perdent par leur surface une proportion de l'eau qu'ils contiennent. Cette *transpiration* est *insensible ;* car, l'eau s'exhalant à l'état de vapeur, on ne peut la voir, puisque l'atmosphère la dissout et l'entraîne à mesure qu'elle se forme. Mais, dans certaines circonstances, la transpiration devient manifeste, son produit se condensant à l'état d'eau liquide. C'est ce qui arrive souvent pendant la nuit, quand la température s'est rapidement abaissée ; l'eau transpirée par la plante se condense en gouttelettes liquides sur la surface des feuilles, ou pendantes à leur extrémité. On s'est assuré par l'expérience, ainsi que Muschenbroeck l'avait déjà démontré, que ces gouttelettes provenaient de la transpiration de la plante, et non de la rosée ; en recouvrant d'une cloche de verre un pied de pavot, et en interceptant toute communication entre l'atmosphère et l'intérieur de la cloche, les feuilles se couvraient également de gouttelettes. On comprend que l'état hygroscopique de l'atmosphère, son état de repos ou d'agitation, sa température, etc., doivent exercer une grande influence sur la transpiration. Toutes choses égales d'ailleurs, elle est d'autant plus considérable qne l'air est plus sec, plus chaud et plus agité. Elle est, au contraire, moins grande la nuit que le jour. Senebier a prouvé que l'eau absorbée par les racines n'était qu'en partie rejetée par la transpiration. Suivant cet habile physiologiste, la plante n'exhale guère que les deux tiers de l'eau qu'elle a absorbée. Dans quelques circonstances exceptionnelles, la transpiration devenant plus considérable, l'absorption des racines ne suffit plus à en fournir tous les matériaux, l'équilibre est rompu ; la plante souffre, languit, se fane, à moins qu'une quantité nouvelle d'eau ne soit fournie aux racines, soit par la pluie, soit par un arrosement artificiel.

[Ainsi que l'ont démontré les expériences de M. de Bary (*Botan. Zeitung*, 1869, p. 882), la transpiration végétale s'opère principalement par les ouvertures des *stomates*, dont la plupart des feuilles sont criblées ; cependant les parties qui en sont dépourvues transpirent aussi, mais moins abondamment. MM. Unger et Garreau ont mesuré la quantité relative d'eau évaporée par des feuilles pourvues inégalement de stomates à leurs deux surfaces. Ainsi le nombre proportionnel de stomates de la face supérieure d'une feuille de belladone à celui de la face inférieure est comme 10 à 55 ; les quantités d'eau évaporées par les deux faces sont entre elles comme 48 est à 60. Dans le dahlia, le nombre relatif des stomates des deux faces étant comme 22 est à 33, l'eau évaporée est comme 50 à 100. Dans la capucine, les stomates étant aux deux faces dans la proportion de 10 à 80, l'eau évaporée est dans celle de 15 à 30. L'évaporation n'est donc pas exactement proportionnelle au nombre relatif des stomates, mais néanmoins d'autant plus active que le nombre de ces ouvertures est plus grand.]

Respiration végétale.— Les végétaux *respirent* aussi bien que les animaux, c'est-à-dire que leur séve (qui est l'analogue du sang) a besoin d'être mise en contact avec l'atmosphère pour se convertir en fluide nutritif. Les feuilles sont les organes dans lesquels la séve est modifiée par l'atmosphère : elles représentent donc les organes respiratoires des animaux.

Bonnet, le premier (*Usage des feuilles*, p. 31), avait remarqué que, quand on plonge des feuilles dans un vase plein d'eau et qu'on les expose au soleil, il s'en dégage des bulles de gaz qui viennent crever à la surface du liquide. Il s'assura par l'expérience que ce dégagement a lieu dans de l'eau même qui a bouilli, par conséquent complétement privée d'air : le gaz est donc fourni par les feuilles. Priestley reconnut que ce gaz était de l'oxygène, et Ingenhousz montra que la lumière solaire était indispensable pour qu'il se manifestât, car le dégagement du gaz cessait dans l'obscurité. Tel était l'état de la question, quand Senebier démontra, par des expériences précises, que ce gaz oxygène provenait de la décomposition de l'acide carbonique contenu dans les feuilles.

Les feuilles sont comme nous venons de le dire, les organes essentiels de la respiration des plantes ; mais d'autres parties concourent également à l'accomplissement de cette fonction. Ainsi, les jeunes rameaux, les écailles, en un mot toutes les parties herbacées et vertes des plantes agissent sur l'atmosphère à la manière des feuilles. Il y a plus : les vaisseaux que nous avons désignés sous les noms de *trachées* et de *fausses trachées*, qui, après avoir d'abord servi à l'ascension de la séve au printemps, finissent par ne plus contenir que de l'air, deviennent alors des organes de respiration, en faisant participer les fluides des parties qui les contiennent à l'action vivifiante de l'air qu'ils charrient. La respiration est donc une fonction extrêmement étendue dans les végétaux, qui réunissent entre eux deux des modes que cette fonction présente dans la série animale, savoir : la respiration par un organe limité dans lequel les sucs viennent se révivifier, ou *respiration pulmonaire ;* et la respiration par des canaux portant l'air dans toutes les parties, ou *respiration trachéenne*.

La respiration des végétaux a été, dans ces derniers temps, l'objet de travaux importants, parmi lesquels nous citerons, entre autres, ceux de MM. Garreau, Ch. Mène et Edouard Robin. Ces travaux ont tous amené leurs auteurs à des résultats un peu différents de ceux que la plupart des physiologistes avait tirés des belles expériences de Théodore de Saussure. Nous allons nous efforcer de présenter les phénomènes de la respiration d'une manière claire et précise qui en fasse bien connaître le mécanisme.

On a admis généralement, jusqu'en ces derniers temps, en s'appuyant spécialement sur les expériences de Saussure (*Rech. chim. sur la végétation*), que la respiration des végétaux consiste essentiellement dans

l'absorption, par les feuilles et les autres parties vertes, de l'acide carbonique contenu dans l'air, et dans la décomposition de cet acide sous l'influence de la lumière solaire. Par suite de cette réduction de l'acide carbonique, le carbone se fixe dans la plante, et une partie de l'oxygène est expirée par elle. Ainsi, inspiration d'acide carbonique et expiration d'oxygène, tels seraient les deux actes principaux de la respiration des plantes.

[Voici l'expérience capitale par laquelle Théodore de Saussure a mis ces faits hors de doute. Il avait élevé des pervenches de graines, et s'était assuré par l'analyse, quand elles eurent acquis un développement suffisant, quel était le poids moyen de carbone qu'elles contenaient. En même temps il en avait placé sept sous un récipient contenant de l'air privé d'acide carbonique, leurs racines plongeant dans de l'eau distillée. Sept autres étaient sous un récipient rempli d'air *contenant 7 centièmes* 1/2 *d'acide carbonique*. Ces deux récipients furent exposés au soleil pendant six jours. Au bout de ce temps, l'air du récipient qui contenait 7 1/2 pour 100 d'acide carbonique n'en contenait plus, mais en place 24 1/2 pour 100 d'*oxygène* au lieu de 21, et les pervenches qui avaient vécu dans cet air chargé d'acide carbonique contenaient 11,40 centigrammes de carbone de plus que la moyenne des pervenches analysées avant l'expérience. Celles qui avaient vécu dans de l'air sans acide carbonique avaient au contraire perdu un peu de carbone. Cette expérience prouve que les plantes du second récipient avaient décomposé entièrement l'acide carbonique, gardé le carbone et exhalé l'oxygène. Les autres ayant vécu dans un mélange d'oxygène et d'azote sans acide carbonique n'avaient pas gagné de carbone.]

Ce résultat est vrai, mais à une seule condition : c'est que la plante doit être exposée à l'action de la lumière ; car dans l'obscurité un phénomène inverse se manifeste, la plante absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique. Les expériences récentes des auteurs dont nous venons de citer les noms ont mis hors de doute un autre fait, à savoir que non-seulement dans l'obscurité, comme on l'avait admis uniquement, mais à la lumière diffuse du jour, la plante absorbe de l'oxygène. Les expériences de M. Garreau (*Ann. sc. nat.*, 3e série, t. XV, p. 1), celle de M. Ed. Robin (*Compt. rend.*, 14 juillet 1851, tome XXXIII), et surtout celle de M. Ch. Mène, qui ont été faites sous mes yeux, pendant les mois de juin et de juillet 1851, mettent hors de doute l'absorption de l'oxygène par la plante sous l'influence de la lumière diffuse. Cet oxygène, comme l'avait déjà remarqué Théodore de Saussure, et comme le prouvent les expériences précises de M. Garreau, se transforme en acide carbonique en se combinant avec une portion du carbone de la plante. L'absorption de l'oxygène a lieu par toutes les parties du végétal. Théodore de Saussure avait déjà vu, et M. Garreau a prouvé de nouveau que la quantité d'acide carbonique expiré est beaucoup moins grande que celle de l'oxygène inspiré, et que la quantité d'acide carbonique formé est d'autant plus notable que l'obscurité est plus profonde. Maintenant, sous l'influence des rayons solaires, cet acide carbonique ainsi formé aux dépens de l'oxygène de l'air, de même que la portion de cet acide qui a été absorbée par les feuilles dans l'atmosphère, ou qui a été puisée par les racines dans le sol et les engrais, est immédiatement décomposée uniquement par les parties vertes, lorsque la plante est sous l'influence de la lumière solaire. Alors le carbone se fixe dans le tissu de la plante ; et, en se combinant avec les éléments de l'eau qu'il y trouve à l'état naissant, va concourir à la formation des principes immédiats ternaires, qui constituent la trame des organes ou qui existent dans ses différentes parties.

Il résulte de là que la respiration végétale offre avec celle des animaux plus d'analogie qu'on n'était disposé à l'admettre, puisque, comme celle-ci, elle consiste, en certains cas, dans l'absorption de l'oxygène et dans la formation de l'acide carbonique. Mais, au lieu que ce dernier soit expiré par la plante comme il l'est par l'animal qui respire, cet acide carbonique reste et est décomposé toutes les fois que les parties vertes de la plante sont frappées par les rayons solaires.

Ainsi donc, la respiration dans les végétaux consiste : 1° dans l'absorption de l'acide carbonique contenu dans l'air ; 2° dans l'absorption de l'oxygène par toutes les parties de la plante, et sa combinaison avec le carbone qu'elle lui fournit pour former de l'acide carbonique ; 3° dans la décomposition par la lumière solaire de cet acide carbonique ainsi formé et de celui que la plante a absorbé dans l'atmosphère et dans le sol, et dans la fixation du carbone et l'expiration de l'oxygène.

Mais dans l'obscurité, comme nous l'avons dit, les végétaux exhalent de l'acide carbonique. Théodore de Saussure considère cet acide comme formé par la plante aux dépens de son propre carbone et de l'oxygène de l'air. Au contraire, plusieurs chimistes, et M. Dumas entre autres, pensent que l'acide carbonique expiré par la plante dans l'obscurité est celui que les racines ont absorbé dans le sol, qui, par conséquent, y a été puisé par les racines. Le gaz passe alors à travers le tissu de la plante, comme à travers un crible, et est exhalé sans avoir été décomposé. Mais qu'un rayon de soleil se montre, et l'exhalaison de l'acide carbonique s'arrête : les feuilles le décomposent pour retenir son carbone et exhaler une grande partie de son oxygène.

Indépendamment de l'oxygène et de l'acide carbonique que la plante absorbe, l'air au sein duquel ses organes sont plongés pénètre également dans les poches aériennes dont nous avons signalé l'existence dans les feuilles. Cet air contient toujours de l'eau à l'état de vapeur, c'est-à-dire de l'oxygène et de l'hydrogène ; il contient souvent des vapeurs ammoniacales (hydrogène et azote). Or la force qui détermine la décomposition de l'acide carbonique suffit aussi pour opérer celle de l'eau et de l'ammoniaque, ainsi que le montrent les expériences déjà anciennes de Théodore de Saussure, et celles des chimistes modernes.

Les éléments de l'eau et de l'ammoniaque se trouvent en présence à l'état naissant, pour former avec le carbone provenant de la décomposition de l'acide carbonique tous les principes immédiats que l'analyse montre dans les végétaux.

C'est à la suite de ces réactions diverses que la séve se modifie dans les feuilles, et qu'elle y acquiert les propriétés et la composition qui vont la rendre capable de fournir à la plante tous les éléments de sa nutrition. Elle devient alors véritablement le fluide nutritif; car la transpiration lui a enlevé l'excès d'eau qu'elle contenait, alors qu'elle s'élevait des racines vers les feuilles.

[M. Duchartre a repris, en 1856, la plupart des expériences fondamentales sur la respiration végétale ; ses conclusions sont les suivantes :

1° Le dégagement d'un gaz fortement oxygéné par les feuilles s'opère, pendant le jour, non-seulement à la lumière directe du soleil, mais encore derrière des écrans verticaux formés avec des tissus plus ou moins serrés, même à l'ombre portée par des murs ou sous un feuillage touffu.

2° La quantité de gaz dégagée est proportionnelle à l'intensité de la lumière ; elle devient ainsi peu considérable à l'ombre.

3° Le gaz dégagé dans cette dernière circonstance est souvent assez riche en oxygène pour rallumer et faire brûler avec une flamme vive une allumette simplement rouge de feu à son extrémité.

4° Les plantes qui croissent habituellement à l'ombre paraissent être moins sensibles que les autres à la privation de la lumière directe.

5° Les conifères se trouvent à peu près dans le même cas.

6° Il n'existe pas de relation fixe entre le nombre et la grandeur des stomates et les quantités de gaz dégagées au soleil par les plantes des diverses catégories.

7° Dans certains cas, comme pour les arbres qui ont un tissu sec et coriace, il y a rapport inverse entre le nombre considérable des stomates et la faiblesse du dégagement gazeux.

8° Outre les stomates, on doit regarder, comme intervenant dans l'accomplissement des phénomènes respiratoires, les cellules de l'épiderme. Cette dernière conclusion est directement appuyée par ce fait qu'on voit sortir de ces cellules, sous l'eau, une quantité très-appréciable et souvent même considérable du gaz, à la face supérieure des feuilles qui ne sont pourvues de stomates qu'à leur surface inférieure.

9° Les feuilles jeunes et très-tendres ne dégagent pas d'oxygène ; mais celles qui deviennent sèches et coriaces en dégagent même dans leur jeunesse, fait qui du reste semble pouvoir expliquer la consolidation rapide de leur tissu, dont il serait difficile de se rendre compte autrement. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1856, t. XLII, p. 37.)]

En parlant de la structure anatomique des feuilles, nous avons signalé les différences qu'elle présente dans celles des plantes qui vivent constamment plongées dans l'eau. Ces différences sont parfaitement en rapport avec la manière dont la respiration doit se faire, et les plantes aquatiques, selon la remarque ingénieuse de M. Ad. Brongniart, respirent par un mode analogue à celui que présentent les poissons et les autres animaux à respiration branchiale. C'est encore l'air contenu dans l'eau qui sert à la respiration ; il n'agit dans ce cas que médiatement, au moyen de l'eau qui le contient. Cette eau baigne le tissu même de la feuille privée d'épiderme, et, par conséquent, se met directement en contact avec les organes contenant les fluides à modifier.

[Contrairement à ce qui a été professé par plusieurs physiologistes, M. Duchartre s'est assuré que les feuilles des plantes aquatiques, flottant à la surface de l'eau, dégagent à la lumière un gaz fortement oxygéné, non-seulement par leur face supérieure pourvue de stomates et en contact avec l'air, mais encore par leur face inférieure, qui est habituellement en rapport avec l'eau et qui se montre généralement privée de ces petits appareils.

MM. Cloez et Gratiolet ont repris la question de la respiration des plantes submergées : ils ont opéré sur des espèces appartenant aux genres *Naïas*, *Potamogeton*, *Myriophyllum* et *Ceratophyllum*. Des expériences faites avec le plus grand soin les ont amenés aux conclusions suivantes :

1° La décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des plantes submergées ne s'effectue que sous l'influence de la lumière.

2° Dans l'obscurité il n'y a point d'acide carbonique produit, contrairement à ce qui se passe pour les plantes aériennes.

3° Une certaine température est nécessaire à la production du phénomène. Lorsque la température est ascendante, il ne commence pas au-dessous de 15 degrés. Lorsque la température est descendante, il peut continuer au-dessous de cette température jusqu'à 10° degrés au-dessus de zéro.

4° Les sels et l'air qui se trouvent avec l'acide carbonique en dissolution dans les eaux naturelles sont indispensables à la durée du phénomène.

5° Le gaz produit par la plante contient, outre l'oxygène, une certaine quantité d'azote. Cet azote provient, pour la plus grande partie, de la décomposition de la substance même de la plante.

6° L'azote de l'air que l'eau tient en dissolution paraît destiné à réparer cette perte. Quoi qu'il en soit, sa présence est indispensable.

7° L'ammoniaque et les sels ammoniacaux en dissolution dans l'eau à la dose d'un dix-millième amènent rapidement la mort des plantes aquatiques.

8° L'absorption de l'acide carbonique se fait par la face supérieure des feuilles.

9° L'oxygène provenant de la décomposition de cet acide passe dans les méats intercellulaires de la plante et marche constamment des feuilles vers les racines.]

Mais ce n'est pas dans les feuilles seulement que se passent les phénomènes de la respiration, c'est-à-dire l'élaboration de la séve. Les cellules aériennes de la feuille communiquent toutes les unes avec les autres. L'air qui les remplit baigne en quelque sorte la surface des vaisseaux spiraux qui existent dans les nervures. Nous avons dit précédemment que ces vaisseaux contenaient de la séve pendant la première période de la végétation, c'est-à-dire quand le fluide séveux monte en abondance dans la tige, et que les feuilles sont encore peu développées. Mais quand celles-ci ont pris tout leur accroissement, et offrent une énorme surface d'exhalation, on voit petit à petit les sucs nutritifs disparaître de dedans les vaisseaux spiraux, qui bientôt se remplissent d'air. Il est facile de le vérifier en coupant sous l'eau, par une section transversale, une tige qui a développé ses feuilles ; on voit alors de petites bulles d'air sortir de l'orifice béant des vaisseaux spiraux. C'est dans cette seconde période qu'ils deviennent des organes respiratoires. Or, comme ces vaisseaux sont répandus dans toutes les parties de la plante, l'air se trouve ainsi porté dans les parties intérieures du végétal. Par les matières qui les constituent, par celles qui y sont mélangées ou dissoutes, il devient en partie le principe des composés qui se forment ou se modifient dans les divers organes du végétal. Par ce moyen, les sucs qui y sont contenus se trouvent à chaque instant en rapport avec le fluide gazeux destiné à leur élaboration. Cette seconde respiration est tout à fait analogue à celle qui a lieu dans les insectes, c'est-à-dire que c'est le fluide modifiant qui va chercher le suc nutritif dans toutes les parties où il se trouve, au lieu que ce soit ce dernier qui vienne se faire vivifier dans un organe unique et central, comme cela se passe dans les feuilles et dans les animaux à respiration pulmonaire.

Dutrochet s'est assuré par l'expérience que l'air contenu dans les diverses parties de la plante éprouve des altérations dans sa composition, à mesure qu'on l'observe plus loin des feuilles par lesquelles il a dû pénétrer. Ainsi, déjà, l'air contenu dans la tige du nénufar n'offrait plus que 16 parties d'oxygène sur 100, et celui des racines 8 seulement pour 100. Il est évident, d'après cela, qu'en circulant dans les vaisseaux pneumatiques, l'air se dépouille d'une partie de son oxygène, qui est absorbée par la séve à mesure qu'elle traverse le tissu végétal.

Excrétions végétales.— Un grand nombre de végétaux, au moment où leur séve se perfectionne par l'acte de la respiration et par celui

de la transpiration, rejettent à l'extérieur des matières variées, qui souvent se condensent et deviennent solides. Ce sont surtout les feuilles par lesquelles se fait cette excrétion. Ainsi, dans le courant de l'été, les feuilles du sycomore se recouvrent d'une matière mielleuse et sucrée ; celles des pins et des sapins exsudent de la résine ; les tiges ou les fruits des *Myrica*, du *Ceroxylon andicola*, sont couverts d'une véritable cire. D'autres fois, c'est de la gomme, des huiles volatiles, etc., qui exsudent ainsi. Toutes ces matières sont des produits de l'excrétion végétale, et servent à éliminer de la plante des substances qui sont produites par la nutrition, mais qui ne sont pas nécessaires pour que cette fonction s'accomplisse complétement.

B. Séve descendante. — Après avoir dissous, en s'élevant de la racine vers les feuilles, toutes les matières que la nutrition y accumule; après avoir subi dans les feuilles l'élaboration qui lui est nécessaire pour se convertir en fluide nutritif, la séve redescend des feuilles vers les racines, en suivant une marche inverse de celle qui l'a amenée vers les sommités de la tige; elle constitue alors la *séve descendante*. C'est par l'écorce que la séve redescend vers la base de la plante. Une expérience bien simple peut le démontrer. Si au printemps on fait à la tige d'un jeune arbre, d'un peuplier, par exemple, une ligature circulaire exactement serrée, on voit, au bout d'un an ou deux, et mieux encore après un temps plus long, un bourrelet circulaire se former immédiatement au-dessus de la ligature. Ce bourrelet est évidemment produit par les sucs qui, descendant dans l'épaisseur de l'écorce des sommités de la tige, et trouvant un obstacle qu'ils ne peuvent franchir, s'accumulent au-dessus de cet obstacle.

La séve descendante est essentiellement destinée à fournir au végétal les matériaux nécessaires à sa nutrition et à son accroissement. Elle circule, en effet, là où doivent se réunir les matériaux nécessaires à la production des organes nouveaux. Elle descend à travers tous les tissus qui constituent l'écorce, c'est-à-dire le tissu utriculaire et les tubes fibreux formant les feuillets du liber. En se répandant avec abondance à la face interne de l'écorce, elle y donne naissance à cette couche de tissu utriculaire à l'état naissant, qui bientôt s'organisera en une nouvelle couche ligneuse et en un nouveau feuillet d'écorce, et que nous avons désignée sous les noms d'*endoderme* ou de *couche génératrice*.

[Il n'y a pas, à proprement parler, dit Schacht, de séve descendante. L'échange des sucs se fait par endosmose entre les différentes cellules. Le cambium des faisceaux vasculaires favorise l'échange entre les cellules plus riches en principes azotés qui engendrent d'autres cellules ; le parenchyme met en rapport les utricules plus pauvres en azote qui fabriquent des produits assimilables. Le parenchyme et le cambium existent dans toutes les parties du végétal et sont directement en com-

munication constante. En automne, le jeune bois et l'écorce se gorgent de fécule et d'autres principes nutritifs, tandis que le cambium se remplit d'une substance granuleuse que l'iode colore en jaune. La végétation est suspendue jusqu'au printemps. Dans cette saison, la vie recommence. La fécule se convertit en dextrine et en sucre. La substance protéique du cambium entre également en activité. La racine puise dans le sol humide de l'eau qui est avidement absorbée par les principes à base de carbone des cellules. Les feuilles ne sont pas encore développées et la séve s'introduit dans des tissus où elle ne pénètre pas ordinairement; elle parvient dans le jeune bois, qui est rempli d'air et s'écoule quand on blesse l'écorce ou coupe une jeune branche. La séve monte, comme nous l'avons vu par les expériences de Hales et de Brücke, dans des tubes fixés au bout des branches. Mais dès que les feuilles ont paru, la vigne et le bouleau ne pleurent plus, la séve se distribue normalement dans la plante. Les sucs sont élaborés en partie dans le parenchyme de la feuille, en partie dans le parenchyme en général : celui de la racine et de la moelle est souvent plus riche en fécule que celui des feuilles et de l'écorce.]

Il ne faut pas confondre la séve descendante avec le *latex*. Ce dernier nous en paraît tout à fait différent. Il est contenu dans un système particulier de vaisseaux (les *vaisseaux laticifères*), et est en trop faible quantité pour pouvoir fournir *tous* les matériaux de la nutrition. Il est probable qu'il n'est pas étranger à cette importante fonction. Mais, quelle part y prend-il ? C'est une question que l'expérience n'a pas encore résolue.

Assimilation. — Nous venons d'étudier successivement la manière dont s'exécutent les différents actes de la nutrition ; examinons maintenant cette grande fonction dans son ensemble et dans ses résultats.

Les végétaux offrent une organisation complexe. L'analyse chimique nous fait voir qu'ils se composent de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et quelquefois d'azote. Mais ces éléments n'y sont pas séparés : ils y sont combinés en proportions diverses, et de leur combinaison résultent des composés jouissant de propriétés spéciales. Ainsi, on trouve dans les végétaux : de la cellulose, de l'amidon, du sucre, de la gomme, de l'albumine, de la fibrine, de la glutine, des alcaloïdes, des matières résineuses, de la cire, des huiles grasses et volatiles, des acides, etc., etc. Ils contiennent, de plus, quelques autres matières qui en font également partie, comme des sels, des oxydes, du soufre, de la silice, etc. Recherchons, s'il est possible, l'origine de ces diverses substances, et d'abord celle de leurs principes élémentaires, le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote.

Origine des éléments constitutifs des végétaux. — 1° Le *carbone* fait partie de tous les végétaux. Il y a pénétré à l'état d'acide carbo-

Cet acide, en effet, existe dans l'air atmosphérique, en quantité proportionnelle qui paraît minime, quatre à six dix-millièmes en poids, mais qui est énorme, si l'on examine l'étendue de l'atmosphère environnant le globe terrestre. On a calculé, en effet, que la quantité de carbone existant dans l'atmosphère pouvait s'élever à environ 1500 billions de kilogrammes, quantité, comme on le voit, bien supérieure à celle qu'on peut supposer exister dans tous les végétaux qui couvrent sa surface. Mais l'atmosphère n'est pas la seule source où la plante puisse prendre du carbone. Le sol en contient aussi une immense quantité. Les corps organisés n'ont qu'une existence limitée. Tous, au bout d'un certain temps, viennent par leurs dépouilles restituer à la terre les principes qui les constituent ; le carbone qui en fait nécessairement partie, par sa fixité et son insolubilité, résiste à toutes les forces de la nature, jusqu'au moment où il entre dans des combinaisons qui le rendent soluble, et lui permettent de pénétrer de nouveau dans les corps organisés. C'est l'acte de la respiration qui en décomposant l'acide carbonique sous l'influence de la lumière solaire, isole le carbone et le fixe dans le végétal. C'est par les forces toujours agissantes de la vie que le carbone se combine avec les autres éléments de la plante, pour former successivement les principes immédiats qui la constituent. Ainsi donc, l'acide carbonique est l'origine du carbone de végétaux.

[La quantité d'acide carbonique contenue dans l'air est tellement minime, puisqu'elle ne se monte qu'à quatre à six dix-millièmes seulement, qu'on ne conçoit pas que tout le carbone que la plante gagne sous la forme de cellulose, fécule, dextrine, gomme, etc., puisse en provenir. Cependant les chimistes tels que MM. Liebig et Boussingault admettent que l'air atmosphérique est la source unique où la plante puise son carbone. M. Boussingault montre qu'une branche de vigne portant vingt feuilles dont la surface était de 3246 centimètres carrés absorba, en quatre heures, 12 centimètres cubes ou 24 milligrammes d'acide carbonique, et en six mois, pendant toute la durée de sa végétation, 6266 centimètres cubes d'acide carbonique ou 12gr,324 en poids, ce qui correspond à 3gr,384 de carbone. Cette quantité est très-inférieure à la quantité de carbone que la plante a gagné pendant sa végétation de six mois. Il faut donc nécessairement que l'acide carbonique pénètre dans la plante par une autre voie. Unger a fait la même expérience sous une autre forme. Quatre jeunes arbres, un peuplier, un tilleul, un hêtre et un noisetier, furent déterrés avec soin en avril 1853, puis plantés dans de la bonne terre de jardin où ils prirent racines et poussèrent des rameaux, leurs feuilles furent comptées et leur surface estimée en centimètres carrés. Un an après, en avril 1854, les arbres furent déterrés de nouveau et pesés. Le petit tableau suivant donne le résultat des expériences.

NOMS DES ARBRES.	POIDS INITIAL EN GRAMMES. AVRIL 1853.	POIDS EN GRAMMES. AVRIL 1854.	AUGMENTATION OU PERTE DE POIDS EN GRAMMES.	SURFACE DES FEUILLES EN CENT. CARRÉS.	GAIN EN CARBONE. GRAMMES.	GAIN POSSIBLE EN CARBONE. GRAMMES.
Peuplier.....	665	1296	+ 631	17539	252	18
Tilleul.....	429	455	+ 26	2580	11	3
Hêtre.....	1122	1074	— 48	1100	—	—
Noisetier.....	392	620	+ 228	4750	91	5

On voit que le gain en carbone, par la respiration des feuilles, indiqué dans la dernière colonne, même dans les cas les plus favorables (celui du tilleul), n'est que le quart du gain effectif. La respiration végétale seule ne peut donc pas rendre compte de toute la quantité de carbone fixée dans le végétal, et la plante ne puise pas exclusivement son carbone dans l'acide carbonique décomposé par les feuilles.]

2° L'*oxygène* et l'*hydrogène* font partie de tous les principes des végétaux et il n'est pas difficile de se rendre compte de la manière dont ils y pénètrent. Les parties vertes, en décomposant à l'aide des rayons solaires l'acide carbonique, ne rejettent pas tout l'oxygène combiné au carbone. Les expériences de Sennebier et de Th. de Saussure ont montré qu'une proportion notable, près d'un tiers, de cet oxygène, était retenue par la plante pour y être assimilée. Il y a plus : nous savons aussi que l'eau qui pénètre les tissus végétaux est, en partie, décomposée par la force qui sépare les éléments de l'acide carbonique. Son oxygène et son hydrogène à l'état naissant entrent dans les combinaisons qui constituent les principes immédiats. Ainsi, l'oxygène des végétaux a deux sources : 1° la décomposition de l'acide carbonique, 2° celle de l'eau. Quant à l'hydrogène, il provient non-seulement de l'eau, mais aussi des matières ammoniacales qui existent à la fois dans l'atmosphère et surtout dans les détritus organiques que le sol renferme. L'*azote* existe dans tous les végétaux. M. Payen a prouvé que tous les organes de la plante, dans leur première période de formation, contiennent une certaine proportion d'azote, qui souvent finit par disparaître par suite des progrès de la végétation. Tout le monde sait que dans plusieurs des principes immédiats des végétaux, l'albumine, la glutine, la caséine, les alcaloïdes, etc., l'azote entre en quantité notable. L'origine de cet azote a été l'objet de discussions assez vives de la part des physiologistes et des chimistes. Cependant la solution de cette question offre un immense intérêt, puisque l'azote est le principe qu'il importe surtout

de produire et de fournir à bon marché pour les besoins de l'agriculture.

L'azote a deux origines : il provient de l'atmosphère et du sol. L'air atmosphérique, en effet, est un mélange de soixante-dix-neuf parties d'azote et de vingt et une parties d'oxygène. En pénétrant par les stomates dans le tissu de la plante, l'azote et l'oxygène, seulement mélangés, peuvent se séparer, et il est très-probable qu'une grande partie de l'azote de la plante n'a pas d'autre source que l'air atmosphérique lui-même. C'est ce que semblent confirmer les expériences poursuivies avec tant de zèle et de sagacité par M. Ville (*Compt. rend.*, XXXI. p. 578). Il résulte de ces expériences, faites sur une très-grande échelle, et qui n'ont pas duré moins de trois ans, que l'azote de l'air a été directement absorbé par les végétaux et que l'ammoniaque atmosphérique, à laquelle quelques chimistes, et spécialement M. Liebig, ont attribué un si grand rôle, n'est pour rien dans la production de l'azote des principes végétaux.

Cependant les matières ammoniacales peuvent aussi concourir à donner l'azote. Mais ce sont uniquement celles que contiennent les engrais qui, en se décomposant, peuvent aussi former les principes azotés des végétaux. Remarquons, en passant, qu'il a été prouvé, par les ingénieuses expériences de M. Boussingault, que certains végétaux avaient la propriété, les uns, d'emprunter presque exclusivement au sol l'azote qui entre dans leur constitution, tandis que les autres l'absorbaient en grande partie dans l'atmosphère. Les premiers sont essentiellement *épuisants*, les céréales, par exemple ; les seconds, au contraire, *améliorent* le sol, comme le trèfle, et en général les légumineuses, les topinambours, etc.

Les végétaux se composent de principes immédiats très-variés, que l'on décompose lorsque par analyse on en retire les éléments constitutifs : carbone, oxygène, hydrogène et azote. Ces principes immédiats peuvent, d'après leur composition chimique, se ranger en trois classes : 1° les uns se composent de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, en proportion nécessaire pour faire de l'eau ; 2° les autres, de carbone, des éléments de l'eau, avec un excès d'oxygène ; 3° les troisièmes, de carbone, des éléments de l'eau, avec un excès d'hydrogène, avec ou sans azote. Le tableau suivant présente les principes immédiats végétaux disposés d'après leur composition :

I. Carbone oxygène et hydrogène dans les proportions qui constituent l'eau.	*Substances neutres.*	Cellulose, amidon, dextrine, inuline, sucre, glucose.
	Acides	quinique, acétique, lactique.
II. Carbone, oxygène en excès sur les proportions de l'eau.	*Acides*	oxalique, tartrique et paratartrique, citrique, malique, tannique, gallique, méconique, pectique.
	Pectine.	

III. Carbone, hydrogène en excès sur les proportions qui constituent l'eau.	*Acides* caïncique, benzoïque, cyanhydrique.		
	Résines, baumes, vernis naturels.		
	Huiles essentielles, camphre.		
	Caoutchouc, cire, matières grasses.		
A. Sans azote.	*Matière ligneuse.*	(composée de lignose, lignone, lignin, ligniréose, matière azotée).	C'est un mélange de ces divers corps interposés dans la cellulose qui donne au bois et aux plantes ligneuses la rigidité, et qui les rend durs et cassants.
	Substances colorantes,		
	Substances neutres.	Mannite, saponine, salicine, picrotoxine, olivine, columbine, amygdaline, caféine, glycyrrhizine, ménispermine et paraménispermine. Diastase.	
B. Azotés.	*Albumine, caséine, glutine, fibrine, légumine.*		
	Bases végétales.	Cinchonine, quinine, arcine, sabadilline, delphine, strychnine, codéine, brucine, morphine, vératrine, narcéine, narcotine, atropine, solanine, émétine.	

Origine des principes immédiats. — Il nous serait impossible de parler ici, même sommairement, de chacune des substances contenues dans le tableau précédent. Nous nous bornerons à dire quelques mots de celles de ces substances qui offrent le plus d'intérêt, à cause de l'importance du rôle qu'elles remplissent dans les phénomènes de la nutrition.

Tous les organes des végétaux, quelles que soient leur forme, leur nature, leur destination, ont pour base un même principe immédiat, la *cellulose*, que Payen a le premier obtenu à l'état de pureté. Elle se compose de douze molécules de carbone, dix molécules d'hydrogène et dix molécules d'oxygène, ou, en d'autres termes, cent parties de cellulose contiennent :

Carbone	44,4
Eau	55,6
	100,0

Ainsi la trame organique du végétal se compose de carbone et des éléments de l'eau. Or, nous savons comment ces trois corps élémentaires, carbone, oxygène et hydrogène pénètrent à chaque instant dans le végétal, dans les différents actes de sa vie. Le carbone lui est fourni par la décomposition de l'acide carbonique : l'oxygène par l'eau, par l'acide carbonique lui-même, et l'hydrogène provient soit de la décomposition de l'eau, soit de celle de l'ammoniaque.

L'*amidon* offre la même composition chimique que la cellulose : carbone et éléments de l'eau. Il est répandu à profusion dans presque tous les organes de la plante; il s'y accumule pour servir à la nutrition. Mais, comme la cellulose, l'amidon est insoluble dans l'eau. Pour devenir assimilable, il a besoin d'éprouver un changement qui le rende soluble. Ce changement s'opère sous l'influence d'une matière particulière, la *diastase*, observée par MM. Payen et Persoz, matière qui existe ou se forme sous certaines influences dans tous les organes contenant de l'amidon. La *diastase*, en effet, possède la singulière propriété de transformer l'amidon en une matière sucrée et soluble, la *dextrine*, que l'eau peut entraîner dans tous les points du végétal. Or cette dextrine, en se combinant avec une molécule d'eau de plus, se change en *sucre de canne*. Celui-ci, à son tour, pourra être modifié, en absorbant trois nouvelles molécules d'eau, et il se convertit en *glucose* ou *sucre de raisin*. Or le sucre de canne et le sucre de raisin se trouvent plus ou moins abondamment dans les végétaux. Nous venons de voir comment le sucre de canne peut se transformer en sucre de raisin. Un changement en sens inverse peut avoir lieu, c'est-à-dire que, par les seules forces de la végétation, le sucre de raisin, en perdant trois molécules d'eau, peut devenir sucre de canne. Si l'on analyse au premier printemps, comme l'a fait Biot, la séve de quelques arbres, et entre autres celle des érables, on y trouvera du sucre de raisin. Un peu plus tard, dans le courant de l'été, le sucre de raisin est remplacé par le sucre de canne. Cette transformation peut même se faire quelquefois plus rapidement encore. Ainsi, la séve de la partie inférieure de la tige peut contenir du sucre de raisin, et celle qu'on extrait de ses sommités donner du sucre de canne. Ce changement s'explique facilement, en pensant que dans les feuilles la séve perd une certaine quantité d'eau et que la différence essentielle entre ces deux sucres provient de trois molécules d'eau de plus que contient le glucose comparé au sucre de canne.

Ainsi, un même principe immédiat, l'amidon, répandu en abondance dans presque tous les points du végétal, peut successivement et par les seules forces de la nature, se transformer en dextrine, en sucre de canne ou en glucose, et devenir ainsi l'une des sources où le végétal puise les éléments de sa nutrition et de son accroissement.

La lumière exerce une influence très-notable sur la formation de quelques-uns des principes immédiats des végétaux. Elle a pour effet général de fixer par la respiration une plus grande quantité de carbone et d'hydrogène. Aussi est-ce particulièrement sous son influence que se développent les produits dans lesquels ces éléments prédominent, comme les résines, les huiles volatiles, la cire, etc. C'est dans les parties extérieures du végétal, dans les feuilles, dans l'écorce, qui sont directement frappées par les rayons du soleil, que ces matières abondent. D'un autre côté, si l'on vient à soustraire ces parties à l'action de la lumière, non-seulement elles s'étiolent et *blanchissent* (comme on le fait tous les jours dans nos jardins pour certains légumes), mais leurs principes résineux et volatils finissent par disparaître plus ou moins complétement.

Quant aux produits azotés principaux, à ceux qui plus tard joueront un rôle si important dans la nutrition des animaux, savoir : la fibrine,