AGRONOMIE

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

COURS DE M. DEHÉRAIN

Origine de l'azote des végétaux (1).

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. . .	0gr,507	0gr,397	4,6
N° 2. — 0gr,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 reconnaîtrons 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 86 jours de végétation. Carbone.	Acquis par les plantes en 86 jours de végétation. Azote.
Le sol n'ayant rien reçu.	9,6	0gr,285	2,cc,45	0gr,114	0gr,0023
Le sol ayant reçu phosphate, cendre, nitrate de potasse.	198,3	21gr,111	182cc,00	8gr,446	0gr,1666
Le sol ayant reçu phosphate, cendre, bicarbonate de potasse . .	3,6	9gr,291	3cc,42	0gr,156	0gr,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.

Digitized by Google

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'amiante; 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. Schlœsing 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 grosses 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.)

Digitized by Google

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 sainfoin, et c'est ce qui n'arrive pas.

Il est donc vraisemblable que l'aliment préféré des légumineuses 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 10000 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

Digitized by Google

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 $0^{gr},42$ d'ammoniaque ou $2^{kg},300$ 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 $0^{mm},5$ par litre, d'où l'on calcule que la pluie reçue par un hectare apporte au sol $3^{kg},4$ d'azote à l'état d'acide azotique; en réunissant ces deux quantités on trouve seulement $5^{kg},7$.

(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.)

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. . .	$338^{gr},7$	renfermant azote. . .	$1^{gr},66$
Grains	87 0	—	2 26
		Azote total. . . .	$3^{gr},92$

CULTURE ARROSÉE A L'EAU DISTILLÉE.

Paille sèche. . .	$388^{gr},7$	renfermant azote. . .	$2^{gr},06$
Grains	80 7	—	2 05
		Azote total. . . .	$4^{gr},11$

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 abondants que le sol a reçu de plus riches fumures.

Si la nitrification qui a été si bien étudiée par MM. Schlœsing 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

Digitized by Google

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 $0^{mm},57$ par litre, M. Boussingault $0^{mm},2$. 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 décèle 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 $0^{mm},06$ 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 séjournaient 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 écôtées	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 plongeaient 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

Digitized by Google

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 ammoniaque 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'ammoniaque 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'ammoniaque 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'ammoniaque 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 0gr46, égal à quatre fois celui de la graine; elles avaient fixé deux milligrammes 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'ammoniaque 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'ammoniaque 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 6g685. 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 0gr002 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'ammoniaque 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'ammoniaque 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'ammoniaque 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'ammoniaque dans l'air, y prennent-elles de l'azote libre? Les sols eux-mêmes peuvent-ils fixer soit de l'ammoniaque, soit de l'azote? C'est ce que j'examinerai dans la prochaine leçon.

P.-P. Dehérain.

Digitized by Google

La fermeture exacte de la plaie, en ayant le soin d'adosser les deux surfaces séreuses de la paroi abdominale afin d'obtenir l'adhésion rapide de ces surfaces, est une règle qui ne souffre que de très rares exceptions. Dans certaines opérations en effet, lorsqu'on a lieu de craindre un épanchement consécutif et l'altération des produits épanchés, il est quelquefois utile de réunir incomplètement la plaie ou du moins de laisser une petite ouverture par laquelle s'écouleront les liquides intra-péritonéaux, au fur et à mesure de leur production. Cette ouverture ménagée dans un point de la plaie sert à placer un tube à drainage par lequel on peut aussi faire des lavages.

La compression énergique de l'abdomen avec un bandage ouaté très serré, en immobilisant les parois, et même les organes internes, en suppléant dans certains cas à la diminution de la tension abdominale après l'ablation de volumineuses tumeurs, prévient ou diminue l'inflammation, la transsudation des liquides, et favorise la résorption immédiate de ceux-ci avant leur altération secondaire.

Mais de tous les moyens prophylactiques que nous possédions il n'en est pas de comparable à l'emploi de la méthode antiseptique selon les règles prescrites par Lister. Je n'ai pas à examiner ici si la théorie est vraie; mais les faits parlent assez haut pour que l'on doive jusqu'à nouvel ordre s'y conformer strictement, lorsque l'on se trouve dans les conditions où les influences nocives de l'air extérieur sont à craindre. Comme on le prévoit d'avance, la méthode antiseptique aura surtout pour effet de prévenir ou d'atténuer les accidents septicémiques, car elle ne saurait avoir d'action prophylactique sur les accidents de nature réflexe qui suivent les blessures du péritoine. Suivant quelques auteurs, l'action de l'acide phénique soit sous forme de *spray*, soit sous forme de lotions, de lavages, serait plutôt irritante. Cependant il ne m'a pas semblé qu'il en fût ainsi, ou du moins l'irritation causée par l'acide phénique n'est pas assez intense pour entraîner des conséquences graves et pour mériter que l'on en tienne compte surtout en comparaison des effets si puissants de la méthode antiseptique relativement à la prophylaxie de la septicémie.

Nous trouvons encore dans quelques agents de la thérapeutique générale divers médicaments propres à modérer ou à atténuer les accidents qui caractérisent le péritonisme. L'opium tient ici le premier rang. En même temps qu'il diminue la sensibilité, il constitue un agent de stimulation pour les principales fonctions en favorisant les échanges gazeux, la combustion respiratoire et la calorification.

Les stimulants diffusibles, et parmi eux l'alcool, sont également utiles pour lutter contre l'adynamie déterminée par les accidents du péritonisme.

Enfin les anesthésiques, employés sous forme d'inhalations, remplissent un double but Non seulement ils pourraient rendre des services réels au moment où se déclarent les premiers phénomènes d'irritation, mais encore et surtout ils constituent un moyen prophylactique précieux pour atténuer le développement de ces phénomènes, lorsque leur action précède une opération pratiquée sur un péritoine. Non seulement, en effet, le sommeil chloroformique supprime la douleur, mais encore il détermine une sorte de stupeur nerveuse qui diminue les actions réflexes et par suite rend moins intenses et moins redoutables les accidents nerveux qui résultent de l'irritation du péritoine. Dans leurs expériences déjà citées, MM. Ch. Richet et Reynier ont parfaitement établi que chez les animaux soumis au sommeil chloralique, pourvu que la narcose soit complète, la mort survenait beaucoup plus tardivement.

Telles sont, messieurs, les considérations que j'ai voulu présenter sur le péritoine envisagé au point de vue chirurgical. Ces considérations générales étaient utiles comme introduction aux leçons que je me propose de vous faire sur les tumeurs de l'abdomen, car la question de la péritonite et des accidents péritonitiques se présentera constamment à nous.

DUPLAY.

AGRONOMIE

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

COURS DE M. DEHÉRAIN

Origine de l'azote des végétaux (1).

V.

Si dans notre dernière leçon nous avons pu vous montrer que les végétaux puisent dans le sol des nitrates, des sels ammoniacaux, des matières organiques azotées qui leur servent à former leurs principes immédiats quaternaires, si nous avons reconnu en outre que les plantes peuvent utiliser l'ammoniaque qu'elles trouvent dans les atmosphères artificielles où un sel ammoniacal volatil a été répandu, nous avons reconnu, d'autre part, que la très faible quantité d'ammoniaque contenue dans l'air ne paraît avoir aucune influence indirecte sur la végétation, et qu'on ne saurait notamment y trouver l'origine de l'azote qui soutient les plantes dans les sols abandonnés à la végétation spontanée tels que les prairies ou les forêts.

Aujourd'hui il nous reste donc à chercher l'origine de l'azote de ces plantes qui se développent sur les terres incultes ou sur celles qui ne reçoivent pas d'engrais, à découvrir, en outre, comment, sans s'épuiser, nos sols cultivés cèdent aux récoltes qu'ils nourrissent plus d'azote que n'en ont fourni les engrais.

L'origine de cet azote n'est pas encore assez nettement établi pour que, dédaignant tous les travaux intermédiaires, nous vous présentions une solution claire et précise. Il nous faut, au contraire, discuter minutieusement toutes les solu-

(1) Voyez la *Revue scientifique*, t. XIX (1880), p. 434, 465, 513, et t. XXVII, p. 98.

Digitized by Google

tions proposées; de cette discussion découlent, ainsi que vous allez le voir, des conséquences capitales.

La recherche de l'intervention de l'azote atmosphérique, dans les phénomènes de la végétation, présente d'autant plus d'intérêt que, la matière végétale étant indispensable à la vie des animaux, son abondance règle le nombre des êtres vivants que la terre peut nourrir. Or, messieurs, il est nombre de circonstances dans lesquelles l'azote combiné se sépare des autres corps avec lesquels il était uni et se dégage en liberté; s'il n'existe pas une cause puissante qui vienne contrebalancer ces destructions fréquentes des combinaisons azotées, leur masse va fatalement en diminuant. Comme l'industrie humaine est impuissante à les reproduire, qu'il n'existe aucune usine où pénètre l'azote libre pour en sortir combiné, que la chimie, malgré toute sa puissance, a échoué jusqu'à présent dans la recherche de procédés propres à fabriquer, avec les éléments, les combinaisons de l'azote : la quantité de vie que la terre pourra porter est fatalement destinée à décroître, si les forces qui s'exercent à la surface du globe sont également impuissantes à combler les pertes qui se produisent constamment.

Si nos sols dépouillés peu à peu des matières azotées qu'ils renferment s'appauvrissent à chaque récolte, il viendra un temps où l'Europe, abandonnée des habitants qu'elle ne pourra plus nourrir, ne sera qu'un vaste désert semblable aux contrées que traversent le Tigre et l'Euphrate où le voyageur solitaire peut à peine reconnaître la place de Babylone et de Ninive.

Quant à moi, messieurs, j'ai hâte de vous le dire, je ne vois pas l'avenir sous d'aussi sombres couleurs; je crois, au contraire, qu'en suivant les pratiques agricoles actuelles, en les améliorant sans doute, mais sans les modifier dans leur ensemble, nous augmentons constamment la fertilité de nos terres arables, dont les rendements sont déjà bien plus influencés par les saisons que par les engrais que nous y déposons. Je crois surtout, messieurs, que l'emploi du fumier de ferme, que l'emploi de cette masse de matières carbonées que nous enfouissons à chaque rotation dans nos sols cultivés y détermine la fixation d'une quantité d'azote atmosphérique considérable; je crois fermement qu'au lieu de marcher vers la ruine, nous nous acheminons vers une prospérité plus grande, et pour sortir des généralités et vous mettre sous les yeux un exemple précis, je vous donnerai des chiffres relatifs à la richesse en azote d'une de nos terres de Grignon.

Il existe sur le domaine de l'École un champ qui, à cause de sa contenance, est désigné sous le nom de *pièce des vingt-six arpents;* j'y ai cherché l'azote combiné dans des échantillons de terre prise à la surface en deux points assez éloignés l'un de l'autre, j'ai trouvé $2^{gr},040$ et $2^{gr},020$ d'azote combiné par kilogramme; j'ai ensuite fouillé le sol; à 1 mètre de profondeur la terre arable n'avait guère changé de nature: j'y ai trouvé $1^{gr},060$ d'azote combiné; à $1^{m},60$, j'ai encore dosé $1^{gr},090$; deux autres fouilles pratiquées en d'autres points ont donné $1^{gr},500$ pour l'azote d'un kilogramme pris à $0^{m},90$ de profondeur, et $1^{gr},600$ pour un dernier échantillon pris à $0^{m},80$.

On peut donc supposer, sans crainte d'erreur, que jusqu'à une profondeur de 1 mètre, une terre semblable renferme $1^{gr},5$ d'azote combiné par kilogramme; or la surface d'un hectare est de 10 000 mètres carrés; si nous admettons 1 mètre pour la profondeur de cette terre, ce qui est au-dessous de la vérité, et 1500 kilogrammes pour le poids de 1 mètre cube, nous aurons 15 000 tonnes pour le poids de la terre d'un hectare; or chaque tonne renferme $1^{kil},5$ d'azote combiné, la masse d'azote que le sol contient est donc de 22 500 kilogrammes. Est-ce là, messieurs, une richesse exceptionnelle? non pas. M. Isidore Pierre a trouvé, pour la plaine de Caen, des nombres tout à fait comparables à ceux que je viens de vous citer, et Liebig, qui le premier avait exécuté des dosages d'azote dans la terre arable, avait été si frappé des quantités constatées qu'il en avait conclu à l'inutilité des engrais azotés. Nous discuterons plus tard cette manière de voir; aujourd'hui il nous suffit de voir combien le sol renferme d'azote combiné pour demeurer convaincu qu'il existe une cause puissante qui compense et au delà les pertes qu'occasionne la culture elle-même.

En effet, messieurs, nous ne pouvons supposer un instant que cet azote combiné, trouvé dans la *pièce des vingt-six arpents,* soit un résidu des fumures antérieures — nous avons déjà insisté sur ce point; — les récoltes renferment plus d'azote que les fumures; il faut donc rechercher quelle est la réaction qui force l'azote, habituellement si rebelle à la combinaison, à se fixer dans nos terres arables pour les enrichir; cette recherche est d'autant plus importante que, si elle est couronnée de succès, nous ferons tous nos efforts pour favoriser cette fixation.

Bien que ce soit la terre arable qui nous présente des masses d'azote combiné, nous devons savoir d'abord si l'azote de l'air peut être saisi directement par la plante : s'il en était ainsi, on concevrait que les débris végétaux qui s'accumulent sur nos sols cultivés soient la cause même de leur enrichissement.

Ici nous rencontrons deux opinions diamétralement opposées. M. Boussingault nie que cette fixation de l'azote atmosphérique puisse avoir lieu, M. G. Ville affirme, au contraire, qu'elle se produit.

La méthode d'investigations suivie par l'un et l'autre observateur se présente naturellement à l'esprit, élever une plante dans un sol stérile, que l'on amende avec des quantités connues d'engrais azoté, arroser avec de l'eau absolument privée d'azote combiné, soustraire la plante à l'influence des poussières atmosphériques en la maintenant sous une cloche de verre, et enfin la peser, puis l'analyser quand elle aura acquis un certain développement, pour reconnaître si elle renferme une quantité d'azote supérieure à celle qui était contenue dans la graine et dans l'engrais.

Vous avez sous les yeux un appareil qui est une reproduction exacte de celui qui a été employé par M. Boussingault dans sa première série de recherches; vous voyez que, pour maintenir la plante dans des conditions favorables à sa croissance, on fait arriver sous la cloche de l'acide carbonique, l'eau d'arrosage y est également versée sans qu'on soit obligé de mettre la plante en contact avec l'air extérieur.

Digitized by Google

Les résultats obtenus dans cette première série de recherches furent absolument négatifs, on retrouva dans la plante et dans le sol la quantité d'azote contenue dans l'engrais et dans la graine, sans aucun excédent.

Dans une seconde série d'expériences où les plantes, au lieu d'être confinées comme dans l'appareil qui est devant vous, étaient placées dans une grande cage vitrée parcourue par un courant d'air pur, qui n'arrivait à elles qu'après s'être dépouillé des traces d'ammoniaque qu'il renferme d'ordinaire, on ne fut pas plus heureux, on ne put constater aucun gain d'azote; il en fut de même enfin dans une troisième série d'expériences, où les plantes étaient laissées au contact de l'air et préservées seulement de l'action de l'eau de pluie.

Vous savez, messieurs, car la discussion que nous résumons brièvement ici a eu, il y a vingt-cinq ans, un très grand retentissement, que M. G. Ville oppose aux expériences de M. Boussingault celles qu'il a exécutées et qui l'ont conduites à admettre au contraire que les plantes peuvent s'emparer directement de l'azote atmosphérique. D'après M. G. Ville, les expériences de M. Boussingault sont exactes dans les conditions où il s'est placé, c'est-à-dire quand on ne soutient la végétation que par de très faibles quantités d'engrais azotés; mais elles cessent de l'être, si, dès le début, on ajoute au sol un poids de salpêtre plus fort que ne l'a fait M. Boussingault; dans ces nouvelles conditions, les choses se passent tout autrement, la plante acquiert un développement normal et quand on met fin à l'expérience, l'analyse décèle une fixation d'azote très notable.

Messieurs, cette discussion a suscité des contrôles sérieux, notamment en Angleterre où MM. Lawes, Gilbert et Pugh se sont efforcés de reproduire les expériences de M. G. Ville et n'ont pu y réussir, de sorte que la manière de voir, exposée par mon savant collègue, malgré tout le talent qu'il a dépensé à la défendre, ne compte que peu de partisans (1).

Cependant dans ces dernières années, un travail dû à M. Berthelot a semblé au premier abord apporter quelque appui aux opinions de M. G. Ville et il importe de discuter l'interprétation qu'on doit donner des expériences de l'éminent professeur du Collège de France.

Vous voyez ici un des appareils employés par M. Berthelot pour montrer que certaines substances organiques sont capables de s'unir directement à l'azote gazeux quand celui-ci a été modifié par les effluves électriques ; je démonte l'appareil pour vous faire bien comprendre sa construction; ce gros tube en V, fermé à l'une de ses extrémités, est rempli d'acide sulfurique dans lequel plonge un des conducteurs d'une bobine de Rumkhorff de grande dimension. Nous enduisons la surface extérieure du tube de dextrine sirupeuse, puis nous le fixons à l'aide d'un support dans une petite cuve à mercure; la partie fermée du tube en V étant disposée verticalement, nous plaçons par-dessus un autre tube un peu plus large qui forme comme la gaine du premier; vous voyez que cette gaine porte extérieurement une mince lame de platine contournée en spirales, nous la relions à l'autre conducteur de la bobine ; des effluves se produisent dans le faible espace qui sépare les deux tubes et si l'on a rempli cet espace d'azote on reconnaît que celui-ci, modifié par le passage de l'électricité, acquiert la propriété de s'unir directement à la dextrine.

Il n'est pas nécessaire au reste de proscrire la présence de l'oxygène : dans une de ses expériences, où la matière absorbante était la dextrine, M. Berthelot a observé une absorption de 2,9 d'azote et de 7,0 d'oxygène sur 100 volumes d'air primitif.

M. Berthelot ne s'est pas contenté d'opérer avec de fortes bobines; il a construit un appareil qui lui a permis de montrer que la fixation de l'azote par la matière organique avait lieu encore sous l'influence de l'électricité atmosphérique; voici en effet les expressions mêmes de M. Berthelot.

« Dans tous les tubes sans exception, qu'ils continssent de l'azote pur ou de l'air ordinaire, qu'ils fussent clos hermétiquement ou en libre communication avec l'atmosphère, l'azote s'est fixé sur la matière organique (papier ou dextrine) en formant un composé amidé, que la chaux sodée décompose vers 300 à 400° avec régénération d'ammoniaque. »

Messieurs, les faits que je viens d'énoncer ont une importance considérable. M. Berthelot nous fait voir que les effluves électriques produits par les simples différences de tension qui existent entre l'air et le sol suffisent à modifier si profondément l'azote, que ce gaz inerte, si difficile à faire pénétrer en combinaison, acquiert tout à coup la propriété de s'unir à des matières telles que la cellulose ou la dextrine, à des substances par conséquent identiques ou analogues à celles qui forment les tissus des végétaux et les matières carbonées de la terre arable. Je pense, messieurs, que vous saisissez toute la portée de cette expérience ; bien que les effluves traversent l'air d'une façon continue, ils sont rarement visibles; parfois, cependant, par les soirées d'été, on les observe, et ils sont désignés fort improprement sous le nom d'*éclairs de chaleur;* l'électricité atmosphérique, étant mise en jeu presque constamment, peut déterminer la modification de l'azote, qui le rend apte à la combinaison bien plus énergiquement que la foudre qui, dans nos climats, gronde trop rarement pour que son action soit sensible.

Ainsi l'*azote effluvé* est apte à la combinaison, à la fixation sur la matière organique. Comment va se faire cette fixation, c'est là ce qui reste à éclaircir; les plantes vont-elles pouvoir s'emparer de cet azote modifié par l'électricité ?

M. Berthelot n'a pas pu constater que l'électricité déterminât dans l'azote une modification présentant quelque durée, comme celle qu'on obtient quand on soumet l'oxygène à l'action des étincelles ou des effluves; il semble qu'il faille que l'azote soit modifié par l'électricité au contact même de la matière avec laquelle il doit s'unir pour que la combinaison se produise, et si l'union a lieu entre les tissus des végétaux vivants et l'azote atmosphérique *effluvé,* on ne devra pas observer cette fixation sur des végétaux soustraits à l'influence de l'électricité. Nous sommes ainsi conduits à vous exposer

(1) Nous écourtons le récit de ces expériences, qui se trouvent exposées dans le troisième volume de la *Revue des cours scientifiques,* 1865-66.

Digitized by Google

l'état actuel d'une question, qui après avoir vivement préoccupé les physiologistes du XVIIIe siècle, avait été complètement négligée pendant nombre d'années quand elle a été reprise tout récemment par M. L. Grandeau, doyen de la Faculté des sciences de Nancy.

J'imagine, messieurs, que vous suivez bien la liaison des idées et que vous voyez comment je suis amené à parler de l'influence de l'électricité sur la végétation à propos de cette grande question de l'intervention de l'azote atmosphérique dans l'alimentation de la plante ; M. Berthelot nous enseigne que l'azote effluvé se fixe sur les matières organiques : est-ce sur le végétal vivant qu'a lieu la fixation, est-ce sur la matière organique du sol qu'elle se produit ? Si l'azote se fixe sur le végétal vivant, celui-ci se développera plus vigoureusement quand il sera exposé à l'action de l'électricité atmosphérique que si on l'en préserve ; voyons donc si l'électricité atmosphérique exerce une influence marquée sur la végétation.

Je n'ai pas l'intention de vous faire l'historique de toutes les recherches entreprises pour reconnaître l'influence de l'électricité atmosphérique sur le développement des végétaux ; ceux d'entre vous que cette question pourrait intéresser trouveront un résumé complet dans un mémoire de M. Solly, dont j'ai donné une traduction dans le cahier d'avril 1880 des *Annales agronomiques*. M. Solly renvoie très exactement aux sources ; ceux qui voudraient les consulter les trouveront à notre bibliothèque du Muséum, particulièrement dans le *Journal de physique* de l'abbé Rozier, qui renferme dans les volumes de 1785 à 1790 les mémoires les plus importants.

Je rappellerai seulement que les partisans de l'influence de l'électricité, bien qu'ils aient fait preuve de plus d'imagination que de rigueur scientifique, avaient réussi à entraîner un grand nombre d'esprits amis du merveilleux, quand Ingen Housz intervint et fit voir par des expériences rigoureuses que l'électricité atmosphérique était loin d'exercer sur la végétation toute l'influence que ses prédécesseurs lui avaient attribuée.

L'un d'entre eux, le sénateur italien Quirini, avait remarqué que des jasmins sauvages situés dans le voisinage d'un tuyau métallique de grande dimension avaient acquis une hauteur beaucoup plus grande que leurs voisins ; Quirini attribuait ce développement considérable à l'influence de l'électricité parcourant ce tuyau métallique.

« J'ai cru ne pouvoir mieux imiter cette expérience, dit Ingen Housz, qu'en plaçant des conducteurs métalliques sur les arbres mêmes, car alors toute l'électricité qui serait attirée ou condensée dans ces conducteurs doit absolument passer au travers de l'arbre pour arriver dans le sein de la terre. En conséquence, j'attachai au mois de février 1787, au sommet de plusieurs arbres de différentes espèces, des perches de bois entortillées d'un fil de cuivre, dont l'extrémité supérieure très pointue surpassait la perche d'environ un demi-pied, et de plusieurs pieds la plus haute branche de l'arbre. Je notai d'un numéro chaque arbre ainsi surmonté d'un conducteur et je mis le même numéro sur un arbre de la même espèce et autant que possible de la même grandeur, le dernier devait me servir de terme de comparaison. Sans cette précaution on aurait pu décider pour ou contre l'effet de ces conducteurs, en choisissant après coup ceux qu'on trouverait s'accorder le mieux au système qu'on avait adopté. Je pris soin aussi que l'arbre garni d'un conducteur ne touchât à aucune branche de celui qui lui servait de terme de comparaison.

« Le résultat de tous ces essais fut que les conducteurs n'avaient contribué en rien pour faire déployer plus tôt les feuilles ou pousser les fleurs des arbres qui en furent garnis. Je trouvai à la vérité que plusieurs arbres surmontés d'un conducteur avaient devancé leurs compagnons qui n'en avaient point ; mais j'en trouvai en même temps d'autres qui étaient tout autant arriérés vis-à-vis de ceux qui n'étaient pas garnis de conducteurs. Je trouvai entre autres au milieu du jardin un châtaignier sauvage, l'arbre le plus haut de tous ceux du jardin, qui avait, sans être surmonté d'un conducteur, devancé de beaucoup tous les autres. Si j'avais reconnu au mois de février cet arbre pour un châtaignier, je l'aurais certainement garni d'un conducteur, et, dans ce cas, sa précocité remarquable aurait pu m'en imposer, si je me fusse contenté d'un seul arbre pour l'observation dont il est ici question. »

Ingen Housz voulut non seulement reconnaître si l'appel du fluide électrique à l'aide de conducteurs avait une influence sur le développement des végétaux, mais si, en soustrayant des plantes à l'action du fluide, on avait quelque chance de retarder leur végétation. Cette expérience, exécutée dans l'été de 1786, est rapportée par l'auteur dans les termes suivants : « J'érigeai au jardin botanique un poteau assez haut pour que son sommet dépassât d'environ 8 à 9 pieds tous les arbres les plus voisins. Je surmontai ce poteau d'un fil de cuivre dont la pointe très effilée surpassait le sommet du poteau de plus d'un pied. De ce fil de cuivre je fis descendre quatre autres fils de cuivre à une distance égale. Je fixai chacun de ces quatre fils à un pieu de bois entortillé d'un fil de cuivre et enfoncé en terre à quelques pieds de profondeur. Ces quatre pieux formaient un carré et laissaient un espace quadrangulaire tout parsemé de *calamintha mentana* qui ne formaient alors que de très petites plantes. Du bout de ces quatre pieds dont la hauteur au-dessus de la terre était d'environ trois pieds, je tendis horizontalement d'autres fils de cuivre pour enfermer cet intervalle carré. Ces fils tendus d'un pied à l'autre étaient encore en communication avec un grand nombre d'autres fils métalliques tendus en tout temps au-dessus des plantes et de même latéralement, de façon que les plantes interceptées dans ce carré se trouvaient comme enveloppées d'un treillage de fils de métal en forme d'une cage d'oiseau...

« Le résultat de cette expérience s'accorda encore entièrement avec celui que j'obtins des autres expériences déjà citées. Les plantes ainsi destituées de toute influence électrique ont cru, fleuri et semencé exactement comme toutes les autres de cette espèce, qui se trouvaient en plusieurs endroits du même jardin. »

Vous voyez, messieurs, qu'il y a la plus grande ressemblance entre la cage employée par Ingen Housz en 1786 et celle que je mets sous vos yeux et qui est la reproduction exacte

Digitized by Google

de celle qui a été construite par M. L. Grandeau, quand il a repris ces expériences, il y a quelques années; M. Grandeau ne connaissait évidemment pas le travail d'Ingen Housz, car il ne le cite pas dans le résumé historique placé à la suite du mémoire qu'il a inséré récemment dans les *Annales de chimie et de physique*.

M. Grandeau, comme Ingen Housz, a maintenu des plantes pendant toute la durée de leur croissance sous des cages semblables à celle-ci et les a comparées à des plantes élevées à l'air libre; mais, tandis que Ingen Housz n'avait pu constater aucune différence entre les plantes maintenues sous la cage et celles qui étaient restées à l'air libre, M. Grandeau a trouvé des différences de poids notables, les plantes soustraites à l'action de l'électricité étaient moins fortes que celles qui avaient cru à l'air libre; les mêmes expériences répétées à Mettray par M. Leclerc ont donné des résultats analogues. M. Grandeau a conclu de ces expériences que l'électricité atmosphérique avait une influence marquée sur le développement des végétaux.

Avant d'admettre ces conclusions opposées à celles de l'illustre physiologiste hollandais, il importe de savoir si elles s'appuient sur des faits bien observés. Or, messieurs, rien n'est plus difficile que d'obtenir deux pieds de la même espèce se comportant de la même façon; on a beau prendre toutes les précautions imaginables, de sols, de graines, d'engrais, il arrive constamment qu'on trouve entre deux plantes qui devraient être identiques des différences notables qu'on ne sait à quelles causes attribuer.

C'est ce que vous allez reconnaître dans un instant, si vous voulez bien, après la leçon, m'accompagner dans le jardin du laboratoire: vous verrez huit helianthus enracinés deux par deux dans des boîtes métalliques semblables à celle qui est devant vous; deux de ces boîtes sont surmontées de cages, deux autres n'en ont pas. Vous reconnaîtrez que l'un des helianthus placés sous la cage a déjà trouvé le moyen de la franchir: c'est le plus haut de toute la série; il y a certainement plus de différences individuelles entre les plantes placées sous cage ou hors cage qu'entre l'ensemble des plantes placées dans des conditions différentes.

L'an dernier, j'ai obtenu des résultats aussi disparates. M. Naudin, membre de l'Académie des sciences, a de son côté essayé en vain de reproduire les expériences de M. Grandeau; enfin non seulement cette influence de l'électricité atmosphérique a été étudiée au XVIIIe siècle et dans ces dernières années, mais elle l'a été également dans la première moitié de ce siècle. M. Wartmann, professeur à l'Université de Genève, a fait, en 1849, une série d'essais qui l'ont conduit à déclarer qu'aucune différence notable n'a pu être constatée entre les plantes soumises ou soustraites à l'action de l'électricité atmosphérique. Enfin quelques années auparavant, on avait annoncé avoir obtenu en Amérique des effets merveilleux de l'électroculture; M. Solly répéta les expériences en Angleterre, elles échouèrent absolument.

De cet ensemble d'essais négatifs il faut conclure que ce n'est pas sur la plante elle-même qu'a lieu la fixation de l'azote atmosphérique, et que c'est sans doute le sol qui s'enrichit.

Examinons cette seconde question avec d'autant plus de soin que, vous vous en souvenez, nous avons au début de cette leçon insisté sur la richesse en azote combiné de nos terres arables.

Dans notre dernière leçon, nous avons vu, messieurs, que les traces d'ammoniaque contenues dans l'air ne paraissent pas avoir d'influence directe sur la végétation; en ont-elles une sur le sol lui-même? Peut-il saisir les petites quantités d'ammoniaque que l'analyse décèle dans l'air? C'est ce que M. Schlœsing s'est efforcé de montrer pendant ces dernières années. Nous avons vu, messieurs, dans la dernière leçon, que ce chimiste distingué avait développé par un travail considérable l'idée déjà ancienne que l'ammoniaque contenue dans l'eau de la mer s'en échappait et était entraînée par les vents jusqu'aux continents.

M. Schlœsing n'a pas insisté sur l'absorption de l'ammoniaque atmosphérique par les végétaux; mais il a donné plusieurs expériences tendant à montrer que l'ammoniaque vient se fixer sur la terre arable pour l'enrichir peu à peu.

Le savant professeur de l'Institut agronomique a exposé à l'action de l'air des terres arables sèches: l'une était un limon de la Seine pris aux environs de Paris, à Boulogne; on y a dosé successivement les quantités d'ammoniaque suivantes:

	Ammoniaque dans 50 grammes de terre. — Milligrammes.
30 juillet 1875	0,797
6 août	0,996
13 août	1,044
20 août	1,626
28 août	1,730
3 septembre	1,684
10 septembre	2,094
17 septembre	2,504

Une autre expérience, commencée le 1er août et terminée le 20 septembre, a porté sur une terre du département de Seine-et-Oise prise à Nauphle-le-Château; au commencement des expériences, elle ne renfermait que $0^{mg},219$ dans 50 grammes, tandis qu'à la fin de l'exposition à l'air, elle en contenait $4^{mg},141$.

Les terres exposées à l'air se sont donc enrichies en ammoniaque, le fait est constant; mais quelle est l'origine de cette ammoniaque?

M. Schlœsing admet que cette ammoniaque a été prise à l'air, mais il n'en donne pas la preuve décisive. Si en faisant passer de l'air au travers une terre d'humidité moyenne il a reconnu que l'air s'était appauvri en ammoniaque, dont le sol s'était emparé, il n'est pas démontré qu'il en eût été ainsi pour une terre qui est restée exposée à l'air pendant six semaines. Je regrette vivement que M. Schlœsing n'ait pas cru devoir appuyer son assertion du dosage de l'azote total contenu dans la terre: si ce chiffre avait été plus fort après l'exposition à l'air, la démonstration d'un enrichissement du sol eût été complète; mais tant qu'il n'a pas été fourni, on peut craindre que M. Schlœsing n'ait assisté qu'à une trans-

Digitized by Google

formation en ammoniaque de l'azote des matières organiques contenues dans le sol.

Cette transformation s'effectue fréquemment et l'ammoniaque exhalée dans l'air par une terre dépouillée de végétaux peut être assez notable, c'est ce qui résulte d'une observation de M. Boussingault qui vient confirmer un vieux dicton des cultivateurs.

Ils disent que la neige engraisse le sol ; l'expression paraît singulière, et l'on aurait au premier abord quelque peine à y reconnaître cette part de vérité qu'on rencontre si souvent dans les anciennes observations de la culture, si dans ses dosages d'ammoniaque dans les eaux météoriques, M. Boussingault n'avait fait une observation très curieuse et que j'ai eu occasion de faire vérifier plusieurs fois à l'école de Grignon; M. Boussingault a recueilli la neige qui était tombée à Paris sur une terrasse; il y a dosé l'ammoniaque, il en a trouvé $1^{mg},78$ par litre; trente-six heures plus tard, il a recueilli la neige déposée sur la terre végétale d'un jardin contigu à la terrasse; dans l'eau provenant de la fusion de cette neige il a trouvé $10^{mg},34$ et il ajoute : « Il me semble de la dernière évidence que l'ammoniaque trouvée en si forte proportion dans la neige du jardin provenait, pour la plus grande partie, des vapeurs émanant du sol. »

Voilà donc un exemple très net des pertes d'ammoniaque que peut faire un sol cultivé, et rien ne démontre que l'ammoniaque contenue dans le sol étudié par M. Schlœsing provienne de l'air ; il est très possible qu'elle ait son origine dans la terre arable elle-même.

Dans les expériences précédentes, M. Schlœsing avait étudié l'apparition de l'ammoniaque dans des terres sèches; il a recherché également ce qui se passe dans des terres maintenues humides, dans lesquelles la nitrification s'exécute régulièrement, quand ces terres renferment à la fois des matières organiques azotées et le ferment nitrique; les expériences ont été faites parallèlement sur des terres exposées librement à l'air, de façon à favoriser l'accès de l'ammoniaque atmosphérique et dans d'autres couvertes tout simplement par une assiette pour retarder l'arrivée des vapeurs ammoniacales.

On a trouvé que les terres découvertes renfermaient à la fin de l'expérience dans un cas $2^{mm},59$, dans l'autre $4^{mm},097$ de plus que les terres couvertes; mais ces différences portent plus sur l'acide azotique formé que sur l'ammoniaque fixée. M. Schlœsing admet, il est vrai, que l'acide azotique en excès provient de l'ammoniaque acquise par l'une des terres et non par l'autre; mais il n'y a pas de preuve décisive qu'il en soit ainsi. Il est bien à regretter, nous le répétons, que le savant directeur de la manufacture des tabacs n'ait pas cru devoir fortifier ses conclusions d'un dosage d'azote total montrant que les terres s'étaient réellement enrichies d'une nouvelle proportion d'azote.

J'avoue en outre, messieurs, que si l'ammoniaque atmosphérique n'a aucune influence sur les végétaux, ainsi que l'a reconnu M. Mayer d'Heidelberg, sur des végétaux qui renferment une si grande quantité d'eau dans laquelle cette ammoniaque a tant de tendance à se dissoudre, je suis étonné, dis-je, que cette ammoniaque soit prise par des terres sèches ou même par des terres humides plus facilement que par les végétaux eux-mêmes.

Au reste, messieurs, le travail de M. Schlœsing date déjà de quelques années; c'est après sa publication que M. Berthelot a exécuté ses remarquables expériences, et quand bien même M. Schlœsing aurait montré que la terre s'est enrichie en azote, il resterait à décider si cet azote provient de l'ammoniaque ou de l'azote effluvé.

Nous touchons, messieurs, au terme de ce long exposé. M. Berthelot a fait voir que l'azote modifié par l'électricité s'unit aux matières organiques, nous avons reconnu que la croissance des végétaux n'est pas influencée par l'électricité, nous avons reconnu en outre que c'est la terre arable qui fait le gain d'azote ; il faut donc reconnaître que les travaux de M. Berthelot ont donné la solution cherchée et sont venus apporter une preuve décisive de la justesse d'une opinion émise depuis longtemps.

Mulder avait annoncé, il y a déjà plusieurs années, cette fixation d'azote; j'ai exécuté moi-même sur ce sujet nombre d'expériences dont plusieurs assez heureuses pour démontrer que, dans certaines circonstances que je n'ai jamais pu déterminer complètement, l'azote s'unit aux matières ulmiques. Si M. Schlœsing n'a pu reproduire ces expériences, M. Armsby, chimiste américain, les a refaites avec succès ; M. Bretschneider a reconnu également que les matières ulmiques exposées à l'air s'enrichissaient en azote, enfin les observations de la culture nous fournissent des preuves si nombreuses que les matières ulmiques sont les agents de fixation de l'azote que je n'ai que l'embarras du choix.

J'ai déjà eu occasion, messieurs, de vous parler du champ d'expériences de Grignon ; vous savez que j'y ai étudié comparativement la culture à l'aide du fumier de ferme et à l'aide des engrais chimiques, en même temps que, pour mieux suivre l'influence des engrais, je laissais constamment quelques parcelles sans engrais.

Les expériences ont été commencées en 1875 : en 1878, nous avons M. Nantier et moi prélevé sur notre sol des échantillons de terre pour procéder à leur analyse et j'ai déjà fait passer sous vos yeux les résultats relatifs aux matières carbonées qu'on y rencontre ; cette fois j'appellerai votre attention sur les dosages d'azote qui ont été exécutées.

On a trouvé sur la parcelle cultivée en maïs fourrage et restée constamment sans engrais $1^{gr},67$ d'azote combiné par kilogramme, c'est la moyenne de six dosages; sur une parcelle qui avait reçu pendant trois ans 20 000 kilogrammes de fumier de ferme chaque année on a trouvé $1^{gr},93$ par kilogramme ; et sur une autre où l'on avait entassé pendant les trois années d'expérience 80 000 kilogrammes de fumier de ferme chaque année $2^{gr},01$ d'azote combiné par kilogramme ; si nous multiplions ces chiffres par le poids de la terre d'un hectare nous trouvons pour l'azote total :

1. Parcelle sans engrais.	6429 kilogr.
2. Parcelle avec 20 000 kilogr. de fumier.	7430 —
3. Parcelle avec 80 000 kilogr. de fumier.	7738 —

Digitized by Google

La différence entre 2 et 1 = 1001 kilogrammes, or la terre n'en a reçu que 400 kilogrammes; la différence entre 3 et 1 est de 1309 kilogrammes, or le sol n'en a reçu que 1200 : il y a donc eu gain, acquisition d'azote sur ces deux parcelles, et cela est d'autant plus certain que les récoltes prélevées sur 2 renfermaient 116 kilogrammes d'azote de plus que celles du témoin et que l'excédent des récoltes de 3 sur celles de la parcelle sans engrais renfermait un excédent de 162 kilogrammes d'azote sur celui que contenait le maïs développé sur la parcelle n° 1.

Le fait est-il isolé? Non pas; et en étudiant le sol des parcelles qui ont porté des pommes de terre nous trouvons encore des résultats analogues.

Le sol qui est resté sans engrais, accusant 1gr,74 d'azote combiné par kilogramme de terre, l'hectare renfermerait 6622 kilogrammes d'azote combiné; le sol qui a reçu chaque année 20 000 kilogrammes de fumier de ferme renferme 1gr,89 d'azote combiné par kilogramme ou 7238 par hectare, c'est-à-dire 616 kilogrammes de plus que la parcelle sans engrais ; or il n'en avait reçu que 400 kilogrammes, il y a donc un excès de 216 kilogrammes auxquels il faut ajouter celui qui a été enlevé par les récoltes. Les tubercules produits sur cette parcelle renfermaient 58 kilogrammes d'azote de plus que ceux qui se sont développés sans engrais, l'excès total est donc de 274 kilogrammes.

Sur une autre parcelle on a déposé chaque année la valeur de 80 000 kilogrammes de fumier à l'hectare, elle a donc reçu 1200 kilogrammes d'azote de plus que la parcelle sans engrais; mais on y trouve 2gr,08 d'azote par kilogramme ou 1969 kilogrammes à l'hectare, elle renferme donc 1347 kilogrammes de plus que le témoin, et comme elle n'en a reçu que 1200, nous avons un excès de 147 kilogrammes auxquels il convient d'ajouter 102 kilogrammes que les récoltes ont enlevé; l'excès est donc de 249 kilogrammes (1).

Ainsi, messieurs, l'enrichissement du sol en azote est corrélatif de son enrichissement en matières carbonées; ce n'est pas seulement par les 5 millièmes d'azote qu'il renferme que le fumier de ferme est utile, c'est encore par l'azote atmosphérique dont il détermine la fixation. Je veux vous fournir encore une dernière preuve de l'influence des matières carbonées sur la fixation de l'azote atmosphérique, cet exemple me sera fourni par des terres qui n'ont jamais reçu d'engrais, mais qui ne sont jamais remuées et dans lesquelles les débris végétaux s'accumulent depuis des siècles. Il y a déjà quelques années, en 1875, M. Truchot, professeur à la Faculté des sciences de Clermont-Ferrand, avait été très frappé des expériences que j'avais faites pour montrer que l'azote de l'air s'unit aux matières carbonées; il chercha à les vérifier par une méthode différente de celle que j'avais employée, il analysa les sols des hautes prairies d'Auvergne qui se couvrent de gazon depuis un temps immémorial, qui tous les étés sont pâturées par les vaches, mais qui ne reçoivent jamais d'engrais. M. Truchot y dose simultanément par kilogramme (1) :

	Carbone des matières organiques. — Grammes.	Azote des matières organiques. — Grammes.
Terre de Beth (volcanique)	118,8	9,4
— —	129,0	7,6
— —	102,0	7,4
Terre du Puy-de-Dôme.	100,5	7,3
Terre de Theix (granitique)	148,0	6,8

Ces quantités d'azote combiné sont énormes, messieurs; nos bonnes terres arables renferment habituellement de 1 gr., 5 à 2 grammes d'azote par kilogramme. Les terres analysées par M. Truchot renferment jusqu'à 9 grammes d'azote combiné par kilogramme; je crois, messieurs, qu'on ne saurait attribuer à cet azote d'autre origine que l'atmosphère, l'azote s'est fixé sur les matières carbonées qui s'accumulent dans les sols que n'ouvrent pas le soc de la charrue; dans ces terres abandonnées à la vaine pâture, les débris des végétations antérieures se décomposent lentement, l'oxygène de l'air pénètre difficilement, les combustions y sont peu actives et l'enrichissement en carbone entraîne l'augmentation de l'azote combiné.

Il en est autrement dans nos terres arables. Nous les déchirons par de puissants instruments, nous en exposons toutes les parties à l'action de l'air; la matière organique s'y brûle, et la proportion du carbone combiné dépasse rarement 20 grammes par kilogramme. Les quantités d'azote n'y sont jamais très fortes, et elles diminueraient encore, si par nos apports de fumier de ferme nous ne cherchions pas à lutter contre ces combustions sans cesse provoquées par les labours.

J'ai à m'excuser, messieurs, de la longueur de cette discussion : je voulais en mettre tous les éléments sous vos yeux ; mais il est temps de conclure. Laissons donc maintenant tous ces détails; des faits exposés dans les leçons précédentes, il découle une conséquence capitale qui s'appuie sur les manières de voir diverses que j'ai discutées devant vous. En effet, que la matière carbonée serve directement d'aliments aux végétaux, comme je le suppose, ou qu'elle soit simplement le véhicule des matières minérales, comme l'enseigne M. Grandeau; que ce soit l'ammoniaque atmosphérique qui se fixe sur la terre arable, comme le veut M. Schlœsing, ou l'azote gazeux de l'atmosphère, comme je le pense depuis longtemps et comme le démontre M. Berthelot; dans tous les cas, l'intermédiaire nécessaire est la matière ulmique dont l'importance s'accroît à mesure que son étude devient plus soignée et plus précise.

Au commencement de cette leçon, nous nous demandions, messieurs, si notre système de culture devait nous conduire à la ruine en rendant nos terres stériles, ou à la prospérité en augmentant constamment leur fertilité; il semble que maintenant nous puissions répondre et dire que cette ferti-

(1) Voyez pour plus de détails : *Étude du sol du champ d'expériences de Grignon* (*Annales agronomiques*, t. IV, p. 418).

(1) Le mémoire est inséré dans le tome Ier des *Annales agronomiques*.

Digitized by Google

lité est liée à l'abondance de la matière ulmique. En effet, messieurs, vous le verrez plus tard, la potasse fait rarement défaut dans nos terres cultivées, l'acide phosphorique moins largement distribué s'offre à nous dans d'immenses gisements à peine exploités; nous n'avons donc aucune inquiétude à concevoir pour l'alimentation minérale de la plante; quant à son alimentation organique, elle est assurée, si, par l'apport de matières organiques abondantes, par de copieuses fumures de fumier de ferme, nous balançons la combustion des matières ulmiques que provoquent nos labours profonds et souvent répétés. Si, au contraire, comme on l'a fait jadis, on ouvre le sol, on y fait arriver l'oxygène, sans lui rien restituer, la matière organique disparaît très vite dans les pays chauds, plus lentement dans les pays humides; mais, dans l'un et l'autre cas, sa disparition conduit fatalement à la stérilité.

P.-P. Dehérain.

PHYSIQUE

FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE

COURS DE M. HURION

Relations générales entre la mécanique et l'électricité.

Messieurs,

Je me propose d'étudier avec vous l'électricité, cette branche de la physique dont l'industrie a su tirer si bon parti, et qui tous les jours s'enrichit de faits nouveaux et curieux. Cette étude ne saurait aller sans celle des phénomènes magnétiques que les travaux d'Ampère ont su rattacher si intimement aux phénomènes électriques.

Nous voyons tout d'abord que, quelle que soit sa nature intime, l'électricité se manifeste par des phénomènes de mouvement. Nous frottons ce bâton de verre, nous l'approchons d'un pendule électrique; le pendule, est attiré, puis repoussé. Présentons maintenant à ce même pendule un bâton de résine frotté, le pendule est attiré; et si nous prenons soin d'empêcher le contact, nous remarquons que ce même pendule est encore repoussé par le bâton de verre frotté. Ainsi cet état particulier, que prennent certains corps par le frottement, état que l'on désigne par un mot, en disant qu'ils sont électrisés, se traduit par des attractions et répulsions. L'électricité se trouve caractérisée par une action à distance susceptible d'un double signe. C'est ce que l'on exprime quelquefois en disant qu'il y a deux sortes d'électricités : l'électricité positive qui se développe sur le verre frotté avec de la laine, et l'électricité négative qui prend naissance quand on frotte la résine avec une peau de chat. Comme le pendule mis en contact avec un bâton de verre frotté doit tout naturellement s'électriser de la même manière que lui, nous concluons de l'expérience précédente que deux corps électrisés de la même manière se repoussent, tandis que deux corps électrisés en sens contraire s'attirent.

Les mêmes particularités se retrouvent dans l'étude du magnétisme. Plaçons deux aiguilles aimantées sur des pivots; elles se dirigent parallèlement de manière que, pour chacune d'elles, l'une des extrémités pointe vers le nord et l'autre vers le sud. Présentons l'extrémité nord ou, comme on dit, le pôle nord ou austral de la première au pôle nord de la seconde, nous observerons une répulsion. Le même effet se produit si l'on met en regard les deux pôles sud. Mais la répulsion se change en attraction quand on présente le pôle nord de l'une au pôle sud ou boréal de l'autre. Toutefois l'analogie n'est point complète, car nous avons pu obtenir à volonté un corps chargé seulement d'électricité positive ou d'électricité négative, tandis qu'il nous est impossible d'obtenir un barreau ne présentant qu'un seul pôle magnétique. Pour nous en convaincre, prenons cette aiguille aimantée présentant un pôle nord et un pôle sud et brisons-la, chaque moitié présente encore un pôle nord et un pôle sud comme nous l'indique son action sur l'aiguille aimantée. Brisons encore l'une des moitiés, les fragments présentent toujours deux pôles, quelque petits qu'ils soient.

Malgré cette différence les deux ordres de phénomènes rentrent dans le domaine de la mécanique puisqu'ils se traduisent par des mouvements. Nous pouvons préciser quelque peu cette idée. Concevons un corps A électrisé positivement, puis prenons une petite sphère B également chargée d'électricité positive et approchons-la de A. Outre l'effort nécessaire pour déplacer cette petite sphère, nous aurons à vaincre la force répulsive qui s'exerce entre A et B. Il nous faudra donc effectuer un certain travail supplémentaire.

Ce travail provenant des réactions électriques dépendra du point de départ et du point d'arrivée de B; mais si l'on suppose le point de départ assez éloigné pour que les actions électriques y soient insensibles, le travail ne dépendra plus que du point d'arrivée. On peut donc caractériser chaque point de l'espace environnant un ou plusieurs corps électrisés, ou, comme l'on dit encore, chaque point du champ électrique par le travail nécessaire pour amener de l'infini au point considéré, une petite sphère qu'on électriserait positivement et toujours de la même façon. Ce travail pourrait être appelé la caractéristique du point. Si l'on considère tous les points pour lesquels la caractéristique prend une valeur déterminée, on obtiendra une certaine surface telle, que le travail électrique sera nul quand la sphère B se déplacera sur cette surface. Il en résulte nécessairement que la force électrique agissant sur la sphère B est, en chaque point, normale à la surface. Cette propriété a fait donner à ces surfaces le nom de surfaces de niveau par comparaison avec l'hydrostatique.

Dès lors, le champ électrique nous apparaît comme constitué par une série de surfaces de niveau définies par une série de valeurs de la caractéristique; cette caractéristique d'ailleurs pourra prendre des valeurs négatives. Une petite sphère électrisée positivement tendra toujours à se mouvoir du côté des caractéristiques décroissantes.

Digitized by Google