espèce varie, mais la *variabilité est limitée*.

L'exemple que nous avons choisi va nous être ici d'un grand secours. Considérons surtout la flore polaire, car c'est pour elle que nous possédons à l'heure actuelle les arguments les plus décisifs. L'expérience nous apprend que nous pouvons faire naître des variétés absolument comparables par tous leurs caractères aux plantes des montagnes ou de la zone arctique. Nous savons également qu'en prolongeant l'expérience ces variétés peuvent devenir des races. L'observation confirme nos résultats et nous montre partout des petites espèces nées par ce procédé dans la nature. Or, les caractères, qui ont varié ainsi et qui se sont fixés, figurent parmi les plus stables et les plus constants définissant toutes les plantes de la flore polaire.

Nous sommes donc amenés à penser, pour ainsi dire invinciblement, que l'on ne peut expliquer les caractères généraux des plantes arctiques que par une adaptation. *Si toutes les plantes arctiques sont vivaces, c'est parce qu'elles vivent au voisinage du pôle*. Ce sont les conditions de vie qui ont créé ce caractère héréditaire, et ce résultat saute d'autant mieux aux yeux que l'action du milieu ne se manifeste pas seulement quand les changements de climat sont extrêmes :

le long du chemin qui nous conduit au pôle ou au sommet d'une montagne, nous retrouvons cette action progressive des facteurs cosmiques. Nous voyons, en effet, le nombre des plantes vivaces croître régulièrement pendant ce voyage ou pendant l'ascension ; c'est là un fait dont la portée n'échappera à personne ; on sait qu'il a été établi par les observations de MM. Bonnier et Flahault.

Il est donc infiniment vraisemblable que les plantes des prairies alpines ou des plaines arctiques dérivent des espèces des mêmes genres de l'Europe ou inversement. D'ailleurs, la preuve directe a pu en être donnée dans certains cas. Hoffmann a montré, par des cultures longtemps poursuivies, que l'on pouvait retrouver tous les stades de transitions entre la petite Pensée des champs (*Viola tricolor* L. var. *arvensis*) à fleurs violacées et la grande Pensée jaune des montagnes (*Viola lutea* Huds.) ; la première espèce est annuelle ou bisannuelle, la seconde vivace. Le même botaniste a également prouvé qu'on peut trouver tous les intermédiaires entre le *Plantago Alpina* et le *Plantago maritima*.

Comment ne pas être amené à penser qu'une multitude d'autres rapprochements semblables pourront être faits quand on aura suivi avec beaucoup de soin l'évolution de ces espèces alpines ou polaires ?

Qui ne serait frappé de ce fait que parmi les espèces du genre *Isatis* la seule vivace est justement l'*Isatis Alpina* ? Les différences multiples qui séparent les *Draba* à fleurs blanches croissant soit au pied de la montagne, soit dans les régions alpines ne s'expliquent-elles pas de la même manière ? Les espèces alpestres sont vivaces avec rosettes de feuilles (*Draba tomentosa*, *Wahlenbergii*) ; les espèces de la plaine sont annuelles et n'ont point de rosette (*Draba verna*, etc.)

On pourrait peut-être répondre à l'argumentation précédente : Oui, nous reconnaissons que l'objection que vous faites a une portée, mais cela prouve simplement que les botanistes ont trop multiplié les espèces. C'était d'ailleurs l'opinion de Decaisne (1).

(1) Ce savant a communiqué à M. DE QUATREFAGES une note manuscrite disant qu'il avait démontré par culture au jardin botanique du Muséum, que sept espèces de Plantains rentraient les unes dans les autres.

N'oublions pas que l'argumentation que nous avons exposée plus haut porte *sur toute la flore polaire et montagnarde* et qu'il s'agit d'espèces larges, d'espèces linnéennes. Dira-t-on encore que cela prouve qu'il ne faut pas employer les caractères végétatifs pour distinguer les espèces, et que la fleur seule fournit des caractères stables? Mais les expériences d'Hoffmann nous ont déjà montré que rien n'est plus inexact, et que les organes floraux n'échappent pas plus que le reste à la variation; les expériences remarquables de M. de Vries ont permis d'ailleurs de suivre les variations florales et la fixation progressive des caractères primitivement instables (1). La fleur suit donc la loi commune qui veut que tout varie.

Les petites espèces que nous considérons plus haut ont une fixité aussi grande que les espèces de Linné. Cela résulte des remarquables recherches de Jordan qui a établi, par des cultures poursuivies patiemment pendant plus de trente ans, que certains caractères, en apparence infimes, se maintiennent avec une constance aussi extraordinaire qu'inattendue. Il avait installé à Lyon un jardin botanique assez spécial où il ne cultivait que ce que l'on appelle vulgairement les mauvaises herbes et où les botanistes pouvaient voir, en particulier, deux cents petites espèces stables qui avaient été isolées dans l'ancien *Draba verna*.

Ces résultats curieux ont été vérifiés par plusieurs savants: Boreau à Angers, Timbal-Lagrave à Toulouse, Verlot à Grenoble confirmèrent les faits annoncés par Jordan. MM. Thuret et Bornet enfin les soumirent à un rigoureux contrôle et leur donnèrent la sanction de leur haute autorité: « Sept ans de suite, dit M. Bornet, nous avons semé quatorze espèces d'*Erophila* (*Draba*). Elles n'ont présenté ni variations ni hybrides, quoique les pots fussent rangés les uns près des autres. Pendant quatre ans, j'ai ressemé cinq ou six formes de *Papaver dubium* que M. Jordan a décrites (*P. modestum*, *vagum*, *depressum*, *Lecoquii*). Les caractères, principalement ceux de la capsule, se sont montrés les mêmes dans toutes les générations. Toutefois, dans cette série d'expériences il s'est produit un certain nombre d'*hybrides spontanés* (2). »

(1) Par la considération des courbes de GALTON.

(2) Ces résultats ont été publiés par M. PLANCHON.

Quelle conséquence Jordan tire-t-il de ses travaux ? La conclusion que toutes ces formes sont des espèces. « Rejeter le critérium de la permanence héréditaire, dit-il, c'est s'ôter toute possibilité d'établir des distinctions solides, c'est tout réduire à de simples hypothèses, à l'arbitraire, à la fantaisie des appréciations individuelles ; c'est, en un mot, donner pour fondement à la science le scepticisme, ce qui revient à la détruire. »

« Si l'on soutenait, ajoutait-il, que ces espèces sont des races d'un type commun, on pourrait bien admettre qu'un type linnéen quelconque a pu être démembré d'un type plus large et ainsi de suite jusqu'à l'identité originelle de toutes choses, ce qui revient à donner pleinement raison aux transformistes. »

Or, cette supposition que les espèces dites jordanienues dérivent des types de Linné, nous l'avons établie au cours de cette étude, au moins pour quelques-unes d'entre elles ; nous savons non seulement dans quelles conditions naissent un certain nombre de ces formes secondaires, mais nous sommes amenés à penser par un raisonnement rigoureux que les espèces larges sont nées d'après le même processus.

Contrairement à ce qu'a cru Darwin surtout dans ses premiers ouvrages, en conformité d'idées avec Buffon, nous concluons donc en disant que les agents extérieurs, le climat en particulier, modifient profondément les êtres. C'est là un point sur lequel on ne saurait trop insister parce qu'il a été nié par M. Huxley et par M. Naudin.

« On s'est beaucoup exagéré, disait en 1874 M. Naudin, les influences du milieu et en particulier du climat, auquel on a voulu faire jouer le principal rôle dans la modification des êtres vivants ; mais je soutiens que le climat compte pour fort peu sous ce rapport, et que, quand les espèces varient, elles le font en vertu d'une propriété « intrinsèque et innée » qui n'est qu'un reste de la plasticité primordiale, et que les conditions extérieures n'agissent qu'en déterminant la rupture d'équilibre qui permet à cette plasticité de produire ses effets. »

Cette conception hypothétique de la plasticité primordiale n'est pas susceptible d'une vérification. En parlant de l'action du milieu nous traduisons simplement les phénomènes observés et les résultats des expériences.

Quand nous nous plaçons dans des conditions données de milieu, nous voyons certaines modifications déterminées se produire. Il est bien certain que nous n'entendons pas dire que c'est le climat qui est la « cause » des changements ; la science ne poursuit pas la cause des phénomènes ; elle n'en recherche que le déterminisme. C'est bien en vertu de propriétés « intrinsèques et innées » que réagit la plante, mais la réaction ne se produit que si le végétal est placé dans des conditions physico-chimiques déterminées. C'est tout ce que nous avons voulu dire, et cette explication provisoire nous suffit.

Objection tirée de la notion des hybrides et des métis. — Il nous reste à examiner *une dernière objection*. M. de Quatrefages a consacré une partie de sa vie à réfuter le darwinisme ; on doit avouer que ses efforts n'ont pas été stériles, car il a mis en lumière tous les nombreux défauts de cette théorie si remarquable, mais souvent insuffisamment démontrée. Il a reproché à Darwin, non sans raison, d'avoir fondé sa doctrine sur la sélection sans expliquer pourquoi les organismes variaient. Si la variation se produit au hasard, on ne comprend pas comment elle peut arriver à produire des changements effectifs. En tenant compte de l'action du milieu, ajoute-t-il, tout au contraire se comprend et s'éclaircit, aussi est-il disposé à suivre Carl Vogt qui a adopté résolument cette conception. Un seul point sépare M. de Quatrefages de ce disciple hérétique de Darwin : il ne croit pas que la variation puisse croître indéfiniment. Il affirme qu'il y a un critérium infaillible qui permet de démontrer que l'espèce n'est pas modifiée malgré l'amplitude des variations, c'est la possibilité du croisement.

« Darwin, dit-il, après avoir montré par un ensemble de faits et de déductions, déjà bien difficiles à réfuter, que cent cinquante races de pigeons déterminées par lui-même proviennent toutes de la *Columba livia*, en appelle encore à une dernière preuve. Il marie les cinq races les plus éloignées, *racés assez différentes pour que des morphologistes purs en eussent fait cinq genres distincts* ; il constate la fertilité de ces unions, la fécondité des produits ; il oppose ces résultats à l'infécondité des croisements entre les représentants du type *Columba livia* et ceux de n'importe quelle autre

espèce ; il en conclut que tous nos pigeons domestiques descendent du biset seul et sans mélange de sang. »

Ainsi donc, c'est là le caractère primordial, le caractère physiologique (ou plutôt mixiologique selon M. Coutagne) qu'il faut toujours avoir soin de vérifier quand on veut savoir si une race dépend encore d'une espèce. Si on ne l'emploie pas, on n'a le droit de rien conclure. Cette objection est, comme on le voit, très grave pour la théorie de Jordan (1).

« Wallace, dit M. de Quatrefages, rejette formellement ce critérium, se fondant en réalité sur une seule raison, la difficulté de l'appliquer.

« Sans doute, poursuit-il, cette difficulté existe, et elle est souvent considérable ou même insurmontable. Est-ce un motif suffisant pour écarter ou pour oublier la multitude des faits recueillis chez les animaux aussi bien que chez les végétaux et qui relèvent de l'hybridation et du métissage ? Ces faits attestent *tous* l'existence d'une barrière physiologique élevée entre les espèces. Cette barrière seule maintient dans le monde organisé l'ordre merveilleux contre lequel n'ont prévalu ni le temps ni l'espace, de même que l'attraction conserve seule l'ordre établi dans le monde cosmique. »

Nous ne cachons pas, comme on le voit, la difficulté qui se dresse devant nous. Examinons d'un peu plus près la question. Les métis, dit-on, sont indéfiniment féconds et stables, les hybrides sont stériles, ou, s'ils donnent des graines, elles sont peu nombreuses et, au bout de peu de générations, par la variation désordonnée, tous les descendants retournent aux types du père ou de la mère.

La séparation qui existe entre les hybrides et les métis est-elle aussi tranchée qu'on veut bien le dire ? Doit-on d'abord négliger les phénomènes si singuliers mis en évidence pour les plantes hétérostylées ? On sait que, dans ce cas, une plante fécondée avec son propre pollen ou avec le pollen d'une fleur de même forme est stérile ou du moins offre une fécondité

(1) Il ne suffit pas, comme l'ont fait MM. THURET et BORNET, de cultiver l'une à côté de l'autre les soi-disant espèces de Jordan et de constater qu'elles ne se croisent pas ; M. DE QUATREFAGES a le droit de demander que l'on fasse des expériences. M. BORNET, il est vrai, rapporte, à propos des *Papaver*, qu'il s'est formé un certain nombre d'hybrides spontanés, mais il ne s'explique pas sur les caractères de ces hybrides, il n'indique pas en quoi ils diffèrent des métis.

aussi faible que celle des hybrides (1). Il ne s'agit cependant pas là d'espèces différentes. On répondra peut-être que c'est un cas très spécial qui mérite d'être traité à part. Les partisans de la sélection, qui pensent avoir trouvé la raison de ce phénomène (qui est d'ailleurs beaucoup plus répandu qu'on ne le croit d'ordinaire, d'après les études si remarquables de Darwin et d'Hildebrandt), peuvent répondre ainsi, mais un adversaire de cette conception doit expliquer pourquoi une plante fécondée avec un pollen parfaitement sain est inféconde. Ce n'est ni le pollen ni le stigmate qui sont mal conformés, car la fécondation croisée réussit parfaitement. Voilà donc un fait célèbre, bien établi, dont M. de Quatrefages n'a pas tenu compte (2).

Une seconde remarque doit être faite. La différence est-elle aussi nette qu'on le prétend entre les races et les espèces au point de vue de la descendance ? M. de Quatrefages affirme que les descendants des hybrides, dans tous les cas, retournent au type du père ou de la mère au bout d'un certain nombre de générations. Il analyse avec le plus grand soin tous les cas de persistance et de fécondité prétendue indéfinie des hybrides : les chabins ou ovicarpes (issus du croisement de la Chèvre et du Mouton), les léporides (venant du mariage du Lièvre et du Lapin), retournent, en effet, aux formes types. Mais a-t-on le droit de conclure qu'il en est ainsi pour le fameux hybride du Blé et de l'*Egilops ovata* ? Fabre a montré que l'*Egilops triticoïdes* résulte du croisement de ces deux plantes ; en fécondant de nouveau cet hybride avec le pollen du froment, Godron a obtenu l'*Egilops speltæformis* dont il a constaté la fécondité indéfinie. Ses premières expériences furent faites en 1856, et, en 1870, il cultivait encore les descendants de cette plante. Fabre et Decaisne, qui firent germer des graines de cette forme envoyées par le professeur de Nancy, observèrent des phénomènes de retour vers l'une

(1) Les expériences de DARWIN sont tout à fait probantes : la fécondité de ces unions illégitimes des Primevères est tout à fait comparable à celle des hybrides du genre *Primula*.

(2) Il est d'ailleurs vrai pour d'autres plantes que les espèces hétérotylées. M. FOCKE a établi que le *Lilium bulbiferum* est complètement stérile avec son propre pollen. Même résultat, d'après HOFFMANN, pour diverses autres espèces (*Nigella damascena*, *Papaver*, *Raphanus*, *Phaseolus*, *Salvia*, *Adonis*, etc.).

ou l'autre des espèces parentes. Mais cet insuccès tenait peut-être à ce que la culture n'était pas faite avec assez de soin (1). En effet Godron écrivait : « L'*Ægilops speltaformis* ne peut donc pas se propager par lui-même ; il a besoin de l'intervention de l'homme, et il périt si elle lui fait défaut. » Godron cultivait lui-même ses *Ægilops*, dans un jardin soigneusement isolé où il surveillait leur germination ; malgré ces précautions bien des graines avortaient ou ne produisaient que des plantes stériles. M. de Quatrefages triomphe et remarque que « l'industrie a été impuissante à conserver indéfiniment cette plante artificielle ». Il s'est produit des cas de retour même à Nancy. A-t-il bien le droit d'ajouter : « et sans doute, si Godron a poussé l'expérience jusqu'au bout, il aura vu ses hybrides quarterons reprendre successivement les caractères d'une des deux espèces parentes. »

Cependant en 1880 (2), un botaniste expérimenté, M. Cosson, disait au sujet de cette plante « qu'elle n'est qu'un hybride fertile, fixé et devenu *une véritable espèce*, puisque les caractères ne varient plus et que l'espèce ne perd en rien sa fertilité. »

Ainsi donc les différences entre les métis et les hybrides ne sont pas aussi fondamentales que le prétendait M. de Quatrefages.

Voici d'ailleurs une expérience très remarquable de M. H. de Vilmorin qui confirme tout à fait cette manière de voir.

On regarde ordinairement comme appartenant à des espèces distinctes les Blés désignés sous les noms de *Triticum sativum*, *Spelta*, *turgidum*, *durum*. Or, en croisant les deux premières espèces, M. de Vilmorin a obtenu un hybride qui s'est montré intermédiaire entre les deux parents et a présenté une grande fécondité et une fixité remarquable. Ceci a conduit le distingué horticulteur à penser qu'il avait affaire à un métis et que les soi-disant espèces de Blé sont de simples races. Mais ce résultat ne simplifie le problème qu'en apparence, car en croisant à nouveau deux Blés, le Chiddam d'au-

(1) Surtout, peut-être, parce que les plantes, non isolées, étaient exposées à de nouvelles fécondations avec le pollen de Blé.

(2) *Soc. bot.*, 1880, p. 74.

tomne (*Triticum sativum*, Blé tendre) avec un Blé Ismaël (*T durum*), il a obtenu un produit fertile qui a présenté la variation désordonnée. On peut donc avoir la variation désordonnée avec des métis (fig. 21 à 24). Parmi ces individus, quelques-uns se rapprochent du *T turgidum*, plusieurs autres du *T Spelta*. Un autre croisement d'un *T sativum* (Blé seigle variété rouge velue) avec un *T turgidum* (Poulard appelé Blé Buisson) a donné une forme se rapprochant du *T Spelta*.

Revenant plus tard, en 1883, sur cette question, M. de Vilmorin croit pouvoir plaider « en faveur de l'unité spécifique de toutes les races de froment cultivées ». De toutes façons, le problème du croisement est beaucoup plus complexe qu'on ne le pensait, et l'on se trouve pris entre les termes de ce dilemme :

Ou bien il n'y a qu'une espèce de Blé, et on peut avoir la variation désordonnée pour les métis comme pour les hybrides.

Ou bien il y a plusieurs espèces de Blé, et les hybrides peuvent donner une descendance très fertile et stable.

C'est d'ailleurs une remarque que faisait, en 1883, M. Duchartre après avoir entendu la communication de M. de Vil-



FIG. 21 à 24. — Descendance de l'hybride de deux Blés appartenant à des espèces regardées comme distinctes (*T. sativum* et *T. durum*); les figures A, B, C et D montrent des dissemblances très grandes entre tous ces individus, accusant ainsi la variation désordonnée, observée par M. de Vilmorin.

morin, qui bouleversait si profondément la conception de l'hybride et du métis. « Il se demandait comment on pourrait considérer les formes cultivées ordinaires comme des hybrides, étant donné d'une part qu'elles sont *très fixes*, d'autre part que les formes obtenues expérimentalement présentent, dès la deuxième génération, les phénomènes de la *variation désordonnée*. »

Cette observation aurait pu être interprétée comme une objection au bien fondé des expériences de M. de Vilmorin. Mais ces essais ont été continués depuis et les résultats confirmés par l'auteur. Ils ont été étendus en 1888.

Sa conclusion à cette époque est qu'il n'y a que deux espèces de Blé, le *Triticum sativum* et le *T. monococcum*. Toutes les autres formes sont des races de la première espèce. Le croisement de deux races entre elles amène les phénomènes de la *variation désordonnée* qui peut se produire non seulement à la deuxième génération, mais même *se continuer* deux et trois ans de plus. En outre, ces *hybrides-métis* peuvent présenter, dans certains cas, des phénomènes de *retour* vers les races primitives; plusieurs autres constituent des variétés très stables. Enfin quelques-uns de ces hybrides-métis se distinguent parce qu'ils *grènent mal*, comme s'il s'agissait d'hybrides-types.

Les expériences d'Hoffmann confirment d'ailleurs pleinement plusieurs de ces résultats. Ses études approfondies sur la variation l'ont conduit à reconnaître toutes les transitions entre diverses espèces, par exemple entre le *Raphanus sativus* et le *R. Raphanistrum*. Or, en croisant ces deux races entre elles, il a obtenu des phénomènes de retour, comme s'il s'agissait d'hybrides, et ces retours s'observaient dès le début ou au bout de quelques générations. Il a constaté des réversions analogues en croisant deux variétés du *Papaver alpinum* (*latilobum* et *tenuilobum*), du *Salvia Horminum* (variétés à fleurs rouges et à fleurs bleues), du *Ranunculus arvensis* (var. *inermis* et var. *muricatus*).

Il y a plus, on connaît des variétés qui se comportent comme des hybrides, en ce sens qu'on n'arrive pas à les croiser entre elles. Cela est vrai pour les variétés du *Silene inflata* (variétés *alpina* et *angustifolia*); cela est également applicable à l'*Anagallis arvensis* type et à sa variété bleue.

Inversement, en mariant entre elles deux espèces très nettement distinctes, de façon qu'il ne puisse pas être question de les rapprocher, comme le *Mimulus moschatus* et le *M. cardinalis*, ou comme le *Dianthus superbis* et le *D. barbatus*, Hoffmann a obtenu des hybrides féconds qui conservaient leur fécondité pendant de nombreuses générations.

Ajoutons que l'on avait cru autrefois devoir signaler une différence entre les hybrides et les métis relativement à leur origine, au moins chez les végétaux. La fécondation était *réci-proque* entre deux individus d'une même espèce ; elle était au contraire *unilatérale* entre deux individus d'espèces différentes. On dit qu'il y a réciprocité, quand il s'agit de plantes hermaphrodites, lorsque le pollen de A peut féconder B et que le pollen de B peut féconder A ; pour les plantes d'espèces différentes, la fécondation ne peut avoir lieu que dans un sens.

Les oosphères du *Fucus vesiculosus* sont fécondées par les anthérozoïdes du *Fucus serratus* ; en essayant le croisement en sens inverse, aucun œuf ne se forme. De même, le *Nicotiana paniculata* pollinisé par le *N. Langsdorfii* donne des graines ; le *N. Langsdorfii* pollinisé par le *N. paniculata* demeure stérile.

Ce fait n'est pas général, même chez les végétaux, ainsi que l'ont établi les intéressantes recherches de M. Hildebrandt. Il a pu réussir à féconder réciproquement les *Cistus laurifolius* et *C. ladaniferus*, les *Abutilon Tollianum* et *A. Darwini*, les *Chamærops Schiedeana* et *C. Ernesti-Augusti*.

Enfin, M. Kerner von Marilaun, qui depuis de longues années s'occupe de la question des hybrides et de la possibilité de leur fixation, a été un des premiers à affirmer que l'on pouvait observer dans la nature des formes hybrides apparaissant spontanément, résultant du croisement de deux espèces et se maintenant indéfiniment grâce à leur fécondité. Il en a cité des exemples pris parmi les représentants du genre Saule, qu'il a pu observer dans la vallée du Danube.

Les expériences qu'il a faites en croisant deux *Medicago* (*M. falcata* et *M. sativa*) lui ont permis d'obtenir un hybride qu'il a cultivé sur une vaste échelle et dont il a obtenu des prairies entières. Il s'est assuré ainsi de la fécondité de ces plantes et du maintien indéfini de leurs caractères, si elles sont fécondées avec leur pollen et non avec le pollen des parents.

Il croit donc pouvoir conclure de ses études que bien souvent les espèces nouvelles naissent dans la nature par croisement. Il affirme même que c'est le seul procédé que l'on connaisse pouvant donner naissance à des êtres nouveaux.

Nous ferons remarquer que, si la nature n'avait pas de méthode plus variée pour renouveler les formes qui couvrent la terre, les différences qui les séparent ne seraient jamais bien grandes, car les unions entre êtres éloignés et par cela même bien différents sont presque toujours infécondes.

Il y a, nous l'avons vu, une cause primordiale de variation, celle dérivant de l'intervention des agents cosmiques. Nous venons d'étudier le mode d'action d'un de ces facteurs, la chaleur ; mais il y en a beaucoup d'autres, lumière, pesanteur, etc., dont nous allons examiner les effets dans les chapitres suivants.

Nous croyons cependant, avant d'aborder ce sujet, devoir terminer l'étude que nous venons de faire en rappelant les changements successifs que les savants ont été obligés d'apporter à la définition de l'espèce, à mesure que la critique en sayait peu à peu la notion.

Cuvier disait : « L'espèce est la réunion des individus issus l'un de l'autre ou de parents communs et de ceux qui leur ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux. »

Mais cette définition s'applique absolument à la race, de sorte que l'on a cru devoir y faire une addition.

« La race est caractérisée par la production de métis féconds ; l'espèce, par la non-production d'hybrides ou par la production d'hybrides *inféconds*. »

Quand on eut démontré que les hybrides pouvaient être féconds, on fut encore obligé de modifier la définition, et nous venons de voir à quelle conception de l'espèce était arrivé M. de Quatrefages.

Il appuyait la notion de l'espèce :

1° Sur la faible fécondité des hybrides ;

2° Sur les phénomènes de retour pour leur descendance.

Or nous avons établi que :

1° La fécondité du métis peut être faible ;

2° Que les hybrides peuvent être indéfiniment féconds et stables ;

3° Que le croisement entre races d'une même espèce est quelquefois impossible ;

4° Qu'on observe dans la descendance des métis des phénomènes de variation désordonnée et de retour.

Que conclure, sinon que le critérium du croisement soi-disant inattaquable n'est pas meilleur que les autres. Nous nous en tiendrons donc à la définition de Lamarck : L'espèce est, selon lui, « la collection d'individus semblables, que la génération perpétue dans le même état, tant que les circonstances de leur situation ne changent pas assez pour faire varier leurs habitudes, leur caractère et leur forme (1). »

En résumé : 1° *L'espèce, au sens linnéen du mot, n'est pas stable; voilà un point que nous croyons avoir établi pour toutes les espèces de la flore polaire.*

2° *Le critérium tiré du croisement ne permet pas de distinguer sûrement l'hybride du métis.*

Les défenseurs de la fixité, chassés de leurs nouveaux retranchements, nous répondront peut-être : « Nous admettons vos conclusions, elles prouvent simplement que Linné a conçu l'espèce dans un sens trop étroit ; nous élargirons cette notion et, s'il le faut, nous irons jusqu'à confondre l'espèce avec le genre. Mais nous gardons cependant nos convictions, nous croyons qu'en fait les espèces ne changent pas, et l'argument tiré de ce fait que les animaux domestiques retrouvés dans les tombeaux d'Égypte sont tout à fait semblables aux animaux actuels, nous paraît toujours irréfutable. »

A ce dernier argument, que l'on peut comparer à la flèche que lance le Parthe en s'enfuyant, et qui ne mérite presque plus le nom d'argument scientifique, nous allons essayer d'opposer une réfutation finale qui méritera peut être d'être qualifiée de philosophico-scientifique, mais qui n'en est pas moins saisissante ; elle est due à M. Perrier.

Nous nous appuyons sur trois propositions préliminaires :

1° Pasteur a démontré qu'aucun fait connu n'était explicable par la *génération spontanée* ;

2° La conclusion ultime des sciences de la nature est que tous les êtres vivants dérivent les uns des autres par *reproduction* ;

3° Les géologues nous apprennent qu'*il n'y a pas eu de*

(1) *Discours de l'An XI*, p. 45.

cataclysmes dans les diverses périodes géologiques, qu'il y a, au contraire, *continuité absolue entre elles*.

Or, la paléontologie nous enseigne avec certitude que les espèces qui peuplent actuellement la terre n'existaient pas autrefois.

« Les faits, dit M. Perrier, forcent donc à admettre que les formes actuellement vivantes, si différentes qu'elles soient des formes anciennes, en proviennent par une suite ininterrompue de générations ; la réalité du transformisme est par cela même invinciblement démontrée et ne peut être contestée que si l'on se place hors du terrain de la science. »

DEUXIÈME PARTIE

LUMIÈRE

CHAPITRE X

DISTRIBUTION ET RÔLE

La lumière est certainement une des plus grandes causes de métamorphoses des êtres ; elle doit cependant être étudiée après la chaleur, car son action est moins générale. Un certain nombre de plantes, comme le Champignon de couche, plusieurs animaux, comme ceux en particulier qui habitent les cavernes de Carniole, peuvent vivre et se reproduire à l'obscurité ; mais on ne connaît pas d'être vivant pouvant se passer de radiation calorifique. La chaleur est donc la condition nécessaire pour que la vie se manifeste. Cependant si la lumière a un rôle moins général, moins absolu, il n'en est pas moins vrai que son importance est considérable, surtout pour les plantes : c'est grâce à l'énergie solaire que le végétal peut vivre, et sans lumière toutes les plantes vertes disparaîtraient immédiatement de la surface de notre globe. Si Buffon a pu dire que les animaux étaient fils de la terre, on peut affirmer avec bien plus de raison que les plantes sont filles du soleil.

Distribution de la lumière à la surface du globe. — Avant

d'aborder l'importante question de l'action de la lumière sur les végétaux, cherchons à nous rendre compte pourquoi et comment l'intensité lumineuse varie à la surface du globe terrestre.

On sait que la durée de l'éclairement pendant un jour change avec la latitude, à mesure que l'on se rapproche du pôle.

Le tableau suivant exprime ces variations :

LATITUDE	DURÉE DE L'ÉCLAIREMENT en 1 jour
40°	14 ^h 34 ^m
45°	14 ^h 54 ^m
50°	15 ^h 45 ^m
55°	16 ^h 34 ^m
60°	17 ^h 44 ^m
65°	19 ^h 41 ^m
68° 30'	24 ^h

A partir de 68° 30' jusqu'au pôle, on peut avoir des jours de vingt-quatre heures.

Les chiffres précédents montrent que l'augmentation n'est pas proportionnelle à la latitude. Ainsi pour 5° de plus, la durée de l'éclairement augmente de 30 minutes en France ; tandis qu'au sud de la Scandinavie, elle croît de 120 ; au nord de cette même presque île, de 200 minutes.

M. Hann, dans son traité de climatologie, donne les chiffres suivants, qui sont intéressants au point de vue qui nous occupe. Si l'on représente par 1.000 la quantité de chaleur tombant sur l'équateur au 20 mars, on obtient pour les sommes quotidiennes de lumière à l'époque du solstice d'été les chiffres suivants :

PÔLE NORD	62° NORD	43°,5 NORD	ÉQUATEUR	66°,5 SUD
1.203	1.092	1.109	881	0

De l'hiver à l'été, la quantité de lumière varie beaucoup : à l'équateur elle change de 12 0/0 ; par 30° latitude nord, elle passe de 520 à 1.088 ; par 50°, de 197 à 1.105 ; par 70°, de 0 à 1.130.

Ces chiffres montrent que la lumière suffirait, même si

la chaleur était constante, à produire à la surface du globe des zones climatériques nettement caractérisées.

Les physiciens (1) ont étudié un autre problème qui nous intéresse également, ils ont déterminé la valeur du rayonnement solaire à différentes altitudes. Ils ont trouvé ainsi pour le nombre de calories reçues par minute sur un centimètre carré de surface exposée normalement aux rayons solaires.

Paris.	altitude 30 ^m	1 [°] ,745
Glacier des Bossons.	— 1.200 ^m	2 [°] ,022
Grands-Mulets	— 3.050 ^m	2 [°] ,262
Sommet du mont Blanc.	— 4.810 ^m	2 [°] ,392

Ces nombres augmentent d'abord rapidement, puis lentement, ce qui s'explique par la présence de grandes quantités de vapeur d'eau dans les basses régions de l'atmosphère.

Une autre question utile à connaître est celle de la répartition de la lumière dans les eaux douces ou marines. Quand un rayon lumineux pénètre dans un prisme de verre ou d'eau, il s'y décompose en une multitude de couleurs que l'on observe dans l'arc-en-ciel; la lumière blanche du soleil est formée de lumières simples et colorées qui se *réfractent* inégalement.

La lumière étant ainsi décomposée à son entrée dans un liquide, les rayons de couleurs différentes s'y comportent de diverses manières : les rayons rouges sont d'abord absorbés; à des profondeurs plus grandes, les rayons de l'autre extrémité du spectre commencent à disparaître (2). On a pu, en enfermant un papier photographique dans une caisse opaque sauf sur un côté qui présentait un opercule de verre, juger à quelle profondeur parvenaient les rayons chimiques. Un couvercle plein, qui fermait l'orifice précédent, pouvait être ouvert et fermé automatiquement à l'aide d'un courant électrique, pendant que la caisse se trouvait à une profondeur déterminée (3). Le changement subi par le papier sensible à la lumière a montré que l'action de ce facteur se faisait sentir jusqu'à 400 mètres de profondeur.

(1) M. VIOLLE, en particulier.

(2) Ce dernier résultat découle des recherches de M. OLTMANN'S.

(3) Ces expériences ont été faites par M. KNY.

Les données précédentes nous renseignent sur la distribution générale de la lumière en latitude et en altitude, dans l'air et dans l'eau. On peut avoir quelquefois besoin de déterminer la répartition de la lumière en un lieu déterminé. Afin d'apprécier, par exemple, la variation d'intensité de la lumière à l'extérieur d'un arbre ou dans la profondeur de son feuillage, à un moment donné ou pendant les diverses saisons de l'année, M. Wiesner a employé le papier Talbot dont la teinte se modifie avec une rapidité variable suivant l'intensité lumineuse.

Malgré leurs imperfections (1), ces dernières méthodes ont permis de se procurer quelques renseignements dont nous aurons l'occasion d'apprécier plus loin l'intérêt.

En changeant ainsi d'intensité et de composition suivant les lieux et suivant les saisons, la lumière amène par cela même des modifications très notables dans la plante, car une altération, même faible, d'une fonction fondamentale doit avoir un retentissement profond sur toute l'organisation d'un être. On sait, en effet, que le rôle de la lumière est avant tout physiologique; il est bon de rappeler brièvement en quoi il consiste, bien que ce soit un sujet très classique. Étudions donc l'influence de la lumière sur les fonctions des végétaux verts et incolores.

Influence de la lumière sur les fonctions. — On trouve dans les cellules végétales un pigment vert qui existe à l'intérieur de globules appelés grains de chlorophylle. C'est ce pigment qui joue un rôle essentiel pour la plante; grâce à lui, le végétal peut, sous l'influence de la lumière, décomposer l'acide carbonique de l'air, et fixer le carbone. C'est là le mode de nutrition fondamental du végétal; les animaux ne possèdent pas ce pigment, aussi doivent-ils se nourrir autrement: ils ne peuvent pas, comme les végétaux, vivre simplement aux dépens de l'air et de la lumière. Le végétal fixe donc l'énergie solaire et la rend utilisable pour les autres êtres, les animaux et l'homme qui se nourrissent de plantes.

Chlorophylle. — Les grains de chlorophylle sont formés d'un substratum protoplasmique dans lequel se trouve la matière

(1) Ces méthodes ne renseignent que sur les rayons chimiques.

verte sous forme de grains, de réseau ou de filaments. On avait cru obtenir cette matière verte cristallisée ; mais il semble, d'après des recherches nouvelles, que ce n'est pas un seul et même corps pour tout le règne végétal ; on en aurait trouvé même plusieurs assez distincts dans la Luzerne (1).

Cette chlorophylle exige, en général, la présence de la lumière pour se développer ; il y a cependant quelques plantes qui se colorent en vert à l'obscurité, mais ceci est exceptionnel.

Sous l'influence d'une lumière faible, le pigment apparaît ; quand l'intensité lumineuse croît, il se montre plus vite. La formation de la chlorophylle est ce que l'on appelle un phénomène *induit*, c'est-à-dire se produisant après coup : si nous transportons à l'obscurité une plante non encore verte, après l'avoir exposée à la lumière, le verdissement se produit après que la lumière a cessé d'agir. Aussi un éclaircissement régulièrement intermittent (2) produit-il le même effet qu'un éclaircissement continu pendant le même temps.

Ainsi donc, la lumière a déjà un rôle fondamental, puisque c'est elle qui provoque l'apparition de ce pigment vert sans lequel, on peut presque dire, le végétal n'existerait pas.

Son rôle peut donc paraître bienfaisant, mais ne nous hâtons pas de plaider en faveur des causes finales, car, si la lumière fait naître la chlorophylle, c'est elle aussi qui la détruit. Si l'intensité lumineuse devient trop forte, on peut voir le grain de chlorophylle se décomposer ; ce phénomène a été suivi par Pringsheim dans le champ du microscope. C'est bien la lumière qui a cet effet destructeur, car il ne se produit pas derrière une solution d'iode dans le sulfure de carbone, liquide ne laissant passer que les rayons calorifiques.

Le phénomène ainsi produit peut avoir les caractères d'un processus pathologique, au moins quand l'action de la lumière a été trop énergique. Une feuille qui a pâli à un soleil trop ardent, peut être à jamais incapable de reprendre sa teinte primitive (3).

Il ne faudrait pas croire cependant, d'après Pringsheim, qu'il en est toujours ainsi. M. Wiesner a montré, au contraire,

(1) D'après M. GAUTIER et M. ETARD.

(2) WIESNER, MIKOSCH et STÖHR.

(3) BOHM.

que la chlorophylle de certaines plantes en germination peut être détruite sans que le grain où elle se forme et le protoplasma qui l'engendre soient décomposés : aussi ce savant a-t-il pu constater un nouveau verdissement dans une région décolorée primitivement par la lumière.

Il y a d'ailleurs un autre moyen de détruire la chlorophylle, il consiste à mettre la plante verte à l'obscurité. Cette destruction résulterait, dans ce cas, d'une dégénérescence générale de la cellule (1).

Ainsi donc la lumière est indispensable à la plante, mais à la condition qu'elle ne soit pas trop intense ; grâce à ce facteur, le végétal engendre le pigment vert dont nous allons étudier le rôle capital.

Nutrition chlorophyllienne. — C'est à l'aide de cette chlorophylle que la plante verte se nourrit, et cette nutrition s'opère aux dépens de l'air en fixant le carbone qui s'y trouve sous forme d'acide carbonique.

L'assimilation du carbone se produit quand la lumière tombe sur les parties vivantes d'une plante contenant de la chlorophylle et quand l'atmosphère contient de l'acide carbonique : ce dernier gaz est décomposé, le carbone est fixé, et l'oxygène est mis en liberté. Tout se passe comme si ce gaz était scindé en ses deux éléments.

On s'est demandé quelles radiations lumineuses produisaient ce phénomène ; on a vu que c'étaient justement celles qu'absorbe la chlorophylle. Si l'on examine le spectre d'une dissolution de cette substance, on voit un certain nombre de bandes d'absorptions qui sont rassemblées en deux groupes : les unes dans la partie rouge orangé du spectre, les autres dans la partie bleue et violette.

Le résultat précédent, d'après lequel il y a identité entre les rayons absorbés par la chlorophylle et ceux qui y provoquent la décomposition de l'acide carbonique, a été établi par M. Timiriazeff et M. Engelmann.

Le premier a donné une démonstration de ce principe en décomposant un rayon solaire par un prisme, et en faisant tomber les lumières de diverses couleurs sur des feuilles de Bambou placées dans des auges plates (fig. 25 A) ; partout où

(1) BUSCH.

il y a dégagement de bulles gazeuses, il y a des rayons actifs : on voit nettement par cette méthode que les rayons absorbés dans la région rouge orangé du spectre de la chlorophylle sont actifs. Le rôle des rayons bleus résulte des expériences de M. Engelmann, qui emploie la méthode des Bactéries (1) Le *Bacterium Termo* est une Bactérie avide d'oxygène et mobile. Si on met sur une lame de verre un filament d'une Algue verte et les Bactéries précédentes, elles se grouperont seulement là où il y a dégagement d'oxygène : on les voit, en effet, s'accumuler autour de grains de chlorophylle. Si, au-dessous de la platine du microscope, on a placé un microspectre qui décompose la lumière incidente, on étalera sur la préparation un petit spectre parallèlement au filament d'Algue. On verra, dans ce cas, les Bactéries se grouper en deux régions ; elles forment d'une part une sorte de montagne très élevée et très pointue, correspondant à la partie absorbée dans le rouge et d'autre part une colline surbaissée, étalée, correspondant à la lumière absorbée par la chlorophylle dans le bleu-violet (fig. 26, B).

Il est donc établi que les rayons actifs sont les rayons absorbés.

(1) La respiration, qui est intense dans le bleu, y masque l'effet de l'assimilation du carbone (ces deux phénomènes sont inverses l'un par rapport à l'autre : dans la respiration il y a absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique); il faut employer pour déceler le dégagement d'oxygène dans la partie bleue du spectre une méthode nouvelle et très délicate.

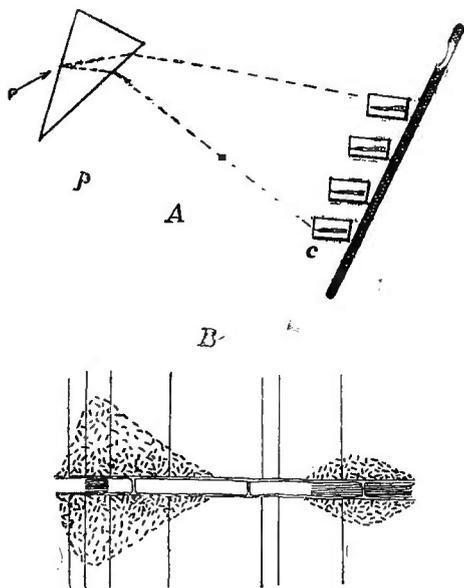


FIG. 25 et 26. — A, prisme *p* servant à décomposer un rayon de lumière blanche; les divers rayons du spectre viennent frapper les auge plates *c* dans lesquelles se trouvent des feuilles de Bambou. — B, expérience d'Engelmann, filament de Conferve éclairé par un microspectre : les Bactéries représentées par de petits traits très nombreux sont accumulées dans la région rouge orangé et dans la région bleue du spectre.

M. Timiriazeff a comparé la chlorophylle à un *sensibilisateur* : on désigne ainsi des corps ayant la propriété d'absorber certaines radiations et de transporter le mouvement de l'éther sur les molécules d'une autre substance qui se décompose. C'est là une idée féconde des physiciens, de Jamin en particulier ; Herschell et Somerville ont établi que l'effet chimique provoqué par la lumière est dû aux rayons absorbés par la substance qui se décompose.

L'expérience suivante de Becquerel met en évidence le mode d'action de la chlorophylle comme sensibilisateur. On projette sur une plaque photographique l'image d'un spectre, et on voit que la lumière rouge ne produit pas d'impression : les rayons rouges ne sont pas absorbés par l'iodure d'argent. Mais, si au collodion on ajoute quelques gouttes de chlorophylle, l'impression de la bande d'absorption de la chlorophylle se produit dans la partie rouge.

La chlorophylle de la plante vivante procède de même, elle absorbe les rayons solaires et transmet l'énergie de leurs vibrations aux molécules d'acide carbonique.

D'après Abney, il faut qu'en agissant, le sensibilisateur se décompose. Nous avons vu plus haut que la chlorophylle est décomposée par une lumière intense. Si l'intensité est trop grande, le grain de chlorophylle est tué, mais il n'en est pas toujours ainsi ; d'après les recherches de M. Wiesner et de M. Batalin, il peut y avoir régénération de la chlorophylle. Cette régénération du pigment n'est pas sans analogie avec la régénération du pourpre de la rétine dans l'acte visuel.

Un fait confirme d'ailleurs bien le rôle capital que jouent les rayons absorbés par une dissolution de chlorophylle. Si on cherche à faire végéter une plante derrière une telle dissolution, on n'y parvient pas, et la plante meurt. Cela se conçoit, puisque les seuls rayons essentiels pour la plante sont ceux restés dans la dissolution (1).

Grâce à cette action de la lumière, le carbone de l'atmosphère est fixé, et la plante augmente de poids. La lumière doit avoir une importance particulièrement grande dans les régions polaires où la durée de la végétation est courte ; la forte intensité de l'action solaire compense en partie cette

1 Expérience de Paul BERT et de M. REGNAULT.

brièveté. L'éclairement continu a d'ailleurs un effet très remarquable sur le développement. Sachs le démontre en éclairant des plantes d'une manière continue pendant quatorze heures ; il voit, au bout de ce temps, que l'augmentation de poids est quatre fois plus grande que celle observée sur les plantes semblables éclairées seulement sept heures. Les plantes du premier lot, c'est-à-dire celles constamment éclairées, fleurissent et portent des fruits, tandis que celles du second, soumises à un éclairement discontinu, ne portent même pas de bourgeons à fleurs.

On conçoit, d'après cela, combien doit être considérable l'action de la lumière continue de l'été polaire. M. Curtel a d'ailleurs démontré que, pendant ce long crépuscule qui constitue les nuits norvégiennes (qui sont séparées par quelques instants à peine, aux mois de juin, juillet et août, de l'aurore du lendemain), l'assimilation chlorophyllienne continue activement.

Nous venons de voir que les rayons absorbés par la chlorophylle servent à la décomposition de l'acide carbonique. Leur rôle ne se borne pas là ; ils peuvent également intervenir dans le phénomène de vaporisation de l'eau contenue dans la plante.

Chlorovaporisation. — L'énergie solaire absorbée par le pigment doit donc se diviser en deux : la première partie est consacrée à décomposer l'acide carbonique, la seconde à transformer l'eau en vapeur. C'est ce dernier phénomène que M. Van Tieghem a su si nettement distinguer sous le nom de chlorovaporisation ; il se distingue de la transpiration proprement dite, qui est un simple phénomène protoplasmique, tandis que celui-ci est chlorophyllien. D'après cette conception, quand la nutrition carbonique est faible, la chlorovaporisation devra augmenter et diminuer quand elle sera forte. C'est ce que M. Jumelle a observé dans de très intéressantes expériences : dans une atmosphère sans acide carbonique, la chlorovaporisation augmente ; dans une atmosphère contenant beaucoup d'acide carbonique (8 pour 100, c'est-à-dire la proportion d'acide carbonique pour laquelle la plante assimile le plus), la chlorovaporisation est diminuée. Enfin, si l'on anesthésie la plante, l'assimilation du carbone est abolie et la chlorovaporisation est notablement augmentée.

L'examen que nous venons de faire de ces deux fonctions capitales de la plante, l'assimilation du carbone d'une part, et la chlorovaporisation de l'autre, nous expliquent le mécanisme général de la nutrition du végétal. C'est grâce à ce grand rejet d'eau que les sels du sol (appelés dans les racines par osmose) s'élèvent dans la tige jusqu'aux feuilles. Le carbone séparé de son acide forme avec l'eau divers composés comme le glucose, l'amidon, qui jouent un rôle si fondamental dans le développement de la plante. Or, sans lumière, aucun de ces phénomènes ne se produirait; nous n'exagérons donc pas en disant que sans soleil les végétaux n'existeraient pas.

Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que de la matière verte qui est l'agent de cette nutrition; son existence est presque générale dans le règne végétal; son universalité donne aussi à la fonction que nous venons d'étudier une immense importance.

Cependant la chlorophylle n'est pas le seul pigment connu dans les plantes; il en est plusieurs autres, et ceux qui existent, en particulier chez les Algues, méritent une mention spéciale.

Pigments des Algues. — On distingue les Algues en quatre groupes d'après la couleur de leur pigment. En dehors des Algues vertes qui ne contiennent que la chlorophylle, on distingue :

Les Algues bleues, qui ont de la phycocyanine ;

Les Algues brunes, qui ont de la phycophéine ;

Les Algues rouges, qui ont de la phycoérythrine.

Ces pigments n'excluent pas la chlorophylle, et, lorsque les plantes sont mortes et que le pigment caractéristique de chacune se dissout, on voit apparaître la couleur verte fondamentale qui était masquée jusque-là.

Ces diverses sortes d'Algues de couleurs différentes se rencontrent dans la mer. Elles s'y distribuent d'une manière curieuse qui a depuis longtemps frappé les observateurs. Dès 1836, Agardh (en même temps que Lyngbye) avait remarqué que les Algues voisines de la surface de l'eau sont surtout vertes; à une profondeur notable, les Algues rouges prédominent; dans une zone intermédiaire entre la surface et les grandes profondeurs s'observent les Algues brunes. Ces ré-

sultats curieux concernant la distribution de ces végétaux dans la mer ont été confirmés par OErsted en 1844.

M. Engelmann, en appliquant à l'étude des plantes précédentes la méthode si ingénieuse des Bactéries qui lui a servi à montrer que les rayons absorbés par la chlorophylle sont justement ceux qui produisent la décomposition de l'acide carbonique, est arrivé à expliquer le mode si spécial de distribution que nous venons de signaler.

La phycocyanine présente une raie d'absorption dans le jaune; la phycophéine, dans le vert; la phycoérythrine, dans le vert près du bleu.

Si l'on divise le spectre en deux moitiés et si l'on désigne par A_r l'absorption de l'acide carbonique dans la moitié du spectre où se trouve le rouge et par A_b l'absorption de l'acide carbonique de la moitié du spectre où se trouve le bleu, M. Engelmann a trouvé pour les Algues vertes que le rapport $\frac{A_r}{A_b} = 1$.

Cherchant à déterminer ce même rapport pour les autres Algues, il trouve les valeurs suivantes :

Algues bleues.	$\frac{1}{0,53}$
Algues vertes.	$\frac{1}{1}$
Algues brunes	$\frac{1}{1,18}$
Algues rouges.	$\frac{1}{2,48}$

Pour les Algues rouges, l'assimilation dans le bleu (1) est plus forte que l'assimilation dans le rouge : les Algues rouges ont donc plus besoin des rayons bleus que des rayons rouges. Ceci explique pourquoi on les trouve seules à partir d'une certaine profondeur dans la mer puisque nous avons vu que le rayon lumineux, en s'enfonçant dans l'eau, se dépouille d'abord peu à peu de sa lumière rouge.

D'après la succession que l'on remarque dans le tableau

(1) Nous sous-entendons les radiations voisines.

précédent, on doit rencontrer à mesure que l'on se rapproche de la surface de l'eau, après les Algues rouges, d'abord les Algues brunes, puis les vertes et enfin les bleues. C'est, en effet, ce que l'on vérifie en gros (1). A marée basse, le rivage est à peu près bordé de quatre bandes concentriques de Cryptogames qui correspondent à la succession des couleurs précédemment indiquées.

Les divisions de la flore littorale adoptées par M. Kjellmann

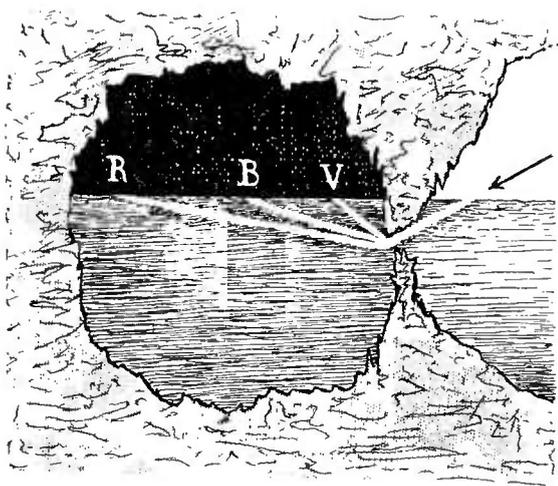


FIG. 27. — Grotte éclairée par un orifice qui est sous l'eau. V, partie superficielle de l'eau où prédominent les Algues vertes; B, région où sont surtout les Algues brunes; R, région où n'existent plus que des Algues rouges.

concordent de même approximativement avec ces résultats.

Il a été amené à y distinguer trois régions : la zone *littorale*, découverte entre deux marées, dans laquelle on rencontre surtout des Algues vertes, des Algues brunes et quelques Algues rouges ; la zone *sublittorale*, qui va jusqu'à 40 mètres, dans laquelle disparaissent les Algues vertes, où les Algues rouges deviennent de plus en plus

nombreuses avec la profondeur ; la zone *elittorale* qui s'étend jusqu'à 400 mètres, où se trouvent des Algues rouges seulement (2).

Ces dernières plantes peuvent d'ailleurs végéter en très grand nombre à la surface de l'eau, dans les grottes obscures, comme celle *del Tuono* étudiée par M. Falkenberg. Une grotte n'étant éclairée que par un orifice situé sous l'eau (fig. 27), la lumière qui parvient à la surface du liquide dans les régions éloignées de l'entrée a dû traverser une épaisse couche liquide. En se rapprochant du point par lequel

(1) FALKENBERG, WYVILLE THOMSON.

(2) On peut consulter également sur cette question le travail de M. VOGES.

la lumière arrive, l'épaisseur de liquide que doit franchir le rayon incident devient de plus en plus faible, on voit successivement prédominer les Algues brunes, puis les Algues vertes ; tandis que les Algues rouges se multiplient de plus en plus dans les régions superficielles situées au fond de la grotte.

Si l'on étudie également la nature des Algues qui s'associent régulièrement avec certains animaux de façon à constituer ce que l'on appelle des symbioses ou associations à bénéfice réciproque, on ne peut s'empêcher d'être frappé de leur changement de teinte à mesure qu'augmente la profondeur moyenne à laquelle vit l'animal. Les Zooxanthelles d'un *vert jaunâtre* se rencontrent exclusivement sur des Radiolaires, des Siphonophores, des Rhizostomes, des Globigérines qui vivent à la surface de la mer. Les Zooxanthelles *brunes* s'observent sur des Actinies vivant à de faibles profondeurs. Enfin des Algues *rouges* ont été signalées sur des Spongiaires comme les *Myxella* qui croissent entre 13 et 35 mètres (1).

Tous les faits plaident, comme on le voit, assez bien en faveur de la théorie de M. Engelmann (2).

Suivant les mers, la profondeur à laquelle les Algues peuvent s'enfoncer présente les plus importantes variations. Dans l'Océan Glacial et le Cattegat, leur limite est à peu près 40 mètres ; mais on peut rencontrer quelques formes errantes jusqu'à 120 et 150 mètres. On a signalé, en d'autres points du globe, quelques végétaux sous-marins jusqu'à 400 mètres de la surface, mais on remarque alors des changements dans leur aspect, un rabougrissement, une diminution de taille qui ont déjà été mentionnés par Lyngbye et que M. Kjellmann a eu l'occasion également d'observer en 1878.

Il y aurait évidemment des recherches intéressantes à faire dans cette direction. L'étude de ces formes des grandes pro-

(1) Ces observations sont dues à M. BRANDT.

(2) M. OLTMANNS est cependant d'avis que l'hypothèse de ce savant n'est pas fondée. Il a remarqué, en effet, ainsi que nous l'avons dit plus haut, par l'étude spectroscopique directe faite à l'aide de tubes d'eau de mer de plusieurs mètres de long, que, si les rayons rouges sont d'abord absorbés, les rayons de l'autre extrémité du spectre le sont bientôt également. L'eau de mer jouerait, selon lui, un simple rôle d'écran qui ne contribuerait pas au triage des radiations, mais ferait simplement de l'ombre. Les expériences qu'il a faites ne nous paraissent cependant pas suffisantes pour renverser les résultats obtenus par M. ENGELMANN grâce à sa méthode si précise et si délicate.

fondeurs révélera, à n'en pas douter, des variétés, peut-être des races adaptées à cette vie pour ainsi dire sans lumière.

Comment en serait-il autrement, alors que les études zoologiques des grands fonds marins ont révélé des faits si curieux, des adaptations si étranges ! N'est-ce pas parmi ces êtres que l'on a vu les organes visuels s'atrophier peu à peu, à mesure que l'être vivait plus loin de la surface, c'est-à-dire à une obscurité de plus en plus complète ? Ne doit-on pas également regarder comme des modifications en rapport avec le mode

de vie, la présence, au contraire, d'yeux énormes lorsque la tête de l'animal porte au voisinage une sorte de lanterne, un organe phosphorescent qui éclaire ces êtres en quête d'une proie ?

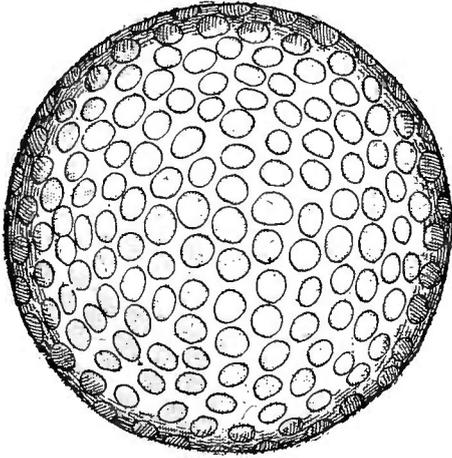


FIG. 28. — *Halosphaera viridis*, Proto-coccoïdée trouvée entre 1.000 et 2.000 mètres de profondeur dans la mer.

Les végétaux ne s'observent presque jamais dans ces abîmes où l'animalité pullule. Les Bactéries font cependant exception à la règle générale, on en a rencontré un certain nombre d'espèces à 800 ou 1.100 mètres de profondeur, mais c'est entre 200 et 400 mètres que ces formes abondent ; elles sont en général spiralées, mobiles et souvent phosphorescentes. Qu'indique ce dernier phénomène et pourquoi est-il répandu ? C'est ce qu'on ne saurait dire dans l'état actuel de nos connaissances.

La présence de Bactéries, loin de toute lumière, ne doit pas nous étonner, car ces plantes comme les Champignons peuvent parfaitement végéter à l'obscurité. Il n'en est plus de même quand il s'agit d'une plante à chlorophylle : aussi on ne s'explique guère la présence d'une Algue verte, que l'on a rencontrée entre 1.000 et 2.200 mètres de profondeur. Cette Algue est l'*Halosphaera viridis* ; elle appartient au groupe des Proto-coccoïdées (fig. 28), elle est donc, bien que verte, susceptible de se passer de lumière. On pourrait attribuer à un accident, par exemple à un courant, la rencontre de cette plante dans les draguages opérés si loin de la surface ;

mais cette explication ne semble pas convenir, car la même observation a été faite dans l'océan Atlantique, lors de l'expédition du *Plankton*, en 1889, et au cours de l'exploration de la *Pola* dans la Méditerranée orientale, en 1890. Cette découverte a donc une certaine portée, elle nous prouve qu'il peut exister des races de plantes vertes vivant à l'obscurité complète et susceptibles cependant de produire encore héréditairement le pigment chlorophyllien qui n'a plus aucune fonction pour elles, au moins d'après les données actuelles de la science.

En dehors des pigments rouges et bruns que nous venons d'étudier chez les plantes marines, qui sont peut-être le résultat d'adaptations spéciales à la vie aquatique, nous rencontrons chez les plantes terrestres d'autres pigments qui paraissent jouer un rôle tout différent.

Anthocyane. — On a désigné sous le nom d'anthocyane une matière rouge-pourpre ou rouge-violacé, qui existe dans l'épiderme (1) des feuilles de beaucoup de plantes aériennes (fig. 29). Peut-être, comme pour la chlorophylle, se cache-t-il plusieurs substances distinctes sous une appellation unique.

Son rôle paraît être celui d'un modérateur de l'action du soleil. Nous avons dit plus haut que, par une intensité lumineuse très forte, la chlorophylle est détruite sans possibilité de régénération, ce qui cause un dommage grave à la plante. On conçoit, d'après cela, qu'une variété, qui aura accidentellement produit dans son feuillage un pigment pourpre qui atténue la lumière, offrira dans certains pays sur ses congénères un avantage incontestable.

Ces variétés s'observent assez communément pour un certain nombre d'arbres tels que les Hêtres, les Bouleaux, les Sycomores. Si l'on compare les échanges gazeux qui s'opèrent à surfaces égales, dans les feuilles d'un pareil arbre à feuilles brun-pourpre et dans celles de l'arbre normal à feuilles vertes, on aperçoit immédiatement une différence en faveur des secondes. L'expérience a été faite par M. Jumelle, qui a vu que la décomposition de l'acide carbonique par la plante type était plus grande que celle due à sa variété.

L'arbre à feuillage pourpre peut présenter, dans certains

(1) Quelquefois dans les tissus plus profonds.

pays, une supériorité notable vis-à-vis du végétal vert, aussi la variation pourra-t-elle alors se maintenir. Ce caractère deviendra héréditaire ; c'est ce qui est arrivé à certaines espèces tropicales exposées à l'action solaire directe (1).

Dans ces dernières plantes, le mode de développement de la substance colorante justifie d'ailleurs bien son rôle. Comme pour la chlorophylle, c'est encore la lumière qui favorise son apparition, l'écran se produit on peut presque dire dès que sa présence devient nécessaire (2).

Cet écran n'est d'ailleurs pas tellement épais que derrière lui la plante se trouve pour ainsi dire à l'obscurité ; il atténue

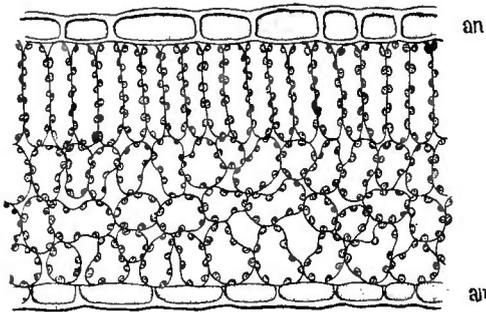


FIG. 29.— Section d'une feuille pourpre de Hêtre dans laquelle l'anthocyane *an* est localisée dans l'épiderme.

la lumière et empêche la destruction de la chlorophylle, mais il n'entrave cependant pas le passage des rayons actifs pour la décomposition de l'acide carbonique. C'est là un de ces faits qui trahissent l'harmonie cachée qui s'observe dans l'organisation la plus

intime des êtres. Il a été mis

en évidence par l'étude du spectre de l'anthocyane qui

est à peu près complémentaire de celui de la chlorophylle. M. Engelmann a montré qu'une solution de la matière rouge laisse passer surtout les rayons rouges qui sont les plus indispensables pour l'assimilation du carbone.

L'harmonie que nous constatons ainsi entre l'être et les conditions dans lesquelles il vit, ne doit être cherchée, selon nous, que dans une adaptation progressive et de plus en plus parfaite de l'être au milieu qui l'entoure ; nous aurons l'occasion de le constater d'ailleurs bien souvent dans le cours de cet ouvrage.

L'écran rouge que les plantes ont perfectionné par sélection dans le cours des générations est donc adapté à deux

(1) D'après MM. JOHNSON et PICK.

(2) Ce résultat a été vérifié par les nombreuses recherches faites sur le Sarrasin, l'Onagre, l'Eupatoire, etc., par MM. SCHELL, BATALIN, LANDEL et GAIN.

fins : laisser passer la lumière utile, arrêter celle qui peut nuire.

Ce dernier point a d'ailleurs été vérifié par une expérience de M. Kny. En plaçant de la chlorophylle derrière une solution d'anthocyane extraite de la Betterave vulgaire (variété *rubra*), ce pigment vert reste indécomposé par la lumière, ce qui n'arrive pas d'ordinaire.

M. Kerner von Marilaun a été amené à penser, par une série d'ingénieuses remarques, que le rôle important que nous venons de reconnaître à l'anthocyane n'est pas le seul et que cette matière, loin de fonctionner comme écran, paraît souvent servir surtout à convertir les rayons lumineux du soleil en rayons calorifiques.

Quand c'est l'épiderme supérieur des feuilles qui est coloré en rouge, on conçoit très bien que l'anthocyane agisse comme écran ; mais, quand c'est l'épiderme inférieur qui seul présente ce pigment, il ne peut plus en être de même. Or c'est ce qui arrive pour un certain nombre de végétaux comme les *Cyclamen*, *Soldanella*, *Saxifraga*, etc. Ces plantes ont le plus souvent des rosettes de feuilles qui subsistent pendant l'hiver, qui doivent craindre le froid par conséquent.

La même coloration rouge se retrouve chez les plantes qui se développent à l'ombre et qui n'ont qu'un faible besoin de lumière (*Begonia*, *Tradescantia*). Une localisation semblable de l'anthocyane sur la face inférieure s'observe chez les feuilles d'un certain nombre de plantes nageantes. Le pigment se remarque quelquefois sur les deux faces des feuilles de plantes qui se développent au printemps, à basse température (*Saxifraga tridactylites*). Enfin dans les montagnes, des espèces de teinte foncée, d'un violet pourpre presque noir, comme les *Carex nigra* et *atrata*, *Juncus Jacquinii*, etc., se rencontrent surtout au voisinage de la neige en des points protégés ou non contre le soleil ; dans plusieurs de ces plantes, la coloration des écailles ne sert évidemment pas à protéger la chlorophylle, puisqu'elles n'en contiennent pas.

Une expérience de M. Kny paraît plaider en faveur de l'hypothèse de M. Kerner. Il place des feuilles vertes et rouges de deux individus d'une même espèce derrière une dissolution d'alun et les expose à l'action du soleil. La dissolution d'alun a pour effet d'arrêter tous les rayons calorifiques, par consé-

quent les rayons solaires ne doivent pas élever le thermomètre derrière cette dissolution. Or on constate que la différence des températures marquées par des thermomètres placés derrière les feuilles rouges et derrière les feuilles vertes est de 4. Il en résulte donc que la feuille rouge a dû transformer les radiations lumineuses ou chimiques qui l'ont traversée en radiations calorifiques.

Dans toutes les questions que nous venons de passer en revue, nous avons examiné les fonctions intimement liées à la lumière et qui n'existent pour ainsi dire que par elle. Il est, on le sait, une fonction plus fondamentale, plus générale, qui existe chez tous les êtres vivants et qui ne semble pas dépendre du soleil, c'est la respiration. Un animal aussi bien qu'un végétal respirent à l'obscurité, et c'est par les échanges gazeux que la vie se manifeste. On peut même dire que la respiration est la fonction universelle par excellence. N'a-t-elle rien cependant de commun avec la lumière ?

Respiration et lumière. — On pouvait penser a priori qu'il n'y avait aucun rapport entre le phénomène respiratoire et la radiation lumineuse ; les expériences de MM. Bonnier et Mangin ont établi pourtant que la lumière a une action retardatrice sur la respiration.

L'explication de ce retard peut être entrevue si l'on étudie quelle est l'influence des diverses radiations lumineuses sur le phénomène. L'action retardatrice de la lumière change, en effet, avec la réfrangibilité : elle est forte dans les rayons rouges et jaunes, plus faible dans les rayons bleus et violets, nulle dans les rayons intermédiaires, c'est-à-dire dans les rayons verts. Ces variations nous apprennent que le retard de respiration varie en fonction de la réfrangibilité à peu près comme le retard de croissance.

Cette relation de la respiration et de la croissance se manifeste d'ailleurs par l'étude de la synthèse organique. M. Elfving a obtenu sur cette question des résultats très intéressants. En nourrissant des moisissures comme le *Penicillum* ou un *Briarea* avec de la dextrine, de l'acide malique, de la mannite, il constate que la production de matière organique à la lumière est moitié moindre qu'à l'obscurité ; notons que, dans ce cas, la constitution de l'aliment est très éloignée de la composition du protoplasma. Si l'on nourrit au contraire ces

mêmes Champignons avec de la peptone, de l'asparagine, corps beaucoup plus voisins du protoplasma, la synthèse organique est à peu près la même à la lumière et à l'obscurité. Si, au lieu d'étudier la synthèse organique dans les deux expériences précédentes, on cherche quelle est la variation de la respiration, on voit qu'elle est seulement retardée si l'on nourrit la moisissure avec des substances très éloignées du protoplasma, comme la dextrose ou la mannite; il n'y a plus de retard si l'aliment est de la peptone et de l'asparagine (1).

Respiration et croissance sont donc deux phénomènes connexes.

La lumière retardant la croissance ralentit aussi la respiration. Cette étude nous apprend que la fonction respiratoire dépend de la nutrition, et qu'elle a un lien intime avec les agents extérieurs.

Les fonctions des êtres vivants sont donc soumises aux conditions de milieu, comme la forme extérieure et comme la structure interne; elles doivent évoluer quand tout change autour de l'animal ou du végétal. Tel organe ou telle substance qui avaient un rôle chez les ancêtres n'en ont plus maintenant, et l'exemple de *Halosphæra viridis*, dont il a été question plus haut, est caractéristique à cet égard. C'est ainsi que peuvent s'expliquer l'existence d'organes rudimentaires qui s'atrophient lorsque la fonction pour laquelle ils ont été créés vient à faire défaut: rudiment d'œil chez un animal aveugle, ébauche de dents chez l'embryon d'animaux qui seront toujours édentés à l'âge adulte.

Physiologie et Morphologie ne doivent donc pas être séparées; le morcellement de la science, qui est indispensable pour l'acquisition des faits précis et nouveaux, ne doit pas empêcher les rapprochements des diverses parties du savoir qui peuvent et doivent toujours s'aider mutuellement.

(1) Les recherches si curieuses de M. PALLADINE montrent que l'intensité de la respiration est proportionnelle à la quantité d'azote du protoplasma actif.

CHAPITRE XI

MOUVEMENTS DES VÉGÉTAUX ET ÉTUDE DE LA CROISSANCE

Mouvements. — On disait volontiers autrefois : les végétaux *vivent*, les animaux *sentent*, l'homme *pense* ; d'où découlait l'idée de scinder l'empire organique en trois règnes : le règne végétal, le règne animal et le règne humain. Nous n'avons pas à nous occuper ici du bien-fondé de cette division, contre laquelle protesteraient probablement les animaux s'ils en avaient les moyens et qui semble introduire dans la science l'erreur anthropocentrique qui a fait croire à l'homme que l'univers avait été créé pour lui. Nous voulons seulement insister sur la distinction en animaux et végétaux fondée sur la sensibilité. Quand l'attention se porte sur les animaux inférieurs, on s'aperçoit vite que la sensibilité est très dégradée chez eux et ressemble beaucoup à ce que l'on pourrait désigner sous ce nom chez les végétaux inférieurs.

Plaçons dans un cristalliseur des zoospores (1) ou des Algues unicellulaires mobiles telles que les Desmidiées (Closterie, fig. 30) et éclairons le vase d'un côté. Suivant l'intensité de la source lumineuse, nous constaterons des phénomènes divers : avec un éclairage faible, nous verrons les petits corps mobiles s'accumuler en grand nombre contre la paroi qui est vers la source ; avec une lumière forte, l'agglomération aura lieu sur la face opposée ; entre ces deux extrêmes, on peut trouver un éclairage moyen qui laisse les corps mobiles indifférents (2).

(1) Organes reproducteurs asexués de Champignons ou d'Algues.

(2) Ces faits maintenant classiques ont été établis surtout par les recherches de M. STRASBURGER, de STAHL, etc.

Les organismes mobiles semblent avoir la propriété de distinguer la lumière qui leur convient le mieux ; on met d'ailleurs ce fait nettement en évidence en plaçant devant un récipient qui contient des Volvocs (fig. 31), un prisme fait à l'aide de lames de verre entre lesquelles on a coulé de la



FIG. 30.— Clostérie,
Algue mobile du
groupe des Des-
midiées.

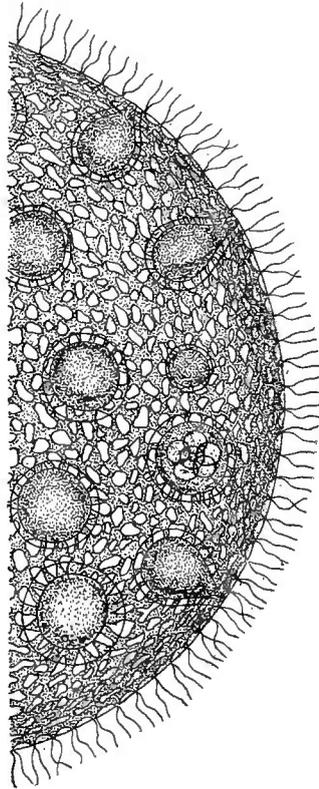


FIG. 31. — Volvoce (moitié
d'une de ces plantes).

gélatine noircie avec de l'encre de Chine. D'après l'angle de ces deux plaques, le prisme peut laisser passer plus ou moins de lumière ; l'intensité lumineuse décroît d'ailleurs à partir de l'arête du prisme. Une fois ce prisme au-dessus du cristalliseur à Volvocs, on voit bientôt les individus, qui nageaient au hasard dans l'eau, se rassembler en deux petits nuages. Vers l'arête du prisme, là où l'intensité de la lumière est encore assez forte sont les individus asexués ; les individus femelles sont situés un peu plus loin ; ils forment des

files de cinquante à vingt individus dans le second cas. Le conducteur de chaque file, après s'être agité sur place en présentant un mouvement de rotation autour de son axe, arrête ses mouvements puis tombe entraîné par la pesanteur; mais avant d'arriver au fond du vase, il se relève et se remet à la queue de la file qu'il vient de quitter. Le second individu de la file en devient alors le conducteur.

Il se produit ainsi un mouvement incessant qui se maintient avec les mêmes caractères tant que l'intensité lumineuse reste constante. Si l'intensité lumineuse est modifiée, chaque individu cherche de nouveau la position de lumière optimale. Les *Volvox* possèdent donc une sensibilité photométrique très remarquable et qui est différente pour les individus asexués et pour les individus femelles (1).

Ces besoins de lumière amènent ces êtres microscopiques à se déplacer dans le milieu ordinaire où ils vivent, et ils ont ainsi des chances de se rencontrer et de se féconder.

On a entrevu des phénomènes analogues pour les Ulvacées : les zoospores sont attirées vers la lumière ; les gamètes, c'est-à-dire les éléments sexués, la fuient au contraire. En recherchant ainsi le fond de la mer et les rochers qui s'y rencontrent, ces gamètes se trouvent donc, au moment où ils se fusionnent pour donner un œuf, au contact de la pierre sur laquelle ils doivent se développer (2).

Que conclure de ces expériences sinon qu'il y a une sorte de sensibilité ou d'irritabilité chez les végétaux comme chez les animaux, et qu'il faut chercher un autre caractère pour distinguer les deux règnes ?

Cette remarque a un autre intérêt. Nous avons eu l'occasion de dire que Lamarek, cherchant à comprendre la variabilité des êtres vivants, avait été amené à en expliquer différemment l'origine selon qu'il s'agissait des animaux ou des végétaux.

Selon lui, l'action du milieu rend compte des modifications des plantes ; il fait, au contraire, intervenir une autre cause de transformations pour les animaux, qui est l'usage et le défaut d'exercice des organes. Par l'usage ou l'habitude,

(1) D'après M. OLTMANN.

(2) D'après M. BORZI.

l'animal peut modifier ses organes ; en se servant d'un muscle, il le développe ; en le laissant sans emploi, il l'atrophie, et c'est sa sensibilité qui le pousse à agir d'une façon ou d'une autre. C'est donc la notion de sensibilité qui a conduit Lamarck à chercher une explication spéciale pour les animaux. L'idée d'attribuer à deux causes les variations des deux règnes nous surprend aujourd'hui, avons-nous dit, et les faits que nous venons de mentionner justifient cette manière de voir : si une explication s'applique aux uns, elle sera probablement vraie pour les autres.

Quoi qu'il en soit, l'étude des organismes mobiles nous révèle chez les plantes inférieures des phénomènes très accusés d'irritabilité. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire que le végétal étudié soit mobile pour faire naître en notre esprit une telle conviction.

Grâce à la méthode du prisme de gélatine mentionnée plus haut, on peut apprécier avec précision, à l'aide de certaines Algues, ce que l'on a appelé le *plagiophototropisme* (1). Si l'on expérimente avec un *Mesocarpus*, c'est-à-dire avec une Algue filamenteuse contenant une lame médiane de chlorophylle, on voit que pour des intensités lumineuses fortes et décroissantes qui pourront être représentées par

$$I_{n+p}, I_{n+p-1}, \dots, I_{n+1}, I_n$$

la lame chlorophyllienne se met dans la direction du rayon lumineux. Mais, à partir de la valeur I_{n-1} , la lame se déplace et on voit l'angle augmenter progressivement pour les valeurs

$$I_{n-1}, I_{n-2}, \dots, I_{n-q}$$

Pour la valeur I_{n-q} , la lame a tourné de 90° , la chlorophylle est perpendiculaire au rayon lumineux, elle a passé de la position de profil à la position de face. La plante est devenue plagiophototropique tandis que le *Volvox* est toujours orthophototropique, car les individus se placent toujours les uns à la suite des autres dans la situation de profil.

Le contenu de la cellule qui, dans cette Algue, est emprisonné dans une membrane rigide est donc sensible à l'action de la lumière comme la Desmidiée mobile, mais pour mettre en

(1) OLTMANN'S.

évidence cette irritabilité, il faut prendre un peu plus de précautions.

Ces phénomènes ne sont pas d'ailleurs l'apanage des végétaux inférieurs qui ressemblent le plus aux animaux, on les retrouve dans les feuilles des Mousses et des plantes supérieures. Ils se traduisent par des changements dans la répartition des grains de chlorophylle durant le jour et la nuit. Pendant le jour, les feuilles pâlisent, cela tient à ce que les grains verts, pour éviter une lumière trop intense, se mettent les uns derrière les autres, accolés contre la paroi perpendiculaire à la surface de la feuille ; à l'ombre, ils abandonnent partiellement

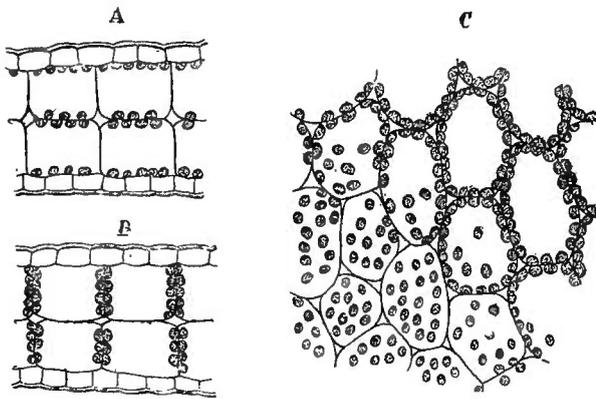


FIG. 32, 33 et 34. — A, position de nuit; B, position de jour; C, vue superficielle d'une feuille dont la partie droite et supérieure est éclairée, et dont la partie gauche et inférieure est dans l'ombre.

lement cette position et la quittent tout à fait à l'obscurité (fig. 32, 33 et 34).

A côté des deux sortes de mouvements précédents qui sont nettement dus à l'irritabilité protoplasmique, nous devons en signaler une troisième ayant une tout autre cause.

On a remarqué depuis longtemps qu'un grand nombre de végétaux prennent à la lumière une position de veille et à l'obscurité une position de sommeil (fig. 35, 36 et 37). Ces mouvements sont le résultat de changements qui se produisent dans la turgescence des régions renflées qui se trouvent à la base soit du pétiole général, soit des pétioles secondaires des feuilles ; on appelle aussi ces parties des renflements moteurs. A la lumière, ils sont flasques ; à l'obscurité, ils deviennent durs et sont gonflés d'eau.

Ces variations de la répartition de l'eau dans le végétal sont en rapport avec la chlorovaporisation. Ce phénomène, nous l'avons déjà vu, est une fonction chlorophyllienne qui dépend donc de la lumière ; quand la lumière est supprimée, il ne reste plus que le phénomène transpiratoire proprement dit

dont l'intensité est beaucoup plus faible : pour donner une idée de la variation, nous dirons que, si la vapeur d'eau dégagée à la lumière est de 80 grammes, à l'obscurité le poids correspondant de vapeur d'eau rejetée sera de 1 gramme. On conçoit, d'après cela, que la disparition du soleil au-dessous de l'horizon amène un changement profond dans le dégagement de vapeur d'eau ; mais l'eau, par vitesse acquise, continue à monter des racines, ne pouvant échapper au dehors sous forme de vapeur, elle se répartit partout où elle peut s'accumuler et en particulier dans les renflements moteurs qui se gonflent et font basculer les feuilles entières ou les folioles.

Si l'on examine la structure anatomique des renflements, on y trouve des cellules épidermiques et corticales (face externe) plus épaisses et beaucoup plus longues que celles du cylindre central (face interne). A l'état de veille, les cellules des deux faces sont également comprimées ; à l'état de sommeil,

l'équilibre est rompu : les parois des cellules de la partie convexe se gonflent et reprennent leur volume normal, celles de la partie concave étant minces restent comprimées (1).

Les mouvements que nous venons de décrire n'existent pas chez toutes les plantes. Il est vraisemblable d'admettre que, s'ils sont très développés chez un certain nombre, c'est qu'ils offrent un avantage marqué pour elles. Le repliement des feuilles pendant la nuit a pour résultat évident de diminuer le rayonnement nocturne et par suite de réduire au minimum le refroidissement de la feuille. Si on oblige une plante, qui rabat d'ordinaire ses folioles, à les tenir étalées pendant la nuit, on voit la rosée s'y déposer en plus

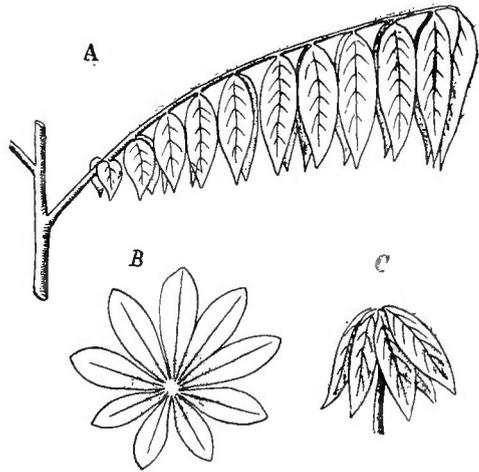


FIG. 35 à 37.— A, position de sommeil d'une feuille composée (*Averrhoa*) ; B, position de veille d'une feuille de Lupin ; C, position de sommeil de la feuille précédente

(1) M. LECLERC DU SABLON a donné cette intéressante explication.

grande abondance. Ainsi donc, en reployant ses feuilles, la plante se protège contre les froids de la nuit. Dans certains cas, ce seul caractère peut contribuer à lui assurer la survie parmi des individus moins bien armés contre le milieu.

La théorie de la sélection de Darwin permet donc encore d'entrevoir une explication de l'origine du caractère précédent. Elle ne nous renseigne cependant pas, hâtons-nous de le dire, sur la cause de la variation qui a présenté un avantage pour la plante.

L'étude des mouvements que nous venons de faire est encore du domaine de la physiologie ; nous avons vu qu'il y en avait de deux sortes : les uns en rapport avec l'irritabilité protoplasmique, les autres dépendant de la chlorovaporation. On désigne souvent les premiers sous le nom de phénomènes *phototactiques* et les seconds sous le nom de phénomènes *nyctitropiques*. Il ne faut pas confondre le *phototactisme* dont nous venons de parler avec le *phototropisme*, dont nous nous occuperons plus loin après avoir étudié l'influence de la lumière sur la croissance.

Influence de la lumière sur la croissance. — Nous avons vu précédemment que la lumière avait une influence retardatrice sur la synthèse organique ainsi que sur la respiration et par cela même sur la croissance. C'est là un résultat que l'on vérifie aisément pour les tiges des plantes que l'on fait croître à l'obscurité. L'action de la lumière sur la croissance se manifeste surtout par l'étude des plantes étiolées, mais on peut aussi la mettre en évidence par l'examen des premiers stades du développement ou de la germination.

Action sur la germination. — La lumière, surtout quand elle n'est pas trop intense, peut avoir quelquefois un rôle utile, et elle peut contribuer à favoriser la germination de certaines plantes inférieures. C'est là un point qui a été mis en évidence par les recherches de Leitgeb sur le développement des spores des Hépatiques. Si l'on supprime la lumière, la germination n'a pas lieu ; si les spores sont exposées à la radiation du soleil, elles germent au contraire au bout de quelques jours (pour les *Duvalia* et *Preissia*, déjà au bout de quatre à six jours) ; si la lumière tombe au-dessous d'un certain minimum, tout se passe comme si la plante était à l'obscurité.

De Bary est arrivé à des résultats tout à fait différents en

étudiant la germination des zoospores des Péronosporées. Pour le *Peronospora macrospora*, les zoospores ne germent pas pendant le jour, tandis que le développement se manifeste à l'obscurité, au bout de quelques heures. Peut-être faut-il attribuer ce fait opposé au précédent à l'action de la lumière sur les corps ciliés : provoquant le mouvement de ces organismes mobiles, cet agent doit s'opposer à leur fixation et par cela même à leur germination. Il se peut d'ailleurs aussi que la lumière agisse autrement sur les spores incolores et sur les spores colorées en vert ; l'expérience suivante plaide en faveur de cette opinion.

S'adressant à une autre catégorie de Champignons ayant cette fois des spores immobiles et dépourvues de chlorophylle, M. Elfving a montré qu'une lumière intense (lumière du soleil de l'été) empêche la germination de l'*Aspergillus glaucus* ; cependant les spores ne sont pas tuées, même par insolation prolongée de quatre jours, car elles se développent quand on les porte ensuite à l'obscurité. La recherche précédente nous apprend ainsi combien est grande la résistance des spores immobiles, qui sont en somme des organes enkystés. Les premiers stades de la germination présentent, par contre, une sensibilité très grande à l'action de la lumière, qui tue la plante avec la plus grande facilité à ce moment. A un stade plus avancé de son évolution, l'*Aspergillus* offre enfin une résistance beaucoup plus grande.

M. Arloing a vu, au contraire, le mycélium de certaines Bactéries résister à l'action d'une lumière qui suffisait pour détruire les spores. On ne voit pas d'ordinaire les spores succomber plus facilement que l'appareil végétatif ; aussi peut-être l'expérience de M. Elfving permet-elle d'expliquer le résultat précédent : ce ne seraient pas les spores qui seraient tuées, mais les premiers stades de la germination. Cependant les Bactéries, comme l'a montré M. Roux, résistent beaucoup plus longtemps à l'action du soleil en milieu humide ; elles sont tuées rapidement quand elles sont exposées simultanément à l'action de l'air et de la lumière. Dans le premier cas, le début de la germination des spores, stade redoutable, serait plus rapidement franchi que dans le second. La conclusion pratique de ces remarques, c'est que l'air et le soleil jouent un rôle important dans la destruction des microbes.

Ainsi donc un des procédés les plus efficaces pour détruire les germes nuisibles consiste à éclairer et à aérer les endroits où ils peuvent pulluler. La lumière peut fortement contribuer à diminuer la maladie. Le soleil est le grand purificateur.

Il y a plus. Non seulement le soleil peut détruire les germes virulents, mais son action ménagée peut les modifier légèrement et faire naître des variétés physiologiques nouvelles qui, injectées dans le corps des animaux, peuvent les vacciner. C'est le procédé qu'a employé M. Arloing pour obtenir un vaccin du charbon. Nous pouvons même ajouter d'une façon générale que les vaccins sont des variétés plus ou moins stables des Bactéries les plus redoutables ; ces variétés se produisent sous l'influence de divers facteurs cosmiques, tels que la chaleur, la lumière, l'oxygène, etc. C'est par l'action prolongée de l'oxygène que Pasteur a obtenu le premier vaccin découvert scientifiquement, celui du choléra des Poules ; c'est en faisant agir la chaleur qu'il a préparé le vaccin du charbon.

La lumière, comme les autres facteurs, agit donc sur les germes, les détruit ou les transforme, et ces premiers changements peuvent retentir sur toute la vie de la plante. Combien doivent être profondes les altérations résultant pour les végétaux supérieurs d'un séjour prolongé à l'obscurité ; ceci nous amène à parler des plantes étiolées.

Plantes étiolées. — Les végétaux qui poussent à l'abri de la lumière ont un aspect très spécial, leur tige devient très longue, leurs feuilles par contre restent petites, jaunes et comme atrophiées (comparer les figures 38 et 39).

Il n'est pas nécessaire, pour que cet étiolement commence à se manifester, que l'obscurité soit complète, il suffit que la lumière soit faible. Il s'accusera par exemple dans l'ombre épaisse des forêts vierges tropicales, et l'on y verra les végétaux s'allonger énormément. La tige si fortement accrue de ces plantes ne pourra plus se soutenir dans l'air, elle tendra à s'appuyer sur tous les arbres voisins ; dès qu'elle aura rencontré un appui, elle continuera sa marche ascensionnelle en quête de lumière, qu'elle ne pourra trouver qu'à la couronne de la forêt. Ces plantes étiolées acquièrent quelquefois des dimensions presque fantastiques ; on peut suivre souvent une liane sur une très grande longueur sans rencontrer une feuille. L'atrophie des feuilles n'est que l'exagération d'un

phénomène dont nous pouvons constater le début dans les expériences que nous pouvons faire sur des plantes vivantes d'ordinaire en plein soleil, que nous étions à l'obscurité.

Plantes grimpantes (1). — La variation que nous venons de décrire s'est produite accidentellement quand le vent ou les oiseaux ont transporté par hasard dans la forêt vierge les graines d'une plante de la savane voisine. Tous les individus appartenant à une espèce se sont modifiés de la même manière (2), et la variation a été profonde dès le début. Par conséquent, ici encore, la sélection n'a pas à intervenir, ou plutôt c'est le milieu qui se charge de la faire en détruisant tous les êtres qui sont incapables de s'adapter à ces nouvelles conditions de vie. La variation une fois née s'est fixée peu à peu ; il s'est produit une variété, une race, puis probablement une espèce dans le sens linnéen du mot, du moins il y a tout lieu de le penser.

Parmi les plantes ainsi étioilées, beaucoup avortent parce qu'elles ne peuvent pas parvenir à la lumière pour fleurir et donner des graines. Celles-là seules triomphent qui sont pourvues d'organes, d'appendices qui se trouvent accidentellement favoriser la vie grimpante ; dans ce cas, évidemment

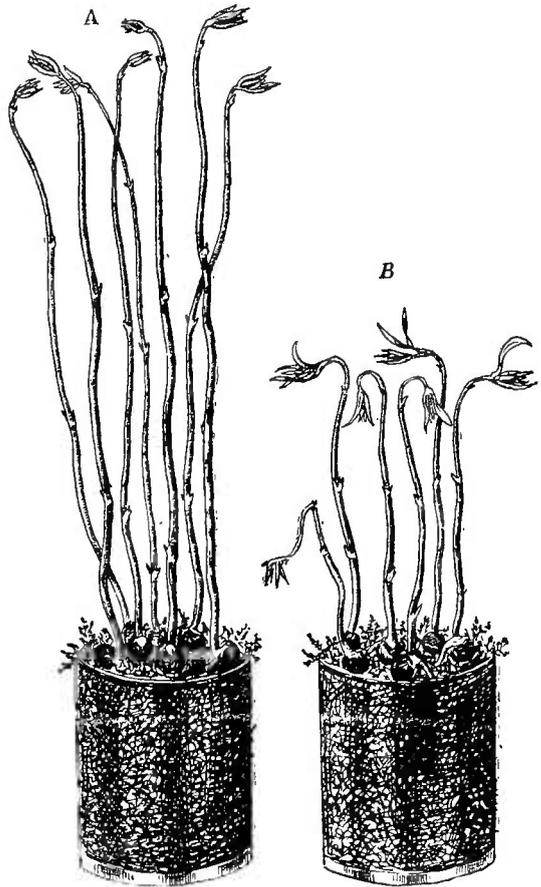


FIG. 38 et 39. — Deux germinations de Vesce l'une faite à l'obscurité, A ; l'autre à la lumière, B.

(1) Voir le travail si remarquable de M. SCHENCK.

(2) Au point de vue de l'allongement.

la sélection naturelle agit, mais encore comme facteur secondaire de l'évolution.

Ici, la plante se trouvera avoir de petites branches qui lui permettront de s'appuyer sur les arbres : c'est le cas du *Lycium barbarum*, qui peut ainsi atteindre plusieurs mètres de haut dans la forêt, au lieu de former un petit buisson à l'orée des bois.

Là, le végétal aura par hasard à sa surface de petits crochets, des aiguillons, des poils de nature variable qui lui permettront de s'accrocher plus aisément (Houblon, etc.)

Ces particularités, insignifiantes pour une plante ordinaire, acquièrent tout à coup une grande importance et assurent, presque à coup sûr, une postérité aux individus qui les possèdent. On entrevoit donc parfaitement comment ont pu se produire et se perfectionner peu à peu les caractères des plantes grimpantes.

En étudiant, à l'heure actuelle, ce curieux groupe biologique, nous le saisissons pour ainsi dire en train d'évoluer, car nous observons comme les stades divers de son perfectionnement.

D'abord, nous distinguons les plantes simplement étayées ; elles représentent certainement le degré le plus inférieur de la vie grimpante, mais parmi elles, quelques-unes ont des aiguillons ou des crochets, des branches courtes qui servent pour ainsi dire de mains, ce qui leur permet de s'adapter mieux à ce nouveau mode de vie (Calamus).

Au contact du support, peuvent naître des racines très particulières qui forment des crampons. Le Lierre peut être cité comme type de cette seconde catégorie de végétaux.

Mais le maximum de perfection se trouve réalisé quand la plante produit des vrilles ou quand elle devient volubile, ayant ainsi la propriété de s'enrouler autour des supports.

La formation des vrilles découle encore vraisemblablement de l'étiollement qui atrophie et allonge les pédoncules floraux ou les feuilles et les maintient à un stade jeune du développement où ils acquièrent et conservent longtemps une irritabilité qui se manifeste au contact d'un corps étranger, et à l'aide de laquelle l'enroulement de la vrille s'opère autour du support. Donner les raisons variées et multiples qui plaident en faveur de cette conception, nous entraînerait trop loin de l'objet particulier de la présente étude.

La volubilité, qui amène l'enroulement en spirale des lianes autour des arbres, des branches, des racines aériennes, de tout ce qu'elles rencontrent dans la forêt tropicale, dépend également de l'absence de lumière. Ce phénomène de la volubilité est intimement lié, comme on le sait, à celui de la circumnutation d'après lequel l'extrémité d'une de ces tiges décrit une spirale. Ce mouvement de la pointe est intimement lié à la croissance; à un moment donné, toutes les lignes génératrices d'une tige s'accroissent inégalement : l'une d'elles AB s'accroît très rapidement, tandis que la génératrice opposée CD (fig. 40) s'accroît très peu; il en résulte une inflexion de la pointe vers CD . Mais bientôt la génératrice de plus grande croissance se déplace, elle passe en $A'B'$ puis en $A''B''$, etc. (fig. 41); il en découle que la pointe de la tige s'infléchit successivement dans tous les plans verticaux passant par son axe, et que la pointe paraît décrire un cercle ou une spire surbaissée.

Ce phénomène de circumnutation s'observe chez beaucoup de plantes, mais il est surtout manifeste dans les espèces volubiles, qui s'enroulent autour des supports, et qui gardent indéfiniment leur position spiralée.

Or l'étiollement paraît exagérer ou même faire naître le phénomène de nutation; cela résulte de l'expérience de M. Noll, qui confirme une remarque faite antérieurement par Sachs. Les plantes qui ont été l'objet d'expériences (*Polygonum*, *Fagopyrum*, *Tropæolum*) ont montré à l'obscurité une capacité rotative beaucoup plus exagérée qu'à la lumière. Toutes les espèces ne se comportent pas d'une manière identique à cet égard; le *Brassica napus*, en particulier, ne présente, à ce point de vue, que de faibles modifications; ce résultat n'a pas lieu de nous étonner: il explique, au contraire, très bien pourquoi la vie grimpante revêt dans la forêt vierge des aspects si divers.

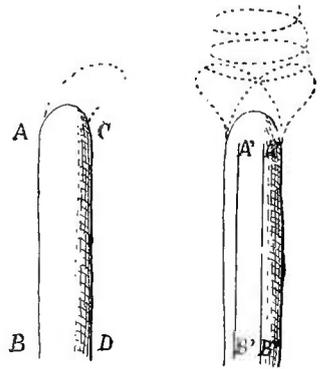


FIG. 40 et 41. — Circumnutation. Dessin de gauche : la génératrice AB s'accroissant plus que la génératrice CD , l'extrémité de la tige s'infléchit à droite. — Dessin de droite : la génératrice de plus grande croissance se confond successivement avec $A'B'$... $A''B''$..., le sommet de la tige décrit une spirale.

Des faits d'observation journalière peuvent recevoir une explication grâce à la remarque précédente. Chacun a pu remarquer que le Liseron en plaine est une plante rampante ; s'il croît au milieu des Blés, il s'étirole et s'enroule autour des chaumes (fig. 42 et 43).

La variation ainsi produite peut se fixer peu à peu et devenir *héréditaire*. Des expériences scientifiques n'ont pas été faites d'une manière rationnelle pour résoudre cette question,

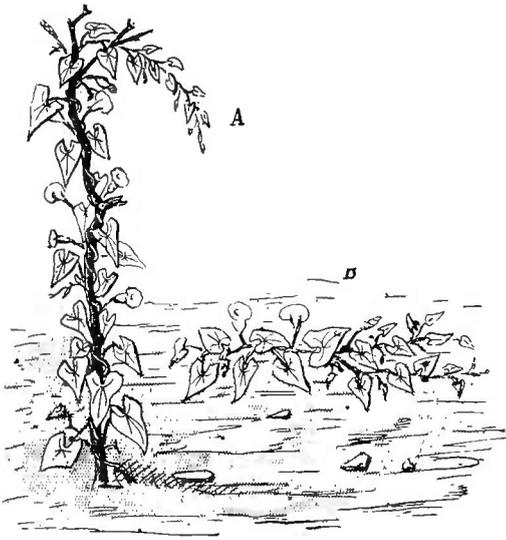


FIG. 42 et 43. — Liseron (*Convolvulus arvensis*). A, figure représentant un Liseron grimpant; B, Liseron rampant sans grimper.

mais il est bien certain que les horticulteurs les ont réalisées inconsciemment. C'est probablement par l'action d'une lumière vive ou atténuée prolongée pendant une série de générations, et grâce à la sélection, qu'ils sont arrivés à produire des races de Haricots nains et de Haricots de gaule ; ces dernières donnant des individus pour lesquels la vie grimpante est extrêmement développée.

Nous entrevoyons donc que la lumière et l'ombre, en retardant ou en favori-

sant la croissance, peuvent devenir des sources de variations. Le changement de l'intensité lumineuse que nous venons de considérer se produit tout autour de la plante ; imaginons, au contraire, que le végétal soit plus éclairé d'un côté seulement, il va en résulter des phénomènes de courbure qui frapperont immédiatement nos regards. On désigne sous le nom de phototropisme ces modifications dans la direction de croissance des organes des plantes.

CHAPITRE XII

ORIENTATION

Phototropisme. — L'étude des plantes étiolées nous a appris que la lumière retardait la croissance. Appliquons ce résultat à l'examen d'une plante placée entre deux sources lumineuses inégales, entre une lampe et une bougie par exemple. La face de la tige de cette plante qui sera tournée vers la lampe s'accroîtra moins que la face tournée vers la bougie. Le côté AB croît moins que le côté CD, la tige va donc s'incliner vers la lampe (voir la figure 40, p. 129). On traduit ce résultat en disant qu'alors le phototropisme est positif.

Cette courbure peut se produire quand les intensités des sources lumineuses sont très peu différentes : la plante est donc souvent un instrument de physique très délicat, beaucoup plus sensible que les meilleurs photomètres construits par les physiciens (1).

Il y a plus, le phototropisme permet de déceler des radiations non seulement que l'œil ne perçoit pas, mais que le papier photographique ne peut révéler : ces rayons, que l'on appelle à cause de cela *végétaux*, se trouvent au delà des rayons chimiques dans l'ultra-violet du spectre.

Si, au lieu de deux sources lumineuses, on n'en considère qu'une seule, le résultat est le même. La face antérieure

(1) Selon M. Wiesner, la sensibilité phototropique d'une Vesce se manifeste pour une différence lumineuse représentée par $\frac{1}{10,000,000}$ d'unité lumineuse, en prenant pour unité un bec Bunsen Roscoe.

du végétal est frappée par la lumière directe ; la face postérieure ne reçoit qu'une lumière atténuée par réflexion ou par transmission.

M. Wiesner a montré qu'il y avait, même avec des plantes très transparentes, une différence très grande d'intensité entre la lumière à l'entrée et à la sortie d'une tige (1).

Les phénomènes phototropiques sont susceptibles d'un certain nombre de variations qui se manifestent pour les différents organes ; étudions-les d'abord pour la tige.

Tige. — Le phototropisme positif est assez commun pour les tiges jeunes. Grâce à cette action de la lumière sur la croissance, la plante s'oriente vers la source lumineuse (fig. 44) de manière que les feuilles reçoivent le plus possible de lumière. C'est l'adaptation ordinaire des végétaux à la radiation.



FIG. 44. — Tige de Vesce éclairée par une source lumineuse placée à droite ; la tige se dirige vers la lumière.

Les tiges de certaines plantes paraissent, au contraire, fuir le soleil, elles croissent en sens opposé du rayon incident ; on dit alors que le phototropisme est négatif. En général, quand ce cas se présente, le végétal offre un mode spécial de vie.

Tantôt, quand il s'agit d'espèces parasites comme le Gui, ce caractère, qui se manifeste dans la tige hypocotylée, permet à cet organe de s'enfoncer dans l'arbre qui doit lui servir d'hôte ; tantôt, quand il est question de formes rampantes comme le Lierre, c'est grâce à cette propriété que la tige peut s'enraciner.

Dans les plantes volubiles, le phototropisme est très faible, et il ne saurait en être autrement sans que la plante perde la propriété de s'enrouler autour des supports.

Comment ces caractères, qui nous apparaissent aujourd'hui

(1) Pour une Balsamine de 2^{mm},5 d'épaisseur, la différence entre la lumière qui agit sur une face et sur l'autre est dans le rapport de 1 à 0,009.

si bien en rapport avec le mode de vie, ont-ils pu naître ? On peut, pour expliquer les variations initiales qui ont adapté la plante au milieu, recourir à deux hypothèses : soit admettre qu'ayant changé de climat la plante a rencontré des conditions nouvelles d'éclairement qui ont modifié son phototropisme ; soit supposer que c'est la plante elle-même qui a varié.

Le retard de croissance dépend de l'intensité lumineuse, et, pour chaque plante, il y a un éclairement qui amène le maximum de ralentissement dans l'élongation. Supposons que l'intensité la plus forte de la lumière solaire en un lieu corresponde à cet optimum retardateur ; la face opposée à la lumière croîtra toujours plus que la face tournée vers le soleil, et le phototropisme sera toujours positif. Admettons, par contre, que dans un autre pays l'intensité puisse dépasser cet optimum, le phototropisme pourra y devenir négatif.

On conçoit, d'autre part, aisément que la sensibilité phototropique d'une plante puisse varier, si la valeur de l'intensité lumineuse qui correspond au minimum de croissance n'est pas la même pour tous les individus d'une même espèce. D'ailleurs, on connaît des exemples de métamorphoses de cette irritabilité se produisant, pour une plante déterminée, dans le cours de son développement. La Vigne vierge a d'abord un phototropisme positif qui devient négatif quand la plante doit fixer ses disques adhésifs contre le mur : les vrilles fuient alors la lumière, en quête de la paroi contre laquelle elles doivent se coller. On peut, au moment où un disque de *Cissus* va toucher une muraille, l'en éloigner en plaçant devant lui une plaque brillante réfléchissant la lumière ; si, sur cette plaque, on a déposé une couche de couleur qui empêche la réflexion des rayons lumineux, il y a, au contraire, adhésion (1).

On a mis en évidence dans divers individus de Lierre des variations du phototropisme. Une variété à tige épaisse offrira une sensibilité faible à la lumière ; une forme à tige aqueuse, non lignifiée, réagira par contre très nettement (2). Dans les conditions normales de vie, le Haricot a un phototropisme positif ; si on éclaire jour et nuit un entre-nœud dans la phase descendante de sa croissance, on le voit,

(1) BECCARI.

(2) D'après M. KRAUS.

après quelques jours, incliné en sens inverse de la source.

On a eu bien souvent l'occasion de remarquer que les plantes végétant à l'ombre étaient plus sensibles que celles

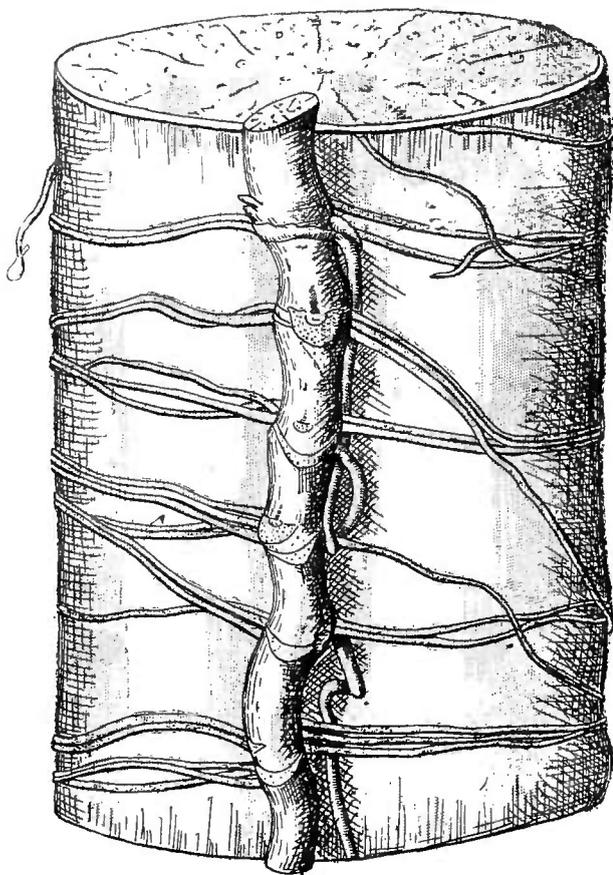


FIG. 45. — Plante épiphyte (*Philodendron*) fixée sur une branche. La tige de l'épiphyte est au milieu du dessin : elle émet : 1° un certain nombre de racines *fixatrices* qui entourent la branche support, qui forment d'étroits cordons horizontaux ou faiblement obliques dans le dessin ; 2° un certain nombre de racines *nourrières* qui descendent à peu près verticalement et à droite de la tige épiphyte.

branches sur lesquelles elles sont fixées ; exposés à la lumière, ces organes réagissent d'ordinaire à son action. Il arrive souvent que ces racines, qui n'ont plus le même rôle que dans les plantes terrestres, sont de deux natures : les unes entourent fortement le support de manière à fixer solide-

qui croissent au soleil (1). Aussi, certains auteurs ont-ils rendu une plante phototropique par l'étiollement : c'est par ce procédé que l'on arrive à constater l'action des rayons ultraviolets sur les pousses de Saule ou de Blé.

Racines. — Les racines souterraines ne sont pas d'ordinaire exposées à l'action de la lumière, nous ne devons donc pas être surpris de leur indifférence phototropique ; quelques-unes cependant manifestent une réaction, d'ailleurs positive ou négative, mais seulement quand l'intensité lumineuse est très forte. Les plantes épiphytes (qui vivent sur les arbres) ont des racines qui pendent des

(1) FIDGOR.

ment l'épiphyte (fig. 45) ; les autres pendent vers le sol formant, dans certaines plantes, des câbles de plusieurs mètres de long. Les premières racines méritent le nom de fixatrices ; les secondes, de nourricières. Les premières ont un phototropisme négatif et pas de géotropisme, ce qui contribue à les appliquer contre la branche qu'elles doivent enrouler (1). Nous retrouvons donc pour la racine des adaptations de même nature que celles révélées par l'étude de la tige.

Feuilles. — Le phototropisme des feuilles exige pour être compris quelques explications. Si l'on examine les feuilles des plantes étiolées, on voit qu'elles présentent deux types. Les unes, celles des feuilles des Monocotylédones (Graminées, Liliacées), sont plus longues à l'obscurité qu'à la lumière ; les autres, celles de beaucoup de Dicotylédones, sont plus ou moins atrophiées à l'abri de la lumière.

Il semble, d'après cela, que les premières devraient avoir un phototropisme positif, les secondes un phototropisme négatif. Cette conclusion n'est vraie que pour les premières ; les secondes offrent le plus souvent un phototropisme positif. Pour expliquer ce résultat, M. Prantl a suivi d'heures en heures les variations de la croissance des feuilles pendant une série de jours et de nuits. Il a pu se convaincre ainsi que les feuilles croissaient moins à la lumière qu'à l'obscurité, que la croissance passait par un maximum à la fin de la nuit et par un minimum à la fin du jour. Ceci se vérifie pour les feuilles de Dicotylédones aussi bien que pour les autres. On peut se demander à quoi tient la différence signalée plus haut, entre les feuilles des deux grands groupes d'Angiospermes ?

L'étude de la physiologie des plantes étiolées a permis de répondre à cette question. Les recherches de M. Palladine ont établi que les feuilles des Monocotylédones prennent un grand développement à l'obscurité parce qu'elles ont des matières hydrocarbonées (du sucre par exemple) à leur disposition ; l'absence de croissance pour la feuille des Fèves et autres Dicotylédones tient à l'absence d'hydrates de carbone. N'ayant pas de matières sucrées, leur respiration est faible (2) et par cela

(1) SCHIMPER et WENT.

(2) BORODIN.

même leur croissance ; si on leur en fournit, la respiration devient plus intense, et la feuille grandit. Nous retrouvons donc encore là le lien unissant la nutrition à la respiration et à la croissance.

Beaucoup de feuilles affectent deux positions par rapport à la lumière incidente : 1° elles peuvent mettre leur limbe parallèlement au rayon incident : on dit dans ce cas que le phototropisme est positif ; 2° elles peuvent, ce qui a lieu le plus souvent, placer leur lame perpendiculairement aux rayons solaires. On a proposé de désigner le phénomène qui se manifeste par cette dernière position sous le nom particulier d'*héliotropisme transversal* (1) ou de *diahéliotropisme* (2).

En réalité, la position prise par la feuille est le résultat de plusieurs actions concourantes. MM. de Vries et Sachs ont montré, et nous reviendrons plus loin sur cette question, que l'orientation des organes aplatis ou plagiotropes dépendait de plusieurs facteurs, comme la pesanteur et l'épinastie. Cependant, en éliminant successivement ces facteurs qui masquent l'action isolée de la lumière, on a pu voir que les feuilles s'orientaient perpendiculairement au rayon lumineux (3).

Cette orientation des feuilles est, on le conçoit aisément, extrêmement avantageuse pour la plante ; on a là encore une adaptation de la feuille au soleil. Il est cependant des cas où l'intensité lumineuse devient trop grande, où l'étalement des limbes constitue un véritable danger. Dans ce cas, la plante paraît posséder un pouvoir d'autorégulation de ses feuilles. Le Robinier faux-Acacia est un végétal à feuillage délicat qui réagit rapidement vis-à-vis de la lumière ; M. Oltmanns l'ayant placé derrière le prisme de gélatine noircie qui lui a servi à l'étude des mouvements, il a vu, pour un éclaircissement faible, les folioles s'étaler tandis qu'elles se rapprochaient à mesure que l'intensité devenait plus grande. La plante semble donc se protéger contre un éclaircissement trop fort.

On connaît un certain nombre de plantes très singulières qui sont arrivées à réaliser cette protection par un procédé assez différent. Elles s'abritent contre l'action du soleil en

(1) FRANCK. Nous devrions dire phototropisme transversal, en adoptant notre nomenclature.

(2) DARWIN.

(3) M. VOECHTING et M. KRABBE sont arrivés à cette conclusion.

lui présentant leur tranche ; ce phénomène peut être observé, par exemple, chez le *Lactuca scariola*. Le matin, tant que la lumière est faible, les feuilles sont orientées perpendiculairement au rayon incident ; dès que le soleil devient trop ardent, la feuille se place dans un plan vertical et orienté vers la source lumineuse ; la feuille suit, pour ainsi dire, le soleil de façon à se protéger contre lui. A midi, le plan de la feuille correspond au méridien du lieu (fig. 46 et 47) ; aussi a-t-on pu appeler les végétaux qui présentent la curieuse propriété que nous venons de décrire des *plantes boussoles*. On peut citer parmi elles le *Silphium laciniatum*, l'*Amplopappus rubiginosus*, le *Chondrilla juncea* (1).

Des dispositions permettant à la feuille de s'abriter contre les rayons ardents du soleil se retrouvent, et cela se conçoit, dans un grand nombre de plantes tropicales. Seulement, tandis que dans le cas précédent la feuille suit le soleil, il peut arriver contrairement que cet organe affecte une position fixe par rapport à lui. C'est ce qui se manifeste pour les *Eucalyptus* dont les feuilles pendent verticalement (fig. 48) ; ce caractère donne aux forêts de l'Australie où prédominent ces végétaux un aspect spécial qui leur a



FIG. 46 et 47. — *Lactuca scariola*. A, la plante est vue de face, en supposant que le plan de la feuille est celui du méridien ; B, la plante est vue de côté, le plan méridien est placé obliquement par rapport au papier.

(1) M. STAHL a fait une étude attentive de cette intéressante question, qui a été également l'objet des recherches de MM. MEEHAM, ARCANGELI, THUMEN et DE BARY.

mérité le nom de forêts sans ombre. Si les premiers stades du développement, comme le pensent les zoologistes, indiquent des caractères très anciens, ancestraux, nous pouvons être amenés à penser que les précurseurs des *Eucalyptus* n'ont pas toujours eu les feuilles disposées verticalement, car les pre-



FIG. 48. — Branche d'*Eucalyptus* présentant des feuilles orientées verticalement.

mières feuilles qui suivent les cotylédons s'orientent perpendiculairement aux rayons lumineux; et, dans certaines espèces, ce caractère se conserve très tard, même quand l'arbre a deux ou trois mètres de haut.

Il ne faudrait pas croire que toutes les plantes des pays chauds présentent les caractères que nous venons de décrire. Il y a une première raison bien simple pour qu'il n'en soit pas ainsi, c'est que beaucoup de végétaux de ces régions vivent dans l'ombre des forêts épaisses. Les

feuilles des espèces ombrophiles s'orientent perpendiculairement à la direction de plus forte lumière. Quelques plantes tropicales cependant, qui sont exposées à l'action de la lumière directe, se comportent de même (*Prunus Javanica*, *Pisonia alba*). En général, sous le soleil torride, les feuilles périphériques se dirigent de façon à éviter la lumière zénithale et à chercher une protection contre une trop grande intensité lumineuse; les feuilles placées sous la couronne des arbres s'orientent perpendiculairement à la direction de plus

grande intensité de la lumière diffuse ; il y a donc deux positions des feuilles dans les cas précédents. Un petit nombre de végétaux n'en présentent qu'une perpendiculaire (*Otophora pubescens*) ou parallèle (*Pavetta*) au rayon incident (1).

En somme, ces diverses dispositions paraissent avoir surtout pour but de protéger la chlorophylle contre un excès de lumière ou de l'exposer à la radiation favorable. L'examen de la structure confirme ces résultats : les feuilles demeurent assez tard molles et turgescentes, à l'état méristématique, aussi pendent-elles verticalement ; elles ont souvent atteint la moitié de leur taille définitive et la chlorophylle n'y est pas encore formée. C'est à l'ombre de ces feuilles jeunes, qui n'ont rien à craindre de l'action des rayons du soleil, que s'étalent les feuilles plus âgées.

Certaines de ces plantes tropicales qui réussissent même en plein soleil, et sont à proprement parler ombrophobes, ne paraissent pas malgré cela accommodées complètement à l'intensité lumineuse qui domine dans les régions chaudes. Le *Pisonia alba*, plante de la famille des Nyctaginées, réussit au soleil à Batavia et à Singapooré ; cependant la chlorophylle est détruite régulièrement dans les feuilles périphériques, et l'on y voit ces organes devenir jaunes, puis blancs. En des pays où la lumière est moins intense, mais où le climat est plus humide, cette plante ne vient cependant pas mieux. Ce fait très singulier, qui a été l'objet de l'examen de M. Wiesner, nous montre donc qu'une plante peut être adaptée à un climat qui lui est partiellement nuisible.

Dans nos régions tempérées, on retrouve des accommodations analogues vis-à-vis de la lumière. Les feuilles jeunes non encore vertes ou peu colorées sont verticales (Marronnier) ; elles restent d'ailleurs plissées, couvertes de poils. Quelquefois ce sont des organes plus développés comme les stipules qui protègent les feuilles nouvelles.

Quand une plante aime le soleil, il peut arriver que, par suite de son mode de vie, ses feuilles n'apparaissent que sur un seul côté de sa tige, c'est ce qui s'observe pour le Lierre

(1) Ces renseignements nous sont fournis par M. WIESNER qui a recueilli, il y a quelques années dans un voyage à Java, des faits extrêmement intéressants.

qui grimpe le long des murs ; les feuilles pourraient se recouvrir les unes les autres et se nuire par cela même ; cet inconvénient est évité parce qu'elles se groupent en mosaïque utilisant ainsi toutes les radiations directes. La même disposition a été signalée pour un certain nombre de plantes (*Ulmus*, *Atropa*, *Selaginella*, *Fagus*, *Mercurialis*, etc.) (1).

Le plus souvent le désavantage résultant de ce recouvrement des feuilles n'est pas évité. Il est intéressant de suivre, à ce point de vue, les variations de l'intensité de la lumière au milieu du feuillage d'un arbre comme l'a fait M. Wiesner. Il a constaté qu'au printemps, quand les feuilles commencent à apparaître, l'intensité de la radiation interne de l'arbre est proportionnelle à l'intensité totale de la lumière du jour. Mais, quand les feuilles sont bien épanouies, les choses changent et la lumière dans le milieu du feuillage passe par un minimum à midi : la position des feuilles oppose un passage à la lumière zénithale.

Dans les arbres qui présentent, comme le Bouleau, lorsque la position fixe des feuilles est atteinte, une orientation en partie vers la lumière intérieure, en partie vers la lumière supérieure, le minimum de midi est compris entre deux maxima. Enfin dans les arbres, comme le Robinier, qui évitent la lumière zénithale il peut y avoir un maximum à midi.

Fleurs. — Le phototropisme des fleurs se révèle par des changements de position de même ordre.

Dans quelques espèces, c'est le pédoncule floral qui se courbe au sommet et donne à la fleur ou à l'inflorescence une orientation fixe vers la lumière : c'est ce qui arrive pour le Grand Soleil qui ne suit donc pas la lumière, comme on l'a cru.

Au lieu du pédoncule floral, ce sont quelquefois les pièces de la fleur qui s'infléchissent vers la source lumineuse, soit le calice et la corolle (Colchique), soit la corolle seule (Mélampyre), soit l'étamine (Plantain), soit l'ovaire (Epilobe).

Le phototropisme négatif des fleurs est très rare, on ne l'a signalé que pour le *Salvia verticillata*, dont les fleurs se forment mieux du côté moins éclairé.

Si les plantes dont les fleurs fuient la lumière avant la fécondation sont rares, il n'en est plus de même après que les

(1) KERER VON MARILACN.

œufs sont formés et les graines ébauchées : à partir de ce moment, les fleurs du *Linaria cymbalaria*, de l'*Helianthemum vulgare*, s'éloignent du soleil. Une espèce même, le *Trifolium subterraneum*, a un pédoncule si sensible, que son phototropisme négatif amène la pénétration des fruits dans le sol.

Nous retrouvons enfin pour les fleurs une propriété signalée déjà pour les feuilles de quelques plantes, celle de suivre le soleil dans sa course. Parmi ces espèces, qui possèdent les fleurs du soleil par excellence, citons les Salsifis (*Tragopogon*), les Laiterons (*Sonchus arvensis*), les Épervières (*Hieracium pilosella*), les Coquelicots. Cette propriété est due à la courbure du pédoncule floral dont l'orientation varie pendant tout le jour.

Les fleurs réclament donc la lumière, elles paraissent la chercher ; c'est le besoin de lumière qui semble inciter les plantes d'ombre à s'allonger, qui amène les lianes à grimper jusqu'à la couronne de la forêt pour y épanouir leurs fleurs. Que signifie ce besoin de soleil ? Doit-on penser que sa cause profonde tiendrait à une harmonie mystérieuse de la nature qui attire les fleurs vers la lumière pour les rendre plus visibles des Insectes qui doivent les polliniser en les visitant pour butiner leur nectar ? Cette opinion a été émise par M. Wiesner, mais nous ne saurions trop garder une prudente réserve quand il s'agit d'adaptations aussi lointaines et aussi difficilement vérifiables. Nous aurons d'ailleurs l'occasion d'examiner, dans un prochain chapitre, les conditions physiques de la formation des fleurs, ce qui est encore le véritable moyen de nous renseigner sur leur origine.

CHAPITRE XIII

LA FORME DES VÉGÉTAUX

La lumière a une trop profonde action sur les fonctions des végétaux pour qu'il n'en résulte pas d'importantes conséquences relativement à leur forme. L'étude que nous venons de faire des modifications de la croissance nous l'apprend déjà ; l'examen de la dorsiventralité va nous permettre de fixer plus nettement encore notre opinion sur ce sujet.

Aplatissement ou Dorsiventralité. — Cette action du soleil peut se révéler dès les premiers stades de la vie d'un être, par exemple dans l'orientation de la première cloison. La première membrane qui divise une spore de *Prêle* (1) en deux cellules, lors de sa germination, est perpendiculaire au rayon lumineux ; des deux cellules ainsi formées, la plus grande, celle qui est du côté de la lumière, donne le prothalle ; l'autre devient un poil absorbant ou rhizoïde. A l'obscurité, le cloisonnement est orienté d'une manière quelconque.

Une polarité semblable a été mise en évidence par M. Kolde-rup Rosenvinge dans le développement des œufs des *Fuca-cées*. La première cloison est également perpendiculaire au rayon incident, et les rhizoïdes sont du côté de l'ombre (fig. 49). Si l'on éclaire la culture horizontalement, la polarité précédente se vérifie encore. Quand la lumière arrive par en dessous, la cloison est encore perpendiculaire au rayon, mais le rhizoïde cette fois s'accroît vers le bas. Cette dernière particularité tient peut-être à l'action de la pesanteur ou à une influence héréditaire. Il n'y a d'exception à ces règles que dans

(1) STAILL.

le cas où les oosphères restent emprisonnées dans l'oogone : les rhizoïdes sont alors dirigés vers le centre de ce dernier.

La polarité qui s'accuse ainsi au début de la germination peut disparaître ensuite. Dans certains cas, elle subsiste et demeure immuable, une fois fixée par les premiers débuts du développement, sinon par la première cloison ; c'est ce qui arrive pour le *Marchantia*, d'après les recherches de M. Pfeffer. Le corps de la plante devient dorsiventral, il a une face supérieure et une face inférieure qui ont des destinées différentes.

La polarité peut, pour d'autres plantes, ne pas exister au début ; c'est ce qui arrive pour le prothalle des Fougères. Le premier filament qui se développe est simplement phototrope, mais bientôt il se divise à son extrémité et forme une petite lame qui présente une dorsiventralité très remarquable. Si on éclaire le prothalle par en dessus ou par en dessous, on voit toujours les archégones et les rhizoïdes apparaître sur la face qui

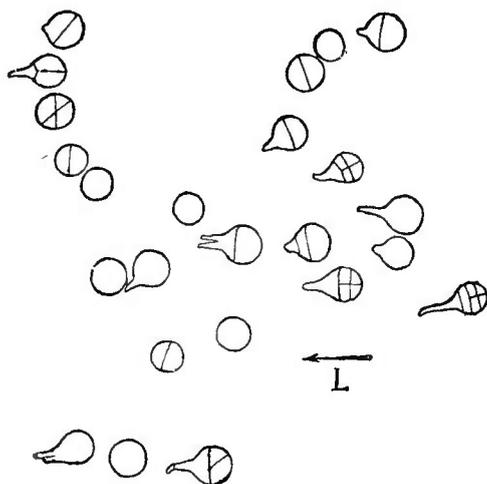


FIG. 49.—Œufs de *Fucus*. Germination sous l'influence d'un rayon lumineux arrivant dans la direction de la flèche.

se trouve à l'ombre. Vient-on à éclairer horizontalement, la surface du thalle devient verticale et porte des poils et des archégones du côté opposé à la source lumineuse (1).

Cependant, si des prothalles ont déjà ébauché leurs archégones et si on met la face qui porte ces derniers du côté de la lumière, leur développement pourra se continuer ; ils pourront même être fécondés, et il se développera des archégones et des œufs sur les deux côtés. La lumière n'empêche donc pas l'évolution des œufs une fois formés. Elle ne modifie pas l'orientation de l'embryon, car, dans le cas précédent, on peut avoir deux embryons dont l'un développe une racine vers le haut, tandis que l'autre la fait croître vers le bas (2).

(1) LEITGEB et PRANTL.

(2) D'après M. HEINRICHER. Les racines peuvent cependant avoir un

La même action de la lumière se trahit par l'étude des *Caulerpa*. En coupant des fragments de feuilles de cette plante et en les plaçant au fond d'un aquarium, on voit apparaître de nouvelles pousses à la face supérieure, si l'éclairage est ordinaire ; elles se forment au contraire, à la face inférieure, si l'Algue est éclairée par en dessous. Les rhizoïdes naissent toujours au contraire sur la face qui se trouve à l'ombre (1).

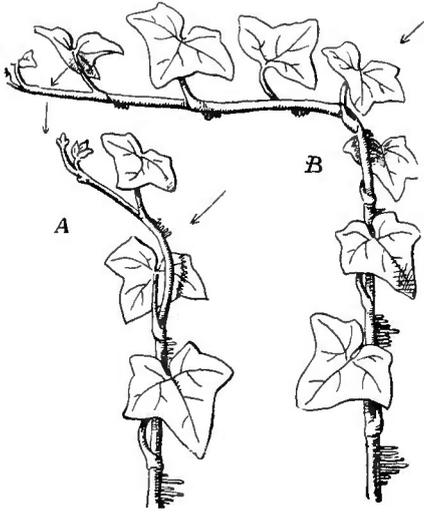


FIG. 50. — Lierre. A, pied qui était appliqué sur un mur par sa face droite; placé verticalement, il s'infléchit pour fuir la lumière qui arrive dans la direction de la flèche. B, le pied précédent au bout d'un certain temps, la pousse nouvelle est horizontale et les racines crampons se forment sur la face qui est à l'ombre, selon Sachs.

Cette action de la lumière sur la dorsiventralité des végétaux peut se montrer chez des plantes plus élevées en organisation. Si l'on expose une branche de Lierre à la lumière, cette pousse s'éloigne bientôt de la source lumineuse, elle prend une direction oblique ou horizontale, les feuilles s'y disposent sur deux rangées à la face supérieure, et les racines adventives naissent toujours sur la face opposée. Vient-on à redresser l'une de ces branches et à la placer verticalement de façon que ses racines adventives soient du côté de la source lumineuse, la tige s'accroît de nouveau à son sommet, s'infléchit encore en s'éloignant du soleil, les feuilles

s'orientent vers la source lumineuse sur deux rangs et les racines adventives apparaissent sur le côté opposé ; c'est-à-dire que la face qui était tout à l'heure supérieure va engendrer maintenant les racines (fig. 50). La polarité est donc changée (2).

Ainsi donc ici, comme pour le prothalle des Fougères, la

phototropisme négatif si fort qu'en éclairant le prothalle par en dessous les racines croissent vers le haut, malgré le géotropisme de cet organe.

(1) NOLL.

(2) SACHS.

dorsiventralité dépend de la lumière. On arrive au même résultat par une étude de la Capucine.

Il n'en est pas toujours ainsi, et le *Marchantia* va nous en fournir une preuve.

Si l'on sème les spores ou les propagules du *Marchantia* (1) sur les faces d'un cube de tourbe, on voit la plante se développer à la surface de tous les pans. La source lumineuse étant assez intense, la lame du thalle abandonne le support et s'oriente perpendiculairement au rayon lumineux (fig. 109, p. 211).

Si l'intensité de la lumière s'abaisse, le thalle devient vertical de façon que le côté supérieur soit concave. Enfin à l'obscurité, on a un thalle vertical en gouttière. M. Franck a vu que, si on éclaire ces pousses étiolées par la face inférieure ou la face supérieure, elles se comportent de manières différentes. Dans le premier cas, le côté éclairé devient concave; il n'en est plus ainsi dans le second. Le côté dorsal et le côté ventral réagissent par conséquent de façons tout à fait dissemblables vis-à-vis de la lumière; la lumière ne peut donc plus changer ici la dorsiventralité.

On a comparé l'action de la lumière sur le *Marchantia* et sur le Lierre à celle de l'aimant sur l'acier ou sur le fer doux.

Dans la première plante, l'acier devient un aimant fixe ayant des pôles invariables; dans la seconde, le fer doux devient un aimant dans lequel on peut à volonté changer la position des deux pôles.

Dans tous les cas examinés précédemment, la dorsiventralité se manifeste pour des organes aplatis ou pour des branches plus ou moins horizontales. M. Kolderup Rosenvinge a signalé récemment pour plusieurs plantes croissant verticalement une organisation dorsiventrale accusée.

La dorsiventralité du Hêtre se manifeste de la manière suivante: les feuilles sont disposées en deux séries, les bourgeons ne sont pas exactement dans l'aisselle des feuilles, mais ils sont rapprochés de la partie supérieure de la tige; les feuilles sont asymétriques à la base, la partie du limbe dirigée vers le côté ventral descend plus loin sur le pétiole; les nervures

(1) SACHS.

sont alternantes, l'inférieure part du côté où le limbe descend le plus bas (fig. 51).

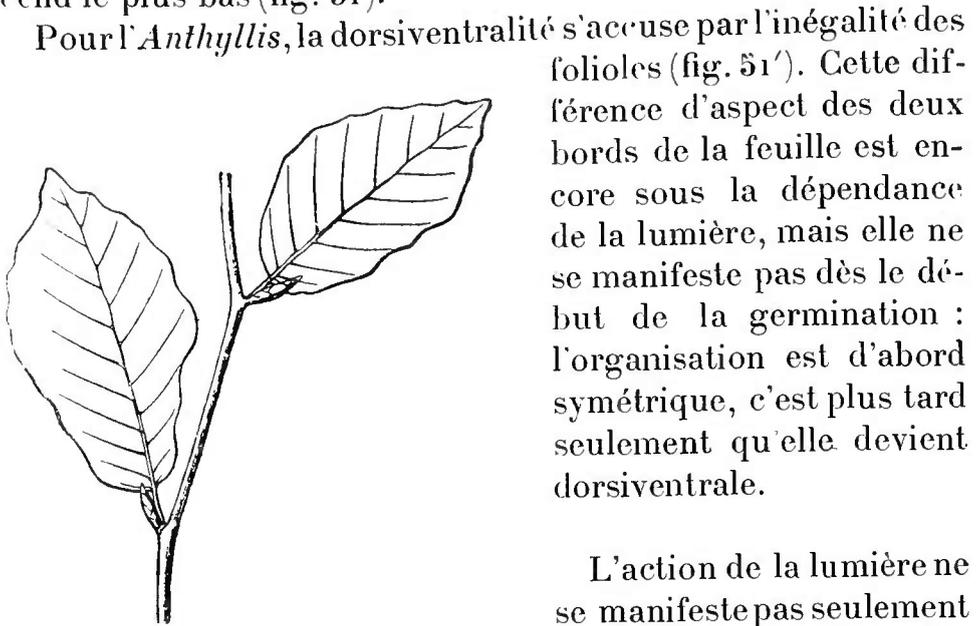


FIG. 51.— Hêtre; la dorsiventralité s'accuse par la position des bourgeons et les nervures.

Pour l'*Anthyllis*, la dorsiventralité s'accuse par l'inégalité des folioles (fig. 51'). Cette différence d'aspect des deux bords de la feuille est encore sous la dépendance de la lumière, mais elle ne se manifeste pas dès le début de la germination : l'organisation est d'abord symétrique, c'est plus tard seulement qu'elle devient dorsiventrale.

L'action de la lumière ne se manifeste pas seulement par l'aplatissement de différents organes des végétaux ou par leur dorsiventralité ; elle se traduit, nous

l'avons déjà vu, par des changements accusés se produisant dans l'appareil végétatif des plantes supérieures qui se développent à l'obscurité.

Des modifications de même nature s'observent dans les différents ordres de plantes, et beaucoup de Champignons rentrent à ce point de vue dans la règle commune. Ceci mérite d'être signalé parce qu'on pourrait être tenté de penser, le Champignon de couche croissant à l'obscurité, que les végétaux incolores se comportent autrement que les plantes à chlorophylle.



FIG. 51'.— *Anthyllis*, les folioles sont plus petites en dessous.

Un grand nombre de formations fungiques connues sous les noms de *Byssus*, *Fibrillaria* ne sont que des formes de

Champignons supérieurs restés stériles par suite du manque de lumière.

Le chapeau des Champignons n'avorte pas toujours, mais le pied devient deux à trois fois plus long que normalement ; le chapeau, par contre, reste très petit. C'est ce que M. Brefeld a observé pour les Coprins (fig. 52).

M. Schroeter a décrit des déformations curieuses de certaines espèces dans les caves ; dans le *Paxillus panuoides*, le *Polyporus trabeus*, l'atrophie de l'appareil reproducteur peut être complète dans certains individus que l'on a pu cependant reconnaître. Le thalle peut enfin se transformer quelquefois en cordons noirâtres ou rhizomorphes analogues à ceux de l'Agaric de miel (*Marasmius rotula* et *androsaceus*, *Collybia velutipes*).

Variétés ombrophiles. — Les déformations dues à l'étiollement sont très appréciables ; elles sont connues, pour ainsi dire, de toute antiquité : les changements de forme et de couleur sont si importants, que ces métamorphoses ont frappé tous les observateurs. Il n'en est pas de même des transformations faibles qui résultent d'une simple variation de l'intensité de la lumière.

C'est seulement depuis qu'on étudie attentivement les végétaux de nos pays que l'on a remarqué des variétés différentes qu'une même espèce pouvait présenter suivant que les individus croissent à l'ombre ou au soleil. C'est ainsi que l'on a reconnu des variétés *umbrosa* pour l'*Helianthemum vulgare* et pour le *Potentilla tormentilla*.

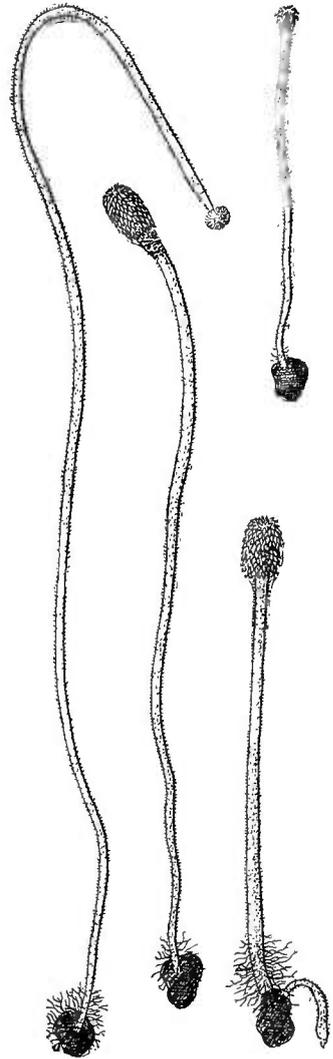


FIG. 52. — Coprin stercoraire. Le dessin de droite, en bas, est celui d'un individu normal poussé à la lumière. Les autres individus se sont développés à l'obscurité et leurs chapeaux sont plus ou moins atrophiés.

Bien souvent ces variétés des forêts ombreuses se distinguent par un développement remarquable des feuilles, c'est ce qui caractérise notamment le *Viola hirta*, var. *macrophylla*.

Les formes qui croissent au soleil sont plus trapues et rabougries, les variétés d'ombre plus richement développées végétativement ; on pourrait être tenté d'en déduire que la lumière est la cause de la diminution des feuilles au soleil.

C'est là une conclusion que l'on peut tirer si l'on se borne à faire de simples observations. Ce procédé d'étude, qui fournit souvent des renseignements précieux, peut conduire quelquefois à des conclusions erronées si on ne contrôle pas ses résultats à l'aide de l'expérience. M. Dufour, qui a employé cette dernière méthode, a montré que lorsqu'on fait croître deux pieds de la même espèce l'un à l'ombre et l'autre à la lumière (toutes les autres conditions de vie étant les mêmes), les feuilles du pied éclairé sont beaucoup plus grandes. Ce fait se trouve d'accord d'ailleurs avec les recherches physiologiques qui établissent que les pieds à la lumière ont des fonctions plus actives (1) : l'activité de ces fonctions doit évidemment retentir sur la forme des feuilles.

Variétés septentrionales. — Les changements que l'on peut observer quand on se déplace en latitude sont tout à fait en harmonie avec ce résultat. Quand on compare la taille des feuilles d'un grand nombre de végétaux aux environs de Paris et de Suède, on la voit croître à mesure que l'on s'élève en latitude. Le fait a été vérifié par MM. Bonnier et Flahault qui ont recueilli dans le nord de l'Europe des feuilles de Tremble ayant de 18^c,5 de longueur sur 18 centimètres de largeur, des feuilles de *Cerasus Padus* mesurant 15 centimètres sur 8.

Voici quelques chiffres indiquant des variations déjà très appréciables même dans la péninsule scandinave (2) :

		UPSAL	SALTDALÉN
		—	—
		59° 51'	67° 10'
<i>Ulmus montana.</i>	} Longueur des feuilles.	17 ^c	20 ^c
		} Largeur des feuilles.	9 ^c

(1) D'après M. GÉNEAU DE LA MARLIÈRE.

(2) D'après M. FLAHAULT.

Les mesures comparatives faites à Saltenfjord, en Norvège à 67°15, montrent que l'accroissement des feuilles des plantes cultivées comme les Betteraves, les Pois, les Pommes de terre est encore plus grand que celui des feuilles des espèces sauvages. Le changement d'aspect des plantes est quelquefois si grand, qu'elles deviennent presque méconnaissables (*Rhamnus alpina*) (1).

Dans l'extrême nord, l'action d'un éclaircissement continu ou prolongé contribue donc à grandement modifier la dimension des feuilles et en même temps leur coloration verte.

Nous parlons ici de végétaux qui ont été depuis longtemps adaptés à un éclaircissement de plus en plus long. Si nous prenons, au contraire, une plante habituée à vivre alternativement à la lumière et à l'obscurité et si nous la soumettons à un éclairage continu grâce à l'électricité, nous la verrons se modifier d'une manière profonde et singulière. A la lumière continue, les feuilles de la Fève sont d'un vert plus sombre, la tige est souvent plus épaisse, plus trapue ; l'ensemble de la plante présente, sauf la coloration d'un vert foncé, des caractères que l'on observe dans les plantes étiolées (2).

A côté de ces variations qui intéressent surtout la végétation qui prédomine dans les contrées septentrionales, nous devons signaler celles qui peuvent se produire dans les contrées chaudes du globe pour les plantes grasses et les plantes épiphytes.

Plantes grasses. — Diverses espèces habituées héréditairement à vivre dans des pays fortement éclairés et secs, comme les plantes grasses, présentent sous l'influence de la lumière des changements qui peuvent être très accusés et se traduire par des modifications dans la forme des tiges et dans la divergence des feuilles. Dans les *Phyllocactus* (3), les pousses forment leurs ailes seulement sous l'influence du soleil. La croissance normale d'une pousse à la lumière étant terminée, si on la place à l'obscurité, la croissance reprend et sur les tiges étiolées qui se développent ainsi les entre-

(1) D'après M. SCHUEBELER.

(2) Ces expériences curieuses ont été faites par M. BONNIER dans les caves des Halles.

(3) Cette étude est de M. VOECHTING ; M. GOEBEL en a confirmé récemment les résultats.

nœuds sont plus courts que dans les pousses normales, et les feuilles rudimentaires sont plus nombreuses. Dans l'obscurité, les feuilles d'une pousse sont disposées suivant la spire $1/3$; à la lumière, suivant la spire $1/2$. Cette dernière divergence n'est d'ailleurs pas toujours atteinte, mais c'est la

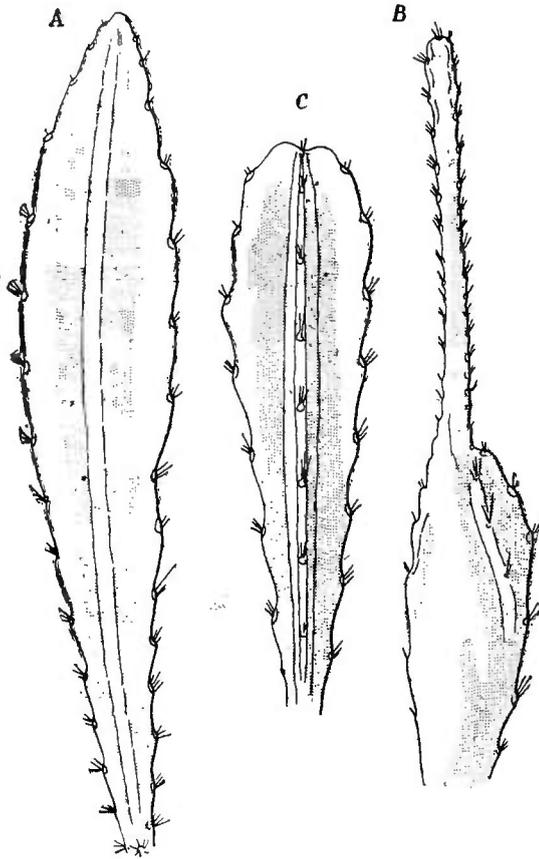


FIG. 53, 54 et 55. — *Phyllocactus*. A et C, pousses plates et anguleuses développées à la lumière; B, la partie supérieure de la tige développée à l'obscurité a une autre forme cylindrique.

lumière qui agit pour la produire. Dans l'obscurité, la pousse présente la structure radiaire, tandis qu'à la lumière la pousse est anguleuse ou bilatérale (fig. 53 à 55).

Le changement à la lumière d'une tige cylindrique à plusieurs rangées de feuilles en une tige plate à deux rangées d'appendices foliaires peut se produire : soit lorsque la lumière agit d'un seul côté ou sur toutes les faces, par éclaircissement équilatéral soit quand la plante est en repos ou en mouvement devant une source fixe. Dans le cas d'une position fixe et sous l'influence d'un fort éclaircissement, la pousse se dis-

pose de façon que sa face plate supporte le maximum de rayonnement.

Toutes les plantes grasses ne varient pas comme la précédente : dans le cas du *Rhipsalis paradoxa*, par exemple, les transformations sont moins profondes, c'est-à-dire que la tige a encore des angles à l'obscurité, mais ils sont beaucoup moins accusés qu'à la lumière.

La position des feuilles sur une tige ne dépend donc pas uniquement, ainsi que M. Schumann le pensait, de la place dis-

ponible pour les feuilles dans le point végétatif, mais les agents extérieurs, interviennent pour la fixer.

Les déformations si frappantes de ces plantes grasses dont la tige est aplatie sont donc en rapport avec l'action des facteurs cosmiques, surtout de la lumière. En supprimant la radiation, on peut, dans certaines plantes, abolir les forces héréditaires qui donnent à la tige l'aspect d'une raquette ou d'une lame plate et faire apparaître ainsi de nouveau la forme cylindrique qui est évidemment primitive pour cet organe.

Plantes épiphytes. — L'aplatissement que nous venons d'observer dans les tiges peut se produire pour les racines dans les plantes épiphytes. Par suite de quels phénomènes les racines de quelques-unes de ces plantes présentent-elles de si grandes déformations ? C'est ce que nous n'avons pas à dire ici. Il nous suffit seulement d'indiquer que la lumière a dû intervenir dans ces métamorphoses.

M. de Janczewski est arrivé à se convaincre du bien-fondé de cette manière de voir à l'aide de l'expérience suivante. Autour des racines aplaties d'une Orchidée épiphyte, le *Phalenopsis amabilis*, il met des manchons d'étain pour qu'elles continuent à croître à l'obscurité ; il voit que la forme change et que l'organe reprend la forme cylindrique régulière qui caractérise la généralité des racines (fig. 56, A et deux dessins B). L'action de la lumière a donc contribué à l'origine à produire la symétrie bilatérale.

Pour un grand nombre d'autres plantes de la même famille à racines bilatérales, ce caractère est devenu si fixe, qu'on ne peut plus le modifier. Avec l'*Aeranthus fascicola*, la racine à l'obscurité perd sa coloration verte, ses ailes s'atrophient, mais sa face supérieure reste ridée, les poils radicaux ne sont que sur la face opposée : l'absence de lumière ne fait pas dispa-

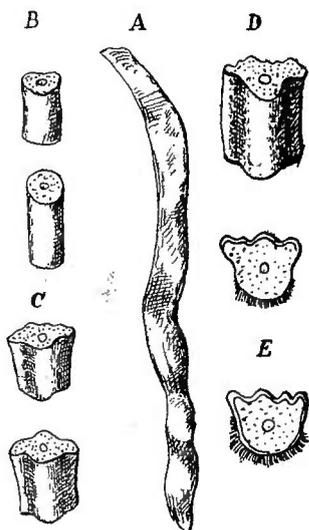


FIG. 56 et 57. — A et B, racines de *Phalenopsis amabilis*. A, racine aplatie développée à la lumière. B, 1^{er} dessin, section de la précédente. B, 2^e dessin (au-dessous), représente la racine précédente développée à l'obscurité. — *Aeranthus fascicola*, C et D, racine très aplatie poussée à la lumière; E, racine moins aplatie développée à l'obscurité.

raître la symétrie bilatérale, mais elle la réduit (fig. 57, C, D et E).

Cas des plantes aquatiques. — L'affaiblissement de la plante, les mauvaises conditions de nutrition dans lesquelles on la force à vivre peuvent donc, dans certains cas, contribuer à faire réapparaître des caractères normaux et primitifs, que l'on peut qualifier par cela même d'ancestraux. (Il est vraisemblable que la forme primitive des tiges et des racines est cylindrique, puisque cette forme se retrouve chez presque tous les végétaux). La considération des plantes aquatiques peut nous conduire à une conclusion analogue pour les feuilles.

La Sagittaire est une Monocotylédone qui a trois sortes de feuilles : rubanées-submergées, cordiformes-nageantes, sagittées-aériennes (fig. 128 à 135, p. 241). Nous verrons plus tard quels liens cette différenciation peut avoir avec le milieu aquatique. Si nous obligeons la plante à croître à l'air, elle ne donne que quelques feuilles rubanées et différencie tout de suite des feuilles en flèches. A l'obscurité mais dans l'air, la plante étiolée ne donne que des feuilles rubanées (1). Il est donc probable que l'on provoque ainsi la réapparition de caractères primitifs, car la forme de feuilles à nervures parallèles est de beaucoup prédominante parmi les plantes Monocotylédones.

Les trois exemples que nous venons d'examiner nous ont montré comment s'est modifié le type primordial des tiges, racines et feuilles sous l'influence de la lumière. Voyons, en terminant, quelle est l'origine de certaines formes anormales comme celles des plantes à rosette, à tubercules et à bulbes.

Plantes à rosettes de feuilles. — Un certain nombre de végétaux, comme les Joubarbes, ont la propriété caractéristique de produire des feuilles en rosette. Il en résulte pour ces plantes un port très spécial, qui est le plus ordinairement héréditaire. Nous avons déjà eu cependant l'occasion de voir, par exemple en parlant des cultures expérimentales de M. Bonnier dans les Alpes et les Pyrénées, que ce caractère pouvait apparaître chez des plantes qui ne le possèdent pas (*Helianthus tuberosus*, p. 43, fig. 11 et 12). M. Wiesner a également montré que la lumière ou l'ombre peuvent contribuer à le faire apparaître ou disparaître.

(1) D'après M. GOEBEL.

En exposant une Joubarbe à des éclaircissements variés accompagnés, il est vrai, de changements de l'état hygrométrique, il a constaté que la rosette des feuilles tend à se dissocier dans un air humide et à l'obscurité. La constitution de la rosette normale condensée est le résultat de l'accroissement de la transpiration et de l'absence d'allongement de la tige, qui est dû à l'action retardatrice de la lumière.

Tubercules et bulbes. -- La production des tubercules est aussi très souvent en rapport avec l'absence d'éclaircissement : les expériences de M. Vœchting l'ont nettement prouvé. Si l'on s'arrange de façon à placer à l'obscurité la partie aérienne basilaire d'une Pomme de terre, en laissant le haut croître à la lumière, il se développe dans cette région inférieure des stolons qui engendrent de nombreux tubercules. Cette production est d'ailleurs fortement accélérée par l'humidité de l'air. Il n'est pas nécessaire d'ailleurs que la partie de la tige placée à l'obscurité soit à sa base pour que les tubercules s'y forment : on peut les faire apparaître même au sommet. Les matériaux nutritifs, dans ce dernier cas, sont conduits de bas en haut pour la formation des réserves, contrairement à ce qui a lieu d'ordinaire.

La lumière entrave également la formation des bulbes. M. Stahl a mis ce résultat en évidence par l'étude de l'*Adoxa moschatellina*. Il laisse passer le rhizome de cette plante par le trou d'une coupelle de terre de manière que l'extrémité puisse être exposée à l'action de la lumière ou mise à l'obscurité. A la lumière, la croissance de la tige souterraine continue ; à l'obscurité, elle s'arrête au bout de peu de temps, et un bulbe tuberculeux se forme ; si l'on expose de nouveau le rhizome à la lumière, la croissance recommence.

Les exemples, peu nombreux mais variés, que nous venons de passer en revue nous montrent assez clairement quelles actions diverses la lumière peut exercer sur l'aspect extérieur des végétaux. On peut presque dire qu'elle les pétrit comme une matière plastique. Tantôt elle s'attaque à la forme générale de l'être, elle contribue à lui donner une face supérieure et une face inférieure et à faire naître une organisation dorsi-ventrale : Tantôt elle modifie individuellement les organes : accroît la taille des feuilles ou déplace leurs

points d'insertion, change le contour des racines et des tiges.

Quand elle cesse d'agir, l'affaiblissement qui en résulte pour la plante est tel, qu'il provoque l'apparition de phénomènes ataviques, un retour à des caractères primitifs.

En somme, bien que souvent moins manifeste, le rôle de la lumière est peut-être plus profond que celui de la chaleur. La lumière est le facteur qui contribue le plus à introduire dans l'aspect de la substance vivante les transformations les plus considérables et les plus variées. L'étude des métamorphoses de la structure va d'ailleurs confirmer cette manière de voir.

CHAPITRE XIV

LA STRUCTURE

Il nous paraît maintenant naturel de penser que la lumière peut avoir de l'influence sur la structure interne des végétaux depuis que nous savons combien est profonde son action sur leurs fonctions et leur forme. Ce n'est cependant que par les efforts accumulés des chercheurs que cette notion a acquis droit de cité dans la science.

L'étude de la dorsiventralité, faite en tenant compte de la structure, va nous permettre de mettre nettement en évidence cette conception nouvelle de la variabilité de l'organisation anatomique.

Dorsiventralité anatomique. — L'existence d'une différenciation de structure en rapport avec la présence d'une face supérieure et d'une face inférieure se retrouve partout dans les végétaux ; elle caractérise, en particulier, on peut presque dire toutes les feuilles ; on l'observe quelquefois dans les branches, et le *Thuya* en est un des exemples les plus typiques.

1° *Cas des branches.* — Le cas de cette dernière plante mérite d'être étudié avec soin, d'abord parce que c'est le plus anciennement connu, ensuite parce qu'il fournit une preuve décisive de l'action de la lumière sur la dorsiventralité, preuve qui a été donnée par M. Franck.

Les pousses dressées du *Thuya occidentalis* sont à plusieurs faces semblables. Les branches horizontales ou obliques ont, au contraire, une bilatéralité très accusée : elles ont un côté d'ombre et un côté de lumière qui se distinguent même à première vue par la couleur. En coupe, elles sont ellip-

tiques, et le grand axe de l'ellipse est horizontal. Les feuilles sont, les unes, larges, placées à la face supérieure et inférieure de la branche ; les autres, plus étroites, situées latéralement, ayant une moitié appliquée sur la région supérieure, une

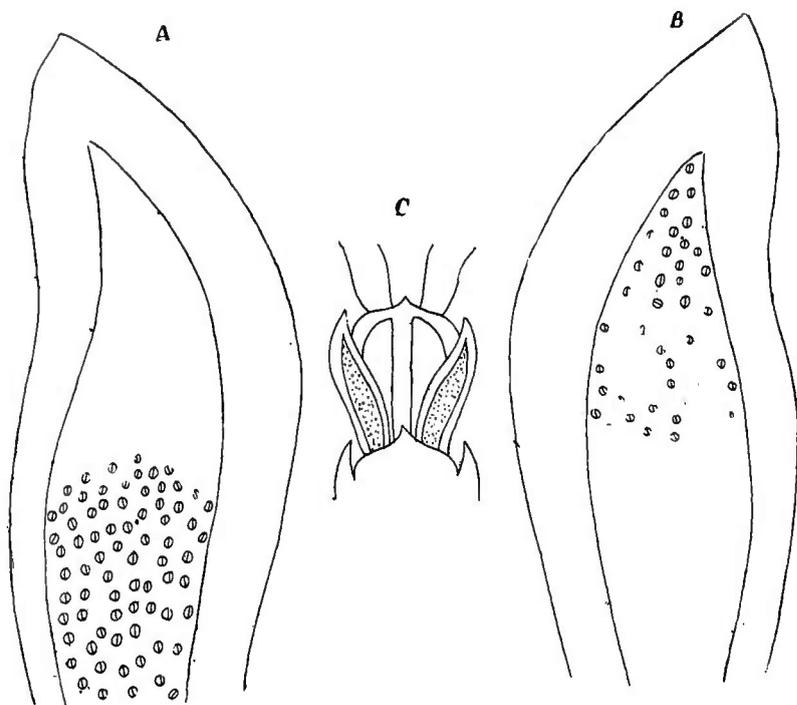


FIG. 58, 59 et 60. — *Thuya*. C, branche horizontale vue par-dessus, elle montre les moitiés supérieures des feuilles latérales et la feuille médiane supérieure. — A et B, feuilles couvertes de stomates seulement sur la moitié de leur surface. — La moitié terminale de A est dépourvue de stomates, parce qu'elle a commencé à se développer quand la branche était dans sa position normale et tournée vers le haut; la partie basilaire présente au contraire des stomates, parce qu'elle s'est développée depuis que la branche est tordue et que la feuille est devenue inférieure; les petits ronds traversés d'un diamètre figurent schématiquement les stomates. — B, aspect de l'épiderme d'une feuille qui a commencé à se développer d'abord sur le côté à l'ombre et qui achève sa croissance sur le côté au soleil.

moitié appliquée sur la région inférieure (fig. 60, C). La dorsal-ventralité s'accuse par l'étude de l'ensemble du système composé de la branche et des feuilles, considéré comme formant un seul et même tout. Dans cet ensemble, ce qui est tourné vers le bas (feuille inférieure et moitié inférieure des deux feuilles latérales) est couvert de stomates; tout ce qui est tourné vers le haut (feuille supérieure et moitié supérieure des feuilles latérales) est dépourvu de ces appareils.

Selon que la bilatéralité est plus ou moins accusée, les différences entre les deux faces sont plus ou moins nettes : sur les tiges verticales, elles disparaissent complètement ; sur les branches horizontales, elles existent au maximum ; sur les branches obliques, on observe des transitions entre les deux structures précédentes, et l'on remarque alors que ces transitions sont en relation avec l'obliquité ou bien encore avec l'angle d'incidence de la branche et du rayon lumineux.

Pour vérifier l'action de la lumière, M. Franck a placé un certain nombre de branches dans une position renversée par rapport à la source lumineuse, en les tordant sans les séparer de la tige mère. Il a vu alors que la région qui était alors tournée vers le haut prenait tous les caractères d'une face supérieure et n'avait plus de stomates (fig. 58 et 59, A et B).

Sans retourner la branche, il protégeait la face supérieure contre la radiation solaire à l'aide d'un écran noir de façon que la tige ne fût plus éclairée que par le bas. La face inférieure produisait alors peu de stomates, tandis que la région supérieure à l'ombre en avait beaucoup.

La bilatéralité paraît donc bien due dans ce cas à l'action de la lumière.

2° *Cas des feuilles.* — L'espèce précédente est une plante particulièrement sensible à l'action de la lumière, quant à l'épiderme et à sa structure ; cette sensibilité ne se manifeste que rarement avec une pareille netteté.

L'expérience précédente conduirait à donner une explication de la structure bien connue de la plupart des feuilles des plantes qui ont, comme l'on sait, un épiderme supérieur sans stomates (1) et un épiderme inférieur à stomates nombreux.

La même intervention de la lumière ferait comprendre pourquoi les feuilles verticales (Laitues, Graminées) ont à peu près autant de stomates sur les deux faces (2) ; pourquoi les feuilles des Graminées qui s'enroulent en cylindre creux ont toujours les stomates sur la face interne (*Festuca glauca*,

(1) Ou pourvu d'un petit nombre de stomates.

(2) DUVAL JOUVE a vérifié ceci pour le *Psamma arenaria*, le *Spartina versicolor*.

Les feuilles horizontales d'*Eucalyptus* ont surtout des stomates en dessous ; les feuilles verticales en ont autant sur les deux faces (LECLERC DU SABLON).

fig. 61), que celle-ci soit en réalité une face supérieure ou une face inférieure (1).

Cependant il ne faut pas se hâter de conclure, car M. Dufour, dans des expériences comparées résultant de cultures faites à l'ombre et à la lumière, n'a pas trouvé de faits confirmant l'explication précédente. L'étude très soignée qu'il a faite de cette question ne lui a pas révélé de différence appréciable dans le mode de répartition des stomates sur les feuilles comparables développées à l'ombre et au soleil ; sur ces dernières feuilles, il y a seulement une augmentation du nombre des stomates en valeur absolue.

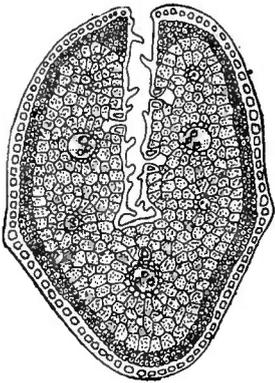


FIG. 61. — Feuille de *Festuca glauca* enroulée n'ayant de stomates que sur la face interne.

A quoi peut tenir l'antinomie si singulière que nous constatons entre les résultats des expériences faites sur les feuilles de plantes diverses et celle que nous venons de mentionner sur le *Thuja*, qui se rapporte, il est vrai, à une branche bilatérale, mais qui paraît s'accorder si bien avec l'ensemble des observations signalées plus haut ?

Une explication peut venir à l'esprit : les plantes qui ont servi dans les expériences de M. Dufour sont fixées héréditairement, et elles ne réagissent plus actuellement sous l'influence de la lumière. Il faudrait trouver des espèces sensibles à cette action, et peut-être que des plantes comme les Graminées ou des *Eucalyptus* à feuilles s'enroulant ou à feuilles verticales se prêteraient peut-être mieux à des expériences de cette nature (2).

Cette intervention de causes internes ou des facteurs héréditaires

(1) Ce fait constaté d'abord par M. PFITZNER a été vérifié par M. DUFOUR.

(2) Une autre explication pourrait être également justifiée. M. VESQUE a fait l'expérience suivante : un *Ranunculus sceleratus* est placé dans un air sec et à la lumière, il présente surtout des stomates à la face inférieure ; dans un air humide et à l'ombre, les stomates deviennent plus nombreux sur la face supérieure. L'état hygrométrique aurait un rôle prépondérant sur la répartition de ces appareils. M. TSCHIRCH, qui a étudié la flore des pays secs, a montré que la sécheresse amène une diminution du nombre des stomates. Nous verrons ailleurs quelle est l'influence du milieu aquatique sur les stomates.

ditaires peut être d'ailleurs prouvée dans certains cas. Un certain nombre de feuilles se tordent pendant leur développement par suite de phénomènes internes, qui sont assez analogues aux phénomènes de nutation, qui découlent de ce que la croissance des régions superficielles celle des parties profondes ne s'effectue pas avec la même vitesse. Il résulte de cette torsion du pétiole que l'épiderme qui était supérieur devient inférieur et inversement. Un pareil renversement s'observe pour l'*Allium ursinum*, pour l'*Alstroemeria psittacina* (fig. 62 et 63), pour certaines Graminées (1). Ce changement de position est accompagné d'un renversement dans la structure : la face supérieure, qui est maintenant tournée vers le sol, est couverte de stomates, tandis que la face opposée regardant le ciel n'en présente aucun. Ce changement a pu avoir autrefois une cause externe, peut-être l'action de la lumière, mais ce n'est plus ce facteur qui agit actuellement, car le renversement de structure apparaît dans le bourgeon, alors que la feuille n'est pas encore éclairée. Ce fait, constaté par M. Musset sur l'Ail des Ours a été étendu par M. Dufour à l'*Alstroemeria psittacina*.

Ainsi donc, voilà un renversement de structure tout à fait

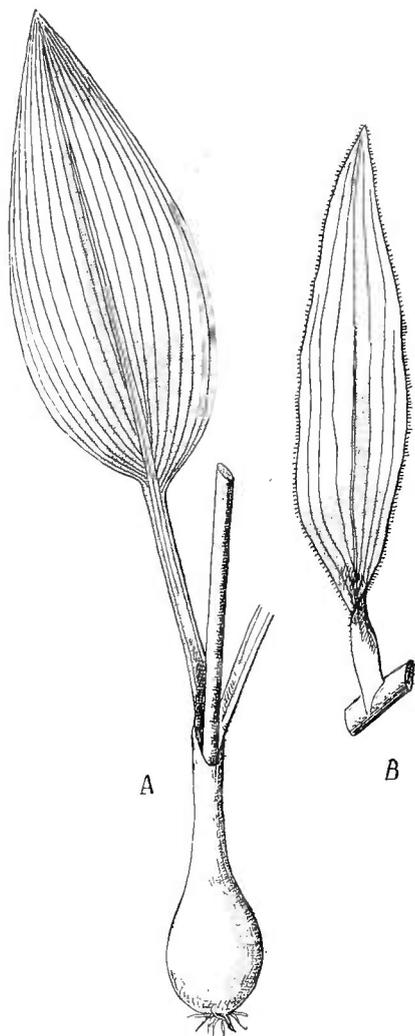


FIG. 62 et 63. — A, *Allium ursinum* (Ail des Ours); on voit que la nervure médiane de la feuille, qui est très saillante, est tournée vers le haut, puisque la feuille est retournée. — B, *Alstroemeria psittacina*, l'examen de la figure permet de voir nettement la torsion de la feuille qui se produit à la base.

(1) IRMISCH et M. DUFOUR se sont occupés de cette question.

anormal qui a pu avoir autrefois pour origine une cause physique, qui est devenu maintenant héréditaire et qui se produit, par une sorte d'*accélération métagénésique*, lorsque la feuille est encore embryonnaire. La même accélération se manifeste d'ailleurs par la considération d'un autre tissu pour lequel l'influence de la lumière se démontre avec la plus grande certitude, le tissu en palissade.

Tissu palissadique. — L'expérience a appris, contrôlant les résultats des observations, que les feuilles développées au soleil ont un tissu palissadique, et que ce tissu est atrophié si les feuilles croissent à l'ombre ou à l'obscurité. Tant que l'on se

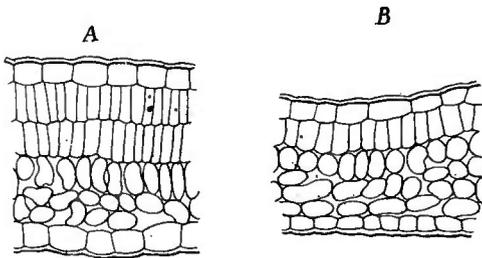


FIG. 64 et 65. — Fraisier (*Fragaria vesca*).
A, Section transversale d'une feuille développée à la lumière. — B, Section transversale d'une feuille développée à l'obscurité. Ces deux dessins de M. Dufour montrent la réduction du tissu palissadique dans le second cas.

bornait aux observations dans l'étude de cette délicate question (1), il pouvait planer quelques doutes sur le rôle effectif de la lumière ; aussi M. Dufour (2) a-t-il fait progresser la question d'une manière décisive en l'examinant expérimentalement ; il a ainsi bien établi qu'une plante à l'ombre ne différencie pas ou peu son tissu en palissade (fig. 64

et 65). Une ingénieuse expérience de M. Pick plaide d'ailleurs dans le même sens, car il a fait naître des palissades à la face inférieure d'une feuille en l'éclairant par-dessous.

L'étude des palissades des tiges contrôle ce résultat. Ce sont habituellement les feuilles des végétaux qui grâce à leur tissu palissadique jouent le rôle le plus important dans les phénomènes d'assimilation ; une telle fonction n'est qu'accessoire pour les tiges. Cependant, si les feuilles sont petites ou en petit nombre, la tige verte peut contribuer largement à la fixation du carbone. On voit alors les cellules de l'écorce de cette tige prendre les caractères du tissu en palissade qui ne s'y observe pas normalement ; c'est ce que l'on voit pour les *Ephedra*, le *Spartium Junceum*, le *Jasminum fruticans*, le

(1) Voir les travaux de M. Stahl.

(2) DUFOUR.

Casuarina quadrivalvis (fig. 66, A). Si ces tiges se développent à l'ombre, ce tissu est à peine différencié; il n'en est plus de même quand elles croissent au soleil. On remarque même quelquefois que les palissades sont obliques, de façon que leur plus grande dimension se trouve dans la direction de la lumière incidente (*Ornithogalum* (fig. 67, B.) (1).

Feuilles verticales. — Le fait que nous venons de mettre en évidence pour les tiges verticales nous conduit à nous demander comment se comportent vis-à-vis de la lumière les feuilles verticales, qui, ainsi que nous l'avons vu déjà, existent en grand nombre dans les régions chaudes du globe. Les *Eucalyptus* (2) nous fournissent sur l'action du soleil des documents particulièrement intéressants. Les jeunes feuilles horizontales de l'*Eucalyptus globulus* n'ont de tissu en palissade que sous la face supérieure; les feuilles verticales plus âgées en ont, par contre, sous les deux épidermes (on dit, dans ce cas, que le parenchyme de la feuille ou mésophylle est symétrique). Ce résultat a été étendu par M. Leclerc du Sablon aux autres espèces qui ont deux sortes de feuilles (*E. pilularis*, *jugalis*, *gomphocephala*). Pour les espèces qui n'ont qu'un seul type d'organes foliaires, elles présentent un mésophylle symétrique ou non symétrique, suivant que ces feuilles sont verticales (*E. mesocarpus*, *verticalis*, *radiata*) ou horizontales (*E. botryoides*, *robusta*).

M. Grosplik a montré comment, dans tous les cas, se fait la différenciation des tissus foliaires aux dépens d'un mésophylle primitif formé de cellules arrondies. Il a maintenu hori-

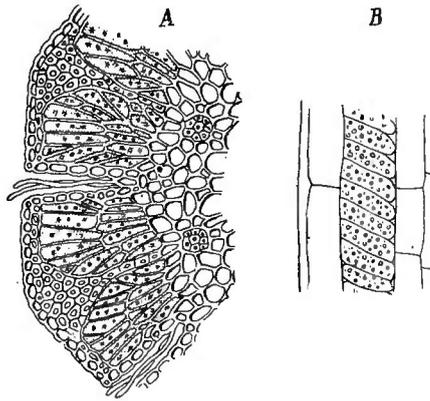


FIG. 66 et 67. — A, Tige de *Casuarina quadrivalvis* présentant sous les fibres hypodermiques du tissu palisadique qui est pointillé. — B, Tige d'*Ornithogalum bizantinum* ayant du tissu en palissade orienté obliquement et parallèlement au rayon lumineux.

(1) PICK.

(2) Voir les travaux de MM. MAGNUS, LECLERC DU SABLON, GROSPLIK et BORZI.

zontalement une jeune feuille destinée à devenir verticale, et il a vu naître du tissu en palissade seulement sur une face; le résultat inverse a été obtenu en maintenant verticale une feuille qui devait être horizontale. deux assises palissadiques ont fait leur apparition.

Les faits précédents ont été vérifiés pour un grand nombre de plantes à feuilles verticales, en particulier pour les plantes boussoles (*Lactuca scariola*) (1), pour les Myrtacées (2), pour les espèces appartenant aux familles les plus diverses des pays chauds (Antilles) (3).

C'est principalement dans la flore des régions sèches et ensoleillées que l'on rencontre de telles plantes. Elles abondent dans les pays qui entourent la Méditerranée, dans les steppes d'Europe, dans les prairies de l'Amérique. L'action de la lumière s'accorde dans ce cas avec celle de l'état hygrométrique qui amène un changement dans la transpiration (4).

Lumière continue. L'Anatomie et la classification. — Les modifications que nous venons d'étudier résultent de l'action de la lumière ordinaire, c'est-à-dire d'une lumière discontinue qui ne fait sentir son action que pendant le jour. M. Bonnier s'est demandé quel serait l'effet produit sur la structure par la culture de plantes diverses en présence d'un éclaircissement indéfiniment prolongé. Les variations qui s'opèrent ainsi dans les plantes sont vraiment extraordinaires et méritent une description spéciale.

Mais, pour en comprendre tout l'intérêt, il est indispensable de dire un mot du rôle que peut jouer l'anatomie dans la définition des espèces et des genres.

Les caractères anatomiques peuvent servir à définir les êtres vivants aussi bien que ceux tirés de l'étude de la forme extérieure; cette opinion est admise par les zoologistes depuis

(1) STAHL.

(2) HENTIG.

(3) JONOW.

(4) Certains auteurs ont prétendu (MM. VESQUE et EBERDT) que la lumière n'agissait que par la modification de la transpiration. Ils rapportent qu'une plante dans un air sec et à l'obscurité forme des palissades. Mais elles y sont cependant moins développées qu'à la lumière. Il est d'ailleurs impossible de séparer la lumière de la transpiration ou chlorovaporisation, ce dernier phénomène dépendant étroitement de la radiation lumineuse.

longtemps grâce aux beaux travaux de Cuvier. En botanique, les progrès de la science ont été moins rapides de ce côté, et

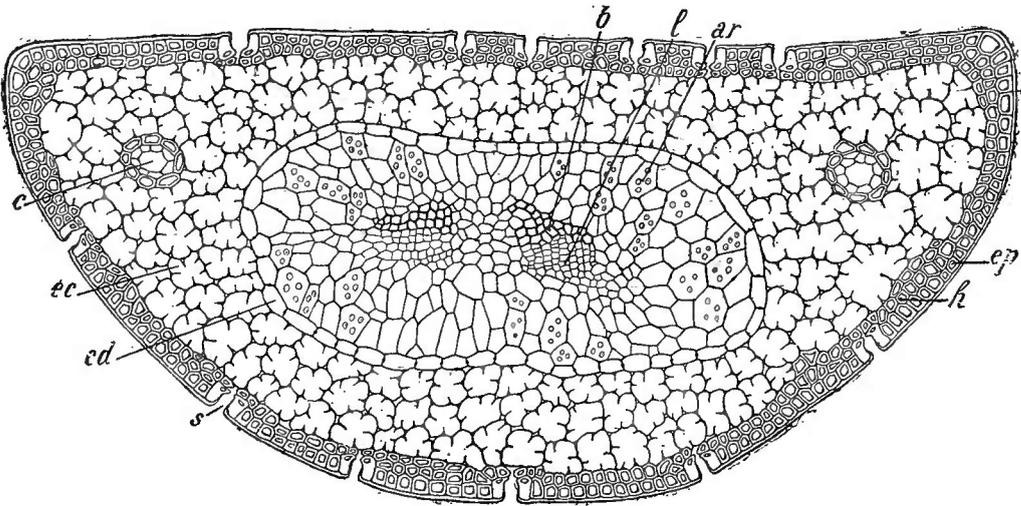


FIG. 68. — Feuille de Pin normale, développée à la lumière ordinaire : *ep*, épiderme ; *h*, hypoderme ; *ec*, écorce formée de cellules à appendices celluloseux internes ; *c*, canal sécréteur ; *ed*, endoderme ; *b*, bois ; *l*, liber ; *ar*, tissu de transpiration (d'après M. Bonnier).

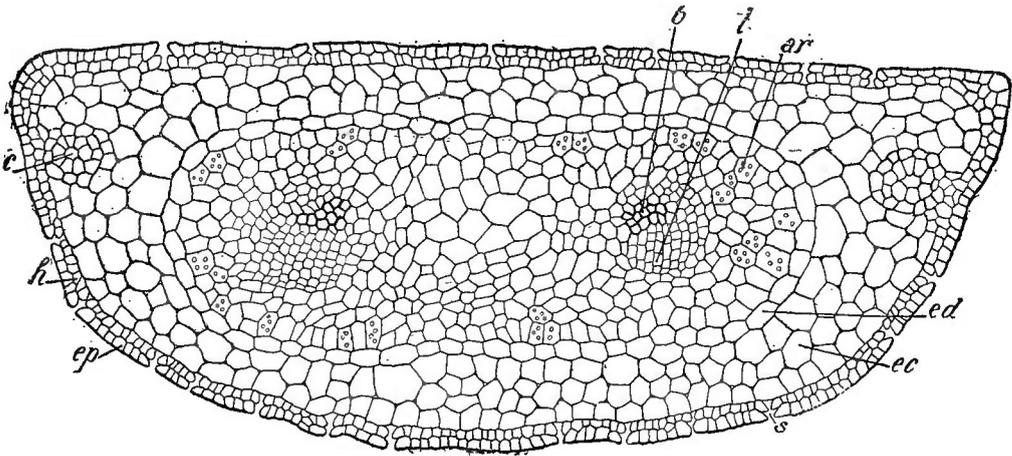


FIG. 69. — Feuille de Pin développée à la lumière électrique, par un éclairage continu ; mêmes lettres que dans la figure précédente (d'après M. Bonnier).

jusque dans ces dernières années les classificateurs se servaient surtout pour déterminer les plantes des caractères de la fleur. Aussi M. Van Tieghem a-t-il fait entrer la science dans une voie féconde en appliquant avec méthode la connaissance de l'anatomie végétale à la classification. Il a découvert ainsi des caractères stables et héréditaires qui lui ont permis d'ap-

porter des réformes profondes dans notre conception d'un grand nombre de familles et de genres.

Parmi les groupes qui ont été l'objet de ses recherches, il faut citer en particulier les Conifères ; plusieurs des genres qui composent cette famille sont caractérisées par un tissu assimilateur très spécial offrant des replis internes de la membrane (fig. 68) : on observe cette disposition anatomique dans les genres *Pinus*, *Cedrus*, *Pseudo Larix*, et *Keleleria* et elle peut servir à les reconnaître avec certitude.

Or, en soumettant à l'action de la lumière électrique continue des germinations de Pin, M. Bonnier a vu s'effacer le caractère précédent (fig. 69) ; c'est là un des résultats les plus remarquables mis en évidence par ses observations. Cette variation peut être accompagnée de beaucoup d'autres (1) que l'on peut apprécier en comparant les figures 68 et 69.

Pratiquement, il faut le dire, ces variations n'ont pas d'importance, les Conifères n'étant pas exposées, dans les conditions actuelles de vie à la surface du globe, à un éclaircissement continu ; mais, si les conditions de la vie terrestre venaient à changer, si le développement des Conifères devenait possible au pôle (comme la chose a peut-être pu se produire autrefois, car il y a des végétaux voisins des Conifères actuelles dans la flore carbonifère dont il a été question plus haut) l'action de la lumière continue pourrait intervenir pour modifier les végétaux précédents dans la direction que l'expérience révèle.

En somme, tous les renseignements que nous recueillons successivement se complètent les uns les autres et s'éclaircissent mutuellement : l'étude de la structure nous révèle nettement l'action directe et profonde de la lumière sur les plantes. Aucun détail ne doit être négligé, les particularités les plus infimes méritent d'être notées avec soin du moment qu'il s'agit des variations des êtres et des causes qui les produisent. C'est au prix de ces patients efforts que le problème fondamental que nous étudions pourra être résolu et que l'œuvre de la science s'édifiera sur des bases solides.

(1) Des variations très singulières ont été également décrites pour un grand nombre d'autres plantes.

CHAPITRE XV

MODIFICATIONS DES ORGANES REPRODUCTEURS

On a longtemps regardé la fleur comme l'organe héréditaire par excellence, celui auquel on doit s'adresser pour fonder un groupement rationnel et stable des végétaux.

Cette fixité héréditaire est-elle aussi grande qu'on veut bien le dire, c'est ce que nous allons examiner à propos de l'action de la lumière sur les diverses pièces florales.

On s'est beaucoup préoccupé dans ces dernières années de l'influence de la radiation lumineuse sur les organes reproducteurs des plantes. Ce problème, qui se rattache intimement au précédent, a une grande portée, car tout indique aujourd'hui que cette action est très générale, qu'elle se manifeste chez toutes les plantes, qu'elle s'exerce sur les Cryptogames comme sur les Phanérogames; et parmi les êtres de ce premier groupe, ses effets s'observent avec une netteté particulière sur les Champignons et aussi sur les Algues.

Champignons. — Nous avons déjà dit plus haut comment l'obscurité modifiait les Champignons. Nous avons vu que la fructification du Champignon de couche se produisait dans les caves; la lumière paraît nécessaire, au contraire, à la formation du chapeau de plusieurs espèces, parmi lesquelles nous avons cité le Coprin.

M. Lendner a repris récemment cette étude pour un certain nombre de Mucorinées et de moisissures. Selon lui, l'action de la lumière dépend du milieu nourricier. Ce résultat ne doit pas nous étonner, car nous avons vu quel lien intime existe entre l'aliment et la respiration, entre la croissance et la synthèse organique.

Sur les milieux solides, en général, aucune action de la lumière ne se manifeste ; sur les milieux liquides, on observe quelquefois un retard dans la formation des sporanges à l'obscurité (*Rhizopus*). La nature du liquide n'est pas elle-même indifférente ; on peut voir, par exemple, avec le milieu qui a servi à Raulin pour ses recherches sur le *Sterigmatocystis nigra*, que les sporanges de certains Mucors (*M. flavidus*) se forment à la lumière seulement. Le *Thamnidium elegans* et le *Mucor Mucedo* paraissent, par contre, former leurs sporanges également bien partout.

Cette diversité de résultats nous montre donc, fait que nous aurons l'occasion de constater à maintes reprises, que l'action de la lumière dépend d'une sensibilité propre à chaque espèce. Quelques-unes sont indifférentes vis-à-vis de cet agent (*Thamnidium*, *Mucor Mucedo*), elles forment leurs sporanges à l'obscurité et sur les milieux liquides ; d'autres Champignons déjà plus sensibles (*M. flavidus*) ne produiront des sporanges que sur un substratum liquide et dès qu'ils ont suffisamment de lumière, tandis que sur des solides, ils seront aussi insensibles que les précédents à la radiation. *La lumière n'est nécessaire que si le milieu est défavorable*. Les Champignons les plus sensibles sont ceux qui, cultivés sur des milieux solides, ne parviennent pas à former leurs sporanges en l'absence de la lumière (*Pilobolus microsporus* et *Coprinus*).

Algues et autres Cryptogames. — Si nous nous adressons aux Algues, nous obtiendrons des résultats plus uniformes, peut-être parce que nous étudions les organes sexués.

Il y a longtemps déjà que MM. Rostafinsky et Woronin ont vu que l'effet d'une forte insolation sur le *Botrydium* (1) était de favoriser la formation des œufs.

Des faits analogues ont été observés par M. Klebs qui a montré que la reproduction par zoospores et la reproduction sexuée dépendaient des conditions extérieures. Pour le *Vaucheria*, il a pu à volonté faire apparaître la reproduction sexuée ou asexuée ; la formation des cellules sexuées dépend d'une forte lumière. Des résultats semblables

(1) Les nouvelles recherches de M. KLEBS nous apprennent qu'on a confondu sous le nom de *Botrydium* deux types différents ; l'un d'eux est le *Protosiphon* dont les gamètes sont mis en liberté à l'obscurité, mais ne se fusionnent qu'à la lumière.

ont été établis avec une égale netteté pour les *OEdogonium*.

C'est ce qui s'observe le plus souvent ; nous allons voir que ce fait est d'accord avec celui que l'étude des plantes à fleurs va nous révéler. La règle précédente paraît assez générale pour des Algues appartenant à des groupes assez différents : nous venons de voir qu'elle est vraie pour une Siphonée et une Confervacée ; elle se vérifie pour les Conjuguées (*Spirogyra*, *Cosmarium*). L'*Hydrodictyon* semble cependant y faire exception.

Si on diminue l'intensité de la lumière, ce sont les zoospores du *Vaucheria* qui se forment. Ainsi donc une diminution de la lumière tend à faire apparaître la reproduction asexuée ou, plus généralement, à favoriser la multiplication végétative des plantes inférieures.

Les prothalles du *Polypodium aureum* développent des organes sexués par un bon éclaircissement et des pousses adventives par un mauvais. Pour le *Pteris cretica*, les cellules du bord du prothalle donnent, par une faible lumière, de longs filaments qui se ramifient en une sorte de protonème. La lumière est de même chez les Mousses, la condition essentielle de l'apparition des bourgeons qui donneront ultérieurement les stigmates et les organes sexués ; à une lumière tamisée, le protonème du *Funaria hygrometrica* demeure stérile des mois et même des années. Le même fait a été constaté pour des Hépatiques (*Jungermannia cuspidata* et *porphyroleuca*).

On peut également rappeler, à ce propos, que les Batrachospermes (fig. 70), qui fructifient régulièrement selon le mode sexué dans les ruisseaux d'eau courante lorsqu'ils sont bien exposés à la lumière, donnent une forme asexuée ou forme *Chantransia* dans les fontaines peu éclairées (1).



FIG. 70. — Port d'un Batrachosperme. Le points noirs qu'on aperçoit dans les glomérules sont les cystocarpes qui dérivent des organes sexués.

(1) Ce fait a été établi par M. SIRODOT.

Fleur des Phanérogames. — La généralité des résultats ainsi mis en évidence nous conduit à penser que les mêmes faits doivent s'observer pour les plantes supérieures. On sait, par les recherches de Sachs sur cette question, que les fleurs peuvent

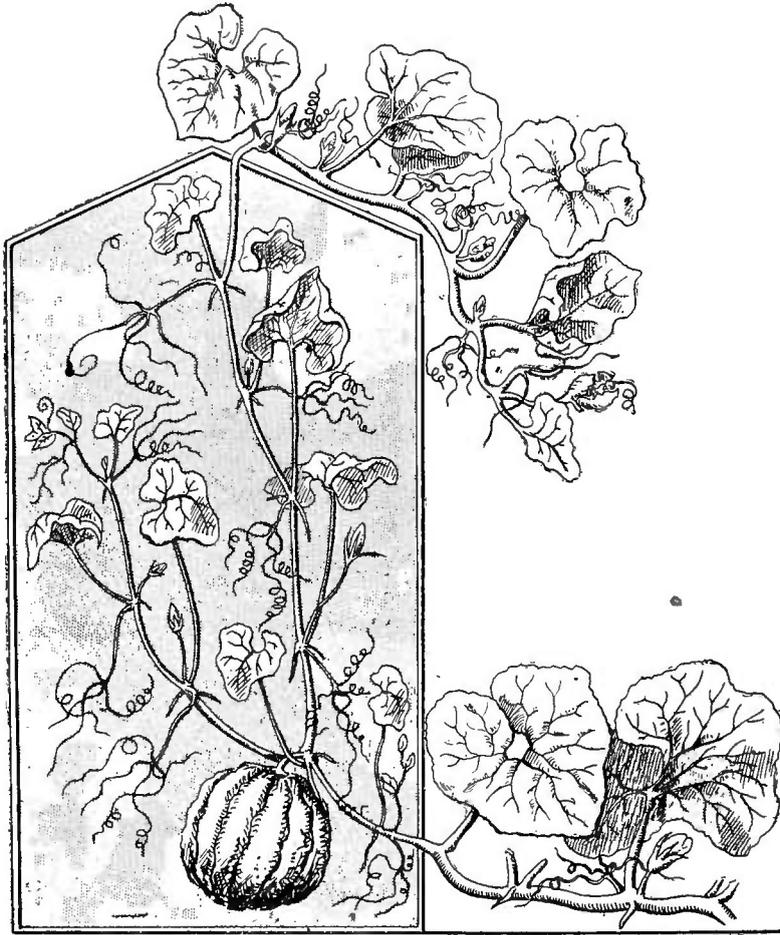


FIG. 71. — *Cucurbita* dont une partie de la tige croît à l'obscurité dans une boîte; les parties éclairées, grâce à l'assimilation du carbone des feuilles, nourrissent les parties placées à l'obscurité et leur permettent d'y fleurir et fructifier (Exp. de Sachs).

se former à l'obscurité lorsque la plante a des réserves : si l'on place, par exemple, une plante à bulbe à l'obscurité (Tulipe, Jacinthe), elle pourra y fleurir grâce aux matières nutritives qu'elle contient ; mais, si les réserves manquent, la fleur ne se produit pas. Cependant, si on laisse croître les feuilles au soleil, en ne mettant à l'abri de la lumière qu'une partie de la tige (Capucine, Cucurbitacée), les fleurs se formeront à l'obscurité, la fécondation pourra même s'y opérer, et un

fruit de *Cucurbita* naîtra dans ces conditions (fig. 71).

Ces expériences intéressantes nous apprennent donc que la production des fleurs à l'obscurité dépend de l'existence de certaines substances qui se produisent dans les feuilles vertes à la lumière, ou qui existent dans les bulbes par suite d'une végétation antérieure. Ces substances cheminent des feuilles vertes exposées à la lumière vers les parties des tiges placées à l'obscurité.

La nature exacte de ces substances formatrices des fleurs est assez inconnue, mais Sachs a montré qu'elles ne se produisent pas quand les rayons ultra-violetts manquent. Il place une Capucine dans une

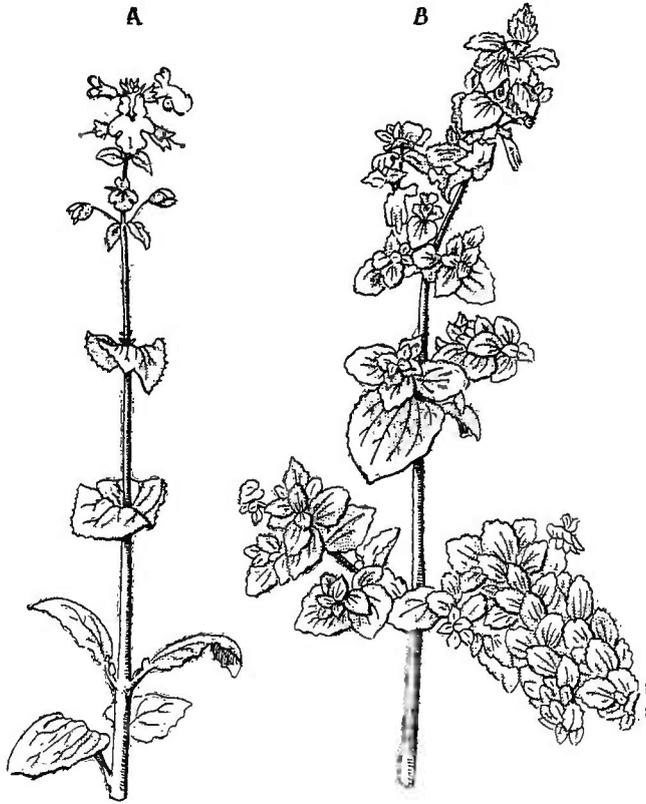


FIG. 72 et 73. — Expérience de M. Vœchting sur le *Mimulus Tilingi* montrant l'influence d'une lumière atténuée sur le port d'une plante. — A, individu développé en pleine lumière; il a peu de feuilles et de branches, mais des fleurs nombreuses. — B, individu développé à une lumière faible; il ne fleurit pas, mais sa croissance végétative (feuilles et rameaux) est exubérante.

caisse noire fermée par une vitre épaisse et creuse dans laquelle on peut verser soit de l'eau, soit une dissolution de sulfate de quinine. Cette dernière solution a la propriété d'arrêter les rayons ultra-violetts et de les changer en rayons lumineux; or, derrière ce liquide, les fleurs ne se produisent pas.

Sachs n'a étudié que l'action de l'obscurité complète. Il y a cependant grand intérêt à savoir quelle était l'influence d'une lumière simplement atténuée. C'est le problème qu'a d'abord examiné M. Vœchting.

Il a placé une Scrofularinée, le *Mimulus Tilingi*, dans une chambre qui ne recevait de lumière que pendant un temps très court, au début de la journée; en mettant les divers pieds de cette espèce à des distances de plus en plus grandes de la fenêtre, il les exposait à des éclairagements de plus en plus faibles.

Il a vu ainsi l'appareil floral se réduire de plus en plus, et finalement, quand l'intensité lumineuse tombait au-dessous d'un certain minimum, la plante restait stérile. Mais cette suppression de la fleur, à la formation de laquelle le végétal consacre une grande somme de forces, laisse libre une énergie considérable que l'on voit alors se dépenser pour la production de pousses et de feuilles, aussi observe-t-on une exubérance végétative tout à fait remarquable (fig. 72 et 73) (1).

On conçoit que certaines espèces rencontrent souvent dans la nature des conditions de milieu qui les obligent à se multiplier ainsi au lieu de se reproduire. Nous aurons l'occasion de citer plus tard, à propos de l'étude des plantes aquatiques, des exemples de tels faits: les Sagittaires dans les eaux profondes restent stériles, évidemment parce que la lumière qui leur parvient est insuffisante; on voit souvent, au fond de l'eau, pour la même raison, des champs entiers de *Scirpus lacustris* sans une hampe florale.

Il ne paraît pas invraisemblable de supposer que certains végétaux prennent l'habitude de se multiplier ainsi par simple bourgeonnement et bouture, et qu'à la longue ce caractère se fixe et devienne héréditaire si l'on peut s'exprimer ainsi. Les faits de parthenogénèse ou d'apogamie (Fougères, *Chara crinitra*, *Mucor tenuis*, etc.) ont peut-être une telle origine. Il peut même arriver, lorsque la variation a été fixée, que la plante se retrouve exposée à une lumière intense sans donner pour cela les fleurs primitives. L'hypothèse précédente permettrait peut-être d'expliquer l'existence de certaines plantes se multipliant par bulbilles d'une manière normale, même dans les places ensoleillées (*Poa bulbosa*, *Allium*).

Jusqu'ici, en étudiant l'action de la lumière sur la fleur, nous n'avons constaté qu'une disparition de cet organe. Une

(1) M. LANDEL a mis également en évidence une diminution du nombre des fleurs à l'ombre.

lumière atténuée ne pourrait-elle pas produire une simple atrophie partielle des organes floraux entraînant des modifications qui se rencontrent communément dans la nature chez les plantes qui poussent à l'ombre? Cette question nous conduit à l'étude des fleurs cleistogames.

Cleistogamie. — Au siècle dernier, Linné ayant reçu diverses graines de plantes d'Espagne (*Cissus guttatus*, *Salvia verbenaca*, *Silene portensis*), les fit semer à Upsal et constata que leurs fleurs ne s'ouvraient pas; elles n'en produisaient cependant pas moins leurs graines. Il expliquait ce fait en admettant que, sous un climat très septentrional, la quantité de chaleur nécessaire à l'épanouissement des fleurs avait été insuffisante. De la même cause dépendait, selon lui, l'existence en Suède d'espèces dont les fleurs restaient normalement closes; parmi ces plantes dites *cleistogames*, on peut citer un certain nombre d'espèces telles que le *Lamium amplexicaule*, le *Campanula hybrida*, etc.

Cette opinion semble avoir été confirmée par différents observateurs qui ont montré que les fleurs cleistogames apparaissent surtout en hiver ou au printemps, dans la saison froide (1); leurs observations ont porté sur les *Lamium amplexicaule*, *album* et *purpureum*, l'*Impatiens noli tangere*, les *Veronica Buxbaumii*, *agrestis* et *polita*.

La chaleur est-elle le seul facteur à invoquer pour expliquer la production de cette particularité si remarquable de la fleur? Déjà autrefois H. Mohl avait remarqué pour les Violettes et l'*Oxalis acetosella* que les grosses fleurs peuvent apparaître au printemps et les fleurs apétales en été. Un praticien, M. Bouché, a émis l'opinion que la lumière doit aussi jouer un rôle dans les transformations précédentes.

Cette manière de voir a été confirmée d'une manière très remarquable par les expériences intéressantes de M. Voëchting.

Quand on oblige le Mouron (*Stellaria media*) à se développer sous une lumière atténuée, on voit que la corolle ne s'ouvre plus. La fleur, n'étant plus ouverte, ne peut plus être visitée par les Insectes, et le pollen d'une fleur étrangère ne peut plus être transporté sur son stigmate, il y a donc au-

(1) WALZ, AXÉLL et BENNET.

tofécondation. Examine-t-on ces fleurs fermées, on voit que, leur corolle est bien constituée, et transporte-t-on le végétal dans un lieu éclairé, les pétales s'y ouvrent rapidement. Pour l'espèce précédente comme pour le *Lamium purpureum*, l'expérimentateur a pu faire apparaître à volonté, à l'aide de la lumière, une forme déterminée de fleurs : ici uniquement des fleurs fermées ou cleistogames, là seulement des fleurs ouvertes ou chasmogames.

Avec le *Linaria spuria*, on a toujours sur une même plante deux sortes de fleurs ; mais à la lumière vive, les fleurs chasmogames seront prédominantes ; à l'ombre, au contraire, les fleurs

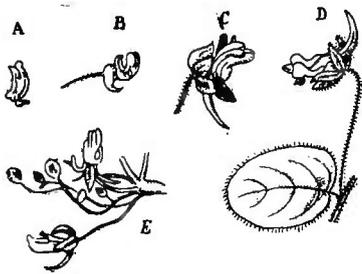


FIG. 74 et 75. — Fleurs de *Linaria spuria*. — A, B et E, fleurs cleistogames; C et D, fleurs chasmogames.

cleistogames deviendront plus nombreuses. Les fleurs chasmogames sont irrégulières ou zygomorphes (fig. 74 et 75, C et D) (1), Ce dernier caractère, que certains auteurs ont voulu regarder comme étant en relation avec la visite des Insectes, est en général accompagné d'une position fixe du plan médian ; ici cette stabilité de la position disparaît, la corolle peut être verticale ou hori-

zontale (sur le dessin C, l'éperon est en bas ; sur le dessin D, il est en haut), aussi est-on amené à penser que ces plantes se fécondent le plus souvent elles-mêmes. Ce retour à l'autofécondation s'accompagne, pour ces végétaux, assez fréquemment d'une tendance à la pélorie (c'est-à-dire à la symétrie axiale) (2). Les faits précédents ont conduit à l'hypothèse que le *Linaria spuria* était une espèce en train de retourner au type régulier. Les fleurs cleistogames sont très petites (fig. 74 et 75, A et B), elles naissent souvent dans le sol ou à la surface de la terre (idem, dessin E), elles ont une orientation absolument quelconque ; un certain nombre de fleurs chasmogames ont une orientation régulière, leur calice s'ouvre fréquemment, mais la corolle est atrophiée et la zygomorphie moins accusée.

(1) Irrégulières, symétriques par rapport à un plan.

(2) STEHELIN.

Ainsi donc pour les plantes de la première catégorie, la formation des fleurs cleistogames dépend complètement de la lumière (*Stellaria*, *Lamium*); pour celles de la seconde, la dépendance n'est plus que partielle (*Linaria*). Avec le *Viola odorata*, nous faisons un pas de plus, car nous constatons que la production des fleurs cleistogames n'est plus du tout sous l'influence de la lumière.

La métamorphose précédente d'une fleur ouverte en une fleur fermée est très importante puisqu'elle entraîne un changement complet dans son mode de fécondation. Souvent, il est vrai, les transformations sont moins profondes, elles se traduisent simplement par une variation de taille des différentes pièces florales.

Variations des pièces florales. —

L'action de la lumière sur les diverses parties qui constituent une fleur se manifeste souvent à des degrés divers. Assez souvent la radiation agit uniformément sur toutes les parties de la fleur (*Mimulus*). Dans certains cas, c'est la corolle qui est surtout modifiée, cela se voit pour les *Melandryum*

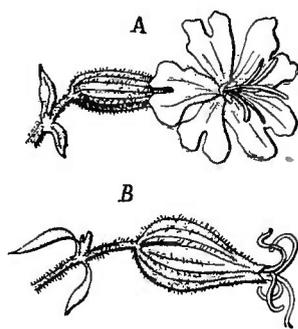


FIG. 76 et 77. — *Melandryum*. A, fleur développée en pleine lumière; B, fleur développée à une lumière faible, la corolle n'est pas visible.

(fig. 76 et 77) et les *Silene*; les autres organes des fleurs de ces plantes restent au contraire intacts : les fleurs mâles ont un calice et des étamines ordinaires. Les organes sexués proprement dits (étamines et pistil) paraissent, d'une manière générale, relativement moins sensibles à l'action de la lumière que les enveloppes florales.

Les variations que nous venons d'indiquer ne se produisent pas pour toutes les espèces avec la même facilité. A ce point de vue, chaque être a une sensibilité propre. L'*Impatiens parviflora*, qui est une plante ombrophile, forme ses fleurs à une intensité lumineuse où la fleur de Mauve, plante héliophile, est à peine ébauchée.

Ces différences qui se manifestent entre deux plantes, l'une d'ombre et l'autre de soleil, ne doivent pas étonner, mais de pareilles dissemblances s'observent également entre deux espèces héliophiles, par exemple le *Mimulus* et la Mauve.

Variations de la fleur avec la latitude et l'altitude. — L'ac-

tion de la lumière sur les fleurs ne se manifeste pas seulement par des changements de forme, elle se traduit aussi par des variations de la couleur. M. Schübeler a fait à ce sujet des observations très intéressantes. Il a semé à diverses latitudes, en Norvège, des graines de diverses plantes, il a pu constater que l'éclat des fleurs augmente avec la latitude. C'est à peine si l'on peut croire que les fleurs du *Rodanthe maculata*, par exemple, venant d'Alten à 70° de latitude et de Christiania à 60° proviennent de graines semblables. Ces différences se produisent dès la première année de culture.

Ces résultats ont été confirmés par les nombreuses recherches de MM. Bonnier et Flahault pour un grand nombre d'espèces spontanées communes à la France et à la Norvège. Le changement est quelquefois tellement profond, qu'on est tenté, au premier abord, de prendre les individus modifiés pour des espèces différentes.

Le *Cracca major* est d'un violet très intense et le *Saxifraga aizoides* est orangé, presque rouge-saturne au delà de 62° de latitude.

Les études expérimentales de M. Bonnier faites sur les montagnes de l'Europe centrale l'ont d'ailleurs conduit à des résultats semblables. La variation de la teinte du Lotier corniculé dans la plaine et sur la montagne est frappante : jaune pâle dans les régions basses, la corolle devient orangée presque rouge dans les hautes altitudes. Le *Campanula rotundifolia* devient bleu violet foncé sur les hauteurs, teinte s'éloignant beaucoup du bleu pâle des formes de la plaine.

Les recherches de M. Askenasy ont d'ailleurs montré, pour les fleurs qui peuvent se former à l'obscurité (expériences de Sachs indiquées plus haut), que, si leur forme était d'ordinaire peu modifiée, leur coloration était par contre très anormale.

Zygomorphie. — Il nous reste enfin à examiner une dernière question touchant à la symétrie de la fleur. Cette question de la naissance des fleurs zygomorphes a reçu diverses explications. Certains auteurs ont voulu y voir, nous l'avons déjà dit, le résultat d'une adaptation à la fécondation croisée par les Insectes : pour que la fécondation croisée puisse être réalisée, le corps de la fleur se serait modelé peu à peu dans le cours des âges de façon que l'Insecte en se posant sur une première fleur emporte de plus en plus aisément le pollen et

le dépose de plus en plus facilement sur la deuxième fleur qu'il va visiter.

Cette théorie ingénieuse, qui cadrerait parfaitement avec les idées de Darwin sur la sélection, parut avoir reçu de cet illustre naturaliste un appui très sérieux lorsqu'il eut démontré que la fécondation croisée est extrêmement utile aux végétaux, puisque c'est grâce à elle que la race se perfectionne, car les individus de race pure (issus d'autofécondation) sont plus chétifs, moins féconds que les individus dérivés de croisement.

Il y a un point que l'on ne comprend pas dans cette théorie, c'est l'origine de la variation. Pourquoi s'est-elle produite? Comment se fait-il qu'elle ait été réalisée justement dans le sens voulu pour l'adaptation au corps de l'Insecte?

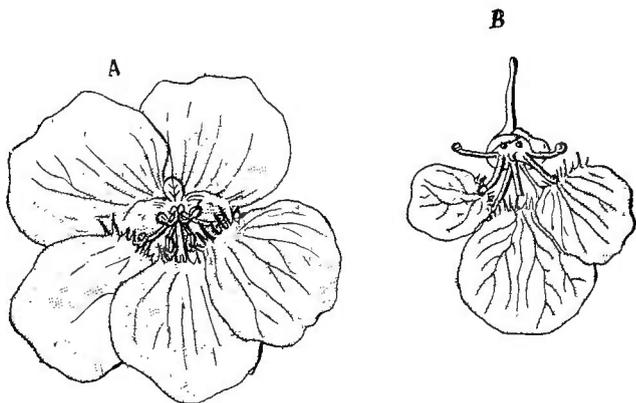


FIG. 78 et 79. — Capucine (*Tropæolum*). — A, fleur normale présentant cinq pétales. — B, fleur développée à une lumière faible, trois pétales seulement se sont développés, les deux autres sont atrophiés.

En réalité, les choses n'ont pas dû se passer précisément ainsi. La fleur a varié comme tous les organes de la plante sous l'influence des conditions extérieures, et parmi les facteurs qui ont modifié sa forme, nous venons de signaler la lumière. Cette action se manifeste d'une manière nette sur certaines fleurs zygomorphes, dans une direction qu'il est intéressant de bien fixer. M. Vœchting a pu la mettre en évidence pour la Capucine (*Tropæolum*) et le *Mimulus*.

Pour la Capucine, ce savant a constaté qu'à un éclairage faible trois pétales seulement sont développés, les deux pétales supérieurs avortent (fig. 78 et 79). Les étamines sont au contraire normales.

Dans le cas du *Mimulus Tilingi*, il a constaté la même réduction de la lèvre supérieure de la corolle.

Cette persistance curieuse de la lèvre inférieure permet d'entrevoir la cause d'une série de variations qui ont pu se

produire dans le cours des âges et conduire à la formation de fleurs telles que celle d'une Sauge, à deux lèvres très accusées, ou d'un *Teucrium* et de l'*Ajuga*, dans lesquelles la lèvre supérieure a disparu.

Les partisans de la théorie de Darwin expliquent ce fait en disant que, comme c'est la lèvre inférieure seule qui a de l'importance pour les Insectes, car c'est elle qui leur sert de support quand ils se posent, c'est elle qui s'est surtout différenciée.

Cette explication mérite d'être signalée, car tout ce qui fait penser, tout ce qui suscite des recherches nouvelles ne peut laisser la science indifférente. Il semble cependant, d'après tout ce qui précède, que, si la fleur a varié dans sa forme, c'est par suite de l'action des facteurs extérieurs. Nous venons d'étudier l'action de la lumière, nous examinerons plus loin celle de la pesanteur. Telles sont les causes primaires de la variation. Il se peut ensuite que la fleur ainsi née, par suite de la couleur, de la forme de ses pétales ou de ses autres parties se soit trouvée mieux organisée pour la fécondation croisée : la sélection a pu alors exercer son action, préciser et accentuer des caractères nés sous l'influence des forces cosmiques.

En tous cas, il est absolument excessif de dire que tout dans la fleur a été créé pour favoriser la fécondation croisée par l'intervention des Insectes. M. Hermann-Müller, à la suite de Sprengel, a bâti sur cette conception un véritable roman très curieux et très ingénieux, mais auquel il ne manque que d'être démontré ; M. Bonnier, dans un travail où une critique pénétrante se trouve alliée à une connaissance sérieuse des mœurs des Insectes, a fait justice de ces exagérations (1).

En résumé, l'action de la lumière sur les plantes est considérable : elle préside aux fonctions les plus essentielles des végétaux, change leur forme, oriente leur croissance, transforme leur structure et métamorphose leurs fleurs.

Lumière et chaleur sont deux facteurs complémentaires. Dans les régions tropicales, la plante redoute la lumière parce que la chaleur lui est fournie en abondance ; elle est donc obligée d'user d'artifice pour se protéger contre la radiation

(1) Les récentes conclusions de M. PLATEAU sont d'ailleurs tout à fait concordantes avec celles de M. BONNIER.

directe, aussi la lumière atténuée ou diffuse joue-t-elle un rôle prépondérant dans ces pays. A mesure que la température devient plus basse, le végétal réclame de plus en plus de lumière, aussi le soleil agit-il sans atténuation et directement dans les domaines arctiques ou montagnards.

En un même lieu, nous retrouvons des règles analogues de compensation. Au printemps, la plante reçoit et réclame beaucoup de lumière directe ; mais, à mesure que l'année avance et que la saison devient chaude, ses besoins en radiations lumineuses diminuent.

On conçoit, d'après cela, que la séparation des effets des deux agents lumière et chaleur ne soit pas toujours facile et que les résultats qu'ils peuvent produire soient souvent confondus. Cette séparation n'a d'ailleurs qu'un intérêt subjectif : lumière, c'est la radiation que l'œil perçoit ; chaleur, c'est la radiation que le thermomètre manifeste. Sous ces deux phénomènes, il n'y en a qu'un, qu'il faut attribuer à la radiation.

Cette radiation exerce son action sur notre globe dans un sens déterminé, car la terre tourne pendant que les rayons lumineux agissent. On s'est demandé, et c'est un des nombreux problèmes posés par Pasteur à la suite de ses belles recherches sur la dissymétrie moléculaire, si ce mouvement de la terre n'avait pas une action sur les êtres vivants.

Selon Pasteur, parmi les propriétés physico-chimiques des substances produites par les êtres vivants, on peut citer la dissymétrie moléculaire qui peut se traduire par l'hémiédrie ou le pouvoir rotatoire. « Une cellule vivante, dit à ce propos M. Duclaux, nous apparaît comme un laboratoire où un protoplasma dissymétrique, agissant sous l'influence du soleil, c'est-à-dire sous l'influence de forces extérieures dissymétriques, peut présider à des actions très variées..., présenter cette plasticité merveilleuse que nous lui connaissons, et cela tout simplement, sans fracas, par de toutes petites déviations de forces sous des influences dissymétriques.

« Que serait un monde dans lequel on remplacerait, dans les cellules actuellement vivantes, la cellulose, l'albumine par leurs inverses, et pour nous rapporter à des notions que nous avons déjà rencontrées, que serait un monde dans lequel la terre tournerait autour du soleil en sens opposé à celui qu'elle possède ?

« On a le droit de penser qu'il ne serait pas identique au monde actuel. On peut même croire qu'il en différerait beaucoup, et voilà, de par la pensée profonde de Pasteur, le lien qui rattache notre nature aux phénomènes cosmiques. »

TROISIÈME PARTIE

PESANTEUR

CHAPITRE XVI

LA PESANTEUR AGIT SUR LES VÉGÉTAUX

Les études que nous avons faites dans les deux premières parties de ce livre nous ont surabondamment démontré le rôle que joue la radiation, c'est-à-dire l'ébranlement vibratoire de l'éther, dans les transformations qui se produisent chez les êtres vivants. Un peu plus de chaleur, un peu plus de lumière, et la face du globe se trouve changée, et les êtres qui s'agitent sur l'écorce terrestre peuvent disparaître ou doivent se transformer.

Ces résultats nous induisent à chercher si, parmi les forces cosmiques dont le libre jeu s'exerce à travers la nature, il n'en existe pas d'autres susceptibles également d'orienter l'évolution de tout ce qui vit.

Un nom vient de suite à l'esprit, à ce propos, celui de cette force mystérieuse qui règne en maîtresse dans l'univers, qui règle les mouvements des corps errants dans l'espace céleste, qui exerce son action par delà le vide interplanétaire aussi bien qu'à travers les solides les plus compacts. La pesanteur a un rôle trop grand dans le monde pour que la

matière vivante échappe à son étreinte. Les études des zoologistes ne nous renseignent pas sur l'influence qu'elle peut avoir sur les animaux; mais heureusement les végétaux se prêtent admirablement à l'examen de l'action de cette grande force universelle.

La plante est sensible à la pesanteur et cette sensibilité se traduit par les phénomènes les plus variés : par des courbures, par des mouvements, par des changements de formes les plus inattendus, par la transmission même de l'irritabilité (1). Elle paraît donc posséder un nouvel organe sensoriel peu connu ou peu différencié dans l'animalité.

Comment est-on arrivé à démontrer cette propriété universelle des plantes? Pour mettre en évidence cette sensibilité à la gravitation, un illustre physiologiste anglais, Knight, a eu l'idée d'essayer de changer la direction ou la nature de la force à laquelle est soumis l'être vivant. Il est parvenu à modifier les effets dus à la pesanteur, qui exerce d'ordinaire seule son action, grâce à l'intervention de la force centrifuge.

Géotropisme. — Si nous examinons la germination d'une graine, nous remarquons que la racine en sortant des téguments se courbe immédiatement pour s'enfoncer dans la terre. Quand la racine a atteint une certaine longueur verticale, si nous la sortons du sol pour la placer horizontalement, nous verrons sa pointe se courber et reprendre de nouveau sa direction verticale de haut en bas. Si nous renversons complètement la plante, les effets sont encore plus accusés : la pointe de la racine se recourbe vers le bas, la tige se redresse vers le haut (fig. 80 et 81).

La remarque précédente ne nous prouve pas que la pesanteur a un rôle, elle nous fait seulement entrevoir la possibilité de son action. Pour démontrer cette action, faisons germer une graine sur une roue horizontale tournant assez vite ; ce mouvement développe une force centrifuge agissant dans le sens du rayon de la roue (fig. 83, B). La racine de la graine se trouve maintenant soumise à deux forces, l'une verticale (p , fig. B),

(1) Cette transmission de l'irritabilité géotropique se manifeste surtout dans la racine, où la région directement irritable est à la pointe. Ceci résulte des recherches de M. CZAPEK. Les études de M. ROTHERT l'ont conduit à distinguer de même une irritabilité transmise pour le phototropisme.

l'autre horizontale (*c*, fig. B), elle va donc prendre une position intermédiaire (*r*, fig. B) : au lieu de se diriger vers le sol verticalement, elle va s'orienter vers la terre obliquement. L'expérience vérifie ce résultat ; or, nous avons raisonné comme si les deux forces pesanteur et force centrifuge avaient une action sur l'orientation de la racine des végétaux ; nous avons donc le droit de conclure que notre hypothèse

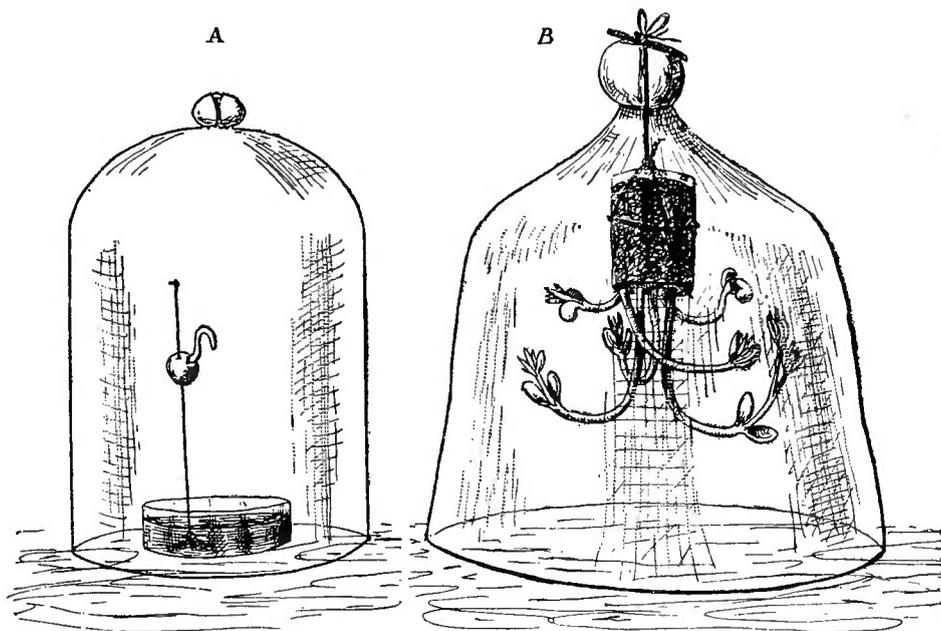


FIG. 80 et 81.— A, germination d'un Pois dont la racine a été dirigée vers le haut, la pointe se recourbe vers le bas. — B, germinations du Lupin qui ont été renversées, les tiges se redressent vers le haut.

était vraie : la pesanteur est bien la force qui courbe la racine, et cette réaction s'appelle le géotropisme. On dit dans le cas de la racine que le géotropisme est positif.

Au lieu de faire tourner notre graine en germination sur une roue horizontale, plaçons-la sur une roue verticale effectuant son mouvement autour d'un axe horizontal. Cette fois nous avons lieu de distinguer deux cas suivant que la roue tourne vite ou lentement. Si la rotation s'effectue très lentement, que se passe-t-il ? Ce point n'a été bien entrevu ni par Knight, ni par Hunter, ni même par Dutrochet (1), il fut

(1) Voici ce que dit DUTROCHET : « Hunter mit une Fève au centre d'un baril plein de terre et qui était animé d'un mouvement continu de

mis en lumière par Sachs en 1872. La pesanteur agissant successivement sur toutes les faces de la racine pendant la durée d'une rotation, tout se passe comme si, la racine étant fixe la force tournait autour d'elle (fig 82, A), c'est-à-dire comme si la pesanteur était supprimée. En réalité, elle n'est pas abolie, mais

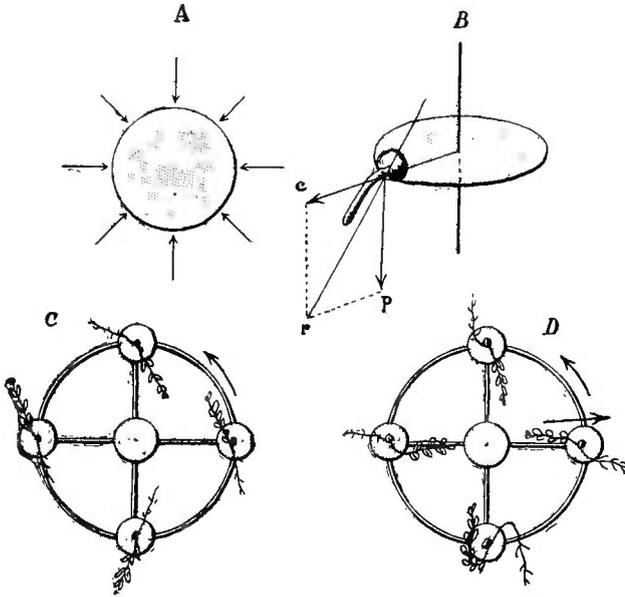


FIG. 82 à 85. — A, schéma représentant une racine immobile soumise à l'action d'une force égale à la pesanteur qui tournerait autour d'elle; les forces dirigées suivant le même diamètre s'annulent deux à deux. — B, roue horizontale portant une graine en germination; p représente la force pesanteur; c , la force centrifuge; r la résultante de ces deux forces construite d'après le principe du parallélogramme des forces; la radicule de la germination se dirige parallèlement à r . — C, roue verticale, rotation lente: les radicules des germinations fixées sur la roue ont une direction quelconque. — D, roue verticale, rotation rapide: les radicules sont dirigées suivant le rayon, la pointe loin du centre de la roue.

simplement égalisée. Sachs a réalisé cette expérience en faisant tourner la plante en culture devant une fenêtre de façon à ne pas opérer sur une plante étiolée, ce qui constituerait pour le végétal un mode anormal de vie. Dans ces conditions, on remarque que la racine a une direction quelconque (fig. 84, C).

Si l'on imprime, au contraire, à la roue une rotation rapide, la force centrifuge naît, et on peut lui donner une valeur de

plus en plus grande à mesure que l'on fait tourner la roue de plus en plus vite. Tout se passe donc comme si la force centrifuge agissait seule. La racine s'oriente donc vis-à-vis de cette force comme si elle était unique, elle prend la direction du rayon de la roue, la pointe s'éloignant du centre (fig. 85, D).

rotation sur son axe horizontal: sa radicule se dirigea dans le sens de l'axe de rotation du baril»; plus loin: lorsque la rotation est lente, les embryons séminaux qui l'éprouvent cessent de diriger leur radicule vers la circonférence ».

Ainsi donc, par la considération de la force centrifuge, nous arrivons à mettre en évidence, d'une manière indirecte, l'action de la pesanteur.

Ce premier résultat acquis, nous allons, comme pour la lumière, chercher à vérifier que la pesanteur peut agir sur les organismes mobiles.

Géotactisme. — On a désigné sous le nom de géotactisme le phénomène par lequel s'accuse la réaction des organismes mobiles à la pesanteur. Il a été mis en évidence par les ingénieuses recherches de M. Schwarz.

Si l'on abandonne dans un vase contenant du sable humide soit des *Chlamydomonas*, soit des Euglènes, ils se rassemblent au bout d'un certain temps à la partie supérieure de ce sable; c'est une ascension de haut en bas et non une diffusion dans tous les sens. On constate ce phénomène en prenant un vase à la paroi duquel adhère un peu de sable: les Euglènes se rassemblent seulement vers la région la plus élevée. Ce mouvement ascendant se produit seulement quand les Euglènes sont à l'état actif; l'action d'une température trop basse ou trop haute, celle du chloroforme, empêchent la réaction de se manifester. Si l'être est tombé à l'état de repos, il reste au fond du vase absolument comme une spore ou une graine quelconque.

Quelle cause produit le déplacement des êtres mobiles précédents? Ce n'est pas l'oxygène que les *Chlamydomonas* vont chercher à la surface du sable, car, si l'on permet à ce gaz d'arriver des deux côtés du récipient où se trouvent ces Algues, elles ne s'en élèvent pas moins à la face supérieure.

Afin de prouver que c'est bien à l'action de la pesanteur qu'il faut attribuer les déplacements précédents, M. Schwarz place le vase de culture des Algues sur une roue verticale. La pesanteur se trouve égalisée, c'est-à-dire comme abolie; la force centrifuge remplace la pesanteur, et par l'action de cette force les Euglènes se réfugient vers l'intérieur de la roue. Il y a plus, avec une vitesse très grande (quand l'accélération devient huit fois celle de la pesanteur), l'effet change de sens, et les êtres mobiles se groupent vers la face opposée du vase.

Ainsi donc, en masquant la pesanteur, nous pouvons produire des phénomènes très analogues à ceux qui s'opèrent

grâce à son action ; seulement ici, ils sont dus à l'intervention de la force centrifuge. Sous l'influence de la gravitation, qui est constante, le phénomène du géotactisme est toujours le même ; avec la force centrifuge qui peut varier, les mouvements se produisent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant l'intensité de la force ; pour une valeur intermédiaire déterminée, les corps mobiles resteraient évidemment indifférents.

C'est peut-être dans ce sens qu'il faut interpréter l'indifférence géotactique de certaines autres Algues ou Champignons (Diatomées, Oscillaires, *Polyphagus*), qui ont été étudiés à ce point de vue par M. Aderhold.

Action de la pesanteur sur la croissance. — L'action de la pesanteur se manifeste, ainsi que nous venons de le voir, par des torsions d'organes ou par des mouvements d'éléments mobiles ; ces phénomènes rappellent beaucoup ceux qui ont été désignés sous les noms de phototropisme et de phototactisme, qui se produisent sous l'influence de la lumière. On a expliqué, avons-nous dit, le phototropisme par l'action de la lumière sur la croissance ; peut-on donner pour le géotropisme une explication semblable ?

L'action retardatrice de la lumière sur la croissance se met facilement en évidence ; il suffit pour cela de la supprimer. Il ne nous est pas possible d'opérer de même pour la pesanteur, car il n'existe pas de point non seulement de notre globe, mais du monde solaire et même céleste, qui soit soustrait à l'action de la gravitation. On peut cependant, en employant une méthode indirecte, essayer de se rendre compte de son mode d'action.

M. Elfving et M. Schwarz ont soumis des germinations de Fève et de Lupin à l'action de forces centrifuges variées, en égalisant sur toutes les faces de la plante l'action de la pesanteur par rotation sur une roue verticale ; ils sont arrivés à ce résultat que la croissance de la racine ou de la tige n'est pas modifiée par la variation de la force centrifuge. Il n'y aurait même ni un déplacement du maximum de croissance, ni une modification de la zone d'élongation. La force, il est vrai, dans ce cas agit dans la direction de l'accroissement des organes, mais, à ce point de vue, la force centrifuge est comparable à la pesanteur.

M. Kny n'a pas été plus heureux en cherchant à mettre en évidence l'action de la pesanteur sur la germination des grains de pollen ou sur la croissance des zoospores du *Coleochæte*. Bien que la force n'agisse pas nécessairement ici dans la direction de croissance, son action ne se manifeste cependant pas.

Ces résultats doivent-ils être considérés comme définitifs et applicables à toutes les plantes ou bien ne doit-on les attribuer qu'à une sensibilité extrêmement faible des espèces étudiées à la pesanteur ? Cette dernière interprétation paraît admissible depuis

que l'on connaît les faits établis par M. Ray sur la question qui nous occupe. Voici comment il est arrivé à montrer que la pesanteur agit sur la croissance. Il sème des spores d'une moisissure, un *Sterigmato-*

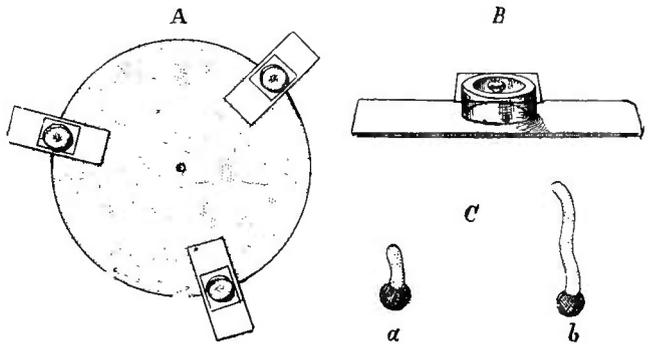


FIG. 86, 87 et 88. — A, roue verticale portant trois chambres humides dans lesquelles on a semé des spores. — B, chambre humide fermée par une lamelle de verre portant une goutte de gélatine sur sa face inférieure. — C, deux germinations de spores de *Sterigmatocystis* : a, germination dans une culture fixe ; b, germination dans une culture mobile.

gélatine dans des chambres humides (fig. 87, B) ou dans des tubes stérilisés. Il divise ses cultures en deux lots (toutes étant mises à l'obscurité) ; les unes restent fixes, les autres sont placées sur une roue verticale tournant très lentement pour ne pas développer de force centrifuge (fig. 86, A). Or, au bout de très peu de temps, il s'accuse une différence très notable entre les germinations des deux sortes de spores (fig. 88, C).

NOMBRE DE SPORES AYANT GERMÉ

Culture mobile.	75	37 ayant produit un tube germinatif long.
		38 — — — court.
Culture fixe	14	9 ayant produit un tube germinatif long.
		5 — — — court.

Ce résultat montre donc d'une manière nette que la pesanteur retarde la croissance.

M. Ray était d'ailleurs arrivé à une donnée analogue par l'étude du développement des *Sterigmatocystis* en un liquide agité. Il a vu que, dans ces circonstances, le Champignon prend la forme de petites boules. Ces petites sphères presque parfaites, qui naissent ainsi, tournent sur elles-mêmes par suite de l'agitation du milieu : elles changent donc constamment la position de tous leurs points par rapport à la pesanteur ; l'action de la pesanteur est donc égalisée sur toutes leurs faces. Or, si l'on examine le développement de ces sphères, on voit qu'elles croissent avec une rapidité tout à fait remarquable, surtout au début : elles atteignent en peu de jours une taille bien supérieure à celle des germinations que l'on peut observer dans les cultures fixes (1).

Ce résultat très intéressant, mis en évidence dans ce cas, permet d'entrevoir une explication de faits assez particuliers qui correspondent à l'action de la pesanteur sur les organes, tiges ou racines, placés horizontalement. On ne s'explique pas comment la pesanteur peut avoir une action sur la croissance d'un organe horizontal et aucun effet sur la croissance d'un organe vertical. Cette anomalie disparaît si on admet que, dans le dernier cas, l'action est extrêmement faible et ne peut être clairement mise en évidence si on tient compte des variations individuelles de la croissance. Quand une racine est placée horizontalement, la croissance est modifiée inégalement sur les deux faces par suite de l'action de la pesanteur : la face supérieure s'accroît plus que normalement, la face inférieure moins, et c'est là ce qui amène la torsion de la pointe de l'organe.

La pesanteur détermine donc dans une racine horizontale une sorte de polarité qui a pour conséquence la courbure que nous observons.

Cette question de la différence de croissance sur les faces supérieure et inférieure d'une racine nous conduit à nous demander si une plante placée en position renversée croît de la même manière qu'une plante normalement orientée.

(1) Ce sont au moins les phénomènes que l'on observe au début. Plus tard, la culture en milieu agité s'arrête dans sa croissance, et c'est la culture fixe qui reprend le dessus, quant à la rapidité de développement. Cela tient peut-être à ce qu'un milieu agité est un milieu tout à fait anormal pour les Champignons.

M. Elfving a obligé un *Phycomyces* à se développer vers le bas par suite d'un éclairage inférieur : dans ces conditions, il a constaté que la plante renversée s'accroissait plus lentement que le Champignon dressé.

Cette remarque est en accord avec une observation intéressante faite par M. Vœchting sur les arbres pleureurs (Voir fig. 92 p. 196), qui sont des variétés d'espèces à branches dressées. Les branches pendantes de ces arbres se développent moins que les branches dressées des formes types ; non seulement elles croissent moins en longueur, mais aussi moins en épaisseur. Cette croissance des branches pendantes devient de plus en plus faible, elle finit même par être nulle, quelquefois au bout d'un temps très long. Dans certaines espèces, l'arrêt est complet, et, la croissance étant terminée, les branches meurent peu à peu vers le bas. C'est à cette circonstance qu'il faut attribuer l'existence de nombreuses branches, rameaux ou ramilles morts sur le *Fraxinus excelsior*, le *Sophora japonica*, le *Salix purpurea*, dans leurs variétés *pendula*.



FIG. 89. — Nœud d'une Graminée couchée et se redressant par le géotropisme.

Les recherches de M. Elfving sur les nœuds des Graminées prouvent expérimentalement que l'égalisation de la pesanteur sur toutes les faces de la tige modifie la croissance de ces nœuds. Alors que la croissance est épuisée dans les entrenœuds depuis longtemps, la croissance des nœuds peut encore être modifiée d'une manière très sensible par la pesanteur. Si la tige du Blé vient à être couchée par le vent ou la pluie, si on observe ce que l'on appelle la *verse des céréales*, la récolte pourrait être considérée comme perdue ; la pesanteur heureusement détermine dans les nœuds inférieurs une polarité inverse de celle qui a été signalée plus haut pour la racine, c'est-à-dire que la face inférieure s'accroît plus et la face supérieure moins. Il en résulte une torsion de la base de la tige qui amène un redressement (fig. 89) de toute la hampe, qui peut dans certains cas avoir plus d'un mètre de haut. En comparant la variation de longueur de nœuds semblables de Graminées (*Avena elatior*, *Triticum sativum*, *Phleum pratense*) les unes dressées et les autres maintenues sur un appareil de rotation tournant autour d'un axe

horizontal de façon à égaliser l'action de la pesanteur, M. Elfving a trouvé que les nœuds maintenus sur la roue mobile s'étaient allongés de trois à dix fois plus que les nœuds de la Graminée fixe.

Ainsi donc, nous voyons encore que la pesanteur peut agir sur la croissance, déterminer suivant les divers organes des polarités variables qui contribuent soit à redresser les tiges, soit à abaisser les racines vers le centre de la terre.

L'action sur la croissance se révèle encore par ce fait que les seules parties des organes qui sont susceptibles de se courber sous l'influence de la pesanteur sont justement celles qui présentent des phénomènes d'accroissement : les torsions dues à la pesanteur ne se manifesteront sur une racine, par exemple, que vers la pointe, et c'est dans cette région que se trouve localisée la croissance (1).

Cette action de la pesanteur sur la croissance ne se manifeste pas instantanément. Si l'on place une racine horizontalement et si, avant qu'aucune torsion ne se manifeste, on porte cette racine au clinostat (c'est-à-dire sur l'appareil tournant autour d'un axe horizontal très lentement de façon à ne pas développer de force centrifuge), on voit la pointe de l'organe se courber dans la direction qui était primitivement verticale. L'action de la pesanteur se manifeste donc après coup, c'est par conséquent une action *induite*.

C'est là une règle générale : tous les facteurs qui modifient la croissance agissent lentement, et leur action se traduit par un effet ultérieur.

La pesanteur a donc un rôle très fondamental pour les plantes, elles les oriente en modifiant leur mode d'allongement. C'est là un effet qui doit avoir une importance considérable pour elles, c'est ce que nous allons voir maintenant.

(1) Les recherches de M. CZAPECK ont précisé nos idées sur ce point.

CHAPITRE XVII

VARIATIONS DU GÉOTROPISME

Nous avons vu que sous l'influence de la pesanteur les tiges se dirigeaient vers le haut, et les racines vers le bas ; des réactions aussi différentes de ces deux organes tiennent, avons-nous dit, à ce qu'ils se polarisent d'une manière inverse sous l'action de la pesanteur, en d'autres termes, à ce qu'ils ont des sensibilités dissemblables à la gravitation.

Vraisemblablement, la sensibilité géotropique, comme la sensibilité des plantes à la lumière, n'est pas une entité immuable pour un être donné ; c'est une propriété qui peut varier, surtout lorsque les conditions de vie dans lesquelles se développe le végétal changent. S'il en est ainsi, il pourra se produire, par exemple, des renversements dans la polarité d'une tige ou d'une racine ; nous ne devons donc pas nous étonner si nous rencontrons des plantes dans lesquelles la racine croît vers le haut et la tige vers le bas.

Imaginons qu'un pareil phénomène se produise. Que va-t-il en résulter pour le végétal ? Croissant vers le haut, la racine va d'abord de dessécher et elle ne puisera plus dans le milieu les matières nutritives dont la plante a besoin. L'individu qui aura présenté cette variation ne pourra donc pas vivre ; il sera voué sûrement à la mort. Si la racine croît au contraire normalement, le végétal se desséchera moins facilement, et il pourra trouver dans la terre les aliments indispensables ; en même temps, la tige pourra porter les feuilles vers le soleil, ce qui permettra à la plante de prendre dans l'atmosphère le carbone qui lui est nécessaire. Tandis que la première variation amène inévitablement la destruction du végétal, l'orientation

normale de ses deux organes végétatifs axiaux (tige et racine) lui assure, par contre, les conditions les plus favorables de vie : il n'est donc pas étonnant de constater que le géotropisme positif de la racine (courbure vers le centre de la terre) et le géotropisme négatif de la tige (courbure vers le ciel) soient des caractères héréditaires, puisque c'est grâce à eux que les Phanérogames peuvent vivre et se reproduire.

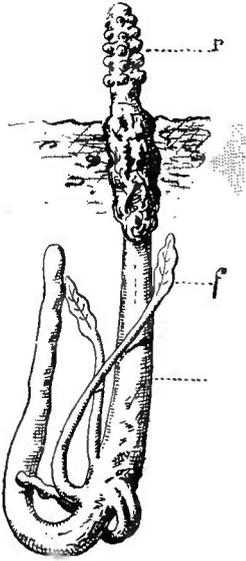


FIG. 90. — Germination anormale de Haricot; *r*, radicule couverte de racines secondaires; *t*, tige épicotylée orientée vers le bas pendant le premier entre-nœud, puis se recourbant plus loin; *f*, feuille au-dessus des cotylédons.

Nous venons de raisonner en admettant que le géotropisme pouvait varier. Avons-nous le droit de faire une telle hypothèse ? Une curieuse observation due à M. Duchartre va nous éclairer à cet égard. Cet observateur rencontra accidentellement, au milieu d'un semis de Haricots, une plantule qui avait la racine orientée vers le haut, ainsi que le montre la figure ci-jointe (fig. 90, *r*) ; la direction de la tige était également anormale (*t*), elle était enterrée et avait cependant continué à croître, développant dans le sol ses premières feuilles (*f*).

On pourrait expliquer l'anomalie précédente en disant que l'action de la pesanteur se borne à ramener la racine dans la direction du fil à plomb, que sa pointe soit dirigée vers le haut ou le bas ; si une racine, en sortant de la graine, se trouve être rigoureusement verticale, il n'y a pas de raison pour qu'une courbure se produise.

Cette manière de voir serait admissible si la circumnutation n'existait pas. En réalité, on sait par les études de Darwin que la pointe de la racine décrit en s'accroissant une sorte de spirale. Grâce à cette circumnutation, le danger qui résulte pour la plante d'une orientation irrégulière de sa racine est évité, car, dès que la pointe dirigée vers le haut est tant soit peu déplacée de la verticale, elle est immédiatement tordue vers le bas. Duhamel, au siècle dernier, a semé un grand nombre de glands, la radicule tournée vers le haut ; il a

toujours vu rapidement la racine se courber vers le sol.

Comment donc expliquer l'anomalie signalée par M. Duchartre ? Le Haricot qu'il a observé est resté deux mois bien vivant, ainsi orienté en sens inverse sans se renverser ; on ne peut donc pas dire que la racine n'a pas eu le temps de se recourber vers le sol. On peut, pour se rendre compte du fait précédent, admettre soit que la nutation a été supprimée, soit que le géotropisme a changé de signe.

Dans la première hypothèse, une expérience de M. Czapek prouve que la racine ne sera pas déviée de sa direction si elle est rigoureusement verticale : en effet, ayant emprisonné dans du gypse une racine orientée la pointe en haut, il a empêché ainsi toute circumnutation ; en la portant ensuite sur une roue verticale tournant lentement autour d'un axe horizontal, il n'a pas observé de courbure à la pointe, il n'y a pas d'induction géotropique.

D'ailleurs, quelle que soit la cause de la variation, l'important pour nous, c'est que la racine puisse accidentellement changer de direction. Dans les conditions ordinaires de la vie végétale dans nos pays, une pareille forme disparaîtrait nécessairement, puisqu'elle ne pourrait pas se reproduire. Mais il n'en est pas toujours ainsi, et il peut arriver, dans certains milieux, que les individus présentant un nouveau géotropisme aient une supériorité manifeste sur leurs congénères. C'est ce qui a dû se présenter pour les racines des espèces qui vivent sur le littoral sous les tropiques ainsi que pour celles qui végètent sur les arbres dans les régions chaudes.

Palétuviers et plantes épiphytes. — On rencontre dans les régions tropicales, sur le bord de la mer, une végétation très spéciale, la flore des palétuviers. Les végétaux qui la constituent s'avancent souvent assez avant dans la mer, de sorte qu'à marée haute la partie inférieure des plantes est sous l'eau. Les racines, qui se trouvent ainsi dans la vase, y respirent difficilement ; aussi, pour remédier à cet inconvénient, voit-on se dresser au-dessus du sol et verticalement des racines qui ont été comparées à des Asperges et qui dans certains points forment de véritables champs (fig. 91). C'est ce que l'on observe chez des plantes appartenant à des familles très différentes (les *Sonneratia*, Lythracées ; les *Avicennia*, Verbenacées). Ce qui semble bien justifier qu'il s'agit là d'une

adaptation à un milieu spécial, c'est que, dans d'autres cas, les racines des plantes de la même flore sortent du sol par d'autres procédés : soit à l'aide de coudures ou de genoux (*Lumnitzera*, Combrétacée; *Bruguiera*, Rhizophoracées), soit à l'aide d'arêtes (*Carapa*, Meliacée). Dans ces différents cas, le

géotropisme a été plus ou moins modifié en vue d'une adaptation à un milieu déterminé (1).

Des faits de même ordre peuvent être relevés pour les plantes épiphytes. Tandis que, dans les pays tempérés, toutes les racines principales (primaires ou latérales) se comportent de la même manière vis-à-vis de la pesanteur; dans les régions équatoriales, quand une espèce se développe sur les arbres, on distingue souvent deux sortes de racines, les unes appelées *fixatrices* et les autres *nourricières* (fig. 45, p. 135). Pour ces dernières, le géotropisme est positif, et c'est grâce à cette propriété que l'on voit descendre du haut des arbres de longs câ-

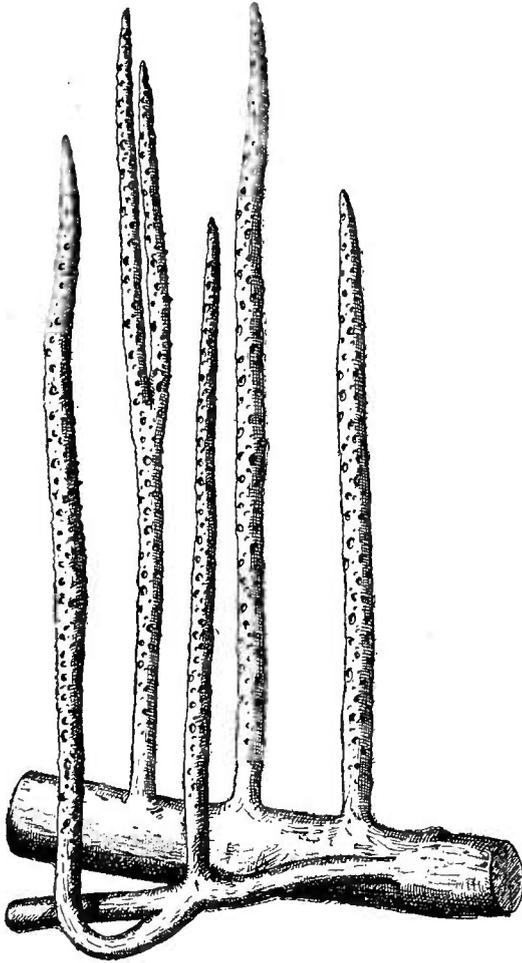


FIG. 91. — Racines (dites asperges) d'un *Avicennia* à pointes dirigées vers le haut.

bles qui servent à puiser dans le sol la nourriture nécessaire au végétal. Les racines fixatrices ne présentent pas une telle propriété, aussi s'enroulent-elles autour des arbres qui servent de support (2).

Les mêmes adaptations peuvent se retrouver pour les feuilles

(1) SCHIMPER.

(2) SCHIMPER, WENT.

et nous n'en citerons qu'un exemple, celui du *Tillandsia*, une de ces singulières Broméliacées des forêts brésiliennes qui, ayant perdu leurs racines, s'enroulent à l'aide de leurs feuilles et se fixent ainsi à l'arbre sur lequel elles vivent.

Nous pourrions beaucoup multiplier les exemples qui nous montreraient toujours que les plantes qui présentent des propriétés géotropiques spéciales paraissent en avoir tiré des avantages certains pour leur développement. Nous nous contenterons de citer les cas des rhizomes et des nœuds des Graminées.

Rhizomes. Nœuds des Graminées. — Les plantes herbacées qui sont exposées aux grands froids de l'hiver seront détruites entièrement si toute leur tige est aérienne et dressée. Si cet organe est, au contraire, horizontal et enfoncé dans le sol, cette partie de la plante étant abritée contre les basses températures ralentira simplement son activité vitale pendant l'hiver et reprendra son développement au printemps. Les considérations précédentes n'expliquent certes pas comment et pourquoi se produit la variété, mais elles font saisir comment l'individu qui présente la variation a plus de chance de se reproduire, et par cela même pourquoi le caractère nouveau devra se perpétuer. Nous examinerons d'ailleurs, un peu plus loin, quelques données permettant d'entrevoir comment et dans quelles conditions le géotropisme peut varier.

Si le géotropisme transversal des rhizomes présente pour les espèces vivaces un avantage certain, il en est de même de la propriété des nœuds inférieurs des chaumes des Graminées dont nous avons parlé plus haut (1). Les épis de Blé qui ont été couchés sur le sol par l'orage sont destinés à y pourrir : les premiers individus qui ont présenté la propriété de redresser leur tige ont eu donc plus de chance de donner des graines ; par conséquent, la particularité physiologique précédente a pu devenir stable et héréditaire dans le cours des générations.

L'avantage d'un pareil géotropisme est tellement évident, qu'il n'y a pas lieu de s'étonner de retrouver cette propriété des nœuds de la tige chez les plantes les plus diverses (*Polygonum*, *Cucubalus*, *Lychnis*, *Agrostemma*, *Chærophyllum*, *Galeopsis*, *Erodium*).

Nous allons d'ailleurs vérifier plus directement qu'une

(1) Page 187.

variation d'un caractère géotropique d'un organe peut, dans certains cas, se fixer et se transmettre à la descendance.

Variations devenant héréditaires. Arbres pleureurs. — Nous justifierons la manière de voir précédente par la considération de variétés de certaines espèces qui ne se distinguent de la forme type que par un caractère tiré de l'orientation relativement à la pesanteur. Les arbres pleureurs nous fournissent à cet égard un exemple tout à fait typique. On connaît de telles races pour plusieurs arbres à branches ordinairement dressées comme le Frêne, le Saule, le Noisetier, etc.

M. Vœchting a mis de plus en évidence chez ces végétaux l'intervention de l'hérédité géotropique par l'étude de la polarité des boutures. Si l'on coupe les branches d'un Saule à rameaux dressés et qu'on les place dans un flacon de verre de manière à les entourer d'une atmosphère humide, on voit bientôt apparaître des bourgeons au sommet de la branche, et des racines adventives à la base. L'action de la pesanteur sur la formation de ces organes se manifeste si l'on vient à incliner les branches ; on voit, en effet, quand on se rapproche de la position horizontale, les bourgeons se former à la face supérieure de la tige et les racines à la face inférieure ; quand la branche est encore peu inclinée, les bourgeons sont surtout vers le haut, les racines surtout vers le bas ; mais, quand l'inclinaison augmente, les bourgeons et les racines naissent de plus en plus loin des extrémités.

Sachs a essayé d'expliquer les phénomènes précédents par une théorie ingénieuse, qui se trouve en germe dans les écrits du célèbre physiologiste français Duhamel. Les expériences de ce dernier savant l'avaient conduit à exprimer « qu'il n'est point du tout dans l'ordre naturel que les racines soient au-dessus des branches. Il paraît que la sève qui doit développer les racines à une disposition pour descendre, pendant que celle qui doit développer les branches en a une pour monter. » Sachs admet qu'il y a dans les plantes des substances formatrices de bourgeons, ainsi que d'autres substances donnant seulement des racines : cette opinion semble justifiée par les expériences rapportées plus haut relativement à la production des bourgeons floraux (1).

(1) Les fleurs s'épanouissent à l'obscurité d'une manière normale

Or, ces substances seraient soumises, selon Sachs, à l'action de la pesanteur. Quand on coupe, par exemple, un fragment de branche de Saule, les éléments chimiques ou plasmiques susceptibles de donner des bourgeons se séparent de ceux qui donnent des racines. Sous l'influence de la pesanteur, les premiers tendent à monter, les seconds à descendre. Cette théorie expliquerait donc pourquoi, dans une bouture inclinée de Saule, les bourgeons se forment à la face supérieure et les racines à la face inférieure.

Cette théorie, qui rappelle un peu celle de la pangenèse de Darwin, ne permet malheureusement pas d'expliquer un certain nombre de faits ; aussi ne pouvons-nous l'adopter. Elle prétend rendre compte de toutes les expériences par une action actuelle des forces extérieures, elle néglige l'intervention de l'hérédité.

Dans une bouture de Saule, en effet, on n'obtient les résultats précédents que si l'on a soin de mettre la partie primitivement supérieure de la bouture en haut et la partie inférieure en bas. Si l'on faisait l'inverse, l'on ne parviendrait pas à l'enraciner. Il y a donc une différenciation en sommet et base de la bouture qui s'est faite en dehors de l'intervention immédiate et actuelle de la pesanteur.

Opérons de même avec les branches coupées de divers arbres pleureurs (*Fraxinus excelsior*, *Corylus Avellana*, *Salix purpurea*, etc.). Le sommet des boutures est ici dirigé vers le bas quand le rameau est sur l'arbre ; si la pesanteur agit, comme le dit Sachs, pour faire monter les substances formatrices de bourgeons, c'est ici la base de la bouture qui devrait donner des bourgeons et le sommet des racines adventives ; or il n'en est rien, c'est l'inverse qui est vrai.

La différenciation d'une branche en sommet et base s'est manifestée à l'origine pour les arbres normaux qui ont des rameaux dressés ; la pesanteur et aussi probablement la lumière ont pu contribuer au début à la naissance de cette polarité. Mais cette action, accumulée pendant une série de générations, a produit des caractères qui ne dépendent plus maintenant des

quand ces substances existent dans les bulbes (Hyacinthe) ou quand elles se forment dans les feuilles exposées à l'action de la lumière. Si ces substances ne peuvent pas se former, les fleurs n'apparaissent pas à l'obscurité. Voir plus haut, p. 168.

forces extérieures. Quand les variétés à branches pendantes ou arbres pleureurs ont fait leur apparition, la polarité qui se traduit par l'existence d'une base et d'un sommet dans les boutures était fixée et indépendante des éléments primitifs qui l'ont fait naître.

On peut cependant, même sur ces branches pendantes polarisées héréditairement, retrouver l'action actuelle de la pesanteur. Elle se manifeste, par exemple dans la variété *pendula* du *Caragana arborescens*, par le développement des pousses à la face supérieure des branches et loin de l'extrémité dirigée vers le sol (fig. 92).

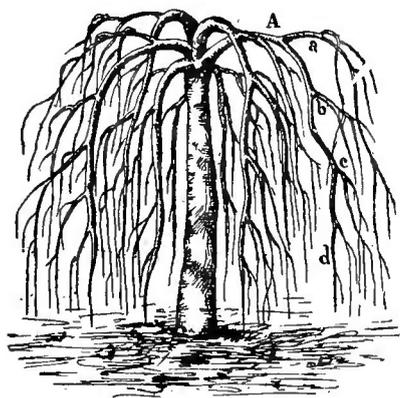


FIG. 92. — Arbre pleureur. Sur la branche A les rameaux apparaissent à la face supérieure et les rameaux les plus développés sont les rameaux supérieurs a, b, relativement à c et d.

Une expérience intéressante de M. Kny confirme les résultats précédents dans un cas qui paraissait, au premier aspect, une exception à la règle.

M. Vœchting a montré qu'en général on ne peut pas enraciner le sommet d'une bouture. M. Kny est parvenu cependant à opérer cet enracinement anormal avec le Lierre et la Vignevierge. Il prend, il est vrai, des précautions pour cela. Il courbe les branches et enterre la pointe

sans séparer cette extrémité de la tige mère et au bout d'une année seulement, en 1885, il opère cette séparation. Le préjudice causé par l'orientation inverse se manifeste par le faible développement des pousses latérales, par la mortification du haut de la tige sur une longueur de plusieurs centimètres. Cependant, en 1886-87, la régression ne fait pas de progrès, les pousses latérales s'accroissent en longueur. En 1888, les pieds renversés font l'impression de pousses normales ; aussi, en 1889, M. Kny veut-il voir si la polarité est changée. Il se sert pour cela d'un caractère offrant une grande constance chez tous les individus normalement orientés de ces deux espèces (celui de la production d'un callus qui se forme au maximum sur la face normalement inférieure). A l'aide de ce critérium, il vérifie que le renversement, malgré les cinq

années de culture, était purement extérieur et non interne. Ainsi donc, même quand les caractères tirés de l'apparition des bourgeons et des racines adventives font défaut, la polarité peut se maintenir en se traduisant par d'autres particularités de structure.

En est-il toujours ainsi? Ne peut-on, en s'adressant à des plantes inférieures, arriver à une autre opinion? Une expérience de M. Noll paraît répondre à cette question. En retournant une Algue siphonnée, un *Bryopsis* (dans lequel on distingue une sorte de tige et des appendices simulant les uns des feuilles, les autres des rhizoïdes), il a fait naître des rhizoïdes sur le sommet primitif de la plante qui était renversée.

La polarité serait donc fixée dans certaines plantes et réversible dans d'autres, et peut-être ce dernier cas se manifeste-t-il surtout pour des végétaux dont l'organisation interne reste rudimentaire.

En somme, nous avons acquis maintenant la conviction que le géotropisme varie. Nous savons également que certains caractères qui sont nés autrefois sous l'influence de la pesanteur peuvent être indépendants de ce facteur à l'heure actuelle. L'hérédité peut donc encore produire des races qui ont dû dériver des modifications, au début instables, des caractères géotropiques.

Nous avons jusqu'ici laissé de côté l'étude des conditions de la variation du géotropisme. Il nous faut maintenant essayer d'aborder l'examen de cette question importante et encore très peu connue.

Action de la lumière sur le géotropisme. — Quand on veut étudier l'action de la pesanteur, on prend soin d'ordinaire d'éviter de faire intervenir la lumière, car elle produit, comme on sait, des flexions des organes qui pourraient masquer les effets dus à la gravitation. On ne doit pas s'étonner, d'apprendre d'après cela, que l'on a ignoré longtemps le mode d'action de la lumière sur le géotropisme. Ce point a été mis en évidence par les recherches de M. Stahl, ou du moins c'est ainsi qu'il interprète les résultats de ses expériences.

Si l'on examine au printemps les rhizomes de l'*Adoxa* dans le sol, on voit qu'ils sont horizontaux. Si l'on expose ces rhizomes recouverts d'une faible couche de terre à l'action de la

lumière, on s'aperçoit qu'ils se courbent la pointe en bas et qu'ils deviennent verticaux. On pourrait penser qu'il s'agit ici de phénomènes de phototropisme, mais il n'en est rien, car la courbure se produit quelle que soit la direction du rayon lumineux, et elle s'observe même quand on éclaire par le bas. Cette action de la lumière qui provoque une courbure géotropique se manifeste en un temps court; si on l'enlève la source lumineuse, l'action se continue pendant quelques temps : il y a donc induction géophototropique. Cette intervention de la radiation permet d'expliquer pourquoi, même le long des pentes les plus inclinées, les rhizomes ne sortent presque jamais de terre.

Cette même action a été retrouvée pour diverses autres espèces à rhizomes. Elle se constate également pour les racines secondaires de plusieurs végétaux.

On sait que ces racines secondaires font des angles de plus en plus petits avec la verticale à mesure que l'on s'enfonce dans le sol (1). Si ces racines sont éclairées, les angles sont beaucoup plus petits qu'à l'obscurité, comme on peut s'en convaincre en examinant le tableau suivant :

NUMÉROS D'ORDRE DES RACINES SECONDAIRES DE HARICOT comptées à partir du haut.	ANGLES DES RACINES SECONDAIRES avec la verticale.	
	A l'obscurité.	A la lumière.
N° 1	130°	25°
N° 2	80°	15°
N° 9	40°	10°

Action du milieu aquatique sur le géotropisme. — Nous venons de constater que la lumière pouvait modifier la direction des racines, par conséquent leur géotropisme. Ceci nous conduit à nous demander si d'autres agents cosmiques ne peuvent pas produire le même résultat.

Les expériences sur cette question ne sont ni bien nom-

(1) Ce géotropisme oblique des racines secondaires contribue à fixer solidement la racine dans le sol, d'autant plus que ces organes se contractent et tirent, pour ainsi dire, l'axe de la plante comme les cordages qui servent à attacher un mât.

breuses ni bien rigoureuses, et nous mentionnons l'interprétation actuelle plutôt comme une hypothèse intéressante. La seule recherche ayant un rapport direct avec le problème que nous venons de poser est due à M. Soposhnikow qui a montré que les courbures géotropiques dans l'eau sont plus faibles que dans l'air humide.

Cette remarque peut nous conduire à penser que, si nous faisons développer en milieu aquatique la base d'une tige, nous pourrions voir se modifier l'orientation des racines. Les observations de M. Jost confirment cette manière de voir, car, en immergeant dans l'eau la base des plantes les plus diverses (Canne à sucre, *Cyperus textilis*, *Luffa amara*, quelques Palmiers comme le *Raphia ruffia*) il a vu naître des racines qui sortaient de terre et se dressaient vers le haut.

Le même résultat s'observe pour le *Jussiaea*; si la plante est cultivée en un endroit sec, il ne se forme pas ces racines verticales qui ont été appelées improprement natatoires; elles apparaissent, au contraire, en milieu aqueux (voir les fig. 125 et 126, page 236) (1).

On a observé de même des racines verticales à pointe dirigée vers le haut sur des échantillons immergés profondément sous l'eau de *Rumex Hydrolapathum*, et de *Nymphaea Lotus* (2). Le même fait a été remarqué pour les *Carex arenaria* et *hirta* (3), qui prennent également une direction verticale vers le haut.

Ces remarques nous paraissent intéressantes parce qu'elles nous permettent de concevoir l'origine de la variation que nous signalions plus haut pour les Palétuviers (4).

Phénomènes géonyctitropiques. — Nous venons de voir que la lumière et l'eau contribuent à modifier la direction des organes axiaux des plantes dans des conditions où d'ordinaire on les considère comme uniquement soumis à l'action de la pesanteur. Nous pouvons nous demander si, inverse-

(1) Observation de M. SCHENCK et de M. GOEBEL.

(2) D'après M. GOEBEL.

(3) Selon M. ERIKSSON.

(4) Les faits observés par M. HOCHREUTNER paraissent plaider dans le même sens : en fixant une tige de *Zannichellia* au fond de l'eau, il amène un redressement des deux extrémités de la tige, de sorte que la partie basilaire de la tige et les racines nombreuses qu'elle porte ont une direction verticale.

ment, la pesanteur ne pourrait pas contribuer à produire des phénomènes qui ont été regardés longtemps comme seulement sous la dépendance de la lumière. Parmi ceux-ci, nous devons citer en première ligne ces mouvements qui caractérisent le sommeil ou la veille des feuilles. Pour étudier cette question, M. Fischer a employé deux procédés : la méthode du retournement de la plante et celle du clinostat. Il est arrivé ainsi à distinguer deux sortes de mouvements qu'il appelle *géonyctitropiques* et *autonyctitropiques*. Les premiers s'observent dans le *Phaseolus multiflorus*, le *Lupinus albus*, le *Gossypium arboreum*; lorsqu'on renverse ces plantes, on observe un renversement de leur position de sommeil; si on les place sur un appareil de rotation dont l'axe est horizontal, ces mouvements disparaissent complètement. Les mouvements autonyctitropiques, par contre, que l'on remarque dans le *Trifolium* ne sont pas modifiés par la pesanteur.

En résumé, les faits nombreux passés en revue dans ce chapitre nous ont appris que le géotropisme n'est pas une propriété immuable des organismes vivants, qu'il tend à varier et cela sous l'influence de causes secondaires, comme la lumière et l'eau. Les variations une fois produites peuvent souvent amener la mort de la plante; quelquefois, au contraire, elles sont en harmonie avec le milieu, elles assurent une descendance à la plante, aussi les caractères nouveaux deviennent-ils de plus en plus stables. Il se produit d'abord des variétés puis des races; on peut même ajouter, par une induction qui n'est pas trop hasardeuse étant donné tout ce que nous savons maintenant, que beaucoup d'espèces ont dû se former ainsi par l'intervention de la pesanteur.

CHAPITRE XVIII

ACTION DE LA PESANTEUR SUR LA FORME DES VÉGÉTAUX

L'étude du géotropisme nous a montré que la pesanteur modifie l'orientation des organes dont se compose le végétal ; elle change par cela même le port et l'aspect de celui-ci et donne à sa forme des caractères spéciaux sur lesquels il nous faut insister un peu afin d'en bien faire comprendre l'importance.

L'action de la pesanteur se trahit d'abord par les modifications de la symétrie de certains organes. La zygomorphie de la fleur peut lui être due pour certaines plantes. Seule ou combinée à la radiation, la gravitation produit la dorsiventralité d'un grand nombre d'êtres, le plagiotropisme ou l'orthotropisme, l'isotropie ou l'anisotropie, c'est-à-dire les propriétés fondamentales qui dominent toute la morphologie végétale.

Zygomorphie de la fleur. — Nous avons déjà eu l'occasion d'établir (1) que la lumière contribuait dans certains cas à modifier la symétrie de la fleur ; la pesanteur peut jouer un rôle tout à fait semblable.

Ce résultat se manifeste avec une netteté parfaite par l'étude de l'action de la pesanteur sur les fleurs de l'Épilobe, comme l'a montré M. Vœchting. Bien que formée de pièces semblables, la fleur de cette plante est cependant dissymétrique par suite des positions qu'affectent ses diverses parties les unes par rapport aux autres.

Le calice est formé de quatre sépales dont les deux latéraux sont relevés vers le haut. La corolle est composée de

(1) P. 174.

quatre pétales dont les deux supérieurs font avec la verticale un angle de 15° , les deux inférieurs sont horizontaux (fig. 93 A et 96 D). Or, si l'on fait développer les fleurs de cette plante sur le clinostat, on voit que le calice et la corolle affectent alors

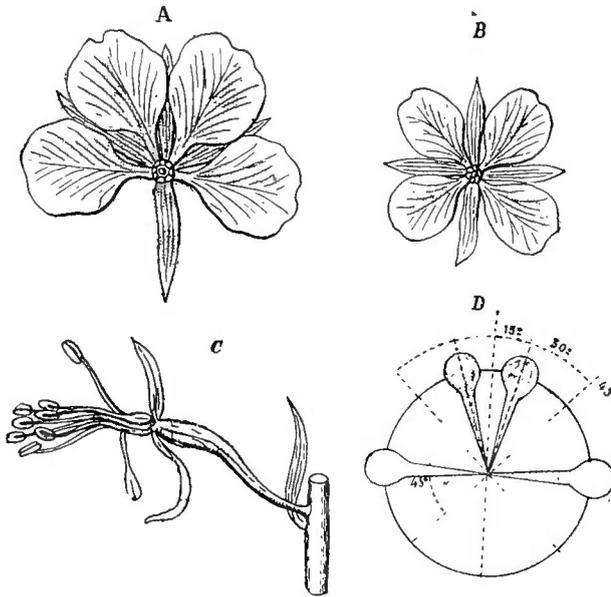


FIG. 93 à 96. — A, fleur d'*Epilobium angustifolium* montrant deux sépales dans le plan médian, les deux latéraux un peu relevés; les pétales sont à onguet étroit, à limbe large. — B, aspect d'une fleur d'une plante placée sur le clinostat (roue verticale, tournant autour d'un axe horizontal); les quatre sépales sont deux horizontaux et deux verticaux; les quatre pétales sont à 45° de la verticale et de l'horizontale. — C, une des étamines est en train de se relever sous l'action de la pesanteur; une autre flétrie est rabattue. — D, figure schématique marquant les déplacements des pétales sous l'action de la pesanteur; les pétales horizontaux se sont déplacés de 45° , les pétales à 15° de la verticale se sont déplacés de 30° .

font alors avec la verticale le même angle de 45° (fig. 94 B).

Les mêmes changements se manifesteront dans les étamines. On sait que dans ces plantes les étamines, ainsi que l'a observé pour la première fois Sprengel en 1790, en étudiant le Laurier de Saint-Antoine (*Epilobium angustifolium*), sont mûres avant le pistil. Sous l'influence de la pesanteur, les étamines se redressent et viennent occuper une position

déterminée de l'espace où se placera ultérieurement le stigmate, quand il sera arrivé lui-même à maturité et que les étamines seront flétries (fig. 95 C). Les fleurs placées sur le clinostat ne présentent pas de pareils déplacements.

On voit donc, dans ce cas, une fleur changer sous l'influence de la pesanteur et acquérir la zygomorphie qui lui manquait. Il se trouve que les particularités précédentes rendent de grands services à la plante, car c'est grâce à elles que la fécondation croisée se trouve assurée par les Insectes.

Ce résultat se conçoit aisément, puisque les étamines et le stigmate viennent occuper successivement le même point de l'espace : quand un Bourdon visite une première fleur jeune, il récolte involontairement du pollen sur une partie déterminée de son corps ; en visitant une fleur âgée, il déposera fatalement cette poussière fécondante sur le stigmate car ce dernier occupe dans la fleur la même position que l'étamine précédemment.

Or le croisement dans la fécondation est le plus souvent avantageux, les métis étant en général supérieurs aux individus résultant d'auto-fécondation ou d'hybridité.

M. Voëchting n'est arrivé à établir le rôle de la pesanteur dans la pro-

duction de la zygomorphie que dans quelques types. Pour un certain nombre d'espèces à fleurs symétriques par rapport à un plan, ce caractère n'est pas modifiable par la gravitation. Peut-être la zygomorphie est-elle due alors à l'intervention d'autres facteurs, comme la lumière par exemple. Peut-être pour d'autres espèces a-t-on affaire à des caractères devenus héréditaires et rendus invariables par une longue série de générations. Il est vraisemblable d'admettre, pour un certain nombre de plantes, que les variations produites sous



FIG. 97 et 98. — A, *Iberis umbellata*. — B, *Leucanthemum vulgare*. Les fleurs périphériques de l'inflorescence sont zygomorphes et ont une orientation quelconque par rapport à la verticale.

l'influence de causes cosmiques ayant offert des avantages manifestes pour la fécondation par les Insectes ont du se transmettre à la descendance et devenir héréditaires.

Parmi les particularités de l'organisation florale qui ont probablement cette origine, une d'entre elles, celle qui se rapporte à l'orientation des fleurs zygomorphes, mérite une mention spéciale. Les études de M. Noll nous fournissent sur cette question des renseignements intéressants.

Selon lui, il y a lieu de distinguer, à ce propos, deux catégories de fleurs zygomorphes :

- 1° Les fleurs essentiellement zygomorphes ;
- 2° Les fleurs non essentiellement zygomorphes.

Dans le second groupe, il range toutes les fleurs plus ou moins stériles qui se trouvent à la périphérie de diverses inflorescences et qui sont remarquables par le développement de leur corolle en dehors de l'association florale. On observe des fleurs de cette catégorie dans un grand nombre d'Ombellifères et de Crucifères, dans l'*Iberis* (fig. 97, A),

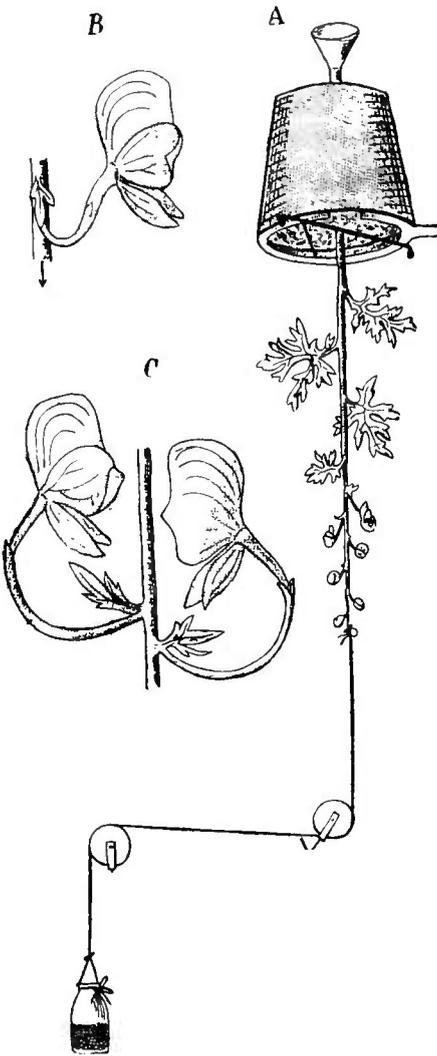


FIG. 99. — A, pied d'*Aconitum* renversé dont la tige est maintenue par un fil tendu par des poids. — C, premier mouvement de rotation du pédoncule floral. — B, seconde position du pédoncule floral.

dans les Caprifoliacées et les Composées (fig. 98 B). L'orientation de ces fleurs est quelconque, elle ne dépend en rien de la pesanteur.

La position dans l'espace des fleurs essentiellement zygomorphes est, au contraire, toujours parfaitement déterminée.

M. Noll démontre ceci par une expérience bien simple faite

sur l'Aconite ; il renverse un pot de fleur contenant cette plante, en ayant soin d'attacher l'extrémité de la hampe florale à l'aide d'un fil passant sur des poulies et supportant des poids : grâce à cette précaution, la tige principale ne se redresse pas, et ce sont les pédoncules floraux seuls qui sont obligés de se retourner (fig. 99, A).

Ce redressement se fait en deux temps, comme on peut le voir sur le dessin ci-contre : le pédicelle se déplace et amène la fleur d'abord dans la position C (fig. 99, C) ; on voit que l'orifice de la fleur se trouve ainsi orienté vers l'axe général de l'inflorescence ; mais bientôt un second mouvement se produit qui tord le pédoncule floral, et, quand il est terminé, l'ouverture de la fleur se trouve de nouveau en dehors, comme sur la

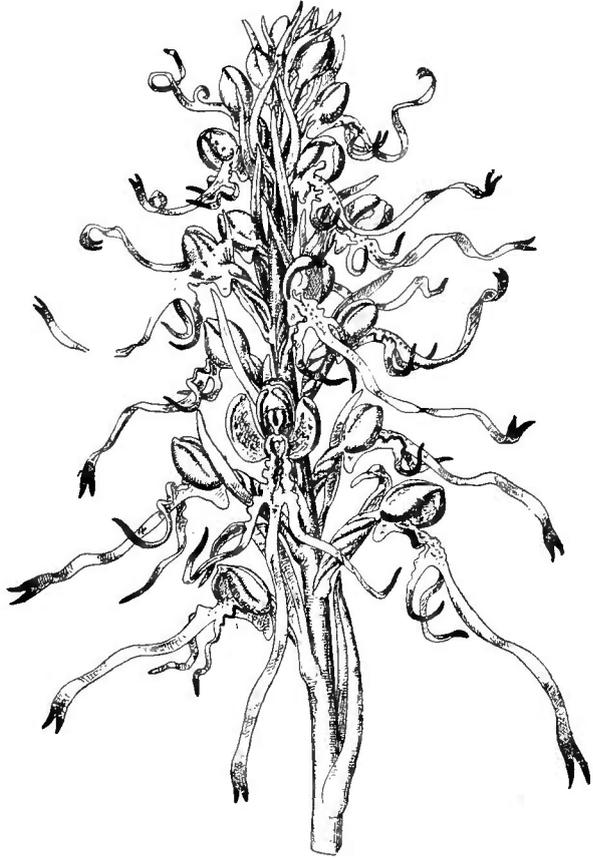


FIG. 100. — *Loriglossum hircinum*. Les fleurs du haut de l'inflorescence sont en train de s'épanouir ; leur long labelle se déroule peu à peu. On voit, à mesure que la fleur s'étale, la labelle s'orienter de plus en plus vers le bas ; cela se constate pour les fleurs du bas de l'inflorescence.

hampe primitive (fig. 99, B). Grâce à ce double mouvement, la fleur reprend son orientation première. Doit-on dire que c'est pour favoriser la fécondation croisée que la fleur se retourne ainsi ? Evidemment non ; mais, si l'on se borne à remarquer que les fleurs ayant présenté au début cette particularité ont eu plus de chances d'être visitées, et par cela même fécondées, cela peut être admis, tant que l'on n'aura pas d'hypothèse meilleure pour expliquer ces phénomènes.

La fixité de la position de la fleur entraîne souvent des déplacements notables. On en observe dans les fleurs dont le plan de zygomorphie est d'abord oblique par rapport au plan vertical : la fleur doit alors tourner pour que ce premier plan vienne se confondre avec le second. Il en est de même dans les cas de zygomorphie horizontale (Fumariacées) et de zygomorphie inverse (Orchidées). Pour les plantes qui présentent ce dernier phénomène, les Orchidées par exemple, la fleur doit subir une torsion de 180° afin d'amener le labelle à la partie inférieure. On voit nettement dans la figure 100 du *Loroglossum hircinum* cette rotation se produire au fur et à mesure de l'épanouissement de la fleur.

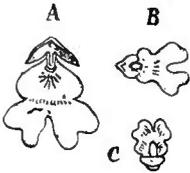


FIG. 101.— Trois fleurs d'*Impatiens*. — A, fleur développée à un fort éclairage. — B et C, fleurs développées à des éclairages de plus en plus faibles

Enfin, nous avons fait remarquer, en étudiant l'action de la lumière sur la cleistogamie, pour certaines plantes comme le *Linaria spuria* (fig. 74 et 75, p. 172), que les fleurs cleistogames (qui ont perdu presque toute zygomorphie et qui restent cachées au milieu des feuilles ou dans la terre) ont une orientation quelconque. Ce qui est la règle pour les fleurs cleistogames de cette espèce s'observe fréquemment aussi pour ses fleurs chasmogames, comme si cette plante était en train de perdre la propriété d'être fécondée par l'intervention des Insectes. En fait d'ailleurs, il semble que l'autofécondation soit la règle même pour les fleurs visibles de cette espèce. On sait d'ailleurs que la pélorie, c'est-à-dire le retour à la forme symétrique, se produit fréquemment dans cette espèce.

L'étude de l'action de la lumière sur la Balsamine (*Impatiens*) a conduit également M. Vœchting à une remarque tout à fait intéressante. Il n'est pas parvenu avec cette plante, en atténuant la lumière, à faire naître des fleurs cleistogames, mais il a réduit les dimensions des fleurs ordinaires. Or, il remarque que, tant que la lumière a une certaine intensité et la fleur une certaine taille, elle a toujours sa position normale (lèvre inférieure en dessous) (fig. 101, A) ; mais, dès que la source lumineuse devient trop faible, l'orientation de la fleur devient quelconque : d'abord horizontale (fig. 101, B), puis renversée (fig. 101, C). Nous constatons ainsi, par un autre procédé, que la lumière peut agir sur le géotropisme (V p. 197).

En résumé, nous voyons donc que la pesanteur intervient grandement dans l'organisation florale ; elle lui imprime quelquefois sa symétrie et très souvent une orientation en rapport avec son plan de zygomorphie.

Ces intéressants résultats nous conduisent à nous demander si l'appareil végétatif ne présente pas des faits de même ordre.

Dorsiventralité. — La distinction entre une face supérieure et une face inférieure peut être faite pour des organes parfaite-

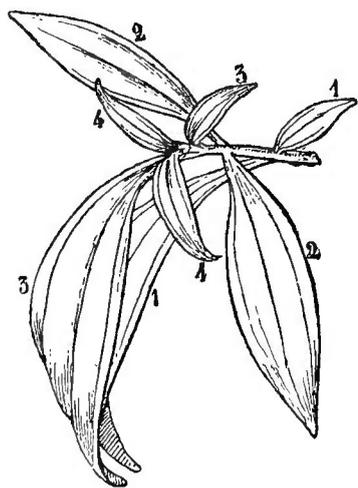


FIG. 102. — *Centradenia floribunda*. Branche horizontale portant des feuilles supérieures petites et des feuilles inférieures grandes.

ment cylindriques comme les branches, n'ac-

cusant, par conséquent, au premier aspect, aucune

bilatéralité

Cette dorsiventralité se tra-

hira par les dimensions des

feuilles insérées sur le haut

ou sur le bas

des rameaux

horizontaux : les feuilles su-

périeures étant

plus petites que les feuilles inférieures.

M. Wiesner a démontré le premier que cette dissymétrie était souvent due à la

pesanteur. M. Kolderup Rosenvinge, qui a étudié récemment

cette question, a montré qu'en retournant un rameau de *Centradenia floribunda*, on renversait la dorsiventralité de la

plante (fig. 102 et 103), aussi pense-t-il que c'est la pesanteur qui produit ce renversement dans la disposition des feuilles.

Dans d'autres cas, la dorsiventralité est fixée irrévocablement : il en est ainsi pour les pousses des *Selaginella*, du *Goldfussia anisophylla* et du *Centradenia rosea*. On retrouve donc encore

ici la fixation par l'hérédité d'un caractère qui a pu avoir pour origine autrefois l'action de la pesanteur ou un facteur analogue.

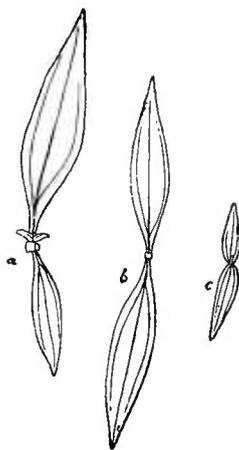


FIG. 103. — *Centradenia floribunda*. Feuilles d'une branche retournée ; a, feuilles anciennes ; b et c, feuilles nouvellement formées, elles sont devenues égales, bien tôt les feuilles inférieures vont être plus grandes.

Il se peut d'ailleurs que la dissymétrie s'accuse également dans l'organisation de la branche, et souvent l'inégalité des feuilles sur ses deux faces peut avoir un retentissement sur le bois qui se développe au voisinage : on le vérifie, par exemple, pour les *Goldfussia* ; tandis que le *G. isophylla*, qui a des feuilles égales tout autour de ses branches, a un bois partout également épais ; le *G. anisophylla*, qui a des feuilles de deux tailles, présente, au contraire, un épaississement notablement plus grand vers la partie inférieure du corps ligneux.

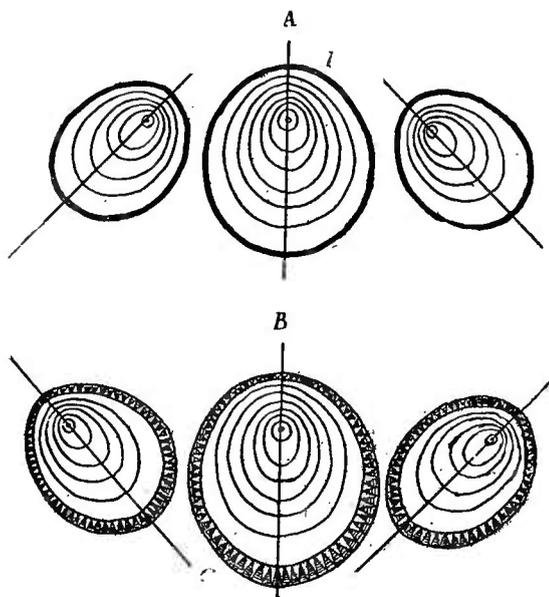


FIG. 104 et 105. — Dans A et B, les figures médianes ont le plus grand épaississement du bois dans le plan médian, elles correspondent à des branches médianes ; les dessins latéraux, qui figurent des branches latérales, ont leur plan de grand épaississement ligneux placé obliquement (d'après M. Wiesner).

On n'est pas arrivé à démêler jusqu'ici à quelles causes il fallait attribuer ces variations de structure.

Un certain nombre d'auteurs ont cru y retrouver l'action de la pesanteur (2), d'autres ont combattu cette opinion sans donner pour la remplacer aucune autre explication satisfai-

M. Wiesner a désigné cette dernière organisation sous le nom d'*hypotrophie* (fig. 104 et 105) (1). Il oppose à cette structure celle qu'il appelle *épitrophie* ; dans ce dernier cas, le bois le plus épais se voit sur le côté supérieur. L'un de ces deux types peut d'ailleurs s'observer sur des branches horizontales pour lesquelles il n'y a aucune différence de taille entre les feuilles (suivant qu'elles s'insèrent en dessus ou en dessous des rameaux).

(1) Le nom d'hyponastie que l'on emploie peut prêter à des confusions avec d'autres phénomènes que l'on désigne ainsi. Les expressions d'hypotrophie et d'épitrophie sont préférables.

(2) HOFMEISTER et M. ORTENBLAD ont soutenu une pareille opinion pour expliquer l'épitrophie des Conifères.

sante (1). M. Wiesner pense que les phénomènes précédents dépendent de la position, cela résulte de la considération des figures 104 et 105 qui montrent nettement la relation des épaisissements du bois et de la position des branches.

La pesanteur manifeste souvent ses effets sans aucune ambiguïté, surtout lorsqu'elle se combine à la lumière ; ces deux facteurs contribuent ainsi à différencier deux sortes d'organes que M. Sachs a désignés sous les noms de plagiotropes et d'orthotropes.

Organes plagiotropes et orthotropes. — Un organe orthotrope est celui qui, dans les circonstances ordinaires, se dresse verticalement ; un organe plagiotrope est celui qui rampe horizontalement.

Les premiers réagissent de la même manière sur toutes leurs faces à l'action de la pesanteur et de la lumière. Les seconds ont, au contraire, une face supérieure et une face inférieure qui se comportent d'une manière différente vis-à-vis de ces deux facteurs.

Les uns sont en général arrondis comme la tige, les pétioles et les racines principales ; ils ont une symétrie radiaire. Les autres inversement sont le plus souvent aplatis et bilatéraux.

(1) M. KNY, qui s'est occupé d'une manière approfondie de l'épithrophie et de l'hypotrophie, dit que l'on ne peut affirmer avec certitude que la pesanteur est la cause de ces deux phénomènes. Dans une branche épithrophique, le bois qui prédomine à la partie supérieure a les caractères du bois de printemps. En s'adressant à des plantes où le phénomène est constant dans les branches, M. Kny a constaté qu'il présentait une grande irrégularité dans la racine ; or, si l'on vient à déterrer ces racines, on peut avoir d'une manière régulière soit l'épithrophie (*Fagus*), soit l'hypotrophie (*Pin*).

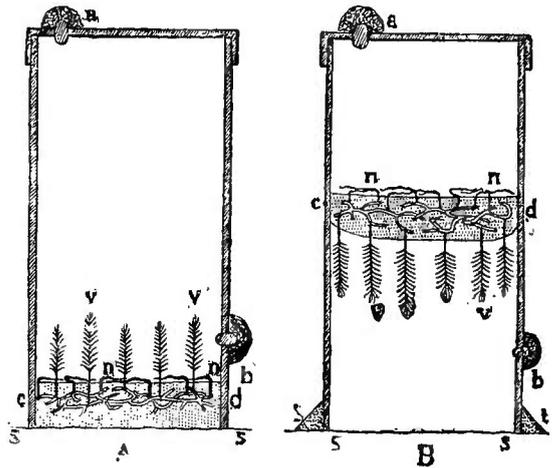


FIG. 106 et 107. — Cultures de Mousse de M. Bastit. — A, culture faite à l'obscurité dans un vase clos où l'air est renouvelé à l'aide des trous fermés par des bouchons d'ouate *a* et *b* ; par le géotropisme les tiges *v* sont dressées. — B, culture faite en éclairant le vase par en-dessous, les tiges des Mousses croissent vers le bas, grâce à leur phototropisme.

La position que prend un organe dans l'espace, avons-nous dit, dépend de la lumière et de la pesanteur, ou plutôt de la réaction de l'être vis-à-vis de ces deux forces. Le phototropisme et le géotropisme sont justement ces deux réactions de la plante, ces deux sensibilités du végétal, qu'il ne faut pas confondre avec les forces primitives agissantes. Tel être aura un géotropisme très puissant qui masquera l'effet de la lumière; pour telle autre espèce, l'effet inverse se produira. Si l'on éclaire notamment une Mousse par en bas, on pourra voir les tiges diriger leur sommet vers la terre, comme l'a montré M. Bastit (fig. 106 et 107). Dans d'autres cas, le géotropisme l'emporte, c'est ce qui arrive pour les germinations du Lupin, qui, bien qu'éclairées d'un côté, restent verticales, parce que leur phototropisme est faible.

D'une manière générale, et en particulier avec les organes plagiotropes, il y a en outre à tenir compte de l'orientation de l'organe par rapport à la direction de la force. Si un thalle est orienté suivant une ligne (fig. 108 A, b) faisant avec la verticale un angle β et avec la direction de la lumière un angle α , il y aura lieu de considérer les deux composantes :

$$\begin{aligned} & G \sin \beta \\ & P \sin \alpha \end{aligned}$$

en désignant par G le géotropisme quand le thalle a une direction perpendiculaire à la verticale, et par P le phototropisme quand la lumière est perpendiculaire au corps de la plante.

Lorsque la pesanteur agit sur un corps horizontal, sur une racine par exemple, la courbure géotropique est considérable, et elle se produit en très peu de temps; si l'on incline le corps, la courbure est plus faible, et elle se produit plus lentement; si l'organe est presque vertical, la courbure est à peine sensible, et elle se produit au bout d'un temps extrêmement long; pour une racine de Fève, déjà quand l'angle avec la verticale est de 8 à 10°, le géotropisme est extrêmement atténué et agit avec une vitesse très petite. Sachs a admis que l'activité géotropique d'un organe qui fait un angle α avec la verticale était représenté par $G \sin \alpha$.

Un raisonnement analogue peut être fait pour la lumière, mais avec ce facteur le problème se complique à cause des variations que peut présenter la source lumineuse dans son

intensité et dans sa direction. Supposons que nous éclairions un thalle de *Marchantia* avec une lumière assez forte, arrivant suivant une direction faisant avec la verticale un angle de 45° , nous verrons alors la lame de l'Hépatique s'étaler perpendiculairement au rayon lumineux (fig. 109, B, et 108, A, a). C'est dans cette position que sera la situation d'équilibre résultant des actions opposées du phototropisme (P) et du géotropisme ($G \sin \beta$). Enfin, pour un éclairage faible, en automne, le géotropisme du thalle deviendra prédominant, et la lame se rapprochera de la verticale.

Avec le Lierre, les choses se passent autrement; la position d'équilibre entre le phototropisme négatif et le géotropisme est atteinte quand la pousse est horizontale dans une direction opposée à celle de la lumière (fig. 50, p. 144, et fig. 108, A, c).

Dans ce dernier cas, bien que la tige soit cylindrique, nous avons affaire à un complexe plagiotope, parce qu'il y a une face supérieure et une face inférieure définies par la position des racines suçoirs et par celle des feuilles.

Inversement, un organe aplati pourra être orthotope s'il réagit sur ses deux faces de la même manière à l'action des facteurs externes; c'est ce qui arrive par exemple pour les *feuilles épées*, qui sont bilatérales mais non dorsiventrals, comme celles des *Iris* (fig. 110), des *Xyris*.

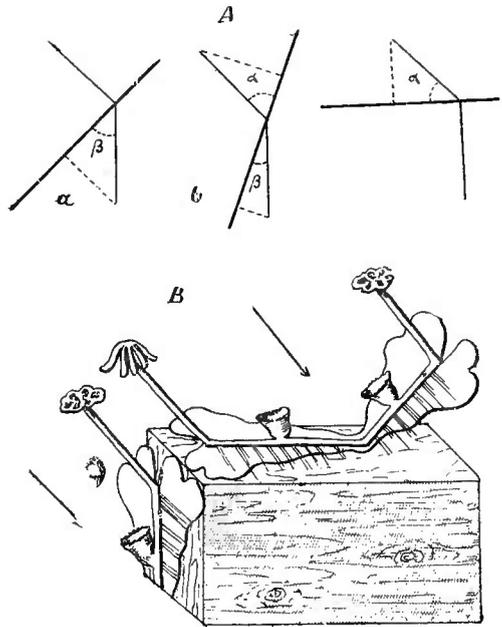


FIG. 108 et 109. — B, thalle schématique de *Marchantia*, culture développée sur un bloc de tourbe; le thalle d'abord appliqué sur le substratum se détache et s'oriente perpendiculairement au rayon lumineux. Les pieds des chapeaux mâle et femelle (normalement sur des pieds différents) s'orientent parallèlement au rayon lumineux figuré par la flèche. Les urnes à propagules prennent cette direction. — A, dessin b, la ligne parallèle à la flèche est encore celle de la lumière, elle fait un angle α avec la ligne oblique marquant l'orientation du thalle; cette ligne fait un angle β avec la verticale, direction de la pesanteur; a, cas où le thalle s'oriente perpendiculairement au rayon lumineux; c, cas où le thalle est horizontal.

La position d'un organe dépend donc de sa réaction et de sa position vis-à-vis de la lumière et de la pesanteur. Il résulte de cette manière de voir qu'un organe plagiotrope pourra très bien devenir orthotrope s'il est enroulé. Examinons une feuille âgée ; elle est étalée parce que ses deux faces réagissent inégalement à l'action des facteurs externes ; mais imaginons que nous l'enroulions sur elle-même en mettant en dehors, par exemple,

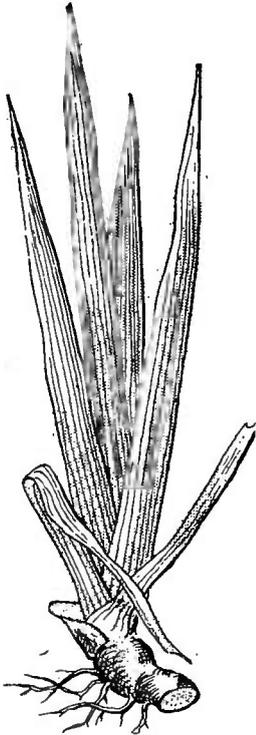


FIG 110 — Feuilles
d'Iris.

la face inférieure ; dans ces conditions, cette feuille va se comporter comme un organe orthotrope. C'est ce que l'on voit aisément quand une feuille de *Nymphæa* ou de *Nuphar* s'épanouit ; tant qu'elle est sous l'eau, elle est enroulée sur elle-même (fig. 146, p. 251) ; aussi son limbe est-il vertical et à peu près parallèle à son pétiole, par suite de la prédominance du géotropisme ; à mesure qu'elle sort de l'eau, l'éclairement devient plus intense, le cornet se déroule, la feuille devient de plus en plus oblique, et finalement elle est horizontale lorsqu'elle est complètement étalée (1).

Il y a plus, un seul et même organe peut être plagiotrope et orthotrope tout à la fois : plagiotrope dans les parties étalées et orthotrope dans les portions enroulées. C'est ce que l'on voit très aisément pour les thalles d'un Lichen, le *Peltigera canina*, dont les portions stériles sont plates et horizontales et portent au bord les apothécies qui sont enroulées et verticales.

L'étalement des feuilles semble être le plus souvent le résultat d'un fort éclaircissement. Ce phénomène, qui résulte d'un accroissement prédominant de la face supérieure, a été désigné sous le nom de phénomène épïnastique.

Dans certaines plantes, cette épïnastie ne se produit pas ; aussi la feuille reste-t-elle en cornet, et le cornet garde indéfiniment

(1) Même résultat pour les Agaves, les Graminées, les Pinguicules, les Capucines, les Cucurbitacées.

son orientation verticale. Il y a eu quelquefois évolution dans une autre direction, vraisemblablement parce que l'abolition de l'épinastie a présenté un avantage pour la plante. On rencontre cette disposition de la feuille en cornet ou en urne dans les *plantes dites carnivores*, comme les *Nepenthes*, *Sarracenia*, *Cephalotus* (fig. 111 et 112).

Epinastie et Nutation. — L'origine des phénomènes d'épinastie est assez obscure; ces courbures paraissent le plus souvent résulter du jeu de forces internes dont il n'est pas toujours aisé de démêler la nature. Dans certains cas cependant, on a pu entrevoir qu'il s'agissait de phénomènes d'induction résultant d'une action antérieure de la lumière ou même de la pesanteur.

Le fait le plus net, sous ce rapport, est celui qui a été signalé dans le travail si remarquable à tous égards de Sachs. Il prend une pousse plagiotrope de Lierre qu'il coupe et qu'il attache verticalement à un bâton, en laissant libre la partie supérieure.

Au bout de huit à dix heures, il remarque que, même à l'obscurité, le sommet est infléchi par suite d'une courbure convexe de la région qui était primitivement supérieure. Ceci se manifeste également avec une lumière équilatérale ou avec un éclaircissement intense de la face inférieure, mais, dans ces derniers cas, les phénomènes épinastiques sont bientôt masqués par l'intervention de la lumière.

D'après M. Kraus, « les courbures hyponastiques ne seraient rien autre chose que des actions ultérieures du géotropisme ».

L'épinastie et l'hyponastie sont souvent considérées comme

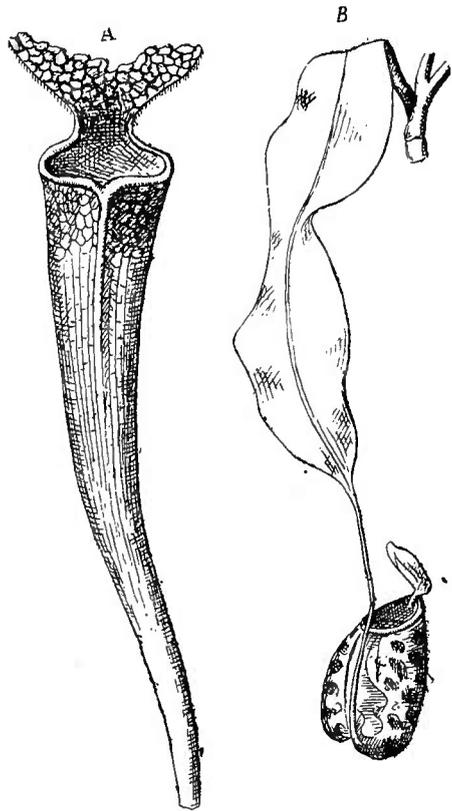


FIG. 111 et 112. — A, *Sarracenia*. — B, *Nepenthes*.

des cas particuliers de la nutation. On peut voir d'ailleurs s'établir quelquefois une relation entre ce dernier phénomène et la pesanteur; c'est ce qui résulte des recherches de M. Noll sur ce qu'il appelle la nutation rotatoire des plantes étiolées. M. Wiesner avait d'ailleurs autrefois remarqué un lien entre les courbures géotropiques ou phototropiques et la nutation. Si l'on place horizontalement une tige de Haricot, on remarque que le relèvement de cet organe ne se produit pas toujours également vite. Si l'on fait tourner la tige sur elle-même, on remarque qu'il y a une génératrice pour laquelle la vitesse de relèvement est maximum; à droite et à gauche de celle-là, la rapidité du redressement décroît, et devient minimum pour la génératrice diamétralement opposée à la première.

Isotropie et Anisotropie. — Nous avons noté, dans ce qui précède, que les parties plagiotropes et orthotropes peuvent quelquefois se produire aux dépens d'un thalle présentant partout la même forme (on dit dans ce cas qu'il est isomorphe) : c'est ce que nous avons observé pour les Peltigères. Lorsque la structure de l'être se complique, les diverses parties qui le composent peuvent se comporter de manières diverses; par exemple, dans un thalle de *Marchantia* on observera (fig. 109, p. 211) :

Une lame : plagiotrope, dorsiventrale ;

Des poils rhizoïdes : orthotropes vers le bas, radiaires ;

Des supports fructifères : orthotropes vers le haut, par enroulement presque radiaires ;

Des archégones : orthotropes vers le bas, radiaires ;

Des corbeilles à propagules : orthotropes vers le haut, radiaires ;

Des propagules : ni orthotropes ni plagiotropes (isopolaires).

Dans les plantes supérieures très différenciées, la tige et la racine principales sont orthotropes; les branches et les feuilles, plagiotropes.

Il existe des végétaux dégradés dont toutes les parties du corps obéissent de la même manière à l'action dirigeante de la pesanteur et de la radiation; on les dit *isotropes* : telles sont les Bactériacées, les Oscillariées, etc. Ce sont, on le voit, des êtres très inférieurs. Chez presque toutes les plantes, les diverses parties du corps obéissent différemment à ces

forces et, sous leur influence, elles prennent dans l'espace des directions différentes; on les dit *anisotropes*: tel est le cas du *Marchantia*. Mais cette anisotropie peut se manifester avec une structure souvent très rudimentaire; on l'observera chez les Champignons inférieurs, chez les Lichens comme le *Peltigera canina*, chez des Algues assez dégradées.

Comme le dit excellemment M. Van Tieghem, « la notion physiologique de l'anisotropie non seulement est indépendante de la notion morphologique de différenciation, mais elle lui est antérieure et supérieure. Sans tiges, ni racines, ni feuilles, par la seule anisotropie de ses membres isomorphes (tous de même forme), une Thallophyte peut donner à son corps les dispositions les plus variées et lui assurer les meilleures conditions d'existence. Avec ses tiges, ses racines et ses feuilles profondément différenciées, sans anisotropie, une Phanérogame ne serait qu'un amas informe incapable de vivre. »

A la fin de l'étude consacrée à la lumière, nous rappelions la pensée profonde de Pasteur sur les corps dissymétriques, et nous nous demandions ce que deviendraient les êtres vivants si la terre tournait en sens inverse de son mouvement normal. Ne pouvons-nous pas ajouter maintenant, en terminant cette seconde partie consacrée à la gravitation, que, si la rotation de la terre s'effectuait avec une vitesse autre que celle que nous connaissons actuellement, il en résulterait des changements également profonds pour toutes les formes vivantes qui peuplent la surface du globe?

QUATRIÈME PARTIE

MILIEU AQUATIQUE

CHAPITRE XIX

CONSTITUTION PHYSICO-CHIMIQUE DU MILIEU AQUATIQUE

Tout le monde sait que les êtres qui vivent dans l'eau se distinguent de ceux qui habitent les continents par un grand nombre de caractères qui ont depuis longtemps frappé les observateurs les plus inattentifs. Chez les animaux, ces différences sont tellement grandes, qu'elles ont été la cause de méprises que les progrès de la zoologie ont rapidement fait éviter : rien en particulier n'est plus naturel que de confondre la Baleine et les Poissons. Quand les zoologistes eurent démontré que ce premier animal était un Mammifère, l'idée d'une adaptation à la vie aquatique pouvait tout naturellement germer dans l'esprit. Mais la justification d'une pareille opinion n'est pas sans présenter de grandes difficultés si l'on s'en tient à l'étude des animaux ; ces obstacles sont plus aisément surmontés quand on choisit les plantes pour objet de recherche, car on peut mieux expérimenter sur elles.

Il est à remarquer ici que les expériences, même quand elles amènent la mort de la plante, même quand l'accommodation est faible ou nulle, n'en sont pas moins d'une grande portée. On a fait des objections à cette méthode : vous torturez les végétaux, a-t-on dit, vous les placez dans des conditions

qui ne se trouvent jamais réalisées dans la nature. C'est là une grande erreur : toutes les combinaisons de milieu, même les plus invraisemblables, parmi celles que l'esprit de l'homme imagine, sont des possibilités que la nature a pu réaliser autrefois ou qu'elle pourra réaliser dans l'avenir de notre globe, si elles ne le sont pas actuellement. On a encore objecté : la plante sur laquelle vous expérimentez est dans un état maladif et vous n'avez pas le droit de tirer des conclusions des réponses qu'elle vous donne. A cette objection, on peut répondre qu'il n'y a pas deux physiologies, une pour les êtres sains, une autre pour les êtres malades ; ce sont les mêmes lois physico-chimiques qui régissent tous les êtres, jeunes ou âgés, sains ou souffrants. Telle plante pourra, en s'affaiblissant et même en mourant dans un milieu auquel elle ne s'adapte pas, nous fournir les renseignements les plus précieux sur les êtres qui se sont accommodés : les transformations que nous pourrions ainsi réaliser expérimentalement nous permettront d'entrevoir quelques-unes des étapes suivies autrefois par les ancêtres de ces végétaux actuellement adaptés. Nier ces résultats, c'est nier la méthode expérimentale ; c'est refuser au naturaliste le droit d'interroger les êtres vivants par la méthode qui a conduit les physiciens et les chimistes aux magnifiques découvertes qui seront certainement le grand honneur de notre siècle.

On ne saurait trop s'élever contre ces idées ; elles sont aussi peu fondées que celles qui faisaient autrefois regarder les monstruosité comme des faits en dehors de la règle. En réalité, tout ce que réalise la nature, lorsque les conditions extérieures changent, est dans la loi.

C'est grâce à l'expérience que l'étude des facteurs cosmiques isolés a été abordée utilement dans les trois parties qui précèdent. Elle n'a pu d'ailleurs être faite que par un effort d'abstraction. En abordant l'examen des modifications produites par la vie dans l'eau, nous allons nous rapprocher beaucoup plus de conditions réalisées communément dans la nature et considérer une des associations les plus nettement définies des agents extérieurs. Avant de préciser les effets de ces combinaisons, voyons quelles particularités caractérisent le milieu aquatique.

Gaz dissous dans l'eau. — Examinons d'abord comparative-ment la teneur de l'eau en gaz et la composition de l'air :

Sur 1,000^{cc} d'air, il y a 209^{cc} d'oxygène, 790^{cc},4 d'azote et 0^{cc},4 d'acide carbonique. La quantité absolue de gaz dissous dans 1 litre d'eau est, d'après Forel, variable avec la température ; elle est près du niveau de l'eau :

à 5° : oxygène 7^{cc},3 ; azote 13^{cc},6 ; acide carbonique 0^{cc},6
 à 20° : — 5^{cc},7 ; — 10^{cc},7 ; — 0^{cc},3

L'absorption de l'oxygène et de l'acide carbonique diminue donc quand la température s'élève. D'après M. Devaux le tant pour 100 de gaz dissous dans l'eau est à 15° :

oxygène 33^{cc},98 ; azote 63^{cc},82 ; acide carbonique 2^{cc},19.

Il découle de ces nombres qu'il y a dans l'eau plus d'acide carbonique que dans l'air, pour une unité de volume, mais qu'il y a moins d'oxygène.

Il faut rappeler, en outre, que la diffusion des gaz dissous dans l'eau est très lente ; si le liquide ne se meut pas, elle dure plusieurs jours d'après Graham, même à une profondeur de quelques décimètres ; il faut des mois de contact de la dissolution avec le gaz pour qu'il n'y ait plus d'absorption et pour que l'équilibre s'établisse.

Il résulte de ce qui précède que les gaz de l'air pénètrent beaucoup plus difficilement jusqu'aux parties submergées que jusqu'à celles qui sont dans l'atmosphère ou dans le sol. Comme pour les plantes terrestres, l'oxygène et l'acide carbonique sont les deux seuls gaz essentiels. Certaines Bactéries peuvent cependant se passer d'oxygène.

Les besoins des diverses plantes en oxygène sont variables, et certains végétaux aquatiques sont particulièrement exigeants à cet égard : ce sont surtout ceux qui se trouvent dans les cascades, à l'endroit des chutes d'eau. Les Podostémacées sont très remarquables sous ce rapport, et on ne les trouve que dans ces stations très spéciales et très aérées. D'autres plantes habitent les eaux courantes. Certaines espèces se rencontrent dans les eaux stagnantes et même croupissantes. On connaît enfin plusieurs espèces qui non seulement végètent dans une eau chargée d'acide sulfhydrique, mais même vivent mal en l'absence de ce gaz (1).

(1) D'après M. OLTMANN, la culture des Algues marines réussit mieux quand on ne fait pas passer de courant de bulles d'air dans le liquide

Nous verrons que les besoins très divers d'oxygène et d'acide carbonique des différentes espèces ou individus contribuent à produire de grandes variations chez les végétaux aquatiques. Toute particularité de forme ou de structure grâce à laquelle une plus grande surface du végétal, un plus grand nombre de cellules se trouvent au contact de l'eau, constitue pour les individus qui la présentent un avantage considérable ; cette particularité a donc des chances de devenir héréditaire. De là ces tendances à l'aplatissement des feuilles, à leur découpage ; de là aussi, dans certaines espèces, l'apparition de poils assimilateurs ou respiratoires que l'on a comparés à des branchies de Poissons.

L'accès des gaz est difficile dans la profondeur des tissus, aussi se forme-t-il dans presque tous les végétaux aquatiques un système de réservoirs d'air qui peuvent quelquefois représenter 70 pour 100 du volume de la plante. D'après Unger, les cavités du *Pistia stratiotes* représentent 71 pour 100 du volume du corps, tandis que dans une plante terrestre, un *Begonia* par exemple, elles n'en forment que 3,5 pour 100. Ces réservoirs ne fournissent pas seulement l'air aux parties submergées, elles le donnent également aux régions qui sont enfoncées dans la vase, aux tiges souterraines et aux racines.

Sol. — Le sol n'a plus pour les végétaux aquatiques la même importance que pour les plantes terrestres. Ces dernières, sauf les parasites et les épiphytes, doivent puiser dans la terre les sels qui jouent un rôle important dans leur nutrition. Ce rôle est singulièrement atténué pour les êtres qui vivent dans l'eau, car les liquides pénètrent par toutes les parties du corps de la plante. Nous verrons aussi, dans une catégorie importante de plantes d'eau, que la nutrition par le sol est devenue si peu importante qu'elles sont sans attache avec lui et flottent librement dans le liquide.

C'est surtout chez les plantes amphibies que le sol a de

où elles se trouvent ; ce procédé, qui est excellent pour élever des Poissons, ne donne pas de bons résultats avec ces plantes. L'expérience suivante permet d'entrevoir la raison de cette apparente anomalie : le courant gazeux enlève l'acide carbonique utile aux plantes, on le voit en faisant passer un courant d'air dépourvu de ce gaz, il en contient à la sortie du liquide.

l'importance, mais il sert à la fixation du végétal plus encore peut-être qu'à sa nutrition.

Chaleur. — La répartition de la chaleur dans l'eau n'est pas du tout la même que dans l'air. Les plantes terrestres sont exposées à de très grands changements de température : grands froids pendant l'hiver, hautes températures pendant l'été; elles doivent donc être adaptées à ces grandes variations (1). Dans l'eau, les variations annuelles et même journalières sont beaucoup plus faibles parce que la chaleur spécifique du milieu est plus grande et qu'il possède un pouvoir conducteur plus faible. Les points extrêmes de température sont donc moins éloignés l'un de l'autre pour une plante aquatique (2).

D'ailleurs, par le fait de l'existence du maximum de densité de l'eau vers 4°, cette température est celle des eaux douces et tranquilles au contact du sol dans les lacs profonds (3); les couches plus élevées peuvent être plus froides. Dans les lacs de Suisse, la température du fond ne varie que de 5° pendant toute l'année. Aussi, pendant l'hiver, beaucoup de végétaux submergés gardent-ils leurs feuilles vertes.

Les plantes aquatiques ne peuvent d'ailleurs pas supporter de hautes températures pour une autre raison. Nous avons vu plus haut que, lorsque la température s'élevait, la quantité de gaz dissous diminuait; la respiration et l'assimilation chlorophyllienne deviennent de plus en plus difficiles. Des expériences directes n'ont pas été faites avec les plantes; mais, entreprises avec des Poissons, elles ont donné des résultats décisifs : on amène rapidement la mort de ces animaux qui ne peuvent plus respirer dans un liquide échauffé. M. Goebel a vu de même qu'une élévation de température était nuisible aux Batrachospermes (fig. 70, p. 167).

Il est à remarquer d'ailleurs que l'optimum de croissance des végétaux aquatiques correspond à une température peu élevée. Les Lémanées, qui sont des Algues d'eaux douces,

(1) Le *Cochlearia fenestralis*, observé au nord de la Sibérie, supporte sans périr des températures de -30° et -40° pendant l'hiver.

(2) D'après ACKERMANN, la température de la Baltique est, en novembre, en moyenne de 3° supérieure à celle de l'air.

(3) Dans quelques cas, des sources d'eau chaude peuvent, en se déversant dans un lac, modifier la règle précédente.

végètent très bien en février. Les *Hydrurus* (fig. 113), qui manquent en été dans la presqu'île scandinave, ont été trouvés en Laponie en juillet et en août, mais dans les torrents près de la neige (1).

Adaptées le plus souvent à de très faibles variations de température, les Algues marines présentent une extrême sensibilité vis-à-vis des changements brusques de chaleur (2). M. Oltmanns, qui a tenté la culture de ces végétaux, n'a pu

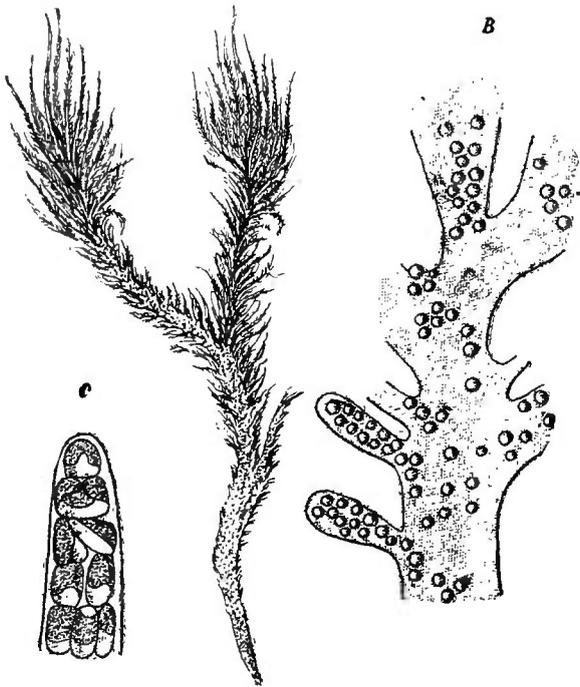


FIG. 113. — *Hydrurus*.

réussir qu'en refroidissant les vases où ils se développent ; il a même été amené à utiliser un appareil, qu'il appelle hydrothermostat, qui abaisse la température au lieu de l'élever comme dans les étuves ordinaires.

Mais, à côté de ces espèces très sensibles aux hautes températures, il y a des Algues, que l'on appelle eurythermes (3), qui peuvent supporter des températures élevées allant jus-

qu'à 30° sans périr ; elles vivent cependant très bien à 0°. Toutes ces espèces appartiennent surtout à la flore du littoral, comme les *Fucus*, les *Polysiphonia* ; elles ont dû s'adapter depuis longtemps à de grandes et brusques variations calorifiques.

Dans la mer, par suite de la présence du sel, les couches deviennent de plus en plus froides à mesure qu'elles sont plus profondes. La température s'abaissant ainsi, l'eau devient d'autant plus riche en oxygène et en acide carbonique ;

(1) D'après M. DE LAGERHEIM.

(2) Le *Rhodomela subfusca* est particulièrement sensible à ces actions de température.

(3) D'après M. REINKE.

les conditions de nutrition deviennent d'autant meilleures : aussi une même espèce est plus petite dans la Baltique que dans les mers polaires (V p. 75) (1).

La plupart des végétaux aquatiques sont adaptés à des températures ou basses ou peu élevées. On connaît, par contre, des espèces qui ne se rencontrent que dans les sources chaudes ; ce sont les Oscillariées et, d'une manière plus générale, les Cyanophycées. Il est assez curieux de constater l'existence des mêmes espèces en des points très éloignés du globe : on trouve par exemple le *Lyngbya* (fig. 114) *thermalis* en Islande, au Groenland, dans les volcans de boue d'Italie. On trouve l'*Anabæna thermalis* dans une eau à 57° ; des *Beggiatoa*, des *Oscillaria*, végétant très bien à 44° et 51° ; certaines espèces peuvent même supporter une température s'élevant jusqu'à 80°.

Lumière. — Nous avons déjà étudié plus haut la variation de la lumière avec la profondeur de la mer (p. 110). Au point de vue de la lumière, les végétaux submergés croissent toujours dans une lumière atténuée. Si l'intensité lumineuse est trop forte, beaucoup de plantes meurent (telles sont les *Utricularia*, *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, *Chara*) ; d'autres jaunissent, comme les *Fucus* (2).

Dans les eaux douces, la végétation ne descend pas si profondément que dans la mer, car on n'y rencontre guère que des plantes vertes. En général la végétation phanérogamique reste à 5 mètres de profondeur, au plus à 10 mètres ; il y a cependant des Characées qui vont jusqu'à 20 et 25 mètres. Dans les lacs du Jura, M. Magnin a distingué trois zones : la première, caractérisée par les Characées, s'observe entre 8 et 12 mètres de profondeur ; la seconde, définie surtout par les Potamots, entre 6 et 8 mètres ; enfin la troisième, renferme surtout les *Nuphar*, de 3 à 5 mètres.

On connaît cependant une Mousse, le *Thamniun alopecurum* var. *Lemani*, qui a été observée dans le lac de Genève à 60 mètres de la surface.

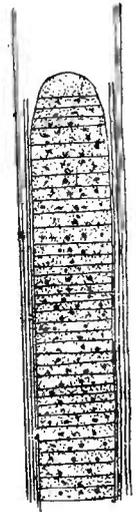


FIG. 114. —
Lyngbya
major.

(1) OLTMANN'S.

(2) OLTMANN'S.

Eau et matières en dissolution. — Enfin l'eau elle-même peut agir en tant que milieu spécial d'une densité beaucoup plus grande que celle de l'air. Les organismes qui y pullulent se trouvent, pour ainsi dire, portés par le liquide : les appareils mécaniques qui servent à dresser la tige dans l'air ne

sont plus nécessaires ici. La forte densité de l'eau a contribué également, en grande partie, à l'apparition de la vie flottante et nageante qui constitue un aspect très particulier de la vie aquatique.



FIG. 115. — *Potamogeton pectinatus*.

Dans quelques cas, l'eau peut avoir une autre action mécanique : une Algue marine, par exemple, qui est exposée pendant le flux et le reflux au choc des vagues et des cailloux qu'elles transportent, qui peut, dans certaines régions, être régulièrement précipitée par la mer sur les écueils, devra présenter des particularités de structure qui lui permettront de résister à de telles causes de destruction. L'Algue détachée, qui est roulée à

chaque marée, devra également présenter des adaptations spéciales grâce auxquelles elle supportera les chocs.

Dans les eaux des fleuves, le flux et le reflux ne se font sentir d'une manière appréciable à une grande distance de l'embouchure que pour les grands fleuves ; en particulier, ceux de l'Amérique du Sud, la marée est sensible jusqu'à pour 60 milles de la mer. Mais dans les rivières le courant de l'eau a quelquefois une très grande force, et cela surtout dans les torrents au voisinage de la source. Une plante adaptée pour la vie dans un étang tranquille ne pourra pas se maintenir

sans modifications importantes dans les courants rapides des rivières.

Ces courants rapides contribuent à renouveler l'air et les matières nutritives autour de la plante, ce qui constitue un avantage souvent très notable pour certaines espèces. Ces substances dissoutes dans l'eau y existent quelquefois en quantité importante. Le bicarbonate de chaux y est maintenu en dissolution par suite de la présence de l'acide carbonique dans l'eau : beaucoup de plantes comme les Characées, les Potamées, les Muscinées s'emparent de cet acide carbonique et il se dépose à la surface du végétal un précipité calcaire. La potasse, l'ammoniaque, l'acide phosphorique peuvent exister dans les eaux à l'état de sels, mais elles ne paraissent pas avoir d'importance dans la distribution des êtres aquatiques.

Le sel marin joue, au contraire, un rôle très grand par suite de sa présence dans l'eau de mer. Le plus généralement une espèce d'eau douce ne vit pas dans la mer et inversement. Ceci n'est cependant pas absolu et on peut rencontrer dans les eaux saumâtres un certain nombre d'espèces des eaux douces. La Baltique, par suite de l'étroitesse des détroits qui la mettent en relation avec la mer du Nord, contient de l'eau simplement saumâtre, et on y trouve quelques espèces des eaux douces, comme le *Potamogeton pectinatus* (fig. 115). Un certain nombre de Diatomées peuvent s'adapter à la vie dans les eaux non salées et dans les eaux salées. On n'a guère étudié jusqu'ici de quelle nature étaient ces adaptations, qui ont d'ailleurs plus d'intérêt au point de vue de la zoologie que de la botanique.

Nous connaissons maintenant la constitution physico-chimique du milieu aquatique. Nous allons chercher comment les êtres qui y vivent peuvent s'y modifier, comment les variations de la flore, en passant de la terre ferme aux eaux profondes, indiquent des changements progressifs permettant d'entrevoir pour ainsi dire tous les stades de l'adaptation.

CHAPITRE XX

FLORE DES MARÉCAGES

Les premières plantes qui méritent de fixer notre attention sont celles qui se trouvent dans une sorte de milieu intermédiaire entre l'eau et la terre ferme, qui habitent les marécages ou les bords des rivières.

Elles sont particulièrement intéressantes parce qu'elles sont le plus souvent propres aux expériences et peuvent s'adapter soit à un milieu franchement aquatique, soit à un milieu complètement terrestre.

Parmi les aspects que nous offrent les régions marécageuses, nous pouvons distinguer notamment au bord des rivières ou des étangs d'eaux tranquilles une flore spéciale que l'on peut désigner sous le nom de flore des roseaux.

Marécages de roseaux. — C'est dans cette zone que prédominent les hautes Monocotylédones à tige grêle et non ramifiée, le Phragmite commun (fig. 116), le *Phalaris arundinacea*, le *Glyceria spectabilis*, les *Typha* (fig. 117). Grâce à l'élasticité et à la fermeté de leurs tissus, les longues hampes fertiles de ces plantes se courbent sans se briser, « le roseau plie mais ne rompt point ». Il y a là vraisemblablement une accommodation au vent, car ces végétaux croissent en des lieux découverts exposés aux ouragans.

Les hautes tiges de ces plantes leur permettent toujours de s'élever hors de l'eau, ce qui leur est indispensable, car ce sont des végétaux plus aériens qu'aquatiques.

L'adaptation au milieu aqueux se révèle surtout par l'étude des caractères de la base de ces plantes. Le séjour des parties inférieures de ces roseaux dans l'eau ou dans la vase

contribue puissamment à allonger la durée de leur vie. Tout milieu qui tend à uniformiser les conditions d'existence produit ce résultat : nous avons déjà eu l'occasion de mentionner ce fait à propos de la flore des îles (1). Les fortes chaleurs de l'été, les grands froids de l'hiver sont singulièrement atténués pour un végétal qui plonge dans l'eau. On peut donc présumer que le nombre des espèces vivaces sera très grand parmi les plantes aquatiques.

Voici d'ailleurs quelques chiffres relevés par M. Hildebrandt pour la flore des environs de Fribourg-en-Brisgau :



FIG. 116 et 117. — A, *Phragmites communis*. B, *Typha*.

	ESPÈCES ANNUELLES	ESPÈCES BISANNUELLES	ESPÈCES VIVACES	ESPÈCES LIGNEUSES
Plantes aquatiques.	2,6 %		97,4 %	
Plantes des forêts et des bois.	2,5 %	1,5 %	65 %	31 %
Plantes des champs cultivés.	88,8 %		11,2 %	

(1) P 33.

On voit, d'après ce tableau, quelles différences frappantes s'accusent dans la proportion des espèces vivaces et annuelles, suivant qu'il s'agit de végétaux aquatiques ou de plantes des champs et des bois.

Cette même flore des rives se retrouve avec des caractères assez analogues dans les régions les plus diverses du globe. Dans la région méditerranéenne, on trouve l'*Arundo Donax* ; sur les bords du Nil, le *Cyperus Papyrus* ; au Venezuela s'observe le *Typha Domingensis*.

Si les espèces caractéristiques varient d'un lieu à un autre, des changements s'opèrent également en un point dans la flore suivant qu'on s'éloigne du bord ou que l'on se rapproche de la terre ferme. Sur les bords des lacs du Jura, M. Magnin a distingué, en dehors des trois zones mentionnées plus haut (1), une 4^e zone caractérisée par le *Scirpus lacustris*, une 5^e zone définie par le *Phragmites*, une 6^e par les *Carex*.

Les Cypéracées abondent dans ces régions, c'est là qu'on trouve les *Eriophorum*, avec leurs belles aigrettes blanches, visibles de loin, les *Cladium Mariscus*. Les *Menyanthes*, les *Epilobium*, les *Equisetum*, les accompagnent communément.

L'étude de la structure des tiges de ces plantes des marécages permet d'assister aux premières métamorphoses des plantes aquatiques. Pour mettre en évidence ces variations, on peut employer deux méthodes : l'une que l'on appelle l'*anatomie expérimentale*, l'autre qui mérite d'être qualifiée d'*anatomie comparative*. Dans le premier cas, on cultive deux individus de la même espèce aussi semblables que possible, l'un dans l'air, l'autre dans l'eau, et on compare leurs structures. Dans le second cas, on compare sur un même individu une partie inférieure aquatique et une région supérieure aérienne.

Les expériences ont porté sur des plantes amphibies que l'on a forcé à se développer dans l'air, dans l'eau ou dans la vase. Les faits mis ainsi en lumière s'accordent d'une manière complète avec les résultats de l'anatomie comparative des différentes parties d'une même plante ou de l'anatomie comparée des espèces purement aquatiques. Ils prouvent, ce que l'on ne pouvait affirmer avec certitude tant qu'on n'employait pas

(2) P. 223.

l'expérience, que le milieu a une action profonde sur la structure : sous son influence, l'écorce se creuse d'un système aérière puissant, le système vasculaire se réduit, l'appareil fibreux diminue.

Ces résultats se trouvent contrôlés par des expériences faites avec des plantes normalement terrestres. Il ne faudrait pas croire cependant qu'un séjour souvent prolongé de plusieurs mois transforme une plante terrestre en une plante aquatique (1).

Souvent elle finit par mourir, mais après avoir accusé déjà une légère variation de structure *parallèle* à celle qui, exagérée, produirait l'organisation des plantes normalement aquatiques. Dans certains cas, le nombre des vaisseaux sera réduit, le nombre des fibres moindre. On a pu même faire naître dans l'écorce de certaines plantes un tissu lacuneux différencié que l'on appelle aérénchyme dont nous parlerons plus loin (2).

On ne saurait nier la grande portée de ces résultats : ils prouvent que, même lorsque la plupart des caractères d'un être ne révèlent pas d'adaptation, quelques-uns cependant peuvent montrer des variations dans le sens voulu pour aboutir à la structure aquatique.

L'action du milieu aquatique peut se manifester également avec la plus grande netteté pour les végétaux inférieurs, qui contribuent à former dans certaines régions des marécages très caractérisés de Sphaignes et de Mousses.

Marécages de Sphaignes et de Mousses. — Les plantes net-

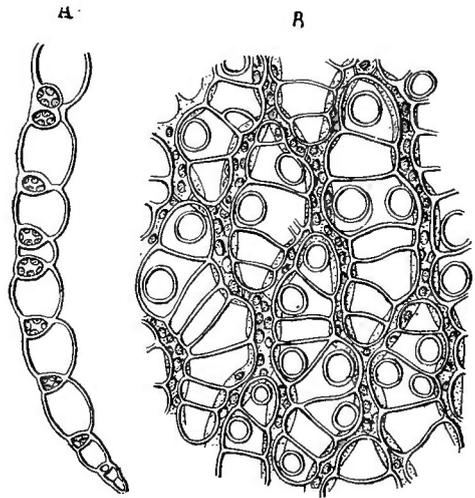


FIG. 118 et 119. — A, section d'une feuille de *Sphagnum* faite perpendiculairement au limbe montrant deux sortes de cellules vertes et incolores. B, vue de face ; les grandes cellules incolores sont perforées ; les cellules vertes sont en réseau.

(1) MM. LEWAKOFFSKY, COSTANTIN et SCHENCK ont constaté, par exemple, la persistance des stomates sur les Saules, sur les rejets de *Rubus*, sur les *Vicia*, sur les *Nasturtium*.

(2) D'après PERSEKE, pour le Haricot.

tement amphibies, comme les *Sphagnum*, se modifient quand elles sont submergées, ainsi que l'a montré M. Russow. A l'air, on distingue dans les feuilles deux sortes de cellules :

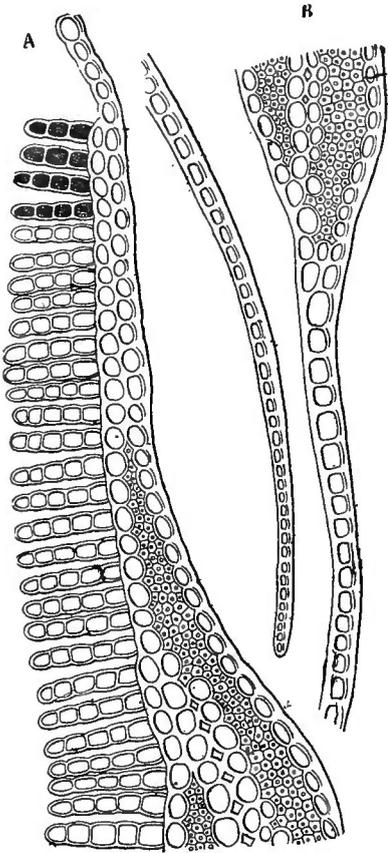


FIG. 120 à 122. — A, section transversale d'une feuille aérienne d'un *Polytrichum* ; on voit se dresser sur le limbe une série de lames remplies de chlorophylle, qui apparaissent sur la gauche du dessin comme des poils. — B et C, section d'une feuille aquatique, les lames précédentes ont disparu (d'après M. Bastit).

les unes à chlorophylle sont disposées en réseau ; les autres, perforées, sont incolores et ont perdu leur contenu protoplasmique (fig. 118 et 119). Cette structure disparaît sur les feuilles des branches submergées ; les feuilles y sont formées pour la plus grande partie de cellules à chlorophylle : la différenciation des éléments cellulaires a disparu. Le maintien de la tige dans l'eau empêche donc les feuilles de la plante d'acquérir la structure compliquée qui caractérise d'ordinaire ce végétal.

Qu'une Muscinée amphibie comme le Sphaigne se modifie sous l'action du milieu aquatique, cela ne nous étonne plus maintenant que nous savons combien les êtres amphibies sont malléables. Mais que des modifications presque aussi profondes que celles dont il vient d'être question puissent se produire pour des Mousses vivant d'ordinaire dans des régions sèches, cela est plus fait pour nous surprendre.

M. Bastit a démontré par des expériences décisives la réalité de ces transformations. Il a fait vivre, notamment dans l'air et dans l'eau une tige de *Polytrichum juniperinum*. La taille de la plante, sa forme et sa structure ont été profondément métamorphosées dans l'eau : la feuille y est courte et ovale ; elle est longue et aiguë dans l'air. Les modifications anatomiques ne sont pas moins saisissantes, et la plus apparente consiste dans la disparition

des lames chlorophylliennes si curieuses qui caractérisent la face supérieure des feuilles aériennes (fig. 120 à 122). L'épiderme se modifie également : la vie aquatique provoque, sur une espèce essentiellement aérienne, le développement d'un épiderme dont les caractères sont fort rapprochés de ceux des cellules externes des tiges du *Sphagnum* et des *Fontinalis*, espèces des régions humides. L'expérience a donc déterminé artificiellement une modification anatomique comparable à celle que la nature a dû produire autrefois sur l'épiderme des Mousses aquatiques. Ce résultat est, comme on le voit, du plus grand intérêt.

Une régression semblable s'observe, selon M. Gœbel, pour les *Dumortiera*, Hépatique voisine des *Marchantia*. Dans cette dernière plante, par suite d'une adaptation à la vie terrestre, l'eau n'est fournie au thalle que par les rhizoïdes qui se trouvent sur la face inférieure ; la face supérieure contient des chambres respiratoires et assimilatrices où se trouvent des poils verts nombreux. Les *Dumortiera* qui vivent submergées dans les régions tropicales n'ont plus les chambres précédentes, et les poils chlorophylliens sont superficiels : ces chambres ont d'ailleurs existé au début du développement pour disparaître ensuite comme conséquence de la vie dans l'eau. Remarquons, à propos du fait précédent, qu'en l'absence d'expérience, nous ne devons attribuer la transformation que nous venons de décrire à l'action du milieu qu'avec un point de doute. L'opinion précédente est rendue cependant vraisemblable par les résultats que nous venons de décrire.

Presque tous les exemples que nous avons choisis jusqu'ici (sauf le dernier) se rapportent à des plantes des régions marécageuses de notre pays. Nous ne pouvons cependant pas passer sous silence un certain nombre de faits intéressants se rapportant à des espèces qui vivent dans les régions chaudes du globe.

Marécages des régions tropicales. — Nous avons eu l'occasion de dire déjà que les hautes températures rendent très difficile le développement des plantes aquatiques parce qu'elles manquent d'oxygène ou d'acide carbonique. Pour les organes qui croissent dans la vase, c'est-à-dire au contact d'un liquide dont le renouvellement ne se fait pas aisément, l'aération, d'ordinaire difficile, devient presque impossible dans les

régions chaudes du globe. Il en résulte que, pour pouvoir vivre dans les marécages des tropiques, les plantes doivent présenter des particularités de structure permettant la nutrition gazeuse des parties submergées et souterraines. Quelques espèces ont modifié, pour atteindre ce but, un tissu ancien et ont formé le *tissu ligneux aërifère* ; d'autres ont créé un tissu particulier, l'*aërenchyme*, aux dépens du suber.

Tissu ligneux aërifère. — On sait que le tissu ligneux (ou



FIG. 123. — *Herminiera Elaphroxylon*.

bois) de la plupart des plantes est chargé de conduire la sève ascendante des racines vers les feuilles. Or ce tissu se trouve complètement métamorphosé dans la tige des *Æschynomene*, plante des marécages de l'Inde et de l'Amérique du Sud (Venezuela) : il est formé, en dehors de quelques vaisseaux et fibres, surtout de cellules vides, incolores, à parois minces, formant des prismes à six pans ; elles sont trois fois aussi hautes que larges ; les parois supérieures et inférieures montrent seules des punctuations nombreuses et caractéristiques. Ces punctuations sont ouvertes, car M. Göebel a pu injecter dans ce tissu de l'eau tenant du carmin en suspension. Les cellules incolores précédentes communiquent donc facilement entre elles, elles sont remplies d'air.

Quel est le rôle de ce tissu ? M. Ernst, qui l'a décrit le pre-

mier, a pensé qu'il devait constituer un organe de natation, et cette opinion a été adoptée par De Bary (1). Mais M. Gœbel qui a cultivé l'*Aeschynomene Indica* a montré que cette plante ne nageait pas; elle a une croissance très rapide, en peu de temps, elle atteint 2 mètres de haut; dans les marais de l'Inde où elle vit, on l'observe toujours dressée.

Une autre Légumineuse, l'*Herminiera Elaphroxylon* (fig. 123), qui présente une structure analogue et dont la densité du bois a été comparée à celle d'une plume, peut quelquefois se détacher, mais à l'origine la plante est fixée dans la vase. Enfin, le *Pterocarpus Draco*, qui est un arbre de 6 mètres de haut, ne peut certainement pas être considéré comme une plante nageante, et, comme la structure de son tissu ligneux est identique à celle qui a été décrite plus haut, il en résulte qu'il faut attribuer à ce bois une autre fonction, qui est de fournir de l'air aux parties submergées et vaseuses.

Le milieu aquatique a certainement une influence sur l'apparition de ce singulier tissu ligneux, car le changement de structure, qui se traduit toujours extérieurement par une augmentation du diamètre de la tige, se produit dès qu'elle est dans l'eau.

Si la plante est terrestre, sa croissance est moins rapide et le gonflement de la tige est plus faible. La vie aquatique a donc modifié ici profondément la structure de la plante; elle s'est d'abord opposée à sa lignification, puis elle a transformé le parenchyme ligneux, qui s'est modifié et est devenu un réservoir d'air.

Il reste maintenant à savoir comment la plante se procure cet air. Les *lenticelles* qui se développent sur les parties aquatiques paraissent avoir ce rôle. C'est là un fait assez général pour des plantes ligneuses que des lenticelles très spéciales, méritant le nom d'aquatiques, y apparaissent lorsque leur base croît dans l'eau. Tandis qu'à l'air les cellules qui forment les lenticelles brunissent et meurent; dans l'eau, elles constituent au contraire une masse blanche et molle qui se montre à l'orifice de la lenticelle. Dans les *Salix viminalis*, d'après M. Schenck, les lenticelles sont plus nombreuses dans l'eau

(1) M. STRASBURGER attribue à ce bois un rôle mécanique qui consisterait à alléger le poids spécifique de la plante.

que dans l'air. Le même fait a été constaté par cet auteur pour l'Eupatoire, le Bidens, le *Malachra Gaudichaudiana* (une Malvacée buissonnante des marécages du Brésil, etc.), et enfin pour les *Æschynomene*.

Ces lenticelles servent bien à l'entrée et à la sortie des gaz. Cette opinion résulte d'une expérience faite par M. Goebel. Une pousse d'*Hermiera* est fermée hermétiquement à une extrémité avec de la gélatine et par l'autre extrémité il fait pénétrer de l'air avec pression : il voit alors ce gaz sortir par les lenticelles.

Dans cette première catégorie de plantes marécageuses des régions chaudes que nous venons de passer en revue, le tissu ligneux peut être chargé d'emmagasiner l'air. Il n'en est pas toujours ainsi, et, pour un certain nombre d'espèces, il se différencie aux dépens du suber un tissu spécial que M. Schenck a appelé aérénchyme.

Aérénchyme. — Parmi les tissus qui contribuent à l'épaississement et à la protection des tiges et des racines, il se produit dans les régions d'ordinaire périphériques ce que l'on appelle le liège. Ce tissu se forme par le cloisonnement répété d'une assise génératrice qui donne naissance à une accumulation de cellules empilées les unes à la suite des autres, dont la mem-

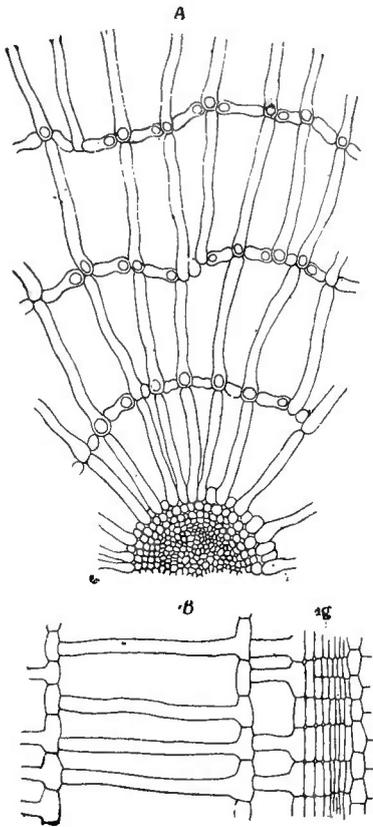


FIG. 124. — *Jussiaea*. A, section transversale d'une racine montrant dans l'écorce un tissu lacuneux qui est l'aérénchyme. — B, section longitudinale des mêmes régions montrant l'assise génératrice engendrant vers l'extérieur des cellules empilées les unes derrière les autres entre lesquelles se forment des méats très grands, ne masquant cependant pas la disposition radiale (d'après M. Schenck).

brane est imprégnée d'une substance qu'on appelle la subérine. C'est là ce qui se produit dans la plupart des tiges aériennes, notamment dans celles du *Jussiaea* ; mais, quand on examine la partie aquatique de cette dernière plante, on voit ce tissu changer de nature : les cellules ne s'imprègnent

plus de subérine, elles laissent entre elles des méats nombreux tout en gardant cependant leur disposition en files radiales (fig. 124). C'est ce tissu particulier que l'on appelle l'aérenchyme (Schenck). Il prend un très grand accroissement et forme autour de la tige une sorte d'écorce spongieuse, blanche, épaisse et remplie d'air.

Ce même tissu se retrouve dans les racines, et il est surtout développé dans celles dites aérifères. On distingue en effet dans les *Jussiaea* deux sortes de racines : les unes s'enfoncent verticalement dans la vase de haut en bas (fig. 125 et 126 A et B, *rn*) ; les autres sont au contraire dressées verticalement, le plus souvent simples et renflées (Id. *ra*). Ces dernières ont souvent l'aspect de sorte d'œufs, très allongés, qui peuvent dans certaines espèces atteindre jusqu'à 5 centimètres de long, 2 centimètres de largeur (fig. 126, B). Dans ces racines singulières, souvent qualifiées de natatoires (1), l'aérenchyme acquiert un développement énorme ; c'est par suite de cette transformation si particulière du suber que ces organes prennent un aspect extérieur si curieux.

Les premiers observateurs qui ont décrit ces racines étranges ont pensé que grâce à elles la plante pouvait nager à la surface de l'eau. En y regardant de plus près, on arrive à une autre opinion. Si l'on coupe, en effet, les racines soi-disant natatoires du *Jussiaea repens*, la plante continue cependant à nager très bien ; elle nage d'ailleurs très bien avant que ces racines soient développées. M. Schenck et M. Goebel ont essayé de donner une autre explication de la fonction de ces singuliers organes. Si on cultive le *Jussiaea repens* à terre, en dehors de l'eau, on obtient une plante entièrement privée de ses racines ovoïdes ; cette expérience, répétée plusieurs années de suite, a toujours donné le même résultat. Il n'est pas invraisemblable d'admettre, d'après ce que l'on sait sur toutes les variations des plantes, qu'en cultivant pendant un certain nombre de générations ces plantes en dehors de l'eau, on arriverait peut-être à obtenir des végétaux ayant perdu héréditairement la propriété de former ces grosses racines aérifères. Dès qu'on cultive les *Jussiaea repens* dans l'eau, ces organes apparaissent, et leur irritabilité géotropique se trou-

(1) MARTINS.

vant modifiée par suite de la vie dans l'eau : ils croissent vers le haut, et l'aérenchyme y prend un développement énorme.

Les racines aérifères qui se forment ainsi ont un autre rôle que celui qui leur a été assigné; elles constituent des réservoirs d'air qui contribuent à rendre la vie possible pour les racines souterraines et pour les parties submergées de ces plantes.

Les plantes que nous venons de mentionner se rencontrent spontanément dans les régions chaudes du globe. Le *Jussiaea repens* habite les fossés humides du Brésil (fig. 126, B); le *Jussiaea Peruviana* atteint dans les étangs de l'Amérique du Sud (Brésil, Pérou) la hauteur d'un homme; ses racines aérifères ramifiées sont moins grosses que dans la première espèce (fig. 125, A).

Le même tissu aérenchymateux a été observé par M. Rosanoff chez une Mimosée des régions tropicales, le *Neptunia oleracea* (ou *Desmanthus natans*) (fig. 127). Il a été signalé par MM. Scott et

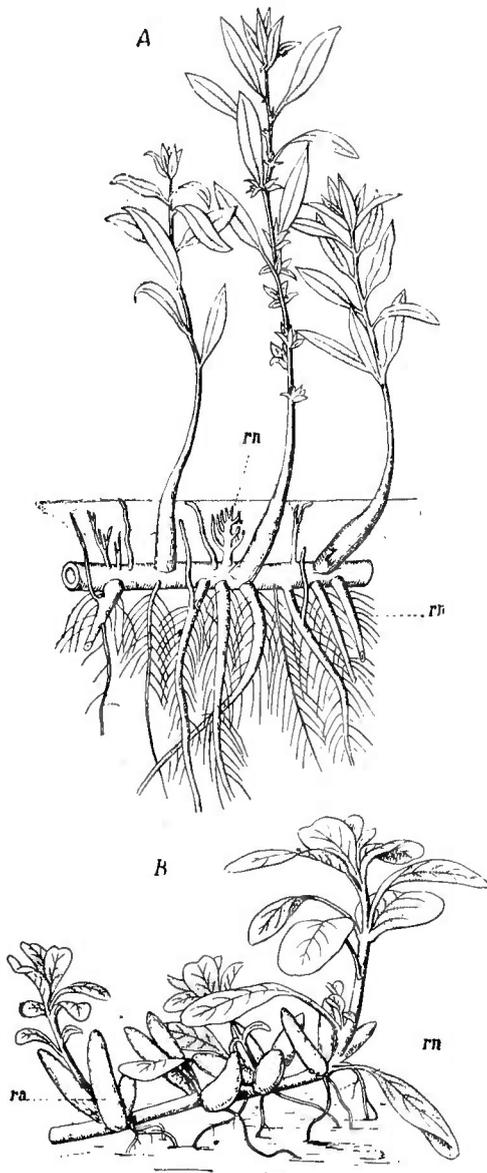


FIG. 125 et 126. — A, *Jussiaea Peruviana*. — B, *Jussiaea repens*. — ra, racines aérifères. — rn, racines normales.

Wagner sur une Papilionacée, le *Sesbania aculeata*.

Il ne faudrait pas croire cependant que le tissu si singulier que nous venons de décrire ne s'observe que sur des plantes des tropiques. M. Lewakoffsky l'a décrit pour la Salicaire, M. Schenck l'a observé sur des Epilobes, enfin M. Per-

seke l'a fait naître expérimentalement en cultivant un Haricot dans l'eau.

Dans cette revision des plantes marécageuses tropicales que nous venons de faire, nous avons examiné surtout celles qui croissent dans les eaux douces et stagnantes ; il nous reste à dire un mot des espèces des Mangroves qui vivent dans les eaux agitées et salées.

Mangroves. — Le flux et le reflux, qui, à chaque marée, viennent battre la base des plantes de cette flore riche et exubérante des Palétuviers, dont nous avons eu déjà l'occasion

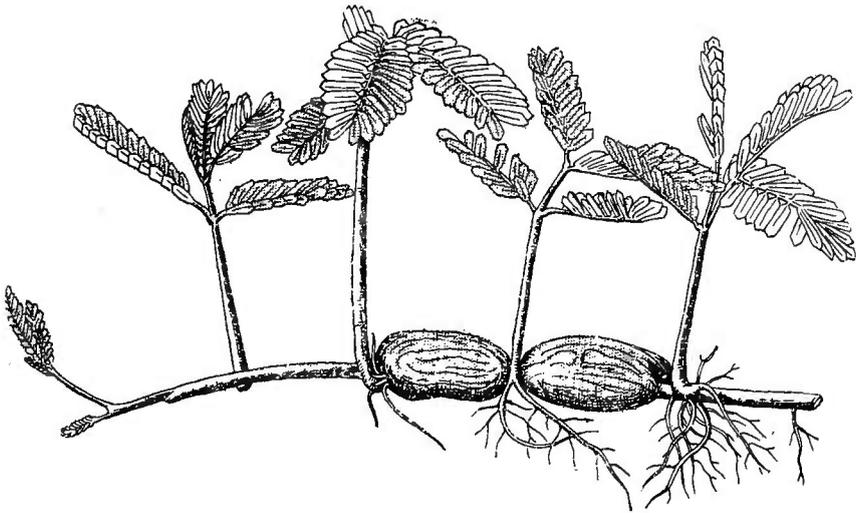


FIG. 127. — *Neptunia oleracea*.

de parler contribuent à lui doner un certain nombre de caractères spéciaux.

Examinons, par exemple, un *Rhizophora* qui est une des plantes les plus différenciées de cette flore. La base de sa tige meurt de bonne heure, aussi la plante n'est-elle plus fixée dans la vase que par un grand nombre de racines adventives, qui retombent vers le bas comme de grands arceaux, de sorte que ce végétal rappelle une sorte de gigantesque araignée fixée à l'aide d'une multitude de pattes grêles, mais résistantes.

Les racines étant à l'air ou dans l'eau et exposées au choc des vagues, il en résulte qu'elles doivent se consolider pour résister à cette action mécanique. M. Warming pense que les bandelettes d'épaississement des cellules de l'écorce de ces organes ont surtout ce rôle : ce serait un appareil destiné à

résister aux pressions latérales. La justification de cette manière de voir n'est pas encore donnée expérimentalement, mais les expériences de M. Hegler la rendent vraisemblable (1). En réalité, les cellules se laissent presser, mais, dès que la pression a cessé, les racines, par suite de leur grande élasticité, reprennent leur forme.

Les racines du *Rhizophora* sont plusieurs heures par jour entourées, d'eau au moins dans leur partie inférieure : il s'y forme donc des lacunes à air ; elles peuvent également exister dans la partie qui se trouve dans le sol vaseux, mais avec un moindre développement. Ce tissu aérifère, par ce fait même qu'il prend de l'extension, contribue donc ainsi à l'aération des tissus profonds non seulement de la région émergée, mais aussi de la région submergée. La racine, se développant en outre au contact de l'air, présente, comme tous les organes aériens, des tissus mécaniques et conducteurs plus importants. On voit donc dans cette écorce aérienne apparaître des trichoblastes fortement épaissis qui existent d'ailleurs dans la tige de la plante ; dans la partie souterraine, ces trichoblastes manquent complètement. Ces faits ont été mis en lumière par M. Warming et confirmés par M. Schimper dans le très intéressant travail qu'il a consacré à ces plantes. Les communications de l'atmosphère interne de la racine aquatico-aérienne avec l'air extérieur peuvent dans certaines espèces être assurées par l'apparition de mamelons tout à fait semblables aux *lenticelles* ; ces organes, qui n'avaient été décrits jusqu'ici que dans les tiges, sont tout à fait analogues à ceux dont nous avons examiné plus haut le rôle. Il est bien certain que leur apparition dépend d'une action du milieu, car sur la région de la racine qui est dans le sol il n'y a pas de lenticelles, tandis qu'il y en a sur la partie qui croît hors de la vase (2).

(1) M. HEGLER a prouvé expérimentalement que l'on pouvait faire naître des fibres dans un tissu qui n'en produit pas normalement, en soumettant un organe à la traction continue d'un poids. Ceci démontre donc que le système fibreux est, comme tous les autres, soumis à l'action du milieu, contrairement à ce que l'on a prétendu.

(2) On retrouve d'ailleurs entre ces deux régions les différences signalées entre les racines souterraines, les racines aquatiques ou les racines aériennes au point de vue du développement relatif du cylindre central et de l'écorce

La revision rapide que nous venons de faire de l'organisation des plantes de marécages nous a donc révélé des adaptations déjà nombreuses et variées. Nous allons en retrouver de nouvelles, plus profondes encore, dans les espèces amphibies qui habitent les bords des fleuves, des rivières et des ruisseaux.

CHAPITRE XXI

PLANTES AMPHIBIES DES RIVES. LIQUIDES AGITÉS.

Plantes amphibies des rives. — Quand on explore les bords des rivières et des fleuves, on remarque souvent, à côté des roseaux, un certain nombre de plantes plus profondément aquatiques, susceptibles dans certains cas de vivre complètement submergées, mais qui sortent cependant toujours de l'eau dans les conditions normales.

Parmi ces plantes, la plus caractéristique est avant tout la Sagittaire. Cette espèce présente trois formes de feuilles : les submergées qui sont rubanées, les nageantes en forme de cœur et les aériennes qui sont en flèche. L'accommodation de la plante au milieu paraît donc se révéler ici avec une netteté admirable par les trois sortes de limbes foliaires. C'est ainsi qu'on a considéré les choses à l'origine, mais en réalité le problème n'est pas tout à fait aussi simple.

Examinons, en effet, la plante dans une eau profonde, nous verrons qu'elle donne uniquement des feuilles rubanées, nous constatons qu'elles sont très nombreuses (fig. 128 à 135, A). Cette forme, qui a été observée autrefois par Bauhin dans les eaux de la Trave et décrite par lui comme *gramen bulbosum aquaticum*, a été confondue par Poiret avec une Vallisnérie (*Vallisneria bulbosa* Poiret). Nous verrons un peu plus loin, en décrivant cette dernière plante, que cette opinion peut se comprendre assez bien. En réalité, c'est une simple variété qui a été désignée par Cosson et Germain sous le nom de variété *vallisnerifolia*. On peut observer alors que le nombre des feuilles rubanées est beaucoup plus élevé que lorsque la plante croît à l'air complètement ou partiellement (*Id.* H). Il semble

donc bien que dans ces conditions de développement dans les eaux profondes, il y a substitution de la forme rubanée à la forme sagittée.

Supposons maintenant qu'une Sagittaire se développe au bord de l'eau, presque à l'air, de manière que de suite ses feuilles émergent du liquide. Nous remarquons alors que

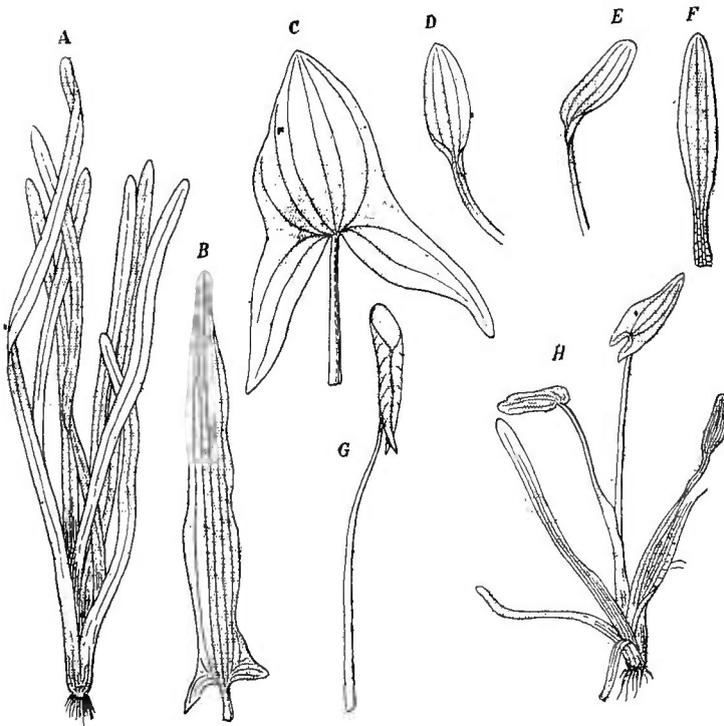


FIG. 128 à 135. — Sagittaires. — A, forme profondément submergée, *vallisnerifolia*. — B, feuille en flèche s'allongeant en ruban par suite de la croissance dans l'eau. — C, feuille aérienne normale. — H, individu développé presque entièrement à l'air. — F, E et D, formes de passage de la feuille en ruban à la forme en cœur. — G, feuille sagittée avant sa sortie de l'eau, son limbe en cornet est vertical.

quelques feuilles rubanées se forment à l'air, mais elles sont beaucoup plus courtes et relativement plus épaisses que dans le cas précédent (*Id.* H); par contre, elles sont beaucoup moins nombreuses. Une série de métamorphoses nous permet de voir les feuilles rubanées passer aux feuilles sagittées. Nous observons d'abord des feuilles élargies en spatule (*Id.* F), puis il se forme un limbe net (D et E), dont la base commence à s'enrouler, bien que la surface soit encore dans le même plan que le pétiole, le limbe évidemment n'est pas encore plagiotrope; enfin au stade suivant, la flèche est nette-

ment différenciée (H et G). Ces transformations indiquent que le milieu aérien accélère la différenciation des feuilles supérieures de la plante; il ne s'oppose donc pas à la croissance des feuilles rubanées, mais, quand elles s'y forment, ce n'est qu'en petit nombre.

Imaginons maintenant, lorsque la différenciation aérienne est ainsi produite, que les conditions de vie viennent à changer, par exemple sous l'influence d'une eruc importante. La plante avait ébauché de très jeunes feuilles sagittées dont la croissance n'est pas encore terminée, aussi s'adaptent-elles au milieu aquatique et deviennent-elles sagittées-rubanées (*Id.* B); mais bientôt les feuilles suivantes, qui auraient dû être en flèche dans le cours normal de la végétation, sont spatulées. Il y a régression dans le développement.

D'ailleurs tout changement dans les conditions de vie provoque des phénomènes de retour: c'est ainsi que, d'après M. Gœbel, si l'on transporte une Sagittaire de l'eau dans l'air, on peut voir réapparaître des feuilles rubanées.

Ainsi donc, nous voyons que l'apparition des feuilles rubanées dépend d'une nutrition ralentie, et la vie aquatique correspond à un affaiblissement de cette fonction; aussi pouvons-nous dire encore que les feuilles en flèche se produisent lorsque la nutrition devient plus active, ce qui arrive, en particulier, par un abaissement des eaux.

La hauteur de l'eau a donc une grande influence sur la différenciation des feuilles. Si l'on examine, par exemple, divers pieds de Sagittaire situés à des profondeurs de plus en plus grandes, on voit le nombre des feuilles submergées rubanées s'élever de plus en plus. Dans un bassin de l'École normale, de 60 centimètres de profondeur, nous avons observé des touffes de cette plante sur lesquelles il n'y avait que six feuilles en ruban. Dans des eaux plus profondes, on compte jusqu'à quatorze feuilles de cette même forme. Enfin, chez les individus situés très profondément dans l'eau et qui appartiennent à la variété *vallisnerifolia*, il peut s'en produire une vingtaine.

L'atténuation de la lumière doit beaucoup contribuer à empêcher cette différenciation des feuilles en flèche car, dans une culture faite à l'obscurité et à l'air, M. Goebel n'a obtenu que des feuilles rubanées.

Il résulte de tout ce qu'on vient de lire que, sous l'influence de conditions mauvaises de vie, la plante tend à reformer des feuilles rubanées, c'est-à-dire des feuilles semblables à celles de presque toutes les Monocotylédones, groupe auquel appartient la Sagittaire. On peut donc interpréter les faits précédents en disant qu'il y a, dans ce cas, retour aux formes ancestrales.

Ainsi donc, on ne peut pas affirmer que c'est le milieu aquatique qui imprime aux types submergés leur aspect rubané; il semble plutôt que ce soit la forme primitive de ces plantes (1). Le milieu aquatique n'en a pas moins une action profonde et actuelle, qui se traduit par l'allongement et l'amincissement des feuilles submergées. Grâce à ces modifications, les cellules du végétal se trouvent en plus grand nombre et sur une plus large surface au contact du milieu.

L'examen de la structure prouve d'ailleurs que les transformations sont profondes: une feuille rubanée submergée n'a ni stomates ni tissu en palissade; une feuille rubanée aérienne présente des stomates sur ses deux faces et du tissu en palissade sous l'épiderme supérieur.

On peut constater chez les autres Monocotylédones aquatiques vivant dans les mêmes conditions des variations de même ordre; c'est ce qu'on voit aisément pour l'*Alisma Plantago* et pour le *Scirpus lacustris*.

Quand l'*Alisma Plantago* végète dans les eaux profondes, il donne naissance à une forme très caractérisée présentant encore de longues feuilles rubanées, qui rappellent celles d'une Graminée (var. *graminifolia*), et diffèrent profondément de la forme type (fig. 136). Il est à remarquer que les individus submergés représentés sur la figure ci-jointe (fig. 137) portent des fleurs. D'ordinaire, pour la Sagittaire, la forme *vallisnerifolia* est toujours stérile; ce n'est cependant pas une règle absolue, car Kirchleger a observé un de ces individus en fleurs.

On conçoit, d'après cela, que si l'on parvenait à isoler les pieds ainsi fleuris de façon que leur fécondation ne résulte pas de l'intervention du pollen de la plante normale émergée, il est vraisemblable que l'on arriverait, après un certain nombre

(1) C'est l'opinion formulée par M. GOEBEL. Elle sous-entend, ce que nous ne savons en aucune façon, que les Monocotylédones primitives étaient aériennes.

de générations, à fixer ces variétés. On aurait ainsi des races nouvelles qui pourraient perdre la propriété de donner naissance à des feuilles en flèches pour la Sagittaire, ou à des feuilles à limbe élargi pour l'*Alisma Plantago*.

D'ordinaire, dans les eaux profondes, la plante cesse de se



FIG. 136. — *Alisma Plantago*, forme type émergée.

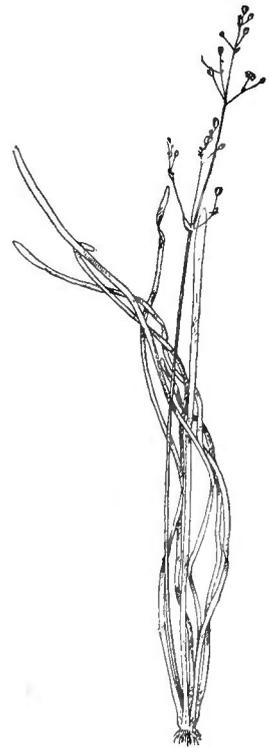


FIG. 137. — Variété *granifolia* (submergée).

reproduire ; il faut donc qu'elle trouve des moyens de se propager. La Sagittaire produit dans la vase, au fond des rivières, des rhizomes qui se renflent à leur extrémité en un petit tubercule donnant, au printemps suivant, un nouveau pied de la plante. Les rhizomes du *Scirpus lacustris* jouent le même rôle et contribuent souvent à établir dans les lacs profonds de véritables prairies qui ne fructifient jamais.

Les plantes dicotylédonées sont susceptibles de présenter également de grands changements, suivant qu'on a affaire à des parties aériennes ou submergées. En dehors des plantes

de nos pays, sur lesquelles nous reviendrons plus loin, on peut citer les changements curieux des feuilles de plantes les plus diverses appartenant à la famille des Composées, comme le *Bidens Beckii* (fig. 138) et le *Cotula myriophylloides*; à la famille des Ombellifères, comme l'*Ænanthe Phellandrium* (fig. 139 et 140); à la famille des Scrofularinées, comme le *Linophila hypericifolia*.

Les Phanérogames ne sont pas seules susceptibles de se modifier sous l'influence de l'eau; les Algues du littoral peuvent également éprouver l'action du milieu, qui est à la vérité assez particulier, à cause des mouvements de la mer.

Liquides agités. — Les plantes am-

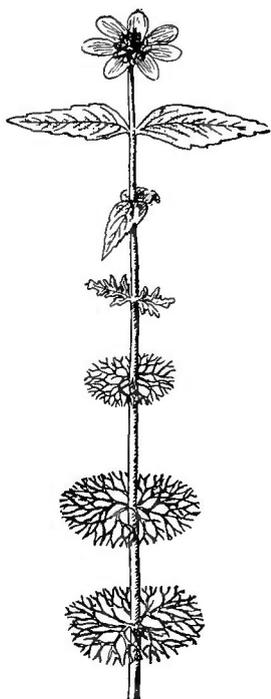


FIG. 138. — *Bidens Beckii*.

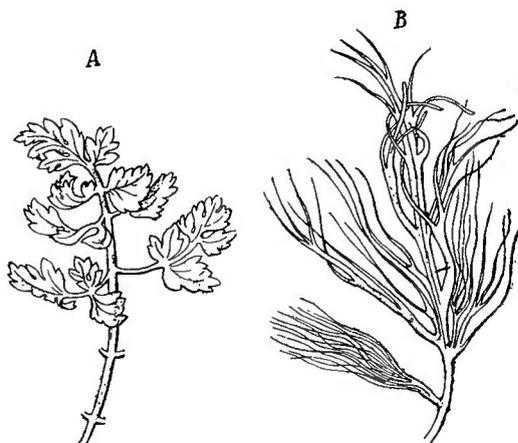


FIG. 139 et 140. — Feuilles d'*Ænanthe Phellandrium*. — A, feuille aérienne. — B, feuille aquatique.

phibies marines ont été jusqu'ici très peu étudiées au point de vue des modifications résultant de leur mode de vie; cette question ne serait pas cependant sans présenter un grand intérêt. Le flux et le reflux placent évidemment les végétaux submergés des côtes dans des conditions très spéciales, qui méritent d'être un peu précisées. Ces plantes sont souvent exposées à l'air pendant un temps très prolongé : il arrive que certaines espèces qui ne sont submergées que quelques heures restent hors de l'eau très longtemps. M. Oltmanns a signalé des cas où le *Fucus vesiculosus*, le *Pelvetia canaliculata* ne demeurent sous l'eau que trois heures; pendant neuf

heures ils perdent évidemment leur turgescence, cependant, après cette longue dessiccation, ces plantes ne sont pas mortes, elles peuvent reprendre leur eau normale quand la vague revient de nouveau les submerger. Il y aurait évidemment à chercher comment ces Algues peuvent subir ces alternatives de sécheresse et d'humidité.

Il y a cependant un certain nombre de particularités que l'on peut dès maintenant, considérer avec vraisemblance comme des adaptations. On sait que plusieurs Algues du genre *Cladophora* ont la propriété de former ce que l'on a appelé des pelotes marines; c'est là un fait qui s'observe surtout dans le groupe des *Ægagropila*. On ne s'est guère demandé jusqu'ici d'où venait cette propriété et si elle avait aucun rapport avec le milieu.

L'étude approfondie que vient d'entreprendre M. Ray de l'influence qu'exercent les liquides agités sur l'organisation des plantes inférieures semble démontrer, d'une manière très plausible, que la disposition qu'affectent ces pelotes sous-marines doit tenir à l'agitation de l'eau par suite du flux et du reflux. Les résultats qu'il a obtenus sont d'autant plus saisissants qu'il a opéré sur des plantes qui n'ont jamais présenté de pareilles formations en boules. Il a employé, en effet, pour ses expériences une moisissure le *Sterigmato-cystis alba* qui ne se développe jamais sur des liquides agités.

En faisant la culture de ce Champignon en milieu stérilisé dans un ballon auquel il imprimait des secousses régulières soit à l'aide d'un moteur à eau (fig. 141, A), soit à l'aide d'un électro-aimant, M. Ray a vu naître de petites pelotes fungiques pouvant avoir suivant les cas des dimensions variables. Quand les secousses sont fréquentes, il apparaît rapidement de petites sphères atteignant 5 à 6 millimètres. Sur ces pelotes se forment, au bout de quelque temps, de petits sclérotés noirs et des fructifications s'y montrent bientôt. Si on compare les appareils sporifères ainsi formés (fig. 143 et 144, C et D) à l'appareil normal développé dans un milieu tranquille (fig. 142, B), on voit des différences très apparentes: le pied est dans certains cas beaucoup plus cloisonné (C); la membrane présente des épaisissements irréguliers (D) qui indiquent l'apparition d'un système mécanique qui est évidemment destiné à consolider la plante contre les

chocs répétés qu'elle est exposée à supporter. Les sclérotés nous offrent des différences de même ordre au point de vue de l'épaississement des membranes.

Les transformations si remarquables qui viennent d'être décrites, qui sont des adaptations nouvelles inattendues créées par l'expérience sur un être qui n'a probablement jamais jusqu'ici rencontré de pareilles conditions de vie, indiquent de quelle plasticité sont susceptibles ces plantes.

On peut se poser à ce propos

une question : les variations ainsi produites sont-elles susceptibles de devenir héréditaires ? M. Ray n'a pas pu résoudre encore cette question. Il est à souhaiter qu'il entreprenne de lui donner une réponse. Il a d'ailleurs prouvé pour la même plante que des métamorphoses analogues qu'il a su produire

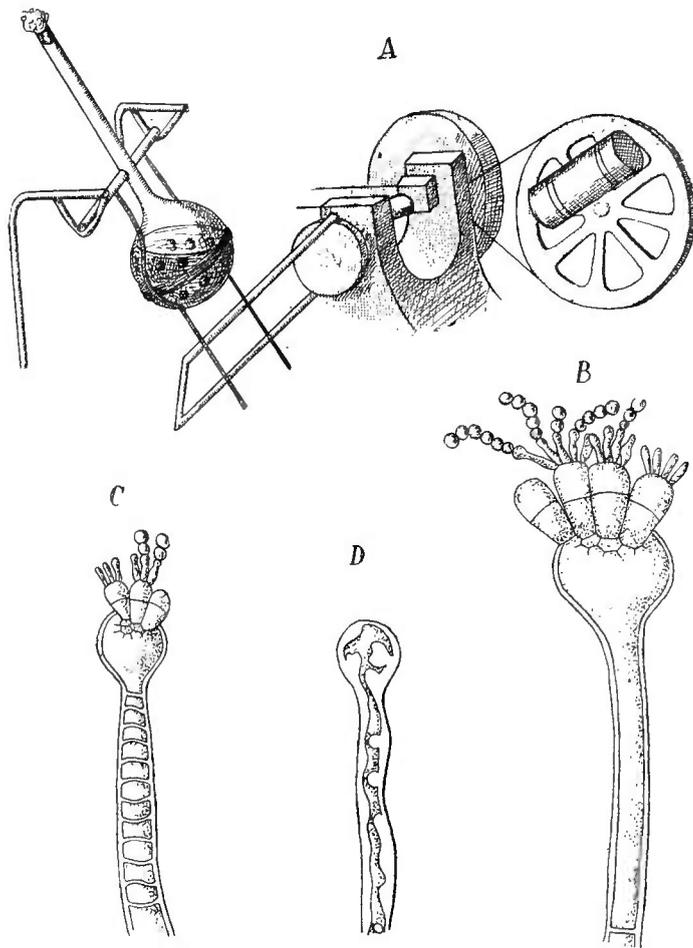


FIG. 141 à 144. — A, moteur à eau servant à imprimer au ballon à long col des secousses : deux tiges métalliques qui sont liées au ballon sont soulevées par le cadre rectangulaire que fait tourner l'appareil hydraulique ; ces tiges sont soulevées lentement par un des bords du cadre, puis elles tombent brusquement sur le second bord, ce qui produit une secousse. Le ballon est fermé par un tampon de coton, il contient le liquide de culture ; on y aperçoit les petites sphères fongiques. — B, *Sterigmatocystis alba*, fructification normale. — C et D, fructifications en milieu agité (selon M. Ray).

dans d'autres conditions sont susceptibles de se fixer et de créer des ébauches de races tout à fait nouvelles qui étendent aux Champignons les résultats que l'expérience a pu fournir jusqu'ici sur les plantes supérieures.

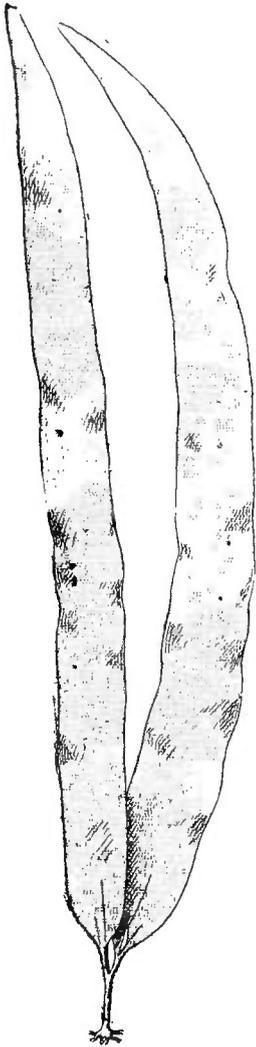


FIG. 145.— Germination de *Macrocyctis* (selon M. Gœbel).

Ajoutons d'ailleurs que les expériences de M. Ray expliquent non seulement la forme des pelotes sous-marines, mais qu'elles rendent compte également des différences qui existent entre les membranes des cellules des Algues roulées par les vagues et celles des Algues fixées.

Les parois des cellules d'un *Ægagropila* sont extrêmement épaisses en vue vraisemblablement de résister à l'action mécanique des vagues. Il est bien évident que l'action de la mer est beaucoup plus intense que celle que M. Ray a pu réaliser et surtout beaucoup plus prolongée ; aussi les sphères du *Cladophora Sauteri* peuvent-elles atteindre la grosseur d'une tête d'homme.

En plaçant dans le flacon de ses cultures un morceau de bois, M. Ray a obtenu un autre résultat intéressant. Il a vu la moisissure se développer sur ce support, ce qu'elle ne pouvait faire sur la paroi glissante du verre. Une fois fixée, elle a commencé à croître exactement comme une Algue qui adhère à la paroi d'un rocher. Ces nouvelles conditions d'existence ont beaucoup modifié l'aspect du Champignon, qui ressemble alors d'une manière frappante à une touffe d'un *Ectocarpus*.

L'expérience précédente explique, en outre, un fait curieux : elle permet de comprendre pourquoi les parois des cellules des Algues fixées restent minces malgré l'agitation des vagues ; M. Ray a vu, en effet, que les *Sterigmatocystis* fixés ont des cellules à parois très peu épaisses.

On conçoit par cette expérience combien le rôle mécanique de la mer sur la végétation sous-marine et surtout littorale

doit être considérable. A ce sujet, M. Gœbel a fait quelques remarques très intéressantes sur certaines Algues marines, telles que les *Macrocystis* qui doivent être rapportées ici.

Darwin dans son voyage autour du monde dit qu'il ne connaît pas de fait plus surprenant que de voir croître et fructifier les grandes Algues telles que les *Macrocystis* et les *Lessonia* dans les localités où on les observe. Elles se développent parmi les plus grands écueils, en des points où la mer présente une violence si extraordinaire qu'aucune masse de rochers ne lui résiste. La mer en arrivant furieuse au milieu de toute cette végétation s'adoucit brusquement ; les vagues s'arrêtent et s'amortissent sur ces Algues comme sur des coupe-lames.

Quand on examine la germination d'un *Macrocystis*, on voit qu'il est formé d'une lame simple portée par un pédicelle qui est fixé par un crampon ; par suite des chocs des vagues, cette lame se fend bientôt longitudinalement en deux puis en plusieurs (fig. 145), il s'isole ainsi une série de feuilles qui paraissent absolument distinctes à l'état adulte, à la base desquelles on voit bientôt des flotteurs ; ces lames deviennent extrêmement nombreuses puisque la plante peut atteindre 200 mètres de long (fig. 3, p. 24) : cette séparation de feuilles nouvelles se continue toujours de la même manière. La violence de l'Océan a donc contribué à modifier le port primitif de l'Algue, qui est celui d'une Laminaire, pour le transformer définitivement en celui d'un Macrocyte.

On voit donc par ces différents exemples combien l'aspect des plantes amphibies peut être profondément modifié soit par l'action mécanique de la mer, soit par la végétation dans les eaux douces.

CHAPITRE XXII

LA VIE NAGEANTE

Parmi les plantes qui vivent dans l'eau, quelques-unes ne s'élèvent pas d'ordinaire au-dessus de ce milieu ; leur appareil végétatif n'est en contact avec l'air que par les feuilles qui nagent à la surface du liquide. Les végétaux ainsi définis peuvent se diviser en deux catégories suivant qu'ils sont fixés (par des racines ou des rhizomes) ou bien qu'ils reposent librement à la surface de l'eau, sans attache avec le sol.

Nous allons examiner quelles conséquences peuvent résulter pour la plante de ces deux modes de végétation, le second caractérisant surtout une vie très particulière qui mérite, au plus haut point, d'être appelée nageante.

Plantes fixées au sol. — Les Nymphéacées peuvent être citées comme type des espèces de la première catégorie. Dans un *Nuphar luteum*, il y a deux sortes de feuilles : celles qui apparaissent au printemps sont submergées, elles ondulent sous l'eau rappelant une de ces Algues minces et transparentes que l'on désigne sous le nom d'Ulve ; les feuilles nageantes, qui se développent ensuite sont beaucoup plus fermes, plus épaisses, d'un vert beaucoup plus foncé.

Les premières feuilles ne se montrent que lorsque le niveau des eaux est très élevé ; dans un bassin superficiel, elles ne se produisent pas (fig. 146).

Dans une eau très profonde ou dans un courant rapide (1), les feuilles nageantes peuvent, par contre, complètement

(1) La profondeur de l'eau peut ne pas être très grande dans ce cas.

manquer ; la vitesse du liquide, qui met obstacle à la production des feuilles nageantes, n'empêche pas toujours la formation des fleurs, ainsi que M. Gœbel a pu le constater pendant un été très chaud et très ensoleillé. Cette observation permet d'entrevoir encore la possibilité de la formation de races à feuilles uniquement submergées.

Normalement les Nénuphars ne fleurissent que trois ou quatre années après la germination (1) ; mais, dans les eaux profondes, les fleurs peuvent n'apparaître qu'au bout d'un temps beaucoup plus long. Quand

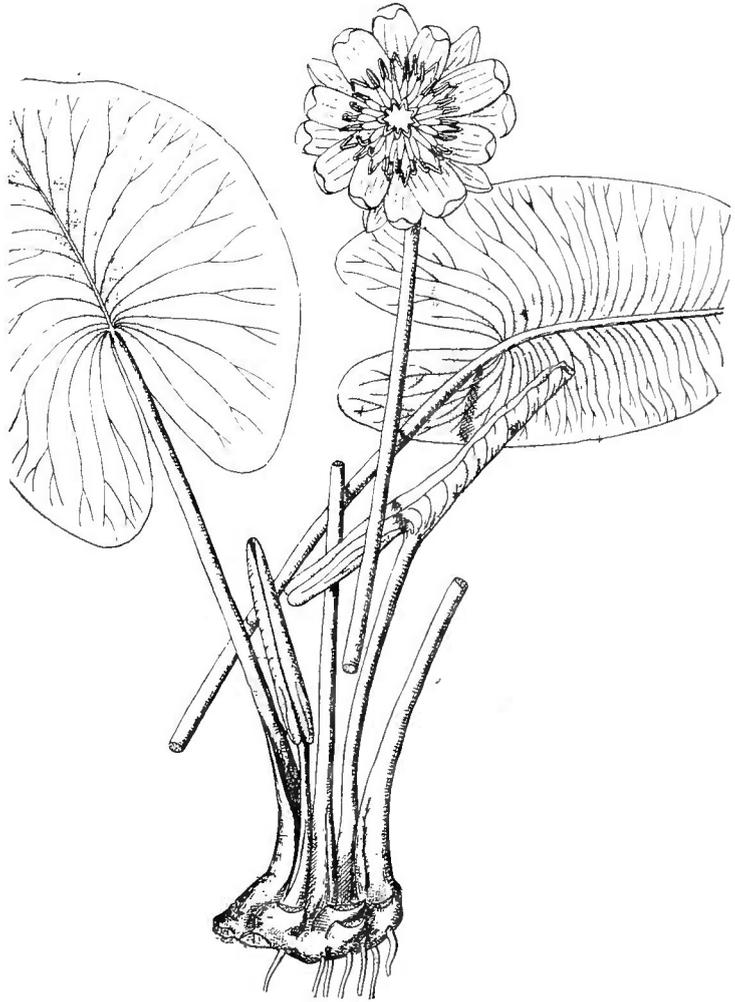


FIG. 146. — *Nuphar*.

le rhizome de la plante est à une grande distance de la surface de l'eau, le pétiole des feuilles nageantes et le pédoncule floral doivent atteindre des dimensions extraordinaires pour parvenir à l'air : on en voit qui peuvent avoir jusqu'à 3 mètres de long. Dans des eaux basses, ils auront seulement quelques centimètres.

(2) D'après M. DUTAILLY.

Les feuilles submergées sont nées pour vivre dans l'eau ; si on les porte à l'air, elles se flétrissent avec la plus grande rapidité : il n'y a donc pas d'adaptation pour elles au milieu aérien. Les feuilles nageantes meurent également si elles sont maintenues dans l'eau.

Ces deux sortes de feuilles trahissent d'ailleurs bien par leur structure des adaptations à un mode de vie bien déterminé : les feuilles submergées n'ont pas de stomates, ce qui ne doit pas étonner, puisqu'elles ne peuvent pas transpirer ; les feuilles nageantes, qui ne sont au contact de l'air que par leur côté supérieur, n'ont de stomates que sur cette face. Ces structures si particulières, qui indiquent un lien si intime avec le milieu, s'opposent à ce que les feuilles puissent vivre en dehors de leurs conditions normales.

L'adaptation au milieu aérien et éclairé des feuilles étalées à la surface de l'eau se traduit, en outre, par l'existence d'un tissu en palissade à la face supérieure. La consistance ferme de leurs tissus est très remarquable, et elle leur permet de résister à la pluie sans se déchirer. Dans le milieu aérien, les feuilles qui sont frappées violemment par les gouttes d'eau peuvent céder au choc, par suite de la faible résistance de l'air et de sa grande élasticité ; il n'en est pas de même pour les feuilles nageantes qui s'appuient sur un milieu beaucoup plus résistant, et qui ont besoin d'une bien plus grande solidité.

Lorsque l'automne arrive, quelques feuilles submergées se forment de nouveau, ce qui correspond à un ralentissement de la nutrition. Dans cette période de régression qui se manifeste ainsi dans le développement de la plante, on peut trouver sur plusieurs feuilles submergées des stades de transition entre les deux structures définies plus haut : quelques stomates peuvent exister sur les limbes destinés à rester toujours sous l'eau (1). L'apparition de cette organisation intermédiaire se conçoit et s'observe assez généralement. Quand une plante aquatique a produit un nombre suffisant de feuilles submergées, elle devient assez vigoureuse pour produire des feuilles destinées à s'étaler à la surface du liquide ; ces dernières se différencient très rapidement dans les bourgeons, et elles ont déjà leurs stomates quand, par une croissance rapide,

(1) D'après M. ARCANGELI.

elles traversent toute la couche d'eau. L'apparition de ces stomates résulte donc d'une action héréditaire. Quand l'automne arrive, quelques-unes de ces feuilles destinées primitivement à devenir nageantes ne peuvent atteindre la surface du liquide, ce sont celles que nous signalions tout à l'heure ; mais bientôt des feuilles submergées normales et sans stomates se produisent.

L'action de l'hérédité est donc très grande sur ces Nymphéacées ; elle se manifeste d'ailleurs par le maintien de la structure décrite plus haut pour les feuilles nageantes, même quand ces organes sortent de l'eau et croissent complètement dans l'air, car on n'est pas arrivé jusqu'ici à faire naître des stomates à la face inférieure de ces feuilles (1).

Ce résultat peut être d'ailleurs, semble-t-il, expliqué. Quand les feuilles se différencient dans le bourgeon, elles sont enroulées en cornet (fig. 146), la face supérieure est donc bien protégée contre l'action du milieu ; l'épiderme inférieur qui va d'ailleurs être bientôt au contact de l'eau produit des poils mucilagineux qui, en couvrant ainsi la feuille, la protègent contre l'accès du liquide. Cette face de la feuille, ayant déjà un rôle bien défini, ne peut en remplir d'autre quand le limbe vient par hasard à sortir de l'eau : toute son activité ayant été consacrée à former les poils précédents ne peut plus contribuer à produire des stomates.

La production de matières mucilagineuses soit autour des bourgeons, soit autour des jeunes pousses, est d'ailleurs un fait assez général chez les plantes aquatiques. M. Gœbel, qui a le premier signalé l'existence générale de ces substances gélatineuses chez ces végétaux (*Victoria regia*, *Brassenia peltata*, *Limnanthemum*, etc.) (2), a montré par plusieurs expériences le déplacement lent de l'eau à travers ces enveloppes. Leur rôle protecteur résulte également d'une observation faite par Paul Bert, se rapportant, il est vrai, non à des végétaux, mais à des animaux aquatiques. Il remarqua, en voulant transporter des Anguilles de l'eau douce dans l'eau salée, qu'elles ne mouraient pas quand il opérait lui-même,

(1) M. BRAND a constaté une diminution d'épaisseur des feuilles aériennes aux dépens du tissu en palissade.

(2) M. SCHILLING a confirmé l'existence presque générale de ces mucilages chez les plantes aquatiques.

parce qu'il les prenait avec un filet ; chaque fois que son aide les saisissait avec un linge, la matière gélatineuse qui entourait leur surface étant enlevée, les animaux ne tardaient pas à périr.

Bien que l'action immédiate du milieu ne se manifeste pas pour les Nymphéacées, il ne faudrait pas en conclure qu'elle

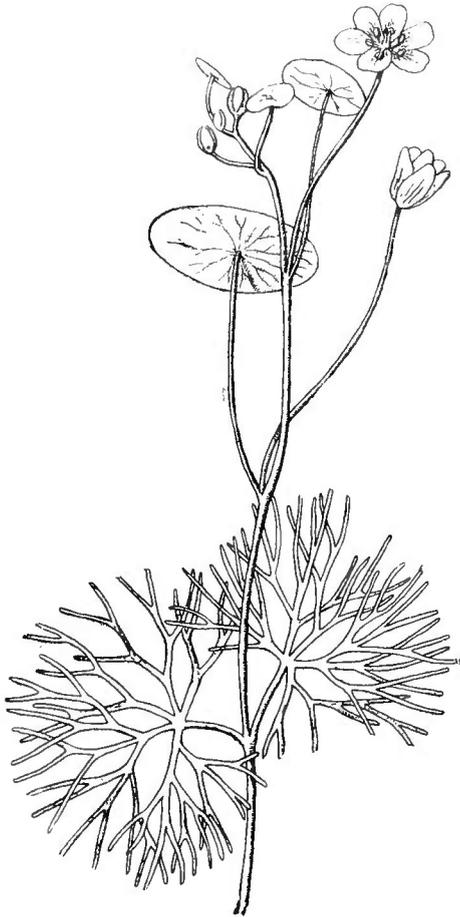


FIG. 147. — *Cabomba*. Les feuilles nageantes supérieures sont arrondies ; les feuilles submergées, découpées.

arrondi ou peu découpé : on peut s'en rendre compte en examinant celles d'un *Cabomba* (fig. 147) (Nymphéacée), d'un *Ranunculus aquatilis* (Renonculacée). Les feuilles submergées de ces plantes sont étroites (fig. 147), découpées, minces, souvent transparentes, de manière à permettre aux cellules de s'aérer facilement, par suite du renouvellement de l'eau.

n'existe pas, au moins pour un grand nombre de plantes d'eau. Rien n'est plus frappant que les transformations de l'*Hippuris* dont les pousses submergées dépourvues de stomates s'en couvrent dès qu'elles sont hors de l'eau. Dans le cas du *Stratiotes aloides*, une feuille qui sort du milieu peut n'offrir de stomates que sur sa pointe aérienne (1).

Ces exemples nous montrent donc bien nettement l'influence directe du liquide.

Cette action se révèle également d'une manière incontestable par la comparaison des feuilles aquatiques submergées et des feuilles nageantes des plantes les plus diverses appartenant aux familles les plus éloignées. Les feuilles nageantes ont toujours une consistance ferme, un limbe élargi, un contour

(1) Ces deux végétaux n'ont d'ailleurs pas de feuilles nageantes.

L'organisation des feuilles aquatiques submergées des Composées (*Bidens Beckii*, p. 245, *Cotula myriophylloides*) qui vivent dans les eaux douces, que nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer, est d'ailleurs tout à fait semblable.

Il ne semble pas qu'il faille, au moins pour certaines Dicotylédones, regarder les feuilles submergées comme des feuilles ancestrales, ainsi que nous l'avons fait pour les Monocotylédones. [Comme dans le cas de la Sagittaire, les feuilles submergées du *Potamogeton natans* sont allongées, rubanées; elles se rapprochent donc des feuilles primordiales de presque toutes les plantes terrestres voisines (Graminées, Cypéacées, etc.)]. Si l'on examine les premières feuilles d'un *Cabomba*, on voit qu'elles sont très différentes des feuilles découpées nées sous l'action du milieu aquatique (1).

L'étude des premiers stades du développement des plantes aquatiques offre donc souvent un grand intérêt; elle nous permet notamment d'entrevoir combien est profonde l'action du milieu, car elle se manifeste même sur l'embryon. Elle se traduit en particulier dans la famille des Nymphéacées, par la réduction progressive de la racine principale.

Il y a une racine principale (radicule) dans les *Nuphar*, les *Nymphaea* et les *Victoria*, mais son développement reste faible, et le rôle fixateur est dévolu à une couronne de poils; bientôt d'ailleurs, au-dessus de l'axe épicotylé, se produit un renflement d'où partent des racines secondaires qui rendent la première racine inutile; aussi meurt-elle bientôt. Dans l'*Euryale ferox*, le dépérissement de la racine principale est très notable, elle atteint à peine 2 centimètres; son rôle fixateur est devenu presque superflu par suite du poids de la graine qui ancre le végétal dans le sol. La dégénérescence de la radicule est encore plus grande pour le *Nelumbium*, dont la graine est grosse et pesante: cet organe s'atrophie et ne sort pas de la graine, il ne s'y forme même pas de coiffe (2).

Les Nymphéacées ne sont pas seules à offrir une germination spéciale. La structure des graines de *Trapa natans* est également assez singulière; un des deux cotylédons est presque avorté, l'autre reste dans la graine, et son pétiole est

(1) M. GOEBEL a mis ce fait intéressant en évidence.

(2) GOEBEL.

négativement géotropique (fig. 148). La radicule présente également une croissance vers le haut, et elle surmonte un axe hypocotylé court. Là encore, la vie aquatique paraît avoir modifié d'une manière notable l'embryon.

S'agit-il dans ces divers cas d'une action directe ? C'est ce qu'on ne saurait dire en l'absence d'étude expérimentale ; ce qui plaide d'une manière assez frappante en faveur de l'action

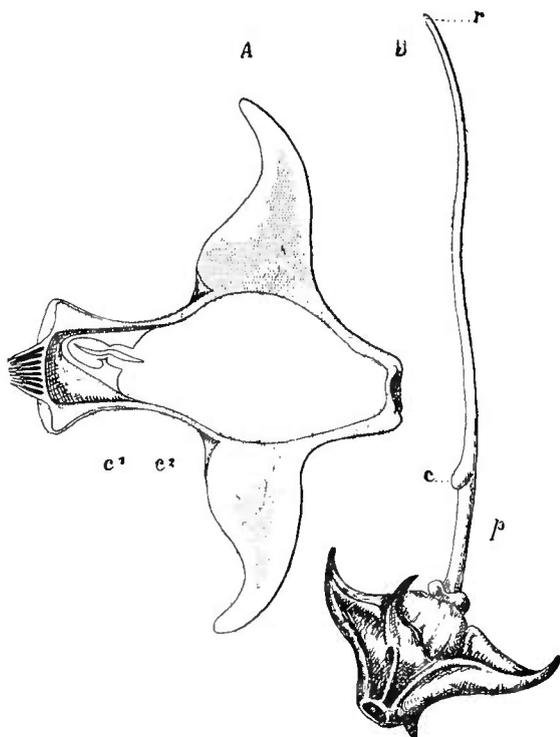


FIG. 148. — A, Graine de *Trapa*. — B, germination selon M. Gœbel ; *c*, cotylédon atrophié ; *p*, pétiole du cotylédon qui est resté dans la graine.

de la vie aquatique, c'est l'existence presque générale d'embryons atrophiés ou de germinations anormales chez les plantes qui vivent dans l'eau. Cette réduction se manifeste surtout dans les plantes nageantes libres. Le *Trianea bogolensis* n'a plus qu'une radicule rudimentaire, elle manque complètement dans les Lentilles d'eau (*Lemna*). Examinons donc d'un peu plus près les caractères des espèces qui comme ces dernières

vivent librement sur l'eau ; la disparition de la radicule, que nous venons de signaler, nous fait déjà entrevoir des modifications de l'organisation plus profondes encore que celles qui viennent d'être décrites chez les plantes attachées au sol.

Plantes nageantes libres. — Imaginons qu'une plante normalement fixée par ses racines au fond de l'eau soit accidentellement arrachée de terre ; elle va flotter librement à la surface du liquide grâce à ses feuilles nageantes ; la partie submergée primitive, qui était destinée à maintenir une relation entre le sol et les feuilles nageantes, n'a plus de rôle à jouer ;

si donc la vie nageante devient normale, d'accidentelle qu'elle était au début, cette région submergée tendra à disparaître.

On peut d'ailleurs expliquer autrement l'origine des espèces régulièrement nageantes en admettant qu'une plante du bord de l'eau, n'ayant pas de feuilles submergées et ne possédant que des feuilles nageantes, se soit détachée de la terre pour vivre librement sur l'eau (1).

Ces végétaux, devenus ainsi indépendants du sol depuis un grand nombre de générations, pourront cependant quelquefois s'enraciner dans la vase des étangs ou des rivières quand leur niveau par hasard s'abaissera.

On doit donc s'attendre à trouver des intermédiaires entre les êtres libres et les êtres fixés. Des plantes normalement libres, comme les *Pontederia*, les *Pistia* (fig. 149), les *Hydrocharis*, enfoncent quelquefois leur racine dans le sol et s'attachent à lui. Quand les eaux sont basses, le *Pontederia crassipes* germe, fixe ses racines en terre et étale ses feuilles à la surface de l'eau ; les eaux deviennent-elles plus profondes, un nœud inférieur de la tige donne une couronne de racines adventives, la partie basilaire de la germination meurt, et la plante nage bientôt en liberté.

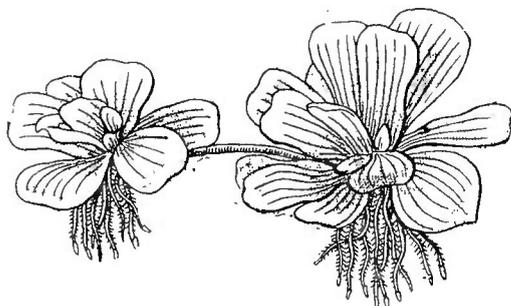


FIG. 149. — *Pistia Stratiotes*.

D'autre part, au contraire, des plantes normalement fixées peuvent devenir nageantes ; c'est ce que M. Gœbel a observé pour le *Ceratopteris thalictroides*, Fougère annuelle qui se développe d'ordinaire dans les régions marécageuses, attachée par sa base. Dans la Guyanne anglaise, le botaniste allemand l'a trouvée flottante, elle a alors un port un peu spécial qui l'éloigne de la forme fixée ; les feuilles nageantes sont plus larges, plus étalées à la surface de l'eau, la plante a une queue puissante de racines.

(1) On connaît des espèces fixées qui n'ont que des feuilles nageantes, par exemple le *Ranunculus hederaceus*.

Ce développement exagéré des racines a probablement pour cause une sorte d'autorégulation de la plante. On a des exemples nombreux d'un pareil phénomène; il se produit, par exemple, si l'on maintient un *Hydrocharis* fixé au fond d'un vase profond de verre que l'on remplit d'eau: la plante allonge rapidement son pétiole pour amener son limbe vers le niveau du liquide (1). Le milieu aquatique favorise d'ailleurs souvent l'allongement des racines et leur fait prendre des aspects singuliers quand il s'agit d'arbres qui se développent au bord de l'eau (Peupliers, Saules, Ormes, etc.): ces organes forment ce que l'on appelle des *queues de renards*, atteignant quelquefois des dimensions extraordinaires et présentant extérieurement des déformations souvent très singulières.

L'accroissement exagéré des racines que nous venons de décrire se produit pour les plantes dont les racines ont encore un rôle nourricier. Mais il peut arriver que cette fonction n'existe plus, ces organes tendent alors à se réduire de plus en plus. Il en est ainsi pour les Lentilles d'eau (*Lemna polyrhiza*); si l'étang qu'elles couvrent vient à se dessécher, elles végètent quelque temps, mais ne tardent pas à mourir: la racine ne peut pas se fixer dans la vase. La plante est devenue une espèce normalement nageante qui ne peut plus vivre autrement.

Toute l'activité vitale de la plante nageante, par le principe du balancement organique, tend à développer l'appareil végétatif aux dépens de la racine, qui paraît s'atrophier. Cet organe rudimentaire a cependant encore un rôle, qui est de contribuer à l'équilibre du végétal flottant sur l'eau. Les racines qui plongent dans le liquide servent à empêcher son renversement qui peut être très nuisible, si par hasard il se produit.

Ce rôle de balancier est rempli également, selon M. Schenck et M. Göebel, par les feuilles divisées du *Salvinia* (fig. 150). La forme des premières feuilles de cette plante, qui rappelle celle d'un bouclier, leur permet de bien se maintenir sur l'eau en l'absence des feuilles submergées qui ne sont pas encore formées. Dans la plante précédente, à l'état adulte,

(1) M. FRANK.

les feuilles aquatiques servent de contrepoids, elles remplacent donc les racines des Lentilles d'eau ; on ne doit donc pas s'étonner de l'absence complète d'organes radicaux chez ces végétaux.

Dans le *Wolfia*, petite Lentille d'eau du Brésil, ce même organe est également absent, et sa disparition tient probablement aux faibles dimensions du thalle arrondi qui n'a plus à craindre le renversement.

On voit donc quel est le résultat ultime de l'adaptation à la vie nageante : non seulement la radicule (racine de l'embryon) disparaît, mais les racines peuvent elles-mêmes manquer complètement sur l'adulte. On ne peut pas voir dans une espèce phanérogame de simplification de l'appareil végétatif plus grande que celle qui existe dans cette dernière plante, car elle n'a plus ni racine, ni tige, ni feuille ; le corps du végétal se réduit à une petite masse ovoïde d'un demi-millimètre.

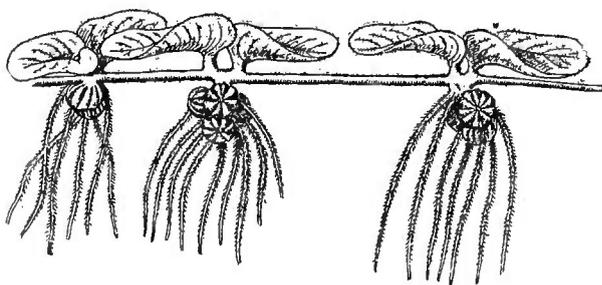


FIG. 150. — *Salvinia natans*.

Il est bien certain que la vie nageante favorise beaucoup le développement d'un pareil être microscopique. La plante qui flotte sur l'eau jouit, en effet, vis-à-vis des plantes submergées, de l'immense supériorité de se développer complètement au contact de l'air, de bénéficier, pour ainsi dire, à la fois de tous les avantages de la vie aérienne et de la vie aquatique. Comme les espèces aériennes, elle peut fixer directement l'acide carbonique de l'air et profiter d'une manière complète de la lumière ; comme les plantes aquatiques, elle n'est pas exposée à la privation d'eau. Aussi ces Lemnacées, comme toutes ces plantes nageantes libres, s'accroissent-elles avec une rapidité merveilleuse, couvrant un étang, une rivière, un fleuve même avec une rapidité prodigieuse. On a cité le développement extraordinaire du *Pontederia azurea*, qui forme sur le Porana (fleuve de l'Amérique du Sud) de véritables îles sur lesquelles s'aventurent quelquefois de gros animaux (1).

(1) D'après M. GOEBEL.

Ce sont évidemment ces particularités qui permettent de comprendre qu'une plante aussi petite qu'un *Wolfia Brasiliensis*, qui a un demi-millimètre à peine, puisse prendre un aussi grand développement, avec une structure aussi rudimentaire. Un pareil accroissement ne serait évidemment pas possible à la surface du sol, dans la vie terrestre : tous les êtres petits et faibles qui y envahissent les terrains neufs sont rapidement détruits par les plantes plus vigoureuses et mieux armées. Des Algues se développent bien sur l'écorce des arbres, mais c'est que d'autres plantes n'y peuvent pas germer, au moins dans nos contrées tempérées, et, comme il n'en est plus de même dans les régions chaudes, la vie épiphyte des Phanérogames s'y épanouit magnifiquement.

La vie nageante présente cependant un danger, au moins dans les pays froids. Lorsque les gelées surviennent, les organes végétatifs se trouvent détruits à la surface de l'eau ; la diffusion des graines n'obvie pas à ce danger, car la germination des plantes aquatiques est en général difficile. Pour se maintenir, ces végétaux doivent avoir d'autres moyens de propagation ; ils présentent un mode de multiplication assez spécial qui consiste à produire des bourgeons appelés *hibernacles* qui ont la propriété de se détacher de la plante mère à l'automne et de tomber au fond de l'eau ; la température dans ces régions profondes étant moins basse pendant les mois d'hiver qu'à la surface, ces hibernacles y végètent lentement. A l'arrivée du printemps, ils remontent au niveau supérieur, s'y épanouissent rapidement pour couvrir le niveau de l'eau d'une végétation nouvelle (*Hydrocharis*).

Grâce à ces adaptations multiples, les plantes nageantes présentent une supériorité accusée sur les autres espèces qui vivent dans les eaux douces ; leur puissance de propagation est si forte que, dans la lutte pour la vie, elles étouffent non seulement les végétaux submergés qui se trouvent au-dessous d'elles, mais elles rendent même la vie animale impossible dans les étangs dont elles couvrent la surface.

CHAPITRE XXIII

LA VIE SUBMERGÉE

Ici encore, et pour les mêmes causes que précédemment, nous trouvons deux types de plantes :

- 1° Celles qui sont fixées ;
- 2° Celles qui flottent librement sous l'eau.

Toutes ces plantes sont d'ailleurs soumises à des conditions spéciales de vie qui ont un retentissement profond sur leur forme et leur structure.

Physiologie et structure. — L'eau étant absorbée par toute la surface de la plante, les appareils si différenciés qui servent aux plantes supérieures à conduire l'eau de la racine aux feuilles n'ont plus de raison d'être. L'absence de feuilles nageantes, qui existaient dans les espèces aquatiques étudiées au cours du précédent chapitre, entraîne la suppression de la transpiration. La plante n'a donc plus besoin du système conducteur de la sève ascendante : aussi voit-on le tissu vasculaire se réduire de plus en plus à mesure que la vie submergée se perfectionne ; il finit, on peut même dire, par disparaître complètement.

Il ne doit pas en être de même de l'appareil qui conduit la sève élaborée aux divers organes par les feuilles ; les produits de l'assimilation doivent être toujours distribués à toute la plante ; aussi le tissu libérien reste-t-il complet quand le tissu ligneux se réduit (1).

Enfin, le système de soutien, le squelette des plantes n'a plus besoin d'être aussi développé que dans les tiges aériennes

(1) M. SCHENCK, M. SAUVAGEAU et M. CHAUVEAUD.

car le milieu dense porte, pour ainsi dire, les végétaux qui croissent dans l'eau. D'autres raisons plaident d'ailleurs en faveur de la réduction du tissu fibreux : on sait, en effet, qu'il se développe peu en l'absence de la lumière (1) et que la réduction de la transpiration contribue également à son atrophie (2).

En réalité, quand on examine la structure de presque toutes les plantes aquatiques submergées, on voit que le système fibreux y est presque toujours complètement absent.

Il est cependant deux groupes qui semblent faire exception à cette règle, ce sont les *Potamogeton*, parmi les plantes d'eaux douces, et les *Zostera*, parmi les Phanérogames marines. M. Sauvageau, qui a fait une étude approfondie de ces végétaux, a insisté sur ce fait (3). A quelle cause faut-il attribuer cette anomalie ? Faut-il y voir une exception à l'action du milieu ? En l'absence d'expériences faites sur ces plantes, on peut rappeler à ce sujet une observation ancienne de M. Schwendenner qui nous paraît intéressante. Selon lui, les *Potamogeton* ont, dans les eaux tranquilles, un système mécanique faible ; cet appareil est au contraire très développé dans les eaux rapides. Les nouvelles expériences de M. Hegler et de M. Ray (4) ne laissent aucun doute sur le lien existant entre le système de soutien et les agents extérieurs et sur l'influence des actions mécaniques sur son développement. Si une race a longtemps végété dans les eaux courantes ou agitées, elle a dû y acquérir un système de soutien puissant, elle peut, dans une certaine mesure, le conserver par hérédité dans un milieu plus tranquille ; ce résultat ne doit pas nous étonner, étant donné tout ce que nous savons sur les caractères acquis.

Races de plantes submergées. — Certains faits montrent d'ailleurs qu'on peut observer, parmi les plantes submergées, des races plus ou moins adaptées à la vie aquatique

L'exemple le plus net à citer à cet égard se rapporte à l'*Isoetes lacustris*. M. Gœbel, qui a cultivé pendant deux années au contact de l'air cette espèce qui vit normalement sub-

(1) RAUWENHOFF, COSTANTIN.

(2) M. KOHL.

(3) Les recherches de DE BARY et surtout de M. SCHENCK avaient d'ailleurs mis ce point depuis longtemps en évidence.

(4) Pp. 238 et 247.

mergée, a constaté que les stomates n'apparaissent pas sur les feuilles devenues ainsi aériennes. On pourrait être tenté de conclure de cette expérience que la plante précédente ne s'adapte pas à la vie hors de l'eau.

En réalité, il ne faut tirer cette conclusion que pour les individus étudiés par M. Gœbel. Une observation ancienne d'Alexandre Braun (1847) établit, en effet, que certaines formes terrestres de l'*Isoetes lacustris* peuvent présenter des stomates. Il s'agit vraisemblablement, dans ce dernier cas, d'une race moins profondément adaptée à la vie aquatique.

M. Gœbel admet d'ailleurs une hypothèse semblable pour expliquer une adaptation progressive en sens inverse. On sait que pour les formes aquatiques du *Littorella lacustris* les stomates sont rares ; on ne les observe que sur des individus se développant dans des eaux superficielles ; dès qu'on s'adresse à des individus profondément submergés, les stomates disparaissent complètement (1). Ces individus de deux types, que l'on rencontre dans cette espèce et dans beaucoup d'autres, correspondraient à des races distinctes.

Il ne faut pas oublier que les graines de presque toutes les plantes aquatiques se différencient sur des fleurs qui sont presque toujours aériennes et que sur les cotylédons et sur les feuilles de la gemmule ébauchées de bonne heure, dans un moment où la graine est encore à l'air, les stomates sont déjà différenciés.

On vérifie d'ailleurs sur les germinations qui se développent dans l'eau ou dans l'air qu'il en est bien ainsi. Dans le cas de l'*Alisma Plantago* dont on sème les graines simultanément dans l'air et dans l'eau, on remarque qu'il y a des stomates sur les premières feuilles dans les deux cas. Mais l'action du milieu ne s'en fait pas moins sentir sur les premiers débuts de la plante : les premières feuilles de la germination aquatique ont peu de stomates à la face supérieure et pas du tout à la face inférieure ; les premières feuilles de la germination aérienne ont d'abord peu de stomates sur la face inférieure, puis il s'en montre un grand nombre.

L'action immédiate du milieu, qui est nettement mise en évidence par l'expérience précédente, ne suffirait pas, le plus

(1) M. MER et M. KUTSOMITOPoulos.

souvent, pour expliquer la formation de types complètement dépourvus de stomates : il faut faire intervenir l'action prolongée de l'eau pendant une longue suite de générations

L'étude de la production de races sous l'influence du milieu aquatique a d'ailleurs été très peu étudiée jusqu'ici, aussi doit-on relever avec soin tout ce que l'on sait sur ce sujet.

L'*Aspidium macrophyllum* présente une forme terrestre et une forme aquatique ; cette dernière a été observée dans le fleuve Pomeroon (Guyane) sur les branches qui pendent dans l'eau. A la base de chaque foliole, il se développe, dans ce dernier cas, de jeunes bourgeons qui tombent au fond de l'eau et se fixent sur des supports. Dans les formes terrestres, ce bourgeonnement ne se produit pas. D'après Jewmann, si on cultive la forme aquatique dans un lieu sec, elle a une tendance à produire des bourgeons. Il y a donc un commencement de fixation d'un caractère acquis, ébauche d'une race nouvelle.

La formation d'une race exige d'ailleurs peut-être un temps très long pour certaines espèces, car pour le *Polygonum amphibium* on a constaté qu'une forme qui vivait depuis très longtemps dans un endroit desséché s'est adapté du premier coup, et d'une manière parfaite, à la vie aquatique (par formation de feuilles nageantes avec stomates seulement à la face inférieure).

En somme, il y a lieu de penser que le milieu aquatique, comme les autres agents cosmiques, modifie les êtres et produit plus ou moins rapidement des races ayant la propriété de reprendre, avec une vitesse variable, leurs caractères primitifs quand on les replace dans le milieu originel.

L'étude des *Potamogeton* nous a permis, en outre, d'entrevoir que dans le milieu aquatique lui-même il pouvait se produire des races distinctes (formes des eaux tranquilles, formes des eaux courantes). Il y a lieu, croyons-nous, d'insister sur ce point.

On a l'habitude de considérer le milieu aquatique comme un milieu absolument uniforme, dans lequel on ne devrait pas observer de variation, pour lequel une même plante devrait toujours offrir la même structure. Cette idée nous paraît très étroite et bien peu en rapport avec la réalité. Une même espèce qui vit dans les eaux chaudes ou froides, tranquilles ou courantes, qui se développe libre ou fixée, ne doit pas présen-

ter partout la même organisation. Bien que ces questions n'aient été jusqu'ici que très peu étudiées il n'y a pas de doute qu'elles donneront à celui qui les abordera des résultats très positifs. L'examen des végétaux qui vivent dans les cascades tropicales nous fournit d'ailleurs un argument assez sérieux à cet égard.

Plantes des cascades tropicales. — Les eaux en mouvements, en particulier celles des cascades, doivent imprimer aux plantes un facies très spécial.

Les Podostémacées nous offrent un remarquable exemple d'une adaptation à des conditions très particulières de vie. Tandis que tous les autres végétaux aquatiques ont une aire très étendue, ceux-ci ne s'observent, au contraire, que dans les régions tropicales sur des aires très limitées, fixées aux rochers que l'on rencontre dans les grands fleuves de l'Amérique du Sud, de l'Inde et de l'Afrique.

Ces plantes ont évidemment besoin d'une eau très aérée, car M. Gœbel a pu les voir se flétrir avec la plus grande rapidité dès qu'on les sort de leur station naturelle, même en les maintenant dans l'eau.

Dans quelles limites le milieu spécial où elles croissent les modifie-t-il ? C'est ce que l'on ne peut dire avec certitude, ces plantes n'ayant été observées jusqu'ici que par un petit nombre de botanistes (Weddel, M. Warming et M. Gœbel) qui n'ont pas eu le loisir de faire aucune expérience sur elles.

Le peu que l'on sait de leur histoire ne permet cependant pas de douter qu'il n'y ait eu pour ces plantes des métamorphoses extraordinaires, car leur aspect déroute absolument l'observateur.

Des savants du plus grand mérite, comme Tulasne, qui n'ont pu les examiner qu'à l'état sec, ont été souvent exposés aux plus grandes confusions quand ils ont voulu les décrire : donnant le nom de rhizome à ce qui était une racine, se méprenant également sur la nature des feuilles. Ces méprises s'expliquent d'ailleurs très bien, car tout paraît modifié dans l'organisation de ces plantes supérieures qui affectent des formes d'Algues, de Lichens ou d'Hépatiques.

L'organe qui paraît s'être surtout métamorphosé est la racine, et cela se comprend aisément. Dans les plantes terrestres, cette racine est destinée à pénétrer dans un sol plus ou moins

meuble et à y puiser la nourriture. Les Podostémacées croissent sur des rochers dans lesquels la racine ne peut pas s'enfoncer, elle doit donc se modifier en vue de la fixation : on la

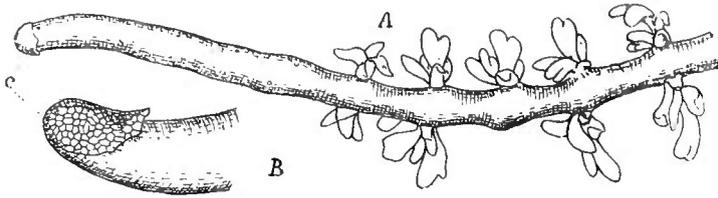


FIG. 151 et 152. — Podostémacée (*Mniopsis*, d'après M. Warming). — A, racine pourvue de bourgeons et ayant l'aspect d'un rhizome. — B, extrémité de cette racine pourvue d'une coiffe.

voit grandir à la surface de la pierre et se transformer en une sorte de faux rhizome qu'une cuirasse de silice consolide ; l'existence d'une coiffe à l'extrémité de cette fausse tige cou-

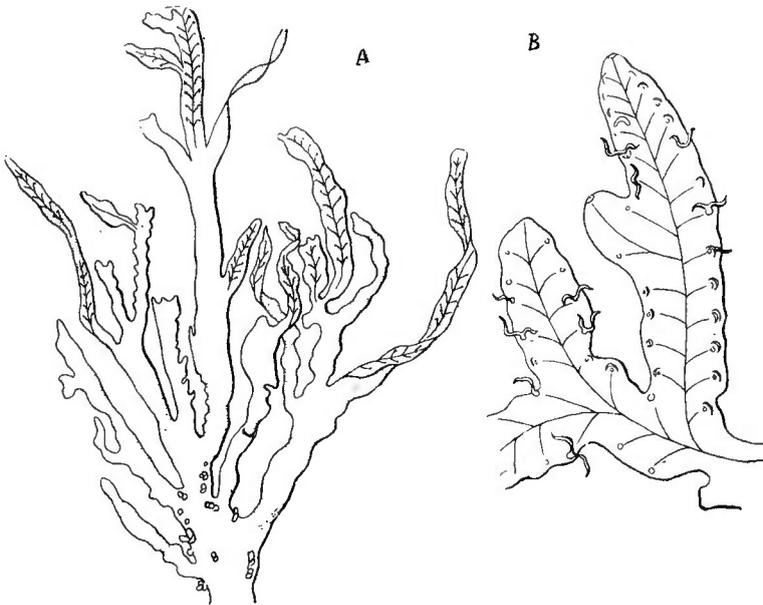


FIG. 153 et 154. — *Dicraea algæformis*, d'après M. Warming (Podostémacée). — A, lames aplaties et ramifiées qui sont des racines. — B, ces racines plates plus fortement grossies.

verte de bourgeons et de feuilles ne laisse pas de d'écarter sur sa nature radicale (fig. 151 et 152). Cet organe s'attache au roc soit à l'aide de poils fixateurs, soit au moyen d'organes spéciaux, que M. Warming désigne sous le nom d'*haptères*, et qui n'ont pas d'analogue dans les racines des autres Phanérogames.

Voilà donc une première adaptation, elle est très commune et elle paraît la plus naturelle. On peut imaginer qu'à côté de ces racines qui ont rampé sur le rocher, il a pu s'en produire d'autres qui ont flotté dans l'eau. Celles-ci, par suite de l'action mécanique du liquide, se sont beaucoup allongées, comme on peut le voir dans le cas du *Dicræa elongata*, ou aplaties en forme de lames vertes, comme dans la *Dicræa algæformis* (fig. 153 et 154). Cette transformation de la racine en un organe plat, mince, vert comme une feuille est certainement une des plus étranges modifications.

On a donc ici dans ces plantes des racines fixatrices et des racines feuilles ou nourricières comme dans les plantes épiphytes aériennes ; la vie sur un rocher n'est d'ailleurs pas sans quelque analogie avec la vie épiphyte, et les changements profonds que nous venons de signaler ont quelques rapports avec ceux qui se produisent pour les espèces qui vivent sur la couronne des arbres dans les forêts tropicales.

Quand un organe, comme la racine que nous venons de décrire, prend un développement excessif et une différenciation aussi accusée, par la loi de compensation qui s'observe partout dans la nature, les autres organes, tiges et feuilles, doivent rester rudimentaires. C'est ce qui s'observe notamment pour les feuilles de beaucoup de Podostémacées, qui sont réduites à de très faibles filaments.

La variation ne se produit pas toujours dans cette direction, et, quand les racines restent peu différenciées, ce sont les deux autres organes qui s'accroissent et qui peuvent ne pas se distinguer l'un de l'autre formant des lames qui ressemblent à des thalles d'Algues (fig. 155) ou d'Hépatiques ; à la surface de ces lames on aperçoit souvent des touffes de filaments verts qui s'agitent constamment par les mouvements de l'eau, de sorte qu'on les a comparés à des branchies de Poissons, bien qu'en réalité il s'agisse ici d'appareils chargés aussi bien de l'assimilation du carbone que de la respiration.

N'est-il pas frappant de constater que des plantes très supérieures appartenant aux Dicotylédones, qui se placent par leurs affinités au voisinage des Caryophyllées ou des Saxifragacées, se dégradent au point de ressembler aux représentants les plus inférieurs du règne végétal. On ne peut guère imaginer de régression plus intense. Nous sommes actuel-

lement incapables de dire comment elle a pu s'opérer ; mais la plasticité merveilleuse que nous avons pu signaler partout dans le règne végétal nous amène à penser que les métamorphoses précédentes ont pu être réelles autrefois malgré leur extrême amplitude.

Dans les espèces que nous venons d'étudier, la plante reste

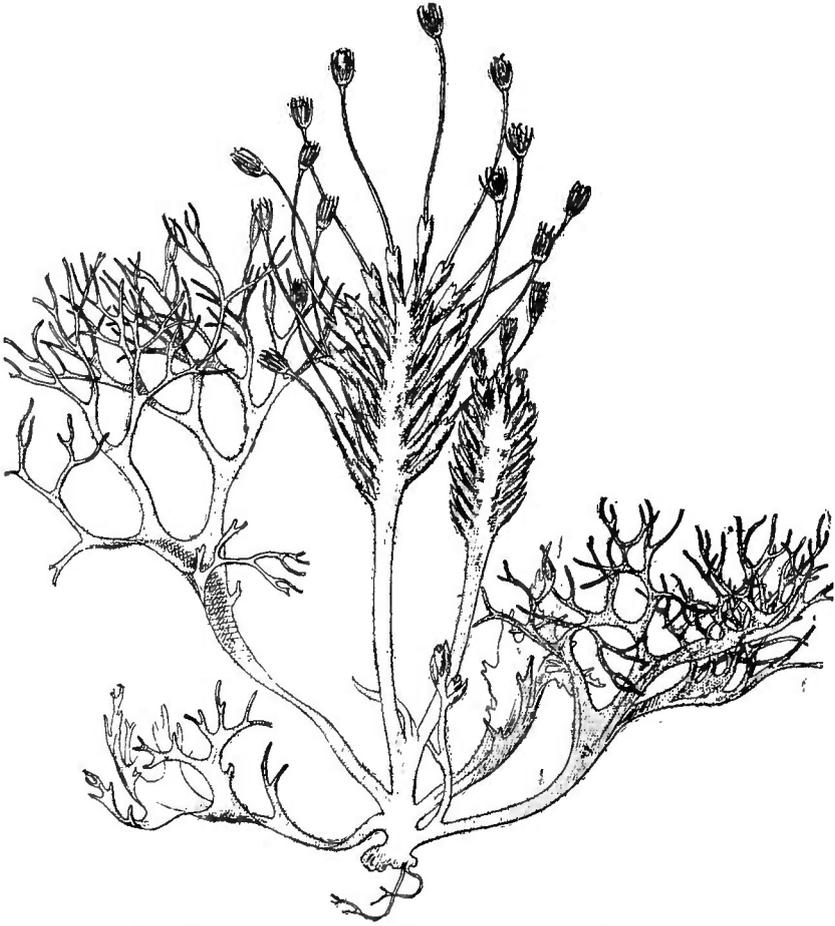


FIG. 155. — *Mourera Weddelliana* (Podostémacée).

reliée à la terre ou même souvent intimement fixée au rocher. Que résultera-t-il pour l'être d'une séparation du support auquel il est d'ordinaire attaché ?

Plantes flottantes. — Dans nos contrées, les plantes chez lesquelles l'adaptation interne paraît se manifester avec la plus grande intensité sont celles qui, bien que submergées, cessent d'être fixées au sol et deviennent flottantes sans jamais s'élever tout à fait à la surface de l'eau, de manière à ne jamais former de feuilles nageantes.

Nous pouvons faire ici les mêmes remarques que dans le chapitre précédent. La plante étant détachée de terre, la racine, qui ne servait plus guère qu'à la fixation, n'ayant plus de rôle, a dû tendre à disparaître. C'est encore une nouvelle application de l'idée profonde de Lamarck qu'un organe qui perd son rôle tend à s'atrophier. L'absence de racine chez les plantes flottantes de nos pays, comme les *Ceratophyllum*, les Aldrovandies, les Utriculaires (fig. 156 à 158), s'accorde donc avec tout ce que nous pouvions prévoir. On voit, par ces exemples, comment la théorie de l'évolution relie intimement entre eux une multitude de faits qui, sans elle, restent des anomalies incompréhensibles de la nature.

La même théorie permet d'entrevoir également l'origine des particularités qui caractérisent la germination d'un *Ceratophyllum* ou d'une Utriculaire : l'atrophie de la radicule dans le premier, son absence dans la seconde.

Ce qui caractérise les plantes flottantes, c'est, semble-t-il, la difficulté de la nutrition ; vis-à-vis des plantes nageantes, elles restent toujours inférieures parce que la lumière qui leur parvient est toujours atténuée par suite de son passage dans l'eau ; aussi jamais on ne les voit prendre un accroissement exubérant comme les espèces qui croissent à la surface de ce liquide. Peut-être faut-il attribuer à ces conditions défavorables d'existence l'apparition et le perfectionnement d'un caractère permettant à la plante de se procurer une nourriture supplémentaire.

Il est à remarquer, en effet, que c'est parmi les représentants des plantes flottantes que l'on trouve les deux seules espèces aquatiques connues de *plantes carnivores*. Certes la physiologie des espèces que l'on désigne sous ce nom est loin d'être connue ; on ignore dans quelle mesure les animaux qu'elles emprisonnent leur sont utiles ; on a affirmé que bien souvent elles ne sécrètent pas de diastase et que ce sont des Bactéries qui amènent la décomposition des animaux qu'elles capturent (1). Il n'en est pas moins vrai que les urnes des Utriculaires renferment d'une manière normale des petits Crustacés, des Cypris, des Daphnies, etc., qui une fois qu'ils ont pénétré dans la cavité de la petite outre, ne peuvent plus en

(1) M. DE WEVRE a cependant extrait de la pepsine du *Drosophyllum*.

sortir parce que la porte qui clos l'urne s'ouvre sans difficulté, mais se referme automatiquement (fig. 158, C). Les petits animaux, une fois capturés, se meuvent quelquefois deux ou trois jours dans l'utricule, puis meurent et bientôt se trouvent décomposés et résorbés, la cavité étant tapissée de poils fins que l'on peut considérer comme absorbants.

Dans les Aldrovandies (fig. 156 et 157, A et B), c'est un autre mécanisme qui permet la capture des animaux aquatiques :

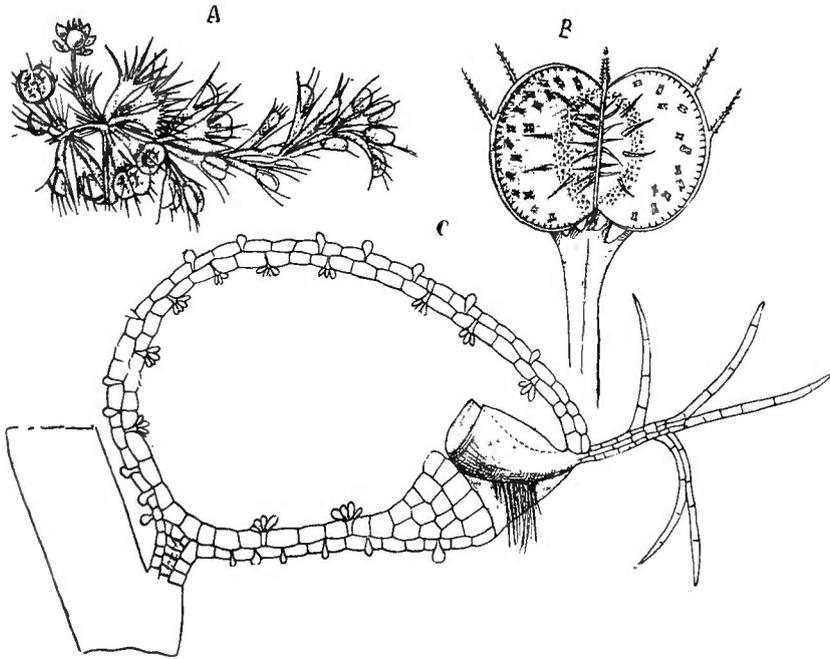


FIG. 156 à 158. — A, pousse d'*Aldrovandia*. — B, feuille d'*Aldrovandia*. — C, outre d'*Utricularia*; elle présente une sorte de porte qui ne s'ouvre qu'en dedans et qui se referme d'elle-même; les animaux qui ont pénétré dans l'urne ne peuvent plus en sortir.

chaque moitié du limbe présente des poils irritables qui, lorsqu'ils sont touchés, provoquent le rapprochement des deux parties gauche et droite de la feuille, qui se ferme comme un livre (fig. 157, B). L'animalcule qui a frôlé ces poils se trouve donc emprisonné.

Evidemment, tant que les conditions de nutrition de ces deux plantes ne seront pas mieux connues, il sera prudent de réserver son opinion sur la question précédente. Mais il se peut très bien que les recherches ultérieures confirment les idées et les observations si curieuses de Darwin sur les espèces carnivores.

Dans la revision des caractères des végétaux aquatiques que nous venons de faire, nous nous sommes surtout préoccupés des variations de leur appareil végétatif, il nous reste enfin, pour terminer cette étude, à parler de leur organisation florale.

Fleurs des plantes aquatiques. — Très souvent la fleur des plantes aquatiques s'épanouit dans l'air, et c'est dans ce milieu que s'opère la fécondation. Ce caractère, qui est presque général chez les espèces dont l'appareil végétatif croît dans l'eau, semble être un souvenir d'une vie aérienne primitive.

Comme pour les végétaux terrestres, le transport du pollen sur le stigmate peut avoir lieu soit à l'aide du vent, soit par l'intermédiaire des Insectes.

Cependant, en dehors des espèces précédentes, on connaît quelques genres aquatiques qui épanouissent leurs fleurs sous l'eau (1). Ceux-là méritent de nous occuper un instant.

Parmi les espèces aquatiques à floraison normalement submergée, on doit citer d'abord les représentants du groupe des *Pseudo-Callitriche* (*Callitriche autumnalis*). Les *Eucallitriche* produisent, au contraire, leurs fleurs à l'air (*C. verna*). Dans ces dernières plantes, l'anthère s'ouvre à l'aide d'une assise mécanique, et le pollen est pourvu d'une exine ; c'est ce qui arrive, comme on sait, pour l'étamine de la plupart des plantes aériennes et aussi aquatiques (à fleurs aériennes). Le *Callitriche autumnalis*, qui produit ses fleurs normalement sous l'eau, a un grain de pollen avec une membrane simple, et son anthère est dépourvue d'assise mécanique (2).

On entrevoit donc dans ce genre un commencement d'adaptation de la structure au milieu aquatique.

L'accommodation est plus profonde pour un certain nombre d'autres plantes. Les Zostères notamment présentent des éléments polliniques ayant une forme très spéciale, qui paraît bien en rapport avec la vie dans l'eau de mer au sein de laquelle la fécondation s'opère : au lieu d'être sphérique ou arrondi, le pollen est allongé, cylindrique ; ce caractère se re-

(1) Quelques espèces peuvent accidentellement ou normalement former des fleurs cleistogames sous l'eau (*Subularia*, *Limosella*, *Ranunculus*, etc.).

(2) D'après HEGELMAIER, le *Callitriche hamulata*, qui est une *Eucallitriche*, peut avoir quelquefois des grains de pollen sans exine, probablement quand ils se développent sous l'eau.

trouve dans les *Najas* ; dans ces deux exemples, la membrane est également dépourvue d'exine. Pour les Zostères, la fécondation a lieu sous l'eau, les longs boyaux polliniques sont retenus au passage (dans une eau assez calme) par les longs stigmates autour desquels ils s'enroulent grâce à leur forme allongée. Dans les *Najas* et les *Zannichellia*, le pollen tombe entraîné par son poids, et il se dépose sur les éléments femelles disposés au-

dessous pour le recevoir.

A côté des plantes précédentes qui sont parvenues à opérer leur fécondation en milieu liquide, nous devons signaler plusieurs végétaux monocotylédons chez lesquels, bien que les fleurs se forment sous l'eau, la pollinisation s'effectue cependant à l'air.

La Vallisnérie spiralee est le type des espèces de cette dernière catégorie.

Les pieds mâles et femelles sont dis-

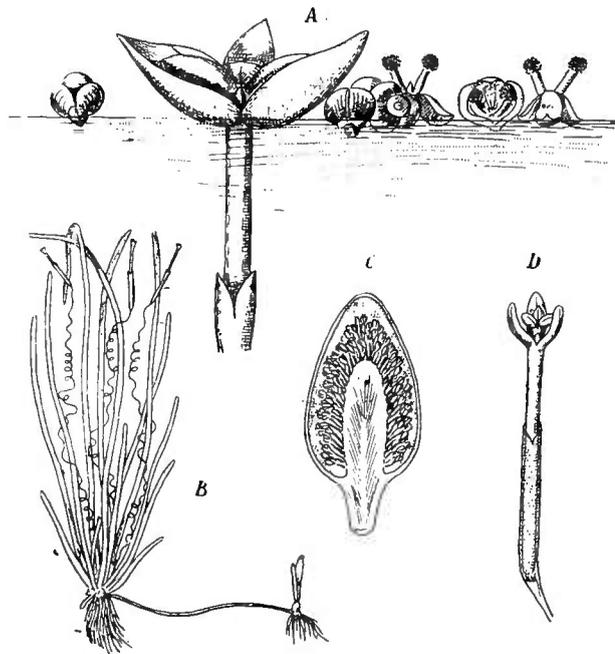


FIG. 159 à 162. — *Vallisneria spiralis*. — A, grande fleur femelle entourée d'un certain nombre de fleurs mâles détachées qui flottent à la surface de l'eau. — B, pied femelle portant plusieurs fleurs femelles et émettant un stolon qui s'enracine à son extrémité. — C, Spathe fermée contenant un grand nombre de fleurs mâles. — D, fleur femelle.

tincts ; sur les premiers, les fleurs mâles se produisent en grand nombre, et elles sont enfermées dans une spathe transparente (fig. 160, C) ; quand celle-ci s'ouvre, elle livre passage à une multitude de petites fleurs mâles qui sont encore fermées, dont le pédoncule floral s'est coupé ; grâce à la bulle d'air qu'elles renferment, elles s'élèvent à la surface du liquide où leur épanouissement a lieu (fig. 159, A). Pendant ce temps, les pieds femelles allongent énormément leur pédoncule floral spiralé (fig. 160, B), de sorte que les fleurs à pistil viennent s'ouvrir au contact de l'air. Le pollen est déposé par les fleurs

mâles, qui voguent comme de petits esquifs autour de la fleur femelle (fig. 159 A). Quand la fécondation est opérée, le pédicelle spiralé se rétracte au fond de l'eau, où la maturation du fruit s'achève à une température à peu près constante.

Ces phénomènes si curieux ont été signalés d'une manière nette par Micheli au commencement du XVIII^e siècle. Depuis cette époque, ces résultats ont été confirmés par les recherches de divers observateurs, de M. Müller notamment; récemment M. Goebel a constaté des phénomènes semblables pour le *Vallisneria alternifolia*, qu'il a pu étudier dans l'Inde (1). L'*Enhalus acoroides*, Hydrocharidée qui habite les eaux guéables de l'embouchure des fleuves de l'Océan Indien où elle forme souvent de véritables prairies sous-marines, l'*Elo-dea Canadensis* et l'*Hydrilla verticillata* se comportent d'une manière tout à fait semblable.

Ainsi donc ce mode si singulier de fécondation que nous venons de décrire pour la Vallisnérie n'est pas un fait isolé dans le règne végétal; il se retrouve dans un certain nombre d'Hydrocharidées. Il s'agit donc probablement encore d'une adaptation grâce à laquelle la plante, bien qu'ayant des fleurs mâles fermées et submergées rappelant les fleurs cleistogames, ce qui semble devoir être un obstacle insurmontable à la fécondation, a trouvé cependant un moyen de transporter son pollen à la surface de l'eau sans le mouiller et l'altérer, de manière à y réaliser la pollinisation.

Il est enfin un dernier type se rattachant aux cas précédents qui se présente pour le *Ruppia spiralis*. Le pollen est ici aquatique comme dans les Zostères, mais sa faible densité lui permet de monter à la surface de l'eau où s'opère la fécondation comme dans les Vallisnéries; enfin la forme spiralée du pédicelle de la fleur femelle permet au fruit de se développer au fond de l'eau, ainsi que dans cette dernière plante.

Cette dernière recherche paraît donc bien confirmer ce résultat indiqué déjà par l'étude de la radiation et de la pesanteur que la fleur est soumise comme les parties végétatives à l'influence du milieu. Tous les organes doivent subir son action pour se transformer, et la fleur, malgré la stabilité héréditaire que son étude révèle, n'échappe pas à cette règle.

(1) Dans l'étang du village de Khandallah.

En terminant cette revue des caractères des plantes qui peuplent les eaux douces et marines, nous avons acquis la conviction que le milieu aquatique exerce actuellement et a exercé autrefois sur les végétaux une action aussi profonde que variée. Cette variété tient à ce que l'eau est bien loin d'offrir des conditions de vie partout les mêmes, comme certains l'ont cru ; les causes modificatrices les plus multiples ont contribué à orienter l'évolution des êtres qui y croissent dans les voies les plus diverses.

Suivant que les plantes aquatiques sont libres ou fixées, flottantes ou nageantes, selon qu'elles habitent les eaux tranquilles ou courantes, les cascades ou les eaux toujours agitées par la flux et le reflux, elles doivent se transformer différemment.

De plus, entre les plantes franchement terrestres et les espèces uniquement aquatiques, nous trouvons une multitude de stades de transition et des adaptations de plus en plus complètes soit à la vie terrestre soit à la vie submergée. Dans ce cas, nous saisissons, pour ainsi dire, la métamorphose en acte, nous la voyons se produire sous nos yeux. Cette dernière étude nous fait découvrir les perpétuels changements dont le monde est le théâtre : nous assistons à l'émigration des êtres vers des milieux nouveaux, et nous constatons les modifications progressives qu'elles subissent fatalement.

Nous soupçonnons que, parmi les êtres amphibies, les uns sont en train de sortir de l'eau, les autres d'y pénétrer ; nous entrevoyons que l'adaptation à la vie aquatique est très ancienne pour ceux-ci, très récente pour ceux-là : c'est du moins une conclusion que l'étude philosophique de la classification fait prévoir. Quand une famille entière est aquatique, nous avons lieu de penser que son émigration dans l'eau est extrêmement ancienne ; si, parmi les représentants d'un groupe terrestre, nous observons une espèce isolée vivant en milieu liquide, nous avons lieu de croire que son émigration est relativement récente.

L'étude si sèche de la classification prend alors un puissant intérêt, et l'on peut admettre, dans ce sens, avec Cuvier que la classification est le but ultime de la science des êtres vivants, car c'est le suprême effort de l'homme pour écrire leur histoire qui est celle de notre globe, histoire qui se perd dans la nuit des temps.

CHAPITRE XXIV

NOTIONS DE LA VARIATION DES ÊTRES VIVANTS

DANS L'ANTIQUITÉ

Nous venons d'exposer la théorie de l'adaptation des plantes telle qu'elle résulte, selon nous, des données de la science contemporaine. Nous pourrions étendre beaucoup le champ de nos études, mais les notions que nous possédons maintenant suffisent pour nous fournir une conception claire et juste de l'idée féconde qui se trouve en germe dans les écrits de Goethe.

Cette idée d'ailleurs, nous pouvons la suivre à travers le XVIII^e siècle et le moyen âge jusque dans l'antiquité. Des recherches récentes semblent même indiquer que les anciens ont eu, bien plus qu'on ne pouvait le soupçonner, l'intuition des importants problèmes que se posent encore actuellement les sciences de la nature.

Cette conviction résulte des découvertes récentes faites par les archéologues en Grèce et en Asie Mineure, qui ont fourni les preuves incontestables de l'existence d'une civilisation primitive antéhomérique très remarquable, restée presque complètement ignorée jusqu'ici. Les peuples qui ont construit Mycènes, Tirynthe, Orchomène et Troie sont probablement les ancêtres des Grecs ; mais, comme ils sont restés étrangers à l'usage de l'écriture, on ne peut l'affirmer avec certitude. Cependant, bien que nous ne possédions d'eux aucun témoignage écrit, nous pouvons avoir, grâce aux vases, aux bijoux qu'on a retrouvés dans leurs tombes, des indices certains de leurs pensées religieuses, de leur conception naturaliste et

scientifique du monde. Ils ont eu la notion de la métamorphose des êtres et c'est même sur elle qu'ils paraissent avoir fondé leur religion ; la connaissance de leurs idées nous intéresse donc grandement, et cela d'autant plus que leurs conceptions semblent résulter d'une étude attentive du monde de la mer et de la vie aquatique que nous venons de décrire si longuement.

Ce sont les travaux de Schliemann, complétés et expliqués par ceux d'un certain nombre de savants éminents, qui ont mis hors de doute l'existence de la civilisation égéenne ou mycénienne.

En creusant le sol d'Hissarlik, qu'il regarde comme la ville de Troie chantée par Homère, Schliemann a trouvé des débris de plusieurs cités qui se sont élevées les unes au-dessus des autres ; la deuxième à partir du roc était contemporaine de celle dont on a trouvé des restes à Mycènes. On sait aujourd'hui, par les recherches de M. Dœrpfeld, que parmi les villes ainsi mises à nu à Hissarlik, celle qui est contemporaine des événements chantés dans l'Iliade n'est pas la deuxième, mais la quatrième à partir du rocher. La quatrième couche correspondant environ à l'an 1200 avant notre ère, la deuxième doit être antérieure de plusieurs siècles, car la troisième couche qui est intermédiaire comprend les ruines de plusieurs villages superposés, composés de maisons très simples qui ont été plusieurs fois brûlées et reconstruites.

Il s'est d'ailleurs opéré entre ces deux époques un changement profond dans les conceptions religieuses, car à Mycènes et dans la deuxième ville troyenne on ensevelissait les morts ; on les brûlait dans la quatrième ville qui correspond au temps de la Troie d'Homère (1).

En faisant donc remonter l'antiquité des vases de Mycènes à 1.500 ou 2.000 ans avant notre ère, nous ne serons donc certainement pas au delà de la vérité, mais au plutôt en deçà (2).

Vases mycéniens. — Or, on a trouvé sur ces amphores sacrées

(1) MM. PERROT et CHUPIEZ ont mis en lumière ce point très important.

(2) Certains objets égyptiens retrouvés à Mycènes ont même permis de fixer à 1500 ans avant notre ère le moment du grand épanouissement de la civilisation mycénienne.

des dessins de végétaux et d'animaux qui présentent, au point de vue des sciences de la nature, de l'histoire des religions et des philosophies anciennes, une importance considérable. M. Houssay, qui a étudié les animaux et végétaux qui s'y trouvent représentés, a cru retrouver sous les symboles qui y sont figurés les idées, profondes et étranges à la fois, qui se cachaient derrière les mythes et les mystères de la religion de ces populations primitives, qui vivaient autour de la mer Egée il y a près de 4.000 ans, symboles et idées d'où seraient sortis le polythéisme grec et la philosophie ionienne.

Parmi les dessins, souvent schématiques, mais cependant parfaitement reconnaissables, qui s'observent sur ces vases antiques se trouvent presque exclusivement des figures d'êtres aquatiques, tels que les Poulpes (fig. 163 A), les Argonautes, les Hippocampes, les Oursins, les Sagittaires. Or il paraît maintenant prouvé (1) que le culte du Poulpe sacré s'identifie avec celui de Vénus Aphrodite, c'est-à-dire avec le culte de la mer. Il est donc infiniment vraisemblable que les amphores qui portent ces dessins étaient des objets se rapportant à la religion de ces peuples égéens ou mycéniens.

Comment le Poulpe et l'Argonaute sont-ils devenus sacrés? M. Houssay s'efforce de nous le faire comprendre. Il est vraisemblable d'admettre que des marins, comme le devinrent fatalement les habitants des îles et des côtes découpées de la mer Egée, ont dû être frappés de rencontrer naviguant en haute mer un animal comme l'Argonaute qui avait su se construire une petite barque (sa coquille) qu'il faisait mouvoir à l'aide de rames et de voiles (ses bras). Superstitieux et craintifs, comme tous les peuples jeunes, ils ont cru avoir devant eux un envoyé de la mer profonde sur laquelle ils naviguaient, aussi l'ont-ils recueilli avec soin et examiné avec vénération. Ils se sont vite aperçus que l'animal pouvait se retirer de sa coquille, comme le matelot de sa barque; une fois séparé de son enveloppe, ils ont été certainement frappés de sa grande ressemblance avec le Poulpe qu'ils avaient eu l'occasion de voir nager plus près du rivage. De là à supposer que le même animal pouvait, à volonté, nager avec ses bras ou se construire une nacelle, il n'y avait qu'un pas.

(1) TÜMPEL.

La connaissance de ces deux animaux, qu'ils ont été ainsi amenés à confondre en un seul, a fait naître pour la première fois dans leur esprit l'idée de la métamorphose des êtres. Ils ont cherché à représenter ces êtres sacrés sur des objets

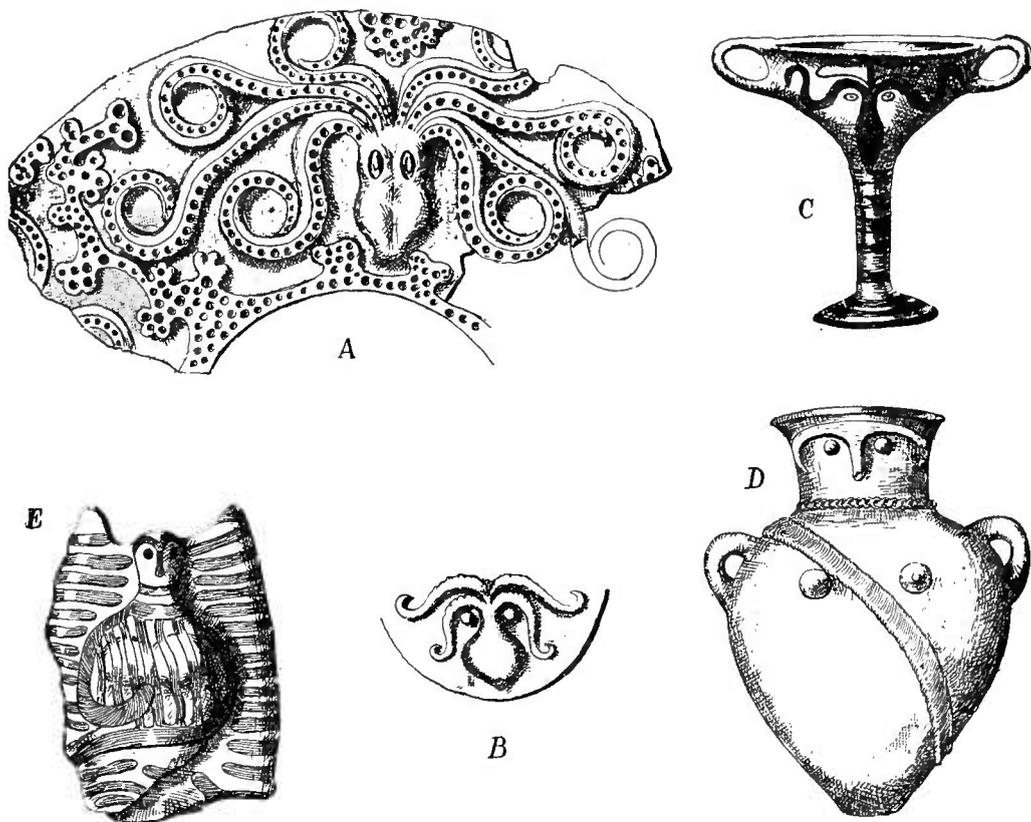


FIG. 163 à 167. — A, fragment d'un vase mycénien représentant un Poulpe très reconnaissable; les yeux et les bras sont bien placés. — B, Poulpe schématisé sur une médaille, les yeux sont indépendants du corps. — C, vase sur lequel est figuré un Poulpe reconnaissable ayant des yeux indépendants. — D, le vase précédent ne porte plus qu'un dessin encore plus schématisé qui commence à ressembler à un visage humain ou de hibou, la bouche manque, mais l'ensemble du vase tend à représenter une divinité féminine. — E, la divinité féminine est plus accusée encore, mais la bouche n'existe pas. Le vase sacré orné du dessin du Poulpe est l'origine de la statue de Vénus (d'après MM. Perrot et Chipiez).

divers, et, en les figurant, ils ont été amenés à simplifier leurs dessins, à les schématiser, à les symboliser de plus en plus.

L'Argonaute a fini par n'être plus représenté que par quatre bras enroulés à l'extrémité; ces bras, à mesure que les dessinateurs connaissaient de moins en moins l'origine des symboles, se sont rectifiés, et ils ont été bientôt réduits à une croix, dont les quatre branches se terminent en crochet à l'extrémité. Or

cette *croix gammée* se trouve sur les statues les plus anciennes de Vénus (1), et elle y signifie évidemment fécondité. La mer engendre l'Argonaute comme le Poulpe et est susceptible de transformer l'un dans l'autre : on retrouve, en effet, toutes les transitions du symbole du Poulpe à celui de l'Argonaute.

Tout vient de la mer, c'est l'idée fondamentale (idée que certains naturalistes cherchent à remettre en honneur) que nous retrouvons dans la philosophie de Thalès, le plus ancien des philosophes grecs, qui ne faisait vraisemblablement que répéter ce qui se cachait sous les mythes du culte de Vénus. Cette conception semble justifiée par la nature des êtres figurés sur les vases de Mycènes qui paraissent devoir se rapprocher deux à deux : l'Hippocampe se transformerait en Cheval, l'Oursin en Hérisson, le Ptéropode en Papillon. Faut-il ajouter aussi, comme le dit M. Houssay, que l'Anatife devient un Canard et la Vallisnérie une Sagittaire ? Ceci mérite d'être examiné d'un peu plus près ; car, si le premier rapprochement paraît aussi invraisemblable qu'absurde, le second indiquerait, au contraire, que les fondateurs de ces doctrines religieuses étaient des naturalistes tout à fait remarquables.

Légende de l'Oie bernache. — En étudiant les Oiseaux représentés sur des ossuaires trouvés en Crète (fig. 168), M. Houssay a été frappé des formes extraordinaires que présentaient quelques-uns d'entre eux ; on remarque, en effet, que plusieurs n'ont pas de pattes et qu'ils possèdent des espèces d'ailerons s'insérant d'une manière singulière au milieu du dos ; ces oiseaux bizarres paraissent sortir d'une plante aquatique non moins symbolique comme on peut s'en convaincre en examinant la figure 168. On trouve ailleurs une série de dessins transitionnels entre ceux qui représentent des Oiseaux bien typiques et des êtres tout à fait informes, sans pattes, attachés par une espèce de long pédicelle simulant le cou. M. Houssay a eu l'idée heureuse de rapprocher ces figures d'une légende très anciennement connue qui se trouve rapportée par un grand nombre d'écrivains du moyen âge et qui a été étudiée avec intérêt par les historiens de la

(1) Par exemple celles qui ont été trouvées dans la deuxième ville d'Hissarlik.

zoologie et par les linguistes, la légende de l'Oie bernache (1).

D'après cette légende, longtemps tenue comme suspecte par l'Église, il y aurait sous la mer un arbre sur lequel se trouveraient attachés des coquillages produisant des Oiseaux quand ils sont rejetés sur le rivage. L'Oie bernache (*Anser bernicola* de Linné) ne serait autre que cet animal fabuleux : le mot bernache (Barnagh) voulant dire en breton coquillage, l'Oie bernache est donc l'Oie du coquillage. Cette légende est



FIG. 168. — Dessin ornant un tombeau trouvé en Crète. Des oiseaux étranges (dont les ailerons sont insérés sur le milieu du dos) naissent d'une plante aquatique symbolique. Tous ces êtres animaux et végétaux sont aquatiques, comme l'indique la présence des Poissons figurés à gauche (d'après MM. Perrot et Chipiez).

encore très connue en Bretagne (2) ; on a suivi sa trace dans divers écrits depuis le XI^e siècle (3) jusqu'au XVII^e en Angleterre et en Irlande. Elle paraît beaucoup plus ancienne, car on la retrouve dans les ouvrages des Juifs, dans le Sohar (4) qui est une partie de la Kabale.

Enfin, M. Houssay a trouvé dans les écrits de Théophraste un texte, ayant autrefois beaucoup embarrassé les érudits, qui jette une vive lueur à la fois sur l'origine de la légende de l'Oie bernache et sur la signification symbolique des des-

sins qui ornent les vases mycéniens. Ce disciple d'Aristote, d'ordinaire si exact dans ses descriptions, parle d'un Chêne marin « aux rameaux duquel sont suspendus certains coquil-

(1) CARUS et MÜLLER.

(2) L'auteur de ce livre ayant eu l'occasion de montrer des Anatifes à son garçon de laboratoire, qui est Breton et marin, et lui ayant demandé s'il connaissait ces animaux, a recueilli cette réponse à noter : « On dit chez nous que ce sont des Oiseaux.

(3) Pierre Damien, qui vivait au XI^e siècle, dit que des Oiseaux peuvent naître sur un arbre, comme il arrive dans l'île de Thilou, aux Indes (remarquons cette origine indienne).

(4) Le Sohar existait, prétend LORIA, avant le Talmud babylonien (500 ans avant notre ère) ; en tous cas, certaines parties existaient déjà au II^e siècle de notre ère.

lages... Dans ces coquillages se sont glissés des Cloportes (?) avec le Poulpe ». (Ce texte, rapproché des figures 168 et 171, permet d'en entrevoir la signification.) Un autre Chêne, ajoute encore Théophraste, produit d'autres coquillages, les Balanes, c'est-à-dire des animaux très voisins de l'Anatife qui doit être identifié, selon M. Houssay, avec l'Oie bernache.

Cet Anatife jeté à la côte après les violentes tempêtes a dû depuis longtemps frapper l'imagination des gens de mer parce qu'il était attaché à des morceaux de bois d'origine inconnue et mystérieuse : c'est en effet sur des épaves, sur du bois flotté que se trouve toujours fixé cet animal. En relevant cet être étrange, les habitants du littoral ont dû trouver qu'il avait une vague ressemblance avec un Oiseau (les pattes sortant du milieu des valves simulants des espèces d'ailerons, le pédicelle correspondant au cou, figure 169). C'est vraisemblablement ainsi que cette légende a dû naître : l'Anatife, présentant une lointaine similitude avec un Oiseau, est rejeté par la mer avec le bois du Chêne ou de la plante inconnue sur laquelle il pousse ; il y a donc dans les profondeurs de la mer un arbre étrange qui produit des *ébauches* (nous insistons sur ce mot) d'Oiseaux.

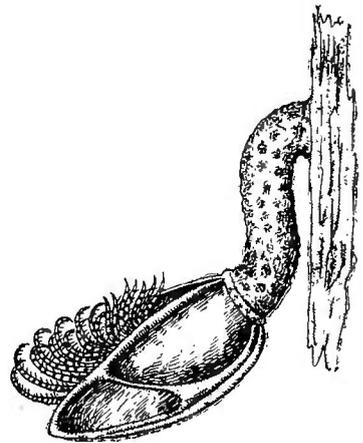


FIG. 169. — Anatife (Crustacé) fixé sur une épave.

Sont-ce les populations égéennes qui ont inventé cette légende ? On ne saurait l'affirmer à cause de l'immense diffusion du symbole de la croix gammée (1) ; ce ne sont, en tous cas, que des peuples marins, connaissant bien la faune de l'Océan, qui ont pu avoir de telles idées.

La connaissance si remarquable des animaux aquatiques que nous venons de constater chez les artistes qui ont orné les vases de Mycènes, a conduit M. Houssay à penser qu'ils de-

(1) On trouve des symboles du culte de Vénus Astarté en Babylonie en Phénicie à Carthage. Peut-être est-ce la même légende de l'Oie bernache qui est figurée sur certains monuments égyptiens. Rappelons que les Juifs du Talmud connaissaient cette histoire peut-être cinq siècles avant notre ère. Signalons enfin la citation de Pierre Damien qui rapporte à l'Inde la légende précédente.

vaient avoir également des notions exactes sur les végétaux. Il a été ainsi amené à reconnaître, parmi les dessins des artistes égéens, des Sagittaires et des Vallisnéries ; selon lui, ils ont dû entrevoir des ressemblances entre ces deux végétaux ; peut-être même ont-ils distingué la forme *vallisnerifolia* de

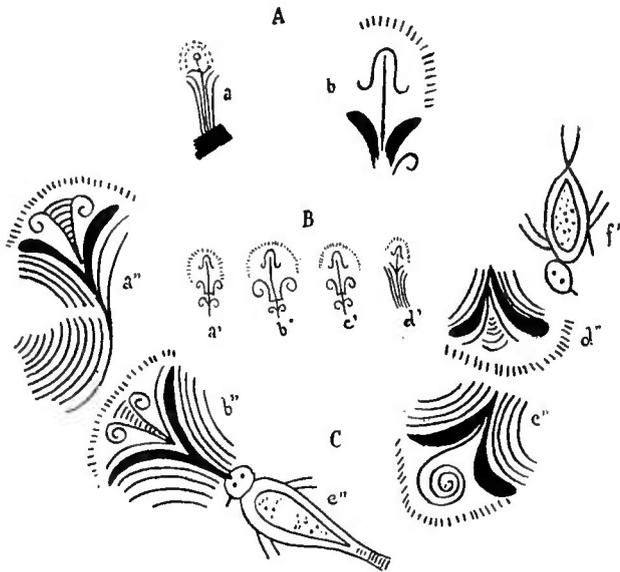


FIG. 170. — Dessins extraits des vases mycéniens. — C, a'', b'' pieds mâles de Vallisnérie : les feuilles rubanées sont représentées par des traits arqués ; les traits épais figurent la spathe ; le cône qui la surmonte est le support des fleurettes mâles ; les petits traits situés autour sont les fleurs mâles isolées ; c'', pied femelle symbolisé par le pédicelle spiralé et l'auréole de fleurs mâles ; f'' et f'', Nêpes insectes aquatiques accompagnant les Vallisnéries indiquant qu'on a affaire à des végétaux aquatiques. — A et B, symboles de plus en plus simplifiés (a'' schématisé assez bien un arc et sa flèche) représentant la fécondation de la Vallisnérie, sexe mâle, selon M. Houssay.

Les pieds de la plante sont dissemblables (a'' et b'' d'une part et c'' de l'autre), il s'agit donc évidemment d'une plante aquatique et dioïque. Or, il n'y a guère que la Vallisnérie qui puisse satisfaire à la définition précédente, surtout si l'on tient compte de la forme des feuilles étroites et allongées. Les fleurs femelles sont évidemment représentées par leur filament spiralé (fig. 170 C, c''). Les inflorescences mâles ont leur spathe

de la Sagittaire (voir fig. 128 p. et 124).

En tous cas, il paraît probable qu'ils ont eu une notion précise de la fécondation de la Vallisnérie (1). Les dessins qui sont représentés sur la figure 170 (C, a'', b'', c'', d'') correspondent évidemment à une plante aquatique, puisqu'à côté se trouve un Insecte d'eau dans lequel on peut reconnaître une Nêpe, à cause de son bec et de ses appendices caudaux (fig. 170, C, e'' et f'').

(1) Rappelons à ce propos que M. Göebel a observé un *Vallisneria alternifolia* dans l'Inde, et que l'*Enhalus acoroides* fleurit au bord de l'Océan Indien à l'embouchure des fleuves, et que sa fécondation rappelle celle de la Vallisnérie.

ouverte, et les pointillés qui les entourent sont, selon toute vraisemblance, les fleurs mâles qui s'en échappent que l'on retrouve d'ailleurs autour de la fleur femelle.

Ce sont ces mêmes motifs que l'on retrouve dans les dessins A et B (fig. 170), où les fleurs mâles sont de plus en plus schématisées. Ces derniers symboles, en se simplifiant encore, finissent par devenir une flèche; et ce signe, par une transformation anthropomorphe, est devenu l'amour archer.

Tous ces symboles se mélangent entre eux. On a déjà pu voir par exemple des Oiseaux naître d'une plante qui ressemble encore évidemment beaucoup à une Valisnérie (fig. 168). Enfin sur les bras d'un Poulpe peuvent apparaître des Oiseaux dérivant de l'Anatife, des Hérissons qui proviennent d'Oursins, des Hippocampes qui deviennent des Chevaux (fig. 171).

L'histoire invraisemblable de la transmutation d'une plante en un Crustacé, puis en un Oiseau ne mériterait certes pas de fixer notre attention, si elle ne nous renseignait sur la genèse des idées religieuses et philosophiques chez les peuples primitifs, si elle ne nous apprenait que derrière les aberrations les plus étranges se cachaient souvent des observations judicieuses et exactes et une connaissance assez inattendue des êtres vivants.

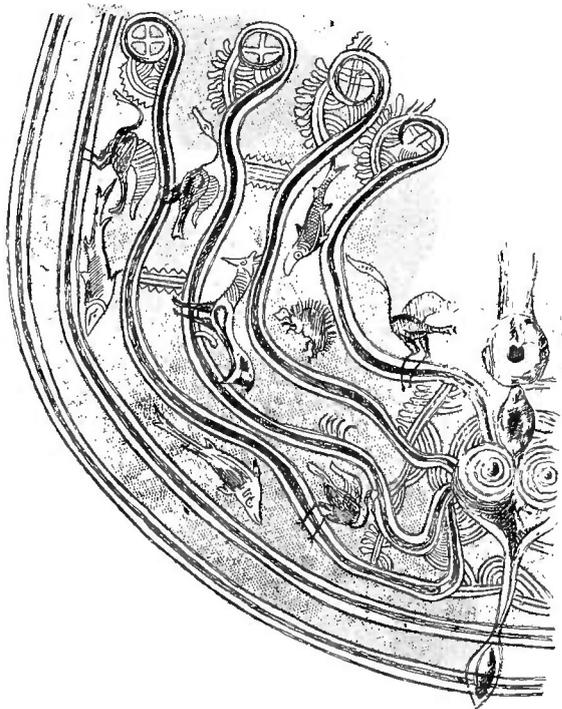


FIG. 171. — Dessin d'un vase mycénien représentant la moitié des bras d'un Poulpe dont le corps est à la partie inférieure (les bras de la partie de droite ont été supprimés). Entre les bras de ce Poulpe s'aperçoivent des Oiseaux dont quelques-uns ont des têtes informes et des ailerons sur le dos; un autre Oiseau, celui du bas, est plus nettement caractérisé. On remarque en outre un espèce de Cheval Hippocampe, un Hérisson (d'après MM. Perrot et Chipiez).

D'ailleurs, on jugerait, selon nous, d'une manière absolument fausse et injuste les scrutateurs scrupuleux des phénomènes de la vie qui ont fondé la religion de la nature si on attribuait aux métamorphoses précédentes un sens absolu. Il est infiniment peu probable qu'ils aient cru que l'Anatife donnait naissance à un Oiseau, que l'Hippocampe devenait un Cheval; ils ont dû penser plutôt que la force créatrice en perpétuel enfantement s'exerce d'abord en pétrissant la matière et que les êtres informes et bizarres rejetés par les abîmes de la mer n'en sont que les premières ébauches.

Opinions des philosophes grecs. — D'ailleurs, il semble bien que l'on retrouve ces idées dans Empédocle; Aétius, qui rapporte les opinions de ce philosophe, traduit ainsi sa pensée: « Les premiers animaux et les premières plantes ne sont nullement nés dans leur intégrité, mais par parties séparées ne pouvant s'ajuster; en second lieu se sont produits des assemblages de parties comme dans les images de la fantaisie. » L'Hippocampe serait la première ébauche d'un Cheval, la tête serait pour ainsi dire faite dans ce premier essai, mais cette tête se trouverait soudée, dans ce cas, à une queue de Poisson. Ainsi s'expliquerait l'origine de ces êtres étranges comme les Sphinx, les Griffons, les Centaures dont la mythologie est remplie.

Or, ces êtres complexes et bizarres sont représentés en grand nombre sur presque tous les bijoux trouvés à Mycènes. Les Griffons s'y observent avec leur tête d'aigle, leur corps ailé rappelant un lion ou un chien (1). Les Sphinx ont une tête de femme et un corps d'animal pourvu d'ailes. On y remarque aussi des sortes de Cigognes à tête de Cerf. Une médaille curieuse marque tous les passages d'un Poulpe à une tête de Bœuf; M. Houssay a signalé de même des transformations des dessins du Poulpe en ceux d'une tête de Mouton: les bras du Poulpe réduits à deux devenant les cornes du Ruminant (ces derniers dessins ont été observés dans une nécropole trouvée dans le Caucase).

Les premières idoles trouvées à Troie permettent d'assister à la schématisation et à la transformation de plus en plus grande

(1) Sur ces têtes de Griffon ou de Sphinx, il y a d'ailleurs des spirales de Poulpe ou d'Argonaute.

du dessin du Poulpe : les yeux sont séparés du corps (fig. 164 et 165, B, et C) qui se rétrécit et devient un nez ; les bras donnent des sourcils (fig. 166, D) ; une vague ressemblance se manifeste avec la figure humaine, mais sans bouche (1). Les seins sont bientôt ajoutés, puis la bouche, enfin les signes de la sexualité. On passe par toutes les transitions d'une poterie ornée d'un dessin de Poulpe à la statue définitive de Vénus (les figures 163 à 167 donnent quelques-uns de ces stades de transition).

Nous retrouvons d'ailleurs dans les idées d'Empédocle la suite de ces perfectionnements. « En troisième lieu, continue Aétius, sont apparus les corps complets ; en quatrième, au lieu de provenir des éléments comme la terre (2) et l'eau, ils sont nés les uns des autres », par reproduction.

Bien qu'Empédocle (3) soit de beaucoup postérieur aux penseurs égéens qui ont fondé les dogmes que traduisent pour nous d'une manière si saisissante les figures des vases mycéniens, il ne nous paraît pas invraisemblable d'admettre que plusieurs observateurs profonds aient eu des idées assez analogues aux siennes longtemps avant lui. Il y a lieu même de croire que bien souvent les philosophes grecs n'ont fait que traduire en langage accessible à tous les mystères de la science sacrée que l'on dévoilait aux initiés dans les temples.

La constatation que nous venons de faire nous apprend que l'idée de la métamorphose des êtres avait germé dans l'esprit de quelques hommes supérieurs il y a quatre mille ans ; cette conclusion n'est pas destinée à exalter notre orgueil. L'idée de l'évolution était certainement fondée, à cette époque, sur une connaissance très incomplète et très erronée de la nature ; il n'en est pas moins vrai cependant que le résultat des efforts ultimes des savants de notre siècle se rapproche de celui entrevu par quelques philosophes d'un

(1) On a retrouvé ces motifs sur des vases préhistoriques de l'Allemagne du Nord, sur ceux des tribus dites indiennes de l'Amérique. Le potier a eu la même idée au Mexique, au Pérou et en Roumanie. Il s'agit donc là bien certainement d'un des plus anciens cultes de l'humanité. Ceci indiquerait-il que l'Amérique a été découverte à l'époque préhistorique par des peuples venus d'Europe ?

(2) L'argile du potier en se transformant en vase symbolise cette évolution.

(3) Il a vécu pendant les années 495 à 435 avant notre ère.

peuple qui non seulement n'a pas d'histoire, mais auquel on ne sait pas même donner un nom. Ceci peut nous donner à réfléchir sur la lenteur des progrès intellectuels de l'humanité.

Grâce à la supériorité de quelques naturalistes inconnus, par suite de leurs observations remarquables, la science des êtres vivants naît quinze cents ans avant notre ère et prend un grand essor; l'importance des notions qu'elle suscite dans l'esprit humain est telle qu'une religion en naît, qui pendant plusieurs siècles règne sur l'esprit des peuples les plus civilisés. Mais les notions primitives, les observations exactes ont été cachées à la foule, elles disparaissent bientôt sous les mythes. Il est dès lors impossible de contrôler ce qu'elles ont d'exact ou de faux. Quelques philosophes cependant, comme Thalès, Anaximandre, Empédocle, dévoilent les idées qui se cachent sous les symboles, mais sans observer de nouveau la nature de très près. Deux naturalistes de premier ordre apparaissent, Aristote et Théophraste, mais ils n'ont pas d'élèves. Aussi faut-il passer par-dessus toute l'histoire de l'antiquité et du moyen âge pour trouver des successeurs dignes d'eux.

Malgré ces fâcheuses circonstances pour la pensée humaine, l'idée féconde n'est pas morte, le flambeau lumineux à moitié éteint se transmet à travers les générations de main en main, et souvent il passe dans les plus suspects. Arrive enfin le xviii^e siècle, puis le xix^e, et la pensée profonde commence à luire de nouveau, grâce à Buffon, à Goethe, à Lamarck, à Darwin. Le diamant est encore impur, il faut le séparer de sa gangue, et, malgré tous leurs efforts, les chercheurs de cette fin de siècle ne sont pas encore parvenus à l'isoler complètement.

« Si l'histoire de la science, dit M. Paul Tannery, a quelque utilité, c'est qu'elle nous permet d'apprécier à leur juste valeur les vérités conquises. S'il s'agit de connaissance positives, les premiers systèmes des anciens physiciens sont, certes, de nature à nous inspirer une juste confiance dans la puissance de l'esprit moderne.

« Mais, pour les questions qui sont à la limite de l'inconnaissable et dont la science revendique seulement la discussion sans être assurée de pouvoir la clore un jour, l'impression produite peut être toute différente; nous pouvons reconnaître parfois que tous les progrès réalisés jusqu'à nos

jours, toutes les connaissances accumulées depuis vingt-cinq siècles, ont pu alimenter la discussion sans faire avancer d'un pas vers la solution. »

Le problème de l'évolution des êtres a été longtemps rangé dans cette seconde catégorie de questions insolubles ; espérons qu'il n'en sera plus ainsi à l'avenir. Depuis la plus profonde antiquité, quelques esprits audacieux et puissants affirmaient que les formes vivantes sont instables, mais les esprits positifs, les observateurs précis, leur demandaient vainement de prouver ce qu'ils avançaient. Leur débat rappelle celui qui, dans la République de Platon, éclate entre les esclaves enchaînés au fond d'une caverne sombre au sujet d'ombres qu'ils voient passer et qu'ils prennent pour des êtres. Quand l'un d'entre eux, qui a pu rompre ses chaînes et aller au jour, revient pour détromper ses anciens compagnons, il ne rencontre que l'incrédulité. N'est-ce pas l'image de ce qui s'est passé pour nous tous qui sommes épris des sciences de la Nature ? Ne sommes-nous pas restés longtemps plongés dans l'obscurité, enchaînés par les préjugés héréditaires les plus tenaces ? N'avons-nous pas traité de fous ceux qui, par leurs efforts, étaient parvenus jusqu'à la lumière et nous décrivaient les êtres véritables qui se cachaient derrière les ombres que nous connaissions seules jusque-là ? La science expérimentale parviendra-t-elle enfin à faire tomber le dernier voile qui nous cachait la vérité ?

A une époque où le symbolisme tend à renaître, à ce qu'on prétend, l'histoire des premières évolutions des idées sur la transformation des êtres peut encore être étudiée avec fruit ; elle nous apprend à nous défier des mythes, et contre le mysticisme vague qui tend encore actuellement à nous envahir, nous ne saurions trop répéter la dernière parole de Goethe à son lit de mort : « De la lumière, plus de lumière. »

FIN

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE

1

INTRODUCTION

CHAPITRE PREMIER. IDÉES DE GOËTHE SUR LA VARIATION DES PLANTES. — Goethe en 1830. Débats de Cuvier et de Geoffroy Saint-Hilaire. La théorie de Goethe dans l'enseignement. Sa théorie véritable. Interprétations diverses de la pensée de Goethe. Réalistes et nominalistes. Darwin. Lamarck. Insuffisance des preuves actuelles du transformisme. Wolf. Généralisation de la théorie de Goethe. Programme tracé par Goethe vers la fin de sa vie. 5

PREMIÈRE PARTIE

CHALEUR

CHAPITRE II. FLORE POLAIRE ET FLORE TROPICALE. — Action du climat d'après Buffon. Répartition de la chaleur à la surface du globe. Opinions de Humboldt et de Darwin. Diverses flores observées sur les continents. Variations de la flore montagnarde. Caractères de la flore polaire. Caractères de la flore tropicale. Opinions de divers savants sur le transformisme. But du livre 17

CHAPITRE III. LA DURÉE DE LA VIE DES PLANTES EST MODIFIABLE. — Variations dans les contrées froides. Variations en latitude, en altitude. Durée de la végétation en Scandinavie. Procédés des horticulteurs pour allonger la vie des plantes. — Variations dans les contrées chaudes. Le Ricin peut être une herbe ou un arbre. Végétation ligneuse des îles. — Qualités et défauts des plantes herbacées et ligneuses. Supériorité des arbres 28

CHAPITRE IV. ÉPANOUISSEMENT DE LA VIE ARBORESCENTE DANS LES PAYS TEMPÉRÉS. — Caractères qui permettent le développement des arbres dans les pays à hiver rigoureux. Cas des arbres à aiguilles. — Chute des feuilles. Les arbres à feuilles caduques gardent leurs feuilles dans les pays tropicaux.

- Catinga au Brésil. Les Hêtres de l'Amérique du Sud. — Bourgeons. Extension de la théorie de la métamorphose. — Variations de la taille. Cultures expérimentales de M. Bonnier dans les Alpes et les Pyrénées. Les *Hieracium* de Naegeli 36
- CHAPITRE V. LES CARACTÈRES ACQUIS SONT HÉRÉDITAIRES. — Opinion de M. Weismann. Critique de la théorie de la sélection naturelle de Darwin. Expériences de culture de Schübler des céréales dans les pays froids. Blé d'automne et de printemps. Expériences des horticulteurs. Les sous-espèces bisannuelles de M. Murbeck. 46
- CHAPITRE VI. VARIATIONS DE L'ÉPOQUE DE FLORAISON. — Plantes euhrones, achrones, polychrones. Fleurs printanières, estivales, automnales. Succession des fleurs et des feuilles. Floraison à basse température. Phénologie. Sérotinisme. Inversions florales. Acclimatations 54
- CHAPITRE VII. VARIATIONS DE LA FLORAISON DEVENANT HÉRÉDITAIRES. — Une expérience qui a duré un demi-siècle. Marronnier du 20 mars. Races physiologiques. Le Lilas blanc. Races à floraison précoce ou tardive de M. Wettstein. 67
- CHAPITRE VIII. CHALEUR DANS L'EAU ET LE SOL. — Pourquoi les Algues marines sont gigantesques dans les régions polaires. — Distribution de la chaleur dans le sol. Versant nord et sud d'une montagne. Flore du Karst. — Phénomène paléothermal. Antiquité de la vie à la surface du globe 74
- CHAPITRE IX. CONCLUSIONS DE LA PREMIÈRE PARTIE. — Explication de l'apparition des caractères de la flore polaire et de la flore tropicale. Fixation des variétés, formation de races stables. Similitude de ces races et des espèces linéennes de la région polaire. Espèces de Jordan. Conséquences. — Objection tirée du croisement. Le critérium permettant de séparer les hybrides des métis n'est pas absolu. Espèces nouvelles issues de croisement. Définitions de l'espèce de Cuvier, de Quatre fages, de Lamarck. Une preuve dernière 82

DEUXIÈME PARTIE

LUMIÈRE

- CHAPITRE X. DISTRIBUTION ET RÔLE. — Répartition en latitude, en altitude et dans les profondeurs de la mer. Changements en un même lieu. — Influence de la lumière sur les fonctions. — Chlorophylle. — Nutrition chlorophyllienne. Sensibilisateurs. Eclaircissement continu. Nutrition pendant les nuits norvégiennes. — Chlorovaporisation. — Pigments des Algues. Distribution des Algues dans la mer. Grottes. Symbioses d'Algues et d'animaux. Animaux et végétaux des grandes profondeurs. *Halosphaera*. — Anthocyane. — La respiration et la lumière. Lien de la Physiologie et de la Morphologie. 99

- CHAPITRE XI. MOUVEMENTS DES VÉGÉTAUX ET ÉTUDE DE LA CROISSANCE. — Desmidiées. Volvox. Plagiophototropisme. Sensibilité chez les végétaux. Mouvements des feuilles. Froid nocturne. Influence de la lumière sur la croissance. Germination. Bactéries. Vaccins. — Plantes étiolées. — Plantes grimpantes. Causes produisant la vie grimpante 118
- CHAPITRE XII. ORIENTATION. — Phototropisme. — Tiges. Plantes parasites, plantes volubiles. Variations du phototropisme. — Racines. Plantes épiphytes. — Feuilles. Plantes compas. Forêts sans ombre. Plantes tropicales. Espèces ombrophiles. Espèces ombrophobes. Adaptations. — Feurs 131
- CHAPITRE XIII. LA FORME DES VÉGÉTAUX. — Dorsiventralité ou aplatissement. Etiolement. — Variétés ombrophiles. — Variétés septentrionales. Plantes à grandes feuilles de Norvège. — Plantes grasses. Atavisme. — Plantes épiphytes. — Cas des plantes aquatiques. — Plantes à rosettes de feuilles. — Tubercules et bulbes. Conditions de la réapparition des caractères ancestraux 142
- CHAPITRE XIV. LA STRUCTURE. — Dorsiventralité anatomique. Cas des branches. Cas des feuilles. Feuilles verticales Feuilles qui se tordent. Accélération métagénésique. Eucalyptus. — Lumière continue. L'anatomie et la classification. Changements des Pins 155
- CHAPITRE XV. MODIFICATIONS DES ORGANES REPRODUCTEURS. — Champignons des souterrains. — Algues et autres Cryptogames. — Phanérogames. Les fleurs à l'obscurité. Cleistogamie. Variations des pièces florales. Fleurs à l'ombre. Variations des fleurs avec la latitude et l'altitude. Zygomorphie. Fleurs et Insectes. — Rôle considérable de ce facteur La lumière et la chaleur sont complémentaires. La radiation. Idées de Pasteur sur la dissymétrie moléculaire. Que seraient les êtres vivants si la rotation de la terre s'effectuait en sens inverse ? 165

TROISIÈME PARTIE

PESANTEUR

- CHAPITRE XVI. LA PESANTEUR AGIT SUR LES VÉGÉTAUX. — Recherches de Knight. Géotropisme. — Géotactisme. Action de la pesanteur sur les organismes mobiles. — Action de la pesanteur sur la croissance. Expériences nouvelles sur les Champignons. Polarité d'une racine ou d'une tige. 179
- CHAPITRE XVII. VARIATIONS DU GÉOTROPISME. — Observation de Duchartre sur un Haricot. Circumnutation. — Palétuviers et plantes épiphytes. — Rhizomes et nœuds des Graminées. — Variations héréditaires. Arbres pleureurs. — Action de la lumière sur le géotropisme. — Action du milieu aquatique sur le géotropisme. — Phénomènes géonyctitropiques. 189
- CHAPITRE XVIII. ACTION DE LA PESANTEUR SUR LA FORME DES VÉGÉTAUX. — Zygomorphie de la fleur. Cas de l'Epilobe.

Zygomorphie essentielle et non essentielle. Dorsiventralité. Hypotrophie et épitrophie. Combinaison du géotropisme et de l'héliotropisme. — Organes plagiotropes, orthotropes. Feuilles épées. Plantes carnivores. — Epinastie et Nutation. — Isotropie et anisotropie. Rôle considérable de la pesanteur. 201

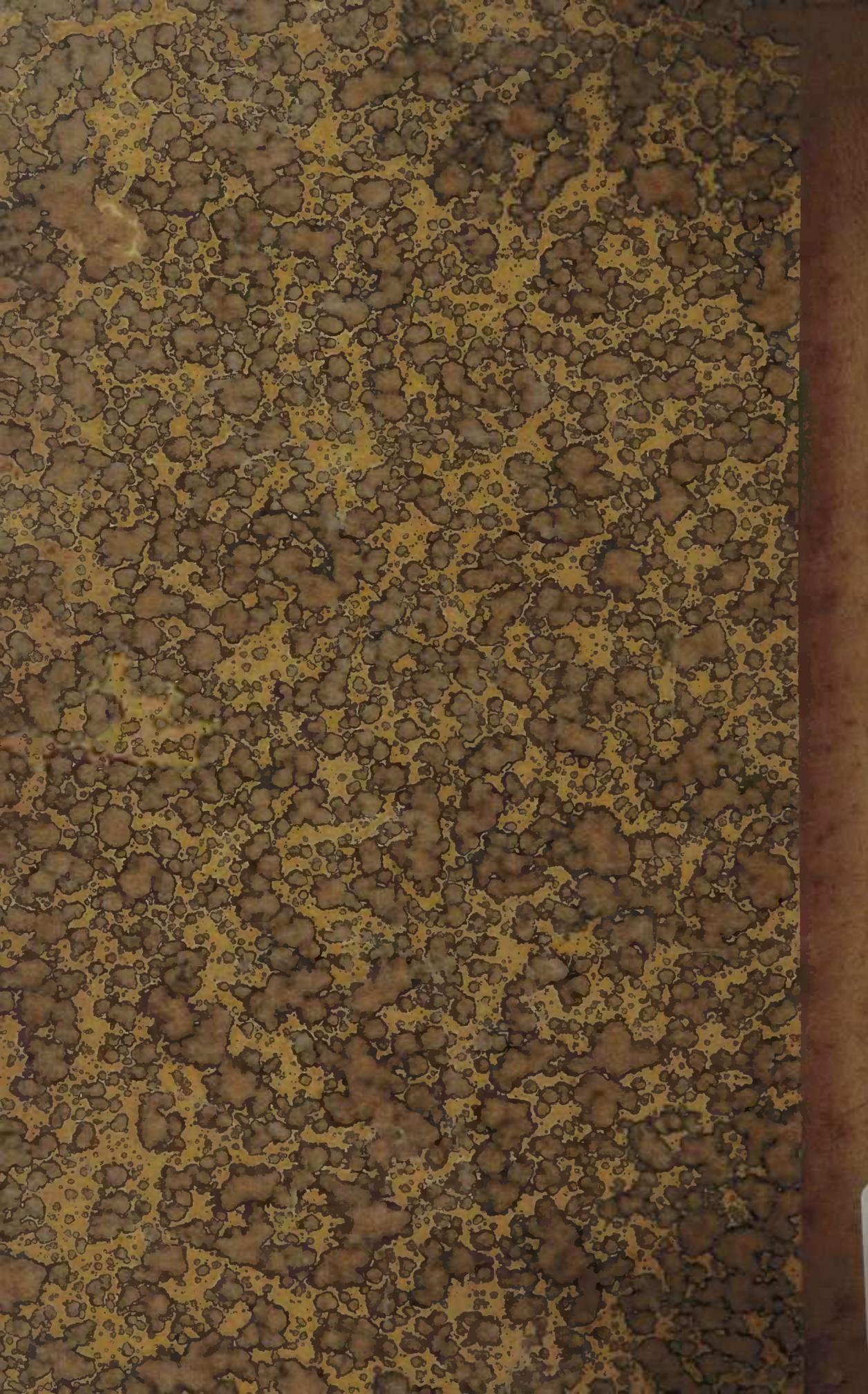
QUATRIÈME PARTIE

MILIEU AQUATIQUE

- CHAPITRE XIX. CONSTITUTION PHYSICO-CHIMIQUE DU MILIEU AQUATIQUE. — Adaptations à la vie aquatique chez les animaux. Nécessité d'une étude expérimentale. Avantages que présentent les plantes. — Gaz dissous dans l'eau. — Sol. — Chaleur. — Lumière. — Eau et matières en dissolution. 217
- CHAPITRE XX. FLORE DES MARÉCAGES. — Marécages de roseaux. — Marécages de Sphaignes et de Mousses. — Marécages des régions tropicales. Tissu ligneux aérifère. Aérenchyme. — Mangroves. 226
- CHAPITRE XXI. PLANTES AMPHIBIES DES RIVES. LIQUIDES AGITÉS. — Plantes amphibies des rives. Sagittaire. — Algues marines. Expériences de M. Ray sur le développement des végétaux dans les liquides en mouvements. Pelotes marines. Action des vagues sur les Algues 240
- CHAPITRE XXII. LA VIE NAGEANTE. — Plantes fixées au sol. Adaptations remarquables. Germinations. — Plantes nageantes libres. Avantages que présente la vie nageante libre. Passage de la vie fixée à la vie libre et inversement. Particularités qui favorisent la vie nageante libre 250
- CHAPITRE XXIII. LA VIE SUBMERGÉE. — Physiologie et structure des plantes submergées. Eaux tranquilles et eaux rapides. — Races de plantes submergées. — Plantes des cascades tropicales. Transformations des Podostémacées. — Plantes flottantes. Plantes carnivores. — Fleurs des plantes aquatiques. Vallisnérie. Zostère 261
- CHAPITRE XXIV. NOTIONS DE LA VARIATION DES ÊTRES VIVANTS DANS L'ANTIQUITÉ. — Antiquité de cette notion. Idées des anciens. Schliemann à la recherche de Troie. — Les vases de Mycènes. Les plantes et animaux figurés sur ces vases. Culte de Vénus Aphrodite. Le Poulpe sacré. — La légende de l'Oie bernache. — Vallisnérie. — Opinions des philosophes grecs. — Conclusion. 275

135316





ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais. Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

2. Atribuição. Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

3. Direitos do autor. No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente (dtsibi@usp.br).