répand de proche en proche dans le tissu de l'albumen : le cotylédon agit à distance, comme on l'observe dans la germination du Blé, du Seigle et, en général, des Graminées.

Si on remarque que la plupart des réactions chimiques qui ont pour objet de digérer les réserves accumulées dans la graine consistent soit en oxydations avec élimination d'anhydride carbonique et d'eau, soit en dédoublements ou en hydratations, on peut s'expliquer à la fois l'accroissement d'intensité du phénomène respiratoire, la modification qu'éprouve la nature de ce phénomène et, enfin, la diminution de poids sec subie par la graine.

Limites de la période germinative. — Comment peut-on fixer les limites de la période germinative? Elle commence évidemment au moment où on fournit à la graine les conditions nécessaires à son passage de la vie ralentie à la vie manifestée. Il est moins facile de préciser le moment où elle prend fin. Doit-on dire que la germination cesse au moment de la première apparition de la chlorophylle dans la plante nouvelle, c'est-à-dire dès que cette plante devient capable d'élaborer elle-même, aux dépens de l'anhydride carbonique, les substances hydrocarbonées nécessaires à son développement? Mais la première apparition de la chlorophylle est souvent très précoce et suit presque immédiatement la première déchirure du tégument. Il semble préférable de fixer pour terme à la période germinative le moment où les dernières réserves accumulées dans la graine ont été digérées. A partir de ce moment, la jeune plante, maintenue dans les conditions où elle s'est jusque-là développée, ne tarderait pas à dépérir faute d'aliment; pour la voir achever son évolution et porter des fleurs et des fruits, il serait nécessaire de la transplanter dans un sol plus nutritif, par exemple dans la terre.

Développement total de la plante. — Le développement total de la plante, à partir de la germination, ne suit pas une marche identique dans toutes les espèces.

Chez le Haricot, le Ricin, le Blé, etc., la plante provenant de la germination d'une graine parcourt en une seule saison

toutes les phases de son développement : elle produit des fleurs, des fruits et des graines; après la dissémination de celles-ci, la plante meurt. Ces espèces, ne vivant qu'une année, sont qualifiées d'*annuelles*.

On appelle espèces *bisannuelles* celles qui emploient deux années à parcourir toutes les phases de leur développement. Dans l'année de la germination, la jeune plante porte des feuilles, mais ne produit pas de fleurs. A l'automne, les parties aériennes disparaissent et la plante se réduit à ses parties souterraines, qui peuvent être des racines ou des rhizomes. Celles-ci passent l'hiver dans un état de vie ralentie comparable à celui d'une graine mûre. Au printemps suivant, la plante reprend son activité : de nouveaux organes aériens, des tiges et des feuilles, se forment aux dépens des réserves accumulées dans les parties souterraines ; puis paraissent des fleurs, qui fournissent plus tard des fruits et des graines. Après la dissémination des graines, la plante meurt. On peut citer, parmi les espèces bisannuelles, la Carotte et la Betterave.

On nomme *espèces pluriannuelles* celles dont le développement total dure plus de deux années, mais qui ne produisent qu'une fois des fleurs, des fruits et des graines et meurent après la dissémination des graines. On peut les réunir, avec les espèces annuelles et bisannuelles, sous le nom d'*espèces monocarpiques*. Toutes les plantes monocarpiques ont des tiges molles ou, comme on dit, *herbacées*.

Les espèces *vivaces* ou *polycarpiques* sont celles qui survivent à la formation d'une première série de fleurs, de fruits et de graines et qui en produisent d'autres dans le cours de leur développement. Parmi les plantes polycarpiques, il en est d'herbacées : elles se conservent d'une année à l'autre par des organes souterrains, qui deviennent le siège de réserves nutritives; tels sont les rhizomes de l'Iris et les tubercules de la Pomme de terre. Les autres sont *ligneuses*; ce sont les arbres, arbustes et arbrisseaux, qui se conservent pendant l'hiver par des organes aériens : c'est la tige, dépouillée ou chargée encore de feuilles, suivant qu'elles sont

caduques ou persistantes, qui devient un organe de réserve

Variations de la respiration pendant le développement. — L'étude physiologique du développement total de la plante exigerait, pour être complète, que nous passions successivement en revue les divers phénomènes dont la plante est normalement le siège et que nous examinions comment varie chacun d'eux aux diverses périodes de la végétation. Ne considérons, pour simplifier, que le phénomène respiratoire.

Si on étudie, à l'aide des méthodes dont nous connaissons l'emploi, la manière dont varie l'intensité du phénomène respiratoire pendant toute la durée du développement de la plante, on reconnaît que cette intensité est en rapport direct avec l'importance des phénomènes biologiques dont la plante est le siège. On observe, par exemple, qu'elle présente des valeurs maxima pour toutes les périodes pendant lesquelles la plante forme des substances de réserve ou les consomme, en particulier pendant la période de maturation des fruits et des graines ou pendant la période de germination. Dans ces deux cas, en effet, la plante est le siège de réactions chimiques dont l'intensité explique l'importance que prend alors le phénomène respiratoire.

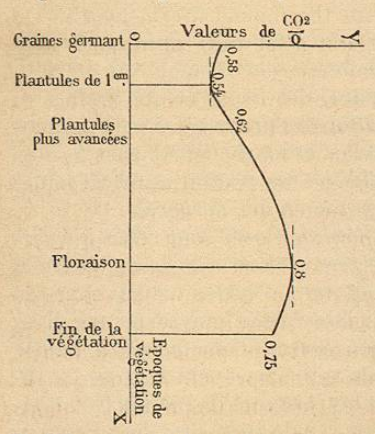

Fig. 388. — Courbe schématique représentant les variations du quotient respiratoire avec l'âge de la plante.

Quant à la nature de ce phénomène, elle est aussi très variable avec l'état de développement de la plante. C'est ainsi que le quotient respiratoire $\frac{CO^2}{O}$, sensiblement inférieur à l'unité au début de la germination, quand la graine consomme ses

réserves et qu'elle est le siège d'oxydations intenses, se rapproche plus tard de l'unité, peut dépasser cette valeur et lui devenir sensiblement supérieur quand la plante constitue des réserves, soit dans son appareil végétatif, si elle renfle en tubercules ses racines ou ses tiges souterraines, soit dans son appareil reproducteur, au moment de la formation des fruits et des graines. On peut ainsi dresser une courbe représentative des variations du quotient respiratoire avec le développement (*fig.* 388) : il présente des maxima pour toutes les périodes qui correspondent à une formation abondante de substances de réserve, en d'autres termes, pour toutes les périodes où dominent les phénomènes de réduction; les minima correspondent, au contraire, aux périodes pendant lesquelles sont consommées des réserves, aux périodes d'oxydation, en un mot.

La chaleur végétale. — On sait que les phénomènes physiologiques dont le corps des animaux est le siège ont pour résultat de dégager une certaine quantité de chaleur, qui est souvent sensible au thermomètre. On peut se demander si l'organisme végétal n'est pas, lui aussi, le siège de phénomènes calorifiques.

Il fut un temps où les organismes animaux étaient les seuls auxquels on crût devoir attribuer la faculté de produire des phénomènes d'oxydation; on admettait alors volontiers que les organismes végétaux seraient essentiellement réducteurs. C'était là une notion beaucoup trop simple. Parmi les nombreuses transformations que subissent les principes immédiats du corps de la plante, il en est de natures très diverses : elles peuvent consister en réductions ou en oxydations, en déshydratations ou en hydratations, en dédoublements, etc. Chacune de ces réactions, considérée isolément, peut absorber ou dégager de la chaleur; elle peut être endothermique ou exothermique. Si la formation d'une substance de réserve est une réaction endothermique, inversement la digestion de cette même substance est exothermique. On a donc le droit de penser que, tout compte fait, l'organisme végétal peut quelquefois produire de la chaleur.

Les échanges extérieurs les plus généraux, tels que l'absorption d'oxygène et l'émission d'anhydride carbonique, ayant frappé tout d'abord les chimistes et les physiologistes, on s'est demandé s'ils ne pouvaient pas être en rapport direct avec les phénomènes de thermogénèse. On s'est proposé, par exemple, de mettre en évidence, s'il était possible, l'élévation de température qui coïnciderait avec le surcroît d'intensité de la respiration aux moments de la germination des graines ou de la floraison.

L'expérience est facile à réaliser avec des graines en germination (*fig.* 389). On dispose côte à côte, sur deux éprouvettes à pied, deux entonnoirs qui renferment des lots équivalents de graines de même espèce humectées d'eau. Celles du premier lot (B) ont été privées de leur pouvoir germinatif par l'action d'un anesthésique; celles du second lot (A) sont en voie de germination. Deux thermomètres absolument comparables ont leurs réservoirs plongés l'un dans le premier lot, l'autre dans le second. On observe toujours une différence sensible entre les indications fournies par ces deux thermomètres : la température des graines en germination (T) dépasse toujours sensiblement celle des graines qui ne germent pas (t); la différence est, par exemple, de 10° à 12° chez le Blé, de 6° à 7° chez le Maïs.

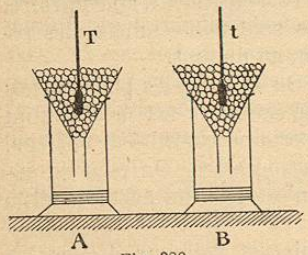

Fig. 389.

On peut, de même, rendre sensible au thermomètre le dégagement de chaleur qui accompagne la maturation des anthères dans les fleurs de certaines Aroïdées : c'est ainsi qu'au sommet d'une inflorescence d'*Arum maculatum* on a pu observer, au moment de l'anthèse, un excès de 10°,4 sur la température extérieure.

Ces expériences offrent, sans doute, un grand intérêt; mais il n'est évidemment plus possible d'attribuer à une cause

aussi simple que la formation d'une certaine quantité d'anhydride carbonique, le dégagement de chaleur qu'elles mettent en évidence. On sait maintenant que l'échange respiratoire, pour nous borner à cet exemple, ne représente que les termes extrêmes d'une chaîne complexe de réactions qui se produisent à l'intérieur des tissus, et il est impossible d'admettre *a priori* que la mesure extérieure du phénomène simple de combustion auquel semble correspondre l'échange respiratoire, puisse être proportionnelle à la quantité réelle de chaleur dégagée qui résulte de l'excès des réactions exothermiques sur les réactions endothermiques.

Quand une graine germe, elle consomme ses réserves; c'est, nous le savons, par des phénomènes d'oxydation, de dédoublement et d'hydratation, que la plupart des substances de réserve passent à l'état assimilable. Les réactions chimiques qui se produisent alors dans la graine peuvent donc alimenter trois sources de dégagement de chaleur : 1° la chaleur qui résulte de la formation de l'anhydride carbonique émis; — 2° celle qui résulte de l'oxydation que subissent certaines substances, grâce à l'excès d'oxygène absorbé sur l'anhydride carbonique émis; — 3° celle qui, indépendamment de toute oxydation, résulte des dédoublements et des hydratations.

On voit qu'il était nécessaire de mesurer directement, par des méthodes calorimétriques, ainsi que l'a fait récemment M. G. Bonnier, les quantités de chaleur dégagées par les graines en voie de germination. En comparant ensuite ces quantités à celles qui résulteraient d'une simple formation d'anhydride carbonique aux dépens de tout l'oxygène absorbé, on pouvait tenter de mettre en évidence la réalité des deux autres sources de chaleur.

C'est en appliquant ce procédé de recherches à un grand nombre d'espèces de graines en germination ou de fleurs arrivées à la période de l'anthèse, que M. G. Bonnier a pu établir les conclusions suivantes.

La quantité de chaleur dégagée pendant le même temps par un même poids d'une plante, à la même température initiale, varie avec l'état de développement de la plante. Un

maximum se produit pendant la première partie de la période germinative, un autre maximum dans la fleur après l'anthèse.

Pendant la première partie de la période germinative, la quantité de chaleur mesurée est supérieure à celle qu'on obtient en calculant la chaleur de formation de l'anhydride carbonique produit par la plante pendant l'expérience; elle est même supérieure, en général, à la quantité de chaleur qui serait due à la formation d'anhydride carbonique par tout l'oxygène absorbé.

Pendant la floraison, toutes les fois que la quantité de chaleur a été mesurable, elle s'est montrée, au contraire, inférieure à la quantité de chaleur calculée d'après le phénomène respiratoire.

C'est donc lorsqu'on étudie les tissus au moment de la consommation d'une réserve, par exemple au début de la germination, que la chaleur dégagée par les dédoublements et les hydratations vient, en quelque sorte, s'ajouter à celle que produit l'anhydride carbonique en se formant et à celle que fournit l'oxydation interne par l'excès d'oxygène absorbé.

Si on étudie, au contraire, les tissus au moment de la constitution d'une réserve, par exemple au moment où les fleurs vont atteindre leur maturité ou au début de la formation des fruits, on constate que la chaleur absorbée par la formation des substances de réserve vient se retrancher de la chaleur dégagée par la respiration.

Multiplication des Phanérogames. — Les plantes à fleurs ne sont pas seulement capables de *se reproduire*, grâce à leurs fleurs; elles peuvent aussi *se multiplier* par divers procédés. La nature de ces procédés dépend de la loi que suit le développement normal de la plante. Ils sont surtout répandus chez les plantes vivaces. Il est nécessaire d'en citer quelques exemples.

Lorsqu'une graine de Pomme de terre a germé, elle donne naissance à un pied dont certaines tiges souterraines se renflent pendant l'été et gorgent leurs cellules d'amidon, de manière à former des tubercules. Chaque tubercule porte, à

sa surface, des dépressions disposées sur une spirale plus ou moins régulière et dont chacune est occupée par un petit bourgeon. Ces dépressions constituent ce qu'on appelle vulgairement les « yeux » de la Pomme de terre. Au printemps suivant, les bourgeons souterrains peuvent se développer; chacun d'eux fournit alors une nouvelle tige aérienne, portant des feuilles, puis des fleurs. C'est en s'appuyant sur cette observation que, pour multiplier la Pomme de terre, on sème en terre des fragments de tubercules taillés de telle sorte que chacun d'eux porte un bourgeon.

C'est encore au moyen de leur tige que beaucoup de plantes ligneuses se multiplient naturellement ou que la culture les multiplie artificiellement : un morceau de la tige peut être détaché complètement de la plante adulte et produire un pied nouveau.

Fig. 390. Une bouture.

Une *bouture* (*fig.* 390) est un rameau que l'on détache du pied auquel il appartient et dont on engage la partie coupée en terre. Des racines adventives se développent bientôt autour de la blessure, alimentent le rameau et lui permettent de produire des feuilles et, plus tard, de se ramifier à son tour. Bientôt un nouveau plant est reconstitué, plus ou moins semblable au premier. Les Saules se multiplient aisément par boutures; c'est par le même moyen qu'on cultive, dans les jardins, beaucoup d'espèces ornementales.

Fig. 391. — Marcottage.

Certaines plantes ne sont pas assez robustes pour se multiplier par des boutures, mais se prêtent à une opération un peu différente, qu'on appelle le *marcottage* (*fig.* 391). On courbe une branche dont on enfonce une partie en terre sans la détacher de la plante mère. Sur la partie enterrée se développent des racines adventives.

Quand on juge que ces racines ont atteint un développement suffisant pour alimenter la branche tout entière, on coupe celle-ci entre les racines adventives et la plante mère : la *marcotte*, devenue indépendante, constitue un nouveau pied, semblable au premier. La Vigne est susceptible d'être multipliée par marcottage. C'est par un marcottage naturel que se multiplie le Fraisier. Quand on observe de près un pied de cette plante, on remarque qu'il s'en détache des rameaux flexibles et rampants, qu'on appelle *stolons* ou *coulants*. Ceux-ci peuvent, de distance en distance, s'enfoncer en terre; en ces points prennent alors naissance des racines adventives, au-dessus desquelles se développent de nouvelles pousses feuillées et, plus tard, florifères. Le stolon qui rattache chaque pied nouveau au pied principal d'où il est issu ne tarde pas à se flétrir et à disparaître, supprimant toute communication entre eux.

On voit que le marcottage diffère surtout du bouturage parce que la séparation entre le rameau et le pied qui l'a fourni suit, au lieu de la précéder, la formation des racines adventives.

Pour multiplier les variétés d'arbres fruitiers dont les fruits sont de bonne qualité, on emploie la méthode connue sous le nom de *greffage* (*fig.* 392). Elle consiste, d'une manière générale, à transplanter un rameau de la variété recherchée pour ses fruits sur un pied appartenant à une variété plus vigoureuse, mais dont les fruits sont de qualité inférieure. On appelle *greffon* le pied qui fournit le rameau greffé, ou *greffe*, et *sujet* le pied sauvage sur lequel est transplantée la greffe. Un des nombreux procédés qu'on emploie pour le greffage consiste à couper transversalement la tige principale du sujet, puis à y pratiquer une fente longitudinale dans laquelle on introduit la greffe après l'avoir taillée en sifflet; on fait en sorte que le cambium du sujet se con-

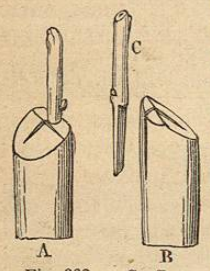

Fig. 392. — Greffe.

tinue exactement par celui de la greffe et on enveloppe le tout d'un enduit protecteur : au bout de quelque temps, la plaie se cicatrise, les deux tiges se soudent l'une à l'autre et le rameau greffé, nourri par les racines du sauvageon, se développe en une tige qui porte des fruits semblables à ceux du greffon.

TRENTE ET UNIÈME LEÇON

Les Phanérogames gymnospermes.

Classification des Phanérogames. — L'embranchement des Phanérogames est trop important pour qu'il n'ait pas été nécessaire de le décomposer en deux sous-embranchements. On réunit, sous le nom de Phanérogames *angiospermes*, les plantes pourvues de fleurs dont les ovules sont enfermés dans un ovaire; c'est à ce sous-embranchement qu'appartiennent, nous l'avons dit à l'avance, toutes les plantes qui nous ont servi d'exemples pour l'étude de la reproduction des Phanérogames. On appelle, au contraire, Phanérogames *gymnospermes* les plantes à fleurs dont les ovules sont portés à nu par de simples écailles qui ne leur forment pas une enveloppe close.

Les Gymnospermes. — Les *Gymnospermes* se rapprochent beaucoup plus des Cryptogames vasculaires que les Angiospermes. Puisque nous avons adopté une marche ascendante dans l'étude du règne végétal, c'est par le sous-embranchement des Gymnospermes que nous devrons commencer la revue des principaux groupes de Phanérogames.

Les Conifères. — C'est à la famille des *Conifères* qu'appartient la presque totalité des Gymnospermes de nos pays. Les plantes de cette famille sont des arbres verts et résineux, comme le Pin, le Sapin, le Cèdre, le Mélèze, etc.,