qu'il éprouve. Comment peut-il s'enrichir en azote si ce n'est aux dépens de l'air atmosphérique, qui en renferme des réserves inépuisables? Ainsi se présente de nouveau l'hypothèse qui paraissait définitivement écartée par les recherches de Boussingault. Posée sous cette forme nouvelle, la question n'a pas tardé à être résolue. Des expériences très concluantes, faites en 1885 par M. Berthelot et reprises ensuite par d'autres expérimentateurs, ont montré qu'une terre primitivement dépourvue d'azote est capable, dans des conditions déterminées de température et d'aération, de s'enrichir en azote. M. Berthelot prélevait un certain nombre d'échantillons de terres excessivement pauvres en azote, par exemple des sables argileux pris dans le sous-sol des bois de Meudon, au-dessous de la meulière, par conséquent assez loin de la terre végétale pour qu'ils fussent à l'abri des infiltrations de matière organique. Il dosait l'azote contenu dans chaque échantillon et s'assurait qu'il y était en proportion infiniment petite. Puis il exposait ces échantillons, dans des pots en terre vernissée, au contact de l'air et à l'abri de la pluie. Au bout d'un temps suffisamment long, une analyse nouvelle de l'échantillon montrait qu'il s'était enrichi très sensiblement en azote. Sous l'influence de quelle cause s'était produite cette modification? En stérilisant, par une calcination préalable, la terre soumise à l'expérience avant de l'exposer au contact de l'air, M. Berthelot constatait qu'elle perdait la faculté de s'enrichir en azote. Il est donc probable que la fixation de l'azote atmosphérique dans le sol est produite par un organisme microscopique et aérobie, que la calcination détruit.

Sous quelle forme cet organisme fixe-t-il l'azote? Sous la forme de composés organiques. Une fois ceux-ci constitués, nous savons comment d'autres microrganismes se chargent de les amener à la forme de nitrates, sous laquelle ils sont le plus absorbables par les végétaux supérieurs.

Résumons-nous.

Appauvri sans cesse en azote par la végétation des plantes supérieures et par l'infiltration des eaux météoriques, le sol

répare sans cesse ces pertes grâce à l'activité de végétaux microscopiques qui prennent l'azote à la source inépuisable de l'atmosphère et le fixent sous forme de composés organiques. Ceux-ci, par l'activité d'autres microrganismes, sont amenés successivement à l'état de composés ammoniacaux, puis de composés nitreux, enfin de composés nitriques, et les nitrates qui résultent de cette élaboration progressive sont assimilés, à leur tour, par les plantes supérieures.

VINGT-TROISIÈME LEÇON

Les réserves nutritives. — La sécrétion.

Les réserves nutritives. — En étudiant les phénomènes de nutrition, nous avons supposé jusqu'ici que la plante consommait à chaque instant tout l'aliment reçu de l'extérieur. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que la distribution de l'aliment fût constamment réglée sur les besoins de la plante, condition qu'il serait bien difficile d'obtenir artificiellement et qui, dans l'état naturel des choses, n'est jamais réalisée.

En fait, la quantité d'aliment que reçoit la plante, à un moment donné, est toujours différente de la quantité qu'elle consomme au même moment. Quand l'alimentation est supérieure à la consommation, la plante met de côté l'excès d'aliment qu'elle a reçu et se constitue ainsi des *réserves nutritives*. Quand l'alimentation devient inférieure à la consommation, la plante utilise les réserves qu'elle avait antérieurement formées : elle les consomme. Ainsi se trouve définie une nouvelle fonction de nutrition dont l'étude doit nous occuper maintenant, la fonction de *réserve*.

Organes de réserve. — Tout le monde a présent à

l'esprit quelque exemple d'organes dans lesquels s'accumulent des réserves.

Citons d'abord les racines pivotantes et tuberculeuses de la Carotte, de la Betterave, du Radis, etc. (*fig.* 252), et suivons, pour fixer les idées, l'évolution d'une Betterave cultivée depuis le moment où la jeune plante est sortie de la graine. Sa racine est d'abord grêle; mais, en même temps qu'une tige et des feuilles se développent au-dessus du sol, cette racine ne tarde pas à se renfler et à se gorger de réserves sucrées. Aux approches de l'hiver, toutes les parties aériennes se flétrissent et disparaissent, tandis que le pivot tuberculeux persiste et passe à l'état de vie très ralentie. Si, au lieu de recueillir ce pivot pour en extraire le sucre, on le laisse en terre, on voit, au printemps suivant, sa surface se rider pendant qu'une nouvelle tige, pourvue de feuilles, s'élève hors de terre. A mesure que le pivot perd les substances qu'il contenait en réserve, devient flasque et se flétrit, de nouveaux organes apparaissent dans la partie aérienne de la plante et celle-ci, achevant son évolution, forme ses fleurs, ses fruits et ses graines. Pendant la première partie de sa végétation, le pied de Betterave, recevant un excès d'aliments, l'a emmagasiné dans sa racine; après une période de repos plus ou moins longue, il a employé cette réserve à la formation de ses organes de reproduction. — L'étude d'un pied de Carotte mettrait en évidence une série de phénomènes analogues aux précédents.

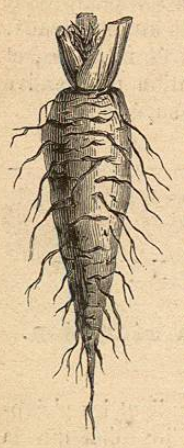

Fig. 252.
Racine pivotante.

Les tubercules de la Pomme de terre (*fig.* 253) ne sont pas autre chose que des ramifications souterraines de la tige principale, qui se renflent et se gorgent d'amidon; leur surface présente, au fond de quelques dépressions, des *yeux* ou bourgeons. Quand un tubercule est placé dans des conditions

favorables d'humidité, d'aération et de chaleur, il passe de l'état de vie ralentie à celui de vie manifestée : les bourgeons se développent et donnent naissance à de nouvelles pousses aériennes. A mesure que ces bourgeons se développent, on voit le tubercule rider sa surface, se flétrir et perdre enfin toute la réserve nutritive qu'il renfermait.

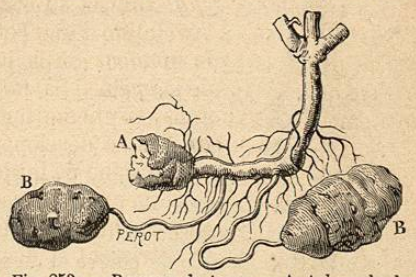

Fig. 253. — Pommes de terre. — A, tubercule de l'année précédente, ayant donné naissance à la plante; B, tubercules ayant poussé sur des ramifications du rhizome.

Ce n'est pas seulement dans les organes souterrains, c'est aussi parfois dans les tiges ou les feuilles aériennes que peuvent s'accumuler des matières de réserve. C'est ainsi que la moelle de la tige, dans la Canne à sucre, emmagasine une réserve sucrée. De même les tiges ou les feuilles des plantes grasses, si nombreuses dans les pays chauds et secs (Cactus, Opuntia, etc,), tiennent en réserve une grande quantité d'eau, indispensable à l'alimentation du végétal tout entier.

Substances de réserve. — On pourrait ainsi multiplier les exemples des substances que la plante est susceptible de mettre en réserve. Nous ne retiendrons que les plus importants par leur généralité, pour en faire l'étude avec quelques détails.

Les sucres. — Parmi les substances que le corps de la plante peut mettre en réserve, il faut citer en premier lieu les sucres. Ce sont des substances ternaires à la constitution desquelles l'hydrogène et l'oxygène prennent part dans le rapport nécessaire pour former de l'eau. On peut considérer, par conséquent, une molécule de sucre comme formée par la combinaison de quelques atomes de carbone avec quelques molécules d'eau, ce qu'on exprime en disant que les sucres sont des *hydrates de carbone.*

Les sucres, étant solubles dans l'eau, se trouvent, à l'intérieur de la cellule, en dissolution dans le suc cellulaire.

On peut distinguer, parmi les sucres, deux groupes principaux : le groupe des *saccharoses* et celui des *glucoses*.

Au groupe des saccharoses appartiennent le sucre de Betterave et le sucre de Canne. Leur formule est $C^{12}H^{22}O^{11}$, qu'on peut écrire $C^{12}(H^2O)^{11}$. On peut reconnaître par expérience que, s'ils sont solubles dans l'eau, ils ne sont pas directement assimilables par l'organisme.

Au groupe des glucoses appartiennent la plupart des sucres de fruits. Leur formule est $C^6H^{12}O^6$ ou $C^6(H^2O)^6$. Une solution de sucre de glucose, chauffée dans un tube à essai avec la liqueur de Fehling, liquide d'un beau bleu qui est un tartrate double de cuivre et de potasse, donne un précipité rouge brique. On peut reconnaître par l'expérience que le glucose ajoute à sa solubilité dans l'eau la propriété d'être directement assimilable par l'organisme.

Les sucres de saccharose se laissent dédoubler et *intervertir* par l'action des acides ou des bases étendus : une molécule de saccharose $C^{12}H^{22}O^{11}$ fixe une molécule d'eau H^2O et se dédouble en deux molécules de sucre appartenant au groupe des glucoses $C^6H^{12}O^6$: l'une de ces molécules est formée de glucose proprement dit, dont la solution dévie à droite le plan de polarisation de la lumière; l'autre est une molécule de *lévulose*, dont la solution dévie à gauche le plan de polarisation.

La réaction peut être exprimée par la formule :

$$\underset{\text{Saccharose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}} + H^2O = \underset{\text{Glucose.}}{C^6H^{12}O^6} + \underset{\text{Lévulose.}}{C^6H^{12}O^6}.$$

Quand c'est sous forme de glucose que la matière sucrée est mise en réserve dans la plante, il n'y a pas lieu de se demander quelle modification subit le sucre pour être utilisé, puisqu'il est directement assimilable. Examinons seulement le cas où la réserve sucrée appartient au groupe des saccharoses. Si on étudie alors le contenu des cellules de l'organe qui a emmagasiné les réserves, du tubercule de Betterave,

par exemple, au moment de la digestion de ces réserves, on observe que le saccharose se transforme progressivement en glucose. On peut, d'autre part, extraire du suc cellulaire et isoler, en quantité notable, une substance azotée, soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool (ce qui permet de la préparer en la précipitant de sa dissolution) et qui jouit de cette propriété qu'un poids très faible de sa substance peut transformer en glucose ou, en d'autres termes, *intervertir* une quantité considérable de saccharose. Ce sont là les caractères généraux des *ferments solubles* ou *diastases*. Celle-ci, jouissant de la faculté d'intervertir le sucre de saccharose, a reçu le nom d'*invertine*.

L'amidon. — L'*amidon* est une substance extrêmement répandue dans le corps des plantes. Certains organes en sont littéralement bourrés : tels les tubercules de la Pomme de terre; c'est à ces organes qu'on devra s'adresser si on veut préparer l'amidon en quantité suffisante pour pouvoir en déterminer la composition chimique.

Pour extraire l'amidon d'un tubercule de Pomme de terre, on l'épluche avec soin et en lave la surface; puis, à l'aide d'une râpe, on le réduit en une sorte de pulpe qu'on délaie dans un filet d'eau sur un fin tamis placé au-dessus d'une terrine. Le tamis retient les débris des cellules du tubercule, détruites par le râpage. L'eau passe avec un aspect laiteux : on la recueille dans la terrine, où elle dépose une poudre blanche qu'on peut recueillir par décantation et dessécher. C'est cette poudre, fine et criant sous le doigt, qui constitue l'amidon.

L'analyse chimique de l'amidon montre que c'est une substance ternaire. Sa formule brute serait $C^6H^{10}O^5$, qu'on peut écrire encore $C^6(H^2O)^5$. On voit par là que la molécule d'amidon peut être considérée comme formée par la combinaison de six atomes de carbone avec cinq molécules d'eau : l'amidon appartient, comme les sucres, au groupe chimique des *hydrates de carbone*.

L'amidon est insoluble dans l'eau. Au contact de l'eau chaude (de 60° à 65°), il gonfle et se transforme en une masse

gélatineuse qu'on appelle *empois d'amidon*. Soumis à l'action d'un réactif iodé, à condition que ce réactif contienne un peu d'iode libre, il forme avec celui-ci une combinaison chimique dite *iodure d'amidon*, qui lui communique une coloration bleue.

Examiné au microscope, l'amidon se montre formé d'une multitude de corpuscules dits *grains d'amidon* (*fig.* 254). Les grains d'amidon extraits d'un tubercule de Pomme de terre ont un contour ovoïde; ceux qu'on peut extraire d'une foule d'autres plantes ont, d'ailleurs, les contours les plus variés; mais, dans tous les cas, chaque grain se montre formé d'une série de couches concentriques emboîtées les unes dans les autres et dont le centre commun est généralement placé en dehors du centre géométrique du grain. Ces couches sont alternativement claires et sombres; la couche externe est toujours claire et le noyau qui occupe le centre commun de toutes les couches concentriques est toujours sombre. A quelle cause faut-il attribuer cet aspect si caractéristique? Si on soumet l'amidon à l'action d'un réactif très avide d'eau, comme l'alcool absolu, le grain se contracte, perd ses couches sombres et devient entièrement clair. Si, au contraire, on le soumet à l'action d'un réactif susceptible de lui fournir un excès d'eau, comme la potasse étendue, le grain se gonfle, perd ses couches claires et devient entièrement sombre. En résumé, quand on dessèche le grain d'amidon, il s'éclaircit; quand on le gorge d'eau, il s'obscurcit. On peut conclure de là que la présence normale de couches concentriques, alternativement claires et sombres, à l'intérieur du grain d'amidon doit être attribuée à une inégale répartition de l'eau dans toute son épaisseur : les couches claires sont pauvres en eau; les couches sombres en renferment, au contraire, un excès.

Fig. 254. — Un grain d'amidon, isolé et très grossi.

Placé dans la lumière polarisée, entre les nicols croisés,

le grain d'amidon présente le phénomène caractéristique de la croix noire; les deux branches de la croix se rencontrent au centre même du grain d'amidon. De cette propriété on peut conclure que le grain d'amidon doit être considéré comme formé d'un groupe de cristaux rayonnant autour d'un centre. Il posséderait, en un mot, une structure cristalline.

Si, au lieu d'observer l'amidon extrait mécaniquement d'un tubercule de Pomme de terre, on l'étudie en place, dans les cellules qui le contiennent (*fig.* 255), on répète toutes les observations qui viennent d'être faites; les caractères qui en résultent peuvent, par conséquent, servir à le définir rigoureusement.

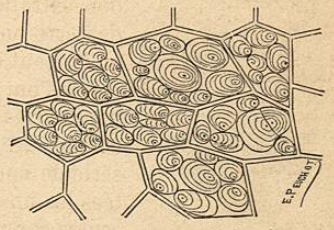

Fig. 255. — Quelques cellules d'un tubercule de Pomme de terre, gorgées de grains d'amidon.

Quelle est l'origine des grains d'amidon dans les cellules végétales? Pour répondre à cette question, il est nécessaire de porter notre attention sur des organes très jeunes, par exemple des tubercules de Pomme de terre en voie de formation et n'ayant encore que quelques millimètres de long. C'est ce qu'a fait, en 1880, le botaniste allemand Schimper, et ses observations l'ont conduit à une conclusion générale : dans tous les cas, l'amidon serait le produit de l'activité de corpuscules spéciaux, inclus dans le protoplasme, auquel ils ressembleraient par leur composition azotée, mais indépendants de lui, se multipliant par bipartitions successives et provenant toujours de parents antérieurs, éternels, par conséquent, au même titre que le protoplasme lui-même, de leucites en un mot (*fig.* 256). Dans une cellule d'un tubercule très jeune de Pomme de terre, de nombreux leucites, groupés autour du noyau, se colorent entièrement en jaune par l'iode : ils ne présentent encore aucune trace de dépôt amylacé. Un peu plus tard, chaque leucite dépose sur son flanc un premier

globule d'amidon qui ne tarde pas à s'accroître et à prendre sa structure caractéristique : le centre des couches concentriques serait toujours opposé au leucite formateur. Puis le grain d'amidon augmente de plus en plus, tandis que le leu-

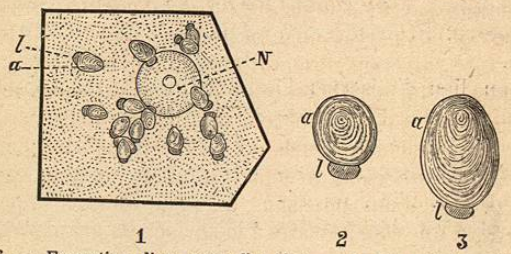

Fig. 256. — Formation d'un grain d'amidon. — 1, une cellule entière, avec quelques grains d'amidon en formation; 2 et 3, un seul grain, plus grossi. — N, noyau de la cellule; *l*, leucite; *a*, matière amylacée.

cite, épuisé par le travail d'élaboration de l'amidon, se réduit au contraire. Enfin toute trace du leucite formateur disparaît et le grain d'amidon prend son aspect définitif, dans lequel la position excentrique du noyau est le seul vestige de son origine.

Cette théorie était séduisante par sa généralité. Aussi n'a-t-elle pas tardé à devenir classique. Mais il faut bien dire que les observateurs qui, après Schimper, se sont occupés de la même question, sont loin d'être unanimes à partager son opinion. Le leucite, à l'intérieur ou sur le flanc duquel se produit l'amidon, est-il bien l'agent de cette formation ou n'est-il qu'un support choisi par le protoplasme pour y déposer le produit de son activité propre? C'est à cette dernière opinion que se range Eberdt (1890). M. Belzung va plus loin et conteste jusqu'à l'existence des leucites amylifères : pour lui, l'amidon pourrait se déposer simplement au sein du protoplasme de la cellule jeune, par une sorte de précipitation chimique, sans qu'aucun corpuscule figuré prenne part à son élaboration. On voit que la question de l'origine des grains d'amidon est encore très controversée.

Quelle que soit l'origine des grains d'amidon, on doit se

demander comment ils s'accroissent. Ici encore, plusieurs théories se sont trouvées en présence.

Pendant longtemps on a supposé que le grain d'amidon, doué d'une structure cristalline, devait s'accroître, à la façon des cristaux, par une simple *apposition* d'éléments nouveaux à la surface des parties déjà existantes.

Plus tard, diverses observations ont conduit de nombreux botanistes à lui attribuer un mode de croissance tout différent. Nägeli a pensé que le grain d'amidon s'accroît par pénétration d'éléments nouveaux dans toute son épaisseur, par *intussusception* en un mot. Comment s'expliquer autrement, pensaient les partisans de cette théorie, la présence constante d'une couche claire à la surface du grain d'amidon?

Schimper, qui a repris l'étude de cette question après avoir expliqué l'origine des grains d'amidon, a fourni de nombreux arguments contre la théorie de Nägeli et fait de nouveau pencher la balance en faveur de la théorie de l'apposition. Nous verrons tout à l'heure qu'au moment où la plante utilise la réserve accumulée dans un grain d'amidon, celui-ci est corrodé sur toute sa surface et ne tarde pas à présenter un contour absolument irrégulier. Or, si on place un organe amylacé, dont les grains ont déjà subi ce phénomène de corrosion, dans des conditions favorables à la formation de l'amidon, on ne tarde pas à voir se déposer autour de la surface corrodée une série de couches concentriques, d'abord irrégulières comme cette surface même, puis moins irrégulières, enfin régulièrement arrondies (*fig.* 257). On assiste, en un mot, à une apposition d'amidon nouveau à la surface d'un amidon plus ancien.

Fig. 257. — Un grain d'amidon, d'abord corrodé, puis ayant repris son accroissement.

Mais si c'est à l'apposition qu'il faut attribuer l'accroissement de diamètre du grain d'amidon, il reste à expliquer pourquoi la couche externe, quel que soit l'âge du grain d'amidon, se montre toujours aussi peu hydratée. On peut admettre qu'après le dépôt d'éléments nouveaux à la surface

du grain déjà formé, l'eau introduite dans le grain se répartit dans sa profondeur, de manière à le décomposer en couches d'hydratation différente. Ainsi la théorie de l'intussusception se trouverait mise, autant que possible, d'accord avec la théorie de l'apposition.

Sa digestion. — Il nous reste à étudier le mécanisme par lequel la plante épuise, au fur et à mesure de ses besoins, sa réserve d'amidon.

On a reconnu que l'amidon, soumis à l'action des acides ou de la potasse étendus, devient soluble, puis subit une série de dédoublements accompagnés d'hydratation qui ont pour effet de l'amener progressivement à l'état de sucre de glucose.

Une molécule d'amidon subit un premier dédoublement. Elle fixe une molécule d'eau et élimine d'une part une molécule de sucre de *maltose* ($C^{12}H^{22}O^{11}$), tandis qu'elle se transforme d'autre part en une molécule d'une variété de dextrine qui se colore en jaune par l'iode et qu'on appelle *amylodextrine*.

Si l'action de l'acide ou de la potasse se continue, la molécule d'amylodextrine se dédouble à son tour, éliminant d'une part une nouvelle molécule de maltose, tandis qu'elle se réduit à l'état d'*érythrodextrine*, qui se colore en rouge par l'iode.

Puis l'érythrodextrine subit un dédoublement analogue et fournit une molécule d'*achroodextrine*, ne se colorant pas sous l'action de l'iode, avec élimination d'une molécule de maltose.

L'achroodextrine se dédouble encore une fois en fournissant une molécule de *dextrine* proprement dite et une molécule de maltose.

Enfin la dextrine subit une dernière hydratation et se transforme elle-même en maltose.

En définitive, la molécule d'amidon tout entière se trouve ainsi remplacée par des molécules de maltose.

La dernière réaction (transformation de la dextrine en maltose) pourrait être exprimée par la formule suivante :

$$\underset{\text{Dextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^2} + H^2O = \underset{\text{Maltose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}}.$$

En partant de là pour remonter la série des réactions qui précèdent, on pourrait rétablir ainsi qu'il suit les formules qui les expriment :

$$\underset{\text{Amidon.}}{(C^6H^{10}O^5)^{10}} + H^2O = \underset{\text{Amylodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^8} + \underset{\text{Maltose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}}.$$

$C^6H^{10}O^5$

$$\underset{\text{Amylodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^8} + H^2O = \underset{\text{Erythrodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^6} + \underset{\text{Maltose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}}.$$

$$\underset{\text{Erythrodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^6} + H^2O = \underset{\text{Achroodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^4} + \underset{\text{Maltose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}}.$$

$$\underset{\text{Achroodextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^4} + H^2O = \underset{\text{Dextrine.}}{(C^6H^{10}O^5)^2} + \underset{\text{Maltose.}}{C^{12}H^{22}O^{11}}.$$

C'est par l'étude de cette série de réactions, dites réactions de Musculus, qu'on peut essayer de déterminer avec quelque chance de succès la formule théorique de l'amidon.

Que devient ensuite le sucre de maltose qui a remplacé l'amidon? Il subit, à son tour, l'action de l'acide ou de la potasse étendus, et, par le phénomène de l'intervèrsion, chaque molécule de maltose fournit une molécule de sucre de glucose et une molécule de lévulose, l'un et l'autre solubles et assimilables, d'après la formule :

$$C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O = C^6H^{12}O^6 + C^6H^{12}O^6.$$

Nous connaissons le mécanisme de la destruction de l'amidon sous l'action des acides ou de la potasse étendue, telle qu'on peut la réaliser dans les laboratoires. Est-ce ainsi que les choses se passent dans l'organisme vivant?

Pour répondre à cette question, étudions le contenu d'un tubercule de Pomme de terre au moment de sa germination.

Les grains d'amidon qui bourraient les cellules du tubercule présentent une surface irrégulière et portent la trace d'une corrosion active. Plus tard, leur volume diminue de plus en plus ; enfin ils disparaissent complètement, entièrement dissous dans le suc cellulaire. Si d'autre part on recueille ce dernier, on peut s'assurer de sa richesse en glucose et on reconnaît en même temps qu'il possède une réaction acide. Mais cette acidité ne paraît pas suffisante pour expli-

quer, à elle seule, la transformation totale de l'amidon en sucre de glucose, par un mécanisme identique à celui que révèlent les expériences précédentes. Or, on peut extraire de ce suc cellulaire et isoler, en quantité notable, une diastase qui a été une des premières connues et étudiées et qui a reçu le nom spécial d'*amylase*. On peut, avec l'amylase, réaliser dans le laboratoire toutes les réactions de Musculus jusqu'à la formation de la dextrine proprement dite; mais la diastase ne paraît pas capable de pousser plus loin son action. Que se passe-t-il ensuite? Comment la dextrine est-elle transformée en maltose? Comment le maltose est-il transformé à son tour en glucose? Il est impossible de le dire d'une façon certaine. Peut-être d'autres diastases interviennent-elles pour compléter l'action de l'amylase. Peut-être, en particulier, se forme-t-il dans les cellules une certaine quantité de cette diastase qui a pour effet d'intervertir et de dédoubler le sucre de Canne et qu'on appelle l'*invertine*. D'ailleurs il peut se faire, dans bien des cas, que la dextrine résultant de la digestion de l'amidon passe, sans subir immédiatement aucune transformation nouvelle, de cellule en cellule, pour aller reconstituer, sur d'autres points de l'organisme, de nouvelles réserves d'amidon.

Autres exemples. — On peut encore citer, parmi les substances de réserve, les corps gras qui sont inclus dans le protoplasme des cellules sous forme de gouttelettes. C'est encore sous l'action de diastases spéciales, le ferment émulsif ou la saponase, que les corps gras sont portés de l'état de réserves nutritives à celui de substances assimilables, par des phénomènes d'émulsion ou de saponification. C'est, du reste, la conclusion générale à laquelle conduit l'étude des réserves végétales : toutes les fois que ces réserves sont utilisées par la plante pour la formation d'organes ou d'éléments nouveaux, elles sont digérées par des diastases spéciales dont chacune correspond à une espèce chimique distincte ; ces diastases sont tout à fait analogues, sinon identiques, à celles qui agissent sur les aliments introduits dans le tube digestif des animaux supérieurs.

Caractère général de la fonction de réserve. — Dans l'étude qui précède, nous n'avons examiné que des cas où la formation des réserves retentit avec la dernière évidence sur la forme, la structure et la fonction de l'organe dans lequel ces réserves se sont accumulées : cet organe passe toujours tout entier à l'état de vie ralentie. Mais on peut encore observer des réserves moins durables, qui s'accumulent aussi en quantité moins considérable dans l'organe qu'elles envahissent et qui n'en altèrent sensiblement ni la forme extérieure, ni la structure, ni les fonctions.

Laissons, par exemple, séjourner pendant de longues heures à l'obscurité un pied d'Elodéa ou de Funaire, dont les cellules foliaires sont bourrées de corps chlorophylliens (*fig.* 258). Examinées au sortir de l'obscurité, ces cellules se montrent entièrement dépourvues de toute production amylacée. Exposons alors la plante à une lumière vive pendant un temps relativement court, de dix minutes à une heure, par exemple, et reprenons ensuite l'étude microscopique des cellules foliaires; nous observerons que les corps chlorophylliens renferment un grand nombre de petits grains d'amidon, colorables en bleu par les réactifs iodés. Sous l'action d'une vive lumière, la feuille a assimilé fortement le carbone. Sous quelle forme ce carbone est-il d'abord entré en combinaison? On ne le sait pas d'une façon très certaine. Des raisons théoriques portent toutefois à penser que ce serait à l'état d'aldéhyde méthylique, qui, par un phénomène de polymérisation, ne tarderait pas à se transformer en sucre de glucose. C'est ce glucose qui, accumulé en excès dans les cellules de la feuille, y serait mis en réserve sous forme d'amidon, sur le lieu même de sa production. L'amidon se

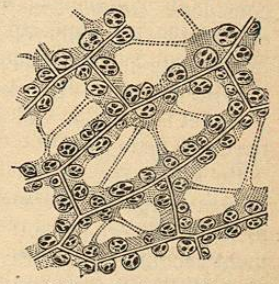

Fig. 258. — Quelques cellules de la feuille de *Funaria hygrometrica*, bourrées de corps chlorophylliens, qui renferment des grains d'amidon, marqués de noir.

manifesterait ainsi comme la première substance de réserve que la plante verte puisse constituer à partir de l'assimilation chlorophyllienne.

Replaçons à l'obscurité la plante gorgée d'amidon : l'assimilation du carbone est suspendue; la plante se nourrit alors aux dépens de ses réserves et l'amidon ne tarde pas à disparaître des corps chlorophylliens.

Cette observation nous conduit à la connaissance d'une méthode générale qui permet de déterminer, dans chaque cas particulier, si une substance trouvée à l'intérieur des cellules végétales doit être considérée comme constituant une réserve pour la plante : si, après avoir placé la plante à l'obscurité, on observe la disparition de cette substance, elle doit être considérée comme constituant une réserve; si elle persiste, elle peut être considérée comme nuisible ou, tout au moins, indifférente au développement de la plante.

Sécrétion. — Existe-t-il en réalité de telles substances? Telle est la question qui doit nous occuper dans la dernière partie de cette leçon.

En même temps que s'accomplit, dans chaque cellule de la plante, soit aux dépens de l'aliment qui provient directement de l'extérieur, soit aux dépens des réserves précédemment accumulées, le travail élémentaire de l'*assimilation*, le protoplasme élabore aussi des substances de rebut qu'il doit éliminer : c'est le travail de la *désassimilation*. On désigne du nom de *sécrétion* la fonction par laquelle la plante accumule ces substances de rebut dans des organes spéciaux, dont l'ensemble constitue l'*appareil sécréteur*. On voit que, dans le langage botanique, le terme de sécrétion reçoit un sens plus restreint que dans celui de la zoologie : on le réserve exclusivement au phénomène que la physiologie animale désigne du nom spécial d'excrétion.

Produits de sécrétion. — Quels sont les principaux produits de sécrétion qu'on peut rencontrer dans le corps des plantes?

Ce sont d'abord des cristaux, formés généralement de sels organiques, le plus souvent d'oxalate de chaux. Cette substance se rencontre dans certaines cellules de la feuille des Lentilles d'eau (*Lemna*), sous forme de longues aiguilles cristallines ou *raphides* associées en faisceaux (*fig.* 259). Plus fréquemment, elles forment de petits cristaux octaédriques, quelquefois isolés, ordinairement associés en mâcles qui offrent un peu l'aspect hérissé d'un test d'Oursin : ces cristaux « en Oursins » (*fig.* 260) s'observent facilement dans le pétiole de la feuille du Lierre.

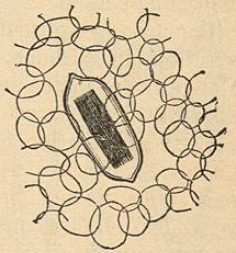

Fig. 259.
Une cellule à raphides.

Ce sont aussi des *essences* ou *huiles essentielles*, carbures d'hydrogène liquides, très volatils, peu solubles dans l'eau, ordinairement plus légers qu'elle, solubles dans l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone, doués d'une odeur propre et laissant sur le papier des taches qui disparaissent rapidement. Au contact de l'air, les essences s'oxydent et se transforment en *résines*, produits solides, non volatils, insolubles dans l'eau, mais solubles dans les essences : les résines se rencontrent aussi parmi les produits de sécrétion que fournit le règne végétal. Elles peuvent se trouver naturellement mélangées aux essences dont elles dérivent par oxydation ; le mélange qui en résulte est ce qu'on appelle une *oléorésine*.

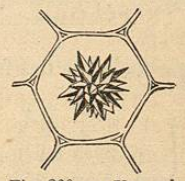

Fig. 260. — Une cellule renfermant un cristal d'oxalate de chaux « en Oursin ».

Les *gommes*, les *alcalis organiques* (morphine, codéine, etc.), constituent aussi pour la plante des éléments de rebut.

Enfin on désigne du nom général de *latex* des liquides dont la consistance rappelle celle du lait. Comme le lait, ces liquides sont des émulsions; ils tiennent en suspension des gouttelettes microscopiques appartenant aux substances les plus diverses. Certains latex ont une couleur blanche, comme celui que contiennent les tiges et les feuilles d'Euphorbe;

d'autres ont une couleur jaune, comme celui de la Chélidoine, ou même rouge, comme celui de la Sanguinaire.

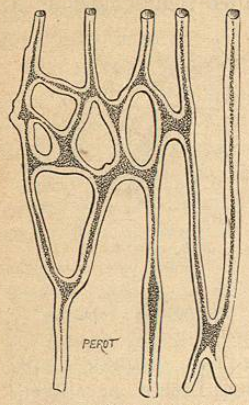

Fig. 261. — Vaisseaux laticifères d'une Euphorbe.

Appareil sécréteur. — Quelles sont les formes principales que présente l'appareil sécréteur?

Dans certaines plantes, il est formé par des cellules isolées. De ce nombre sont les cellules à raphides de la feuille des Lentilles d'eau ou encore les cellules à oxalate de chaux des feuilles du Lierre.

Le latex des Euphorbes est contenu dans de grandes cellules indéfiniment ramifiées (*fig.* 261), qui s'étendent d'un bout à l'autre du corps de la plante, depuis les extrémités des radicelles jusque dans le parenchyme des feuilles, et dans lesquelles le noyau primitif a subi de nombreuses bipartitions, non suivies de cloisonnements : nous savons déjà qu'à de tels éléments on réserve le nom d'*articles*.

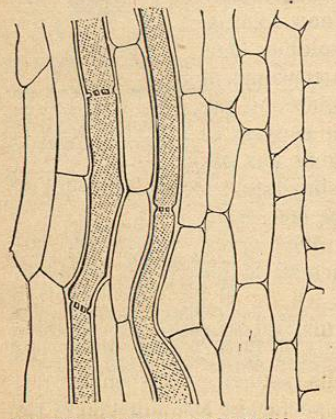

Fig. 262. — Laticifères de la Chélidoine.

Dans d'autres plantes, dans la Chélidoine par exemple, l'appareil sécréteur est formé par des files de cellules dans lesquelles les cloisons transversales sont perforées de nombreuses ouvertures qui favorisent la circulation du latex de cellule en cellule (*fig.* 262).

Chez de nombreuses Composées, comme le Pissenlit, la Scorsonère, etc. (*fig.* 263), l'appareil sécréteur est un

véritable réseau de cellules dont les files sont ramifiées et anastomosées et résorbent complètement leurs cloisons de séparation : on donne à ce type nouveau d'appareil le nom de *symplaste*.

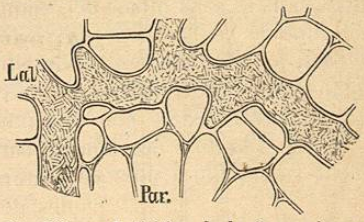

Fig. 263. — Laticifère de la Scorsonère. — *Lat.*, le laticifère; *Par.*, parenchyme ambiant.

On réunit souvent, sous le nom de *laticifères*, tous les canaux susceptibles de renfermer du latex. Par les exemples qui précèdent, on voit que ces canaux peuvent avoir les origines les plus diverses et que leur valeur morphologique est essentiellement variable.

Une des formes les plus compliquées que puisse revêtir l'appareil sécréteur est celle dans laquelle il est constitué par de véritables canaux, dits *canaux sécréteurs*, dont les parois pluricellulaires enferment, en dehors d'elles-mêmes, dans un espace clos, le liquide excrété. Tels sont les canaux qui, dans les feuilles des Conifères, comme le Pin, le Sapin, le Cèdre (*fig.* 264), etc., contiennent les résines caractéristiques de ces plantes. Une coupe transversale faite dans une feuille de Pin montre que le canal résinifère, qui s'étend d'un bout à l'autre de la feuille, est limité par deux assises concentriques : 1° une assise interne, dont les éléments, riches en protoplasme, éliminent et rejettent dans la cavité centrale la matière résineuse; — 2° une assise externe, dont les éléments ont épaissi et lignifié leurs membranes, de manière à constituer autour de l'assise interne une sorte d'étui protecteur. Si on suit pas

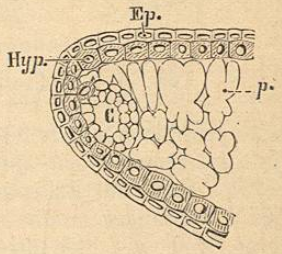

Fig. 264. — Coupe transversale dans une feuille de Cèdre, montrant l'épiderme (*Ep.*), l'hypoderme (*Hyp.*), le parenchyme (*p.*) et un canal sécréteur (C).

à pas le développement de ce canal, on observe qu'il tire son origine d'une file longitudinale de cellules placées bout à bout dans le sens même de l'allongement de la feuille. Dans chacune de ces cellules (*fig.* 265, 1), le noyau subit deux bipartitions successives, suivies de cloisonnement (2), et ainsi se forment quatre cellules disposées à peu près à angle droit et ménageant entre elles un méat de forme quadrangulaire (3). Chacune des cellules subit ensuite un cloisonnement radial qui a pour effet de substituer aux quatre cel-

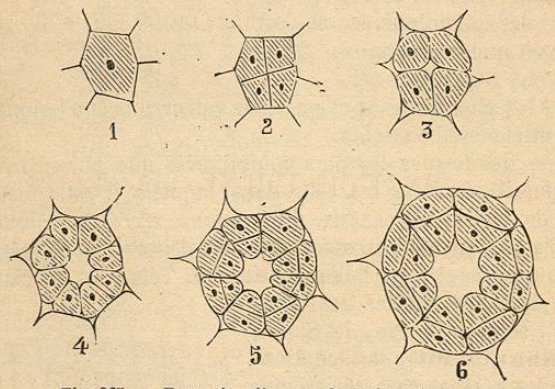

Fig. 265. — Formation d'un canal sécréteur (schéma).

lules primitives huit cellules groupées régulièrement autour du méat sensiblement agrandi (4). Puis chacune des huit cellules ainsi constituées subit un cloisonnement tangentiel qui la décompose en une cellule interne et une cellule externe (5, 6) : la cellule interne reste vivante et devient sécrétrice, la cellule externe épaissit et lignifie sa membrane. Comme les mêmes faits se produisent dans toute une file de cellules alignées bout à bout, un canal se trouve bientôt constitué, avec la structure typique que nous avons décrite tout à l'heure.

De pareils canaux sécréteurs se rencontrent aussi chez un grand nombre de Composées, comme la Marguerite, chez les

Ombellifères, comme la Carotte, chez le Lierre, etc... Mais, dans ces divers exemples, ce sont des essences et non plus des résines que renferme l'appareil sécréteur.

Si les phénomènes que nous venons de décrire, et qui aboutissent à la formation d'un canal sécréteur, se localisent dans une cellule unique ou dans un groupe de cellules initiales très limité en longueur, ils aboutissent à la formation d'un organe court, auquel le nom de canal sécréteur ne convient plus et qu'on appelle une *poche sécrétrice* : c'est dans des poches sécrétrices qu'est localisé le liquide acide qui s'échappe d'une écorce d'orange ou de citron quand on vient à la déchirer.

VINGT-QUATRIÈME LEÇON

Les phénomènes de mouvement chez les plantes.

Mouvements dus à la croissance. — A propos de la racine, de la tige, de la feuille, nous avons eu l'occasion d'étudier, à plusieurs reprises, des phénomènes de croissance, et nous avons pu remarquer qu'ils s'accompagnent parfois de phénomènes de mouvement.

Nutation. — C'est ainsi que la feuille, jeune et imparfaitement développée, est repliée dans le bourgeon, de manière à recouvrir et à protéger le sommet de la tige qui la porte. A mesure qu'elle poursuit son développement, elle tend à s'écarter de cette position initiale : elle se déploie de manière à prendre une position perpendiculaire à celle de la tige ; elle peut même arriver à se recourber en sens inverse du sens primitif. La feuille décrit donc, au cours de son développement, une sorte de trajectoire : elle est le siège d'un phénomène de mouvement, qu'on désigne du nom de *nutation*.