

## AGRONOMIE

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS.  
PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE APPLIQUÉE A L'AGRICULTURE

COURS DE M. DEHÉRAIN

## Origine de l'azote des végétaux (4).

## IV.

Après avoir recherché ensemble, dans les précédentes leçons, l'origine du carbone des végétaux, nous abordons aujourd'hui une seconde question d'une extrême importance; nous cherchons où et comment les végétaux trouvent les éléments des matières azotées qu'ils renferment.

Et d'abord, comment démontre-t-on dans la plante l'existence des composés azotés? dans les graines, ils sont accumulés en telle quantité qu'ils sont aisés à séparer. Nous exécutons devant vous l'expérience classique de la préparation du gluten. Vous voyez que de la farine de froment malaxée sous un courant d'eau abandonne une quantité notable d'amidon et finit par laisser entre les mains de l'opérateur une matière grisâtre, élastique, ayant plutôt l'aspect d'une substance d'origine animale que d'un produit extrait des végétaux. Or le gluten, ainsi obtenu, est azoté; mélangeons-le à de la chaux sodée, chauffons dans un tube, et nous obtenons bientôt un dégagement de gaz ammoniac reconnaissable à sa réaction alcaline et à son odeur.

Ce n'est pas seulement la graine qui renferme des matières azotées, elles se rencontrent également, mais en moindre proportion, dans tous les autres organes : racines, tiges, feuilles ou fruits; vous voyez ici un liquide verdâtre que nous avons obtenu en hachant des feuilles, puis en les triturant avec de l'eau dans un mortier, et enfin en faisant passer le liquide au travers d'un linge : ce liquide renferme de l'albumine végétale facile à isoler; en effet, sous l'influence de la chaleur, l'albumine éprouve une modification isomérique, elle devient insoluble. Chauffons le liquide provenant des feuilles triturées, vous voyez qu'il se trouble et qu'il renferme maintenant des grumeaux verdâtres, formés par l'albumine qui a entraîné avec elle la chlorophylle; filtrons et mélangeons la substance restée sur le filtre à la chaux sodée, nous obtenons encore sous l'influence de la chaleur un abondant dégagement d'ammoniaque.

Nous pourrions répéter avec les liquides extraits des autres organes des expériences semblables; n'insistons pas sur un fait aussi facile à constater et recherchons immédiatement quelle est la source où la plante puise son azote.

Elle le prend dans le sol : à l'état de nitrates, à l'état de sels ammoniacaux, sans doute encore sous forme de matières organiques complexes renfermant à la fois du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote. Peut-elle en outre

puiser dans l'azote gazeux qui forme les quatre cinquièmes de notre atmosphère? C'est là une question que nous discuterons en détail, car elle présente un très grand intérêt.

L'efficacité des nitrates comme engrais est reconnu depuis longtemps, mais plus récemment M. Boussingault et M. G. Ville sont arrivés à démontrer, avec une netteté parfaite, que les plantes trouvent dans les nitrates l'azote nécessaire à la constitution de leurs tissus; les expériences de M. Boussingault notamment sont justement célèbres.

L'une d'elles a porté sur des *Helianthus* qu'on arrosait avec de l'eau exempte d'ammoniaque, mais renfermant de l'acide carbonique; on a obtenu les résultats suivants :

Matières introduites dans le sol.	Poids des plantes desséchées.	Poids des plantes en défalquant la semence.	Rapport du poids de la plante à la semence.
N° 1. — Sans nitrates. . .	0 <sup>sr</sup> ,507	0 <sup>sr</sup> ,397	4,6
N° 2. — 0 <sup>sr</sup> ,02 de nitrates.	0 880	0 720	7,6
N° 3. — 0 06 —	1 240	1 130	11,3
N° 4. — 0 16 —	3 390	3 280	30,8

Dans une autre expérience, dont je veux encore mettre les résultats sous vos yeux, M. Boussingault a fait intervenir dans le sable calciné non seulement un nitrate, mais encore les matières minérales que nous reconnaitrons être nécessaires au développement normal des végétaux; l'influence qu'exerce le nitrate est tout à fait remarquable.

Voici les résultats obtenus :

Matières introduites dans le sol.	Poids de la récolte sèche, la graine étant 1.	Matière végétale élaborée.	Acide carbonique décomposé en 24 heures.	Acquis par les plantes en 80 jours de végétation.	
				Carbone.	Azote.
Le sol n'ayant rien reçu.	9,6	0 <sup>sr</sup> ,285	2 <sup>cc</sup> ,45	0 <sup>sr</sup> ,114	0 <sup>sr</sup> ,0023
Le sol ayant reçu phosphate, cendre, nitrate de potasse. . . . .	198,3	21 <sup>sr</sup> ,111	182 <sup>cc</sup> ,00	8 <sup>sr</sup> ,446	0 <sup>sr</sup> ,1666
Le sol ayant reçu phosphate, cendre, bicarbonate de potasse . .	3,6	9 <sup>sr</sup> ,291	3 <sup>cc</sup> ,42	0 <sup>sr</sup> ,156	0 <sup>sr</sup> ,0027

Ces expériences ne sont pas les seules que nous pouvons citer; nous avons, M. Fremy et moi, cultivé, il y a plusieurs années, des betteraves dans des sols artificiels formés d'argile, de sable et de carbonate de chaux, et tandis que trois betteraves vivant dans un grand tonneau pesaient ensemble 111 grammes quand elles n'ont rien reçues et 225 grammes quand elles avaient été amendées avec du superphosphate de chaux et du chlorure de potassium, elles atteignaient 1772 grammes quand elles recevaient, outre les deux sels précédents, 100 grammes d'azotate de soude.

Les plantes profitent donc à un haut degré de la présence des nitrates dans le sol où elles enfoncent leurs racines; mais si ces composés représentent une des formes sous lesquelles l'azote est assimilé par le végétal, on est en droit de se demander comment il réussit à s'approvisionner; l'emploi des nitrates comme engrais ne date guère, en effet, que d'une trentaine d'années et la terre est couverte de végétaux depuis les temps géologiques.

(1) Voyez la *Revue scientifique*, t. XIX (1880), p. 434, 465, 513.

Messieurs, bien que je ne compte pas exposer cette année, dans tous leurs détails, les phénomènes de la nitrification, je vous rappellerai que les nitrates prennent constamment naissance dans les sols où se décomposent au contact de l'air des matières azotées; on attribue depuis longtemps aux corps poreux une influence décisive sur cette combustion de l'ammoniaque par l'oxygène de l'air qui donne naissance à l'acide azotique, et la célèbre expérience de M. Kuhlmann, que je reproduis ici, est venue apporter un nouvel appui à cette manière de voir.

Pour réussir à brûler l'ammoniaque et à la transformer en acide azotique, nous employons la mousse de platine. Voici l'expérience disposée devant vous : un ballon renferme une dissolution d'ammoniaque, on y fait passer un courant d'air qui entraîne l'alcali; l'air abandonne la plus grande partie de l'eau dont il s'est chargé dans un flacon, puis pénètre dans un long tube en U qui renferme de l'amiant; celle-ci a été imprégnée d'une dissolution de chlorure de platine, puis calcinée; elle est ainsi chargée de mousse de platine très divisée; quand on chauffe légèrement et qu'on lance dans le ballon à ammoniaque le courant d'air, tout le tube devient incandescent, l'hydrogène et l'azote de l'ammoniaque sont brûlés, et si nous examinons maintenant le liquide dans lequel sont venues se condenser les vapeurs, nous allons y reconnaître la présence de l'acide azotique.

Nous y réussissons en prenant quelques centimètres cubes du liquide, le saturant par de l'acide chlorhydrique pur et y ajoutant de la teinture d'indigo qui est rapidement décolorée par suite de la formation du chlore résultant de l'action de l'acide azotique sur l'acide chlorhydrique.

Ainsi, messieurs, nous reconnaissons, d'après cette expérience, que de l'ammoniaque, de l'air et un corps poreux suffisent à produire de l'acide azotique, et pendant longtemps on a cru que c'était seulement par sa porosité que la terre arable favorisait la nitrification. Toutefois des doutes sont survenus à la suite d'expériences de M. Boussingault, qui ont fait voir que des matières organiques azotées, mélangées à du sable ou à de la craie, ne donnaient pas naissance à des quantités sensibles de nitrates, tandis qu'ils apparaissaient, au contraire, en proportions notables quand ces mêmes matières organiques étaient mélangées à la terre arable.

Celle-ci exerçait donc une action spéciale dont la nature a été déterminée par une série d'expériences remarquables dues à MM. Schläesing et Muntz; guidés par les admirables expériences de M. Pasteur, dont l'importance semble grandir chaque année, ces savants ont reconnu que la terre arable renfermait habituellement un ferment spécial capable de déterminer l'oxydation des matières organiques azotées; ce ferment figuré qui ne présente pas de caractères extérieurs bien définis possède donc des propriétés analogues à celles du *mycoderma aceti*, ou du *mycoderma vini* qui oxydent l'alcool pour le métamorphoser en acide acétique ou même en acide carbonique et en eau.

La fermentation nitrique des terres arables se propage comme toutes les autres; en mêlant à une terre qui ne forme pas de salpêtre une autre terre qui possède cette propriété,

on lui communique la propriété nitrifiante comme on propage la fermentation alcoolique d'une cuve à une autre; de même enfin qu'on tue les ferments par l'action de la chaleur ou qu'on les paralyse par celles du chloroforme, on arrête ou l'on suspend la nitrification dans la terre arable par les mêmes procédés.

Vous ne serez donc pas étonnés, messieurs, que certaines terres puissent renfermer des quantités notables de salpêtre — celle qui forme le sol du jardin du laboratoire est dans ce cas — et les végétaux que nous y cultivons renferment parfois des quantités considérables d'azotates, tels sont le maïs, le sorgho; vous voyez ici de la moelle de sorgho desséchée. En la plaçant dans une capsule de platine et en la brûlant, on voit apparaître une série de petites étincelles qui décèlent nettement la présence des azotates.

Ces sels s'accumulent, en effet, dans les plantes en quantités très sensibles. C'est déjà un fait d'observation ancien que la calcination des vinasses de betteraves donne des explosions dues à la réaction violente des nitrates sur la matière organique. M. Péligot, M. Barral et M. Ladureau ont de plus attiré récemment l'attention sur les quantités considérables de salpêtre qu'on rencontre dans les racines qui sont employées communément à la nourriture humaine ou à celle des animaux; les graminées se chargent également de quantités notables de nitrates dont l'influence fâcheuse s'est fait souvent sentir sur les animaux nourris de foin de prairies trop abondamment fumées avec de l'azotate de soude.

Il est très important pour les analystes de bien savoir que les plantes fourragères renferment parfois des proportions notables de nitrates qui peuvent leur faire commettre de graves erreurs de dosage.

On évalue, en effet, les matières azotées contenues dans les fourrages destinés aux animaux par un dosage d'azote exécuté à l'aide de la chaux sodée; or les nitrates mélangées à des matières organiques donnent de l'ammoniaque qui s'ajoute à celle qui provient des matières albuminoïdes et l'on donnerait, pour ces substances, un chiffre tout à fait inexact, si on les calculait d'après la quantité d'ammoniaque dégagée. Nous avons appelé déjà votre attention sur ce sujet dans les leçons consacrées à la germination et nous avons vu qu'il faut distinguer dans les graines en germination l'azote contenu dans les matières albuminoïdes de celui qui s'y trouve à l'état d'asparagine; nous trouvons donc ici une nouvelle forme de l'azote qu'il est tout aussi important de ne pas confondre avec les albuminoïdes (1).

(1) Deux des conférences qui ont suivi les leçons que nous résumons ici ont été employées à montrer les procédés de dosage des diverses formes de l'azote contenu dans les végétaux; pour les nitrates, on a fait usage du procédé de réduction par le protochlorure de fer, on recueille du bioxyde d'azote, qui permet de calculer les nitrates décomposés. Pour distinguer l'asparagine des matières albuminoïdes, nous avons employé le procédé régularisé par un de nos collaborateurs, M. F. Meunier, qui utilise l'action d'une dissolution de potasse agissant à 100° pour décomposer l'asparagine et recueillir à l'état d'ammoniaque dans un acide titré la moitié de l'azote qu'elle renfermait. (Voy. *Annales agronom.*, t. VI, p. 275.)

Les plantes peuvent encore s'emparer de l'azote qui existe dans le sol à l'état de sel ammoniacal. MM. Lawes et Gilbert ont soutenu pendant trente-six ans des cultures de froment sur le domaine de Rothamsted avec des sels ammoniacaux ; les récoltes ont été à peu près comparables à celles que l'on a obtenues en employant comme engrais le fumier ou les nitrates.

Dans les expériences sur la culture de la betterave que nous avons exécutées, M. Fremy et moi, nous avons obtenu trois betteraves, pesant ensemble 1522 grammes, quand nous leur avons donné, outre un phosphate et un sel de potasse, 100 grammes de sulfate d'ammoniaque ; ainsi qu'il a été dit, celles qui avaient reçu des nitrates pesaient 1797 grammes ; par conséquent, les sels ammoniacaux ont été moins efficaces, mais ils ont cependant fourni une récolte qui pesait 15 fois plus que celle qui s'était développée sans engrais azoté.

Au champ d'expériences de Grignon, les composés ammoniacaux réussissent moins bien que les nitrates ; mais cependant leur influence est encore trop sensible pour qu'on ne soit pas convaincu que les plantes empruntent leur azote à l'ammoniaque comme à l'acide azotique ; au reste, il n'est pas rare de rencontrer dans les végétaux de l'ammoniaque toute formée, comme on y trouve des nitrates : c'est ce qui a été établi nettement par M. Pellet qui trouve souvent, soit dans les végétaux eux-mêmes, soit dans les jus qu'on en peut extraire par la pression, l'acide phosphorique, la magnésie et l'ammoniaque dans les proportions qui constituent le phosphate ammoniaco-magnésien.

Sont-ce là les seules formes sous lesquelles les végétaux peuvent prendre l'azote ? Non, vraiment, et il existe quelques familles de végétaux qui ne paraissent bénéficier ni de l'azote à l'état d'ammoniaque, ni de l'azote combiné à l'oxygène et aux bases constituant les nitrates.

Telles sont notamment les légumineuses de grande culture sur lesquelles j'ai déjà appelé votre attention dans la dernière leçon. C'est un fait établi par la culture depuis nombre d'années que si l'on fume directement une prairie artificielle, on nuit au développement de la légumineuse et qu'on favorise, au contraire, l'apparition des graminées ; que la fumure consiste en sels ammoniacaux, en nitrates ou même en fumier de ferme, le résultat est le même. Les légumineuses ne réussissent bien que sur les vieilles fumures ; elles les épuisent, elles vont chercher jusque dans le sous-sol, à l'aide de leurs longues racines qui s'enfoncent profondément, les matières complexes qui s'y sont accumulées ; puis, après quelques années, elles cessent de prospérer. Il faut les rompre et attendre pendant un temps variable que les matières complexes qui lui servent d'aliments se soient reconstituées.

Quelques personnes ont pensé que les légumineuses ne profitaient pas des fumures azotées, parce qu'elles étaient capables d'emprunter à l'air atmosphérique l'azote nécessaire à la constitution de leurs albuminoïdes ; mais s'il en était ainsi, on devrait pouvoir continuer indéfiniment sur le même sol la culture des légumineuses en fournissant à la terre les matières minérales prélevées par le trèfle, la luzerne, et le sain-foin, et c'est ce qui n'arrive pas.

Il est donc vraisemblable que l'aliment préféré des légumi-

neuses est une matière complexe renfermant à la fois du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote, telle qu'il peut s'en former dans les sols enrichis par d'anciennes fumures au fumier de ferme : c'est ce qui apparaît nettement dans les chiffres suivants recueillis dans le champ d'expériences de Grignon. Tandis qu'en 1879 les parcelles qui ont reçu, les années précédentes, de copieuses fumures de fumier de ferme fournissent plus de 7000 kilogrammes de fourrage sec à l'hectare ; celles qui ont reçu de l'azotate de soude pendant le même temps restent habituellement au-dessous de 6000 et l'on n'a récolté que 5000 kilogrammes et au-dessous sur les parcelles qui avaient reçu pendant plusieurs années des sels ammoniacaux. En 1880, les résultats sont partout plus avantageux ; mais les récoltes se placent dans le même ordre, quelques-unes des parcelles qui ont reçu trois ans auparavant du fumier de ferme ont donné plus de 10 000 kilogrammes de fourrage sec à l'hectare, tandis qu'on n'en a pas recueilli 8000 sur d'anciennes fumures à l'azotate de soude ou au sulfate d'ammoniaque.

On conçoit toutefois que, tant qu'on n'aura pas réussi à isoler cette matière ulmique azotée et à élever dans un sol stérile des légumineuses en leur fournissant cette substance, comme on élève des graminées ou des betteraves avec une alimentation régulière d'azotate de potasse et de phosphate de chaux, on ne connaîtra pas d'une façon complète le mode d'alimentation des légumineuses.

J'ai touché tout à l'heure, messieurs, à la question capitale que nous devons étudier ensemble : l'azote atmosphérique exerce-t-il une action sur la végétation et, s'il intervient, quel est le mécanisme de son assimilation par les végétaux ?

C'est à M. Boussingault qu'on doit d'avoir posé nettement la question ; le savant agronome s'est livré, il y a déjà bien des années dans le domaine de Bechelbronn, en Alsace, à une série d'analyses du plus haut intérêt.

Il a pesé le fumier qu'il employait comme engrais au commencement de l'assolement, il a déterminé sa composition et a pu ainsi savoir exactement la quantité d'azote introduite sur une surface donnée ; il a, d'autre part, pesé et analysé scrupuleusement les récoltes qui se sont développées pendant les années qui ont suivi la fumure et qui ont profité des principes fertilisants qu'elle renfermait. Ces analyses et ces pesées lui ont permis d'établir une balance entre l'azote introduit sous forme d'engrais et celui qui était enlevé dans les récoltes ; or il s'est trouvé qu'on enlevait toujours au sol plus d'azote qu'on n'en avait introduit.

Ces résultats, messieurs, n'ont rien qui puissent vous étonner, car vous avez dans l'esprit nombre d'exemples de sols qui se couvrent constamment de végétaux utilisés et qui ne reçoivent aucune fumure azotée. Tel est le cas de la forêt d'où l'on emporte depuis un temps immémorial du bois renfermant des albuminoïdes sans qu'on se préoccupe jamais de rendre au sol les quantités considérables d'azote qu'il perd périodiquement à chacune des exploitations. Tel est le cas des prairies de montagne sur lesquelles on ne dépose aucun engrais et qui cependant depuis des siècles sont pâturées tous les ans par les animaux qui viennent y passer la belle saison.

Ces animaux augmentent leur poids, se couvrent de laine ou donnent du lait qui est bientôt transformé en fromages ; ceux-ci sont exportés, consommés dans la plaine qui bénéficie ainsi de l'azote fourni par le sol de la montagne à l'herbe qui a nourri les animaux.

Nous avons donc nombre d'exemples d'une exportation considérable d'azote qui ne détermine aucun affaiblissement dans les puissances productrices du sol, et qui doit être compensée par un apport correspondant.

Cet apport est-il fourni par la pluie, la neige, la rosée ? Celles-ci ne renferment-elles pas de petites quantités d'ammoniaque, d'acide nitrique qui suffiraient à assurer la végétation de la forêt ou de la prairie et qui viendraient s'ajouter aux engrais répandus sur les sols cultivés ?

On l'a cru longtemps, messieurs, et d'autant plus qu'on sait depuis près de cent ans que sous l'influence électrique les deux éléments de l'air s'unissent pour donner des vapeurs nitreuses ou de l'acide azotique ; l'expérience qui le démontre est bien ancienne : elle est de Cavendish ; nous la répétons devant vous, nous faisons lentement passer un courant d'air au travers d'un récipient ovoïde dans lequel s'avancent à la rencontre l'un de l'autre deux conducteurs de cuivre, entre eux jaillissent les étincelles d'une bobine de Rumkhorff, le liquide dans lequel passe l'air à la sortie de l'appareil est manifestement acide, et nous pouvons y caractériser de l'acide azotique à l'aide de la teinture d'indigo et de l'acide chlorhydrique.

Quand la foudre traverse l'air, elle détermine l'union des deux gaz de l'atmosphère, — le fait n'est pas douteux, — et l'analyse des eaux de pluies a montré qu'elles renfermaient, en effet, de petites quantités de nitrate d'ammoniaque.

D'autre part, la masse de matières animales qui se décompose à la surface de la terre fournit de l'ammoniaque qui s'exhale dans l'air, et sature dans l'eau de pluie l'acide azotique produit par la foudre.

Pour reconnaître l'influence qu'exercent sur la végétation les combinaisons azotées apportées par les eaux météoriques, il faut procéder à leur analyse : c'est ce qui a été fait par un grand nombre d'observateurs, par MM. Barral, Boussingault, Lawes et Gilbert (1), Pouriau, Bretschneider, Marié Davy et A. Lévy, etc. ; la quantité d'acide azotique et d'ammoniaque contenue dans l'eau des pluies est habituellement très faible et ne peut guère avoir d'influence sur la végétation. Ainsi en Alsace, il tombe annuellement 680 millimètres de pluie, ce qui donne par hectare 6800 mètres cubes contenant par mètre cube 0<sup>gr</sup>,42 d'ammoniaque ou 2<sup>kg</sup>,300 pour la totalité ; il faut ajouter à ce nombre celui qui correspond à l'azote, à l'état d'acide azotique ; or M. Boussingault l'évalue à 0<sup>mm</sup>,5 par litre, d'où l'on calcule que la pluie reçue par un hectare apporte au sol 3<sup>kg</sup>,4 d'azote à l'état d'acide azotique ; en réunissant ces deux quantités on trouve seulement 5<sup>kg</sup>,7.

Les chiffres de MM. Lawes et Gilbert sont analogues, ceux de M. Bretschneider qui opérait à la station de Marien Hutte sont un peu plus forts ; les observateurs qui ont opéré dans le voisinage des villes, M. Barral à Paris, M. Bineau à Lyon, ont trouvé des nombres sensiblement plus élevés.

L'eau chargée d'une quantité de matière azotée aussi faible n'exerce aucune action marquée sur la végétation : c'est ce qui résulte nettement d'une expérience déjà ancienne de mon collègue M. Georges Ville.

Il a semé dans deux terres identiques des grains de blé dont l'ensemble pesait 25 grammes, il leur a donné des quantités d'engrais semblables ; puis il a arrosé l'un des pots en expérience avec de l'eau distillée, l'autre avec de l'eau de pluie ; les chiffres obtenus pour les récoltes ont été les suivants :

## CULTURE ARROSÉE A L'EAU DE PLUIE.

Paille sèche. . .	338 <sup>gr</sup> ,7	renfermant azote. . .	1 <sup>gr</sup> ,66
Grains . . . . .	87 0	—	2 26
			Azote total. . . . . 3 <sup>gr</sup> ,92

## CULTURE ARROSÉE A L'EAU DISTILLÉE.

Paille sèche. . .	388 <sup>gr</sup> ,7	renfermant azote. . .	2 <sup>gr</sup> ,06
Grains . . . . .	80 7	—	2 05
			Azote total. . . . . 4 <sup>gr</sup> ,11

Les différences sont faibles, mais elles sont en faveur de l'eau distillée ; vous voyez que l'eau de pluie n'a eu aucune influence sensible.

Il faut bien remarquer, au reste, que si les eaux météoriques peuvent apporter à la terre arable une faible quantité de matières azotées, elles occasionnent des pertes considérables ; l'eau qui traverse un sol cultivé perméable entraîne avec elle les produits solubles et notamment les nitrates qui se retrouvent dans les eaux de drainage d'autant plus abondantes que le sol a reçu de plus riches fumures.

Si la nitrification qui a été si bien étudiée par MM. Schloësing et Muntz est ainsi un phénomène avantageux pour la végétation en transformant en un produit soluble les matières azotées inertes qui sont si abondantes dans la terre arable, cette transformation contribue, d'autre part, à appauvrir le sol en lui faisant perdre une partie des combinaisons azotées qui y sont accumulées. Il est donc vraisemblable que le faible gain que détermine la chute des eaux météoriques est compensé et au delà par la perte qui accompagne la sortie des eaux de drainage.

De nombreuses analyses ont établi que ces eaux sont chargées de quantités notables de nitrates, surtout quand elles proviennent de sols qui ont reçu des fumures énergiques. Ces nitrates sont entraînés dans les ruisseaux, dans les rivières, dans les fleuves ; on les retrouve, en effet, dans tous les cours d'eau ; ils y ont été dosés et les proportions que les fleuves charrient à la mer sont considérables. M. H. Sainte-Claire Deville a trouvé près de 4 milligrammes par litre dans l'eau du Rhin prise à Strasbourg et 8 milligrammes dans l'eau du Rhône prise à Genève ; si l'on multiplie ces chiffres par le débit correspondant, on peut se faire une idée de la masse

(1) Voyez sur l'influence des engrais sur la composition botanique de la prairie un important mémoire de MM. Lawes et Gilbert. (*Annales agronomiques*, t. VI, fascicule de décembre 1880.)

des nitrates qui sont ainsi conduits à la mer; pour le Rhin, elle dépasse annuellement 50 millions de kilogrammes.

L'azote combiné reçu par l'Océan n'y persiste pas au reste sous la forme d'acide azotique; on a signalé depuis longtemps, en effet, la présence de l'ammoniaque dans l'eau de mer, tandis qu'on n'y a pas découvert d'acide azotique. M. E. Marchand, de Fécamp, a dosé dans l'eau de la mer 0<sup>mm</sup>,57 par litre, M. Boussingault 0<sup>mm</sup>,2. En citant ces chiffres, l'éminent agronome ajoute immédiatement: « Ces proportions sont bien faibles, sans doute; mais l'Océan recouvre plus des trois quarts du globe et si l'on envisage sa masse, il est permis de le considérer comme un immense réservoir de sels ammoniacaux, où l'atmosphère réparerait les pertes qu'elle éprouve continuellement. »

Cette idée émise depuis longtemps déjà (1853) a été reprise par M. Schlœsing qui a consacré beaucoup de temps et de talent à rechercher comment se répartit entre les eaux, les terres et l'atmosphère l'ammoniaque dont l'analyse décele la présence dans l'eau de la mer.

Les dosages exécutés par M. Schlœsing avec les appareils très ingénieux qu'il a employés l'ont conduit à admettre qu'il existe au maximum 0<sup>mm</sup>,06 d'ammoniaque dans un mètre cube d'air, c'est-à-dire dans 1 293 000 milligrammes d'air: la proportion est donc bien faible; elle est beaucoup plus forte cependant que celle qui avait été déterminée par des observateurs munis d'appareils moins bien disposés.

Cette petite quantité d'ammoniaque paraît, au premier abord, ne devoir exercer sur la végétation qu'une action insignifiante; en réfléchissant cependant à la grande quantité d'eau que les plantes renferment, à la solubilité du gaz ammoniac dans l'eau, on pourrait avoir une opinion différente et il importe de recourir à l'expérience directe et de rechercher si l'ammoniaque atmosphérique exerce une action marquée sur la végétation.

La solution de la question exige deux recherches successives: il faut d'abord reconnaître si l'ammoniaque gazeuse favorise le développement de la plante, il faut ensuite abandonner les plantes à l'influence de l'ammoniaque atmosphérique et voir si elles se développent autrement que dans une atmosphère confinée où elles seraient soustraites à cette action de l'ammoniaque atmosphérique.

La réponse à la première question n'est pas douteuse; depuis longtemps déjà M. G. Ville a reconnu que des plantes maintenues dans une serre où l'on répandait de faibles quantités de carbonate d'ammoniaque s'y étaient développées plus vigoureusement que celles qui n'avaient pas rencontré dans l'atmosphère où elles étalaient leurs feuilles d'ammoniaque atmosphérique.

J'engage bien vivement les personnes qui voudront répéter cette intéressante expérience à procéder avec la plus extrême prudence: une dose un peu forte de carbonate d'ammoniaque tuerait les plantes infailliblement.

M. Sachs a reconnu également que des haricots maintenus sous une cloche où s'exhalaient des vapeurs ammoniacales avaient acquis un plus grand développement que ceux qui séjournèrent dans une atmosphère normale; à l'analyse, ils

ont montré une plus grande richesse en azote combiné.

Plus récemment, M. Schlœsing a repris cette intéressante question; ses expériences ont porté sur des tabacs. Les plantes étaient maintenues sous des cloches traversées par un courant d'air renfermant environ un centième d'acide carbonique, le sol d'une des cloches portait un vase dans lequel était placée une dissolution très étendue de carbonate d'ammoniaque.

Voici les résultats obtenus pour l'azote dans cent parties de matière sèche:

	N° 1. Atmosphère ammoniacale.	N° 2. Sans ammoniaque.
Feuilles écotées . . . . .	3,18	2,62
Tiges et côtes réunies . . . . .	2,08	1,62
Racines . . . . .	1,33	1,09

M. Schlœsing ne s'est pas contenté d'exécuter ces dosages d'azote total; il a reconnu que l'azote en excès contenu dans la plante n° 1 ne s'y trouvait ni à l'état d'ammoniaque, ni à celui d'acide azotique, ni même à l'état de nicotine; l'ammoniaque gazeuse avait donc formé des principes albuminoïdes.

En même temps que M. Schlœsing exécutait ses expériences à Paris, M. Mayer, d'Heidelberg, disposait des essais variés pour résoudre la même question. Les plantes furent soumises aux essais suivants:

1° Quelques-unes maintenues à l'air libre devaient montrer si l'ammoniaque atmosphérique exerce une influence marquée sur la végétation;

2° Un autre groupe de plantes était maintenu dans une atmosphère contenant des vapeurs ammoniacales;

3° Le troisième groupe était absolument soustrait à l'influence de ces vapeurs;

4° On humectait les feuilles du quatrième groupe avec de l'eau pure;

5° Celles du cinquième groupe avec de l'eau renfermant de très faibles quantités de carbonate d'ammoniaque.

Les choux-raves mis en expériences plongeant leurs racines dans des dissolutions minérales exemptes d'azote; on reconnut que les plantes obtenues, assez chétives, étaient plus fortes et renfermaient plus d'azote quand elles avaient été soumises à l'action de l'air ammoniacal.

Quant aux plantes dont les feuilles furent baignées par les dissolutions ammoniacales, elles renfermèrent un peu plus d'azote total que celles qui avaient été badigeonnées d'eau pure; mais le poids de matière sèche fut un peu plus faible.

En résumé, M. Mayer, comme ses prédécesseurs, reconnaît que l'ammoniaque gazeuse est assimilée par les plantes; il insiste avec raison sur les conditions dans lesquelles l'expérience doit être tentée, car il faut toujours agir avec les plus grands ménagements. Si l'on veut forcer la dose de carbonate d'ammoniaque dans l'atmosphère où sont placés les végétaux, on les fait infailliblement périr.

Ainsi il n'est pas douteux que des plantes utiliseront l'ammoniaque atmosphérique si elles en peuvent rencontrer.

Or existe-t-il quelque preuve que les plantes abandonnées

à l'air libre aient pu faire un gain sensible d'azote? C'est par l'examen de cette dernière question que je veux terminer cette leçon.

Messieurs, rien n'est plus simple que de semer des graines dans un sol stérile et de voir comment les plantes s'y développent : je vous mets sous les yeux des spécimens de ces cultures et vous voyez à quel point les plantes sont chétives; celles-ci restent encore très faibles quand on leur donne des matières minérales et qu'on n'introduit dans le sol où elles végètent aucune trace d'azote combiné; au reste, je mets de nouveau sous vos yeux les chiffres que j'emprunte aux expériences que nous avons exécutées ici M. Fremy et moi, il y a quelques années.

Trois betteraves qui ont été maintenues dans du sable pur et qui ont été arrosées à l'eau distillée ont pesé ensemble, au moment de la récolte, 111 grammes; dira-t-on qu'elles ont manqué des matières minérales nécessaires à leur accroissement. En ajoutant à ce sol stérile du superphosphate de chaux et du chlorure de potassium, l'on a réussi à augmenter leur poids, les trois betteraves ont pesé 225 grammes, c'est-à-dire 73 grammes chacune; évidemment, si l'on avait procédé à l'analyse de ces petites plantes, on y aurait trouvé l'azote contenu dans la graine sans aucune addition sensible. Cependant ces expériences avaient lieu à Paris dans une atmosphère sensiblement plus riche en ammoniacque que celle de la campagne, à vingt-cinq mètres de la Bièvre dont les eaux noires et boueuses répandent souvent une odeur des plus désagréables; enfin ces petites plantes n'étaient nullement protégées de la pluie, elles pouvaient donc bénéficier encore de l'ammoniacque qu'elle renferme.

Au reste, messieurs, ces expériences ne font que confirmer celles qui ont été exécutées par M. Boussingault, avec les précautions les plus minutieuses, pour reconnaître si l'azote atmosphérique intervenait directement dans la végétation et si les plantes pouvaient s'en emparer. Je décrirai ces expériences dans la prochaine leçon, aujourd'hui je veux seulement rappeler qu'elles ont été divisées en plusieurs séries : dans l'une, les plantes étaient placées dans une atmosphère confinée et absolument soustraites à l'action de l'ammoniacque atmosphérique, les autres étaient maintenues sous une cloche ouverte où l'air pouvait se renouveler librement; eh bien, dans l'un et l'autre cas, on a trouvé que lorsque le sol ne renfermait pas de matières azotées, les plantes renfermaient l'azote primitivement contenu dans les graines et c'est à peine si l'on pouvait constater entre les plantes confinées et celles qui étaient exposées à l'air libre une différence de quelques milligrammes.

De ces expériences découle la démonstration complète du peu d'influence qu'exerce l'ammoniacque atmosphérique sur la végétation : des helianthus cultivés à l'air libre dans un sol dépourvu d'engrais azoté et contenant du phosphate de chaux et des cendres végétales, par conséquent toutes les matières minérales nécessaires à leur développement, ont accusé après 52 jours de végétation un poids de 0<sup>gr</sup>46, égal à quatre fois celui de la graine; elles avaient fixé deux milli-

grammes d'azote. Cette expérience est la meilleure des quatre qui ont été exécutées.

Dira-t-on, messieurs, que les conditions précédentes ne sont pas favorables à l'assimilation de l'ammoniacque atmosphérique, parce que la plante n'a pas pu se développer en l'absence complète d'engrais azoté dans le sol, qu'elle n'a pu former un feuillage assez abondant pour prendre dans l'air les minimes quantités d'ammoniacque atmosphérique qui s'y rencontre?

Cherchons encore dans l'importante série d'expériences exécutées par M. Boussingault et nous trouverons une autre culture d'helianthus exécutée cette fois sous l'influence du nitrate de potasse, la plante sèche pesait 6<sup>gr</sup>685. Or l'on a retrouvé dans la plante elle-même et dans la terre qui la portait exactement l'azote introduit sous forme de nitrate à 0<sup>gr</sup>002 près.

Je viens de vous parler, messieurs, des expériences exécutées à Heidelberg par M. Mayer, et dans lesquelles il a reconnu l'influence des vapeurs ammoniacales sur les végétaux qui y sont exposés; mais, ainsi que nous l'avons dit, M. Mayer a recherché en outre si l'ammoniacque atmosphérique avait une action quelconque sur la végétation.

Or il a reconnu que les plantes exposées à l'air libre, mais protégées contre la pluie et enracinées dans des dissolutions nutritives exemptes d'azote, renfermaient, quand on mit fin à l'expérience, exactement la quantité d'azote que contenait la semence dont elles étaient issues; il n'y avait eu aucun gain d'azote, l'ammoniacque atmosphérique n'avait, par suite, exercé aucune action.

Dans une seconde série d'essais, M. Mayer avait introduit des nitrates dans les liquides nourriciers : sur du blé en 1873, sur des pois en 1874, les dosages, exécutés avec grand soin, ont montré que les plantes renfermaient exactement la somme de l'azote contenu dans la graine et dans la solution nutritive. De ces résultats négatifs M. Mayer a tiré les conclusions suivantes : « L'absorption d'ammoniacque par les feuilles est possible théoriquement; mais, vu la parcimonie avec laquelle les sources atmosphériques l'offrent aux plantes, ce phénomène n'a pas une importance pratique considérable. Les papillonacées ne semblent pas jusqu'ici offrir des différences bien grandes sous ce rapport avec les autres familles végétales. »

Si les plantes ne prennent pas d'ammoniacque dans l'air, y prennent-elles de l'azote libre? Les sols eux-mêmes peuvent-ils fixer soit de l'ammoniacque, soit de l'azote? C'est ce que j'examinerai dans la prochaine leçon.

P.-P. DEHÉRAIN.