

CONTRIBUTION

A LA CHIMIE ET A LA PHYSIOLOGIE

DE LA BETTERAVE A SUCRE.

(Extrait du tome XLIII des *Mémoires couronnés et autres Mémoires*
publiés par l'Académie royale de Belgique. — 1889.)

RECHERCHES
DE
CHIMIE ET DE PHYSIOLOGIE APPLIQUÉES A L'AGRICULTURE.

II

CONTRIBUTION

A LA

CHIMIE ET A LA PHYSIOLOGIE

DE LA

BETTERAVE A SUCRE

PAR

A PETERMANN

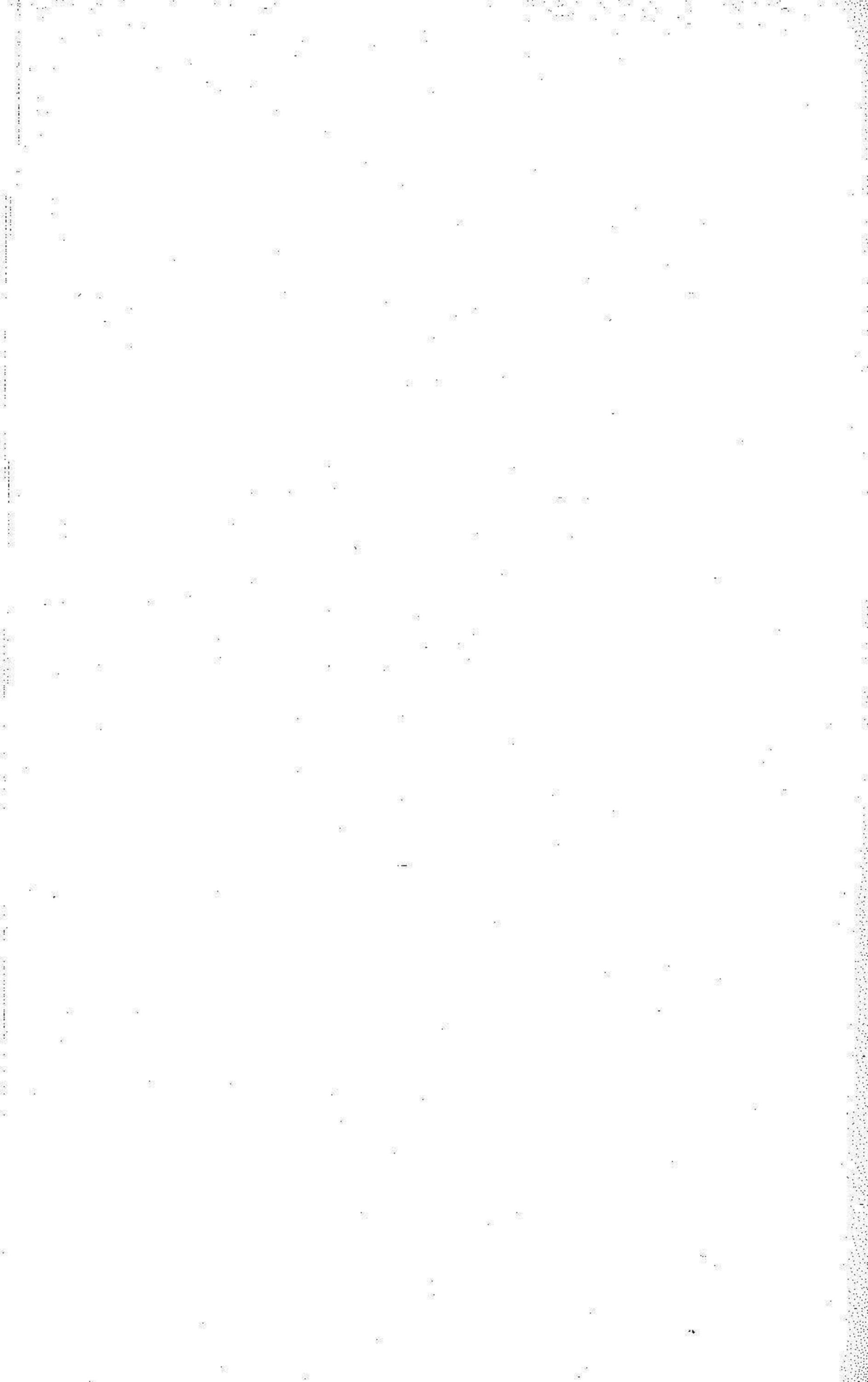
Directeur de la Station agronomique de l'État
à Gembloux

BRUXELLES

F. HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, DES LETTRES
ET DES BEAUX-ARTS DE BELGIQUE

rue de Louvain, 108

—
1889



RECHERCHES

DE CHIMIE ET DE PHYSIOLOGIE APPLIQUÉES A L'AGRICULTURE.

II

CONTRIBUTION

A LA CHIMIE ET A LA PHYSIOLOGIE

de la betterave à sucre.

Dès sa création, la station agronomique de Gembloux s'est occupée d'une manière toute spéciale de la betterave à sucre.

Différents mémoires ¹ ont résumé les essais faits à cet égard.

Mais à côté de ces expériences d'un ordre plutôt agronomique, nous avons, depuis 1876, entrepris sur ce végétal, si intéressant sous plusieurs rapports, une étude à laquelle nous avons tâché de donner un caractère essentiellement scientifique.

Cette série d'expériences, exécutées en petit, seule méthode permettant de dominer toutes les conditions de l'expérimentation, devait approfondir et étendre les résultats acquis aux champs d'expériences et traiter des questions qui ne peuvent être résolues par des essais en grand avec toute la précision désirable.

Le développement qu'atteint la souche de la plante qui nous a occupé, rend impossible l'emploi de la méthode de culture en pots placés dans une serre, que nous suivons depuis seize ans pour nos études sur l'assimilabilité et la valeur relative des divers phosphates, recherches que l'Académie a toujours accueillies avec bienveillance.

Nous avons donc dû modifier le milieu et le mode de culture

¹ *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture*, 2^e édit., pp. 251 à 337 — *Bulletin de la station agronomique*, nos 40 et 41.

et nous avons eu recours à des cases de végétation d'une construction spéciale.

Les recherches que nous avons l'honneur de présenter à l'Académie rapportent les faits observés du 3 mai 1876 au 25 octobre 1886 : les phénomènes qui interviennent dans toutes les questions se rattachant à la nutrition des plantes sont si complexes, quelques-uns si délicats, que l'expérimentateur reconnaît le besoin de prolonger les essais pendant une longue période ; ce n'est qu'ainsi qu'il se soustrait au danger de conclusions erronées. Dès le commencement de cette étude, nous avons arrêté le plan pour onze années d'essais. Tous les assistants attachés pendant cette période à la station agronomique ont coopéré à ce travail. Ils ont tous droit à nos remerciements. Au nombre de ceux qui nous ont particulièrement secondé, nous citerons MM. Mercier, de Molinari et Warsage, et, pendant les dernières années, MM. Graftiau et de Maineffe.

Les points que nous avons voulu élucider par les recherches dont nous allons rendre compte sont les suivants :

1° La betterave dans ses relations avec les phénomènes météorologiques ;

2° La betterave dans ses relations avec la restitution des éléments fertilisants qu'elle soustrait au sol nourricier ;

3° L'influence d'un régime différent d'alimentation sur la composition immédiate et sur celle de la cendre de la betterave.

Afin d'assurer à notre travail la clarté désirable et d'éviter autant que possible des redites dont il est parfois difficile de se garder dans une recherche de longue haleine, nous le partagerons en cinq chapitres. Nous traiterons successivement :

Chapitre I : *Cases de végétation — Méthodes d'expérimentation. — Plan de l'étude.*

Chapitre II : *Observations météorologiques. — Méthodes analytiques.*

Chapitre III : *Procès-verbal des onze années d'expérimentation.*

Chapitre IV : *Discussion des résultats obtenus.*

Chapitre V : *Conclusions.*

CHAPITRE I.

Cases de végétation. — Méthodes d'expérimentation. — Plan de l'étude.

Les cases de végétation que nous avons établies au nombre de six sont figurées ci-contre.

Reposant sur une solide fondation (*a, a*), elles s'élèvent jusqu'au niveau (*b*) du sol du jardin. La maçonnerie se termine par une bordure en pierre de taille (*c, c, c*) bien ajustée, la dépassant de 0^m,16. Chaque case a une surface de 1 mètre carré. Les bordures ont une légère pente vers l'extérieur afin que l'eau de pluie qu'elles reçoivent ne s'écoule pas dans les cases. Les pierres (*d, d, d*) couvrant les murs de séparation, sont taillées en rigoles avec une légère pente vers le couloir (*e, e*). La pluie tombant sur les murs de séparation est ainsi conduite sur la bordure du côté du couloir. Les cases sont remplies jusqu'au niveau inférieur de la bordure en pierre de taille. Leur profondeur totale est de 1^m,20; déduction faite de la couche de fond, ayant 0^m,20 d'épaisseur, formée de gros cailloux siliceux, lavés à l'acide chlorhydrique d'abord, à l'eau de pluie et à l'eau distillée ensuite, il reste exactement un volume de 1 mètre cube de terre. Le fond des cases, légèrement incliné vers le centre, présente une ouverture (*f*) dans laquelle est ajusté un tuyau de plomb recouvert d'un gros éclat de verre. Le tuyau draineur conduit les eaux dans un vase placé à l'extérieur de chaque case et abrité par une toiture en zinc (*h*), afin d'éviter que l'eau de pluie n'y pénètre. Toute la maçonnerie est revêtue d'une couche de ciment Portland de 0^m,01 d'épaisseur. L'escalier (*i*) conduit vers le couloir (*e*) pratiqué pour assurer la circulation facile de la personne chargée de la surveillance des expériences. La bordure (*c*) est garnie d'un treillage (*k*) en fil de fer galvanisé de 0^m,50 de hauteur.

défendant les cases contre les attaques des animaux. Toute la batterie se trouve du reste au milieu du jardin d'expérimentation qui, de son côté, est clôturé par un treillage de 1^m,40 de hauteur. Telle est la construction de nos cases de végétation, dont quatre ont été consacrées aux essais sur la betterave à sucre, les deux autres étant destinées à d'autres expériences.

On reconnaît que la disposition adoptée assure les avantages suivants :

1^o Séparation complète du sol expérimenté du sol environnant, des éléments fertilisants de celui-ci et des eaux qui y circulent;

2^o Même exposition de toutes les cases à la pluie, à la chaleur et à la lumière;

3^o Les cases reçoivent exclusivement la quantité de pluie tombée sur la surface de 1 mètre carré et l'on écarte tout danger de perte d'eau;

4^o Drainage et réception des eaux qui proviennent de chaque case.

Il en résulte que toutes les cases de végétation se trouvent dans des conditions d'expérimentation tout à fait identiques.

En été 1875, les cases furent remplies de terre sablo-argileuse de Gembloux, enlevée à un champ jusqu'alors sous le régime exclusif des engrais de ferme. La couche du sous-sol comporte une épaisseur de 0^m,70, le sol de 0^m,30. L'un et l'autre, séparément, ont été intimement mélangés et passés à la claie avant d'être mis en place, et cela dans la situation respective que ces couches occupaient dans le terrain d'origine.

Pendant l'été 1875, les cases sont restées sans végétation. On a bêché à plusieurs reprises la couche superficielle afin d'obtenir un tassement uniforme.

Les cases de végétation, remplies de terre jusqu'à la hauteur de la bordure, étaient ainsi prêtes à recevoir la première culture de betteraves à sucre. Elle commença en 1876, pour durer pendant onze ans.

Chaque année, chacune des cases recevait, plantés en paquets, neuf lots de graine de betterave de la variété « blanche de

Silésie, reproduction Vilmorin, » autant que possible de la même grosseur. La graine de même descendance a été renouvelée tous les deux ans.

Le jour de la plantation, les bouteilles furent placées pour recueillir l'eau de drainage. Cette eau fut mesurée chaque fois qu'il était nécessaire, et on en réservait une partie proportionnelle pour l'analyse, par exemple 2 litres sur 20 litres.

Des annotations soigneuses ont été prises sur le développement de la végétation; on trouvera tous les détails à ce sujet au chapitre III.

La récolte faite, les collets et les feuilles furent enterrés à la bêche, les souches enlevées pour l'analyse.

Au printemps, un jour avant la plantation, et pour la première fois en 1877, on procéda à la restitution des principaux éléments fertilisants enlevés par la plante, en employant toujours le nitrate de soude, le chlorure de potassium et le superphosphate de chaux, à la dose de 1^{gr},6 d'azote, 3^{gr},9 de potasse et 0^{gr},8 d'acide phosphorique pour 1,000 grammes de racines enlevées par la récolte précédente.

Les engrais furent enterrés à la profondeur de 0^m,15.

Nous donnons le calcul complet de cette restitution pour l'année 1877; nous croyons inutile de reproduire les calculs pour les années suivantes. Mais tandis que pendant la première année d'expérimentation les quatre cases furent plantées de betteraves dans les mêmes conditions, c'est-à-dire sans apport aucun de matière fertilisante, à partir de 1877 commença une division sur laquelle nous attirons l'attention du lecteur, parce qu'elle constitue la base de notre étude.

Voici, en effet, le régime différent auquel les cases furent soumises pendant dix ans :

Case I. — Betteraves sans restitution aucune.

Case II. — Betteraves avec restitution de la matière minérale.

Case III. — Betteraves avec restitution de l'azote.

Case IV. — Betteraves avec restitution de l'azote et de la matière minérale.

A partir de 1880, une nouvelle case a été comprise dans l'expérience. Désirant compléter les essais en cours par des recherches sur l'évaporation de l'eau du sol nu comparé au sol couvert de betteraves, nous avons rempli une cinquième case de la même terre et dans les mêmes conditions que les voisines.

Connaissant, d'une part, la quantité d'eau tombée sur chaque case de végétation, de l'autre, celle livrée par le drainage du sol nu et du sol couvert et exécutant des dosages d'humidité de la terre avant et après chaque culture, nous aurions possédé des données intéressantes sur la question de l'évaporation.

Un accident survenu dans le drainage de la 5^{me} case, sol nu, formation d'une fissure dans la maçonnerie de support, accident que nous ne pouvions constater qu'à la fin de l'expérience (1886), nous a malheureusement fait perdre le fruit de cette partie de nos recherches.

Le drainage des cases I à IV s'est opéré très régulièrement pendant toute la durée de la recherche.

A partir de la huitième année, lorsque nous pouvions admettre que le régime différent auquel le sol des quatre cases a été soumis pendant une longue période devait déjà exercer toute son influence sur la plante cultivée, nous avons exécuté non seulement le dosage du sucre de la souche, mais l'analyse complète de celle-ci, en établissant la composition organique immédiate et celle de la matière minérale assimilée.

CHAPITRE II.

Observations météorologiques. — Méthodes d'analyses.

Déjà avant l'établissement à l'Institut agricole de l'État du poste météorologique qu'y a installé l'Observatoire royal, la station agronomique avait organisé les observations nécessaires à ses recherches. Mais l'établissement d'un observatoire spécial à proximité immédiate de notre jardin d'expérimentation, nous a permis de cesser nos observations et de nous servir de celles¹ faites par MM Motteu et Marcas, sous la direction de M. le professeur Chevron. Quelques lacunes existant dans nos observations ont été comblées par les chiffres de la station météorologique de Namur².

Nous croyons superflu de reproduire ici les longs tableaux comprenant toutes les constatations embrassant pour chacune des dix années d'expérimentation une période de près de sept mois : ces chiffres formeraient à eux seuls toute une brochure.

Voici comment ont été utilisées les observations météorologiques :

La somme des hauteurs de pluie constatées à partir du jour de la plantation des graines jusqu'à la veille de l'arrachage nous a permis de dresser une première courbe : celle de *l'eau tombée*.

En divisant la somme des températures moyennes de chaque

¹ Depuis 1889, la station agronomique fait le service météorologique de Gembloux.

² Nous saisissons cette occasion pour remercier M. Folie, directeur de l'Observatoire royal et M. Lancaster, chef du service météorologique, de l'obligeance qu'ils ont eue de faire faire, sur notre demande, des extraits des registres de l'Observatoire

jour par le nombre de jours, nous avons obtenu la température moyenne de chaque expérience annuelle; la somme des températures constatées entre la plantation et la récolte nous a fourni les éléments de la courbe : *degrés de chaleur*.

N'ayant pas eu, au début de notre étude, l'idée de mesurer directement l'intensité de la lumière par des observations actinométriques, nous avons dû nous borner à dresser la courbe *lumière* en nous basant sur les observations de la nébulosité. La moyenne des deux observations journalières a permis d'établir la moyenne générale pour la période comprise entre la levée de la betterave et la veille de la récolte. Le ciel entièrement couvert étant représenté par 10, la différence entre 10 et les moyennes de la nébulosité constatée nous a fourni un chiffre pour exprimer l'intensité de l'éclairage.

Méthodes d'analyses — L'analyse du sol sur lequel on a expérimenté a été opérée d'après la méthode habituellement suivie à la station agronomique¹. Concernant le dosage des éléments fertilisants non dissous par l'acide chlorhydrique, nous ferons observer que la partie insoluble a été complètement épuisée par l'eau distillée, ensuite desséchée, calcinée, porphyrisée et enfin attaquée par l'acide fluorhydrique. A cette fin, la prise d'essai a été évaporée à siccité au bain-marie, avec une dissolution concentrée de fluorure d'ammonium. Le mélange intime ainsi obtenu de la matière silicatée avec le fluorure d'ammonium est ensuite décomposé dans une boîte en plomb par l'acide sulfurique que l'on ajoute par petites portions.

La suite de l'opération est la méthode ordinaire du dosage de la potasse, de la chaux, de la magnésie, etc.

¹ *Recherches, etc.* 2^e édit, p 558

ANALYSE DU SOL

SOL	SOUS-SOL
4 79	0 05
95 21	99 95
100 00	100 00

Résidu sur le tamis de 0 5 mil
Terre fine

La terre fine renferme :

Sable	85 36	80 3
Argile	14 64	11 8

Mille parties de terre fine renferment :

Eau	20 22	54 07
Matières organiques	28 12	28 02
Oxyde de fer et alumine	17 74	39 73
Chaux	2 37	4 17
Magnésie	1 69	3 11
Soude	0 23	0 19
Potasse	0 76	1 23
Acide phosphorique	0 65	0 91
— sulfurique	0 26	0 01
— carbonique	0 56	Traces
— silicique	0 30	0 06
Chlore	Traces	Traces
Insoluble dans l acide chlorhydrique †	929 40	868 50
	1000 00	1000 00

Azote	{	organique	0 20	0 20
		ammoniacal	0 07	0 02
		nitrique	0 03	0 01
			0 30	0 23
			29 90	29 09

† Renfermant potasse

Le dosage de l'azote des eaux de drainage a été opéré par la méthode Schloesing en mesurant le bioxyde d'azote dégagé. A cette fin, une prise d'essai de 2 à 4 litres (voir page 7) a été concentrée en présence d'une goutte de lessivé de potasse exempte d'acide nitrique d'après la réaction à la brucine. L'essai qualitatif a toujours montré l'absence d'ammoniaque, même à l'aide du réactif si sensible de M. Nessler. Cela s'explique aisément par le pouvoir absorbant très énergique que possèdent les particules terreuses pour l'ammoniaque et par la facilité avec laquelle celle-ci se nitrifie. Par contre, nous avons souvent constaté la présence de nitrites dus à la réduction de nitrates par des matières organiques. L'analyse des eaux de drainage comprend toujours la somme de l'azote sous forme de nitrates et de nitrites.

Pour l'analyse de la betterave, on a partagé en deux parties égales par une section faite suivant l'axe chacune des souches des neuf plantes produites par case. Une moitié a servi au dosage du sucre; sur l'autre moitié on a prélevé un segment proportionnel au volume de chaque racine. Ce segment a été découpé rapidement en fines lamelles, sur lesquelles on a opéré le dosage de l'eau.

Le reste des betteraves a été découpé en tranches qui ont été séchées; une partie de ces tranches a été réduite en poudre fine pour servir à l'analyse immédiate; l'autre partie a été incinérée très lentement et à une température très modérée pour obtenir la cendre brute destinée à l'analyse.

ANALYSE IMMÉDIATE DE LA BETTERAVE.

Eau — On a desséché à l'étuve de Gay-Lussac jusqu'à poids constant.

Sucre — La richesse saccharine du jus a été constatée au moyen du polarimètre et ramenée au poids de la betterave à l'aide du coefficient exprimant la quantité de jus déterminée dans chaque cas.

En 1885 et 1886, on a employé la méthode dite alcoolique dont nous avons donné la description en 1887¹.

Matières grasses — Une prise d'essai de 5 grammes a été épuisée par l'éther dans un extracteur Petermann-Simon.

L'azote total a été obtenu par la méthode de Ruffe; il a servi au calcul de la matière albuminoïde brute.

La matière albuminoïde pure a été dosée par le procédé de M. Stutzer en la séparant des autres composés azotés par l'hydrate cuivrique. Le précipité calciné d'après Will et Varentrapp, a fourni l'azote dont on a déduit, à l'aide du coefficient 6.25, la matière albuminoïde pure.

Cellulose — Le dosage de la cellulose a été opéré d'après le procédé de convention des stations agronomiques en épuisant la matière à l'ébullition successivement par l'acide sulfurique à 1.25 %, par une lessive de soude à 1.25 %, par l'eau distillée, par l'alcool et enfin par l'éther. Le résidu séché est pesé, calciné, le poids des cendres retranché du poids de la cellulose brute.

ANALYSE DES CENDRES.

On a dissous dans l'eau et l'acide chlorhydrique 2 grammes de cendres brutes, évaporé à siccité au bain-marie, chauffé à l'étuve à 105°, repris par l'eau et l'acide chlorhydrique et filtré sur un filtre taré. Le filtre desséché à nouveau donne : charbon + sable + acide silicique. Le charbon est dosé par calcination. L'acide silicique est séparé du sable en chauffant le mélange à l'ébullition avec une solution concentrée de carbonate de sodium. Le filtrat de l'insoluble a été oxydé en le chauffant avec quelques gouttes d'acide azotique et après refroidissement a été porté au volume de 250 c. c. — 100 c. c. ont servi au dosage de

¹ Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 3^e sér., t. XIII, n^o 6, 1887. — Guide pratique pour l'analyse de la betterave à sucre, par J. GRAFFIAU Bruxelles, 1887.

l'oxyde de fer, de la chaux, de la magnésie et de l'acide phosphorique par les méthodes ordinaires; 100 c. c ont servi au dosage de l'acide sulfurique, de la potasse et de la soude; les chlorures alcalins ont été séparés par le chlorure de platine. 2 grammes de cendre brute ont servi au dosage de l'acide carbonique qui a été recueilli dans un tube à boules de Liebig. La solution nitrique provenant de cette opération a servi au dosage du chlore, à l'aide du nitrate d'argent.

La composition de la cendre brute obtenue par la marche analytique précédente a été ramenée à celle de la cendre pure, exempte de carbone et de sable.

CHAPITRE III.

Procès-verbal des onze années d'expérimentation.

§ 1^{er}. — RESOLUTION. — OBSERVATIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES D'ESSAI. — RÉCOLTE — RICHESSE SACCHARINE.

Année 1876.

3 mai : plantation. — 11 mai : commencement de la levée. — 13 mai : levée complète. — 22 mai : premier binage — 29 mai : second binage et isolement des plantes. — 19 octobre : récolte.

	Poids total des souches.	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case.
	^k	^k	1 :		grammes
Case I.	2 036	0 975	0 474	41 8	243
Case II	2 401	0 901	0 429	41 8	248
Case III	2 422	1 020	0 481	41 6	246
Case IV	1 995	0 933	0 468	42 0	239

Comme nous l'avons dit, l'année 1876 constituait l'essai préliminaire; les quatre cases furent soumises absolument au même régime. Ceci devait nous renseigner sur l'homogénéité du sol et nous permettre d'établir l'erreur d'expérimentation à laquelle nous sommes exposé en comparant plus tard les résultats obtenus par des cases différemment traitées. Cette erreur est, comme on le voit, d'environ 3 %.

Année 1877

Le régime de la restitution commence :

a. — *Principes fertilisants en grammes enlevés au sol par les souches des betteraves produites en 1876 :*

Dans 1000 gram- mes.	DANS LA RÉCOLTE DES CASES				
	I.	II	III	IV.	
Azote	1 6	3 29	3 36	3 40	3 49
Potasse	3 9	8 02	8 49	8 28	7 78
Acide phosphorique	0 8	1 64	1 68	1 70	1 60

b. — *Principes fertilisants restitués en grammes :*

I. Sans fumure.

II. 16 36 de chlorure de potassium (50 03 %) = 8 19 de potasse.
10 96 de superphosphate (45 33 %) = 4 68 d acide phosphorique

III. 21 36 de nitrate de soude (45 90 %) = 3 40 d azote

IV. 20 06 de nitrate de soude (45 90 %) = 3 49 d azote.
15 54 de chlorure de potassium (50 03 %) = 7 78 de potasse
10 44 de superphosphate (45 33 %) = 4 60 d acide phosphorique

25 avril : plantation — 6 mai : commencement de la levée.
10 mai : levée complète — 18 mai : premier binage —
25 mai : second binage et isolement des plantes. — Commen-

cement de juillet : très belle végétation d'un beau vert saturé, surtout pour III et IV ayant reçu de l'azote. Supériorité de II sur I, III sur II, et IV sur III. — 9 octobre : récolte. — Jours de végétation : 167. — Température moyenne : 15°,53 C. — Somme de chaleur : 2,594°. — Hauteur de pluie : 416 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.7.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave	Sucre produit par case
Case I	1 698	0 970	0 571	13 26	225
Case II	2 020	0 975	0 483	11 83	240
Case III	3 240	1 852	0 572	14 02	454
Case IV	3 680	1 320	0 359	13 91	512

Année 1878.

La restitution a été opérée le 19 avril.

20 avril : plantation. — 29 avril : commencement de la levée dans I. — 2 mai : commencement de la levée dans II, III et IV. — 6 mai : levée complète. — 18 mai : premier binage. — 6 juin : second binage et isolement des plantes. — 6 juillet : un dernier binage. — II et I restent pendant un mois et demi en retard sur les autres, mais regagnent peu à peu le temps perdu tout en restant plus faibles que III et IV. — Les feuilles de la périphérie commencent à jaunir à partir du mois de septembre dans I et II; quelques jours plus tard celles de III et IV. La chlorophylle des feuilles du cœur ne change pas encore; celles-ci ne jaunissent qu'à partir du 18 septembre. — 24 septembre : récolte. — Jours de végétation : 159. — Température moyenne : 15°,91. — Somme de chaleur : 2,514°. —

Hauteur de pluie : 515 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.6.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles.	Sucre pour cent de la betterave	Sucre produit par case
Case I.	^k 3 692	^k 1 182	^{t :} 0 320	13 00	^{grammes} 480
Case II.	4 441	1 277	0 288	10 31	458
Case III	4 837	1 878	0 388	10 80	522
Case IV	5 167	1 800	0 348	13 97	722

Année 1879.

20 mai : restitution des principes fertilisants. — 21 mai : plantation. — 28 mai : commencement de la levée dans I. — 30 mai : on aperçoit les cotylédons dans II, le 2 juin seulement dans III et IV. — 5 juin : levée générale — 16 juin : premier binage. — 30 juin : dernier binage et isolement des plantes. — 22 juillet : belle végétation, beau vert, supériorité nette de IV, III sur II, peu de différence entre II et I. — Fin octobre : la maturation avance à grands pas, les feuilles axiles de IV et III encore plus vertes que celles de II et I. — 25 octobre : récolte. — Les souches de I et II sont plus allongées en moyenne d'une quinzaine de centimètres que celles de III et IV. — Jours de végétation : 157. — Température moyenne : 14° 78 C. — Somme de chaleur : 2,321° — Hauteur de pluie : 383 millimètres — Intensité de l'éclairage : 3 2.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles.	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case
Case I.	^k 0 968	^k 0 303	^{t :} 0 315	10 20	^{grammes} 99
Case II	1 035	0 310	0 283	9 50	103
Case III	1 883	0 478	0 253	10 70	202
Case IV	2 470	0 635	0 270	10 10	249

Année 1880.

21 avril : restitution. — 22 avril : plantation. — 5 mai : commencement de la levée dans I. — 7 mai : levée dans les autres cases. — 15 mai : levée générale. — 31 mai : premier binage. — 5 juin : isolement. — 20 juin : dernier binage. — 25 octobre : récolte. — Jours de végétation : 187. — Température moyenne 15° 37 C. — Somme de chaleur 2,874°. — Hauteur de pluie : 463 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.6.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case.
Case I	^k 1 330	^k 0 750	^l 0 564	13.00	grammes 173
Case II	1 910	1 020	0 534	12 60	241
Case III	1 990	0 870	0 437	11 30	225
Case IV	3 770	1 060	0 281	12 10	456

Année 1881.

11 avril : restitution. — 12 avril : plantation. — 27 avril : levée dans I. — 29 avril : levée dans IV, III et II. — 2 mai : levée générale assez irrégulière ; on remplace quelques plants manqués. — 12 mai : premier binage. — 13 juin : second binage et isolement des plantes. — En août, I est toujours faible relativement aux autres cases, IV et III supérieures à II. — 25 octobre : récolte. — Jours de végétation : 197. — Température moyenne : 13° 7 C. — Somme de chaleur : 2,699°.

— Hauteur de pluie : 483 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.8.

	Poids total des souches.	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave	Sucre produit par case
	k	k	t :		grammes.
Case I.	1.750	0.850	0.486	13.40	235
Case II	2.200	1.060	0.482	12.80	282
Case III	2.590	1.625	0.623	12.60	326
Case IV	3.790	1.390	0.367	12.94	490

Année 1882.

14 avril : restitution. — 15 avril : plantation. — Quelques fortes pluies. — 28 avril : on aperçoit des cotylédons dans toutes les cases. — 5 mai : levée complète. — 28 mai : premier binage. — 10 juin : isolement des plantes. — 4 juillet : dernier binage. — La maturation avance à partir du 15 septembre plus rapidement dans I et II que dans III et IV. — 25 octobre : récolte. — On examine avec grand soin, à la loupe, les radicales de la souche et la terre adhérente; absence complète de nématodes, même dans la case I qui, cependant, a déjà porté depuis sept ans des betteraves, sans restitution aucune de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse. — Les betteraves de I et II sont plus pivotantes que celles de III et IV. — Jours de végétation : 194. — Température moyenne : 14.58 C. — Somme de chaleur : 2,829°. — Hauteur de pluie : 547 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 2.7.

	Poids total des souches.	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles.	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case
	k	k	t :		grammes
Case I	2.830	1.020	0.360	9.80	277
Case II	3.250	1.325	0.408	10.00	325
Case III	3.740	1.800	0.481	11.00	411
Case IV	5.110	2.070	0.405	11.37	581

Année 1885

15 avril : restitution. — 16 avril : plantation. — 4 mai : on voit les cotylédons dans I. — 7 mai : également dans les autres cases. — 10 mai : levée générale. — 19 mai : premier binage. — 29 mai : isolement et dernier binage. — A partir du mois de juillet, les plantes d'essai sont très belles, vigoureuses et régulières. — Au commencement de septembre, la chlorophylle dans les limbes des feuilles extérieures disparaît, le bouquet formé par les feuilles axiles est encore vert. — Les cases II et I mûrissent plus vite, avec une avance de trois à quatre jours sur III et IV. — 27 septembre : récolte. — Point de nématodes. — Jours de végétation : 165. — Température moyenne : 15° 10 C. — Somme de chaleur : 2,492°. — Hauteur de pluie : 382 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.2.

	Poids total des souches.	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles.	Sucre pour cent de la betterave	Sucre produit par case.
Case I.	^k 2 370	^k 0 835	^l 0 352	41.04	^g ammes. 261
Case II	3 160	1 400	0 443	41.03	319
Case III	3 140	2 400	0 764	41 40	358
Case IV	4 350	2 058	0 473	42 89	561

Année 1884.

28 avril : restitution. — 29 avril : plantation. — 12 mai : commencement de la levée dans toutes les cases. — 17 mai : levée complète dans I. — 21 mai : levée complète dans les cases ayant reçu des engrais. — 3 juin : premier binage. — 16 juin : isolement et dernier binage. — Juillet et août : très belle végétation, surtout dans III et IV. — A partir du 15 septembre, les feuilles formant les verticilles extérieurs com-

meuvent à jaunir. — 20 septembre : les feuilles du cœur suivent dans I. — 23 septembre : dans II. — 28 septembre : dans III et IV. — 25 octobre : récolte — Jours de végétation : 181. — Température moyenne : 14° 95 C. — Somme de chaleur : 2,706°. — Hauteur de pluie : 384 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.8.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case
	k	k	1 :		grammes
Case I	1 650	0 810	0 491	12 98	214
Case II	2 500	1 380	0 552	13 00	325
Case III	3 020	2 100	0 695	12 70	384
Case IV	3 950	1 930	0 489	12 80	506

Année 1885.

11 mai : restitution. — 12 mai : plantation. — 21 mai : levée mauvaise; on replante quelques poquets. — 18 juin : premier binage. — 11 juillet : second binage et isolement. — 12 août : belle végétation; point de différence appréciable entre I et II; supériorité de III et IV sur les autres cases. — 10 septembre : la maturation commence à se manifester; fin septembre, I et II sont un peu plus avancés que III et IV. — 21 octobre : récolte — Absence de nématodes. — Jours de végétation : 163. — Température moyenne : 14°.06 C. — Somme de chaleur : 2,292°. — Hauteur de pluie : 283 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.2

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave.	Sucre produit par case
	k	k	1 :		grammes.
Case I	1 490	0 700	0 470	12 73	190
Case II	1 905	1 300	0 682	12 79	244
Case III	2 220	1 300	0 586	10 91	242
Case IV	2 870	1 740	0 606	10 75	309

Année 1886

8 mai : restitution. — 9 mai : plantation. — 16 mai : on aperçoit les cotylédons dans I — 18 mai : les cases II, III et IV suivent. — 19 mai : levée complète. — 22 mai : premier binage. — 25 mai : une averse ayant fortement tassé le sol, on renouvelle le binage. — 8 juin : isolement et dernier binage. — 24 juillet : belle végétation ; peu de différence entre I et II et entre III et IV, ces deux cases plus avancées et plus vertes que les premières. — Vers le milieu de septembre, la chlorophylle commence à disparaître dans les feuilles extérieures, les feuilles axiles sont encore en pleine végétation. Légère avance de maturité de I et II sur III et IV. — 25 octobre : récolte. — Lors de l'arrachage, on remarque que les pivots des betteraves des cases sans azote sont plus allongés que ceux des betteraves des cases à azote. Les premiers mesurent de 0^m,45 à 0^m,65 ; une souche a même une longueur de 0^m,85 ; les derniers seulement 0^m,30 à 0^m,50, tout en étant abondamment garnis de radicelles. — Absence de nématodes. — Jours de végétation : 170. — Température moyenne : 15° 24 C. — Somme de chaleur : 2,746°. — Hauteur de pluie : 404 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.9.

	Poids total des souches	Poids total des feuilles avec collets	Rapport de la souche aux feuilles	Sucre pour cent de la betterave	Sucre produit par case.
Case I.	^k 2 400	^k 0 800	^l 0.333	14.88	grammes: 357
Case II	3.075	1.365	0.444	15.07	463
Case III	3.500	1.990	0.543	14.71	515
Case IV	3.803	2.137	0.562	14.51	552

§ 2. — QUANTITÉ ET RICHESSE EN AZOTE DES EAUX DE DRAINAGE.

Année 1881.

Les cases commencent à couler le 13 août.

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Quantité recueillie en litres.	410.92	80.23	63.00	49.80
Azote nitrique par litre en grammes	0.0078	0.0073	0.0092	0.0098
Perte totale d'azote en grammes	0.87	0.59	0.60	0.49

Année 1882.

Les cases commencent à couler : I le 10 mai; II et III le 15 mai; IV le 17 mai.

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Quantité recueillie en litres.	156.47	116.42	107.94	80.42
Azote nitrique par litre en grammes	0.0050	0.0060	0.0064	0.0062
Perte totale d'azote en grammes	0.78	0.70	0.69	0.50

Année 1883.

Les cases de végétation n'ont pas fourni d'eau de drainage.

Année 1884.

Les premières gouttes d'eau de drainage apparaissent le 4 mai.

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Quantité recueillie en litres.	39.50	20.70	19.50	12.00
Azote nitrique par litre en grammes	0.0048	0.0052	0.0061	0.0072
Perte totale d'azote en grammes	0.19	0.11	0.12	0.09

Année 1885.

Les cases n'ont pas coulé.

Année 1886.

On recueille les premières eaux le 10 juin.

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Quantité recueillie en litres.	53.70	46.50	36.30	24.90
Azote nitrique par litre en grammes	0.0063	0.0068	0.0074	0.0073
Perte totale d'azote en grammes	0.34	0.32	0.26	0.18

§ 3. — COMPOSITION DES BETTERAVES RÉCOLTÉES.

Année 1883.

Analyse immédiate des souches.

	I.		II.		III.		IV.	
	Matière sèche.	Matière fraîche.						
Eau	»	81.72	»	83.03	»	84.00	»	84.36
Matières albuminoïdes brutes	5.43	0.94	5.53	0.94	8.04	4.28	7.61	4.18
— grasses	0.51	0.09	0.59	0.10	0.56	0.09	0.52	0.18
Saccharose	69.64	12.73	75.37	12.79	68.19	10.91	69.16	10.75
Matières extractives †	13.66	2.30	7.67	4.30	10.24	4.64	10.41	4.61
Cellulose pure	6.31	4.15	6.04	4.02	6.84	4.09	5.77	0.89
Matières minérales	4.75	0.87	4.33	0.82	6.19	0.99	6.03	0.93
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Analyse des cendres.

	I.		II.		III.		IV.	
	Cendre brute.	Cendre pure.						
Chaux	7.30	8.06	6.00	6.43	5.25	5.64	3.88	4.04
Magnésie	4.53	5.00	4.48	4.80	5.06	5.44	3.73	3.88
Potasse	35.00	38.66	41.12	44.18	32.94	35.41	39.71	41.32
Soude	6.08	6.72	5.88	6.30	13.23	14.22	10.25	10.66
Oxyde de fer et alumine	0.88	0.97	0.92	0.98	4.07	4.45	0.93	0.97
Acide silicique	4.18	4.30	4.26	4.35	2.08	2.23	2.40	2.49
— phosphorique	12.58	13.89	13.74	14.72	11.35	12.20	8.88	9.24
— sulfurique	10.07	11.12	9.73	10.43	9.50	10.21	10.06	10.47
— carbonique	10.98	12.13	6.74	7.22	11.60	12.47	10.64	11.07
Chlore	4.38	4.52	4.87	5.22	4.41	4.51	7.16	7.45
Carbone	4.44	»	0.82	»	0.55	»	0.14	»
Sable	7.96	»	6.00	»	6.46	»	3.82	»
	99.38	99.37	101.56	101.33	100.50	100.48	101.60	101.59
oxygène correspondant au chlore	0.31	0.31	4.10	4.18	0.32	0.34	4.61	4.68
	99.07	99.06	100.46	100.35	100.18	100.14	99.99	99.91

† Comprenant tous les hydrates de carbone qui ne sont ni saccharose, ni cellulose, ni graisse, par conséquent gomme, dextrane, pectine et ses dérivés, etc. Nos betteraves étaient exemptes de glucose et d'amidon.

Année 1886.

Analyse immédiate des souches

	I.		II.		III.		IV.	
	Matière sèche.	Matière fraîche.						
Eau	»	79.35	»	78.14	»	78.54	»	78.39
Matières albuminoïdes brutes	4.8	0.94	4.79	4.02	4.06	0.87	4.74	4.03
Matières grasses	0.32	0.07	0.29	0.06	0.32	0.07	0.31	0.07
Saccharose	68.67	14.48	70.88	15.07	68.55	14.71	67.14	14.51
Matières extractives	17.55	3.63	15.85	3.36	19.18	4.12	19.60	4.23
Cellulose pure	5.71	1.18	5.06	1.08	5.32	1.14	5.11	1.10
Matières minérales	3.17	0.65	3.13	0.67	2.57	0.55	3.10	0.67
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Analyse des cendres

	I.		II.		III.		IV.	
	Cendre brute.	Cendre pure.						
Chaux.	13.09	14.07	12.31	13.08	11.54	12.66	10.70	11.25
Magnésie	7.40	7.95	7.47	7.94	9.38	10.29	8.03	8.44
Potasse	33.78	36.30	34.26	36.39	30.50	33.24	37.54	39.45
Soude	3.68	3.96	4.08	4.33	6.21	6.81	4.18	4.29
Oxyde de fer et alumine	0.94	1.04	0.73	0.78	0.78	0.86	0.50	0.53
Acide silicique	1.02	1.10	0.94	1.00	0.67	0.73	0.32	0.34
— phosphorique	12.95	13.92	12.75	13.54	12.03	13.20	13.08	13.76
— sulfurique	3.66	3.93	4.03	4.28	3.46	3.80	4.35	4.57
— carbonique	15.99	17.19	15.67	16.65	16.42	18.04	15.60	16.41
Chlore	0.51	0.55	4.36	4.44	0.33	0.36	1.01	1.16
Carbone	1.18	»	1.75	»	4.45	»	2.92	»
Sable	5.78	»	4.08	»	4.38	»	2.00	»
	99.98	99.98	99.43	99.43	99.95	99.96	100.10	100.10
Oxygène correspondant au chlore	0.11	0.12	0.31	0.33	0.07	0.08	0.23	0.24
	99.87	99.86	99.12	99.10	99.88	99.88	99.87	99.86

Composition des souches de betteraves de l'année 1885.

	I.	II.	III.	IV.
Eau	848.57	831.48	844.58	846.70
Matières albuminoïdes brutes	9.38	9.42	12.83	14.84
Matières grasses	0.93	0.97	0.92	0.83
Saccharose	127.51	128.04	109.30	107.66
Matières extractives	25.02	13.05	16.35	16.04
Cellulose pure	11.55	10.23	10.93	8.92
Chaux	0.65	0.48	0.52	0.36
Magnésie	0.40	0.36	0.50	0.34
Potasse	3.12	3.33	3.25	3.65
Soude	0.54	0.48	1.30	0.94
Oxyde de fer et alumine	0.08	0.07	0.11	0.09
Acide silicique	0.11	0.10	0.21	0.22
Acide phosphorique	1.12	1.11	1.12	0.82
Acide sulfurique	0.90	0.79	0.94	0.93
Chlore	0.12	0.39	0.14	0.66
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

Composition des souches de betteraves de l'année 1886.

	I.	II.	III.	IV.
Eau	794.26	788.66	786.47	784.96
Matières albuminoïdes brutes (*)	9.47	9.84	8.71	10.25
Matières grasses	0.66	0.62	0.68	0.67
Saccharose	144.94	130.93	147.31	145.30
Matières extractives	36.83	33.81	41.25	42.45
Cellulose pure	11.79	10.78	11.45	11.06
Chaux	0.86	0.84	0.64	0.71
Magnésie	0.49	0.51	0.52	0.54
Potasse	2.21	2.35	1.67	2.51
Soude	0.24	0.28	0.34	0.27
Oxyde de fer et alumine	0.06	0.05	0.04	0.03
Acide silicique	0.07	0.06	0.04	0.02
Acide phosphorique	0.85	0.87	0.67	0.87
Acide sulfurique	0.24	0.28	0.19	0.29
Chlore	0.03	0.09	0.02	0.07
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Matière albuminoïde pure, d'après le procédé de Stutzer	5.06	6.31	4.81	6.00

(*) = Azote total X 6.25

Composition moyenne des souches de la betterave à sucre « variété silésienne », déduite de l'analyse complète de huit lots

Eau		811 55		
Matières azotées	} Albumine, caséine	5 55		
		} Corps amidés, etc ¹	4 67	
Hydrates de carbone	} Matières grasses		0 78	
		} Saccharose	432 25	
			} Cellulose	10 84
				} Gomme, dextrane, pectine, etc.
Chaux		0 63		
Magnésie		0 46		
Potasse		2 76		
Soude		0 55		
Oxyde de fer et alumine		0 07		
Acide silicique		0 10		
— phosphorique		0 93		
— sulfurique		0 57		
Chlore		0 19		
		<hr/>		
		1000 00		
		<hr/>		

CHAPITRE IV.

Discussion des résultats

Avant de passer aux questions qui nous intéressent tout particulièrement, savoir : la betterave dans ses relations avec les phénomènes météorologiques, la betterave et sa composition sous un régime différent de nutrition, nous nous arrêtons à plusieurs faits qui résultent accessoirement de nos expériences, mais qui ne manquent pas d'intérêt.

Déjà en 1884, à l'occasion des recherches exécutées au

¹ Différence entre les matières albuminoïdes brutes et les matières albuminoïdes pures (Voir *Méthodes analytiques*.)

champ d'expériences, nous avons signalé⁴ que l'application des engrais chimiques retarde de quelques jours la levée des graines de betteraves.

Nos dix années d'essais en cases, où toutes les phases de la vie végétale pouvaient être suivies avec facilité et être surveillées pour ainsi dire d'heure en heure, confirment cette observation d'une manière absolument certaine. Nous ajoutons que nous entendons par commencement de levée le moment où l'on aperçoit les premiers cotylédons qui percent le sol, et par levée complète l'apparition des cotylédons dans chaque poquet.

Voici le relevé de nos annotations faites concernant la germination :

1877. — Point de différence entre les diverses cases.

1878. — Les cotylédons apparaissent dans I trois jours plus tôt que dans II, III et IV.

1879. — Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1880. — Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1881. — Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1882. — Point de différence ; fortes pluies pendant les jours qui suivent la plantation.

1883. — Les cotylédons apparaissent dans I trois jours plus tôt que dans II, III et IV.

1884. — Pas de différence pour le commencement de la levée, mais la levée complète se constate dans la case I quatre jours avant celle des autres cases.

1885. — La levée étant mauvaise, on a dû replanter ; par conséquent, les observations sur la levée n'ont point de valeur.

1886. — Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

Il est donc définitivement acquis que l'application du nitrate

⁴ *Recherches, etc*, 2^e édit., pp. 315 et 316.

de soude, du chlorure de potassium et du superphosphate de chaux retarde la levée, au moins dans un sol d'une certaine ténacité.

Trois causes peuvent produire cette influence fâcheuse :

1° Retard dans la germination produit par l'engrais chimique qui agirait comme antiseptique, l'acte de germination étant dû à des ferments ¹.

2° Action corrosive exercée par les engrais sur l'embryon perçant l'enveloppe protectrice de la première graine germée. L'engrais se diluant peu à peu n'agirait plus sur les graines germant après ; la semence de la betterave forme, comme on sait, une agglomération de plusieurs graines.

3° Soustraction d'une partie de l'eau du sol (dont la graine a besoin pour ramollir son péricarpe et liquéfier son endosperme) par l'engrais chimique très hygroscopique lequel s'en empare avec avidité pour se dissoudre.

C'est cette dernière explication, que nous avons déjà donnée en 1884, que nous considérons comme vraie, car, pas plus dans les cases que dans les champs d'expériences, nous n'avons jamais pu, dans de fréquentes recherches, retrouver d'embryon détruit, desséché ou seulement lésé par son contact avec les produits chimiques. Nous admettons cependant que la première cause peut également agir.

Le fait qu'en 1882, où de fortes pluies ont suivi immédiatement l'application des engrais et la plantation, et où la germination et la levée ont eu lieu le même jour dans la case non fumée et dans les autres, vient à l'appui de l'une comme de l'autre explication.

Une autre phase de la vie de la betterave a été également influencée par l'application des engrais chimiques.

¹ GORUP-BESANEZ et WILL., *Bericht der Deutsch. Ch. Gesellschaft*, 1874. — MORREN, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 1876. — JORISSEN, *Ibid.*, 1883 et suivants.

L'acide phosphorique libre du superphosphate et les sels alcalins agiraient donc comme l'acide cyanhydrique dans les recherches de M. Jorissen, non en détruisant la faculté germinative, mais en retardant le phénomène.

Les notes rendant compte du développement des plantes d'essais renseignent plusieurs fois que la maturation avançait plus rapidement dans les cases I et II (sans azote) que dans III et IV (avec azote).

Lors d'essais faits au champ d'expériences, nous avons plusieurs fois observé le même fait qui est, du reste, connu par la pratique agricole, car on s'abstient pour ce motif et pour d'autres, dans la culture de la betterave, de l'emploi d'un excès d'engrais azoté et surtout d'engrais à azote organique lentement assimilable. Nos essais en petit confirment entièrement les observations précédentes.

Le premier signe de la maturation d'un végétal bisannuel qui, comme la betterave, ne forme normalement son appareil reproducteur que la seconde année, végétal sur lequel par conséquent, des phénomènes de fécondation et de fructification ne peuvent être observés la première année, est la disparition de la chlorophylle dans les feuilles formant les verticilles extérieurs.

Sans pouvoir, comme nous avons pu le faire pour la germination, exprimer en jours le retard apporté par le nitrate de soude à la manifestation de ce premier signe de la maturation, nos essais démontrent nettement que l'azote nitrique de l'engrais, assimilé dans le cours de la végétation ou même encore pendant les quelques jours qui précèdent la récolte, retarde la disparition de la chlorophylle formée.

En outre le développement morphologique de la betterave se modifie sous un régime nutritif différent. Plusieurs fois dans le cours de notre étude, nous avons remarqué l'allongement tout particulier de la souche des betteraves cultivées pendant onze ans dans un sol n'ayant reçu, en dehors de la faible quantité amenée par les eaux pluviales, aucun apport d'azote. Nous avons été frappé de ce phénomène pour la première fois après la quatrième année de culture successive des betteraves, mais tout particulièrement à la fin de notre étude. La différence entre la longueur des pivots des cases I et II (sans azote) et des cases III et IV (avec azote) a atteint alors une moyenne

de 25 centimètres; la betterave, affamée d'azote, s'allonge jusque dans la profondeur du sol à la recherche de cet important élément nutritif, tandis qu'elle conserve son « habitus » normal là où elle trouve un milieu capable de suffire à ses besoins.

Nous reconnaitrons aussi plus loin, lorsque nous discuterons la production de la substance organique sous un régime alimentaire différent, que l'application isolée de l'azote, sans matière minérale, agit tout particulièrement sur le développement de l'appareil foliacé.

Le procès-verbal de notre étude signale l'absence de nématodes. Cette observation a son importance. Malgré les très complètes recherches du savant physiologiste de Halle ¹, on entend fréquemment émettre cette opinion que la présence de la nématode (*Heterodera Schachtii*, découverte en Prusse, en 1859, par Schacht, rencontrée par nous en Belgique, en 1883, et en France par M. Aimé Girard, en 1884) est due ou au moins est en rapport avec un épuisement du sol, provoqué par un renouvellement trop fréquent de la culture de la betterave.

Malgré nos recherches les plus attentives, non seulement sur les radicelles de la souche, sur lesquelles se fixe ordinairement la femelle fécondée, mais aussi dans la terre environnante où se rencontre abondamment, dans les cultures infectées, le ver développé, nous n'avons jamais pu constater la présence du parasite; cependant l'une des cases avait porté la betterave onze fois de suite sans restitution aucune des principes fertilisants enlevés.

Remarquons aussi que la construction de ces cases rend impossible toute infection du dehors, sauf par les graines, sur lesquelles cependant aucun observateur n'a jusqu'ici constaté la présence d'œufs de nématode.

Nous passons aux expériences qui se rapportent à l'eau de drainage

¹ KÜHN, *Berichte aus dem physiologischen Laboratorium des landwirthschaftlichen Institutes der Universität Halle*, 3^{es} Heft, 1881.

La quantité d'eau passée à travers le mètre cube de terre mise en expérience a été sous la dépendance, les autres conditions étant égales, d'une part de la hauteur d'eau de pluie tombée, d'autre part de la vigueur de la végétation. Mais tandis que cette quantité était en raison directe de l'intensité de la première cause, elle était en raison inverse du poids de la récolte. Confirmant cette observation, voici en chiffres ronds les quantités d'eau émises par les drains, rapprochées de la pluie tombée.

Années	Pluie en millimètres	Case I.	Case II	Case III	Case IV
		litres	litres.	litres	litres
1881	483	441	80	65	50
1882	547	456	416	108	80
1884	384	40	21	20	12
1886	404	54	47	36	25

Les années 1883 et 1885 qui manquent dans notre tableau n'ont pas fourni d'eau de drainage; ce sont précisément celles pendant lesquelles ont été observés les minima de pluie.

L'action des matières fertilisantes se fait aussi considérablement sentir. La production totale en substance organique suit, comme cela résulte des poids récoltés, une marche ascendante de I vers IV. De la végétation plus vigoureuse résulte une consommation plus forte d'eau par évaporation et par fixation dans les tissus, par conséquent une diminution de l'eau de drainage.

Le tableau suivant le démontre d'une manière frappante.

ANNÉES.	CASE I.		CASE II.		CASE III.		CASE IV.	
	Souches + feuilles en grammes.	Eau de drainage en litres.						
1881	^k 2 600	411	^k 3 260	80	^k 4 215	63	^k 5 180	50
1882	3 850	456	4 575	416	5 540	108	7 180	80
1884	2 460	40	3 880	21	5 120	20	5 880	12
1886	3 210	54	4 441	47	5 400	36	5 940	25

En comparant le poids de la récolte totale au volume de l'eau de drainage, en suivant dans le sens horizontal, c'est-à-dire d'une case à l'autre, les chiffres ci-dessus, nous constatons pour les quatre années le même fait : partout la quantité d'eau de drainage est en raison inverse du poids de la matière organique produite.

Quant à la richesse en azote des eaux ayant traversé le sol, nous avons à envisager deux groupes d'essais : le premier portant sur les cases sans fumure azotée, le second sur celles ayant reçu du nitrate de soude.

	Cases I et II sans azote.	Cases III et IV avec azote	
Minimum	0 0048	0 0061	} gramme d'azote nitrique par litre d'eau de drai- nage.
Maximum.	0 0078	0 0098	
Moyenne	0 0062	0 0074	

L'eau de drainage des cases avec azote est donc plus riche en nitrates que celle de la case sans fumure aucune et que celle des cases ayant reçu une fumure de chlorure de potassium et de superphosphate. Mais il ne résulte nullement de là une perte plus grande en cette matière nutritive si précieuse.

En effet, comme nous l'avons vu plus haut, la quantité absolue d'eau passée par les drains des cases avec azote est sensiblement inférieure à celle des cases sans azote ; et en définitive la perte totale en azote, malgré le titre plus élevé en nitrate de l'eau, est moins grande dans les cases III et IV que dans les cases I et II.

Perte totale en azote par l'eau de drainage pendant la durée de la végétation, de 1884 à 1886.

	Cases I et II réunies sans azote	Cases III et IV réunies avec azote
1884	4 46 gramme.	1 09 gramme.
1882	1 48 —	1 19 —
1884	0 30 —	0 21 —
1886	0 66 —	0 44 —
	<hr/> 3 90 grammes	<hr/> 2 93 grammes.

Du tableau précédent découle cette conclusion intéressante que grâce à l'assimilation rapide de l'azote nitrique par la betterave et à l'augmentation de la production en substance organique que cette assimilation provoque, un sol fumé à l'azote perd moins pendant la durée de la végétation que le même sol non fumé. La plus grande production de substances organiques diminue cette perte : 1° parce qu'une plus forte récolte fixe plus d'azote ; 2° parce que cette plus grande production exige une plus grande consommation d'eau qui entraîne une diminution de l'eau de drainage.

Non seulement l'application au printemps de 1886 d'une dose de 4^{gr},59 d'azote sous forme de nitrate de soude au sol de la case IV n'augmente pas la perte en azote par les drains, mais elle réduit même celle de l'azote originaire du sol ou de l'eau de pluie.

Cette observation intéressante est d'ailleurs conforme aux longues recherches sur la composition des eaux de pluie et de drainage faites à Rothamsted par MM. Lawes, Gilbert et Warington¹, dont une des conclusions était : l'eau de drainage d'un sol non cultivé renferme trois fois autant d'azote nitrique que celle du même sol portant froment sans fumure azotée. Ce que les savants chimistes anglais ont constaté pour le sol nu et pour le sol cultivé en froment, mais sans engrais, nous l'avons observé en comparant le sol cultivé en betteraves non fumé avec le sol cultivé et fumé.

Nous avons jusqu'à présent fixé particulièrement notre attention sur la comparaison entre les cases sans azote et les cases avec azote. Le même fait se constate aussi concernant la composition des eaux de drainage, lorsqu'on met en parallèle la case ayant reçu de l'azote seul et celle qui a reçu en même temps de la potasse et de l'acide phosphorique.

¹ *Journal of the Royal agricultural Society*, 2^e sér., vol. 17 et 18

*Richesse en azote de l'eau de drainage pendant la durée de la végétation,
années 1881 à 1886.*

	Case III azote.	Case IV azote + potasse + acide phosphorique	
1881	0.60	0.49	} gramme d'azote nitrique par litre
1882	0.69	0.50	
1884	0.12	0.09	
1886	0.26	0.18	
	<hr/> 1.67	<hr/> 1.26	

Ces chiffres prouvent que la perte en azote est plus élevée lorsqu'on donne l'azote seul que lorsqu'on lui associe la potasse et l'acide phosphorique.

Les observations précédentes permettent d'expliquer aisément ce fait

Le maximum de la production en substance organique a été obtenu lorsque nous avons mis à la disposition de la betterave les trois principaux éléments nutritifs sous un état facilement assimilable. Les conditions de nutrition se trouvaient à l'optimum. Nous avons récolté sensiblement plus dans IV que dans III, où l'azote n'a pu produire son maximum d'effet, les autres éléments nutritifs, potasse et acide phosphorique, se trouvant au minimum. La plus forte production de substance organique dans IV a exigé plus d'eau; de là diminution de l'eau de drainage avec diminution de la perte en azote comme conséquence.

La remarque que nous avons faite pour la comparaison de la case à azote seul (III) et de celle à engrais complet (IV) s'applique également à la case non fumée (I) et à celle ayant reçu du chlorure de potassium et du superphosphate, sans azote (II)

La production de la dernière case est légèrement, mais régulièrement supérieure à I. La nitrification de l'azote organique du sol, l'apport du carbonate, du nitrate et du nitrite d'ammoniaque de l'eau de pluie ont fourni une certaine dose

d'azote immédiatement assimilable qui a permis à la plante d'utiliser au moins une partie de la fumure potassique et phosphorique, sans que ces deux éléments nutritifs aient pu produire leur maximum d'effet, l'azote étant au minimum.

Une production plus forte de substance organique était accompagnée d'une plus forte consommation d'eau. Le volume d'eau qui s'est écoulé par le drain a diminué, et de là, réduction de la perte en azote.

Perte totale en azote par l'eau de drainage pendant la durée de la végétation, de 1881 à 1886.

	Case I sans engrais.	Case II potasse + acide phosphorique	
1881.	0.87	0.59	} gramme d'azote nitrique par litre.
1882.	0.78	0.70	
1884.	0.49	0.44	
1886.	0.34	0.32	
	<hr/> 2.48	<hr/> 1.72	

Pour faciliter la discussion des questions ayant rapport à la production de la substance organique, nous réunirons dans un tableau les poids en grammes des souches produites pendant les onze années d'essais.

	I Sans restitu- tion	II Matière minérale	III Azote	IV Matière minérale et azote
1876. Essai préliminaire	2,056	2,101	2,122	1,995
1877. Le régime de la restitution commence.	1,698	2,020	3,240	3,680
1878	3,692	4,441	4,837	5,167
1879	968	1,083	1,888	2,470
1880	1,330	1,910	1,990	3,770
1881	1,730	2,200	2,590	3,790
1882	2,830	3,230	3,740	5,110
1883	2,370	3,160	3,140	4,330
1884	1,630	2,500	3,020	3,930
1885	1,490	1,905	2,220	2,870
1886	2,400	3,075	3,560	3,803
Production totale de 10 ans	20,178	25,546	30,163	38,960
Production moyenne annuelle	2,018	2,555	3,017	3,896

Nous constatons tout d'abord que, malgré une culture successive de la betterave pendant onze années sans nul apport d'un principe fertilisant, aucun signe d'épuisement du sol ne s'est fait sentir dans la case I. L'approvisionnement du sol mis en expérience, le carbonate d'ammoniaque et le nitrate d'ammoniaque de l'atmosphère ont fourni une somme assez grande de principes fertilisants assimilables pour satisfaire la nutrition d'une faible récolte.

La restitution seule de la matière minérale enlevée a eu chaque année pour effet une augmentation de production de plusieurs centaines de grammes, en moyenne 537 grammes, dépassant de beaucoup la limite d'erreur établie précédemment.

La même chose s'observe pour la case III, à restitution exclusive de l'azote. La production est chaque année supérieure à celle de la case I; la moyenne générale d'augmentation est de 999 grammes. Cela prouve, en confirmant le résultat fourni par I, que l'apport en matière minérale seule dans II et l'apport en azote seul dans III ont pu être utilisés à une production plus forte en substance organique, grâce, dans le premier cas, à l'azote, dans le second aux matières minérales du sol. Mais l'un et l'autre de ces apports sont insuffisants pour pousser la production de la végétation au maximum; celui-ci a été atteint seulement dans la case IV (restitution d'azote et de matière minérale). Ici la production de la substance organique a été chaque année considérablement supérieure à celle des autres cases et la moyenne de 3,896 grammes atteint presque le double de celle sans restitution aucune.

Nous verrons plus loin que c'est aussi la case IV qui a produit le plus de sucre.

Il faut donc à l'espèce betterave le concours simultané de l'azote et des matières minérales, donnés comme engrais, pour produire le maximum de substances organiques, même dans un sol pourvu de tous les principes fertilisants. Autrement dit, on ne peut pas compter, en restituant la matière minérale seule, que les sources naturelles de l'azote soient suffisantes pour l'utilisation maximum de ces matières minérales. D'autre

part, la désagrégation¹ du sol que nous avons expérimenté ne rend pas annuellement assez de matières minérales assimilables pour produire à l'aide de la restitution azotée seule, le maximum de matière organique.

Physiologiquement parlant, les deux groupes d'éléments nutritifs possèdent la même importance. L'un ne peut sans l'autre, dans les conditions déterminées de notre expérimentation, provoquer le maximum de l'utilisation de l'acide carbonique de l'air, c'est-à-dire de sa transformation en substance organique. Mais au point de vue agronomique, c'est-à-dire au point de vue du problème de la production du maximum de récolte, il résulte des rendements de nos cases la plus grande importance que possède l'azote pour le sol donné. Le groupement suivant de la production moyenné le démontre clairement :

Rendement décennal moyen en grammes	Sans engrais	On ajoute matière minérale.	Substance organique produite en plus
	2 018	2,555	537
	Azote	On ajoute matière minérale	Substance organique produite en plus
	3 017	3,896	879
	Sans engrais	On ajoute azote	Substance organique produite en plus
	2,018	3,017	999
	Matière minérale	On ajoute azote.	Substance organique produite en plus.
	2,555	3,896	1,341

Les variations d'année en année et d'une case à l'autre dans le poids des souches récoltées sont suivies de près par le poids de l'appareil foliacé; c'est pour cela que nous voyons que le rapport moyen est à peu près le même dans les cases I, II et IV, savoir respectivement 1 à 0,426, à 0,460, à 0,416; seule,

¹ Grundermann a déjà démontré en 1869 (*Zeitschrift für Rüben-Zuckerindustrie*) que la désagrégation d'un sol constitué artificiellement par de l'argile, du sable, du calcaire, etc., ne met pas en liberté assez de potasse, de chaux, d'acide phosphorique, etc., pour couvrir les besoins d'une récolte moyenne.

la case III, au régime exclusif d'azote, fait exception ; le rapport est sensiblement supérieur : 1 à 0,535.

Cette action particulière de l'azote sur le développement de la partie foliacée de la betterave, constatée déjà par plusieurs observateurs¹, s'accuse même par l'aspect de la plante. En effet, dans plusieurs années d'essais, la case à azote se distinguait de loin.

La moyenne générale du rapport de la souche à la partie foliacée a été, dans la case que nous pouvons considérer comme se trouvant sous l'influence d'un régime alimentaire normal, de 1 à 0,416. Ce chiffre ne doit naturellement pas être généralisé. Le rapport existant entre la partie souterraine et la partie hors terre de la betterave à sucre est un caractère de la variété se transmettant par hérédité. La relation $\frac{1}{0,416}$ n'exprime donc que le rapport moyen de la souche à la partie foliacée de la betterave de la variété silésienne, alimentée normalement et arrivée à un degré normal de maturité. Ce rapport se modifie sensiblement suivant le régime nutritif et les conditions météorologiques, c'est-à-dire sous l'influence du milieu à laquelle aucun être vivant n'échappe ; c'est ainsi que nous le voyons osciller entre $\frac{1}{0,605}$ et $\frac{1}{0,27}$.

Ce qui frappe le plus dans l'examen de tous les chiffres ayant rapport à la production de la substance organique, c'est la grande variation du poids de celle-ci d'une année à l'autre. Voici donc quatre cases de végétation qui ont été soumises pendant dix années, chacune en ce qui la concerne, absolument au même traitement : mêmes conditions générales de l'essai, mêmes semences, même régime nutritif et, malgré cela, nous voyons osciller le poids des souches dans des limites très larges.

	Minimum	Maximum
Case I	968	3,692
Case II	1,085	4,441
Case III	1 888	4,837
Case IV	2,470	5,167

¹ HANAMANN, *Journal für Landwirtschaft*, 1876

Ces différences, qui vont pour les cases I et II du simple presque au quadruple, pour les autres, du simple au delà du double, ne peuvent être produites que par ceux des facteurs de l'expérience qui, seuls, ont varié d'une année à l'autre. Ce sont les conditions météorologiques.

Nous tâcherons de préciser la part qui revient dans les écarts observés à chacun des grands facteurs de la production végétale : l'eau, la chaleur et la lumière.

Remarquons tout d'abord que tous les physiiciens et physiologistes, depuis Boussingault jusqu'à M. Marié Davy, à qui nous devons les belles études récentes sur cette question, sont d'accord qu'il faut à la betterave, pour son développement normal, un minimum de 2,200 à 2,400 degrés de chaleur. En comparant, d'après nos procès-verbaux d'essais, les rendements obtenus avec la hauteur de pluie, les degrés de chaleur, etc., on constate : 1° que tous les ans nos plantes ont reçu au delà du minimum de chaleur exigé; 2° que le maximum de la substance organique produite ne concorde pas avec le maximum de chaleur, mais bien avec celui de l'eau tombée.

En effet, les rendements maxima ont été obtenus dans les quatre cases en 1878 et 1882, années qui nous ont fourni les maxima de pluie. En comparant ainsi de suite nos résultats, année par année, on remarque qu'il existe entre les récoltes et l'eau tombée une concordance plus grande qu'entre les récoltes et les degrés de chaleur. Les exceptions ne manquent pas; elles doivent du reste se produire puisque l'influence que l'eau exerce ne dépend pas seulement de la hauteur totale de la couche aquifère, mais d'une répartition plus ou moins favorable sur toute la durée de la végétation. Mais en embrassant l'ensemble de l'expérience décennale et en fixant son attention sur le parallélisme plus ou moins grand existant entre les différents facteurs mis en comparaison, on arrive nécessairement à cette conclusion que la production de la substance organique à l'état de betterave; le minimum de la chaleur nécessaire à la végéta-

tion étant fourni, est plus en rapport avec la hauteur de pluie qu'avec l'excès de chaleur.

Nous avons démontré plus haut que, pour une variété donnée et pour chacune des cases, la production de la partie foliacée est en rapport constant avec le poids de la souche. Aussi les diagrammes représentant le poids des feuilles montrent-ils de leur côté plus de concordance avec ceux de la pluie qu'avec ceux de la chaleur.

Le résultat le plus intéressant de cette partie de nos essais a rapport à l'élaboration saccharine. En dressant un diagramme exprimant les taux du sucre emmagasiné dans les souches, et en le comparant avec ceux figurant les facteurs météorologiques, on est frappé de la concordance beaucoup plus grande que l'on constate entre la formation du sucre et l'intensité de l'éclairage qu'entre la richesse saccharine et la chaleur, et cela pour toutes les cases.

Malgré la déféctuosité inhérente à la détermination de la quantité de lumière, le parallélisme des diagrammes de la planche II est très remarquable, tout particulièrement dans les cases I et II. L'année 1882 est surtout digne de remarque. Malgré la quantité élevée de 2,829° de chaleur, somme qui ne diffère que de quelques degrés du maximum observé pendant dix ans, avec une température moyenne de 14°58 C. par jour de végétation, le taux de sucre est dans la première case au minimum et s'en rapproche dans les trois autres. Et c'est l'année 1882 qui nous a fourni le minimum d'éclairage, savoir 2,7.

D'autre part, la plus forte richesse saccharine dans les quatre cases a été constatée en 1886, année dont l'intensité de l'éclairage monta au maximum de 3,9.

Le relevé suivant vient encore à l'appui de ce que nous avançons en classant les années de 1877 à 1886 en années « à éclairage relativement fort » (au delà de 3,5) et en années « à éclairage relativement faible » (au-dessous de 3,2), et en comparant les richesses saccharines moyennes des souches correspondant à ces diverses années.

Années à éclairage relativement fort

	Intensité de l'éclairage.	Richesse saccharine moyenne
1877	3.7	13.27
1878	3.6	12.02
1880	3.6	12.23
1881	3.8	12.95
1884	3.8	12.87
1886	3.9	14.79

Années à éclairage relativement faible.

	Intensité de l'éclairage.	Richesse saccharine moyenne.
1879	3.2	10.12
1882	2.7	10.54
1883	3.2	11.59
1885	3.2	11.79

Nous sommes bien loin d'obtenir la même concordance entre les degrés de chaleur et la richesse saccharine que celle que nous renseigne nettement le tableau précédent entre l'intensité de l'éclairage et le sucre produit.

Considérons comme « relativement chaudes » les années qui ont fourni à la végétation de la betterave une somme de chaleur supérieure à 2,607° (moyenne de 10 ans) et comme « relativement froides » celles où cette somme n'a pas été atteinte et mettons en regard, comme nous l'avons fait précédemment, la richesse saccharine moyenne.

Années relativement chaudes

	Degrés de chaleur	Richesse saccharine moyenne.
1880	2,875°	12.23
1881	2,699	12.95
1882	2,829	10.54
1884	2,706	12.87
1886	2,745	14.79

Années relativement froides.

	Degrés de chaleur	Richesse saccharine moyenne.
1877	2,594 ^o	13 27
1878	2,514	12 02
1879	2,321	10 42
1883	2,492	11 59
1885	2,292	11 79

Il est regrettable que M. Briem, dans ses laborieuses études sur les relations de la betterave avec les phénomènes météorologiques ¹, ait complètement fait abstraction du facteur « lumière ». Il y a d'autant plus lieu de s'en étonner, que c'est à lui que l'on doit la première constatation de ce fait que les betteraves poussées à l'ombre d'arbres renferment moins de saccharose que celles qui ont végété en plein champ. Cela aurait certainement empêché cet habile observateur de conclure à la prédominance de l'influence « chaleur » dans la formation du sucre. D'autres expérimentateurs, ne se préoccupant de l'état du ciel que pour une période relativement courte avant l'analyse de la souche, n'ont pu arriver à des conclusions dont on puisse tenir compte. Les observations relatives à l'intensité de l'éclairage doivent nécessairement être commencées dès la formation des premières feuilles, car on sait par les recherches de Péligot, maintes fois confirmées depuis, que la jeune betterave de l'âge de quelques jours seulement et ne pesant que quelques décigrammes, renferme déjà 5 % de saccharose.

Mais les résultats de nos expériences sont absolument d'accord avec ceux auxquels est arrivé M. Aimé Girard.

Depuis que Péligot, il y a un demi-siècle, et longtemps après lui M. Mehay et M. Sotsman ont démontré dans les feuilles de betteraves la présence de sucre cristallisable, les physiologistes ont commencé à reconnaître le rôle capital qui, sous l'influence de la lumière, revient aux feuilles dans la formation du

¹ BRIEM, *Biedermann's Centralblatt*, 1880.

saccharosé. Toutefois, malgré les nombreuses études entreprises depuis cette date, les opinions sur le mécanisme de cette formation étaient si peu d'accord qu'on a pu voir s'engager au sein de l'Académie de Paris, quarante ans après la découverte de Péligot, une longue discussion entre Cl. Bernard, Duchartre, Pasteur, Boussingault et Berthelot. Ce n'est que dix ans plus tard que M. Aimé Girard ¹, dans un travail remarquable, avança considérablement la solution de la question en démontrant par l'expérience directe ² la formation diurne du saccharose dans les limbes et la migration consécutive de ce saccharose vers la souche où il s'emmagasine.

Les résultats de nos essais, commencés huit années avant les recherches de M. Girard ³ et continués encore un an après

¹ *Compte rendu de l'Académie des sciences*, t. XCVII.

² Les preuves indirectes de l'influence de la lumière solaire sur la richesse saccharine des souches sont nombreuses :

PAGNOUL, *Culture de betteraves sous châssis et en plein champ* (ANNALES AGRONOMIQUES, 1879).

BRIEM, *Biedermann's Centralblatt*, 1881. — LACH, *Biedermann's Centralblatt*, 1885 — CHEVRON, BULLEIN DE L'AGRICULTURE, 1886, *Richesse comparative de betteraves poussées à l'ombre de platanes et d'ormes et en plein champ*

MAREK, *Influence de l'orientation des semis sur la richesse des betteraves* (ZEITSCHRIFT FÜR RÜBENZUCKER-INDUSTRIE, 1886).

Il convient également de citer ici toutes les recherches de Schacht, Nobbe, Corenwinder, Duchartre, Déhérain, Breitenlohner, Champion et Pellet, Durin, etc., desquelles résulte l'influence fâcheuse de l'effeuillage des betteraves sur leur richesse saccharine. Le producteur de betteraves sait aussi que les variétés les plus riches sont celles dont le feuillage est plus ou moins étalé sur le sol au lieu d'être relevé vers l'axe longitudinal de la betterave. L'éclairage des feuilles est évidemment plus intense dans le premier cas que dans le second (Durin).

³ Les expériences de M. Aimé Girard tendent à renverser l'opinion généralement admise et basée sur les travaux de M. F. SACHS (*Pringsheim's Jahrbücher*, 3) et de M. DE VRIES (*Landwirthschaftliche Jahrbücher*, 1879) d'après lesquels le mécanisme de la saccharogénie est le suivant : formation diurne de l'amidon dans les feuilles, transformation de l'amidon en glucose, écoulement nocturne de celle-ci dans la souche et transformation finale de la glucose en saccharose.

sa première publication, conduisent aux mêmes conclusions quant à la démonstration de l'intervention de la lumière dans la saccharogénie de la betterave. Nos essais augmentent même considérablement la portée de ces conclusions, car nous croyons avoir démontré le fait suivant : pour une variété donnée, toutes conditions égales et le minimum de calorique nécessaire à la végétation normale étant fourni, le quantum de sucre contenu dans la souche au moment de la récolte est en raison directe de l'intensité de l'éclairage qui a régné pendant toute la durée de la végétation.

En examinant l'ensemble de la composition de nos plantes d'essais de 1885 et de 1886 soumises à l'analyse complète, on constate que le taux des éléments constitutifs, rapportés à la matière sèche, varie entre des limites très écartées, quoique nous nous trouvions en présence d'une même variété de l'espèce betterave, mais produite dans des années différentes et sous un régime alimentaire varié. Voici, en effet, les minima et maxima constatés dans la matière sèche.

	Minimum	Maximum
Matières albuminoïdes	4.06	8.01
Matières grasses	0.29	0.39
Saccharose	67.14	75.39
Matières extractives	7.67	19.63
Cellulose	5.06	6.81
Matières minérales	2.57	6.19

Le taux des matières minérales, de l'albumine brute et de la graisse brute varie du simple au double, celui du saccharose et de la cellulose beaucoup moins. Les matières extractives non sucre montrent une proportion très variable.

La cellulose de nos analyses représentant la somme totale des parois de toutes les cellules constituant les tissus des souches, et le taux de cette cellulose étant peu variable, on doit admettre que, quelles que soient les influences extérieures qui agissent sur le développement et la composition de la betterave, la charpente cellulaire de celle-ci n'éprouve, pour une

variété donnée, que peu de changement quant à sa quantité. C'est la composition du suc cellulaire remplissant cette charpente, composition constatée au moment de la maturité, qui est surtout variable et tout particulièrement le taux de ce suc en matières minérales et azotées.

Quant aux divers principes immédiats carbonés, divers corps qui les composent se rencontrent également dans une proportion très variable; mais, fait intéressant, leur somme totale est, tout en présentant certains écarts, presque la même dans les diverses cases; la concordance pour l'année 1886 est même grande.

Somme totale des principes immédiats carbonés contenus dans la matière sèche des souches.

	I	II	III	IV
1885	83.81	83.63	78.79	80.39
1886	86.53	87.02	87.87	87.03

Il y a donc, quel que soit le régime alimentaire, production à peu près égale d'hydrates de carbone, dont plus ou moins de saccharose suivant l'intensité de l'éclairage.

Passons aux matières azotées. Depuis que l'on a reconnu que les combinaisons organiques azotées des plantes ne sont que partiellement composées de matières albuminoïdes proprement dites et que le taux des corps amidés (asparagine, acide aspartique, acide glutamique, glycoColle, leucine et tyrosine) de glucosides azotés (amygdaline), d'alcaloïdes (betailne) et de peptones rencontrés dans l'organisme végétal est beaucoup plus considérable qu'on ne l'avait pensé d'abord¹, l'analyse

¹ Nous citons à titre d'exemple que M. KEILNER a constaté que les graminées de prairie renferment sur 100 parties d'azote organique total, 22 à 35 d'azote non albuminoïde.

Lors d'une étude que nous avons entreprise sur la composition du topinambour (*Bulletin de la station agronomique*, n° 36, août 1886), nous avons démontré que sur 100 parties d'azote contenues dans ce tubercule, 59.1 seulement se trouvent à l'état albuminoïde, soit donc 40.9 à l'état d'amides.

quantitative appliquée à la physiologie végétale a dû considérablement modifier ses procédés. Le dosage total a dû être complété par la séparation des corps non albuminoïdes d'après la méthode de M. Stutzer.

C'est ce que nous avons fait également pour les plantes d'essais de 1886 en obtenant les résultats suivants.

La matière sèche des souches renferme :

		I	II	III	IV
Azote total	pour cent.	0.733	0.767	0.649	0.758
Azote albuminoïde	—	0.394	0.474	0.364	0.443
Azote des corps amidés	—	0.342	0.293	0.288	0.315

On reconnaît également que pour la betterave à sucre la proportion des corps azotés non albuminoïdes est très élevée. Sur 100 parties d'azote total, il y a en effet :

	I	II	III	IV
Azote albuminoïde	53.3	63.4	55.6	38.4
Azote non albuminoïde	46.7	36.9	44.4	41.6

Le régime alimentaire différent sous lequel végétaient nos plantes d'essais n'a pas influencé sensiblement la proportion relative des différentes combinaisons azotées, tout comme nous ne pouvons pas conclure à une augmentation du titre pour cent d'azote total sous l'influence des engrais azotés. Il est vrai qu'en 1885 les cases « sans azote » ont produit des betteraves titrant en matière sèche 0.820 et 0.884 et les cases « avec azote » 1.281 et 1,218 % d'azote total ; mais cette différence ne se renouvelle pas en 1886. Nous nous abstenons, par conséquent, de conclure sous ce rapport.

Il s'agit, bien entendu, de la composition centésimale, car la restitution de l'azote, comme nous l'avons reconnu plus haut, a provoqué une forte augmentation de la substance organique, par conséquent une augmentation de la quantité totale de l'azote contenu dans la récolte des cases III et IV.

En comparant la moyenne du saccharose des cases « sans azote » et celle des cases « avec azote » on constate, sous l'influence de l'application du nitrate de soude, une légère dépression de l'élaboration saccharine.

1885.

	I. II	III. IV
	Sans azote.	Avec azote
Richesse saccharine moyenne de la matière sèche	72.51	68.93

1886.

	I II	III. IV
	Sans azote.	Avec azote
Richesse saccharine moyenne de la matière sèche	69.78	67.85

Nos connaissances sur la fonction spéciale que remplit dans la nutrition végétale chacun des principaux éléments nutritifs ne sont pas assez avancées pour fournir une explication qui soit plus qu'une hypothèse. Cependant, en rapprochant ce fait de l'observation que nous avons constatée sur la maturation, — nous avons dit, en effet, que dans les plantes à azote la disparition de la chlorophylle était retardée, — on pourrait admettre que l'azote nitrique retarde également l'écoulement¹, si bien démontré par M. Aimé Girard, du saccharose par les vaisseaux des feuilles vers le tissu vasculaire.

La diminution du titre pour cent en sucre due à l'azote est plus que compensée par l'action énergique de ce principe fertilisant sur le poids de la récolte. Il en résulte que la production totale du sucre par case va en augmentant de I à IV.

¹ M. STROHMER (*Oest-Ung. Zeitschrift für Zuckerindustrie*, 1889) vient de démontrer que le nitrate de soude absorbé par la betterave s'accumule principalement dans les feuilles.

Poids total en grammes de sucre produit par case.

	I	II	III	IV
	Rien	Matière minérale	Azote	Matière minérale et azote
	—	—	—	—
1876. Année préliminaire	243	248	246	239
1877	223	240	454	512
1878	480	458	522	722
1879	99	403	202	249
1880	173	244	225	456
1881	233	282	326	490
1882	277	323	411	581
1883	266	349	358	564
1884	214	323	384	506
1885	190	244	242	309
1886	357	462	515	552
Total pour dix ans	2,511	3,030	3,639	4,938
Moyenne	251	303	364	494

Nous avons, dans les précédentes considérations sur la composition de la betterave, rapporté les résultats de nos analyses à la matière sèche, afin de les rendre comparables entre eux. Arrêtons-nous un instant à la proportion d'eau constatée au moment de la récolte. Nous avons déjà démontré, en 1874¹, que la quantité d'eau contenue dans la souche de la betterave constitue un caractère de la variété et qu'elle dépend, pour une même variété, de l'écartement des plantes.

D'après nos essais et analyses de 1885 et 1886, les autres conditions étant égales, la quantité d'eau n'est pas influencée par le régime alimentaire. Nous voyons en effet que nos analyses renseignent des écarts peu sensibles du titre en eau, et aucune influence particulière ne peut être attribuée à telle ou telle matière fertilisante appliquée à la dose raisonnable exigée

¹ *Recherches de chimie, etc.*, 2^e édit., pp. 284 et 282

par la simple restitution des principes nutritifs enlevés par la récolte précédente

	Minimum.	Maximum.
1885	81.72	84.56 % d'eau
1886	78.39	79.35 —

En additionnant pour chaque groupe des quatre lots de betteraves dont nous avons fait l'analyse complète, l'eau et le sucre, on constate que cette somme fournit un chiffre sensiblement le même, savoir :

	1885.			
	I.	II.	III.	IV.
Eau + sucre	94.45	93.82	94.94	93.34
	1886.			
	I.	II.	III.	IV.
Eau + sucre	93.53	93.84	93.25	92.90

Ce fait a déjà été constaté par nous dans plusieurs recherches. Il a été confirmé par le travail déjà cité de M. Aimé Girard et par M. Grassmann¹ qui ont constaté en outre que ce fait est vrai, non seulement au moment de la maturité, mais même pendant toute la durée de la végétation d'une variété donnée. L'eau et le sucre se remplacent donc mutuellement.

Nous passons maintenant à la discussion des chiffres ayant rapport à la matière minérale. C'est une chose parfaitement connue que la composition centésimale des cendres végétales varie considérablement avec la composition du milieu où végètent les plantes. Nous le constatons à nouveau pour les analyses des cendres de nos betteraves. Mais quelque considérable que soit la variation de la composition centésimale des cendres, elle influe d'une manière peu appréciable sur celle de la betterave, la somme des matières minérales n'entrant que

¹ *Zeitschrift*, mais 1887.

pour une faible part dans le poids total du végétal. Sauf pour quelques principes nutritifs d'importance secondaire, les différences s'effacent pour ainsi dire complètement. Il suffit de consulter, pour s'en convaincre, les tableaux de la page 26 donnant la composition immédiate des souches. Quelques particularités intéressantes se font cependant remarquer.

En distinguant d'abord les plantes « avec azote » et celles « sans azote », on constate que l'application du nitrate de soude a fait monter régulièrement l'assimilation de la soude.

	1885.	1886
Richesse moyenne en soude des betteraves sans nitrate	0 30	0 26 ‰
— — — — — avec nitrate.	1 12	0 31

Cette augmentation de la richesse en soude n'a pas déprécié l'assimilation de la potasse du sol ni celle de l'engrais. C'est une nouvelle preuve contre la prétendue faculté des alcalis de pouvoir se remplacer réciproquement dans leurs fonctions physiologiques ¹.

Les betteraves des cases II et IV, fumées au chlorure de potassium, sont plus riches en potasse que celles qui n'en ont pas reçu.

	1885.	1886
Richesse moyenne en potasse des betteraves sans chlorure de potassium	3 19	4 94 ‰
Richesse moyenne en potasse des betteraves avec chlorure de potassium.	3 49	2 43

¹ Les essais de nutrition végétale faits dans des solutions ont du reste prouvé le peu de fondement de cette théorie. Nous citons, à titre d'exemple, que lors d'une étude exécutée par nous en 1874 sur le rôle de la potasse dans la nutrition du lin, nous n'avons jamais réussi à élever cette plante dans une solution nutritive composée par litre de : 0^{gr}.0585 de chlorure de sodium; 0^{gr}.2666 de phosphate de soude; 0^{gr}.0300 de sulfate de magnésie et 0^{gr}.8200 de nitrate de chaux.

Dans une solution renfermant, outre les éléments nutritifs précités, 0^{gr}.3480 de sulfate de potassium, le lin a parcouru normalement toutes les phases de sa végétation, en donnant des graines parfaitement constituées et aptes à germer.

Chaque application de chlorure de potassium est suivie par une augmentation du titre en chlore de la betterave. C'est, du reste, un fait connu ; il peut même se produire avec une intensité telle que l'élaboration saccharine s'en ressent.

	1885	1886
Richesse moyenne en chlore des betteraves sans chlorure de potassium	0.13	0.025 %
Richesse moyenne en chlore des betteraves avec chlorure de potassium	0.53	0.08

L'application d'engrais phosphatés n'a pas modifié la richesse en acide phosphorique des betteraves, même lorsque l'on compare les cases I et III qui, pendant dix ans, n'ont pas reçu de fumure phosphatée, avec II et IV où la restitution a été appliquée régulièrement.

Quant à l'état chimique sous lequel l'acide phosphorique a été absorbé, nos essais ne confirment pas l'opinion émise par Corenwinder, qui admet que l'acide phosphorique et la magnésie entrent dans la cellule végétale comme phosphate ammoniaco-magnésien, ces deux corps se trouvant, d'après lui, dans la proportion de $2\text{MgO} : \text{Ph}^2\text{O}_3$.

Ce que nous venons de constater pour l'acide phosphorique est vrai aussi pour les bases alcalino-terreuses.

Les quantités de certains éléments minéraux, phosphore, calcium, magnésium, se trouvant pour une année donnée à peu près dans les mêmes proportions dans les betteraves de la case non fumée que dans celles des autres cases, il en résulte que ce végétal absorbe ces éléments dans une certaine proportion plus ou moins fixe, quelle qu'en soit la quantité mise à sa disposition dans le sol qui l'a produit.

Et, chose remarquable, les éléments pour lesquels nous avons constaté cette particularité sont précisément ceux dont les combinaisons (phosphate, carbonate ¹) traversent difficile-

¹ Les recherches de M. LEPLAY (*Compte rendu de l'Académie de Paris*, t. LI et LIII) tendent à démontrer que pendant toute la durée de sa végétation la betterave absorbe de la chaux à l'état de carbonate

ment les membranes ou plutôt, comme il convient de dire d'après M. Nägeli et M. de Vries ¹, la couche protoplasmique qui tapisse l'intérieur des membranes cellulaires, tandis que c'est le contraire pour le chlore, le potassium et le sodium dont nous avons vu monter la proportion sous l'influence des engrais

Nous nous sommes occupé jusqu'à présent des matières minérales en comparant, pour *la même année*, les cases soumises à un régime nutritif varié. Examinons aussi les différences qui se constatent *d'une année à l'autre*

Sous ce rapport, on est surtout frappé du fait que la diminution du titre total en acides cadre avec une diminution des alcalis et avec une augmentation de la chaux et de la magnésie.

Le relevé suivant fait voir cette relation :

	MOYENNES.	
	1885.	1886.
Somme des acides	2.00	1.11 ‰
— des alcalis	4.23	2.47
Chaux	0.30	0.76
Magnésie	0.40	0.32

On peut en conclure que les alcalis sont absorbés non seulement à l'état de chlorures, mais aussi de sulfate, silicate, etc ; la chaux et la magnésie à l'état de carbonate.

Nous nous abstenons, quelque séduisant que cela puisse être, d'examiner les relations entre le taux de tel ou tel élément minéral et celui de tel ou tel principe organique, déterminées par l'analyse.

L'étude du rôle spécifique que joue sous ce rapport chacun des constituants des cendres n'était du reste pas dans le programme de nos recherches.

Les végétaux faisant souvent, à raison de l'influence du milieu, une consommation luxueuse de certains éléments

¹ *Sur la perméabilité du protoplasme des betteraves rouges* (ARCHIVES NÉERLANDAISES, t. VI, p. 117)

minéraux, ainsi que nous l'avons constaté dans ce travail pour le chlore, la soude et la potasse, la comparaison entre le taux de tel ou tel élément minéral et celui de tel ou tel principe organique, rencontrés au moment de la maturation, ne peut pas nous préoccuper.

Pour déterminer avec précision la part qui revient à chacune des matières minérales dans l'élaboration des principes immédiats, on ne peut pas se borner à établir la composition du végétal, il faut produire celui-ci dans un milieu stérile (eau distillée, sable stérile) avec le concours mesuré et progressif des solutions nutritives ¹. En un mot, l'analyse *a posteriori* doit être remplacée par la synthèse.

¹ C'est ainsi que M. NOBBE (*Die landwirthschaftlichen Versuchstationen*, Bd. XVIII, 1875) a pu démontrer que, sans le concours du potassium, les grains chlorophylliques sont incapables de former l'amidon, et que nous avons reconnu lors de recherches faites avec KOHLRAUSCH (*Organ des Vereins für Rübenzucker-Industrie*, 1872) que dans un sol artificiel et stérile, l'énergie de l'élaboration saccharine augmente dans la proportion de la potasse ajoutée à l'état de phosphate ou de carbonate. — Recherches continuées et confirmées par M. STROHMER (*Oest.-Ung. Zeitschrift für Zuckerindustrie*, 1889).

CHAPITRE V.

CONCLUSIONS.

1° L'application d'un engrais chimique composé de nitrate de soude, de chlorure de potassium et de superphosphate de chaux à la dose qu'exige la simple restitution des principes fertilisants enlevés par la récolte précédente, peut retarder la germination des graines de 0 à 3 jours suivant le degré d'humidité que présente le sol. Deux causes contribuent à produire ce phénomène; d'une part, l'acide phosphorique libre et les sels alcalins agissent comme antiseptique sur les ferments qui provoquent la germination et, d'autre part, l'engrais chimique, très hygroscopique et s'emparant avec avidité de l'eau du sol pour se dissoudre, soustrait une partie de l'humidité dont la graine a besoin pour ramollir son péricarpe et liquéfier son endosperme.

2° Le développement morphologique de la betterave se modifie sous l'influence du milieu, c'est-à-dire sous un régime nutritif différent. Le pivot d'une betterave, affamée d'azote, s'allonge considérablement dans la profondeur du sol à la recherche de cet important élément nutritif tandis qu'elle conserve son « habitus » normal là où elle trouve un milieu capable de suffire à ses besoins. L'application de l'azote provoque un développement particulièrement abondant de l'appareil foliacé.

Le rapport existant entre la partie souterraine et la partie hors terre de la betterave est un caractère de la variété se transmettant par hérédité. Pour la variété expérimentée, « la blanche de Silésie », il a été de $\frac{1}{0,416}$ en moyenne. Ce rapport se modifie sensiblement suivant le régime nutritif et les conditions météorologiques, c'est-à-dire sous l'influence du milieu.

3° La maturation de la betterave, annoncée par la disparition de la chlorophylle dans les feuilles formant les verticilles extérieurs, est retardée par l'application de l'azote sous forme de nitrate de soude.

4° Malgré la production dans le même sol de onze récoltes successives de betteraves, on n'a jamais pu constater le nématode, même dans la case sans restitution aucune.

5° La quantité d'eau passée à travers le mètre cube de terre employée à l'expérience a été sous la dépendance, d'une part, de la hauteur d'eau de pluie, d'autre part, de la vigueur de la végétation : en raison directe de l'intensité de la première cause; en raison inverse du poids de la substance organique.

6° L'eau de drainage des cases fumées au nitrate de soude a été plus riche en azote que celle des cases fumées aux engrais minéraux seuls. Mais comme la quantité absolue d'eau recueillie dans les premières cases est sensiblement inférieure à celle fournie par les autres, la perte totale en azote, malgré le titre plus élevé en nitrate de l'eau de drainage, est, en définitive, moins grande dans les cases « avec azote » que dans celles « sans azote ».

Grâce à l'assimilation rapide de l'azote nitrique par la betterave et à l'augmentation de la production en substance organique que cette assimilation provoque, un sol fumé à l'azote en perd moins pendant la durée de la végétation que le même sol sans engrais aucun.

La plus grande production de substance organique diminue cette perte : 1° parce qu'une plus forte récolte fixe plus d'azote; 2° parce que cette plus grande production exige une consommation plus forte d'eau par évaporation et par fixation dans les tissus, d'où diminution de l'eau de drainage.

7° Dans un sol sablo-argileux, type du limon hesbayen, la restitution régulière de la matière minérale seule, de l'azote seul et de la matière minérale associée à l'azote, enlevés par la récolte précédente, a augmenté, en moyenne, pour les dix années d'expériences, la production en substance organique

respectivement de 27, 50 et 93 %, comparativement à la production obtenue sans restitution d'éléments nutritifs.

Il faut donc, à l'espèce betterave, le concours simultané de l'azote et des matières minérales fournis comme engrais, pour produire sur une surface donnée le maximum de substance organique et le maximum de sucre. Les sources naturelles d'azote sont insuffisantes pour assurer l'utilisation maxima des matières minérales restituées seules et, d'autre part, la désagrégation du sol ne rend pas assimilable assez de matières minérales pour permettre à la betterave de produire à l'aide de la restitution azotée seule, le maximum de matière organique.

8° Les grandes oscillations qu'éprouve le poids de la substance organique produite, variant d'une année à l'autre, pour la même case, du simple au quadruple, ne peuvent être causées que par ceux des facteurs de l'expérience qui ont changé : les conditions météorologiques.

9° Dans nos essais, la production de la substance organique, le minimum de la chaleur nécessaire à un développement normal étant fourni, s'est montrée plus en rapport avec la hauteur de pluie qu'avec les degrés de chaleur.

10° Toutes conditions égales et le minimum de calorique nécessaire à une végétation normale étant acquis, le quantum de sucre contenu dans la souche au moment de la récolte est en raison directe de l'intensité de l'éclairage qui a régné pendant toute la durée de la végétation.

11° Dans nos essais, la composition centésimale des cendres a varié sensiblement avec la composition du milieu et s'est modifiée d'une année à l'autre. Mais quelque considérable que soit cette variation, elle influe d'une manière peu appréciable sur la composition de la betterave, les matières minérales n'entrant que pour une faible part dans le poids total du végétal.

12° La quantité de certains éléments minéraux, acide phosphorique, chaux, magnésie, se trouvant pour une année donnée à peu près dans les mêmes proportions dans les betteraves de la case non fumée que dans celles des autres, il

en résulte que ce végétal absorbe, pour un poids donné de substance organique produite, ces éléments dans une certaine proportion plus ou moins fixe, quelle qu'en soit la quantité mise à sa disposition.

Les éléments pour lesquels nous avons constaté cette particularité sont précisément ceux dont les combinaisons (phosphate, carbonate) possèdent un faible pouvoir de diffusion, tandis que nous avons vu s'élever sous l'influence des engrais les éléments (chlore, potassium, sodium) qui traversent facilement les membranes.

13° Dans les conditions de notre expérience, l'absorption a dû s'opérer principalement pour la chaux et la magnésie à l'état de phosphate et de carbonate, pour la potasse et la soude à l'état de chlorure, de sulfate et de nitrate.

14° Comme nous l'avons démontré à l'occasion d'autres recherches, la quantité d'eau rencontrée dans la souche de la betterave constitue un caractère de la variété. Les conditions climatologiques, l'écartement des plantes lui infligent certaines variations, mais, les autres conditions égales, le régime alimentaire est sans influence sensible sur la richesse en eau.

Pour une variété donnée, la somme eau + sucre donne un chiffre à peu près fixe.

15° Le taux des principes immédiats, rapporté à la matière sèche, varie d'une année à l'autre dans des limites très écartées. L'albumine et la graisse varient du simple au double, les matières extractives montrent une proportion assez variable, la richesse en saccharose et en cellulose est plus constante.

16° De l'azote total contenu dans la souche de la betterave au moment de sa maturité, 58 % seulement appartiennent à « l'albumine pure » (albumine, caséine, etc.), 42 % aux substances azotées non albuminoïdes (amides, glucosides azotés).

17° L'application du nitrate de soude a exercé une légère dépression sur l'élaboration saccharine.

Sans pouvoir donner une explication qui soit plus qu'une hypothèse, on pourrait admettre que l'azote nitrique retarde l'écoulement du saccharose par les vaisseaux des feuilles vers

le tissu vasculaire de la souche, comme l'application de l'azote nitrique retarde la disparition de la chlorophylle

La diminution du titre en saccharose due à l'azote est compensée et au delà par l'action énergique de ce principe fertilisant sur la production en substance organique totale, et en définitive, malgré l'abaissement de la richesse centésimale, le poids de sucre produit s'est élevé.

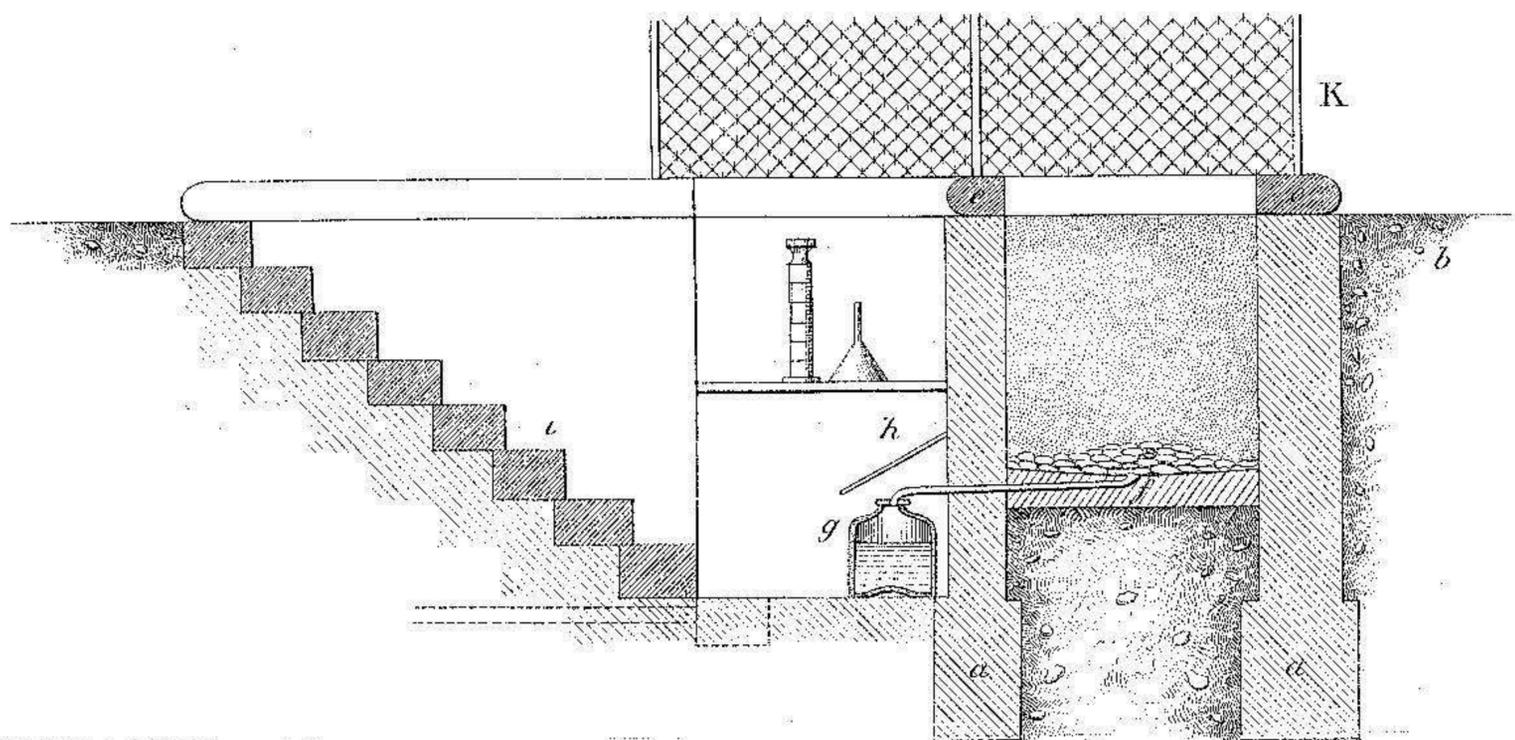
18° La somme totale des principes immédiats carbonés, tout en présentant certains écarts, a été presque la même dans les quatre cases de végétation. Il y a donc, quel que soit le régime alimentaire, production à peu près égale d'hydrates de carbone dont plus ou moins de saccharose suivant l'intensité d'éclairage.

19° La cellulose constatée dans nos analyses, représentant la somme totale des parois cellulaires des tissus de la souche et le taux de cette cellulose ayant été reconnu peu variable, on doit admettre que, quelles que soient les influences extérieures qui agissent sur le développement et la composition de la betterave, le poids de la charpente cellulaire n'éprouve, pour une variété donnée, que peu de changement. Par contre, la proportion des divers principes ternaires et quaternaires et des principes minéraux dissous dans le suc cellulaire qui remplit cette charpente, varie sensiblement d'année en année et sous l'influence du milieu qui a produit la betterave

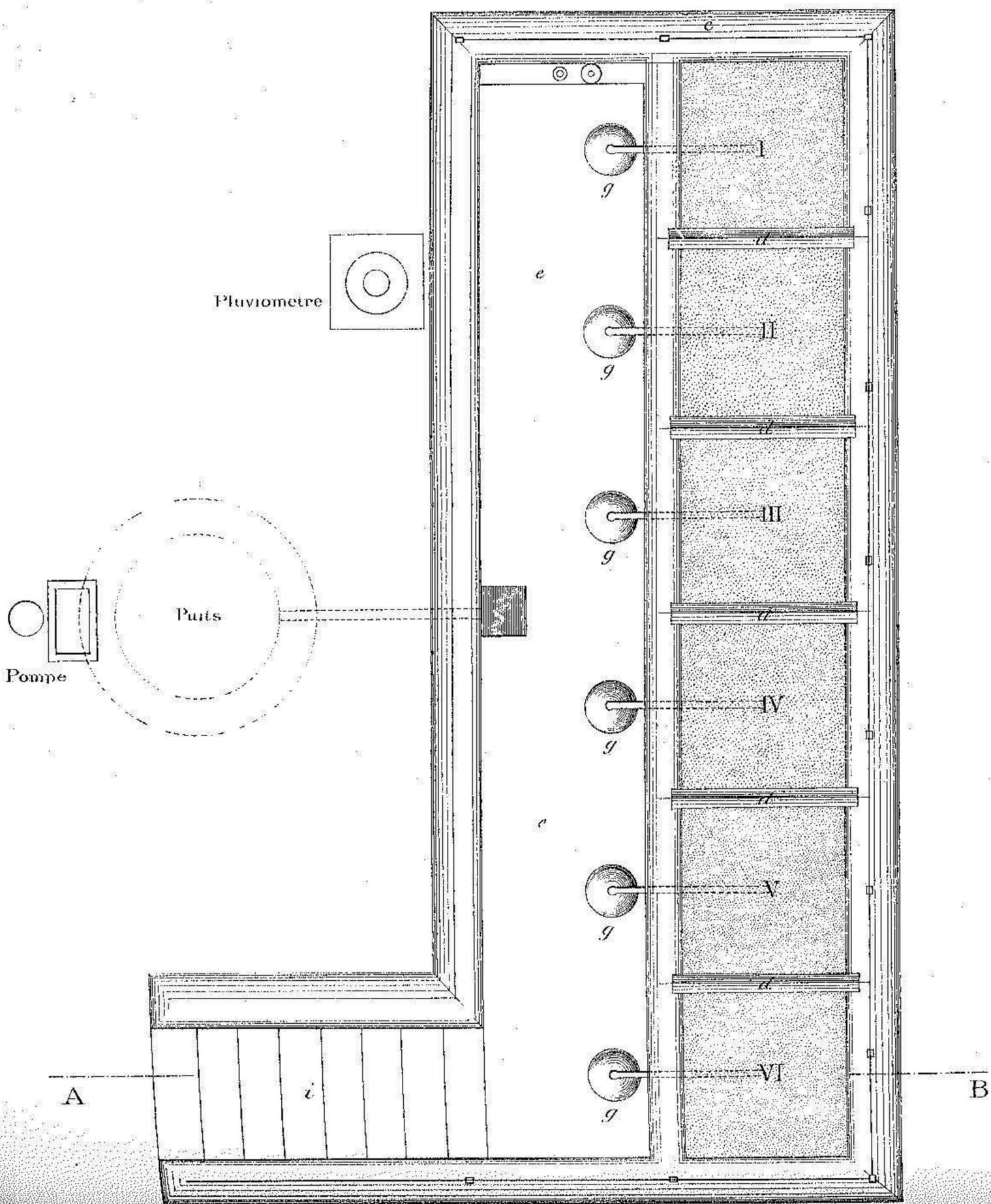


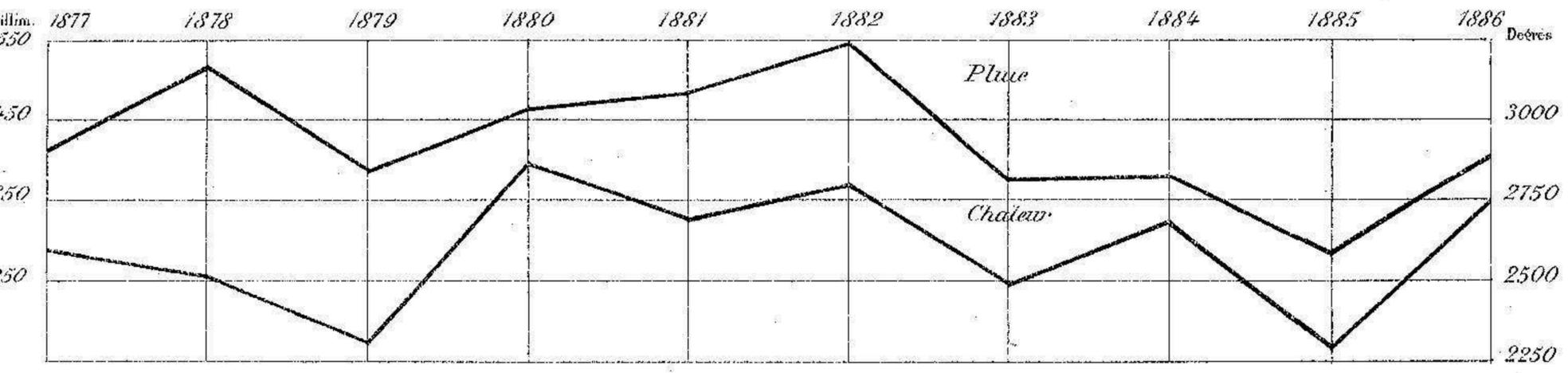


Cases de végétation

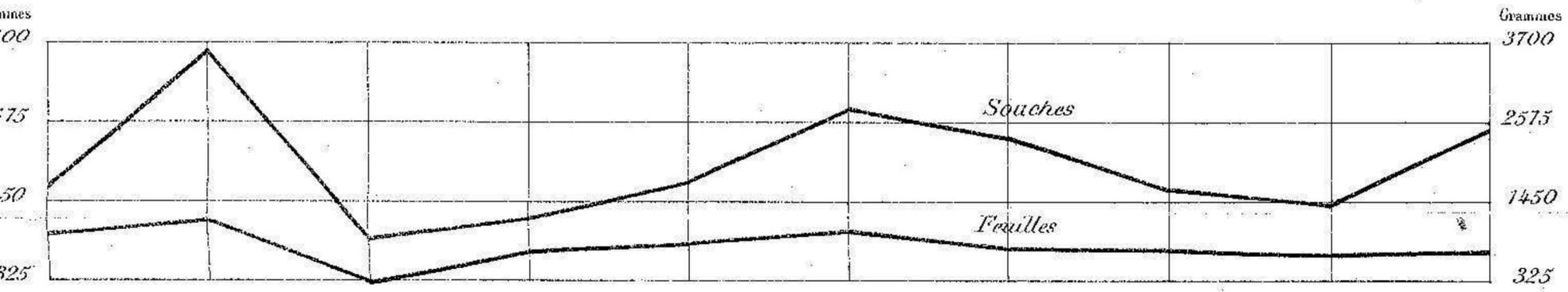


Coupe suivant A B

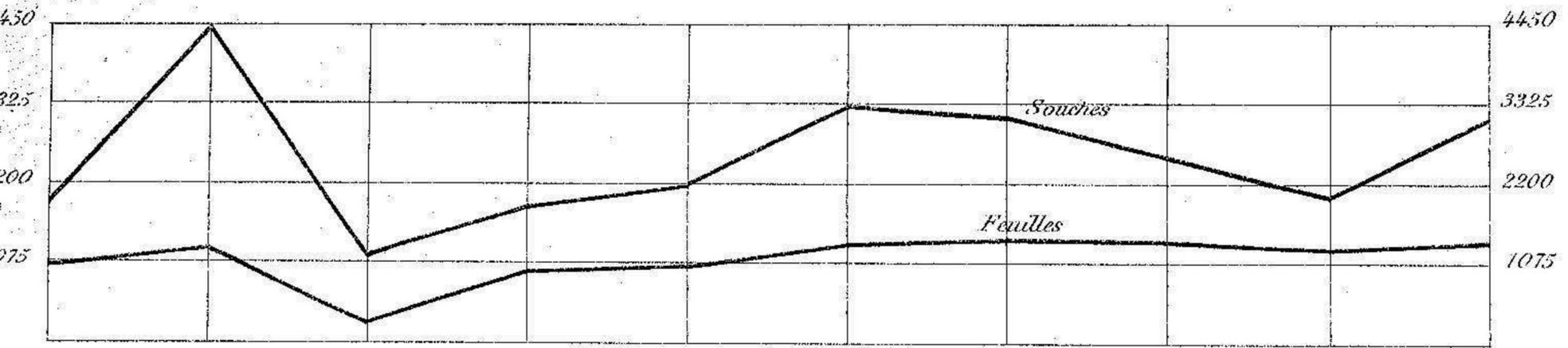




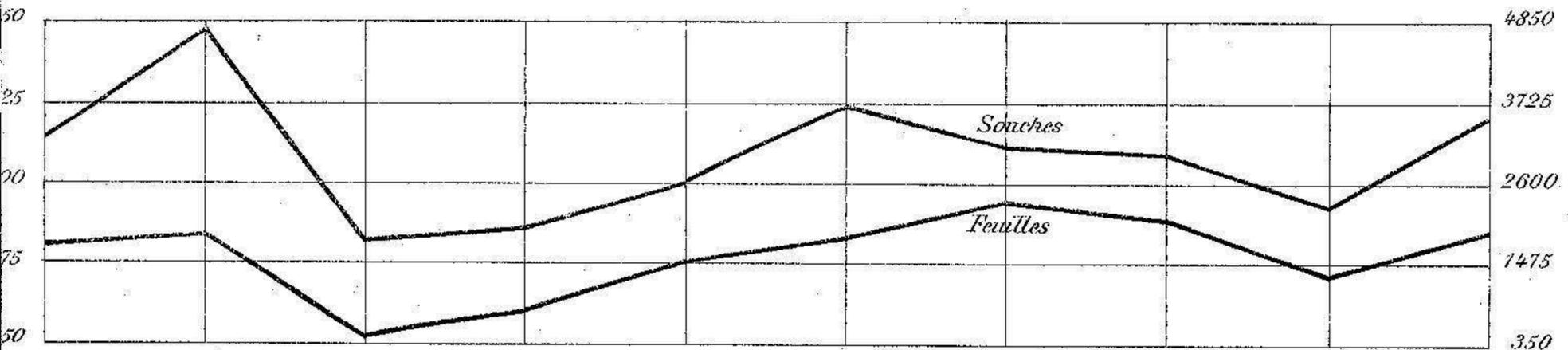
Case I. Rien



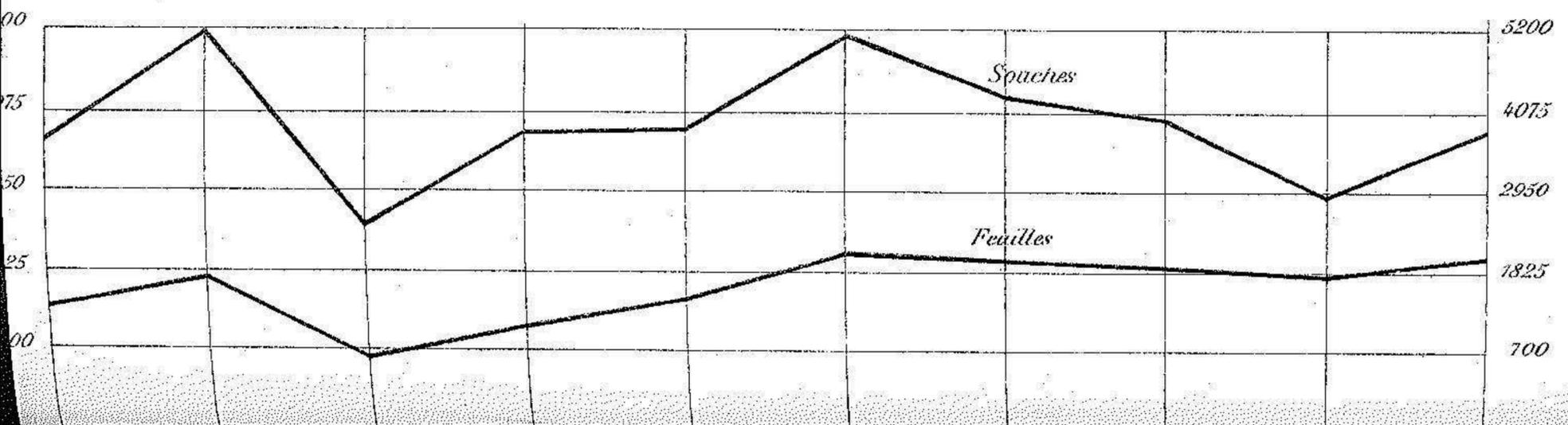
Case II. Matière minérale

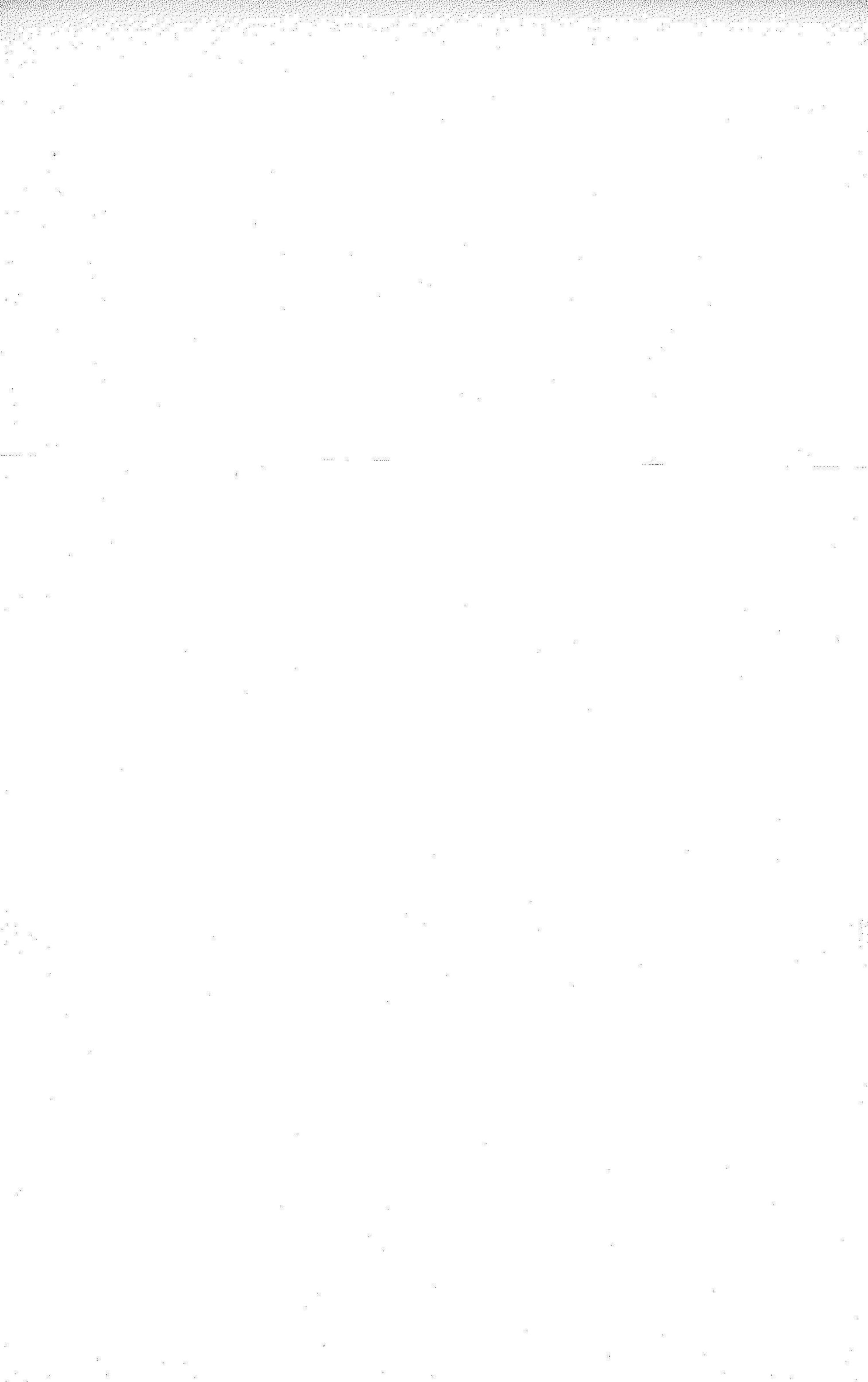


Case III. Azote

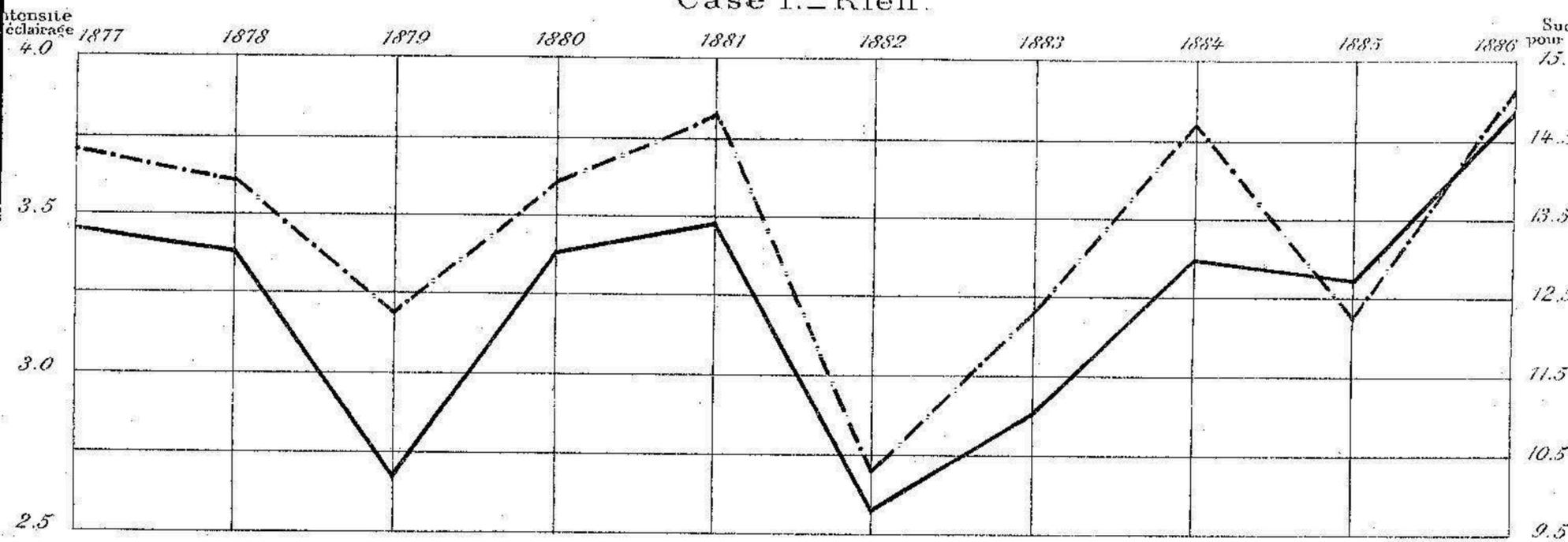


Case IV. Azote et matière minérale

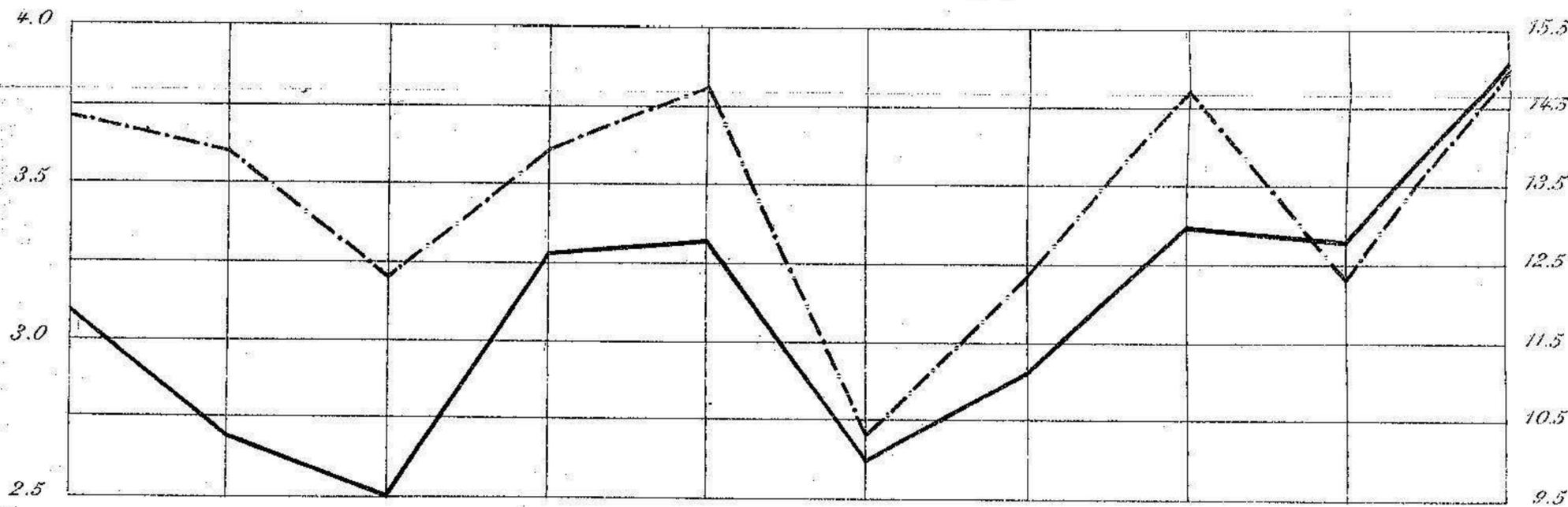




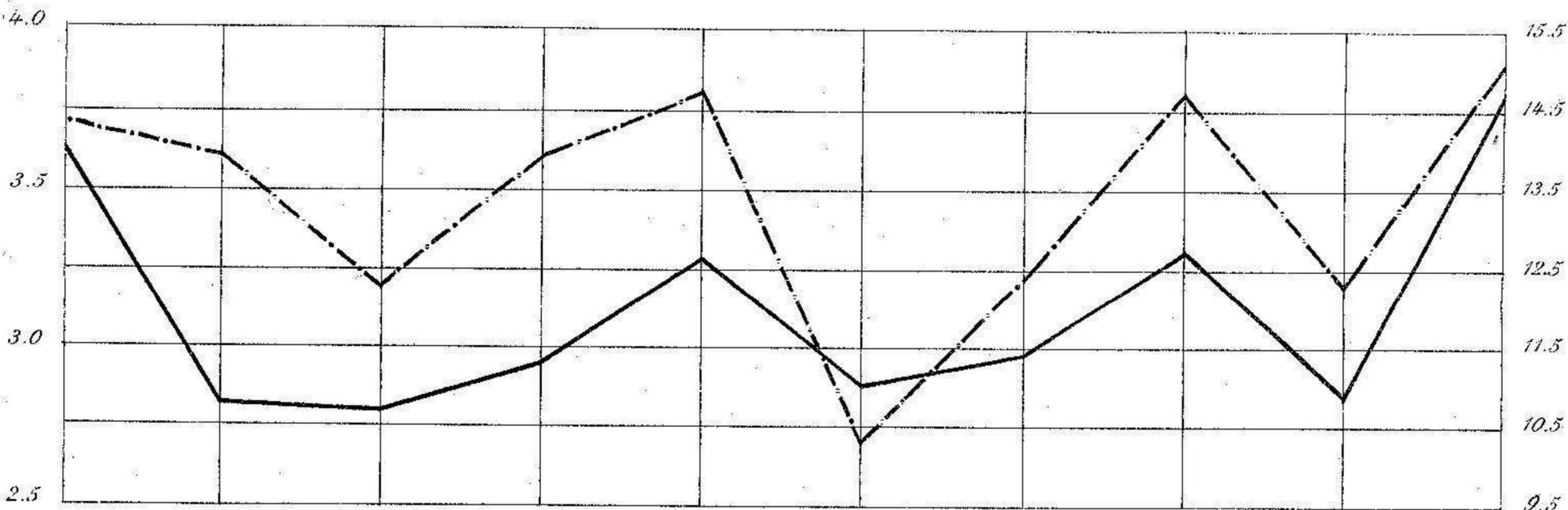
Case I. - Rien.



Case II. - Matière minérale



Case III. - Azote



Case IV. - Azote et matière minérale

