

## III

## CHIMIE.

## 1

Recherches sur la végétation, par M. Georges Ville.

A la fin du siècle dernier, il y avait au fond d'une petite ville de la Suède un homme dont les travaux devaient jeter un éclat extraordinaire sur la chimie encore à sa naissance. Il se nommait Schéele. Les nombreuses et remarquables découvertes dont il enrichissait la science, il les accomplissait à l'aide des moyens les plus simples. Il avait pour instruments tout ce qui lui tombait sous la main, et ne cherchait point ses appareils ailleurs que dans les ressources bornées et communes que lui fournissait la profession modeste de pharmacien qu'il exerçait à Kœping. Des verres à boire, des tuyaux de pipe, des vessies, quelques fioles jointes à quelques creusets ou cornues, formaient tout son laboratoire. Un verre à bière lui servait de cloche pour la conservation des gaz. S'agissait-il de recueillir un fluide élastique, il attachait une vessie à l'extrémité de la fiole où le gaz prenait naissance; le dégagement terminé, il serrait, au moyen d'une ficelle, le col de la vessie. Pour soumettre ensuite ce gaz à l'expérience, il détachait le lien, comprimait la vessie et pouvait ainsi procéder à toutes les observations qu'il jugeait nécessaires. C'est avec de tels moyens que Schéele réussit à

découvrir un grand nombre de corps nouveaux, simples ou composés, parmi les substances organiques ou minérales, et qu'il put, par exemple, dans la seule analyse chimique d'un minéral de manganèse, découvrir à la fois trois corps simples, le manganèse, le chlore et le baryum.

C'est le même chimiste qui devint en Suède l'objet d'une méprise assez singulière. Parfaitement ignoré dans son pays, son nom jouissait à l'étranger d'une réputation immense: dans un voyage entrepris hors de ses États, le roi de Suède l'entendit citer avec les plus grands éloges. De retour à Stockholm, le monarque eut à cœur de rendre un hommage public au mérite d'un homme qui faisait tant d'honneur à sa patrie, et il commanda d'inscrire Schéele sur la liste des chevaliers des ordres de la Suède. Mais, quand vint le moment de mettre cet ordre à exécution, le zèle maladroit du ministre chargé de ce soin donna à l'affaire un dénouement comique. Ce ne fut pas, en effet, l'illustre Schéele, le chimiste partout admiré, qui devint l'objet de la distinction royale; le titre fut accordé à un autre Schéele, à quelque bas officier qui portait le même nom. Personne n'avait pu s'imaginer que l'intention du roi fût d'accorder une telle dignité à un pauvre pharmacien de Kœping.

Cette simplicité extraordinaire dans les moyens d'expérience, qui suffisait au chimiste suédois pour l'accomplissement de ses travaux, suffisait d'ailleurs au reste des chimistes de son temps. La science, alors à ses débuts, offrait à l'étude un nombre si considérable de problèmes, que les solutions surgissaient pour ainsi dire d'elles-mêmes, et sans exiger l'emploi d'aucun système compliqué d'expérimentation. L'objet de la chimie se limitait encore à l'analyse des faits de la nature minérale, et la simplicité qu'offrait alors l'étude de ces phénomènes demeurait accessible aux procédés les plus élémentaires d'observation. Mais une fois ce grand résultat obtenu, et la chimie minérale dé-

sormais constituée dans ses principes généraux, il fallut aborder des questions d'un ordre plus élevé, et s'entourer de moyens de recherche plus délicats et plus précis. Étudier le mécanisme secret des fonctions des animaux et des plantes; rechercher, dans ses effets, la cause mystérieuse qui donne aux êtres vivants le sentiment et l'activité; appliquer à nos usages les produits de cette force cachée, voilà autant de problèmes qui nécessitent l'usage de moyens souvent très-difficiles à mettre en œuvre. Quand on se propose en effet de soumettre une plante ou un animal à une série d'observations ayant pour but d'éclairer le mécanisme de ses fonctions, quand on veut, par exemple, se rendre compte du véritable mode de nutrition ou d'accroissement des végétaux, il faut tout mesurer, tout peser, tout analyser : l'air que le végétal respire, l'eau qui baigne ses racines, le sol où il s'implante, et les matériaux divers qu'il assimile à sa substance pendant les phases diverses de son développement.

Si donc la juste curiosité qui se rattache à la connaissance des grandes questions scientifiques à l'ordre du jour, poussait un de nos lecteurs à rendre visite à l'intéressant laboratoire de chimie végétale de M. Ville, installé au milieu du joli village de Grenelle, il aurait besoin d'avoir présentes à l'esprit les réflexions qui précèdent, pour ne pas trop s'étonner du luxe d'appareils qu'on y admire, et de l'apparente complication de tant de systèmes mécaniques, qu'une prévoyance ingénieuse a disposés en vue de l'étude des grandes questions physiologiques qu'il s'agit d'approfondir. Entre ces majestueux édifices de cristal et de fer, où les plantes emprisonnées vivent et respirent comme dans l'air libre de nos champs; entre ces gazomètres immenses, d'une capacité totale de six mille litres, qui, durant des mois entiers, se vident et se remplissent sans cesse, et, comme les jets d'eau de Versailles dont parle Bossuet, ne se taisent ni jour ni nuit; entre ces moteurs

électro-magnétiques, qui s'élancent et s'arrêtent à la volonté de la main et au commandement de la pensée; en un mot, entre ces merveilles réunies de la mécanique et de la physique modernes et le naïf outillage du modeste Schéele, que nous rappelions plus haut, il y a certes un intervalle immense. Mais le résultat de cette comparaison n'a rien qui doive étonner, et, dans cette différence de procédés et de modes opératoires, il ne faut voir que le progrès des sciences et la différence des temps.

L'importance extrême de la question soumise à l'expérience par M. Ville, et les difficultés dont son examen s'environne, expliquent d'ailleurs suffisamment les soins infinis apportés à l'exécution des recherches qui vont nous occuper. Voici quel est, en effet, l'objet des *Expériences sur la végétation*, exécutées par M. Georges Ville, et qui, depuis quelques années, captivent vivement l'attention du monde savant. Il s'agit d'éclairer le véritable mécanisme de la nutrition des plantes, de rechercher comment s'introduisent dans leur tissu les éléments qui servent à leur formation. Pour bien faire comprendre la question, nous allons en présenter le tableau un peu agrandi.

Considérée dans sa composition immédiate, une plante est formée, en définitive, comme la plupart des autres substances organiques, de quatre éléments ou corps simples : l'oxygène, l'hydrogène, le carbone et l'azote. Mais par quel mécanisme chimique chacun de ces corps s'introduit-il dans le végétal? Que l'on dépose, en effet, une graine au sein de la terre : bientôt une petite plante s'élève, elle s'accroît, elle se couvre de feuilles, plus tard de fleurs et de fruits; elle accomplit en un mot toutes les phases ordinaires de sa végétation. Elle a donc, au bout de ce temps, fixé dans sa substance une certaine quantité d'oxygène, de carbone, d'hydrogène et d'azote. De quelle origine exacte proviennent chacun de ces éléments, à quelle source ont-

ils été empruntés? Telle est la question qu'il s'agit d'éluider. Recherchons, dans ce but, ce que la science a découvert relativement à l'origine de ces quatre corps simples dans l'organisme végétal.

Le carbone, qui sert à l'accroissement des plantes, est emprunté à l'acide carbonique, et ce composé provient de deux sources : 1° de l'acide carbonique existant dans l'air; 2° de la décomposition des engrais, qui, par leur destruction lente et spontanée, mettent en liberté du gaz carbonique; ce gaz se dissolvant dans l'eau qui baigne les racines, est aspiré sans cesse par ces dernières, et pénètre ainsi dans l'intérieur des vaisseaux de la plante.

De ces deux origines de l'acide carbonique, la première est de beaucoup la plus importante; c'est surtout de l'acide carbonique de l'air que les plantes tirent leur carbone. Toutes les végétations qui se développent sur les sols dépourvus d'engrais, sont une preuve suffisante de la vérité de ce fait. L'herbe des prairies, les arbres des forêts ne peuvent puiser ailleurs le carbone, puisqu'ils se développent sans l'intervention d'aucun engrais. Une expérience aussi claire que concluante a permis d'ailleurs à M. Bous-singault de mettre directement ce grand fait hors de doute. En semant des pois dans du sable, et ne leur fournissant autre chose que de l'air et de l'eau distillée, M. Boussingault a vu les plantes placées dans ces conditions artificielles, se développer, fleurir et fructifier en accumulant dans leur tissu une quantité considérable de carbone.

Par quel mode particulier d'action chimique l'acide carbonique de l'air peut-il céder ainsi du carbone aux végétaux? C'est là une des plus curieuses et des plus intéressantes découvertes qui soient dues à la chimie du dernier siècle. Le naturaliste Bonnet avait observé que des feuilles plongées dans l'eau aérée et exposées aux rayons du soleil, laissaient dégager un gaz. Priestley reconnut que ce gaz était de l'oxygène, et que les plantes jouissaient ainsi de

la merveilleuse propriété de décomposer l'acide carbonique en s'en appropriant le carbone et dégageant l'oxygène à l'état de liberté. Cette observation, d'une portée immense, était un premier rayon de lumière pour éclairer le mécanisme, jusque-là si obscur, des fonctions physiologiques des plantes. Elle montrait que les végétaux ont, comme les animaux, la propriété de respirer, c'est-à-dire d'absorber une partie des éléments de l'air, et que sous ce rapport une différence fondamentale existe entre les animaux et les plantes. En effet, tandis que les premiers agissent sur l'atmosphère pour s'emparer de l'oxygène et produire de l'acide carbonique, les autres, au contraire, agissent sur l'acide carbonique pour le détruire et restituent à l'air l'oxygène en sa place. Ce lien d'harmonie physique entre les deux grandes classes des êtres vivants, saisi dès les premiers temps de la science, devait conduire un jour à des révélations nouvelles de la plus haute importance. Cette prévision n'avait pas échappé d'ailleurs au génie de Priestley, qui s'écriait au moment où il venait d'accomplir cette grande découverte :

« Quand je considère les progrès étonnants que les connaissances naturelles ont faites dans le siècle dernier, et quand je me rappelle tant de siècles féconds en hommes studieux pendant lesquels on n'a rien fait sur la matière que je traite, il me paraît qu'il y a une providence particulière dans le concours des circonstances qui ont produit un si grand changement, et je ne puis m'empêcher d'espérer que ceci servira d'instrument pour opérer dans le monde de nouveaux changements qui seront d'une grande conséquence pour son avancement et pour son bonheur. »

Rien n'est plus merveilleux que l'énergie avec laquelle les feuilles vertes des plantes décomposent l'acide carbonique de l'air, quand elles sont frappées des rayons du soleil. Il suffit que, dans ces conditions, un courant d'air vienne lécher en passant la surface foliacée d'une plante,

pour qu'à l'instant même l'air se trouve privé des  $\frac{4}{5}$  ou des  $\frac{5}{6}$  de son acide carbonique. Une dissolution de potasse caustique offrant la même surface, n'agirait pas avec plus de rapidité. M. Boussingault a vérifié ce fait en renfermant une branche de vigne dans un ballon de verre qu'il faisait traverser par un courant d'air. Quelle que fût la rapidité du passage de l'air, l'acide carbonique restait toujours presque en totalité retenu par la plante. Nous ajouterons, pour montrer tout l'intérêt qui s'attache à cette fonction physiologique des végétaux, que cette décomposition directe de l'acide carbonique est un résultat que l'on ne pourrait parvenir à reproduire dans nos laboratoires : ni la chaleur la plus élevée, ni l'électricité à sa plus haute tension, ne pourraient effectuer, en agissant sur l'acide carbonique, cette séparation de l'oxygène et du carbone que les plantes, en état de vie, accomplissent sous nos yeux avec une si merveilleuse facilité.

Il serait inutile d'entrer dans aucun détail pour montrer à quelle source sont empruntés l'oxygène et l'hydrogène qui font partie des plantes. Ces deux éléments proviennent, comme on le devine, de l'eau qui humecte le sol. Aspirée dans l'intérieur de la tige, l'eau qui est formée, comme on le sait, de la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, concourt directement à la formation du tissu végétal, soit qu'elle se fixe en nature et sans subir de décomposition, soit au contraire que, décomposée pendant les actes de la végétation, elle fasse concourir un seul de ses éléments à la formation des produits organiques.

Si l'origine de l'oxygène et de l'hydrogène, dans le tissu des plantes, ne donne prise à aucune difficulté, il en est tout autrement quand on recherche l'origine de l'azote. Ce singulier corps simple qui manifeste une résistance toute particulière à l'empire des actions chimiques, et qui a toujours opposé à la théorie scientifique des embarras ou des

périls, n'a pas manqué de susciter ici les difficultés qu'il a coutume d'entraîner à sa suite. En ce qui concerne cette question délicate de l'origine de l'azote dans l'économie végétale, voici les résultats auxquels la science a été conduite jusqu'à ce jour.

Il est aujourd'hui reconnu que l'azote s'introduit chez les végétaux par deux sources bien distinctes. En premier lieu, par les engrais animaux; en second lieu, par l'air atmosphérique.

On ne peut concevoir aucun doute sur le mode spécial d'action chimique qu'exercent les engrais de nature animale. Leur rôle principal consiste à fournir aux plantes l'azote qui doit entrer dans leur constitution. L'urée, l'acide urique, les urates qui forment la partie essentielle des engrais azotés, et les débris animaux employés comme fumier, se transforment, quand ils se décomposent lentement au sein de la terre, en sels ammoniacaux: ces sels, se dissolvant dans l'eau qui baigne le sol, pénètrent par les racines dans l'intérieur du végétal, et c'est là que, sous l'influence des forces organiques, les sels ammoniacaux se trouvant décomposés, l'azote, qui constitue l'un des éléments de l'ammoniaque, peut être présenté au tissu de la plante. Les preuves abondent pour démontrer la réalité de ce fait. L'urine est le plus énergique engrais pour toutes les plantes riches en azote, parce que ce liquide fournit en se décomposant, par la fermentation putride, une quantité considérable de carbonate d'ammoniaque. En Flandre, cet engrais est employé depuis des siècles avec le plus grand succès. Les propriétés fertilisantes du *guano* sont dues à la même cause. Ce produit, que les vaisseaux de l'Europe apportent aujourd'hui par masses considérables des îlots de la mer du Sud, n'est autre chose, en effet, que le résidu desséché des excréments des oiseaux de ces contrées et qui est formé d'un mélange de sels ammoniacaux. L'urate, l'oxalate, le phosphate et le carbonate d'ammoniaque, unis à

quelques sels terreux, telle est la composition que la chimie lui assigne. Aussi peut-il suffire à lui seul pour assurer la fertilité des terrains les plus arides. Le sol de la côte du Pérou, qui est par lui-même d'une stérilité absolue et se compose uniquement de sable et d'argile, porte les plus riches moissons de maïs quand on le mélange d'une faible quantité de *guano*. Une expérience directe, qui a été exécutée par M. Schattenmann, directeur de la manufacture de Bouxvilliers, suffirait d'ailleurs pour prouver que c'est bien par les sels ammoniacaux auxquels ils donnent naissance que les engrais animaux agissent sur la végétation. M. Schattenmann a constaté qu'en arrosant un champ avec une dissolution de sulfate d'ammoniaque, les portions arrosées se distinguaient de celles qui ne l'étaient pas par la vigueur de leur végétation. Des caractères tracés au moyen de cette dissolution saline étaient visibles à une grande distance, et établissaient, par ce signe extérieur, l'utilité du sel ammoniacal comme engrais. Ce n'est donc point sans raison que MM. Boussingault et Payen, après avoir mis hors de doute l'efficacité des matières azotées dans la fumure des terres, ont proposé de fixer la valeur comparative des engrais animaux d'après leur teneur en azote.

Passons à l'examen de la seconde source de l'azote chez les plantes, c'est-à-dire à l'azote atmosphérique.

Cette question fut posée dès le moment où l'on posséda sur la composition de l'air quelques notions certaines. Priestley, et après lui Ingenhousz, ayant entrepris des expériences sur ce point, crurent constater que, durant la végétation, l'azote gazeux, qui entre pour une proportion considérable (79 pour 100 en volume) dans la composition de l'air, était absorbé par les plantes, et concourait ainsi directement à leur nutrition. Priestley annonça qu'une plante, *l'epilobium hirsutum*, placée sous un récipient de dix pouces de haut et d'un pouce de large, avait absorbé, au bout d'un mois, les sept huitièmes de l'air atmosphérique con-

tenu dans ce récipient. Ingenhousz étendant cette propriété à un grand nombre de végétaux, assura que toutes les plantes qui végètent dans le gaz azote en absorbent, dans un petit nombre d'heures, une proportion appréciable. Mais Théodore de Saussure n'eut pas de peine à démontrer l'erreur dans laquelle ces deux expérimentateurs étaient tombés. Ce naturaliste prouva que, dans cette circonstance, l'air ne change nullement de volume, et que l'expérience trop élémentaire que Priestley et Ingenhousz avaient exécutée, ne peut jeter la moindre lumière sur la question. Le même observateur ayant d'ailleurs découvert ce fait curieux que, par son séjour prolongé dans l'air atmosphérique, le sulfate d'alumine se change en alun ammoniacal, c'est-à-dire en sulfate double d'alumine et d'ammoniaque, démontra ainsi l'existence de l'ammoniaque dans l'air. Ce dernier fait semblait mettre en évidence la véritable origine de l'azote que les végétaux empruntent à l'atmosphère, et depuis ces observations de Saussure, les chimistes s'accordèrent à faire dériver de l'ammoniaque de l'air l'azote absorbé par les végétaux.

On ne peut mettre en doute, en effet, l'existence d'une certaine quantité d'ammoniaque dans le fluide atmosphérique. Les urines et le corps des animaux, en se décomposant, mettent en liberté une certaine proportion de carbonate d'ammoniaque; ce composé doit, par conséquent, se trouver disséminé dans l'air. L'expérience confirme d'ailleurs son existence dans notre atmosphère. Si l'on soumet à l'évaporation l'eau de la pluie, particulièrement celle qui tombe après la sécheresse, on trouve dans le résidu de cette évaporation, des quantités sensibles de sels ammoniacaux. M. Liebig a le premier démontré l'existence de l'azotate d'ammoniaque dans l'eau des pluies d'orage; des observations du même genre ont été faites depuis par MM. Grager de Mulhouse, Kemp, Frésenius, Is. Pierre, Graham et Georges Ville. On a constaté que l'eau pro-

venant des pluies recèle une certaine quantité d'un sel ammoniacal qui, se trouvant à l'état de vapeur dans l'atmosphère, est amené, à l'état de dissolution, dans l'eau à la surface du sol, et peut être ainsi utilisé pour la nutrition des plantes.

Ce fait de l'absorption par les végétaux de l'azote atmosphérique, qui n'existait qu'à l'état de présomption, fut démontré directement par des expériences longues et délicates exécutées par M. Boussingault en 1837 et 1838. Cet expérimentateur prouva que certaines plantes cultivées dans du sable, sans l'intermédiaire d'aucun engrais azoté, et ne recevant pour toute alimentation que de l'eau et de l'air, avaient pourtant absorbé, au terme de leur végétation, une quantité notable d'azote. Dans un mémoire présenté à l'Académie le 19 novembre 1838, M. Boussingault s'exprimait ainsi :

« Les expériences faites dans le courant de l'année dernière ont établi que le trèfle né et cultivé dans du sable préalablement calciné à la chaleur rouge, admet dans son organisation une certaine quantité d'azote, provenant très-probablement de l'atmosphère. En cultivant cette année des pois semés dans des conditions exactement semblables, j'ai obtenu les mêmes résultats... Pour les pois cultivés dans un sol stérile, le poids de l'azote contenu primitivement dans la semence se trouve plus que doublé dans la récolte. Dans ce même sol, le trèfle, en deux mois de végétation, aux dépens de l'air et de l'eau, a pour ainsi dire triplé le poids de sa matière élémentaire, et l'azote a presque doublé. »

M. Boussingault était conduit à la même conclusion en s'appuyant sur des faits empruntés à la culture effectuée sur une grande échelle. Il résumait en ces termes ces résultats :

« Je crois avoir constaté par de nombreuses analyses que, dans la grande culture, l'azote contenu dans une succession de récoltes excède toujours, et souvent dans une très-forte proportion, l'azote qui se trouvait primitivement dans les engrais

consommés pour les produire. Cet excès provient évidemment de l'air, et il est plus que probable que dans cette circonstance une partie de l'azote excédant entre dans les plantes à la faveur du nitrate d'ammoniaque, nitrate qui, d'après les analyses de M. Liebig, se rencontre fréquemment dans l'eau des pluies d'orage ! »

M. Boussingault n'avait pu constater le phénomène de l'absorption de l'azote chez toutes les plantes qu'il avait soumises aux mêmes expériences. Les céréales, par exemple, n'avaient pas absorbé l'azote atmosphérique. En conséquence, il avait cru pouvoir diviser, sous ce point de vue, les plantes en deux groupes distincts : celles qui absorbent l'azote de l'air (pois, trèfles, topinambours), et celles qui empruntent l'azote aux engrais (céréales et plantes oléagineuses).

Ces idées sur l'origine de l'azote chez les végétaux étaient alors admises par tous les savants et professées dans les cours publics comme dans les ouvrages de chimie.

Cependant, tout en admettant le fait général de l'absorption de l'azote par certaines plantes, M. Boussingault ne se prononçait pas sur le mode particulier d'action chimique auquel le phénomène était dû, c'est-à-dire sur l'élément spécial de l'atmosphère qui fournissait l'azote aux végétaux. En esprit rigoureux et scientifique, M. Boussingault ne voulait pas aller plus loin que les résultats de l'expérience. L'azote avait-il été apporté en nature; était-il emprunté aux vapeurs ammoniacales de l'air; ou bien fourni par les poussières azotées qui voltigent sans cesse dans l'atmosphère? Sur ce point délicat, le savant agronome n'avait rien osé affirmer. Il s'exprimait ainsi dans son dernier mémoire publié sur ce sujet :

« En parcourant ces différents tableaux, on reconnaît que constamment l'azote des récoltes excède l'azote des engrais.

J'admets d'une manière générale que cet azote en excès provient de l'atmosphère; quant au mode particulier par lequel ce principe est assimilé aux plantes, je ne saurais le préciser<sup>1</sup>.

La question en était là lorsqu'un chimiste, jeune, ardent, laborieux et plein de zèle, entreprit résolument d'aborder ce difficile problème. Il était, sans doute, de l'étoffe de ceux

Qui pour leurs coups d'essai veulent des coups de matre,

car il entra dans la carrière avec l'espoir de résoudre la difficulté devant laquelle s'était arrêté un des matres de la science. Plus de six années furent employées en expériences entreprises sur la plus grande échelle, et exécutées avec un soin et une patience infinis. Pendant ce temps, M. Boussingault reprenait de son côté la même question pour la soumettre à une suite d'observations décisives. Mais, ces deux grandes séries d'expériences une fois terminées par chacun de nos observateurs, il s'est trouvé que les conclusions de leurs recherches étaient complètement opposées. Tandis que M. Georges Ville, en effet, proclamait, comme une vérité démontrée par ses travaux, le fait de la fixation de l'azote dans l'économie végétale, M. Boussingault, revenant sur ses affirmations antérieures, concluait tout au contraire, que les plantes sont dépourvues de la propriété d'emprunter à l'air cet élément. La discordance, on le voit, ne pouvait être plus complète.

Sans nous étonner outre mesure d'un désaccord que justifient en partie les immenses difficultés qui s'élèvent toutes les fois que l'on soumet à l'expérimentation les phénomènes de la vie, exposons rapidement les deux méthodes de recherches qui ont conduit leurs auteurs à ces résultats contradictoires.

1. *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. I, p. 240.

La méthode principale de M. Ville a consisté à faire naître, croître et se développer diverses plantes dans un espace fermé, dans l'intérieur duquel on provoquait artificiellement un courant d'air régulier et constant. L'appareil se composait d'une sorte de grande cloche ou de serre, à dimensions considérables, et de toutes parts hermétiquement fermée. Au fond de cette cloche, on semait un certain nombre de graines dans du sable additionné de cendres fournies par des plantes de la même espèce. Le fond des pots plongeait dans une nappe d'eau distillée; l'arrosage se faisait ainsi de lui-même par le simple effet de la capillarité des racines. Un aspirateur, de très-grande dimension, faisait chaque jour passer dans la cloche un volume d'air déterminé. Avant de pénétrer dans la cloche, cet air traversait toute une série de tubes contenant de l'acide sulfurique et d'autres corps absorbants appropriés, qui le dépouillaient complètement de toutes les vapeurs ammoniacales et des poussières organiques qui auraient pu apporter de l'extérieur une certaine quantité d'azote. Les plantes se trouvaient donc placées dans les conditions naturelles de la végétation à l'air libre. Seulement, comme l'air n'aurait pas, dans cette disposition, fourni aux plantes une quantité suffisante de gaz acide carbonique, on dégagait régulièrement un volume supplémentaire de ce gaz qui venait se mêler à l'air de la cloche. Le mécanisme de cet appareil distributeur, réglé par l'aiguille d'une pendule, qui agissait, à intervalles déterminés, sur un petit électro-moteur, reposait sur une idée des plus ingénieuses. Mais nous ne pouvons entrer à ce sujet dans aucune description particulière, pas plus que nous ne pouvons exposer beaucoup d'autres combinaisons mécaniques d'une rare perfection que l'on admire dans les appareils de M. Ville, et qui font du laboratoire et de l'outillage de ce chimiste une des plus curieuses choses du Paris scientifique.

L'expérience dont nous venons de résumer les dispositions permettait de résoudre le problème proposé. En effet, les plantes une fois parvenues à leur dernier développement, on déterminait par l'analyse chimique la quantité d'azote qu'elles renfermaient. Comme la petite proportion d'azote contenue dans les graines avait été déterminée par avance, il est évident que si la plante entière renfermait plus d'azote que les graines n'en contenaient, l'origine de cet azote ne pouvait être rapportée qu'à l'air atmosphérique, puisque, pendant toute la durée de leur végétation, les plantes n'avaient reçu que de l'eau et de l'air parfaitement débarrassés de toute matière azotée.

Une autre série d'expériences effectuées par M. Ville a consisté à doser, avec la plus rigoureuse exactitude, la quantité d'ammoniaque existant dans la totalité de l'air qui s'est trouvé en contact avec une plante pendant toute la durée de sa végétation.

Voici maintenant les résultats numériques auxquels ont conduit ces deux séries d'expériences.

En 1849, la cloche a été traversée par 40 000 litres d'air. Cet air renfermait seulement 1 milligramme et demi d'ammoniaque. Or, les plantes ont absorbé 103 milligrammes d'azote.

En 1850, on a fait passer dans la cloche 65 000 litres d'air qui renfermait 2 milligrammes d'ammoniaque, et les plantes ont absorbé 1 gramme 186 milligrammes d'azote.

En 1851 eut lieu l'expérience qui consistait à absorber par l'acide sulfurique l'ammoniaque de l'air avant son entrée dans la cloche. Dans ces conditions, l'azote des récoltes a dépassé celui des semences de 481 milligrammes.

Enfin en 1852 la même expérience, exécutée sur le froment, a conduit au même résultat. L'azote déterminé dans la plante après sa fructification l'emportait, sur celui des semences, de 36 milligrammes. Cette expérience paraît sans réplique, et l'assimilation de l'azote de l'air ne peut être

contestée en présence de ces feuilles, de ces fleurs et de ces graines exclusivement faites avec de l'air et de l'eau.

Passons maintenant à la méthode dont M. Boussingault a fait usage de son côté et qui l'a conduit à une conclusion contraire.

Redoutant certaines causes d'erreur dans l'emploi d'un appareil en communication permanente avec l'air extérieur, M. Boussingault s'est arrêté à l'idée de faire pousser ses plantes dans un vase entièrement clos, en les maintenant pendant toute la durée de leur végétation à l'abri de toute communication avec le dehors. Seulement, comme la quantité de gaz acide carbonique contenue dans ce faible volume d'air aurait été évidemment insuffisante pour la vie de la plante, un petit appareil permettait de lui administrer, au moment voulu, une nouvelle ration d'acide carbonique. Ainsi réduit à un état de simplicité extrême, tout l'appareil ne se composait que d'un grand ballon de verre d'une capacité de 60 à 80 litres. Voici comment cet appareil était mis en expérience.

Au fond du ballon se trouvait un sol artificiel composé de pierre ponce concassée et mélangée avec des cendres provenant de la combustion du fumier de ferme, et des cendres fournies par des graines de l'espèce des plantes à expérimenter. Une certaine quantité d'eau distillée, qui ne pouvait jamais être renouvelée, baignait la base de ce sol artificiel. On semait la graine en l'introduisant dans le ballon par un tube de verre creux. La graine introduite, on fermait le ballon à l'aide d'un bouchon recouvert d'une coiffe de caoutchouc. Quant la germination était suffisamment avancée, on ajoutait à cette atmosphère confinée le gaz acide carbonique supplémentaire. Pour cela, on remplaçait le bouchon du ballon de verre par un second ballon renversé, offrant à peu près le dixième de la capacité du premier et rempli à l'avance de gaz acide carbonique. La jointure des deux ballons, bien lutée avec de la cire d'Espagne.



on enterrait à moitié l'appareil dans le sol, et à partir de ce moment l'expérience était abandonnée à elle-même; l'opérateur n'avait plus qu'à observer le développement de la plante jusqu'à l'époque qui lui paraissait convenable pour la soumettre à l'analyse, et reconnaître ainsi si elle avait emprunté de l'azote à l'atmosphère confinée au sein de laquelle elle avait vécu.

De plusieurs expériences exécutées sur trois espèces de végétaux, M. Boussingault a tiré cette conclusion : que les plantes n'avaient absorbé aucune trace d'azote. La quantité d'azote existant dans la plante développée ne surpassait point, en effet, celle qui existait dans la graine, et que l'on avait déterminée d'avance avec beaucoup de soin.

Entre deux observateurs d'une habileté et d'une loyauté irréprochables, et qui, dans l'étude d'une question scientifique d'un ordre élevé, sont conduits à des affirmations contraires, il est bien difficile d'émettre un jugement. Reproduire les critiques mutuelles que les expérimentateurs ont cru pouvoir adresser à la méthode suivie par leur adversaire, est facile sans doute, mais n'amène à rien de sérieux; car si l'on peut aisément signaler des causes d'erreur dans une longue série d'expériences, ces objections de détail ne peuvent que faiblement infirmer le résultat final déduit des expériences. Nous sommes donc heureux de pouvoir apporter les résultats de l'arbitrage suprême auquel cette grande question a été soumise.

En 1853, le jugement définitif de ce débat a été confié par l'Académie des sciences à une commission composée de chimistes et de physiciens expérimentés. M. Ville s'est empressé de construire sur ses premiers modèles deux vastes appareils qu'il a mis à la disposition de la commission de l'Académie, et qui ont été installés peu après au jardin des Plantes. Les travaux auxquels la commission s'est livrée ont duré dix-huit mois. Ils ont consisté à ré-

péter les expériences de M. Georges Ville sur l'absorption de l'azote dans des espaces fermés.

La commission a conclu, dans un rapport très-développé, qui a été présenté à l'Académie des sciences par M. Chevreul « que l'expérience faite au muséum d'histoire naturelle est conforme aux conclusions que M. Ville avait tirées de ses travaux antérieurs, » ce qui veut dire que l'on a constaté dans ces expériences le fait de l'absorption de l'azote gazeux par des plantes en état de végétation.

Nous ajouterons que l'on comprendrait d'ailleurs difficilement que l'on pût nier le fait général de l'absorption de l'azote par les végétaux. Si ce résultat semblait de nature à soulever la moindre objection, il suffirait de renvoyer les contradicteurs à l'ouvrage si connu de M. Liebig, *Lettres sur la chimie*, dans lequel ce savant énumère une série de faits positifs, de nature à faire disparaître toute hésitation sur ce point.

Nous ferons remarquer, en terminant, que la question qui a été le sujet de ces recherches et de ces discussions était bien digne, par son importance, d'attirer toute l'attention des savants. S'il est démontré, en effet, que toutes les plantes indifféremment empruntent à l'air l'azote, et que les céréales n'apportent aucune exception à ce fait, beaucoup de points de vue auxquels on a dû s'assujettir jusqu'à ce moment dans la composition rationnelle à donner aux engrais des céréales et d'autres plantes agricoles, devront être sensiblement modifiés ou transformés. Si au contraire, ainsi que M. Boussingault l'assurait, l'azote de l'air n'est point assimilable par les plantes, et si son rôle se borne à tempérer, en quelque sorte, l'action du gaz oxygène auquel il est mêlé, on devra insister d'une manière toute particulière, dans la composition des engrais, sur l'emploi des matières azotées susceptibles de fournir aux plantes un élément qui leur est indispensable et qu'elles ne sauraient puiser sponta-

nément dans l'air. Cette question, qui semble au premier coup d'œil limitée au domaine de la science théorique, se rattache donc aux intérêts les plus directs de l'agriculture, et c'est pour ce motif que nous avons cru pouvoir l'examiner ici avec quelque étendue.

Après avoir soumis de cette manière à une étude approfondie, et en s'entourant des moyens de recherches les plus précis et les plus perfectionnés que fournisse l'état présent de la science, la question de l'absorption du gaz azote par les plantes en état de végétation, M. Georges Ville s'est occupé, par des moyens du même genre, d'étudier l'absorption du carbone par les végétaux.

Mais le carbone et l'azote ne sont pas les seuls éléments qui concourent à la vie végétale; les plantes ont besoin, en outre, de phosphore, de soufre, de potasse, de chaux et de magnésie. Pour découvrir le mécanisme chimique de la formation des végétaux, il faut donc connaître le rôle de chacun de ces agents, déterminer son utilité propre et l'influence qu'il exerce sur l'assimilation de tous les autres éléments; c'est à cette condition seulement que la science chimique pourra devenir un jour un utile auxiliaire pour l'agriculture.

Tout le monde comprendra sans peine que la solution de questions si multiples et si variées ne s'improvise pas. Elle ne s'obtient qu'au prix de beaucoup de temps, d'essais et de dépenses. Il faut donc savoir gré à ceux qui ne reculent pas devant les sacrifices que de telles recherches exigent, aujourd'hui surtout où les travaux d'ensemble et de longue haleine deviennent de plus en plus rares et sont presque contraires à nos habitudes.

Ces réflexions, que les travaux dont nous venons de rendre compte suggèrent de prime-abord, nous seraient inspirées au besoin par la lecture d'un nouvel ouvrage de M. Ville, dans lequel on trouve le rôle des engrais élevés pour la première fois à la hauteur d'une question de

science<sup>1</sup>. Ces sortes de recherches touchent aux intérêts sociaux les plus vivants de notre époque; elles sont appelées à exercer une influence si considérable sur les progrès de notre agriculture, que nous considérons comme un devoir de nous en occuper.

Grâce à la munificence de l'Empereur, M. Georges Ville fait construire en ce moment au Muséum d'histoire naturelle de Paris, où il occupe la chaire de *physique végétale*, créée, il y a un an, par l'initiative éclairée de M. le ministre de l'instruction publique, un laboratoire modèle digne de l'établissement auquel il se rattache, et qui sera bientôt visité par les savants étrangers comme une des plus originales créations de la capitale. Une visite détaillée faite à ce nouveau laboratoire, nous fournira l'occasion de revenir dans le volume prochain de l'*Année scientifique*, sur les travaux et l'enseignement du jeune professeur.

## 2

Les nouveaux procédés de fabrication du fer. — Systèmes mis en usage jusqu'ici pour l'affinage de la fonte : affinage au charbon de bois; puddlage ou méthode anglaise. — Systèmes nouveaux : méthode prussienne de MM. Bremme et Krüpp. — Procédé de M. H. Bessemer, de Londres. — Procédé de M. Tessié du Motay.

Depuis quelque temps, de nouveaux procédés pour la préparation économique du fer et de l'acier préoccupent vivement la métallurgie. Un mouvement d'une portée sérieuse tend à se manifester dans cette branche de l'industrie, et tout annonce que les méthodes usitées depuis des siècles pour la fabrication des fers, sont à la veille de subir une transformation importante. En France, les idées mises en avant par le génie du regrettable Adrien Chenot, portent déjà leurs fruits. Les fils de cet inventeur,

1. *Recherches expérimentales sur la végétation*, par M. Georges Ville, professeur de physique végétale au Muséum d'histoire naturelle. — Un vol. in-8 avec planches photographiques, chez Victor Masson et Mallet-Bachelier. 1857.

trop négligé pendant sa vie, suivant la voie glorieuse tracée par leur père, dotent l'industrie d'une nouvelle source d'acier obtenu à bas prix, et diverses usines de la capitale commencent à employer avec avantages des aciers préparés en grand par des méthodes qui ont été longtemps taxées d'utopies. En Autriche, le capitaine Uchatius suit la même route, en essayant de produire à bas prix des aciers dont les qualités semblent fort acceptables, d'après les expériences dont nous avons été témoin dans les ateliers du chemin de fer du Nord. En 1857, tous les journaux se sont occupés, en Angleterre, d'un nouveau procédé de fabrication du fer inventé par M. H. Bessemer, de Londres. Enfin, un chimiste français, M. Tessié du Motay, a imaginé un nouveau procédé d'affinage, qui aurait pour résultat de résoudre le problème, depuis si longtemps poursuivi, de remplacer les feux au bois, dans l'affinage de la fonte, par l'emploi de la houille. Ce dernier résultat serait d'une valeur considérable, puisqu'il permettrait de rendre à l'agriculture forestière les énormes quantités de bois que l'entretien d'innombrables fours d'affinerie consume aujourd'hui dans nos forges.

C'est le tableau des divers perfectionnements récemment introduits dans la fabrication du fer, que nous allons essayer de présenter ici, moins pour exprimer sur chacun d'eux un jugement, que pour mettre nos lecteurs au courant des progrès qui sont en voie de s'accomplir dans l'une des branches les plus importantes de l'industrie européenne. Cette question intéresse jusqu'au dernier des particuliers, puisqu'une diminution notable dans le prix de fabrication du fer se traduirait par une grande impulsion imprimée tout aussitôt aux diverses branches de notre industrie manufacturière, aussi bien qu'à l'agriculture, qui a tant d'intérêt à posséder à bas prix des instruments de fer et d'acier. Produire du fer à bon marché, ce serait apporter à l'industrie, à l'agriculture, une force nouvelle;

ce serait ajouter aux ressources, à la puissance, au bien-être de la société moderne.

Nous devons commencer par exposer, en peu de mots, les opérations qui ont été employées jusqu'à ces derniers temps pour l'extraction du fer.

Chacun sait que la préparation du fer se compose de deux opérations distinctes et successives. Par la première, qui se pratique dans les hauts fourneaux, on obtient la *fonte*, sorte de fer extrêmement impur et qui doit principalement sa propriété cassante, à froid ou à chaud, à la présence d'une quantité notable de carbone, de silicium, de soufre et de phosphore, provenant soit du minerai ferrugineux, soit de la houille qui a servi à opérer la réduction et la fusion de la matière métallique. Dans la seconde opération, on reprend la fonte, et on la débarrasse, par un traitement convenable, du carbone, du silicium, du soufre et du phosphore, pour l'amener à l'état de fer pur.

Les perfectionnements nouveaux dans la fabrication du fer dont nous avons à parler ne portent point sur la première de ces opérations, c'est-à-dire sur la préparation de la fonte, mais sur la seconde, c'est-à-dire sur la purification ou l'*affinage* de ce produit.

Deux systèmes différents sont en usage pour l'affinage de la fonte : l'un, employé presque exclusivement sur le continent européen, porte le nom d'*affinage au bois*; l'autre, imaginé en Angleterre, a reçu le nom de *puddlage*, ou *affinage par la méthode anglaise*.

L'*affinage au bois* consiste à placer la fonte dans un petit foyer chauffé au bois, et à diriger sur le métal tenu en fusion le vent de puissants soufflets. Le bois est employé comme le combustible le plus pur, et pour éviter la présence des produits étrangers qui existent dans les houilles, et qui, se mêlant au fer, altéreraient sa qualité. L'air, se trouvant en contact, incessamment et par grandes masses,