

BIBLIOTHÈQUE DES PROFESSIONS INDUSTRIELLES ET AGRICOLES

Série II. N° 55.

MANUEL
DU
CHIMISTE-AGRICULTEUR

PAR

A.-F. POURIAU

DOCTEUR ÈS SCIENCES

Ancien-élève de l'École centrale,
Sous-directeur et professeur à l'École impériale d'agriculture de Grignon,
Associé correspondant de la Société impériale et centrale d'agriculture de France,
Membre correspondant des Sociétés d'agriculture
de l'Ain, de Besançon, de Genève, etc.,
Officier de l'ordre du Medjidié.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

Eugène LACROIX, Éditeur

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

54, rue des Saints-Pères

16 JANV 1952
3405

N° B13 403971/192176

MANUEL

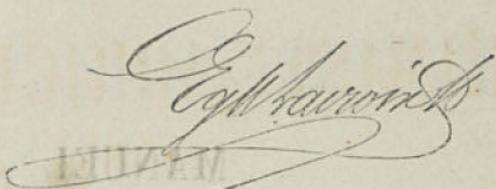
DU

CHIMISTE-AGRICULTEUR

L'auteur et l'éditeur se réservent le droit de traduire ou de faire traduire cet ouvrage en toutes langues. Ils poursuivront conformément à la loi et en vertu des traités internationaux toute contrefaçon ou traduction faite au mépris de leurs droits.

Le dépôt légal de cet ouvrage a été fait à Paris en temps utile et toutes les formalités prescrites par les traités sont remplies dans les divers États avec lesquels il existe des conventions littéraires.

Tout exemplaire du présent ouvrage qui ne porterait pas, comme ci-dessous, la signature de l'Éditeur, sera réputé contrefait, et les fabricants et débitants de ces exemplaires seront poursuivis conformément à la loi.



CHIMISTE-AGRICULTEUR

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR.

Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture.

Chimie inorganique..... 1 vol.

Chimie organique..... 1 vol.

Études chimiques, géologiques et agronomiques des sols de la Bresse et particulièrement de ceux de la Dombes..... 1 vol.

Météorologie agricole. — Comparaison de la marche de la température dans l'air et dans le sol à diverses profondeurs (deux Mémoires).

Climatologie de la Saulsaie (Ain).

Fabrication du fromage de Hollande.

— — façon Mont-d'Or.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Ce, rue des Poitevins, 6.

BIBLIOTHÈQUE DES PROFESSIONS INDUSTRIELLES ET AGRICOLES

Série H. N° 55.

MANUEL

DU

CHIMISTE-AGRICULTEUR

PAR

A.-F. POURIAU

DOCTEUR ÈS SCIENCES

Ancien élève de l'École centrale,
Sous-directeur et professeur à l'École impériale d'agriculture de Grignon,
Associé-correspondant de la Société impériale et centrale d'agriculture de France,
Membre correspondant des Sociétés d'agriculture
de l'Ain, de Besançon, de Genève, etc.,
Officier de l'ordre du Medjidlié.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

Eugène LACROIX, Éditeur

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

54, rue des Saints-Pères

1866

A

MONSIEUR E. TASTU

COMMANDEUR DE LA LÉGION D'HONNEUR

CONSUL GÉNÉRAL DE FRANCE.

*Hommage de respectueuse et profonde
amitié.*

A. POURIAU.

AVANT-PROPOS

La science chimique possède déjà un certain nombre d'excellents traités d'analyse qualitative et quantitative signés de maîtres de la science, tels que Frésenius, Rose, Chancel, Rivot, etc.; aussi n'ai-je jamais eu la prétention, en écrivant ce manuel, d'ajouter à cette collection suffisamment complète un livre rédigé sur le même plan et tendant au même but. D'ailleurs, je n'aurais jamais pu faire aussi bien que mes prédécesseurs, et, par suite, mon travail fût forcément resté improductif.

Mon intention, en publiant le *Manuel du Chimiste-Agriculteur*, est d'offrir aux personnes qui s'occupent de chimie agricole un petit guide renfermant la description des méthodes les plus simples à suivre dans l'analyse des divers composés naturels ou artificiels qui sont du domaine de l'agriculture.

Désireux de mettre ce livre à la portée de tous

ceux que ces questions intéressent, j'ai toujours eu le soin d'établir, dans l'exposé des méthodes d'analyse qu'il renferme, deux catégories d'essais : les uns essentiellement *pratiques* et accessibles à tous, les autres, plus exacts et qui, pour ce motif, exigent une habitude plus grande des manipulations chimiques.

En outre, j'ai presque toujours fait suivre chaque méthode d'un *exemple analytique*, afin de guider mieux encore les lecteurs dans les recherches chimiques qu'ils voudront effectuer.

Le caractère particulier de ce livre est donc de renfermer l'ensemble des méthodes analytiques les plus simples et les plus pratiques applicables aux diverses questions agricoles.

Avant sa publication, il n'existait en fait de traités de ce genre que les *Éléments d'analyse de M. I. Pierre*, excellent ouvrage que je me suis proposé pour modèle, tout en donnant une notable extension à la série des questions étudiées par mon savant devancier.

Si des circonstances indépendantes de ma volonté ont retardé la publication de ce petit manuel, j'ai, du moins, la conscience d'avoir donné tous mes soins à sa rédaction définitive.

Je désire vivement que mes lecteurs trouvent que j'ai atteint le but que je me proposais, car je verrai

dans leur approbation un puissant encouragement à poursuivre la tâche que je me suis imposée depuis quelques années, celle de concourir à la vulgarisation de la science agricole.

A. POURIAU.

Grignon, le 1^{er} juillet 1866.

AVERTISSEMENT

Pour faciliter aux lecteurs les essais chimiques relatifs aux diverses questions traitées dans ce volume, j'ai cru devoir adopter les dispositions suivantes :

1° Récapitulation, à la fin de chaque chapitre, des appareils ou instruments nécessaires à l'exécution des diverses opérations décrites et indication des prix relatifs à chacun d'eux;

2° Table alphabétique au chapitre XX de tous les appareils ou instruments mentionnés dans le volume;

3° Table semblable, dans le même chapitre, des produits chimiques nécessaires, avec leurs prix courants.

NOTA. Les prix des appareils et produits sont extraits des catalogues de nos fournisseurs habituels :

Instruments : M. Salleron, 24, rue Pavée, au Marais.

Produits chimiques : MM. Rousseau frères, 66, rue des Écoles.

AVERTISSEMENT

L'ouvrage est divisé en deux parties. La première partie est consacrée à l'étude des principes généraux de la chimie organique. La seconde partie est consacrée à l'étude des principes généraux de la chimie inorganique. Les auteurs ont cherché à rendre cet ouvrage aussi complet que possible, en y ajoutant un grand nombre de détails qui ne se trouvent pas dans les autres ouvrages de ce genre. Ils ont aussi cherché à rendre cet ouvrage aussi intéressant que possible, en y ajoutant un grand nombre de détails qui ne se trouvent pas dans les autres ouvrages de ce genre.

Paris, le 15 Mars 1854.
Les auteurs : M. Chevreul, M. Berthollet, M. Berzelius, M. Dumas, M. Gay-Lussac, M. Liebig, M. Mitscherlich, M. Proust, M. Wöhler, M. Berthollet, M. Berzelius, M. Dumas, M. Gay-Lussac, M. Liebig, M. Mitscherlich, M. Proust, M. Wöhler.

MANUEL

DU

CHIMISTE-AGRICULTEUR

I

MANUEL OPÉRATOIRE

CHAPITRE PREMIER

DES BALANCES, DES POIDS ET DES PESÉES.
ARÉOMÈTRES, DENSIMÈTRES, ETC., THERMOMÈTRES.

DES BALANCES.

1. Choix d'une balance. — Une balance est un instrument indispensable à quiconque veut faire des analyses quantitatives; mais son choix dépend surtout de la nature des opérations que l'on se propose d'exécuter. Il y a des balances de tous les prix, depuis 1,000 fr. et plus jusqu'à 10 fr., et il importe d'indiquer les considérations qui doivent guider dans l'adoption de tel ou tel instrument.

Toutes les fois que l'analyse quantitative doit porter sur un poids minime de substance, il est indispensable d'avoir recours à une balance de précision, et par suite d'un prix élevé; au contraire, si l'on opère sur 5 ou 10 gr. de matière, on pourra se contenter

d'une balance beaucoup moins chère. En effet, supposons que, dans une analyse agricole quelconque, la pesée primitive ne descende pas au-dessous de 5 gr., et que l'on emploie, à cet effet, une balance pesant à 5 centigr. près; l'erreur p. 100, en plus ou en moins, que l'on pourra commettre sera de 20 fois 5 centigr. ou 1 gr., c'est-à-dire de 1 p. 100, et, dans beaucoup de cas, cette erreur sera parfaitement négligeable. De même, si le poids primitif de la matière analysée était de 10 gr., l'erreur descendrait à 1/2 p. 100.

Supposons maintenant que l'analyse ne doive porter que sur 5 déc. de matière au plus, et que l'on effectue la pesée avec cette même balance sensible à 5 centigr. près. Pour 1 gr. l'erreur pourra être, en plus ou en moins, de 1 décigr. et pour 100 gr. de cent fois plus, c'est-à-dire de 10 p. 100. On voit que, dans ce second cas, il faut absolument avoir recours à une balance de précision, pesant au milligramme.

Ces préliminaires posés, voici les balances dont nous conseillons l'emploi :

1° *Balance de précision* (fig. 1) — Trébuchet pour analyse pouvant porter 40 gr. et sensible à 1 milligr., avec cage en acajou et série de poids. Prix. 100 fr.

Si l'on voulait que la portée fût supérieure à 40 gr., le prix de cette balance serait plus élevé.

2° *Balance de demi-précision*. — Trébuchet pouvant porter 100 gr., trébuchant nettement à 5 milligr., et renfermé dans une cage vitrée en noyer, avec série de poids. Prix. 60 fr.

3° *Balance de demi-précision* (fig. 2.) — Le même modèle, mais un peu plus fort, afin de porter 250 gr., et trébuchant nettement au centigr. Prix. . . 80 fr.

Cette balance est renfermée dans une cage vitrée.

4° *Balance pour les fortes pesées.* — On peut employer avec avantage les balances pendules construites

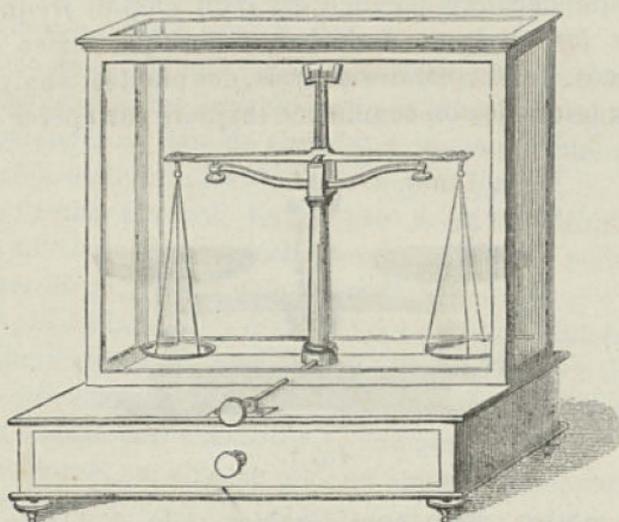


Fig. 1.

d'après le système Roberval ou celui de M. Béranger, à Lyon.

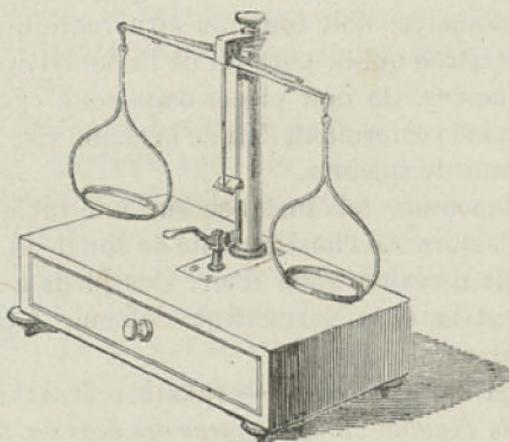


Fig. 2.

Balance Roberval portant 4 kil., et trébuchant au gramme (fig. 3) Prix. 18 fr.

Cette dernière balance est d'un emploi fréquent dans les analyses agricoles, telles que celles des marnes, des terres, des engrais, des plantes; analyses dans lesquelles on commence toujours par opérer sur

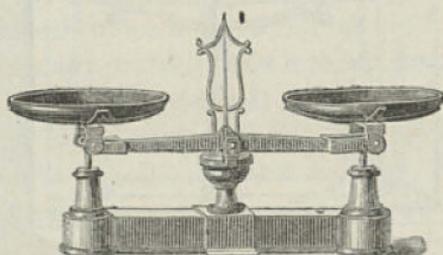


Fig. 3.

des masses assez considérables, afin d'obtenir un échantillon moyen de la matière que l'on veut soumettre à l'expérience.

2. Installation d'une balance de précision. — Une balance d'analyse doit toujours être renfermée dans une cage vitrée qui la garantit de la poussière et des vapeurs acides. On doit placer dans cette cage deux verres à pied renfermant, l'un de la chaux vive, l'autre du chlorure de calcium.

La balance une fois installée sur une table solide, on doit s'assurer de l'horizontalité de son fléau à l'aide d'un petit niveau à bulle d'air. Des pieds à vis qui supportent la cage permettent d'obtenir facilement cette horizontalité.

3. Essai de la balance. — PREMIÈRE ÉPREUVE. *Vérification de l'égalité de la longueur des bras du fléau.* — On commence par s'assurer si les plateaux de la ba-

lance sont en équilibre parfait ; s'ils ne le sont pas, on les y amène en chargeant le plus léger avec de petits fragments d'étain laminé.

Cela fait, on met deux poids égaux dans chaque plateau, et si les bras ne sont pas d'égale longueur, la balance, au lieu de rester stationnaire, s'inclinera du côté où le bras du fléau est le plus long.

DEUXIÈME ÉPREUVE. *Vérification de la sensibilité.* — Soit une balance de précision vendue comme pouvant porter 50 gr., et sensible à 1 milligr.

1° On établit, s'il y a lieu, l'équilibre parfait entre les deux plateaux, puis on ajoute sur l'un des deux *un milligramme* ; si la balance est très-sensible, le plateau chargé doit s'abaisser visiblement.

2° On met sur chaque plateau une charge de 50 gr. (portée maxima de la balance) ; et l'on s'assure que l'équilibre est parfait. Si l'on vient alors à ajouter 1 milligr. sur l'un des plateaux, le fléau devra s'incliner de ce côté-là. Si ces deux essais donnent un résultat négatif, la balance sera considérée comme ne possédant pas le degré de sensibilité indiqué par le constructeur.

4. *Des poids.* — Les poids dont on se sert dans les recherches précises sont des poids décimaux ayant le *gramme* pour unité. Le gramme et ses multiples sont généralement en laiton, les sous-multiples en platine. Depuis quelques années, on fait les derniers sous-multiples, centigrammes et milligrammes en *aluminium*, parce que la faible densité de ce métal permet de donner à ces poids une plus grande dimension.

Ces poids sont renfermés dans une boîte fermant hermétiquement et les fractions du gramme placées

dans des compartiments garnis en drap ou en velours, afin que chaque pièce isolée ne s'use pas par le frottement.

On doit toujours saisir les poids avec une pince renfermée également dans la boîte, et jamais avec les doigts.

Vérification des poids. — Quand on achète une balance, il est important de vérifier si les divers poids qui forment la série concordent bien entre eux. Voici, d'après Frésenius, comment on doit opérer cette vérification :

On dépose sur l'un des plateaux un poids de la série, 4 gramme par exemple, et on lui fait équilibre, dans l'autre plateau, avec de la grenaille de plomb ou d'étain. On enlève alors le poids de 4 gramme et on le remplace par les sous-multiples dont la somme est égale à 4 gramme ; l'équilibre doit être rétabli.

On constate de la même manière si le poids de 2 gr. vaut bien deux pièces de 1 gr. ; si le poids de 5 gr. vaut bien deux pièces de 2 gr. et une de 1 gr. ; si le poids de 10 gr. pèse autant que la pièce de 5 gr., avec deux de 2 gr. et une de 1 gr., etc.

5. Pesées. — On peut déterminer le poids d'un corps par deux méthodes : la *pesée directe* et la *pesée par substitution* ou *double pesée*.

6. Pesée directe. — La pesée directe consiste à mettre sur l'un des plateaux la matière dont on veut connaître le poids et à lui faire équilibre avec des poids placés sur l'autre plateau. Pour que ce mode de pesée soit exact, il faut que les plateaux soient parfaitement semblables, et que les deux bras du fléau aient exactement la même longueur.

Quand les bras sont égaux, mais les plateaux dissemblables, il suffit, pour faire disparaître cette cause d'erreur, de placer les substances à peser dans des *vases tarés*, en platine, en porcelaine ou en verre. Du reste, on ne doit jamais déposer directement les substances sur les plateaux de la balance.

Pour peser dans ces conditions, on fait d'abord équilibre au vase avec des poids ou une tare quelconque, on introduit la matière dans le vase et on détermine le poids de substance ajoutée.

On peut aussi placer immédiatement sur l'un des plateaux le vase et la substance, faire équilibre sur l'autre plateau avec des poids, enlever du vase la quantité voulue de matière, peser une seconde fois, soustraire le second poids du premier, et la différence en moins indique la quantité prise pour l'analyse.

Quand une balance a des bras inégaux, on peut néanmoins s'en servir utilement, à la condition de mettre les substances à peser toujours dans le même plateau et les poids dans l'autre. En opérant ainsi, les pesées se trouvent augmentées ou diminuées proportionnellement; elles conservent donc entre elles le même rapport, et les résultats analytiques sont aussi satisfaisants que si la balance avait été parfaite.

7. Double pesée ou pesée par substitution. — Cette méthode, indiquée par Borda, permet d'obtenir des résultats absolument vrais, que la balance soit en équilibre ou non, que ses bras soient égaux ou inégaux.

Le principe de cette méthode consiste à placer dans un des plateaux le corps que l'on veut peser et dans l'autre de la grenaille, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. On enlève alors le corps et on y substitue les

poids nécessaires pour rétablir l'équilibre. La somme de ces derniers poids représente rigoureusement le poids du corps.

En pratique, on effectue les doubles pesées d'une manière très-expéditive en opérant comme il suit :

On met sur le plateau de droite le vase qui doit renfermer la substance à peser, dans le plateau de gauche une tare plus lourde que ce vase, et on établit l'équilibre en ajoutant les poids nécessaires sur le plateau de droite.

On fait alors tomber dans le vase la substance à analyser, on enlève la quantité de poids nécessaire pour rétablir l'équilibre, et la somme des poids enlevés indique la quantité de matière introduite dans le vase. Les tares peuvent être de petites boîtes en fer-blanc munies de couvercles et renfermant de la grenaille de plomb ou de zinc. On devra avoir cinq ou six de ces tares, pesant depuis 10 gr. jusqu'à 50 gr., par exemple, et dont le poids sera inscrit sur la boîte elle-même.

8. Application de la double pesée. — Supposons que l'on veuille déterminer le poids de matière sèche abandonnée par un poids connu de lait, 5 gr. par exemple.

Je pose sur le plateau droit de la balance une capsule en porcelaine à fond plat que je sais avoir un poids compris entre 20 et 25 gr., et sur le plateau gauche un poids ou une tare de 30 gr. J'établis l'équilibre en mettant sur le plateau droit la somme de poids nécessaire.

J'enlève ensuite 5 gr. sur le plateau droit et je rétablis l'équilibre en introduisant du lait dans la capsule. Cette opération terminée, je constate que j'ai dû

mettre à côté de la capsule, sur le plateau droit, $2^{\text{sr}}, 455$.

Le poids de la capsule, avec 5 gr. de lait, est donc $30^{\text{sr}} - 2^{\text{sr}}, 455$. J'introduis cette capsule dans l'étuve à huile et je la chauffe jusqu'à ce qu'elle ne perde plus de poids. Quand ce point est atteint, je remets la capsule sur le plateau droit et je constate que, pour rétablir l'équilibre, il faut ajouter à la capsule $6^{\text{sr}}, 830$.

J'ai donc, dans ce second cas :

Poids de la capsule et du résidu sec, $30^{\text{sr}} - 6^{\text{sr}}, 830$. En retranchant le premier nombre du second, c'est-à-dire, $2^{\text{sr}}, 455$ de $6^{\text{sr}}, 830$, la différence $4^{\text{sr}}, 375$ représente l'eau évaporée, et par suite $0^{\text{sr}}, 625$ complément des 5 gr. est le poids du résidu sec.

9. Précautions à prendre dans les pesées. — Il faut, pour peser juste et vite, procéder systématiquement dans l'addition des poids, en passant des pièces les plus fortes aux pièces les plus faibles, et non pas essayer au hasard tantôt un poids, tantôt un autre.

On doit toujours ramener la balance au repos avant d'ajouter ou d'enlever quelque chose sur l'un des plateaux; si l'on néglige cette précaution, l'instrument est rapidement hors de service.

Il faut toujours attendre pour peser les corps chauds qu'ils se soient remis en équilibre avec la température ambiante; autrement on les trouve plus légers qu'ils ne le sont réellement.

Les corps hygroscopiques doivent être pesés dans des vases fermés, les liquides dans des flacons en verre et bouchant à l'émeri, si ces fluides sont volatils.

On doit bien se garder de surcharger les balances, c'est-à-dire d'introduire dans les plateaux des poids supérieurs à ceux qu'elles sont destinées à supporter,

car au bout de peu de temps l'instrument ne pourrait plus fonctionner. Enfin, quand on a effectué une pesée, on doit enlever les poids un à un avec la pince, les déposer sur une feuille de papier lisse ou de carton, les ranger par ordre, les compter et inscrire immédiatement leur somme sur un registre *ad hoc*.

ARÉOMÈTRES, DENSIMÈTRES, ALCOOMÈTRES.

On distingue deux sortes d'aréomètres : les aréomètres à poids variable et à volume constant, et les aréomètres à poids constant et à volume variable ; c'est de ces derniers que nous allons parler ici.

10. Aréomètres à poids constant et à volume variable. — Ces aréomètres se divisent en deux classes bien distinctes :

1° *L'aréomètre de Baumé* et ses analogues, désignés ordinairement sous les noms de *pèse-acides*, *pèse-sels*, *pèse-liqueurs*. Ces instruments ne donnent point les densités des liquides dans lesquels on les plonge, mais font connaître simplement la richesse comparative de ces liquides en acide, sel, etc.

2° *Les densimètres*, aréomètres qui donnent, au contraire, le poids réel des liquides.

11. Aréomètre de Baumé. — Baumé, pharmacien à Paris, mort au commencement de ce siècle, a construit un aréomètre à poids constant destiné, suivant son mode de graduation, à comparer entre eux les liquides plus denses ou moins denses que l'eau.

Cet instrument se compose (fig. 4) d'une tige à laquelle est soudée une boule pleine d'air, et à celle-ci une autre plus petite qui renferme le lest.

Dans le cas où l'instrument est destiné aux liquides plus denses que l'eau, sa graduation s'effectue de la

manière suivante : le lest est combiné de façon que l'instrument s'enfonce presque complètement dans l'eau distillée à la température de $12^{\circ},5$ centigrades, et on marque 0 au point d'affleurement. On plonge ensuite l'aréomètre dans une dissolution contenant 15 p. en poids de sel marin pour 85 p. d'eau à la même température. Cette dissolution étant plus dense que l'eau pure, l'instrument s'enfonce moins, et au nouveau point d'affleurement on inscrit le chiffre 15; l'intervalle de 0 à 15 est ensuite partagé en 15 parties et les divisions reportées jusqu'au bas de la tige. Dans ces instruments, ces divisions sont tracées sur une petite bande de papier que renferme la tige dans son intérieur.

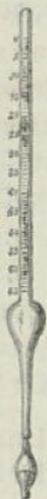


Fig. 4.

L'aréomètre de Baumé ainsi gradué est en même temps un pèse-acides et un pèse-sels; moins il enfonce dans une dissolution acide ou saline, plus celle-ci est riche. On emploie fréquemment cet instrument, dans les laboratoires, pour reconnaître l'état de concentration des liqueurs acides ou alcalines que le commerce livre ordinairement aux degrés suivants :

Acide acétique pur à 8° B. (B signifie Baumé.)

Acide azotique pur ou ordinaire à 36° B et 40° B.

Acide sulfurique à 66° B.

Lessive de potasse à 36° B et 45° B.

On se sert également de cet aréomètre pour juger du degré de concentration des sirops, des jus sucrés ou fermentés, d'engrais liquides tels que le purin, l'engrais flamand, etc.

Pour les liquides moins denses que l'eau, l'aréomètre Baumé présente une graduation inverse.

Le 0 de l'échelle placé à l'extrémité de la tige, immédiatement au-dessus de la capacité renflée, correspond au point d'affleurement de l'instrument dans une solution de 10 p. de sel marin dans 90 p. d'eau. Le dixième degré d'eau représente la densité de l'eau distillée à la température de 12°,5 centigrades. L'intervalle de 0 à 10 est partagé en dix parties et les divisions reportées au-dessus. Ainsi gradué, l'aréomètre de Baumé prend le nom de *pèse-liqueurs*; on s'en sert fréquemment pour juger de la richesse des éthers, des essences, des eaux ammoniacales, etc.

On trouve dans le commerce :

L'ammoniaque à 22° et 25° B.

L'éther sulfurique ordinaire à 56°.

— rectifié à 62°.

— pur à 65°.

Dans la pratique, on supprime sur l'instrument les dix premiers degrés, qui sont inutiles pour l'usage, et le premier degré à la naissance du tube est celui qui correspond à la densité de l'eau, c'est-à-dire au dixième degré de l'échelle primitive.

12. Densimètres. — Tandis que les divers aréomètres construits d'après le système Baumé sont gradués d'une manière tout à fait arbitraire, et n'apprennent absolument rien sur le poids spécifique du liquide essayé, dans les densimètres, au contraire, les divisions de l'instrument correspondent au poids réel d'un litre du liquide dans lequel il est plongé.

Ainsi, en regard du trait représentant la densité de l'eau, on lit le chiffre 1000. Si, dans un autre liquide,

le point d'affleurement correspond au nombre 1,520, cela signifie qu'un litre de ce liquide pèse 1520 gr.

Les densimètres ont la même forme que les aréomètres ; on en construit de toutes les dimensions pour les liquides plus denses ou moins denses que l'eau, et l'étendue des échelles est en rapport avec la nature des déterminations que l'on se propose d'effectuer.

Dans la pratique, pour ne pas surcharger l'échelle, on supprime une partie des chiffres et l'on ne conserve que ceux véritablement significatifs.

S'il s'agit, par exemple, d'un densimètre destiné à donner les densités de 1000 à 1800, on inscrit simplement sur l'échelle les nombres 10, 11, 12, 17, 18.

Sur d'autres densimètres, tels que ceux qui servent à prendre la densité du lait ou du petit-lait, et dont l'échelle a pour points extrêmes 1020 et 1050, par exemple, on écrit simplement 20, 30, 40 et 50 (fig. 5).

13. Alcoomètre centésimal de Gay-Lussac.

— L'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac est d'un usage fréquent dans les laboratoires ; c'est un aréomètre destiné à mesurer la force des liquides spiritueux, il donne le nombre de centièmes d'alcool absolu, en volume, que contiennent ces liquides.

Nos lecteurs trouveront une description détaillée de cet instrument, ainsi que de son emploi, au chapitre *Alcoométrie*, II^e partie.

14. Lacto-densimètre. — (Voir au chapitre *Lactométrie*, II^e partie.)

15. Usage des aréomètres. — Pour que les indica-

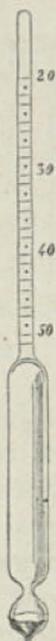


Fig. 5.

tions fournies par les divers aréomètres soient exactes, il faut observer plusieurs précautions.

Le liquide dans lequel l'instrument doit être plongé ayant été versé dans une éprouvette (fig. 6), on essuie

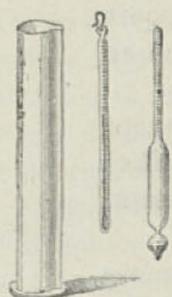


Fig. 6.

l'aréomètre afin de lui enlever la petite quantité de matière grasse qu'ont pu laisser les doigts contre ses parois, on passe sa tige entre les lèvres et on le descend doucement dans le liquide.

Quand l'instrument est revenu au repos, on lit le degré qui correspond au point d'affleurement; on communique ensuite à l'aréomètre une petite poussée, et l'on observe s'il s'arrête de nouveau au même degré. On doit

toujours prendre pour point d'affleurement le trait qui correspond à la partie inférieure du ménisque concave déterminé par l'attraction capillaire. Il faut aussi tenir compte de la température du liquide au moment de l'observation, et, à cet effet, on suspend au bord supérieur de l'éprouvette un thermomètre qui plonge dans le liquide.

16. Thermomètres. — Les thermomètres servent journellement dans les laboratoires pour régler la température des étuves, des bains-marie, déterminer celle des liquides dans lesquels on plonge les aréomètres, etc.

Les thermomètres peuvent être à mercure ou à alcool suivant les usages auxquels on les destine; les points extrêmes de leurs échelles dépendent, comme pour les densimètres, de la nature des indications qu'ils doivent fournir.

Les thermomètres à mercure portant une échelle

calibrée divisée sur verre sont les meilleurs instruments ; mais ils sont très-chers, et, dans beaucoup de cas, on peut se contenter de thermomètres à divisions gravées sur verre.

La lecture des indications fournies par les thermomètres à mercure est rendue beaucoup plus facile quand la tige de ces instruments est émaillée sur la face opposée à celle où les divisions sont gravées. Les thermomètres à alcool sont toujours d'une observation facile, parce que le liquide qu'ils contiennent est coloré par de la cochenille ou du violet d'aniline.

17. Prix des instruments mentionnés dans ce chapitre.

Balances.

Balance de précision (fig. 1), avec série de poids.....	100 fr.
— de 1/2 précision (n° 1, 2°),	60
— — (n° 1, 3°),	80

Balances-pendule (sans série de poids).

Portée, 1 kil.	{	Mécanisme à jour	18
		— clos	22
Portée, 2 kil.	{	Mécanisme à jour	21
		— clos	31

Le degré commercial de sensibilité de ces balances-pendule est ordinairement de 0^g,5 ; mais on peut obtenir, sans augmentation de prix, que cette sensibilité soit portée à 0^g,1.

Aréomètres, densimètres, etc.

Aréomètres de Baumé et analogues.	2 fr. à 2 ^f ,50
Densimètres.	3 fr.
Alcoomètres de Gay-Lussac.	2 ^f ,50 à 3 fr.

Thermomètres.

Thermomètres de précision, à mercure, échelle calibrée, divisée sur verre, depuis — 20 jusqu'à 150°.	12 à 14 fr.
Le même, mais à échelle simplement divisée sur verre.	8 fr.
Thermomètre à alcool, échelle divisée sur verre, émaillée, de — 15 à 45°	2 ^f ,50 à 3 fr.

CHAPITRE II

APPAREILS A TRITURATION. — APPAREILS A DESSICATION. — ASPIRATEURS.

18. Échantillon moyen. Instruments de trituration. — Dans toutes les analyses chimiques et principalement dans celles qui se rattachent à l'agriculture, si l'on veut que les résultats analytiques donnent une juste idée de la constitution moyenne de la substance que l'on se propose d'examiner, il faut, avant tout, opérer sur un mélange bien homogène et dont la composition représente exactement celle de la masse entière.

Les précautions à prendre pour obtenir cet *échantillon moyen*, quoique variables dans les détails suivant la nature de la matière à analyser, engrais, terre, marne, fourrage, etc., peuvent néanmoins se résumer dans les principes généraux suivants :

1° Prendre en un grand nombre de points de la masse des échantillons partiels;

2° Réunir et mélanger parfaitement ces échantillons partiels, de façon à constituer un tout sur lequel on prélève l'échantillon définitif destiné aux opérations analytiques;

3° Triturer cet échantillon moyen, de manière à obtenir une homogénéité complète de toute la masse,

homogénéité qui seule peut permettre d'effectuer l'analyse sur un poids minime de matière.

Cette trituration peut s'effectuer de deux manières :

1° A l'aide d'un mortier et d'un tamis ;

2° En employant un instrument particulier nommé *égruette*.

19. Mortier et Tamis. — Beaucoup de substances, telles que les marnes, les terres, certains engrais, etc.,



Fig. 7.



Fig. 8.

peuvent être pulvérisées dans des mortiers en fonte (fig. 7) ou en porcelaine (fig. 8) ; mais, pour que cette pulvérisation s'effectue facilement, il faut que ces

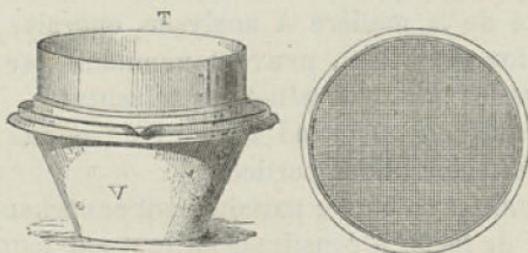


Fig. 9.

matières aient été préalablement desséchées à l'air libre ou dans un des appareils indiqués plus loin.

De plus, pour arriver à obtenir une poudre compo-

sée d'éléments également tenus, on doit jeter de temps en temps sur un tamis plus ou moins fin (fig. 9) la matière soumise à la trituration. Par l'agitation on sépare les parties les plus grossières, que l'on soumet ensuite à une nouvelle pulvérisation.

20. Égrugette de Potigny. — L'emploi du mortier et du tamis, commode quand il s'agit de pulvériser

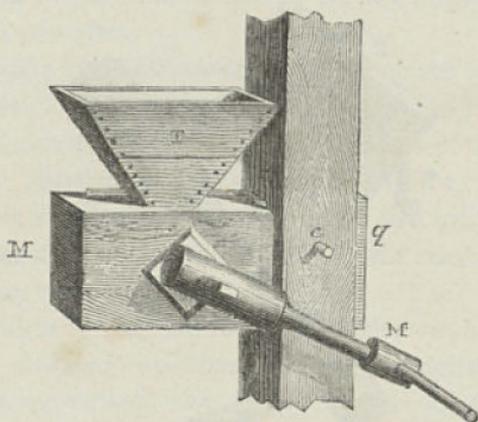


Fig. 10.

des substances terreuses et privées d'élasticité, devient tout à fait insuffisant, quand on veut réduire en poudre des matières végétales ou certains engrais, dont nous parlerons dans la suite.

Longtemps nous nous sommes servis, pour opérer la mouture de ces substances, d'un moulin à café de grande dimension; mais, depuis quelques années, nous y avons substitué avec avantage un instrument que M. Is. Pierre a eu l'extrême obligeance de nous indiquer et de nous faire expédier, et que ce savant appelle : *Égrugette de Potigny*, du nom de la ville du

Calvados où l'on fabrique en grande quantité ces petits moulins.

Description de l'instrument (fig. 10 et 11).

Cette égrugette est une espèce de petit moulin dont la noix *n* se compose d'un tronc de cône en bois dur, dans lequel sont enchâssées obliquement et régulièrement des lames d'acier distantes de 3 à 5 millimè-

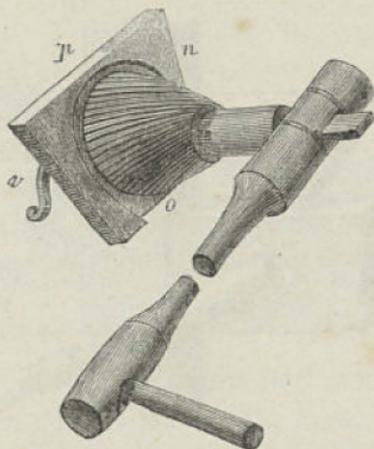


Fig. 11.

tres. Ces lames, taillées en biseau peu incliné, débordent d'un millimètre à un millimètre et demi le bois dans lequel elles sont implantées.

Le tronc de cône mù par une manivelle *M* tourne dans une cavité conique armée de lames semblables et inclinées en sens inverse.

La caisse *M'*, dans laquelle s'effectue la rotation de la noix, est fermée postérieurement par une planchette *p* qui se meut à coulisse dans deux rainures longitudinales, et qui laisse à la partie inférieure de la

boîte une fente rectangulaire destinée à permettre la sortie de la mouture.

Une vis *v*, munie d'une queue coudée, traverse cette planche *p* et vient butter sur l'axe de la noix. Il suffit alors de faire mouvoir cette vis dans un sens ou dans un autre pour déterminer le rapprochement ou l'éloignement des lames métalliques, et par suite effectuer une mouture plus ou moins parfaite.

T est la trémie dans laquelle on introduit les substances à moudre.

Ce moulin peut être assujéti de diverses manières : on peut faire passer la queue *q* de la boîte *M'* dans une mortaise pratiquée dans un poteau et assurer la fixité de l'instrument avec une clavette *c*. On peut également employer deux brides en fer qui embrassent la queue de l'égrugette et la fixent contre un poteau ou un mur.

Le produit de la mouture peut être recueilli dans un vase disposé au-dessous de l'égrugette ; mais comme, avec ce système, une partie de la matière la plus fine est toujours entraînée en dehors du récipient, nous avons préféré faire ajouter à l'instrument primitif, et en dessous de la boîte *M'*, un petit tiroir à coulisse dans lequel tombe la totalité de la mouture. Pour que cet instrument fonctionne bien, il est indispensable que les substances à triturer aient été amenées préalablement à un degré de dessiccation convenable ; autrement l'égrugette *s'empâterait* et ne produirait plus aucun travail.

Quand les matières suffisamment desséchées ont été introduites dans la trémie, on facilite, si cela est nécessaire, leur arrivée dans la cavité de la noix, en les pressant à l'aide d'une spatule en bois.

Pour obtenir une mouture parfaite, il faut aussi faire passer plusieurs fois dans le moulin les parties qui se divisent le plus difficilement, et que l'on sépare des parties fines à l'aide d'un tamis de crin. A chaque repassage, on serre un peu plus la vis pour diminuer le jeu réservé à la noix et par suite moudre plus fin.

Nous possédions à la Saulsaie deux égrugettes, l'une qui ne servait qu'à la mouture des substances végétales; l'autre, dont les lames étaient émoussées par l'usage et dont nous tirions néanmoins un excellent parti pour la trituration de la matière organique de certains engrais dont les éléments minéraux avaient été préalablement broyés dans un mortier.

21. Appareils à dessiccation. — On a journellement besoin, quand on se livre à l'analyse chimique, de dessécher à une température fixe et connue les substances que l'on veut examiner. On parvient à ce résultat en employant divers appareils dont nous allons donner successivement la description.

22. Bains-marie. — Un bain-marie est un appareil qui permet de chauffer les liquides ou les solides à une température très-voisine du point d'ébullition de l'eau (100°).



Fig. 12.

Il se compose d'un vase en fer-blanc, en fonte ou en cuivre, dans lequel on met de l'eau et sur lequel on pose en guise de couvercle une rondelle ayant

au centre un trou circulaire ou en divers points de la surface plusieurs trous de diamètres différents.

Premier modèle de bain-marie (fig. 12).

Un vase renfermant de l'eau et posé sur un fourneau.

Des rondelles concentriques. La plus éloignée du centre porte un petit trou *o* destiné à laisser échapper la vapeur.

Une capsule renfermant la matière à dessécher.

r rondelle percée au centre d'un trou circulaire (fig. 13).

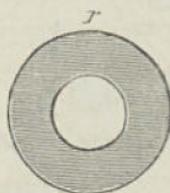


Fig. 13.

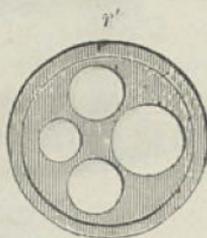


Fig. 14.

r' rondelle percée de plusieurs trous circulaires de différents diamètres (fig. 14).

Deuxième modèle de bain-marie (fig. 15).

C casserolle en fer battu renfermant de l'eau.

r rondelle à rebord percée d'un trou circulaire et munie d'une petite cheminée *t* par laquelle s'échappe la vapeur.

V vase en fer-blanc destiné à recevoir la matière à dessécher.

F fourneau.

On peut mettre dans le vase V, préalablement taré, un poids déterminé de terre, de marne, de fourrage, de fumier ou de tout autre engrais et déterminer la perte de poids que ces matières éprouvent par la dessiccation.

Cet appareil convient surtout quand, au début,

l'analyse doit porter sur un poids de matière un peu

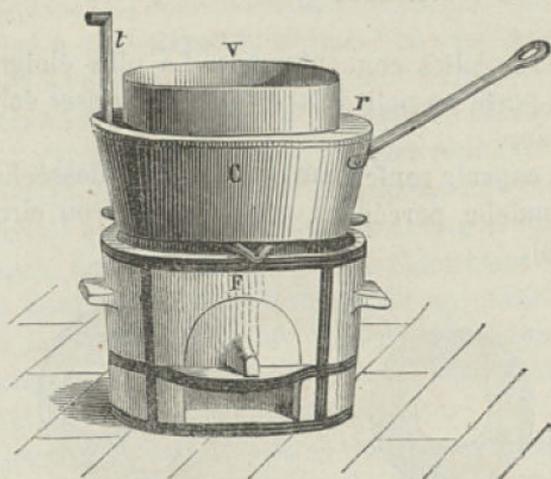


Fig. 15.

considérable, ou bien quand la substance doit subir un commencement de dessiccation avant d'être passée à l'égrugette.

On facilitera la dessiccation en remuant de temps en temps les matières renfermées dans le vase V à l'aide de spatules analogues à celles représentées (fig. 16).

S spatule en porcelaine de 35 centimètres de longueur.

S' spatule en verre de la même dimension.

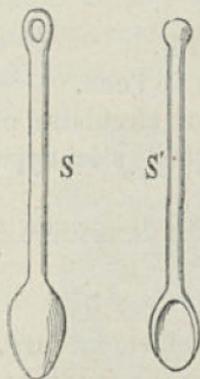


Fig. 16.

Troisième modèle de bain-marie (fig. 17).

Ici, la rondelle *r* de la figure précédente est remplacée par une autre percée de 6 à 7 trous de différents diamètres.

Sur chacun de ces trous on pose des capsules en porcelaine numérotées, tarées et renfermant les matières à dessécher. — Les trous qui ne doivent pas être occupés sont bouchés par de petits obturateurs en fer-blanc, de telle sorte que la vapeur ne peut sortir que par la cheminée.

Cet appareil convient très-bien pour dessécher simultanément, et à la même température, plusieurs

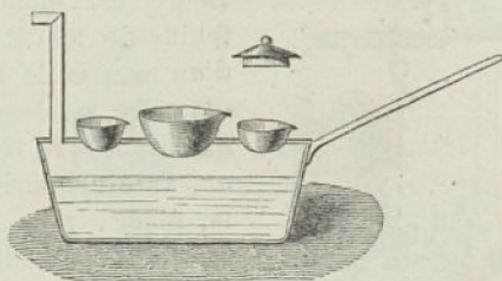


Fig. 17.

échantillons de substances prises sous le poids de quelques grammes seulement.

23. Bains salins. — La température de l'ébullition de l'eau est souvent insuffisante pour opérer la dessiccation complète d'une substance, et l'on remplace quelquefois l'eau ordinaire par une dissolution saline. Le sel dissous dans l'eau peut être du sel marin, du nitrate de potasse, du chlorure de calcium, etc., et suivant que l'on emploie l'un de ces sels, les points d'ébullition des dissolutions saturées sont les suivants :

Chlorure de sodium.....	108°
Nitrate de potasse.....	116°
Chlorure de calcium.....	179°

La substance à dessécher est placée dans un flacon

ou une fiole, maintenue fixe dans la dissolution saline.

Nous allons décrire deux appareils dans lesquels les bains salés sont employés.

24. Appareils de M. Violette¹. (fig. 18). — AB sup-

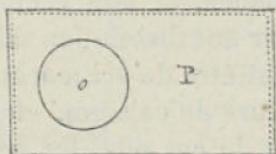
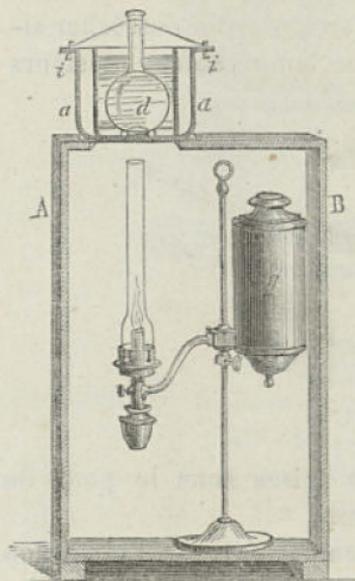


Fig. 18.

port en bois, formé de planches assemblées ; sur la planche supérieure est clouée une feuille de tôle P percée d'un trou O de 10^{cm} de diamètre, au-dessus duquel repose le récipient *aa*, vase cylindrique en fer-blanc, avec double enveloppe, de 10^{cm} de diamètre et autant de hauteur. Une dissolution saturée de sel marin remplit la capacité intérieure.

d fiole contenant la dissolution qu'il faut évaporer à sec à une température de 108°. Elle est maintenue fixe dans le bain salé à l'aide d'un fil qui entoure son col, et dont les extrémités

sont fixées à deux tubes en caoutchouc engagés eux-mêmes dans les oreilles percées *ii* du vase *a*. En outre,

¹ *Annales du Génie civil*, 3^e année, 1864, n^o 1.

la fiole repose sur un petit triangle en fer, pour l'isoler du fond trop chaud et éviter de dessécher la matière à une température trop élevée.

g lampe à huile, destinée à entretenir une légère ébullition dans le bain salé et à le maintenir à la température de 108°, la double enveloppe du récipient *a*

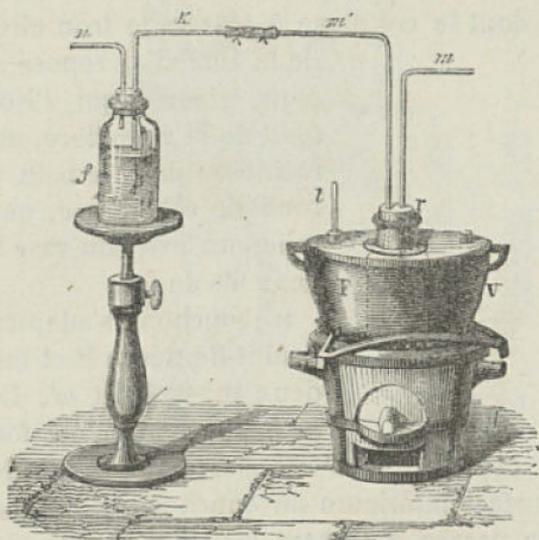


Fig. 19.

permet d'obtenir facilement cette constance dans la température.

Nous aurons occasion de reparler de cet appareil, quand nous traiterons de la saccharimétrie et de l'élaïométrie (II^e partie).

25. Emploi du bain-salin pour la dessiccation à chaud dans un courant d'air sec (fig. 19). — V vase en fonte ou en fer battu qui contient une dissolution saturée de chlorure de sodium ou de nitrate de po-

tasse, suivant la température que l'on se propose d'obtenir.

Ce vase est fermé par une rondelle à rebord, percée d'un trou circulaire à son centre et munie de deux tubulures, l'une servant au passage du thermomètre *t*, l'autre à celui de la vapeur.

F flacon renfermant la substance à dessécher. Ce flacon, dont le col passe à travers le trou circulaire de la rondelle, repose sur un petit triangle qui l'isole du fond de la chaudière, et il est maintenu dans le bain par la rondelle elle-même, que l'on relie aux anses du vase V avec deux fils de fer.

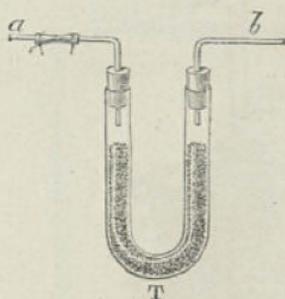


Fig. 20.

Le bouchon s'adaptant au goulot du flacon F et muni de deux tubes *m* et *m'*. Le tube *m* plonge jusqu'au fond du flacon, tandis que *m'* ne descend pas au-dessous de la surface inférieure du bouchon. Quand on veut ne faire passer à travers le flacon F que de l'air parfaitement sec, on met le tube *m* en communication avec un autre tube T (fig. 20), qui contient de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique.

Pour déterminer un appel d'air dans le flacon F, il suffit alors de mettre le tube *m'* en communication avec un aspirateur (voy. n° 30). Mais si la matière soumise à l'action du courant d'air chaud abandonne, en se desséchant, un composé volatil qu'il importe de recueillir (carbonate d'ammoniaque d'un engrais, par exemple), on interpose entre l'aspirateur et le tube *m'* un petit vase *f* renfermant une liqueur acide, et c'est

alors le tube *n* que l'on fait communiquer avec l'aspirateur.

26. Étuve à courant d'air de M. Coulier (fig. 21). — Cette étuve se compose d'une caisse en fer-blanc contenant trois tablettes horizontales en verre ou

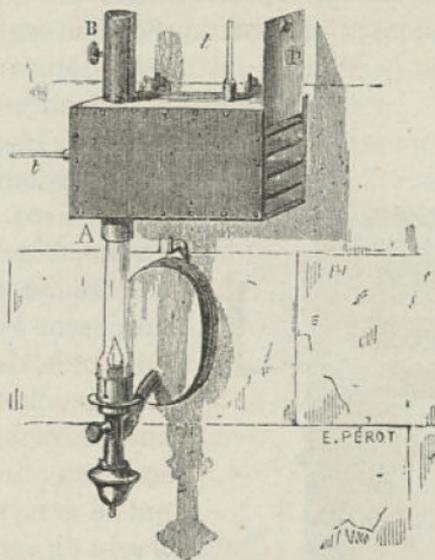


Fig. 21.

mieux en fer-blanc et percées de trous, et sur lesquelles on pose la substance à dessécher.

A tubulure inférieure dans laquelle s'engage le verre d'une lampe à bec.

B tubulure supérieure, destinée à laisser échapper l'air chaud qui a traversé l'étuve : une clef mobile dans cette tubulure permet d'augmenter ou de diminuer le tirage, et, par suite, la quantité d'air chaud qui entre dans l'étuve.

// thermomètres, P porte de l'étuve.

En faisant varier la hauteur de la flamme de la lampe, on peut obtenir avec cette étuve toutes les températures comprises entre 50 et 200°.

27. Bains d'huile. — Un bain d'huile se compose d'une chaudière en fonte au centre de laquelle se trouve un récipient en cuivre mince, entouré d'huile extérieurement; c'est dans ce récipient que l'on place

les matières qui doivent être soumises à la dessiccation. L'appareil est fermé par un couvercle muni de deux tubulures; l'une, qui communique avec la chaudière en fonte, sert à introduire l'huile et à laisser échapper au dehors les vapeurs dégagées; l'autre reçoit un thermomètre dont le réservoir plonge au sein du récipient.

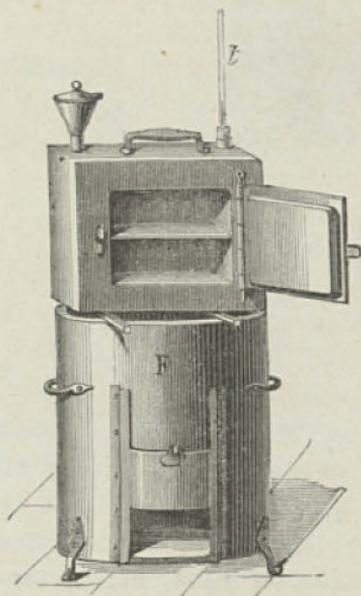


Fig. 22.

28. Étuve à huile de Gay-Lussac (fig. 22). — Cette étuve est en cuivre et à doubles parois, dont l'intervalle est rempli

d'huile que l'on introduit par la tubulure munie d'un entonnoir. Dans l'autre tubulure s'engage un thermomètre, qui donne la température de l'étuve. L'intérieur de l'appareil contient une ou deux tablettes en cuivre, sur lesquelles on place les substances à dessécher. On peut chauffer cette étuve en la plaçant sur un fourneau, et quand le thermomètre

indique la température voulue, il suffit d'ajouter de temps en temps un charbon.

La tubulure dans laquelle s'engage le thermomètre est destinée aussi à laisser échapper la vapeur d'eau qui se dégage de la matière soumise à la dessiccation. Pour permettre à cette vapeur de s'échapper facilement et prévenir en même temps toute chance de casse du thermomètre, on peut disposer ce dernier instrument comme l'indique la fig. 23.

A est un tube bouché inférieurement et au fond duquel se trouve un peu de coton. Ce tube sert d'enveloppe au thermomètre et son bord supérieur correspond au chiffre 100, disposition qui facilite l'observation de la température à l'intérieur de l'étuve.

Dans les appareils à huile, on peut employer l'huile de colza épurée, ainsi que l'huile de pied de bœuf; mais cette dernière est plus chère.



Fig. 23.

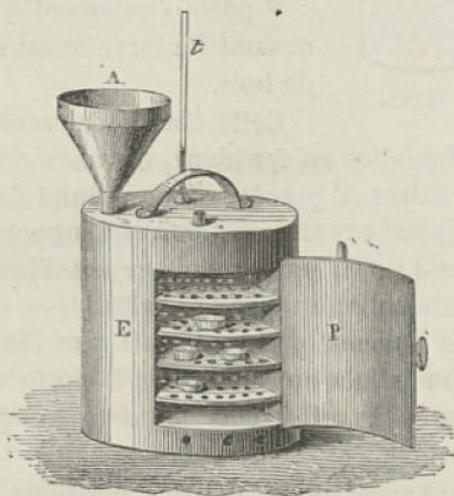


Fig. 24.

29. Étuve à chlorure de calcium de Doyère (fig. 24).

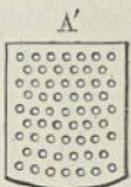
— L'emploi de l'étuve à huile nécessite une surveillance à peu près continuelle, lorsque l'on veut maintenir le thermomètre à une température sensiblement constante.

Pour s'affranchir de ce soin, Doyère a conseillé de substituer à l'huile une dissolution de chlorure de calcium faite dans les proportions de 100 p. de sel pour 400 p. d'eau. Cette étuve est chauffée avec une lampe à alcool ou à huile.



E étuve en fer-blanc à doubles parois.

A entonnoir servant à introduire la dissolution saturée de chlorure de calcium.



t thermomètre indiquant la température à l'intérieur de l'étuve.

P porte également à doubles parois, et dont l'intervalle est rempli de sciure de bois.

Fig. 25.

Cette étuve peut renfermer une série de tablettes en fer-blanc, les unes pleines A (fig. 25), les autres A' percées d'une infinité de petits trous.

Quand ces tablettes doivent supporter des capsules à fond rond, on assure leur équilibre en les plaçant sur de petits anneaux en laiton.

Le courant d'air s'établit par l'intermédiaire des 3 trous situés au-dessous de la porte et de la tubulure opposée à celle dans laquelle s'engage le thermomètre.

30. Aspirateurs. — Les aspirateurs sont des instruments à l'aide desquels on peut faire passer à travers un appareil un courant d'air ou de tout autre gaz.

1° *Aspirateur simple* (fig. 26). — Cet aspirateur n'est autre chose qu'un flacon de Mariotte ou flacon à écoulement constant. Pour déterminer une aspiration avec cet appareil, il suffit de mettre le tube *a* en communication avec le récipient, qui doit être traversé



Fig. 26.

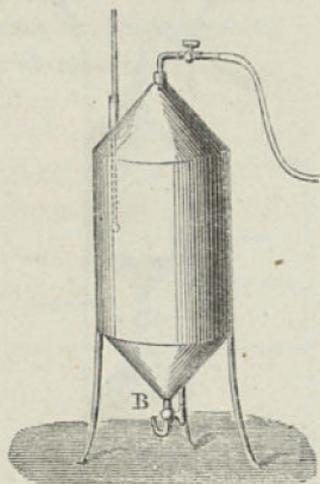


Fig. 27.

par le courant d'air et de faire écouler l'eau par le robinet *r*.

La vitesse d'écoulement et par suite celle d'aspiration dépendent de la profondeur à laquelle l'orifice inférieur du tube *a* descend dans le flacon F.

2° *Autre aspirateur simple* (fig. 27). — Cet aspirateur se compose d'un cylindre en zinc verni, porté sur un trépied, et terminé par deux cônes. Le cône supérieur est traversé par un tube muni d'un robinet, et qui plonge jusqu'à une petite distance de la pointe du cône inférieur. Ce vase ayant été rempli d'eau par

l'orifice supérieur, il suffit, pour déterminer une aspiration à l'intérieur, d'ouvrir le robinet B.

Aspirateur double (fig. 28). — A et B vases d'égale capacité qui communiquent par un robinet E, et qui sont

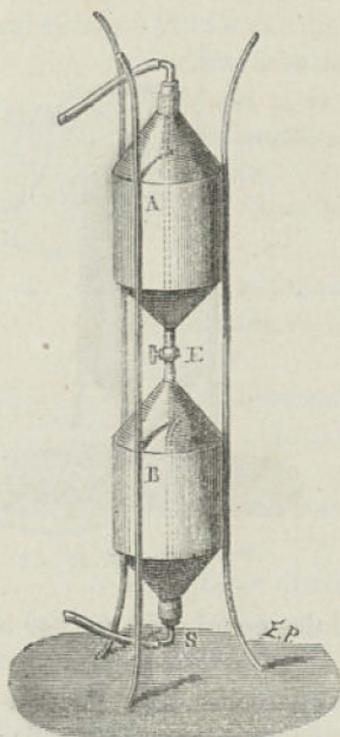


Fig. 28.

soutenus par trois tringles de fer terminées en forme de trépied; disposition qui permet de poser l'appareil indifféremment sur l'un ou l'autre de ses supports. Chacun de ces cônes est traversé par un tube S qui vient déboucher intérieurement à une petite distance du robinet E.

Avec ce système d'aspirateur double, on peut employer indéfiniment la même eau au lieu de la renouveler après chaque opération comme avec l'aspirateur simple.

En effet, supposons l'appareil dans la position indiquée par la figure, c'est-à-dire le cy-

lindre B plein d'air, le cylindre A plein d'eau, et en communication avec l'air ou le gaz que l'on veut aspirer.

Si l'on ouvre le robinet E, l'eau de A s'écoulera en B et sera remplacée par l'air ou le gaz aspiré, tandis que l'air de B refoulé s'échappera par le tube

inférieur S. Quand le vase B sera plein, il suffira de fermer le robinet E, de renverser l'appareil, puis de rouvrir E, pour obtenir une seconde aspiration semblable à la première.

31. Prix des divers appareils ou instruments indiqués dans ce chapitre.

Instruments de trituration et de tamisage.

MORTIER ET SON PILON.	FONTE DE FER tournée intérieurement.	FONTE DE FER tournée intérieurement et extérieurement.	BRONZE tourné et poli.
De 1/4 de litre à deux litres.	fr. 15 à 40	fr. 18 à 50	fr. 25 à 60

MORTIERS avec LEURS PILONS.	FORME ÉLEVÉE	FORME BASSE HÉMISPÉRIQUE	
	Porcelaine émaillée.	Biscuit de porcelaine.	Porcelaine émaillée.
Diamètre extérieur :	fr.	fr.	fr.
8 centim.	>	1,75	2,50
12 —	4	2,75	4,00
15 —	6	4,00	5,50
18 —	9	6,00	8,00

Tamis.

Les tamis peuvent être en crin, en soie, en toile de laiton, en fil de fer. Leurs prix varient depuis 0^f,50 jusqu'à 5 fr., et au delà suivant leurs diamètres.

Égrugette.

Grandeur moyenne, 7 fr., chez M. Deslauriers, rue Saint-Jean,
n° 93, à Caen.

Appareils à dessiccation.

Bains-marie en fer battu, avec disques de rechange 5 à 7 fr.
— en cuivre. Chaudière de 14 à 20 centim. 16 à 24 fr.

Spatules

En buis, de 11 à 32 centimètres de longueur. 0^f,50 à 1^f,50
En fer, — — — — — 0^f,50 à 1^f,75
En verre, le kilog. 2^f,50
En porcelaine, de 16 à 32 centimètres. 1 à 3 fr.

Appareil Violette, y compris la lampe. 12 à 15 fr.
Étuve à courant d'air de M. Coulier. 30 fr.
Bains d'huile avec chaudière en fonte. 25 fr.
Étuve à huile. Gay-Lussac, suivant les dimensions. 50 à 65 fr.
Étuve Doyère. 25 à 30 fr.
Flacon aspirateur en verre, de 4 à 10 litres. 8 à 15 fr.
Aspirateurs en zinc verni, simple, de 2 à 25 litres. 11 à 30 fr.
— double, — .. 25 à 50 fr.

CHAPITRE III

APPAREILS A ÉVAPORATION. — BAINS-MARIE. — BAINS DE SABLE, ETC. — APPAREILS A INCINÉRATION. — LAMPES A DOUBLE COURANT D'AIR. — FOURNEAU A MOUFLE. — PRIX DES DIVERS APPAREILS.

32. Appareils à évaporation. — L'évaporation a pour but de concentrer les solutions trop étendues ou d'en séparer, sous forme de résidu sec, les divers éléments tenus en dissolution. On peut effectuer cette opération de plusieurs manières.

33. Évaporation à feu nu. — Ce mode d'évaporation s'exécute en plaçant le vase qui renferme la dis-



Fig. 29.



Fig. 30.

solution sur un fourneau (fig. 29) ou au-dessus d'une lampe à huile ou à alcool (fig. 30); il convient très-

bien pour obtenir la concentration rapide des liqueurs qui ne contiennent aucune matière en suspension. Dans l'évaporation à feu nu, il faut avoir soin de maintenir toujours le liquide à une température inférieure à 100°, afin de prévenir les projections qui pourraient résulter d'une ébullition même très-modérée. On doit aussi garantir le vase de la chute des poussières tenues en suspension dans l'atmosphère du laboratoire ou qui s'élèvent du foyer. A cet effet, on recouvre le récipient d'une feuille de papier à filtre maintenue au-dessus du liquide à l'aide de deux baguettes de verre.

Dans le cas où l'on veut pousser l'évaporation à feu nu jusqu'à siccité, ce que, du reste, on doit généralement éviter, il est indispensable de remuer continuellement la dissolution à partir du moment où elle devient sirupeuse; c'est le seul moyen d'éviter les projections qui se produiraient infailliblement.

34. Évaporation au bain-marie. — L'évaporation des liquides peut s'effectuer au bain-marie, en employant l'un des appareils décrits n° 22. Ce mode d'opération offre le grand avantage de dispenser de toute surveillance, parce que les solutions aqueuses ne pouvant jamais entrer en ébullition, aucune perte n'est à craindre. Les solutions alcooliques et étherées sont le plus souvent évaporées par ce système.

35. Évaporation au bain de sable. — On peut varier la disposition des bains de sable de bien des manières, suivant les ressources dont on dispose.

Dans les laboratoires, cet appareil se compose ordinairement d'une caisse en tôle pleine de sable, encastree dans le fourneau, et sous laquelle passent les produits de combustion. Ce bain est recouvert d'une cage

vitree destinée à abriter des poussières les liquides qui s'évaporent, et une ouverture supérieure qui communique avec la cheminée du fourneau facilite le départ des vapeurs.

Quand on ne possède pas un laboratoire spécial, on peut établir un bain de sable d'une manière fort simple en prenant une capsule ou une bassine en tôle de fer emboutie, que l'on remplit de sable et que l'on place sur un petit fourneau ou au-dessus d'une lampe à alcool ou à huile (fig. 31). On fait dans le sable un petit creux, et l'on y met le récipient qui contient la liqueur à évaporer. Il faut, quand cela est



Fig. 31.

possible, donner la préférence au sable de rivière, que l'on emploie parfaitement sec et homogène. A cet effet, on commence par le tamiser sur un tamis grossier, afin d'en séparer les pierres et les graviers, et ensuite sur un tamis plus fin pour enlever les parties argileuses.

L'emploi du bain de sable présente l'avantage de fournir une évaporation assez rapide et qui n'exige que très-peu de surveillance lors même que l'on pousse l'évaporation jusqu'à siccité.

Les évaporations de dissolutions alcooliques s'exécutent très-bien avec un bain de sable chauffé à la lampe à huile, et sans que l'on ait à craindre que les vapeurs qui s'échappent ne s'enflamment comme cela pourrait avoir lieu si l'on évaporait à feu nu.

Dans la fig. 32, *b* est un bain de sable que l'on

substituée au bain salin de l'appareil Violette, Chapitre II, fig. 18.

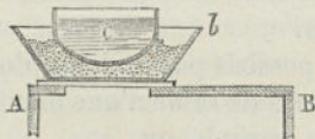


Fig. 32.

On peut aussi employer les bains de sable pour opérer la distillation de différents liquides.

36. Des vases à employer pour les évaporations. — Les vases les plus fréquemment employés pour les évaporations sont les capsules de porcelaine ; elles conviennent surtout quand on a à évaporer une grande quantité de liquide.

Si, la dissolution une fois évaporée à sec, on se propose de calciner et de peser le résidu, il faut avoir recours à l'emploi de vases de platine pour terminer l'opération. A cet effet on commence l'évaporation à feu nu ou au bain de sable, dans une capsule de porcelaine, et quand le liquide se trouve réduit à un volume convenable, on l'introduit dans un creuset ou une capsule de platine (n° 41).

Pour éviter de perdre du liquide dans ce transvasement, on passe préalablement un peu de suif en dessous du bec de la capsule de porcelaine, et on fait couler le liquide le long d'un agitateur (fig. 33).

Il faut ensuite laver la capsule à plusieurs reprises, avec de l'eau distillée, en se servant de la fiole à jet (n° 56) et réunir les eaux de lavage à la solution qu'on évapore. Le transvasement terminé, on achève la dessiccation au bain-marie, au bain de sable ou à l'étuve, suivant la nature du résidu sec.

On ne doit jamais évaporer dans les vases de platine des liquides qui contiennent de l'eau régale ou qui



Fig. 33.

peuvent donner lieu à un dégagement de chlore. Les capsules en argent servent pour l'évaporation des liqueurs qui contiennent un alcali caustique, mais il ne faut jamais les employer pour concentrer une liqueur renfermant un acide libre.

On emploie également avec avantage, pour évaporer certaines dissolutions qui grimpent le long des parois des capsules et se répandent à l'extérieur, de petites fioles légères, en verre, telles que celle représentée fig. 34. Les dissolutions de matières grasses dans l'éther sont dans ce cas.



Fig. 34.

37. Pesée du résidu d'une évaporation à sec. — Quand le résidu ne peut supporter la chaleur rouge sans se décomposer, on se contente de l'exposer un temps suffisant à la chaleur du bain d'eau ou de l'étuve à huile, et on le pèse ensuite.

Si au contraire le résidu est indécomposable au rouge, on le calcine sur la flamme d'une lampe à

alcool (fig. 34), en ayant soin de chauffer d'abord très-doucement et de ne porter la température au rouge que lorsque toute l'eau retenue par la matière s'est dégagée.

Certains sels, comme le chlorure de sodium, le sulfate de potasse, décrépitent quand on les chauffe fortement. Pour éviter les pertes, on ne doit exposer ces

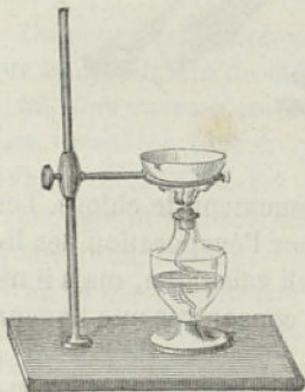


Fig. 34.

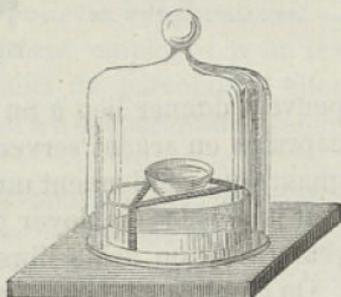


Fig. 35.

sels à la flamme de la lampe à alcool qu'après les avoir soumis pendant une heure ou deux, dans l'étuve à huile ou au bain de sable, à une température supérieure à 400°.

Les résidus secs ne doivent être pesés que lorsque les vases qui les renferment sont froids (n° 9). Quand ces résidus peuvent attirer l'humidité de l'air, il faut les laisser se refroidir sous une cloche et au-dessus d'un vase renfermant de l'acide sulfurique concentré (fig. 35).

p plaque en verre dépoli ;

c cloche à bords rodés ;

v vase renfermant l'acide sulfurique;
r capsule avec résidu sec.

Quand on pèse des substances hygrométriques, il est prudent de recouvrir, pendant la pesée, le vase qui les renferme.

Enfin, quel que soit le système de dessiccation que l'on emploie, il faut continuer l'opération jusqu'à ce que deux pesées consécutives de la substance faites à vingt minutes de distance ne diffèrent plus que de 1 à 2 milligr. au plus.

38. Appareils à incinération. — Les lampes à alcool ordinaires ne peuvent donner qu'une chaleur peu

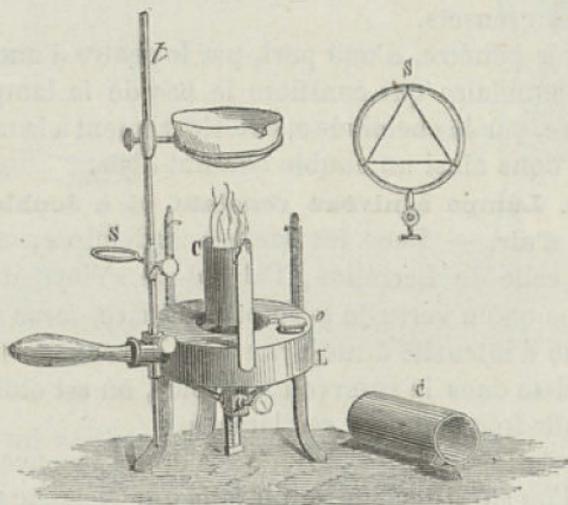


Fig. 36 (page suivante).

intense et insuffisante pour un grand nombre d'expériences de laboratoire.

Toutes les fois que l'on veut obtenir une température élevée, il faut avoir recours aux lampes à double

courant d'air, dont nous allons indiquer deux systèmes principaux.

39. Lampe de Berzélius à double courant d'air (fig. 36, page précédente).

L lampe cylindrique portée sur trois pieds.

m montants verticaux soudés à la lampe, et sur lesquels on peut placer les vases de grande dimension ;
c cheminée mobile qui s'adapte à la lampe et qui entoure la mèche.

o orifice par lequel on introduit l'alcool.

t tige en fer qui traverse le manche de la lampe et le long de laquelle on peut fixer, à des hauteurs différentes, des cercles *s* destinés à supporter les capsules ou les creusets.

L'air pénètre, d'une part, par le centre d'une capacité annulaire qui constitue le bec de la lampe ; de l'autre, par la cheminée *c*, extérieurement à la mèche ; on a donc ainsi un double courant d'air.

40. Lampe à niveau constant et à double courant d'air. — Dans les lampes ordinaires, comme dans celle de Berzélius, l'alcool ne s'élève dans la mèche qu'en vertu de la force capillaire, force qui diminue d'intensité à mesure que le niveau du liquide s'abaisse dans le réservoir. De plus, on est obligé de remplir fréquemment ces lampes.

C'est dans le but d'obvier à ces divers inconvénients que l'on substitue souvent à la lampe Berzélius ordinaire une autre lampe représentée (fig. 37).

M cylindre entourant le bec *B*, qui contient une mèche assez épaisse.

C cheminée mobile à trois pieds reposant sur le fond du cylindre *M*, et dont l'orifice supérieur présente des fentes verticales dans lesquelles s'engage le

triangle qui doit recevoir les creusets ou les capsules en platine.

F flaçon que l'on remplit d'alcool par la tubulure *t*.
ab tube qui plonge dans l'alcool, de manière que son extrémité inférieure *b* se trouve au même niveau que le bord de la mèche ; celle-ci dépassant d'un centi-

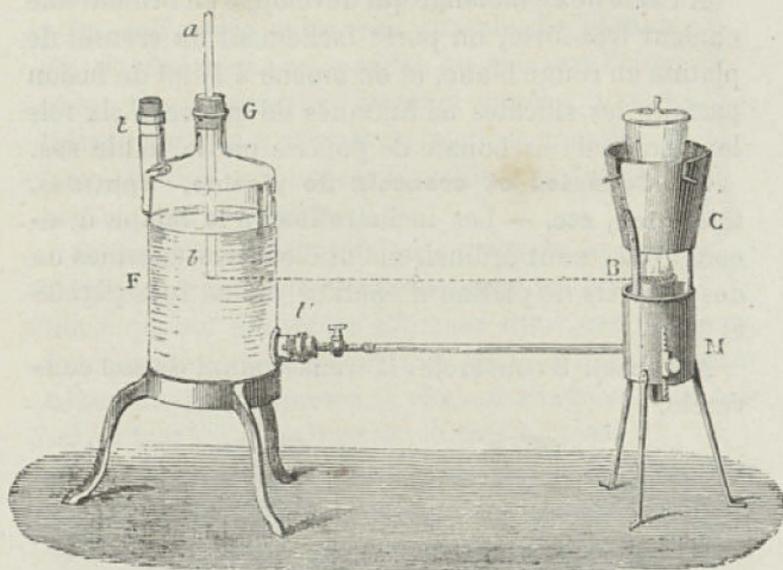


Fig. 37.

mètre au moins le bord du bec B. Cette disposition permet d'obtenir une grande régularité dans la combustion.

t' tubulure horizontale dans laquelle s'engage un tube qui amène l'alcool à la mèche. Un robinet *r* sert à établir ou à interrompre la communication, et par suite à régler l'écoulement de l'alcool.

Le bec de la lampe est traversé de bas en haut par un courant d'air intérieur, en même temps que le

manchon cylindrique M enveloppe la flamme d'un autre courant d'air.

Comme combustible, on peut substituer à l'alcool ordinaire, dit M. Chancel dans son *Traité d'analyse quantitative*, de l'alcool à 92 centièmes saturé d'essence de térébenthine.

A l'aide de ce mélange qui développe en brûlant une chaleur très-forte, on porte facilement un creuset de platine au rouge blanc, et on amène à l'état de fusion parfaite les silicates additionnés de quatre à six fois leur poids de carbonate de potasse ou de soude sec.

41. Capsules et creusets de platine. Spatules, triangles, etc. — Les incinérations à la lampe à alcool s'effectuent ordinairement dans des capsules ou des creusets de platine de petites dimensions (fig. 38 et 39).

A creuset. B couvercle. C creuset muni de son couvercle.

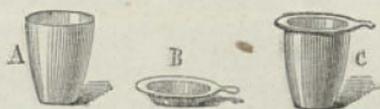


Fig. 38.

On doit donner la préférence aux couvercles qui ont la forme d'une petite capsule, parce que cette disposition permet d'employer cette capsule pour beaucoup d'essais qualitatifs ou pour incinérer des filtres.



Fig. 39.

C et D capsules en platine.

Pour exposer les creusets de platine à la flamme des lampes, on les place sur des triangles en gros fil de platine (fig. 37) ou sur un triangle en fil de platine très-fin, tendu dans l'intérieur d'un des cercles S (fig. 36).

Les capsules se posent directement sur ces cercles.

On doit avoir aussi une spatule de platine (fig. 40) fixée dans un manche en bois *m* à l'aide d'une vis de pression ou d'un anneau *a*. Cet instrument sert à remuer la matière soumise à la calcination ou à opérer les mélanges dans les capsules ou creusets.



Fig. 40.

On substitue quelquefois les creusets de porcelaine aux creusets de platine pour les opérations qui ne peuvent s'effectuer dans ces derniers. Dans ce cas, si l'on veut que les creusets de porcelaine puissent supporter la chaleur rouge sans se briser, il faut les choisir petits et très-minces.

42. Fourneau à moufle. — L'incinération d'un grand nombre de substances, et particulièrement celle des engrais, peut s'effectuer avec la plus grande facilité dans un fourneau à moufle, tel que celui représenté figure 41 (page suivante).

O cendrier; cette partie constitue la base de l'appareil, et reçoit tous les débris de la combustion.

C laboratoire qui contient le *moufle* M et qu'on remplit de charbon.

A dôme fermant la partie supérieure du laboratoire et qui est surmonté d'une cheminée en tôle T, par laquelle s'échappent les produits de la combustion.

g ouverture appelée *gueulard*, percée dans le dôme, et par laquelle on introduit le charbon de bois ou le

coke. Une porte permet de fermer cette ouverture quand le fourneau est plein de combustible.

P autre porte servant à fermer l'orifice du moufle

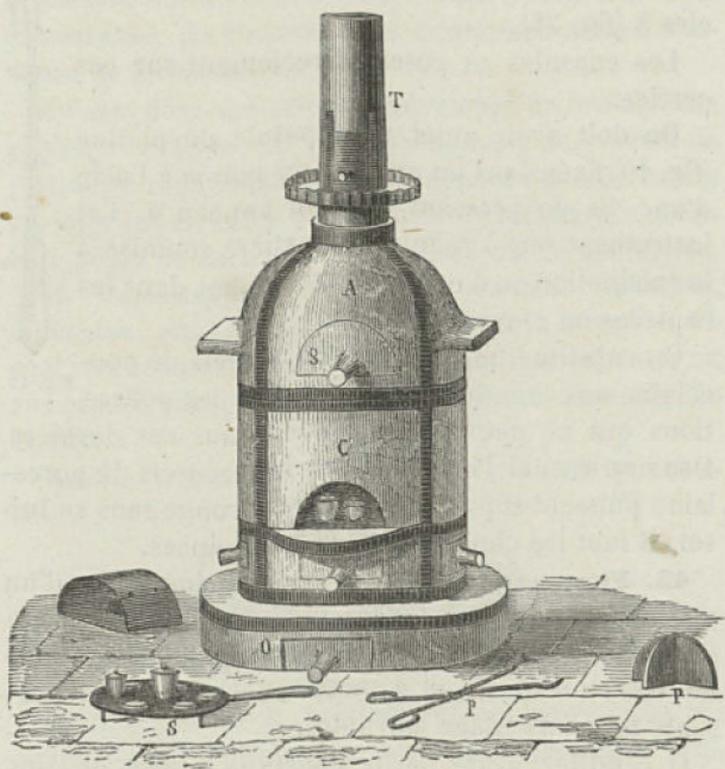


Fig. 41.

après que l'on y a introduit les creusets ou les capsules qui renferment les substances à incinérer.

p petite pince en fer pour saisir les creusets.

S support en fer formé d'une plaque reposant sur trois pieds et munie d'un manche en bois. Cette plaque est percée de trous circulaires de divers diamètres

dans lesquels on place les creusets à mesure qu'on les retire du moufle.

Quand ces creusets sont refroidis, on les porte tous ensemble à la balance, et on les pèse successivement.

Les creusets que l'on emploie pour effectuer ces incinérations sont en porcelaine ou en terre de Paris.

Le fourneau à coupelle dont nous nous servions à la Saulsaie pour nos incinérations d'engrais avait un moufle de 9 centimètres de hauteur sur 13 de largeur; c'est le numéro qui correspond à la troisième grandeur.

43. Prix des divers appareils ou instruments indiqués dans ce chapitre.

Lampes à alcool.

Lampe en cristal.	2 à 3 fr.
— en cuivre, avec manche en bois.	2 ^f ,50
— Berzélius à double courant d'air, avec accessoires.	25 fr.
— à niveau constant et à double courant d'air.	24 fr.

Instruments en platine.

Creusets avec couvercle. Capacité, 30 cent. cubes. . .	33 fr.
— — — 50 —	58 à 60 fr.
— — — 100 —	115 à 120 fr.
Capsules. Capacité, 12 cent. cubes.	10 fr.
— — — 70 —	40 fr.
— — — 120 —	55 à 60 fr.

Spatules avec manche à vis de pression ou anneau.

Longueur de la lame, 5 centim. à 10 centim.	6 ^f ,50 à 15,50
---	----------------------------

Lames et fils de platine.

Épaisseur ou diamètre	} Supérieur à 1/2 mill., le gr.	1 ^f ,20
		Inférieur — 1 ^f ,50

Instruments en argent.

Capsules. Diamètre, 7 à 10 centimètres.	15 à 26 fr.
Creusets. Capacité, 35 à 90 centim. cubes.	17 à 27 fr.

Capsules en porcelaine et à bec.

Diamètre, 27 à 110 millimètres.	0 ^f ,25 à 1 fr.
— 110 à 250 —	1 à 6 fr.
— 250 à 440 —	6 à 25 fr.

Creusets en biscuit de porcelaine avec couvercle.

Hauteur, 27 à 110 millimètres.	0 ^f ,30 à 0 ^f ,90
— 110 à 250 —	1 à 6 fr.

Creusets en terre de Paris.

Hauteur, 45 à 55 mill. Diamètre, 32 à 42 mill., lecent.	5 à 6 fr.
---	-----------

Bain de sable en tôle de fer emboutie.

Diamètre, 10 à 15 centimètres.	2 fr. à 3 ^f ,50
--	----------------------------

Bain de sable en fonte de fer.

Diamètre, 16 à 32 centimètres.	1 ^f ,75 à 3 ^f ,50
Support en fer à un seul anneau (fig. 34)	3 fr.
Cloche à dessiccation (fig. 35).	7 à 8 fr.

Fourneau à moufle et ses accessoires (fig. 41).

1 ^{re} grandeur pour moufle de 6 centim. sur 8.	10 fr.
2 ^e — — de 8 — sur 11.	20 fr.
3 ^e — — de 9 — sur 13.	30 fr.
Pince à creuset.	0 ^f ,75 à 1 fr.
Support à creuset.	2 ^f ,50

Fourneau à bassine cerclé en fer (fig. 29).

Diamètre, 11 à 22 centimètres.	2 à 5 fr.
— 22 à 33 —	5 à 10 fr.

CHAPITRE IV

PRÉCIPITATION, FILTRATION, FILTRES. — LAVAGE, DESSICCATION, INCINÉRATION DES PRÉCIPITÉS. — PESÉE.

44. Précipitation. — La précipitation est une opération qui, en analyse quantitative, a pour objet d'amener les corps dissous sous forme de composés insolubles, afin de les séparer les uns des autres et d'en déterminer le poids.

EXEMPLE : Soit une dissolution renfermant un mélange de chlorures de fer, de calcium et de magnésium ; pour séparer et doser chacun des éléments, on effectue les précipitations suivantes :

1° Précipitation du fer. — Addition d'un excès d'ammoniaque qui précipite le fer à l'état de peroxyde hydraté et qui laisse la chaux et la magnésie en dissolution.

Filtration, lavage, dessiccation, calcination et enfin pesage du peroxyde anhydre. Du poids obtenu on déduit par le calcul celui du fer.

2° Précipitation de la chaux. — Dans la liqueur filtrée, addition d'oxalate d'ammoniaque qui précipite la chaux à l'état d'oxalate de chaux et laisse la magnésie en dissolution.

Filtration, lavage, dessiccation, calcination et pe-

sage du précipité. Du poids du carbonate de chaux obtenu on déduit celui du *calcium*.

3° *Précipitation de la magnésie.* — Dans la liqueur séparée de l'oxalate de chaux et suffisamment concentrée, addition de phosphate de soude ammoniacal qui précipite la magnésie à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Filtration, lavage, dessiccation, calcination, pesage. Du poids du phosphate de magnésie obtenu on déduit celui du *magnésium*.

4° *Précipitation du chlore.* — Dans un volume déterminé du liquide primitif et acidulé par l'acide azotique, addition d'une quantité suffisante d'azotate d'argent qui précipite le chlore à l'état de *chlorure d'argent*. Du poids de ce précipité convenablement traité, on déduit celui du *chlore* et l'on rapporte le résultat au volume total de la dissolution des chlorures.

45. Règles à suivre dans les précipitations. — Pour que les déterminations quantitatives exécutées par la méthode de la précipitation soient exactes, il faut observer les règles suivantes :

1° Précipiter les corps, toutes les fois que la chose est possible, sous la forme qui correspond à leur plus grande insolubilité ;

2° Concentrer préalablement les dissolutions dans lesquelles on doit faire naître des précipités, quand ces derniers ne sont pas absolument insolubles ;

3° Modifier, au besoin, les milieux dans lesquels les précipités doivent prendre naissance, ou substituer dans les lavages l'eau ammoniacale, le chlorhydrate d'ammoniaque, l'alcool, etc., à l'eau pure, tou-

jours dans le but d'augmenter l'insolubilité des précipités.

Nous verrons par la suite l'application de ces règles.

46. Vases à précipités. — La plupart des précipités s'effectuent dans des vases cylindriques en verre,

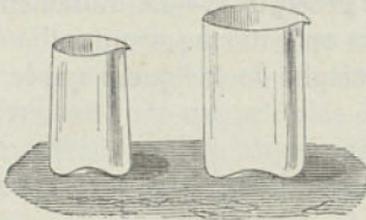


Fig. 42.



Fig. 43.

appelés *vases à précipités* (fig. 42), mais on peut employer aussi des verres à pied coniques (fig. 43).

Quand la précipitation doit avoir lieu à chaud, et s'il est nécessaire de chauffer le précipité avec la liqueur qui le renferme, on emploie des ballons ou des capsules.

47. Soins à prendre dans les précipitations. — Les réactifs doivent être ajoutés peu à peu dans les dissolutions, et après chaque addition on doit agiter le mélange avec une baguette de verre.

Il faut toujours verser un excès de réactif si l'on veut que la précipitation soit complète. On s'assure de la présence de cet excès en laissant le précipité se déposer au fond du vase et en faisant tomber ensuite une nouvelle goutte de réactif le long de la paroi de ce vase, lorsque le liquide qui surnage est devenu parfaitement clair. Si cette goutte produit un nuage

dans le liquide, on en conclut qu'une nouvelle addition de réactif est nécessaire.

Après chaque agitation de la liqueur, on doit, au moment où l'on retire la baguette de verre pour laisser le précipité se déposer, avoir soin de laver l'agitateur à l'eau distillée avec une fiole à jet (n° 56) et de faire tomber l'eau de lavage dans la solution.

48. Traitement des précipités. — Le traitement des précipités comprend les opérations suivantes :

1° Séparation du précipité de la liqueur qui le surnage ;

2° Lavage ;

3° Dessiccation et calcination ;

4° Pesée.

Nous allons les décrire successivement.

49. Séparation des précipités, etc. — Les précipités peuvent être séparés des liqueurs qui les surnagent par *décantation* et *filtration*.

La première méthode étant très-rarement employée, nous nous bornerons de décrire, ici, celle par filtration.

50. Filtration et filtres. — Dans les analyses, la filtration des précipités s'effectue toujours à travers du papier non collé, dit *papier à filtre*.

51. Papier à filtre. — *a.* Le meilleur papier à filtre, pour les analyses quantitatives, est le papier suédois, dit encore papier de Berzélius, et dont la pâte préparée d'une manière toute spéciale fournit des filtres qui, après leur combustion, ne laissent que 0,006 de leur poids de cendres.

b. Le papier suédois a l'inconvénient d'être très-cher, tandis que l'on peut se procurer dans le commerce, à un prix bien inférieur, un excellent papier

à filtre qui ne laisse, au plus, que 0,008 de son poids de cendres.

c. Le papier à filtre blanc du commerce peut encore servir dans les analyses quantitatives, mais à la condition de le débarrasser préalablement du fer, de la chaux, de la magnésie qu'il contient toujours, et qu'il abandonne quand il est traversé par des liqueurs acides. Pour opérer cette purification, il suffit de mettre les feuilles de ce papier dans une cuvette à fond plat et de les faire tremper pendant environ un quart d'heure dans une eau acidulée d'acide chlorhydrique. On remplace ensuite l'acide par de l'eau distillée, et quand le liquide décanté n'exerce plus aucune action sur le papier bleu de tournesol, on dessèche le papier et on le serre à l'abri de la poussière.

52. Fabrication des filtres. — On se sert, dans les laboratoires, de deux sortes de filtres : *les filtres à plis* et *les filtres unis*.

Les filtres à plis F (fig. 44) ne sont employés que lorsque l'on veut obtenir une filtration rapide et la sépa-

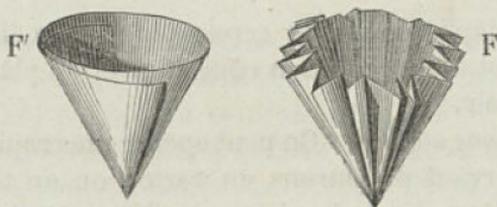


Fig. 44.

ration d'un liquide d'avec les matières qui en troublent la limpidité.

Les filtres unis F' (fig. 44), qui sont les seuls en usage dans l'analyse quantitative, peuvent se fabriquer de plusieurs manières :

Première méthode (fig. 45). — On prend un carré de papier à filtre (fig. 1), et on le plie successivement suivant les lignes ponctuées ab , bc , ae , des figures (1), (2) et (3). On le coupe ensuite avec des ciseaux suivant la ligne fg (fig. 4), de manière que

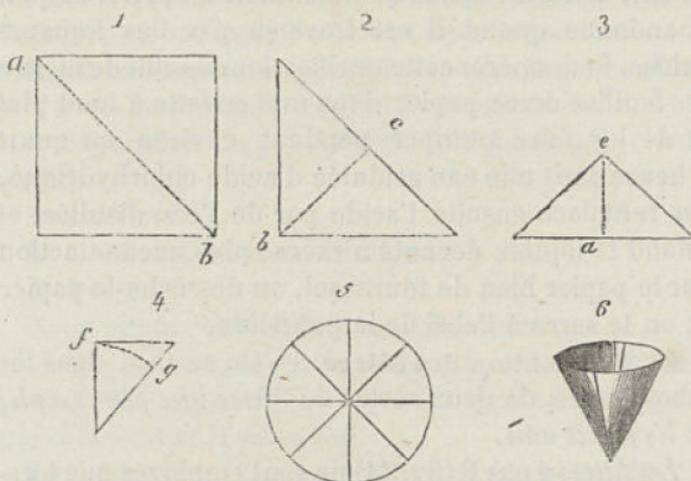


Fig. 45.

le filtre déplié donne un cercle (fig. 5). Ce disque de papier est alors replié en cône (fig. 6) et placé dans l'entonnoir.

Deuxième méthode. On peut opérer plus rapidement en se servant de patrons en carton ou en tôle dits *coupe-filtres*, demi-circulaires de différents diamètres. On applique sur ces patrons la feuille de papier pliée en deux, et l'on coupe avec des ciseaux tout ce qui dépasse le modèle (fig. 46, page suivante).

(1) Patron demi-circulaire abc .

(2) Feuille de papier $adec$ pliée en deux suivant la ligne ac .

(3) Patron appliqué sur la feuille de papier. On enlève avec des ciseaux la partie hachée *aced*.

Lorsque l'on veut se servir de ces filtres ainsi préparés, on les plie comme il est indiqué au n° (6) de la figure 45, c'est-à-dire qu'on forme un cône dont les parois doivent s'appliquer exactement contre celles de l'entonnoir en verre. Dans les entonnoirs dont les parois sont inclinées sous un angle de 60° , il

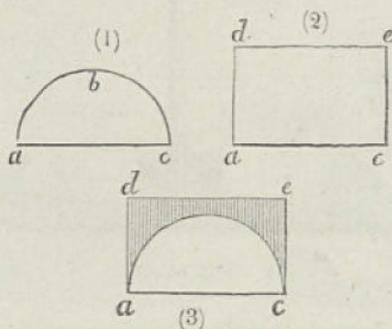


Fig. 46.

suffit, pour obtenir ce résultat, de séparer un quart de cercle des trois autres.

53. Disposition des filtres dans les entonnoirs. —

Les filtres ne doivent jamais dépasser les bords des entonnoirs; il faut, au contraire, les tenir à 2 ou 3 millim. au-dessous. La grandeur des filtres doit toujours être proportionnée au volume du précipité à recueillir, et celui-ci, une fois égoutté, doit remplir au plus les $\frac{2}{3}$ de la capacité conique.

54. Supports des entonnoirs. —

Les entonnoirs munis de leurs filtres peuvent être placés sur des supports disposés de diverses manières :

Quand les entonnoirs ont de grandes dimensions par suite d'un volume considérable de liquide à filtrer

ou de matière insoluble à recueillir, on peut employer l'un des appareils représentés dans les figures 47 et 48.

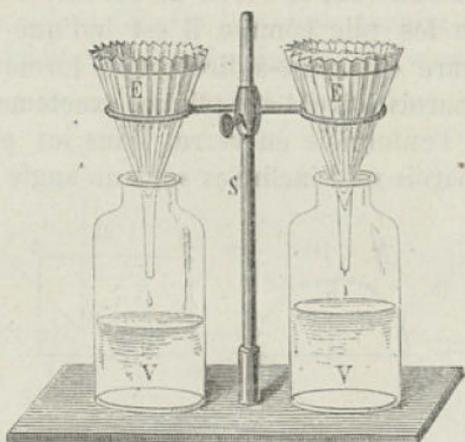


Fig. 47.

Les trous dans lesquels s'engagent les cols des entonnoirs doivent être légèrement creusés en cône de haut en bas, afin de donner plus de stabilité à l'appareil.



Fig. 48.

Dans la figure 47, une vis de pression permet de lever ou d'abaisser le bras mobile du support suivant la hauteur du vase destiné à recueillir le liquide qui s'écoule de l'entonnoir.

Dans les analyses quantitatives ordinaires les supports les plus employés sont les suivants : (fig. 49)

Une fiole à fond plat dans le col de laquelle s'engage l'entonnoir. Pour faciliter la sortie de l'air déplacé par le liquide qui s'écoule dans la fiole et

rendre, par suite, la filtration plus rapide, on interpose entre l'entonnoir et le col de la fiole un morceau de carton ou de papier plié à plusieurs doubles. Ce système de support a l'avantage de mettre le liquide filtré à l'abri de la poussière.

On obtient le même résultat avec la disposition représentée (fig. 50). L'entonnoir traverse ici une plaque



Fig. 49.



Fig. 50.

de bois percée d'un trou légèrement conique et qui recouvre le vase destiné à recueillir le liquide de filtration. Enfin, une excellente disposition de support très-fréquemment employée est celle représentée figure 51, page suivante.

Les entonnoirs sont placés dans les anneaux *a* et *b* du bras inférieur, tandis que le bras supérieur sert à supporter des flacons à lavage continu (n° 56 *b*).

55. Filtration. Une fois le précipité déposé au fond du vase et le liquide qui le surnage devenu bien clair, on peut procéder à la filtration; mais avant de commencer cette opération, il faut avoir soin d'humecter uniformément le filtre avec de l'eau distillée. On dirige ensuite le liquide à filtrer à l'aide d'une baguette

de verre (fig. 52) sur la paroi latérale du filtre et non sur le fond, afin de prévenir les projections hors de l'entonnoir.

On doit également, toujours dans le but d'éviter les projections en dehors du vase destiné à recevoir le liquide de filtration, avoir soin d'appuyer le bec de

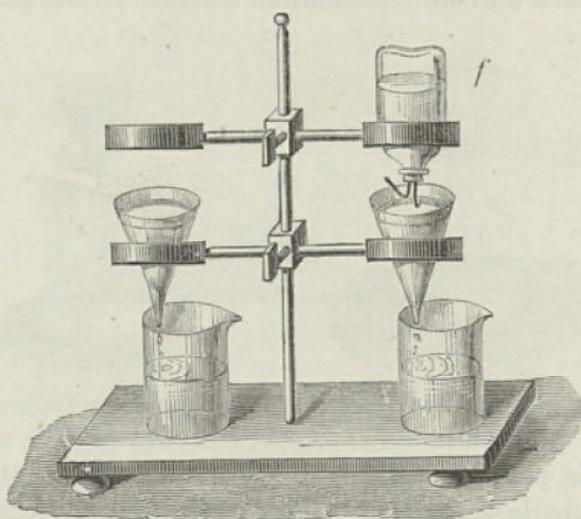


Fig. 51.

l'entonnoir contre la paroi interne du récipient placé au-dessous (fig. 52).

Après avoir décanté sur le filtre le liquide clair, on ajoute à plusieurs reprises de petites quantités d'eau distillée dans le vase qui contient le précipité, on agite et on verse le mélange sur le filtre.

Malgré ces lavages répétés, il arrive fréquemment que des parcelles de précipité restent attachées aux parois des vases. Pour les entraîner sur le filtre, on se sert de plumes d'oie ou de cygne (fig. 53) dont on n'a

conservé la barbe qu'à l'extrémité, et avec lesquelles on frotte les particules solides après avoir ajouté préalablement un peu d'eau distillée dans le vase. On continue cette opération jusqu'à ce que, après dessiccation



Fig. 52.



Fig. 53.

du vase, on n'aperçoit plus trace de précipité contre les parois.

Nous avons dit précédemment que les filtrations sur les fioles à fond plat (fig. 49) présentaient l'avantage de mettre le liquide de filtration à l'abri des poussières; mais ce système offre aussi l'inconvénient de rendre difficile l'enlèvement des dernières traces de précipité. On est souvent obligé de redissoudre ces parcelles dans un liquide convenable, de faire tomber la dissolution dans un verre et d'opérer une nouvelle précipi-

tation; encore ce moyen est-il inapplicable quand le précipité formé n'a pas de dissolvant.

Il est donc préférable, dans la majorité des cas, de filtrer sur des vases à large ouverture; mais alors, pour préserver les liqueurs de la chute des poussières, on doit, pendant tout le temps que dure la filtration, recouvrir les vases de disques de carton ou de verre munis d'un trou destiné à laisser passer le col de l'entonnoir.

On doit aussi prendre le soin, quand les filtrations sont de longue durée, de recouvrir les entonnoirs avec des disques de verre. Si l'on a soin de maintenir le filtre à 2 ou 3 millim. au-dessous du bord supérieur de l'entonnoir, on peut sans inconvénient employer à cet usage des disques de carton, parce que l'on n'a pas à craindre alors que, par capillarité, le liquide contenu dans l'entonnoir s'élève jusqu'à ce disque et ne le mouille, ce qui serait une cause de perte.

56. Lavage des précipités. — Quand le précipité a été réuni en totalité sur le filtre, il faut procéder à son lavage, opération qui a pour but de le débarrasser de tous les éléments solubles qu'il peut retenir entre ses molécules.

Dans la majorité des cas, le lavage des précipités se fait avec de l'eau distillée froide ou chaude, et l'on reconnaît que l'opération est terminée quand une goutte de liquide qui s'échappe de l'entonnoir ne donne aucune trace de matière solide lorsqu'on l'évapore à sec, sur une lame de platine (fig. 54).

a. Pour opérer le lavage des précipités, on se sert de *foies à jet* ou *pissettes* représentées dans les figures 55, 56, 57.

Pour se servir de la fiole (fig. 55), il suffit de souffler avec force par le tube, on renverse ensuite le flacon

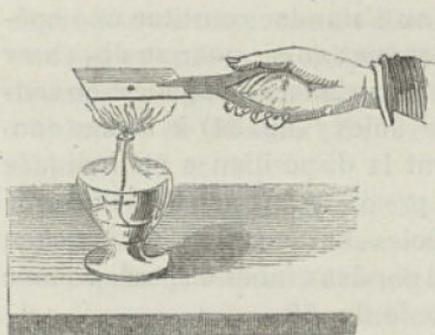


Fig. 54.



Fig. 55.

brusquement et on dirige le jet liquide contre les parois du filtre.

On obtient un jet liquide beaucoup plus facile à ré-



Fig. 56.



Fig. 57.

gler en soufflant modérément par le tube *a* de la fiole représentée figure 56.

La fiole (fig. 57) ne diffère de la précédente que par

l'adjonction de la poignée *m*, qui permet de tenir sans se brûler le flacon rempli d'eau bouillante ¹.

b. Le lavage des précipités *gélatineux* tels que ceux de sesquioxyde de fer ou d'alumine constitue une opération extrêmement longue ; aussi, pour se dispenser de toute surveillance, emploie-t-on souvent des fioles *f* (fig. 54) à lavage continu dont la disposition a été indiquée pour la première fois par Berzélius.



Fig. 58.

Ces fioles sont munies d'un bouchon traversé par deux tubes disposés comme l'indique la fig. 58.

Quand on retourne la fiole au-dessus de l'entonnoir, l'eau qui affleure l'orifice *n* du tube *mn* ne s'écoule pas, mais il suffit pour déterminer cet écoulement d'introduire par l'orifice *n* un petit morceau de papier qui fait alors office de siphon. A mesure que l'eau tombe goutte à goutte sur le précipité, l'air extérieur vient prendre sa place dans la fiole en pénétrant par le tube *gh*.

57. Dessiccation des précipités. — La dessiccation des précipités est l'opération qui suit le lavage : on l'exécute dès que l'entonnoir ne laisse plus écouler aucune goutte de liquide. Suivant la nature du traitement auquel le précipité doit être soumis après sa dessiccation, on opère comme il suit :

1° Dessiccation des précipités destinés à être calcinés. — Une fois le précipité suffisamment lavé, on couvre l'entonnoir d'un papier buvard et on abandonne le

¹ Dans l'emploi des fioles à jet, il faut avoir soin de diriger l'eau qui en sort contre les parois des filtres, afin d'éviter des projections et en même temps de réunir la totalité du précipité dans le fond de l'entonnoir.

tout dans un endroit chaud jusqu'à ce que l'on puisse retirer le filtre et son contenu de l'entonnoir sans que l'on ait à craindre le déchirement du papier. On place alors ce filtre dans une feuille double de papier buvard, et on achève sa dessiccation en l'exposant à la chaleur du bain-marie (fig. 15), de l'étuve à huile ou à chlorure de calcium (fig. 22 et 24) ou du bain de sable (fig. 31 et 32).

Quand, après le lavage, le filtre peut être immédiatement enlevé de l'entonnoir, on rend sa dessiccation plus rapide en le pressant légèrement entre des doubles de papier buvard, avant de l'exposer à la chaleur des bains ou des étuves.

Ces filtres une fois desséchés sont traités comme il est indiqué n° 58.

2° *Dessiccation des précipités non destinés à la calcination.* — a, *Méthode pratique des filtres tarés.* Dans beaucoup d'analyses agricoles, on peut se contenter de dessécher les précipités à une température déterminée sans les soumettre ensuite à la calcination. Dans ce cas, pour obtenir des résultats suffisamment exacts, on a recours à la méthode dite des *filtres tarés*.

On prend deux filtres de même rayon fabriqués avec du papier préalablement traité, comme il a été dit n° 51 c, et ayant exactement le même poids. Un de ces filtres sert à recueillir le précipité, tandis que l'autre est mis de côté. Une fois le précipité convenablement lavé et égoutté, on porte à l'étuve ou au bain-marie le filtre vide et le filtre plein, et quand la dessiccation de ce dernier est achevée, on détermine la différence de poids entre les deux filtres. Ce qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre représente le poids du précipité.

b. Méthode analytique plus exacte. Lorsque la calcination altère ou volatilise les précipités, on est obligé, dans les analyses chimiques rigoureuses, de se contenter de dessécher les précipités à une température déterminée, et alors on emploie la méthode suivante plus exacte que la précédente.

On soumet à la chaleur d'un bain-marie, d'un bain salé ou d'un bain d'huile le filtre destiné à recueillir le précipité, on place à côté de lui le creuset de platine dans lequel la pesée doit être faite plus tard, et on maintient le tout à la température à laquelle la dessiccation du précipité doit être effectuée.

Au bout d'une demi-heure environ, on introduit le filtre dans le creuset, on ferme ce dernier de son couvercle, on laisse refroidir le tout sous une cloche, en présence d'acide sulfurique concentré (fig. 35), et enfin on pèse rapidement. Si, après avoir remis le creuset à l'étuve pendant une demi-heure, répété les mêmes opérations et effectué une seconde pesée, le poids reste invariable, on peut considérer le filtre comme parfaitement sec.

On introduit alors le filtre desséché dans l'entonnoir, on effectue la filtration et le lavage du précipité; on dessèche le filtre et son contenu à la même température que précédemment et en prenant les mêmes précautions; enfin on pèse le creuset renfermant le filtre et le précipité, muni de son couvercle et refroidi sous la cloche à acide sulfurique, et en soustrayant la première pesée de la seconde, on a le poids du précipité.

58. Incinération des filtres, calcination des précipités. — La calcination d'un précipité nécessite l'incinération du filtre qui le renferme, parce qu'il est

impossible de détacher complètement de ce filtre la totalité de la matière recueillie ; cette calcination peut s'effectuer de deux manières, suivant la nature du précipité.

a. Première méthode. Cas où la combustion du filtre ne peut altérer la nature du précipité. — On sort de

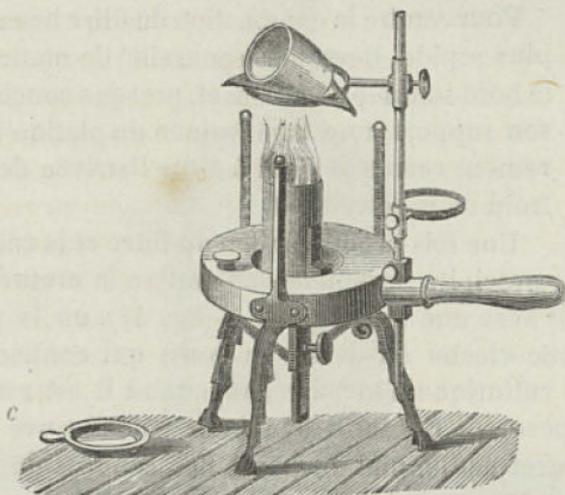


Fig. 59.

l'entonnoir le filtre et son contenu parfaitement secs, et on fait tomber le précipité dans un creuset de platine placé sur une feuille de papier glacé destinée à recueillir les parcelles de matières qui pourraient s'échapper au dehors.

On plie ensuite le filtre et on le met, dans le creuset, au-dessus du précipité. — Ce creuset muni de son couvercle est porté sur la lampe à double courant d'air (fig. 59), et chauffé lentement et graduellement au rouge jusqu'à ce que la carbonisation du filtre soit complète. On enlève alors le couvercle, on in-

cline le creuset de manière à favoriser l'accès de l'air dans son intérieur (fig. 59), et on continue à maintenir ce creuset au rouge jusqu'à ce que le charbon du filtre soit entièrement brûlé. On facilite cette combustion en comprimant le filtre carbonisé contre les parois rougies du creuset, à l'aide d'une spatule de platine (fig. 60).



Fig. 60.

Pour rendre la combustion du filtre beaucoup plus rapide, Berzélius a conseillé de mettre sur le bord inférieur du creuset, presque couché sur son support, une lame mince de platine légèrement recourbée qui facilite l'arrivée de l'air froid dans ce creuset.

Une fois la combustion du filtre et la calcination du précipité terminées, on couvre le creuset, on le saisit avec une petite pince *p* (fig. 41), on le porte sous une cloche au-dessus du vase qui contient de l'acide sulfurique concentré, et quand il est refroidi on le pèse. — En soustrayant du poids trouvé celui du creuset additionné du poids des cendres du filtre (voy. n° 59), on obtient le poids du précipité.

b. Deuxième méthode. Cas où la combustion du filtre peut altérer le précipité. — Toutes les fois que le charbon fourni par la combustion du filtre peut réduire le précipité et en modifier la composition, il faut avoir soin de brûler le filtre à part, et non pas au contact de ce précipité.

A cet effet, quand on a fait tomber dans le creuset, placé sur une feuille de papier glacé, tout ce qu'il est possible de détacher du filtre, on coupe ce dernier en morceaux que l'on brûle successivement sur le couvercle *c* du creuset (fig. 59), ou bien dans une petite capsule de platine. On ajoute ensuite ces cendres au

précipité contenu dans le creuset, on ferme celui-ci et on chauffe le tout graduellement jusqu'au rouge.

Le creuset refroidi sous une cloche à acide sulfu-

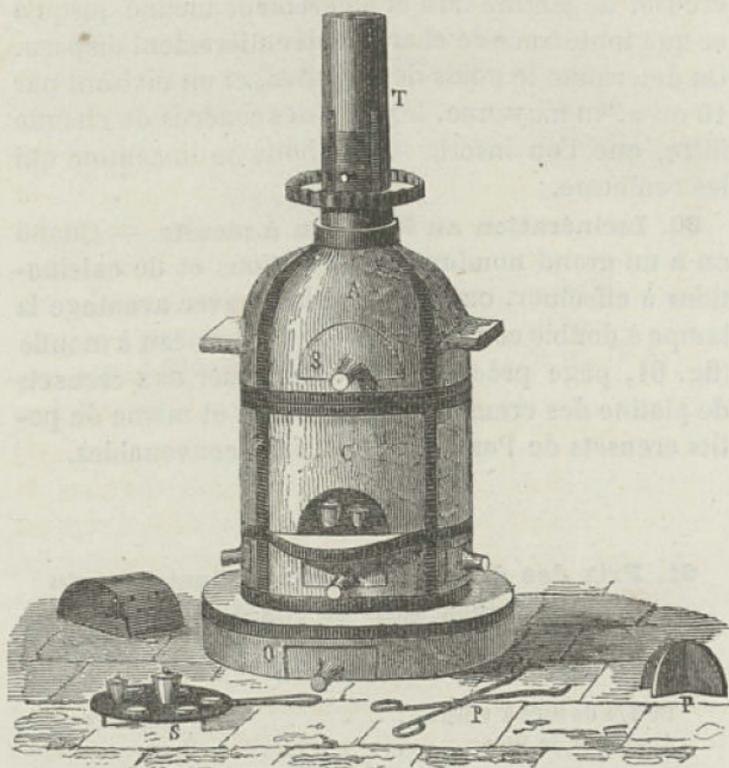


Fig. 61.

rique est ensuite pesé, comme il a été dit précédemment.

59. Poids des cendres des filtres. — Pour avoir le poids exact d'un précipité recueilli sur un filtre et soumis à la calcination, il faut tenir compte des cendres fournies par la combustion du papier, en opérant comme il suit :

Les filtres de divers rayons destinés aux analyses, et fabriqués comme il a été dit (n° 52), sont pris, pour chaque numéro, au nombre de dix et brûlés dans un creuset de platine taré et légèrement incliné jusqu'à ce que toute trace de charbon ait entièrement disparu. On détermine le poids des cendres, et en divisant par 40 on a, en moyenne, le poids des cendres de chaque filtre, que l'on inscrit sur la boîte ou la cantine qui les renferme.

60. Incinération au fourneau à moufle. — Quand on a un grand nombre d'incinérations et de calcinations à effectuer, on peut remplacer avec avantage la lampe à double courant d'air par le fourneau à moufle (fig. 61, page précédente) et substituer aux creusets de platine des creusets de porcelaine et même de petits creusets de Paris de dimensions convenables.

61. Prix des divers appareils ou instruments indiqués dans ce chapitre.

Vases à précipités

De 1/4 de litre à 1 litre	0 ^f ,20 à 0 ^f ,40
Au-dessus, le litre	0 ^f ,40

Verres à pied

De 125 ^{cc} à 1 litre	0 ^f ,25 à 1 fr.
--	----------------------------

Entonnoirs en verre

De 30 ^{cc} à 500 ^{cc}	0 ^f ,15 à 0 ^f ,30
De 500 ^{cc} à 2 litres	0 ^f ,30 à 0 ^f ,80

Fioles à fond plat.

125 ^{cc} à 1 litre	0 ^f ,15 à 0 ^f ,40
---------------------------------------	---

Fioles à jet.

Fiole simple (fig. 55).	0 ^f ,60
— à deux tubes (fig. 56).	1 ^f ,50
— à eau chaude (fig. 57).	2 fr.

Supports à entonnoirs.

Support en bois à un seul anneau.	1 fr. 50 c.
— à 2 anneaux (fig. 47).	2 fr. 50 c.
— à 4 anneaux (fig. 51).	5 fr.
— à 3 pieds (fig. 48).	2 fr.

Papier à filtre.

Papier suédois pour analyses, la main.	2 fr.
— pour analyses, 2 ^e qualité.	1 50
— à filtre blanc, la main.	0 fr. 75 c.

CHAPITRE V

ANALYSES VOLUMÉTRIQUES. INSTRUMENTS. LIQUEURS TITRÉES. APPLICATIONS ANALYTIQUES.

62. Analyse volumétrique. — L'analyse volumétrique repose sur l'emploi de *liqueurs titrées*, c'est-à-dire de dissolutions aqueuses renfermant sous un volume déterminé des poids connus *d'acide, de base ou de sels*, etc.

La quantité cherchée du corps à doser se déduit immédiatement du volume de la liqueur qu'il a fallu employer pour donner lieu à une réaction caractéristique, telle que le changement de couleur de la teinture du tournesol, la décoloration du sulfate d'indigo, du tartrate double de potasse et de cuivre, etc.

Les dosages par les liqueurs titrées présentent de nombreux avantages aux personnes qui n'ont pas une grande habitude des manipulations chimiques parce qu'ils sont expéditifs et rigoureux, tout en supprimant les précipitations, les filtrations, les lavages, les dessiccations et les calcinations, opérations si longues et si compliquées des analyses ordinaires.

63. Instruments employés dans les analyses volumétriques. — On se sert dans les laboratoires, pour effectuer les analyses volumétriques, de flacons gradués, de pipettes, burettes et de tubes ordinairement

divisés en centim. cubes et en dixièmes de centim. cubes.

Nous allons décrire ici ces divers instruments :

64. Flacons ou matras jaugés. — Les flacons ou matras jaugés servent journellement dans les laboratoires pour mesurer le volume total d'une solution, partager ce volume en parties aliquotes déterminées, ou bien encore pour préparer les liqueurs titrées.

Ces matras ont la forme ci-contre (fig. 62).

Ils portent sur la partie cylindrique du col un trait d'affleurement avec l'indication du volume correspondant. Ce trait doit se trouver à une hauteur telle que l'espace vide qui reste au-dessus permette d'agiter facilement le liquide et de rendre par suite les solutions bien homogènes. Les matras employés le plus fréquemment ont une capacité de 1000^{cc} (1 litre), mais il est bon d'en avoir de plus petits, de 500, 250 et 100^{cc}.



Fig. 62.

Ces vases pouvant être destinés à garder le liquide ou bien à le verser dans un autre flacon, l'acheteur doit, selon le cas, les demander jaugés secs ou jaugés humides. Du reste, on trouve chez les constructeurs des matras dont le col porte ces deux graduations à la fois. Si l'on veut préparer une liqueur titrée dans un de ces matras, on doit amener le niveau du liquide au trait qui correspond au *jaugage sec*; si l'on veut, au contraire, transvaser un volume déterminé de liquide dans un autre vase, on devra se servir du trait qui correspond au *jaugage humide* et qui a été établi en tenant compte de la quantité de liquide qui reste adhérente au verre.

Il est bon d'opérer les divers mesurages à une tem-

pérature fixe, 15° par exemple, et de placer les matras sur une table bien horizontale au moment où l'on amène la courbure du ménisque à être tangente au point d'affleurement.

65. Éprouvettes graduées. — Ce sont des vases cylindriques à pied (fig. 63), qui servent à mesurer les



Fig. 63.

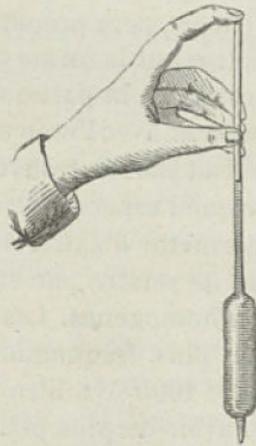


Fig. 64.

liquides ou à mélanger des solutions en proportions déterminées.

66. Pipettes graduées. — Les pipettes sont des instruments très-commodes pour mesurer avec exactitude de petites quantités de liquide, leur capacité peut varier de 1 à 100^{cc}. La forme des pipettes est variable, mais le plus souvent ces instruments se composent d'un tube cylindrique effilé à l'une de ses extrémités et portant un renflement cylindrique ou sphérique vers son milieu (fig. 64). Sur le tube se trouve gravé un trait circulaire surmonté d'un chiffre qui indique la capacité de l'instrument.

Pour remplir la pipette, on peut opérer par *aspiration*, c'est-à-dire plonger l'extrémité effilée dans le liquide et aspirer celui-ci jusqu'à ce qu'il s'élève un peu au-dessus du trait circulaire. On bouche alors l'orifice supérieur avec le doigt, on retire la pipette et à l'aide d'une pression convenable on laisse retomber le liquide jusqu'à ce que le trait indicateur soit tangent à la partie inférieure du ménisque. La lecture doit toujours être faite en tenant la pipette bien verticale et en plaçant le trait d'affleurement au niveau de l'œil.

On peut remplir les pipettes en employant un autre moyen qui présente un double avantage, celui d'être plus rapide et d'éviter les erreurs. A cet effet, on renferme les liqueurs titrées dans des flacons dont l'ouverture est fermée par un bouchon de liège traversé par le tube cylindrique de la pipette. Celle-ci plongeant dans le liquide se remplit d'elle-même, et quand on veut faire une opération, on pose le doigt sur l'orifice supérieur, on retire la pipette avec le bouchon et on détermine l'affleurement. En employant ce dernier mode de remplissage, on sera sûr de ne jamais plonger des pipettes imprégnées d'*acide* dans des liqueurs *alcalines* ou réciproquement.

Les pipettes sont toujours jaugées *humides* et de telle façon que, l'instrument ayant été rempli exactement jusqu'au trait circulaire, si l'on vient à laisser tomber le liquide en faisant toucher le bec effilé contre les parois du vase employé au transvasement, le volume écoulé soit juste celui désiré sans qu'il soit nécessaire de tenir compte du liquide qui reste adhérent aux parois.

On emploie quelquefois des pipettes ayant seule-

ment 1 ou 2^{ce} de capacité (fig. 65) mais dont chaque centimètre cube est divisé en dix parties.

On en trouve aussi qui ont la forme de la figure 66.

67. Burettes graduées. — Les burettes graduées sont des instruments qui permettent de verser goutte



Fig. 65.

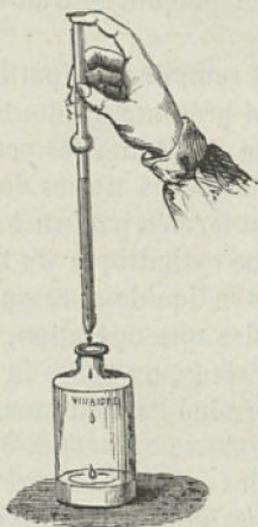


Fig. 66.

à goutte le liquide qu'ils contiennent et par suite de déterminer très-exactement la quantité nécessaire pour produire une saturation, un changement de couleur, une décoloration, etc.

On a imaginé divers modèles de burettes graduées, mais nous ne parlerons ici que de la *burette de Gay-Lussac* et de la *burette anglaise*.

1° *Burette de Gay-Lussac* (fig. 67). — Cette burette se compose de 2 tubes cylindriques, l'un présentant un diamètre beaucoup plus gros que l'autre. Le tube le plus fin est soudé inférieurement au plus gros et se termine supérieurement par un petit bec recourbé destiné à l'écoulement du liquide.

Les burettes sont divisées en demi-centimètres cubes ou bien en centimètres cubes divisés eux-mêmes en dix parties égales. Pour remplir l'instrument, on verse le liquide dans le gros tube jusqu'à ce que la courbure du ménisque coïncide avec le zéro de la graduation.

Ces burettes étant assez fragiles, on peut les placer dans des éprouvettes à pied garnies inférieurement d'un peu de filasse et revêtues intérieurement d'un cylindre de papier fort. On peut aussi fermer l'orifice supérieur avec un bouchon traversé par un fil attaché à la burette même; cette précaution met l'intérieur de l'instrument à l'abri de la poussière.

2° *Burette anglaise* (fig. 68). — Cette burette employée depuis longtemps en Angleterre se compose d'un seul tube terminé par un bec aigu et d'un petit entonnoir soudé sur le côté opposé et qui sert à remplir l'instrument. En posant le doigt sur cet entonnoir on peut régler l'écoulement à volonté ou l'arrêter tout à fait, en interceptant la rentrée de l'air.

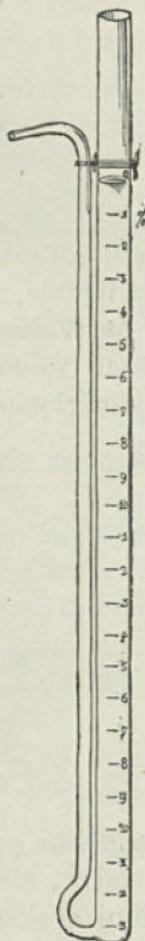


Fig. 67.

La burette anglaise est beaucoup moins fragile que

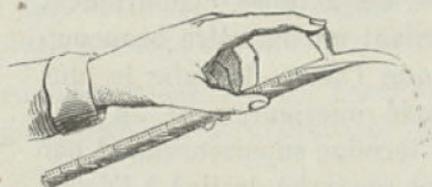


Fig. 68.

la burette Gay-Lussac, mais avec elle l'écoulement du liquide, goutte à goutte, est plus difficile à obtenir.

68. Vases pour les essais volumétriques. — Les essais volumétriques se font dans des vases en verre cylindriques ou coniques (fig. 69) placés sur une

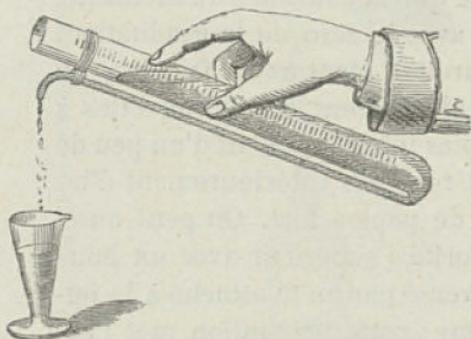


Fig. 69.

feuille de papier blanc, ou dans des capsules en porcelaine, récipients moins fragiles. A mesure que le liquide s'écoule de la burette on l'agite de l'autre main (fig. 70) avec une petite baguette en verre.

69. Des liqueurs titrées. — Les liqueurs titrées employées dans les analyses volumétriques varient de composition suivant la nature du corps que l'on veut doser. Nous indiquerons seulement dans ce chapitre la préparation de celles qui permettent d'effec-

tuer les essais acidimétriques et alcalimétriques, nous réservant de traiter des essais saccharimétriques, hy-

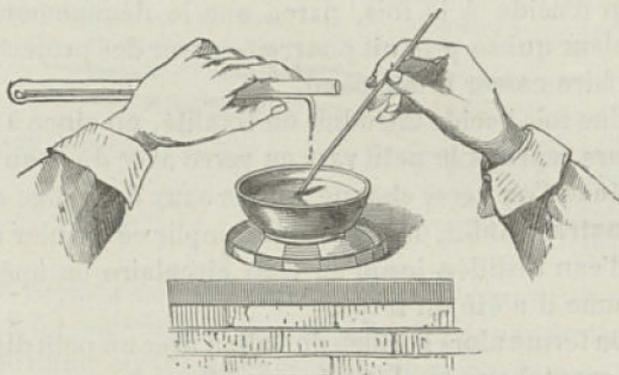


Fig. 70.

drotimétriques, etc., quand nous ferons de ces questions l'objet d'une étude spéciale.

70. Liqueur acide titrée. — 1° *Liqueur sulfurique normale.* Cette liqueur se compose de 49 gr. d'acide sulfurique monohydraté dissous dans une quantité d'eau telle que le volume total de la liqueur soit de un litre. 49 est le poids équivalent, exprimé en grammes, de l'acide sulfurique monohydraté ($\text{SO}^3 \text{HO}$).

Voici comment on prépare cette liqueur :

Dans un petit vase en verre de 50 à 60^{cc} de capacité et muni d'un bec, on pèse exactement 49 gr. d'acide sulfurique monohydraté : d'autre part, on remplit à moitié avec de l'eau distillée un matras jaugé dont la capacité jusqu'au trait circulaire est d'un litre (fig. 71).



Fig. 71.

On introduit ensuite par petites portions l'acide dans le matras, en ayant soin d'imprimer de temps en temps un mouvement

giratoire au liquide afin de déterminer un mélange intime entre l'eau et l'acide. Il faut éviter d'ajouter trop d'acide à la fois, parce que le dégagement de chaleur qui se produit pourrait causer des projections ou faire casser le récipient.

Une fois l'acide introduit en totalité, on rince à plusieurs reprises le petit vase en verre avec de l'eau distillée et l'on verse chaque fois les eaux de lavage dans le matras. Enfin, on achève de remplir ce dernier avec de l'eau distillée jusqu'au trait circulaire en opérant comme il a été dit n° 64.

On ferme alors l'orifice du ballon avec un petit disque en caoutchouc sur lequel on applique la paume de la main droite, et, retournant le vase de la main gauche, on agite le liquide à plusieurs reprises jusqu'à ce que le mélange soit bien homogène.

La liqueur acide ainsi préparée, il ne reste plus qu'à la transvaser dans un flacon bouchant à l'émeri et bien sec intérieurement. S'il arrive, dans ce transvasement, que l'on perde quelques gouttes de liqueur, on ne devra pas s'en préoccuper; il en serait tout autrement si cette perte avait lieu avant que la préparation de la liqueur fût achevée. Dans ce second cas, il faudrait recommencer l'opération.

La liqueur sulfurique ainsi préparée fournit les relations suivantes :

Un équivalent d'acide sulfurique monohydraté (SO^3HO) se combine à un équivalent d'ammoniaque Az.H^3 pour donner un sel neutre, le sulfate d'ammoniaque dont la formule est : $\text{Az.H}^3, \text{HO}, \text{SO}^3$ (ch. in., n° 365).
 Le poids équivalent de l'acide sulfurique étant. 49
 celui de l'ammoniaque est. 17
 celui de l'azote 14

On a donc :

Liquueur sulfurique titrée. 49 gr. dans un litre.	Ammoniaque. Eq = 17	Azote. Eq = 14
1000 ^{cc} correspondent à	17	14
1 ^{cc} correspond à	17	14
	1000	1000
n^{cc} correspond à	$\frac{17 \times n}{1000}$	$\frac{14 \times n}{1000}$

2° *Liquueur oxalique normale.* — On trouve rarement chez les marchands de produits chimiques de l'acide sulfurique ayant rigoureusement pour composition SO^3H^0 ; de là, une incertitude sur la richesse réelle de la liquueur acide préparée et par suite un surcroît de manipulations pour déterminer cette véritable richesse. De plus, l'acide sulfurique concentré attire l'humidité de l'air pendant qu'on le pèse, ce qui est encore une source d'erreur. Ces inconvénients ont conduit quelques chimistes à substituer à l'acide sulfurique un autre acide, solide à la température ordinaire, non hygrométrique, facile à peser : l'*acide oxalique* qui, pur et cristallisé, a pour formule $\text{C}^2\text{O}^3\text{H}^0$. (*Ch. org.*, n° 213).

D'après cette formule, le poids équivalent de cet acide est 63.

On pèse exactement 63-gr. d'acide oxalique cristallisé et on les introduit, sans en perdre, dans le matras d'un litre (fig. 71), puis on ajoute de l'eau distillée en ayant soin de remuer chaque fois le liquide pour hâter la dissolution de l'acide. On termine ensuite l'opération comme il a été dit n° 70. Un équivalent d'acide oxalique cristallisé pouvant saturer un équivalent d'ammoniaque, il en résulte que les relations

5.

établies pour la liqueur sulfurique titrée sont applicables à la liqueur oxalique. Dans la suite, quand nous voudrons désigner les liqueurs acides dont nous venons d'indiquer la préparation, nous dirons : *liqueur sulfurique* ou *liqueur oxalique normale*.

71. Liqueurs décimes, centimes. — On a souvent besoin, dans les analyses volumétriques, de liqueurs acides titrées beaucoup plus faibles que les précédentes. A cet effet, on les étend d'eau de façon que sous le volume d'un litre elles ne renferment plus que le dixième ou le centième du poids équivalent des acides sulfurique ou oxalique.

Pour préparer une liqueur décime par exemple, il suffit de mesurer exactement 100^{cc} de liqueur acide normale, de les introduire dans le matras jaugé d'un litre et d'ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait circulaire gravé sur le col.

72. Liqueurs alcalines titrées. — Les liqueurs alcalines titrées peuvent être :

1° Une dissolution de chaux dans l'eau sucrée;

2° De l'eau de chaux ;

3° Une dissolution de potasse ou de soude à la chaux.

La dissolution de chaux dans l'eau sucrée a l'inconvénient de s'altérer peu à peu, surtout dans les grandes chaleurs, et demande à être titrée souvent.

L'eau de chaux sert surtout quand il s'agit de saturer des liqueurs décimes ou centimes, nous reparlerons plus tard de son emploi.

La dissolution alcaline dont l'usage est le plus général pour ce genre d'analyse est celle à base de potasse ou de soude caustique; nous allons indiquer sa préparation.

73. Liqueur potassique ou sodique. — On fait une dissolution alcaline de richesse telle que 40^{cc} de liqueur acide normale soient saturés par 20 à 22^{cc} de liqueur potassique ou sodique. Pour obtenir ce résultat, on commence par dissoudre environ 20 gr. d'alcali dans $\frac{3}{4}$ de litre d'eau distillée et l'on détermine le volume de liqueur alcaline nécessaire pour saturer les 40^{cc} de liqueur sulfurique normale.

A cet effet, on fait tomber dans la capsule (fig. 72), les 40^{cc} de liqueur acide mesurés avec une pipette gra-



Fig. 72.

duée et on ajoute ensuite deux gouttes de teinture de tournesol qui communiquent au liquide une teinte rose.

La burette ayant été remplie de liqueur alcaline jusqu'au zéro, on fait tomber goutte à goutte l'alcali dans la capsule et l'on remue de l'autre main avec l'agitateur. Chaque goutte de liqueur alcaline sature un certain poids d'acide, et, quand on est près d'atteindre la neutralisation complète, on voit les gouttes alcalines bleuir le liquide là où elles tombent. Enfin, il

arrive un moment où la liqueur passe du rose au bleu clair, l'opération est alors terminée et la saturation opérée. On lit alors sur la burette le volume de liquide alcalin qu'il a fallu verser pour obtenir cette saturation et on vérifie ce premier résultat en répétant l'opération sur 10 autres ^{cc} de liqueur acide normale que l'on ajoute au liquide contenu dans la capsule. Si l'on a soin d'ajouter le même nombre de gouttes de tournesol, on devra retomber sur le même volume de liqueur alcaline, à une division près de la burette. Dans les conditions où la liqueur alcaline a été faite, on trouvera généralement qu'il faut moins de 22^{cc} pour produire la saturation, ce qui indiquera que la liqueur est trop concentrée et qu'il faut y ajouter de l'eau distillée.

Supposons qu'au lieu de 22^{cc} on trouve 15, on en conclura qu'à ces 15^{cc} il faudrait ajouter 7^{cc} d'eau distillée, d'où la proportion :

$$15 : 7 :: 750 : x = 350^{\text{cc}}$$

Il faudra donc ajouter aux $\frac{3}{4}$ de litre (750^{cc}) 350^{cc} d'eau distillée pour avoir une liqueur alcaline de concentration convenable.

Une fois le mélange rendu bien homogène, on effectue un nouveau titrage, puis on transvase la liqueur alcaline dans un flacon bouchant à l'émeri, mais dont on a soin de graisser légèrement le bouchon avec un peu d'huile afin d'empêcher son adhérence au goulot.

74. Teinture de tournesol. — Nous avons vu en *Ch. Inorg.*, p. 46, comment on préparait la teinture de tournesol; mais, dans les essais volumétriques, il est nécessaire de diminuer l'alcalinité naturelle que possède ce réactif, afin de rendre les réactions plus sen-

sibles. Le procédé le plus simple consiste à partager une quantité donnée de dissolution de tournesol du commerce en deux volumes égaux. L'un des volumes étant rougi par quelques gouttes d'acide acétique, on le mélange avec l'autre.

75. Tournesol neutre. — Pour des opérations qui demandent une très-grande exactitude, on peut aussi préparer du tournesol parfaitement neutre. Celui-ci dissous dans l'eau communique à ce liquide une teinte intermédiaire entre le rouge et le bleu et dont l'apparition dans les essais acidimétriques ou alcalimétriques indique la neutralisation exacte de la liqueur.

Pour préparer ce réactif, on commence par faire une dissolution très-concentrée de tournesol du commerce, on la filtre et on y ajoute un excès d'acide acétique. On détermine ensuite la précipitation de la matière colorante avec de l'alcool à 90° et on lave le précipité avec ce même alcool jusqu'à ce que le liquide décanté ne présente plus aucune trace d'acidité. Le résidu desséché à 100° constitue le *tournesol neutre* que l'on renferme dans un flacon bouchant à l'émeri et que l'on dissout dans un peu d'eau distillée au fur et à mesure des besoins.

APPLICATIONS ANALYTIQUES.

A l'aide des instruments que nous venons de décrire et des liqueurs acides et alcalines dont nous avons indiqué la préparation, on peut résoudre avec la plus grande exactitude l'un des problèmes suivants :

76. Premier problème. — *Dans 10^{cc} de liqueur sulfurique normale (n° 70), on ajoute une quantité d'ammoniaque indéterminée, mais insuffisante pour saturer tout l'acide. On demande le poids d'ammoniaque ajouté et celui*

d'azote correspondant, sachant qu'avant l'addition de l'alcali il fallait 20^{cc},5 d'une liqueur alcaline L pour saturer les 10^{cc} d'acide, et qu'après cette addition il ne faut plus que 8^{cc} de la même dissolution alcaline.

Nous avons trouvé précédemment (n^o 70) que *n* centim. cubes de la dissolution sulfurique normale représentaient :

En ammoniaque.	$\frac{17^{\text{s}} \times n}{1000}$
En azote.	$\frac{14 \times n}{1000}$

Il suffit ici de remplacer *n* par 10 et l'on trouve que :

	Ammoniaque.	Azote.
10 ^{cc} liqueur sulfurique correspondent à . .	0 ^g ,170	0 ^g ,140

D'autre part, l'énoncé du problème nous indique que pour saturer ces 10^{cc} de liqueur sulfurique normale, il faut 20^{cc},5 de liqueur alcaline L, ce qui nous permet d'établir les nouvelles relations :

	Ammoniaque.	Azote.
20 ^{cc} ,5 liqueur alcaline L correspondent à	0 ^g ,170	0 ^g ,140
1 ^{cc} liq. L.	$\frac{0^{\text{g}},170}{20,5}$	$\frac{0^{\text{g}},140}{20,5}$
<i>n</i> ^{cc} liq. L.	$\frac{0^{\text{g}},170 \times n}{20,5}$	$\frac{0^{\text{g}},140 \times n}{20,5}$

Enfin, les données nous apprennent qu'après l'addition de l'ammoniaque dans les 10^{cc} de liqueur sulfurique, il n'a plus fallu que 8^{cc} de liq. alcaline L pour produire la saturation. La différence (20,5—8) ou 12,5 représente donc le volume de liqueur L équivalente au poids de l'ammoniaque ajoutée.

Pour trouver ce poids d'ammoniaque et celui d'azote qui lui correspond, il suffira de remplacer, dans la dernière relation ci-dessus, n par 12,5 et l'on aura :

$$\text{Poids de l'ammoniaque ajoutée.} \quad \frac{0^{\text{g}},170 \times 12,5}{20,5} = 0^{\text{g}},1036$$

$$\text{Poids de l'azote correspondant.} \quad \frac{0^{\text{g}},140 \times 12,5}{20,5} = 0^{\text{g}},0853$$

Le dosage de l'azote renfermé dans un engrais, une terre, une plante (sous forme de combinaison autre qu'un nitrate) repose sur la résolution du problème précédent, et il suffira, pour effectuer cette détermination, de se servir de la formule générale et très-simple que nous allons indiquer.

77. Formule générale relative au dosage de l'azote.

$$p = \frac{R \times d}{T},$$

p est le poids d'azote correspondant au poids de la matière soumise à l'analyse.

R représente l'azote qui correspond au volume d'acide employé, cet acide pouvant avoir un titre quelconque mais déterminé d'avance. Si l'on emploie 10^{cc} de liqueur sulfurique normale, R est égal à 0^g,140. Pour 10^{cc} de liqueur sulfurique décime, R vaut 10 fois moins ou 0^g,0140, et ainsi de suite.

T est le titre de la liqueur alcaline ou le nombre de cent. cubes nécessaire pour saturer, avant l'opération, les 10^{cc} de liqueur acide employée. Ce nombre est constant tant que la liqueur alcaline n'est pas épuisée.

On peut donc effectuer d'avance la division de R par T .

d , seul nombre variable, représente la différence

entre T et le nombre de cent. cubes de liqueur alcaline L nécessaires pour déterminer la saturation de l'acide qui reste après le passage de l'ammoniaque.

Si donc on a effectué d'avance la division de R par T, le seul calcul à faire pour trouver p consiste à multiplier le quotient trouvé par la valeur de d fournie par chaque analyse.

Formule générale relative au dosage de l'ammoniaque.

— Cette formule est identique à la précédente :

$$p' = \frac{R' \times d}{T}$$

R' exprime ici non plus l'azote, mais l'ammoniaque qui correspond au volume de liqueur acide employé.

— Si ce volume est de 10^{cc} de liqueur sulfurique normale, R' = 0^g,170, etc.

78. Deuxième problème. — *Étant donné un mélange d'eau et d'acide sulfurique, déterminer la proportion d'acide monohydraté (SO³HO) que cette liqueur renferme par litre.*

Pour plus de simplicité, nous supposerons que nous possédons toujours la liqueur alcaline L qui a été titrée par rapport à la liqueur sulfurique normale, et nous rappellerons que :

20^{cc},5 liq. alcaline L correspondent à 10^{cc} liq. sulf. normale.

Nous savons, d'autre part, que :

1000 ^{cc} liq. sulf. normale renferment. . .	49 ^g SO ³ HO
10 ^{cc} — — — . . .	0 ^g ,490
Donc, 20 ^{cc} ,5 liq. alcaline L saturent. . .	0 ^g ,490
1 ^{cc} — — — sature. . . .	$\frac{0g,490}{20,5}$

Ceci posé, on mesure exactement avec une pipette

10^{cc} de la liqueur acidulée d'acide sulfurique dont on veut déterminer la richesse et on les introduit dans une capsule avec deux ou trois gouttes de teinture de tournesol. On verse ensuite avec la burette de la liqueur alcaline L jusqu'à neutralisation et l'on note le volume alcalin ajouté, soit 10^{cc},5.

On en conclut immédiatement :

$$\begin{array}{l} \text{Acide sulfurique monohydraté renfermé} \\ \text{dans 10}^{\text{cc}} \text{ du mélange donné.} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 0,490 \times 10,05 \\ 20,5 \end{array} \right. = 0^{\text{g}},2509$$

D'où, dans 1000^{cc} ou 1 litre. 25^g,09

REMARQUE. — La pesée des 49 gr. d'acide sulfurique monohydraté destinés à préparer une liqueur acide normale exige une balance très-sensible que ne possède pas toujours un agronome; dans ce cas, voici comment l'on pourrait tourner la difficulté. On ferait peser une première fois par le pharmacien de la ville voisine, 49 gr. d'acide sulfurique pur et monohydraté qui serviraient à préparer un premier litre de liqueur sulfurique normale, comme il a été dit n° 70.

Ce premier litre pourrait servir ensuite à en préparer autant d'autres que l'on voudrait, et cela sans se servir de balance. Il suffirait d'avoir de l'acide sulfurique pur et concentré qu'on additionnerait d'eau et dont on déterminerait la richesse en acide monohydraté, comme il a été indiqué au problème précédent (n° 78).

Beaucoup de personnes composent la liqueur sulfurique normale avec 61^g,250 d'acide sulfurique monohydraté, au lieu de 49 gr., poids que nous avons indiqué; nous donnons la raison de cette différence, chapitre XX.

**79. Prix des divers instruments ou produits
mentionnés dans ce chapitre.**

<i>Flacon</i> ou <i>matras</i> jaugé à 1 litre...	4 fr.
— — à 1/2 —	3 fr.
— — 250 à 50 ^{cc}	2 ^f ,50 à 1 fr.
<i>Éprouvette</i> à pied de 1 litre, graduée de 10 en 10 ^{cc} .	8 fr.
— de 1/2 litre, graduée de 5 en 5 ^{cc} .	8 fr.
— de 250 ^{cc} , graduée de 2 en 2 ^{cc} .	5 fr.
— de 100 ^{cc} , graduée en cent. cubes.	4 fr.
<i>Pipette</i> de 10 à 100 ^{cc}	2 à 3 fr.
— de 10 ^{cc} , graduée par 1/2 ^{cc}	3 fr.
— de 2 ^{cc} , graduée par dixièmes de c. cubes. . .	2 fr. 50 c.
<i>Burette</i> de Gay-Lussac de 50 ^{cc} , divisée par 1/2 ^{cc} . . .	7 fr.
— — de 25 ^{cc} , div. par 10 ^{es} de c. c.	7 fr.
<i>Burette anglaise</i> de 25 ^{cc} en dixièmes.	7 fr.
<i>Valets</i> en paille.	0 ^f ,35 à 0 ^f ,60

II

OPÉRATIONS ANALYTIQUES

CHAPITRE VI

ESSAIS DES PIERRES A CHAUX ET DES CHAUX EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

I. ESSAI DES PIERRES A CHAUX DESTINÉES A L'AGRICULTURE.

Les calcaires destinés à l'agriculture peuvent être employés comme *marnes*, ou bien à l'état de *chaux caustique* après la cuisson.

La question des marnes devant être traitée dans un chapitre spécial, nous nous bornerons à indiquer ici comment on peut analyser les calcaires et juger de la nature de la chaux qu'ils donnent à la calcination.

80. Méthode pratique pour doser le carbonate de chaux d'un calcaire. — Opérations préalables. —
1° Prise de l'échantillon moyen. — Il importe tout d'abord que l'échantillon sur lequel doit porter l'analyse représente bien la moyenne de la couche ou des couches calcaires exploitées dans la carrière. A cet effet, on doit constituer cet échantillon par un très-grand nombre de fragments pris sur divers points et représentant un poids d'au moins 4 kilogr. Ces frag-

ments sont pulvérisés dans un mortier en fonte (fig. 73) ou en bronze et les diverses parties bien mélangées entre elles de façon à constituer un tout aussi homogène que possible.



Fig. 73.

2° *Dessiccation à 100°.* — On procède ensuite à la dessiccation de la matière en mettant 100 gr. de l'échantillon pulvérisé dans le vase V du bain-marie (fig. 74).

Quand le vase V porté sur le plateau de la balance pendule (fig. 3) ne change plus sensiblement de

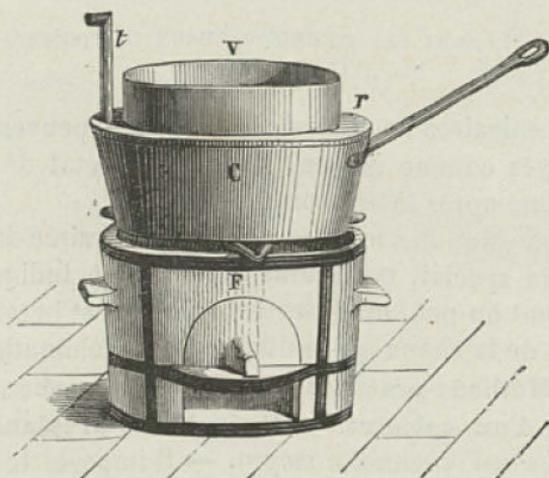


Fig. 74.

poids, on considère la dessiccation comme achevée; on note la perte en eau hygrométrique à la température de 100, et l'on renferme la matière desséchée dans un flacon.

Ces opérations préliminaires terminées, on procède au dosage du carbonate de chaux.

3° *Dosage du carbonate de chaux.* — La méthode pratique dont il s'agit consiste à traiter un poids déterminé de matière sèche par une liqueur acidulée d'acide chlorhydrique qui dissout le carbonate de chaux du calcaire sans attaquer sensiblement les autres éléments dont on détermine ensuite le poids.

En retranchant du poids du calcaire employé celui du résidu insoluble, on obtient *le poids du carbonate de chaux.*

81. Détail des opérations. — I. On pèse 10 gr. de matière sèche et on les introduit dans une fiole à fond plat de 1/4 de litre de capacité environ. On verse sur cette poudre calcaire 100^{cc} d'eau distillée ou de pluie et on imprime au liquide un mouvement de giration de façon à bien délayer la matière. On ajoute ensuite par très-petites portions 15 à 20^{cc} d'acide chlorhydrique en ayant soin d'incliner chaque fois la fiole à fond plat, de façon que les bulles de gaz acide carbonique qui se dégagent viennent frapper la paroi interne du vase et y déposent le liquide acide qu'elles entraînent, avant de s'échapper par le col du ballon.

Une fois la totalité de l'acide introduite dans la fiole, on place celle-ci sur le marbre d'un poêle ou sur un bain de sable chauffé à 50 ou 60°, et on l'abandonne au repos en ayant soin de remuer de temps en temps le mélange. Quand on n'observe plus aucune trace d'effervescence, même après l'addition de quelques nouvelles gouttes d'acide, on laisse la clarification du liquide s'effectuer.

II. Pendant que les particules terreuses non attaquées se déposent, on prend deux filtres de 7 à 8 cent.

de rayon, de même poids, et on en introduit un dans un entonnoir en verre. Le liquide clair est alors décanté sur ce filtre préalablement humecté (fig. 75) et



Fig. 75.

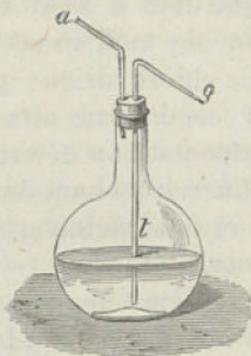


Fig. 76.

remplacé dans la fiole par une nouvelle quantité d'eau distillée destinée à laver le résidu insoluble.

Après avoir agité le résidu insoluble avec cette nouvelle eau, abandonné le mélange au repos, décanté une seconde fois le liquide clair sur le filtre, on répète ce lavage une seconde fois et enfin on fait tomber sur ce filtre le résidu insoluble en rinçant à plusieurs reprises le matras qui le renferme.

Quand la totalité du résidu insoluble a passé de la fiole sur le filtre, on continue à laver ce résidu sur le filtre même, jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne colore plus en rouge une bandelette de papier de tournesol bleu.

Le lavage du résidu insoluble s'effectue facilement à l'aide de la fiole à jet (fig. 76) décrite n° 56.

Le liquide filtré L séparé du résidu insoluble est mis de côté.

III. On abandonne l'entonnoir et son contenu dans

un endroit chaud, à l'abri de la poussière, jusqu'à ce que l'on puisse enlever facilement de cet entonnoir le filtre et le dépôt qu'il contient. On replie alors le bord supérieur du filtre de façon à prévenir toute perte de matière et on achève sa dessiccation au bain-marie, en même temps que l'on soumet à la même température le second filtre vide. On place ensuite ces deux filtres sur les plateaux de la balance et la différence de poids représente la *quantité de matière insoluble restée sur le filtre* (n° 57 2° a).

La différence entre ce poids et celui du calcaire employé indique la proportion de carbonate de chaux enlevé par l'acide aux 10 gr. de matière desséchée à 100°. On rapporte ensuite le résultat au calcaire simplement desséché à l'air.

Application. — *Essai d'un calcaire du château de Laroche, canton de Marchaux, département du Doubs.*

Échantillon moyen pulvérisé et desséché à 100°.

Poids avant la dessiccation.	100 ^g
— après —	93,5
Perte en eau.	6 ^g ,5

Essai chimique sur 10 gr.

Poids traité par l'acide chlorhydrique étendu.	10 ^g
Résidu insoluble.	2,8
Perte de poids.	7 ^g ,2
Carbonate de chaux pour 100.	7,2

Richesse du calcaire à l'état normal.

$$100 : 72 :: 93,5 : x \quad x = 67,32.$$

La perte en eau à 100° ayant été de 6^g,5, la quantité de calcaire sec renfermée dans 100 gr. de calcaire humide est égale à 100 moins 6,5 ou 93,5.

82. Observations. — Le procédé que nous venons de décrire donne toujours des résultats un peu au-dessus de la vérité, ce qui tient à ce que l'acide chlorhydrique dissout, en outre du calcaire, un peu d'oxyde de fer et d'alumine, mais l'erreur qui en résulte est négligeable dans la pratique. Pour s'assurer de la dissolution de ces deux oxydes, il suffit d'ajouter dans la liqueur L, séparée par filtration du résidu insoluble, de l'ammoniaque jusqu'à ce que le liquide devienne alcalin. Au bout de quelques instants, on voit apparaître un léger précipité, mélange des deux oxydes.

83. Autre procédé expéditif pour doser le carbonate de chaux renfermé dans un calcaire. — La méthode précédente, quand elle est bien conduite, donne des résultats très-satisfaisants pour la pratique, mais elle exige encore un temps assez long, tandis que le procédé que nous allons exposer exige une demi-heure au plus.

Ce procédé consiste : *A traiter un poids déterminé de calcaire par un acide qui s'empare de la chaux et chasse l'acide carbonique. Du poids du gaz dégagé, on conclut la proportion de carbonate de chaux correspondante.*

Acide à employer. — On emploie, pour décomposer le carbonate, de l'acide azotique ou chlorhydrique étendu de $\frac{1}{10}$ d'eau distillée, 90° d'acide et 10° d'eau distillée, par exemple.

1° *Description de l'appareil Chancel (fig. 77).*

B petite fiole de 50 à 60^{cc} de capacité environ.

c petite éprouvette en verre mince et d'une longueur telle qu'une fois introduite dans la fiole B elle conserve la position indiquée dans la figure sans pouvoir s'incliner davantage. Le bouchon de la fiole est percé de deux trous livrant passage aux deux tubes a et b.

b tube dont la capacité renflée est remplie de chlorure de cal-

cium et de borax fondus. Ces substances sont placées dans le tube entre deux petits tampons de coton cardé. A la partie supérieure du tube *b* se trouve un bouchon traversé par un petit tube de 3 à 4 cent. de longueur.

a tube recourbé terminé par un renflement et qui sert à produire une aspiration dans l'intérieur de la fiole *B* à la fin de l'opération.

Un bouchon ferme le tube *a* pendant le dégagement du gaz carbonique.

2° *Mode d'opération.* — Nous supposons que l'on opère par la méthode de la double pesée.

On met sur un des plateaux du trébuchet pesant à 4 centigr. ou à 5 milligr. près, un petit verre de montre, et sur l'autre plateau un poids supérieur à celui du verre de montre de 1^{er},5 environ; puis on place à côté de ce verre les poids nécessaires pour obtenir l'équilibre.

On fait tomber ensuite dans le verre de montre un poids de calcaire réduit en poudre, compris entre 5 décigr. et 4 gr. suivant la richesse présumée de la matière en carbonate de chaux. Ce poids sera déterminé par celui qu'il faudra enlever du plateau où se trouve le verre de montre, pour rétablir l'équilibre.

On fait tomber ensuite la matière pesée sur un carré de papier lisse, et on l'introduit dans la fiole *b*, dont le goulot doit être bien sec, afin qu'il ne s'y attache aucune particule terreuse.

La petite éprouvette *c*, presque remplie d'acide, est alors introduite, avec une pince, dans la fiole *B*, en ayant soin qu'aucune goutte d'acide ne s'écoule au dehors et ne tombe dans la fiole; autrement il faudrait recommencer l'opération.

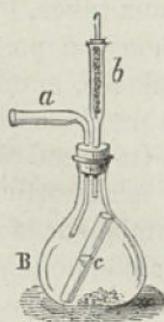


Fig. 77.

On ferme la fiole *B* avec le bouchon muni de ses deux tubes, le tube *a* étant aussi fermé par son bouchon; on porte l'appareil sur un des plateaux de la balance, et on lui fait équilibre en employant toujours la méthode de la double pesée.

On prend alors l'appareil et on l'incline de manière à faire sortir de l'éprouvette *c* un peu d'acide qui tombe sur la matière terreuse, décompose le carbonate et chasse l'acide carbonique qui se dégage par le tube *b*, en traversant la colonne de borax et de chlorure de calcium. Le borax est destiné à retenir la petite quantité d'acide que l'acide carbonique pourrait entraîner, le chlorure de calcium dépouille le gaz de son humidité.

A mesure que l'on fait tomber de l'acide sur la matière, on remue légèrement le mélange pour faciliter la réaction, et quand tout l'acide a été ajouté, que par l'agitation on n'observe plus aucune effervescence, l'opération est terminée.

On enlève alors le bouchon du tube *a*, et on aspire cinq ou six fois par ce tube, de manière à remplacer l'acide carbonique resté dans la fiole par de l'air extérieur. On reporte alors l'appareil sur le plateau de la balance après avoir fermé le tube *a*, et ce qu'il faut ajouter de poids sur ce plateau pour rétablir l'équilibre indique la quantité de gaz carbonique dégagé.

En multipliant le poids d'acide carbonique trouvé par 2,273, on a celui du carbonate de chaux renfermé dans le poids de calcaire introduit dans la fiole. On rapporte ensuite le résultat à 100 parties.

84. Application.

- I. Sur le plateau A on met un poids de 5^g
 — — B — le verre de montre plus. 2,330

l'équilibre est établi.

On enlève 1 gr. sur le plateau B et on rétablit l'équilibre avec du calcaire pulvérisé que l'on fait tomber dans le verre de montre; l'opération porte donc sur 1 gr. de matière.

- H. *Pesée de la fiole munie de ses deux tubés et renfermant :*
 1^o l'éprouvette et son acide; 2^o 1 gr. de calcaire.

On met sur le plateau A un poids de 40^g
 Sur le plateau B, la fiole plus. 2,440

après quoi l'équilibre est établi.

On fait réagir l'acide sur la matière et après l'opération on reporte la fiole sur le plateau B. On trouve que pour rétablir l'équilibre il faut ajouter sur ce plateau 25 centigr.; ce poids correspond à celui de l'acide carbonique dégagé.

On a donc :

Carbonate de chaux, pour 1 gr. $2,273 \times 0,25 =$ 0^g,568
 — — pour 100 gr. 56,8

85. Observations. *Poids de matière à introduire dans la fiole b, suivant la richesse présumée en carbonate de chaux.* — Dans le cas d'un calcaire très-riche, il pourrait arriver que la quantité d'acide renfermée dans l'éprouvette c fût insuffisante pour décomposer la totalité du carbonate contenue dans 1 gr. de matière, et il conviendrait alors de n'opérer que sur cinq à six décigr. au plus.

Pour s'assurer si tout le carbonate a été décomposé, on fait la vérification suivante : Quand le dosage de l'acide carbonique est terminé, on débouche la fiole et on ajoute sur le résidu quelques gouttes de la liqueur acide, afin d'examiner s'il se produit une

nouvelle effervescence. Si ce cas se présente, c'est que la quantité d'acide était insuffisante, et on recommence alors un second dosage sur une quantité moindre de matière.

Du reste, nous conseillons de faire toujours deux dosages successifs en employant chaque fois des poids différents de la même substance, et de prendre la moyenne des deux résultats obtenus.

86. Appareil Gessler pour doser l'acide carbonique.

— L'appareil à doser l'acide carbonique que nous avons décrit n° 83 peut être remplacé par un autre qui donne également de très-bons résultats (fig. 78).

1° Description :

B petit ballon en verre auquel un tube recourbé est soudé en *f*.

s enveloppe soudée à la partie inférieure du tube recourbé. On met dans cette enveloppe de l'acide sulfurique concentré.

ab allonge formée de deux parties, l'une cylindrique, l'autre conique, et séparées par un étranglement. La partie médiane de cette allonge, au-dessous de l'étranglement, est usée à l'émeri, ce qui permet de fermer hermétiquement le col *e* du ballon.

On met dans cette allonge de l'acide azo-

tique destiné à décomposer le carbonate introduit dans le ballon.

t tige en verre munie d'un bouchon à la partie supérieure et portant inférieurement une partie renflée et usée à l'émeri servant à boucher l'orifice *b* de l'allonge.

2° *Mode d'opération.* — L'allonge *ab* ayant été élevée, on introduit dans le ballon B la matière calcaire pulvérisée et pesée.

On remonte le bouchon de liège du tube *t*, et à

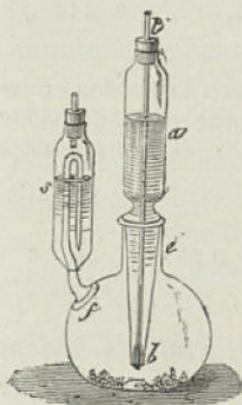


Fig. 78.

l'aide d'une pipette effilée, on verse de l'acide azotique dans l'allonge *ab*, en ayant soin que la partie renflée du tube *t* s'oppose à la sortie de l'acide en *b*. On essuie le goulot de l'allonge, on redescend le bouchon de liège, et on replace l'allonge *ab* sur le ballon. D'autre part, l'enveloppe *s* doit être remplie d'acide sulfurique concentré jusqu'au sommet du tube recourbé.

On procède alors à la décomposition du carbonate. A cet effet, on soulève légèrement le tube *t*, de façon à permettre l'écoulement de quelques gouttes d'acide azotique dans le ballon.

Le gaz carbonique qui se dégage ne pouvant sortir que par le tube recourbé soudé en *f*, se dépouille de son humidité en traversant la colonne d'acide sulfurique et sort sec du tube *s*.

On fait tomber peu à peu dans le ballon la totalité de l'acide renfermé dans l'allonge *ab*, et quand toute effervescence a cessé, on pèse une seconde fois l'appareil. La perte de poids correspond à la quantité d'acide carbonique dégagé. On fait alors un calcul identique à celui indiqué n° 83.

-- Nous devons prévenir nos lecteurs que ce second appareil exige dans son maniement beaucoup plus de précautions que l'appareil Chancel.

CALCAIRES MAGNÉSIENS.

87. — Il peut arriver que le calcaire à essayer renferme du *carbonate de magnésie* en assez grande abondance pour qu'il soit intéressant, dans l'essai pratique, de tenir compte de la proportion de ce composé.

On comprend, en effet, qu'en opérant comme il a été dit au n° 80 ce carbonate de magnésie se trouve confondu dans l'évaluation du carbonate de chaux.

Dans le procédé de dosage par la perte de poids en acide carbonique (appareil Chancel ou Gessler), on est porté à évaluer trop haut la proportion de carbonate de chaux, parce que l'équivalent de la magnésie est moindre que celui de la chaux, et que dans le calcul on admet implicitement que tout l'acide carbonique dégagé appartient à du carbonate de chaux.

88. Essai qualitatif. — Pour constater la présence de la magnésie dans un calcaire et juger approximativement de son abondance, il convient d'effectuer l'essai qualitatif suivant :

On mesure exactement le volume de la liqueur acide L (n° 81 II) séparée par filtration et lavage du résidu insoluble fourni par le traitement des 10 grammes de calcaire, soit 400^{cc} ce volume.



Fig. 79.

On introduit le quart de ce volume, ou 100^{cc}, dans une capsule de porcelaine et on évapore à sec sur un bain de sable (fig. 79), de manière à chasser l'excès d'acide.

Le résidu sec contient la chaux et la magnésie à l'état de chlorures; on le reprend par l'eau distillée, et on filtre la dissolution si elle n'est pas parfaitement limpide.

On ajoute ensuite dans la liqueur filtrée de l'eau de chaux en excès qui donne un précipité blanc, flocon-

neux, d'autant plus abondant que le calcaire est plus riche en *magnésie*.

89. Dosage du carbonate de chaux et du carbonate de magnésie. — Suivant la proportion de carbonate terreux trouvée pour les 10 grammes de calcaire traités par l'acide étendu dans la première opération (n° 81), on mesure 100 ou 200^{cc} de la solution L, et on les introduit dans un vase à précipité (fig. 42). On ajoute ensuite dans la liqueur un excès d'*ammoniaque* qui y détermine, comme nous l'avons dit déjà (n° 82), un précipité mixte d'*alumine* et d'*oxyde de fer*.

Ce précipité est filtré et lavé jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ait perdu toute réaction alcaline.

a. Séparation et dosage de la chaux. — On verse dans la nouvelle liqueur filtrée M de l'*oxalate d'ammoniaque* en excès qui précipite la chaux à l'état d'*oxalate de chaux*, tandis que la magnésie reste dissoute en totalité, parce que la liqueur contient du chlorhydrate d'ammoniaque.

On maintient le mélange, pendant plusieurs heures, à une température de 50 à 60°, dans le but de mieux rassembler l'oxalate et d'assurer une filtration limpide. Le précipité est lavé par décantation, d'abord avec de l'eau additionnée d'ammoniaque et de chlorhydrate d'ammoniaque, ensuite avec de l'eau pure, et enfin on le reçoit sur un filtre de grandeur convenable et on achève de le laver avec de l'eau tiède.

Le filtre est ensuite parfaitement séché à 100°, et le poids de l'*oxalate de chaux* qu'il contient est déterminé en employant la méthode des filtres tarés (n° 57, 2°).

Pour avoir le poids de carbonate de chaux corres-

pondant, il suffit de multiplier celui de l'oxalate par 0,685¹.

b. Séparation et dosage de la magnésie. — On ajoute à la liqueur N, séparée par filtration du précipité d'oxalate de chaux, une quantité d'acide chlorhydrique suffisante pour rendre le liquide très-légèrement acide, et on concentre dans une capsule de porcelaine, de manière à réduire la dissolution au tiers de son volume primitif.

Dans la liqueur tiède et transvasée dans un vase à précipité on verse d'abord un léger excès d'ammoniaque, puis du *phosphate de soude* qui donne naissance à un précipité de *phosphate ammoniaco-magnésien*.

On agite fortement le liquide avec une baguette de verre, sans toucher les parois du vase; on lave cette baguette avec la fiole à jet, on recouvre le vase et on l'abandonne pendant douze heures dans un endroit chaud. On décante le liquide clair sur un petit filtre, on y fait tomber ensuite le précipité dont on enlève les dernières portions qui restent dans le vase en les reprenant avec une petite quantité du liquide filtré et en se servant d'une barbe de plume au besoin (fig. 53). Après la filtration, il faut s'assurer que le liquide ne se trouble plus par l'addition d'une petite quantité de phosphate de soude.

Le précipité, une fois égoutté, est lavé avec de l'eau additionnée de $\frac{1}{5}$ de son volume d'ammoniaque, et

¹ L'oxalate de chaux, après dessiccation complète à 100°, a pour formule $\text{CaO C}^2\text{O}^3 + \text{HO}$, ce qui donne pour poids équivalent 73. Celui du carbonate de chaux, CaO CO^2 , étant égal à 50, la proportion $73 : 50 :: 1 : x$ donne pour valeur de x , 0,685, qui est le multiplicateur indiqué.

on cesse ce lavage quand une goutte de liquide qui filtre ne laisse pas de dépôt appréciable sur une lame de platine.

Le précipité est séché à 100° ; on enlève avec un petit couteau de bois ou d'os tout ce qui peut se détacher du filtre, on recueille la matière sur une feuille de papier glacé et on la recouvre avec une petite cloche ou un verre en attendant qu'on l'incinère. Le filtre est découpé en petits morceaux que l'on porte un à un avec une pince dans un petit creuset de platine chauffé au *rouge vif* (fig. 80), dont on facilite la

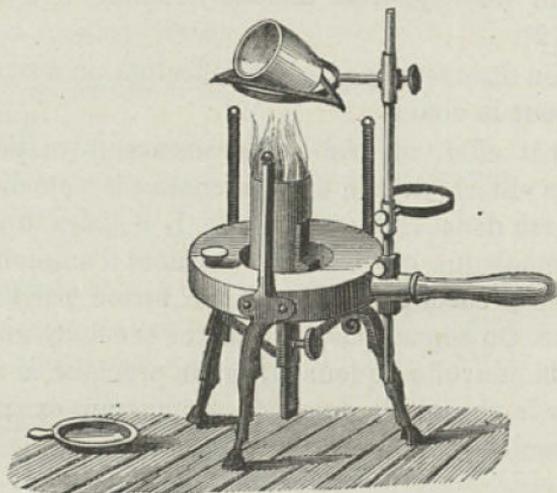


Fig. 80.

combustion en les comprimant, avec une spatule de platine (fig. 60), contre les parois de ce creuset.

Quand on a brûlé ainsi la totalité du filtre, on fait tomber dans le creuset le précipité préalablement détaché.

On le chauffe lentement et graduellement d'abord,

puis au rouge vif à la fin. On couvre le creuset, on le laisse refroidir, on le pèse, et en déduisant le poids du creuset on a celui du *phosphate de magnésie*. (*Ch. Inorg.*, n° 438), qui a pour composition $\text{Ph O}^5 2 \text{Mg O}$.

En multipliant le poids de phosphate de magnésie trouvé par 0,758, on a le *carbonate de magnésie* correspondant¹.

90. Essai d'un calcaire magnésien en combinant l'emploi de l'appareil Chancel avec l'analyse chimique. — 1° On détermine la perte totale en acide carbonique d'un poids déterminé de matière en se servant de l'appareil Chancel, comme il a été dit n° 83 2°;

2° On dose la *magnésie* sans effectuer un dosage spécial pour la chaux.

A cet effet, on traite 2 grammes de matière par l'acide chlorhydrique étendu, comme il a été dit n° 81. On verse dans la liqueur filtrée L d'abord un excès d'ammoniaque et ensuite de l'oxalate d'ammoniaque, sans se préoccuper du précipité formé par l'ammoniaque. On sépare par filtration ce précipité mixte, et dans la nouvelle liqueur filtrée on précipite la *magnésie* par le phosphate de soude, en opérant exactement comme il a été dit n° 89 b.

¹ Le phosphate de magnésie dont il s'agit ayant pour composition $\text{Ph O}^5 2 \text{Mg O}$, les 2 équivalents de magnésie qu'il renferme correspondent à 2 équivalents de carbonate de magnésie.

Le poids d'un équivalent de $\text{Ph O}^5 2 \text{Mg O}$ étant . . .	112
Celui de 2 équivalents de Mg O CO^2	85

le multiplicateur est donné par la proportion :

$$112 : 85 :: 1 : x \quad x = 0,758.$$

Du poids de phosphate de magnésie obtenu on déduit, d'une part, le *carbonate de magnésie*, et de l'autre l'*acide carbonique* correspondant à ce carbonate, en prenant pour multiplicateur 0,52. On retranche ce poids d'acide carbonique du poids total obtenu avec l'appareil Chancel, et on détermine enfin le poids de *carbonate de chaux* correspondant à cette différence.

91. Application numérique.

<i>Acide carbonique</i> , total dégagé de l'appareil Chancel en opérant sur 0 ^g ,8 de matière pulvérisée.	0 ^g ,350
Ce qui correspond, pour 1 gr., à.	0,437
<i>Phosphate de magnésie</i> fourni par 2 gr. du même calcaire soumis à l'analyse chimique.	0,875
D'où pour 1 gr.	0,437
<i>Carbonate de magnésie</i> correspondant (n° 89 b) 0 ^g ,437	
× 0,758.	0,331
<i>Acide carbonique</i> , correspondant 0 ^g ,331 × 0,52.	0,172
<i>Acide carbonique</i> total moins <i>acide carbonique</i> du carbonate de magnésie 0 ^g ,437 — 0 ^g ,172.	0,265
<i>Carbonate de chaux</i> correspondant 0 ^g ,265 × 2,27.	0,601

Ce qui donne pour 100 gr. de matière :

<i>Carbonate de chaux</i>	60,1
<i>Carbonate de magnésie</i>	33,1

92. Calcaires gypseux. — Il peut arriver que le *sulfate de chaux* se trouve associé au carbonate de chaux, comme cela se présente dans certaines marnes ou certains échantillons de plâtre.

Pour reconnaître la présence de ce composé dans un calcaire, il suffira d'ajouter dans la liqueur acide L, séparée du résidu insoluble par filtration (n° 81), quelques gouttes de *chlorure de barium*, réactif qui donnera naissance à un précipité blanc de *sulfate de baryte* (*Ch. Inorg.*, n° 180), dans le cas où la liqueur acide

renfermerait de l'acide sulfurique à l'état de sulfate de chaux.

Dosage du sulfate de chaux. — Pour doser la proportion de sulfate de chaux associé au carbonate, on peut employer l'une des deux méthodes suivantes :

a. Première méthode. — Suivant l'abondance plus ou moins grande du précipité de sulfate de baryte obtenu dans l'essai qualitatif précédent, on met 5 ou 10 gr. de matière pulvérisée et desséchée à 400° dans une fiole à fond plat et on y ajoute 200^{cc} d'eau distillée; puis on maintient, pendant plusieurs heures, le mélange à une température voisine de l'ébullition, sur un bain de sable, par exemple. Il faut avoir soin d'agiter fréquemment le mélange, afin de favoriser la dissolution du sulfate de chaux. On décante ensuite le liquide clair sur un filtre taré; on ajoute sur le résidu le même volume d'eau, on fait chauffer le mélange pendant le même temps, puis on décante une seconde fois le liquide clair; enfin on fait tomber le résidu sur le filtre et on le lave à l'eau chaude jusqu'à ce qu'une goutte de liquide, filtrée et recueillie sur une lame mince en platine, ne laisse pas de dépôt après son évaporation. On dessèche à 400° les deux filtres; on détermine le poids du résidu insoluble, et en le retranchant du poids de matière traitée par l'eau on a celui du *sulfate de chaux*. On rapporte ensuite le résultat à 100 parties. Le dosage du carbonate de chaux s'effectue sur le résidu insoluble dans l'eau, en suivant l'une des méthodes précédemment indiquées.

b. Deuxième méthode. — La dissolution du sulfate de chaux dans l'eau, même chaude, est une opération toujours longue; on peut en abrégier beaucoup la durée en opérant comme il suit :

On introduit dans une capsule en porcelaine 5 gr. du calcaire gypseux préalablement réduit en poudre et on fait bouillir la matière avec une dissolution concentrée de *carbonate de soude*. Une double décomposition s'opère, et on obtient du *carbonate de chaux* insoluble et du *sulfate de soude* soluble. On filtre, on lave soigneusement le résidu et on dose dans la liqueur filtrée l'*acide sulfurique* du sulfate de soude.

A cet effet, on verse dans la liqueur chaude du *chlorure de baryum*; on agite, on chauffe de nouveau, puis on laisse le précipité de *sulfate de baryte* se déposer au fond de la capsule. On s'assure alors que la liqueur renferme un excès de chlorure de baryum en opérant comme il a été dit n° 47, puis on procède à la filtration, du liquide clair d'abord, du précipité ensuite, que l'on recueille sur un filtre *taré*. On lave avec une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque et à la fin avec de l'eau distillée. Le précipité est desséché à 100° et pesé.

En multipliant le poids de sulfate de baryte trouvé par 0,738 on a celui de *plâtre cru* associé au calcaire; on rapporte ensuite le résultat à 100 parties.

Pour doser ensuite le carbonate de chaux renfermé dans ce calcaire gypseux, on traite 5 ou 10 gr. de matière par l'eau acidulée, comme il a été dit n° 86, on détermine le poids du *résidu insoluble*, on l'ajoute au poids de *sulfate de chaux* précédemment trouvé et on détermine, *par différence*, la proportion de *carbonate de chaux*.

93. Proportion de chaux vive et pure que peut fournir un calcaire. — Un équivalent de carbonate de chaux étant formé de :

$$\begin{array}{l} 1 \text{ équivalent d'acide carbonique. } \text{CO}^2 = 22 \\ \text{d}^\circ \quad \text{de chaux. } \text{Ca O} = 28 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 \text{ équivalent d'acide carbonique. } \text{CO}^2 = 22 \\ \text{d}^\circ \quad \text{de chaux. } \text{Ca O} = 28 \end{array}} \right\} 50$$

On déduit de ces nombres les multiplicateurs suivants :

$$\text{Ca O CO}^2 \times 0,56 = \text{Ca O},$$

$$\text{CO}^2 \times 1,27 = \text{Ca O}.$$

94. Des diverses espèces de chaux. — Nous avons dit dans notre *Ch. inorg.*, n° 467, que l'on pouvait partager les chaux en trois classes principales :

1° La *chaux grasse ou chaux pure*. — Cette chaux est fournie par des calcaires presque purs, c'est-à-dire ne renfermant que quelques centièmes de matières étrangères; elle jouit des propriétés suivantes : au contact de l'eau, la chaux grasse développe beaucoup de chaleur; elle foisonne vite et considérablement et forme avec le liquide une pâte très-liante. Cette chaux est excellente pour les constructions aériennes; c'est également la plus estimée en agriculture.

2° La *chaux maigre*. — Cette chaux provient de calcaire renfermant une assez forte proportion de sable, de carbonate de magnésie et d'oxyde de fer. Au contact de l'eau, elle foisonne peu et donne une pâte courte et sèche. La chaux maigre fait d'assez mauvais mortiers; elle est aussi moins estimée en agriculture.

3° *Chaux hydraulique*. — Cette dernière variété est fournie par des calcaires renfermant une certaine proportion d'argile. Elle se délite difficilement, foisonne très-peu, donne avec l'eau une pâte courte; mais elle jouit de la propriété de se durcir considérablement dans l'eau au bout d'un temps qui varie avec la com-

position du calcaire calciné, de là le nom de *chaux hydraulique*. On ne les emploie en agriculture que lorsqu'elles ont été complètement éteintes.

95. ☆ **Analyse complète d'un calcaire renfermant :**
de l'eau, des matières combustibles, de l'argile,
du sable, de l'oxyde de fer, des carbonates de
chaux et de magnésie.

Observations préliminaires. — Nous allons terminer ce chapitre en exposant la méthode qu'il convient de suivre quand on veut faire l'analyse complète d'un calcaire; mais cet exposé sortant des limites de notre cadre, et les diverses opérations qui vont suivre supposant une certaine habitude des manipulations chimiques, nous faisons précéder ce paragraphe d'un signe particulier ☆ destiné à prévenir nos lecteurs qu'il ne s'agit plus ici d'analyses pratiques accessibles à tous.

Il en sera de même toutes les fois que nous croirons utile de compléter l'étude d'une question par l'exposition de la méthode analytique rigoureuse.

a. *Préparation et dessiccation à 100° de l'échantillon moyen.* — On opère comme il est dit au n° 80.

b. *Eau combinée et matières combustibles.* — On chauffe au rouge sombre, dans une capsule de platine, 30 à 40 gr. de l'échantillon moyen et on détermine la perte de poids (fig. 81).

On peut aussi effectuer cette incinération dans un fourneau de coupelle (n° 42) dont le moufle est chauffé seulement à un rouge sombre, invisible à la clarté du jour; et dont on laisse la porte entr'ouverte, de façon à établir un courant d'air à l'intérieur.

Ces précautions sont nécessaires pour éviter de

transformer en alcalis caustiques les carbonates de chaux et de magnésie. Dans tous les cas, quand on

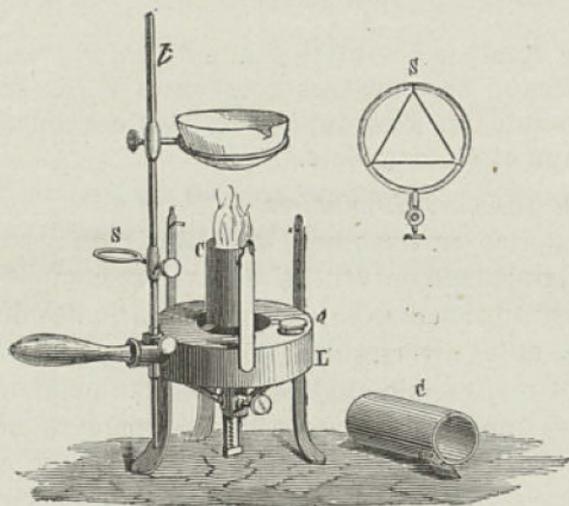


Fig. 81 (page précédente).

craind d'avoir chauffé un peu trop fort, on peut toujours avoir recours au carbonate d'ammoniaque, que l'on emploie comme il est indiqué chap. XI.

c. Séparation et dosage des autres éléments. — 3 à 5 gr. de la matière calcinée sont introduits dans une fiole à fond plat et traités par l'acide chlorhydrique, étendu comme il est dit au n° 81, I.

On sépare le liquide clair du résidu insoluble, on lave ce dernier, on le sèche et on le pèse (n° 81, II et III).

Le résidu insoluble A contient le *sable* et l'*argile* non attaqués par l'acide étendu.

La liqueur acide B, séparée par filtration, renferme :

L'acide silicique, provenant d'une petite quantité d'argile décomposée par l'acide;

L'alumine, ayant la même origine;

L'oxyde de fer, la *chaux* et la *magnésie*.

I. TRAITEMENT DE LA LIQUEUR ACIDE B.

d. Dosage de l'acide silicique. — On introduit la liqueur acide B dans une capsule de porcelaine et on l'évapore au bain de sable (fig. 82) jusqu'à siccité parfaite, en ayant soin de bien remuer la masse avec un agitateur à la fin de l'opération.



Fig. 82.

Le résidu froid est mis en digestion avec de l'acide chlorhydrique, puis additionné d'eau; on fait bouillir un instant, on laisse déposer et on filtre.

Sur le filtre reste la *silice* de l'argile décomposée par l'acide étendu; elle est lavée, séchée, incinérée et pesée¹.

e. Dosage de l'alumine et de l'oxyde de fer. — Dans la

¹ Précautions à prendre dans le dosage de la silice.

Dans le dosage de la silice, il y a plusieurs précautions à prendre, si l'on veut éviter des pertes sensibles.

1° On doit remuer soigneusement la masse avec un agitateur au moment de la dessiccation du liquide, afin de faciliter le dégagement des dernières traces d'acide ou d'eau et prévenir l'entraînement d'une certaine quantité de silice;

2° Il ne faut mettre à l'étuve le filtre qui contient la silice que lorsque celui-ci est parfaitement égoutté, et sa dessiccation doit être

liqueur acide séparée de la *silice* par filtration, on ajoute d'abord du chlorhydrate d'ammoniaque, puis de l'*ammoniaque*, jusqu'à ce que le liquide devienne franchement alcalin, et on obtient un précipité mixte d'*alumine* et d'*oxyde de fer*.

On laisse déposer, on décante la liqueur claire sur un filtre, on lave le précipité par décantation deux ou trois fois, on le fait tomber sur le filtre et on le lave jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne soit plus alcalin; on sèche, on calcine et on pèse.

f. Dosage séparé de l'alumine et de l'oxyde de fer. — Si l'on veut doser séparément les deux oxydes, on opère comme il suit : le précipité mixte des deux oxydes, une fois lavé parfaitement, est redissous dans une eau acidulée d'acide chlorhydrique; on verse ensuite un excès de potasse pure et on fait bouillir. L'*oxyde de fer* se précipite seul, tandis que l'*alumine* reste en dissolution; on filtre, on dessèche, on calcine et on pèse le précipité d'*oxyde de fer*.

La liqueur séparée du précipité d'*oxyde de fer* par filtration est additionnée d'un léger excès d'acide chlorhydrique et d'un peu de chlorate de potasse; on fait bouillir quelques instants, puis on précipite l'*alumine* par une addition de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque en excès.

très-lente, parce que la silice obtenue par précipitation est tellement fine, que l'eau en entraînerait infailliblement si l'évaporation était trop rapide;

3° Il faut incinérer à part le filtre dont on a séparé avec la plus grande précaution le précipité bien sec et éviter une combustion trop rapide du papier, afin que les produits gazeux de cette incinération n'entraînent pas les particules de silice restées adhérentes au filtre (n° 58 b).

Le précipité d'*alumine* est filtré, lavé parfaitement, bien desséché, puis incinéré d'abord doucement, afin d'éviter les projections, puis fortement et enfin *pesé*.

Nota. Les filtres qui ont servi à recueillir l'alumine et l'oxyde de fer peuvent être incinérés dans le même creuset que les oxydes (n° 58 a).

g. Dosage de la chaux et de la magnésie. — La liqueur séparée par filtration du précipité mixte d'alumine et d'oxyde de fer, et à laquelle ont été ajoutées toutes les eaux du lavage de ce précipité, est placée dans une capsule de porcelaine et évaporée lentement sur un bain de sable jusqu'au tiers de son volume primitif.

Dans le liquide concentré et transvasé dans un vase à précipité (n° 46) on ajoute un peu d'ammoniaque et ensuite un excès d'*oxalate d'ammoniaque* qui précipite la chaux à l'état d'*oxalate de chaux*, tandis que la magnésie reste dissoute en totalité, parce que la liqueur contient du chlorhydrate d'ammoniaque.

On traite le précipité comme il est dit n° 89 a; seulement, au lieu de le peser à l'état d'*oxalate de chaux*, on le transforme en *carbonate de chaux* de la manière suivante :

Une fois le filtre et son contenu desséchés à 100°, on sépare le précipité en le faisant tomber sur une feuille de papier lisse et on le recouvre d'une petite cloche ou d'un verre. On coupe le filtre en morceaux, on le brûle dans le creuset de platine (n° 89 b) et on réunit ensuite le précipité aux cendres obtenues. On chauffe alors le creuset au *rouge sombre*; seulement pendant quinze à vingt minutes, on le laisse refroidir, on le pèse et on déduit le poids des cendres du filtre (n° 59).

Nota. La difficulté de cette opération consiste à porter toute la matière au rouge sombre, sans que cette température soit dépassée en aucun point. Quand on craint d'avoir trop chauffé et, par suite, d'avoir transformé une partie du carbonate de chaux en *chaux vive*, il convient d'humecter uniformément le résidu avec quelques gouttes d'une solution concentrée de carbonate d'ammoniaque pur. On évapore à sec, au bain-marie ou à l'étuve, et on chauffe ensuite très-modérément à la lampe, jusqu'à ce que le poids du creuset ne varie plus.

h. Dosage de la magnésie. — On suit exactement la marche indiquée n° 89 *b*; seulement on ne concentre la liqueur séparée par filtration du précipité d'oxalate de chaux que si son volume est un peu considérable.

II. RÉSIDU INSOLUBLE A. SABLE ET ARGILE INATTAQUÉS PAR L'ACIDE.

Dans beaucoup de cas, on pourra se contenter de déterminer le poids de ce résidu insoluble sans faire l'analyse; dans d'autres, au contraire, cette opération présentera un intérêt immédiat. Nous allons donc nous placer à ce point de vue et indiquer la marche à suivre.

On pulvérise intimement 0^g,5 à 1 gr. du résidu insoluble A, on le mélange avec cinq ou six fois de carbonate de soude pur et sec et on introduit le tout dans un creuset de platine placé lui-même dans un creuset de terre. Ces deux creusets munis de leurs couvercles sont placés dans un fourneau et entourés de charbon, de manière à chauffer le mélange d'abord

doucement, puis fortement pendant trois quarts d'heure environ.

Le creuset de platine, une fois refroidi, est placé dans un vase à précipité et on ajoute sur la masse fondue de l'eau chaude acidulée d'acide chlorhydrique, en ayant soin de recouvrir le vase avec une plaque de verre pour éviter les pertes dues au dégagement de l'acide carbonique du carbonate de soude en excès.

La plaque de verre est lavée à l'eau distillée, ainsi que le creuset vide, et les liqueurs, transvasées dans une capsule de porcelaine, sont soumises à une courte ébullition, afin d'achever la décomposition de la matière fondue et de chasser les dernières fractions d'acide carbonique tenues en dissolution dans le liquide.

La capsule est ensuite portée sur un bain de sable et le liquide évaporé à siccité parfaite, en ayant soin de remuer la masse avec un agitateur, et on continue l'opération comme il a été dit n° 93, I d. Sur le filtre reste la *silice* du sable et celle de l'argile décomposée; elle est lavée, séchée et pesée.

La liqueur séparée par filtration du dépôt de silice renferme l'*alumine* de l'argile et quelquefois un peu d'*oxyde de fer*.

On ajoute dans cette liqueur un peu de chlorate de potasse; on fait bouillir quelques instants, puis on verse dans le liquide refroidi un mélange de chlorhydrate d'ammoniaque et d'ammoniaque en excès.

Si le précipité obtenu est parfaitement blanc, il est formé d'*alumine* seulement; une teinte plus ou moins jaunâtre accuse la présence de l'*oxyde de fer*.

Si l'on veut séparer ces deux oxydes, on opérera comme il a été dit n° 93, I f.

Enfin, une fois que l'on aura déterminé le poids de l'alumine, on pourra calculer approximativement la proportion d'argile pure et sèche correspondante, en multipliant ce poids par 1,74, multiplicateur qui dérive de la formule $Al^2 O^3 Si O^3$ (*Ch. in.*, n° 459).

Addition. — Dosage des phosphates dans les calcaires. (Voir chap. IX.)

**96. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

Appareil Chancel pour le dosage de l'acide carbonique.	2 fr. 50
Appareil Gessler.	3 50
Pour les autres instruments, consulter les chapitres précédents.	

CHAPITRE VII

ESSAI DES SOUFRES DESTINÉS AU TRAITEMENT DES VIGNES. — ANALYSE DES PLATRES EMPLOYÉS EN AGRICULTURE.

I. DES SOUFRES DESTINÉS AU TRAITEMENT DES VIGNES.

97. Considérations générales. — Depuis un certain nombre d'années, il se fait dans les pays vignobles une grande consommation de soufre pour le traitement des vignes atteintes de l'oïdium.

Les poussières de soufre livrées à l'agriculture proviennent :

1° Du raffinage, qui donne *les fleurs* et le *grésil*¹.

2° Du trituration du soufre brut et des canons de soufre raffiné (Voyez *Ch. inorg.*, p. 48).

Voici comment M. de la Vergne, dont l'autorité est si grande dans la question du soufrage de la vigne, s'exprime à l'égard de ces divers produits, dans son petit livre intitulé : *Règles du soufrage de la vigne*.

« Que les poussières soient le produit du raffinage ou de la trituration, qu'elles soient *fleurs* pures ou mêlées de *grésil*, poudres de soufre *brut*, de soufre en *canons*, etc., elles empêcheront l'oïdium de rendre la vigne malade, si elles sont appliquées dans des con-

¹ Le grésil de soufre est constitué par des grains durs appelés aussi *graus* ou *sablons*.

ditions convenables. Il n'existe donc pas entre les diverses poussières de soufre, sous le rapport de leurs propriétés antioïdiques, des différences connues pouvant motiver une préférence de la part du viticulteur.

« Mais il en est autrement, si l'on considère les mêmes poussières au point de vue de la pureté, de la finesse et de l'adhésion. Plus une poussière de soufre est pure, moins il en faut pour obtenir le résultat qu'elle doit donner, et moins elle fait courir au vin le risque d'avoir un mauvais goût.

« Plus elle est fine, plus grande est la surface qu'elle peut couvrir sous le même poids.

« Plus elle est adhésive, plus sûre et plus durable est son action sur les points qu'elle doit protéger, et moindre est la quantité qu'il est nécessaire d'en employer. »

M. Marès use 4 kilogr. de trituré à 35° Chancel (n° 99) contre seulement 500 gr. de sublimé à 70°, pour obtenir les mêmes résultats.

ESSAI DES SOUFRES POUR EN RECONNAITRE LA NATURE,
LA FINESSE ET LA PURETÉ¹.

98. Nature du soufre employé. — La fleur du soufre a ordinairement plus de finesse qu'aucune poudre obtenue par la trituration la plus active et la plus prolongée. On rencontre cependant dans le commerce des fleurs plus grossières que certains soufres triturés.

La fleur de soufre se reconnaît, sous le microscope, à la forme de ses molécules, qui est celle de globules

¹ De la Vergne, ouvrage déjà cité.

isolés ou accolés à la suite les uns des autres ou groupés comme les grains d'un chapelet ramassé en pelote.

A l'œil nu, la fleur de soufre est d'un jaune serin, sans éclat cristallin. Roulée entre le pouce et l'index, elle ne paraît ni rude, ni dure, ni résistante; elle est douce et presque onctueuse au toucher.

Vus au microscope, les soufres triturés sont constitués de particules anguleuses et plates, disséminés çà et là, ou se touchant sans adhérence marquée.

A l'œil nu, ces triturés sont d'un jaune d'autant plus faible qu'ils ont été plus divisés; les bruts sont plus pâles que les raffinés, sous les doigts ils sont moins doux, moins bien liés, moins onctueux que les fleurs.

99. Degré de finesse. — Le soufre se vendant au poids, il importe au viticulteur que la poudre qu'il achète occupe le plus grand volume possible sous le poids le plus faible, car il peut alors souffrir plus de vigne pour le même prix.

Pour juger de la finesse des poudres de soufre, on compare leurs volumes sous le même poids à l'aide de l'un des deux procédés suivants :

1° Procédé usuel. — On introduit dans un vase de fer-blanc de la capacité d'un décilitre, et sans la tasser, la poudre à essayer, après l'avoir désagrégée au moyen d'une lame de couteau sur une feuille de papier.

Suivant M. de la Vergne, un décilitre ras de bonne fleur pèse de 35 à 40 gr.

2° Essai avec le tube de M. Chancel. — M. Chancel a proposé, pour reconnaître les différentes qualités du soufre sublimé, ainsi que pour distinguer ce dernier du soufre trituré, l'emploi d'un instrument fondé

sur ce principe : *Que plus le soufre est divisé, plus il occupe de volume sous le même poids.*

L'appareil d'essai consiste dans un tube éprouvette (fig. 83) de 25^{cc} de capacité et divisé en 100 parties égales.

Pour essayer une poudre de soufre, on en pèse 5 gr. qu'on introduit dans le tube, et on achève de le

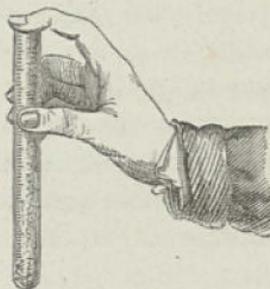


Fig. 83.

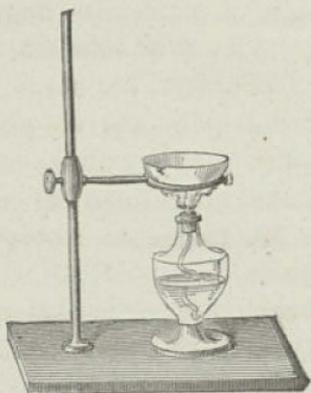


Fig. 84.

remplir avec de l'éther sulfurique ordinaire, ce liquide étant celui qui mouille le mieux le soufre. On ferme l'orifice du tube avec l'index ou le pouce; on agite de façon à mettre tout le soufre en suspension, puis on place le tube verticalement, et on laisse reposer.

Au bout de cinq minutes le tassement est définitif, et la poudre occupe par conséquent son minimum de volume. Plus les grains de soufre sont ténus, plus le point d'affleurement de la matière est élevé.

D'après M. Chancel, les bonnes fleurs du commerce occupent dans le tube, après avoir été mises en suspension dans l'éther, de 50 à 70 divisions. Les fleurs

de qualité supérieure, très-fines et très-homogènes, occupent de 75 à 90 divisions; on en rencontre même parfois, mais rarement, qui atteignent 95 et 100.

Les sublimés de qualité inférieure marquent de 35 à 40, il en est de même de la plupart des triturés du commerce.

Le soufre broyé au mortier d'agate et passé au tamis de soie, c'est-à-dire réduit en poudre aussi impalpable que nos moyens mécaniques permettent de l'obtenir, ne marque jamais plus de 70.

Les soufres vendus comme *sublimés* que nous avons eu l'occasion d'essayer à la Saulsaie n'ont jamais marqué plus de 48 à 50. Afin d'éviter de payer comme des sublimés purs des mélanges de triturés et de sublimés, on peut exiger du vendeur un titre de finesse déterminé.

100. Pureté. — Pour juger de la pureté d'une poussière de soufre, on en met un poids déterminé, 20 gr. par exemple, dans une capsule en porcelaine tarée d'avance (fig. 84), et on opère la combustion de la matière sous une cheminée qui tire bien.

Les soufres purs ne laissent pas de résidu, ceux livrés au commerce sous le nom de *soufre brut* contiennent ordinairement de 5 à 10 p. 100 de matières terreuses.

101. Observations. — Nous compléterons les indications précédentes par quelques observations empruntées à M. de la Vergne :

1° La plupart des praticiens doivent se contenter de l'opération de mesurage décrite plus haut. Quand on applique le toucher à l'examen des poudres de soufre pour en reconnaître la nature ou la finesse, il ne faut pas confondre la rudesse uniforme des triturés avec

la dureté des grains de grésil qu'on peut trouver accidentellement dans les sublimés. Presque toutes les fleurs en contiennent, et leur recherche est même un moyen d'essai; seulement il faut s'assurer à plusieurs reprises que ces *sablons* ne sont pas nombreux.

2° Il est bon d'avoir pour termes de comparaison des échantillons de fines fleurs et de soufres triturés, soit bruts, soit raffinés. En comparant fréquemment à ces types les soufres qu'on examine, on devient essayeur très-habile en peu de temps.

102. Soufrage des vignes pendant les grandes chaleurs. — D'après M. Marès, l'emploi du soufre pur pendant les grandes chaleurs de juillet et d'août peut, dans le Midi, avoir pour résultat fâcheux le grillage du raisin. Un moyen d'éviter cet inconvénient consiste à substituer au soufre pur, à cette époque, un mélange de plâtre et de soufre dans les proportions suivantes :

En poids : plâtre, $\frac{2}{5}$ du poids de soufre employé.
 En volume : — $\frac{2}{5}$ du volume —

Pour éviter les fraudes, il suffit d'acheter séparément le soufre et le plâtre et d'opérer le mélange soi-même.

Prix des soufres sublimés et triturés.

En 1865, dans l'Hérault, les sublimés valaient :

Les 100 kilogr.	27 fr. 50 c.
Les triturés	21 à 22.

Mais quand la demande devient tout à coup abondante, le prix des sublimés s'élève rapidement, et il y a alors économie à employer les triturés.

II. ESSAI DES PLÂTRES EMPLOYÉS EN AGRICULTURE.

103. Préliminaires. — Les plâtres livrés à l'agriculture peuvent être :

1° *Des plâtres crus.*

2° *Des plâtres cuits.*

Ces derniers sont obtenus en calcinant les plâtres crus à température d'environ 300°. Le plâtre cru, pur, a pour composition : $\text{CaO SO}^3, 2\text{HO}$, le but de la cuisson est de lui faire perdre 2 équivalents d'eau. Au bout d'un certain temps, le plâtre cuit s'hydrate à l'air; surtout dans les magasins humides, il contient ordinairement 8 à 10 p. 100 d'eau, tandis que le plâtre cru en renferme 21 p. 100.

Le plâtre cru est très-peu soluble dans l'eau, il se dissout plus facilement quand il est porphyrisé; mais, même à cet état, il faut encore, pour dissoudre quelques grammes de sulfate de chaux naturel, employer un volume d'eau considérable et prolonger longtemps l'action du liquide. L'eau acidulée d'acide chlorhydrique ou azotique dissout le plâtre plus rapidement et en proportion plus forte que l'eau ordinaire.

Le plâtre naturel en couches ou en amas n'est jamais pur, il renferme très-souvent du *carbonate de chaux*, du *sable*, de *l'argile*, quelquefois aussi de *l'oxyde de fer* et des *matières organiques*.

Les plâtres livrés à l'agriculture sous le nom de *plâtres à fumer* sont toujours en poudre et peuvent être l'objet de nombreuses falsifications qui consistent à y ajouter :

Des cendres de houille tamisées;

De la craie ou de la marne;

Des poussières de chaux;

Du sable fin ou de l'argile ;
Des déchets de plâtre cru.

Pour reconnaître ces falsifications, on peut faire deux sortes d'essais : des essais qualitatifs, pour déterminer la nature des substances étrangères ; des essais quantitatifs, pour en évaluer la proportion.

ESSAIS QUALITATIFS DES PLÂTRES.

104. Détermination de la présence de la chaux éteinte dans un plâtre. — On met quelques grammes



Fig. 85.

de plâtre dans un verre à pied, et on les agite avec de l'eau distillée. Au bout de quelques instants, on décante le liquide sur un filtre (fig. 85), et on ajoute dans le liquide filtré quelques gouttes de sirop de violette.

Si la liqueur verdit, c'est l'indice que le plâtre essayé a été additionné de chaux éteinte.

Recherche dans un plâtre d'une addition de marne, de craie, de sable, d'argile ou de cendres de houille. —

On prend un matras d'un demi-litre de capacité et on y introduit de 4 à 5 gr. de plâtre, puis 300^{cc} d'eau acidulée d'acide chlorhydrique dans la proportion d'un cinquième. On porte le matras sur un bain de sable et

on maintient pendant plusieurs heures le mélange à une température voisine de 100°.

Dans ces conditions, plusieurs cas peuvent se présenter :

1° Dissolution complète de la matière sans effervescence sensible ni résidu insoluble appréciable : *plâtre de bonne qualité* ;

2° Production d'une effervescence vive et prolongée, puis dissolution complète au bain de sable : *plâtre additionné de craie ou de marne* ;

3° Dissolution incomplète, avec ou sans effervescence, résidu insoluble notable : *plâtre additionné de sable ou d'argile* ;

4° Résidu insoluble recueilli sur un filtre et laissant apercevoir après dessiccation de petits fragments anguleux de charbon : *plâtre additionné de cendres de houille*. Dans ce dernier cas, la liqueur filtrée est ordinairement colorée en jaune.

Ces essais préliminaires terminés, on procède, s'il y a lieu, aux essais quantitatifs.

ESSAIS QUANTITATIFS DES PLÂTRES.

105. Plâtre cru ou cuit n'ayant pas donné avec l'acide une effervescence sensible, mais ayant fourni un résidu insoluble notable. — Le plâtre peut être considéré comme renfermant de l'eau, du sulfate de chaux et un résidu insoluble composé de sable, d'argile ou de cendres de houille.

a. *Eau hygrométrique.* — On pèse 5 gr. de plâtre porphyrisé et on les dessèche à 100° ; la perte de poids donne l'eau hygrométrique.

b. *Sulfate de chaux.* — On pèse 2 gr. de ce plâtre, on les fait tomber dans un matras d'un demi-litre de

capacité, on remplit la fiole presque entièrement d'eau chaude, on la place sur un bain de sable et on abandonne le mélange pendant six heures à une température voisine de 100°, en agitant fréquemment, de manière à mettre la matière pulvérulente en suspension. Au bout de ce temps, on décante le liquide clair sur un filtre et on le remplace par une nouvelle quantité d'eau chaude, qu'on laisse encore pendant le même temps en contact avec la matière solide et dans les mêmes conditions.

On décante une seconde fois le liquide clair sur un filtre; on y fait tomber ensuite le résidu insoluble et on le lave à l'eau chaude, jusqu'à ce qu'une goutte du liquide qui filtre ne laisse pas de résidu appréciable sur une lame de platine.

Le filtre est détaché de l'entonnoir, desséché à 100°, et le poids du résidu insoluble obtenu en employant la méthode des filtres tarés (n° 57, 2°) est ensuite rapporté au poids total du plâtre primitivement desséché à 100° (n° 105 a). En ajoutant le poids du résidu insoluble à celui de l'eau hygrométrique, on a par différence le poids du sulfate de chaux.

106. Plâtre cru ou cuit ayant donné une vive effervescence avec l'acide et fourni un résidu insoluble notable. — Ce plâtre peut être considéré comme renfermant de l'eau, du sulfate de chaux, du carbonate de chaux, du sable et de l'argile.

a. Première méthode d'essai. — Eau hygrométrique. — On la détermine comme il a été dit n° 105 a.

Sulfate de chaux. — Même opération qu'au n° 105 b.

Carbonate de chaux. — On pèse 5 décigrammes à 1 gr. du résidu insoluble dans l'eau, suivant l'effervescence plus ou moins vive observée dans l'essai qualitatif,

et on détermine la proportion de carbonate de chaux par le poids d'acide carbonique dégagé de l'appareil décrit n° 83 (fig. 86), et on rapporte le résultat au poids total du résidu insoluble dans l'eau.

Le poids du résidu insoluble, *sable et argile*, s'obtient par différence.

b. Deuxième méthode d'essai. — Si l'on ne veut pas employer l'appareil Chancel, qui exige une balance sensible, on peut suivre la méthode suivante :

Après avoir déterminé l'eau *hygrométrique* comme il a été dit précédemment, on introduit la matière sèche et porphyrisée dans un matras d'un demi-litre de capacité et on dissout le carbonate et le sulfate de chaux dans l'acide étendu, suivant les indications du n° 104, 2°.

Le *résidu insoluble* recueilli avec la dissolution sur un filtre taré est lavé jusqu'à ce que le liquide qui filtre ne soit plus acide, puis desséché à 100° et pesé.

On procède ensuite dans la liqueur filtrée au dosage du *sulfate de chaux*. A cet effet, on mesure exactement le volume de la liqueur filtrée avec une éprouvette graduée, et on en prend la moitié que l'on introduit dans une capsule de porcelaine et que l'on porte à l'ébullition.

On verse ensuite dans la liqueur chaude du *chlorure de barium*, on agite, on chauffe de nouveau, puis on laisse le précipité de *sulfate de baryte* se déposer au fond de la capsule. On s'assure alors que la liqueur renferme un excès de chlorure de barium, en opérant comme il a été dit n° 47, puis on procède à la filtra-

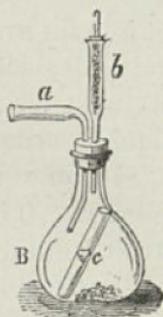


Fig. 86.

tion du liquide clair d'abord, et du précipité ensuite, que l'on recueille sur un filtre taré et que l'on lave avec une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque et à la fin avec de l'eau distillée. Le précipité est ensuite desséché à 100° et pesé. On double le poids trouvé pour rapporter le résultat au volume total du liquide mesuré précédemment.

Si l'on a affaire à du plâtre *cuit*, il suffit de multiplier par 0,584 le poids du sulfate de baryte pour avoir celui du *sulfate de chaux* correspondant.

Si, au contraire, le plâtre essayé est *cru*, on doit multiplier par 0,738.

Enfin, en faisant la somme des poids correspondant à l'eau hygrométrique, au *sulfate de chaux* et au *résidu insoluble*, et en la retranchant de 5 gr., on a, par différence, le *carbonate de chaux*.

Nota. Quand le résidu insoluble contient de l'*argile*, la méthode que nous venons de décrire conduit à un nombre un peu trop élevé pour le carbonate de chaux, parce que la liqueur acide dissout toujours un peu d'alumine, ce qui diminue d'autant le poids du résidu insoluble et augmente dans la même proportion celui du calcaire; mais on ne doit pas oublier qu'il s'agit ici d'essais pratiques pour lesquels cette cause d'erreur est tout à fait négligeable.

107. Essai d'un plâtre additionné de chaux éteinte. — Quand l'analyse qualitative a fait reconnaître dans le plâtre à fumer la présence de la chaux éteinte, il convient d'adopter pour l'essai quantitatif la dernière méthode que nous venons de décrire, n° 106 b.

Le dernier poids que l'on obtient par différence

correspond au mélange de chaux et de carbonate de chaux.

108. Essai d'un plâtre additionné de cendres de houille. — Si la matière donne avec l'eau acidulée une effervescence nulle ou à peine sensible, ce qui est le cas le plus fréquent, on emploie la méthode du n° 105; si, au contraire, l'effervescence est notable, ou bien si ce plâtre mis en digestion dans l'eau fournit une liqueur alcaline, il convient de suivre la dernière méthode d'analyse, n° 106 b.

109. Résultats analytiques obtenus par nos élèves, à la Saulsaie.

1° *Essai d'un plâtre cuit additionné de chaux éteinte.*
Opération sur 5 gr., méthode n° 106 b.

Eau hygrométrique.	0 ^g ,250
Sulfate de chaux.	2 ,768
Résidu insoluble.	0 ,300
Chaux éteinte.	1 ,682 (par différence)
	<hr/>
	5 ^g ,000

d'où l'on déduit la composition pour 100.

Résultats analytiques.

Eau hygrométrique.	5 ^g ,00
Sulfate de chaux.	55 ,36
Résidu insoluble.	6 ,00
Chaux éteinte.	33 ,64
	<hr/>
	100 ^g ,00

2° *Plâtre cuit additionné de cendres de houille.*

Pas d'effervescence avec l'eau acidulée, réaction alcaline très-faible. — Analyse sur 5 gr. par la méthode n° 105.

Composition pour 100.

Eau hygrométrique.	85,4
Sulfate de chaux.	61,6
Résidu insoluble.	30,0
	<hr/>
	100 ^g ,0

110. Plâtre phosphaté. — En industrie, l'application la plus importante des cendres d'os réside dans la fabrication du phosphore. Ces cendres sont traitées par une quantité convenable d'acide sulfurique, de façon à transformer le *phosphate de chaux* tribasique insoluble en phosphate acide soluble que l'on reprend par l'eau.

Le liquide de lessivage amené à l'état sirupeux et mélangé avec du charbon est chauffé dans des cornues et l'on obtient le phosphore par distillation. Quant au résidu insoluble, il se compose principalement de *sulfate de chaux* ou plâtre artificiel, mais il retient toujours une certaine proportion de *phosphate de chaux*, dont une partie soluble.

L'usine de MM. Coignet et C^e, à Lyon, dans laquelle on fabrique le phosphore amorphe, produit des quantités considérables de ce plâtre phosphaté, dont voici la composition d'après un échantillon moyen examiné dans notre laboratoire :

Sulfate de chaux.	82,3
Phosphate de chaux.	7,2
Sable.	2,9
Eau hygrométrique.	7,6
Sulfure et charbon.	traces
	<hr/>
	100,0

Nous indiquerons, chap. VIII, le mode d'essai pour

doser le phosphate de chaux renfermé dans ce plâtre phosphaté qui, dans beaucoup de cas, peut produire en agriculture des effets supérieurs à ceux du plâtre ordinaire.

**111. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

Tube Chancel pour l'essai des sulfures. 4 fr.
Pour les autres instruments, voir les chapitres précédents.

CHAPITRE VIII

DOSAGE DES PHOSPHATES RENFERMÉS DANS LES DIVERS ENGRAIS.

PRÉLIMINAIRES.

112. Combinaisons définies de l'acide phosphorique avec la chaux. — L'acide phosphorique peut former avec la chaux trois combinaisons principales et bien définies qui sont¹ :

	Formules.	Eau.	Ac. phosphor.	Chaux.
Le phosphate neutre.	$(CaO)^2HO, PhO^5 + 4Aq.$	26,16	41,23	32,56
Le phosphate basique ou phosphate des os.	$(CaO)^3PhO^5$	00,00	43,80	54,20
Le phosphate acide.	$CaO(HO)^2PhO^5$	15,38	60,68	23,94

La première combinaison offre peu d'intérêt; quant aux deux autres, déjà étudiées en *Ch. inorg.*, nos 420 et suivants, nous rappellerons leurs propriétés principales au point de vue de l'analyse chimique.

Le *phosphate basique*, appelé aussi *phosphate des os*, parce qu'il constitue plus des 85 centièmes de la matière minérale des os, est un sel blanc, amorphe, fixe, insoluble dans l'eau, facilement soluble, au contraire, dans les acides minéraux même étendus. Ce composé, quand il n'a pas été fortement calciné, peut aussi se¹

¹ Ces compositions ont été établies en prenant le nombre 31 pour poids équivalent du phosphore (Dumas).

dissoudre dans l'acide acétique faible; l'eau chargée d'acide carbonique en dissout également une proportion très-appreciable, mais avec une grande lenteur.

L'ammoniaque versée dans une dissolution acide de ce sel précipite le phosphate de chaux à l'état gélatineux. Sous cette forme, ce composé est facilement soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique, et notamment soluble aussi dans les dissolutions un peu concentrées de chlorures de potassium et de sodium, ou de chlorhydrate d'ammoniaque.

Le *phosphate acide de chaux*, que l'on désigne fréquemment en agriculture sous le nom de *superphosphate*, est très-soluble dans l'eau et possède une réaction acide très-prononcée.

113. Nomenclature des matières riches en phosphate et que l'agriculture peut employer comme engrais.

I. Squelettes des animaux appartenant aux espèces vivantes. Amas, souvent considérables, d'ossements fossiles répandus sur divers points du globe.

II. Produits dérivés des os : cendres d'os, noir animal, résidus de la fabrication de la gélatine, etc.

III. Guanos ammoniacaux et terreux; coprolithes, nodules phosphatés.

IV. Engrais commerciaux, superphosphates.

Nous avons donné en *Ch. organ.*, nos 429 et suiv., la composition moyenne des os frais et dégraissés, du noir animal, aux nos 581 à 586, celle des principaux guanos; nous prions nos lecteurs de se reporter à ces paragraphes.

114. Méthode pratique pour doser les phosphates des engrais ne renfermant l'alumine et l'oxyde de fer qu'en quantité nulle ou négligeable.

On peut ranger dans cette classe :

Les déchets et les râpures des os de travail ;

Les os dégraissés et réduits en petits fragments ou en poudre plus ou moins fine ;

Les cendres d'os et le noir animal ;

Les résidus de la fabrication de la gélatine ;

La plupart des guanos ammoniacaux et terreux ;

Certains engrais commerciaux, tels que le guano de Norvège, par exemple.

115. Opérations préliminaires. — 1° On commence par prendre un *échantillon moyen* de la matière et on le réduit en poudre, comme il a été indiqué nos 18 à 20 ;

2° On détermine l'*eau hygrométrique* en desséchant un poids déterminé de matière à 110° dans l'étuve à huile (n° 28) ;

3° On incinère à la lampe à double courant ou dans le fourneau de coupelle (nos 39 à 42) une quantité de matière sèche suffisante pour fournir 3 à 4 gr. de cendres qui doivent être *blanches*, ou tout au plus légèrement *grises*. Des cendres rougeâtres indiqueraient la présence d'une quantité notable d'oxyde de fer et nécessiteraient l'emploi de la méthode du n° 122.

116. Dosage des phosphates, première méthode. — On pèse 2 gr. de cendres que l'on introduit dans un matras de 150^{cc} de capacité environ avec 50^{cc} d'eau distillée et 10 à 15^{cc} d'acide nitrique ou chlorhydrique. On fait bouillir pendant environ dix minutes pour déterminer la dissolution des phosphates,

et on fait tomber ensuite le mélange sur un filtre.

On rince à plusieurs reprises la fiole avec de l'eau distillée, on jette les eaux de lavage sur le filtre et l'on continue à laver le résidu insoluble avec la fiole à jet jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne rougisse plus le papier de tournesol.

On ajoute alors dans la liqueur filtrée 3 ou 4^{cc} d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium (nous dirons plus loin pourquoi), et ensuite un léger excès d'*ammoniaque* qui donne naissance à un précipité gélatineux de *phosphate de chaux*, uni, dans certains cas, à un peu de *phosphate de magnésie*.

On couvre le vase avec une plaque de verre ou un disque de carton, et quand le précipité est bien déposé on décante le liquide clair qui surnage sur un filtre de 8 à 10^{cm} de rayon, et on le remplace par de l'eau distillée tiède.

On agite le précipité avec une baguette de verre, on laisse déposer, on décante de nouveau sur le même filtre, et on recommence cette opération une troisième fois.

On fait tomber alors sur le filtre le précipité, et on le lave à l'eau chaude jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule n'offre plus de réaction ammoniacale. On dessèche ensuite le filtre à 110°, et quand il est bien sec on détermine le poids des phosphates en employant la *méthode des filtres tarés* (n° 57 2° a).

On peut aussi introduire le précipité desséché dans un creuset et par-dessus le filtre coupé en plusieurs morceaux. On incinère en suivant la méthode du n° 58 a et on pèse. Ce procédé donne des résultats plus exacts.

Pour déterminer l'*acide phosphorique* correspondant

au poids de phosphate obtenu; il suffit de considérer celui-ci comme formé uniquement de *phosphate de chaux* et de multiplier le poids trouvé par 0,458.

117. Application numérique. — *Analyse d'un résidu de fabrication de la gélatine.*

20 gr. de matière pulvérisée et desséchée à 110° ont perdu.	0 ^g ,937
Poids de la matière sèche soumise à l'incinération.	10 ,000
Poids des cendres.	8 ,076
Matière organique disparue.	1 ^g ,924

d'où, composition pour 100 de la matière à l'état normal.

Eau et matière organique.	23 ^g ,92
Matières minérales.	76 ,08
	100 ^g ,00

Dosage du phosphate de chaux.

Poids des cendres traitées par l'acide.	2 ^g ,000
— du phosphate de chaux calciné et des cendres du filtre.	1 ,726
— des cendres du filtre.	0 ,004
Poids réel du phosphate de chaux.	1 ^g ,722

Ce qui donne, pour 100 gr. de matière à l'état normal ou

76,08 de cendres.	65,50
Acide phosphorique correspondant $65,50 \times 0,458 =$	30,00

118. Observations. Causes d'erreur. — 1°. Dans cette méthode, si la matière analysée renferme du phosphate de magnésie, ce composé se trouve précipité avec le phosphate de chaux et dosé comme tel. Il en est de même pour les petites quantités d'alumine et d'oxyde de fer que les cendres peuvent contenir.

2°. Le phosphate de chaux étant un peu soluble dans l'eau pure ou ammoniacale, la liqueur séparée du précipité entraîne toujours une petite quantité de

phosphate. Pour s'en assurer, il suffit d'évaporer à sec la liqueur filtrée, de reprendre le résidu par un peu d'eau acidulée d'acide chlorhydrique, de filtrer, si cela est nécessaire, et d'ajouter ensuite dans le liquide clair un léger excès d'ammoniaque, qui donne naissance à un nouveau précipité gélatineux que l'on peut ajouter au premier ;

3° Pour quelques substances, comme certains guanos par exemple, il peut arriver que les cendres contiennent des *phosphates alcalins*, ou bien que la chaux ne soit pas en excès par rapport à l'acide phosphorique ; dans ces deux cas, l'ammoniaque ne saurait précipiter la totalité de cet acide, et c'est pour éviter cette cause d'erreur que l'on ajoute à la liqueur séparée du résidu insoluble quelques gouttes d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium avant de verser l'ammoniaque.

119. Deuxième méthode. — Dosage de l'acide phosphorique à l'état de phosphate de bismuth. Procédé de M. Chancel.

a. Préparation de la liqueur bismuthique. — On introduit dans un ballon d'un litre de capacité (fig. 71) 68^{gr},5 d'azotate de bismuth cristallisé et on les dissout dans 200 gr. d'acide azotique marquant 1,25 au densimètre (n° 12). On ajoute ensuite la quantité d'eau distillée nécessaire pour que la solution occupe le volume d'un litre.

Préparé dans ces conditions, chaque centimètre cube de ce réactif peut précipiter 1 centigramme d'acide phosphorique.

b. Dosage de l'acide phosphorique. — On dissout 2 à 3 gr. de cendres dans de l'acide azotique pur, en léger

excès seulement, on ajoute un peu d'eau distillée et ensuite on filtre afin de séparer le résidu insoluble; la liqueur filtrée est recueillie dans un petit ballon de verre; on porte le liquide à l'ébullition et on ajoute goutte à goutte du nitrate de bismuth qui donne naissance à un précipité blanc de *phosphate de bismuth*. On fait bouillir de nouveau, et le précipité très-dense se rassemble rapidement en laissant le liquide tout à fait limpide.

On jette alors le contenu du ballon sur un filtre, après s'être assuré que le liquide renferme un léger excès de réactif bismuthique; on rince le ballon avec de l'eau très-légèrement aiguisée d'acide azotique, puis on lave le filtre avec la fiole à eau chaude (fig. 57).

Quand le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne donne plus aucun résidu par l'évaporation sur une lame de platine, on dessèche le filtre et on détermine le poids de phosphate de bismuth par la méthode des *filtres tarés* (n° 57, 2° a), ou mieux par celle de l'*incinération*, en ayant soin de brûler le filtre à part (n° 58 a):

En multipliant le poids de phosphate de bismuth trouvé par 0,2328, on aura celui de l'acide phosphorique correspondant.

En multipliant ce même poids de phosphate de bismuth par 0,5082, on aura celui du phosphate de chaux correspondant.

120. Observations relatives au procédé de M. Chancel. — Le procédé de M. Chancel offre l'avantage d'être beaucoup plus rapide que le précédent et de fournir des résultats sensiblement exacts, même lorsque les cendres renferment des petites quantités d'alumine et d'oxyde de fer.

En second lieu, cette méthode peut servir à vérifier les résultats fournis par la première; il suffit pour cela de redissoudre dans l'acide azotique le précipité de phosphate obtenu avec l'ammoniaque, calciné et pesé; et de doser dans la liqueur l'acide phosphorique avec le réactif bismuthique. Mais, dans ce cas, il pourra arriver que le phosphate de bismuth soit volumineux et lent à se déposer; on devra alors faire bouillir le liquide pendant dix minutes environ.

a. Causes d'erreur. — Pour que la méthode de M. Chancel soit exacte, il ne faut pas que les phosphates soient associés dans les cendres avec des sulfates et des chlorures solubles; autrement on obtient un précipité mixte de sulfate, de chlorure et de phosphate de bismuth. On doit donc, avant d'opérer le dosage, commencer par faire un essai qualitatif ayant pour objet de rechercher la présence des chlorures et des sulfates alcalins dans les cendres. A cet effet, on fait bouillir dans un petit ballon 1 à 2 gr. de cendres avec 30 à 40^{cc} d'eau, et on jette le mélange sur un filtre.

La liqueur filtrée, acidulée d'acide azotique, est partagée en deux parties: dans l'une, on verse quelques gouttes d'*azotate d'argent* qui donnent naissance à un précipité blanc, cailleboté de chlorure d'argent (*Ch. inorg.*, n° 144) si la liqueur renferme des *chlorures*; dans l'autre, du *chlorure de barium*, qui détermine un précipité blanc de *sulfate de baryte* (*Ch. inorg.*, n° 180) si la liqueur contient des sulfates.

Si l'essai qualitatif précédent donne un résultat négatif, on applique immédiatement la méthode Chancel. Dans le cas contraire, on doit commencer par épuiser les cendres par l'eau tiède, jusqu'à ce que le

liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne donne plus de précipité avec les réactifs indiqués plus haut.

121. Application. — *Dosage des phosphates renfermés dans le guano de Norvège fabriqué et importé par M. Rohart fils (1864).*

Composition pour 100 à l'état normal:

Humidité à 110°.	8,480
Matières destructibles par le feu ou volatiles. . .	58,195
Substances minérales.	33,325
	100,000

Dosage des phosphates par le procédé de M. Chancel.

L'essai qualitatif des cendres ayant fait reconnaître la présence d'une petite quantité de chlorure dans les cendres, on a commencé par épuiser celles-ci par l'eau chaude et on les a dissoutes ensuite dans l'acide azotique.

Poids de cendres traitées.	25,000
Phosphate de bismuth obtenu.	3,481
Phosphate de chaux correspondant $3,481 \times 0,5082 =$.	1,769
d'où pour 100 gr. de guano à l'état normal ou 33%,325	
de cendres.	29,475

122. Dosage des phosphates dans les engrais renfermant de l'oxyde de fer et quelquefois de l'alumine en proportion notable. — A cette classe appartiennent un grand nombre d'engrais commerciaux, certains *guanos*, les *coprolithes*, les *nodules phosphatés*, etc. Si l'on voulait appliquer les méthodes précédentes au dosage des phosphates contenus dans ces engrais, on n'obtiendrait que des résultats très-inexactes, parce que, dans la première méthode, l'ammoniaque précipiterait, en même temps que le phosphate de chaux, la totalité de l'oxyde de fer et de l'alumine; et que, dans la seconde, le phosphate de

bismuth entraînerait avec lui une notable proportion de ces oxydes. Il faut donc avoir recours à d'autres procédés.

I. *Méthode Frésenius.* — On fait bouillir dans un petit ballon ou une capsule de porcelaine 3 à 5 gr. de cendres avec de l'eau acidulée d'acide chlorhydrique, on filtre et on lave le résidu insoluble jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne présente plus aucune réaction acide.

On introduit la liqueur filtrée dans une capsule de porcelaine et on l'évapore au bain de sable jusqu'à siccité parfaite, en ayant soin de bien remuer la masse avec un agitateur à la fin de l'opération.

Le résidu froid est mis en digestion avec de l'acide chlorhydrique, puis additionné d'eau; on fait bouillir un instant, on laisse déposer et on filtre.

Sur le filtre reste la *silice* des silicates décomposés par l'acide étendu (n° 95, I d).

On ajoute dans la liqueur filtrée et transvasée dans une grande capsule ou un grand matras un grand excès d'acétate de soude qui communique au mélange une belle couleur *rouge* si la dissolution renferme assez de fer; autrement il faut verser goutte à goutte du *perchlorure de fer* jusqu'à ce que cette couleur apparaisse.

La liqueur est ensuite portée et maintenue à l'ébullition pendant quelques minutes, et on voit apparaître un précipité *brun rougêtre* de phosphate de peroxyde de fer qui se mamelonne et se sépare très-nettement de la liqueur. La décoloration du liquide doit être complète; si elle ne l'est pas, on ajoute de nouveau de l'acétate de soude et on fait bouillir une seconde fois. Cette précaution est indispensable si l'on veut précipiter la totalité de l'acide phosphorique.

On jette immédiatement sur un grand filtre le liquide, et ensuite le précipité qu'on lave à l'eau bouillante.

Une fois le précipité bien lavé, on le redissout directement sur le filtre avec de l'acide chlorhydrique faible, on lave le filtre avec de l'eau distillée.

On ajoute alors dans le liquide filtré quelques cristaux d'acide tartrique et, quand ils sont dissous, une quantité d'ammoniaque suffisante pour redissoudre le précipité formé d'abord et communiquer à la solution une teinte d'un beau jaune.

Enfin, on verse dans la liqueur une dissolution de *sulfate de magnésie*, on remue fortement pendant quelques minutes avec une baguette de fer et l'on obtient un précipité blanc, grenu, cristallin, de *phosphate ammoniaco-magnésien* que l'on conduit comme il a été indiqué au n° 89 b.

En multipliant le poids de pyrophosphate de magnésie PhO^2MgO , obtenu après calcination du précipité par 0,6339, on a le poids d'*acide phosphorique* correspondant.

En multipliant ce poids d'acide phosphorique par 2,183, on a le poids de *phosphate de chaux* tribasique correspondant.

On peut immédiatement passer du pyrophosphate de magnésie au phosphate de chaux en multipliant le poids de pyrophosphate par 1,396.

II. *Méthode plus expéditive indiquée par M. Dehérain.* — La méthode précédente a l'inconvénient d'exiger un temps assez long, surtout en raison de la lenteur avec laquelle la précipitation complète du phosphate ammoniaco-magnésien s'effectue. Pour

opérer plus vite, M. Dehérain a proposé un procédé qui peut se résumer ainsi :

On prend un petit matras et on y introduit 5 à 6 gr. de l'engrais incinéré que l'on dissout dans l'acide chlorhydrique étendu, on filtre et on sépare la *silice*, en traitant la liqueur acide filtrée comme il a été indiqué dans la méthode précédente (n° 122).

On mesure exactement la liqueur séparée de la *silice* par filtration et on la partage en deux, A et B.

On ajoute au liquide A quelques centimètres cubes d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium, et ensuite un léger excès d'ammoniaque qui détermine un précipité mixte de *phosphate de chaux* et de *peroxyde de fer*, que l'on calcine et que l'on pèse; soit P ce poids.

On verse dans la dissolution B un excès d'acétate de soude, l'oxyde de fer se précipite alors à l'état de phosphate blanc jaunâtre, pulvérulent, que l'on recueille sur un filtre; on le lave soigneusement, on calcine et on pèse.

D'après M. Dehérain, ce précipité a une composition bien définie, sa formule est $(\text{Fe}^2\text{O}^3)^2 3 \text{Ph O}^2$.

En multipliant le poids de phosphate de fer obtenu par 0,428, on obtient celui P' de *peroxyde de fer* correspondant.

En retranchant P' de P, on a par différence le poids de *phosphate de chaux*.

III. MÉTHODE INDIQUÉE PAR M. BOUSSINGAULT AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

On traite 3 à 5 gr. de cendres avec de l'eau acidulée, en opérant comme il est indiqué n° 122, I. Une fois la séparation de la *silice* effectuée, on ajoute dans

la liqueur filtrée, d'abord un très-léger excès d'acide sulfurique, et ensuite un volume d'alcool rectifié au moins égal à celui de la dissolution.

Le précipité de *sulfate de chaux* qui prend naissance est recueilli sur un filtre et lavé à l'alcool jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne soit plus acide.

On réunit dans un grand ballon les liqueurs de filtration et de lavage, on ajoute un volume d'eau distillée égal à la moitié du volume total de la liqueur et on fait bouillir avec précaution jusqu'à ce que l'alcool ait à peu près complètement disparu.

On transvase alors le liquide du ballon dans un vase à précipité, on ajoute quelques cristaux d'acide tartrique destinés à maintenir en dissolution le fer et l'alumine, si la liqueur en renferme, et enfin on verse du *sulfate de magnésie ammoniacal* qui précipite l'*acide phosphorique* à l'état de *phosphate ammoniacomagnésien*, précipité que l'on traite conformément aux indications du n° 89, *b*.

Nota. On trouvera chapitre IX une méthode indiquée par M. Rivot, pour doser non-seulement l'*acide phosphorique*, mais aussi l'alumine, l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie qui peuvent être associés à cet acide.

123. Des superphosphates.

Préliminaires. — On désigne, en agriculture, sous le nom de *superphosphates*, des engrais artificiels qui renferment, en outre du phosphate de chaux tribasique ordinaire, une proportion plus ou moins grande de *phosphate acide de chaux* (n° 112).

On admet, principalement en Angleterre, que les

engrais phosphatés produisent des effets d'autant meilleurs que l'on favorise davantage la dissolution et, par suite, l'assimilation du phosphate de chaux.

Or, c'est conformément à cette opinion que les Anglais ont commencé par traiter le guano du Pérou par l'acide sulfurique, afin de transformer le phosphate de chaux tribasique en phosphate acide soluble. Ils ont accordé ensuite une préférence marquée aux guanos renfermant la plus grande proportion de phosphate soluble, et sont arrivés enfin à fabriquer les superphosphates sur une si vaste échelle, qu'en 1863 la valeur totale de ce produit dépassait en Angleterre le chiffre énorme de 30 millions de francs.

Cette faveur accordée à ce composé eut pour conséquence naturelle d'amener les chimistes de la Grande-Bretagne à distinguer, dans les engrais commerciaux soumis à leur analyse, le phosphate acide de chaux soluble du phosphate insoluble, et à attribuer à ce premier composé une valeur supérieure à celle du second. (Voir deuxième partie, *Analyse des engrais*.)

Les considérations précédentes nous conduisent naturellement à exposer ici une méthode pratique d'analyse des superphosphates.

124. Analyse des superphosphates. Méthode pratique. — Le phosphate acide de chaux contenu dans les engrais commerciaux désignés sous le nom de *superphosphates* s'obtient en faisant réagir l'acide sulfurique sur le phosphate de chaux tribasique. Une partie de la chaux passe à l'état de sulfate de chaux, tandis qu'une quantité correspondante de phosphate de chaux tribasique se transforme en phosphate acide.

En Angleterre, on ajoute aux phosphates ainsi traités par l'acide sulfurique, des substances très-di-

verses, telles que des sels ammoniacaux, des cendres, de la terre, etc., qui, par suite, donnent naissance à des mélanges très-complexes. Comme nous nous proposons de consacrer un chapitre spécial à l'analyse complète des engrais, nous nous contenterons, pour le moment, d'exposer la marche à suivre pour doser séparément la proportion de phosphate acide et celle de phosphate basique renfermée dans ces matières.

125. — Afin de rendre l'exposé de la méthode analytique plus facile à saisir, nous commencerons par indiquer la composition d'un superphosphate de qualité supérieure fabriqué en Angleterre, et analysé par sir T. Way.

Humidité.	9,4
Matière organique et sels ammoniacaux.	15,3
Phosphate de chaux soluble.	16,1
— — insoluble.	7,7
Sulfate de chaux hydraté.	37,6
Sels alcalins.	6,4
Sable.	7,5
	100,0

126. **Opérations analytiques.** — 1° *Détermination de l'eau hygrométrique.* — On opère sur 20 gr. de l'échantillon moyen, préalablement trituré et que l'on chauffe à 110° dans l'étuve à huile ;

2° *Dosage du phosphate acide de chaux soluble.* — On introduit dans un matras de 300^{cc} de capacité environ 5 gr. de l'engrais sec, *mais non incinéré*, et par dessus 400^{cc} d'eau distillée tiède; on agite et on abandonne le mélange à une douce chaleur.

Au bout de deux à trois heures, on ajoute dans le matras 200^{cc} d'alcool rectifié à 90° C, qui précipite le *sulfate de chaux* dissous par l'eau (*Chim. inorg.*,

n° 400), tandis que le phosphate acide reste en dissolution.

On jette alors le mélange sur un filtre et on lave soigneusement avec de l'alcool le résidu insoluble R, qui contient : le *phosphate de chaux tribasique*, le *sulfate de chaux*, le *sable*, la *matière organique*, etc.

D'autre part, la liqueur filtrée L renferme :

le *phosphate acide de chaux*, les *sels solubles* et quelquefois un peu de *matière organique soluble*;

3° *Traitement de la liqueur filtrée L.* — La liqueur filtrée L est introduite dans un grand ballon et évaporée doucement au bain de sable jusqu'au tiers de son volume primitif. On transvase alors le liquide dans un vase à précipité, on ajoute quelques centimètres cubes d'une dissolution de chlorure de calcium, puis un léger excès d'ammoniaque qui détermine un précipité gélatineux de phosphate de chaux tribasique. Ce précipité est conduit comme il a été dit n° 116.

Le poids de phosphate multiplié par 0,4616 donne celui de l'acide phosphorique correspondant. Ce même poids de phosphate multiplié par 0,7548 donne celui du phosphate acide ;

4° *Traitement du résidu insoluble R.* — Le résidu insoluble desséché à 110° est pesé par la méthode des *filtres tarés*; on l'incinère ensuite, on pèse de nouveau, et la perte de poids correspond à la *matière organique brûlée*, augmentée de l'*eau de combinaison* du sulfate de chaux.

On pèse 2 gr. de cendres fournies par cette incinération, on les introduit dans un matras d'un demi-litre de capacité, on remplit cette fiole presque entièrement avec de l'eau chaude et on épuise la matière du

sulfate de chaux qu'elle contient en opérant comme il a été dit n° 105 b.

On dessèche le résidu insoluble à 110° et on le pèse; la perte du poids correspond au *sulfate de chaux* anhydre que l'on peut convertir en sulfate de chaux hydraté $\text{CaO SO}^{\circ} 2\text{H}_0$, en multipliant le poids de sulfate de chaux anhydre par 1,264.

Ce résidu est alors introduit dans un petit matras et traité par l'acide azotique qui dissout le phosphate de chaux tribasique et laisse le sable. On ajoute un peu d'eau distillée, on jette le résidu insoluble sur un filtre, on lave, on sèche et on pèse. Le poids de *phosphate de chaux* tribasique peut alors être déterminé par différence.

Vérification. — On dose dans la liqueur acide filtrée l'acide phosphorique avec le réactif bismuthique et on calcule le phosphate de chaux tribasique correspondant (n° 119 b).

127. Application de la méthode précédente à certains guanos naturels, au plâtre phosphaté, etc. — Certains guanos naturels (voy. n° 132) renferment, en outre du phosphate de chaux tribasique, une proportion plus ou moins grande de *phosphate de chaux soluble*. On pourra donc appliquer à ces guanos la méthode d'analyse précédente. Quant au plâtre phosphaté dont nous avons donné la composition moyenne n° 110, on en fera l'analyse comme il est indiqué n° 126, 4°.

128. Richesse en acide phosphorique de 1000 parties de déjections fournies par l'homme et les animaux de ferme ¹.

DÉJECTIONS.	EAU.	ACIDE PHOSPHORIQUE		
		SEC.	HUMIDE.	
HOMME. {	Excréments.....	733	8,2	2,19
	Urines.....	933	38,8	2,60
	Déjections mixtes.	910	28,5	2,56
CHEVAL. {	Excréments.....	753	12,2	3,00
	Urines.....	910	0,0	0,00
	Déjections mixtes.	754	11,2	2,75
VACHE. {	Excréments.....	859	7,4	1,04
	Urines.....	921	0,0	0,00
	Déjections mixtes.	843	5,5	0,86
PORC... {	Excréments.....	840	38,7	6,19
	Urines.....	979	20,9	0,44
	Déjections mixtes.	938	34,4	2,13
MOUTON. {	Excréments.....	576	15,2	6,44
	Urines.....	865	0,3	0,04
	Déjections mixtes.	671	13,2	4,34

¹ *Chimie organique*, n° 567.

**129. Richesse en acide phosphorique de 1000 parties
de différents fumiers.**

DÉSIGNATION des FUMIERS.	EAU.	ACIDE PHOSPHORIQUE		ANALYSTES ou AUTEURS.
		à l'état frais.	à l'état sec.	
Fumier à demi-consommé de Bechelbroun.	793	2,00	10,00	Boussingault.
Fumier d'une ferme anglaise..	650	7,87	22,50	—
Fumier frais du Jardin des Plantes, à Paris.	585	5,02	12,10	—
Fumier de l'École de Grignon.	705	6,12	20,00	—
Fumier de la Ménagerie de Paris.	668	2,58	7,80	—
Fumier de la ferme de Merk- willer.	744	7,18	28,00	—
Fumier frais de vache ¹	818	1,29	7,11	—
— — de porc.	728	2,07	7,61	—
— — de cheval.	674	2,32	7,13	—
— — de mouton.	616	2,03	5,29	—
Fumier de l'École de la Saul- saie ²	744	2,40	9,37	Pouriau.

¹ Les quatre derniers fumiers, retirés des étables au bout de 24 heures de séjour, n'avaient éprouvé aucune fermentation susceptible d'en modifier sensiblement la composition naturelle. La litière de ces quatre animaux se composait de paille de froment.

La vache recevait, comme nourriture, du regain de foin et des pommes de terre avec 3 kil. de litière.

Le porc, des pommes de terre cuites et 0^k,445 de litière.

Le cheval, du foin et de l'avoine, avec 2 kil. de litière.

Enfin, le mouton recevait du foin, avec 0^k,225 de litière.

² Fumier retiré d'une fosse le 13 octobre 1863.

**130. Richesse en acide phosphorique de 1000 parties
de divers engrais.**

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	EAU.	ACIDE PHOSPHORIQUE		ANALYSTES ou AUTEURS.
		matière sèche.	matière humide.	
Excréments frais de pigeon..	618	58,8	22,46	Boussingault.
Fiente récente de poule....	810	37,4	7,10	Girardin.
— d'hirondelle.....	70	43,4	40,40	—
Poudrette de Bercy (1847)..	136	25,5	20,03	Soubeiran.
— de Montfaucon...	414	10,8	6,33	—
— Chodzko.....	172	54,1	44,80	L'Hôte.
Sang liquide des abattoirs..	810	16,3	3,10	Boussingault.
Sang sec soluble.....	214	16,8	13,20	—
Chair musculaire séchée à l'air.....	85	2,4	2,20	—
Résidu d'abattoir.....	441	25,0	13,97	Dehéraïn.
Gadoue solidifiée. (Paris)...	135	21,0	18,16	—
— — —	100	38,0	34,20	—
Guano de Norvège (1864)..	84	148,7	136,05	Pouriau.
Engrais Laracine (Lyon 1864)	68	33,5	31,25	Glenard.
Guano de chauves-souris (Sardaigne).....	265	134,5	98,90	Girardin.
Guano de chauves-souris (Al- gérie).....	156	105,0	88,70	—
Engrais flamand pur.....	951	92,5	3,61	—
— — 15 % d'eau.	981	50,0	0,95	—
— — tel qu'on le vend....	989	22,7	0,25	—
Liquide de la conduite du de- potoir de la Villette, à Bondy.....	969	39,3	1,22	L'Hôte.
Purin recueilli à la Saulsaie, après une période très-plu- vieuse (12 nov. 1864)...	978	3,9	0,085	Pouriau.

131. Richesse moyenne en phosphate de chaux tribasique des os et de leurs dérivés.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	PHOSPHATE DE CHAUX TRIBASIQUE pour 100 de matière à l'état normal.	ANALYSTES.
Os frais.....	40	Payen.
Os secs et dégraissés. } homme.	54	Berzélius.
} bœuf. .	59	—
Cendres d'os pures.....	85 à 86	Dehérain.
— de Montévidéo.....	66 à 78	Bobierre.
Résidu de fabrication de gélatine.....	65 à 70	Pouriau.
Plâtre phosphaté.....	6 à 7	—
Noirs vierges en grains.....	81 à 82	Moridde et Bobierre.
— — fins.....	73	—
Noir de clarification des raffineries de Nantes ¹	44 à 64	—
Noir de filtration, Valenciennes	66	—
— — Lille.....	55	—
— — Russie.....	65 à 85	—
— — Marseille..	64	—

¹ On comprend que, suivant les proportions de sang et de noir employés pour clarifier 100 kil. de sucre, les noirs de raffinerie doivent présenter une composition variable au point de vue de l'azote et des phosphates.

132. Richesse moyenne en phosphate de chaux tribasique des guanos, coprolithes, etc.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	PHOSPHATE DE CHAUX TRIBASIQUE pour 100 de matière à l'état normal.	ANALYSTES.
Guano péruvien.....	26,3	Nesbit.
— du Chili.....	31,0	—
— de Bolivie.....	60,2	—
— de Patagonie.....	44,6	T. Way.
— de la baie de Sal- danha.....	56,4	—
— d'Ichaboë.....	30,3	—
— de Baker.....	85,8	Malagutti.
— de Jarvis.....	35,1	—
— de l'île du Phénix (océan Pacifique).	40,7	Girardin.
Phospho-guano.....	35 à 40	Malagutti.
Coprolithes de Cambridge..	60 à 75	Divers.
— de Suffolk.....	50 à 55	—
Nodules en France.....	45 à 55	Bobierre, Dehérain, etc.
Apatite de Norvège.....	90	Divers.
Phosphorite d'Espagne.....	72 à 78	—

REMARQUE. Les substances indiquées dans ce tableau ne contiennent pas toutes la totalité de leur acide phosphorique à l'état de phosphate de chaux tribasique ; quelques-unes renferment des phosphates de magnésie et de fer, d'autres du phosphate de chaux soluble. C'est ainsi que l'analyse accuse, en moyenne, dans le guano péruvien, 49,5 de phosphate de chaux tribasique et 6,8 de phosphate soluble. Le phospho-guano renferme 44 p. 100 du premier et 20 p. 100 du second. Enfin, les guanos Baker et Jarvis renferment souvent aussi une proportion notable de phosphate de chaux soluble.

133. Prix des instruments mentionnés dans ce chapitre.

(Voir les chapitres précédents.)

CHAPITRE IX

DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE RENFERMÉ : 1° DANS LES PRODUITS VÉGÉTAUX DESTINÉS A L'ALIMENTATION DE L'HOMME ET DES ANIMAUX ; 2° DANS LES TERRES, LES CALCAIRES, LES CHAUX, LES MARNES, LES TANGUES, ETC. ; 3° DANS LES CENDRES EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

I. DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE RENFERMÉ DANS LES PRODUITS VÉGÉTAUX DESTINÉS A L'ALIMENTATION DE L'HOMME ET DES ANIMAUX.

134. Opérations préliminaires. — Pour effectuer le dosage dont il s'agit, il faut commencer par dessécher, moudre et incinérer l'échantillon moyen de la substance; on opère ensuite sur les cendres.

La dessiccation et la mouture de certains produits végétaux exigent quelques précautions particulières que nos lecteurs trouveront indiquées dans le chapitre XII.

Les divers procédés d'incinération déjà énumérés n° 38 et suiv. seront de nouveau passés en revue dans le chapitre XI.

Nous supposerons donc ici que les opérations préliminaires étant terminées, les cendres sont convenablement préparées pour être soumises à l'analyse, et nous examinerons la méthode qu'il faut adopter suivant les différents cas qui peuvent se présenter.

135. Dosage de l'acide phosphorique renfermé dans les cendres des végétaux.

Essais qualitatifs. — Le dosage de l'acide phosphorique dans les cendres doit être précédé de quelques essais qualitatifs ayant pour objet de faire connaître si la matière renferme :

1° Des *phosphates alcalino-terreux* (phosphates de chaux et de magnésie) *associés ou non à des phosphates alcalins, mais exempts d'oxyde de fer*¹;

2° Des *phosphates alcalino-terreux* et du *peroxyde de fer*;

3° *Ces mêmes éléments associés à des phosphates alcalins.*

a. Recherche qualitative du peroxyde de fer. — Les cendres qui renferment une proportion notable de peroxyde de fer sont toujours plus ou moins *rougeâtres*, ce qui est déjà un indice de la présence de cette base.

Pour juger approximativement de l'abondance de ce composé, on dissout 5 décigr. à 1 gr. de cendres dans l'acide azotique étendu, on filtre et on lave le résidu insoluble.

On partage ensuite en deux parties la liqueur filtrée et presque complètement neutralisée par l'ammoniaque et l'on verse dans l'une du prussiate jaune de potasse, dans l'autre du sulfhydrate d'ammoniaque. Si la dissolution renferme du fer, le premier réactif donne un précipité *bleu* de Prusse, le second un précipité *noir* (*Ch. inorg.*, n° 497).

b. Recherche qualitative des phosphates alcalins. — On

¹ La proportion d'alumine renfermée dans les cendres des plantes étant toujours très-peu considérable, nous n'en tenons pas compte ici.

épuise par l'eau bouillante 1 à 2 gr. de cendres, on filtre et on verse dans la liqueur filtrée du sulfate de magnésie ammoniacal qui donne naissance à un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien (*Ch. inorg.*, n° 191) si les cendres ont cédé à l'eau chaude des phosphates alcalins.

Ces opérations qualitatives terminées, voici quels sont les procédés de dosage à employer suivant la nature des cendres examinées.

136. Cendres renfermant des phosphates alcalino-terreux mêlés ou non à des phosphates alcalins. — On suit l'une des deux méthodes indiquées nos 116 et 119.

Si l'on veut doser séparément les phosphates solubles, on commence par épuiser les cendres par l'eau bouillante et on précipite ensuite l'acide phosphorique de cette dissolution à l'état de *phosphate ammoniaco-magnésien* n° 89 b.

137. Cendres renfermant des phosphates alcalino-terreux et de l'oxyde de fer, mais pas de phosphates alcalins. — On suit l'une des méthodes indiquées n° 122.

138. Cendres renfermant des phosphates alcalins et alcalino-terreux ainsi que de l'oxyde de fer. — La présence des phosphates alcalins en quantité considérable empêchant les liqueurs de se décolorer complètement quand on emploie la méthode Frésenius, il convient de séparer d'abord ces phosphates par l'eau bouillante avant d'attaquer les cendres par l'acide. On dose séparément l'acide phosphorique de cette dissolution à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien et on soumet ensuite le résidu insoluble à l'une des méthodes exposées n° 122.

139. Richesse moyenne en acide phosphorique
des cendres des végétaux les plus usuels¹.

VÉGÉTAUX.		ACIDE PHOSPHORIQUE ‰.
TUBERCULES ET RACINES.	Pommes de terre..	12,0
	Betteraves.....	6,0
	Topinambours... .	11,0
	Navets.....	12,0
GRAINES....	Froment.....	47,5
	Seigle.....	49,0
	Orge.....	35,0
	Avoine.....	20,0
	Maïs.....	47,0
	Sarrazin.....	45,0
	Haricots.....	36,0
	Fèves de marais...	36,0
	Pois.....	30,0
	Lentilles.....	29,0
	Vesces.....	38,0
FOURRAGES..	Colza.....	45,0
	Lin.....	40,0
	Chanvre.....	35,0
	Trèfle rouge....	8,5
FOURRAGES..	Luzerne.....	13,5
	Sainfoin.....	20,0
	Foin de prairies..	5,3
PAILLES....	Paille de froment..	3,5
	— de seigle...	3,5
	— d'orge.....	3,2
	— d'avoine....	3,0
	— de sarrazin .	5,0
TIGES ET FEUILLES.	— de colza....	7,5
	Vigne (bois).....	12,0
	— (sarments)..	8,2
	Chanvre (tiges)...	3,0
	Tabac (feuilles)..	3,2

¹ Chimie organique, n° 406.

Les nombres inscrits dans ce tableau représentent la moyenne des résultats analytiques obtenus par les divers chimistes qui se sont occupés de cette question; ils n'ont donc rien d'absolu.

140. Proportion moyenne d'acide phosphorique renfermé dans 1000^k des récoltes usuelles prises à l'état normal.

VÉGÉTAUX.		ACIDE PHOSPHORIQUE.
PLANTES FOURRAGÈRES.	Pommes de terre.....	1 ^k ,00
	Betteraves.....	0,42
	Topinambours.....	1,21
	Navets.....	1,10
	Foin de prairies naturelles..	4,00
	Foin, trèfle rouge.....	4,20
	— luzerne.....	7,70
	— sainfoin.....	12,00
	Froment.....	9,00
	Seigle.....	9,80
GRAINES.....	Orge.....	8,70
	Avoine.....	5,80
	Maïs.....	5,60
	Sarrazin.....	11,00
	Haricots.....	12,00
	Fèves de marais.....	13,00
	Pois.....	7,50
	Lentilles.....	6,40
	Vesces.....	11,00
	Colza.....	17,50
PAILLES.....	Lin.....	20,00
	Chanvre.....	16,80
	Paille de froment.....	1,50
	— de seigle.....	1,00
	— d'orge.....	1,20
	— d'avoine.....	1,30
	— de maïs (feuilles).....	0,60
— de sarrazin.....	1,70	
— de colza.....	2,80	

141. Richesse en acide phosphorique de 1000^k de différents tourteaux, d'après MM. Girardin et Soubeiran.

TOURTEAUX.	ACIDE PHOSPHORIQUE	
	à l'état sec.	à l'état normal 10 % d'eau.
Tourteau d'œillette.....	43,0	38,7
— de noix.....	14,8	13,3
— de lin.....	23,0	20,7
— de chènevis....	41,0	36,9
— de colza.....	21,0	18,9
— de cameline...	20,0	18,0
— de sésame.....	15,0	13,5
— d'arachide.....	6,0	5,4
— de madia.....	38,3	34,4
— de faines.....	10,0	9,0

II. DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DANS LES TERRES, LES MARNES, LES CALCAIRES, LES CHAUX, ETC.

142. **Essai qualitatif.** — La proportion d'acide phosphorique renfermée dans les terres, les marnes, les calcaires, etc., étant toujours très-faible, il importe, avant de commencer l'analyse quantitative, de s'assurer par une méthode précise de la présence de ce composé.

143. **Préparation et emploi du molybdate d'ammoniaque comme réactif de l'acide phosphorique.** —
a. Préparation du réactif. — On fait une dissolution saturée de molybdate d'ammoniaque à laquelle on ajoute vingt parties d'acide azotique et on maintient ensuite la liqueur à l'ébullition pendant plusieurs heures.

Il se forme presque toujours un dépôt blanc ou jaunâtre que l'on sépare par décantation ou filtration, et la dissolution est de nouveau chauffée à 40° pendant plusieurs heures. S'il se produit un second précipité analogue au premier, on filtre de nouveau, on décante, on fait bouillir encore et on continue ainsi jusqu'à ce qu'on obtienne une dissolution acide qui ne se trouble plus quand on la fait chauffer.

b. Préparation de la dissolution phosphorique. — 150 à 200 gr. de terre provenant d'un échantillon moyen préparé, desséché et chauffé au rouge sombre, suivant les indications renfermées chap. XVI, *Analyse chimique des terres arables*, sont mis en digestion dans une capsule de porcelaine ou un ballon (si la terre est très-calcaire) avec 200^{cc} d'eau et 200^{cc} d'acide chlorhydrique, et mieux d'acide azotique. On maintient pendant vingt minutes le mélange sur un bain de sable, à une température voisine de l'ébullition, en ayant soin d'agiter de temps en temps; on laisse déposer, on filtre et on lave parfaitement le résidu insoluble.

On sépare ensuite *la silice* de la liqueur filtrée, conformément aux indications du n° 95 *d*, et c'est dans la nouvelle liqueur acide, séparée de la silice par filtration, qu'on opère l'analyse qualitative et quantitative de l'acide phosphorique. Pour que les réactions soient plus nettes, on fait en sorte que le volume de la liqueur séparée de la silice soit au plus de 150^{cc}.

c. Emploi du réactif. — On introduit dans un petit matras 15 à 20^{cc} du réactif molybdique, on chauffe à 80°, et on verse peu à peu la dissolution phosphorique, environ 25 à 30^{cc}, et on fait bouillir ensuite pendant au moins une heure.

Il se forme, soit immédiatement, soit au bout d'un certain temps, un trouble jaunâtre qui se rassemble ensuite en un précipité d'un *beau jaune* dont l'apparition est un caractère *parfaitement certain* de la présence de l'acide phosphorique et qui permet de reconnaître des simples traces de ce composé.

La réaction est toujours plus nette quand on se sert pour acidifier les deux dissolutions d'acide azotique, préférablement à l'acide chlorhydrique; car, avec le premier acide, il se forme toujours un précipité, lors même que l'acide phosphorique est en très-petite quantité, tandis que, dans les mêmes conditions, l'acide chlorhydrique ne donne qu'une simple coloration jaune du molybdate.

Cependant, comme la réaction est encore très-nette dans ce second cas, il ne faut pas croire qu'il est indispensable de n'opérer qu'en présence de l'acide azotique.

Il est essentiel de suivre dans les opérations la marche que nous venons d'indiquer, d'après M. Rivot¹, et de ne pas verser le molybdate dans la liqueur qui contient ou doit contenir l'acide phosphorique.

De plus, pour que le composé jaune d'acide molybdique et d'acide phosphorique puisse se séparer, il est indispensable que la précipitation de ce dernier acide soit complète, ce qui n'a lieu que lorsque le réactif contient au moins 40 p. 100 d'acide molybdique pour 1 p. d'acide phosphorique existant dans la liqueur proposée.

Pour ce motif, on est conduit à se servir d'un volume de la dissolution azotique de molybdate consi-

¹ *Docimasic, t. I.*

dérable et tout à fait en dehors des proportions dans lesquelles on emploie les réactifs les plus usuels.

144. Dosage de l'acide phosphorique. — Ce dosage s'effectue avec le reste de la liqueur acide, dont une petite partie a servi pour l'essai qualitatif, et en employant l'une des méthodes suivantes :

A *Méthode Frésenius*, n° 122, I.

B *Méthode de M. Dehérain*, n° 122, II.

C *Méthode de M. Boussingault*, n° 122, III, si la terre renferme une proportion notable de chaux.

D *Méthode de M. Rivot*, chap. IX; dans le cas où l'opérateur a une certaine habitude des manipulations chimiques.

REMARQUE. Nos lecteurs trouveront dans le dernier chapitre de ce volume une application numérique de la méthode Frésenius au dosage de l'acide phosphorique renfermé dans les terres de la Dombes.

145. Quantités d'acide phosphorique trouvées dans 100 parties de terres, marnes, tangles, etc., de diverses provenances.

DÉSIGNATIONS.	ACIDE PHOSPHORIQUE.	ANALYSTES.
Terre de Furnes.....	0,229	Berthier.
— riche de Hollande.....	0,160	Boussingault.
Terreau des maraîchers de Paris.....	1,280	—
— neuf de Verrières.....	0,342	—
Terre légère du Liebfrauenberg.....	0,312	—
— — de Bischwiller.....	0,553	—
— forte de Bechelbroun.....	0,142	—
— d'un herbage d'Argentan (Orne).	0,094	—
Terres diverses des bords de l'Amazonc et de ses principaux affluents.....	0,017 à 0,086	—
Humus sableux, près Rouen.....	0,253	Girardin.
Terre sablo-calcaire, <i>id.</i>	0,801	—
— franche, <i>id.</i>	0,040	—
— argileuse de Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure).....	0,397	—
— du champ d'Expér. (la Saulsaie). de la Douelle A (<i>id.</i>).....	0,028	Velter.
— pauvre de la Grange (<i>id.</i>).....	traces	—
— de Chapelles-Bourbon, par Tour- nan (Seine-et-Marne).....	0,0278	Dehéraïn.
— de Guéritaude, près Loches (In- dre-et-Loire).....	0,0164	—
— de Verclives, près Écouis (Eure).	0,0223	—
Tuf calcaire d'Ouillie, près Lisieux (Cal- vados).....	1,200	—
Marne de Beaufour, arrondissement de Pont-l'Évêque (Calvados).....	1,450	—
Calcaire exploité par M. Mosselmann (Manche).....	1,218	—
Calcaire magnésien du comté de Durham.	0,032 à 0,064	Johnston.
— — du comté de Lanark.	0,572	—
Marnes tertiaires du marais d'Orx (Lan- des), anciennes dunes, colline Nord.	0,0600	Pouriau.
— — — Sud..	0,0665	—
Tangue de Saint-Malo.....	0,570	I. Pierre.
— de Moidrey.....	1,38	—
— d'Avranches.....	0,25	—
— de Mont-Martin-sur-Mer.....	0,72	—
— de Pont-de-la-Roque.....	0,51	—
— de Lessay (havelée).....	0,28	—
— — (bêchée).....	0,12	—
— de Cherbourg.....	0,43	—
— de Brevands.....	0,12	—
— d'Isigny.....	0,18	—
— de Sallenelles ¹	0,08	—
Faluns de la Touraine.....	0,137	—
— —	0,126	Caillat.
Coquilles d'oursins.....	0,916	Besnou.

¹ Voir chapitre XVII, les analyses de tangles faites par M. Rivot.

III. DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE RENFERMÉ DANS LES DIFFÉRENTES CENDRES EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

146. Cendres de bois neuves. — Les cendres de bois neuves renferment une petite quantité de phosphates alcalins associée à une proportion beaucoup plus notable de phosphates de chaux et de magnésie. Dans un essai pratique, il n'est pas nécessaire d'effectuer un dosage spécial des phosphates alcalins, il suffit d'évaluer en une seule fois la totalité de l'acide phosphorique, en suivant l'une des méthodes suivantes :

1^o Méthode pratique. — On opère sur 10 à 20 gr. de cendres que l'on traite comme il a été expliqué n^o 116.

Remarque. — Le précipité obtenu dans cette méthode par l'addition de l'ammoniaque dans la liqueur acide n'est pas du phosphate de chaux pur, ce dernier étant toujours mélangé d'une quantité variable d'oxydes de fer et d'aluminium; mais on peut se contenter de cette approximation dans un essai pratique.

Si on voulait opérer avec plus d'exactitude, il conviendrait de redissoudre directement sur le filtre, dans l'acide azotique un peu étendu, le précipité gélatineux et impur de phosphate de chaux préalablement bien lavé et de reprécipiter l'acide phosphorique par le réactif bismuthique, n^o 119;

2^o Méthode Chancel. — Si les cendres neuves ne renfermaient pas de chlorures et de sulfates solubles, on pourrait immédiatement appliquer au dosage de l'acide phosphorique le procédé de M. Chancel; mais, comme nous l'avons dit n^o 120 a, il est nécessaire, ici, de se débarrasser, préalablement, des sels solubles qui donne-

raient, en même temps que l'acide phosphorique, un précipité avec le sous-nitrate de bismuth.

Si donc on veut employer cette méthode, on devra opérer sur 10 gr. du résidu insoluble dans l'eau chaude resté sur le filtre, desséché et pesé, et on conduira l'opération comme il a été indiqué n° 119 b.

Remarque. — Dans une analyse tout à fait rigoureuse, on devra tenir compte des phosphates alcalins dissous par l'eau. A cet effet, on concentrera un volume déterminé de la lessive aqueuse, on y versera du sulfate de magnésie ammoniacal qui précipitera l'acide phosphorique des phosphates alcalins, si la liqueur en renferme, on conduira l'opération comme il a été dit n° 89 b, et on ajoutera le poids d'acide phosphorique trouvé à celui fourni par l'analyse du résidu insoluble;

3° *Méthode analytique exacte.* — Le dosage dont il s'agit peut encore être effectué avec une exactitude plus rigoureuse en employant l'une des méthodes décrites n° 122.

147. Cendres de bois lessivées ou charrées. — Les cendres de bois lessivées ne renfermant pas de phosphates solubles, le dosage pratique de l'acide phosphorique s'effectue par l'un des deux procédés indiqués nos 116 et 119.

Si l'on veut une exactitude plus grande, on a recours aux procédés du n° 122.

148. Résultats analytiques.

	PHOSPHATE DE CHAUX avec oxyde de fer et alumine.	ANALYSTES.
Charrée supérieure recueillie près d'un bateau de blanchisseuses...	27,30	Bobierre.
Charrées commerciales. Nantes. . . .	12,00	Moride et Bobierre.
— — La Rochelle.	12,35	—
— — La Flotte...	10,90	—
— — de Caen...	16,90	I. Pierre.
— — de Pizay (Ain)	15,40	Pouriau.
Charrée d'une lessive faite à la Saul- saie.....	29,80	—

Remarque. — Nous avons dosé séparément l'acide phosphorique dans les deux dernières charrées et nous avons trouvé pour le poids de phosphate de chaux correspondant :

Charrée de Pizay.....	8,70 %
Charrée de la Saulsaie.....	12,25

149. Cendres de varechs. — Les cendres de varechs renferment de l'acide phosphorique, comme on peut en juger par les résultats des analyses faites par M. Godechens.

Acide phosphorique dans 100 parties de cendres de diverses espèces de varechs recueillis sur la côte occidentale de l'Écosse (embouchure de la Clyde).

	Acide phosphorique.
Fucus digitatus.....	2,36
— vesiculosus.....	1,16
— nodosus.....	1,38
— serratus.....	3,89

150. Méthode de dosage. — Les cendres de varechs

renfermant très-peu d'*oxyde de fer*, on peut appliquer au dosage de l'acide phosphorique la méthode du n° 116.

La méthode Chancel (n° 119) ne saurait être appliquée immédiatement à ces cendres, en raison de la forte proportion de chlorures, iodures et sulfates alcalins accusée par l'analyse; mais il suffit, pour rendre ce procédé possible, de commencer par épuiser les cendres par l'eau chaude.

151. Cendres de tourbe. — Les chimistes qui ont analysé des cendres de tourbe n'y ont pas trouvé de *phosphates*, ce qui, au premier abord, paraît singulier; car les végétaux qui ont concouru à la formation de la tourbe ont dû en contenir une certaine quantité pendant leur vie.

Mais MM. Moride et Bobierre ont donné l'explication de cette anomalie en démontrant expérimentalement que du phosphate de chaux introduit au sein d'un mélange de plantes de tourbières placées sous l'eau et en voie de décomposition, se dissolvait peu à peu sous l'influence de l'acide carbonique et de l'acide acétique qui se développent pendant la fermentation, et finissait par être entraîné en totalité dans les couches terreuses sous-jacentes.

Néanmoins, nous verrons dans le chapitre suivant que cette absence de phosphates dans les cendres de tourbe n'est pas absolue et qu'il suffit que le combustible soit mélangé aux matières terreuses qui le supportent pour que l'analyse permette d'accuser dans les produits d'incinération des quantités notables d'acide phosphorique. D'ailleurs, ce résultat, loin de contredire la théorie précédente, ne fait que la confirmer.

152. Cendres de houille et cendres pyriteuses. — Ces cendres ne renfermant pas de phosphates, nous n'avons pas à nous en occuper ici.

153. ☆ Méthode chimique de M. Rivot pour doser l'acide phosphorique associé à l'alumine, l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie¹. — Nous supposons que la matière soumise à l'analyse soit une terre arable.

a. 100 à 150 gr. de terre provenant d'un échantillon moyen préparé, desséché et chauffé au rouge sombre, suivant les indications renfermées chap. XVI, *Analyse chimique des terres arables*, sont introduits dans une capsule de porcelaine ou un ballon, délayés dans 200^{cc} d'acide azotique et 100^{cc} d'eau, puis chauffés au bain de sable pendant vingt à vingt-cinq minutes à une température voisine de l'ébullition.

Au bout de ce temps, on laisse déposer, on filtre, on lave parfaitement le résidu insoluble.

La liqueur filtrée, séparée de ce résidu insoluble, est évaporée à sec et le résidu repris par l'acide azotique d'abord et l'eau ensuite. On filtre de nouveau et l'on se débarrasse ainsi de la *silice*. C'est la même opération que n° 95, I, *d*, si ce n'est que l'on substitue ici l'acide azotique à l'acide chlorhydrique. On verse alors, dans la liqueur séparée de la silice, un excès d'ammoniaque qui précipite la totalité de l'acide phosphorique, ce composé pouvant être associé à des quantités va-

¹ Nous rappelons à nos lecteurs que le signe ☆ indique que l'exposé qui va suivre ne s'adresse qu'aux personnes ayant déjà une certaine habitude des analyses chimiques.

riables d'alumine, d'oxyde de fer, de chaux et de magnésie.

On filtre, on lave avec beaucoup de soin le précipité, et quand il est bien lavé on le redissout dans le filtre même par la plus petite quantité possible d'acide azotique étendu.

La liqueur filtrée est alors introduite dans une capsule de porcelaine de grandeur convenable, additionnée d'acide sulfurique en léger excès, puis évaporée au bain de sable jusqu'à ce que les premières fumées blanches d'acide sulfurique indiquent que tout l'acide azotique a été chassé.

On délaye alors le résidu d'évaporation dans une petite quantité d'eau, on ajoute du *sulfate d'ammoniaque*, on agite vivement pendant quelques instants et on laisse ensuite en repos pendant plusieurs heures.

On fait alors passer toute la matière dans une fiole à fond plat un peu grande, on ajoute un grand excès d'alcool rectifié à 40° Cartier, on agite et on laisse au repos pendant au moins douze heures.

b. Réactions. — L'acide sulfurique décompose les phosphates dissous par l'acide azotique, ainsi que les nitrates formés, en s'emparant des bases *alumine, oxyde de fer, chaux, magnésie*, qu'il transforme en sulfates. Le sulfate d'ammoniaque forme des sels doubles avec les sulfates d'alumine et de magnésie; l'alcool précipite ces sulfates doubles, ainsi que le sulfate de chaux.

Quant à l'oxyde de fer, il peut se présenter en deux cas :

1° Si la proportion de fer est un peu considérable, ce qui arrive fréquemment dans les terres arables, le sulfate de fer formé se divise en deux parties sous l'influence combinée du sulfate d'ammoniaque et de l'al-

cool. Une partie est retenue sur le filtre à l'état de sulfate double insoluble, une autre reste soluble et passe en dissolution avec l'acide phosphorique;

2° Quand l'oxyde de fer est en faible proportion, il passe en entier dans la dissolution avec l'acide phosphorique.

Remarque. — Pour que cette première partie de l'opération réussisse bien, il faut avoir soin de n'ajouter à la liqueur azotique qu'un très-faible excès d'acide sulfurique; c'est là le point délicat de la méthode que l'expérience seule peut apprendre à saisir.

c. Suite des opérations. — Une fois les sulfates insolubles bien rassemblés, on les sépare par filtration du liquide clair et on les lave soigneusement avec de l'alcool.

On obtient ainsi : une liqueur alcoolique L;

— un résidu insoluble R.

d. Traitement de la liqueur alcoolique L. — La liqueur alcoolique L renferme :

De l'acide sulfurique, du sulfate d'ammoniaque, du sulfate de fer, et enfin de l'acide phosphorique.

On introduit cette liqueur L dans un grand ballon, on y ajoute une très-grande quantité d'eau et on chauffe doucement jusqu'à ce que tout l'alcool soit volatilisé; ce qui exige un temps considérable pendant lequel il faut renouveler l'eau à mesure qu'elle s'évapore. Il est important de ne pas chauffer trop fortement et surtout de ne pas employer trop peu d'eau, dans le but d'arriver plus promptement à l'expulsion de l'alcool, parce que l'on risquerait de produire des composés organiques par l'action de l'acide sulfurique sur l'alcool, composés qui pourraient compromettre le dosage de l'acide phosphorique.

Précipitation du fer. — Quand l'odeur de l'alcool n'est plus perceptible, on transvase la liqueur L dans un vase à précipité et on y ajoute de l'ammoniaque et du sulfhydrate d'ammoniaque qui précipite le fer à l'état de sulfure.

On filtre, on lave le précipité avec de l'eau additionnée de sulfhydrate d'ammoniaque et on dose le fer comme nous le dirons plus loin (n° 153 g).

On ajoute dans la liqueur, séparée du sulfure de fer par filtration et versée dans une capsule, de l'acide chlorhydrique; on chasse l'hydrogène sulfuré par la chaleur et on sépare par filtration le soufre qui se dépose.

Dosage de l'acide phosphorique. — Enfin, on concentre un peu la liqueur séparée du soufre et on précipite l'acide phosphorique qu'elle renferme par le sulfate de magnésie ammoniacal, en suivant les indications du n° 89, b.

e. Séparation et dosage des bases. — Le résidu R insoluble dans l'alcool et resté sur le filtre renferme du sulfate de chaux, du sulfate double d'ammoniaque et d'alumine, du sulfate double d'ammoniaque et de magnésie, et enfin du sulfate de fer.

Le filtre avec son résidu est desséché, on en sépare ensuite les sulfates auxquels on réunit les cendres fournies par la combustion du filtre.

On introduit le tout dans une capsule de porcelaine et on fait bouillir avec une dissolution concentrée de carbonate de soude, ce qui détermine une double décomposition des sulfates, et la formation d'un mélange de carbonates de chaux, de magnésie, d'oxyde de fer et d'aluminium.

On décante le liquide clair qui surnage les carbo-

nates insolubles, on les lave ensuite à l'eau bouillante, puis on les dissout dans l'acide azotique et on évapore à sec. Le résidu est ensuite chauffé peu à peu jusqu'à environ 180° et maintenu à cette température tant qu'il se dégage des vapeurs rutilantes; par là, on décompose entièrement les *azotates de fer et d'alumine*, et partiellement ceux de *chaux* et de *magnésie*.

Après refroidissement, on pulvérise, aussi bien que possible, la matière dans la capsule elle-même, on la traite par une dissolution saturée d'*azotate d'ammoniaque* et on fait chauffer à 100° pendant environ vingt-quatre heures.

Les terres alcalines, *chaux* et *magnésie*, provenant de la décomposition partielle des azotates, chassent l'ammoniaque et se dissolvent en même temps que la portion de ces mêmes azotates non décomposés; l'*alumine* et l'*oxyde de fer* restent seuls insolubles.

On reçoit sur un filtre cette partie non dissoute, on la lave à l'eau bouillante, on sèche, on calcine et on pèse.

f. Séparation et dosage de la chaux et de la magnésie.

— La liqueur séparée de l'alumine et du fer et qui renferme la chaux et la magnésie est d'abord concentrée par évaporation, puis on y ajoute du chlorhydrate d'ammoniaque, de l'ammoniaque, et enfin de l'oxalate d'ammoniaque.

Le dernier réactif précipite la *chaux* et laisse la *magnésie*. Le dosage de la chaux s'effectue comme il a été dit n° 95 g.

Quant à la *magnésie*, on la précipite dans la liqueur séparée de la chaux et on la dose comme il a été dit n° 89 b.

g. Dosage de l'oxyde de fer resté sur le filtre n° 153 d.

— Nous avons vu en *e* comment on déterminait le poids du précipité mixte d'alumine et d'oxyde de fer séparé des bases alcalino-terreuses, chaux et magnésie, mais il faut ajouter à ce poids celui de l'oxyde de fer resté à l'état de sulfure sur le filtre, en *d*.

On dissout directement sur le filtre le sulfure de fer en versant sur lui de l'eau acidulée d'acide chlorhydrique et on lave le filtre avec le même liquide.

On fait bouillir la dissolution dans une capsule, de manière à chasser l'acide sulfhydrique, et on sépare par filtration, s'il y a lieu, le soufre qui se dépose.

On ajoute au liquide quelques gouttes d'acide azotique et on fait bouillir dans une capsule de porcelaine, afin de péroxyder le fer. On verse ensuite dans la liqueur filtrée de l'ammoniaque qui précipite ce peroxyde de fer, on filtre, on lave, on dessèche, on calcine, on pèse et l'on ajoute le poids de cet oxyde à celui du précipité mixte d'alumine et de fer obtenu en *e*.

h. Séparation et dosage des oxydes de fer et d'aluminium. — Si l'on voulait séparer et doser séparément les oxydes de fer et d'aluminium, il faudrait reprendre le précipité mixte obtenu en *e*, le réduire en poudre et en fondre un poids déterminé dans un creuset d'argent avec de la potasse caustique pure. Après le refroidissement du creuset, on fait bouillir la masse fondue avec de l'eau, on filtre et on lave.

L'alumine passe en dissolution, tandis que le peroxyde de fer reste sur le filtre; mais comme ce dernier oxyde retient énergiquement de la potasse, malgré les lavages répétés, il convient de redissoudre le précipité encore humide dans l'acide chlorhydrique et de le reprécipiter par l'ammoniaque. On filtre de

nouveau, on lave, sèche, calcine et pèse, et on obtient le poids de l'alumine par différence.

154. REMARQUE. — Beaucoup de calcaires renferment de l'*oxyde de manganèse* qui, dans les opérations que nous venons de décrire, reste associé à l'*oxyde de fer*; nous renvoyons aux ouvrages spéciaux pour la séparation et le dosage de ce composé.

**155. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

(Voir les chapitres précédents.)

CHAPITRE X

ESSAIS DES DIVERSES CENDRES EMPLOYÉES COMME ENGRAIS EN AGRICULTURE.

156. Cendres employées comme engrais en agriculture. — Les diverses cendres employées comme engrais en agriculture sont :

- 1° *Les cendres de bois neuves;*
- 2° *Les cendres de bois lessivées ou charrées;*
- 3° *Les cendres de tourbe;*
- 4° *Les cendres de houille;*
- 5° *Les cendres de lignites ou cendres pyriteuses;*
- 6° *Les cendres de varechs;*

Nous allons indiquer successivement les essais pratiques auxquels on peut soumettre ces différentes cendres, dans le but de juger de leur valeur agricole.

157. Cendres de bois neuves. — Les cendres fournies par la combustion du bois dans nos foyers domestiques renferment des substances qui, par rapport à leur solubilité dans l'eau, peuvent être partagées comme il suit :

SUBSTANCES SOLUBLES.

Carbonates de potasse et de soude.
Sulfate et phosphate de potasse.
Chlorures de potassium et de sodium.
Silicates de potasse et de soude.

SUBSTANCES INSOLUBLES.

Carbonates de chaux et de magnésie.
Phosphates de chaux et de magnésie.
Silice, oxydes de fer et d'aluminium, etc.
Charbon non brûlé.

En outre, ces cendres renferment une proportion de *chaux* et de *magnésie* caustique d'autant plus grande que la combustion a eu lieu à une température plus élevée.

Les carbonates de potasse et de soude constituent plus de la *moitié* de la partie soluble des cendres de bois, et, parmi tous les sels solubles, c'est le *carbonate de potasse* qui prédomine (*Ch. inorg.*, n° 336).

Dans la partie insoluble, l'élément le plus abondant est le *carbonate de chaux*, dont les cendres renferment quelquefois jusqu'à 50 p. 100 de leur poids.

Viennent ensuite les *phosphates terreux* qui, quoique moins abondants, n'en constituent pas moins un élément très-important des cendres.

ESSAI DES CENDRES NEUVES.

158. Analyse mécanique. — Les cendres neuves (comme les cendres lessivées) renferment souvent une proportion notable de débris charbonneux provenant d'une combustion incomplète du bois, et que les marchands laissent ou introduisent avec intention dans la masse afin d'en augmenter le volume. Il convient donc de commencer par soumettre les cendres à un tamisage afin de séparer la portion active des cendres, des débris charbonneux inertes.

A cet effet, on pèse à la balance-pendule (fig. 87) 4 kilog. de cendres, et on les jette sur un tamis n° 20 (fig. 88) qui ne retient que les gros débris charbonneux ainsi que les fragments de bois, les pierres, etc., que les cendres peuvent renfermer.

On pèse tous les débris retenus sur le tamis, et l'on détermine comme nous le dirons plus loin la quantité

de matières inertes que chaque hectolitre de cendres contient.

Dans les cendres de bonne qualité, la proportion

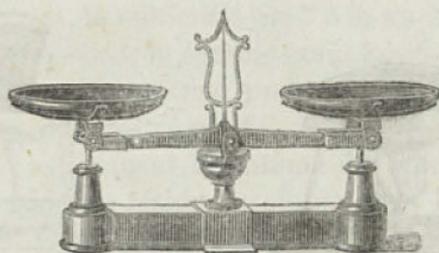


Fig. 87.

de matière retenue sur le tamis est insignifiante ; dans les cendres falsifiées, au contraire, elle est souvent con-

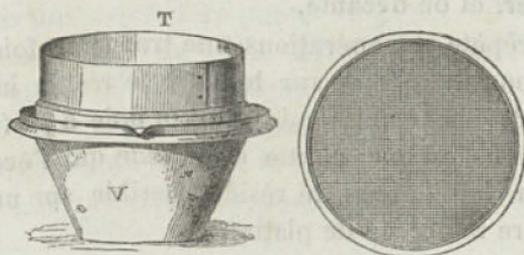


Fig. 88.

sidérable, et il est nécessaire alors de faire porter les essais chimiques que nous allons décrire sur la partie qui a passé à travers les mailles du tamis.

159. Essais chimiques pratiques. — 1^o *Détermination de la proportion des matières solubles.* — On met dans une capsule en porcelaine (fig. 89) 50 grammes de cendres, 250^{cc} d'eau distillée, on porte et on maintient à l'ébullition pendant dix minutes en ayant soin de

remuer la masse avec un agitateur; on laisse reposer et on filtre la partie claire sur un filtre *taré* de 12 à 15 centimètres de rayon (fig. 90). On verse de nou-



Fig. 89.

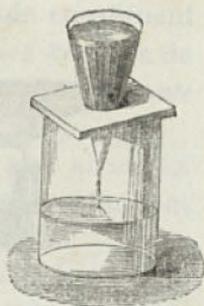


Fig. 90.

veau 200^{cc} d'eau sur le résidu, on fait bouillir, on laisse déposer, et on décante.

On répète ces opérations une troisième fois, après quoi on fait tomber sur le filtre le résidu insoluble qu'on lave à l'eau chaude avec la fiole à jet (fig. 57), jusqu'à ce qu'une goutte de liquide qui s'écoule du filtre ne laisse plus de résidu possible sur une lame de verre mince ou de platine.

On porte l'entonnoir et son contenu dans un endroit chaud, on retire le filtre de l'entonnoir quand on n'a plus à craindre de le déchirer, on achève sa dessiccation conjointement avec celle de l'autre filtre qui doit servir de tare, et on pèse.

La diminution de poids des cendres indique la quantité de matières solubles enlevées par l'eau.

Vérification. — Comme vérification, on peut évaporer à sec, au bain de sable et dans une petite capsule préalablement tarée, la totalité ou un volume déter-

miné du liquide séparé par filtration du résidu insoluble.

La proportion de matières solubles est ordinairement comprise entre 10 et 20 p. 100 du poids des cendres neuves, le minimum est 7 à 8; au-dessous, on doit rejeter les cendres comme étant falsifiées ou tout au moins de trop mauvaise qualité.

2° *Essai alcalimétrique de la liqueur filtrée.* — On mesure exactement le volume du liquide séparé par la filtration du résidu insoluble dans l'opération précédente, et on en remplit une burette graduée.

On mesure, d'autre part, à l'aide d'une pipette graduée (fig. 91), 10^{cc} ou 20^{cc} de la liqueur sulfurique décime (4^e,9 ac. sulfur. monohydraté par litre, n° 71); on les fait tomber dans une capsule de porcelaine placée sur un valet de paille, et on ajoute quelques gouttes de teinture de tournesol, qui communiquent à la liqueur une coloration rouge clair.

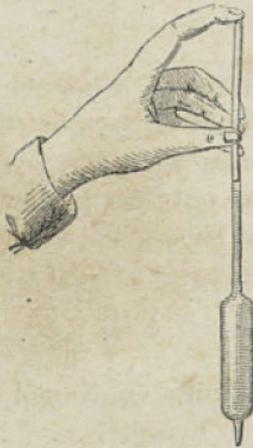


Fig. 91.

On verse alors peu à peu dans la capsule (fig. 92) la liqueur alcaline de la burette jusqu'à ce que la teinture de tournesol passe du rouge au bleu violet, et l'on note le volume de liquide de la burette qu'il a fallu employer pour obtenir ce résultat¹.

¹ On fera bien, dans le cours de cette opération, de placer deux ou trois fois la capsule au-dessus d'une lampe à alcool, de façon à amener le liquide à l'ébullition et faciliter par suite le dégagement

Du volume liquide alcalin qu'il a fallu pour saturer 10^{cc} de liq. sulfurique décime, on déduit la quantité



Fig. 92.

du même acide que la totalité de la lessive alcaline aurait pu saturer, et, par suite, la quantité de *carbonate de potasse* renfermée dans les 50 gr. de cendres qui ont fourni cette lessive. (On admet ici, pour plus de simplicité, que l'élément alcalin est constitué uniquement par du carbonate de potasse.)

160. Éléments du calcul.

Poids équivalent de l'acide sulfurique mono-	
hydraté.	49
Poids équivalent du carbonate de potasse. . .	69

La liqueur sulfurique décime contenant par litre

de l'acide carbonique des carbonates décomposés par l'acide sulfurique. Si l'on négligeait cette précaution, une partie de l'acide carbonique resterait en dissolution dans le liquide, et, en agissant sur la teinture de tournesol, retarderait le moment où celle-ci repasserait *au bleu*.

4^s,9 SO^sHO peut saturer 6^s,9 de carbonate de potasse.

On a donc les relations :

1,000^{cc} liq. sulfurique décime correspondant à 6^s,9 carbonate de potasse.

1^{cc} liq. sulfurique décime correspondant à 0^s,0069 carbonate de potasse.

161. Application numérique.

Poids de cendres neuves épuisées par l'eau.....	50 ^g
Volume total de la lessive.....	710 ^{cc}
8 ^{cc} ,9 de cette lessive ont saturé, liqueur sulfurique décime.	10 ^{cc}
710 ^{cc} en auraient saturé.....	797 ^{cc} ,7
Carbonate de potasse correspondant pour 50 gr. de cendres 0 ^s ,0069 × 797,7 =	5 ^s ,504
Pour 100 gr. de cendres =	11,008

162. Règle générale. — *Connaissant la quantité de lessive alcaline nécessaire pour saturer 10^{cc} de liqueur sulfurique normale, on déduit le volume du même acide que pourrait saturer la totalité de la lessive, et on multiplie ce volume exprimé en c. cubes par 0^s,0069. On rapporte ensuite le résultat à 100 de cendres.*

163. Dosage des phosphates renfermés dans les cendres neuves. — Cette question a été étudiée en détail, n^{os} 147 et suivants.

164. Essai d'une cendre neuve, exécuté par nos élèves au laboratoire de la Saulsaie, 5 mai 1865.

Poids de l'hectolitre..... 50^k,000

1^o Analyse mécanique.

Poids des cendres passées au tamis n^o 20. 1^k,000

Résidu charbonneux resté sur le tamis.....	0 ,011
Résidu charbonneux par hectolitre.....	0 ,550

les cendres étaient donc de bonne qualité.

2° *Proportion de matières solubles dans l'eau.*

Poids des cendres épuisées par l'eau chaude.....	50 ^g ,0
— du résidu insoluble.....	43 ,4
Sels solubles pour 50 gr.....	6 ^g ,6
— — 100 gr.....	13 ,2

3° *Sels alcalins évalués en carbonate de potasse.*

Poids des cendres traitées.	Volume de la lessive.	Carbonate de potasse %.
1 ^{re} exp ^e . . 100	1500	10,35
2 ^e — . . 50	710	10,27
3 ^e — . . 75	920	10,32
	Moyenne...	10,31

4° *Proportion de phosphates alcalins et terreux.*

Poids de cendres neuves traitées suivant la méthode du n° 116.....	10 ^g ,00
Poids du précipité mixte de phosphate de chaux, d'alumine et de fer.....	1 ,15

Vérification.

Ce précipité a été redissous dans l'acide azotique et la liqueur maintenue à l'ébullition pendant vingt minutes. On a ajouté ensuite dans la liqueur du sous-nitrate de bismuth, n° 119.

Poids du phosphate de bismuth.....	1 ^g ,574
Phosphate de chaux correspondant $1^g,574 \times 0,5082$.	0 ,800
Phosphate de chaux pour 100 gr.....	8 ,000

165. Cendres de bois lessivées ou charrées. — Les cendres de bois qui ont cédé à l'eau chaude la plus grande proportion de leurs éléments solubles sont désignées ordinairement sous le nom de *charrées*; on en fait un grand usage en agriculture.

Le lessivage ordinaire n'enlève pas cependant aux cendres neuves la totalité de leurs principes solubles, et l'on retrouve dans les charrées la majeure partie des silicates alcalins que ces matières renfermaient avant la lessive.

Avant d'indiquer les essais pratiques auxquels on peut soumettre les charrées, dans le but de juger de leur valeur agricole, nous rapporterons ici les résultats d'analyse obtenus par divers expérimentateurs.

166. Analyses de MM. Moride et Bobierre.

	CHARRÉE SUPÉ- RIEURE ¹ .	CHARRÉES COMMERCIALES		
		de Nantes.	de La Rochelle.	de La Flotte.
Matières organiques et charbon.	9,80	8,15	6,00	2,90
Sels alcalins.	1,05	1,20	2,00	3,40
Silice en partie soluble..	13,60	30,00	42,70	50,20
Phosphate de chaux avec alumine et oxyde de fer.	27,30	12,00	12,35	10,90
Carbonate de chaux.	47,10	46,65	34,80	26,60
Perte et matières complé- mentaires.	1,15	2,00	2,15	6,00
	100,00	100,00	100,00	100,00

167. Analyse d'une charrée de Caen, par M. I. Pierre.

Charbon.	5,7
Sels alcalins.	2,2
Sable.	31,8
Carbonate de chaux.	39,2
Phosphate de chaux avec oxyde de fer et alumine.	16,9
Carbonate de magnésie et perte.	4,2
	100,0

¹ Recueillie près d'un bateau de blanchisseuses.

**168. Analyses de deux charrées exécutées
au laboratoire de la Saulsaie.**

Matière organique, charbon et résidu insoluble	(1)	(2)
dans l'eau et l'acide étendu	19,40	14,2
Sels alcalins	2,36	1,1
Alumine, oxyde de fer et phosphates	29,80	15,4
Carbonate de chaux	43,30	65,1
Carbonate de magnésie et perte	5,14	4,2
	<hr/>	<hr/>
	100,00	100,0
Phosphate de chaux	12,25	8,7

169. Falsifications des charrées. — Les charrées sont fréquemment falsifiées avec des matières inertes, telles que de la craie tuffeau, du sable calcaire, des terres friables, des vases d'étangs et de rivières qui ressemblent, par leur couleur, leur texture, aux charrées ordinaires.

Voici, d'après M. I. Pierre, la composition d'une poudre grise de tuffeau de Saumur vendue comme charrée :

Matière organique avec traces de sels solubles . . .	2,2
Carbonate de chaux	24,8
Sable siliceux avec un peu d'argile	58,2
Oxyde de fer avec un peu d'alumine	10,1
Magnésie et perte	4,7
	<hr/>
	100,0

Les charrées, comme les cendres neuves, renferment souvent aussi une forte proportion de débris charbonneux, de fragments de bois, de pierres, introduits à dessein dans la masse par les marchands.

(1) Charrée recueillie à la Saulsaie après une lessive.

(2) Charrée commerciale provenant de Pizay, près Montluel.

170. Essai des charrées. — *Analyse mécanique.* — Cette analyse s'effectue à l'aide d'un tamis du n° 20, comme il a été dit n° 158, à l'occasion des cendres neuves.

L'hectolitre de charrée de bonne qualité pèse ordinairement de 70 à 75 kilogr.

171. Essais chimiques pratiques. — *a. Dosage des matières solubles dans l'eau.* — 400 gr. de cendres préalablement triturées dans un mortier de porcelaine sont épuisés par l'eau chaude et l'on détermine le poids des substances solubles en opérant absolument comme il a été dit pour les cendres neuves n° 159.

b. Dosage des matières solubles dans l'acide chlorhydrique étendu. — On pèse 10 gr. du résidu insoluble dans l'eau chaude et resté sur le filtre et on les traite comme il est indiqué n° 81.

On obtient ainsi la quantité de matière insoluble dans l'acide étendu et, par différence, celle des substances dissoutes. On rapporte ensuite le résultat au poids total du résidu insoluble dans l'eau.

c. Dosage du phosphate de chaux. — Dans la liqueur chlorhydrique précédente, séparée par filtration du résidu insoluble, on ajoute du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'ammoniaque et on obtient un précipité gélatineux de *phosphate de chaux* mélangé d'oxyde de fer et d'alumine que l'on traite comme il a été indiqué n° 116.

On peut aussi employer à ce dosage la méthode Chancel, n° 119, en redissolvant dans l'acide azotique le précipité gélatineux de phosphate de chaux soigneusement lavé et en versant dans la dissolution du sous-nitrate de bismuth.

d. Dosage de la chaux et de la magnésie. — Ce dosage s'effectue avec la liqueur séparée du phosphate de chaux par filtration et lavage et en suivant exactement la marche indiquée n° 89 *a* et *b*.

e. Dosage du charbon, de la matière organique et du sable. — On fait tomber dans une capsule de platine préalablement tarée le résidu insoluble fourni par les 10 gr. de cendres lessivées et traitées en *b* par l'acide chlorhydrique étendu et dont on connaît le poids. On chauffe au rouge sombre jusqu'à ce que l'on n'aperçoive plus de particules charbonneuses dans la masse ; on laisse refroidir et on pèse. Le poids obtenu correspond à celui du sable mélangé quelquefois à un peu d'argile, et la perte du poids représente le charbon et la matière organique brûlés. On rapporte ensuite le résultat à 100 p. de charrées.

On peut aussi faire cette incinération sur 10 ou 20 gr. de charrées intactes, c'est-à-dire n'ayant pas encore été soumises à l'action de l'eau et de l'acide étendu.

Les essais que nous venons d'indiquer seront toujours suffisants pour juger de la valeur agricole d'une charrée et déterminer si celle-ci a été falsifiée par des matières inertes. Il suffira de comparer les nombres que l'on obtiendra à ceux qui représentent la composition des charrées de bonne qualité. Quant à ceux de nos lecteurs qui voudraient exécuter sur des cendres une analyse plus exacte et plus complète, nous les renvoyons au chap. XI qui traite de l'analyse chimique qualitative et quantitative des cendres fournies par la combustion des matières organiques.

172. Cendres de tourbe. — Les cendres de tourbe de bonne qualité sont blanches ou grisâtres et très-légères, elles pèsent de 40 à 50 kilogr. l'hectolitre.

Généralement, moins elles pèsent, meilleures elles sont.

Les bonnes tourbes donnent en moyenne de 8 à 10 p. 100 de cendres, les mauvaises peuvent en donner jusqu'à 40 p. 100. Ces cendres ont une composition très-variable et qui dépend de la nature du terrain dans lequel la tourbe s'est formée. On peut en juger par les analyses suivantes :

173. Composition des cendres de tourbe

DE CHATEAU-LANDON (19 % DE CENDRES).

Chaux caustique et carbonatée.....	63,0
Argile.....	7,5
Silice gélatineuse.....	15,0
Oxyde de fer.....	7,0
Alumine.....	7,0
Carbonate de potasse.....	0,5
	100,0

DES ENVIRONS DE TROYES (11 % DE CENDRES).

Chaux.....	23,0
Magnésie.....	14,0
Alumine et oxyde de fer.....	14,0
Argile et silice.....	26,0
Acide carbonique et soufre.....	23,0
	100,0

DE VASSY, HAUTE-MARNE (7,2 % DE CENDRES).

Carbonate de chaux.....	51,5
Sulfate de chaux.....	26,0
Argile.....	11,0
Oxyde de fer.....	11,5
	100,0

DE HAGUENAU (12,5 % DE CENDRES).

Chaux.....	6,0
Magnésie.....	0,6
Oxyde de fer.....	3,7
Potasse et soude.....	2,3
Acide sulfurique.....	5,5
Chlore.....	0,3
Alumine.....	16,0
Silice et sable.....	65,6

 100,0

Il résulte des analyses précédentes que les cendres de tourbe renferment peu ou point de sels alcalins et jamais de phosphates, ce qui établit une énorme différence entre elles et les cendres de bois.

Certaines tourbes, telles que celles de Vassy, contiennent quelquefois du *sulfate de chaux* en notable proportion; mais, en général, les éléments qui dominent sont :

La *chaux caustique* ou *carbonatée*, l'*argile calcinée*, la *silice soluble* et *insoluble*, l'*alumine* et l'*oxyde de fer*. D'autres tourbes voisines de la mer ou qui ont été recouvertes par les eaux marines pendant un temps plus ou moins long fournissent des cendres renfermant une notable proportion de *chlorure de sodium* et de *carbonate de soude*.

Les cendres de tourbe de la Hollande, appelées aussi *cendres de mer*, et celles que l'on tire de la Flandre occidentale (Belgique) sont dans ce cas, et leur énergie est beaucoup plus grande que celle des cendres ordinaires.

On rencontre aussi des tourbes imprégnées de marnes coquillères et qui, après la combustion, donnent

des cendres riches en *carbonate de chaux* et en *chaux caustique*.

174. Analyse d'une tourbe terreuse du marais d'Orx (Landes). — En 1862, sur la demande de notre ami M. Rérolle, à qui S. M. l'Empereur avait confié la tâche difficile de dessécher l'immense marais d'Orx, nous avons eu occasion de faire l'analyse d'une tourbe reposant sur un dépôt vaseux de 4 mètres de puissance environ.

L'échantillon qui nous fut envoyé était imprégné d'une assez forte proportion de matière terreuse, de telle sorte que les résultats analytiques obtenus diffèrent en plusieurs points de ceux fournis par les tourbes pures. C'est, du reste, ce qui nous engage à les reproduire.

INCINÉRATION DE LA TOURBE DESSÉCHÉE A 100°.

Eau combinée et matières détruites par le feu.	70,07
Cendres et matières terreuses	29,93
	<hr/>
	100,00

COMPOSITION DES CENDRES.

Éléments solubles dans l'eau.	{	Sulfate de soude	}	4,55	
		— de chaux			
		— de magnésie			
Éléments solubles dans l'acide étendu.	{	Silice soluble	1,544	}	19,30
		Alumine, oxyde de fer et phosphates	15,286		
		Carbonate de chaux	1,293		
		— de magnésie	0,753		
		Perte	0,424		
		Sable et argile	76,15		<hr/>
					100,00

Acide phosphorique des cendres 0,750 pour 100.

Cette analyse fait voir, comme nous l'avons dit dans

le chapitre précédent, n° 151, que, lorsque la tourbe est mélangée avec la partie terreuse qui lui sert de lit, on peut retrouver dans ses cendres une portion des phosphates que les végétaux devaient renfermer dans leurs tissus.

175. Essai des cendres de tourbe. — *a. Dosage des sels solubles.* — On opère sur 150 à 200 gr. de cendres, en suivant la marche indiquée pour les cendres de bois (n° 159).

b. Dosage des éléments solubles dans l'acide étendu. — On opère sur 10 gr. du résidu insoluble dans l'eau, conformément à la marche indiquée n° 171 *b*, seulement on considère le précipité fourni par l'ammoniaque comme constitué exclusivement d'alumine et de peroxyde de fer, les tourbes ne renfermant pas ordinairement de phosphates.

176. Cendres de tourbe riches en sulfate de chaux. — Certaines tourbes, telles que celles de Vassy (n° 173), fournissant des cendres souvent très-riches en *sulfate de chaux* et qui, par suite, produisent d'excellents effets sur les prairies artificielles, il est utile de rechercher qualitativement la présence de ce composé et d'en faire ensuite l'objet d'un dosage spécial, s'il y a lieu.

1° Essai qualitatif. — On épuise par l'eau chaude 20 gr. de cendres et on partage en deux parties la liqueur filtrée; on acidifie l'une avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique et on ajoute ensuite du *chlorure de baryum* qui donne naissance à un précipité blanc de sulfate de baryte si la liqueur contient un sulfate soluble.

On ajoute à l'autre portion de la liqueur filtrée un volume égal d'alcool à 90° qui détermine la produc-

tion d'un précipité blanc de *sulfate de chaux* si les cendres de tourbe renferment ce composé.

2° *Dosage du sulfate de chaux*. — On peut effectuer ce dosage en traitant les cendres comme s'il s'agissait d'un calcaire gypseux (n° 92 b).

177. Cendres de houille. — La houille de bonne qualité donne, en moyenne, 2 p. 100 de cendres, mais celle de mauvaise qualité peut en donner beaucoup plus.

Les cendres de houille renferment encore moins de sels alcalins que les cendres de tourbe, au maximum 1 p. 100 (sulfate de potasse ou de soude).

COMPOSITION D'UNE CENDRE DE HOUILLE
DE SAINT-ÉTIENNE.

Argile et matières insolubles dans l'acide étendu.	62
Alumine.	5
Chaux.	6
Magnésie.	8
Oxydes de fer et de manganèse, sulfure de fer. .	19
	<hr/>
	100

178. Essai des cendres de houille. — L'essai des cendres de houille offre peu d'intérêt; néanmoins, si on voulait l'effectuer, on suivrait la méthode indiquée n° 175 pour les cendres de tourbe.

179. Cendres de varechs. — Les cendres de varechs résultent de l'incinération des varechs, fucus ou goëmons qu'on recueille sur toutes les côtes maritimes; on les utilise beaucoup comme engrais en Écosse et dans la Bretagne.

Le tableau de la page suivante résume, d'après M. Godechens, la composition de plusieurs espèces de

varechs recueillis sur la côte occidentale de l'Écosse, à l'embouchure de la Clyde.

	FUCUS DIGITATUS.	FUCUS VESICULOSUS.	FUCUS NODOSUS.	FUCUS SERRATUS.
Potasse.	20,66	13,01	9,13	3,98
Soude.	7,65	9,54	14,33	18,67
Chaux.	10,94	8,36	11,60	14,41
Magnésie.	6,86	6,12	9,91	10,29
Peroxyde de fer.	0,57	0,28	0,26	0,30
Chlorure de sodium.	26,18	21,45	18,28	16,56
Iodure de sodium.	3,34	0,32	0,49	1,18
Acide sulfurique.	12,23	24,06	24,20	18,59
— phosphorique.	2,36	1,16	1,38	3,89
Silice.	1,44	1,15	1,09	0,38
Acide carbonique.	8,10	1,20	3,74	7,97
Charbon.	0,53	13,89	6,65	3,15
	100,86	100,54	101,06	99,37

180. Essai des cendres de varechs. — On appliquera les méthodes indiquées pour l'essai des cendres de bois neuves et lessivées (n^{os} 158 et suiv.).

181. Engrais ou cendres de Noirmoutiers. — On désigne ainsi un engrais complexe qui se fabrique dans l'île de Noirmoutiers, et qui consiste en un mélange de *cendres de varechs* avec de la terre, du sable, de mauvais sels marins, des varechs frais, du fumier d'étable, des coquillages et toute espèce de débris organiques.

On mouille le tas de temps en temps avec de l'eau salée, on le recoupe cinq ou six fois et on finit par obtenir une masse assez homogène et qui a l'apparence du terreau.

Cette matière rentrant dans la classe des engrais complexes, nous renvoyons nos lecteurs au chapitre

spécial qui traitera de l'analyse des engrais en général (2^e partie).

182. Cendres de lignites. — SYNONYMIE : *Cendres pyriteuses, cendres noires, terres noires de Picardie, cendres sulfuriques végétatives, etc.* — Les matières désignées sous ces différents noms et employées en abondance dans les départements de la Somme, de l'Aisne, de l'Oise, ne sont pas de véritables cendres, mais des *lignites* noirs, pyriteux et alumineux que l'on trouve en couches plus ou moins épaisses à la surface du sol ou à une faible profondeur.

183. Composition. — La composition des cendres noires est très-différente suivant qu'on les examine immédiatement après leur extraction ou après une exposition à l'air plus ou moins prolongée. Traitées par l'eau aussitôt après leur sortie de la mine, ces matières n'abandonnent à ce liquide presque aucun principe soluble, comme l'indique l'analyse suivante due à M. Lefebvre, professeur de chimie au lycée de Saint-Quentin.

Eau.....	22,2
Matières carbonées et bitumineuses.....	22,5
Sulfate de chaux.....	1,9
Sulfate de fer.....	traces
Sulfure de fer.....	19,4
Terre argileuse.....	34,0
	100,0

Abandonnées en tas et à l'air pendant un an à dix-huit mois, dans un état convenable d'humidité, ces cendres s'échauffent, s'oxydent, et l'eau peut alors leur enlever une notable proportion de *sulfate de fer* et de *sulfate d'alumine* qui prennent naissance pendant cette combustion lente.

184. — Voici la composition que M. Girardin a trouvée à des cendres noires de Picardie employées dans le département du Nord.

	I	II	III
Eau.....	18,8	18,5	17,9
Matières organiques	38,1	40,5	36,5
Sulfate de fer.....	5,9	6,6	6,2
— d'alumine.....	4,2	3,1	10,2
Autres matières minérales insolubles..	33,0	31,3	29,2
	100,0	100,0	100,0

185. **Cendres rouges.** — Les lignites pyriteux abandonnés en tas s'échauffent beaucoup, et l'on est obligé de les retourner fréquemment quand on veut prévenir l'inflammation spontanée de la masse. Quand cette combinaison vive se produit, une partie du soufre brûle et se dissipe dans l'atmosphère à l'état d'acide sulfureux; une autre partie se transforme en acide sulfurique qui donne avec l'oxyde de fer et l'alumine des sulfates de ces bases; enfin une certaine quantité de fer se suroxyde et communique à la masse une coloration rougeâtre qui fait alors désigner ces matières sous le nom de *cendres rouges*.

Dans certains pays, on provoque cette combustion vive en ajoutant dans chaque tas une petite quantité de combustible auquel on met directement le feu.

On lessive ensuite les produits de combustion afin d'enlever les sulfates de fer et d'alumine, et l'espèce de charrée formée par cette lixiviation constitue ce qu'en Picardie on désigne ordinairement sous le nom de *cendres rouges*.

186. Composition de cendres rouges vendues dans le département du Nord. Analyses de M. Girardin.

	I	II	III	IV
Eau.....	8,3	9,8	7,8	10,0
Sulfate d'alumine ferrugineux.	8,6	8,0	3,0	5,7
Matières argileuses, sable et oxyde de fer.....	83,1	82,2	89,2	84,3
	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>	<u>100,0</u>

On voit que ces cendres n'avaient pas été complètement lessivées.

187. Cendres rouges de Flize (Aisne), analysées par M. Sauvage.

Eau.....	5,2
Argile et sable.....	67,6
Carbonate de chaux.....	13,0
Carbonate de magnésie.....	6,2
Sulfate de chaux.....	7,0
Peroxyde de fer,	1,0
	<u>100,0</u>

188. Essai pratique des cendres noires et des cendres rouges.

1^o CENDRES NOIRES : *a. Humidité.* — Ces cendres ferment généralement de 45 à 20 p. 100 d'humidité, mais quelquefois la proportion d'eau atteint jusqu'à 30 p. 100. On prend 500 gr. d'un échantillon moyen que l'on dessèche à 100° (n° 22), et l'on détermine la perte de poids que l'on rapporte ensuite à cent parties.

b. Éléments solubles dans l'eau. — On épuise par l'eau tiède 100 gr. de cendres desséchées à 100°, on

fait tomber le résidu insoluble sur un filtre taré, on dessèche à 100° et on pèse.

La différence de poids correspond à celui des matières enlevées par l'eau (sulfates de fer et d'alumine, sulfate de chaux quelquefois, humus soluble).

c. Matières organiques. — On incinère à la lampe, dans une capsule de platine préalablement tarée, un poids déterminé du résidu insoluble dans l'eau, et la perte de poids correspond à celui des matières organiques brûlées.

189. Autre mode d'essai des cendres noires. — Un autre mode d'essai indiqué par M. Girardin consiste à mettre en digestion pendant vingt-quatre heures un litre de cendres dans un litre d'eau et à prendre ensuite le degré aréométrique du liquide obtenu par filtration (n° 14).

Sur dix-huit échantillons de cendres marchandes provenant de différentes cendrières des environs de Saint-Quentin, M. Lefebvre a trouvé des degrés aréométriques variant de 5 à 16°.

190. Cendres rouges. — On peut appliquer à ces cendres la méthode indiquée pour l'essai des cendres de tourbe ou de houille (nos 176 et 177).

**191. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

(Voir les chapitres précédents.)

CHAPITRE XI

PROCÉDÉS DIVERS D'INCINÉRATION DES MATIÈRES ORGANIQUES. — ANALYSE CHIMIQUE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES CENDRES FOURNIES PAR LA COMBUSTION DES MATIÈRES ORGANIQUES.

I. PROCÉDÉS DIVERS D'INCINÉRATION DES MATIÈRES ORGANIQUES.

192. **Incinération des engrais.** — L'incinération d'un engrais doit toujours porter sur un échantillon

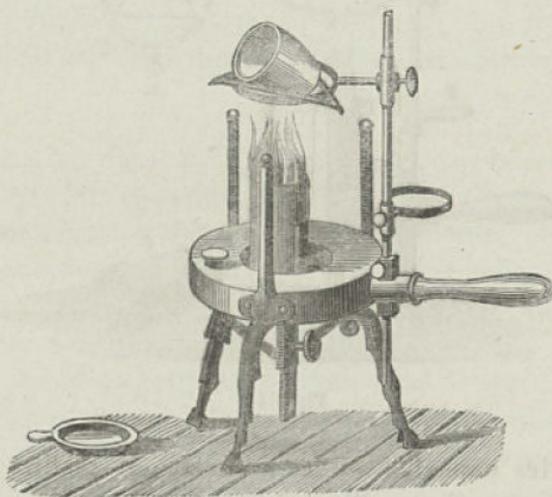


Fig. 93.

moyen de la matière obtenu comme il est indiqué

chapitre II et chapitre XII. Cet échantillon doit avoir été préalablement desséché à une température déterminée, puis trituré à l'aide des appareils décrits n^{os} 19 et 20.

On introduit alors un poids connu de la matière réduite en poudre plus ou moins fine dans un creuset ou une capsule de platine ou de porcelaine; ou bien encore dans un creuset de Paris, et l'on procède à l'incinération en se servant de l'un des appareils déjà décrits chap. III, et qui sont :

1^o *La lampe de Berzélius à double courant d'air* (fig. 93 et 94). — Les cerces s sont destinés à sup-

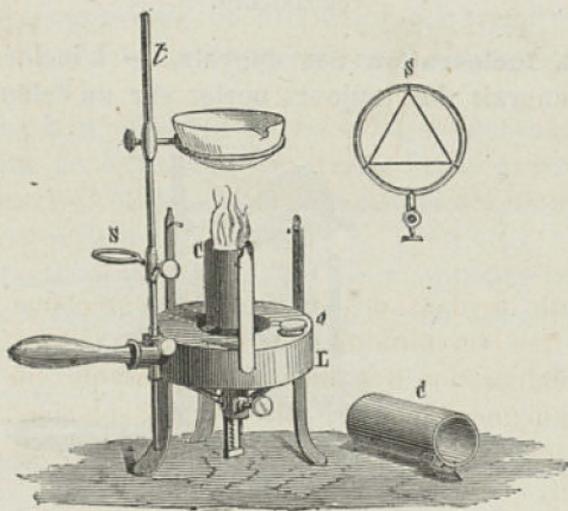


Fig. 94.

porter les capsules ou les creusets en platine dans lesquels on effectue l'incinération de la matière.

2^o *La lampe à double courant d'air et à niveau constant* (fig. 95).

3° *Le fourneau à moufle* (fig. 96).

C'est quand on emploie ce fourneau que l'on peut effectuer les incinérations dans des capsules en por-

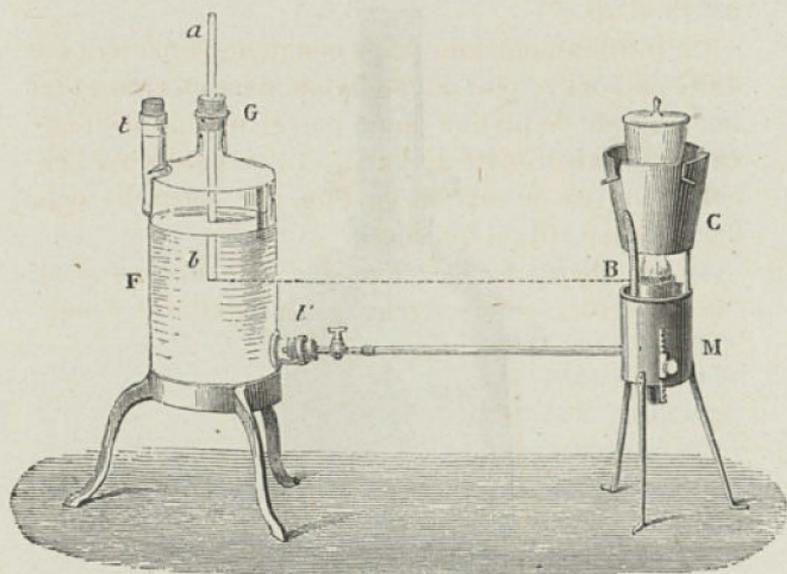


Fig. 95.

celaine ou dans des creusets de porcelaine ou de terre que l'on introduit dans le moufle. (Voyez n° 42.)

L'incinération des engrais ne présente, en général, aucune difficulté, elle exige seulement de la patience et quelques précautions que nous allons indiquer.

a. Quand on brûle les engrais dans des creusets ou des capsules de platine chauffés à la flamme d'une lampe à alcool, il faut avoir soin de commencer par chauffer la matière à une température très-modérée et de n'augmenter l'intensité de la source calorifique que lorsque les gaz qui résultent de la décomposition

de la matière organique qui brûle cessent de se dégager.

On peut alors faciliter la combustion complète du

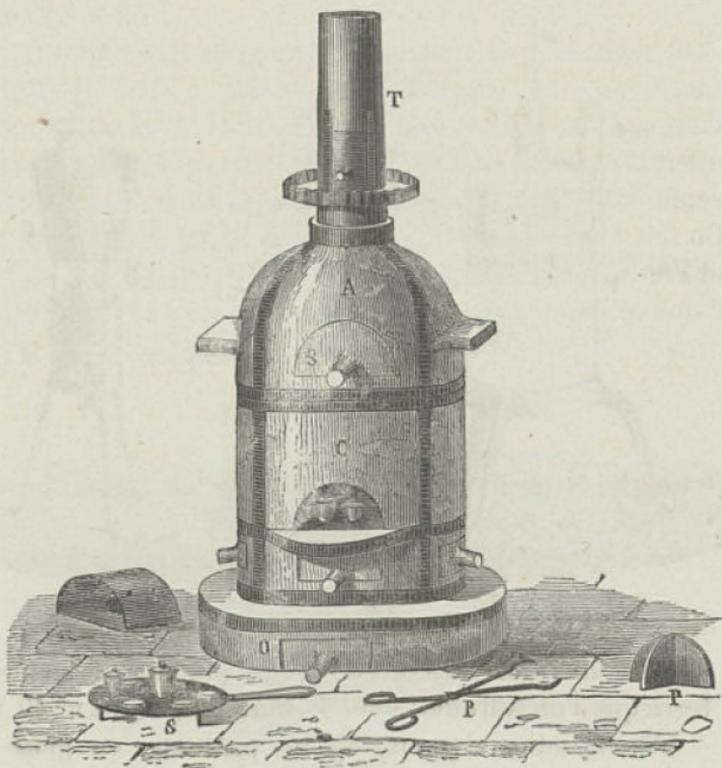


Fig. 96 (page précédente).

charbon en remuant avec précaution la matière à l'aide d'une spatule de platine (fig. 60), et en appuyant les parties charbonneuses contre les parois de la capsule ou du creuset portées au rouge sombre.

b. Certains engrais, riches en matière organique, se boursouffent sous l'action de la chaleur, et se transforment en une sorte de scorie charbonneuse

dont il est nécessaire de favoriser la combustion complète. A cet effet, on fait tomber cette scorie dans un mortier d'agate ou de porcelaine, on la pulvérise et on soumet de nouveau la matière triturée à l'incinération.

c. Il faut éviter, pendant toute la durée de l'incinération, d'appliquer aux substances que l'on veut brûler une chaleur trop élevée, autrement on s'expose à volatiliser une partie des *chlorures alcalins*, à réduire partiellement des *sulfates* et des *phosphates*, à transformer en alcalis caustiques les *carbonates de chaux et de magnésie*.

Un bon moyen d'éviter ces pertes, c'est d'effectuer l'incinération des engrais dans un fourneau de coupelle (fig. 96), dont le moufle est chauffé seulement à un rouge sombre invisible à la clarté du jour, et dont on laisse la porte entr'ouverte, de façon à établir un courant d'air à l'intérieur.

Dans ces conditions, on obtient en quelques heures la combustion complète du charbon, et l'on n'a pas à craindre la volatilisation d'aucune matière minérale.

d. On peut aussi, quand on craint d'avoir décomposé une partie des carbonates alcalino-terreux, restituer à ces bases l'acide carbonique qu'elles ont perdu, en humectant les cendres froides avec une solution saturée de carbonate d'ammoniaque.

On les dessèche ensuite lentement, puis on les chauffe au rouge naissant au-dessus d'une lampe à alcool, on les laisse refroidir et on les pèse. On répète cette opération plusieurs fois, et on ne considère la pesée comme définitive que lorsque le poids des cendres reste sensiblement constant.

e. Certains engrais, notamment le *purin*, fournis-

sent des cendres alcalines qui, en fondant, emprisonnent le charbon de la matière organique, et rendent la combustion parfaite de cette dernière extrêmement difficile.

C'est surtout pour ces matières qu'il faut : 1° opérer l'incinération à une température aussi basse que possible; 2° employer de préférence le fourneau de coupelle dont on maintient le moufle au rouge sombre; 3° pulvériser la scorie charbonneuse, s'il s'en produit une, et soumettre la matière écrasée à une nouvelle incinération. Malgré toutes ces précautions, on n'arrive pas toujours à obtenir des cendres entièrement exemptes de charbon; on doit alors, dans l'analyse de ces matières, avoir recours à certains artifices que nous indiquerons plus loin.

Quand une incinération est achevée, il faut s'empresser de faire tomber les cendres encore chaudes dans un petit mortier, on les pulvérise une dernière fois en les mélangeant avec soin, et enfin on les introduit dans un flacon bouchant à l'émeri.

193. Incinération des matières végétales. — L'incinération des matières végétales, comme celle des engrais, doit s'effectuer sur des échantillons *moyens* choisis, desséchés et triturés comme il est expliqué en détail dans le chap. XIII.

Les appareils et les procédés d'incinération, les soins à apporter dans les opérations, etc., sont identiquement les mêmes que lorsqu'il s'agit des engrais, nous n'avons donc pas à y revenir ici.

- Seulement, nous insisterons sur la nécessité d'effectuer l'incinération des matières végétales à la température la plus basse possible, parce que c'est le seul moyen, dans certains cas, de prévenir la fusion des

sels alcalins, et par suite l'emprisonnement du charbon qu'il devient alors impossible de brûler complètement.

194. — Nous allons donner un tableau indiquant la composition moyenne p. 400 des cendres des végétaux les plus usuels, mais nous rappelons que les nombres qui y sont inscrits n'ont rien d'absolu et qu'ils représentent seulement la moyenne des résultats analytiques obtenus par les divers chimistes qui se sont occupés de cette question.

195. Composition moyenne des cendres des végétaux
les plus usuels.

VÉGÉTAUX.		ACIDES		CHLORÈ.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE ET SOUDE.	SILICE.
		Sul- furique.	Phos- phorique					
		k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
TUBERCULES ET RACINES.	Pommes de terre.	9,0	12,0	3,5	2,0	5,0	54,0	5,0
	Betteraves.....	1,5	6,0	5,0	7,0	4,0	45,0	8,0
	Topinambours...	2,5	11,0	1,5	2,5	1,5	45,0	12,0
	Navets.....	11,0	12,0	3,0	15,0	4,0	35,0	6,0
GRAINES.	Froment.....	0,5	47,5	trac.	3,0	13,5	32,0	1,7
	Seigle.....	0,9	49,0	trac.	5,0	10,0	32,0	0,5
	Orge.....	0,4	35,0	"	2,5	8,5	20,0	26,0
	Avoine.....	1,0	20,0	0,4	4,0	8,0	13,0	40,0
	Maïs.....	2,0	47,0	0,1	1,3	16,0	33,0	1,0
	Sarrasin.....	2,0	45,0	trac.	6,5	9,5	23,0	5,0
	Haricots.....	1,5	36,0	0,5	5,5	9,0	45,0	1,0
	Fèves de marais..	1,5	36,0	1,0	6,0	8,0	40,0	1,0
	Pois.....	4,0	30,0	0,5	8,0	10,0	42,0	8,0
	Lentilles.....	traces	29,0	3,0	5,0	2,0	35,0	1,0
	Vesces.....	4,0	38,0	1,0	5,0	8,0	30,0	2,0
	Colza.....	0,5	45,0	trac.	12,0	12,0	25,0	1,5
	Lin.....	1,0	40,0	"	26,0	0,2	26,5	0,9
	Chanvre.....	traces	35,0	"	26,5	1,0	22,0	14,0
FOURRAGES.	Trèfle rouge....	6,0	8,5	4,5	36,0	4,0	34,0	5,0
	Luzerne.....	4,0	13,5	3,0	50,0	3,5	22,0	3,5
	Sainfoin.....	1,5	20,0	1,0	25,2	7,0	30,0	2,5
	Foin de prairies..	2,5	5,3	2,0	18,0	7,0	24,0	32,0
PAILLES.	Paille de froment.	1,5	3,5	0,8	7,0	3,5	11,0	70,0
	— de seigle..	0,8	3,5	0,5	7,5	2,5	15,0	68,0
	— d'orge... .	1,5	3,2	0,5	9,5	4,0	9,0	71,0
	— d'avoine... .	3,5	3,0	3,5	8,0	3,5	26,0	50,0
	— de sarrasin.	3,5	5,0	2,0	27,5	25,0	10,5	4,5
— de colza... .	10,0	7,5	15,0	20,0	3,0	32,0	2,0	
TIGES ET FEUILLES.	Vigne, bois.....	1,5	12,0	0,5	25,0	5,5	29,8	1,2
	— sarments..	2,6	8,2	0,8	29,0	2,8	44,0	1,0
	Chanvres, tiges..	1,0	3,0	1,5	42,0	5,0	8,0	7,0
	Tabac, feuilles..	4,3	3,2	"	31,0	11,5	25,0	10,0

On voit par le tableau qui précède :
Que les semences produites par les plantes alimen-

taires ou industrielles sont très-riches en *acide phosphorique*. Que les navets, les pommes de terre, les topinambours, les fèves, les haricots, etc., enlèvent au sol beaucoup de *potasse*.

Que les tiges des céréales et des graminées absorbent beaucoup de *silice*.

Que les tiges et les feuilles des légumineuses sont riches en *chaux* et en *potasse*.

196. Essai pratique des cendres végétales. Méthode de M. Malaguti. — Quelle que soit leur provenance, les cendres peuvent être partagées en quatre grandes classes :

- 1° *Les cendres alcalines ;*
- 2° *Les cendres terreuses ;*
- 3° *Les cendres phosphatées ;*
- 4° *Les cendres siliceuses.*

La méthode suivante, indiquée par M. Malaguti, permet de reconnaître facilement à laquelle de ces quatre classes appartient une cendre donnée.

Première opération. Dosage des sels solubles. — On met dans une capsule de porcelaine 15 à 20 grammes de cendres et 200^{cc} d'eau distillée, et on les traite comme il est indiqué n° 159.

La perte de poids des cendres indique la quantité de matières solubles enlevées par l'eau, et si cette perte est considérable, on pourra en conclure, dans la pratique, que l'on a affaire à des cendres alcalines.

Ce sont habituellement les cendres de bois, d'herbes, qui fournissent les cendres les plus riches en carbonates alcalins. Mais tout ce que l'eau enlève à une pareille cendre n'est pas du carbonate de potasse ou

du carbonate de soude, il y a aussi des sulfates, des chlorures, des silicates et même des phosphates alcalins (n° 157), seulement les carbonates alcalins sont toujours les sels qui dominant.

Deuxième opération. Dosage des principes terreux. — On introduit le résidu de cette même cendre dans un matras, on ajoute de l'acide chlorhydrique étendu de son volume d'eau, on fait bouillir pendant quinze ou vingt minutes et on transvase ensuite le mélange dans une capsule de porcelaine. On ajoute dans la capsule 3 à 4 grammes de sel ammoniac en poudre, on évapore au bain de sable le liquide jusqu'à siccité, et on élève successivement la température jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus ni fumées ni vapeurs acides. On laisse alors refroidir la capsule, on met le résidu en digestion pendant un quart d'heure dans l'acide chlorhydrique, on ajoute de l'eau distillée, on porte à l'ébullition, on laisse déposer, on décante sur un filtre taré, on lave sur le filtre le résidu insoluble avec la pissette (n° 56), on dessèche le filtre et son contenu à 100 ou 110 degrés, et on pèse.

La diminution de poids éprouvée par le résidu dans cette deuxième opération représente les *principes terreux, carbonates de chaux et de magnésie*, que l'acide chlorhydrique a transformés en chlorures solubles dans l'eau.

REMARQUE. On peut, au début de cette seconde opération, quand les cendres ne font pas une trop vive effervescence avec l'acide, les traiter immédiatement dans une capsule de porcelaine; on évite de cette façon le transvasement et le lavage du matras. Mais il faut avoir le soin, dans ce cas, de recouvrir la capsule d'une plaque de verre après l'addition de l'acide,

de laisser la première effervescence se produire à froid, de laver la plaque de verre avec la fiole à jet en ayant soin que les eaux de lavage retombent dans la capsule. — On fait bouillir ensuite le liquide, on ajoute le sel ammoniac, on évapore à sec, etc.

Troisième opération. Dosage des phosphates. — On fait tomber dans une capsule de porcelaine le résidu insoluble de la seconde opération, on y ajoute de l'eau acidulée d'acide chlorhydrique, on chauffe légèrement, et les *phosphates* se dissolvent tandis que la *silice* reste intacte.

On décante sur un filtre taré, on lave le résidu insoluble, on dessèche et on pèse.

La diminution de poids représente la quantité des *phosphates*, celle de la *silice* est obtenue par différence.

197. ☆ **Analyse des cendres végétales. Méthode chimique¹.** — Nous avons vu en Chimie organique, n° 403, que les substances que l'on trouvait le plus communément dans les cendres de plantes étaient :

Acides ou corps qui en jouent le rôle.

Bases.

Acide carbonique.

Potasse.

— silicique.

Soude.

— phosphorique.

Chaux.

— sulfurique.

Magnésie.

Chlore,

Oxyde de fer.

— de manganèse.

Mais les matières minérales qui constituent les cendres ne représentent pas exactement les sels qui étaient renfermés dans le tissu vivant parce que l'incinération décompose et transforme en *carbonates* les

¹ Voir n° 95, l'explication du signe ☆.

tartrates, oxalates, malates, fait disparaître une partie du *soufre*, réduit quelquefois une portion des *sulfates*, etc.

Nous allons exposer ici la marche à suivre pour doser les divers éléments constitutifs des cendres telles qu'une incinération bien conduite peut les fournir.

I. DOSAGE DE L'ACIDE CARBONIQUE.

On traite dans l'appareil de la figure 77, décrit n° 83, 0^{gr},8 à 1 gramme de cendres, en suivant le mode d'opération exposé en détail n° 83, 2°.

La perte de poids de l'appareil donne la proportion d'*acide carbonique* contenue dans les cendres.

II. SÉPARATION DES ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU.

On introduit dans une capsule de porcelaine 10 gr. de cendres avec un quart de litre d'eau distillée, on porte à l'ébullition, on laisse reposer pendant une heure, et on décante la liqueur claire sur un filtre préalablement desséché à 100 degrés et pesé.

On répète cette opération trois fois, après quoi on fait tomber la partie insoluble sur le filtre, et on la lave à l'eau chaude jusqu'à ce qu'une goutte qui s'écoule de l'entonnoir ne laisse plus de résidu sur une lame de platine.

On dessèche alors le filtre à 100 degrés et on le pèse. En retranchant de 10 grammes le poids du résidu insoluble, on a la proportion des matières solubles dans l'eau.

Cette première opération a donc pour résultat de séparer les éléments des cendres en deux parties :

1° *La partie S soluble* dans l'eau chaude, qui peut renfermer :

Acides silicique, carbonique, sulfurique, phosphorique, chlore et alcalis. La chaux et la magnésie ne s'y rencontrent qu'en l'absence des acides carbonique et phosphorique.

2° *La partie insoluble qui peut contenir :*

Charbon et sable, acides silicique, carbonique et phosphorique, oxydes de fer et de manganèse, chaux et magnésie.

Nous commencerons par nous occuper de cette dernière partie.

III. ANALYSE QUANTITATIVE DES ÉLÉMENTS INSOLUBLES DANS L'EAU.

a. Acide carbonique. — On traite 0^s,8 à 1 gramme de résidu insoluble dans l'appareil Chancel (n° 83), et la perte de poids correspond à l'acide carbonique des carbonates terreux renfermés dans les cendres. En retranchant ce poids d'acide carbonique de celui trouvé n° 197, I, on obtient par différence l'acide carbonique des carbonates alcalins.

b. Sable, charbon et acide silicique. — Quel que soit le soin que l'on apporte au nettoyage des plantes destinées à être brûlées et à leur incinération, il arrive fréquemment que les cendres renferment du sable resté adhérent au végétal, et du charbon dont les sels alcalins ont empêché la combustion; il est alors nécessaire d'en tenir compte dans l'analyse.

On introduit 2 à 3 grammes du *résidu insoluble* dans une petite fiole à fond plat, et ensuite de l'acide chlorhydrique étendu de $\frac{1}{3}$ d'eau, on chauffe doucement en ayant soin d'incliner le col de la fiole de façon que l'acide carbonique qui se dégage ne puisse entraîner la moindre trace de liquide, et, quand tout est dissous,

sauf le charbon et le sable, on transvase le contenu de la fiole dans une capsule de porcelaine.

On évapore à sec, au bain de sable, en chauffant d'abord doucement, puis fortement; on laisse refroidir, on verse sur le résidu de l'acide chlorhydrique. Au bout d'une demi-heure de contact, on ajoute de l'eau, on porte à l'ébullition un instant, et enfin on jette le liquide et son dépôt sur un filtre desséché à 100 degrés et pesé. Le filtre retient l'*acide silicique*, le *sable* et le *charbon*.

On lave ce résidu, on le dessèche et on le pèse.

On fait tomber ensuite dans une capsule de porcelaine, et on le fait bouillir avec une dissolution de *potasse pure*: tout l'*acide silicique* se dissout tandis que le *charbon* et le *sable* restent inattaqués.

On jette la dissolution additionnée d'un peu d'eau sur le même filtre dont on s'est servi précédemment, on lave bien le résidu, on dessèche à 100 degrés, et on pèse.

On obtient ainsi le poids du *charbon* et du *sable*, et par différence celui de l'*acide silicique*.

On peut doser directement l'*acide silicique* dans la liqueur filtrée en traitant cette liqueur par l'acide chlorhydrique, comme il est indiqué n° 93, d.

c. *Acide phosphorique, alumine, oxyde de fer et de manganèse, chaux et magnésie.* — On traite le reste du résidu insoluble, fourni par les dix grammes de cendres, par l'*acide azotique*, en suivant la marche indiquée dans le paragraphe précédent, et on sépare ainsi le *charbon*, le *sable* et l'*acide silicique*.

On ajoute à la liqueur azotique, séparée par filtration du résidu et transvasée dans une capsule de porcelaine, un petit excès d'acide sulfurique. On évapore

jusqu'à expulsion totale de l'acide azotique, puis on traite par le sulfate d'ammoniaque et l'alcool en suivant en tous points la méthode indiquée n° 153 a.

Par la filtration, on sépare la partie insoluble dans l'alcool qui contient : l'alumine, la chaux et la magnésie, tandis que les oxydes de fer et de manganèse passent en totalité avec l'acide phosphorique dans la liqueur filtrée.

d. *Oxydes de fer et de manganèse, acide phosphorique.*

— On chasse par la chaleur l'alcool de la liqueur filtrée, n° 153 d, et on ajoute dans la dissolution de l'ammoniaque, et ensuite du *sulphydrate d'ammoniaque* qui précipite les deux métaux à l'état de *sulfures*.

On filtre, on lave les deux sulfures avec de l'eau additionnée de sulphydrate, puis on les redissout sur le filtre même avec de l'eau acidulée d'acide chlorhydrique.

On fait bouillir dans une capsule de porcelaine la liqueur filtrée pour chasser l'acide sulfhydrique, on sépare par filtration le soufre qui se dépose, on ajoute à la liqueur séparée du soufre quelques gouttes d'acide azotique, et on fait bouillir pour peroxyder les deux métaux que l'on précipite enfin par l'ammoniaque. On se contente de peser ensemble les deux oxydes; seulement, on peut s'assurer par un essai qualitatif de la présence de l'oxyde de manganèse.

Cet essai qualitatif consiste à mêler une petite quantité du précipité calciné et réduit en poudre avec de la soude additionnée d'un peu de salpêtre, et à chauffer le tout sur du platine à la flamme extérieure du chalumeau. La moindre trace de manganèse détermine la production d'une perle verte, à chaud, et qui passe au bleu verdâtre en se refroidissant.

La liqueur séparée des deux sulfures par filtration renferme l'*acide phosphorique* et un excès de sulfhydrate d'ammoniaque. On se débarrasse de l'acide sulfhydrique et du soufre comme il vient d'être dit plus haut, on concentre un peu la liqueur par évaporation, et on précipite enfin l'*acide phosphorique* par le sulfate de magnésie ammoniacal en suivant les indications du n° 89 *b*.

e. Séparation et dosage des bases, alumine, chaux et magnésie. — On opère suivant les indications du n° 153 *e* et *f*.

IV. ANALYSE QUANTITATIVE DES ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU.

Nous avons dit précédemment que la solution aqueuse pouvait renfermer :

1° *Acides silicique, carbonique, sulfurique, phosphorique, chlore et alcalis*, c'est le cas le plus fréquent.

2° *Acides silicique, sulfurique, chlore, alcalis, chaux et magnésie*, ces deux dernières bases ne pouvant exister dans la dissolution qu'en l'absence des acides carbonique et phosphorique.

Il importe donc de commencer par s'assurer de la présence ou de l'absence de l'acide carbonique, ce qui peut se faire dans le cours même de l'opération qui a pour objet la séparation et le dosage de l'*acide silicique*.

A cet effet, on commence par introduire dans une capsule de porcelaine la solution aqueuse et on la réduit à un petit volume par évaporation au bain de sable. Si on ajoute alors quelques gouttes d'acide dans le liquide concentré, il est facile de voir s'il se produit une effervescence, tandis qu'il n'en serait pas de

même si on ajoutait l'acide dans la solution étendue.

Nous supposons, d'abord, que la liqueur ne contient ni *chaux* ni *magnésie*.

1° *Solution aqueuse S renfermant : Acides silicique, carbonique, sulfurique, phosphorique, chlore et alcalis.*

f. Acide carbonique. — Nous avons vu, n° 197, III, *a*, qu'on déterminait l'acide carbonique des carbonates alcalins, en faisant la différence entre le poids total de l'acide carbonique et celui appartenant aux carbonates terreux.

On mesure exactement le volume total de la solution aqueuse S, et l'on opère sur des fractions déterminées les dosages successifs des acides et des bases.

g. Acide silicique et alcalis. — On prend un quart de la solution S que l'on introduit dans une capsule de porcelaine, on la concentre au bain de sable, on ajoute un petit excès d'acide chlorhydrique, on continue à évaporer doucement jusqu'à siccité, on chauffe ensuite fortement, on laisse refroidir, on ajoute de nouveau de l'acide chlorhydrique avec lequel on laisse le résidu en digestion pendant une demi-heure, on étend d'eau, on chauffe jusqu'à l'ébullition, on laisse déposer et on filtre.

On lave le précipité de *silice*, on sèche, on calcine et on pèse, en suivant les indications du n° 95, I, *d*. On effectue le dosage des *alcalis* dans la liqueur séparée de la silice en suivant l'une des méthodes que nous exposerons plus loin en *k*.

Quand la quantité de *silice* trouvée dans cette première opération est très-peu considérable, il est inutile de s'en préoccuper dans les autres dosages. Si, au contraire, elle est notable, il faut commencer par

éliminer cet acide dont la présence, dans chaque fraction de liqueur, pourrait être une cause d'erreurs. Cette élimination s'effectuera comme il vient d'être indiqué, seulement on devra substituer l'*acide azotique* à l'*acide chlorhydrique* dans la fraction de solution aqueuse destinée au dosage du chlore.

h. Acide sulfurique. — On mesure un autre quart de la liqueur S, on l'acidule d'acide chlorhydrique ou azotique, on l'introduit dans une capsule de porcelaine, on le porte à l'ébullition, et on le transvase dans un vase à précipité.

On ajoute alors un petit excès de *chlorure de barium*, on remue fortement, puis on abandonne le vase couvert pendant douze heures dans un endroit chaud.

Au bout de ce temps, on décante le liquide clair sur un filtre, on ajoute sur le précipité du chlorhydrate d'ammoniaque concentré et chaud, et on agite. — On laisse déposer, on fait tomber le liquide et ensuite le précipité sur le filtre, on lave ce dernier d'abord avec du chlorhydrate d'ammoniaque chaud, puis à l'eau chaude, jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir ne trouble plus le sulfate de soude.

Le précipité est ensuite séché, calciné et pesé, le filtre étant incinéré à part.

Le poids de sulfate de baryte multiplié par 0,3433 donne celui de l'acide sulfurique, on le quadruple pour le rapporter au volume total S.

i. Acide phosphorique. — On mesure un nouveau quart de la liqueur S, on y ajoute du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'ammoniaque, puis du sulfate de magnésie qui détermine un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien, si la liqueur renferme de l'acide phosphorique. On conduit ce précipité suivant

les indications du n° 89 *b*. Le poids de pyrophosphate de magnésie multiplié par 0,6339 donne celui de l'acide phosphorique.

On multiplie ce dernier résultat par 4.

j. Chlore. — On introduit le dernier quart de la liqueur S dans un flacon à large ouverture et bouchant à l'émeri. On verse dans le liquide *froid* un petit excès d'azotate d'argent après l'avoir préalablement acidulé de quelques gouttes d'acide azotique. On ferme le flacon, on agite fortement le liquide et on l'abandonne à une douce chaleur jusqu'à ce qu'il devienne limpide. On filtre alors le liquide sur un petit filtre, puis le précipité de chlorure d'argent qu'on lave avec de l'eau acidulée d'acide azotique.

On lave ensuite avec de l'eau pure, on dessèche fortement, on détache du filtre, autant que possible, tout le précipité, et on le fait tomber dans une petite capsule de porcelaine préalablement tarée.

On brûle à part, dans une autre capsule également tarée, les cendres du filtre, on ajoute sur ces cendres une goutte d'acide azotique, puis une goutte d'acide chlorhydrique, on évapore à sec, on pèse, et on ajoute le poids à celui du *chlorure d'argent* fondu, obtenu comme il suit :

Le chlorure d'argent détaché du filtre et introduit dans la petite capsule, est chauffé d'abord doucement, puis successivement jusqu'à ce que le précipité commence à *fondre* le long des parois du vase. On laisse refroidir et on pèse. Le poids de chlorure d'argent trouvé, multiplié par 0,2474, donne celui du *chlore*. On quadruple le résultat.

NOTA. Pour enlever des capsules le chlorure d'argent fondu, on dépose sur le résidu un petit morceau

de zinc pur, et ensuite de l'acide sulfurique étendu.

k. Alcalis. — Ce dosage s'effectue en se servant de la liqueur séparée par filtration de l'acide silicique, n° 497, IV, *g*, et en employant l'une des deux méthodes suivantes :

Première méthode. Cette méthode consiste à amener les alcalis sous forme de *chlorures alcalins* et à déterminer successivement :

1° *Le poids P du mélange de chlorure de potassium et de sodium;*

2° *Le poids p de chlore correspondant;*

3° *Le poids p' de potassium en le dosant à l'état de chloro-platinate de potasse;*

4° *Le poids du sodium par différence, en retranchant du poids P la somme $p + p'$.*

Marche de l'opération. On ajoute dans la liqueur séparée de l'acide silicique, et qui se trouve renfermer les alcalis à l'état de chlorures, de l'eau de baryte en excès qui précipite les acides sulfurique et phosphorique. On évapore à sec, on reprend par un peu d'eau chaude, on filtre, on lave, et on ajoute au liquide filtré du carbonate d'ammoniaque qui précipite l'excès de baryte et les bases terreuses. On laisse déposer, on filtre et on lave le précipité.

La liqueur filtrée, qui ne doit plus contenir que les chlorures alcalins avec des sels ammoniacaux, est évaporée à sec dans une capsule de platine et chauffée graduellement jusqu'au rouge, de façon à chasser les sels ammoniacaux. Il faut avoir soin de ne pas chauffer trop fortement afin d'éviter la volatilisation d'une partie des chlorures alcalins.

On pèse le mélange des deux chlorures (KCl + NaCl). On reprend ce mélange par 50° d'eau distillée, on

chauffe légèrement et on partage la dissolution en deux parties égales C et D.

Dans la partie C, on dose le *chlore* comme il a été expliqué en détail en *j*.

Dans la partie D, on dose le *potassium* comme il suit :

On ajoute au liquide transvasé dans une capsule de porcelaine un excès de solution de bichlorure de platine, on évapore presque à sec au bain-marie, on ajoute ensuite de l'alcool marquant 75 à 80 degrés centés., qui précipite le potassium à l'état de chlorure double de platine et de potassium ($KCl + Pt Cl^2$).

Après une heure ou deux de digestion, on fait tomber le précipité sur un filtre desséché à 400 degrés et pesé.

On lave le précipité avec de l'alcool jusqu'à ce que le liquide cesse de se colorer, on le dessèche ensuite entre 400 et 405 degrés, et on le pèse n° 57 *b*.

REMARQUE. Si on évapore le liquide de lavage au bain-marie, et si l'on reprend le résidu par l'alcool, on obtient encore un peu de chloro-platinate dont il faut tenir compte dans les analyses précises. On le recueille à part sur un petit filtre.

198. Application numérique.

Poids des chlorures de potassium et de sodium..... 0^g,773

La dissolution L de ces chlorures a été partagée en deux parties égales A et B.

A. *Dosage du chlore*. Poids du chlorure d'argent..... 0,759

Le double pour la liqueur L..... 1,518

Chlore correspondant $1^{\text{g}}.518 \times 0,2474$ 0,3755

B. *Dosage du potassium*. Chloroplatinate ou chlorure double de platine et de potassium..... 0,825

Chlorure de potassium correspondant $0^{\text{e}},825 \times 0,3048$.	0 ,2514
Potassium correspondant $0^{\text{e}},2514 \times 0,6309$	0 ,1586
Le double pour la liqueur L.....	0 ,3172
Somme du chlore..... $0^{\text{e}},3755$ }	}
et du potassium... .. $0 ,3172$ }	
Sodium par différence $0^{\text{e}},7730 - 0^{\text{e}},6927$	0 ,0803
Potasse correspondant au potassium trouvé $0^{\text{e}},3172$	
$\times 1,205$	0 ,382
Soude correspondant au sodium trouvé $0^{\text{e}},0803 \times 1,347$.	0 ,216
Somme des alcalis.....	0 ,598

Deuxième méthode. — Cette méthode consiste à effectuer par voie indirecte le dosage de la potasse et de la soude en opérant comme il suit :

1° On transforme les sels alcalins en *sulfates*, et on détermine le poids S ;

2° On détermine le poids s d'acide sulfurique renfermé dans ces sulfates ;

3° On remplace S et s par leurs valeurs dans les équations suivantes¹ :

$$\begin{aligned}x &= 2,9375 S - 5,2144 s. \\y &= 4,2144 s - 1,9375 S.\end{aligned}$$

x correspond à la quantité inconnue de potasse.
 y — — — — — de soude.

TRANSFORMATION EN SULFATES DU MÉLANGE DES SELS
DE POTASSE ET DE SOUDE A ACIDES VOLATILS.

On traite la liqueur séparée par filtration de l'acide silicique comme il a été dit n° 197 g, et on obtient ainsi les alcalis sous la forme de chlorures.

On ajoute alors dans la capsule de platine qui con-

¹ On trouvera la justification de ces formules chap. XX.

tient ces chlorures une quantité suffisante d'acide sulfurique pur, et on évapore à sec au bain de sable.

On lave ensuite la capsule à l'eau distillée, on fait tomber son contenu dans un creuset de platine, on évapore à sec une seconde fois. Ce résidu doit être desséché très-complètement, d'abord à une température très-peu élevée pour éviter la décrépitation au moment de la calcination, on couvre ensuite le creuset et on le porte graduellement au rouge blanc.

Les sulfates alcalins pouvant se trouver à l'état de *bisulfates*, il importe de les convertir en *sulfates* neutres avant de les peser. A cet effet, on place sur le résidu salin un fragment de carbonate d'ammoniaque, on chauffe le creuset au rouge, on laisse refroidir et on pèse. — On doit recommencer ce traitement deux ou trois fois en chauffant un peu plus fortement chaque fois, et quand le poids du creuset ne varie plus sensiblement, l'opération est terminée.

Le résidu doit se dissoudre entièrement dans l'eau et fournir une solution limpide et tout à fait neutre aux papiers réactifs.

Dosage de l'acide sulfurique des sulfates. Ce dosage s'effectue dans la solution limpide précédente en suivant les indications du n° 197, IV, h.

IV 2°. SOLUTION AQUEUSE RENFERMANT : ACIDES SILICIQUE, SULFURIQUE, CHLORE, CHAUX, MAGNÉSIE ET ALCALIS.

Le dosage de ces divers éléments s'effectue absolument comme il vient d'être indiqué pour la première solution, à cette seule différence près que l'on emploie un quart de la liqueur S, non plus à doser l'acide phosphorique, mais à précipiter et à doser successive-

ment la *chaux* et la *magnésie*, en opérant suivant les indications des n^{os} 95 *g* et *h*.

**199. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

(Voir les chapitres précédents.)

CHAPITRE XII

DOSAGE DE L'AZOTE EXISTANT DANS UN ENGRAIS SOUS UNE COMBINAISON AUTRE QU'UN NITRATE.

I. DOSAGE DE L'AZOTE D'UN ENGRAIS.

200. Première opération. — *Prise d'un échantillon moyen* (n° 48). On commence par prélever en divers points de la masse des échantillons partiels qui doivent être d'autant plus nombreux et plus considérables que la masse elle-même est plus forte. Pour 100 kilogr., par exemple, on doit prendre dix échantillons, pesant chacun environ 500 gr., ce qui donne un poids total de 5 kilogr. Ces dix échantillons sont placés sur une toile ou dans une caisse; on les mélange aussi intimement que possible, et quand la masse paraît bien homogène, on en prélève environ 1 kilogr. que l'on introduit dans un flacon à large ouverture et bouchant à l'émeri.

Ce kilogramme de matière, représentant l'échantillon moyen de l'engrais, peut servir à faire toutes les analyses subséquentes.

201. Deuxième opération. — *Trituration et dessiccation de l'échantillon moyen.* 200 à 300 grammes de l'échantillon précédent pesés à la balance-pendule (fig. 3) sont placés dans la capsule ou le vase V de l'un des bains-marie, décrits n° 22, fig. 42 et 43,

et soumis à une dessiccation que l'on facilite en remuant la matière avec une spatule en verre ou en porcelaine (fig. 16). Quand le vase et son contenu portés sur le plateau de la balance ne changent plus de poids, on note la quantité d'eau perdue par l'engrais, et on jette sur un tamis (fig. 9) la matière desséchée.

Si ce tamis retient des débris organiques ou inorganiques, on les pulvérise grossièrement dans un mortier (fig. 7), et on mélange la matière pulvérisée à celle passée à travers le tamis. Ce mélange est ensuite introduit dans l'égrugette (fig. 97) spéciale-

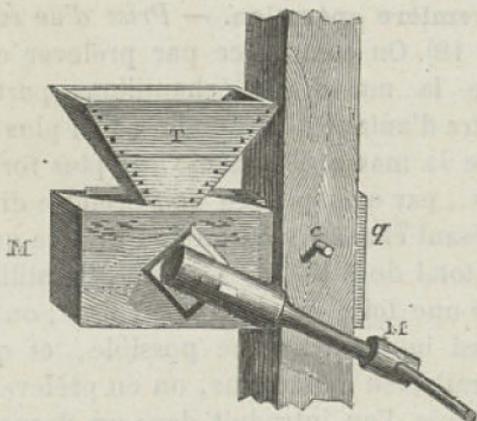


Fig. 97.

ment destinée à la mouture des engrais (n° 20), ou bien, si l'on ne possède pas ce petit moulin, on continue à se servir du mortier et l'on tamise sur des tamis de plus en plus fins, jusqu'à ce que l'on obtienne une poudre bien homogène.

On pèse alors 30 à 40 grammes de cette poudre, on les dessèche à 110 degrés dans l'étuve à huile

(fig. 98), ou celle à chlorure de calcium (nos 28 et 29) jusqu'à ce que la matière ne perde plus de poids; on note la nouvelle quantité d'eau dégagée, et on l'ajoute à la première. La poudre parfaitement sèche à 110° est introduite dans un flacon bouché à l'émeri, en attendant qu'elle serve à effectuer le dosage de l'azote. Le tamisage de l'engrais, après que celui-ci a été desséché au bain-marie, permet d'effectuer une sorte d'analyse mécanique de la matière, et par suite de juger de son homogénéité, de la division plus ou moins grande de ses éléments,

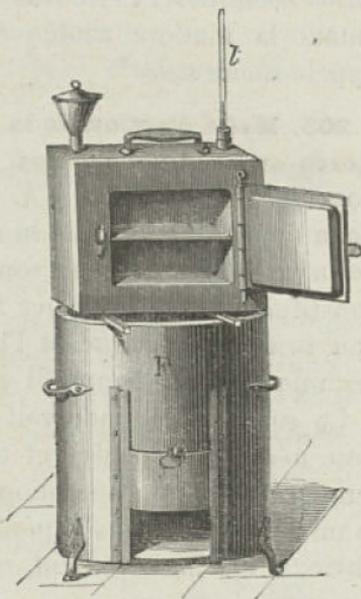


Fig. 98.

de la nature des substances qui le composent, de leur décomposition plus ou moins rapide, ensemble de renseignements très-précieux à recueillir.

REMARQUE. Quand un engrais renferme du carbonate d'ammoniaque volatil, on comprend que ce composé doit, pendant la dessiccation, s'échapper avec la vapeur d'eau, ce qui est une cause d'erreur que nous donnerons, plus loin, le moyen d'éviter, mais dont il est inutile de nous préoccuper pour le moment.

202. Troisième opération. — *Dosage de l'azote.* Le procédé de dosage que nous allons décrire consiste à

transformer l'azote en ammoniacque à l'aide d'un alcali caustique et à faire absorber l'alcali volatil par une dissolution acide titrée. Cette transformation s'opère en calcinant la matière azotée avec un mélange alcalin appelé *chaux sodée*¹.

203. Mode d'action de la chaux sodée sur les matières organiques azotées. — La soude caustique a pour formule NaO, HO (*Ch. inorg.*, fig. 317). Or, c'est l'eau de combinaison de la soude qui fournit à l'azote de la matière organique son *hydrogène* naissant pour constituer de l'*ammoniacque* AzH^3 . L'oxygène de cette eau brûle le carbone et l'hydrogène de la matière organique et les convertit en *eau* et *acide carbonique*.

La soude seule pourrait donc produire la réaction nécessaire, mais cet alcali, étant fusible à la température de l'opération, altérerait rapidement le tube de verre dans lequel s'exécute l'analyse. Pour obvier à cet inconvénient, on associe à la soude la

¹ *Préparation de la chaux sodée.*

On met dans une terrine 2 p. de chaux vive et on y ajoute 4 p. 1/2 d'une dissolution de soude caustique marquant 36° à l'aréomètre de Baumé.

On remue le mélange avec une spatule en fer bien décapé, et quand la chaux est éteinte et réduite en poudre, on introduit la matière dans un creuset de terre que l'on ferme de son couvercle et que l'on chauffe au rouge pendant une demi-heure à trois quarts d'heure. On pulvérise ensuite la chaux sodée encore chaude dans un mortier en fonte, et, quand elle est refroidie, on l'introduit dans un flacon à large ouverture et bouchant à l'émeri.

Quand on achète de la chaux sodée chez les fabricants de produits chimiques, il faut toujours avoir le soin de la calciner au rouge dans un creuset, afin d'être certain que cette matière ne renferme pas de composés azotés dont la présence rendrait les analyses fautive.

chaux qui absorbe l'alcali au fur et à mesure de sa fusion.

204. Pratique de l'opération. — La transformation de l'azote organique en ammoniacque s'effectue dans un tube en verre appelé *tube à combustion* (fig. 99).

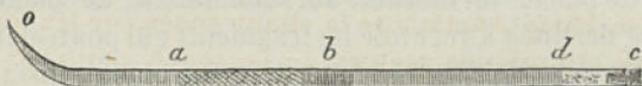


Fig. 99.

Ce tube est en verre très-peu fusible (verre vert), il a 50 à 60 cent. de longueur environ, 15 millim. de diamètre, et 1 millim. 1/2 à 2 millim. d'épaisseur. Une des extrémités O de ce tube est étirée en pointes et recourbée, l'autre extrémité est ouverte. On commence par nettoyer ce tube en y introduisant un fil de fer dont la pointe recourbée est garnie d'un morceau de papier à filtre, puis, à l'aide d'une main M en laiton (fig. 100), on remplit ce tube à moitié avec de la chaux sodée. On renverse ensuite dans un mortier de porcelaine chauffé d'avance la matière introduite, en ne conservant dans le tube qu'une longueur de chaux sodée de 6 à 7 centimètres, de O en a, par exemple. A la matière contenue dans le mortier, on ajoute alors 5 décigr. à 1 gramme de la substance azotée qu'il s'agit d'analyser, en ayant soin de faire tomber avec une barbe de plume les dernières parcelles de matière qui pourraient rester attachées aux parois de la capsule ou du verre de montre dans lequel on a effectué la pesée.

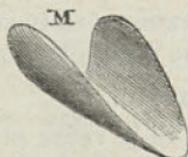


Fig. 100.

Quand le mélange parfait de l'engrais et de la chaux sodée a été effectué à l'aide de la cuiller M, on l'introduit dans le tube, en ayant soin de tenir l'orifice C au-dessus du mortier afin d'éviter toute perte de matière. Pour surcroît de précaution, il est bon de placer le mortier sur une feuille de papier glacé destinée à recevoir les fragments qui pourraient ne pas retomber dans le mortier. On ajoute ensuite dans ce mortier un peu de chaux sodée, on remue avec la main en laiton M, et on introduit le tout dans le tube qui se trouve alors rempli sur une longueur de 30 à 35 centim. jusqu'en *b*, par exemple.

On achève alors de remplir le tube avec de la chaux sodée pure jusqu'en *d*; c'est-à-dire jusqu'à 3 ou 4 centimètres de l'orifice *c* du tube.

L'espace vide *dc* est rempli à moitié avec des filaments d'amiante ou, plus simplement, avec des morceaux de verre concassé; mais, dans tous les cas, ces matières doivent être préalablement calcinées afin de les dépouiller de toutes traces de matière organique azotée.

Si le verre était bien infusible, on pourrait placer immédiatement le tube sur une grille à combustion, mais il est plus prudent de l'entourer d'une bande de feuille de laiton recuit. Cette bande contournée en



Fig. 101.

spirale (fig. 101) a pour objet de prévenir la déformation du tube pendant la calcination de la matière : on

la fixe à l'aide de deux ou trois fils de fer ou de laiton *f*.

Il faut avoir soin, pendant qu'on enroule cette bande de clinquant, de fermer l'orifice *c* du tube avec un bouchon, afin d'éviter que la matière contenue à l'intérieur ne s'échappe au dehors.

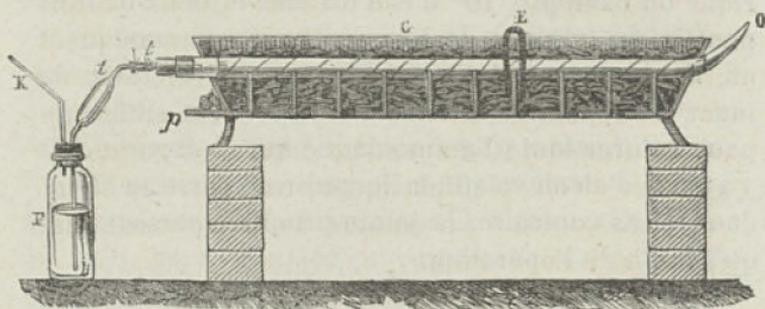


Fig. 102.

Le tube est ensuite placé sur la grille à combustion *G* (fig. 102) et mis en communication avec le flacon *F*, par l'intermédiaire de deux tubes *t* et *t'* reliés par un autre petit tube en caoutchouc.

Le tube *t'* porte un renflement destiné à empêcher l'absorption, c'est-à-dire la rentrée du liquide du flacon *F* dans le tube à combustion. Un troisième tube *K* permet de mettre l'appareil en communication avec un

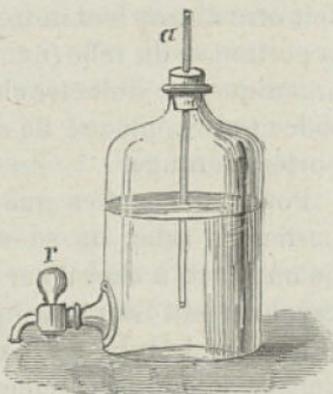


Fig. 103.

aspirateur (fig. 103) quand la combustion de la matière

est achevée. A cet effet, on relie les tubes *k* et *a* des deux appareils par un tube en caoutchouc d'une longueur convenable.

Avant d'adapter au flacon F son bouchon, on commence par y introduire, à l'aide d'une pipette graduée, 40^{cc} de la liqueur acide normale (n° 70), sulfurique ou oxalique, 10^{cc} d'eau distillée et deux ou trois gouttes de teinture de tournesol qui communiquent au liquide une teinte rose, et qui permettent de juger si la quantité d'acide employée est suffisante pour saturer toute l'ammoniaque qui se dégage. S'il y a excès d'alcali volatil, la liqueur rose passe au bleu : dans le cas contraire, la teinte primitive persiste jusqu'à la fin de l'opération.

Ces opérations préliminaires terminées, on commence par chauffer le tube par sa partie antérieure, avec des charbons incandescents, et on avance graduellement vers l'extrémité recourbée O, en se guidant sur le dégagement des bulles gazeuses qui ne doit être ni trop lent ni trop rapide. Dans tous les cas, la portion *ab* du tube (fig. 99), qui renferme la matière organique, ne doit être chauffée que lorsque la chaux sodée pure contenue de *d* en *b* a été préalablement portée au rouge.

Pour ne chauffer que graduellement les diverses parties du tube, on se sert d'un écran E (fig. 102), qu'on place à cheval sur le tube et qui préserve du rayonnement les parties postérieures.

Lorsque le tube a été chauffé dans toute son étendue, et que le dégagement gazeux est devenu à peu près nul, on met le tube K en communication avec l'aspirateur (fig. 103), on ouvre le robinet *r* et l'on brise immédiatement avec une pince la pointe effilée *o* du

tube. Il se produit alors un courant d'air qui a pour effet de balayer tout l'ammoniaque resté dans le tube et de le forcer à traverser l'acide du flacon F.

Après avoir fait marcher l'aspirateur pendant cinq à six minutes, on arrête l'écoulement et on supprime les communications du flacon F avec le tube à combustion et l'aspirateur.

REMARQUE. Il arrive le plus souvent qu'une certaine quantité d'eau s'accumule près du bouchon pendant l'opération, et cette eau peut tenir en dissolution de l'ammoniaque. Pour remédier à cette cause d'erreur, il suffit, pendant que l'aspirateur fonctionne, de chauffer légèrement avec une lampe à alcool cette partie du tube; mais on peut prévenir cette condensation en adaptant à la grille à combustion (fig. 102) une petite plaque *p* en tôle sur laquelle on maintient, pendant toute la durée de l'analyse, un charbon incandescent dont le rayonnement volatilise l'eau, sans brûler le bouchon, bien entendu.

205. Détermination de la quantité d'azote dégagée sous forme d'ammoniaque. — On commence par enlever du flacon F le bouchon muni de ses deux tubes, et on lave avec la fiole à jet (fig. 56) pleine d'eau distillée l'intérieur du tube renflé *t'* ainsi que la partie extérieure de ce tube qui plongeait dans la liqueur acide; les eaux de lavage sont recueillies dans une petite capsule. On verse ensuite dans cette même capsule le contenu du flacon F, puis on procède à la saturation de la liqueur acide à l'aide de la liqueur alcaline préparée comme il a été dit (n° 73) et introduite dans une burette graduée (fig. 104). La neutralisation une fois obtenue, on verse le liquide de la capsule dans le flacon F afin de le laver, et si cette liqueur

conserve une teinte violette, l'opération est terminée. Si, au contraire, le liquide repasse au rouge, on le

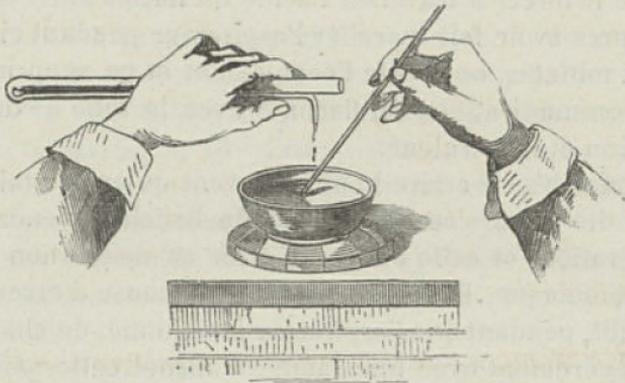


Fig. 104.

transvase dans la capsule, et on y ajoute une nouvelle quantité de liqueur alcaline suffisante pour obtenir une neutralisation définitive.

Il ne reste plus alors, pour trouver le poids d'azote cherché, qu'à appliquer la formule générale du n° 77 :

$$P = \frac{R \times d}{T}$$

206. Application. Engrais A.

Poids de l'engrais desséché à 110° soumis à l'analyse...	1 ^g
Titre de la liqueur alcaline avant l'opération, T =	20 ^{cc} ,5
— — — après —	13 ,2
Différence.....	<u>d = 7^{cc},3</u>

Volume de liqueur acide normale introduit dans le flacon F = 10^{cc}, d'où R = 0^g,140. Remplaçons dans la formule, il viendra :

$$\text{poids d'azote } p = \frac{0^{\text{g}},140 \times 7,3}{20,5} = 0^{\text{g}},0498,$$

On a donc :

Azote pour 1 gr. de l'engrais desséché à 110°.....	0 ^s ,0498
— pour 100 gr.....	4,98

Richesse de l'engrais à l'état normal.

Pour déduire du résultat précédent la richesse en azote de l'engrais à l'état normal, il suffit de savoir la perte de poids qu'il a éprouvée par la dessiccation, soit 12 p. 100. On pose alors la proportion :

$$100 : 4,98 :: 88 : x \quad x = 4,38.$$

88, nombre égal à 100 moins 12, représente le poids d'engrais desséché à 110° renfermé dans 100 p. d'engrais normal.

207. Modification de l'appareil précédent. — L'appareil décrit n° 204 est celui dont nous nous servons depuis longtemps et que nous mettions entre les mains de nos élèves à l'école de la Saulsaie.

Mais, comme beaucoup de personnes emploient pour effectuer les dosages d'azote un appareil un peu différent du nôtre, nous croyons indispensable d'indiquer ici les modifications que l'on peut faire subir au système précédent.

1° Au lieu de balayer le tube à l'aide d'un courant d'air obtenu en mettant un aspirateur quelconque en communication avec le tube K (fig. 102), on peut commencer par introduire au fond du tube et avant la chaux sodée 0^s,6 à 1 gramme d'acide oxalique.

A la fin de l'opération, quand le dégagement gazeux devient sensiblement nul, on chauffe avec quelques charbons ou la flamme d'une lampe à alcool cet acide oxalique qui fond, se décompose en présence de la chaux sodée et donne naissance à un courant d'hydrogène (*Ch. org.*, n° 214) qui balaye l'ammoniaque que le tube peut encore contenir.

2° A l'exemple de beaucoup de chimistes, on peut substituer au flacon F un tube à boules (fig. 105), dit

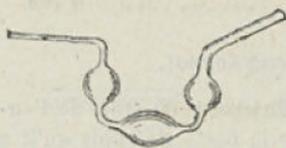


Fig. 105.

tube Varentrapp, et dans lequel on introduit préalablement la liqueur sulfurique titrée destinée à retenir l'ammoniaque qui se dégage du tube.

Selon nous, l'emploi du flacon F est préférable à celui du tube à boules dont le maniement offre toujours quelques difficultés aux personnes peu familiarisées avec les manipulations chimiques.

D'autre part, le tube à combustion casse quelquefois au moment où l'on commence à chauffer l'acide oxalique, et, quand cette rupture n'a pas lieu, le courant d'hydrogène n'est pas toujours suffisant pour balayer toute l'ammoniaque restée dans le tube; aussi quelques chimistes conseillent-ils l'emploi successif de l'acide oxalique et de l'aspirateur.

Telles sont les raisons qui nous ont conduit à adopter l'appareil tel qu'il a été décrit n° 204.

208. — REMARQUE. Le procédé que nous venons d'exposer permet d'obtenir à l'état d'ammoniaque la totalité de l'azote qu'un engrais peut renfermer à l'état de composé albuminoïde, d'urée, de cyanure, etc. Mais, si la matière analysée contient en même temps des *sels ammoniacaux fixes*, on comprend que l'ammoniaque de ces sels doit également être chassé par la chaux sodée, et venir se condenser dans le flacon F. Il faut donc, quand on veut déterminer séparément l'azote fourni par les sels ammoniacaux fixes, effectuer une opération spéciale; nous allons l'indiquer.

209. Dosage de l'azote correspondant à l'ammoniaque des sels ammoniacaux fixes renfermés dans un engrais. — Pour effectuer ce dosage, on peut employer l'appareil représenté (fig. 106).

210. Description de l'appareil.

C cornue en verre d'un litre et demi de capacité dans laquelle on introduit l'engrais et la dissolution de potasse ou de soude très-

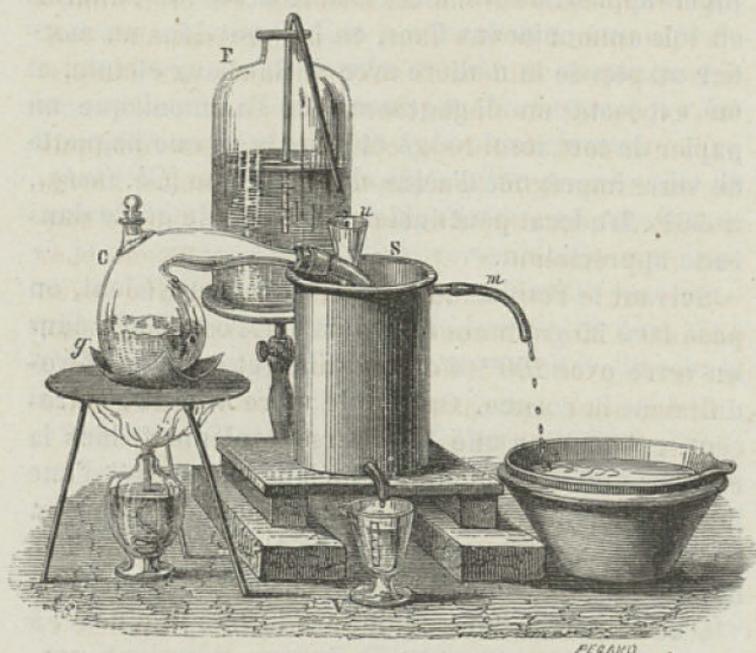


Fig. 106.

étendue dont l'alcali doit chasser l'ammoniaque des sels ammoniacaux.

S petit serpent en étain fin entouré d'un manchon en laiton et dans lequel se condense la vapeur aqueuse et chargée d'ammoniaque qui se dégage de la cornue.

V vase gradué destiné à recevoir le liquide condensé.

F flacon qui amène l'eau froide dans le réfrigérant du serpentín.
m tube d'écoulement de l'eau chaude expulsée par l'eau froide du flacon F.

g toile métallique sur laquelle repose la cornue, et qui prévient les chances de rupture pendant le chauffage. On peut, du reste, remplacer avec avantage la lampe à alcool par un fourneau dans lequel on introduit des charbons ardents.

211. Pratique de l'opération. — On commence par juger approximativement de la richesse de l'engrais en sels ammoniacaux fixes, en broyant dans un mortier un peu de la matière avec de la chaux éteinte, et en exposant au dégagement de l'ammoniaque un papier de tournesol rouge et humide ou une baguette de verre imprégnée d'acide chlorhydrique (*Ch. inorg.*, n° 362). L'odorat peut également servir de guide dans cette appréciation.

Suivant le résultat fourni par l'essai précédent, on pèse 10 à 20 grammes d'engrais que l'on délaye dans un verre avec 200^{cc} d'eau distillée et que l'on introduit dans la cornue. On lave le verre avec 100 autres cent. cubes d'eau que l'on verse également dans la cornue; enfin, on ajoute au mélange 10 à 20^{cc} d'une liqueur alcaline composée comme il sera dit plus loin. On agite le tout et on s'assure que la liqueur possède une réaction alcaline bien prononcée.

D'autre part, on introduit dans le vase gradué V, à l'aide d'une pipette, 10^{cc} de liqueur sulfurique normale et deux ou trois gouttes de dissolution de tournesol. Une fois les diverses parties de l'appareil mises en communication, comme l'indique la figure, on allume la lampe de façon à porter le liquide à l'ébullition.

L'alcali fixe met en liberté l'ammoniaque que l'eau

vaporisée entraîne avec elle, et cette solution ammoniacale tombe goutte à goutte dans le vase V, au fur et à mesure de sa condensation.

L'expérience ayant appris qu'il suffisait de distiller le tiers du volume d'une dissolution ammoniacale étendue pour obtenir tout l'ammoniaque, on arrête la distillation quand le niveau du liquide dans le vase V atteint le trait qui correspond au chiffre 110 (la cornue renfermant 310^{cc} de liquide, et le vase V, 10^{cc} d'acide). On fait tomber le liquide condensé dans une capsule et l'on détermine le poids d'azote correspondant à l'ammoniaque, en opérant absolument comme il a été dit n° 205, et en se servant de la même formule.

Au reste, on peut toujours vérifier si la totalité de l'ammoniaque a passé à la distillation, en substituant au premier vase V un autre vase semblable contenant 10^{cc} de liqueur acide normale. On distille une nouvelle fraction du liquide resté dans la cornue, 60 à 80^{cc} par exemple, et l'on s'assure que le titre de la liqueur acide n'a pas changé.

REMARQUE. Il faut avoir soin, dans ce genre d'opérations, si l'on veut éviter les chances de rupture de la cornue, de ne porter que très-lentement le mélange à l'ébullition. De plus, ce liquide, comme toutes les lessives alcalines, devient très-mousseux sous l'action de la chaleur; et malgré la grande capacité de la cornue, il pourrait arriver, si l'on ne retirait pas de temps en temps la lampe au commencement de la distillation, que cette mousse fût entraînée dans le serpent, ce qui obligerait à recommencer l'opération.

212. Liqueur alcaline à employer. — La liqueur alcaline qui doit chasser l'ammoniaque renfermé dans l'engrais doit être assez étendue pour que l'on

n'ait pas à craindre qu'il s'en forme de nouvelle aux dépens de l'azote organisé pendant l'ébullition du mélange. A cet effet, on dissout 20 grammes de potasse à l'alcool dans un litre d'eau, de manière que chaque pipette de 10^{cc} de liqueur alcaline que l'on introduit dans le ballon représente 2 décigr. de potasse. — On doit, avant de faire la dissolution alcaline, calciner au rouge la potasse dans un creuset d'argent, afin d'être certain qu'elle ne contient pas de matière organique.

213. Application (Engrais A).

Poids de l'engrais desséché à 110° (même engrais que celui du n° 206) et soumis à l'analyse.....	10 ^g
Titre de la liqueur alcaline avant l'opération, T =	20,5
— — — après —	10,8
Différence $d =$	9,7

Volume de liqueur acide normale introduit dans le vase gradué V, 10^{cc}, d'où $R = 0^g,140$.

En remplaçant dans la formule générale, on a :

$$p = \frac{0^g,140 \times 9,7}{20,5} = 0,0662.$$

On a donc :

Azote des sels ammoniacaux fixes pour 10 gr. d'engrais desséché à 110°.....	0 ^g ,0662
Azote pour 100 gr. du même engrais.....	0,662

Si l'on veut maintenant avoir la véritable teneur de l'engrais en *azote organique*, il suffira de retrancher ce second résultat de celui qui représente la richesse en *azote total* et qui a été obtenu précédemment, nous aurons :

Engrais A desséché à 110°.

Azote total.....	4 ^g ,980
Azote des sels ammoniacaux fixes.....	0,662
Azote organique, différence.....	4 ^g ,318

On pourra déduire ensuite, des chiffres ci-dessus, la composition de l'engrais à l'état humide, c'est-à-dire renfermant 12 p. 100 d'eau (n° 212), et l'on trouvera :

Engrais A à l'état humide.

Azote organique.....	3 ^g ,792
Azote des sels ammoniacaux.....	0,588
Azote total.....	4 ^g ,380

nombre égal à celui trouvé (n° 206) pour l'azote total de l'engrais humide.

214. Autre appareil. — Le dosage de l'azote ammoniacal d'un engrais peut encore s'effectuer à l'aide de l'appareil représenté ci-contre (fig. 107). Nos lecteurs

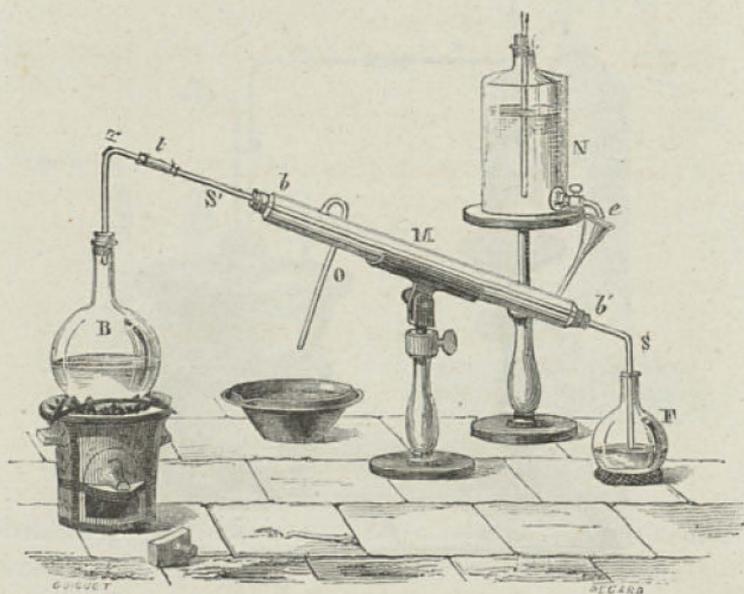


Fig. 107.

en trouveront la description au chapitre suivant, n° 251.

215. Dosage de l'azote renfermé dans un engrais à l'état d'ammoniaque libre ou de carbonate d'ammoniaque volatil. — Quand un engrais renferme de l'ammoniaque libre ou carbonaté, et qu'on le soumet à la dessiccation dans un des appareils indiqués nos 22 et suivants, la vapeur d'eau qui se dégage entraîne avec elle ces composés ammoniacaux volatils, et par suite, quand on dose l'*azote total* de l'engrais sec, la richesse de celui-ci se trouve diminuée.

Dans beaucoup de cas, cette perte en azote est assez faible pour être négligée, mais, pour certains engrais, au contraire, elle peut être très-notable, et il importe alors d'effectuer la dessiccation de l'engrais dans des

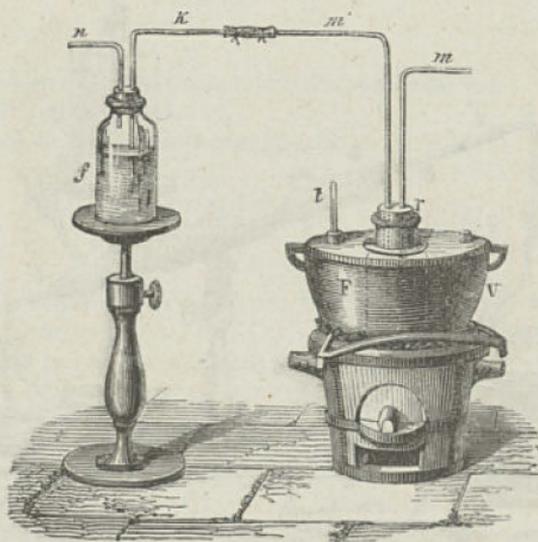


Fig. 108.

conditions qui permettent de s'affranchir de cette cause d'erreur. On obtient ce résultat en employant

l'appareil de dessiccation représenté fig. 108, et que nous avons décrit précédemment n° 25.

216. Pratique de l'opération. — On introduit dans le flacon F (représenté en ponctué sur la figure) un poids déterminé d'engrais humide, 40 grammes par exemple. On met, d'autre part, dans le flacon *f*, 10^{cc} de liqueur sulfurique *décime* (n° 71), 20 à 30^{cc} d'eau distillée et 2 ou 3 gouttes de teinture de tournesol.

On ajuste ensuite aux deux flacons leurs bouchons, on réunit *k* et *m'*, et l'on met en communication le

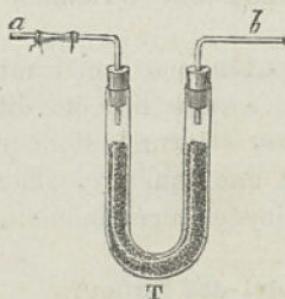


Fig. 109.

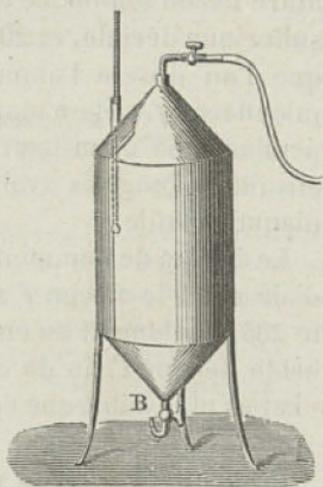


Fig. 110.

tube *m* avec le tube *a* (fig. 109), le tube *n* avec l'aspirateur à eau (fig. 110).

Le robinet B de cet aspirateur étant ouvert, on chauffe le bain salé contenu dans le vase V, en mettant des charbons incandescents dans le fourneau, et quand le thermomètre *t* marque 108 degrés, on gou-

verne le feu de façon que la température reste sensiblement stationnaire.

Il faut avoir soin que le courant d'air sec qui traverse l'appareil ne soit pas trop rapide, ce qui aura lieu si l'on fait en sorte que l'aspirateur ne débite pas plus de 5 à 6 litres par heure.

Au bout d'une heure et demie à deux heures, tout l'ammoniaque volatile aura dû être entraîné dans le flacon *f*, on enlèvera alors ce dernier en ayant soin de laver la portion du tube *k* qui plongeait dans l'acide, et comme *criterium*, on pourra le remplacer par un autre flacon semblable contenant aussi 40^{cc} de liqueur sulfurique décime, et 20 à 30^{cc} d'eau distillée. Pendant que l'on dosera l'ammoniaque retenu dans le premier flacon *f*, on fera marcher de nouveau l'aspirateur, pendant une demi-heure environ, et l'on s'assurera ensuite si l'engrais avait abandonné tout son ammoniaque volatile.

Le dosage de l'ammoniaque entraîné par le courant d'air dans le flacon *f* s'effectue comme il a été dit n° 205. Seulement on emploie pour saturer la liqueur acide décime l'eau de chaux ou une liqueur alcaline dix fois plus faible que celle employée précédemment.

217. Justification de l'emploi des liqueurs décimes et centimes.

Supposons que l'on ait une liqueur alcaline de concentration telle que 20^{cc},5 saturent 10^{cc} d'acide sulfurique normal. Dans ces conditions, 1^{cc} de cette liqueur alcaline correspond à un poids d'azote égal à $\frac{0^g,14}{20,5} = 0^g,0068$.

Si, dans une opération, on verse un demi-cent. cube de liqueur alcaline en plus ou en moins de la quantité nécessaire pour produire la saturation exacte de la liqueur, l'erreur correspondante

sera de $3^m/g,4$; tandis que si l'on emploie des liqueurs acides et alcalines 10 fois plus faibles, mais présentant toujours le même rapport de saturation, l'erreur sera 10 fois moindre, ou de $0^m/g,34$.

— Or, il arrive souvent que la quantité d'ammoniaque contenue dans une eau, une terre, un engrais est tellement faible, qu'une erreur de 5 divisions de la burette peut augmenter ou diminuer le résultat final de 50 p. 100; il est donc absolument nécessaire, dans ce cas, d'employer des liqueurs décimes et quelquefois même centimes.

218. Application.

Dosage de l'ammoniaque volatile renfermé dans l'engrais A.

Poids de l'engrais humide soumis à la dessiccation.....	10 ^g
Volume de liqueur sulfurique décime employé.....	10 ^{cc}
Titre de la liqueur alcaline avant l'opération, T =	20,5
— — — après —	12,5
d.....	8,0

$$\text{Azote pour 10 gr.....} \quad \frac{0,014 \times 8}{20,5} = 0^g,0054$$

$$\text{— 100 gr.....} \quad 0^g,054$$

Nota. Si, au lieu d'employer des liqueurs décimes, on avait conservé les liqueurs normales, le volume de liqueur alcaline correspondant à la quantité d'ammoniaque dégagée eût été 10 fois plus faible ou égal à $0^cc,8$, et l'addition, en plus ou en moins, de 5 divisions de liqueur alcaline, aurait donné une erreur de $3^m/g,4$, nombre supérieur à la moitié de $5^m/g,4$; le résultat final aurait donc pu être trop faible ou trop fort de plus de 50 p. 100.

219. Résumé des analyses effectuées sur l'engrais A. — Les trois opérations effectuées successivement sur l'engrais A conduisent à représenter sa composition comme il suit :

ENGRAIS HUMIDE. COMPOSITION %.	
Perte de poids à la dessiccation.....	} 12
Eau et ammoniaque volatile.....	
Matière sèche à 110°.....	88
	100

Azote volatil.....	0,054
Azote des sels ammoniacaux fixes.....	0,588
Azote organique.....	3,792
Azote total.....	4,434

220. Observation pratique. — Nous avons indiqué successivement, dans les pages qui précèdent, la série des opérations à l'aide desquelles on peut doser, sous diverses formes, la totalité de l'azote contenu dans un engrais (sauf celui des nitrates). Mais ce serait une erreur de croire qu'il est indispensable, pour juger de la valeur d'un engrais, d'effectuer tous ces dosages; le plus souvent, au contraire, on peut réduire l'analyse aux deux déterminations suivantes:

1° *Dessiccation de l'engrais à une température déterminée;*

2° *Dosage, par une seule opération, celle du n° 204, de l'azote renfermé dans l'engrais sec, sous forme organique, et de sel ammoniacal fixe.*

On rapporte ensuite les résultats à l'engrais humide, comme nous l'avons indiqué précédemment.

Dans la majorité des cas, cette analyse sera parfaitement suffisante, et nous engageons les agronomes qui n'ont pas le loisir d'effectuer des opérations analytiques complètes, à s'en tenir à cette méthode.

221. Engrais pâteux ou liquides. — La méthode pratique que nous venons d'indiquer en dernier lieu, n° 220, peut cependant devenir tout à fait inexacte quand on a affaire à certains engrais pâteux ou liquides. Ceux-ci, en effet, renferment souvent la majeure partie de leur azote à l'état d'*ammoniaque libre ou carbonaté*, et, dans ce cas, il faut forcément transformer, à l'aide d'un acide, cet ammoniaque volatil en sel am-

moniacal fixe que la vapeur d'eau ne pourra plus entraîner pendant la-dessiccation.

222. Engrais pâteux. — *Pratique de l'opération.*

1° *Dessiccation.* L'engrais pâteux ayant été préalablement trituré dans un mortier (dans le cas où il ne paraît pas suffisamment homogène), on en pèse 20 grammes dans une capsule tarée et on les humecte avec une dissolution d'acide oxalique de titre connu (n° 70 2°). La quantité d'acide ajoutée doit être de 4 à 5 p. 100 du poids de l'engrais soumis à la dessiccation.

On introduit la capsule dans l'étuve à huile, et on la maintient à 110 degrés jusqu'à ce qu'elle ne perde plus de poids.

Il est assez difficile, après la dessiccation, de tenir un compte rigoureux du poids d'acide oxalique introduit dans l'engrais, parce que, d'une part, cet acide perd deux équivalents d'eau ou 28 p. 100 de son poids à 100 degrés et que, d'autre part, chaque équivalent d'acide oxalique C^2O^3HO qui se combine à un équivalent de carbonate d'ammoniaque chasse un équivalent d'acide carbonique.

Quoi qu'il en soit, on obtiendra un résultat suffisamment exact en admettant que le poids du résidu sec est trop fort de 0^e,5 par chaque gramme d'acide oxalique (C^2O^3HO) ajouté à l'engrais humide.

EXEMPLE :

Supposons que le poids du résidu sec soit, pour 20 gr.	
d'engrais humide, de.....	15 ^e ,950
Comme on a ajouté 1 gr. d'acide oxalique, on retranchera.	0 ,500
et on aura pour poids du résidu sec.....	15 ^e ,450
d'où la perte en eau sera pour 20 gr.....	4 ,550
— — — pour 100 gr.....	22 ,750

14.

2° *Dosage de l'azote total en une seule opération.* — On détache de la capsule le résidu sec précédent, on le broie dans un mortier, et on en brûle un poids déterminé avec de la chaux sodée (n° 205) en ayant soin de tenir compte, dans la pesée, du poids d'acide oxalique introduit.

Ainsi, 15^g,950 de résidu sec ne représentant que 15^g,450 d'engrais sec, si l'on veut brûler 4 gr. de cet engrais, il faudra en peser une quantité indiquée par la proportion :

$$15^{\text{g}},950 : 15,450 :: x : 4 ; \quad x = 1,032.$$

L'azote total fourni par ce poids sera rapporté à 100 d'engrais sec, et ensuite à 100 gr. d'engrais pâteux ou normal.

223. Remarque. — Si l'on voulait déterminer séparément l'azote ammoniacal et l'azote organique, on devrait faire les deux opérations suivantes :

1° On doserait sur un poids déterminé d'engrais *normal* l'azote des sels ammoniacaux, en opérant suivant les indications du n° 209.

2° On pèserait une nouvelle quantité d'engrais normal, auquel on ajouterait un poids d'acide oxalique suffisant pour retenir la totalité de l'ammoniaque trouvé dans l'opération précédente, et on dessècherait le mélange à 110°. Le résidu sec servirait à doser l'azote total, comme il vient d'être dit n° 222, 2° ; et on retrancherait de ce dernier résultat celui relatif au dosage de l'azote ammoniacal.

224. Engrais liquides. — La méthode d'analyse que nous venons d'indiquer pour les engrais pâteux est applicable aux engrais liquides, c'est-à-dire que l'on peut doser en une seule opération la totalité de

l'azote qu'ils renferment, ou bien exécuter deux do-

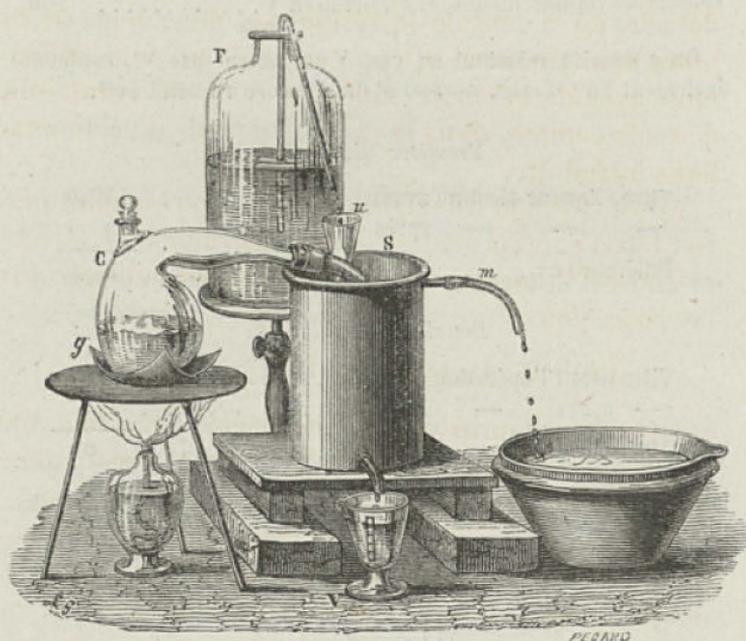


Fig. 111.

sages successifs, afin d'obtenir séparément l'azote ammoniacal et l'azote organique.

225. Application.

Analyse d'un purin recueilli dans une des fosses de l'école de la Saulsaie, après une période très-pluvieuse (1864).

Densité du purin : $D = 1,010$.

1^o Dosage de l'azote ammoniacal fixe et volatil.

Dans la cornue C de l'appareil (fig. 111), on a introduit :

Purin.....	50 ^{cc}
Eau distillée.....	130
Liqueur alcaline (celle employée pour saturer l'acide sulfurique normal).....	20
Total.....	200

Acide sulfurique normal dans le vase V.....	10 ^{cc}
Volume de liquide distillé et recueilli en V.....	100

On a ensuite substitué au vase V un autre vase V', contenant également 10^{cc} d'acide normal et on a encore recueilli 50^{cc}.

Première distillation.

Titre, liqueur alcaline avant l'opération.....	15 ^{cc} ,0
— — — après —	9,4
Différence =	5,6

Deuxième distillation.

Titre avant l'opération.....	15 ^{cc}
— après —	15
Différence =	0

la totalité de l'ammoniaque avait donc passé dans la première distillation.

Azote ammoniacal des 50^{cc} de purin.

$$p = \frac{0,14 \times 5,6}{15} = 0,0522.$$

d'où pour 1 litre ou 1010 gr. =	1 ^g ,044
pour 100 gr. =	0,1033

2° Dosage de l'azote organique.

100 gr. de purin (renfermant 0^g,1033 d'azote ammoniacal) ont été pesés dans une capsule, puis additionnés de 7^{cc},3 de liqueur normale d'acide oxalique, volume qui représente un poids d'acide égal à 0^g,460¹.

¹ La liqueur normale d'acide oxalique contient par litre 63 gr. de cet acide, correspondant à 14 d'azote, et l'on trouve par une simple proportion que le volume de cette même liqueur, qui correspond à 0^g,1033 d'azote, est 7^{cc},3. D'autre part, chaque cent. cube de liqueur oxalique renfermant 0^g,063 de cet acide, 7^{cc},3 en contiennent 0^g,460.

Après dessiccation à 110° dans l'étuve à huile, on a obtenu :

Poids du résidu sec.....	2 ^g ,356
Poids de l'acide oxalique à défalquer, $\frac{0,460}{2} =$	0,230
Résidu sec pour 100 gr. de purin.....	2 ^g ,126

Pour brûler ensuite 1 gr. du résidu sec dans le tube à combustion, on en a pesé 1^g,108¹. L'ammoniaque dégagée et absorbée par 10^{cc} de liqueur sulfurique décime a été trouvée égale à 0^g,0112.

Il restait à rapporter le poids d'azote trouvé dans le résidu sec au purin normal ayant pour composition :

Eau.....	97,874
Résidu sec.....	2,126
	<hr/> 100,000

On a posé la proportion :

$$1^{\text{g}} : 0^{\text{g}},0112 :: 2^{\text{g}},126 : x$$

d'où

$$x = 0^{\text{g}},0238$$

ce qui a donné pour composition définitive du purin :

	pour 1000 gr.	pour 1 litre
Azote des sels ammoniacaux....	1 ^g ,033	1 ^g ,044
Azote organique.....	0,238	0,240
Sommes.....	<hr/> 1 ^g ,271	<hr/> 1 ^g ,284

En supposant une fumure de 20000 kilogr. de ce purin appliqués sur un hectare de pré, et en se rappelant que le fumier normal pris pour type des engrais (*Ch. org.*, n° 408) dose 4 pour 1000 d'azote, on trouve que cet arrosage correspond à 6355 kilogr. de fumier. Eu égard au poids de liquide transporté, cette

¹Ce poids a été fourni par la proportion :

$$2^{\text{g}},356 : 2^{\text{g}},126 :: x : 1 \quad x = 1^{\text{g}},108.$$

fumure serait peu considérable, mais nous avons dit précédemment que le purin analysé avait été considérablement étendu par les eaux pluviales.

226. Dosage de l'ammoniaque contenu dans un engrais à l'état de combinaison saline.

Procédé de M. Schlœsing. — M. Schlœsing a décrit un procédé qui permet de doser l'ammoniaque renfermé dans un engrais, une plante, etc., à l'état de combinaison saline, sans que les matières azotées viennent modifier les résultats. Ce procédé est fondé sur la propriété que possède l'ammoniaque d'être déplacé de ses combinaisons par les alcalis fixes, et d'être facilement absorbé, même à distance, par l'acide sulfurique.

L'opération s'effectue à l'aide d'un appareil imaginé par M. Schlœsing. Nous allons le décrire avec les modifications que M. Deville y a apportées pour le rendre d'un emploi plus commode.

227. Appareil de M. Schlœsing, modifié par M. Deville.

Cet appareil se compose :

1° D'un vase en verre D destiné à recevoir un volume déterminé d'acide sulfurique normal ;

2° D'une capsule E en porcelaine qui repose sur un trépied en verre placé dans le vase en verre D. On met dans cette capsule un poids déterminé de la matière à analyser.

Le vase D repose sur une pierre AB à rigole circulaire pleine de mercure et dans laquelle se place une cloche de verre C qui recouvre les vases D et E. Ce mercure est destiné à supprimer toute communication entre l'intérieur de la cloche et l'air extérieur.

Au sommet de la cloche C se trouve une tubulure dans laquelle s'engage un bouchon traversé par un tube courbé F et une pipette H, tous deux sont munis de robinets en verre.

Le tube F permet d'aspirer légèrement dans l'intérieur de la cloche de façon à diminuer la pression de l'air, et la pipette H sert

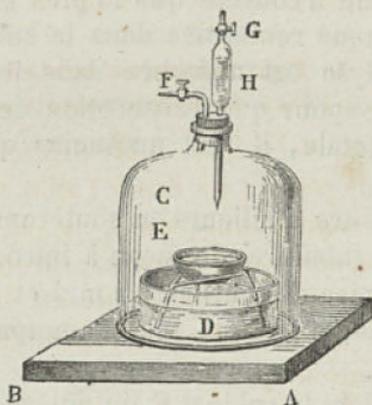


Fig. 112.

à introduire dans la capsule E, où se trouve l'engrais, une dissolution concentrée de potasse caustique.

228. Pratique de l'opération. — On introduit dans le vase en verre D 10^{cc} de liqueur sulfurique normale, ensuite un égal volume d'eau, enfin 2 ou 3 gouttes de tournesol. On met d'autre part 5 ou 10 gr. d'engrais, suivant sa richesse, dans la capsule en porcelaine E, et on recouvre avec la cloche en verre.

Pour emplir la pipette, on enlève de la tubulure le bouchon muni de ses accessoires, on ouvre le robinet G, on aspire la liqueur potassique avec précaution, et on referme le robinet. Le bouchon étant remplacé dans sa tubulure, on ouvre F, on aspire légèrement l'air contenu dans la cloche et on referme le robinet F. Si l'on ouvre alors G, la liqueur alcaline s'écoule de la pipette, tombe dans la capsule, humecte l'engrais, et met en liberté l'ammoniaque, qui,

au fur et à mesure de son dégagement, est absorbé par la liqueur sulfurique titrée.

M. Schlöesing a constaté que la plus grande partie de l'ammoniaque renfermée dans la substance soumise à l'analyse est absorbée dans les premières heures; mais pour que l'absorption de cet ammoniaque soit totale, il faut au moins quarante-huit heures.

On s'en assure d'ailleurs en soulevant le bouchon qui ferme la tubulure, de façon à introduire dans la cloche un papier de tournesol rougi et humide; s'il ne bleuit pas, c'est que tout l'ammoniaque a été absorbé.

On ouvre alors le robinet F, on enlève la cloche, et l'on procède à l'évaluation de la quantité d'ammoniaque qui s'est dégagée.

A cet effet, on enlève d'abord la capsule E, on lave avec la pissette les trois branches du trépied en verre qui plongeaient dans l'acide du vase D, et on transvase ensuite le liquide de ce vase dans une capsule à fond plat.

La neutralisation de l'acide en excès s'effectue comme il a été dit (n° 205), en ayant soin de laver le vase avec le liquide même de la capsule, et la détermination du poids de l'ammoniaque ou d'azote se fait en appliquant la formule générale. S'il s'agit d'une plante au lieu d'un engrais, il faut avoir soin de la pulvériser ou de la hacher finement avant de l'introduire dans la capsule E.

Observations. — Quand il s'agit de substances pauvres en ammoniaque, on doit, à la liqueur sulfurique normale, substituer une liqueur décime ou centime, et remplacer dans la pipette la liqueur potassique par

un lait de chaux. Ce procédé, malgré sa simplicité, offre un grand inconvénient, c'est de demander beaucoup de temps.

229. Résultats analytiques. — Le procédé de M. Schlœsing, appliqué au dosage de l'ammoniaque dans divers agents de fertilisation, a donné à M. Houzeau les résultats suivants :

	Ammoniaque sur 1000 p. en poids.
Urine fraîche de vache.	0,08
— — de taureau.	0,07
— — de cheval.	0,05
Urine ancienne, vache et mouton.	6,15
— — de cheval.	11,73
— — de porc.	1,43
— — de chat.	1,10
— — de lapin.	0,98
Eaux de l'usine à gaz de la ville d'Elbeuf.	12,81
Fumier de ferme.	1,70
Autre fumier.	0,80
Guano.	55,10
Boues de Rouen.	0,50

230. — M. Schlœsing, en opérant sur divers échantillons de tabac, a obtenu les nombres suivants :

TABACS SECS.	Ammoniaque %o.
Virginie.	0,153
Kentucky.	0,332
Maryland.	0,212
Havane.	0,870
Alsace.	0,630
Nord.	0,815
Lot.	0,900

Pour compléter ce chapitre, nous donnerons un tableau (*Ch. organ.*, n° 737) qui indique la richesse en azote des divers engrais animaux ou mixtes, et les

poids qui, sous le rapport de cet élément, équivalent à 4000 kilogr. de fumier normal. Le chapitre suivant renfermera un tableau semblable pour les substances végétales.

231. Tableau de la richesse en azote des divers engrais animaux ou mixtes.

DÉSIGNATION DES ENGRAIS.	AZOTE dans 1000 parties de matière à l'état ordinaire.	POIDS équivalent à 1000 kilogrammes de fumier normal.
Fumier normal.....	4	1000
— d'écurie.....	7,9	506
— de Grignon.....	7,2	555
Excréments de l'homme.....	4,0	1000
Urine de l'homme.....	14,5	275
Déjections mixtes de l'homme.....	13,3	300
Excréments de cheval.....	5,5	745
Urines —.....	14,8	270
Déjections mixtes —.....	7,4	540
Excréments de vache.....	3,2	1250
Urines —.....	9,6	417
Déjections mixtes —.....	4,1	975
Excréments de porc.....	7,0	571
Urines —.....	2,3	1739
Déjections mixtes de porc.....	3,7	1081
Excréments de mouton.....	7,2	555
Urines —.....	13,1	305
Déjections mixtes —.....	9,1	439
Fumier de cheval.....	6,7	597
— de vache.....	3,4	1176
— de porc.....	7,8	513
— de mouton.....	8,2	487
Purin d'une vacherie des environs de Paris.....	2,4	1666
Excréments de pigeon (frais).....	34,8	115
Colombine.....	83,0	48
Engrais flamand pur.....	8,8	454
Poudrette de Bondy (1854).....	14,0	285
Litière de vers à soie.....	32,9	121
Chrysalides de vers à soie.....	19,4	206
Chair musculaire séchée à l'air.....	130,4	30
Sang liquide des abattoirs de Paris... ..	29,5	135
— sec soluble (tel qu'on l'expédie)..	121,8	33
— coagulé et pressé.....	45,1	88
Pain de creton (à l'état marchand)..	118,8	38

DÉSIGNATION DES ENGRAIS.	AZOTE dans 1000 parties de matière à l'état ordinaire.	POIDS équivalent à 1000 kilogrammes de fumier normal.
Résidu de bleu de Prusse animalisé avec du sang.	13,1	305
Tourteau d'épuration de l'huile de pois- son par la sciure de peuplier.	5,4	740
Tourteau d'épuration des graisses de cuisine par la sciure de peuplier. . .	35,5	112
Os fondus séchés à l'air.	70,2	57
— humides.	53,1	75
Os gras non fondus (10 pour 100 de graisse).	62,2	64
Résidus de colle d'os.	5,3	735
Os bouillis pour l'extraction de la gé- latine.	18,4	217
Marc de colle.	37,3	107
Noir fin neuf (os carbonisés secs). . . .	13,2	303
— des raffineries tel qu'on l'expédie.	10,6	377
— fin desséché, ayant servi une fois.	24,4	163
— fin desséché, ayant servi deux fois.	33,8	118
— anglais (sang, suie et chaux). . . .	153,4	26
Râpures de corne.	143,6	28
Poils et crins.	137,8	29
Chiffons de laine.	179,8	22
Plumes.	153,4	26
Guano du Pérou (moyenne de 15 échan- tillons).	143,0	27
— du Chili.	45,0	88
— de la Bolivie.	21,1	189
— d'Afrique, baie de Saldenha. . . .	13,3	300
— — d'Ichaboë.	60,1	66
— — de Patagonie.	20,9	191
— — Baker.	11,9	336
— — Jarvis.	6,9	579
— de chauve-souris (grotte de Mara, en Sardaigne).	45,5	87
— de chauve-souris (grotte de Te- nez, Algérie).	22,5	177
Coquilles d'huîtres.	3,2	1250
Coquillages de mer.	0,5	8000
Poudre de poissons.	120,0	33
— de morue.	87,3	46
Engrais Derrien (1857).	45,0	88
— Rohart (février 1861).	36,5	109
Harengs frais.	27,4	146
Engrais, poisson.	13,0	307
— Lainé.	12,5	320
Phospho-guano (1865).	25,4	157

**232. Prix des instruments indiqués
dans ce chapitre.**

Tube en verre vert pour combustion des matières organiques, le kilogramme.....	2 fr. 00 c.
Clinquant pour envelopper les dits tubes, la douzaine de bandes.....	3 fr. 50
Grille à combustion, de 0 ^m ,40 à 1 mètre de longueur, avec écrans.....	7 à 10 fr.
Flacon F muni des deux tubes <i>k</i> et <i>t'</i> (fig. 102).....	2 fr. 00
Flacon à robinet, bouché à l'émeri et pouvant faire office d'aspirateur (fig. 103), de 3 à 12 litres.....	7 à 17 fr.
Tube Warentrapp.....	1 fr. 25 c.

Appareil complet du n° 210..... 37 fr. 00

	f. c.	
Détail de l'appareil.	}	Serpentin..... 25 00
		Cornue tubulée..... 1 50
		Flacon réfrigérant F.. 1 50
		Vase gradué..... 2 50
		Terrine..... 2 00
		Support de la lampe et toile métallique.... 1 00
		Lampe à alcool..... 1 25
		Support à réfrigérant F. 2 50

Appareil complet du n° 214..... 30 fr. 00 c.

	f. c.	
Détail de l'appareil.	}	Fourneau et triangle.. 2 50
		Ballon..... 0 75
		Tube et réfrigérant Liebig..... 10 00
		Son support..... 4 50
		Flacon à robinet N. . . 8 00
		Son support..... 2 50
		Fiole F (on la gradue soi-même)..... 0 50
Terrine..... 1 50		

Appareil Schlösing (n° 227)..... 25 fr.

<i>Prix des terrines</i>	} en grès ordinaire, diamètre de	16 à 60 centim.....	20 c. à 2 fr.
		} en grès fin émaillé gris, diamètre de 16 à 60 centim.....	75 c. à 10 fr.

Bouchons et tubes en caoutchouc.

Bouchons en caoutchouc vulcanisé pour tubes et flacons, la pièce	0,25 à 35 c.
Tubes en caoutchouc vulcanisé, suivant le diamètre, le mètre....	1 à 2 fr.

Bouchons de liège.

	Diamètre.	Hauteur.	Prix du cent.
Bouchons fins et plats pour cols droits.....	40 mil.	25 mil.	3 fr.
— et longs pour larges goulots...	35	50	10
— pour flacons de $\frac{1}{2}$ à 1 litre.....	15 à 25	45	3 à 5
— pour tubes et petits flacons.....	8 à 12	35 à 40	2 à 2,50

Percerette à bouchons.....	0,50
Limes plates, rondes, demi-rondes, etc., la pièce..	0,75 à 1,50
Râpes plates, rondes, demi-rondes pour bouchons, la pièce.....	Idem.

	à becs droits.	à becs courbés.
Pinces à charbon, de 30 à 50 cent. de long...	3 à 4 fr.	3 à 4,50

Pelle à charbon.....	1 ^f ,50 à 2 fr.
Pinces à mâchoires plates pour tordre les fils de fer.	2 fr.
Pinces à mâchoires coupantes.....	2 ^f ,50 à 3 fr.

CHAPITRE XIII

DOSAGE DE L'AZOTE CONTENU : 1° DANS LES VÉGÉTAUX ; 2° DANS LES TERRES ARABLES, LES MARNES, ETC., SOUS UNE COMBINAISON AUTRE QU'UN NITRATE.

I. DOSAGE DE L'AZOTE RENFERMÉ DANS LES VÉGÉTAUX.

233. — Au point de vue de l'alimentation, il n'y a pas lieu de se préoccuper des nitrates et des sels ammoniacaux qui peuvent être renfermés dans les végétaux, parce que ces sels sont considérés comme ne possédant aucun pouvoir nutritif. Le seul dosage à effectuer ici est donc celui de l'azote organique, opération qui s'exécute en brûlant la plante, dans le tube à combustion, avec de la chaux sodée.

La pratique de cette opération nous est bien connue maintenant, mais il est un point sur lequel il importe d'insister, c'est la préparation de l'échantillon qui doit servir à l'analyse.

234. Dosage de l'azote dans les fourrages verts. —
1° Préparation de l'échantillon. — Dans une masse de 400 kilogr. de fourrage, on prend en divers points environ dix échantillons partiels de poids à peu près égaux et représentant un poids total de 2 kilogr.; on a ainsi un échantillon moyen du fourrage. — Les pesées s'exécutent avec la balance-pendule (fig. 413).

L'échantillon est alors étalé sur une toile de grandeur convenable et exposé au soleil jusqu'à ce que le four-

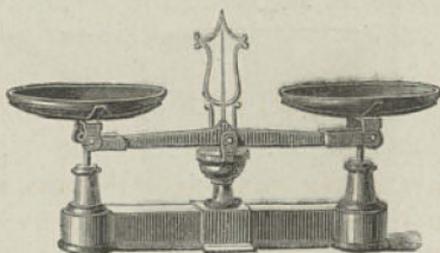


Fig. 113.

rage présente un degré de dessiccation comparable à celui d'un fourrage *fané* ordinaire. On hâte, du reste, cette dessiccation en retournant à plusieurs reprises le fourrage sur la toile. On achève ensuite la dessiccation en employant l'un des procédés suivants :

1° On place le fourrage dans une étuve dont la température ne dépasse pas 100 degrés;

2° On soumet le fourrage à la température du bain-marie.

Dessiccation au bain-marie. — Pour opérer la dessiccation au bain-marie, on se sert de l'appareil (fig. 114) qui a été décrit n° 22.

On commence par couper en morceaux, avec un couteau ou des ciseaux, le fourrage fané, puis on en introduit dans le vase V une quantité convenable pour que la dessiccation puisse s'opérer dans de bonnes conditions. Au fur et à mesure de la dessiccation, on remplace le fourrage sec par une nouvelle quantité de fourrage fané. Enfin, quand toute la matière a été desséchée à 100 degrés, on procède à sa mouture, après avoir préalablement déterminé la perte totale

en eau des 2 kilogr. de fourrage qui formaient l'échan-

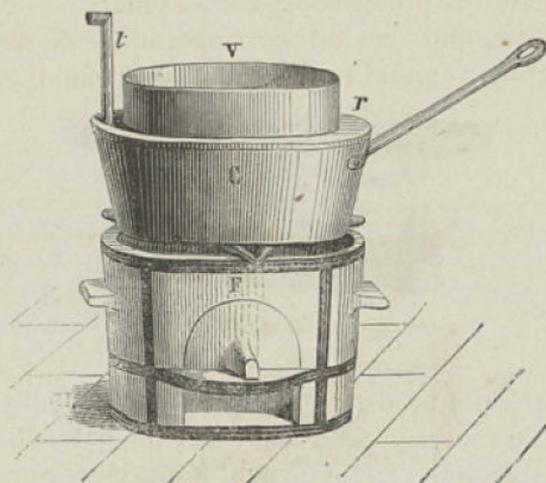


Fig. 114.

tillon moyen. Cette perte est ordinairement de 75 à 85 p. 100 d'eau.

2° *Mouture du fourrage.* — La mouture du fourrage desséché à 100 degrés s'effectue avec le petit moulin décrit n° 20 et désigné sous le nom d'*égrugette de Potigny* (fig. 115).

Le fourrage, préalablement froissé entre les doigts, s'il n'est pas suffisamment divisé, est introduit, par parties successives, dans la trémie T de l'égrugette et soumis à la mouture. Il est bon de faire passer plusieurs fois dans le moulin les matières qui se divisent le plus difficilement et que l'on sépare des parties fines à l'aide d'un tamis de crin. A chaque repassage on serre un peu plus la vis.

Quand toute la matière est suffisamment divisée, on en mêle intimement toutes les parties, et on introduit

la poudre grossière obtenue dans un flacon bien sec, à large ouverture et bouchant à l'émeri.

Comme, dans ces diverses opérations de mouture, le fourrage reprend toujours un peu d'eau, il est bon,

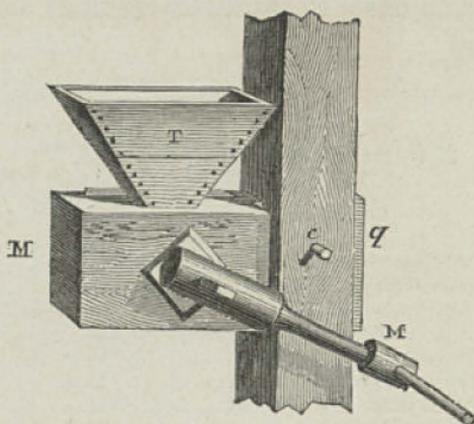


Fig. 115.

avant de procéder à l'analyse de l'azote, d'en mettre 10 grammes dans une capsule que l'on chauffe pendant une heure à 400 degrés. De cette façon, on est sûr d'opérer sur le fourrage desséché à une température parfaitement déterminée.

3° *Dosage de l'azote.* — On procède alors au dosage de l'azote, en opérant exactement comme il a été dit (n° 204). Le poids de fourrage sec à brûler dans le tube à combustion est de 1^g,5 à 2 grammes. On rapporte ensuite le résultat trouvé à 100 kilogr. de fourrage vert.

235. Résultats analytiques.

M. Isidore Pierre, professeur à la Faculté des sciences de Caen, a analysé un grand nombre de plantes ou de parties de plantes employées comme fourrages : nous empruntons à ce savant les résultats analytiques qui suivent ¹ :

FOURRAGES.	MATIÈRE	AZOTE
	sèche par kilogr. de fourragè vert.	par kilogr. de fourrage vert.
	gr.	gr.
Seigle en herbe (hauteur 18 à 20 centim.)..	235	5,4
Le même, au moment de l'épiage.....	236	4,3
Feuilles de blé très-fort, coupées avant l'épiage.....	206	8,8
Vesce d'hiver (très-tendre).....	156	7,0
— commençant à fleurir.....	126	5,2
Luzerne, avant la fleur.....	200	6,6
— à la première fleur.....	222	5,0
— en pleine fleur.....	260	5,4
Luzerne, regain tardif un peu dur.....	227	6,8
Trèfle, un mois avant la fleur.....	168	6,8
— en pleine fleur.....	230	4,9
— regain tardif.....	167	6,3
Sainfoin, commençant à montrer quelques boutons.....	181	6,5
— — à fleurir.....	220	5,5
— en pleine fleur.....	224	4,7
— regain presque tout entier en feuilles.....	205	9,5
— — plus tardif et plus dur..	205	10,3
Le même, monté en tiges de 15 à 20 cent.	375	11,5
Minette commençant à défleurir (dans une prairie fraîche).....	190	5,9
Minette au même état, dans un pré sec et haut.	249	7,9
Trèfle blanc en pleine fleur.....	223	8,3
Foin de prairie fraîche (18 juin).....	237	3,4
— — (2 juillet).....	281	3,7
Mélange de vesce et de pois gris (fourrage d'automne).....	144	5,5

¹ *Notions élémentaires d'analyse chimique appliquée à l'agriculture.*

FOURRAGES.	MATIÈRE sèche par kilogr. de fourrage vert.	AZOTE par kilogr. de fourrage vert.
	gr.	gr.
Sorgho à sucre de la Chine (1 ^{re} coupe)....	300	6,4
— — (2 ^e coupe), fin octobre.	300	7,5
Plant de colza.....	81	3,5
Moutarde sauvage (guélot).....	121	4,1
Herbe de fer (sarrasin des oiseaux).....	246	5,7
Laiteron très-tendre.....	67	2,1
Senecion —.....	68	3,5
Feuilles de lierre.....	376	6,1
Ajonc (vignon).....	452	8,4
— extrémité des rameaux.....	451	9,1
Gui des arbres fruitiers.....	360	9,0
Chardons ordinaires (12 à 15 cent. de haut.)	120	5,6
— plus avancés, 25 centimèt.....	111	4,3
— sur le point de fleurir (50 à 75 c.)	119	3,8
Orties communes en fleurs.....	212	7,2
— plus tendres, 30 cent. de hauteur...	158	8,5
Feuilles d'orme très-tendres.....	240	10,1
— — deux mois plus tard.....	300	11,3
— — en septembre.....	324	9,5
— — quelques jours avant leur chute.....	367	7,5
Feuilles de peuplier du Canada, très-tendres.	216	8,8
— — deux mois plus tard....	271	9,5
— de vigne très-tendres.....	217	9,2
— — fin octobre.....	239	4,6
— — au moment de leur chute.	240	3,5
Feuilles de betteraves { feuilles basses.....	76	1,5
(5 septembre) { — moyennes.....	97	3,3
{ — supérieures (de cœur)	109	4,0
Feuilles de betteraves { feuilles basses.....	100	2,8
(1 ^{er} novemb.) { — moyennes.....	104	4,3
{ — supérieures.....	107	5,3

236. Autres résultats analytiques relatifs aux fourrages verts.

Le tableau suivant, emprunté également à M. Is. Pierre, fait voir la différence parfois considérable qui peut exister entre la richesse en azote des différentes parties d'une même plante. Les nombres se rap-

portent à des matières entièrement privées d'humidité.

	AZOTE PAR KILOGR.		
	TRÉFLE.	LUZERNE.	SAINFOIN.
	gr.	gr.	gr.
Fleurs.....	36,3	46,9	34,6
Feuilles.....	40,4	42,7	34,0
Partie supérieure des tiges dépouillées de feuilles.....	18,1	24,0	18,7
Partie inférieure des tiges dépouillées de feuilles.....	11,5	15,5	12,6

237. Dosage de l'azote dans les fourrages fanés. — Les fourrages fanés dans les meilleures conditions retiennent toujours une notable proportion d'eau qui varie entre 15 et 25 p. 100 de leur poids.

D'après M. I. Pierre, les fourrages de bonne qualité marchande de la plaine de Caen contiennent environ 20 p. 100 de leur poids d'eau naturelle.

238. Prise de l'échantillon moyen. — Nous avons constaté (n° 236), combien pouvait être grande la différence entre la richesse en azote des différentes parties d'une même plante, et nous avons vu que pour les prairies artificielles, par exemple, cette plus grande richesse appartenait aux fleurs et aux feuilles.

Or, quand on prend dans une meule ou sur plusieurs bottes de fourrage fané l'échantillon destiné à l'analyse, on détache inévitablement une partie des feuilles et des fleurs. Il est donc indispensable, si l'on veut obtenir un bon résultat analytique, de restituer à l'échantillon tous les menus débris (*le fleurain*) qui ont pu s'en détacher. D'après M. I. Pierre, quand il s'agit de regain ou de fourrages courts fanés, un échantillon

moyen de 500 grammes est suffisant; s'il s'agit, au contraire, d'un fourrage long, feutré et grossier, il faut porter le poids à 1 kilogr.

L'échantillon moyen obtenu, on le coupe en morceaux au couteau ou avec des ciseaux et on achève sa dessiccation comme il a été dit n° 234. On le passe ensuite dans l'égrugette, et on termine l'analyse comme dans le cas des fourrages verts.

239. Analyse d'un échantillon moyen de foin fané récolté à la Saulsaie en 1865. — Poids de l'échantillon moyen. 2 kilogrammes.

Ces deux kilogr. ont été coupés avec des ciseaux, et sur la masse bien homogène on a prélevé 500 grammes, qui ont été desséchés à 100 degrés dans l'appareil de la fig. 114.

On a opéré cette dessiccation en introduisant successivement dans le vase V cinq échantillons de fourrage coupé pesant chacun 100 grammes.

Perte en eau du fourrage fané, 8,75 p. 100.

Les 500 grammes de fourrage desséché à 100 degrés ont été passés ensuite à l'égrugette, et le résidu de la mouture a été renfermé dans plusieurs flacons à large ouverture et bouchant à l'émeri.

10 grammes de cette poudre grossière ayant été placés dans une capsule et soumis pendant une heure à une température de 400 degrés, on en a pesé ensuite 1 gramme destiné à être brûlé dans le tube à combustion, pour le dosage de l'azote (fig. 102).

Volume de liq. sulfurique décime introduit dans le	
flacon <i>f</i>	10 ^{cc} ,0 div.
Titre de la liqueur alcaline avant l'opération.....	15 ,0
— — après —	3 ,2
Différence.....	= 11 ^{cc} ,8 div.

$$\text{Poids d'azote pour 1 gr.} \frac{0^{\text{e}},014 \times 118}{150} = 0^{\text{e}},01101$$

$$\text{— — 100 gr.} \dots\dots\dots 1,101.$$

Le fourrage fané ayant perdu 8,75 p. 100 d'eau à 100 degrés, pour rapporter le résultat au foin normal, il suffit de poser la proportion :

$$100 : 1,101 :: 91,25 : x; \quad x = 1,004$$

d'où, pour 1 kilogr. de ce foin pris à l'état naturel, 10^e,04.

240. — Les résultats analytiques qui suivent sont empruntés à M. I. Pierre; ils se rapportent à des fourrages pris à l'état normal et marchand.

		Azote par kilogr.
Trèfle	{ Fourrage entier.....	18 ^e ,1
	{ Fleurain	31,4
Luzerne	{ Fourrage entier.....	18,5
	{ Fleurain	26,9
Sainfoin	{ Fourrage entier.....	18,9
(petite graine)..	{ Fleurain	23,2
Sainfoin	{ Fourrage entier.....	14,8
(grande graine)..	{ Fleurain	25,5

Azote par kilogr.
de fourrage renfermant
20 % d'humid. natur.

Foin de prairie naturelle du dépôt de re- monte de Caen.....	11 ^e ,5
Bon foin de pré naturel (départem. de l'Orne).	13,9
Luzerne.....	16,6
— de qualité meilleure.....	18,5
Regain de luzerne.....	24,0
Trèfle (1 ^{re} coupe).....	17,4
— (2 ^e coupe).....	18,1
— regain tardif (très-feuillu et non fleuri).	30,2
Sainfoin (petite graine) de la plaine de Caen..	18,0
Autre — —	18,9

Sainfoin (grande graine) de la plaine de Caen (1 ^{re} coupe).....	17 ⁸ ,3
Idem (2 ^e coupe) ayant porté graine.....	14 ,5
Regain de sainfoin, presque tout en feuilles..	36 ,9
Autre (monté en tiges).....	25 ,0
Minette (venue en terrain sec).....	25 ,0

241. Dosage de l'azote dans les pailles, les balles, les siliques de colza. — 1^o *Pailles.* — Le poids de l'échantillon moyen peut être de 500 grammes seulement. On coupe cet échantillon, avec un grand couteau ou des ciseaux, en morceaux d'un à deux centimètres et on le soumet ensuite à la dessiccation. La matière desséchée est ensuite introduite dans l'égrugette et moulue; on mélange soigneusement le produit de tous les tamisagés successifs, et l'on prend dans la masse un poids convenable de matière destiné au dosage de l'azote.

Comme les pailles sont moins riches en azote que les fourrages naturels ou artificiels, il convient d'exécuter l'analyse sur 4 à 5 grammes de matière.

La proportion normale et moyenne d'humidité naturelle est de 15 à 16 p. 100.

2^o *Balles de blé, siliques de colza.* — Poids de l'échantillon moyen, 200 à 300 grammes.

Après dessiccation, on passe la matière à l'égrugette, et l'on procède au dosage de l'azote, en opérant sur un poids de 4 à 5 grammes.

M. I. Pierre a fait remarquer que, si les pailles ou les balles des céréales se trouvent mélangées d'herbes, la richesse en azote de ces substances se trouve notablement augmentée, parce que ces herbes sont beaucoup plus riches que la paille elle-même.

Résultats analytiques obtenus par M. I. Pierre.

	Azote par kilogr. de paille privée d'humidité.
Paille de gros blé rouge.	Épis vides..... 7 ^g ,8
	Feuilles..... 5,8
	Partie supérieure de la tige. 4,6
	— inférieure..... 2,8
Paille considérée dans son entier..... 4,0	
Paille de sarrasin.....	Partie supérieure..... 8,3
	— inférieure..... 5,5
Paille considérée dans son entier..... 6,5	
Paille de colza.....	Ramilles porte-grains..... 6,8
	Tiers supérieur du reste des tiges et rameaux..... 5,0
	Partie inférieure..... 4,8
Paille considérée dans son entier..... 5,3	
	Azote par kilogramme de substance renfermant 16 % d'humid. natur.
Paille de blé goutte d'or.....	5 ^g ,1
— de gros blé rouge.....	3,4
— de sarrasin.....	5,8
— — (mal venu, très-court).....	11,8
— de colza (vieille).....	4,4
Balles pures de franc blé barbu (Caen).....	5,7
— d'un blé étranger.....	5,0
— d'un blé hybride.....	6,4
— d'un franc blé sans barbes.....	7,8
Siliques de colza.....	6,1
Balles mêlées d'herbes de gros blé rouge.....	7,3
— de franc blé barbu.....	11,6
— de blé chicot.....	11,3

242. Dosage de l'azote dans les graines ou les produits de leur mouture. — 1^o *Graines entières.* — Poids de l'échantillon moyen, 500 gr. Si les graines sont un peu volumineuses, on les concasse grossièrement avant de les dessécher, et on les passe ensuite à l'égrugette.

Le dosage de l'azote s'effectue sur 4^{gr},5 à 2 gr. de matière. M. I. Pierre recommande, avec raison, d'indiquer toujours le poids de l'hectolitre de la graine qui a servi à l'analyse.

2° *Produits divers de la mouture des grains.* — Les farines sont soumises immédiatement à la dessiccation; on procède ensuite à l'analyse en opérant sur 1 gr. à 4^{gr},5 de matière.

Les sons doivent être traités de la même manière, sauf les plus grossiers, qu'il est bon de repasser à l'égrugette. On effectue l'analyse sur 4^{gr},5 à 2 gr.

Quant aux *tourteaux*, on en détache des morceaux sur quatre ou cinq pains pris au hasard, on les concasse grossièrement, on les fait passer à l'égrugette, et l'on prélève, sur les produits de mouture bien mélangés, 4 gr. destiné à l'analyse.

243. Résultats moyens d'analyses effectuées sur des graines ou des produits divers de moutures amenés à contenir la proportion de 16 p. 100 d'humidité.

I

	Azote par kilogr.
Blé Chevalier.....	17 ^e ,6
— rouge d'Écosse.....	19,2
— goutte d'or.....	18,7
— de la mer Noire.....	19,3
Franc blé blanc sans barbe.....	20,9
— ordinaire.....	21,7
Blé chicot blanc.....	22,2
— d'Australie.....	22,2
Gros blé dur d'Avergne.....	24,4
Seigle de la plaine de Caen.....	16,6
Orge — —.....	0,0
Sarrasin de Sibérie.....	15,2
— gris ordinaire (en moyenne).....	18,4

Sarrasin noir.....	18 ^e ,9
Graine de sainfoin (moyenne).....	38 ,2
Avoine noire de printemps (plaine de Caen)....	14 ,0
— grise d'hiver (plaine de Caen).....	15 ,7

II

Azote par kilogr.

Farine de blé, en moyenne, suivant la nature et la qualité du blé.....	17 à 23 gr.
Gros son de franc blé.....	24 ^e ,8
Petit son de la même mouture.....	25 ,9
Gros son de blé chicot.....	22 ,1
Petit son de la même mouture.....	23 ,5
Gros son de gros blé.....	23 ,1
Petit son de la même mouture.....	24 ,8
Farine d'avoine (blanche mais mal blutée)..	17 ,4
Son grossier d'avoine.....	7 ,8
Farine de sarrasin très-blanche et très-fine.	7 ,1
— plus grosse et jaune.....	32 ,6
— — plus jaune.....	46 ,8
Son ordinaire de sarrasin.....	20 ,5

III

Tourteaux du commerce contenant en moyenne 10 p. 100 d'eau.

Azote par Kilogr.

Tourteau de lin.....	54 ^e ,0
— de colza.....	49 ,9
— de navette.....	46 ,4
— d'arachide.....	54 ,6
— de madia-sativa.....	51 ,3
— de cameline.....	50 ,1
— de chènevis.....	55 ,8
— de pavot œillette.....	63 ,0
— de faines.....	40 ,5
— de noix.....	50 ,3
— de sésame.....	50 ,1

244. Dosage de l'azote dans les racines et tubercules, les pulpes diverses, les marcs, la drèche, les

touraillons, etc. — 1° *Racines et tubercules.* — L'échantillon destiné à l'analyse doit se composer de racines entières ou de tubercules complets. Il faut prendre plusieurs racines ou tubercules choisis de *grosseur moyenne*, et laisser de côté les sujets les plus gros ou les plus petits. On coupe les tubercules ou les racines en tranches minces, et on les chauffe au bain-marie. Quand ces tranches sont à moitié desséchées, on les subdivise en petits morceaux et on continue la dessiccation jusqu'à ce que la matière puisse être moulue sans empâter l'égrugette.

2° *Pulpes diverses, mars, drèche, touraillons.* — Poids de l'échantillon moyen pour les pulpes et les mars, 500 gr.; pour la drèche et les touraillons, 200 gr.

On dessèche la matière jusqu'à ce qu'elle puisse être moulue dans l'égrugette; on prend ensuite un poids déterminé du résidu, et l'on procède au dosage.

L'analyse doit porter sur 2 gr. de matière moulue, sauf le cas de la drèche et des touraillons pour lesquels 4 gr. est suffisant.

**245. Résultats analytiques obtenus
par M. I. Pierre.**

	Eau par kilogr.	Azote par kilogr.
Betteraves disette	877 gr.	25,1
— blanches de Silésie à collet vert.	841	2,1
— jaunes longues	862	2,7
— globe jaune	855	2,9
— globe rouge	861	2,7
— globes blancs ou plates d'Alle- magne	870	2,3

Carottes jaunes.....	844 gr.	2 ^e ,26
— rouges de Flandre.....	779	4,98
— blanches à collet vert.....	860	2,30
Turneps.....	915	2,13
Navets à collet vert.....	904	1,62
Pommes de terre.....	755	3,60

II

Pulpe de pomme de terre égouttée.....	"	5,10
— de betterave pressée.....	714	3,80
— — (proct. Champonnois).....	876	2,30
— — (— Dubrunfaut).....	929	1,20
— — (— Leplay).....	912	2,10
Drèches de bière.....	731	7,04
— de genièvre.....	914	4,04
Marc de raisin.....	"	18,20
— de houblon.....	"	5,60
— de pommes à cidre.....	"	5,90
— de café.....	"	18,50
Touraillons.....	"	45,30

Quant aux autres substances végétales dont la richesse en azote ne se trouve pas indiquée dans ce chapitre, nous prions nos lecteurs de se reporter au tableau n° 20 de notre *Chimie organique*.

II. DOSAGE DE L'AZOTE RENFERMÉ DANS LES TERRES ARABLES.

Nous avons vu en *Chimie inorganique*, n° 615, que l'on pouvait distinguer dans les sols :

1° *L'azote des substances organiques indécomposées, ou celui formant, avec les éléments minéraux des terres, des composés insolubles.*

2° *L'azote minéral, c'est-à-dire sous forme d'ammoniaque ou d'acide azotique.*

3° *L'azote des composés organiques solubles.*

L'azote minéral et celui des composés organiques solubles constituent ce que nous avons appelé précédemment *l'azote immédiatement assimilable*.

Nous allons indiquer comment on peut doser l'azote sous ces différentes formes.

246. Préparation de l'échantillon destiné à l'analyse. — L'échantillon de terre destiné à l'analyse est préparé conformément aux prescriptions indiquées dans le chapitre XVI consacré à *l'analyse chimique des terres arables*.

247. Dosage de l'azote total, sauf celui des nitrates. — L'azote total renfermé dans cette terre est dosé absolument comme s'il s'agissait d'un engrais ; la pratique de l'opération est identique à celle décrite n° 204, seulement il faut tenir compte des indications suivantes :

1° Les terres étant beaucoup moins riches en azote que les engrais, il convient d'opérer sur un poids cinq ou dix fois plus grand, c'est-à-dire que l'on doit prendre :

5 gr.	pour une terre de jardin riche en humus,
10 gr.	— de fertilité moyenne,
20 gr.	— pauvre.

2° Le tube à combustion devra avoir environ 1 mè., afin que le mélange de la terre et de la chaux sodée soit réparti sur une grande longueur.

248. Résultats analytiques.

Terre du champ d'expérience à la Saulsaie. Échantillon moyen pris à 25 centimètres de profondeur en octobre 1864, et desséché à l'air. — Dosage total de l'azote effectué le 23 juin 1865.

Première expérience.

Poids de la terre brûlée avec la chaux sodée . . .	20 gr.
Volume liqueur sulfurique décime employé . . .	20 c. cub.
Titre avant l'opération	32 ⁰⁰
— après —	16,6
	d. = 15,4

Azote total pour 20 gr. = 0^s,01347; azote pour 1 kil. = 0^s,6735.
 Azote pour un cube de terre ayant un hectare de superficie,
 25⁰⁰ de profondeur et une densité égale à 1,5 . . . 2357^k,250.

249. Résultats analytiques obtenus par divers expérimentateurs.

DÉSIGNATION DES TERRES.	AZOTE par kilogramme de terre séchées à l'air.	AUTEURS.
	gr.	
Sol argilo-calcaire un peu siliceux et profond des environs de Caen, de la surface à 20 cen- timètres de profondeur	1,659	I. Pierre.
<i>Idem.</i> De 20 à 40 centimètres	1,157	—
Autre terre des environs de Caen séparée du gravier et des pierrailles, de la surface à 25 cent. de profondeur	1,732	—
<i>Idem.</i> De 25 à 50 cent.	1,008	—
— De 50 à 75 —	0,765	—
— De 75 cent. à 1 mètr.	0,837	—
Terre de la Limagne d'Auvergne ¹	3,200	Payen.
— de Marville, près Saint-Denis	2,200	—
— maraîchère de Paris	4,970	—
— noire de Russie (Tchernoyten)	1,700	—
— bolbène de Toulouse	0,700	—
Terre du pré de la Catherine, à la Saulsaie, partie basse, de la surface à 20 cent. de profondeur	2,110	Pouriau.
<i>Idem.</i> Sous-sol, 25 à 50 cent.	0,975	—
Terre vierge de la Dombes, entrée de la pièce dite de la Grange, à la Saulsaie, de la sur- face à 20 cent. de profondeur	0,374	—
Terre du champ d'expérience, à la Saulsaie . .	0,673	—
Terre de la Douelle A (la Saulsaie)	0,709	—

¹ Les analyses de M. Payen ayant été faites avec de l'oxyde de cuivre, les

250. Dosage de l'azote minéral renfermé dans une terre. — Nous ne nous occuperons ici que de l'azote à l'état d'ammoniaque, nous réservant de consacrer un chapitre spécial au dosage de l'acide azotique contenu dans les engrais, les terres, etc.

Le dosage de l'ammoniaque d'une terre peut s'effectuer à l'aide de l'appareil représenté figure 106 ; seulement, le chauffage à la lampe à alcool, d'un mélange de terre et d'eau, offrant pour la cornue en verre encore plus de chance de casse qu'avec un engrais, il convient de substituer à la lampe un fourneau en terre, dans lequel on introduit des charbons incandescents.

251. Autre appareil. — On peut aussi remplacer l'appareil précédent par un autre représenté fig. 116, et qui se compose des parties suivantes :

B, ballon de 1 litre $\frac{1}{2}$ de capacité placé sur un fourneau en terre.

M, manchon en zinc, en fer-blanc ou en verre, fermé hermétiquement à chaque extrémité par les bouchons *b* et *b'*.

SS', tube qui traverse les deux bouchons et qui est recourbé en *s*.

r, tube qui s'adapte, d'une part, au col du ballon B, et qui se relie, de l'autre, au tube SS' par l'intermédiaire de la bague en caoutchouc *t*.

F, petit vase gradué destiné à recueillir, dans le réfrigérant M, le liquide distillé et condensé.

Un courant d'eau froide circule autour du tube SS' ; il entre par l'entonnoir *e* et sort par le tube courbé *o*.

252. Pratique de l'opération. — On introduit dans le ballon 50 à 100 gr. de terre préparée comme il est indiqué chap. XVI, on les délaye avec 400^{cc} d'eau dis-

chiffres obtenus représentent la *totalité* de l'azote renfermé dans les terres, y compris celui des nitrates.

tillée, exempte d'ammoniaque, et contenant 20 à 30^{cc} de la dissolution de potasse préparée comme il a été dit n^o 212; chaque pipette de 10^{cc} renfermant 2 déci-

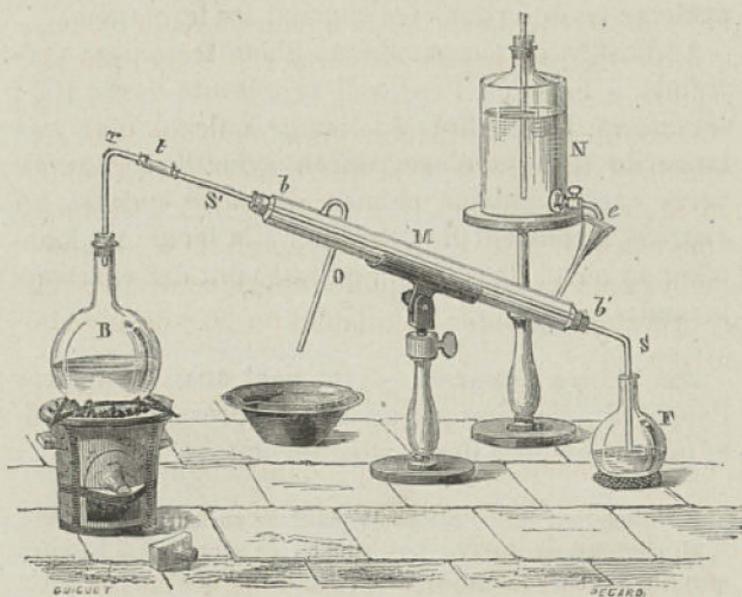


Fig. 116.

grammes d'alcali (KO, HO). On introduit d'autre part, dans la fiole F, 10^{cc} de la liqueur sulfurique décime et deux gouttes de teinture de tournesol.

Les diverses parties de l'appareil étant mises en communication, on place sous le ballon quelques charbons ardents, de manière à amener le liquide à l'ébullition.

Pour éviter toute chance de rupture du ballon, il importe de chauffer très-lentement le mélange de terre et d'eau alcalisée; on doit aussi, au commencement de l'opération, se tenir prêt à retirer du fourneau pres-

que tout le feu lorsque la liqueur, devenant mousseuse, menace de s'élever dans le tube *rs*.

Une fois l'ébullition en train, et la terre maintenue en suspension dans l'eau par les bulles de vapeur qui se dégagent, la sortie du liquide hors du ballon, ainsi que la rupture de ce dernier, ne sont plus à craindre.

On continue la distillation jusqu'à ce que l'on ait recueilli dans le vase F le quart du volume liquide contenu dans le ballon B, c'est-à-dire 105^{cc}. On substitue alors au vase F un vase semblable F', renfermant également 10^{cc} de liquide sulfurique décime, et on opère une seconde distillation de 50^{cc} de liquide environ.

Cette seconde distillation a pour but de s'assurer si la totalité de l'ammoniaque avait été dégagée dans la première opération, et si, pendant l'ébullition, il ne se forme pas d'ammoniaque aux dépens de l'azote organique de la terre.

Le dosage de l'ammoniaque dégagé s'effectue comme il a été dit n° 203.

253. Remarque. — Pour éviter toute chance de production d'ammoniaque aux dépens de l'azote organique de la terre, on peut substituer à la potasse, comme l'a conseillé M. Boussingault, la magnésie caustique obtenue en calcinant au rouge vif le carbonate de magnésie. Pour 100 gr. de terre, on introduit dans le ballon 2 à 3 gr. de magnésie.

254. Résultats analytiques.

Terre du champ d'expérience à la Saulsaie. Échantillon pris à 0^m,25 de profondeur avant la fumure, en octobre 1864, et desséché à l'air. Analyse faite le 22 juin 1865.

100 gr. de terre, 400 c. cub. d'eau distillée renfermant 1 décigr. de potasse à l'alcool.

Volume de liqueur sulfurique décime employé..	10 ^{cc} ,0
Premier volume distillé	100 ,0
Titre avant l'opération.....	14 ,0
— après —	12 ,7
	d. = 1 ^{cc} ,3

$$\text{AzH}^3 \dots\dots\dots = \frac{0^{\text{g}},017 \times 1,3}{14} = 0,0015.$$

Deuxième volume distillé., 80 c. cub., différence d. = 0.

Tout l'ammoniaque avait passé à la première distillation.

Deuxième expérience.

80 gr. de terre, 300 c. cub. d'eau renfermant 2 décigr. d'alcali.

Liqueur sulfurique décime.....	10 ^{cc} ,0
Premier liquide recueilli.....	80 ,0
Titre avant l'opération.....	11 ,6
— après —	11 ,0
	d. = 0 ^{cc} ,6

Deuxième liquide recueilli..... = 40 c. cub. d. = 0.

Tout l'ammoniaque avait passé dans la première distillation.

$$\text{Pour 80 gr. ammoniaque} \frac{0^{\text{g}},017 \times 0,6}{11,6} = 0,000879$$

$$\text{Pour 100 gr.} \dots\dots\dots 0,0011$$

Première analyse.....	0 ^g ,0015
Deuxième analyse.....	0 ,0011
Moyenne.....	0 ^g ,0013

D'où il résulte qu'un cube de cette terre, ayant 4 hectare de superficie, 25 centimètres de profondeur et 1,5 de densité, renfermait, au moment de la prise de l'échantillon, 45^k,500 d'ammoniaque tout formé, correspondant à 37^k,470 d'azote.

Si l'on retranche ce résultat de celui trouvé précédemment pour *l'azote total* renfermé dans la même terre, on a

Azote total.....	2357 ^k ,250
Azote des sels ammoniacaux..	37,470
Azote organique..... d. =	2319 ^k ,780

Ce résultat démontre, une fois de plus, quelle énorme disproportion il y a entre l'azote organique et l'azote minéral, et à quelle erreur on s'exposerait si l'on voulait juger de la fertilité d'une terre d'après *sa teneur* en azote, sans se préoccuper de la forme revêtue par ce corps.

Nous avons eu soin, en *Ch. inorg.*, n° 619, de distinguer l'azote immédiatement *assimilable* de l'azote *en réserve*, et les chiffres qui suivent démontrent toute l'importance de cette distinction.

255. Résultats analytiques.

TERRES.	POUR 1 KILOGR. DE TERRE DESSÉCHÉE A L'AIR.		
	AZOTE des matières orga- niques.	AMMONIAQUE tout formé.	
	gr.	gr.	
Terreau des maraîchers.....	16,503	0,118	
— neuf de Verrières.....	5,281	0,084	
Terre légère de Bischwiller.....	2,951	0,020	
— — du Liebfrauenberg.....	2,594	0,020	
— forte de Bechelbroun.....	1,397	0,009	
— d'un herbage d'Argentan (Orne)...	5,130	0,060	
Terres des rives de l'Amazone et de ses principaux af- fluents.	Rio Madeira.....	1,428	0,090
	Rio Trombetta... ..	1,191	0,030
	Rio Negro.....	0,688	0,038
	Près le lac Saracca..	1,820	0,042
	Plateau de Santarem.	6,490	0,083.
Rio Cupari.....	6,850	0,525	
Terre des îles du Salut.....	5,434	0,080	
— de la Martinique.....	1,118	0,055	
— du champ d'expérience (la Saulsaie).	0,672	0,013	
— de la Douelle A —	0,692	0,021	
— de la Grange —	0,368	0,008	
— du pré de la Catherine —	2,110	0,042	
— des prés Seigneur (Montluel).....	2,600	0,051	
— d'un étang de la Dombes (Villars)..	1,730	0,072	

Sauf les résultats relatifs aux terres de la Dombes, et que nous avons obtenus dans notre laboratoire, à la Saulsaie, tous les autres sont empruntés à M. Bous-singault.

256. Dosage de l'azote des composés azotés so-lubles renfermés dans une terre. — On commence par soumettre à la lixiviation un poids déterminé de terre, en opérant comme il est indiqué chapitre XVI.

On évapore à sec, au bain-marie et dans une capsule tarée, un volume déterminé de la lessive, et l'aug-

mentation du poids indique la proportion de matières solubles.

On brûle ensuite 1 gr. du résidu sec avec de la chaux sodée dans un tube à combustion (n° 204), on rapporte le résultat au volume total de la lessive, et on a, pour le poids de la terre employée, la totalité de l'azote, sauf celui des nitrates.

Dans l'évaporation à sec de la lessive, il y a bien une petite perte en azote due à la volatilisation du carbonate d'ammoniaque que la terre peut avoir cédé à l'eau; mais cette perte est si faible, en général, que l'on peut la considérer comme négligeable. Du reste, si l'on voulait écarter cette cause d'erreur, il suffirait d'ajouter à la lessive, au commencement de l'opération, quelques gouttes d'une dissolution étendue d'acide oxalique, et d'opérer comme s'il s'agissait d'un engrais pâteux ou liquide (n° 221).

257. Résultats analytiques.

Poids et richesse en azote de l'extrait abandonné à l'eau tiède par 1 kil. de trois terres faisant partie du domaine de la Saulsaie.

DÉSIGNATION DES TERRES ¹ .	POIDS de l'extrait sec à 100°.	AZOTE p. 100 de l'extrait sec sauf celui des nitrates.	AZOTE de l'extrait sec fourni par 1 kil. de terre.
	gr.	gr.	gr.
Douelle A.....	0,437	1,27	0,0017
Champ d'expérience.	0,115	1,50	0,0017
Terre de la Grange..	0,074	0,84	0,00062

En soumettant les terres du domaine de l'ancien

¹ Voir chap. XVI, les renseignements agronomiques relatifs à ces trois terres.

institut de Versailles à la lixiviation, MM. Verdeil et Risler ont obtenu des extraits secs dans lesquels la proportion d'azote pour cent s'est trouvée comprise entre 1,5 et 2.

Quant au dosage des nitrates renfermés dans les lessives de terre, il s'effectue comme il est indiqué chap. XIV.

258. Dosage de l'azote renfermé dans les marnes. — Les marnes, comme les terres arables, peuvent renfermer de l'azote sous plusieurs formes différentes :

1° *A l'état d'azote organisé.*

2° — *minéral* (ammoniaque et acide azotique).

259. Azote total, sauf celui des nitrates. — On opère absolument comme s'il s'agissait d'une terre (n° 247), seulement on prend 15 à 20 gr. de matière, en raison de la pauvreté habituelle des marnes en substance organique.

260. Azote minéral. — 1° *Ammoniaque.* — On prend au moins 100 gr. de matière, que l'on traite comme s'il s'agissait d'une terre (n° 250).

2° *Acide azotique.* — Le dosage des nitrates renfermés dans les marnes s'effectue comme il est indiqué chapitre XIV.

261. Résultats analytiques.

	Azote par kilogr.
Marnes tertiaires du marais d'Orx (Landes) ¹ , anciennes dunes, colline nord.....	0 ^e ,287
— — — sud.....	0 ,443
Marne très-calcaire, du calcaire lacustre, près de Dammartin (Seine-et-Marne) ²	0 ,120
Marne jaunâtre, plastique, partie supérieure du terrain de transport, rue Sainte-Élisabeth (Paris).....	0 ,180
Marne verte, argileuse, plastique, recouvrant le gypse tertiaire au mont Valérien.....	0 ,460
Marne grise, argilo-sableuse, micacée, 10 p. 100 de calcaire, du terrain nummulitique d'Ossun (Hautes-Pyrénées), renommée en agriculture.	0 ,580
Marne grisâtre, argilo-sableuse, 20 p. 100 de calcaire, très-renommée pour l'agriculture, de la craie supérieure de Laran (Hautes-Py- rénées).....	0 ,590

262. Prix des divers instruments ou appareils indiqués dans ce chapitre.

Voir les chapitres précédents.

¹ Nous avons dosé, en outre, dans 1 kilogramme de chacune de ces deux marnes :

	Ammoniaque.	Azotate de potasse.
Colline nord.	0 ^e ,016	0 ^e ,018
— sud.	0 ,041	0 ,005

² Les nombres qui suivent sont empruntés à M. Delesse.

CHAPITRE XIV

DOSAGE DE L'ACIDE AZOTIQUE CONTENU DANS LES TERRES, LES MARNES, LES ENGRAIS, LES EAUX MÉTÉORIQUES ET TERRESTRES, ETC.

Préliminaires. — Nous avons décrit dans les chapitres XII et XIII les méthodes à l'aide desquelles on peut doser l'azote contenu dans les végétaux, les engrais, les terres, etc., sous une combinaison autre qu'un nitrate; il nous reste maintenant à indiquer comment on peut effectuer l'analyse quantitative de l'acide azotique ou nitrique existant à l'état de sel dans les mêmes composés.

263. Base du procédé. — Le procédé de dosage que nous allons exposer dans ce chapitre repose sur une réaction indiquée il y a longtemps par M. Liébig, et qui consiste dans la décoloration du sulfate d'indigo par l'acide nitrique libre.

Expérience. — On prend un tube bouché par un bout (fig. 117) on y introduit 2^{cc} d'une dissolution renfermant 3 grammes d'azotate de potasse par litre, une goutte d'acide sulfurique concentré et pur, on colore le mélange très-faiblement avec du sulfate d'indigo, et on fait bouillir. On voit bientôt la teinte bleue s'affaiblir et disparaître ensuite.

C'est en mettant à profit cette réaction et en substi-

tuant l'acide chlorhydrique à l'acide sulfurique que M. Boussingault est arrivé à formuler une méthode

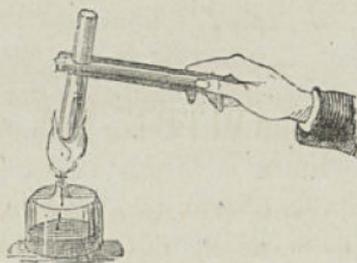


Fig. 117.

d'une sensibilité extrême non-seulement pour déceler les nitrates, mais encore pour les doser avec une grande exactitude dans les liquides où ils ne se trouvent qu'à des doses infiniment petites.

MÉTHODE DE M. BOUSSINGAULT POUR LE DOSAGE
DE L'ACIDE AZOTIQUE.

264. Préparation des réactifs. — 1^o *Purification de l'indigo.* — 25 grammes d'indigo du commerce réduits en poudre très-fine sont mis en digestion, à la température de 40 degrés, dans un demi-litre d'eau distillée. Vingt-quatre heures après, le liquide qui surnage est décanté et remplacé par un égal volume d'eau; on laisse digérer et on décante au bout du même temps.

On verse ensuite sur cet indigo, préalablement transvasé dans une capsule, 400^{cc} d'une liqueur formée de parties égales d'eau et d'acide chlorhydrique pur et fumant, on fait bouillir pendant une demi-heure à trois quarts d'heure, et après le refroidissement on

filtre. La matière insoluble est lavée à l'eau distillée chaude d'abord, froide ensuite, et on continue ces lavages jusqu'à ce que le liquide qui filtre soit incolore et neutre au papier de tournesol.

On place alors l'entonnoir sur un vase à précipité. On verse de l'éther sur l'indigo et on recouvre l'entonnoir d'une cloche afin de ralentir l'évaporation du dissolvant. Mais comme ce lavage exigerait une grande quantité de liquide étheré, on distille immédiatement l'éther coloré dans un appareil convenable, et on fait repasser le liquide distillé sur l'indigo.

On reconnaît que le lavage est suffisant quand l'éther qui filtre n'est plus que faiblement coloré en une teinte *franchement bleue*.

En opérant ainsi, nous avons obtenu de 25 grammes d'indigo brut, 41^g,5 d'indigo purifié et desséché à 100 degrés.

2° *Préparation de l'acide sulfo-indigotique.* — Sur 5 grammes d'indigo purifié et introduit dans un flacon bouchant à l'émeri, on verse peu à peu 25 grammes d'acide sulfurique de Nodhausen, et on laisse ensuite le mélange en digestion pendant deux ou trois jours, dans une étuve dont on maintient, pendant le jour seulement, la température à 50 ou 60 degrés.

C'est avec le produit visqueux et d'un bleu intense qui résulte de ce traitement que l'on prépare les teintures destinées au dosage de l'acide azotique.

3° *Purification de l'acide chlorhydrique.* — L'acide chlorhydrique désigné comme pur dans les laboratoires contient quelquefois certains principes tels que du chlore ou des produits nitreux capables de détruire la teinture d'indigo.

Pour expulser ces produits, on introduit l'acide dans

un ballon, et on le fait bouillir jusqu'à ce qu'il ait perdu à peu près le cinquième de son volume.

Pour purifier l'acide chlorhydrique du commerce, on introduit dans un ballon de deux litres de capacité un litre de cet acide, on adapte au col du ballon un tube courbé deux fois à angle droit et dont la seconde branche descend jusqu'au fond d'un flacon placé dans une terrine pleine d'eau, et dans lequel on a mis préalablement un peu d'eau distillée. On distille environ les deux tiers du liquide, on transvase dans un ballon l'acide recueilli et on le fait bouillir pendant quelques minutes.

265. Préparation des teintures d'indigo. — M. Bousingault indique de préparer trois sortes de teinture dont l'intensité de la couleur bleue est en rapport avec les quantités d'acide azotique que l'on se propose de doser.

Les trois teintures s'obtiennent avec l'acide sulfo-indigotique obtenu n° 264, 2° et dont on met :

Pour la 1^{re} teinture A, 200 gouttes dans 100^{cc} d'eau distillée.

Pour la 2^e teinture B, 20 gouttes dans 100^{cc} d'eau distillée.

Pour la 3^e teinture C, 2 gouttes dans 100^{cc} d'eau distillée.

Et l'on peut doser :

Avec la 1^{re}, 0^g,01 à 0^g,02 d'azotate de potasse.

— la 2^e, 0^g,001 à 0^g,002 —

— la 3^e, 0^g,0001 à 0^g,0003 —

La première teinture suffit pour les recherches qui n'exigent pas une grande précision.

On peut employer avec avantage pour préparer ces

teintures un petit appareil appelé *compte-gouttes* (fig. 118). Il se compose essentiellement d'un petit



Fig. 118.



Fig. 119.

ballon muni d'une tubulure latérale qui laisse écouler le liquide goutte à goutte.

Pour que le poids des gouttes soit rigoureusement comparable, il faut avoir soin de ne remplir le flacon qu'au quart de sa capacité.

266. Instruments nécessaires pour effectuer les dosages d'acide nitrique. — 1° Des tubes à réaction de 14 à 15 cent. de longueur, 1^c,5 de diamètre et en verre peu épais. On chauffe le liquide qu'ils contiennent à la lampe à alcool, en les tenant avec une pince en bois (fig. 117).

2° Des pipettes graduées dont deux ou trois divisées en cent. cubes et demi-cent. cubes (fig. 65).

3° Des burettes graduées divisées en dixièmes (voy. chap. V, n° 67).

4° Des verres à pied au fond desquels on met un petit tampon de papier ou de filasse destiné à supporter les tubes d'essai pendant les opérations (fig. 119).

267. Détermination du titre des teintures d'indigo. — Le problème à résoudre consiste à déterminer quel est le volume de teinture d'indigo qu'un poids connu d'azotate de potasse peut décolorer

sous l'influence de l'acide chlorhydrique. Pour titrer les trois teintures d'indigo précédemment indiquées (n° 265), il faut avoir trois dissolutions de nitrate de potasse pur renfermant :

- 1° Dissolution A, 1 gr. dans 200^{cc} ou 1^{cs} dans 2^{cc}.
- 2° Dissolution B, 0^s,4 dans 200^{cc} ou 4^{mg} dans 2^{cc}.
- 3° Dissolution C, 0^s,01 dans 200^{cc} ou 0^{mg},1 dans 2^{cc}.

Les trois dissolutions A, B, C correspondent aux trois teintures d'indigo désignées par les mêmes lettres (n° 265).

Supposons qu'il s'agisse de titrer la teinture d'indigo B, destinée à doser 1 à 2 milligr. d'azotate de potasse.

On mesure avec une pipette 2^{cc} de la liqueur B d'azotate de potasse renfermant pour ce volume 1 millig. de salpêtre, et on les introduit dans le tube d'essai. D'autre part, on remplit la burette divisée en dixièmes avec la teinture d'indigo que l'on veut titrer.

On concentre à l'œil dans le tube d'essai (fig. 120) les

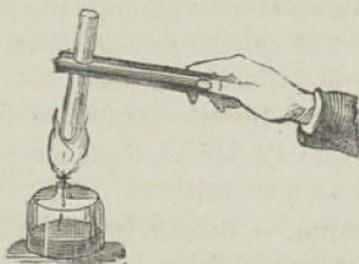


Fig. 120.

deux cent. cubes jusqu'à réduction à moitié, puis on ajoute un demi-cent. cube d'acide chlorhydrique, et

immédiatement après on fait tomber, de la burette dans le tube, quelques gouttes de teinture, de manière à communiquer au liquide une teinte bleue.

On chauffe, et si la décoloration a lieu immédiatement, on ajoute plusieurs gouttes de teinture. Quand la décoloration n'est plus instantanée, on concentre la liqueur par l'ébullition, et on ajoute de la teinture chaque fois qu'elle vire au *jaune*.

Chaque addition de teinture doit ramener le liquide au *vert bleuâtre*. Si, après une nouvelle addition de teinture, l'ébullition ne fait pas disparaître la prédominance du bleu en ramenant le liquide au *vert*, il faut alors ajouter un demi-cent. cube d'acide chlorhydrique et chauffer de nouveau. Cette addition d'acide fait souvent repasser la liqueur au *jaune* ou tout au moins au *vert jaunâtre*. On verse alors de la teinture d'indigo de façon à faire reparaître le ton vert bleuâtre, et l'on fait bouillir de nouveau jusqu'à ce que la prédominance du bleu disparaisse.

Si le bleu persiste, on ajoute un troisième demi-cent. cube d'acide chlorhydrique, on chauffe, et l'on finit par obtenir une teinte permanente *vert de chrome*.

La teinte vert de chrome persistante est l'indice de la destruction totale de l'acide nitrique.

On lit alors sur la burette le nombre de divisions de liqueur bleue que l'acide azotique de 1 milligr. d'azotate de potasse a détruit.

268. Remarque. — Quand, par l'ébullition, la concentration et enfin l'addition d'un nouveau demi-cent. cube d'acide chlorhydrique, le *vert de chrome* persiste sans changer de teinte, on est en droit de conclure que l'acide nitrique était déjà détruit quand on a fait la dernière addition de teinture et que, par conséquent,

cette addition correspond à un excès qu'il faut retrancher. On parviendra facilement à effectuer cette correction en déterminant par avance le nombre de divisions de la burette que représente une goutte de teinture. Dans telle burette, à tube très-capillaire, une division correspond à deux ou trois gouttes; dans telle autre à tube plus gros, une goutte représente exactement une division.

269. Exemple d'une prise de titre.

2 c. cub. contenant 1 milligr. d'azotate de potasse ont détruit :

Teinture B.....	26 div.
Correction pour la teinture en excès (1 goutte).....	1
Teinture.....	25 div.

Chaque division de teinture représente :

$$\text{Azotate de potasse....} \quad \frac{1 \text{ milligr.}}{25} = 0^{\text{mg}},040$$

$$\text{Acide azotique.....} \quad \frac{0^{\text{mg}},534}{25} = 0^{\text{mg}},0213.$$

(1 en poids d'azote de potasse correspond à 0,534 d'acide azotique anhydre.)

M. Boussingault a fait observer que la teinture forte d'indigo (A) ne pouvait guère être employée à doser plus de 0^g,03 de nitrate de potasse à cause de la couleur foncée que prend le liquide dans le tube, et qui empêche de saisir le moment exact où se produit la teinte vert chrome persistante. Le procédé convient donc surtout pour le dosage de faibles quantités de nitrates qui échapperaient aux autres moyens d'analyses; et, quand on veut l'appliquer à des liquides plus riches en acide azotique, il faut commencer par les étendre convenablement.

270. Influence des matières organiques sur ce procédé de dosage. — Quand les liquides dans lesquels on veut doser l'acide azotique renferment de la matière organique soluble, le procédé tel que nous venons de le décrire cesse d'être exact.

Le sucre, le glucose, la dextrine, la gomme, la gélatine agissent tout aussi défavorablement, tandis que l'acide acétique, les acétates, les acides tartrique, oxalique, les sels ammoniacaux ne modifient en aucune façon l'exactitude du procédé.

M. Boussingault explique l'influence défavorable de certaines substances organiques comme il suit :

Quand une matière de nature combustible se trouve en présence d'un nitrate et d'un grand excès d'acide chlorhydrique, l'eau régale qui se forme dans cette circonstance réagit de préférence sur la matière organique, et la brûle sans attaquer l'indigo, ou bien cette eau régale attaque à la fois l'indigo et la matière organique, et, dans les deux cas, le dosage exact de l'acide azotique devient impossible.

271. Procédé pour annuler cette cause d'erreur. — Pour écarter cette cause d'erreur, M. Boussingault a imaginé de brûler préalablement le carbone et l'hydrogène de la matière organique par de l'*oxygène naissant* plus actif que celui de l'acide azotique, et fourni par la réaction de l'acide sulfurique sur le peroxyde de manganèse.

Du manganèse à employer. — Le peroxyde de manganèse, et particulièrement celui en poudre, est bien rarement exempt de nitrates; il faut donc commencer par purifier cette matière.

A cet effet, on prend du manganèse de Giessen en morceaux, on le pulvérise, on le fait digérer à plu-

sieurs reprises dans de l'eau distillée; on le sèche et on le conserve dans un flacon. Mais comme il est rare d'obtenir, même après ces lavages, un oxyde entièrement dépouillé de nitrates, il est prudent d'exécuter une expérience *à blanc* avec les mêmes quantités de manganèse et d'acide sulfurique pur que celles que l'on doit employer dans les dosages; l'acide dosé dans cette opération indique la correction constante que l'on doit appliquer aux résultats.

272. Pratique de l'opération. — On introduit dans une petite cornue *c* de 40 à 50^{cc} de capacité (fig. 121),

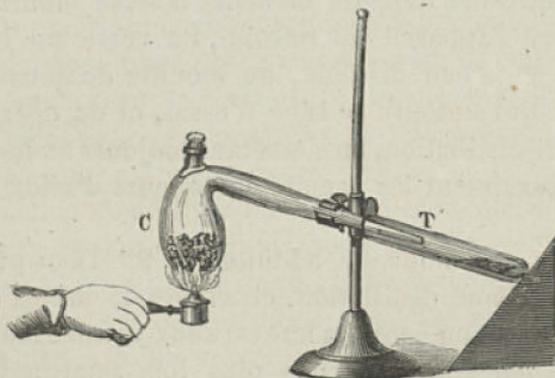


Fig. 121.

et bouchant à l'émeri, 1 gr. de peroxyde de manganèse¹ lavé et desséché, et ensuite le volume connu (2 à 3^{cc} par exemple) du liquide préalablement concentré et dans lequel on veut doser l'acide azotique.

On remplit la moitié de la capacité de la panse de la cornue avec des fragments de verre, lavés d'abord

¹ On peut, une fois pour toutes, mesurer dans un tube fermé par un bout le volume occupé par 1 gr. de peroxyde de manganèse pulvérisé et lavé, et éviter ensuite de peser à chaque opération.

à l'eau distillée, et séchés ensuite à une température voisine du rouge sombre.

On prend comme récipient un tube d'essai T, dans lequel on engage le col de la cornue, et que l'on entoure d'un papier collé et imbibé d'eau : on fait tomber 4^{cc} d'acide sulfurique sur les fragments de verre, et, pendant que l'acide coule, on bouche immédiatement la cornue.

On procède alors à la distillation du liquide en chauffant la cornue au pourtour du fond, afin d'éviter les soubresauts, et on s'arrête aussitôt que l'on voit apparaître des vapeurs blanches d'acide sulfurique.

Quand l'appareil est refroidi, on verse sur le mélange 2^{cc} d'eau distillée, on mouille de nouveau le papier qui entoure le tube d'essai, et on opère une seconde distillation, en s'arrêtant toujours au moment où apparaissent les premières vapeurs d'acide sulfurique.

Après une nouvelle addition de 2^{cc} d'eau pure et une troisième distillation, on enlève le tube d'essai ; on ajoute à son contenu une ou deux gouttes d'ammoniaque *pur* (nous verrons plus loin pourquoi), on concentre le liquide à la lampe jusqu'à réduction à un volume de 2^{cc} au plus, et on effectue le dosage de l'acide azotique avec la liqueur d'indigo.

273. Dosage de l'acide azotique dans une terre arable, une marne, une substance terreuse quelconque. — Nous supposons d'abord qu'il s'agit d'une terre arable. On prend 50 à 400 gr. de l'échantillon moyen de la terre préparée comme il est indiqué au chapitre XVI, Analyse chimique des terres arables.

On les introduit dans un flacon à large ouverture et

bouchant à l'émeri, on ajoute un poids d'eau égal à celui de la terre, on agite le mélange et on laisse en digestion. Au bout d'une heure ou deux, on jette sur un filtre, et c'est sur un volume déterminé du liquide filtré et convenablement concentré que l'on effectue le dosage de l'acide azotique, en suivant les indications renfermées dans les paragraphes précédents. Mais il peut se présenter dans cette opération diverses circonstances, pour chacune desquelles M. Boussingault a donné des prescriptions spéciales que nous allons résumer ici.

1° Si le liquide séparé de la terre par filtration est incolore ou faiblement coloré après la concentration, l'acide nitrique doit être dosé directement par la teinture d'indigo, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à l'emploi du peroxyde de manganèse et de l'acide sulfurique;

2° Si la solution aqueuse est colorée, on substitue l'alcool à 80° centésimaux à l'eau distillée, et on laisse la terre en digestion dans ce liquide pendant quelques heures. On jette sur un filtre disposé sous une petite cloche, afin de prévenir l'évaporation; on étend d'eau la liqueur et on concentre.

Si, après la concentration, le liquide obtenu est peu ou point coloré, le dosage de l'acide azotique doit encore avoir lieu directement.

3° Si la solution alcoolique donne, après concentration, un liquide coloré; ou bien si, après avoir obtenu une solution aqueuse colorée, on ne veut pas employer l'alcool, il faut alors avoir recours à l'intervention de l'oxygène naissant produit, en faisant réagir l'acide sulfurique sur le peroxyde de manganèse; mais ce traitement est rarement indispensable.

Les détails qui précèdent sont entièrement applicables aux marnes, ainsi qu'à toutes les autres matières terreuses.

274. Dosage de l'acide azotique dans les engrais.

— Les engrais terreux, généralement pauvres en matière organique soluble, doivent être traités comme les terres et les marnes.

Quant aux autres engrais pouvant abandonner à l'eau une proportion plus ou moins grande de matière organique azotée ou non azotée, on devra, de préférence, les mettre en digestion dans l'alcool pendant plusieurs heures, et avoir recours à l'oxygène naissant toutes les fois que la solution alcoolique donnera, après concentration, un liquide notablement coloré.

275. Divers modes de concentration des liquides dans lesquels on se propose de doser l'acide azotique. — 1° Quand on a affaire à une lessive aqueuse de terre, de marne, etc., dont le volume est considérable, la concentration du liquide s'effectue comme pour les eaux météoriques ou terrestres (n° 281);

2° S'il s'agit d'un volume liquide de 50 ou 100^{cc} obtenu en traitant la matière terreuse par l'eau distillée ou l'alcool, comme il a été dit n° 273, voici comment il convient d'opérer :

a. Si c'est une dissolution aqueuse assez colorée pour que l'on juge nécessaire d'avoir recours à l'emploi de l'oxygène naissant, on mesure avec une pipette 40^{cc} de la liqueur filtrée, on les introduit dans la cornue de l'appareil (fig. 421), et on les concentre en laissant la tubulure ouverte, afin de favoriser l'évaporation.

Quand le liquide est réduit à 3^{cc} environ, on laisse refroidir, on introduit dans la cornue 1 gramme de

peroxyde de manganèse, les fragments de verre, 4^{cc} d'acide sulfurique, et l'on continue l'opération comme il a été dit précédemment.

b. Si l'on a une dissolution aqueuse ou alcoolique très-peu colorée, la concentration se fait directement dans le tube d'essai.

Pour la dissolution aqueuse, on introduit dans ce tube un volume de 40^{cc}, on le concentre jusqu'à réduction de 2^{cc}, et l'on procède ensuite au dosage de l'acide azotique.

Pour la dissolution alcoolique, on met d'abord dans le tube 5^{cc} de la liqueur et 2^{cc} d'eau, et l'on concentre jusqu'à ce que le volume soit réduit à 2^{cc}. On répète ensuite cette même opération une seconde fois, et on effectue ensuite le dosage.

Si, après concentration dans le tube d'essai, la dissolution alcoolique était notablement colorée, il serait nécessaire de vérifier le premier dosage par un second, effectué avec le concours de l'oxygène naissant. A cet effet, on mesurerait 40 autres c. cub. de la solution alcoolique, que l'on introduirait dans la cornue, avec 40^{cc} d'eau distillée; on concentrerait jusqu'à réduction à un volume de 3^{cc}, en laissant la tubulure ouverte, et l'on continuerait le dosage comme à l'ordinaire.

276. Influence des chlorures sur le dosage de l'acide azotique. — Les terres, les marnes, les engrais traités par l'eau ou l'alcool aqueux peuvent abandonner à ces liquides des *chlorures* en même temps que des nitrates.

Or, si par suite de la coloration des solutions on a recours à l'emploi de l'oxygène naissant, ces chlorures donnent, avec l'oxyde de manganèse et l'acide

sulfurique, du *chlore*, qui, se retrouvant dans le liquide distillé, peut rendre inexact le dosage de l'acide azotique, en réagissant sur une partie de l'indigo.

Dans la majorité des cas, il suffira, pour faire disparaître cette cause d'erreur, d'ajouter à tout liquide distillé quelques gouttes d'*ammoniaque pur*, et de faire bouillir dans le tube d'essai, afin de chasser l'excès d'alcali. Quand le liquide sera suffisamment concentré, on procédera au dosage de l'acide azotique, comme à l'ordinaire.

Si les solutions renfermaient une forte proportion de chlorures, il serait nécessaire d'éliminer préalablement le chlore avant de procéder au dosage de l'acide azotique; mais cette circonstance ne se présentant guère que dans l'analyse de l'eau de mer ou des eaux minérales, nous ne nous y arrêterons pas pour le moment.

277. Applications numériques.

I

Dosage de l'acide azotique renfermé dans 1 kilogramme de la terre vierge de la Grange (domaine de la Saulsaie).

La liqueur d'indigo employée était la teinture C, la plus faible. Une division de la burette correspondait à :

Azotate de potasse.....	0 ^{mg} ,005
Acide azotique.....	0 ,0026

100 gr. de terre convenablement préparée et desséchée à l'air ont été mis en digestion avec 100 c. cub. d'eau distillée pendant trois heures. Le liquide obtenu par filtration étant à peine coloré, on en a mis 10 c. cub. dans le tube d'essai, et on les a réduits à 2 c. cub. par évaporation, après quoi on a procédé au dosage de l'acide azotique.

Liqueur bleue consommée pour obtenir le vert émeraude.	53 div.
Correction pour la teinte verte.	2
<hr/>	
Teinture décolorée.	51
Azotate de potasse pour 10 c. cub. $0^{\text{mg}},005 \times 51 = 0^{\text{mg}},2550$	
Acide azotique. $0,0026 \times 51 = 0,1326$	
Pour 100 gr. de terre ou 100 c. cub. de solution.	$= 2,550$
— — — — —	$.. = 1,326$

La terre renfermait donc par kilogramme :

Azotate de potasse.	$25^{\text{mg}},50$
Acide azotique.	$13,26$

II

Dosage de l'acide azotique renfermé dans 1 kilogramme de la terre du champ d'expérience de l'école de la Saulsaie.

La liqueur d'indigo employée était la teinture B, titrée n° 269. Une division de la burette correspondait à :

Azotate de potasse.	$0^{\text{mg}},040$
Acide azotique.	$0,0213$

100 gr. de terre convenablement préparée et desséchée à l'air ont été mis en digestion avec 100 c. cub. d'eau distillée pendant trois heures. Le liquide obtenu par filtration étant notablement coloré, on en a mesuré 20 c. cub., qui ont été introduits dans la cornue de l'appareil distillatoire et réduits à un volume de 4 c. cub. environ. On a ajouté ensuite l'oxyde de manganèse, les fragments de verre, l'acide sulfurique, et on a procédé à la distillation comme il a été indiqué n° 272.

On a ajouté au liquide distillé renfermé dans le tube d'essai deux à trois gouttes d'ammoniaque exempt de nitrate, on a fait bouillir pour réduire le volume à 2 c. cub., et on a procédé ensuite au dosage.

Liqueur bleue consommée pour obtenir le vert émeraude.	27 div.
Correction pour la teinte verte.	1
<hr/>	
Teinture décolorée.	26

Azotate de potasse pour 20 c. cub...	0,04	×	26	=	1 ^{mg} ,0400
Acide azotique.....	0,0213	×	26	=	0,5538
Pour 100 grammes de terre ou pour					
100 c. cub. de solution.....				=	5,200
— —				=	2,769

La terre renfermait par kilogramme :

Azotate de potasse....	52 ^{mg} ,00
Acide azotique.....	27,69

278. Acide azotique évalué en azotate de potasse renfermé dans 1 kilogr. de diverses matières terreuses séchées à l'air.

Anciennes nitrrières de la Touraine.....	8 à 10 gr.
Terre d'une bergerie, trois ans de séjour.....	8 ^g ,652
— — — quatre —	21,115
— d'une étable à bœufs.....	8,446
— d'un cimetière.....	23,341
Terreau des maraîchers.....	1,071
— neuf de Verrières.....	0,940
Terre légère de Bischwiller.....	1,526
— du Liebfrauenberg.....	0,175
— forte de Bechelbronn.....	0,015
— d'un herbage d'Argentan (Orne).....	0,046
— des rives de l'Amazone et de ses	} minimum .. 0,000
principaux affluents.	
— des îles du Salut.....	0,643
— de la Martinique.....	0,086
— de la Douëlle A (la Saulsaie).....	0,002 P ¹
— du champ d'expérience (la Saulsaie).....	0,052 P
— vierge de la Grange.....	0,025 P
Plâtras d'un vieux mur extérieur (Liebfrauenberg)..	0,295
Marne de la Chaise (Loiret).....	0,0037
— restée en tas pendant trois ans..	0,0100
— de la butte Saint-Chaumont, près Paris.....	0,0151
Craie de Meudon (galerie supérieure).....	0,0094

¹ Les résultats marqués d'un P nous sont personnels; les autres appartiennent à M. Boussingault.

Plâtre de Montmartre (couche inférieure mouillée par infiltration).....	0 ^e ,1400
— échantillon pris à l'intérieur du bloc.....	0,0082
Six autres échantillons de plâtre, mêmes carrières..	0,0000
Marnes tertiaires du marais d'Orx (Landes), anciennes dunes. Colline nord.....	0,018 P
— sud.....	0,005 P
—————	
Guano des îles Galapajos (équateur).....	30,00
— — Jarvis (océan Pacifique).....	5,00
— — Baker —	3,20
— terreux des côtes du Chili.....	6,33
— —	2,34
— blanc du Pérou.....	2,75
— du Pérou (sans doute mélange de guano du Chili).....	4,70
— des îles Chincha, abandonné à l'air depuis plusieurs années.....	1,10
— de chauves-souris d'une grotte des Pyrénées.	20,00

279. Dosage de l'acide azotique dans les plantes. — Le plus souvent, pour des plantes telles que les tiges de maïs, les plants d'orties, etc., il suffit de traiter les matières desséchées par l'alcool à 80° centigr.; de prendre, après une digestion de plusieurs heures, un volume connu de la solution obtenue par filtration sous une cloche ou par décantation; d'ajouter de l'eau et de concentrer dans la petite cornue (fig. 121), puis de terminer le dosage comme il a été dit ci-dessus.

Mais quand il s'agit de plantes comme le tabac, où des matières organiques se trouvent mêlées à de faibles proportions de nitrates, l'opération est plus compliquée, et nous engageons ceux de nos lecteurs qui

voudraient des détails plus complets sur cette question à consulter l'ouvrage de M. Boussingault, t. II, p. 307.

280. Dosage de l'acide azotique dans les eaux météoriques et terrestres. — Les eaux météoriques ou terrestres dans lesquelles on se propose de doser l'acide nitrique doivent préalablement être amenées à un degré de concentration convenable par évaporation.

281. Évaporation des eaux. — On introduit dans une capsule de porcelaine un volume déterminé d'eau, et on y ajoute quelques gouttes d'une solution de carbonate de potasse pur, contenant 4 gr. de ce sel dans 100 c. cub., afin de transformer en nitrate de potasse le nitrate d'ammoniaque qui pourrait être décomposé partiellement pendant la concentration.

Ce carbonate de potasse, qui doit être tout à fait exempt de nitrate, se prépare en brûlant du tartrate acide de potasse dans une capsule de platine.

On commence l'évaporation au bain de sable, en ayant soin de ne pas faire bouillir, et on l'achève au bain-marie.

On verse alors sur le résidu sec 4^{cc} d'eau distillée, et après quelques minutes de digestion on introduit le liquide, ordinairement coloré par de la matière organique soluble, dans la cornue de l'appareil (fig. 121), et qui contient déjà 4 gramme de peroxyde de manganèse. On remplit la moitié de la panse avec des fragments de verre, on fait tomber 4^{cc} d'acide sulfurique, on bouche la cornue et on distille. On ajoute dans la capsule 2 autres c. cub. d'eau distillée, on les transvase dans la cornue refroidie, et on opère une seconde distillation.

On répète cette opération une troisième fois, après quoi on lave directement par distillation le contenu de la cornue avec 2^{cc} d'eau distillée.

Après ces quatre distillations successives, le tube d'essai T qui sert de récipient renferme environ 10^{cc} de liquide; on y ajoute 2 à 3 gouttes d' AzH^3 , on concentre jusqu'à réduction du volume à 2^{cc}, et on opère ensuite le dosage de l'acide azotique comme à l'ordinaire.

282. Remarque. — Certaines eaux, telles que celles des puits placés dans le voisinage des habitations, renferment souvent une proportion de nitrate assez considérable pour que l'on puisse effectuer le dosage de l'acide nitrique sur un très-petit volume de liquide.

A cet effet, on introduit directement dans la cornue 10 à 15^{cc} de l'eau à analyser, on ajoute quelques gouttes de dissolution de carbonate de potasse, on concentre jusqu'à réduction à 2 ou 3^{cc}, en laissant la tubulure ouverte; enfin, on distille en présence de l'oxyde de manganèse et de l'acide sulfurique, etc.

283. Eau de mer, eaux minérales, etc. — L'eau de mer, certaines eaux minérales renferment une proportion de chlorures telle, qu'il est nécessaire d'éliminer le *chlore* avant de procéder au dosage de l'acide nitrique.

On peut effectuer cette élimination en versant peu à peu dans l'eau du sous-acétate de plomb dissous, de manière à n'en mettre qu'un léger excès. On filtre, on lave le précipité, et on ramène par évaporation le liquide au volume primitif.

On peut alors en prendre une fraction déterminée que l'on évapore à sec au bain-marie, et que l'on traite ensuite comme il a été dit (n° 281).

Le chlorure de plomb n'étant pas absolument insoluble dans l'eau, ce composé donne naissance à un peu de *chlore* quand on arrive au traitement de l'eau concentrée par le peroxyde de manganèse et l'acide sulfurique. Mais, comme l'a fait observer M. Bous-singault, l'action de cette petite quantité de chlore sur l'indigo est annulée par l'ammoniaque que l'on ajoute dans le liquide distillé avant de le concentrer dans le tube d'essai. M. Boussingault a également reconnu, par des expériences directes, que lorsqu'on ajoute du sous-acétate de plomb dans un liquide renfermant un nitrate alcalin, dans le but d'éliminer le chlore, il convenait de détruire d'abord les carbonates, parce que le carbonate de plomb qui prend naissance en même temps que le chlorure entraîne et retient de l'acide nitrique.

Si les carbonates sont alcalins, on fait réagir l'acide acétique; si l'on a affaire à du carbonate de chaux dissous par du gaz carbonique, on fait bouillir.

Les autres sels insolubles de plomb ne diminuent pas sensiblement la proportion de nitrates contenue dans une dissolution.

284. Résultats analytiques obtenus par divers expérimentateurs. — Eaux météoriques, pluies, neiges, grêles, brouillards, rosées.

	MILLIGRAMMES d'acide azotique par litre.	STATIONS.	AUTEURS.
1851. Eaux pluviales.....	13,600	Paris.	Barral.
1853. —	1,000	Lyon.	Bineau.
— —	3,200	Fort Lamotte (près Lyon).	—
1855. —	1,400	La Saulsaie.	Pouriau.
1856 et 1857 (Eaux pluviales, juill. à nov.) — maximum.	0,184	Liebfrauenberg.	Boussingault.
1857. Neige.....	0,423	—	—
— Neige (6 chutes)....	0,32 à 3,87	Paris.	—
1858. Grêle (eau de fusion).	0,83	—	—
1857. Brouillards	0,39 à 1,83	Liebfrauenberg.	—
— Brouill. très-épais...	10,4	Paris.	—
— Rosées recueillies sur des terrines ou au pluviomètre.....	0,05 à 0,39	Liebfrauenberg.	—
— Rosées recueillies sur des plantes.....	0,068 à 0,274	—	—
— Gelée blanche.....	0,576	—	—

285. Eaux terrestres.

	ACIDE AZOTIQUE PAR MÈTRE CUBE.	AUTEURS.
Lacs et étangs du Bas-Rhin et du Haut-Rhin (5 analyses)..	0 ^g ,1 à 0 ^g ,8	Boussingault.
Fleuves et rivières (36 analys.).	0 ^g ,3 à 11 ^g ,3	—
Sources (25 analyses).....	depuis des trac. jusq. 330 ^g ,3	—
Puits de Paris (35 analyses)...	82 ^g à 1183	—
Eaux de drainage.....	74 ^g ,6	Barral.
<i>Idem</i> (moyenne de 7 analyses).	121 ^g ,0	T. Way.
<i>Idem</i> (moyenne de plusieurs analyses à la Saulsaie, 1862.	62 ^g ,3	Pouriau.

**286. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

Compte-gouttes Salleron.....	1 fr. 50 c.
Tubes bouchés de 15 centim. de longueur, la pièce	0 60
Cornue tubulée et bouchée à l'émeri.....	0,60 à 0,80
Support de l'appareil n° 272.....	3 fr. 50
Pipettes graduées (voir n° 79)	
Porte-tubes à essais garni de 12 tubes.....	5 00
Pince pour tubes d'essais,	1 25

CHAPITRE XV

ANALYSE DES TERRES ARABLES. — ANALYSE MÉCANIQUE.

287. Préliminaires. — Les terres arables sont formées d'éléments inorganiques et organiques.

Les matières minérales des terres proviennent toutes de la décomposition des roches qui forment la masse solide de notre globe; les éléments organiques constituent la substance désignée ordinairement sous le nom d'*humus* ou *terreau* (*Ch. org.*, p. 43).

Au point de vue analytique on peut établir dans les terrains agricoles les divisions suivantes :

1° *Le sol actif* ou *la terre végétale*, partie superficielle mêlée de terreau, remuée par les labours, soumise aux influences atmosphériques, et dans laquelle se passent les phénomènes de la végétation.

2° *Le sous-sol*, couche sur laquelle repose la terre végétale entamée par les façons culturales.

Souvent, surtout dans les pays de montagnes, le sous-sol a la même composition que le sol; il ne diffère alors de ce dernier que par sa pauvreté en humus et son manque d'ameublissement. Au contraire, dans les plaines, ces deux couches diffèrent quelquefois très-notablement sous le rapport de la composition minérale.

Or, lorsqu'on se propose de faire l'analyse d'une

terre arable, il est nécessaire de prendre des échantillons *moyens* des deux couches que nous venons d'indiquer, afin de faire porter l'examen analytique sur chacune de ces parties.

288. Prise et préparation de l'échantillon moyen de terre destiné à l'analyse. — Quand la pièce de terre qui doit être soumise à l'analyse paraît avoir une composition identique sur toute son étendue, voici comment il convient d'opérer :

On se munit d'une toile de plusieurs mètres carrés et d'une bêche, et l'on choisit dans le champ un certain nombre de places, 5 à 6 par hectare, sur lesquelles on prend les échantillons partiels destinés à constituer par leur mélange l'*échantillon moyen* destiné à l'analyse.

Il est essentiel que les places choisies soient dénudées et non couvertes d'herbes ou de débris de récoltes.

La toile étant étendue sur le champ, on découpe en chaque endroit un petit parallépipède de terre ayant pour hauteur la profondeur du *sol actif*, et dont le poids total représente environ 1000 à 1500 gr.

Chaque échantillon partiel ayant été jeté sur la toile, on en fait un mélange intime à la bêche, et on prélève sur la masse un *échantillon moyen* de dix à douze kilogr. que l'on enferme dans un ou plusieurs sacs en toile serrée. La toile ayant été secouée et débarrassée de la terre, on recommence la même opération pour la couche située au-dessous du sol actif, c'est-à-dire pour le sous-sol.

289. Remarque. — Il peut arriver que, sur une même pièce de terre, la nature du sol varie à de petites distances : il est alors indispensable de multi-

plier les prises d'échantillons partiels, et de ne mélanger ensemble que les tranches de terre fournies par les parties du champ qui ont sensiblement le même aspect.

290. Analyse mécanique et analyse chimique. — L'analyse des terres arables comprend deux séries d'opérations essentiellement distinctes et qui correspondent, l'une à l'analyse mécanique, l'autre à l'analyse chimique de ces terres.

L'analyse mécanique a pour objet l'étude de l'état physique des divers éléments constitutifs d'un sol : c'est par elle que l'on arrive à déterminer la proportion de *gravier*, de *sable*, de *matière ténue*, de *débris organiques* qu'il renferme, et à juger de leur état de division.

L'analyse chimique consiste à déterminer la composition et la proportion des divers éléments renfermés dans la terre. C'est pour cette seconde opération qu'il est nécessaire de prélever un échantillon moyen de terre d'environ 10 kilogr. (voir chap. suivant). Nous commencerons, dans ce chapitre, par nous occuper de l'analyse mécanique.

ANALYSE MÉCANIQUE D'UNE TERRE.

291. Opérations préliminaires. — 1^o *Dessiccation.* — Avant de soumettre à l'analyse mécanique les échantillons de terre, il convient de les ramener préalablement à un degré de dessiccation constant afin que les résultats fournis par l'analyse soient comparables entre eux.

On peut opérer cette dessiccation de plusieurs manières :

A l'air et à l'ombre ou à l'air et au soleil.

Dans une étuve.

A la température de 400 degrés à l'aide d'un bain-marie.

La dessiccation au bain-marie s'opère à l'aide de

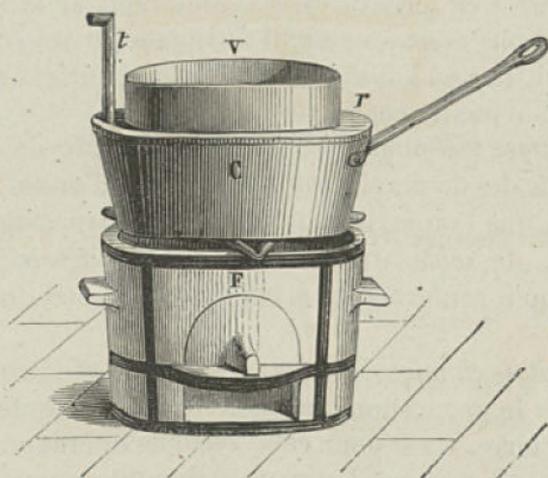


Fig. 122.

l'appareil (fig. 122) dont nous avons donné la description n° 22.

2° *Triage des pierres et pierrailles.* — La dessiccation opérée, sur 2 à 3 kilogr. de l'échantillon moyen on pèse un à deux kilogr. de cette terre à la balance-pendule (fig. 123); on en sépare les cailloux et les pierrailles, qui sont ensuite lavés, séchés et pesés. Si l'opérateur a quelques notions de minéralogie, il doit s'appliquer à déterminer quelles sont les roches qui constituent ces gros débris.

292. *Séparation de la terre fine d'avec les autres éléments.* — On pèse 200 grammes de terre préala-

blement desséchée et épierrée, et on les fait tomber

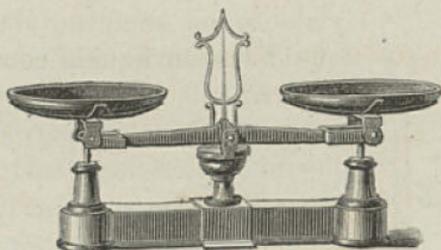


Fig. 123.

dans une passoire P (fig. 124) en zinc placée dans une

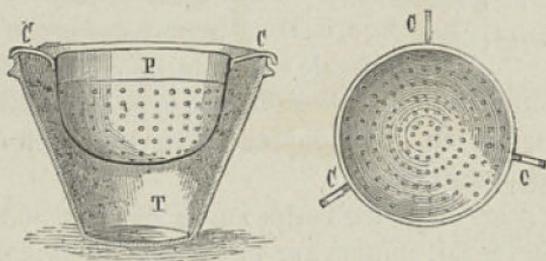


Fig. 124.

terrine T vernissée intérieurement. Cette passoire demi-sphérique est percée de trous de un millim. de diamètre au plus, et porte trois oreilles O qui, en s'appuyant sur le bord supérieur de la terrine, maintiennent le vase en zinc à une certaine distance du fond.

On verse alors de l'eau sur la terre, et on la délaye à l'aide d'une spatule en verre ou en porcelaine (fig. 125), ou simplement avec la main; la matière tenue entraînée par l'eau passe à travers les trous de la passoire et tombe dans la terrine.

On continue le lavage de la terre jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit tout à fait limpide, ce dont on s'assure en soulevant la passoire au-dessus du liquide contenu dans la terrine.

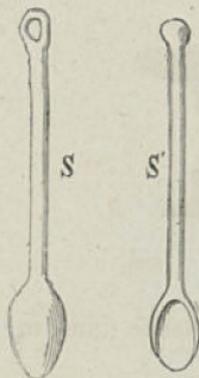


Fig. 125.

On enlève alors la passoire, on l'essuie extérieurement, et on la porte dans un endroit chaud afin d'opérer la dessiccation des éléments non entraînés par l'eau.

Le diamètre de la passoire peut être calculé de façon que celle-ci puisse entrer dans le vase V de la figure. D'autre part, la terrine T est

mise de côté afin de laisser à la matière tenue le temps de se déposer, et on l'abrite de la poussière en la recouvrant d'un disque en carton ou en papier fort.

Quand les éléments restés sur la passoire sont bien secs, on les fait tomber sur une feuille de papier lisse et on en détermine le poids.

Le poids A obtenu représente :

Le gravier.

Le gros sable.

Les débris organiques gros et moyens.

On retranche ce poids de 200 grammes, et la différence B correspond au poids de la terre fine séparée par la passoire.

293. Examen des deux parties A et B séparées par l'analyse mécanique.

Partie A. — 1° Dosage des débris organiques. — La matière organique mélangée au gravier et au gros

sable se compose de débris de racines, de tiges, quelquefois de graines, d'herbes, etc.; pour en déterminer la proportion, on incinère le mélange A dans une petite capsule de platine (fig. 126) que l'on chauffe à une température peu élevée.

Quand on n'aperçoit plus dans la masse aucune partie noirâtre, on retire la capsule du feu, on la laisse refroidir et on la pèse. La perte de poids indique sensiblement la proportion de matière organique disparue, et une simple soustraction donne celle du gros sable et du gravier.

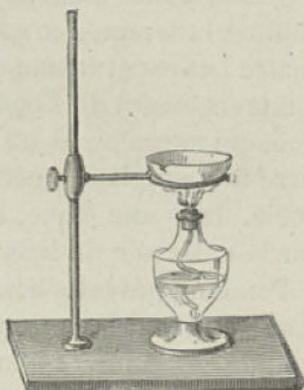


Fig. 126.

2° *Séparation du gravier et du gros sable.* — On jette sur un tamis n° 20 (fig. 127) le mélange de sable et de

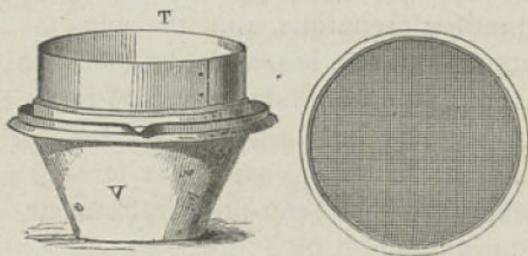


Fig. 127.

gravier privé de matière organique par incinération, et on sépare ainsi les deux éléments dont on détermine séparément le poids.

Partie B. — La partie B est la terre fine entraînée par l'eau à travers la passoire.

Quand cette matière ténue s'est bien déposée au fond de la terrine, ce qui n'a lieu souvent que vingt-quatre heures et même quarante-huit heures après le commencement de l'opération, on décante le liquide clair qui surnage, et on opère la dessiccation de la terre fine en plaçant cette terrine sur le marbre d'un poêle, dans une étuve, sur un bain de sable, ou enfin sur la casserole du bain-marie (fig. 122).

Pendant que cette dessiccation s'opère, on remue la matière à plusieurs reprises dans la terrine avec la spatule de manière à faciliter l'évaporation de l'eau, et à obtenir un tout bien homogène.

Cette matière fine renferme :

De la matière organique très-divisée.

Des éléments terreux très-fins.

1° *Dosage de la matière organique.* — On pèse 50 gr. de la terre fine parfaitement sèche, et on les incinère au rouge sombre comme il a été dit précédemment. La perte de poids indique approximativement la quantité de matière organique contenue dans les 50 gr., et on rapporte ensuite le résultat au poids total B.

REMARQUE. Ce procédé de dosage de la matière organique contenue dans la terre fine est loin d'être rigoureux ; car, au rouge sombre, la terre abandonne une certaine quantité d'eau qui compte ensuite comme élément organique brûlé.

Néanmoins cette méthode est suffisante pour permettre de juger approximativement de la quantité relative d'humus contenue dans les diverses terres soumises à l'analyse.

2° *Dosage des éléments terreux fins.* — On détermine

la proportion d'éléments terreux fins entraînés par l'eau, en soustrayant du poids B celle de la matière organique trouvée dans l'opération précédente.

Observation. — Le dosage de la matière organique par l'incinération des deux parties A et B est une opération qui touche à l'analyse chimique, mais nous la considérons comme le complément indispensable de l'analyse mécanique proprement dite.

294. Application numérique.

Terre diluvienne prise en 1858 à l'île Barbe, près Lyon, au carrefour Saint-Boniface. Pré vis-à-vis la maison des Frères de la Doctrine chrétienne.

Analyse mécanique effectuée sur 100 grammes de terre desséchée à 100 degrés.

A, éléments restés sur la passoire.....	29,25
B, terre fine entraînée par l'eau.....	70,75
Somme.....	100,00

PARTIE A. 1° *Débris organiques gros et moyens; 2° gravier et gros sable.*

Poids de la partie A, avant l'incinération.	29 ^s ,25
— après	27,99
Débris organiques disparus... ..	1 ^s ,26
Sable et gravier.....	27,99
Séparation au tamis n° 20, sable.....	19,72
— gravier.....	8,27

PARTIE B. 1° *Matière organique très-divisée; 2° matière minérale très-fine.*

Poids total de la partie B.....	70 ^s ,80
Poids soumis à l'incinération... ..	40,00
— après l'incinération.....	37,69
Matière organique disparue.....	2 ^s ,31
Matière organique pour le poids total B..	4,10
Matière minérale fine.....	66,70

La composition p. 100 de cette terre peut donc se représenter comme suit :

A. Éléments restés sur la passoire, 29 ^g ,25 ...	}	Gravier.....	8,27
		Gros sable.....	19,72
		Débris organiques gros et moyens.....	1,26
B. Éléments entraînés par l'eau, 70 ^g ,75.....	}	Matière organique très-di- visée.....	4,10
		Matière minérale fine.....	66,70
			100,00

Examen du gravier et du sable.

Gravier. Quartzites, jaspes, débris de coquilles, coquille entière (*helix hispida*), roches feldspathiques.

Sable siliceux et ferrugineux, micacé, avec débris de coquilles, terre très-perméable.

295. Analyse complémentaire de la partie B.

Séparation du sable fin d'avec les éléments terreux et organiques plus légers. — Certains auteurs ne se contentent pas, dans l'analyse mécanique des terres, de quelques opérations fort simples que nous avons indiquées précédemment; ils soumettent en outre la partie B à un lavage particulier de manière à séparer le sable fin d'avec les éléments terreux et organiques plus légers.

Cette séparation peut s'effectuer par un des deux procédés que nous allons décrire :

296. Premier procédé. — On introduit dans une capsule de porcelaine ou une petite terrine 50 gr. de la terre fine B, et on les délaye avec un demi-litre d'eau ordinaire, en se servant d'un agitateur ou simplement des doigts.

Quand toutes les particules terreuses ont été mises en suspension, on laisse le mélange en repos pendant une minute ou deux, et on décante ensuite le liquide surnageant qui entraîne avec lui l'argile et les particules plus ténues.

On délaye le résidu dans une nouvelle quantité d'eau, on laisse reposer, on décante et on continue cette série d'opérations jusqu'à ce que le liquide décanté soit sensiblement clair. Le résidu non entraîné par l'eau qui représente les parties sablonneuses les plus denses est transvasé dans une petite capsule préalablement tarée, on le dessèche à 100 degrés et on le pèse.

Le poids fourni par les 50 grammes de matière employée est ensuite rapporté au poids total B, et, par différence, on a la proportion de matières terreuses plus légères entraînées par l'eau.

297. Deuxième procédé. — *Emploi de l'appareil de M. Measure.* — Le procédé de lévigation que nous venons d'indiquer est assez imparfait parce qu'il est assez difficile de saisir exactement le moment où, toutes les particules sablonneuses étant déposées, on peut procéder à la décantation du liquide tenant en suspension la matière terreuse plus légère.

Pour éviter les causes d'erreur qui résultent de cette incertitude, M. Measure, professeur au lycée d'Orléans, a proposé l'emploi d'un appareil spécial, et nous allons le décrire tel que nous l'avions fait établir à la Saulsaie.

298. Appareil Measure (fig. 128).

A, allonge en verre, recourbée à sa partie inférieure, et reliée à un tube droit T par l'intermédiaire d'une bague en caoutchouc t.

F, flacon destiné à faire passer dans l'allonge A un courant d'eau continu par l'intermédiaire de l'entonnoir *e* et du tube T.

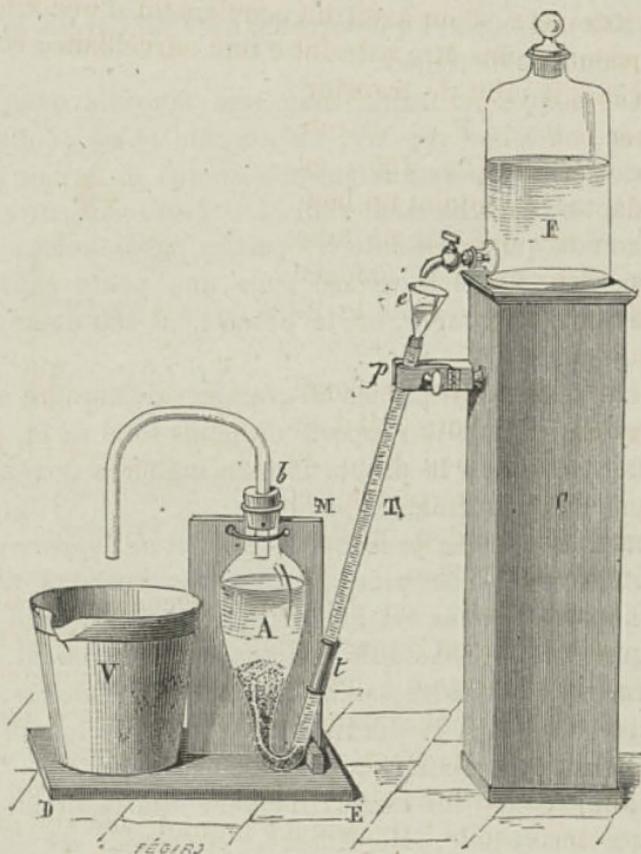


Fig. 128.

C, colonne en bois servant de support au flacon F.

p, pince en bois pour maintenir fixe le tube T.

b, bouchon muni d'un tube à siphon S servant à fermer l'orifice supérieur de l'allonge.

V, terrine pour recueillir le liquide déversé par le siphon S.

M, planchette assemblée à angle droit sur la tablette DE, et sur

laquelle on fixe l'allonge A à l'aide d'un fil de plomb qui entoure le col.

REMARQUE. Pour avoir un écoulement d'une vitesse constante sans être astreint à une surveillance continue, il suffit de transformer le flacon F en un vase de Mariotte (fig. 129), en adaptant au goulot un bouchon traversé par un tube de verre que l'on enfonce plus ou moins dans le liquide.

299. **Pratique de l'opération.** — On introduit dans un verre à pied 10 à 20 grammes de terre fine, et on les délaye dans une petite quantité d'eau.

D'autre part, on détermine l'écoulement du liquide du flacon F sous forme d'un mince filet; on enlève le bouchon *b*, et, pendant que l'écoulement a lieu, on fait tomber dans l'allonge A la terre fine délayée, en détachant du verre les dernières particules terreuses à l'aide de la fiole à jet (fig. 56) et on replace ensuite le bouchon *b* muni de son siphon.

L'eau qui, par l'intermédiaire du tube T, arrive dans l'allonge A, délaye la masse terreuse, et tandis que les particules sablonneuses plus denses tendent à se rassembler dans la partie coudée de l'appareil, les particules plus légères (organiques et inorganiques) sont entraînées avec le liquide, passent dans le siphon et vont se réunir dans la terrine V.

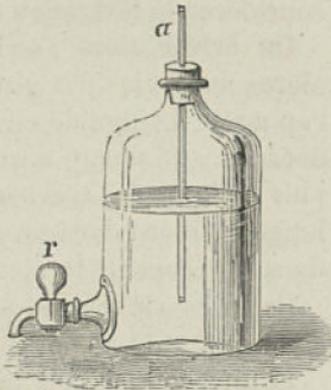


Fig. 129.

L'eau qui sort de l'allonge est d'abord très-trouble, puis elle s'éclaircit peu à peu. A mesure qu'elle devient plus claire, on augmente un peu la vitesse d'écoulement en ouvrant davantage le robinet et en relevant le tube du vase de Mariotte, et, quand aucune particule terreuse n'arrive plus au siphon, on peut considérer la lévigation comme terminée.

On arrête alors l'écoulement, on laisse les dernières particules terreuses se déposer, et on démonte l'appareil. Le liquide clair contenu dans l'allonge est décanté, on sépare ensuite cette allonge du tube T, puis enfin on fait tomber tout le sable resté dans l'allonge, d'abord dans un grand verre à pied, et ensuite dans une capsule tarée.

Ce sable est desséché à 400 degrés, pesé, et le résultat rapporté au poids total B de la matière fine.

Enfin, connaissant le poids du sable, on obtient par différence celui de la matière ténue entraînée par l'eau.

300. Terre diluvienne prise à Miribel (Ain).

Analyse mécanique de la terre desséchée à 100°.

A éléments restés sur la passoire, 2,970.	{	Gravier et gros sable....	25,82
		Débris organiques gros et moyens.....	0,15
B éléments entraînés par l'eau, 97,03..	{	Matière organique très-divisée.....	3,07
		Matière minérale fine....	93,96
			<hr/> 1005,00

301. Séparation du sable fin d'avec les éléments terreux et organiques plus légers.

10 grammes de terre fine desséchés à 100 degrés et traités dans l'appareil Masure ont donné :

Sable fin resté dans l'allonge.....	2,52
Matières légères entraînées par l'eau.	7,48
	<hr/>
	10,00

Ce qui donne pour la somme B :

Sable fin.....	24,43
Matières légères, etc.....	72,60
	<hr/>
Somme.....	97,03

302. Observations. — Il est indispensable, lorsque l'on emploie l'appareil *Masure* pour séparer le sable fin des matières plus légères, de s'appliquer à obtenir une vitesse d'écoulement de l'eau, renfermée dans le flacon *F*, sensiblement égale dans toutes les opérations : autrement les quantités de matière entraînées par le liquide peuvent différer notablement, même pour des échantillons fournis par la même terre.

Du reste, le premier procédé de lévigation que nous avons indiqué n° 296, et qui est celui que nous avons toujours employé pour effectuer l'analyse mécanique d'un grand nombre de terres de la Bresse et de la Dombes¹, nous a fourni constamment des résultats au moins aussi satisfaisants que ceux que l'on peut obtenir en se servant de l'appareil de *M. Masure*. Ce procédé a, de plus, l'avantage d'être plus expéditif et moins compliqué, tout en permettant d'opérer sur un poids plus considérable de matière, ce qui diminue les chances d'erreur. Nous ferons remarquer aussi que, lorsqu'on étudie les terres arables au point de vue de leurs propriétés physiques, le tamisage à travers une passoire dont les trous ont moins de 4 millim. de diamètre peut suffire dans la majorité des cas, sans

¹ Thèse pour le doctorat. 1858.

qu'il soit nécessaire ensuite de soumettre la matière tamisée à une lévigation spéciale. En effet, quand le sable possède un degré de ténuité suffisant pour qu'il puisse passer à travers des trous aussi petits, on peut en conclure que ce sable jouera dans le sol, au point de vue des propriétés physiques, très-sensiblement le même rôle que les parties terreuses plus légères.

En outre, dans beaucoup de terres, d'origine diluvienne par exemple, où l'élément siliceux entre souvent pour plus de 90 p. 100, la silice acquiert un tel état de division, que tout ce qui a passé à travers la passoire est entraîné ensuite par la lévigation; cette dernière opération devient donc inutile.

303. Détermination de quelques propriétés physiques des terres arables. — Pour compléter les notions acquises en effectuant les opérations d'analyse mécanique que nous venons de décrire, il est bon de déterminer sur ces mêmes terres épierrées comme il a été dit n° 291 2°.

1° *Leur densité ou poids spécifique;*

2° *Leur faculté d'absorber l'eau;*

3° *Leur ténacité ou consistance.*

304. Densité ou poids spécifique des terres. — On désigne sous le nom de *densité* ou *poids spécifique* d'une terre le poids d'un certain volume de cette terre comparé au poids d'un même volume d'eau.

Pour effectuer cette détermination, on peut employer l'un des deux procédés suivants.

Premier procédé. — On prend une mesure en étain de la contenance d'un demi-litre (vase employé à la mesure des liquides), et on la pèse *vide*, à la balance-pendule (fig. 123).

On remplit ensuite ce vase jusqu'au bord avec la terre desséchée à l'air ou à 100 degrés, et on pèse une seconde fois.

La différence de poids correspond à celui de la terre; en divisant ce résultat par le poids d'un demi-litre d'eau, on a la *densité cherchée*.

Nota. Il faut avoir soin, à mesure que l'on introduit la terre dans la mesure, de frapper le vase contre la table qui le supporte, afin de donner à la matière terreuse un tassement convenable.

EXEMPLE.

Poids du vase vide.....	550 gr.
— — plein de terre convenablement tassée....	1250
— d'un $\frac{1}{2}$ litre de terre (1250-550).....	700
— — d'eau.....	500
Densité en poids spécifique.....	$\frac{700}{500} = 1,4$

Deuxième procédé. On prend un flacon de verre F à large ouverture, et ayant la capacité d'un demi-litre



Fig. 130.

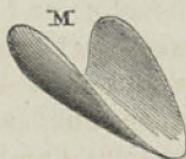


Fig. 131.

jusqu'au trait supérieur *a* marqué sur le goulot (fig. 130).

Un second trait *b* correspond à la capacité d'un *quart* de litre.

On commence par remplir le flacon d'eau jusqu'en *b*, et on le pèse.

On fait tomber ensuite dans ce flacon, en se servant de la *main en laiton* M. (fig. 131), une quantité de terre suffisante pour que le niveau du liquide préalablement en *b* s'élève jusqu'en *a* : ce qui indique que le volume de terre ajouté est exactement d'un quart de litre. On pèse alors le flacon plein d'eau et de terre.

La différence de poids divisée par le poids d'un quart d'eau donne la *densité* de la terre.

EXEMPLE.

Poids du flacon plein d'eau jusqu'en <i>a</i> ..	850 ^e ,6
— — — et de terre	
— — — jusqu'en <i>b</i> .	1175,6
Poids de $\frac{1}{4}$ de litre de terre (1175,6	
— 850,6).....	325,0
Densité de la terre.....	$\frac{325}{250} = 1,3$

REMARQUE. Il peut arriver, pour des terres très-argileuses, que le volume d'un quart de litre d'eau soit insuffisant pour délayer complètement la terre : la masse se met alors en bouillie, et il n'est plus possible d'opérer avec exactitude. — On remédie à cet inconvénient en substituant au vase gradué précédent un autre flacon portant également deux divisions; seulement la première division correspond à un volume d'un demi-litre; la seconde à celui de trois quarts.

On commence par peser le vase renfermant un demi-litre d'eau.

On le pèse une seconde fois quand la terre ajoutée dans le flacon a fait monter le niveau du liquide jusqu'au trait *a*, l'augmentation de poids correspond tou-

jours au poids d'un quart de litre de terre, de telle sorte qu'en divisant par 250 on obtient la densité de la terre comme dans le premier cas.

305. Faculté absorbante pour l'eau. — Pour déterminer la faculté absorbante des terres pour l'eau, on opère comme il suit :

On pèse à la balance-pendule 100 ou 200 grammes de terre préalablement desséchée à l'air ou au bain-marie, et on les jette sur un entonnoir muni d'un filtre saturé d'eau, l'entonnoir et le filtre ayant été pesés préalablement (fig. 132).



Fig. 132.

On verse dans l'entonnoir, à deux ou trois reprises, une quantité d'eau plus que suffisante pour imbiber complètement la terre, et, quand l'eau cesse de filtrer, on pèse une seconde fois l'entonnoir. L'augmentation de poids indique la quantité d'eau absorbée par la terre.

EXEMPLE.

Poids de la terre desséchée au soleil.....	200 gr.
— de l'entonnoir avec son filtre saturé d'eau..	161 ^g ,5
	Somme..... 361 ^g ,5
Poids après imbibition par l'eau.....	443 ,5
Eau absorbée par 200 grammes de terre.....	82 ,0
— par 100 —	41 ,0

306. Ténacité ou consistance. — La méthode la plus simple pour juger approximativement de la ténacité d'un sol consiste à en prendre une certaine quantité à l'état humide, et à en faire une boule de la gros-

seur du poing, que l'on abandonne ensuite à une douce chaleur.

Après dessiccation, plus cette boule sera lisse à la surface, dure, résistante à l'écrasement, plus la terre dont elle dérive devra être tenace et consistante.

Pour compléter les notions précédentes, nous extrairons de nos registres un certain nombre de résultats relatifs à l'analyse mécanique des terres arables.

307. Analyses mécaniques de différentes terres.

DÉSIGNATION DES TERRES.	ÉLÉMENTS					EAU absorbée par 100 gr. de terre desséchée à 100°.
	RESTÉS sur la passoire.			ENTRAÎNÉS à travers la pas- soire.		
	Gravier.	Gros sable.	Débris organiques.	Matière orga- nique fine.	Matière mi- nérale fine.	
TERRES DILUVIENNES.						gr.
Douelle A (la Saulsaie)....	1,75	1,00	0,32	4,32	92,61	50,0
Champ d'expérience (la Saul- saie).....	1,03	2,32	0,23	2,60	93,82	49,0
Terre vierge de la Grange..	0,32	1,40	0,08	2,94	95,26	47,0
— de Miribel (Ain).....	0,08	2,74	0,15	3,07	93,96	50,5
— de Clemencia (Ain)..	6,20	1,10	0,40	4,61	87,69	50,2
— des Chirouzes, près Valence.....	1,41	21,29	0,60	3,10	73,60	47,1
— de l'île Barbe (Rhône).	8,27	19,72	1,26	4,10	66,70	44,2
TERRES D'ÉTANGS.						
Terre d'étang de Villars (Ain).	2,00	1,00	trac.	6,30	90,70	54,0
— de la Lechère (la Saul- saie).....	0,00	0,00	0,00	5,97	94,30	56,0
TERRES GRANITIQUES.						
Terre granitique (Hte-Loire).	30,17	29,00	0,33	2,40	38,10	35,1
— d'Annonay (Ardèche).	29,50	38,00	0,50	1,90	30,10	34,0
— St-Rambert (Drôme)..	43,50	30,10	0,40	2,10	23,90	34,3
— de jardin — ..	34,60	25,10	1,30	4,60	34,20	38,8
— de St-Angean (Cantal).	35,30	10,50	0,30	1,50	52,40	33,8
Terre basaltique (Hte-Loire).	16,20	35,40	0,40	2,30	45,70	52,8

308. Composition des principales roches d'origine ignée. — Nous avons dit, en commençant ce chapitre, que, si l'opérateur avait quelques notions de minéralogie, il devait s'appliquer à reconnaître la nature des cailloux ou des gros graviers que la terre soumise à l'analyse peut renfermer.

Or, la nature minéralogique de ces débris une fois déterminée, pour avoir une première idée de la composition chimique d'une terre, il suffit de connaître la proportion moyenne des éléments qui constituent les principales roches. C'est dans le but de faciliter ce petit travail à nos lecteurs que nous donnons le tableau suivant, dans lequel on a jugé inutile d'indiquer les proportions d'eau, d'acide carbonique, de chlore, de fluor, etc., que peuvent renfermer ces roches.

COMPOSITION DES PRINCIPALES ROCHES D'ORIGINE IGNÉE.

ROCHES.	SILICE.	ALUMINE.	POTASS.	SOUDR.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	OXIDES DE FER ET DE MANGANÈSE.
1 Gneiss.....	71,9	15,2	4,4	3,3	0,25	1,7	3,0
2 Micaschistes.....	73,1	13,1	6,1	"	0,17	2,5	4,4
3 Schistes chloriteux....	65,7	8,9	0,8	"	0,65	7,3	15,3
4 Amphibolite.....	54,8	15,5	6,8	"	7,29	9,4	4,1
5 Protogine.....	75,2	6,6	4,5	"	0,33	9,2	1,1
Granites.....	72,8	15,3	6,4	1,4	0,70	1,0	1,7
Diorites.....	53,2	16,0	1,3	1,2	6,30	6,0	14,0
Syenites et porphyres syenitiques.....	62,5	15,5	2,9	3,2	3,00	3,5	8,4
6 Eurites et porphyres eu- ritiques.....	73,5	14,5	4,0	2,8	0,80	0,9	2,5
Roches pyroxéniques....	50,2	16,5	1,1	3,5	8,80	5,3	12,5
Basaltes.....	48,0	13,8	1,5	3,0	10,20	6,5	13,8
Trachytes et laves tra- chytiqes.....	66,3	17,1	5,5	6,3	1,50	1,1	5,2

- ¹ Gneiss composé de parties égales d'albite, de quartz et de mica.
 Henri de Labèche. ² Micaschiste, à parties égales de quartz et de mica.
³ Schiste chloriteux, à parties égales de chlorite et de quartz.
⁴ Amphibolite, à parties égales d'amphibole et de feldspath.
⁵ Protogine, à parties égales de feldspath, de quartz et de talc.
⁶ *Bulletin de l'Acad. des Sciences*, t. XLIV, p. 609.

**309. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

Passoire en zinc de 25 cent. de diamètre et de 15 cent. de hauteur (fig. 124).....	fr. c. 3 fr. à 3 50
---	------------------------

Appareil Masure (fig. 128).

Allonge recourbée A.....	2 50
Tube T, avec son caoutchouc et son entonnoir.....	1 25
Siphon S et son bouchon.....	0 75
Terrine V.....	3 00
Support DEM.....	3 00
Colonne C et sa pince p.....	7 00
Flacon F de 5 litres.....	10 00

(Pour les autres instruments, voir les chapitres précédents).

CHAPITRE XVI

ANALYSE DES TERRES ARABLES. — ANALYSE CHIMIQUE.

310. Préliminaires. — L'analyse chimique d'une terre arable étant une opération extrêmement longue et qui exige une grande habitude des manipulations chimiques, il convient d'établir dans ce chapitre deux grandes divisions. Dans la première partie, nous exposerons la marche à suivre pour effectuer le dosage exact et complet de chacun des éléments organiques ou inorganiques; dans la seconde, nous indiquerons une méthode beaucoup plus simple pour évaluer la proportion de ceux de ces éléments qui se trouvent en plus grande abondance dans la terre ou dont le dosage offre le plus d'intérêt à un agriculteur.

☆ I. ANALYSE CHIMIQUE COMPLÈTE D'UNE TERRE ARABLE.

311. Préparation de l'échantillon destiné à l'analyse. — L'analyse mécanique d'un sol une fois opérée (chap. XV), il est inutile de faire porter l'analyse chimique sur les gros éléments, parce que ceux-ci, retenus sur la passoire au moment de la lévigation, peuvent toujours être l'objet d'un examen minéralogique (n° 308) ou d'essais chimiques spéciaux. D'ailleurs, c'est la partie fine d'une terre et non les gros

éléments qui concourent d'une manière immédiate à la nutrition des plantes.

En conséquence, pour effectuer l'analyse chimique dont il s'agit, on commence par faire passer à travers le tamis T n° 20 (fig. 127), et par portions successives, 10 à 15 kilos de l'échantillon moyen de la terre obtenu comme il a été dit n° 288 et *préalablement desséché à l'air*. On sépare ainsi les cailloux, les pierrailles, le gravier ainsi que les gros débris organiques. La partie tamisée est ensuite parfaitement mélangée de façon à constituer une masse bien homogène sur laquelle on peut alors effectuer les diverses opérations chimiques.

312. Opérations chimiques. — L'analyse chimique complète d'une terre comprend les opérations suivantes :

1° Détermination de la quantité totale d'azote renfermée dans la terre ;

2° Détermination des substances solubles dans l'eau ;

3° Détermination des éléments insolubles dans l'eau, mais solubles dans les acides étendus ;

4° Détermination des éléments insolubles dans l'eau et les acides étendus.

I. DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL RENFERMÉ DANS LA TERRE.

313. — On pèse à la balance-pendule (fig. 123) 500 gr. de l'échantillon de terre préparé comme il vient d'être dit n° 311, on les fait tomber dans un mortier de porcelaine ou de bronze et on les pulvérise aussi complètement que possible. C'est sur des poids déterminés de la matière pulvérisée que l'on dose l'azote sous les différentes formes qu'il peut affecter dans les sols.

a. Dosage de l'azote total sauf celui des nitrates. —

On opère ce dosage en suivant les indications du n° 247.

b. Dosage de l'azote ammoniacal. — On procède conformément aux indications des n°s 250 et suivants.

c. Dosage de l'azote à l'état de nitrates. — On opère sur 50 à 100 gr. de terre que l'on traite ainsi qu'il est indiqué n° 273.

II. DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU.

314. — Pour juger de la fertilité immédiate d'un sol, on a conseillé de soumettre celui-ci à la lixiviation et d'analyser le mélange de matières organiques et inorganiques enlevées par l'eau. Sur les indications de l'illustre de Gasparin, MM. Verdeil et Risler ont appliqué cette méthode à l'analyse des différentes terres qui composaient le domaine de l'ancien Institut de Versailles, et ces savants sont arrivés à des résultats fort remarquables déjà signalés en *Chimie organique* et sur lesquels nous reviendrons un peu plus loin.

C'est guidé par ces considérations que nous conseillons de commencer l'analyse chimique d'une terre par la détermination des éléments solubles.

Dans cette opération, il est indispensable d'opérer sur une masse de terre assez considérable et dont le poids peut varier entre 10, 15 et même 20 kilos, suivant la richesse plus ou moins grande en principes solubles. Les résultats analytiques rapportés plus loin démontrent cette nécessité. De plus, avant de traiter la masse terreuse par l'eau, on doit commencer par la soumettre à une dessiccation préalable à 100°, afin que la terre se laisse pénétrer complètement et qu'elle abandonne ensuite plus facilement les principes

solubles qu'elle renferme. A cet effet, on introduit successivement dans le vase V de l'appareil (fig. 122, n° 291) des poids de terre d'environ 500 gr. que l'on chauffe jusqu'à ce que la perte de poids devienne négligeable.

Cette dessiccation est fort longue, mais elle est indispensable si l'on veut, dans la suite des opérations, ramener les divers échantillons de terre traités successivement par l'eau et l'acide étendu, à un degré de dessiccation connu et constant.

On introduit donc un poids déterminé de la terre desséchée à 100° et préparée comme il a été dit n° 311, dans une grande terrine, et on délaye la matière terreuse avec de l'eau distillée chauffée à 60° environ, jusqu'à ce que l'imbibation soit complète et que la masse soit recouverte par le liquide.

On comprend que, lorsqu'on opère sur 10 ou 15 kilos de terre par exemple, au lieu de mettre ce poids total dans une seule terrine, on peut le répartir également dans plusieurs récipients, au fur et à mesure de leur dessiccation à 100°; mais, dans ce cas, il faut avoir soin de traiter des poids égaux de terre par des volumes égaux d'eau distillée.

Au bout de six heures environ, le liquide clair qui surnage est décanté sur un ou plusieurs filtres (fig. 133), puis on fait tomber la masse entière sur une toile un peu grossière disposée en forme de tamis (fig. 134) et on la laisse s'égoutter. Quand la terre ne cède plus de liquide, on l'arrose avec de l'eau à la même température que précédemment et on fait en sorte d'obtenir 4 à 8 litres de lessive, suivant le poids de matière terreuse soumis au lavage.

Les liquides de lavage sont filtrés comme celui de

décantation; et, quand l'opération est terminée, on

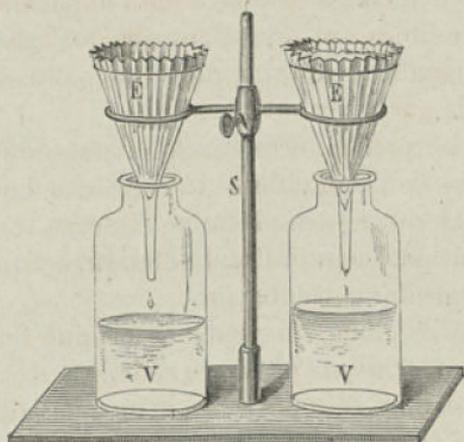


Fig. 133.

mesure exactement le volume liquide obtenu, volume que l'on peut toujours ramener à être un nombre

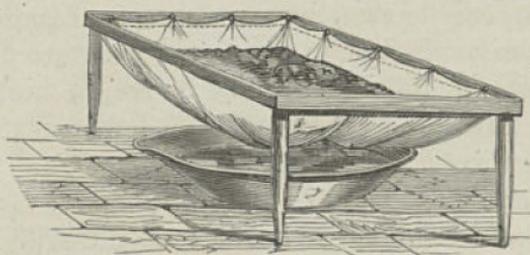


Fig. 134.

exact de litres. On procède alors à l'analyse de la lessive.

315. Analyse quantitative des matières organiques et inorganiques dissoutes par l'eau. — Préliminaires. — Quand on traite par de l'eau distillée tiède une terre préalablement desséchée, en opérant dans

les conditions que nous venons d'indiquer, on obtient une lessive qui, par évaporation, fournit un résidu à la fois minéral et organique. Si on incinère à la lampe, la matière organique est détruite et il reste une cendre parfaitement blanche.

La partie du résidu décomposable par la chaleur est constituée par de la matière organique azotée associée à des nitrates et à des sels ammoniacaux.

La partie fixe renferme ordinairement les substances minérales suivantes : *silice, carbonate, sulfate et phosphate de chaux, alumine, oxyde de fer, magnésie, silicates, phosphates et chlorures alcalins.*

Or, la plupart de ces substances étant insolubles dans l'eau dans les circonstances ordinaires, on est en droit de conclure que ce n'est qu'à la faveur de la matière organique soluble qu'elles peuvent elles-mêmes se dissoudre dans l'eau distillée qui sert à lessiver la terre.

316. Opérations analytiques. — Nous supposons, pour fixer les idées, que 10 kilogr. de terre ont fourni 6 litres de lessive pouvant donner par évaporation 12 gr. de résidu sec.

a. Poids de l'extrait sec.

— On mesure exactement 1 litre de lessive et on l'introduit par portions successives dans une capsule en porcelaine ou en platine préalablement tarée et chauffée au bain-marie (fig. 435).

On évapore à sec la totalité du liquide, et l'augmen-



Fig. 435.

tation de poids de la capsule indique la proportion de matières solubles. On rapporte ensuite le résultat au volume total de la lessive.

b. Richesse en azote de l'extrait sec. — On opère comme il est dit n° 256.

c. Proportion de matière fixe et de matière destructible par le feu, renfermée dans l'extrait sec. — On évapore à sec le reste de la lessive, mais cette fois en prenant pour effectuer cette évaporation une capsule en porcelaine d'un litre environ dans laquelle on introduit successivement des volumes de liquide d'un demi-litre. Quand le volume total de la lessive a été versé dans la capsule et suffisamment réduit, on



Fig. 136.

transvase le liquide dans une petite capsule de platine tarée où l'on termine l'évaporation (fig. 136).

Une fois le poids de l'extrait sec déterminé, on procède à l'incinération de la matière en se servant de l'un des appareils indiqués chap. XI, la lampe à double courant d'air par exemple (fig. 94), et en opérant suivant les indications du n° 192 *a*.

Quand la combustion est aussi parfaite que possible, on laisse refroidir la capsule, on ajoute sur les

cendres quelques gouttes de carbonate d'ammoniaque n° 192 *d*, on sèche la matière et on pèse. La perte de poids indiquée la proportion de matière destructible par le feu, et par différence on obtient celle des matières fixes.

317. Analyse des substances minérales fournies par la combustion de l'extrait sec. — Le résidu fixe détaché de la capsule immédiatement après la pesée est pulvérisé dans un petit mortier d'agate ou de porcelaine, et la masse, rendue bien homogène, est introduite dans un flacon bouchant à l'émeri en attendant que l'on en prélève des fractions déterminées pour effectuer le dosage des divers éléments constitutifs.

Pour fixer les idées, nous supposerons que l'incinération a fourni 5 gr. de matières minérales.

a. Silice et alcalis. — 2 gr. de résidu fixe sont introduits dans une capsule de porcelaine, on ajoute un peu d'eau distillée, puis de l'acide chlorhydrique goutte à goutte jusqu'à ce que le liquide soit franchement acide et qu'il n'y ait plus d'effervescence sensible.

On évapore doucement au bain de sable jusqu'à siccité et on sépare *la silice* comme il est indiqué n° 197, IV *g*.

Si la proportion de silice est notable, il faut avoir soin de commencer par l'éliminer dans toutes les opérations suivantes.

On dose ensuite les *alcalis* dans la liqueur séparée de la silice en employant une des deux méthodes indiquées n° 197, IV *k*.

b. Acide carbonique et sulfurique. — On traite dans l'appareil Chancel, n° 83, 0^g,5 de cendres par l'acide chlorhydrique étendu et on détermine la perte de poids en *acide carbonique*.

L'appareil étant démonté, on fait tomber le contenu de la petite fiole dans une capsule de porcelaine, on élimine la silice, s'il y a lieu, on filtre et on dose dans la liqueur filtrée l'*acide sulfurique* en suivant les indications du n° 197, IV *h*.

c. Chlore. — On traite 0^g,5 de cendres par l'acide azotique, on élimine la silice et on dose le *chlore* comme il a été dit n° 197, IV *j*.

d. Fer, alumine, chaux, magnésie et acide phosphorique. — PREMIÈRE MÉTHODE. — On traite 2 gr. de matière minérale par l'*acide azotique*, de manière à éliminer la silice, et on dose ensuite l'acide phosphorique et chacune des bases en suivant la méthode indiquée par M. Rivot, n° 197, *c d e*.

DEUXIÈME MÉTHODE. — On partage en deux parties égales A et B la liqueur acide séparée de la silice.

On ajoute dans A un excès d'ammoniaque qui précipite l'alumine, l'oxyde de fer et l'acide phosphorique à l'état de phosphate de chaux, parce que la dissolution renferme des sels de cette dernière base.

Ce précipité mixte est filtré, lavé, desséché, calciné et pesé. Dans la liqueur séparée du précipité mixte, on dose la *chaux* et la *magnésie* en opérant suivant les indications du n° 95, *g* et *h*.

On détermine en B le même précipité mixte d'*alumine*, d'*oxyde de fer* et de *phosphate* qu'on recueille sur un filtre et qu'on lave parfaitement.

On redissout ce précipité, sur le filtre même, avec un peu d'acide azotique étendu et on dose dans cette liqueur l'*acide phosphorique* en suivant la méthode de M. Rivot, telle qu'elle est décrite n° 153 de *a* en *e*. On calcule le poids de phosphate de chaux correspondant à celui de l'acide phosphorique trouvé, on le retranche

du poids du précipité mixte obtenu avec la liqueur A, et la différence correspond au poids d'alumine et d'oxyde de fer.

Cette seconde méthode est plus expéditive que la première, parce que l'on peut traiter simultanément les deux liqueurs A et B.

On pourrait encore appliquer à la solution B la méthode Frésenius, n° 122, I, pour doser l'acide phosphorique.

e. Résumé. — Ces différents dosages effectués et les résultats rapportés à un même poids de cendres, on détermine par le calcul les quantités de bases et d'acides qui peuvent se saturer d'après leurs affinités respectives, ce qui permet ordinairement de représenter les résultats analytiques comme il suit :

Sulfate de chaux;

Carbonate de chaux;

Phosphate de chaux;

Oxyde de fer et d'alumine;

Chlorures alcalins;

Silice;

Potasse et soude des silicates alcalins;

Magnésie ou carbonate de magnésie.

(Voir les résultats analytiques obtenus par MM. Verdeil et Risler, n° 323.)

III. DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS INSOLUBLES DANS L'EAU MAIS SOLUBLES DANS LES ACIDES ÉTENDUS.

318. — Après l'égouttage parfait de la masse terreuse restée sur la toile de l'appareil (fig. 134), on procède à la dessiccation à 100° d'une portion de la matière représentant, aussi bien que possible, un

échantillon moyen de la totalité et du poids de 200 à 300 gr. environ. Cette dessiccation peut être effectuée dans le vase V de l'appareil de la figure 122.

Quand la terre est sèche, on la pulvérise dans un mortier, on en mélange intimement toutes les parties et on la renferme dans un flacon bouchant à l'émeri en attendant qu'on la soumette à de nouvelles opérations analytiques.

La terre ainsi desséchée peut renfermer :

De l'eau combinée ou interposée;

De la matière organique;

Des carbonates terreux;

Des phosphates;

De l'oxyde de fer;

Du sulfate de chaux, si la lessive de la terre n'a pas été complète;

Des silicates;

De l'argile;

Du sable.

a. Eau et matières combustibles. — On pèse 50 gr. de terre, on les introduit dans une capsule de platine tarée et on les chauffe au rouge sombre jusqu'à ce que toutes les matières organiques aient disparu en brûlant; on laisse refroidir, on humecte de carbonate d'ammoniaque si l'on craint d'avoir chauffé trop fort (n° 192 d), on dessèche et on pèse.

La perte de poids correspond à la *matière organique brûlée et à l'eau disparue.*

b. Acide carbonique. — On traite 0^g,8 à 1 gr. de la matière incinérée dans l'appareil Chancel, n° 83.

c. Dosage des autres éléments. — Le dosage des autres éléments s'effectue sur des poids déterminés

de la terre incinérée que l'on traite par l'acide étendu conformément aux indications du n° 81, I.

Dans chaque opération, la partie indissoute est constituée par *du sable, des silicates et de l'argile*.

L'acide étendu dissout au contraire les autres composés en même temps qu'il décompose une partie de l'argile ainsi que les silicates alcalins solubles que la terre lessivée peut avoir retenus.

d. Silice et alcalis. — On traite 5 gr. de terre par l'acide chlorhydrique étendu (n° 81 I) et la liqueur acide, séparée du résidu insoluble, suivant le n° 197, IV *g*.

e. Acide sulfurique. — 2 gr. de terre sont traités par l'acide chlorhydrique étendu, on sépare la silice et on dose l'acide sulfurique dans la liqueur filtrée (n° 197, IV *h*).

f. Fer, alumine, chaux, magnésie et acide phosphorique. — On emploie une des trois méthodes indiquées (n° 317 *d*), en traitant 10 gr. de terre par l'acide *azotique* ou *chlorhydrique* étendu.

Nota. Il sera toujours bon d'effectuer un dosage spécial de l'acide phosphorique, sur un poids de terre beaucoup plus considérable, 100 gr. par exemple, en suivant les indications des nos 122 et 153, et sans se préoccuper des bases qui auront été dosées antérieurement en *f*.

IV. DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS INSOLUBLES DANS L'EAU ET LES ACIDES ÉTENDUS.

319. — Nous avons dit n° 318 *c* que ce résidu insoluble était constitué par *du sable, des silicates et de l'argile*. Quand on veut en faire l'analyse (ce dont on

peut se dispenser le plus ordinairement), on procède comme il a été indiqué n° 95, II.

Lorsque toutes les opérations chimiques décrites du n° 312 au n° 319 sont terminées, on rapporte les divers résultats analytiques obtenus à 100 parties de terre desséchée à l'air ou à 400°.

320. Résultats analytiques divers.

Poids et composition p. 100, de l'extrait abandonné à l'eau tiède par 1 kilogr. de trois terres du domaine de la Saulsaie.

DÉSIGNATION DES TERRES.	POIDS de l'extrait sec à 100°.	AZOTE pour 100 de l'extrait sec.	COMPOSITION POUR 100 DE L'EXTRAIT SEC.	
			MATIÈRE organique azotée	MATIÈRE minérale.
Douelle A, sol.	0,137	1,27	22,62	77,38
Champ d'expérience, sol.	0,115	1,50	48,15	51,85
Terre de la Grange —	0,074	0,84	31,52	68,48

321. Renseignements agronomiques sur les trois terres précédentes.

Douelle A.

Échantillon moyen pris le 6 juillet 1865, sur une surface de 24 ares, et formé de 8 échantillons partiels, prismes carrés ayant 33 centim. de hauteur et 20 centim. de côté. La prise de l'échantillon a eu lieu cinq jours après une pluie abondante de trois fois vingt-quatre heures, ayant succédé à une période de sécheresse de près d'un mois.

D'autre part, la levée de cet échantillon a suivi immédiatement la moisson du blé d'Écosse, deuxième sole d'un assolement de cinq ans, ainsi composé :

1° Plantes sarclées, 2° céréales d'hiver, 3° trèfle, 4° blé, 5° seigle. — Fumure de 60,000 kilogrammes à l'hectare au début de la rotation.

Cette terre a été choisie parce qu'elle peut être considérée comme la meilleure des terres du domaine de la Saulsaie, en raison des fumures considérables et des chaulages abondants qu'elle a reçus depuis dix ans.

Terre du champ d'expérience.

Échantillon pris en octobre 1863 pour servir de point de départ à des recherches sur la valeur comparative de divers engrais industriels et du fumier de ferme.

La levée eut lieu avant la semaille d'un blé correspondant à la cinquième sole d'un assolement quinquennal ainsi composé :

1° Plantes sarclées précédées d'une fumure de 60,000 kilogr., 2° céréales de mars, 3° fourrages verts, 4° plantes industrielles avec demi-fumure, 5° céréales d'hiver.

Terre de la Grange.

Échantillon moyen pris le 27 juin 1865 sur une profondeur de 20 centim., à l'entrée de la pièce et sur une partie qui n'avait jamais été cultivée. Cette terre peut être considérée comme le type des plus mauvais sols de la Dombes.

La levée a eu lieu après une période de sécheresse de plus d'un mois ; et la terre était tellement dure, qu'il a fallu l'entamer à la pioche.

En prenant, avec nos élèves, des échantillons moyens de 25 à 30 kilogrammes de chacune de ces trois terres, nous nous proposons de les soumettre à une analyse chimique complète et exécutée suivant les indications renfermées dans ce chapitre, n° 311 et suivants.

Mais notre départ subit de la Saulsaie et la privation momentanée d'un laboratoire à Grignon, notre nouvelle résidence, nous ont mis dans la nécessité de renoncer à l'achèvement de ce travail de longue haleine.

Ceux de nos lecteurs que ces questions agronomiques intéressent trouveront le résumé complet de nos premières recherches sur ces trois terres, dans les *Annales de la Société impériale d'agriculture de Lyon* (année 1865).

322. Composition p. 100 de l'extrait abandonné à l'eau tiède par les terres du domaine de l'ancien Institut de Versailles. — Analyses de MM. Verdeil et Risler.

DESIGNATION DES TERRES.	MATIÈRES ORGANIQUES.	CENDRES.
Mail.	43,00	57,06
Faisanderie.	70,50	29,50
Gazon.	35,00	65,00
Avenue de la Reine.	44,00	56,00
Potager.	37,00	63,00
Salory	33,00	67,00
Argile de Gally.	48,00	52,00
Calcaire de Gally.	47,00	53,00
Tourbe.	46,00	54,00
Sablère.	47,40	52,60
Moyenne.	45,14	54,86

MM. Verdeil et Risler ont trouvé dans ces différents extraits desséchés à 110°, de 1,5 à 2 p. 100 d'azote.

**323. Composition p. 100 des cendres fournies
par la combustion des extraits précédents.**

DÉSIGNATION DES TERRES.	Sulfate de chaux.	Carbonate de chaux.	Phosphate de chaux.	Oxyde de fer.	Alumine.	Chlorures de po- tassium et de sodium.	Silice.	Potasse et soude des silicates.	Magnésie.
Mail.....	48,92	25,60	4,17	1,55	0,62	7,63	5,49	3,17	»
Faisanderie.....	31,49	35,29	2,16	0,47	trac.	3,55	13,67	4,23	»
Gazon.....	48,45	6,08	2,75	1,21	»	6,19	25,71	5,06	»
Avenue de la Reine.	43,75	6,08	6,32	2,00	trac.	14,45	15,61	4,13	»
Potager.....	36,60	12,35	11,20	trac.	trac.	18,51	19,60	7,23	trac.
Satory.....	18,70	24,25	18,50	3,72	0,80	»	21,60	4,65	»
Argile de Gally...	18,75	45,61	3,83	0,95	1,55	9,14	5,00	7,60	7,60
Calcaire de Gally.	17,21	48,50	9,00	trac.	»	6,21	5,50	»	8,32
Tourbe.....	24,43	30,61	0,92	5,15	trac.	6,06	8,75	7,45	»
Sablère.....	22,31	34,59	8,10	1,02	»	4,05	15,58	6,57	»
Moyenne.....	31,06	26,90	6,69	1,61	0,30	7,58	18,65	5,01	1,59

324. Analyses des terres du domaine de Grignon, faites par Peplowski, ancien professeur des sciences physiques à cette école¹.

Préliminaires. — D'après les études de notre excellent maître et regretté prédécesseur M. Caillat, le domaine de Grignon se compose de terres appartenant à quatre formations géologiques différentes, qui sont :

1° *Le diluvium*; 2° *le calcaire d'eau douce*; 3° *le calcaire grossier*; 4° *la craie*.

Le même système de culture a été étendu à toutes les terres indistinctement; la même rotation a passé sur toutes, elles ont été fumées de la même manière,

¹ *Bulletin de l'Association des anciens-élèves de Grignon*, 7^e trimestre 1861.

approfondies de la même façon et autant que possible de la même quantité.

On les a labourées à 0^m,25 avec la charrue ordinaire, et on a enfoui à cette profondeur d'abondantes fumures de 70,000 kilogr. d'abord et plus tard de 50,000 kilogr. seulement. Enfin on les a ameublies, mais sans mélanger le sous-sol au sol à 0^m,30 et 0^m,35 avec le fouilleur placé derrière les charrues ordinaires.

Les analyses ont porté sur des échantillons moyens de ces quatre formations prélevés avec le plus grand soin.

Pour les *sols*, la prise a eu lieu sur l'ensemble de la couche ameublie par la charrue, c'est-à-dire sur une profondeur comprise entre 0^m,30 et 0^m,35; pour les *sous-sols*, on a enlevé sur une épaisseur de 0^m,30 à 0^m,40 la couche placée immédiatement au-dessous du sol.

Analyse mécanique. — On a commencé par soumettre chaque terre à une lévigation convenable, de manière à partager les éléments constitutifs en trois parties :

1° *Sable et gravier*; 2° *terre fine*; 3° *substances solubles dans l'eau.*

Analyse chimique. — L'analyse chimique a porté : 1° sur la terre fine; 2° sur les matières solubles dans l'eau.

Nous allons reproduire ici les résultats fort intéressants de ces analyses ainsi que les considérations agronomiques qui les accompagnent.

325. Huitième division de culture. (Les Cent-Arpens.)

ANALYSE MÉCANIQUE %.

Formation géologique.	Diluvium du plateau (terre franche.)	
	Sol à 0m,30 de profondeur.	Sous-sol à 0m,35 de profondeur.
Substances solubles dans l'eau.....	0,260	0,10
Terre fine.....	35,740	76,18
Sable siliceux.....	64,000	23,72
	<hr/> 100,000	<hr/> 100,00

ANALYSE CHIMIQUE %.

	ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU	
	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	62,50	35,30
Phosphate de chaux.....	10,95	13,05
Chlorures de potassium et de sodium...	12,31	11,00
Sulfate de chaux.....	5,40	10,75
Carbonate de chaux.....	4,67	10,35
Oxyde de fer et silice.....	4,17	19,55
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

TERRRE FINE.

	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	3,20	1,10
Phosphate de chaux.....	0,47	0,17
Potasse.....	0,54	0,61
Soude.....	0,37	0,15
Carbonates de chaux et de magnésie...	0,98	0,23
Oxyde de fer.....	3,65	7,34
Alumine.....	4,41	9,19
Silice.....	1,25	1,12
Hydrosilicate d'alumine.....	85,13	80,09
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Considérations agronomiques. — Cette terre, la meilleure de toutes celles du domaine, n'a malheureusement pas été analysée il y a trente-cinq ans; mais labourée alors à de faibles profondeurs, portant de maigres récoltes, elle aurait probablement fourni des chiffres à peu près analogues pour le sol et le sous-sol.

Aujourd'hui cette terre, qui a été retournée par la charrue à 0^m,25 de profondeur et ameublie plusieurs fois par la fouilleuse à 0^m,30 et 0^m,35, contient beaucoup plus de matière fécondante dans le sol que dans le sous-sol.

Et cependant, chose remarquable, c'est celle dont la culture améliorante, suivie depuis vingt-cinq ans, a le moins augmenté la valeur relative. Cette valeur, qui était de 2,500 fr. à l'hectare, n'est guère aujourd'hui que de 4,000 fr., c'est-à-dire n'a pas doublé sous l'influence d'une culture très-améliorante et des progrès survenus dans les circonstances économiques de la contrée. (F. BELLA.)

326. Sixième division de culture. (Pièce des Ébizoirs.)

ANALYSE MÉCANIQUE ‰.

<i>Formation géologique.</i>	<i>Calcaire d'eau douce.</i>	
	<i>Sol.</i>	<i>Sous-sol.</i>
Substances solubles dans l'eau.....	0,35	0,303
Terre fine.....	56,33	50,900
Sable.....	43,32	48,797
	100,00	100,000

ANALYSE CHIMIQUE 0/0.

ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU

	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée	65,36	30,00
Phosphate de chaux.....	3,99	23,57
Chlorures de potassium et de sodium...	6,33	11,18
Sulfate de chaux.....	3,00	7,70
Carbonate de chaux.....	18,66	25,55
Silice.....	2,66	2,00
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

TERRE FINE.

	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	4,20	2,60
Phosphate de chaux.....	0,59	0,59
Potasse.....	0,24	0,20
Soude.....	0,07	0,13
Carbonates de chaux et de magnésie...	17,50	67,00
Oxyde de fer.....	1,51	} 1,80
Alumine.....	1,30	
Silice.....	0,47	0,57
Hydrosilicate d'alumine.....	74,12	27,11
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Considérations agronomiques. — Ces terres, qui se retrouvent presque partout sur le bord de notre plateau supérieur, sont d'une culture difficile et peu avantageuse, ce qui tient notamment à la difficulté d'approfondir la couche arable, à cause du calcaire siliceux très-dur qui forme une grande partie du sous-sol.

Et cependant la quantité de matière organique azotée soluble ou insoluble renfermée dans cette terre est considérable, le phosphate et le sulfate de chaux, les sels alcalins n'y font pas défaut.

La proportion de 23,57 p. 100 de phosphate de chaux dans les substances solubles du sous-sol est surtout remarquable ¹.

Ces terres, défoncées autant qu'il a été possible à 0^m,30 par la charrue ordinaire et à sous-sol, ne valaient guère que 300 fr. l'hectare lorsqu'on les a prises en 1827; et, par suite de la culture améliorante combinée avec les circonstances commerciales et économiques, la valeur de l'hectare a été multipliée par 8 environ, elle est de 2,400 fr. (F. BELLA.)

327. Première division de culture. (Pièce de la Défonce.)

ANALYSE MÉCANIQUE %.

Formation géologique.	Calcaire grossier.	
	Sol à 0 ^m ,30 de profondeur.	Sous-sol à 0 ^m ,35 de profondeur.
Substances solubles dans l'eau.....	0,46	0,132
Terre fine.....	56,46	33,400
Sable.....	43,08	66,468
	<u>100,00</u>	<u>100,000</u>

ANALYSE CHIMIQUE %.

	ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU	
	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	61,46	34,09
Phosphate de chaux.....	4,35	11,35
Chlorures de potassium et de sodium...	6,66	6,59
Sulfate de chaux.....	3,21	3,25
Carbonate de chaux.....	23,39	40,16
Silice.....	0,93	4,55
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

¹ Il nous paraîtrait même fort intéressant de confirmer un pareil résultat par de nouvelles analyses. (Note de l'auteur.)

	TERRE FINE.	
	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	6,60	1,50
Phosphate de chaux.....	0,45	0,31
Potasse.....	0,41	0,23
Soude.....	0,13	0,09
Carbonates de chaux et de magnésie,...	55,00	95,00
Oxyde de fer.....	1,75	0,35
Alumine.....	4,35	0,47
Silice.....	0,67	0,21
Hydrosilicate d'alumine.....	30,64	1,81
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Considérations agronomiques. — Quoique les terres appartenant au calcaire grossier fussent plus pauvres que celles formées par le calcaire d'eau douce, lorsque la Société agronomique a commencé la culture de Grignon, elles ont été plus faciles à mettre en valeur, et elles se sont plus promptement améliorées.

Cela tient à ce que ce calcaire est plus friable, plus facile à désagréger; la charrue l'a effeuillé et l'a approfondi d'une manière plus régulière.

La culture y a donc été plus avantageuse et elle en a augmenté la valeur dans une plus forte proportion. Aussi cette valeur, qui était autrefois d'environ 300 fr. par hectare, est aujourd'hui d'environ 3,000 fr. (F. BELLA.)

328. Première division de culture. (Côte aux Buis.)

ANALYSE MÉCANIQUE 0/0.

Formation géologique.	Étage crayeux.	
	Sol à 0m,30 de profondeur.	Sous-sol à 0m,25 de profondeur.
Substances solubles dans l'eau.....	0,305	0,114
Terre fine.....	56,466	66,500
Sable.....	43,229	33,386
	<u>100,000</u>	<u>100,000</u>

ANALYSE CHIMIQUE 0/0.

	ÉLÉMENTS SOLUBLES DANS L'EAU	
	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	44,26	25,00
Phosphate de chaux.....	8,37	10,52
Chlorures de potassium et de sodium....	5,60	11,55
Sulfate de chaux.....	5,05	5,50
Carbonate de chaux.....	31,96	47,36
Silice.....	4,76	0,07
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

	TERRE FINE.	
	Sol.	Sous-sol.
Matière organique azotée.....	3,70	1,50
Phosphate de chaux.....	0,45	0,33
Carbonate de chaux.....	46,00	77,50
Potasse.....	0,33	0,25
Soude.....	0,19	0,13
Oxyde de fer.....	1,13	0,21
Alumine.....	1,45	0,83
Silice.....	0,87	0,41
Hydrosilicate d'alumine.....	45,88	18,84
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Considérations agronomiques. — De toutes les terres

du domaine de Grignon, ce sont les craies placées au fond de la vallée qui ont montré le plus d'aptitude à l'amélioration et dans lesquelles les améliorations se sont produites le plus aisément, le plus économiquement.

Leur valeur, lorsqu'elles étaient labourées à 0^m,40 environ et soumises à une culture extensive, était d'environ 300 fr. par hectare comme les autres terres calcaires (dites *petites terres* dans la localité). Leur valeur, aujourd'hui qu'elles sont cultivées d'une manière riche et active, et approfondies à 0^m,35, est d'environ 3,600 fr. (F. BELLA.)

329. Poids et composition p. 100 de l'extrait abandonné à l'eau chaude par 1 kilogramme des différentes terres de Grignon.

DÉSIGNATION DES TERRES.	POIDS de l'extrait sec à 100°.	COMPOSITION POUR 100 DE L'EXTRAIT SEC.	
		Matière orga- nique azotée.	Matière miné- rale.
	gr.		
Les Cent-Arpents, sol.	2,60	62,50	37,50
— sous-sol.	1,00	35,30	64,70
Pièce des Ébizoirs, sol.	3,50	65,36	34,64
— sous-sol.	3,03	30,00	70,00
Pièce de la Défonce, sol.	4,60	61,46	38,54
— sous-sol.	1,32	34,09	65,91
Côte aux Buis, sol.	3,05	44,26	55,74
— sous-sol.	1,14	25,00	75,00

II. ANALYSE CHIMIQUE APPROXIMATIVE D'UNE TERRE ARABLE.

330. Préparation de l'échantillon destiné à l'analyse. — On suit les indications du n° 311.

331. Première série d'opérations. — *Dosage de l'azote total renfermé dans la terre sous différentes formes.* — On suit les indications du n° 313, a, b, c.

332. Deuxième série d'opérations. — *Eau, matière organique, oxyde de fer, carbonates terreux, argiles et sables.*

a. *Dessiccation à 100°.* — On dessèche à 100° dans l'appareil de la figure 122, 400 à 500 gr. de l'échantillon préparé n° 314 et on note la perte de poids.

b. *Eau et matière organique.* — On suit les indications du n° 95 b.

c. *Acide carbonique des carbonates.* — On emploie l'appareil Chancel, n° 83.

d. *Oxyde de fer, chaux, magnésie, argile et sable.* — On suit exactement la méthode indiquée n° 95.

333. Troisième série d'opérations. — *Dosage du sulfate de chaux, des phosphates, des alcalis renfermés dans une terre.*

a. *Sulfate de chaux.* — Certaines terres renferment du sulfate de chaux en proportion suffisante pour que le dosage de ce composé soit une opération digne d'intérêt.

On commence par constater qualitativement la présence de ce composé dans la terre et on procède ensuite au dosage, s'il y a lieu.

Essai qualitatif. — On épuise par l'eau chaude 100 gr. de terre desséchée à 100° et on traite la liqueur filtrée comme il a été dit n° 176, 1°.

Dosage. — Suivant l'abondance des précipités obtenus dans l'essai qualitatif, on épuise 100 à 200 gr. de la même terre par l'eau chaude, on concentre au bain de sable la liqueur filtrée de manière à la réduire au dixième du volume primitif, et on ajoute alors dans

la capsule refroidie un volume égal d'alcool à 90°. On laisse reposer, on recueille le précipité sur un filtre desséché à 100° et pesé, on lave avec l'alcool, on dessèche le filtre et son contenu à 100° et on pèse.

b. Phosphates. — Le dosage des phosphates dans les terres arables est une opération longue et délicate : ceux de nos lecteurs qui voudront l'entreprendre devront suivre l'une des méthodes indiquées au chapitre IX.

c. Alcalis. — On traite 500 gr. de terre desséchée à 100° comme il est dit n° 314, et on fait en sorte d'obtenir 1 litre à 1 litre et demi de lessive, au plus.

On évapore cette lessive et on incinère le résidu sec suivant les indications du n° 316.

On fait tomber le résidu de cette incinération dans une capsule de porcelaine, et on y ajoute un peu d'eau distillée, puis de l'acide chlorhydrique goutte à goutte jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'effervescence et que la liqueur soit franchement acide.

On évapore doucement au bain de sable jusqu'à siccité parfaite, et on sépare la *silice* comme il est dit n° 197, IV g.

On ajoute dans la liqueur séparée de l'acide silicique, et qui se trouve renfermer les *alcalis* à l'état de *chlorures*, de l'eau de baryte en excès.

On évapore à sec, on reprend par un peu d'eau chaude, on filtre, on lave et on ajoute au liquide filtré du *carbonate d'ammoniaque*. On laisse déposer le nouveau précipité, on filtre et on lave.

La liqueur filtrée est évaporée à sec dans une capsule de platine, d'abord doucement, puis fortement jusqu'au rouge.

On pèse la capsule refroidie, et l'augmentation de

poids donne la proportion d'*alcalis* sous forme de *chlorures alcalins*.

Si l'on voulait pousser plus loin l'analyse, il faudrait continuer l'opération comme il est indiqué n° 197 *k*.

334. Remarque. — Nous avons partagé les opérations relatives à l'analyse chimique approximative d'une terre en *trois séries*, afin que le lecteur puisse voir immédiatement la marche qu'il doit suivre pour doser tel ou tel principe à l'exclusion d'un grand nombre d'autres dont la recherche peut, à un moment donné, ne lui offrir aucun intérêt.

C'est ainsi que le dosage de l'azote, des phosphates, du carbonate de chaux, des alcalis dans une terre constitue autant d'opérations indépendantes les unes des autres et pouvant s'effectuer sur des échantillons différents de la matière terreuse.

335. Résultats analytiques. — Les résultats analytiques que nous allons rapporter sont extraits d'un travail publié en 1858¹ : ils ont été obtenus en opérant de la manière suivante :

- 1° Calcination à 300° de la terre préalablement tamisée et desséchée à 100°;
- 2° Analyse chimique de la terre fine incinérée.

¹ Thèse pour le doctorat. Pouriau.

I. ANALYSE CHIMIQUE DE QUELQUES TERRES APPARTENANT AU
DOMAINE DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DE LA SAUL-
SAIE (1858).

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	EAU combinée et matière organique disparues vers 300°.	ANALYSE DE LA TERRE CALCINÉE.				
		Silice.	Alumine.	Fer.	Carbonate de chaux.	Carbonate de magnésie.
Champ d'expérience, sol..	3,50	84,02	7,74	5,82	0,70	1,02
— — sous-sol.	2,41	76,62	9,30	11,58	0,78	1,30
La Léchère (ancien étang).	5,97	75,80	11,26	10,90	0,60	0,80
Allée Nord, partie basse..	5,81	67,86	18,72	11,86	0,48	1,06
— — élevée.	3,56	83,28	6,44	8,26	0,80	0,90
Cérigneux.	3,00	86,32	5,30	5,70	0,70	1,00
Pré du Jonc.....	3,44	84,08	7,70	6,00	0,56	0,66

II. ANALYSE CHIMIQUE DE QUELQUES AUTRES TERRES
DE LA DOMBES ET DE LA BRESSE.

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	EAU combinée et matière organique disparues à 300°.	ANALYSE DE LA TERRE CALCINÉE.				
		Silice.	Alumine.	Fer.	Carbonate de chaux.	Carbonate de magnésie.
Terre Girard, près Montluel.	2,94	82,00	7,80	7,18	1,80	0,74
— av. le Grand Peuplier.	2,05	85,30	6,04	4,86	3,18	0,56
— avant Miribel.	4,15	74,52	8,82	7,30	8,30	0,52
— château de la Pape..	2,71	76,46	7,68	7,82	6,42	1,20
— à Saint-Clair.	3,76	81,38	2,46	6,84	6,50	2,50
Sathonay, le village.	4,95	74,24	10,38	7,82	5,76	0,95
— sous-sol (Lehm).	2,30	72,14	8,66	9,00	8,10	1,28
Fontaines-sur-Saône.	2,17	76,10	7,62	5,95	8,60	0,70
Ile Barbe.	5,06	72,96	6,32	6,40	10,68	0,60

**336. Prix des instruments mentionnés
dans ce chapitre.**

Châssis muni de sa toile (fig. 134). . . . 6 fr.

(Pour les autres instruments ou appareils, voir les chapitres
précédents.)

CHAPITRE XVII

ANALYSE DES MARNES, DES FALUNS, DES MAERLS, DES TANGUES, DES TREZ, DES COPROLITHES, DES NODULES PHOSPHATÉS, ETC.

I. DES MARNES¹.

337. Composition. — On donne, en général, le nom de *marne* à un mélange naturel et en proportions très-variables de *carbonate de chaux* et d'*argile*. A ces deux substances se trouvent associés du *sable*, de l'*oxyde de fer*, du *carbonate de magnésie*, quelquefois aussi du *sulfate de chaux*, des *phosphates*, des *carbonates alcalins*, des *nitrate*s et des *matières organiques*.

On ne peut regarder les marnes comme des combinaisons chimiques, et cependant les éléments qui les composent sont tellement unis entre eux, qu'il est impossible de fabriquer artificiellement un mélange jouissant des mêmes propriétés.

338. Propriétés physiques et chimiques des marnes. — La couleur des marnes est très-variable, suivant la nature des substances étrangères qu'elles renferment. Le plus souvent elles ont une teinte blanche, blanche grisâtre ou jaune sale; mais d'autres fois aussi elles sont grises, bleuâtres, verdâtres et même marbrées de diverses teintes.

¹ Voir ma *Chimie inorganique*, p. 431.

La qualité des marnes varie beaucoup avec la nature, les proportions et l'état physique des éléments qui les composent. Les unes, pulvérulentes ou facilement friables, se divisent promptement et naturellement par l'exposition à l'air et à l'humidité; les autres, plus consistantes, se délitent peu ou point après leur extraction.

Suivant la nature et la proportion des éléments renfermés dans les marnes, on peut distinguer les variétés suivantes :

1° *Marnes calcaires*; 2° *marnes argileuses*; 3° *marnes sablonneuses* ou *siliceuses*; 4° *marnes magnésiennes*; 5° *marnes gypseuses*; 6° *marnes humeuses*.

1° Les *marnes calcaires* renferment au moins 50 p. 100 de calcaire : elles sont ordinairement blanchâtres, font une vive effervescence avec les acides, adhèrent légèrement à la langue et donnent avec l'eau une pâte d'autant plus courte qu'elles sont plus riches en carbonate de chaux. Cette pâte, exposée à une douce chaleur, se dessèche rapidement et reprend alors l'état pulvérulent;

2° Les *marnes argileuses* contiennent au moins 50 p. 100 d'argile. le reste étant du calcaire mélangé à une certaine proportion de sable. Ces marnes font, avec les acides, moins d'effervescence que les précédentes; elles happent à la langue et donnent avec l'eau une pâte liante et d'autant plus dure, après dessiccation, qu'elle contient plus d'argile;

3° Les *marnes siliceuses* renferment de 30 à 70 p. 100 de sable, le reste étant de l'argile et du calcaire. Ces marnes, généralement friables, donnent avec l'eau une pâte dépourvue de liant et qui, après dessiccation, s'écrase sous la moindre pression. L'effervescence

avec les acides est d'autant plus faible, que ces marnes renferment plus de sable ;

4° Les *marnes magnésiennes* sont celles dans lesquelles les éléments habituels de la marne sont associés à une proportion notable de *carbonate de magnésie*. Ces marnes jouissent à peu près des mêmes propriétés physiques que les marnes calcaires ; elles sont, du reste, assez rares ;

5° Les *marnes gypseuses*, encore plus rares que les précédentes, sont celles qui renferment une notable proportion de sulfate de chaux ou de gypse ;

6° Les *marnes humeuses*, également assez rares, sont des marnes qui contiennent une assez forte proportion de matières végétales, dans un état de décomposition plus ou moins avancé.

ESSAI DES MARNES.

Nous allons indiquer dans ce chapitre comment on peut se rendre compte de la composition d'une marne, et par suite fournir aux terres arables la proportion de calcaire qui leur fait défaut, et la variété de marne la plus convenable pour modifier certaines de leurs propriétés physiques.

Quelle que soit la composition d'une marne, il est une propriété dont toutes les variétés doivent jouir, sans exception, *celle de se déliter à l'air*.

Le délitement d'une marne consiste dans sa désagrégation et sa transformation en matière pulvérulente sous l'influence des agents atmosphériques.

Plus le délitement d'une marne est parfait, plus l'incorporation au sol des particules terreuses s'effectue d'une manière facile et complète. C'est pour ce motif que les marnes sont ordinairement exposées en

tas ou *marnons* sur les terres, à l'automne, afin qu'elles puissent, en raison de leur texture poreuse, se laisser pénétrer par les pluies. Quand arrive l'époque des gelées, l'augmentation de volume de cette eau, qui se solidifie, détermine l'écartement des molécules terreuses et la marne tombe ensuite en poussière aux premières sécheresses.

Le plus souvent, les marnes calcaires ou argileuses sont entièrement constituées de parties friables et facilement délitables, mais d'autres fois aussi l'on rencontre des marnes qui renferment des *noyaux cohérents*, peu poreux, et n'éprouvant aucune modification sous l'influence des agents atmosphériques.

Ces noyaux, une fois incorporés au sol, doivent avoir une action à peu près nulle ; c'est, du reste, ce que l'expérience a prouvé.

Les considérations précédentes démontrent l'utilité de soumettre les marnes à deux sortes d'essais, l'un *mécanique* et l'autre *chimique* ; nous allons les décrire successivement.

I. ESSAI MÉCANIQUE D'UNE MARNE.

339.— *L'essai mécanique d'une marne a pour objet principal de juger de son aptitude au délitement et de déterminer la proportion de noyaux cohérents qu'elle peut renfermer.*

a. Aptitude au délitement. — L'agriculteur, en opérant directement sur son champ, est bien plus à même que le chimiste de juger si une marne est susceptible de délitement sous l'influence des variations atmosphériques ; cependant, certains essais d'une exécution rapide et facile peuvent, dans beaucoup de cas, fournir des renseignements utiles sur ce sujet.

Dans une passoire P (fig. 437) percée de trous de 2 à 3 millim. de diamètre, on introduit un morceau

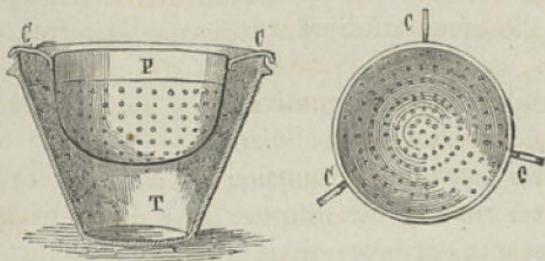


Fig. 137.

de la marne à essayer, de la grosseur du poing environ, et on verse dans la terrine T de l'eau jusqu'à ce que le niveau de liquide dans la passoire recouvre ce morceau de marne.

Certaines marnes commencent à se déliter aussitôt que l'eau les pénètre, et au bout d'un quart d'heure le délitement est complet; ces marnes sont extrêmement précieuses.

D'autres, au contraire, se laissent pénétrer par l'eau beaucoup plus lentement, et il faut alors les laisser en digestion dans le liquide pendant plusieurs heures. Au bout de ce temps, on retire de l'eau le morceau de marne et on le place sur une assiette reposant elle-même sur un bain de sable ou d'eau chaude dont la température ne doit pas dépasser 50° au plus.

Quand la marne est sensiblement sèche, si elle n'est pas délitée, on la replace dans la passoire P, on la recouvre d'eau une seconde fois, on la laisse en digestion dans le liquide pendant deux ou trois heures, on la dessèche de nouveau au bain de sable et on

recommence ce traitement alternatif quatre ou cinq fois.

Après cette série d'opérations, les marnes facilement délitables s'exfolient, tandis que les autres restent inertes.

Cependant, ces alternatives de sécheresse et d'humidité étant loin de produire une action mécanique aussi énergique que l'expansion due à la congélation de l'eau, on ne saurait affirmer que les marnes qui résistent aux épreuves précédentes sont impropres au délitement; l'expérience directe peut seule conduire à la certitude, nous en avons eu la preuve bien des fois.

b. Noyaux cohérents. — Une marne peut se déliter en totalité ou en partie; dans le second cas, elle renferme des *noyaux cohérents* qui, comme nous l'avons dit précédemment, jouent dans le sol un rôle sensiblement passif, et il est nécessaire de tenir compte de cette circonstance quand on veut introduire dans une terre arable une proportion déterminée de calcaire actif.

Pour déterminer la proportion de noyaux cohérents que peut renfermer une marne incomplètement délitabile, on opère de la manière suivante :

On introduit dans la passoire de la figure 437 un échantillon moyen de la marne pesant 500 gr. à 1 kilogr. et on le laisse en digestion dans l'eau, de façon à déterminer son imbibition complète et ensuite son exfoliation. Suivant la résistance plus ou moins grande de la marne au délitement, on la soumet à plusieurs imbibitions et dessiccations successives, et, à mesure que le délitement s'opère, on remue la masse avec une spatule en verre ou en porcelaine (fig. 425),

de façon à faciliter la séparation des particules terreuses qui s'échappent à travers les trous de la passoire et vont se rassembler au fond de la terrine.

Quand l'exfoliation est terminée, que l'eau qui s'écoule de la passoire reste sensiblement limpide, on enlève alors les fragments durs restés sur la passoire, on les sèche à une température de 50° au plus, on les pèse et l'on détermine la proportion pour 100 de ces noyaux.

Application. — Si l'on a deux marnes également riches en carbonate de chaux, la première sans noyaux cohérents, la seconde renfermant 15 p. 100, par exemple, de ces parties non délitables, on devra employer 115 parties de la seconde marne, contre 100 parties de la première, pour introduire dans le sol la même proportion de calcaire actif.

Analyse complémentaire. — Les marnes délitables en présence de l'eau peuvent être encore l'objet d'une analyse mécanique analogue à celle que l'on fait subir aux terres arables (n° 291) dans le but de déterminer l'état physique des divers éléments qui les composent. Il suffit pour cela de soumettre à la lévigation sur la passoire un poids déterminé de marne, puis de faire passer à travers le tamis n° 20, s'il y a lieu, le mélange resté sur la passoire.

340. Application numérique. — *Analyse mécanique d'une marne appartenant au terrain jurassique (argile du Kimmeridge) et constituée par une argile calcaire pétrie de la coquille appelée gryphée-virgule¹.*

¹ Échantillon de plusieurs kilogrammes pris au château de Laroche, canton de Marchaux, près de Besançon.

Poids de marne soumis à la lévigation, dans la passoire.	500 gr.
A, éléments restés sur la passoire.	221
B, éléments entraînés par l'eau.	279

Tamisage au tamis n° 20 de la partie A.

Coquilles restées sur le tamis.	105 gr.
Sable passé à travers le tamis.	116

Composition pour 100 parties.

Coquilles (gryphée-virgule).	21
Sable.	23
Matières ténues.	56
	100

REMARQUE. Si l'on voulait poursuivre l'analyse mécanique encore plus loin, on pourrait soumettre à la lévigation la partie fine entraînée par l'eau à travers la passoire, en suivant l'une des deux méthodes indiquées n° 295 dans le chapitre relatif à l'analyse mécanique des terres arables.

II. ESSAI CHIMIQUE D'UNE MARNE.

341. — *L'essai chimique d'une marne a pour principal objet de déterminer la proportion de carbonate de chaux qu'elle renferme.*

Quel que soit le procédé mis en usage pour effectuer cette détermination, la marne destinée à l'analyse doit être l'objet de certaines opérations préalables que nous allons indiquer.

1° *Prise de l'échantillon moyen.* — On doit commencer par préparer un échantillon moyen en procédant comme nous avons eu l'occasion de l'indiquer déjà dans plusieurs circonstances (n° 80). Cet échan-

tillon de 500 gr., par exemple, pris en divers points d'une masse beaucoup plus considérable, est d'abord desséché à l'air, pulvérisé ensuite dans un mortier (fig. 73) et les diverses parties bien mélangées entre elles de façon à constituer un tout bien homogène;

2° *Dessiccation à 100°*. — On procède ensuite à la dessiccation de la marne, à une température déterminée, 100° par exemple, en mettant 100 à 200 gr. de l'échantillon pulvérisé dans le vase V du bain-marie (fig. 122) dont nous avons donné la description n° 22. La perte en eau subie par la marne, une fois déterminée, on procède au dosage du carbonate de chaux.

342. Dosage du carbonate de chaux. — *Méthode pratique.* — La première méthode de dosage que nous indiquerons ici est celle qui, par sa simplicité, peut être suivie par les personnes les moins familiarisées avec les opérations chimiques, et que nous avons déjà décrite au chapitre VI, n° 81, quand nous avons traité de l'essai des calcaires.

Cette méthode consiste à traiter un poids déterminé de marne sèche par une liqueur acidulée d'acide chlorhydrique, qui dissout le carbonate de chaux sans attaquer sensiblement les autres éléments de la marne.

On détermine le poids des éléments non dissous, on le retranche de celui de la marne employée, et la différence correspond au poids du *carbonate de chaux*. On rapporte ensuite le résultat à 100 parties de marne simplement desséchée à l'air. (Voir n° 81 le détail des opérations.)

343. Application.

Essai chimique de la marne de l'étage du Kimmeridge-clay (n° 340).

Echantillon moyen pulvérisé et desséché à 100 degrés :

Poids avant la dessiccation.	200 ^g ,0
— après —	186,7
Différence.	13,3
Perte en eau p. 100.	6,65

Essai chimique sur 10 grammes de l'échantillon desséché à 100 degrés :

Poids de l'échantillon traité par l'acide étendu. .	10 ^g ,00
Résidu insoluble.	3,37
Carbonate de chaux.	6,63
— pour 100 grammes.	66,3

Richesse de la marne à l'état humide.

$$100 : 66,3 :: 93,35 : x; \quad x = 61,89.$$

La perte en eau à 100 degrés ayant été de 6^g,65 p. 100, la quantité de marne sèche renfermée dans 100 parties de marne humide est égale à 100 — 6,65 ou 93,35.

La composition p. 100 de cette marne à l'état naturel est donc représentée ainsi :

Eau.	6,65
Carbonate de chaux.	61,89
Argile et sable.	31,46
	<hr/> 100,00

344. Causes d'erreur. — Tout ce que nous avons dit au n° 82 est applicable ici.

345. Autre procédé expéditif pour doser le carbonate de chaux renfermé dans une marne. — Ce procédé consiste : à traiter un poids déterminé de la marne par un acide qui s'empare de la chaux et chasse l'acide carbonique.

Du poids du gaz dégagé, on conclut la proportion de carbonate de chaux correspondante.

Cette opération s'effectue à l'aide de l'un des deux petits appareils (fig. 138 et 139).



Fig. 138.

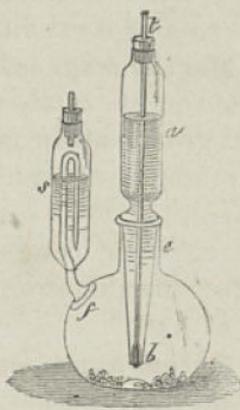


Fig. 139.

Voir la description et le mode d'opération nos 83 et suivants.

346. Procédé chimique élémentaire pour doser le carbonate de chaux renfermé dans une marne. — On prend 4 à 3 gr. de marne sèche suivant l'effervescence plus ou moins vive que donne cette matière avec les acides, et on les traite par l'acide chlorhydrique étendu en opérant comme il est indiqué n° 81.

Dans la liqueur L, séparée du résidu insoluble par filtration, on ajoute un excès d'ammoniaque qui y détermine un précipité mixte d'alumine et d'oxyde de fer.

Ce précipité est recueilli sur un filtre taré, lavé jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule de l'entonnoir

ait perdu toute réaction alcaline, desséché à 110° et pesé.

Quant à la séparation et au dosage de la *chaux*, on l'effectue en se servant de la liqueur M séparée du précipité mixte d'alumine et d'oxyde de fer, et en opérant comme il est dit n° 89, *a*.

347. Marnes magnésiennes. — Les marnes renferment souvent du *carbonate de magnésie* et quelquefois en assez grande abondance pour qu'il soit utile, dans l'essai pratique, de tenir compte de la proportion de ce composé.

Pour effectuer cette détermination, il suffira de suivre les indications renfermées dans les paragraphes des n°s 87 à 91.

348. Marnes gypseuses. — L'analyse qualitative et quantitative des marnes gypseuses s'effectue absolument comme celle des calcaires gypseux, n° 92.

349. Analyse complète d'une marne. — Une marne peut renfermer des éléments assez variés que nous partagerons en deux groupes :

PREMIER GROUPE : *eau, matière organique, argile, sable, oxyde de fer, carbonates de chaux et de magnésie.*

DEUXIÈME GROUPE : *phosphates, azote organique, ammoniacque, azotates, sels solubles.*

350. Dosage des éléments du premier groupe. — Pour effectuer le dosage des éléments appartenant au premier groupe, on suit exactement la méthode indiquée n° 93.

351. Dosage des éléments du deuxième groupe. — Le dosage des éléments constituant ce second

groupe s'effectue sur des fractions séparées de la matière en suivant les diverses méthodes précédemment décrites :

- 1° *Dosage des phosphates.* — Voir chap. IX, n° 142;
- 2° *Dosage de l'azote organique et de l'ammoniaque.* — Voir chap. XIII, n° 258;
- 3° *Dosage des nitrates.* — Voir chap. XIV, n° 273 ;
- 4° *Dosage des sels solubles (alcalis).* — Voir chap. XVI, II, Analyse chimique des terres arables, n° 333.

Analyse chimique de deux marnes tertiaires provenant du marais d'Orx (Landes).

	Colline nord.	Colline sud.		
Silice.....	42,65	42,40		
Alumine, oxyde de fer, phosphates terreux..	9,50	9,83		
Carbonate de chaux.....	44,69	45,21		
— de magnésie.....	1,03	0,76		
Eau, matière organique, sels solubles, perte.	2,13	1,80		
	100,00	100,00		
Azote.....	} pour 1 kil. {			
Acide azotique évalué en azotate			0 ^s ,287	0 ^s ,443
de potasse.....			0 ,018	0 ,005
Acide phosphorique.....	0 ,600	0 ,665		

L'analyse chimique démontre que la dénomination qui convient à ces marnes est celle de *silicéo-calcaire*.

II. FALUNS, MAERLS, CALCAIRES COQUILLIERS, TANGUES, TREZ, VASES DE MER, ETC.

352. Classification. — Sous le rapport de la texture physique, M. I. Pierre établit entre ces matières les deux groupes suivants :

PREMIER GROUPE : *faluns, merls, calcaires coquilliers récents.* — Substances susceptibles de se déliter à l'air

à la manière des marnes, mais plus lentement et plus difficilement.

DEUXIÈME GROUPE : *tanques, trez et vases de mer.* — Matière que l'on trouve naturellement dans un état de division peu différent de celui auquel une longue exposition à l'air pourrait les amener.

Nous allons indiquer la composition de ces divers engrais, et la marche à suivre pour les analyser pratiquement.

PREMIER GROUPE : FALUNS, MERLS, CALCAIRES COQUILLIERS.

353. Faluns. — Les faluns sont des calcaires coquilliers de formation ancienne que l'on trouve dans le voisinage de la mer ou dans l'intérieur des terres. Ces dépôts marins existent en France, dans les départements des Landes, de la Gironde, d'Indre-et-Loire, de Maine-et-Loire, de Seine-et-Oise (Grignon), etc. En Angleterre, où l'on en trouve également, on les appelle *crag*.

Après quelques mois d'exposition à l'air, les faluns deviennent extrêmement friables et se délitent avec la plus grande facilité.

354. Composition de divers faluns.

	Falun de Manthelon (Indre-et-Loire). Analyse de M. I. Pierre.	Falun de Grignon (Seine-et-Oise). Pouriau (1851).
Carbonate de chaux.....	68,5	66,3
Silice avec un peu d'argile...	25,5	27,4
Alumine et peroxyde de fer..	1,6	3,2
Phosphate de chaux.....	0,3	traces.
Magnésie avec petite quantité de matière organique.....	4,1	3,1
	100,0	100,0

Falun de Cléons près Nantes. (Analyse de MM. Moride et Bobierre.)

Carbonate de chaux.....	71,2
Silice.....	14,0
Alumine et peroxyde de fer....	0,7
Sels solubles.....	5,3
Matière organique.....	0,4
Magnésie et perte.....	8,4
	<hr/>
	100,0

355. Analyse des faluns. — Les faluns, comme les marnes, peuvent être soumis à l'analyse mécanique et à l'analyse chimique, mais il faut toujours avoir soin d'opérer sur un échantillon exposé depuis un certain temps aux influences atmosphériques.

I. ANALYSE MÉCANIQUE.

L'analyse mécanique des faluns se fait absolument comme celle des marnes (n° 339), on opère sur 200 à 300 gr. d'un échantillon moyen.

356. Analyse mécanique d'un falun de Saucats (Gironde), par M. Blanc-Dutrouilh.

Coquilles en gros fragments ou entières.	40
Débris de très-petites coquilles.....	30
Sable calcaire mêlé d'un sable siliceux très-fin et d'un sable noir ferrugineux.	20
Argile marneuse.....	10
	<hr/>
	100

II. ANALYSE CHIMIQUE.

357. Essai pratique. — L'échantillon moyen est préparé, pulvérisé et desséché à 100 degrés, comme s'il s'agissait d'une marne (n° 341).

a. Matière organique. — On chauffe au rouge sombre dans une capsule de platine (n° 95, *b*) 25 à 30 gr. de

la matière desséchée, et on détermine la perte de poids.

b. Carbonate de chaux, sable et argile. — On pèse 40 gr. de la matière chauffée au rouge sombre, et on les traite par l'acide chlorhydrique étendu, comme il a été dit pour les marnes (n^{os} 342 et suiv.).

358. ☆ Analyse exacte d'un falun. Procédé chimique. — Cette analyse comprend la série des opérations indiquées pour le dosage de tous les éléments que peut renfermer une marne (n^o 349).

359. Maërl. — Le maërl ou merl, appelé par les Anglais *marne maritime* (*sea marl*), est composé principalement de concrétions ou de petits madrépores calcaires entremêlés de débris de coquillages. Il est tantôt mamelonné, tantôt ramifié à la manière du corail; sa couleur est jaunâtre, rosée, rougeâtre, grise, blanc sale ou verdâtre.

Le merl existe sous forme de bancs sur le littoral de la Bretagne et de la basse Normandie, principalement à l'embouchure des rivières.

COMPOSITION.

Analyse de MM. Moride et Bobierre.

	Maërl blanc de Morlaix.	Maërl rose de Morlaix.	Maërl rose de Belle-Isle.
Matières organiques.	4,40	1,20	7,75
Sels solubles.....	1,35	0,20	2,15
Oxyde de fer et alu- mine.....	3,60	1,90	3,60
Carbonate de chaux.	55,65	71,60	76,00
Silice.....	33,00	18,25	3,60
Magnésie et perte..	2,00	6,85	6,90
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

MM. Boussingault et Payen ont trouvé dans le merl de Morlaix pris à l'état normal 0,51 p. 100 d'azote.

360. Analyses faites au laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

MAERL DE LA BAIE DE CONCARNEAU.

	Vif.	Mort.
Résidu insoluble dans les acides...	0,95	10,05
Alumine, peroxyde de fer et bases précipitées avec acide phosphorique.....	0,59	0,67
Acide phosphorique.....	0,26	0,28
Carbonate de chaux.....	81,43	76,96
— de magnésie.....	11,55	8,09
Eau combinée, sels solubles (principalement chlorure de sodium), et produits non dosés.....	5,22	3,95
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

M. Rivot n'a pas trouvé de phosphates dans les maërls des Côtes-du-Nord qu'il a analysés.

361. Analyse du merl. — L'essai pratique et l'analyse chimique d'un merl se font absolument comme s'il s'agissait d'une marne ou d'un falun (nos 344 et 353).

L'analyse mécanique de cette matière ne présenterait aucun intérêt.

362. Calcaires coquilliers. — Les calcaires coquilliers d'origine récente s'analysent comme les calcaires ordinaires (chap. VI), mais sans qu'il soit nécessaire de les soumettre à l'analyse mécanique, parce qu'ils sont généralement d'une désagrégation très-lente.

DEUXIÈME GROUPE : TANGUES, TREZ, VASES DE MER.

363. Tangues. — SYNONYMIE : *Tangu*, *sablon marin*, *cendres de mer*, etc. La tangue est un sable très-fin, blanc jaunâtre ou gris qui se dépose dans les baies et les anses, principalement à l'embouchure des rivières de la basse Bretagne et de la basse Normandie jusqu'à celle de Frémur qui se jette dans la baie de la Fresnay (Côtes-du-Nord). Cet engrais doit être considéré comme un mélange de coquilles diverses et de débris de roches granitiques ou schisteuses contre lesquelles ces coquilles sont projetées par la violence des flots.

L'examen microscopique de la tangue conduit à admettre que la majeure partie de la matière organique qu'elle renferme dérive de très-jeunes mollusques dont la mort est causée sans doute par les froissements continuels que le mouvement des vagues imprime aux matières minérales. Les éléments constitutifs des tangues sont d'autant plus ténus qu'on s'enfonce davantage dans les baies où elles se déposent, et d'autant plus grossiers qu'on se dirige plus loin vers la haute mer.

La tangue pèse, en moyenne, 1300 kilogr. le mètre cube; la plus légère est, en général, la plus estimée. Exposée à l'air pendant plusieurs mois, la tangue éprouve un notable accroissement de volume, dû principalement au délitement des coquilles que cette matière renferme.

On emploie la tangue en quantités considérables sur les côtes de la Manche, depuis l'embouchure de la Vire, près Isigny, jusqu'à la baie de Cancale. La partie de la côte où la tangue est la plus riche et la plus recherchée est la baie de Moidrey.

364. Composition des tangues de Moidrey à Isigny, d'après M. I. Pierre.

SUBSTANCES.	MOIDREY.	AVRANCHES.	MONT-MARTIN-SUR-MER.	PONT-DE-LA-ROQUE.	LESSAY (havelée ¹).	LESSAY (bêchée ²).	CHERBOURG.	BREVADES.	ISIGNY.	SALLENELLES.
Matières combustibles ou volatiles.....	2,96	4,08	7,27	4,51	3,39	2,11	2,45	3,25	1,43	3,31
Alumine et oxyde de fer.	1,33	0,10	0,35	2,41	0,35	0,33	0,14	0,31	0,32	0,29
Acide phosphorique....	1,38	0,25	0,72	0,51	0,28	0,12	0,13	0,12	0,18	0,08
Carbonate de chaux....	39,25	40,26	45,45	41,45	52,12	31,12	24,24	23,45	27,71	46,22
Magnésie.....	0,19	0,09	0,19	0,17	0,16	0,11	0,57	0,27	0,10	0,27
Sable et argile.....	50,43	53,41	45,26	50,32	41,10	65,45	71,91	72,60	69,67	49,12
Chlore, acide sulfurique, silice soluble, potasse, soude, azote, etc....	4,46	1,81	0,76	1,43	2,60	0,76	0,56	traces	0,59	0,71
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

¹ Tange *havelée*, celle qui est ramassée sur la plage au moyen d'un râteau plein, en bois, appelé *havel*.

² Tange *bêchée*, celle qu'on enlève avec une bêche, lorsque la couche est épaisse.

L'analyse de ces mêmes tangues faite par MM. Magluti et Besnou a confirmé les résultats obtenus par M. I. Pierre.

Toutes les tangues ne renferment pas de phosphate de chaux : les analyses suivantes rendent ce fait évident.

365. Composition de diverses tangues d'après
M. Rivot¹.

	PONTORSON.	CARENTAN.			PONT-DE-LA-ROQUE.		PONT LA ROQUE.
		1	2	3	1	2	
Carbonate de soude.	"	0,30	0,30	"	0,40	"	"
Chlorure de sodium.	"	0,70	0,50	0,50	2,00	0,40	0,50
Phosphate de soude.	"	0,20	0,50	traces	0,30	"	traces
Phosphate de chaux.	"	0,60	traces	traces	0,20	traces	traces
Carbonate de chaux.	45,60	54,00	3,50	27,00	59,00	64,00	63,00
Oxyde de fer.	0,30	2,10	4,00	1,20	1,11	1,50	4,60
Argile et sable.	54,00	41,40	89,40	70,00	35,60	33,00	30,50
Eau combinée, perte.	0,10	0,70	1,80	1,30	1,39	1,10	1,40
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

M. Boussingault a analysé des tangues ne renfermant que des quantités insignifiantes de phosphate de chaux ; M. Hervé-Mangon n'a jamais trouvé ce composé dans ces engrais.

Le 17 mai 1865, M. de Molon s'est rendu à Pontorson et, à 3,250 mètres de cette ville, sur la route du Mont-Saint-Michel, vis-à-vis le village de Catille, cet infatigable savant a pris, dans l'anse de Moidrey, environ 20 kilogr. de tange, dont une partie a été sou-

¹ Enquête sur les engrais industriels, t. 1^{er}, 1865.

mise à l'analyse, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

366. Analyse de tangue de l'anse de Moidrey (Manche).

Eau p. 100..... 19,40

Composition de l'échantillon à l'état sec.

Résidu insoluble dans les acides...	44,95
Alumine, peroxyde de fer et bases précipitées avec l'acide phosphorique.	2,36
Acide phosphorique.....	1,14
Carbonate de chaux.....	45,09
— de magnésie.....	1,57
Eau combinée, sels solubles (principalement du chlorure de sodium), et produits non dosés.....	4,89
	<hr/>
	100,00

Cette analyse, en confirmant, comme on le voit, celle de M. I. Pierre, prouve que la tangue de l'anse de Moidrey renferme une proportion importante de phosphate de chaux.

D'autre part, M. de Molon ayant constaté que les tangues les plus estimées étaient précisément celles qui contiennent le plus de phosphate de chaux, en a conclu que si ce composé n'est pas le seul élément actif des tangues, on doit, au moins, le considérer comme le plus important. Cette conclusion a conduit ce savant à conseiller d'augmenter les propriétés fécondantes des tangues en ajoutant une certaine quantité de phosphate fossile à celles qui sont dépourvues de phosphate de chaux.

367. Analyse d'une tangue. — 1^o *Analyse mécanique.* — On met 200 grammes de tangue sur une pas-

soire à trous de 1 millim. de diamètre (fig. 137) et on les soumet à une lévigation qui partage la matière en deux parties :

a. *Éléments très-fins*;

b. *Éléments plus grossiers*;

On détermine la proportion p. 100 de chacune d'elles.

2° *Analyse chimique.* — L'essai pratique ou l'analyse exacte s'exécutent absolument comme s'il s'agissait d'une marne ou d'un falun (n^{os} 341 et 353).

368. Trez ou treaz. — Sable marin qui ne diffère de la tangué que parce que les éléments qui le constituent sont plus gros; on le récolte dans certaines parties de la Bretagne, sur les pentes douces des grèves.

Le trez qui sort de la mer se nomme *trez vif*, par opposition à celui qui, resté exposé un certain temps aux influences atmosphériques, a perdu une partie de ses propriétés fertilisantes et est appelé, pour cette raison, *trez mort*.

369. Composition d'un trez de Morlaix, d'après Vitalis.

	Trez vif.	Trez mort.
Matières organiques.....	4,1	3,4
Carbonate de chaux.....	65,0	48,5
Oxyde de fer.....	0,6	0,1
Argile.....	4,0	3,5
Sable micacé.....	20,3	40,0
Eau.....	6,0	4,5
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

MM. Boussingault et Payen ont trouvé dans le trez vif de la rade de Roscoff (arrondissement de Morlaix), 0,13 d'azote p. 100 de matière prise à l'état normal.

Les trez peuvent renfermer encore de petites quantités de sels solubles, de phosphates, etc., comme l'indique l'analyse suivante, faite au laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

370. Trez de l'embouchure de la rivière de Pont-Aven.

Résidu insoluble dans les acides.....	25,20
Alumine, peroxyde de fer et bases précipitées avec l'acide phosphorique	0,67
Acide phosphorique.....	0,13
Carbonate de chaux.....	69,82
Carbonate de magnésie.....	1,79
Eau combinée, sels solubles (principalement chlorure de sodium) et produits non dosés.....	2,39
	<hr/> 100,00

371. Analyse d'un trez. — Elle est identique à celle d'une tangue (n° 367).

372. Vases de mer. — Les vases de mer pouvant être considérées comme des tangues extrêmement fines, il est inutile de les soumettre à l'analyse mécanique.

Quant à l'analyse chimique, elle se fait absolument comme celle des tangues, des trez, des limons, etc.

III. COPROLITHES ET NODULES PHOSPHATÉS.

373. Coprolithes. — Les coprolithes sont de véritables excréments fossiles, riches en phosphate de chaux et qui ont été découverts pour la première fois en 1822 par le professeur Buckland, dans le comté d'York, en Angleterre.

Ces excréments ont ordinairement l'apparence de cailloux oblongs ou réniformes, gris-cendrés ou

bruns-noirs; leur longueur varie de 4 à 8 centim, leur diamètre de 2 à 4 centim.

Les coprolithes renferment toujours une petite quantité de matière azotée associée à des phosphates de chaux, de magnésie et de fer, la proportion de phosphate dépasse quelquefois 75 p. 100; mais ces matières sont trop peu abondantes dans le sol pour constituer une source importante d'acide phosphorique.

374. Nodules phosphatés. — On désigne aujourd'hui, sous les noms de *nodules phosphatés* ou de *phosphates fossiles*, des masses plus ou moins arrondies, d'un gris noirâtre, d'une grosseur qui atteint quelquefois celle d'un œuf de poule, d'une richesse remarquable en *phosphates* et que l'on trouve en abondance dans certains terrains sédimentaires.

M. de Molon a constaté qu'on rencontrait le phosphate de chaux fossile dans tous les étages de la formation crétacée, mais que, jusqu'ici, les seuls gisements susceptibles d'exploitation appartenaient aux assises inférieures du grès vert.

Actuellement, les principaux centres d'exploitation sont : en France, dans les Ardennes et la Meuse.

375. Composition des nodules. — La proportion d'acide phosphorique renfermée dans les nodules varie beaucoup suivant les gisements, mais paraît assez constante pour une même localité. M. Dehérain, qui a fait un grand nombre d'analyses de nodules provenant des Ardennes, de la Meuse et de la Marne, a trouvé :

	Minimum.	Maximum.
Acide phosphorique p. 100.....	13,3	28,9
Phosphate de chaux.....	29,6	63,7

On peut admettre comme richesse moyenne des nodules en phosphate de chaux tribasique, 40 à 45 p. 100 (n° 132), c'est aussi celle que l'on trouve habituellement dans les produits commerciaux.

**376. Résultats analytiques obtenus
par M. Rivot.**

	NODULES			
	DE STENAY (Meuse).	DES ARDENNES.		
		Écordal.	Grand-Pré.	Vallée de l'Argonne.
Argile et sable.....	26,50	15,00	14,00	34,50
Alumine et oxyde de fer.....	26,00	25,00	25,50	12,50
Chaux.....	20,00	24,00	32,50	26,40
Acide phosphorique.....	18,00	24,00	17,50	18,20
Perte par calcination, eau, acide carbonique, etc.....	9,50	12,00	10,50	8,40
	100,00	100,00	100,00	100,00

377. Résultats analytiques de M. Dehérain.

	NODULES	
	des Islettes (Meuse).	des Ardennes.
Silice et argile.....	33,4	26,4
Acide phosphorique.....	20,8	21,3
Chaux.....	22,5	30,8
Magnésie.....	3,0	1,7
Oxyde de fer.....	3,8	10,0
Eau.....	1,0	1,0
Acide carbonique et perte..	15,5	5,8
	100,0	100,0

L'analyse démontre que, dans les nodules, tout l'acide phosphorique n'est pas à l'état de phosphate

de chaux, et qu'une partie se trouve combinée à l'oxyde de fer, l'alumine et quelquefois à la magnésie.

378. Analyse des nodules.

I. ESSAIS PRATIQUES PROPRES A FAIRE DÉCOUVRIR LES FALSIFICATIONS DONT ILS PEUVENT ÊTRE L'OBJET.

Les nodules sont livrés à l'agriculture, réduits en poudre, et leur prix, à Paris, est ordinairement de 5 à 6 fr. les 100 kilogr. pour une teneur en *phosphate de chaux* de 40 à 45 p. 100.

Or, il peut arriver que cette poudre soit additionnée de sable fin, d'argile, de marne ou de sulfate de chaux : substances dont l'introduction dans la masse a pour conséquence de diminuer la richesse habituelle de l'engrais en *phosphate*.

Pour reconnaître si la matière vendue a été falsifiée, on peut effectuer les essais suivants :

379. Recherche du sulfate de chaux. — *Essai qualitatif et quantitatif.* — On traite une certaine quantité de poudre comme s'il s'agissait d'un calcaire gypseux en suivant les indications du n° 92.

380. Recherche du sable et de l'argile. — On traite un poids déterminé de poudre, 5 à 10 gr., par l'eau acidulée, en opérant comme il a été dit n° 84, et on détermine le poids du résidu insoluble.

Or, il est évident que si la poudre est vendue avec l'indication d'une richesse en phosphate de chaux égale à 40 p. 100, le poids de ce résidu insoluble devra être au plus égal à 60 p. 100; dans le cas contraire, on aura le droit de conclure qu'il y a eu addition de *sable* ou d'*argile*.

Recherche de la marne. — Si la falsification était due à l'introduction d'une certaine quantité de marne

très-calcaire (ce dont on serait déjà averti par la durée de l'effervescence sous l'influence de l'eau acidulée), il pourrait arriver que le poids du résidu insoluble différerait peu de 60 p. 100, et la fraude serait masquée par le fait même de la dissolution du calcaire dans l'acide. Dans ce cas, il serait nécessaire de contrôler le résultat fourni par la pesée du résidu insoluble en effectuant l'un des essais suivants :

Premier essai. — On introduit dans l'appareil Chancel (n° 83) 1 gr. de poudre de nodules et on détermine la proportion de *carbonate de chaux* qu'elle contient, d'après le poids d'acide carbonique dégagé.

On ajoute ce poids de calcaire à celui du résidu insoluble trouvé dans la première opération (n° 380), et si la somme est 70 ou 80 au lieu de 60, il est évident que la matière ne peut contenir, au maximum, que 30 ou 20 p. 100 de phosphate de chaux.

Deuxième essai. — Si l'on n'a pas un appareil Chancel à sa disposition, on ajoute à la liqueur acide, séparée du résidu insoluble par filtration, du chlorhydrate d'ammoniaque et ensuite un léger excès d'ammoniaque qui détermine la production d'un précipité mixte de *phosphate de chaux*, d'*alumine*, d'*oxyde de fer*, etc. Ce précipité, recueilli sur un filtre taré (n° 57, 2° a), lavé, desséché à 100° et pesé, donnera un poids qui, rapporté à 100 p., devra être au moins égal à 40; autrement, on sera encore en droit de conclure que la poudre ne renferme pas la proportion de phosphate de chaux annoncée par le vendeur.

II. ANALYSE CHIMIQUE DES NODULES.

a. Dosage de l'acide phosphorique. — Le composé le plus important à doser dans les nodules est le *phos-*

phate de chaux ou mieux *l'acide phosphorique* que l'on peut transformer ensuite, par le calcul, en phosphate de chaux tribasique.

Pour effectuer ce dosage, il suffit d'appliquer l'une des méthodes indiquées n° 122, ou bien encore celle de M. Rivot, chap. IX, n° 153.

b. Analyse complète des nodules. — Les résultats analytiques inscrits aux n°s 376 et 377 démontrant que l'on peut considérer les nodules comme des calcaires plus ou moins riches en phosphates, il suffira, pour en faire l'analyse complète, de les traiter comme il est indiqué n° 95, mais en tenant compte des observations suivantes :

1° Dans le cas des nodules, l'addition de l'ammoniaque dans la liqueur acide séparée de la silice (n° 95, I e) ne donne plus seulement de l'*alumine* et de l'*oxyde de fer*, mais en même temps du *phosphate de chaux*.

Ce précipité mixte est recueilli sur un filtre, lavé, desséché, incinéré et pesé, soit P ce poids.

Les autres parties de l'analyse s'effectuent absolument comme s'il s'agissait d'un calcaire.

2° On exécute un dosage spécial de *l'acide phosphorique* sur 2 à 3 gr. de matière, en appliquant l'une des méthodes indiquées n°s 122 et 153, on calcule le poids P' de phosphate de chaux correspondant, on le retranche du poids P trouvé ci-dessus, et la différence représente l'*alumine* et l'*oxyde de fer*.

381. Phosphate de chaux de l'Estramadure.
 • Composition d'après M. Rivot.

	I	II
Argile et quartz.....	2,36	14,40
Alumine et oxyde de fer ...	1,00	1,60
Chaux.....	52,50	47,50
Acide phosphorique.....	41,9	33,86
Perte par calcination, etc...	2,18	2,64
	<hr/>	<hr/>
	100,00	100,00

Le phosphate renferme en outre du chlore et du fluor.

**Prix des instruments mentionnés
 dans ce chapitre.**

(Voir les chapitres précédents.)

CHAPITRE XVIII

EAUX MÉTÉORIQUES. — DOSAGE DE L'AMMONIAQUE ET DE L'ACIDE AZOTIQUE QU'ELLES PEUVENT RENFERMER. — ESSAI DES EAUX EMPLOYÉES AUX USAGES DOMESTIQUES. — HYDROTIMÉTRIE.

EAUX MÉTÉORIQUES ET TERRESTRES.

382. — Au point de vue agricole, on peut diviser les eaux en deux grandes classes : les *eaux météoriques* et les *eaux terrestres*.

Les eaux météoriques sont celles qui arrivent de l'atmosphère sur le sol, sous forme de pluie, de neige, de brouillard et de rosée, par suite de la condensation de la vapeur aqueuse qui est toujours répandue dans l'air en proportion variable.

Les eaux terrestres sont les eaux de source, de fleuve, de rivière, de mer, qui coulent à la surface du globe.

Nous commencerons par dire quelques mots de la composition et de l'analyse des *eaux météoriques*.

EAUX MÉTÉORIQUES.

383. **Éléments fixes contenus dans ces eaux.** — La vapeur aqueuse de l'atmosphère, en se condensant, entraîne en dissolution ou en suspension certains élé-

ments répandus dans l'air et qui ont été analysés par plusieurs expérimentateurs.

En 1825, Brandes, s'étant occupé de l'analyse des eaux de pluie recueillies à Salzuffeln (Autriche), constata que les éléments entraînés en dissolution représentaient un poids de 26 kilogr. pour un million de kilogr. d'eau.

Le résidu de l'évaporation renfermait :

Des substances organiques, des sels ammoniacaux, des acides carbonique et sulfurique, du chlore, de la soude, de la potasse, de la chaux, de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse.

En 1851, M. I. Pierré trouva dans les eaux pluviales recueillies à Caen un résidu dont le poids était de 24 kilogr. et demi pour 1 million de kilogr. d'eau.

De l'analyse de ce résidu ce savant a conclu que, dans le voisinage de Caen, 1 hectare reçoit annuellement :

Chlorure de sodium.....	37 ^k ,5
— de potassium.....	8,2
— de magnésium....	2,5
— de calcium.....	1,8
Sulfate de soude.....	8,4
— de potasse.....	8,0
— de chaux.....	7,2
— de magnésie.....	5,9

En 1860, M. Barral, ayant recueilli simultanément les eaux pluviales tombées à Paris et à Brunoy (campagne près Paris), a trouvé :

Paris, résidu sec..	22 ^k ,8	pour 1 million de litres.
Brunoy, — ..	7,8	—

M. Barral a effectué dans le résidu sec fourni par

ces eaux le dosage d'un élément fort important au point de vue agricole, l'*acide phosphorique*, et ce chimiste agronome a trouvé que ces eaux renfermaient en moyenne $0^{\text{m}}/_{\text{g}},07$ d'acide phosphorique par litre ou 70 grammes par million de litres; ce qui donne, pour les 5,700,000 litres qui tombent annuellement à Paris, 400 gr. d'acide phosphorique seulement.

384. Ammoniaque et acide nitrique renfermés dans les eaux pluviales. — Parmi les composés ramenés par les eaux pluviales à la surface de la terre, deux surtout ont été l'objet des recherches de plusieurs chimistes, ce sont l'*ammoniaque* et l'*acide nitrique* : nous allons indiquer les méthodes à suivre et les appareils à employer pour effectuer les dosages de ces composés.

385. Dosage de l'ammoniaque dans les eaux pluviales.

Appareil de M. Boussingault. — On peut opérer le dosage de l'ammoniaque dans les eaux pluviales en employant l'un des deux appareils précédemment indiqués (nos 210 et 250); mais on peut aussi substituer avec avantage à ces derniers celui adopté par M. Boussingault et que nous allons décrire.

Description de l'appareil (fig. 140):

A, ballon de 1 litre $\frac{1}{2}$ à 2 litres de capacité, dans lequel on introduit le liquide à analyser.

i, bouchon traversé par deux tubes; l'un c descend jusqu'à 2 ou 3 millimètres du fond du ballon, tandis que l'autre F conduit la vapeur dans le serpentin S en verre, comme le manchon E qui l'entoure.

H, fiole graduée qui sert à recueillir la vapeur condensée. Le tube F doit présenter la courbure indiquée sur la figure et avoir

en outre 1 centimètre de diamètre afin que, pendant l'ébullition, il n'y ait pas de liquide entraîné par la vapeur. Les bouchons *i*

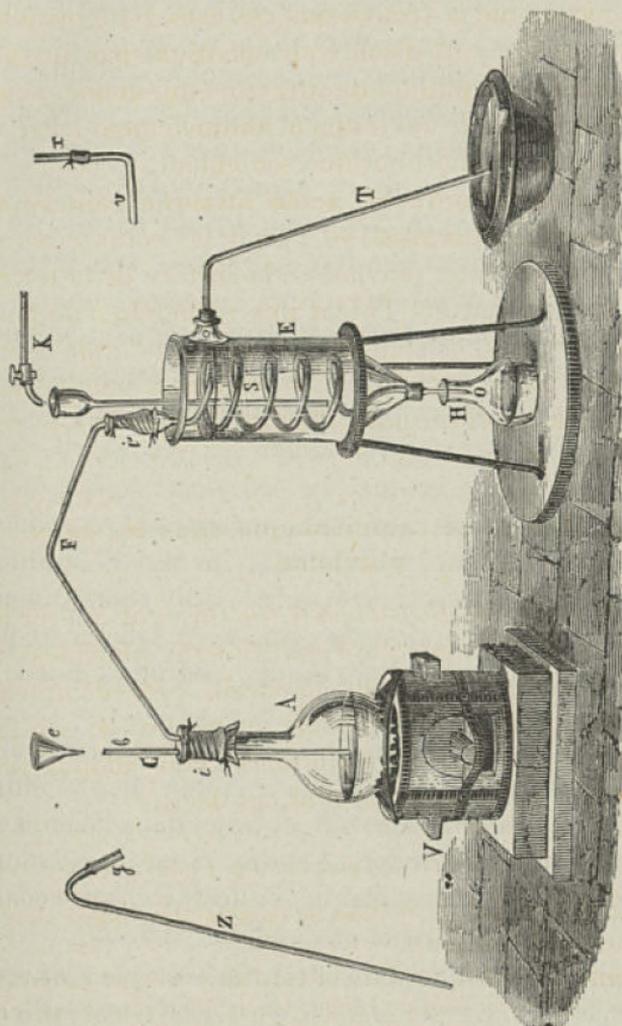


Fig. 140.

et *i'* qui ferment le col du ballon ainsi que l'entonnoir de l'extrémité supérieure du serpentin sont recouverts par un manchon en caoutchouc maintenu sur toute sa surface par un ruban de fil.

Toutefois, quand les bouchons sont en bon liége, on peut remplacer ce manchon par un anneau de caoutchouc serré solidement au-dessus et au-dessous de l'orifice du ballon par des fils de soie.

Pratique de l'opération. — Le liquide à distiller est introduit dans le ballon A à l'aide d'un entonnoir *e* que l'on engage dans l'orifice du tube *c*. Quand on a versé environ les $\frac{8}{10}$ de ce liquide, on fait tomber la dissolution alcaline (n° 212), puis ensuite le reste de la liqueur à distiller et l'on ferme le tube *c* avec un petit bouchon.

On introduit dans la fiole H, 40^{cc} de liqueur sulfurique décime, 2 ou 3 gouttes de teinture de tournesol et on procède alors à la distillation en plaçant des charbons ardents sous le ballon.

Lorsque l'eau ammoniacale provenant de la vapeur condensée dans le serpentín commence à tomber goutte à goutte dans la fiole H, on modère l'ébullition en ayant soin néanmoins qu'elle soit suffisamment soutenue, et on continue la distillation jusqu'à ce que l'on ait recueilli les $\frac{2}{3}$ du liquide introduit dans le ballon.

Si l'on opère sur un litre, on peut recueillir une première fois 150^{cc}, substituer à la fiole H une autre fiole H', recueillir encore 50^{cc} et doser dans chacun de ces liquides l'ammoniaque passé à la distillation. Le dosage de l'ammoniaque s'effectue en procédant comme il a été expliqué en détail, n° 205.

Quand une distillation est terminée et que l'on veut en effectuer une seconde, il n'est pas nécessaire de démonter l'appareil pour vider le ballon et le remplir de nouveau; il suffit d'opérer comme il suit :

On enlève le petit bouchon *b* qui ferme le tube *c*,

et on adapte à l'extrémité de ce dernier le tube en verre Z à l'aide du caoutchouc *y*.

On ajuste, de la même façon, à l'extrémité inférieure *o* du serpent, le caoutchouc *x* relié au tube *v* et on souffle par l'extrémité de ce dernier tube. L'air refoulé dans le ballon fait monter dans le tube *c* le liquide de l'opération précédente, le siphon Z s'amorce et s'écoule au dehors.

Quand le ballon est vide, on enlève les caoutchoucs *x* et *y* et on charge de nouveau l'appareil. On voit que l'appareil de M. Boussingault permet de rendre le travail en quelque sorte continu.

REMARQUES. Nous avons dit plus haut que, dans le dosage de l'ammoniaque des eaux pluviales, il convenait d'employer la liqueur sulfurique décime, et voici pourquoi :

D'après M. Boussingault, les eaux de pluie, de rivières, de sources, etc., contiennent rarement plus de 5 milligr. d'ammoniaque par litre; or, 40^{cc} de liqueur sulfurique décime préparée suivant les indications du n° 71 peuvent saturer 17 milligr. de ce même alcali. Si donc on a soin d'ajouter dans la fiole H, 40^{cc} de cette liqueur sulfurique décime, par litre d'eau à distiller, on sera sûr que l'acide est en excès par rapport à l'alcali que la distillation peut fournir. D'autre part, si la liqueur alcaline dont on dispose a une concentration telle qu'il faille 30^{cc} de cette dissolution pour saturer les 40^{cc} de liqueur sulfurique décime, et si l'on peut répondre de la neutralisation de l'acide, à 2 divisions près de la burette divisée en dixièmes, l'erreur dans le résultat obtenu ne pourra pas dépasser un dixième de milligramme.

On pourrait obtenir un degré de précision plus grand

encore en choisissant des liqueurs acides et alcalines convenablement étendues.

Quand bien même l'eau pluviale à analyser aurait une richesse ammoniacale comparable à celle constatée à Lyon par M. Bineau, 6 milligr. 8 par litre, les 10^{cc} de liqueur sulfurique décime seraient encore suffisants.

Au lieu d'opérer directement sur l'eau pluviale, telle qu'elle est recueillie au pluviomètre, on peut, quand on a un certain nombre de litres d'eau à sa disposition, commencer par concentrer cette eau par évaporation en présence d'un petit excès d'acide destiné à fixer l'ammoniaque et procéder ensuite à la distillation du liquide.

386. Résultats analytiques.

STATIONS.	MILLIGRAMMES d'ammoniaque par litre d'eau pluviale.	OBSERVATEURS.
Terrasse de l'Observatoire de Paris, second semestre 1851.....	3,35	Barral.
Au Liebfrauenberg, de fin mai à octobre 1853.....	0,79	Boussingault.
A Rothamsted, en Angleterre, de mars à décembre 1853.....	1,04	Lawes et Gilbert.
A Lyon, en 1853.....	6,8	Bineau.
A la Saulsaie, en 1853.....	3,1	—
— en 1855.....	4,0	Pouriau.

Les eaux pluviales recueillies dans les champs renferment généralement moins d'ammoniaque que celles recueillies dans les villes.

La richesse ammoniacale d'une eau de pluie va en diminuant à partir du commencement de la précipitation aqueuse.

Les eaux pluviales les plus riches en ammoniacque sont celles qui surviennent à la suite d'une sécheresse plus ou moins prolongée.

ROSÉES, BROUILLARDS, GIVRES, NEIGES.

387. — La richesse ammoniacale des petites précipitations aqueuses (rosées, brouillards, givres, etc.) est généralement très-notable.

M. Boussingault a dosé de 3 à 6 milligr. d'ammoniacque par litre d'eau fournie par 5 rosées.

M. Bineau a trouvé 60 à 78 milligr. de cet alcali par litre d'eau provenant de la fusion de givres ou d'aiguilles de glace déposées sur le balcon de l'observatoire de Lyon.

L'eau de condensation de 4 brouillards a donné à M. Boussingault $2^{\text{m}}/5,5$, 7 milligr., 50 milligr., et enfin 130 milligr. d'ammoniacque par litre.

Les deux premiers brouillards s'étaient produits à la campagne, tandis que les deux derniers avaient été condensés à Paris; ils avaient duré plusieurs jours et étaient fort épais.

La neige, comme la pluie, renferme de l'ammoniacque en dissolution; elle jouit, de plus, de la remarquable propriété de condenser dans ses pores l'alcali volatil qui peut se dégager de la surface sur laquelle elle repose, ou que renferment les couches d'air qui sont en contact immédiat avec elle.

Les résultats suivants, obtenus par M. Boussingault, rendent le fait évident :

Eau de la neige ramassée sur une terrasse au moment de la chute. Ammoniacque $0^{\text{m}}/5,68$ par litre d'eau de fusion.

Eau de la même neige ramassée sur une terrasse

trente-six heures après sa chute, $1^m/5,78$ par litre, etc.

Eau de la même neige ramassée après le même temps, mais dans un jardin contigu à la terrasse, $10^m/5,34$ par litre.

DOSAGE DE L'ACIDE AZOTIQUE DANS LES EAUX PLUVIALES.

Les eaux pluviales renferment de l'acide azotique (à l'état de nitrates) dont on peut effectuer le dosage en employant la méthode de M. Boussingault qui a été décrite dans tous ses détails au chap. XIV, n° 280.

La concentration des eaux, la combustion préalable de la matière organique qu'elles renferment ordinairement, etc., toutes ces opérations ayant été indiquées d'une manière complète nos 280 à 283, il est inutile d'y revenir ici, et nous nous contenterons de rapporter les résultats analytiques obtenus par différents expérimentateurs.

	MILLIGRAMMES d'acide azotique par litre.	STATIONS.	AUTEURS.
1851. Eaux pluviales.....	13,600	Paris.	Barral.
1853. —	1,000	Lyon.	Bineau.
— —	3,200	Fort Lamotte (près Lyon).	—
1855. —	1,100	La Saulsaie.	Pouriau.
1856 et 1857 (Eaux pluviales. juill. à nov.) — maximum.	0,184 6,230	Liebfrauenberg.	Boussingault.
1857. Neige.....	0,423	—	—
— Neige (6 chutes)....	0,32 à 3,87	Paris.	—
1858. Grêle (eau de fusion).	0,83	—	—
1857. Brouillards.....	0,39 à 1,83	Liebfrauenberg.	—
— Brouill. très-épais... — Rosées recueillies sur des terrines ou au pluviomètre.....	10,1 0,05 à 0,39	Paris. Liebfrauenberg.	— —
— Rosées recueillies sur des plantes.....	0,068 à 0,274	—	—
— Gelée blanche.....	0,576	—	—

Sauf M. Barral, tous les autres expérimentateurs ont trouvé moins d'acide azotique que d'ammoniaque dans les eaux pluviales.

Dans ses recherches sur les eaux météoriques, M. Boussingault a constaté les résultats suivants :

1° Les premières pluies contiennent généralement plus d'*acide azotique* que les pluies subséquentes, mais la diminution dans les proportions d'acide n'est ni aussi rapide, ni aussi régulière que pour l'ammoniaque (n° 386).

2° Toutes les rosées renferment des nitrates, et la proportion d'acide azotique accusée par l'analyse est sensiblement celle trouvée dans les brouillards.

3° Nous avons vu (n° 387) que la neige renferme ordinairement plus d'ammoniaque que la pluie; il paraît en être de même pour *l'acide azotique*. Cette remarque s'applique également aux brouillards.

EAUX TERRESTRES.

388. Origine et composition. — Les eaux pluviales donnent naissance aux *eaux douces* qui coulent dans les fleuves et les rivières, qui surgissent du sol à l'état de *sources* ou qui remplissent les lacs, les étangs, les marais, etc.

Il résulte de l'étude que nous avons faite de ces différentes eaux, en *Ch. inorg.*, n° 645, que les eaux terrestres tiennent ordinairement en dissolution trois sortes d'éléments qui sont :

Des gaz (oxygène, azote, acide carbonique);

De la matière organique azotée ou non azotée;

Des principes minéraux.

Les éléments inorganiques que l'analyse accuse le plus ordinairement dans les eaux terrestres sont :

- De la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer;
 - Du carbonate de soude;
 - Des sulfates de potasse et de soude;
 - Des nitrates de potasse, de soude, de chaux, de magnésie;
 - Des chlorures de potassium, de sodium, de magnésium et de calcium;
 - Des carbonates de chaux et de magnésie;
 - Du sulfate de chaux.
- Nous indiquerons, dans le chapitre suivant, la méthode à suivre pour analyser chimiquement les différentes eaux terrestres.

DES EAUX CONSIDÉRÉES SOUS LE RAPPORT DE LEURS
APPLICATIONS.

389. — Au point de vue de leurs applications, les diverses eaux météoriques ou terrestres peuvent être employées :

- 1° Pour les usages domestiques;
- 2° Pour les besoins de l'agriculture (alimentation du bétail et irrigations).

Nous allons envisager les eaux successivement à ces deux points de vue, et indiquer les essais auxquels on peut les soumettre pour juger de leurs qualités relatives.

I. EAUX EMPLOYÉES POUR LES USAGES DOMESTIQUES.

390. Eaux potables et eaux crues. — Sous le rapport des usages domestiques, les eaux sont divisées ordinairement en *eaux douces* ou *potables* et en *eaux crues* ou *dures* (*Ch. inorg.*, n° 654).

L'eau destinée aux usages domestiques est de bonne qualité ou *potable*, si elle est bien aérée, inodore, lim-

pide, fraîche en été, tiède en hiver, d'une saveur agréable, ni fade, ni piquante, ni salée, ni douceâtre. Elle doit renfermer peu de matières salines en dissolution, 1 à 3 décigr. par litre, cuire les légumes secs et les viandes sans les durcir, dissoudre le savon sans former de grumeaux.

Une eau est suffisamment aérée quand elle renferme 2 à 3 p. 100 de son volume d'air, (2 à 3 litres pour 100 litres et $\frac{1}{50}$ en acide carbonique (2 litres pour 100 litres).

Toutes les eaux regardées comme potables ne réunissent pas l'ensemble des propriétés énumérées ci-dessus; toutefois, celles qui contiennent plus d'un gramme de substances minérales par litre doivent généralement être rejetées.

Les *eaux crues* sont lourdes à l'estomac, impropres à la cuisson des légumes et au savonnage.

Ces eaux peuvent avoir leurs propriétés fâcheuses : 1° à une aération insuffisante; 2° à la présence d'un excès de certains sels terreux tels que le *bicarbonate de chaux*, les *sulfates de chaux ou de magnésie*, les *chlorures de calcium et de magnésium*, etc.

Toutefois, on donne le plus souvent le nom d'*eau dure* ou *séléniteuse* aux eaux contenant un excès de sels de *chaux* et principalement de *sulfate de chaux*.

391. Eaux employées comme boissons. — *L'eau distillée* n'est point potable, non-seulement à cause de son goût fade et douceâtre, mais encore parce qu'elle ne renferme pas les principes salins propres à favoriser les fonctions digestives et à subvenir aux besoins de l'organisme.

L'eau de pluie est déjà meilleure, parce qu'elle est plus aérée et moins pure.

Les *eaux courantes* (ruisseaux, fleuves, rivières) sont, en général, les meilleures et les plus pures pour la boisson, toutes les fois, bien entendu, qu'elles ne rencontrent pas sur leur trajet des causes d'altération. Néanmoins, au point de vue de la température, elles laissent souvent à désirer comme étant trop froides en hiver et trop chaudes en été.

Les *eaux des sources et des puits* ont des qualités qui dépendent des terrains qu'elles ont traversés. Les premières gagnent le plus souvent à être bues à une certaine distance du point où elles sourdent, parce qu'alors elles sont plus *aérées* et qu'elles ont pu déposer l'excès de substances minérales dont elles s'étaient chargées pendant leur parcours. Sous le rapport de la température, les eaux de source ont l'avantage de nous paraître *fraîches* en été et *tièdes* en hiver, ce qui tient à ce qu'elles ont toujours le même degré de chaleur au moment où elles sourdent.

Les *eaux des puits* manquent ordinairement *d'air* et renferment souvent un excès de *sulfate de chaux*.

Dans les villes comme dans les campagnes, ces eaux sont quelquefois altérées par l'infiltration de matières nuisibles provenant des rues, des égouts, des lieux d'aisance, des fosses à fumier, etc., et elles peuvent alors devenir la cause de graves maladies.

Nous avons vu en *Ch. inorg.*, n° 652, que la présence d'une forte proportion de *nitrates* dans les eaux des puits indiquait que celles-ci avaient dû être en contact avec des matières organiques en voie de transformation, et que, par suite, il était prudent de ne pas les employer aux usages domestiques.

L'eau des puits artésiens est généralement bonne, parce qu'elle se renouvelle sans cesse; cependant, il

peut être nécessaire, avant de l'employer, de la laisser séjourner un certain temps dans de grands bassins afin de lui faire absorber de l'oxygène. C'est le cas de l'eau du puits de Grenelle, à Paris, qui, d'après M. Péligot, ne renferme à son arrivée que de l'acide carbonique et de l'azote.

Les lacs et les étangs peu étendus et peu profonds, les marais et les mares offrent rarement une boisson salubre, surtout en été et en automne. Les matières organiques qui tapissent leur fond fournissent, en se décomposant, des produits qui altèrent ces eaux et leur communiquent des propriétés défavorables.

II. EAUX EMPLOYÉES POUR LES BESOINS DE L'AGRICULTURE.

392. Alimentation du bétail. — Les eaux destinées à l'alimentation du bétail doivent, pour constituer une boisson salubre, présenter, autant que possible, les mêmes propriétés que les eaux potables.

Les eaux les plus mauvaises pour cet usage sont, après les eaux corrompues, celles dont l'aération est insuffisante ou qui sont chargées d'un excès de *sulfate de chaux* (sélénite).

Nous ajouterons que l'eau doit toujours être administrée aux animaux à une température convenable qui est indiquée, du reste, par celle du corps de l'animal et par les conditions dans lesquelles il devra se trouver après avoir bu (Voir pour plus amples détails notre *Ch. inorg.*, n° 659).

393. Eaux employées pour les irrigations. — La méthode à suivre pour juger de la valeur des différentes eaux destinées à être utilisées pour les irrigations devant être développée dans le chapitre suivant,

nous ne nous arrêterons pas sur ce sujet, pour le moment.

Comme complément de tout ce qui précède, il nous reste à décrire une méthode extrêmement simple à l'aide de laquelle on peut juger rapidement de la valeur relative des eaux au point de vue de leurs différents usages, et qui a reçu le nom *d'hydrotimétrie*.

HYDROTIMÉTRIE ¹.

394. Base de la méthode. — La méthode que nous allons exposer repose sur les deux faits suivants :

1° *L'eau pure additionnée de quelques gouttes de teinture alcoolique de savon donne immédiatement, par l'agitation, une mousse persistante.*

2° *Dans une eau plus ou moins calcaire ou magnésienne, la mousse n'apparaît qu'autant que les bases terreuses ont été saturées par une quantité proportionnelle de savon et que la liqueur renferme un petit excès de ce dernier composé (Ch. inorg., n° 655).*

Expériences. — Les faits précédents peuvent être vérifiés à l'aide des expériences suivantes :

1° Dans un premier flacon bouchant à l'émeri et d'une capacité de 60 à 80^{cc}, on introduit 40 à 50^{cc} d'eau distillée et quelques gouttes d'une dissolution alcoolique de savon préparée comme il est dit plus loin; on agite et une mousse *persistante* apparaît immédiatement.

2° Dans un autre flacon renfermant une eau calcaire, on verse de même de la dissolution savonneuse et l'on agite. Le liquide se trouble et devient opalin ou laiteux, mais ce n'est qu'après une addition plus ou

¹ Mot qui signifie : *mesure de la valeur d'une eau.*

moins considérable de savon que la mousse cesse de disparaître.

3° Dans un troisième flacon, on introduit d'abord une eau *séléniteuse* (obtenue en faisant digérer de l'eau ordinaire sur du sulfate de chaux), et on y ajoute encore de la dissolution de savon. Cette fois, non-seulement la mousse ne devient persistante qu'au bout d'un certain temps, mais de plus on constate au milieu de la liqueur opaline l'apparition de *grumeaux* plus ou moins abondants.

Des dissolutions étendues de chlorures de calcium ou de magnesium, de sulfate de magnésie, de nitrates de ces mêmes bases donnent, avec la liqueur alcoolique de savon, des résultats analogues.

Conséquences. — Il résulte des expériences précédentes que la quantité de teinture de savon nécessaire pour produire une mousse persistante dans une eau, peut donner la mesure de sa *dureté*.

Le docteur Clarke, en Angleterre, a le premier proposé d'appliquer ce principe pour apprécier les diverses qualités des eaux; MM. Boutron et F. Boudet ont développé plus tard, en France, les observations du docteur anglais, et en ont tiré la base d'une méthode d'essai des eaux appelée à rendre de grands services à l'hygiène, l'industrie et l'agriculture.

Pour faire des essais hydrotimétriques, il faut commencer par se munir d'un petit nombre d'instruments fort simples et de réactifs d'une facile préparation que nous allons indiquer.

395. Instruments hydrotimétriques.

1° *Flacon d'essai* (fig. 141) bouchant à l'émeri, de 60 à 70^{cc} de capacité et gradué à 10, 20, 30 et 40^{cc} par

des traits circulaires. Il est bon d'avoir trois ou quatre de ces flacons.

2° Une *burette* appelée *hydrotimètre* (fig. 142) que

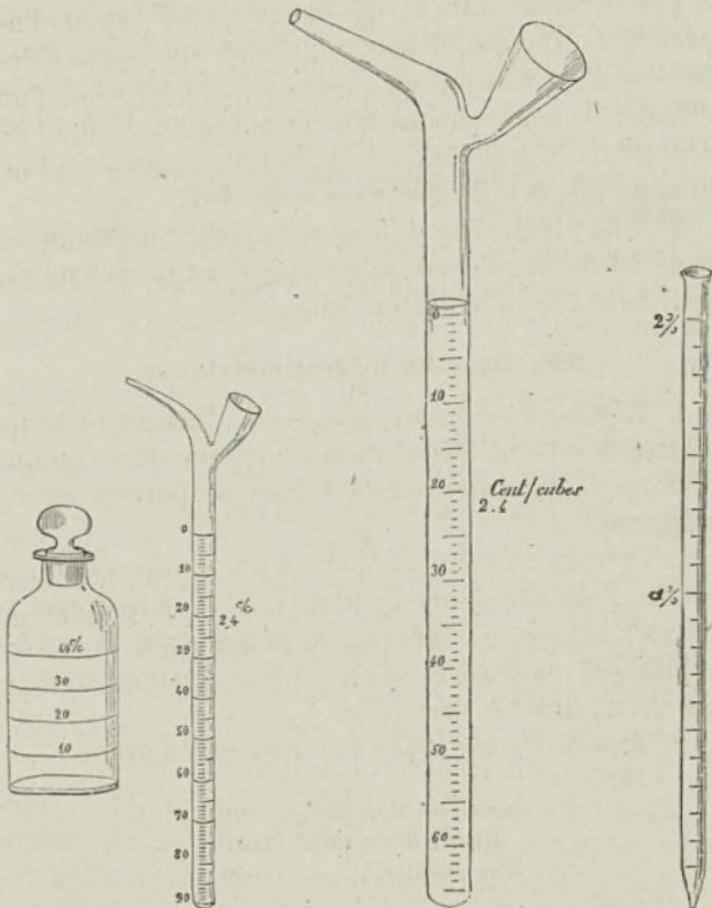


Fig. 141.

Fig. 142.

Fig. 143.

MM. Boutron et Boudet ont graduée de la manière suivante :

L'espace compris entre le *trait circulaire* supérieur

et la *vingt-deuxième* division de la burette représente un volume de 2^e,4 dixièmes, et cet espace est partagé en 23 parties égales.

Les divisions situées en dessous sont égales aux premières. Chaque division représente un degré, mais le *zéro* n'est marqué qu'au-dessous du premier trait circulaire : nous verrons bientôt pourquoi. La fig. 142 représente la graduation de la burette exécutée à une plus grande échelle que dans la fig. 141.

3° Une pipette (fig. 143) avec laquelle on complète, dans le flacon d'essai, le volume d'eau sur lequel on veut faire l'essai hydrotimétrique.

396. Réactifs hydrotimétriques.

1° *Liquueur hydrotimétrique.* — La liqueur hydrotimétrique est une dissolution alcoolique de savon qui doit toujours renfermer la même proportion de ce composé.

Les savons du commerce ayant une composition variable, il est nécessaire de titrer la liqueur hydrotimétrique ; nous allons indiquer la préparation de la dissolution savonneuse et de celle à base alcalino-terreuse qui sert à titrer la première.

a. *Dissolution alcoolique de savon.* — On prend :

Savon de Marseille.	100 gr.
Alcool à 90° centig.	1600
Eau distillée.....	1000

On met d'abord le savon et l'alcool dans une capsule de porcelaine, et on chauffe au bain de sable (fig. 82) jusqu'à l'ébullition. Quand le savon est dissous, on filtre pour séparer les sels et les autres matières insolubles dans l'alcool, et on ajoute ensuite l'eau distillée.

b. Dissolution saline servant à titrer la liqueur de savon. — On pèse à la balance de précision 25 centigrammes de *chlorure de calcium* fondu et on les dissout dans une quantité d'eau distillée telle que le volume de la liqueur soit exactement de 1 litre (n° 64).

Le chlorure de calcium étant déliquescent, ce qui est toujours un inconvénient dans les pesées, M. Marchand (de Fécamp) a proposé de substituer à ce composé *l'azotate de baryte*, sel plus facile à manier. Dans ce cas, on remplace les 25 centigr. de chlorure de calcium par 59 centigr. d'azotate de baryte pour avoir une dissolution barytique de même degré.

397. Titrage de la liqueur hydrotimétrique. — La liqueur de savon doit posséder un degré de concentration tel que le volume liquide compris entre le trait circulaire supérieur et la vingt-troisième division, ou le vingt-deuxième degré, soit rigoureusement nécessaire pour produire une mousse persistante avec 40^{cc} de la dissolution normale de chlorure de calcium ou d'azotate de baryte.

Voici la méthode à suivre pour exécuter ce titrage; elle reste là même, quand il s'agit d'évaluer le degré hydrotimétrique d'une eau quelconque.

1° On verse la liqueur savonneuse dans la burette par le petit entonnoir (fig. 142) jusqu'à ce que le niveau du liquide (partie inférieure du ménisque) coïncide exactement avec le trait circulaire supérieur.

2° On introduit dans le flacon d'essai (fig. 141) la liqueur normale de chlorure de calcium ou d'azotate de baryte jusqu'au trait indiquant un volume de 40 centim. cubes.

3° On fait tomber goutte à goutte la liqueur de savon dans le flacon d'essai (fig. 144), et l'on agite de

temps en temps. Quand la mousse forme à la surface du liquide une couche de plus d'un demi-centimètre d'épaisseur et se maintient au moins *cinq minutes* sans

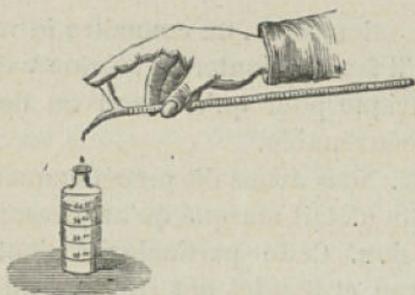


Fig. 144.

s'affaisser, l'opération est terminée et on n'a plus qu'à lire sur la burette le chiffre qui correspond au niveau du liquide dans l'hydrotimètre.

Si ce chiffre est 22, la liqueur savonneuse est parfaite; mais cette circonstance se présente rarement, et le plus souvent il faut corriger la liqueur. Comme on peut toujours faire en sorte que la dissolution savonneuse soit *trop* concentrée, nous indiquerons le procédé de correction dans ce seul cas.

Supposons que dans l'opération du titrage, au lieu de 23 divisions, il n'en ait fallu que 18 pour saturer les 40^{cc} de liqueur normale et obtenir une mousse persistante : ce résultat indique que, pour avoir une liqueur hydrotimétrique parfaite, il faudrait ajouter 5 divisions d'eau distillée aux 18 divisions de solution savonneuse employée.

On mesure alors exactement dans une éprouvette graduée le volume de la liqueur de savon préparée, on exprime ce volume en divisions de la burette, sa-

chant que 23 divisions correspondent à 2^{cc},4 et l'on pose la proportion :

$$18 : 5 :: V : x.$$

en tirant la valeur de x, on connaîtra le volume d'eau distillée qu'il faudra ajouter au volume V de la liqueur hydrotimétrique pour qu'elle soit au degré de concentration convenable.

REMARQUE. Nous avons dit précédemment que le 0^o de la burette n'était marqué qu'au-dessous de la première division. Cette particularité tient à ce que MM. Boutron et Boudet ont constaté que 40^{cc} d'eau pure exigent *une division* de liqueur d'épreuve pour produire une mousse persistante. Or, comme ce volume de 40^{cc} est précisément celui adopté pour tous les essais d'eau, si on laisse la première division de la burette en dehors de la graduation, les divisions suivantes représenteront uniquement et réellement la quantité de savon décomposée par les matières dissoutes dans l'eau¹.

398. Détermination du degré hydrotimétrique des eaux. — Pour essayer une eau quelconque, on commence par en mesurer 40^{cc} dans le flacon d'essai, et on y ajoute goutte à goutte la liqueur alcoolique de savon préalablement titrée, jusqu'à ce que la mousse devienne persistante. Le chiffre lu sur l'hydrotimètre

¹ Nous avons eu souvent l'occasion de constater qu'au bout d'un certain temps, la liqueur hydrotimétrique changeait de titre en laissant déposer une certaine quantité de savon. Dans ce cas, il faut toujours commencer, avant d'entreprendre les essais, par redissoudre le savon déposé, en mettant le flacon sur un poêle ou dans l'eau chaude, ou bien encore, si cela est nécessaire, en chauffant à la lampe à alcool le liquide transvasé dans une capsule.

est ce que l'on appelle le *degré hydrotimétrique* de l'eau examinée.

Quand une eau est très-fortement chargée de sels de chaux ou de magnésie, l'addition de la liqueur hydrotimétrique donne naissance à des grumeaux qui peuvent rendre la détermination du degré moins facile. On doit alors ajouter à l'eau soumise à l'expérience 1, 2 ou 3 fois son volume d'eau distillée, opération facile à exécuter, puisque le flacon d'essai est jaugé de 10 en 10 cc. jusqu'à 40. On fait ensuite l'essai comme à l'ordinaire, en ayant soin de multiplier le degré trouvé par 2, 3 ou 4 suivant le volume d'eau distillée ajouté.

Pour avoir une idée de la valeur de l'eau essayée relativement à l'usage auquel on la destine, il suffira de comparer le degré obtenu à celui des eaux classées dans les tableaux suivants :

399. Échelle hydrotimétrique des eaux de sources et de rivières, d'après MM. Boutron et Boudet.

Eau distillée.....	0
— de neige (Paris).....	2°,5
— de pluie —	3 ,5
— de l'Allier (Moulins).....	3 ,5
— de la Dordogne (Libourne)...	4 ,5
— de la Garonne (Toulouse)....	5 ,0
— de la Loire (Tours).....	5 ,5
— — (Nantes).....	5 ,5
— du puits de Grenelle.....	9 ,5
— de la Soude.....	13 ,5
— de la Somme Soude.....	13 ,5
— — (Marne).....	14 ,0
— du Rhône.....	15 ,0
— de la Saône.....	15 ,0
— de l'Yonne (1000 ^m en aval de l'embouch. de l'Armançon).	15 ,0

Eau de la Seine (pont d'Ivry).....	16 ,0
— — (Chaillot).....	23 ,0
— de la Marne (Charenton)....	19 à 23°
— de l'Oise (Pontoise).....	21°
— de l'Escaut (Valenciennes)...	24 ,5
— d'Arcueil.....	28 ,0
— du canal de l'Oureq.....	30 ,0
— des prés Saint-Gervais.....	72 ,0
— de Belleville.....	128 ,0

400. Analyses de M. Robinet. — Voici, d'après M. Robinet, les degrés hydrotimétriques des principaux eaux bues par les habitants de la Seine, soit à Paris, soit dans quelques-unes des campagnes environnantes :

Puits artésien de Grenelle.....	9° ,5
Seine.....	18 à 21°
Dhuys ¹	23° ,0
Oureq.....	31 ,0
Chaville.....	36 ,0
Garches.....	36 ,0
Arcueil.....	37 ,0
Ville d'Avray.....	50 ,0
Val Fleury.....	50 ,0
Meudon.....	52 ,0
Montretout.....	60 ,9
Prés Saint-Gervais.....	76 ,0
Puits de Paris.....	130 ,0
Belleville.....	155 ,0
Sources de la Vanne ² (M. Humblot).	18 à 20°

401. Analyses des eaux de glace par M. Robinet.

¹ La Dhuys est une des sources du département de la Marne que le gouvernement vient de dériver et d'amener jusqu'à Paris par un canal qui a plus de 130 kilomètres de longueur, dans le but d'en distribuer les eaux aux nombreux habitants de la capitale.

² La Vanne, petite rivière qui prend sa source dans le départe-

— Dans la congélation des eaux potables, la petite quantité des sels calcaires et magnésiens qu'elles contiennent est éliminée de la même façon que les sels plus solubles dissous dans l'eau de la mer ou toute autre dissolution saline artificielle.

La liquéfaction de cette glace fournit une eau dont la pureté paraît être telle qu'on pourrait, dit M. Robinet, l'employer dans beaucoup de cas comme de l'eau distillée, au moins lorsque la congélation a eu lieu dans des circonstances favorables.

Voici le résumé des essais faits, sur les eaux de glace, par M. Robinet :

ORIGINE DE L'EAU OU DE LA GLACE.	TITRE DE L'EAU BRUTE.	TITRE DE L'EAU DE GLACE.
	degrés.	degrés.
Grand lac du bois de Boulogne.....	5,0	0,0
Oureq, congélation artificielle.....	29,1	6,5
Puits de Paris —	112,8	31,9
— de Reims —	77,0	36,6
Glacières de la ville.....	30,0	0,0
Stalactites de glace (place Dauphine).....	33,8	4,2
Bassins de Chaillot.....	11,2	1,1
Écluse de la Monnaie.....	18,2	1,1
Fontaine, place Saint-Sulpice.....	26,0	0,4
Bornes-fontaines.....	26,0	1,1
Fontaine, place Dauphine.....	38,8	2,2

ment de l'Aube à la limite des plaines crayeuses de la Champagne et à 14 kilomètres de Troyes. On fait en ce moment les études nécessaires pour dériver sur Paris les eaux de cette rivière, et les amener sur les hauteurs du Panthéon.

402. Résultats analytiques obtenus à la Saulsaie et aux environs.

Eaux de pluie.....	0°,5 à 3°,0
Eau du puits servant dans l'école à l'alimentation et aux usages domestiques (novembre 1861)...	22 ,0 à 23 ,0
<i>Idem</i> (mai 1862 et 1863).....	24 ,0 à 24 ,5
Après creusement du puits (décembre 1864)....	27 ,0 à 28 ,0
— (février 1865).....	28 ,0
Puits de la Garde, près Cordieux (1862).....	26 ,0
— de la grange Rollet (1862 et 1864).....	32 ,5 à 33 ,0
— de la Catherine (1862-63-64).....	41 ,0 à 42 ,0
— de Romanèche (1862).....	42 ,0
— de la ferme de la Tuillière (Fructivert) (1863).	30 ,0
Eau de l'étang Nallet (décembre 1864).....	4 ,0
— Réville (mai 1863).....	1 ,5
Eau de drainage, Douelle A (mai 1862).....	1 ,5

403. Résultats analytiques obtenus à Grignon. (Pouriau et Velter, janvier 1866.)

Eau de la mare de chez M. l'aumônier.	16,5
— du drainage de Chantepie.....	18,5
— du bassin du jardin anglais.....	19,0
— de la source du maréchal Bessières.	20,0
— des bains.....	21,0
— de la source qui alimente la cuisine.	21,0
— de la laverie.....	22,5
— de l'étang, à l'entrée.....	30,0
— — à la sortie.....	29,5

404. Classification hydrotimétrique des eaux. — M. Seeligmann, ancien chimiste du service municipal de la ville de Lyon, a publié, en 1859 et en 1860, un travail important sur les eaux potables et a déterminé le degré hydrotimétrique de 250 eaux recueillies à Lyon et aux environs¹.

¹ *Annales de la Société impériale d'agriculture de Lyon.*

Les recherches de ce chimiste l'ont conduit à partager les eaux en trois classes, savoir :

PREMIÈRE CLASSE. — *Eaux dont le degré hydrotimétrique ne dépasse pas 30 degrés.* — Ces eaux sont d'un excellent usage pour la boisson et la lessive, elles cuisent bien les légumes et sont légères à l'estomac. La plupart des eaux de source et de rivière rentrent dans cette classe.

DEUXIÈME CLASSE. — *Eau marquant de 30 à 60 degrés hydrotimétriques.* — Sans être précisément insalubres, ces eaux sont moins favorables à la santé, elles sont impropres au lessivage économique, elles cuisent mal les légumes et les viandes.

TROISIÈME CLASSE. — *Eaux marquant de 60 à 150 degrés et plus.* Ces eaux sont impropres à tous les usages domestiques et ne peuvent servir qu'à l'arrosage ou à l'entretien de la propreté du sol des villes.

Nous ajouterons que l'insalubrité d'une eau, relativement aux éléments minéraux dissous, dépend surtout de la nature des sels calcaires qu'elle renferme. Si les eaux ne contiennent la chaux qu'à l'état de *bicarbonate*, elles peuvent être employées sans inconvénient pour les usages domestiques et l'alimentation du bétail, leur degré hydrotimétrique fût-il de 40°.

Au contraire, si la chaux se trouve à l'état de *sulfate*, ce même degré devra faire considérer ces eaux comme peu salubres. Il est donc important de savoir reconnaître la nature des sels calcaires contenus dans les eaux; on y parviendra facilement en faisant les essais suivants :

1° Dans 100^{cc} de l'eau à essayer et préalablement additionnée de quelques gouttes d'acide chlorhydrique pur, on verse quelques centimètres cubes d'une dis-

solution de chlorure de barium, et le trouble plus ou moins abondant produit dans la liqueur (sulfate de baryte) donne une idée de la quantité d'acide sulfurique contenu dans l'eau à l'état de sulfate.

Si ce trouble est peu sensible, il n'y a pas à se préoccuper de la présence du sulfate de chaux dans l'eau; si, au contraire, on obtient un précipité blanc assez abondant et que l'on veuille évaluer le nombre de degrés de liqueur savonneuse consommée par le sulfate, on fera le nouvel essai suivant :

2° Après avoir noté le degré hydrotimétrique de l'eau naturelle, on en introduit un demi-litre dans une capsule de porcelaine et on fait bouillir le liquide pendant une demi-heure au moins, en ayant soin de remplacer la presque totalité de l'eau qui s'évapore par de l'eau distillée.

On jette ensuite le liquide et son dépôt sur un filtre qui retient *les carbonates terreux*, on lave avec de l'eau pure et chaude en se servant de la fiole à jet (fig. 56), mais en ayant soin que le volume final de la liqueur soit rigoureusement d'un demi-litre comme avant l'ébullition.

On met alors 40^{cc} de l'eau bouillie dans le flacon d'essai et l'on détermine son nouveau degré hydrotimétrique, degré qui correspond au *sulfate de chaux* seul ou mélangé aux autres sels solubles de chaux et de magnésie qui peuvent rendre les eaux crues et insalubres.

405. Applications. — Il résulte de tout ce qui précède, que la seule connaissance du degré hydrotimétrique d'une eau suffit pour indiquer sa valeur relativement aux usages auxquels elle est destinée;

mais on peut encore tirer de cette détermination des conclusions plus complètes.

1° MM. Boutron et Boudet ont fait remarquer que le degré hydrotimétrique d'une eau représentait à peu près, en général, le poids en *centigrammes* de sels terreux contenus dans 1 litre d'eau; de sorte que si, par exemple, le degré d'une eau est 30, on peut admettre, *a priori*, que le poids des sels terreux qu'elle contient ne doit pas différer beaucoup de 0^s,30.

Cette coïncidence a été constatée par MM. Boutron et Boudet dans un grand nombre d'analyses.

2° D'après la composition de la liqueur hydrotimétrique, on trouve, par le calcul, que 1° de l'hydrotimètre correspond par litre d'eau à une quantité de savon égale à 0^s,406 et en nombre rond 0^s,4; de telle sorte que, si une eau a pour degré hydrotimétrique 30, on pourra en conclure que chaque litre de cette eau employée au blanchissage consommera trente fois 0^s,4 ou 3 gr. de savon uniquement employés à saturer les sels terreux. Si donc, dans une lessive, on consomme 100 litres de cette eau, 300 gr. de savon seront perdus.

REMARQUE. — Nous avons décrit en détail la méthode hydrotimétrique, parce qu'elle peut rendre de grands services non-seulement à l'hygiène publique et à l'industrie, mais encore à l'agriculture. Grâce à sa simplicité, ce procédé d'analyse fournit, même aux personnes les plus étrangères à la chimie, un moyen de s'éclairer sur la valeur relative des eaux qui sont à leur portée et leur permet d'en faire un choix judicieux. Avec l'hydrotimétrie, un agriculteur pourra toujours choisir entre plusieurs eaux la plus légère et la plus salubre, et éviter d'alimenter son bétail avec

des eaux *séléniteuses* qui sont presque toujours la source de maladies graves.

Les personnes qui voudraient composer elles-mêmes la dissolution normale de savon, mais auxquelles une balance de précision ferait défaut, pourront toujours faire préparer par le pharmacien de la ville voisine une liqueur *normale* de chlorure de calcium ou d'azotate de baryte (n° 396, *b*), et avec cette dissolution, composer, chaque fois qu'il sera nécessaire, une liqueur hydrotimétrique convenable ou vérifier si le titre d'une dissolution ancienne a changé.

406. De la présence de la matière organique dans les eaux. — Le degré hydrotimétrique d'une eau n'est pas toujours en rapport avec sa salubrité, ce qui tient à ce que la dissolution alcoolique de savon est sans influence sur les matières organiques que les eaux peuvent renfermer.

C'est ainsi que, d'après M. Pélilot, l'eau du grand égout collecteur d'Asnières ne marque que 53°, tandis que celle du puits de Belleville donne 153°, nombre trois fois plus fort.

Or, il est bien évident que les eaux de Belleville doivent être beaucoup moins insalubres que celles du grand égout, et ce fait démontre la nécessité de compléter la méthode hydrotimétrique par un autre essai que nous indiquerons dans le chapitre suivant (n° 408 *g*).

**407. Prix des instruments et appareils mentionnés
dans ce chapitre.**

Appareil complet du n° 385 29 fr. 50 c.

Ballon 0 fr. 75 c.

Réfrigérant E..... 15 00

Support du réfrigérant..... 5 00

Fourneau et triangle..... 4 00

Terrine..... 2 00

Tubes en verre et en caout-
chouc 2 00

Entonnoir..... 0 25

Fiole H..... 0 50

Instruments hydrotimétriques.

Burette hydrotimétrique (fig. 141)..... 7 fr. 00 c.

Flacon — (fig. 142)... .. 2 50

Pipette — (fig. 143)..... 2 50

CHAPITRE XIX

ANALYSE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES EAUX TERRESTRES. — APPLICATION AUX EAUX D'IRRIGATION, DE DRAINAGE, D'ÉGOUTS, ETC.

ANALYSE DES EAUX TERRESTRES.

408. Essais qualitatifs. — Quand on veut avoir une première idée de la composition d'une eau terrestre, on peut la soumettre aux essais qualitatifs suivants :

a. Acide carbonique libre. — On verse dans l'eau un peu d'eau de chaux. S'il se forme un précipité disparaissant lorsque l'on ajoute une plus grande quantité de l'eau à essayer, on en conclut la présence de l'acide carbonique libre.

b. Bicarbonate de chaux. — De la teinture alcoolique de bois de campêche ajoutée à une eau communiquée à celle-ci une coloration violette lorsque cette eau renferme du bicarbonate de chaux.

Plus la proportion de ce sel calcaire est considérable, plus la coloration est rapide.

Cette même eau soumise à l'ébullition se trouble et laisse déposer du carbonate de chaux par suite du dégagement de l'acide carbonique à la faveur duquel le sel terreux était tenu en dissolution.

c. Sels terreux. — Quand on agite une eau plus ou moins calcaire ou magnésienne avec de la teinture

alcoolique de savon, on n'obtient une mousse persistante qu'autant que les bases terreuses ont été saturées par une quantité proportionnelle de savon et que la liqueur renferme un petit excès de ce dernier composé (Voir *Hydrotimétrie*, n° 394).

d. Sulfate de chaux. — Pour reconnaître si une eau renferme du *sulfate de chaux*, on exécute les deux essais suivants :

1° On acidule un certain volume d'eau avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique et on verse ensuite du *chlorure de barium* qui donne naissance à un précipité blanc de *sulfate de baryte*, si l'eau renferme un sulfate soluble.

Dans le cas où ce premier essai fournit un résultat négatif, le second devient inutile.

2° On met 200^{cc} d'eau dans un ballon, on fait bouillir pendant une demi-heure en ayant soin de remplacer de temps en temps l'eau qui s'évapore, afin d'empêcher la précipitation du sulfate de chaux.

On filtre ensuite pour retenir les carbonates terreux qui ont pu se déposer, et dans la liqueur filtrée on ajoute du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'oxalate d'ammoniaque. Ce dernier réactif donne naissance à un précipité blanc, si la dissolution renferme de la *chaux*.

On peut aussi ajouter dans cette même liqueur filtrée un volume égal d'alcool à 90° qui précipite le sulfate de chaux, si l'eau en renferme.

e. Chaux et magnésie. — Les essais précédents fournissent déjà des indications sur la présence des sels terreux dans une eau. Quand on y veut reconnaître directement la présence de la *chaux* et de la *magnésie*

à l'état de bicarbonates ou de sels solubles, voici comment il convient d'opérer :

On prend un demi-litre d'eau qu'on acidule d'un petit excès d'acide chlorhydrique et on fait évaporer le liquide dans une capsule de porcelaine de façon à réduire le volume à $\frac{1}{10}$ environ.

Dans la liqueur chaude on ajoute un petit excès d'ammoniaque et immédiatement après de l'*oxalate d'ammoniaque* qui précipite la chaux à l'état d'*oxalate de chaux*. On maintient le liquide à une température voisine de 100° pendant quelques instants, on laisse déposer le précipité et on filtre.

On ajoute alors dans la liqueur filtrée d'abord quelques gouttes d'*oxalate d'ammoniaque* pour s'assurer que toute la chaux a été précipitée, et ensuite du *phosphate de soude ammoniacal* qui donnera naissance à un précipité de *phosphate ammoniaco-magnésien*, si l'eau renferme de la *magnésie* (n° 89).

f. Chlore. — On acidifie 400^{cc} d'eau avec quelques gouttes d'acide nitrique, et on verse ensuite de l'*azotate d'argent* pour déceler le chlore (n° 497, j).

g. Matière organique. — Pour reconnaître la présence d'une quantité un peu sensible de matière organique dans une eau, on emploie le *chlorure d'or*.

On introduit dans un petit ballon 400^{cc} de l'eau à essayer, on ajoute quelques gouttes du réactif et on fait bouillir. Si l'eau devient *violette* et se trouble, on peut en conclure que la proportion de matière organique qu'elle tient en dissolution est notable; c'est le contraire si l'eau conserve même après l'ébullition sa couleur *jaune primitive*.

☆ ANALYSE QUANTITATIVE DES EAUX DESTINÉES AUX USAGES DOMESTIQUES OU EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

Nous avons dit, chapitre XVIII, que ces eaux renfermaient généralement :

1° *Des gaz;*

2° *Des substances minérales;*

3° *De la matière organique.*

Nous allons indiquer la marche à suivre pour doser ces divers éléments.

409. Des gaz renfermés dans les eaux. — La détermination et le dosage des gaz tenus en dissolution dans une eau nécessitent des opérations et des appareils dont il n'a pas été fait mention jusqu'ici, et qui pourront faire l'objet d'une étude particulière.

410. Des substances minérales renfermées dans les eaux. — Les principes minéraux que l'on rencontre le plus fréquemment dans les eaux terrestres sont :

Les acides sulfurique, silicique, carbonique, azotique, phosphorique et le chlore.

La potasse, la soude, l'ammoniaque, la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer.

Pour effectuer le dosage de ces divers éléments, on peut opérer sur des poids ou des volumes déterminés de l'eau à essayer.

S'il est toujours plus exact de peser l'eau, d'autre part il est beaucoup plus rapide de la mesurer; d'ailleurs, pour passer ensuite du volume au poids, il suffit de connaître la densité du liquide.

411. Détermination de la densité de l'eau. — On met dans une terrine contenant de l'eau fraîche deux flacons remplis, l'un d'eau distillée, l'autre de l'eau

à analyser, et on amène ainsi les deux liquides à prendre la même température.

On choisit, d'autre part, une petite fiole en verre bouchant à l'émeri et ayant une capacité de 400^{cc} jusqu'à un trait circulaire marqué sur le col, à peu de distance de la partie inférieure du bouchon.

On remplit successivement cette fiole avec de l'eau distillée et de l'eau à analyser; on pèse chaque fois, et en divisant le second poids par le premier, on obtient un quotient qui représente la densité cherchée.

412. Dosage de l'ensemble des matières fixes. — On fait évaporer doucement, au bain de sable et à une température inférieure à 100°, 3 à 4 litres d'eau que l'on introduit par portions successives dans une capsule tarée de porcelaine et mieux de platine.

On achève l'évaporation à sec, d'abord au bain-marie et ensuite dans l'étuve à huile, où l'on chauffe la capsule et son résidu à une température de 140° au plus, jusqu'à ce que deux pesées successives, faites à un quart d'heure de distance, ne présentent plus de différences sensibles (fig. 145).

Nota. Quand l'eau contient du chlorure de magnésium, il peut arriver, pendant l'évaporation, qu'une petite quantité de ce sel se décompose en magnésie et en acide chlorhydrique volatil, ce qui détermine une petite perte. En général, cette perte est négligeable; cependant, si on veut la prévenir, il suffit d'ajouter par litre d'eau qu'on soumet à l'évaporation 1 décigramme de carbonate de soude pur et desséché au rouge. On le défalque ensuite du poids du résidu fixe.

413. Dosage des divers éléments énumérés n° 410.

I. ACIDES ET CORPS QUI EN JOUENT LE RÔLE.

a. Acide carbonique total. — On prend un flacon de 4200^{cc} de capacité environ et on y introduit 100^{cc} d'une

solution composée de 2 parties de chlorure de calcium et de 3 parties d'ammoniaque. On verse ensuite dans ce flacon 1 litre de l'eau à analyser et on remplit l'espace vide avec de l'eau distillée. On bouche, on agite et on laisse reposer le précipité de carbonate de chaux formé.

On décante ensuite sur un filtre desséché à 100° et taré le liquide clair et ensuite le précipité qu'on lave avec de l'eau distillée, jusqu'à ce que l'eau de lavage ne précipite plus avec l'oxalate d'ammoniaque ou l'azotate d'argent.

On dessèche alors le filtre à 110° dans l'étuve à huile (fig. 145), et on détermine le poids P du carbonate de chaux qu'il a retenu.

On introduit ensuite 0^{gr},7 à 0^{gr},8 décigrammes de ce précipité dans l'appareil (fig. 146) ou celui décrit n° 83,

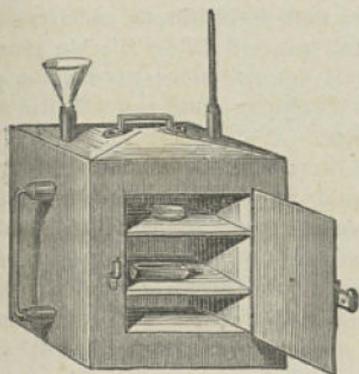


Fig. 145.

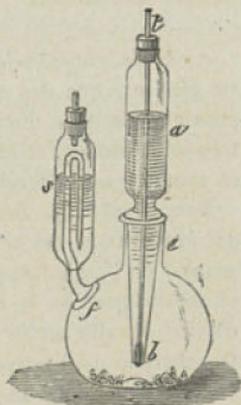


Fig. 146.

et l'on rapporte le poids d'acide carbonique dégagé au poids total P du précipité.

b. Acide azotique. — On suit la méthode indiquée

par M. Boussingault et décrite chap. XIV, n° 280.

c. Acide sulfurique. — Dans un demi-litre d'eau acidulée d'acide chlorhydrique et préalablement chauffée à 80° environ, on verse du chlorure de barium. Le précipité de *sulfate de baryte* qui prend naissance est dosé suivant les indications du n° 197, *h*.

d. Acide silicique. — On évapore à sec, dans une capsule de porcelaine ou de platine, 4 ou 5 litres d'eau préalablement acidifiée avec de l'acide azotique. On fait digérer le résidu avec de l'acide chlorhydrique, on ajoute de l'eau, on fait bouillir et on dose l'acide silicique suivant les indications du n° 95, *d*.

La liqueur L séparée par filtration et lavage du précipité d'acide silicique renferme la totalité de l'*oxyde de fer*, de la *chaux* et de la *magnésie* de l'eau.

On met de côté cette liqueur L pour y doser ces divers éléments.

e. Acide phosphorique. — Les eaux terrestres ne renfermant, en général, que des quantités extrêmement faibles d'acide phosphorique dont le dosage exigerait des opérations très-longues et très-minutieuses, il est suffisant d'exécuter l'analyse qualitative de ce composé sans chercher à le doser.

Essai qualitatif. On réduit 10 litres d'eau au volume d'un litre par évaporation, on ajoute au liquide un peu d'azotate d'alumine et ensuite de l'ammoniaque. Le précipité formé contient tout l'acide phosphorique; on le recueille sur un filtre, on le lave et on le redissout ensuite sur le filtre même par de l'acide azotique étendu. On cherche qualitativement l'acide phosphorique dans cette solution en employant le *molybdate d'ammoniaque*, comme il a été dit n° 143.

Si, par extraordinaire, l'eau renfermait une notable proportion d'*acide phosphorique*, on soumettrait une nouvelle quantité d'eau à l'évaporation à sec, et on séparerait la *silice*, s'il y avait lieu, en opérant comme en *d*. On doserait ensuite l'acide phosphorique dans la liqueur filtrée, en suivant les indications du n° 122.

f. Chlore. — On acidifie 100 à 200^{cc} d'eau avec de l'acide nitrique et on ajoute ensuite du nitrate d'argent. Le précipité de *chlorure d'argent* est recueilli et dosé comme il a été indiqué n° 197, *j*.

II. BASES TERREUSES, ALCALINES, ETC.

g. Dosage de la totalité de l'oxyde de fer, de la chaux et de la magnésie contenus dans l'eau. — On reprend la liqueur L séparée de la silice et mise de côté en *d*, et, en la traitant conformément aux indications du n° 95, *e, g et h*, on dose successivement l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie.

h. Oxyde de fer, chaux et magnésie à l'état de carbonates.

k. Chaux et magnésie non à l'état de carbonates. — On fait bouillir dans un grand ballon, pendant au moins deux heures, 2 à 3 litres d'eau en ayant soin de remplacer par de l'eau distillée celle qui s'évapore, afin de prévenir la précipitation du *sulfate de chaux*.

On filtre et on lave le précipité qui se compose de tous les *carbonates* précédemment maintenus en dissolution à la faveur de l'acide carbonique.

On obtient ainsi un précipité P et une liqueur filtrée M.

Traitement du précipité P. — On dissout le précipité sur le filtre avec de l'acide chlorhydrique étendu additionné d'un peu d'acide azotique; on lave le filtre, on fait bouillir la dissolution pour suroxyder le fer et on procède ensuite au dosage de l'oxyde de fer, de la chaux et de la magnésie en opérant conformément aux indications du n° 95, *e, g, h*.

Traitement de la liqueur filtrée M. — Cette liqueur peut renfermer encore de la chaux et de la magnésie

appartenant à des sels *solubles* et différents des carbonates précipités par l'ébullition. Pour effectuer le dosage de ces bases, on opère comme il suit :

On ajoute dans la liqueur M du chlorhydrate d'ammoniaque, un léger excès d'ammoniaque et enfin de l'*oxalate d'ammoniaque* qui précipite la *chaux*. On effectue le dosage comme il est dit n° 93, *g*.

On précipite et on dose la *magnésie*, dans la liqueur séparée de la *chaux*, par filtration, en opérant suivant les indications du même paragraphe n° 93, *g* et *h*.

REMARQUE. Une eau ne peut renfermer, à la fois, des carbonates alcalins et des sels de *chaux* ou de *magnésie* solubles. On comprend, en effet, que ces divers sels, mis en présence, donneraient lieu à une double décomposition d'où résulteraient finalement des carbonates terreux qu'un excès d'acide carbonique pourrait seul tenir en dissolution dans l'eau.

Il est donc important de s'assurer si l'eau renferme des carbonates alcalins, parce que, dans ce cas, il est inutile de se préoccuper des sels de *chaux* et de *magnésie* solubles indiqués en *h'*.

i. Carbonates alcalins. — Analyse qualitative. — On fait bouillir pendant une heure 400 à 500 gr. d'eau, on filtre, on évapore presque à siccité la liqueur filtrée, on décante si cela est nécessaire (par suite d'un précipité de sulfate de *chaux*), puis on verse dans le liquide quelques gouttes d'acide et l'on observe s'il y a une effervescence due au dégagement de l'*acide carbonique*.

Analyse quantitative. — Dosage indirect indiqué par Frésenius. — Pour doser l'acide carbonique qui forme avec les alcalis des sels neutres, Frésenius conseille la méthode indirecte suivante :

On fait bouillir 400 à 500 gr. d'eau pendant une heure ou deux, on filtre, on lave à l'eau chaude et on partage la totalité du liquide en deux parties égales A et B.

Dans A, on dose le *chlore* comme il a été dit en *f*, soit *p* le poids.

On ajoute au volume B, transvasé dans une capsule de platine, un petit excès d'acide chlorhydrique, on évapore à sec, on calcine au rouge faible le résidu qu'on reprend ensuite par l'eau, et on filtre si cela est nécessaire. Les carbonates alcalins se trouvent ainsi transformés en *chlorures*.

On dose le *chlore* dans cette dissolution, ce qui donne un poids *p'* évidemment plus grand que le poids *p*.

De la différence $p' - p$, on déduit la quantité d'*acide carbonique* contenu dans l'eau à l'état de carbonates alcalins, en posant la proportion :

$$35,5 : 22 :: (p' - p) : x.$$

équivalent du chlore.	équivalent de l'acide carbonique.
-----------------------------	---

j. Alcalis, potasse et soude. — Les alcalis fixes, potasse et soude, peuvent se trouver dans les eaux, non-seulement à l'état de *carbonates*, mais encore sous forme de *chlorures*, *sulfates*, etc.

Pour effectuer le dosage de ces deux alcalis, on opère comme il suit :

On réduit par l'ébullition 500^{cc} d'eau à la moitié de son volume, puis, sans filtrer, on ajoute au liquide un léger excès d'*eau de baryte* et on abandonne le mélange au repos pendant une heure ou deux.

On filtre et on verse dans la liqueur filtrée du car-

bonate d'ammoniaque qui précipite la chaux et l'excès de baryte. On filtre une seconde fois, on sature par l'acide chlorhydrique, on évapore à siccité dans une capsule de platine que l'on chauffe graduellement jusqu'au rouge, et on obtient ainsi un résidu de *chlorures alcalins* qu'on analyse comme il a été indiqué en détail n° 497, k.

Ammoniaque. — On suit la méthode de M. Boussingault, chap. XIX, n° 385.

III. DE LA MATIÈRE ORGANIQUE TENUE EN DISSOLUTION DANS LES EAUX.

Les eaux terrestres évaporées à sec fournissent presque toujours un résidu qui brunit et noircit quand on le calcine, ce qui est un indice de la présence des matières organiques que ces eaux renfermaient en dissolution.

Pour évaluer la proportion de cette matière organique, il faut évaporer à sec un volume d'eau assez considérable après y avoir ajouté du carbonate de soude sec, dans la proportion de 1 décigr. par litre, comme nous l'avons dit n° 412.

Le résidu est desséché à 140° dans l'étuve à huile, puis pesé.

On le chauffe ensuite au rouge naissant (fig. 447) jusqu'à ce qu'il devienne parfaitement blanc, et on le pèse une seconde fois après refroidissement.

La différence correspond au poids de la matière organique disparue.

414. Résultats analytiques.

Nous avons rapporté dans le premier volume de notre *Chimie appliquée à l'agriculture*, n° 646 et sui-

vants, la composition d'un grand nombre d'eaux de fleuves, de rivières, de sources, de puits, etc., et l'examen de ces divers tableaux fait voir comment les chi-

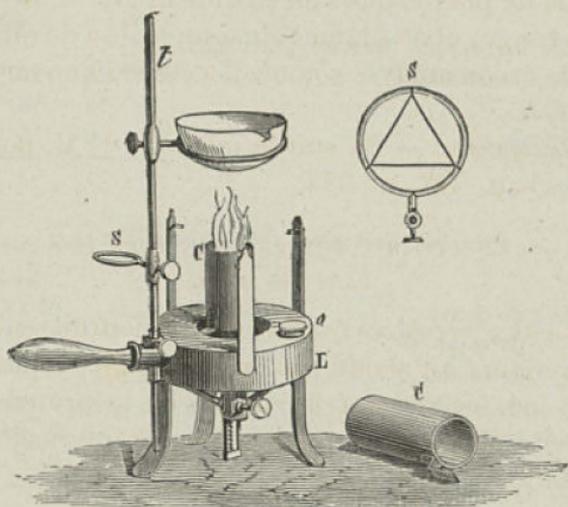


Fig. 147.

mistes ont l'habitude d'exposer les divers résultats obtenus en suivant la méthode analytique que nous venons d'exposer.

Pour compléter ces indications, nous allons donner ici la composition de quelques autres eaux qui, comme celles de la Dhuys, par exemple, offrent un véritable intérêt d'actualité.

415. Composition des eaux de la Seine et de la Dhuis, d'après M. Poggiale.

Gas pour 1000 c. cub. d'eau.

	Dhuis.	Seine ¹ .
Acide carbonique libre ou provenant des bicarbonates.....	29 ^{cc} ,46	23 ^{cc} ,30
Azote.....	14,78	20,00
Oxygène.....	5,00	9,00
	<u>49,24</u>	<u>53,30</u>

Principes fixes pour 1000 grammes d'eau.

	Dhuis.	Seine.
Carbonate de chaux.....	0 ^g ,209	0 ^g ,177
— de magnésie.....	0,024	0,019
— de soude.....	0,010	0,000
— de fer, alumine..	0,002	0,004
Sulfate de chaux.....	0,001	0,018
Chlorure de sodium.....	0,009	0,011
Azotates de soude et de potasse.....	0,013	quant. notables ²
Silicate alcalin.....	0,014	0,004
Ammoniaque.....	0,000	0,00017
Matières organiques.....	{ traces presque } { insensibles. }	quant. notables.
Eau combinée et perte.....	0,011	0,000
	<u>0^g,293</u>	<u>0^g,233</u>

416. Substances minérales totales renfermées, par litre, dans différentes eaux.

École militaire (puits).....	2 ^g ,147
Passy, caserne de la gendarmerie.....	1,860
Ternes et Neuilly.....	2,430
Fort du mont Valérien (Poggiale).....	1,980

¹ Moyenne de nombreuses analyses exécutées du mois de décembre 1852 au mois de février 1855.

² M. Poggiale a trouvé dans 1000 grammes d'eau de Seine puisée

**417. Composition de l'eau du puits artésien
de Grenelle, d'après M. Payen.**

Substances salines pour un litre.

Silice.....	0 ^g ,006
Chaux.....	0 ,038
Magnésie.....	0 ,007
Potasse.....	0 ,026
Acide sulfurique.....	0 ,003
Chlore.....	0 ,006
Acide carbonique.....	0 ,052
Substances organiques.....	0 ,003
	<hr/>
	0 ^g ,141

ANALYSE DES EAUX EMPLOYÉES POUR LES IRRIGATIONS.

418. Préliminaires. — Nous avons dit, au chapitre précédent, que les eaux employées pour les irrigations étaient :

1° Les eaux de pluie, des sources et des petits ruisseaux que l'on recueille dans des réservoirs spéciaux ;

2° Les eaux des rivières situées plus haut que les champs à irriguer et que l'on dérive à cet effet ;

3° Les eaux des nappes souterraines amenées à la surface par un forage ;

4° Les eaux de drainage, etc.

Ces eaux répandues sur un sol agissent favorablement sur la végétation de plusieurs manières, que nous avons indiquées déjà en *Chimie inorg.*, n° 660. Il nous reste, maintenant, à exposer la marche à suivre pour juger de la valeur de ces eaux.

le 24 septembre 1861, au pont d'Austerlitz, 0^g,0065 d'azotate alcalin et 0^g,018 de soude et de potasse.

419. Importance de l'analyse des eaux destinées aux irrigations. — L'analyse des eaux destinées aux irrigations est une opération très-importante, parce que seule elle permet de déterminer :

1° La nature et la proportion des éléments contenus dans ces eaux ;

2° Si ces eaux renferment surtout les principes qui manquent aux terrains qu'elles doivent arroser ;

3° Si ces mêmes eaux ne contiennent pas certains composés dont la nature ou la trop grande abondance peuvent être nuisibles à la végétation.

Pour étudier convenablement une eau d'irrigation, il faut opérer sur un volume assez considérable composé d'échantillons pris à l'entrée et à la sortie de la pièce soumise à l'arrosage, ainsi que dans les fossés de colature. On doit aussi répéter ces prises plusieurs fois pendant la période d'arrosage.

Quand les eaux d'irrigation sont sensiblement limpides, leur analyse s'exécute absolument comme s'il s'agissait d'une eau terrestre quelconque ; seulement, il y a un point important sur lequel il convient d'insister tout particulièrement.

Quand il s'agit d'eaux potables, on peut, relativement à leurs propriétés, ne pas tenir compte de certains éléments qui ne s'y trouvent renfermés qu'à des doses infiniment petites ; il en est tout autrement pour les eaux d'irrigation.

Dans les eaux potables, les sels alcalins, les composés ammoniacaux, les nitrates, les matières organiques ; ne sont que des composés secondaires en raison de leur abondance habituellement très-restreinte ; dans les eaux d'irrigation, au contraire, ce sont ces éléments qui paraissent jouer le principal rôle.

Cette différence essentielle provient de ce que, quelque minime que soit la dose d'un élément tenu en dissolution dans une eau d'irrigation, quand on vient à rapporter ce faible poids à celui de l'eau employée, on trouve des nombres qui ne peuvent plus être considérés comme négligeables.

Il est même quelquefois nécessaire, quand on veut se rendre compte des effets différents produits par des sources, identiques au premier abord, de pousser très-loin l'analyse chimique.

C'est ainsi, comme nous l'avons indiqué déjà dans notre *Chimie inorg.*, n° 666, que MM. Chevandier et Salvétat, comparant deux sources, l'une *bonne*, l'autre *mauvaise*, après avoir reconnu que l'effet favorable de la première ne pouvait être attribué ni aux gaz, ni aux composés alcalins ou terreux, ni à la silice, ni même à la proportion de matière organique dissoute, furent conduits à faire l'*analyse élémentaire* (Voy. II^e partie) de cette matière organique azotée.

Ces savants obtinrent les résultats suivants :

	Mauvaise source.	Bonne source.
Carbone.....	54,54	51,46
Oxygène.....	37,52	37,12
Hydrogène.....	5,56	5,79
Azote.....	2,88	5,73

Ce qui leur permit de conclure que la supériorité de la bonne source était due à ce que sa matière organique renfermait moins de *carbone* et plus d'*azote* que celle de la mauvaise.

420. Des eaux claires employées pour des irrigations. — L'analyse qualitative et quantitative des eaux *claires* destinées aux irrigations se fait en sui-

vant exactement la méthode que nous avons exposée au commencement de ce chapitre, en traitant des eaux terrestres. Seulement, il faut avoir le soin, quand on possède une habitude suffisante des opérations chimiques, de soumettre à des dosages spéciaux les divers composés signalés dans le paragraphe précédent, et que l'on considère, à juste titre, comme jouant un rôle capital dans les irrigations.

421. Eaux de drainage. — Les eaux des terrains drainés sont fréquemment utilisées pour les irrigations. Cette opération est extrêmement utile, parce qu'elle permet de rendre aux prairies d'un domaine une partie des éléments minéraux et organiques que ces eaux ont enlevés aux autres terres.

422. Analyse de M. Way, en Angleterre. — Moyenne de sept échantillons d'eaux fournis par des drains qui étaient restés longtemps sans couler.

	Grammes par mètr. cube d'eau.
Matière organique	105 grammes.
— minérale	220
Ammoniaque	0,270
Acide nitrique	121

L'analyse de ces eaux est la même que celle des eaux terrestres.

423. Des eaux limoneuses employées pour les irrigations. — Les eaux courantes sont généralement plus ou moins troubles, en raison des substances diverses qu'elles tiennent en suspension; par le repos, ces eaux donnent lieu à un dépôt appelé *limon*, qui peut exercer sur les terres une action modificatrice et fertilisante.

Les eaux limoneuses agissent sur la végétation tout à la fois par les principes tenus en suspension et par

ceux dissous ; nous allons indiquer la marche à suivre pour juger de la valeur des eaux troubles.

424. Analyse des eaux troubles. — L'analyse des eaux troubles comprend deux opérations distinctes :

1° *Détermination de la quantité et de la nature des particules solides tenues en suspension dans l'eau ;*

2° *Analyse des éléments tenus en dissolution.*

425. Évaluation de la quantité de limon. — La détermination de la quantité totale de matières solides tenues en suspension dans l'eau peut s'effectuer de la manière suivante :

On prend deux ou trois grandes terrines représentant une capacité totale de 25 à 30 litres, on les remplit d'eau et on laisse le limon tenu en suspension se déposer.

Quand le liquide est arrivé au degré de limpidité convenable, on le décante de manière à ne laisser qu'une petite quantité d'eau en contact avec le dépôt ; on met ce dernier en suspension dans le liquide en le délayant avec une spatule (fig. 125), et on fait tomber le mélange dans une éprouvette graduée (fig. 148), où on laisse de nouveau le liquide se clarifier.



Fig. 148.

Quand l'eau est redevenue limpide une seconde fois, on lit le volume de limon déposé au fond de l'éprouvette, on le décante ensuite sur un filtre desséché à 100° et taré ; on lave, on dessèche de nouveau à 100° et on pèse.

On a ainsi le volume de limon pour un volume déterminé d'eau et le poids correspondant.

426. Résultats numériques.

Eaux de la Durance (observations faites à Mérindol
par M. Hervé-Mangon).

	Poids moyen du limon par mètre cube.
Novembre et-décembre 1859.....	} 341 ^{gr.}
Janvier et février 1860.....	
Mars.....	302
Avril.....	821
Mai.....	1702
Juin.....	2008

Eaux du Rhône, 1844 (Commission hydrométrique à Lyon).

Maximum.....	493 ^{gr.}
Minimum.....	7
Moyenne.....	138,8

Eaux de la Saône.

Maximum.....	100,4
Minimum.....	8,4
Moyenne.....	40,0

Eaux de la Meuse (à Liège, décembre 1849).

Maximum.....	474
Minimum.....	14
Moyenne.....	100

Eau de la Loire (à Tours, du 8 janvier au 9 avril 1860).

Maximum.....	466
--------------	-----

Eau de la Loire (à Orléans, 8 janvier au 4 mars 1860).

Maximum.....	554
--------------	-----

Eau de la Loire (à Gien, 1^{er} février au 10 avril 1860).

Maximum.....	370
--------------	-----

Eau de l'Allier (à Moulins, 27 février au 28 avril 1860).

Maximum.....	522
--------------	-----

427. Composition des limons de la Loire et de la Gironde, d'après M. Hervé-Mangon.

	Loire.	Gironde.
Eau combinée et matières organiques.	8 ^g ,39	9 ^g ,31
Sels solubles.....	0,22	0,20
Carbonates de chaux et de magnésie..	4,75	6,61
Alumine et peroxyde de fer.....	12,05	13,66
Argile et silice insolubles dans les acides.	74,59	70,22
	<hr/>	<hr/>
	100,00	100,00
Azote p. 100.....	0,24	0,20

Les limons renferment quelquefois aussi du *sulfate de chaux*.

428. Analyse d'un limon.

Sels solubles. — On opère sur 400 à 500 gr. de limon que l'on traite conformément aux indications du n° 159.

Azote. — On dessèche à 100 ou 110°, dans l'étuve à huile, environ 100 gr. de limon, et on effectue le dosage de l'azote sur 15 à 20 gr., en opérant suivant le n° 204.

Eau combinée et matières organiques. — On chauffe au rouge sombre, dans une capsule de platine, 40 à 50 gr. de la matière préalablement desséchée à 100° (n° 95 b) et on détermine la perte de poids.

Dosage des autres éléments. — Suivant l'effervescence plus ou moins vive que donne, avec les acides, la matière incinérée, on en pèse 10 ou 20 gr. que l'on traite à froid par l'acide chlorhydrique étendu, comme il a été dit n° 81.

Le dosage des éléments solubles et insolubles s'effectue ensuite en suivant les indications du n° 95 c, d et suivants.

429. Dosage du sulfate de chaux dans un limon.

— Nous avons dit que certains limons renfermaient du sulfate de chaux. Pour reconnaître la présence de ce composé et en déterminer la proportion, on procédera comme s'il s'agissait d'un calcaire gypseux, n° 92.

430. Dosage du phosphate de chaux dans un limon. — On opérera comme dans le cas d'une terre, d'une marne, etc., n° 142.

NOTA. Quant au liquide séparé du limon par décantation et filtration, on en fait l'analyse comme il a été dit n° 410.

DES EAUX D'ÉGOUT.

Les égouts des grandes villes, par suite de leur mise en communication avec les fosses d'aisance d'un grand nombre de maisons, charrient des eaux chargées de matières fertilisantes et putrescibles.

L'utilisation de ces eaux comme engrais constitue donc un problème de la plus haute importance au point de vue de la salubrité et de la production agricole.

Cette question étant, depuis un an, l'objet d'une étude approfondie de la part d'une commission présidée par M. Dumas et composée de savants, d'ingénieurs et d'agriculteurs, nous croyons intéressant d'indiquer dans cet ouvrage la composition des eaux d'égout de Londres et de Paris.

431. Composition des eaux d'égouts.**I. EAUX D'ÉGOUT DE LONDRES. COMPOSITION MOYENNE
D'APRÈS LE DOCTEUR VOELCKER.**

	Par mètre cube d'eaux.	Par tonne de mat. sèches.
Matières organiques et sels ammonia- caux.....	0 ^k ,427	333 ^k ,69
Matières minérales.....	0,855	666,31
	1,282	1000,00
Azote ammoniacal et organique.....	0,081	59,27
Acide phosphorique.....	0,014	10,27
Potasse.....	0,042	30,82

**II. EAUX DES ÉGOUTS DE PARIS. — ANALYSES
DE M. HERVÉ-MANGON.**

	1	2	3	4	5
Produits destructibles par le feu, non compris l'azote...	gr. 0,630	gr. 0,90	gr. 0,33	gr. 0,19	gr. 1,575
Azote.....	0,058	0,07	0,04	0,04	0,026
Cendres.....	1,506	1,24	1,19	1,03	1,242
Poids total du résidu solide, par litre.....	2,194	2,21	1,56	1,26	2,843

**432. Quantités de matières fertilisantes por-
tées annuellement à la Seine par les égouts de
Paris. — En adoptant avec M. Hervé-Mangon, pour
la richesse moyenne des eaux d'égout de Paris, les
nombres suivants :**

- (1) et (2) Échantillons de l'eau de l'égout Rivoli.
 (3) Échantillon moyen d'eaux recueillies quatre fois par jour : huit heures
du matin, douze heures, quatre heures et huit heures du soir.
 (4) Échantillon moyen d'eaux puisées de six heures du matin à midi et de
six heures du soir à minuit.
 (5) Eaux puisées en novembre 1860.

Azote par litre.....	0 ^{fr} ,0582
Matières dissoutes ou en suspension....	2 ,0000
Volume annuel des eaux supposées au degré de concentration, qui correspond aux chiffres ci-dessus.....	21 ,900 000 mètr. cub.

on trouve que les égouts portent annuellement à la Seine :

Azote ammoniacal.....	851,910 kil.	} ...	1,272,390 kil.
Azote des matières solides.	420,480		
Matières organiques, non compris l'azote.....			12,899,100
Matières minérales.....			30,879,000
			<u>45,050,490 kil.</u>

Ces chiffres parlent d'eux-mêmes et démontrent la nécessité de conserver à l'agriculture des quantités de matières fertilisantes aussi considérables.

433. Prix des instruments mentionnés dans ce chapitre et addition aux chapitres précédents.

Boîte à réactifs contenant 35 flacons vides, à étiquettes vitrifiées, boîte en noyer.

CAPACITÉ DES FLACONS.	BOITE	
	sans couvercle.	avec couvercle.
60 ^{cc}	45	55
125 ^{cc}	60	70
190 ^{cc}	70	80
250 ^{cc}	80	90

Flacons en verre à étroite ou large ouverture, etc.

Prix du cent.

CAPACITÉ DES FLACONS.	ÉTROITE OUVERTURE OU GOULOTS.		LARGE OUVERTURE OU COLS DROITS.	
	Non bouchés.	Bouchés à l'émeri.	Non bouchés.	Bouchés à l'émeri.
	fr.	fr.	fr.	fr.
30 ^{cc} à 125 ^{cc}	6,50 à 9	20 à 35	6 à 8,50	40 à 75
125 ^{cc} à 500 ^{cc}	9 à 25	35 à 65	8,50 à 25	75 à 125
500 ^{cc} à 1 litre	25 à 37,50	65 à 80	25 à 37,50	125 à 175
1 litre à 2 litres	37,50 à 75	80 à 160	37,50 à 75	175 à 275
2 litres à 4 litres	75 à 150	160 à 320	75 à 150	275 à 500

Série de poids.

Série de poids-étalons en cuivre avec subdivisions du gramme au milligramme en platine et en aluminium; boîte à compartiments en acajou.

De 100 gr. (poids de 50 gr. et 50 gr. de fractions) 50 fr.
50 gr. 40

Série de poids de 1 gr., subdivisée jusqu'au milligramme, et renfermée dans une boîte en acajou à compartiments, en cuivre 14
en platine 24

Poids du commerce ajustés avec soin.

Série de poids en cuivre de 5^k dans une boîte 60
— — 2^k — 30
— — 1^k — 25
— — 0^k,500 à 50 gr. 20 à 10

Prix du platine.

Le prix du platine a diminué dans ces derniers temps, ce métal vaut actuellement 0 fr. 80 c. le gr.

CHAPITRE XX

TABLE DES ÉQUIVALENTS DES CORPS SIMPLES ET DES MULTIPLICATEURS CHIMIQUES. — JUSTIFICATION DE QUELQUES FORMULES, ETC. — LISTE DES PRIX DES PRODUITS CHIMIQUES ET CATALOGUE DES APPAREILS ET INSTRUMENTS MENTIONNÉS DANS CE VOLUME.

434. Table des équivalents des corps simples. — Nous avons vu en *Ch. inorg.*, chap. VII, que les équivalents des corps simples pouvaient se calculer en rapportant la composition des diverses combinaisons chimiques à un poids quelconque d'un de ces éléments pris comme terme de comparaison.

L'usage est de calculer les équivalents des corps par rapport à un poids d'*oxygène* égal à 100, ou à un poids d'*hydrogène* égal à 1; mais comme, dans le second cas, les nombres qui représentent les équivalents des corps sont plus simples et, par suite, d'un emploi plus commode dans les calculs, c'est aux équivalents calculés par rapport à l'*hydrogène* que nous donnons la préférence.

435. Table des équivalents des corps simples.

CORPS SIMPLES.	SYMBOLES.	ÉQUIVALENTS par rapport à l'hydrogène = 1.
Oxygène.....	O	8
Hydrogène.....	H	1
Azote.....	Az	14
Soufre.....	S	16
5 Chlore.....	Cl	35,5
Brome.....	Br	80
Iode.....	I	127,0
Fluor.....	Fl	19,0
Phosphore.....	Ph	31,0
10 Arsenic.....	As	75,0
Bore.....	B	11,0
Silicium.....	Si	14
Carbone.....	C	6
Potassium.....	K	39
15 Sodium.....	Na	23
Barium.....	Ba	68,5
Strontium.....	Sr	43,75
Calcium.....	Ca	20,0
Magnésium.....	Mg	12,0
20 Manganèse.....	Mn	27,5
Fer.....	Fe	28,0
Aluminium.....	Al	13,75
Chrome.....	Cr	26
Cobalt.....	Co	29,5
25 Nickel.....	Ni	29,5
Zinc.....	Zn	32,75
Étain.....	Sn	59,0
Antimoine.....	Sb	61,0
Plomb.....	Pb	103,5
30 Cuivre.....	Cu	31,75
Bismuth.....	Bi	210,0
Mercure.....	Hg	100,0
Argent.....	Ag	108,0
Or.....	Au	98,0
35 Platine.....	Pt	98,5

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MULTIPLICATEURS CHIMIQUES
INDIQUÉS DANS LES CHAPITRES PRÉCÉDENTS.

436. Observations préliminaires.— Cette table renferme trois colonnes ayant pour titres les mots : *Trouvé*, *Multipliateur*, *Cherché* ; ce qui signifie, qu'un certain poids p d'un composé étant *trouvé* par l'analyse, pour obtenir la proportion correspondante du corps simple ou composé que l'on cherche, il suffira de multiplier ce poids p par le nombre inscrit dans la colonne ayant pour titre : *Multipliateur*.

EXEMPLE :

1^o 100 grammes d'un résidu de fabrication de la gélatine ont donné à l'analyse 65,50 de phosphate de chaux tribasique ($\text{Pho}^3 3 \text{CaO}$).
On demande la quantité d'acide phosphorique correspondante ?

On a donc :

Nombre trouvé. Phosphate de chaux tribasique..... 65^g,50
Multipliateur correspondant..... 0,458
Nombre cherché. Acide phosphorique $65,50 \times 0,458 =$ 30,00

2^o 100 grammes de calcaire traités par une quantité d'acide suffisante laissent dégager 38^g,5 d'acide carbonique. On demande la proportion de carbonate de chaux correspondante ?

En appliquant les nombres de la table, on trouve :

$$\text{Carbonate de chaux} = 38,5 \times 2,27 = 87,39.$$

TROUVÉ.	MULTIPLICATEUR	CHERCHÉ.
Acide azotique..... (AzO ⁵).	0,2592	Azote. (Az).
Idem.....	1,8703	Azotate de potasse. (KO, AzO ⁵).
Acide carbonique..... (CO ²).	2,2730	Carbonate de chaux. (CaO, CO ²).

TROUVÉ.	MULTIPLICATEUR	CHERCHÉ.
Acide phosphorique..... (PhO ⁵).	2,1830	Phosphate de chaux triba- sique. (PhO ⁵ 3CaO).
Alumine..... (Al ² O ³).	1,7400	Silicate d'alumine. (Al ² O ³ SiO ³).
Ammoniaque..... (AzH ³).	0,8230	Azote. (Az).
Azotate de potasse..... (KO, AzO ⁵).	0,5340	Acide azotique. (AzO ⁵).
Chlorure d'argent..... (Ag Cl).	0,2474	Chlore. (Cl).
Chlorure double de platine et de potassium..... (K Cl + Pt Cl ²).	0,3048	Chlorure de potassium. (K Cl).
Chlorure de potassium.... (K Cl).	0,6309	Potassium. (K).
Oxalate de chaux..... (CaO C ² O ³ + HO).	0,6850	Carbonate de chaux. (CaO CO ²).
Phosphate de bismuth.... (BiO ³ PhO ⁵).	0,2328	Acide phosphorique. (PhO ⁵).
<i>Idem</i>	0,5082	Phosphate de chaux triba- sique. (PhO ⁵ 3CaO).
Phosphate de chaux triba- sique..... (Ph O ⁵ 3CaO).	0,4580	Acide phosphorique. (PhO ⁵).
<i>Idem</i>	0,7548	Phosphate acide de chaux. CaO (HO) ² PhO ⁵ .
Phosphate de fer..... (Fe ² O ³) ² 3PhO ⁵ .	0,4280	Peroxyde de fer. (Fe ² O ³).
<i>Idem</i>	0,5710	Acide phosphorique. (PhO ⁵).
Pyrophosphate de magné- sie..... (PhO ⁵ ² MgO).	0,3661	Magnésie. (MgO).
<i>Idem</i>	1,3960	Phosphate de chaux triba- sique. (PhO ⁵ 3CaO).
<i>Idem</i>	0,7580	Carbonate de magnésie. (MgO CO ²).
<i>Idem</i>	0,6339	Acide phosphorique. (Ph O ⁵).
Potassium..... (K).	1,2050	Potasse. (KO).
Sodium..... (Na).	1,3470	Soude. (NaO).

TROUVÉ.	MULTIPLICATEUR	CHERCHÉ.
Sulfate de baryte..... (BaO SO ³).	0,3433	Acide sulfurique. (So ³).
<i>Idem</i>	0,5841	Sulfate de chaux anhydre. (CaO SO ³).
<i>Idem</i>	0,7381	Sulfate de chaux hydraté. (CaO SO ³ , 2HO).
Sulfate de chaux..... (CaO SO ³).	1,2640	<i>Idem</i> .

JUSTIFICATION DE QUELQUES FORMULES.

437. Liqueur sulfurique normale renfermant 61 gr. 250 d'acide sulfurique monohydraté par litre.
— Nous avons dit n° 70, que la liqueur sulfurique normale employée dans les analyses volumétriques se compose de 49 gr. d'acide sulfurique monohydraté dissous dans une quantité d'eau telle que le volume total de la liqueur soit de un litre.

49 est le poids équivalent exprimé en grammes de l'acide sulfurique monohydraté, les équivalents des corps simples étant pris par rapport à l'hydrogène égal 1.

Mais nous devons prévenir nos lecteurs que beaucoup de chimistes composent la liqueur sulfurique normale en substituant à ce poids de 49 gr. celui qui correspond au dixième de l'équivalent de l'acide sulfurique monohydraté, calculé par rapport à l'oxygène, égal à 100.

Ce poids devient alors égal à 61 gr. 250.

En effet, si l'on se reporte au n° 130 de notre *Ch. inorg.*, on trouve que les équivalents de l'acide sulfurique monohydraté et de l'ammoniaque calculés par rapport à l'oxygène égal 100, sont :

Acide sulfurique monohydraté (SO ³ HO).	{	S = 200 O ³ = 300 HO = 112,5	
Équivalent		612,5	Le dixième, 61,25
Ammoniaque (AzH ³)	{	Az = 175 H ³ = 37,5	Le dixième, 17,50
Équivalent		212,5	Le dixième, 21,25

Si donc on veut employer dans les dosages d'ammoniaque et d'azote les équivalents calculés par rapport à l'oxygène égal 100, il suffira de substituer à la relation indiquée n° 70 4°, la suivante :

Liquueur sulfurique titrée, 61 gr. 250 milligr. dans un litre.	Ammoniaque.	Azote.
1000 centim. cub. correspondent à	21,25	17,5
1 — correspond à	$\frac{21,25}{1000}$	$\frac{17,5}{1000}$
n — correspondent à	$\frac{21,25 \times n}{1000}$	$\frac{17,5 \times n}{1000}$

438. Origine des équations employées pour le dosage des alcalis par voie indirecte. — Nous avons vu, page 220 de ce volume, que les deux équations employées étaient :

(A) $x = 2,9375S - 5,2141s.$

(B) $y = 4,2141s - 1,9375S.$

Dans lesquelles

- x correspond à la quantité inconnue de potasse,
- y — — — — — de soude,
- S — au poids des sels alcalins transformés en sulfates.
- s — — — — — d'acide sulfurique renfermé dans ces sulfates.

Or, on a, d'après la table des équivalents, n° 435,

ÉQUIVALENTS :

Potasse (KO)..... = 47	Soude (NaO)..... = 31
Acide sulfurique (SO ³)..... = 40	Acide sulfurique (SO ³)... = 40
Sulfate de potasse (KO, SO ³) = 87	Sulfate de soude (NaO, SO ³) = 71

Or, 1p de KO correspond à $\frac{87}{47}$ de KO, SO³,
 xp — correspondent à $\frac{87}{47} x$ Id.

De même,

yp de NaO correspondent à $\frac{71}{31} y$ de NaO, SO³.

On a donc $\frac{87}{47} x + \frac{71}{31} y = S$ (1).

D'autre part,

47 de KO se combinent à 40 de SO³,

1 — se combine à $\frac{40}{47}$ Id.,

x — se combinent à $\frac{40}{47} x$ Id.

De même y de NaO se combinent à $\frac{40}{31} y$ SO³;

d'où $\frac{40}{47} x + \frac{40}{31} y = S$ (2).

Des équations (1) et (2), on tire les valeurs de x et y indiquées plus haut en A et B.

APPENDICE

439. Dosage de l'acide phosphorique renfermé dans trois terres faisant partie du domaine de l'École impériale d'agriculture de la Saulsaie (Pouriau et Velter).

Les terres analysées portent les dénominations suivantes :

- 1° Douelle A ;
- 2° Champ d'expérience ;
- 3° Terre vierge de la Grange.

(Voir nos 307, 320 et 321, les renseignements agronomiques, et divers résultats analytiques relatifs à ces trois terres).

DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE.

I. Douelle A.

200 grammes de terre desséchée à l'air ont été traités par l'acide étendu conformément aux indications du n° 143 b.

a. Essai qualitatif. — Le molybdate d'ammoniaque a décelé la présence de l'acide phosphorique dans la liqueur acide et séparée de la silice par filtration.

b. Essai quantitatif. — On a suivi, pour effectuer le dosage de l'acide phosphorique, la méthode de Frésenius, n° 122, I.

Le volume total de la liqueur acide étant de 500 centim. cub., on a opéré sur 200 centim. cub.

Le poids du pyrophosphate de magnésie obtenu a été de 0^{es},098, mais la couleur noirâtre du précipité, après calcination, indiquait qu'une certaine quantité d'oxyde de fer avait été entraînée.

On a ajouté alors dans le creuset quelques gouttes d'acide azotique, on a fait bouillir avec précaution et évaporer ensuite à sec.

On a mis ensuite sur le résidu un petit morceau de soude à l'alcool, et on a chauffé au rouge jusqu'à fusion de l'alcali.

La soude a précipité le fer, déplacé la magnésie du pyrophosphate et formé du phosphate de soude. On a repris par l'eau distillée chaude, on a filtré et lavé soigneusement l'oxyde de fer et la magnésie restés sur le filtre.

La liqueur filtrée a été additionnée d'un petit excès d'acide chlorhydrique, puis successivement de chlorhydrate d'ammoniaque, d'ammoniaque et enfin de *sulfate de magnésie*.

On a obtenu alors un précipité parfaitement blanc de *phosphate ammoniaco-magnésien*, que l'on a traité comme d'habitude.

Après calcination, on a trouvé pour poids du pyrophosphate. 0^g,078
 d'où, pour 500 centim. cub. de liqueur ou 200 gram.
 de terre. 0 ,195
 d'où, pour 100 grammes de terre. 0 ,0975
 d'où acide phosphorique correspondant

$$0,0975 \times 0,6339 = 0^g,0618,$$

et pour 1 kilogramme de terre. . . . = 0 ,618.

Les deux autres terres, traitées absolument dans les mêmes conditions, ont fourni les résultats suivants :

II. Terre du champ d'expérience.

a. Essai qualitatif. — Le molybdate d'ammoniaque accuse la présence de l'acide phosphorique dans la liqueur acide filtrée.

b. Essai quantitatif. — Acide phosphorique pour 100 grammes de terre. 0^g,0280
 Idem pour 1 kilogramme de terre. 0 ,280

III. Terre de la Grange.

a. Essai qualitatif. — Le molybdate d'ammoniaque accuse des traces d'acide phosphorique.

b. Essai quantitatif. — 200 grammes de terre n'ont pas fourni une quantité d'acide phosphorique suffisante pour être dosée.

440. Quantités d'acide phosphorique renfermées par hectare et sur une profondeur de 25 centim., dans chacune des terres analysées.

DENSITÉ MOYENNE DE LA TERRE DESSÉCHÉE A L'AIR
ET A L'OMBRE, 4, 3.

I. Douelle A.

Poids du cube de terre ayant un hectare de surface et une profondeur de 25 centimètres = 3 250 000 kil.

Poids d'acide phosphorique correspondant,

$$3\,250\,000 \times 0^{\text{e}},618 = 2008 \text{ kilogr.}$$

II. Champ d'expérience.

Acide phosphorique par hectare à 0,25 de profondeur,

$$3\,250\,000 \times 0^{\text{e}},28 = 910 \text{ kilogr.}$$

III. Terre de la Grange.

Il eût été nécessaire de recommencer le dosage en opérant sur 500 grammes de terre, au moins.

441. Liste par ordre alphabétique des produits chimiques mentionnés dans ce volume, avec l'indication des prix ¹.

	fr. c.
Acétate de plomb basique cristallisé..... le kil.	12 00
— de soude pur..... —	3 00
Acide acétique pur à 8 degrés..... —	2 50
— azotique pur à 40 degrés..... —	2 00
— — à 36 degrés..... —	1 75
— chlorhydrique pur..... —	2 00
— oxalique..... —	3 50

¹ Ces prix sont extraits du catalogue de la maison de MM. Rousseau frères, qui nous fournissent nos produits chimiques depuis plus de quinze ans, 66, rue des Écoles, Paris.

		fr. c.
Acide sulfo-indigotique	l'hect.	1 20
— sulfurique pur à 66 degrés	le kil.	2 00
— tartrique pur	—	10 00
Alcool absolu	le litre	8 00
— à 40 degrés (96°)	—	3 25
— à 36 degrés (90°) rectifié	—	2 40
Ammoniaque pur	le kil.	2 00
Azotate d'alumine pur	—	8 00
— d'ammoniaque pur	—	8 00
— d'argent cristallisé	l'hect.	17 00
— de baryte pur	le kil.	3 00
— de bismuth cristallisé	—	40 00
— de potasse (sel de nitre)	—	1 20
Baryte cristallisée hydratée	l'hect.	1 40
Borax fondu pur	—	1 20
Carbonate d'ammoniaque (sesqui)	le kil.	2 00
— de magnésie	—	2 00
— de potasse pur	—	6 00
— de soude cristallisé pur	—	2 00
— — fondu pur	—	8 00
Chaux sodée	—	4 00
Chlorure de barium pur	—	3 00
— de calcium cristallisé pur	—	2 00
— — desséché	—	1 50
— — fondu blanc	—	5 00
— (per) de fer sec	—	6 00
— — liquide à 30 degrés	—	3 00
— d'or pur	le gram.	2 25
— de platine sec	—	0 80
— de sodium (sel de cuisine)	le kil.	0 30
Chlorhydrate d'ammoniaque pur	—	5 00
Eau de baryte	—	5 00
— de chaux	—	0 60
— distillée	—	0 15
Éther sulfurique pur à 65 degrés	—	6 00
— ordinaire à 56 degrés	—	4 25
— rectifié à 62 degrés	—	5 50
Huile d'œillette (dite blanche) pour étuves	—	2 20
— de pied de bœuf, idem	—	2 40
Indigo Bengale	l'hect.	2 80

		fr. c.
Liqueur hydrojimétrique.....	le litre	2 00
Magnésie calcinée.....	le kil.	6 00
Manganèse d'Allemagne.....	—	0 75
Molybdate d'ammoniaque.....	l'hect.	8 00
Oxalate d'ammoniaque pur.....	le kil.	15 00
Papiers de tournesol.....	la feuille.	0 15
Phosphate de soude pur.....	le kil.	3 00
Pierre ponce granulée.....	—	1 25
— calcinée avec de l'acide sulfurique....	—	4 00
Potasse caustique à la chaux.....	—	3 50
— à l'alcool.....	—	25 00
Prussiate jaune de potasse.....	—	4 00
Sirop de violette.....	l'hect.	1 00
Soude à la chaux.....	—	3 50
— à l'alcool.....	—	25 00
Soufre sublimé (1865).....	les 100 k.	27 50
— trituré —.....	—	22 00
Sulfate d'ammoniaque pur.....	le kil.	3 00
— de magnésie pur.....	—	2 50
Sulfhydrate d'ammoniaque pur.....	—	4 00
Tournesol en pains.....	—	4 00

442. Table alphabétique des appareils et instruments mentionnés dans ce volume.

NOTA. — En se reportant aux pages de cette table, on trouvera le prix en regard de chaque objet ¹.

	Pages.
Alcoomètres.....	15
Appareil Violette pour la dessiccation à 105 degrés.....	36
— pour le dosage de l'acide carbonique.....	118
— de M. Boussingault pour le dosage de l'ammoniaque dans les eaux.....	391
— pour le dosage de l'azote organique (n° 204).....	256
— — — ammoniacal (n°s 210 et 214).....	256
— Schloësing, idem (n° 229).....	256

¹ Ces prix sont extraits du catalogue de la maison de M. Salleron, qui nous fournit depuis longtemps tous nos instruments, 24, rue Pavée, au Marais.

	Pages.
Appareil Mesure (analyse mécanique des terres).....	317
Aréomètres.....	15
Aspirateurs en verre.....	36
— en zinc.....	36
Balances diverses.....	15
Bain-marie en fer battu.....	36
— en cuivre.....	36
Bain d'huile.....	36
— de sable.....	50
Boîtes à réactifs.....	440
Bouchons en caoutchouc.....	257
— en liège.....	257
Burettes graduées.....	90
Capsules en porcelaine.....	50
— en platine.....	49
— en argent.....	50
Clinquant.....	256
Cloche à dessiccation.....	50
Compte-gouttes Salleron.....	288
Creusets en argent.....	50
— en platine.....	49
— en porcelaine et en terre.....	50
Densimètres.....	15
Égrugette.....	36
Étuve à air chaud de Coulier.....	36
— à huile de Gay-Lussac.....	36
— à chlorure de calcium de Doyère.....	36
Entonnoirs.....	70
Éprouvettes graduées.....	90
Fils de platine.....	49
Fioles à fond plat.....	70
— à jet.....	71
Flacon jaugé.....	90
Flacon aspirateur.....	256
Flacons en verre.....	441
Fourneau à bassine.....	50
— à moufle.....	70
Grille à combustion.....	256
Instrumentes en argent.....	50
— en platine.....	49

	Pages.
Instruments hydrotimétriques.....	417
Lampe à alcool simple.....	49
— à double courant d'air.....	49
Lames en platine.....	49
Limes.....	257
Matras jaugés.....	90
Mortiers divers.....	35
Papier à filtre.....	71
Passoire en zinc.....	329
Pelle à charbon.....	257
Percerettes.....	257
Pince à charbon.....	257
— en bois.....	306
Pipettes graduées.....	90
Platine.....	441
Poids (série de).....	441
Râpes.....	257
Spatules en porcelaine et en verre.....	36
— en buis, en fer.....	36
— en platine.....	49
Supports en bois pour entonniers.....	71
— en fer —.....	50
— pour tubes d'essais.....	306
Tamis.....	35
Terrines.....	257
Thermomètres.....	16
Tube Chancel (essai des soufres).....	133
— à combustion.....	256
— d'essais.....	306
— en caoutchouc.....	257
— Warentrapp.....	256
Valets en paille.....	90
Verres à précipités.....	70
Verres à pied.....	70

ERRATUM.

Page 149, ligne 20, au lieu de 0,4616, lisez 0,4580.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

MANUEL DU CHIMISTE-AGRICULTEUR

I

MANUEL OPÉRATOIRE.

CHAPITRE I

DES BALANCES, DES POIDS ET DES PESÉES.
ARÉOMÈTRES, DENSMÈTRES, ETC., THER-
MOMÈTRES.

Choix d'une balance.	1
Installation, essai.	4
Des poids.	5
Des pesées.	6
Aréomètre de Baumé.	10
Densimètres.	12
Alcoomètre centésimal.	13
Thermomètres.	14

CHAPITRE II

APPAREILS A TRITURATION, A DESSICCATION,
ASPIRATEURS.

Échantillon moyen.	17
Mortiers et tamis.	18
Égrugette de Potigny.	19
Bains-marie.	22
Bains salins.	25
Étuve Coulier.	29
Bains d'huile.	30
Étuve Gay-Lussac.	30
— Doyère.	31
Aspirateurs.	32

CHAPITRE III

APPAREILS A ÉVAPORATION. BAINS-MARIE.
BAINS DE SABLE, ETC., APPAREILS D'INCI-
NÉRATION. LAMPES A DOUBLE COURANT
D'AIR. FOURNEAU A MOUFLE, ETC.

Évaporation à feu nu.	37
-----------------------	----

Évaporation au bain-marie.	38
— au bain de sable.	38
Lampe Bérzélius.	44
— à niveau constant.	44
Creusets, capsules, etc. en pla- tine.	46
Fourneau à moufle.	47

CHAPITRE IV

PRÉCIPITATION, FILTRATION, FILTRES. LA-
VAGE, DESSICCATION, INCINÉRATION DES
PRÉCIPITÉS. PESÉE.

Précipitation.	51
Filtration et filtres.	54
Lavage des précipités.	62
Dessiccation des précipités.	64
Incinération.	66
Poids des cendres des filtres.	69

CHAPITRE V

ANALYSES VOLUMÉTRIQUES. INSTRUMENTS.
LIQUEURS TITRÉES. APPLICATIONS ANALY-
TIQUES.

Analyse volumétrique.	72
Instruments employés dans ces analyses.	72
Flacons ou matras jaugés.	73
Éprouvettes graduées.	74
Pipettes graduées.	74
Burettes graduées.	76
Liqueurs titrées.	78
Teinture de tournesol.	84
Applications analytiques.	85
Formule générale relative au dosage de l'azote.	87

II

OPÉRATIONS ANALYTIQUES.

CHAPITRE VI

ESSAI DES PIERRES A CHAUX ET DES CHAUX
EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

Méthode pratique pour doser le carbonate de chaux d'un calcaire.	91
Autre méthode.	96
Essai des calcaires magnésiens.	101
Dosage de la chaux.	103
— de la magnésie.	104
Essai des calcaires gypseux.	107
Proportion de chaux vive et pure que peut fournir un calcaire.	109
Des diverses espèces de chaux.	110
Analyse complète d'un calcaire renfermant : de l'eau, des matières combustibles, de l'argile, du sable, de l'oxyde de fer, des carbonates de chaux et de magnésie, etc.	114

CHAPITRE VII

ESSAI DES SOUFRES DESTINÉS AU TRAITEMENT DES VIGNES. ANALYSE DES PLÂTRES
EMPLOYÉS EN AGRICULTURE.

Des soufres destinés au traitement des vignes.	119
Essai des soufres.	120
Soufrage des vignes pendant les grandes chaleurs.	124
Des plâtres livrés à l'agriculture.	125
Essais qualitatifs.	126
— quantitatifs.	127
Plâtre phosphaté.	132

CHAPITRE VIII

DOSAGE DES PHOSPHATES RENFERMÉS DANS
LES DIVERS ENGRAIS.

Combinaisons définies de l'acide phosphorique avec la chaux.	134
Nomenclature des matières riches en phosphate, etc.	135
Méthode pratique pour doser les phosphates des engrais ne renfermant l'alumine et l'oxyde	

de fer qu'en quantités négligeables. Première méthode.	136
Deuxième méthode (M. Chancel).	139
Dosage des phosphates dans les engrais renfermant de l'oxyde de fer et quelquefois de l'alumine en proportion notable.	
Méthode Frésenius.	143
— de M. Dehéraïn.	144
— de M. Boussingault.	145
Des superphosphates.	146
Méthode pratique d'analyse.	147
Richesse en acide phosphorique des déjections fournies par l'homme et les animaux de ferme.	151
Richesse en acide phosphorique de différents fumiers.	152
Richesse en acide phosphorique de divers engrais.	153
Richesse moyenne en phosphate de chaux des os et de leurs dérivés.	154
Richesse moyenne en phosphate de chaux des guanos, coprolithes, etc.	155

CHAPITRE IX

DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE RENFERMÉ : 1° DANS LES PRODUITS VÉGÉTAUX DESTINÉS A L'ALIMENTATION DE L'HOMME ET DES ANIMAUX; 2° DANS LES TERRES, LES CALCAIRES, LES CHAUX, LES MARNES, ETC.; 3° DANS LES CENDRES EMPLOYÉES EN AGRICULTURE.

Dosage de l'acide phosphorique renfermé dans les cendres des végétaux.	157
Richesse moyenne en acide phosphorique des cendres des végétaux les plus usuels.	159
Richesse moyenne en acide phosphorique des récoltes usuelles prises à l'état normal.	160
Richesse en acide phosphorique de différents tourteaux.	161
Dosage de l'acide phosphorique dans les terres, les marnes, etc.	
Essai qualitatif. Préparation et emploi du molybdate d'ammo-	

niaque comme réactif de l'acide phosphorique.	161
Dosage de l'acide phosphorique.	164
Quantités d'acide phosphorique trouvées dans des terres, des marnes, des calcaires, etc., de diverses provenances.	165
Dosage de l'acide phosphorique dans les différentes cendres employées en agriculture.	166
Résultats analytiques.	168
Méthode chimique de M. Rivot pour doser l'acide phosphorique associé à l'alumine, l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie.	170

CHAPITRE X

ESSAI DES DIVERSES CENDRES EMPLOYÉES
COMME ENGRAIS EN AGRICULTURE.

Cendres de bois neuves.	177
Essai des cendres neuves.	178
Cendres lessivées ou charrées.	184
Essai des charrées.	187
Cendres de tourbe.	188
Essai des cendres de tourbe.	192
Cendres de houille. Essai.	193
Cendres de varechs.	193
— de Noirmoutiers.	194
— de lignites.	195
Essai des cendres noires et rouges.	197

CHAPITRE XI

PROCÉDÉS DIVERS D'INCINÉRATION DES MATIÈRES ORGANIQUES. ANALYSE CHIMIQUE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES CENDRES FOURNIES PAR LA COMBUSTION DES MATIÈRES ORGANIQUES.

Incinération des engrais.	199
— des matières végétales.	204
Composition moyenne des cendres des végétaux les plus usuels.	206
Essai pratique des cendres végétales. Méthode de M. Malaguti.	207
Analyse des cendres végétales. Méthode chimique.	209

CHAPITRE XII

DOSAGE DE L'AZOTE EXISTANT DANS UN ENGRAIS SOUS UNE COMBINAISON AUTRE QU'UN NITRATE.

Échantillon moyen.	223
Trituration et dessiccation.	223
Dosage de l'azote total.	225
— de l'azote ammoniacal.	235
— de l'azote ammoniacal volatil.	240
Engrais pâteux.	245
— liquides.	246
Appareil Schloësing.	250
Tableau de la richesse en azote des divers engrais animaux ou mixtes.	254

CHAPITRE XIII

DOSAGE DE L'AZOTE CONTENU : 1° DANS LES VÉGÉTAUX ; 2° DANS LES TERRES ARABLES, LES MARNES, ETC., SOUS UNE COMBINAISON AUTRE QU'UN NITRATE.

Dosage de l'azote dans les fourrages verts.	258
Résultats analytiques.	262
Dosage de l'azote dans les fourrages fanés.	264
Dosage de l'azote dans les pailles, les balles, les silliques de colza.	267
Dosage de l'azote dans les graines ou les produits de leur mouture.	268
Dosage de l'azote dans les racines, tubercules, pulpes, marcs, drèches, touraillons.	270
Dosage de l'azote total renfermé dans les terres arables.	272
Dosage de l'azote minéral.	275
— des composés azotés solubles.	280
Dosage de l'azote renfermé dans les marnes.	282

CHAPITRE XIV

DOSAGE DE L'ACIDE AZOTIQUE CONTENU DANS LES TERRES, LES MARNES, LES ENGRAIS, LES EAUX MÉTÉORIQUES ET TERRESTRES.

Méthode de M. Boussingault.	285
-----------------------------	-----

Préparation des réactifs.	285
Instruments de dosage.	288
Titrage des teintures d'indigo.	288
Influence des matières organiques sur ce procédé de dosage.	292
Dosage de l'acide azotique dans les terres, les marnes, etc.	294
Dosage de l'acide azotique dans les engrais.	296
Dosage de l'acide azotique dans les plantes.	301
Dosage de l'acide azotique dans les eaux météoriques et terrestres.	302

CHAPITRE XV

ANALYSE DES TERRES ARABLES. ANALYSE MÉCANIQUE.

Échantillon moyen. Prise et préparation, analyse mécanique.	308
Appareil Masure.	317
Détermination de quelques propriétés physiques. Densité.	322
Faculté d'absorber l'eau.	325
Ténacité ou consistance.	325
Composition des principales roches d'origine ignée.	327

CHAPITRE XVI

ANALYSE DES TERRES ARABLES. ANALYSE CHIMIQUE.

Échantillon moyen, préparation.	330
Dosage de l'azote total sauf celui des nitrates.	331
Dosage de l'azote ammoniacal.	332
Dosage de l'azote à l'état de nitrates.	332
Analyse quantitative des éléments solubles dans l'eau.	332
Analyse quantitative des éléments solubles dans les acides étendus.	339
Analyse quantitative des éléments insolubles dans l'eau et les acides étendus.	341
Résultats analytiques.	
Terres du domaine de la Saulsaie.	342

Terres du domaine de l'ancien Institut de Versailles.	344
Terres du domaine de Grignon.	345
Analyse chimique approximative d'une terre arable.	353
Résultats analytiques relatifs à quelques terres de la Dombes et de la Bresse.	357

CHAPITRE XVII

ANALYSE DES MARNES, DES FALUNS, DES MERLS, DES TANGUES, DES COPROLITHES, DES NODULES PHOSPHATÉS, ETC.

I. Des marnes.

Composition.	359
Propriétés physiques et chimiques.	359
Essai mécanique d'une marne.	362
— chimique —	366
Marnes magnésiennes. Essai.	370
— gypseuses. Essai.	370
Analyse complète d'une marne.	370

II. 1° Des faluns, merls, calcaires coquilliers.

Des faluns. Composition.	372
— Analyse mécanique.	373
— Analyse chimique pratique.	373
Des faluns. Analyse chimique exacte.	374
Merl. Composition, analyse.	374
Calcaires coquilliers.	375

II. 2° Tangues, trez, vases de mer.

Tangues. Composition.	376
— Analyse mécanique.	379
— — chimique.	380
Trez. Composition.	380
— Analyse.	381
Vases de mer. Composition, analyse.	381

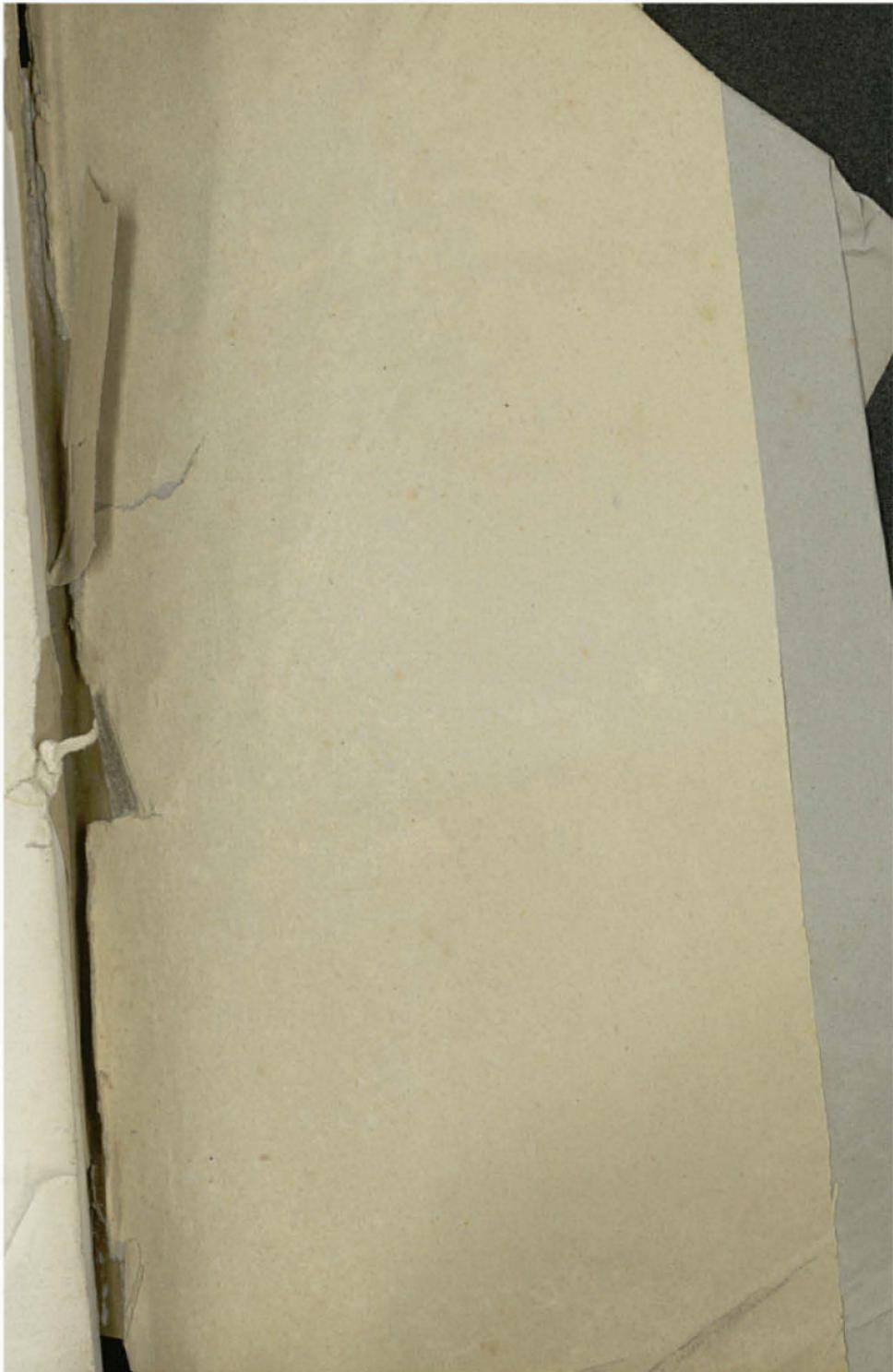
III. Coprolithes et nodules phosphatés.

Coprolithes. Origine.	381
Nodules phosphatés. Composition.	382
Nodules phosphatés. Analyse pratique.	384

<i>Nodules phosphatés.</i> Analyse chimique.	385	<i>Eaux terrestres.</i> Analyse quantitative.	421
Phosphate de chaux de l'Estramadure.	387	Composition des eaux de la Seine et de la Dhuis.	430
CHAPITRE XVIII		Composition du puits artésien de Grenelle, etc.	431
EAUX MÉTÉORIQUES. DOSAGE DE L'AMMONIAQUE, DE L'ACIDE AZOTIQUE. ESSAI DES EAUX EMPLOYÉES AUX USAGES DOMESTIQUES. HYDROTIMÉTRIE.		<i>Eaux d'irrigations.</i> Eaux claires. Analyse.	433
<i>Eaux météoriques.</i> Composition.	388	Eaux de drainage. Analyse.	434
Dosage de l'ammoniaque.	390	— limoneuses. —	435
Appareil de M. Boussingault.	391	Évaluation de la quantité de limon.	435
Rosées, brouillards, givres, neiges, richesse ammoniacale.	395	Analyse d'un limon.	437
Eaux météoriques, dosage de l'acide azotique.	396	<i>Eaux d'égout.</i> Composition.	438
<i>Eaux terrestres.</i> Origine et composition.	397	CHAPITRE XX	
Eaux potables, eaux crues.	398	TABLE DES ÉQUIVALENTS DES CORPS SIMPLES ET DES MULTIPLICATEURS CHIMIQUES. JUSTIFICATION DE QUELQUES FORMULES, ETC.	
<i>Hydrotimétrie.</i> Mesure de la valeur d'une eau.	402	LISTE DES PRIX DES PRODUITS CHIMIQUES ET CATALOGUE DES APPAREILS ET INSTRUMENTS MENTIONNÉS DANS CE VOLUME.	
Instruments hydrotimétriques.	403	Table des équivalents des corps simples.	443
Réactifs hydrotimétriques.	405	Table des multiplicateurs chimiques.	444
Détermination du degré hydrotimétrique d'une eau.	408	Liqueur sulfurique normale (81 gr. 250 d'acide monohydraté par litre).	446
Echelle hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet.	409	Origine des équations employées pour le dosage des alcalis par voie indirecte.	447
Analyses de M. Robinet.	410	APPENDICE. Dosage des phosphates dans trois terres arables (la Saulsaie).	
— de M. Pouriau à la Saulsaie.	412	Table alphabétique des produits chimiques mentionnés dans ce volume.	451
Analyses de MM. Pouriau et Velter à Grignon.	412	Table alphabétique des appareils et instruments.	453
Classification hydrotimétrique.	412	FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.	
CHAPITRE XIX			
ANALYSE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES EAUX TERRESTRES. APPLICATION AUX EAUX D'IRRIGATION, DE DRAINAGE, D'ÉGOUTS, ETC.			
<i>Eaux terrestres.</i> Essais qualitatifs.	418		

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Imprimerie de P.-A. BOURDIER et C^e, rue des Poitevins, 6.



EXTRAIT DU CATALOGUE

de la Bibliothèque des professions industrielles et ag

Éléments des sciences physiques appliquées à culture, par POURIAU (A.), docteur ès sciences, professeur de l'École Impériale d'agriculture de Grignon

1^o Chimie inorganique suivie de l'étude des marnes, de et d'une méthode générale pour reconnaître la nature des composés minéraux intéressant l'agriculture et médecine vétérinaire. 1 vol. de 512 pages, avec de nombreuses figures dans le texte.

2^o Chimie organique comprenant l'étude des éléments nutritifs des végétaux et des animaux, des notions de physiologie végétale et animale, l'alimentation du bétail, la production du fumier, etc. 1 vol. de 541 pages, avec nombreuses figures et tableaux.

De l'organisation légale des cours d'eau sous le point de vue de l'endiguement, de l'irrigation et du séchage, ou Traité des endiguements, des alluvions naturelles et artificielles, des irrigations, de l'organisation et des attributions des syndicats, des concessions d'eau, des dessèchements de marais et de terrains submergés, avec jurisprudence, suivi d'un résumé de la législation en matière de drainage; par DUMONT (ADRIEN), avocat, et A. DUMONT, ingénieur des ponts et chaussées. 1 vol. in-8, 536 p.

Entomologie agricole, et petit traité de la destruction des insectes nuisibles, par H. GOBIN. 1 vol. de 279 pages, avec nombreuses figures dans le texte.

Guide pratique de Drainage, résultats d'observations et d'expériences pratiques faites par M. C.-E. KIELMANN, professeur de l'École agricole de Haasenfeld (Prusse), et par M. C. HOMBURG, directeur de l'École agricole de Grignon, à l'usage des agriculteurs français, par C. HOMBURG. 1 vol. de 104 pages et avec figures dans le texte.

Ingénieur agricole (I); hydraulique, dessèchements, irrigations, etc., suivi d'un appendice contenant les lois, décrets, règlements et instructions ministérielles qui régissent les matières, par Jules LAFFINEUR, ingénieur civil et agronome, membre de plusieurs Sociétés savantes, etc. 1 vol., in-8, et 3 planches.