Déléano, N.T.

Étude sur le rôle et la fonction des sels
minéraux dans la vie de la plante

1907.

6
QK
746
D34Z
Bot.

UNIVERSITÉ DE GENÈVE — INSTITUT DE BOTANIQUE

Prof. Dr R. CHODAT. — 7^{me} Série. — IX^{me} Fascicule.

ETUDE
SUR
LE ROLE ET LA FONCTION
DES
SELS MINÉRAUX
DANS LA VIE DE LA PLANTE

PAR

Nicolas-T. DÉLÉANO

GENÈVE

IMPRIMERIE ROMET, 26, BOULEVARD GEORGES-FAVON

1907

UNIVERSITÉ DE GENÈVE — INSTITUT DE BOTANIQUE

Prof. Dr R. CHODAT. — 7^{me} Série. — IX^{me} Fascicule.

ETUDE
SUR
LE RÔLE ET LA FONCTION
DES
SELS MINÉRAUX
DANS LA VIE DE LA PLANTE

PAR

Nicolas-T. DÉLÉANO

GENÈVE

IMPRIMERIE ROMET, 26, BOULEVARD GEORGES-FAVON

1907

381135546
134

ÉTUDE

SUR

LE RÔLE ET LA FONCTION DES SELS MINÉRAUX

DANS LA VIE DE LA PLANTE

Les auteurs soussignés ont l'intention de publier ou faire publier par leurs élèves une série de monographies consacrées à la question du mode d'absorption, de la loi d'accroissement, de la répartition des substances minérales et de leurs fonctions ou de leurs effets dans l'économie de la plante vivante.

Il existe sans doute déjà beaucoup de travaux sur la composition des cendres dans les végétaux; mais la plupart de ces travaux ont eu pour objet l'étude de la valeur des engrais ou la nécessité pour le végétal d'avoir à sa disposition certaines substances minérales qui président à des fonctions encore aujourd'hui inconnues. Désormais il paraît aux auteurs que, outre ces questions importantes, il en est d'autres, comme celle de la migration des matières minérales, les lois d'absorption et d'accroissement, d'assimilation et de désassimilation, la répartition corrélatrice de diverses substances, leurs actions favorables ou toxiques sur le développement, qui nécessitent un examen plus approfondi; or, ces problèmes ne peuvent être résolus que par une analyse rigoureuse, faite au cours du développement, de manière à connaître la marche complète de la réaction compliquée qui va de la germination à la dissémination.

Ce n'est en effet que lorsqu'on connaîtra la courbe totale, qu'il deviendra possible de tirer des conclusions importantes

sur le phénomène d'assimilation et de désassimilation des matières minérales, sur l'influence qu'elles ont dans le phénomène de la croissance considérée comme un tout, comme une réaction chimique, sensibilisée, accélérée ou ralentie par l'action des substances minérales. Ce qu'il faut surtout, c'est une connaissance sérieuse et complète de la composition du végétal à chaque moment de son existence, en appliquant à ce mode de recherche le procédé de la statistique biologique. Traiter la croissance du végétal comme on aborde l'étude d'une action fermentescible, en décrire sur une quantité suffisante d'individus pour éliminer les variations individuelles, l'allure, l'accélération ou le ralentissement en fonction d'un facteur qui varie. Connaître la différenciation en fonctions des organes unis corrélativement, etc. Tel sera le programme général de ces études pour la résolution desquelles les deux laboratoires, celui de l'Institut de Botanique (chimie végétale) et celui de Chimie agricole unissent leurs forces en un travail commun.

R. CHODAT.

A. MONNIER.

Dans un travail antérieur, fait par M. Monnier et en partie en collaboration avec M^{lle} Stéfanowska, on avait déterminé l'augmentation en poids, non seulement de la matière organique totale, mais sur le conseil de M. Chodat, l'accumulation de chaque substance minérale, en appliquant dans cette recherche la méthode biométrique. Celle-ci consiste à ne pas considérer simplement l'individu, mais pour éviter les facteurs individuels, les égaliser, en s'adressant à des collections d'individus obtenus dans des semis aussi uniformes que possible.

De cette manière on peut obtenir des résultats qui sont applicables à la race et qui peuvent fournir un point de départ dans l'établissement de lois biologiques.

Des résultats publiés par M. Monnier, on pouvait conclure que les substances minérales après avoir augmenté selon une certaine accélération tendaient à diminuer comme quantités; mais les recherches n'avaient pas été poussées assez loin pour qu'on ait pu alors donner comme certain le phénomène de la migration négative des matières salines.

Dans ces nouvelles recherches, on a poussé l'allure des courbes d'augmentation jusqu'au maximum, puis on a suivi la migration négative jusqu'au moment de la maturation. Nous appellerons migration positive des matières salines, le phénomène par lequel les sels du sol s'élèvent dans la plante, en voie de croissance, jusqu'au moment où un mouvement inverse, migration négative, les fait cheminer vers le sol. Or, cette migration négative était ou mal connue ou inconnue jusqu'à présent.

On verra plus loin que la diminution des matières salines peut atteindre et dépasser même 50 % du poids absolu. C'est donc une désassimilation énorme, ou mieux dit une évacuation considérable à partir du moment où se fait le renversement dans l'accumulation des matières salines. On verra cependant que cette migration négative précède de beaucoup l'arrêt d'augmentation en poids, en ce qui concerne la substance sèche qui continue à s'accumuler lorsque les sels descendent vers le sol. Au contraire, à cette migration négative correspond une diminution du poids brut, c'est-à-dire du poids de la plante fraîche. On verra aussi que, par rapport à la plante fraîche, la composition des cendres et leur concentration ne varient que dans de faibles limites, tandis que cette variation est grande par rapport à la plante sèche. Or, il faut remarquer que l'augmentation des substances salines correspond à la période qu'on peut appeler période d'augmentation protoplasmique, c'est-à-dire phénomène de croissance proprement dit, marqué plus particulièrement par la courbe d'augmentation de l'azote.

Le maximum d'azote atteint, il se maintient à peu près égal, au moins en ce qui concerne les plantes cultivées en présence du nitrite de soude, du sulfate d'ammonium et de la cyanamide, tandis que les sels diminuent constamment de quantité, alors que la matière sèche non azotée continue de progresser jusqu'à une limite.

L'indépendance du phénomène que nous appellerons, avec MM. Chodat et Monnier, croissance protoplasmique, de celui qu'on peut désigner sous le nom d'emmagasinement des substances hydrocarbonnées (amidon, cellulose, pectose, etc.) est évidente. L'accumulation de ces substances se continue alors que déjà s'est faite la migration négative. Or, nous remarquons que durant cette augmentation de matières hydrocarbonnées, postérieures au renversement de la courbe d'absorption des matières minérales, la matière azotée n'augmente, ni ne diminue; ce n'est donc pas à ses dépens que s'est faite l'augmentation des

substances hydrocarbonées : c'est à quoi l'on devait naturellement s'attendre, d'après ce que nous savons du phénomène de l'assimilation du carbone. Quand à la cause de la migration négative, on ne peut la trouver que dans la diminution de la vitalité des cellules de la plante. Ces matières minérales non incorporées à la matière vivante, non réellement assimilées, ne sont retenues dans les plasmas qu'en vertu de leur semiperméabilité; dès que la vitalité diminue, ou cesse, la semiperméabilité fait place à la perméabilité, et il se fait un phénomène de diffusion lente de la plante vers le sol. Le végétal se vide ainsi par un simple phénomène de diffusion centrifuge.

Depuis quelques années, les recherches de biométrie appliquées à la physiologie se multiplient. Nous rappellerons les intéressants travaux de M^{lle} Stéfanowska, puis ceux de MM. Monnier et Chodat. Enfin d'autres chercheurs essayent de donner aux phénomènes de croissance un énoncé correct et discutable. M. Th. Hedlung¹ dans son mémoire a étudié un cas relativement simple d'une algue unicellulaire sphérique en croissance. Et il a reconnu que l'augmentation de la croissance n'est pas proportionnelle au volume; mais que vu la diminution proportionnelle de surface à mesure que le volume augmente, il y a diminution d'augmentation. Cet auteur a trouvé une formule qui permet de calculer l'action inhibitoire qu'exerce sur la croissance l'augmentation de volume

$$691 \log \frac{d}{d_0} + b(d - d_0) = Kt.$$

où d_0 = diamètre à t_0 et d le diamètre au bout de t . b un coefficient à déterminer d'après les valeurs observées du diamètre.

Cette formule est déduite d'une supposition préliminaire qui consisterait à dire que l'augmentation serait proportionnelle au

¹ *Ueber den Zuwachsverlauf bei kugeligen Algen während des Wachstums* (Särtryck ur *Botaniska Studier*, Upsala 1906).

volume, c'est-à-dire, que l'algue croîtrait comme un capital qui croît avec un intérêt invariable ajouté continuellement au capital.

Pour une algue sphérique :

$$\frac{300}{\log e} \log \frac{d}{do} \text{ ou } 691 \log \frac{d}{do} = pt.$$

où $p = \%$ = rapidité de croissance; t = le temps; do = le diamètre à to et d = le diamètre au temps t (unité de temps = 1 = 24 h.)

D'autre part M. F. Kövessi (loi de l'accroissement en volume des arbres in *Erdeszeti Kiserletes* t. VIII, 1906, 1, 2,) a obtenu, en ce qui concerne les troncs : l'accroissement en volume du tronc ou même des arbres, dans des conditions biologiques constantes et proportionnelles au cube du temps.

Enfin dans les recherches faites par M^{lle} Stéfanowska et M. Monnier l'accélération de croissance est représentée par des hyperboles.

Substances fraîches.....	$1400x^2 + 110xy - y^2 - 7500y = 0$
» sèches.....	$14x^2 + 25xy - y^2 - 790y = 0$
Cendres.....	$25x^2 + 240xy - 100y^2 - 7300y = 0$
Azote.....	$6x^2 + 880xy - 2900y^2 - 18000y = 0$
Chaux.....	$4x^2 + 700xy - 10000y^2 - 26000y = 0$
Ac. phosphorique.....	$6x^2 + 1800xy - 18000y^2 - 55000y = 0$
Potasse.....	$5x^2 + 300xy - 10700y = 0$
Fer.....	$x^2 + 6300xy - 40000y^2 - 160000y = 0$

Il nous suffit de reconnaître que la courbe d'absorption de chaque substance a son hyperbole propre.

En ce moment il n'est pas possible de tirer de ces courbes une conclusion générale, c'est pourquoi nous n'y attacherons pas une importance extrême, et nous nous bornerons à reconnaître le moment de leur renversement et l'allure générale qu'elles présentent de ce moment-là. C'est en effet le point négligé jusqu'à présent.

Dans des travaux récents de M. André (G.) cet auteur trouve qu'au cours de la maturation des gousses et des graines de haricot, il y a diminution proportionnelle de certaines matières

salines, mais comme il ne tient pas compte de la variation de la masse des cendres en fonction du poids de la plante entière, il n'y a pas lieu de nous y arrêter¹. (André, G., Variation des matières minérales pendant la maturation des graines, etc.).

Enfin, M. Hansteen² a trouvé qu'entre les différents organes il existe une corrélation remarquable entre les quantités relatives de matières salines. Malheureusement il nous semble que les méthodes d'analyse sont bien rudimentaires pour aborder un problème si difficile.

Néanmoins il faut reconnaître que les chiffres donnés par ce savant parlent en faveur de la dépendance harmonique des organes en ce qui concerne leur teneur en matières minérales. Dans notre travail la plante est considérée comme un tout. Il faut en effet simplifier tout d'abord le problème, et voir comment l'individu se comporte. Il est clair que l'étude des courbes nous montre une remarquable continuité soit dans l'accroissement, soit dans la désassimilation.

Si l'on rapproche cette continuité par laquelle la plante se présente comme un tout harmonieusement agencé avec les résultats obtenus autre part sur la localisation corrélatrice des sels dans les différents organes, on ne pourra méconnaître que la migration des sels se présente comme un phénomène réglé en fonction de l'augmentation protoplasmique, jusqu'au moment où celle-ci cessant, il y a migration négative en vertu des lois de la diffusion.

Méthodes analytiques et résultats des analyses.

Les essais ont été effectués sur le terrain de l'École d'Horticulture (Châtelaine). Nous avons choisi une parcelle de 115 m²

¹ *C. R. Ac. Sc.* CXXXVIII, 639-642; *C. R. Ac. Sc.* CXXXVIII, 1712-1714, 1510-1512; *C. R. Ac. Sc.* CXXXIX, 805-807.

² Ein Beitrag zur Kenntniss der Korrelationen im Pflanzlichen Stoffwechsel, in Landwirtschaftliche Jahrbücher 1907.

qui avait été fumée l'année précédente par des boues de la ville. Nous avons prélevé un échantillon moyen de 5 kil. de cette terre que nous avons soumis à l'analyse. Le poids apparent du litre était 1022 gr.

L'analyse mécanique et l'analyse physico-chimique ont été faites d'après la méthode de M. Schlœsing. Pour l'analyse chimique, nous avons dosé les éléments minéraux attaqués par l'acide nitrique concentré (à chaud). Cette analyse nous a donné les résultats suivants :

Analyse mécanique :

Densité de la terre fine : 2,325.

Gros cailloux (calcaire)	0.0144 %
» » (siliceux)	3.7856
Petits cailloux (calcaire)	0.0133
» » (siliceux)	3.6867
Terre fine	92.5000
	<hr/> 100.0000

Analyse physico-chimique :

En % de terre fine.

Humidité	5.830 %
Calcaire	2.795
Sable fin	48.600
» gros	24.000
Argile	17.500
Humus	0.920
	<hr/> 99.6450

Analyse chimique :

En % de terre fine.

Acide phosphorique (P_2O_5)	0.2394 %
Potasse totale (K_2O)	1.0984
Potasse soluble dans les acides concentrés (à chaud)	0.4799
Potasse soluble dans les acides dilués (à froid)	0.1074
Chaux (CaO)	2.2900
Magnésie (MgO)	0.9453
Alumine et fer ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$)	8.875
Acide sulfurique (SO_3)	1.040
Azote total	0.098

De ces chiffres, nous tirons les conclusions suivantes : Nous sommes en présence d'une terre silico-argileuse, moyennement riche en acide phosphorique et potasse, assez pauvre en azote. Ce sol, d'une valeur agricole moyenne, présente par sa faible teneur en azote un avantage pour le but que nous voulons atteindre. Nous avons partagé notre parcelle en quatre carrés qui, après avoir été soigneusement labourés, hersés, ont été ensemencés le 12 avril 1906. Nous avons employé 4 kil. d'avoine sélectionnée (provenant de Bohême). Cette semence a été auparavant soigneusement examinée; nous avons pris le pouvoir germinatif et nous avons fait l'analyse complète des graines avec leur enveloppe. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Analyse de la semence :

(Grain jaunâtre.)

Longueur moyenne du grain..	11,28	mm.
Diamètre moyen » ..	2,9	mm.
Poids » ..	0,0277	gr.
Pureté	98,45	o/o
Coefficient de pureté	0,9845	o/o
Faculté germinative.....	96	o/o
Valeur culturale.....	94,512	o/o

Analyse chimique :

Pour o/o des semences fraîches.

Humidité	13,46	o/o
Matière organique totale.....	83,32	
» » azotée	12,9687	
» » non azotée ..	70,3513	
Azote total.....	2,075	
Graisses.....	4,620	
Cendres.....	3,220	

Analyse des cendres :

	Pour o/o des semences	Pour o/o des cendres.
Si O ₂	1,6100	50,00
Fe ₂ O ₃	0,011	0,34
Ca O.....	0,144	4,34
Mg O	0,2187	6,79
K ₂ O.....	0,3152	9,78
P ₂ O ₅	0,8213	25,49

D'après les analyses de M. Grandeau (120 échantillons) la composition de la graine d'avoine serait la suivante :

Eau.....	12,16
Matières azotées.....	9,80
Matières non azotées.....	59,09
Graisses.....	4,58
Cendres.....	3,32

Mais cette moyenne comporte des écarts considérables. D'après Julius Kühn le grain d'avoine pourrait renfermer de 6,3 à 21,4 de matières protéiques brutes; et 5,3 à 7,3 de graisse; de 4,1 à 16,1 de cellulose.

Ces écarts de composition sont dus à la nature des variétés cultivées, aux circonstances de la culture et du climat. Et nous voyons que nos chiffres sont bien compris dans la moyenne indiquée par ces deux auteurs.

La forte proportion de silice dans les cendres provient du fait que nous avons analysé les graines non débarrassées de leur enveloppe. La valeur culturale est représentée par la formule :

$$V = \frac{P \times F}{100}$$

dans laquelle V représente la valeur culturale; P représente la pureté de la graine ⁰/o et F la faculté germinative.

D'une part les semences étant très homogènes, et pesant toutes approximativement le même poids; d'autre part le pouvoir germinatif étant bon, nos semences sont donc de très bonne qualité, et nous fourniront des plantes qui sortiront toutes à la même époque.

Les engrais azotés ont été employés à la dose de 30 kil. d'azote à l'hectare, en deux applications après les semailles (le 27 avril avant la germination et le 9 mai, époque à laquelle les plantes avaient une hauteur d'environ 10 cm.).

Le tableau n° 1 indique la teneur en azote de chaque engrais, la surface de chaque carré et la quantité de chaque sel employé :

TABLEAU I.

ENGRAIS	Teneur en azote ‰	Surface du carré en m ²	Sel employé en grammes
Nitrate de soude.	46	25,52	477,2
Nitrite de soude.	20,3	25,52	362,3
Sulfate d'ammoniaque.	24,2	24,42	344,2
Cyanamide de Ca.	15,42	24,42	471,3

Entre le 1^{er} et le 5 mai, nous avons observé un commencement de germination (assez en retard à cause des conditions climatiques qui n'étaient pas favorables). Le 10 mai, la végétation était uniforme; et le 16 mai, nous avons fait quatre premières prises de 100 plantes, prélevées au hasard dans chaque carré.

Ces plantes ont été soigneusement lavées et pesées, puis coupées à l'aide d'une machine spéciale, séchées à l'air et ensuite à 110° et pesées de nouveau à poids constant; la différence de poids nous a donné l'eau (non combinée). A partir de cette époque des prises semblables ont été effectuées chaque semaine jusqu'à la fin de la végétation.

Les dernières prises ont été faites le 29 juillet, époque à laquelle les plantes étaient complètement desséchées. Il s'est écoulé 74 jours entre la première et la dernière prise. Chaque prise des plantes sèches pulvérisées au moyen d'un moulin et bien mélangées a été mise dans un bocal en verre, étiquetée et fermée hermétiquement.

Nous avons effectué sur chaque échantillon les dosages suivants :

Eau
 Matière sèche
 Azote total
 Mat. organique azotée
 Mat. » non azotée
 Mat. » totale
 Cendres

Les premières analyses ont été faites sur la poudre provenant de 100 plantes. Et, au fur et à mesure que les plantes ont augmenté de poids, nous n'avons pris qu'une partie de ces 100 exemplaires (50, 25, 10), ceux qui se rapprochaient le plus du poids moyen de 100 plantes, calculé par individu.

Sur une partie de 2, 3, 5 gr. de cette poudre, nous avons dosé l'azote total par la méthode de Kjeldahl. Sur une autre partie, nous avons dosé les cendres de la manière suivante :

5-10 gr. de poudre sont placés dans une capsule en platine et calcinés dans un four à moufle, en augmentant de plus en plus la température jusqu'au rouge sombre. La capsule est ensuite pesée à poids constant, la différence de poids nous a donné la matière organique totale.

Au moyen des chiffres obtenus, nous avons calculé pour 100 plantes le poids absolu de la plante fraîche, de la plante sèche, de l'eau, de l'azote, de la matière organique totale et des cendres.

Pour obtenir le poids de la matière organique azotée nous avons multiplié le poids de l'azote total par le facteur constant 6,25.

Et la matière organique azotée soustraite de la matière organique totale nous a donné la matière organique non azotée.

Ensuite, sur les cendres, nous avons effectué les dosages suivants :

La silice
La chaux
La magnésie
La potasse
Le fer
Le manganèse
L'acide phosphorique

Par les méthodes suivantes : les cendres sont traitées dans une capsule en platine par l'acide chlorhydrique dilué, et, ensuite, évaporé trois fois à sec avec de l'acide chlorhydrique concentré pour insolubiliser la silice, qui est filtrée, lavée et calcinée comme SiO_2 .

Le liquide filtré et les eaux de lavage sont ramenés à 250 c³ dans un ballon jaugé.

a) Sur 50 ou 100 c³ nous avons dosé la chaux après avoir éliminé l'acide phosphorique, avec une solution de nitrate ferrique; ensuite on filtre.

Pour précipiter l'acide phosphorique on ajoute 4 à 5 gouttes de la solution de nitrate ferrique, puis quelques gouttes d'acide acétique; puis on neutralise l'excès d'acide acétique par une solution de carbonate de soude, ajoutée goutte à goutte jusqu'à neutralisation (l'acide acétique en léger excès). On chauffe à l'ébullition, l'excès de fer précipite comme acétate basique, l'acide phosphorique précipite aussi comme phosphate de fer.

Dans le filtrat on dose la chaux en la précipitant par l'oxalate d'ammoniaque, filtre, lave et calcine comme CaO.

b) Dans la solution débarrassée de la chaux nous avons dosé la magnésie en la précipitant par une solution de phosphate de soude.

c) Sur une autre quantité du premier liquide, après élimination de la chaux, acide phosphorique, magnésie, acide sulfurique, etc., nous avons dosé la potasse en la précipitant par une solution de chlorure de platine à l'état de chloroplatinate de potasse et calciné comme platine réduit.

d) L'acide phosphorique a été dosé sur une nouvelle quantité de 5 gr. de poudre que l'on chauffe dans une capsule en platine et dans le four à moufle jusqu'à carbonisation complète (pour éviter les transformations des phosphates).

Le résidu de la combustion est repris par l'acide nitrique et évaporé deux fois à sec. On reprend ensuite le résidu par l'eau acidulée; on filtre et dans le filtrat l'acide phosphorique est précipité par une solution de molybdate d'ammonium. Le précipité est dissous dans l'ammoniaque, l'acide phosphorique est précipité par la liqueur magnésienne comme phosphate ammoniaco-magnésien, transformé en pyrophosphate de magnésie par calcination et pesé.

e) Le fer et le manganèse ont été dosés par colorimétrie d'après le procédé indiqué par M. A. Monnier.

Dosage colorimétrique du fer.

Nous avons dosé le fer colorimétriquement par le ferrocyanure de potassium. Pour cela, nous avons préparé une solution de chlorure ferrique, en prenant 1 gr. de fil de fer pur que nous avons dissous dans l'acide chlorhydrique, la solution étant effectuée, nous l'avons concentrée en présence de l'acide nitrique, de manière à transformer le sel ferreux en sel ferrique; la solution a été étendue d'eau jusqu'à 1000 c³.

Chaque c³ de cette solution contenait 0,001 de fer métallique ou 0,0014285 de Fe₂O₃.

Cette solution nous a servi de base dans tous nos dosages.

Ensuite nous avons préparé une échelle colorimétrique en prenant dix éprouvettes bouchées à l'émeri de même capacité et de même diamètre. Dans chaque éprouvette nous avons mis une quantité bien déterminée de notre solution de fer (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, etc. c³) plus 50 c³ de glycérine, plus 2 c³ d'une solution à 1 % de ferrocyanure de potassium et plus environ 0,5 c³ d'acide chlorhydrique concentré. Le volume a été ramené à 100 c³ pour chaque éprouvette. L'addition de glycérine a pour but de tenir en suspension et à l'état très divisé le précipité de bleu de Prusse qui se forme; et il est nécessaire de mettre quelques gouttes d'acide chlorhydrique qui rend la coloration beaucoup plus nette. Cette échelle une fois établie peut être gardée indéfiniment sans que la coloration disparaisse; et avant de s'en servir on n'a qu'à agiter un peu pour mettre en suspension les particules de ferrocyanure ferrique qui se sont déposées.

Nous avons dosé le fer dans la même solution où nous avons dosé la chaux, la magnésie et la potasse. Pour cela nous avons

Dosage colorimétrique du Fer et du Manganèse.

FIG. 1. — Echelle colorimétrique.

FIG. 2. — Dans cette figure chaque éprouvette renferme les cendres d'un même nombre de plantes prélevées aux différentes époques de leur développement; on remarque que la teinte augmente jusqu'à la 7^e prise, puis diminue d'intensité. (Voir diagr. 14).

pris 25 à 50 c³ de cette solution que nous avons mis dans une éprouvette de même capacité et dimension que celles qui servaient pour l'échelle, additionnée de 2 c³ de la solution à 1 % de ferrocyanure de potassium et d'environ 0,5 c³ d'acide chlorhydrique concentré. On ramène le volume à 100 c³ et après une heure, la coloration devenant absolument stable, on la porte à côté de la coloration correspondante dans l'échelle. Pour mieux comparer l'intensité de l'essai avec celle de différents témoins on met les éprouvettes sur un fond blanc.

L'addition de la glycérine dans le premier cas était nécessaire parce que les tubes étaient destinés à la conservation, et dans le second cas nous l'avons supprimée parce que les expériences faites avec ou sans glycérine, nous ont donné les mêmes résultats.

Pour chaque dosage nous avons préparé avec la solution titrée de fer un tube qui contenait la quantité de fer trouvée d'après notre échelle; et les trois colorations ont toujours été absolument identiques, ce qui prouve que nos dosages ne sont pas seulement comparables, mais aussi exacts que possible.

Il est arrivé quelquefois que la coloration de l'essai ne correspondait à aucun témoin; alors pour arriver à une coloration comparable, nous avons employé la méthode dite de dilution d'après laquelle on établit par des additions d'eau faites avec précaution l'égalité des teintes, entre le contenu du tube renfermant la solution à analyser et le témoin qui s'en rapproche le plus; une simple proportion donne ensuite la teneur cherchée.

Dosage colorimétrique du manganèse.

Pour ce dosage, nous nous sommes basé sur la propriété que présente le tétraoxyde de bismuth de transformer les sels saturés du manganèse en acide permanganique. On donne plusieurs méthodes pour la préparation du tétraoxyde de bismuth;

celle qui nous a donné les meilleurs résultats est la méthode proposée par Schneider.

On chauffe 20 parties de soude caustique dans un creuset de nickel ou de fer, et l'on y ajoute par petite quantité de temps en temps en remuant constamment 10 parties de sous-nitrate de bismuth préalablement séché au bain-marie. On ajoute ensuite 2 parties de peroxyde de sodium, et la masse fondue de couleur jaune brunâtre est coulée sur une plaque de fer; on la casse dans un mortier après refroidissement; on la traite par eau, on recueille la partie insoluble sur un filtre d'amiante, et on sèche sur l'acide sulfurique.

On obtient ainsi un produit parfaitement exempt de manganèse et de composés chlorés qui doit être conservé à l'abri de l'humidité.

Pour faire l'échelle colorimétrique nous avons pris une solution de sulfate de manganèse contenant 0,05 gr. par litre qui correspond à 0,01 de MnO .

Nous avons disposé une dizaine d'éprouvettes graduées comme pour le fer, et dans chaque éprouvette nous avons mis une quantité connue de la solution de sulfate de manganèse (10, 15, 20, 25 etc., c^3) plus 15 c^3 d'acide nitrique concentré. On ramène le volume à 100 avec de l'eau distillée et l'on y ajoute environ 0,5 gr. de tétraoxyde de bismuth. On les agite et on les abandonne au repos pendant 15 minutes.

La coloration obtenue devient de plus en plus forte pour chaque éprouvette contenant une quantité supérieure de la solution de sulfate de manganèse. Cette coloration disparaît au bout de quelque temps, mais réapparaît de nouveau et avec la même intensité si on ajoute encore du tétraoxyde de bismuth. L'échelle étant établie nous avons dosé le manganèse dans nos plantes sur une nouvelle quantité de 5 à 10 gr. de poudre qui ont été calcinés comme auparavant et ensuite traités par l'acide sulfurique concentré, et laissés digérer au bain-marie pendant quelques heures, pour transformer complètement les chlorures

en sulfates (le chlore empêchant la formation d'acide perman-
ganique).

Le produit ainsi obtenu a été repris par l'eau acidulée, par l'acide sulfurique et filtré dans un ballon de 50 c³ — 25 c³ de cette solution sont placés dans une éprouvette graduée avec 15 c³ d'acide nitrique concentré; on porte le volume à 100 c³; on ajoute ensuite environ 0,5 gr. de tétraoxyde de bismuth, et la coloration une fois obtenue, le tube est placé à côté de la coloration correspondante sur notre échelle.

Les dosages sont d'une sensibilité telle, qu'on peut parfaitement estimer 0,000001 gr. Nous avons répété la même expérience de contrôle que pour le fer et les colorations obtenues ont été absolument identiques.

Prises et rendement.

Les prises ont été effectuées les 16, 23, 30 mai, — les 6, 13, 21, 29 juin, — les 6, 14, 23, 29 juillet.

La récolte a été fauchée le 9 août et nous avons obtenu les rendements suivants : Pour le carré avec nitrate de soude :

Graine....	2007 kil. ou 28,6 hectol. à l'hectare.
Paille.....	<u>7083</u> kil. à l'hectare.
Total.....	9090 kil. à l'hectare.

Pour le carré avec nitrite de soude :

Graine....	1661 kil. ou 23,7 hectol. à l'hectare.
Paille.....	<u>6250</u> kil. à l'hectare.
Total.....	7911 kil. à l'hectare.

Pour le carré avec sulfate d'ammonium :

Graine....	1831 kil. ou 26,1 hectol. à l'hectare.
Paille.....	<u>6973</u> kil. à l'hectare.
Total.....	8804 kil. à l'hectare.

Pour le carré avec cyanamide de calcium :

Graine....	1795 kil. ou 25,5 hectol. à l'hectare.
Paille.....	<u>6471</u> kil. à l'hectare.
Total.....	8266 kil. à l'hectare.

Le rendement de l'avoine et le rapport entre le grain et la paille sont très variables. Ainsi, on donne comme produit moyen par hectare en France :

Graine....	23,33 hectol.
Paille.....	17,98 quintaux.

Le rendement varie aussi énormément suivant la fertilité du sol. Ainsi, d'après Henzé :

Pour le sol pauvre	9 à 10 hectol. à l'hectare.
Sol de moyenne fertilité ..	20 à 25 » »
Terre de bonne qualité ...	35 à 40 » »
Sol fertile	50 à 70 » »

A Grignon, de 1831 à 1852, on a obtenu les rendements moyens de 39 à 70 hectol. à l'hectare.

Les plus hauts rendements moyens ont été de 63 à 72 hectol. à l'hectare.

D'après Schwarz, en moyenne, l'avoine donne par hectare :

En Allemagne.....	34 hectol.
Dans les Pays-Bas.....	48 »
En Angleterre.....	31 »

A ces chiffres, on peut ajouter ceux de M. Henzé, Norton (en Angleterre) Boussingault sur la constitution et la composition de l'avoine, qui sont :

	Henzé	Norton	Boussingault
Grain	36 kil.	37 kil.	36,8 kil.
Paille	52 »	56 »	51,8 »
Balles et menue paille	12 »	6 »	11,4 »

Pour 100 kil. de gerbes, l'avoine produit donc 69 kil. de grain d'après Henzé, 66 kil. d'après Norton et 71 kil. d'après Boussingault.

Mais ces auteurs ont expérimenté dans différents pays en donnant toujours au sol un engrais complet. Néanmoins, leurs chiffres comparés aux nôtres nous paraissent bien supérieurs. Pour le rapport du grain à la paille, nous avons obtenu à la fin de notre récolte les résultats suivants :

TABLEAU II.

ENGRAIS	Rendement pour 100 kil. gerbes		Rendement pour 100 kilos paille
	Grain	Paille	
Nitrate de soude.....	22,2 kil.	77,8 kil.	28 kil.
Nitrite de soude.....	20,3 »	79,7 »	25,9 »
Sulfate d'ammonium...	20,5 »	79,5 »	26 »
Cyanamide de Ca	21,8 »	78,2 »	27 »

Ces chiffres montrent que nous sommes au-dessous du rendement moyen donné par les auteurs énoncés plus haut, seulement en ce qui concerne le rapport du grain à la paille, parce que pour le rendement à l'hectare nous sommes bien supérieurs en comparaison de la pauvreté de notre terre.

Les chiffres que nous avons donnés plus haut comme rendement (grain et paille) à l'hectare sont déduits d'après la récolte fauchée, mais en additionnant à ces chiffres le poids de 11 prises à 100 plantes que nous avons effectuées, et comme la dernière pesait 820 gr. les 11 prises pèsent environ 10 kil. qui, additionnés à nos récoltes obtenues pour chaque carré qui pesaient 20 à 21 kil. chacune.

Donc le rendement juste à l'hectare est :

3000 kil. de grain,
 10500 » de paille (pour nitrate);
 2400 » de grain,
 9350 » de paille (pour nitrite);
 2740 » de grain,
 10400 » de paille (pour sulf. d'amm.);
 2692 » de grain,
 9700 » de paille (pour cyanamide).

Donc, d'après ces chiffres, nous obtenons par hectare 43 hectol. pour le nitrate de soude, 36 hectol. pour le nitrite de soude, 39 hectol. pour le sulfate d'ammonium et 38 hectolitres pour la cyanamide.

Valeur agricole de chaque semence récoltée.

Nous avons cru nécessaire d'analyser chaque semence de nos récoltes au point de vue de la valeur culturale. Et nous avons trouvé qu'elle varie pour chaque engrais dans les limites de 91 à 96 %.

Les chiffres obtenus, qui sont la moyenne de 1000 individus pris au hasard, sont représentés dans le tableau suivant :

TABLEAU III.

	N O ₃ Na	N O ₂ Na	SO ₄ (NH ₄) ₂	Ca N — N C
Longueur du grain...	13,60 mm.	11,60 mm.	12,75 mm.	12,65 mm.
Diamètre.....	3,25 mm.	2,9 mm.	3,2 mm.	3,28 mm.
Poids du grain.....	38,3 mgr.	28,2 mgr.	31,2 mgr.	35,1 mgr.
Pureté.....	100 %	99,4 %	99 %	99,7 %
Coefficient de pureté.	1	0,994	0,99	0,997
Faculté germinative..	95 %	92 %	95 %	97 %
Valeur culturale.....	95 %	91,4 %	94 %	96,6 %

D'après ces chiffres, nous pouvons voir clairement l'influence toxique du nitrite, car il nous a donné le grain le plus petit et le moins lourd.

Le grain que nous avons semé avait une longueur de 11,28 mm. et il nous a donné un grain pour le nitrate de 13,26 et pour nitrite de 11,6 mm.

La quantité d'eau tombée à Châtelaine pendant toute la durée de la végétation a été de 175,6 mm. aux époques suivantes :

Avril	41,8 mm.
Mai.....	45,9
Juin	33,7
Juillet.....	54,2
Total	175,6 mm.

Nous avons donc en résumé :

Le nitrite de soude a donné la récolte la plus faible.

Le sulfate d'ammonium et la cyanamide ont donné sensiblement les mêmes résultats ; la récolte sur la cyanamide est cependant un peu plus faible, mais il convient de remarquer que cet engrais a été appliqué dans de mauvaises conditions, puisqu'il a été incorporé après les semailles : nous voulions nous rendre compte de son action toxique avant sa transformation dans le sol.

On conseille, en effet, de l'épandre quelque temps avant la plantation ou les semailles. Nous avons remarqué que les plantes ont un peu souffert au début ; mais la végétation normale a repris assez vite. Il faut remarquer aussi que la végétation qui a reçu la cyanamide comme engrais est arrivée à la maturité beaucoup plus lentement que les autres, chose que l'on peut bien voir sur la courbe des plantes sèches correspondant à la cyanamide.

Dans un travail encore non publié, fait par MM. Chodat et Friederiks, sur la valeur nutritive de la cyanamide calcique comme source d'azote pour les Mucédinées, ces auteurs ont remarqué que s'ils substituent à l'acide nitrique ou à l'asparagine dans le liquide de Raulin la cyanamide calcique il n'y a tout d'abord aucune végétation.

Ce retard peut atteindre un mois ; puis la végétation se fait rapidement et atteint la valeur donnée par les autres engrais.

Or, ces auteurs ont réussi à montrer que ce retard est déterminé par la présence de la cyanamide. Tant qu'il y a encore de ce corps la germination ne se fait pas. Pour suivre la disparition ou la diminution de la cyanamide, on peut se servir d'un réactif biologique découvert par M. Chodat et qui consiste dans la réaction que donne la cyanamide et le créosol, en présence du ferment oxydant la tyrosinase. Il y a, lorsque la cyanamide est présente, une réaction violette pourpre intense. Ainsi, la cyanamide calcique en solution alcaline ou acide s'est trouvée comme telle impropre à fournir directement l'azote aux

champignons de culture. La transformation de la cyanamide en corps utilisable se fait en milieu stérile et est donc un procédé strictement chimique.

On comprend donc qu'ici aussi il y avait retard dans le développement de nos avoines. La cyanamide devait être graduellement transformée avant d'être assimilable.

FIG. 3. — I, Nitrate de soude; II, Nitrite de soude;
III, Sulfate d'ammonium; IV, Cyanamide.

TABLEAU IV
 exprimant la teneur en sels minéraux et matières organiques,
 du carré de *Nitrate de soude*
 (pour 100 plantes).

Prises.	Matière fraîche en gr.	Matière sèche en gr.	Eau en gr.	Cendres en gr.	SiO ₂ en gr.	CaO en gr.	MgO en gr.	K ₂ O en gr.	P ₂ O ₅ en gr.	Fe ₂ O ₃ en gr.	Matière organique totale en gr.	Matière organique azotée en gr.	Matière organique non azotée en gr.	Azote en gr.
1	22,2	3,9	18,2	0,48	0,13	0,088	0,042	0,192	0,042	0,0085	3,42	0,889	2,53	0,1423
2	49,7	6,9	42,7	4,36	0,60	0,117	0,045	0,368	0,421	0,0208	5,6	4,776	3,85	0,2840
3	138,8	15,2	108,5	2,06	0,75	0,213	0,077	0,939	0,208	0,0328	43,4	4,088	9,0	0,6540
4	315,0	44,6	270,3	6,13	0,89	0,553	0,191	2,73	0,488	0,0478	38,5	8,631	29,80	1,3810
5	436,0	71,8	384,6	10,75	2,32	0,916	0,345	4,117	0,816	0,0640	61,0	13,931	47,4	2,2290
6	970	168,2	801,8	24,87	7,48	2,085	0,680	11,978	2,701	0,0934	143,30	23,50	119,8	3,76
7	1336	304,2	1234,8	39,93	12,40	3,040	1,253	17,20	3,852	0,1289	261,2	35,50	225,7	5,68
8	1640	363	1277	40,94	15,35	3,63	1,317	16,10	3,483	0,1555	322	43,51	278,5	6,96
9	1535	410	1124,9	39,44	12,22	3,77	1,277	9,39	—	0,1523	371,0	40,875	330	6,540
10	990	376	613,4	26,16	8,18	3,01	—	8,82	—	0,1070	350,0	34,50	315	5,320
11	990	376	613	25,56	8,63	—	—	—	—	—	350	30,187	320	4,8316

TABLEAU V
exprimant la teneur en sels minéraux et matières organiques.
du carré de *Nitrite de soude*
(pour 100 plantes).

Prises	Matière fraîche en gr.	Matière sèche en gr.	Eau en gr.	Cendres en gr.	SiO ₂ en gr.	CaO en gr.	MgO en gr.	K ₂ O en gr.	P ₂ O ₅ en gr.	Fe ₂ O ₃ en gr.	Matière organique totale en gr.	Matière organique azotée en gr.	Matière organique non azotée en gr.	Azote en gr.
1	18,9	3,6	15,2	0,42	0,13	0,082	0,032	0,162	0,035	0,0068	3,20	0,651	2,55	0,1042
2	42,6	6,4	34,48	0,96	0,42	0,089	0,034	0,253	0,072	0,0192	5,40	1,284	3,80	0,2055
3	106,9	14,3	92,38	2,07	0,65	0,217	0,068	0,845	0,212	0,0314	12,40	3,682	9,00	0,5892
4	240,4	35,5	204,8	4,81	0,99	0,412	0,416	2,095	0,353	0,0381	30,70	7,315	23,40	1,1705
5	429,3	71,8	357,3	8,59	1,54	0,671	0,225	4,040	1,049	0,0640	63,20	12,875	50,00	2,060
6	804	170	675,3	22,75	7,54	1,683	0,507	6,632	2,034	0,0912	147,60	19,531	128,00	3,125
7	1240	273,5	966,5	36,22	12,29	2,784	0,889	9,380	2,990	0,1329	237,—	25,067	212,—	4,010
8	1200	300	900	37,20	15,23	3,00	0,923	13,30	2,304	0,1714	262,8	22,937	239,—	3,670
9	1110	245	764,2	24,43	8,45	2,595	0,784	8,67	—	0,1583	321,—	22,312	299,—	3,570
10	725	328	396,7	20,86	8,79	2,492	—	7,820	—	0,0937	307,—	21,500	285,—	3,440
11	690	322,7	367,3	20,57	8,01	—	—	—	—	—	302,—	21,500	280,—	3,440

TABLEAU VI

exprimant la teneur en matières salines et organiques des plantes arrosées
avec la solution de *sulfate d'ammoniaque*

(pour 100 plantes).

Prises.	Matière fraîche en gr.	Matière sèche en gr.	Eau en gr.	Cendres en gr.	SiO ₂ en gr.	CaO en gr.	MgO en gr.	FeO ₃ en gr.	K ₂ O en gr.	P ₂ O ₅ en gr.	Matière organique totale en gr.	Matière organique azotée en gr.	Matière organique non azotée en gr.	Azote en gr.
1	21,7	3,9	17,2	0,49	0,127	0,0538	0,0320	0,0085	0,489	0,0538	3,40	0,787	2,67	0,126
2	42,2	6,1	36,1	1,25	0,659	0,1012	0,0344	0,0192	0,253	0,0800	4,80	1,248	3,50	0,1997
3	114,5	15,5	99,0	2,13	0,714	0,2010	0,0784	0,0328	0,881	0,4939	43,40	3,382	40,02	0,5412
4	284,4	39,2	245,2	5,44	0,846	0,4704	0,4622	0,0449	2,546	0,4867	33,70	7,315	26,40	1,3720
5	472	76,6	395,3	11,60	2,973	0,7662	0,2194	0,0647	4,039	0,9807	65	43,717	51,00	2,1980
6	976	469,9	806,1	25,03	7,210	4,9879	0,5121	0,0830	8,432	1,8521	144,8	22,20	422,00	3,3921
7	1270	265	1204	39,61	46,377	2,9150	1,0538	0,1514	42,300	2,3746	226,4	32,470	193, —	5,1950
8	1290	320	970	40,06	44,112	3,220	4,3908	0,4371	44,190	2,6290	279,9	31,312	248, —	5,012
9	1200	382	982,1	37,43	41,483	3,012	0,7629	0,4117	8,780	—	345,7	30,812	314,9	4,930
10	930	365	564,8	26,06	8,760	2,6460	—	0,4040	7,580	—	339	28,937	310, —	4,630
11	670	312	357,5	19,40	7,488	—	—	—	—	—	293	27,750	265, —	4,440

TABLEAU VII
exprimant la teneur en matières salines et organiques des plantes arrosées
avec une émulsion de *cyanamide de calcium*
(pour 100 plantes).

Prises	Matière fraîche en gr.	Matière sèche en gr.	Eau en gr.	Cendres en gr.	Si O ₂ en gr.	Ca O en gr.	Mg O en gr.	Fe ₂ O ₃ en gr.	K ₂ O en gr.	P ₂ O ₅ en gr.	Mn O en gr.	Matière organique totale en gr.	Matière organique azotée en gr.	Matière organique non azotée en gr.	Azote en gr.
1	21,8	3,89	17,90	0,41	0,1080	0,0583	0,0450	0,0075	0,156	0,0538	—	3,40	0,88	2,6	0,1410
2	45,2	6,02	39,18	1,039	0,4110	0,0959	0,0457	0,0192	0,282	0,0672	—	4,90	1,263	3,7	0,2022
3	404,6	14,51	90,47	2,021	0,6950	0,2119	0,0739	0,0352	0,688	0,4809	0,0015	42,10	3,091	9,0	0,4945
4	232	32,12	200,28	4,400	0,6937	0,3854	0,4570	0,0444	1,996	0,3584	0,0025	27	8,614	19,1	1,3790
5	448	72,32	375,68	10,329	2,5166	0,6832	0,3014	0,0610	4,697	1,1108	—	61,7	16,443	45,0	2,630
6	884	141,6	682	24,725	5,420	2,0091	0,5210	0,0832	9,610	2,2410	0,0085	416,2	27,875	88,4	4,460
7	1258	256,7	1004	30,309	7,6153	1,9760	1,0538	0,1085	13,440	2,7096	0,0122	223	33,325	190,0	5,3320
8	1185	288	897	28,80	9,110	2,880	1,3479	0,1234	12,370	2,5804	0,0106	259,2	31,312	227,8	5,013
9	1145	322	822,4	24,120	8,4626	2,7765	0,6434	0,1185	10,020	—	0,0087	298,6	31,687	266,9	5,07
10	934	366	570,4	26,499	8,400	2,7220	—	0,1137	8,320	—	0,0073	337	33,500	303,0	5,36
11	930	407	522,8	26,53	8,5238	—	—	—	—	—	0,0047	380	33,368	345,0	5,55

TABLEAU VIII
exprimant la teneur moyenne des plantes de quatre carrés, en sels minéraux
et matières organiques
(pour 100 plantes).

Prises.	Matière franche en gr.	Eau en gr.	Cendres en gr.	SiO ₂ en gr.	CaO en gr.	MgO en gr.	K ₂ O en gr.	P ₂ O ₅ en gr.	MnO en gr.	Matière organique totale en gr.	Matière organique azotée en gr.	Matière organique non azotée en gr.
1	21	17	0,45	0,12	0,070	0,035	0,17	0,046	—	3,35	0,803	2,58
2	45	38	1,15	0,52	0,100	0,040	0,29	0,085	—	5,10	1,393	3,71
3	112	97	2,07	0,70	0,211	0,074	0,84	0,498	0,00153	12,75	3,561	9,25
4	268	230	5,20	0,85	0,455	0,156	2,34	0,421	0,00257	32,47	7,969	24,67
5	451	377	10,37	2,34	0,759	0,272	4,22	0,986	—	62,70	13,992	48,27
6	908	741	24,34	6,91	1,945	0,555	9,08	2,207	0,00849	137,97	23,325	114,55
7	1326	1102	36,52	12,17	2,678	1,062	13,08	2,981	0,0122	236,82	31,590	205,17
8	1328	1011	36,25	13,45	3,182	1,244	13,99	2,749	0,0106	280,97	32,268	248,25
9	1247	923	31,20	10,07	3,037	0,867	9,21	—	0,00868	334,07	31,422	302,70
10	894	536	24,89	8,54	2,717	—	8,13	—	0,00727	333,25	29,609	303,25
11	820	465	23,01	8,16	—	—	—	—	0,00472	331,25	28,531	302,80

Résultats en % des différentes substances contenues dans la plante

(Moyenne des quatre carrés)

L'eau calculée en % de plantes fraîches :

1 ^{re} prise	81,62	7 ^{me} prise	81,13
2 ^{me} »	85,91	8 ^{me} »	76,13
3 ^{me} »	86,98	9 ^{me} »	74,03
4 ^{me} »	85,87	10 ^{me} »	61,22
5 ^{me} »	82,14	11 ^{me} »	56,72
6 ^{me} »	81,74		

CENDRES

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise	2,98	11,73
2 ^{me} »	2,56	18,38
3 ^{me} »	1,84	14,70
4 ^{me} »	1,96	13,75
5 ^{me} »	2,29	14,17
6 ^{me} »	2,68	14,9
7 ^{me} »	2,00	13,30
8 ^{me} »	2,73	11,40
9 ^{me} »	2,56	8,54
10 ^{me} »	2,71	7,02
11 ^{me} »	2,91	6,93

En interpolant les valeurs pour les cendres contenues dans la plante fraîche on constate que la ligne obtenue est sensiblement une droite et horizontale. Ceci indique une constance dans la concentration par rapport au poids frais.

Les valeurs exprimant la teneur en cendres pour les plantes sèches sont aussi intéressantes car elles nous montrent clairement l'indépendance de l'accumulation du carbone et l'augmentation des cendres. Les dernières après s'être maintenues assez constantes (de la 3^{me} à la 7^{me} prise) vont diminuant jusqu'à la fin.

POTASSE (K_2O)

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	0,826	4,52
2 ^{me} »	0,642	4,60
3 ^{me} »	0,756	5,67
4 ^{me} »	0,873	6,17
5 ^{me} »	0,936	5,78
6 ^{me} »	1,001	5,60
7 ^{me} »	0,985	4,77
8 ^{me} »	1,053	4,41
9 ^{me} »	0,737	2,55
10 ^{me} »	0,909	2,27

LA CHAUX (CaO)

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	0,33	1,83
2 ^{me} »	0,22	1,60
3 ^{me} »	0,19	1,41
4 ^{me} »	0,17	1,20
5 ^{me} »	0,16	1,04
6 ^{me} »	0,21	1,19
7 ^{me} »	0,20	0,97
8 ^{me} »	0,23	1,00
9 ^{me} »	0,34	0,83
10 ^{me} »	0,33	0,76

LA MAGNÉSIE (MgO)

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	0,17	0,93
2 ^{me} »	0,09	0,64
3 ^{me} »	0,06	0,50
4 ^{me} »	0,06	0,41
5 ^{me} »	0,06	0,37
6 ^{me} »	0,06	0,34
7 ^{me} »	0,07	0,389
8 ^{me} »	0,09	0,39
9 ^{me} »	0,07	0,23

On voit qu'à part le début, la proportion de magnésie en fonction de la matière fraîche se maintient sensiblement constante, tandis qu'elle diminue jusqu'à plus de la moitié en fonction de la matière sèche.

LA SILICE (Si O_2)

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	0,58	3,23
2 ^{me} »	1,16	8,36
3 ^{me} »	0,62	4,81
4 ^{me} »	0,33	2,31
5 ^{me} »	0,53	3,20
6 ^{me} »	0,76	4,27
7 ^{me} »	0,92	4,44
8 ^{me} »	1,01	4,24
9 ^{me} »	0,80	2,76
10 ^{me} »	0,95	2,38
11 ^{me} »	0,99	2,30

L'ACIDE PHOSPHORIQUE ($\text{P}_2 \text{O}_5$)

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	0,22	1,20
2 ^{me} »	0,19	1,35
3 ^{me} »	0,17	1,33
4 ^{me} »	0,15	1,11
5 ^{me} »	0,21	1,34
6 ^{me} »	0,24	1,36
7 ^{me} »	0,22	1,09
8 ^{me} »	0,21	0,87

Ce tableau montre que l'assimilation du carbone est un phénomène indépendant de l'assimilation de l'acide phosphorique.

MATIÈRE ORGANIQUE TOTALE

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches.
1 ^{re} prise.....	15,90	87,37
2 ^{me} »	11,59	82,25
3 ^{me} »	11,34	86,18
4 ^{me} »	12,14	86,42
5 ^{me} »	15,58	85,88
6 ^{me} »	15,28	85,10
7 ^{me} »	17,18	86,43
8 ^{me} »	21,14	88,62
9 ^{me} »	22,78	91,52
10 ^{me} »	36,38	93,07
11 ^{me} »	40,30	93,52

Au cours du développement la matière organique totale a presque triplé en fonction du poids frais et n'a presque pas varié (5-8 %) en fonction du poids sec.

LA MATIÈRE ORGANIQUE AZOTÉE

	Pour % des plantes fraîches.	Pour % des plantes sèches
1 ^{re} prise.....	3,82	20,89
2 ^{me} »	3,15	22,19
3 ^{me} »	3,18	24,18
4 ^{me} »	3,01	21,31
5 ^{me} »	3,10	19,16
6 ^{me} »	2,56	20,57
7 ^{me} »	2,37	11,52
8 ^{me} »	2,44	10,18
9 ^{me} »	2,51	8,61
10 ^{me} »	3,31	8,27
11 ^{me} »	3,47	8,05

Ces chiffres montrent aussi l'indépendance du phénomène de l'assimilation protoplasmique de celui de la différenciation en tissus et en membranes solides comme en matériaux de réserve hydro-carbonés. Comparez avec les chiffres du tableau précédent.

MATIÈRES FRAICHES

Il est intéressant de constater que le poids frais va diminuant à partir du quarante-huitième jour; mais cette diminution est moins forte proportionnellement en ce qui concerne les plantes à cyanamide. La végétation de ces plantes se prolongeant au delà de celle des autres, on conçoit que la matière fraîche diminue proportionnellement moins. D'autre part, comme par l'insolubilisation des produits hydrocarbonés en cellulose, pectose, amidon, la matière organique insolubilisée ne joue plus de rôle osmotique, on conçoit que le poids frais puisse diminuer alors que le poids sec augmente jusqu'au 58^{me} jour. On voit clairement par cet exemple que l'assimilation du carbone et l'absorption des matières minérales sont des phénomènes plus indépendants qu'on aurait pu le supposer dès l'abord. Il n'y a guère concordance qu'entre le phénomène de croissance protoplasmique et l'absorption des sels et par conséquent de l'eau qui les amène à la concentration voulue.

En effet, c'est vers le 40-50^{me} jour que la matière organique azotée atteint son maximum; puis elle diminue peu (voir diagramme VII, 2, 3, 4), sauf en ce qui concerne les plantes à nitrate. Dès qu'est atteinte cette croissance protoplasmique maximum, la désassimilation saline commence et va s'accroissant, tandis que l'assimilation hydrocarbonée continue jusqu'au 58^{me} jour. La production de réserve de carbone ou la lignification sont donc phénomènes à part et à distinguer de celui de l'assimilation proprement dite (voir diagramme matière organique non azotée, voir. diagr. matière sèche, voir diagr. matière organique totale). Ce n'est guère qu'en ce qui concerne le calcium que l'augmentation en poids de cet élément coïncide avec la prolongation d'assimilation du carbone et de l'eau au delà du maximum protoplasmique (voir diagr. calcium).

EAU

DIAGRAMME 2. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Il faudrait pour avoir la courbe exacte de l'eau ajouter aux chiffres qui ont permis d'établir ces courbes la quantité d'eau qui s'unissant au carbone et à l'azote forme la matière organique. Ces courbes-ci ne représentent que l'eau qui n'entre pas en combinaison. On pourrait dire que c'est le milieu aquatique dans lequel l'organisme baigne. Or, nous voyons ceci que l'eau diminuant vers le 43^{me} jour, il n'y a pas accumulation des matières salines, mais que celles-ci émigrent au fur et à mesure que l'eau non combinée diminue. De cette manière la composition du suc reste sensiblement constante.

Ce n'est pas un des points le moins intéressant de cette étude.

MATIÈRE SÈCHE

DIAGRAMME 3. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude; 3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

CENDRES ET MATIÈRE SÈCHE

DIAGRAMME 3b.

Ces diagrammes montrent clairement que l'arrêt d'absorption
• des cendres et même la migration inverse (désassimilation miné-

rale) commencent bien avant que l'augmentation de la matière sèche n'ait atteint son maximum. A partir de ce maximum la matière sèche n'augmente plus mais se maintient à peu près constante. Il n'y a donc pas déperdition due à une combustion respiratoire exagérée; l'assimilation du carbone et de l'eau dépasse donc la désassimilation due à la respiration. A partir du 55^{me} jour le poids se maintient tandis que les cendres diminuent.

Cette diminution ne peut dépendre que de la nécrose de beaucoup de tissus; la turgescence et par conséquent la vitalité des cellules disparaissant à mesure de la dessiccation des tissus, il s'établit une migration inverse en vertu de la diffusion lente vers le sol.

Cette courbe est une résultante des trois autres; on voit chez ces dernières une augmentation jusque vers le 58^{me} jour, puis une faible diminution; quant à la courbe 4 relative à la cyanamide de calcium, on voit que la vitalité se maintient jusqu'à la fin. La source azotée (cyanamide de calcium) a maintenu la végétation plus longue; la maturation est retardée au profit de la croissance proprement dite.

CENDRES

DIAGRAMME 4. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

La migration des cendres suit une loi semblable pour les plantes qui reçoivent l'azote sous la forme nitrate, nitrite de soude, sulfate d'ammonium; le nitrite de soude provoquant une assimilation organique moindre, les cendres y sont moindres aussi; et la migration inverse suit la même règle que pour le nitrate de soude et le sulfate d'ammonium.

Au contraire, les plantes qui ont eu comme source azotée la cyanamide, ayant prolongé leur végétation, l'assimilation des matières minérales comprenant celle de la migration inverse, il y a formation d'un équilibre indiqué par le plateau 4 (comparez avec le diagramme 6 où l'on voit l'augmentation en matière organique continuée au delà de la période de désassimilation pour les autres engrais).

MOYENNE DES CENDRES, EAU ET MATIÈRE FRAÎCHE

DIAGRAMME 5.

Dans ce diagramme nous avons réuni les courbes observées d'accroissement de la matière fraîche (poids total) sans dessiccation, de l'eau (différence du poids frais et du poids sec) et celle des cendres. On saisit immédiatement que l'accélération

des trois est sensiblement analogue; à l'arrêt d'accroissement de l'eau correspond l'arrêt d'accroissement total et la diminution de la quantité des cendres.

AZOTE ET MATIÈRE ORGANIQUE AZOTÉE

DIAGRAMMES 6a et 6b. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

On remarquera qu'à partir du maximum situé entre le 40 et 50^{me} jour la diminution en azote est insignifiante. Ce n'est que lorsque on offre à la plante une source d'azote facilement diffusible et absorbable, ainsi comme le nitrate de sodium ou potassium qu'il y a excès d'azote et migration négative jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

On voit combien la plante est avare de son azote; elle le garde à partir du moment où elle cesse de produire de nouveaux plasmas.

Presque tout l'azote est entré en combinaison; les sucs n'en sont plus chargés; il n'y a donc pas de migration de retour possible.

MATIÈRE ORGANIQUE TOTALE

DIAGRAMME 7. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Même observation que pour les courbes relatives à la matière sèche et à l'azote. Ici on voit clairement que la cyanamide de calcium a maintenu une végétation prolongée.

MATIÈRE ORGANIQUE NON AZOTÉE

DIAGRAMME 8. — 1. Nitrate de soude; 2. Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

On voit dans cette courbe également la prolongation de la vitalité des plantes à cyanamide de calcium. On constate aussi le fait déjà expliqué plus haut que l'augmentation en carbone continue au delà de l'augmentation protoplasmique dont le maximum coïncide avec le maximum d'accumulation des sels.

ACIDE PHOSPHORIQUE

DIAGRAMME 9. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Comme on devait s'y attendre, le maximum d'absorption de l'acide phosphorique coïncide avec le maximum d'assimilation protoplasmique.

LA CHAUX

DIAGRAMME 10. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Ce diagramme montre que le calcium continue plus longtemps à être fortement absorbé que les autres substances minérales. Le maximum concorde avec le maximum d'assimilation des substances organiques non azotées. Le rôle du calcium est donc sur ce point différent. On sait depuis longtemps le rôle favorable du calcium dans la production des matières organiques non azotées. (Comparer avec diagr. 8.)

LA MAGNÉSIE

DIAGRAMME 11. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Ces courbes, comparées aux courbes calciques, nous enseignent que la désassimilation en ce qui concerne la magnésie se manifestent plus fortement. On voit le calcium progresser parfois jusqu'au 58^{me} jour, tandis que la magnésie avec les autres sels tend à diminuer plus tôt et plus fortement.

LA SILICE

DIAGRAMME 12. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

La silice augmente de la même manière que les autres matières minérales, mais il est encore plus évident ici que la maturation des plantes traitées à la cyanamide est ralentie. On sait que la silice s'accumule en raison de la maturation dans les graminées. Cette dernière étant retardée, la silice n'est absorbée qu'avec moins d'intensité.

LA POTASSE

DIAGRAMME 13. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude;
3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

Ces courbes nous montrent l'énorme désassimilation en potassium qui, à la fin de la récolte, atteint environ 50 o/o.

On sait déjà le rôle que jouent les alcalis et, en particulier, le potassium dans la synthèse des albuminoïdes.

En comparant ces courbes à celles relatives à la matière organique azotée (voir diagr. 6) on peut clairement voir que l'augmentation de la potasse correspond à l'augmentation de la matière azotée; et dès que la matière azotée diminue ou cesse de se former le potassium diminue lui aussi, son rôle étant accompli.

LE MANGANESE

DIAGRAMME 14.

La migration positive du manganèse cesse de se faire vers le moment où l'assimilation azotée a atteint son maximum, tandis que celle du fer continue plus longtemps.

Il y a là un point intéressant qui nécessiterait de nouvelles recherches.

LE FER

DIAGRAMME 15. — 1, Nitrate de soude; 2, Nitrite de soude; 3, Sulfate d'ammonium; 4, Cyanamide calcique.

L'ACIDE CARBONIQUE

DIAGRAMME 16.

Nous avons dosé par déplacement l'acide carbonique existant dans les cendres après calcination, en traitant les cendres, placées dans un calcimètre (Dietrich-Frühling), par l'acide chlorhydrique. Le volume observé est réduit à 0° d'après la formule :

$$V_0 = V \frac{H - h}{(1 + at) 760}$$

Et nous avons obtenu les résultats suivants :

Prise 3.....	0,3619
» 4.....	1,1869
» 7.....	1,2463
» 8.....	0,4777
» 10.....	0,1790
» 11.....	0, —

Cette courbe de variation de la quantité des acides organiques (les acides organiques pouvant donner par calcination des carbonates) nous indique que les acides organiques se maintiennent, augmentent aussi longtemps que se fait encore l'accumulation des matières salines.

Dès que les cendres commencent à diminuer, diminuent aussi les acides organiques.

Il est évident qu'une partie des bases qui avaient servi de véhicules aux acides minéraux, désormais incorporés au plasma des cellules, doit s'unir au fur et à mesure aux acides végétaux. On peut même dire que leur production est une nécessité à laquelle le plasma ne saurait se soustraire puisque sans leur formation les bases resteraient isolées et que les sucs deviendraient fortement alcalins. Sans doute, une partie de ces acides ne sont nullement représentés que par de l'acide carbonique, une autre partie par l'acide oxalique et par d'autres acides mono ou bibasiques. On sait déjà que les oxalates sont susceptibles de disparaître au cours de développement. (*Hippophæ rhamnoides*, p. ex., où M. Servettaz a constaté sa disparition progressive).

Mais il est intéressant de voir que, même comme acide carbonique, il y a finalement régression complète. C'est un point intéressant et qui mérite une étude ultérieure plus détaillée.

Nous nous sommes proposé d'étudier cette année la loi d'assimilation des substances minérales dans des plantes bisannuelles.

Dans ce but, nous avons choisi deux plantes, des carottes et des radis.

Nous avons opéré de la manière suivante :

Dans un carré nous avons semé des graines de carottes bien sélectionnées.

Dans un second carré, nous avons planté des porte-graines, c'est-à-dire des carottes de la même espèce obtenues l'année précédente.

Nous aurons ainsi la courbe totale du développement de la carotte pendant les deux années de végétation. Sur une autre parcelle, nous avons semé des radis blancs allemands, qui évo-

lueront en une année. Nous prélèverons des échantillons depuis le moment où les plantes sortent de terre, jusqu'à maturité complète des graines.

Pour ces plantes, nous examinerons :

1° l'accroissement et l'assimilation des sels minéraux et de l'azote en fonction du temps.

2° la répartition des sels minéraux et de l'azote séparément, dans les racines et dans la partie aérienne aux différentes époques de développement.

Dans une seconde étude, nous nous sommes proposé d'étudier la courbe d'accroissement des fruits en fonction de temps; la proportion d'acides, de sucres, des sels minéraux et de l'azote aux différentes époques de développement.

Pour cela, M. Platel, directeur de l'école d'Horticulture, a mis à notre disposition un prunier chargé de fruits, qui nous permet de prélever chaque semaine 200 fruits et 200 feuilles, qui seront analysés complètement.

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES

3 9088 00610 4814