



J. COSTANTIN



LES VÉGÉTAUX

ET

LES MILIEUX COSMIQUES

BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. **ÉM. ALGLAVE**

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

88 VOLUMES PUBLIÉS

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

- Roché. LA CULTURE DES MERS EN EUROPE (*Pisciculture*, 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.
- Niewengłowski**. LA PHOTOGRAPHIE ET LA PHOTOCHEMIE, 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 AURORES 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, 2e 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 »
- L. **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. Faisan. 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, 3e 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 ligures.

LES
VÉGÉTAU X

ET

LES MILIEUX COSMIQUES

(ADAPTATION - ÉVOLUTION)

PAR

J. COSTANTIN

Maitre de Conférences à l'Ecole normale supérieure

AVEC 171 GRAVURES DANS LE TEXTE

PARIS

ANCIENNE LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET

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 É796, 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 illusoires et triomphes 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 proscribions 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'exagérerait-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, (lisait 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 reflourir, 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 Goethe 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 Goethe. 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 Goethe, et vous pouvez vous faire une idée de ce que j'ai éprouvé à la nouvelle de la séance

du É9 juillet (É). 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

(i) 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 183É, 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 l(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 Goethe 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 Goethe 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 Goethe 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. Goethe, 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*. » Goethe, 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

(É) OB peut consulter aussi les travaux de **Hanstein** (1882), Schmitz, etc.

qui a été défendue en particulier en 186 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 rétrogradé 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) FERRER, au XVIII^e siècle, un des prédécesseurs de Goethe, avait déjà .qualifié cette étude de *dangerouse 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., 36É).

(2) La première édition de *Theorie 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'oeil, 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 (É) 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) 0 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 « clans 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), Goethe 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 Goethe 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, Goethe 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'enfantement, cette idée lui donne « les plus beaux moments de sa vie » ; nous la suivons à travers ses oeuvres 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 oeuvres littéraires.

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

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 Goethe 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 mammouth. « 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'oeil sur la carte ci-jointe (fig. 1), sur laquelle on a marqué l'aspect de la végétation à la surface du globe au ^{ter} 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. I.— État de la végétation au 1^{er} janvier. — Région blanche où la végétation est complètement arrêtée. — III Traits verticaux, région où la végétation venait en avril. — • Petit pointillé, région désertique. — = Traits horizontaux, végétation tropicale épanouie toute l'année, sauf pendant la saison sèche. — *** III. Petites croix et traits verticaux coupés, 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. — E 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 h ii 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

(i) 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).

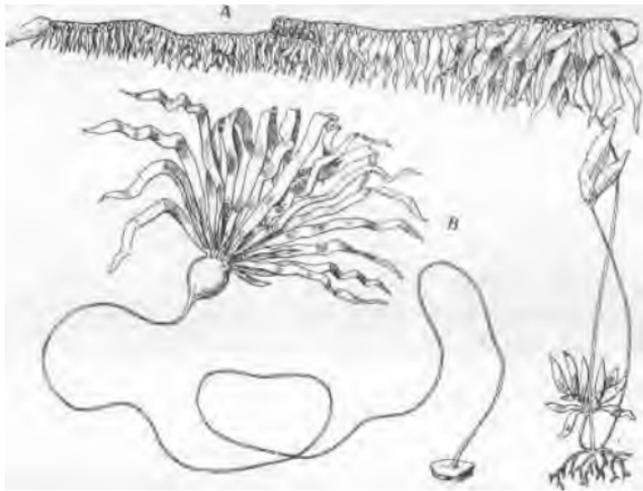


FIG. 3 et 4. — A, *Macrocyste* ; B, *Nereocyste*.

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 (les 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 **distri-**
buant 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°	0
— de Christiania	59°,55'	45 / 0
— de Listad	61°,40'	30
		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 0/0
De 600 ^m à 1.800 ^m	33 0/0
De 1.800 ^m à la neige persistante	6 0/0

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.



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

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

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 . . .	Go'	245 —	2É3 —
Jemtland . .	63°	2É9 —	É64 —
Laponie...	67^	É87 —	É39 —

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 presque 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 dévient bisannuelle ou vivace. Cette explication nous fait entrevoir l'origine de la variation, mais elle n'élucide 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 $É9^{\circ}$ 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 **tremperés**, 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 Cyprés, 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 **com-**
prendre 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,

turc 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 (i).

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-

(i) D'après M. MASSART.

lance 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 (*Platygianthus 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 **BORDAS** 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 (*Nolofagus*), 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 monstruosité confirme entièrement les résultats précédents. M. Goebel 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. Goebel 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. Goebel a donc prouvé expérimentalement que l'on peut transformer réellement une écaille en une feuille.

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

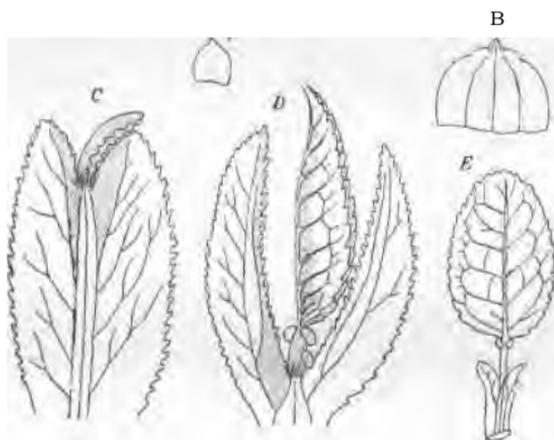


Fig. 6 à 10. — Dessins représentant, d'après M. Goebel, les passages des écailles du bourgeon du *Prunus Padus* aux feuilles normales : A, écaille externe, la petite pointe du sommet est l'ébauche du limbe; B, écaille plus interne, la pointe du limbe est plus accusée, les stipules s'ébauchent de part 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 épaississements sont d'ailleurs moindres sur les écailles internes.

Le changement que nous avons signalé dans l'aspect extérieur des écailles, d'après M. *Gœbel*, 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 rabougré. 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. « **Oue** le ciel me préserve du non-sens de Lamarck, écrit-il à Hooker en 1844. » — « Les oeuvres 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, (lit 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 (le générations (É).

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

(i) Darwin lui-même avoue dans *l'Origine (le 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 (lui 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 *comment* 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 É4) 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

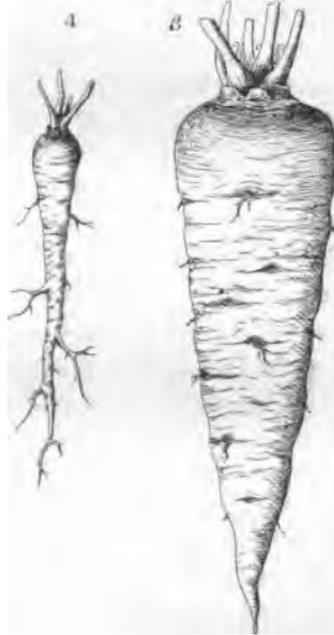


FIG. 13 et 14. — A, partie souterraine d'une Carotte sauvage; B, partie souterraine d'une Carotte cultivée.

(1) HODGET, dans l'Amérique du Nord, a également raccourci la vie du Maïs de 6 semaines. OB 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 *Gentiane 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 Bon 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 Gerai te des Alpes reprend la livrée du Céraiste des champs, et la Betoine hérissée des hauts sommets se rapproche, en modifiant ses caractères, de la Betoine 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

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 Ficaires, 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

(É) **TOMASCHEK.**
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 (É).

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

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 superbus,
Gentiana Germanica.

Les *Solidago*,
Les *Parnassia*.

Au lieu de nous déplacer en latitude, déplaçons-nous en longitude. Comparons l'éclosion (lu 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
49° 49' 50-51° 52-53° 59-60°	Paris Bruxelles .. Osnabruck Christiania	" 13 j. 20 43	Presbourg. Prague ... Varsovie ..	45j. 46 52	Sarepta ... Kiew Orel Pulkowa ..	53j. 55 66 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 régnent 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. t).

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. i5. — 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 de 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. Traits inclinés et pointillé, région où la floraison a lieu du 20 au 30 avril.

humide) que clans l'est (climat sec), comme de juste pour une même altitude et longitude (t).

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 Etats-Unis et en Europe sur des latitudes différentes (2).

AMÉRIQUE DU NORD	LATITUDE	EUROPE	LATITUDE	DIFFÉRENCE de latitude
New Albany	38° 17'	Dijon	47° 00'	9° 2'
Belle Centre	40° 28'	Heidelberg	49° 28'	9°
New York	40° 42'	Marbourg	50° 47'	16° 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 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 MARILAUN.
- (3) HOFFMANN en a dressé de semblables.

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

Aconitum variegatum;

Allium ochroleucum;

Heracleum sphondylium;

Aster Amellus;

Gen liana Pneumonanthe.

M. Krasan dit, dans ce cas, que le *sérolinisme 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, *Hypericum perforatum* rentrent dans ce type.

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

3° Certaines espèces peuvent enfin présenter un *sérolinisme variable*. Positif dans le nord de l'Europe, le *sérolinisme* 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

(z) 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 persicifolia*, 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 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* (i), 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. Krasan. 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

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 (I).

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 **sérolinisme** positif n'existe pas pour les plantes d'origine polaire ou septentrionale et que le **sérolinisme** négatif ne se présente pas pour les plantes tropicales ou équatoriales. Il est amené à croire enfin, pour les espèces à **sérolinisme** 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.

(i) 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'*A cacia 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 clans 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 É870, 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'*A cacia* 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 floraison 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 cernas*) ; pour la première espèce, les formes blanches fleurissent en moyenne seize jours plus tôt que les formes jaunes (douze années (l'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 *Papayer alpinum* (2) (fig. 16) a une variété à fleurs jaunes très stable



FIG. 16. - *Papayer alpinum*, forcée 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 5 à 20° ne suffit pas en général pour obtenir ce résultat à coup sûr.

(2) Les expériences d'Hoffmann sur le *Papayer 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 (*rhœticum*, *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 A 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 (i). 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'*Ailium 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 3^E 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.

(i) 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'Odontiles cerna est le type primitif de deux formes dérivées (*serolina* 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 serolina*, de *Chlora serolina*, 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*, *Odontiles*, *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).

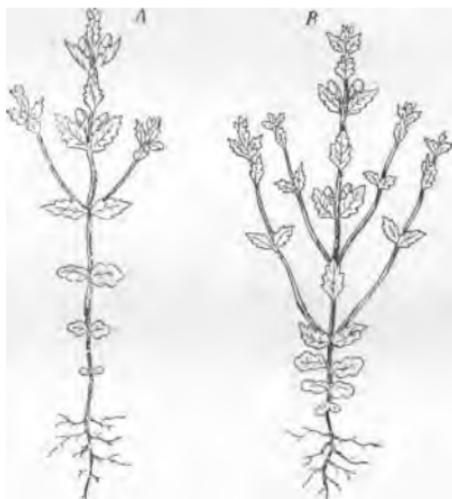


Fig. 17 et 18. — Deux races dérivées d'une forme primitive d'*Euphrasia* : *A*, représentant de la race précoce; *B*, représentant de la race tardive.

Par exemple, on peut isoler les types suivants :

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 Gremli.
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 faciès des espèces tardives qui ont, par contre, des aspects semblables.

Une Gentiane précoce comme une **Euphrasie** précoce ont un appareil végétatif réduit, car la tige est peu ramifiée et les premiers entre-noeuds sont longs ; les formes tardives de ces deux genres ont, au contraire, la ramification riche et les premiers entre-noeuds 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

(i) Les plantes grimpantes (en particulier les Rotangs ou *Calamus*) dans les régions chaudes peuvent seules rivaliser avec les *Macrocystes*.

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-

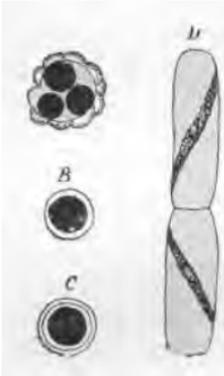


FIG. 19 et 20. — A, B et C, divers aspects de la neige rouge ou *Spherella aimais*; D, aspect de l'*Ancydonema Nordenskiöldii*, qui s'observe aussi dans les champs de neige.

leur de sang formées par multiplication extraordinaire d'une Algue, le *Spherella nivalis* (i) (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 (les 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
É5°,3	17°	18°,7	20°	19°,3	18°,3	18°,5	15°

De ces différences dans la température du sol, il résulte

(E) 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 (les 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'Altsch 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°,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 grimpeante, 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 reclusa*), 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 (l'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'oeil 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*, A son ombre végèteront une multitude de plantes qui s'étioleront et deviendront grimpanes. 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 *raças*.

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 lulea* 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 cerna*, 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 (i).

(É) Ce savant a communiqué à M. DE QUATREPAGES 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 (É). 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 (les 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 cerna*.

Ces résultats curieux ont été vérifiés par plusieurs savants : Horeau 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*, *Daguet*, *depressum*, *Lecoquii*). Les caractères, principalement ceux (le 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 jordaniennes 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 (lire, 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, *races 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 (t).

« 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

(i) 11 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 ouata*? Fabre a montré que l'*Egilops triticoides* résulte du croisement de ces deux plantes; en fécondant de nouveau cet hybride avec le pollen du froment, Godron a obtenu l'*Egilops speltaformis* 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*, *Papayer*, *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 (É). En effet Godron écrivait : « *L'Ægilops speltæformis* 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), mi 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.

l'homme (*Triticum salivum*, 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. salivum* (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. Du.. chartre 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. salivum* 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 in flata* (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 superbus* 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 réciproque 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 *Nicoliana paniculata* pollinisé par le *N. Langsdorffii* donne des graines ; le *N. Langsdorffii* 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. saliva*) 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 clans 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 clans 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 (le l'espèce, à mesure que la critique en sapaît 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 (l'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 :

É° Sur la faible fécondité des hybrides ;

° 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 (I).

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

20 *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 **Parthé** 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*

(i) *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 ^hm
50°15 ^h 45m
55°16 ^h 34 ^m
60°17 ^h 44 ^m
65°19 ^h 41m
68° 30'	<u>24h</u>

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 croit de 120 ; au nord de cette même presqu'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 :

POLE NORD	62° NORD	43°,5 NORD	ÉQUATEUR 66°,5 SUD
É.203	É.092	1.É09	881 

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 climatiques nettement caractérisées.

Les physiciens (i) 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'"	1 ^c ,745
Glacier des Bossons . . .	— 1.200 ^m . . .	2 ^c ,022
Grands-Mulets	— 3.050 ¹ ° . . .	2 ^c ,262
Sommet du mont Blanc	— 4.810 ^m	2 ^c ,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.

(i) M. **VIOLLE**, en particulier.

(2) Ce dernier résultat découle des recherches de M. **OLTMANS**.

(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 (i), 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 (le 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) BÖHM.

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.

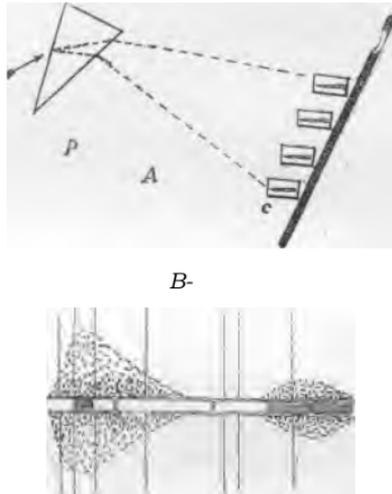
Le premier a donné une démonstration de ce principe en décomposant un rayon solaire par un prisme, et en faisant tomber les lumières de diverses couleurs sur des feuilles de Bambou placées dans des auges plates (fig. 25 A) ; partout où

(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 (É) 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.



Fia. 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.

(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 (l'**oxygène** dans la partie bleue du spectre une méthode nouvelle et très délicate.

M. Timiriazeff a comparé la chlorophylle à un *sensibilisateur*; on désigne ainsi des corps ayant la propriété (l'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 (É).

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-

(É) *Expérience* de Paul BERT et de M. REGNAULT.

brièvement. 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

sulfats curieux concernant la distribution de ces végétaux dans la mer ont été confirmés par **ØErsted** en É844.

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 **phycocérythrine**, 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

$\frac{A_b}{A_r}$

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

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

Pour les Algues rouges, l'assimilation dans le bleu (i) 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

(i) 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 (É). 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**

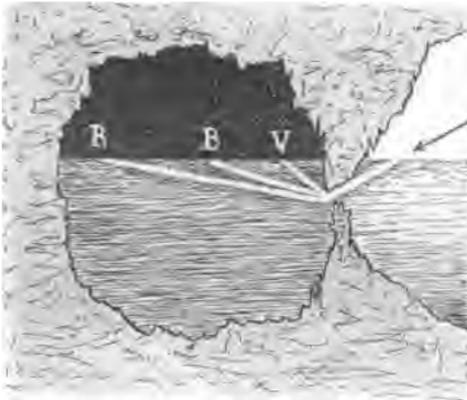


FIG. 27. — Grotte éclairée par un orifice qui est sous l'eau. V, partie superficielle de l'eau où prédominent les Algues vertes; B, région où sont surtout les Algues brunes; R, région où n'existent plus que des Algues rouges.

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) OB 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 (les 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 *Catlegal*, 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. OLTMANN 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

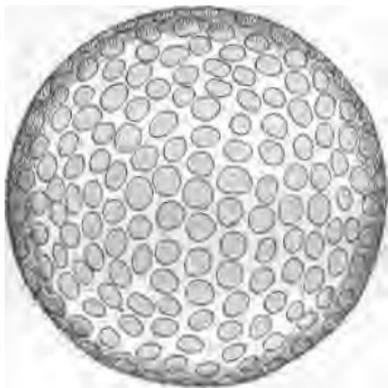


Fig. 28. — *Halosphaera viridis*, Proto-coccoidée trouvée entre 1.000 et 2.000 mètres de profondeur dans la mer.

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 ?

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 abon-

dent ; 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-coccoidées (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

(i) Quelquefois dans les tissus plus profonds.

1É4 LUMIÈRE

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

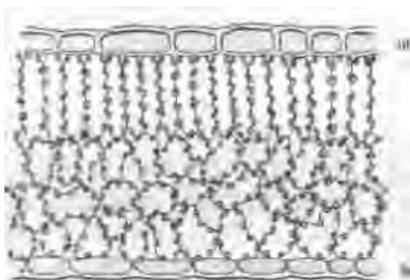


Fig. 29.— Section d'une feuille pourpre de Hêtre dans laquelle l'anthocyane an est localisée dans l'épiderme.

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, BATA-LIN, 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 trilactylites*). Enfin dans les montagnes, des espèces de teinte foncée, d'un violet pourpre presque noir, comme les *Carex nigra* et *atrata*, *Juncus Jacquini*, 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 (l'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 à 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. Elfvig a obtenu sur cette question des résultats très intéressants. En nourrissant des moisissures comme le *Penicillium* 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 l'*Halosphaera 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'oeil 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 *Volvoques* (fig. 3É), un prisme fait à l'aide de lames de verre entre lesquelles on a coulé de la

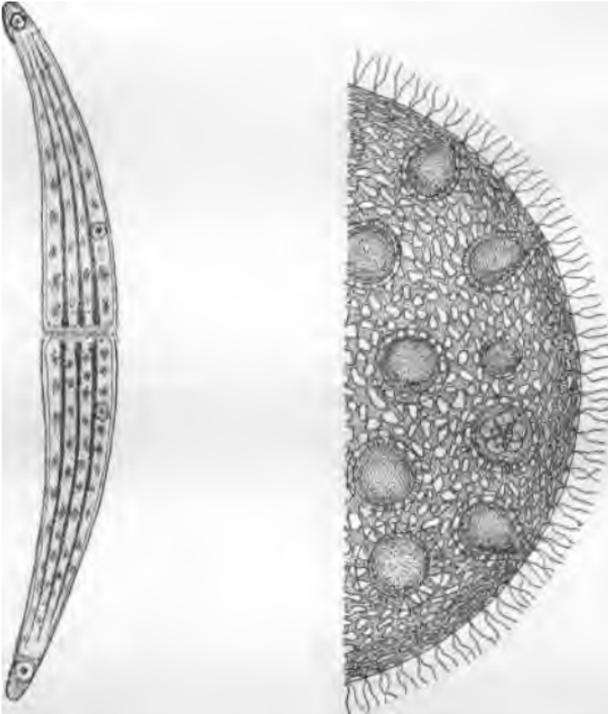


Fig. 30.— *Closterie*,
Algue mobile du
groupe des *Des-*
midées.

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 *Volvoques*, 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 *aséxués* ; 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 oeuf, au contact de la pierre sur laquelle ils doivent se développer (2).

Que conclure de ces expériences sinon qu'il y a une sorte (le 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 Lamarck, 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. Bout.

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

(1E) 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 le uns derrière les autres, accolés contre la paroi perpendiculaire à la surface de la feuille ; à l'ombre, ils abandonnent partiel-

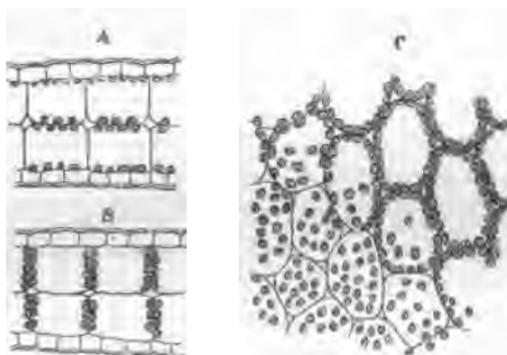


Fig. 32, 33 et 34. — A, position de nuit; B, position de jour; C, vue superficielle d'une feuille dont la partie droite et supérieure est éclairée, et dont la partie gauche et inférieure est dans l'ombre.

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

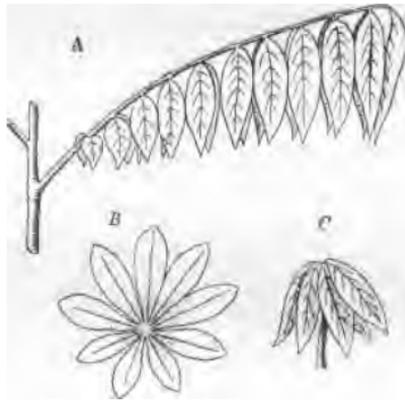
A côté des deux sortes de mouvements précédents qui sont nettement (lus à l'irritabilité protoplasmique, nous devons en signaler une troisième ayant une tout autre cause.

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 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,



Fin. 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

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

(É) 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 survivance 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 **chlorovapori-sation**. 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 *Duvallia* 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. *Elfvig* a montré qu'une lumière intense (lumière du soleil (le 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. *Elfvig* 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 (le 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 pro-

bablement 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

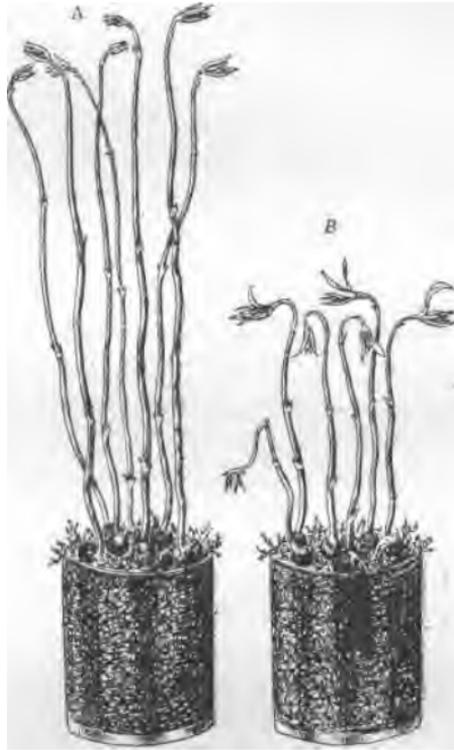


FIG. 38 et 33. — Deux germinations de Vesce l'une faite à l'obscurité, A ; l'autre à la lumière, B.

(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 grimpanes.

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 grimpanne, 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 spirale 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*, *Tropaeolum*) 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.

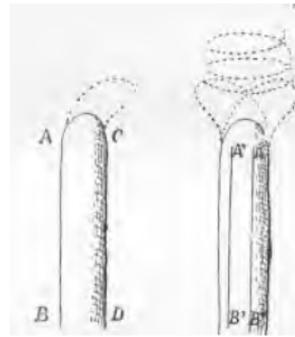


Fig. 40 et 10. — **Circumnutation**. Dessin de gauche : la génératrice B s'accroît plus que la génératrice CD , l'extrémité de la tige s'infléchit à droite. — Dessin de droite : la génératrice de plus grande croissance se confond successivement avec $A'B'$... $A''B''$..., le sommet de la tige décrit 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 croit 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. 4a 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 favorisant

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 CI), la tige va donc s'incliner vers la lampe (voir la figure 40, p. É29). 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 physiiciens (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 $\frac{1}{\text{É}0.000.000}$ 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.



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

C'est l'adaptation ordinaire des végétaux à la radiation.

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 (le 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

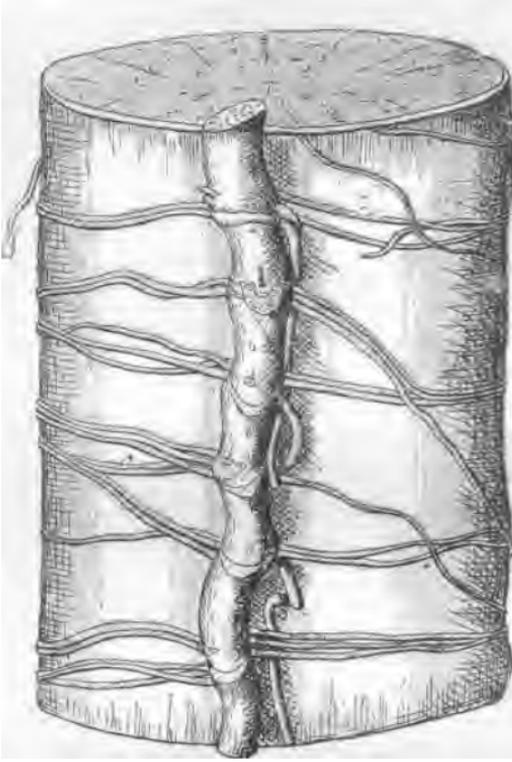


FIG. 45. — Plante épiphyte (*Philodendron*) fixée sur une branche. La tige de l'épiphyte est au milieu du dessin ; elle émet : 1° un certain nombre de racines *fixatrices* qui entourent la branche support, qui forment d'étroits cordons horizontaux ou faiblement obliques dans le dessin ; 2° un certain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

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

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-

(1) FIGOR.

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 (le 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. Palladin 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* (É) 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'*épïnastie*. 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.

(É) 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 turgescents, 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 **Singapoore**; cependant la chlorophylle est détruite régulièrement dans les feuilles périphériques, et l'on 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 (le 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 (le 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 MARILAUN.

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 (i) 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 précé-
dente se vérifie encore. Quand la lumière arrive par en des-
sous, la **cloison** est encore perpendiculaire au rayon, mais le
rhizoïde cette fois s'accroît vers le bas. Cette dernière parti-
cularité tient peut-être à l'action de la pesanteur ou à une in-
fluence héréditaire. Il n'y a d'exception à ces règles que dans

(1) STAHL.

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 phototropique, 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 archéogones et les rhizoïdes apparaître sur la face qui se trouve à l'ombre. Vient-on à éclairer horizontalement, la surface du thalle devient verticale et porte des poils et des archéogones du côté opposé à la source lumineuse (1).

Cependant, si des prothalles ont déjà ébauché leurs archéogones 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 archéogones 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).

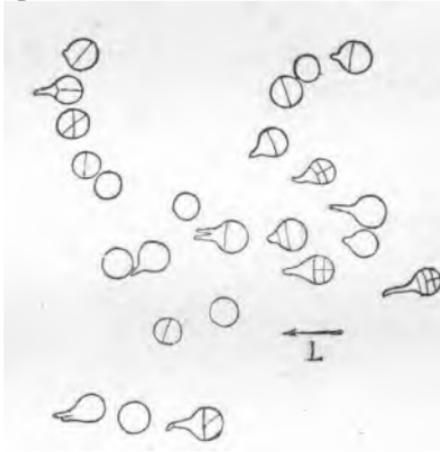


FIG. 49.—Œufs de *Fucus*. Germination sous l'influence d'un rayon lumineux arrivant dans la direction de la flèche.

(1) LEITGEB et PRANTL.

(2) D'après M. HEINRICH. 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 (é).

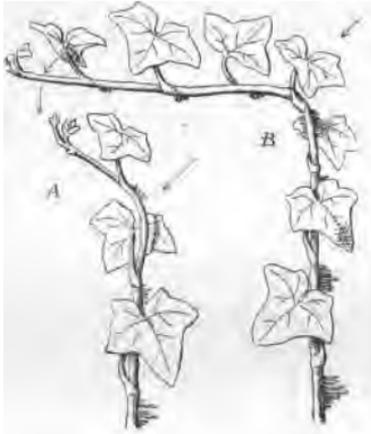


FIG. 50. — Lierre. A, pied qui était appliqué sur un mur par sa face droite; placé verticalement, il s'infléchit pour fuir la lumière qui arrive dans la direction de la flèche. B, le pied précédent au bout d'un certain temps, la pousse nouvelle est horizontale et les racines crampons se forment sur la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

(a) 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. log, p. 2É1).

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).

Pour l'*Anthyllis*, la dorsiventralité s'accuse par l'inégalité des folioles (fig. 5É'). 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.



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

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.

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



Fig. 51'.— *Anthyllis*, les folioles sont plus petites en dessus.

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 pannuoides*, 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 *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 (lui 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 (É) : 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°,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°	20°
{ Largeur des feuilles. . .	9°	12°

(1) D'après M. GENEAU DE LA MARLIÈRE.

(2) D'après M. FLAHAULT.

Les mesures comparatives faites à *Saltenfjord*, en Norvège à 67°É5, 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 alpine*) (É).

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 épi-phytes.

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 **el** 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

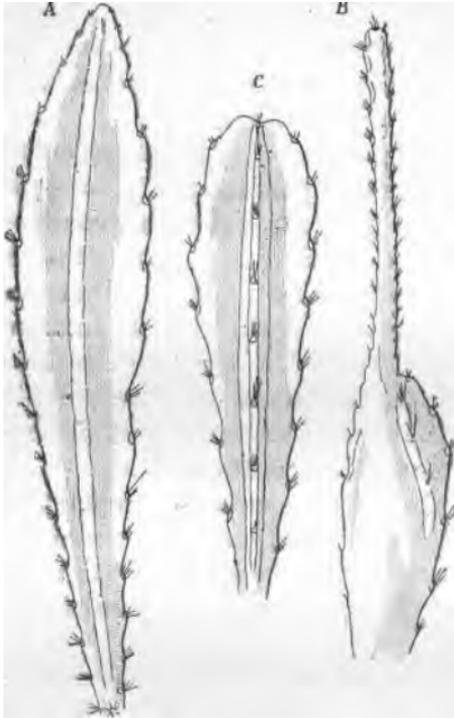


FIG. 53, 54 et 55. — *Phyllocactus*. A et C, pousses plates et anguleuses développées à la lumière; B, la partie supérieure de la tige développée à l'obscurité à une autre forme cylindrique.

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 paradoxe*, 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-

possible 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-

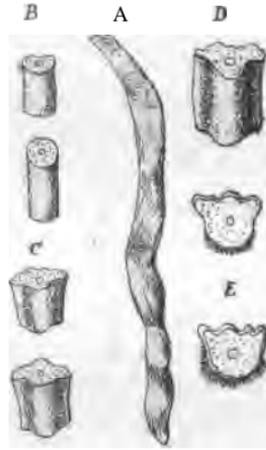


FIG. 56 et 57. — A et D, racines de *Phalenopsis amabilis*. A, racine aplatie développée à la lumière. B, 1^r dessin, section de la précédente. B, 2^e dessin (au-dessous), représente la racine précédente développée à l'obscurité. — *Aeranthus fascicola*, C et D, racine moins aplatie développée à la lumière; 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. t 1 et 12). M. Wiesner a également montré que la lumière ou l'ombre peuvent contribuer à le faire apparaître ou disparaître.

(É) 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. *Vöchling* 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 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.
