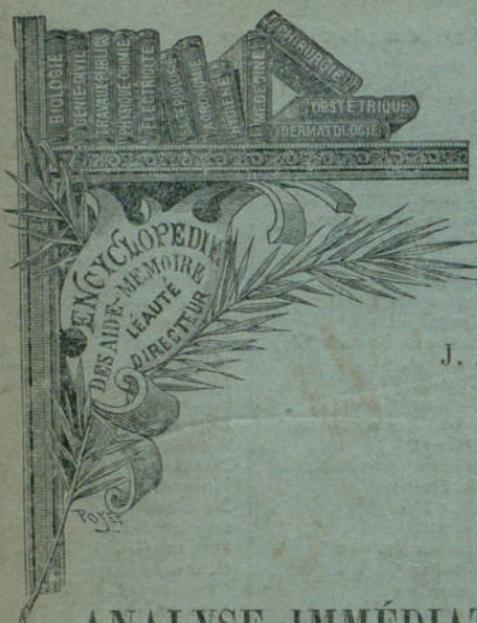


41495

WUJER. — Analyse immédiate des aliments végétaux du bétail.

41495



Section du Biologiste

J. ALQUIER

ANALYSE IMMÉDIATE
 DES
 ALIMENTS VÉGÉTAUX
 DU BÉTAIL

MASSON ET C^o
 GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section du Biologiste

MM.	MM.	MM.
Arloing (S.).	Dénucé.	Lesage.
Arsonval (d').	Desmoulins (A.).	Letulle.
Artault.	Dubrenilh (W.).	L'Hôte.
Auvard.	Duval (Mathias).	Loubié (H.).
Azoulay.	Ehlers.	Loverdo (J. de).
Ballet (Gilbert).	Etard.	Magnan.
Bar.	Fabre-Domergue.	Malpeaux.
Barré (G.).	Faisans.	Martin (A.-J.).
Barthélemy.	Féré.	Martin (Odilon).
Bauby.	Florand.	Maurange (G.).
Baudouin (M.).	Filhol (H.).	Maygrier.
Bazy.	Foex.	Mégnin (P.).
Beauregard (H.).	François-Franck (Ch.)	Merklen.
Beille.	Galippe.	Meunier (Stanislas).
Bérard (L.).	Gasser.	Meunier (Victor).
Bergé.	Gautier (Armand).	Meyer (D ^r).
Bergonié.	Gérard-Marchant.	Monod.
Bérillon.	Gilbert.	Moussous.
Berne (G.).	Girard (A.-Ch.).	Napias.
Berthault.	Giraudeau.	Nocard.
Berthelot (M.).	Girod (P.).	Nogués.
Blanc (Louis).	Gley.	Olivier (Ad.).
Bodin (E.).	Gombault.	Olivier (L.).
Bonnaire.	Gouget (A.).	Ollier.
Bonnier (P.).	Grancher.	Orschansky.
Brault.	Gréhan (N.).	Péaire.
Brissaud.	Hallion.	Perrier (Edm.).
Broca.	Hanot.	Petit.
Brocq.	Hartmann (H.).	Peyrot.
Brun.	Henneguy.	Polin.
Brun (H. de).	Hénoque.	Pouchet (G.).
Budin.	Houdaille.	Pozzi.
Carrion.	Jacquet (Lucien).	Prillieux.
Castex.	Joffroy.	Ravaz.
C. rin.	Kayser.	Reclus.
Cazal (du).	Koehler.	Rénon (L.).
Cazeneuve.	Labat.	Retterer.
Chantemesse.	Labit.	Roché (G.).
Charrin.	Lalesque.	Roger (H.).
Charvet.	Lambing.	Roux.
Chatin (J.).	Lamy.	Roule (L.).
Collet (J.).	Landouzy.	Ruault.
Cornevin.	Langlois (P.).	Schloësing fils.
Courtet.	Lannelongue.	Séglas.
Cozette.	Lapersonne (de).	Sérieux.
Cristiani.	Larbalétrier.	Tissier (D ^r).
Critzman.	Laulanié.	Thoulet (J.).
Guénot (L.).	Lavarenne (de).	Trouessart.
Dallemagne.	Laveran.	Trousseau.
Dastre.	Lavergne (D ^r).	Vallon.
Dehéraïn.	Layet.	Vanverts (J.).
Delobel.	Le Dantec.	Weill-Mantou (J.).
Delorme.	Legry.	Weiss (G.).
Demelin.	Lemoine (G.).	Winter (J.).
Demmler.	Lermoyez.	Wurtz.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉ

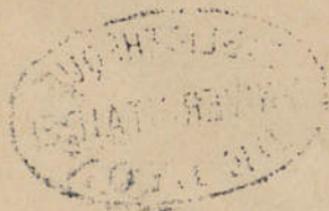
SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Atelier — Analyse immédiate des Aliments du Bétail

I

100.18

*Ce volume es une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire; L. Isler, Secrétaire
général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*



N° 290 B

41,493

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

ANALYSE IMMÉDIATE
DES
ALIMENTS VÉGÉTAUX
DU BÉTAIL

PAR

J. ALQUIER

Ingénieur-agronome,
Chimiste-expert près les Tribunaux de la Seine,
Chimiste au Laboratoire de recherches
de la Compagnie générale des voitures à Paris



PARIS

MASSON et C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

GAUTHIER-VILLARS

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

(Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Analyse élémentaire des Substances végétales.
- II. Analyse immédiate des Aliments végétaux du Bétail.

AVANT-PROPOS

Pendant longtemps, les laboratoires agricoles se sont surtout intéressés à l'étude du sol et des engrais, les deux principaux facteurs de la production végétale. Aujourd'hui, on commence à attirer leur attention du côté de la production animale. Les premiers travaux scientifiques sur l'alimentation ont, en effet, démontré que les produits utilisables tirés des animaux, le travail, le lait, la viande, n'étaient finalement que le résultat de la transformation des aliments. Les questions économiques inhérentes à la composition chimique des rations ont donc pris rapidement une grande importance, et l'analyse des substances végétales est devenue l'une des applications les plus précieuses de la chimie à l'agriculture.

La nécessité de régler le régime des animaux d'après la composition de leurs aliments ne peut être rationnelle que si l'on dispose de méthodes d'analyses suffisamment exactes. On a souvent cherché à amoindrir l'utilité de cette épreuve

analytique et à ébranler la confiance que pouvaient avoir en elle l'agriculteur et le chimiste lui-même. De ce que la science n'a malheureusement encore pu rendre possibles la séparation et la classification de tous les principes dont le mélange constitue les tissus et liquides végétaux, on a cru pouvoir déduire que les procédés de dosage étaient insuffisants. Peut-être, il est vrai, comportent-ils plus d'arbitraire que les méthodes dont on fait usage dans l'analyse minérale, mais il ne faut pas chercher dans ces objections une preuve que l'analyse des végétaux ne donne tout au plus que des indications très vagues. Il importe ici pour les besoins de l'industrie agricole, non pas tant d'obtenir des taux rigoureusement exacts, que de fournir des résultats généraux dont l'écart avec la vérité ne soit pas préjudiciable à la solution des problèmes pratiques que l'on veut résoudre. Nous espérons pouvoir prouver en ces quelques pages que le chimiste répond avec la compétence et la sécurité désirables, lorsqu'on le consulte sur la valeur alimentaire d'un produit végétal quelconque.

L'exactitude du résultat dépend non seulement des méthodes, mais également, et en grande partie, de l'habileté de l'opérateur, qui se trouve ici en présence de réelles difficultés. Or il faut bien le

reconnaître, les analyses courantes des substances végétales alimentaires laissent surtout à désirer par la faute du chimiste. Peut-il en être autrement si l'on songe que l'agriculteur apporte au laboratoire ses terres et ses engrais plus volontiers que les fourrages de son bétail, et que, pour corriger le manque de pratique inhérent à la rareté des analyses, il faudrait tout au moins au chimiste un guide pouvant le diriger dans la conduite des opérations. Il n'existe que très peu d'ouvrages spéciaux et pratiques sur la question, aussi avons-nous songé à combler en partie cette lacune, en réunissant, mais sans avoir nullement la prétention de faire loi, les procédés de dosage les plus précis parmi ceux qui sont actuellement connus.

Les notions exactes sur la constitution des matières végétales ne datent pas de loin. Les anciens dans leur ignorance de tout ce qui touche à la chimie, ne pouvaient rien nous apprendre, et, au xv^e siècle, les naturalistes commencent à peine à s'apercevoir de la complexité des tissus des êtres vivants. Au xvii^e siècle, Stahl parle des principes aqueux, combustibles et terreux que l'on trouve dans les plantes, et Haller, professeur à l'université de Göttingue (1740), indique vaguement quels sont les aliments d'origine vé-

gétales qui fournissent aux herbivores les parties mucilagineuses, graisseuses, gélatineuses, etc. C'est seulement au XVIII^e siècle, avec Lavoisier, que commencent les découvertes sérieuses et raisonnées. Le fondateur de la chimie établit la composition élémentaire des végétaux et entrevoit les conséquences pratiques que l'on peut tirer de leur analyse (1793). Il faut ensuite attendre 1806 pour que Einhoff tente un essai d'analyse immédiate des fourrages. Professeur à Möglin, le premier institut agronomique allemand fondé dans le Brandebourg par Thaer, il permet à ce dernier, en se basant sur les résultats de ses analyses, d'établir une table d'équivalence des différents aliments au foin. Alors viennent les travaux de Davy, de Braconnot et de Prout, qui commencent à élargir nos connaissances sur la composition chimique des plantes. Prout surtout, en 1827, a l'heureuse idée de rechercher dans le lait les diverses catégories d'aliments nécessaires à l'entretien de la vie, et distingue les « saccharina » (sucre amidon) des « oleosa » (graisses) et des « albuminosa » (gluten). En 1832, Sprengel, professeur dans une école d'agriculture de Poméranie, essaye de rendre plus complètes les analyses de Einhoff : il détermine dans les fourrages d'abord l'eau, ensuite les corps solubles dans l'eau

froide, dans l'eau chaude et finalement dans la potasse étendue, le résidu étant considéré comme de valeur nutritive nulle. L'analyse ne fournissait encore, on le voit, que des renseignements vagues. En 1836, Boussingault se basant sur les expériences faites par Magendie (1816) pour démontrer l'importance de l'azote dans la nutrition, et sur les analyses de Gay-Lussac (1833) signalant la présence du même élément dans tous les grains, propose de déterminer la valeur nutritive des aliments végétaux d'après leur teneur en azote. C'est la première fois que sort d'un laboratoire une donnée précise et ayant une signification pratique, mais les chimistes reculent encore devant l'analyse immédiate malgré l'impulsion puissante que, depuis une dizaine d'années, Chevreul n'avait cessé de donner à la recherche des différents principes immédiats. A Chevreul revient, en effet, l'honneur d'avoir établi les caractères auxquels on peut reconnaître les véritables espèces chimiques et d'avoir appris à séparer, dans un mélange, les principes organiques définis, ainsi qu'on l'avait déjà fait pour beaucoup d'espèces minérales. Les découvertes se succèdent alors à de courts intervalles. Payen avait déjà établi l'identité de la cellulose et de l'amidon; en 1837, Mülder, professeur à Utrecht, reprend

les recherches anciennes de Beccari, de Berthollet, de Vogel, et donne sa théorie de la protéine ; en 1841, Dumas écrit en collaboration avec Boussingault son *Essai de statique chimique*, puis, en 1842, détermine, avec Cahours, la véritable composition et le rôle alimentaire des matières azotées neutres. Dans ces mémoires, on trouve déjà des analyses immédiates complètes des farines de céréales, avec leur teneur en albumine, fibrine, matières grasses, sucres, amidon. En 1843, Dumas, Boussingault et Payen montrent que le dosage des graisses dans les substances végétales est aussi important, au point de vue alimentaire, que la détermination des autres espèces chimiques.

Mais malgré la découverte des méthodes précises, grâce auxquelles ces promoteurs de l'analyse immédiate avaient pu, avec une certitude suffisante, déterminer les taux des différents principes, on se contente encore pendant longtemps de suivre les idées de Liebig et de diviser uniquement les substances végétales en deux groupes : les matières azotées et les matières non azotées. Bien que l'on ne connût pas encore les principes véritablement digestibles, on soupçonnait déjà cependant les erreurs que devait entraîner cette division pas trop som-

mairé. Dans tous les travaux de cette époque, on signale combien il est peu rationnel de ne pas tenir compte de la diversité des éléments azotés et non azotés déterminés en bloc. En 1852, dans son laboratoire de Möckern, Wolff, pour dresser ses tables d'équivalence au foin, dose, dans les fourrages, les matières azotées, les principes solubles dans les dissolvants faibles et les principes cellulosiques insolubles dans ces réactifs. Les études entreprises en vue de l'étude des coefficients de digestibilité obligent alors l'analyse immédiate à se perfectionner peu à peu.

En 1860, Henneberg et Stohmann, montrent enfin l'importance au point de vue alimentaire des matières azotées et minérales, de la graisse, du sucre, de l'amidon et de la cellulose, et font connaître la série des opérations analytiques nécessaires pour renseigner le cultivateur sur la valeur nutritive des aliments. L'ensemble des procédés de dosage d'Henneberg constitue la méthode bien connue de Weende, du nom de la station agronomique où eurent lieu les premières recherches complètes sur l'alimentation rationnelle du bétail. Depuis 1860 la méthode de Weende est la seule que l'on ait appliquée couramment. Actuellement, malgré les innombrables services

qu'elle a rendus, on lui reproche sa simplicité. Sans doute, ainsi que nous le verrons, elle confond sous les mêmes noms beaucoup de principes différents, mais, en la modifiant suivant les progrès que l'analyse des végétaux n'a cessé et ne cesse de faire, il ne faut pas perdre de vue l'esprit pratique qui avait surtout guidé Henneberg dans le choix de ses méthodes. Les laboratoires agricoles ont besoin, en effet, non pas d'un traité complet donnant, codifiés en lois précises, les modes de séparation de tous les principes immédiats, mais d'un simple recueil des méthodes permettant de mener à bien la solution des problèmes pratiques que l'on a à résoudre. L'agriculteur n'appelle volontiers le chimiste à son secours que s'il voit clair dans les indications que ce dernier peut mettre à sa disposition.

Le prélèvement de l'échantillon et sa préparation au laboratoire en vue de l'analyse, les différents modes de dessiccation des substances végétales, l'analyse élémentaire organique, et le dosage des divers éléments qui composent les cendres totales, ont déjà été étudiés dans un volume de cette collection. Aussi malgré l'importance capitale de ces diverses parties de l'analyse, n'avons-nous pas cru utile d'en reprendre la description, et nous renvoyons le lecteur à notre

traité d'Analyse élémentaire des substances végétales.

Nous n'avons parlé ici que du dosage des principes immédiats les plus importants parmi ceux qui composent les trois grands groupes organiques en lesquels on divise généralement les substances végétales, c'est-à-dire les matières azotées, les matières grasses et les hydrocarbonés.

Les méthodes varient avec les auteurs et ceux-ci sont d'autant plus nombreux que le principe dont on a le dosage en vue est moins bien connu et moins bien défini en tant qu'espèce chimique véritable. Il ne nous était donc pas possible de décrire tous les procédés employés ou recommandés, de les discuter et de les comparer. Cette comparaison a néanmoins été faite, et elle nous a été facile, car, depuis sa création, le laboratoire de recherches de la Compagnie générale des Voitures a eu à analyser plus de vingt mille échantillons des substances végétales les plus diverses pouvant être consommées par les animaux. Nous avons donc été à même de pouvoir écarter de notre pratique courante certains procédés reconnus défectueux ou plus compliqués que d'autres, et à propos du dosage de chaque principe immédiat le lecteur ne trouvera indiquée qu'une

seule méthode, celle qui nous a parue susceptible de fournir, entre des mains habiles, des résultats concordants et aussi approchés de la vérité que nos connaissances le permettent.

Laboratoire de recherches
de la Compagnie générale des Voitures à Paris.

Décembre 1901.

CHAPITRE PREMIER

ANALYSE IMMÉDIATE

1. Analyse immédiate. — *L'analyse élémentaire* possède des méthodes rigoureuses ; *l'analyse immédiate* est, au contraire, comme on l'a dit avec une grande justesse, un art difficile et fort compliqué.

Les principes immédiats existent dans les végétaux sous les formes les plus diverses : on peut les voir isolés à l'état de pureté en gouttelettes, en cristaux ou en concrétions, mais le plus souvent ils se trouvent juxtaposés ou intimement mélangés ou dissous et c'est ainsi que sans se confondre, ils concourent à la formation des cellules, des fibres et des vaisseaux, de leur contenu et du liquide qui imprègne le tissu végétal. L'analyse immédiate, admettant comme base de ses méthodes que la forme générale organisée peut être détruite sans que les propriétés chimiques en soient modifiées, s'occupe du do-

sage des espèces immédiates considérées seulement comme des corps chimiques. Elle commence donc toujours par opérer la destruction de cet état d'organisation et provoque une altération le plus souvent incompatible avec la vie du végétal. Nous disons le plus souvent, car les moyens employés ne sont souvent pas suffisants pour arrêter l'activité d'une catégorie toute spéciale de principes immédiats, celle des diastases ou zymases. Même en admettant que les ferments solubles soient des substances pondérables et chimiquement analysables, ce qui n'est pas certain, nous signalons leur présence, non dans le but d'en opérer le dosage, mais pour bien spécifier que nous devons compter avec elles dans certaines opérations de l'analyse. Une quantité infiniment petite de ces diastases peut déterminer des transformations chimiques très grandes et de toutes sortes. Disons également, en passant, que les extraits végétaux sont de très bons milieux de culture pour les microbes, les levures et les moisissures, et que *nous devons, par conséquent, nous mettre en garde contre les altérations que peuvent subir les principes immédiats, sous l'action des ferments figurés, aussi bien que sous l'action des ferments diastatiques.* C'est par le broyage et la réduction de

l'échantillon en poudre excessivement fine que l'on détruit pratiquement cet état d'organisation générale, mais les opérations préliminaires à l'analyse ayant été décrites en détail dans un autre volume, à propos de l'analyse élémentaire, nous n'avons pas à y revenir.

Les procédés mis en œuvre par l'analyse immédiate sont *mécaniques*, *physiques* ou *chimiques*, suivant le cas. Les premiers, par exemple, seront utilisés pour séparer, sous un filet d'eau, le gluten d'une farine. Mais ce sont là des moyens assez grossiers, et le chimiste aura le plus souvent recours à la séparation par voies de dissolution, de sublimation, de cristallisation et de distillation. Se basant sur l'analogie ou la différence des propriétés physiques, il pourra isoler directement les principes immédiats ou les séparer tout au moins en un certain nombre de groupes généraux. On opère généralement la dissolution au moyen de liquides neutres et simples tels que l'eau, l'alcool, l'éther, etc., pouvant faire naître, dans le tissu végétal vivant, des modifications et dissociations physiologiques importantes, mais, point essentiel, ne formant aucune combinaison avec les substances dissoutes qui gardent ainsi leurs propriétés chimiques. A propos de l'emploi des dissolvants, il n'est

pas inutile de signaler ici, dès le début, que beaucoup de principes, bien que totalement solubles dans le liquide employé en vue de leur extraction, sont cependant retenus en partie avec les autres corps non dissous. Peut-être n'est-ce là qu'une conséquence de l'affinité capillaire si souvent constatée, mais, comme il n'est pas de notre pouvoir de la supprimer, on voit que peu de résultats de l'analyse immédiate sont susceptibles d'être acceptés sans de légères réserves.

Poussant plus loin son travail de division, le chimiste peut ensuite faire passer certains principes de l'état dissous à l'état solide *par précipitation*, ce qui est souvent un simple changement d'état physique, ou *par coagulation*, ce qui occasionne un changement de propriétés et probablement de constitution chimique. Précipitation et coagulation, seront obtenues au moyen de réactifs chimiques avec ou sans l'aide de la chaleur. L'emploi de ces réactifs chimiques est très varié et particulier au dosage de chaque corps; il a pour but de transformer les principes immédiats en d'autres plus faciles à doser, ou de les faire entrer dans des combinaisons connues. On peut enfin opérer ces transformations, en faisant agir des ferments figurés ou des diastases ajoutés volontairement.

Tels sont les moyens de l'analyse immédiate quantitative qui, naturellement, sera toujours précédée d'une *analyse qualitative*, aussi complète que nos connaissances le permettent.

2. Principes immédiats à doser dans les substances complexes d'origine végétale.

— L'analyse immédiate sert à faire connaître la valeur industrielle de certains produits, par exemple, la teneur de la betterave en sucre, de la pomme de terre en fécule, des graines oléagineuses en huile, etc. Elle poursuit en même temps, nous l'avons dit dans la préface, un autre but, non moins intéressant pour l'industrie agricole, celui de fixer quantitativement les différents principes nutritifs contenus dans les matières alimentaires. Elle permet ainsi de suivre dans le rationnement des animaux d'autres règles que l'empirisme et la routine. A ce point de vue, les principes immédiats élaborés par les végétaux ne nous intéressent pas tous, car à côté de l'individu chimique, il faut voir l'aliment qui, à un degré quelconque, servira au développement ou à l'entretien de l'organisme, à la production du travail, du lait, de la viande fournis par les animaux. Pour cette raison, c'est à la physiologie que nous devrions demander une classification des principes im-

médiats. Mais, comme le rôle des aliments varie selon l'état de l'individu qui les utilise, on peut faire rentrer les principes nutritifs dans des cadres un peu moins élastiques, en se bornant à les énumérer dans un ordre plutôt chimique que physiologique. Il faut donc se contenter de la division classique suivante qui nous est imposée bien plus par l'état de nos connaissances, que par l'ordre naturel et véritable des choses.

On peut établir tout d'abord une distinction fort nette entre l'eau et les sels minéraux, d'une part, les aliments organiques, d'autre part.

La détermination de l'eau offre un grand intérêt, tant au point de vue physiologique que dans les transactions commerciales et les achats des divers aliments. La bonne conservation d'une denrée et sa richesse en principes alimentaires dépend, on le sait, de son humidité. Nous avons, dans le volume qui traite de l'analyse élémentaire, donné les méthodes de dosage de l'eau avec assez de détails pour n'avoir pas à y revenir.

La détermination des matières minérales ou des *cendres*, suivant l'expression courante, présente autant d'importance. Si elles proviennent de substances étrangères ajoutées frauduleusement ou par suite d'une préparation défectueuse,

elles viennent comme l'eau diminuer d'autant la richesse de la substance considérée. Dans les résidus industriels, la présence de certains sels peut également avoir une action nuisible sur les animaux. Mais la partie inorganique des végétaux doit fixer notre attention à un tout autre point de vue. On la considère, souvent bien à tort, comme une substance inerte, dont on ne doit pas tenir compte dans l'établissement des rations, sous le prétexte que les animaux trouvent toujours assez de sels minéraux dans leur nourriture. La nécessité d'une alimentation minérale suffisante pour un individu adulte, et *a priori* pour un individu en voie de développement, est cependant évidente. On ne doit donc jamais oublier que l'assimilation des principes organiques dépend, pour beaucoup, de la bonne utilisation des matières minérales et de leur présence en quantité suffisante. Il faut songer également que les parties inorganiques, non assimilées par les animaux, ne sont jamais perdues et que l'agriculteur les retrouve dans son fumier. Nous avons appris, lors de l'analyse élémentaire, à doser les principaux éléments simples des cendres, nous n'aurons que quelques mots à ajouter sur la façon dont ils sont combinés dans les tissus végétaux.

Parmi les principes *organiques* qui constituent la partie alimentaire proprement dite des substances végétales complexes, il en est qui sont peu ou point digestibles, et, s'ils sont brûlés dans l'organisme, ce dernier ne retire pas grand profit de leur transformation. « Le corps, a dit M. Duclaux, est comme un moulin qui broie à la fois le blé et les grains de sable qui lui arrivent ».

L'analyse et les moyens dont elle dispose permettent de diviser les principes immédiats en certains grands groupes; mais, dans sa classification, le chimiste perd souvent de vue que les séparations opérées par les réactifs ne classent pas suivant la valeur nutritive. Ressemblance chimique n'est pas synonyme d'identité au point de vue alimentaire. Si donc l'état de nos connaissances nous oblige à ne pas nous écarter de la division généralement adoptée, il faut cependant savoir subdiviser un peu plus et séparer les uns des autres quelques-uns des principes immédiats confondus sous les dénominations trop générales de matières azotées, matières grasses et hydrocarbonées. En simplifiant par trop, on s'expose à des erreurs que le chimiste ne doit plus commettre aujourd'hui. Mais il ne faut pas non plus, par un excès inverse,

vouloir compliquer la question outre mesure. Dans les laboratoires agricoles, le côté pratique doit dominer les questions de science pure et, en attendant que des expériences précises nous aient révélé le rôle nutritif et physiologique spécial de tous les principes élaborés par les végétaux, il faut nous contenter de doser ceux dont nous avons pu constater les effets, c'est-à-dire les matières albuminoïdes, les graisses neutres et certains hydrates de carbone. Le progrès que l'on doit tendre à faire entrer dans la pratique des analyses, consiste non pas tant à tout doser, qu'à savoir mieux séparer dans le mélange complexe les principes dont on a pu nettement déterminer le rôle alimentaire. Si nous donnons, dans la suite, les procédés de dosage de certains corps qui se rapprochent plus ou moins des trois types fondamentaux, c'est plutôt dans le but de mieux dégager ceux qui nous intéressent au premier degré.

Les principes organiques, dont nous allons entreprendre le mode de dosage, peuvent se diviser en deux : les substances azotées et les substances non azotées.

Dans les *substances azotées*, il faut tenir compte des différentes formes sous lesquelles l'azote se trouve engagé. En plus de l'ammonia-

que et des nitrates, qui doivent être classés parmi les principes inorganiques, l'analyse et la physiologie nous obligent à distinguer les *matières albuminoïdes* des *matières azotées non albuminoïdes*.

Les premières, appelées également matières *protéiques* (de πρωτεῖω, je suis le premier) à cause de leur rôle prépondérant dans la nutrition, sont des substances fort complexes. On ne peut en donner une définition simple, mais, bien que différentes par leur origine, leurs propriétés et leur composition, elles peuvent être rangées dans une même famille naturelle. Peut-être, n'ont-elles pas toutes la même signification au point de vue alimentaire ? Mais néanmoins, il reste nettement démontré que l'élément albuminoïde ne peut être remplacé par aucun autre, et que, seul, il couvre les pertes résultant de l'usure de l'organisme. Pour ces raisons, le prix de la matière protéique est de beaucoup supérieur à celui des autres principes et l'on a tout intérêt, au point de vue pratique, à savoir séparer, par l'analyse, ces aliments de premier ordre des autres composés azotés, qui, eux, doivent intervenir beaucoup moins activement dans les phénomènes de la nutrition. Ces derniers ne peuvent être considérés que comme des éléments

calorifiques très voisins, au point de vue alimentaire, des hydrates de carbone.

Les principes qui, transformés dans l'organisme, viennent fournir le travail extérieur, la graisse, etc., n'appartiennent pas en majorité au groupe des matières azotées (1). C'est aux dépens des *substances non azotées*, que l'animal produira surtout la force motrice, la viande. Ce groupe très complexe comprend toutes les combinaisons des trois éléments : carbone, hydrogène, oxygène. Ces substances, dites *ternaires*, pour les distinguer des substances *quaternaires* qui contiennent en plus de l'azote, comportent un grand nombre de divisions.

On y trouve d'abord les *matières grasses* et les corps analogues solubles dans les mêmes dissolvants que les graisses. Elles comprennent les graisses neutres, les graisses phosphorées, les acides gras, les cires, les résines, les matières colorantes, la cholestérine, etc. La liste en est longue. Tous les composants de ce mélange ne s'équivalent pas au point de vue alimentaire (2). Les triglycérides ou corps gras neutres nous in-

(1) LAULANIÉ. — *Énergétique musculaire*, Encyclopédie Léauté, Masson et Gauthier-Villars, éditeurs.

(2) DUCLAUX. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1893, p. 676.

téressent tout spécialement. Émulsionnés par le suc pancréatique, puis absorbés, ils livrent à l'organisme deux fois plus d'énergie environ que les albuminoïdes et les autres principes ternaires. Bien que l'expérience reconnaisse un coefficient d'utilisation plus élevé aux graisses neutres qui fondent à la température du corps, il faut se contenter de séparer les triglycérides pris en bloc et les acides gras, des cires, des résines, des matières colorantes, etc. Ces derniers principes dominent dans certains fourrages et passent généralement intacts dans le canal digestif.

Lorsque l'on retranche de 100, le taux pour cent de l'eau, des cendres, des différentes matières azotées et des graisses que l'on a séparées, le poids des substances restant encore indéterminées est généralement désigné sous la rubrique d'*extractif non azoté*. On admet donc que, les analyses ayant été suffisamment exactes, il n'y rentre aucun des éléments précédents. Ce résidu est un mélange on ne peut plus complexe, bien que composé en majeure partie par ce que l'on nomme les *hydrates de carbone*. On ne peut cependant confondre, sous cette dénomination unique des principes qui n'ont souvent les uns avec les autres que des liens de parenté mal

définis, et qui, en tout cas, présentent de grandes différences au point de vue de leurs propriétés chimiques et surtout au point de vue du rôle qu'ils doivent jouer dans l'alimentation.

Il faut donc encore subdiviser comme pour les matières azotées et les matières grasses. On doit tout d'abord séparer du reste les hydrocarbonés comme les *sucres* et l'*amidon*, pour ne citer que les principaux, dont la combustion dans l'organisme est toujours complète et qui, par conséquent, sont des aliments de premier ordre.

Son rôle spécial dans la nutrition, assigne également une place à part à ce que conventionnellement on appelle la *cellulose* ⁽¹⁾. Constituant, à proprement parler, la charpente des plantes, elle est le seul principe immédiat pouvant donner aux aliments un volume suffisant pour remplir l'estomac des animaux. La détermination de ce hydrate de carbone nous intéresse à un autre point de vue. Malgré une composition très voisine de celle des matières sucrées et amylacées, elle est beaucoup moins assimilable que ces dernières. Si donc, on déduit son poids de l'extractif non azoté total, on limite davantage le

(1) DUCLAUX. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1893, p. 786.

résidu où l'on peut trouver les hydrocarbonés entièrement digestibles. Pour cette raison, la rubrique d'extractif non azoté n'embrasse souvent, et cela conventionnellement, que les hydrates de carbone sans la cellulose.

Entre les hydrocarbonés les plus solubles ou attaquables par les ferments digestifs, et les principes de la même classe insolubles et plus résistants, tels que la cellulose, il y a une foule de corps intermédiaires, de constitution variable et que l'on a intérêt à déterminer. Ce sont tous les hydrates de carbone qui forment la plus grande partie de l'extractif non azoté dans les matières alimentaires ne contenant, comme la paille, le foin et certains résidus d'industrie, que peu ou pas de sucres et d'amidon. Ces polyoses complexes, de l'ordre des glucosides, peuvent, à l'hydrolyse, se dédoubler en sucres réducteurs, aussi les réunit-on dans le langage courant sous le nom de *cellulose saccharifiable*. Ce sont les oxycelluloses, les hémi-celluloses, les pentosanes qui, mélangées aux mannanes, aux galactanes et aux glucosanes, constituent la *matière incrustante de la cellulose* et les *sécrétions gommeuses et mucilagineuses*. Tous ces principes sont vis-à-vis des pentoses, du manose, du galactose, dans les mêmes relations

que l'amidon, qui est une glucosane, vis-à-vis du glucose (1).

Bien que ces noms de pentosanes, de galactanes ne représentent pas des espèces chimiques bien déterminées, malgré le peu d'étendue de nos connaissances, la détermination de ces divers produits mérite pourtant notre attention; l'homme, en effet, ne peut les assimiler, mais il en est autrement des animaux. Ceux-ci en utilisent une certaine partie : les gommés, par exemple, en présence des sucs digestifs, fournissent une matière sucrée, et l'expérience leur trouve un coefficient de digestibilité très voisin de celui de bien d'autres principes immédiats.

On trouve de même, associés à la cellulose, des corps de nature gélatineuse, qui ressemblent beaucoup aux derniers hydrates de carbone considérés. Ce sont les *matières pectiques*. Les ferments digestifs sont sans action sur elles, mais, comme ces principes disparaissent en partie dans le tube digestif, il est permis de leur attribuer, de même qu'aux gommés, une certaine valeur alimentaire.

Dans cet examen général, nous n'avons pas fini de passer en revue tous les grands groupes

(1) DUCLAUX. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1893, . 423.

de matières organiques qui peuvent nous intéresser. Il en est d'autres qui sont également brûlés et transformés dans l'organisme. Ce sont les sels à *acides végétaux*. L'expérience démontre que l'énergie apportée par leur combustion n'est guère utilisable, aussi n'insisterons-nous pas au sujet de leur dosage.

Après avoir déterminé par l'analyse la teneur d'une substance en chacun des principes ou groupes de principes précédemment énumérés, si l'on additionne les résultats, on constate qu'une partie appréciable des composants échappe souvent à nos recherches. Ces inconnus sont désignés généralement sous le nom d'*indéterminés*. Dans l'expression des résultats, on ne doit pas hésiter à donner une place aux principes dont la détermination est incompatible avec l'état de nos connaissances ou que l'on n'a pas jugé utile de doser. Les analyses dans lesquelles la somme de tous les résultats atteint exactement 100 ne satisfont que les ignorants. La *méthode classique de Weende* donne, par exemple, une analyse parfaite en apparence, mais à combien d'erreurs n'expose-t-elle pas? Elle classe dans une même catégorie toutes les matières azolées, et, supposant que l'azote total provient uniquement des albuminoïdes, elle se contente

d'un coefficient unique pour passer de l'azote à la matière azotée. Elle ne tient pas compte davantage des divisions à opérer dans le groupe des matières grasses. L'eau, les cendres, les matières azotées, les matières grasses et la cellulose une fois dosées, elle embrasse sous le nom d'extractif non azoté tout le reste du mélange. C'est donc un dosage par différence, et, si l'analyse conduit ainsi à un pourcentage complet, elle ne le fait qu'en confondant les corps les plus dissimilaires et en accumulant sur un groupe par trop conventionnel, les inexactitudes des autres résultats et les erreurs d'interprétation.

3. Dosage des matières solubles dans l'eau. — Ce dosage n'est pas pratiqué couramment dans les laboratoires. C'est un tort, car il est toujours utile, au point de vue alimentaire, de connaître le taux de substances solubles. La dissolution dans l'eau, offre de plus un moyen très pratique d'opérer la séparation de beaucoup de principes immédiats, et de se débarrasser des diastases qui peuvent gêner. Généralement, on fait bouillir, à plusieurs reprises, la substance avec de l'eau distillée, en décantant le liquide et recommençant ensuite l'opération plusieurs fois, ou bien l'on épuise par l'eau dans un tube, ou bien l'on se contente encore d'une macéra-

tion opérée à la température ordinaire, en agitant de temps en temps. Ces méthodes sont défectueuses, car la quantité et la nature des matières solubilisées varie suivant la durée et les conditions de l'opération. Les résultats ainsi obtenus n'ont donc aucune valeur. En opérant à chaud, on insolubilise certains principes comme les albuminoïdes, et l'on en transforme d'autres. A la température ordinaire, les diastases si nombreuses agissent, saccharifient par exemple de l'amidon, et, comme leur action est continue, on ne peut reconnaître le moment limite auquel il convient de s'arrêter ⁽¹⁾. La solubilisation à chaud devant être écartée, on a recours au froid pour arrêter l'action des diastases qui peuvent empêcher le dosage exact. Voici comment il faut opérer : Dans une conserve cylindrique de un litre tarée, on délaye peu à peu avec 450 centimètres cubes d'eau distillée glacée 100 grammes de la substance réduite en farine ou en bouillie par le moulin Girard. On introduit ce récipient dans un autre semblable mais plus large, et l'on remplit de glace l'espace annulaire existant entre les deux vases. Pour assurer d'une manière continue le mélange de la substance dans l'eau,

(1) A. GIRARD. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1897, p. 879.

on se sert d'un agitateur à palettes, dont l'axe coïncide avec celui des deux vases concentriques. Cet agitateur est mis en mouvement au moyen d'une petite turbine à eau. Après 5 ou 6 heures d'agitation, ce qui est suffisant, on lave l'agitateur à l'eau glacée, puis on retire le vase. On porte ensuite sur la balance et l'on complète à 500 grammes le poids de l'eau ajoutée. On mélange, on filtre et l'on recueille le liquide de solution dont 100 grammes correspondent au sixième de la substance épuisée.

Dans les laboratoires qui ne possèdent pas d'agitateur mécanique, on peut opérer autrement. On introduit un poids connu de matière dans un tube. Celui-ci est étiré très finement à la base, en laissant entre le tube et la pointe un renflement où l'on place un tampon d'amiante. Il faut prendre un tube relativement étroit, pour que la matière soit répartie sur la plus grande hauteur possible afin de pouvoir procéder à un épuisement méthodique. Ce tube est placé dans un autre tube plus large, fermé à sa partie inférieure par un bouchon étanche que traverse la pointe. On entoure de glace le tube où a lieu l'épuisement. Il faut traiter la substance par au moins 50 fois son poids d'eau glacée ajoutée de temps en temps, par petites quantités. L'opération est

beaucoup plus longue que par le premier procédé.

Les principes mis en solution appartiennent à tous les grands groupes que nous avons énumérés dans le paragraphe précédent. On trouve, dans le liquide, des diastases, des matières azotées albuminoïdes ou amidées, des hydrates de carbone comme les sucres, la dextrine, la galactine, la lévuline, etc., des matières pectiques, des matières minérales (sels ammoniacaux, nitrates), des sels à acides organiques, de la matière grasse même qui a pu être chassée des cellules. On effectue le dosage total des substances solubles dans l'eau, en évaporant au bain-marie un poids connu de la solution, dans une capsule de platine tarée. Si la dessiccation s'opère mal et laisse un résidu sirupeux pouvant facilement retenir de l'eau, il n'y a qu'à ajouter 2 ou 3 % d'alcool avant d'évaporer. Les dosages des différents principes s'effectuent dans la solution, par les mêmes méthodes que sur la substance elle-même. Quand on ne procède pas tout de suite à l'analyse, il faut conserver le liquide dans la glace.

CHAPITRE II

MATIÈRES MINÉRALES

4. Combinaisons des matières minérales.

— Les méthodes de l'analyse élémentaire, que nous avons étudiée ailleurs, ne donnent que la composition brute des cendres. On n'a que peu de données sur les différents états et les combinaisons des matières minérales. Aussi, pour exprimer le résultat de l'analyse, vaut-il mieux ne pas chercher, suivant des règles arbitraires, à combiner les éléments acidifiables et les bases. On risque ainsi de compter comme sels une partie de la matière minérale engagée dans des combinaisons organiques. Il faut, en effet, tenir compte de l'existence des sels à acides organiques, si abondants dans les végétaux. Le plus rationnel est donc d'indiquer simplement la teneur des cendres en chacun des principaux éléments simples, soufre, phosphore, calcium, etc. Comme il y a intérêt

cependant à savoir distinguer les grandes formes, sous lesquelles les matières minérales peuvent se trouver engagées, nous indiquerons sommairement à quels suppléments d'analyses on peut procéder.

Le *soufre* existe sous forme de sulfates. On peut extraire ces derniers au moyen d'une solution chlorhydrique à 2 $\%$. Dans le liquide de filtration, on procède directement au dosage de l'acide sulfurique, mais le précipité de baryte a toujours besoin d'être purifié. En retranchant du soufre total, le soufre des sulfates préexistants, on a la teneur, en cet élément, des composés minéraux ou organiques non précipitables directement par les sels de baryte. A ce dernier groupe appartient, par exemple, le soufre des albuminoïdes. Grâce aux matières protéiques, le soufre pénètre dans l'organisme des animaux, alors que les sulfates ne font guère que traverser l'économie.

Les *essences volatiles sulfurées*, dont on connaît les propriétés toxiques, sont quelquefois intéressantes à déterminer, si l'on a à faire, par exemple, à une substance végétale de la famille des crucifères. 10 grammes de matière non desséchée et pulvérisée sont triturés avec de l'eau dans un mortier, puis introduits dans un ballon

de 500 centimètres cubes. On complète l'eau ajoutée à environ 300 centimètres cubes, on bouche, puis on laisse macérer pendant deux heures à la température de 20°, pour permettre aux ferments d'agir sur les glucosides et de former les essences. Après, on ajoute 30 grammes d'alcool, et l'on distille sur le bain de sable ou dans un bain de chlorure de calcium. Il faut amener rapidement à l'ébullition. La distillation terminée, on lave le tube du réfrigérant. Les essences sont recueillies et oxydées avec les eaux de lavage, en les faisant bouillir avec un excès de brome dans un ballon surmonté d'un réfrigérant à reflux. Il faut trois heures d'ébullition pour avoir une oxydation complète. On chasse le brome en chauffant ; et, quand le liquide est devenu incolore, on ajoute de l'acide chlorhydrique. Après une nouvelle ébullition d'une demi-heure, on précipite par le chlorure de baryum. Du poids de sulfate de baryte, on déduit le soufre total des essences. S'il n'y a que de l'essence de moutarde ou sulfocyanate d'allyle, on obtient le poids de ce dernier en multipliant le sulfate précipité par 0,4248. On constate souvent en même temps la présence de sulfure d'allyle ou essence d'ail. Pour la doser, on procède exactement comme pour l'essence totale, mais on distille dans un

matras contenant 60 centimètres cubes d'ammoniaque. On peut faire suivre le matras d'un flacon contenant également de l'ammoniaque pour retenir les vapeurs non condensées. Dans les liquides ammoniacaux réunis et les eaux de lavage, on ajoute un excès de nitrate d'argent. On chauffe au bain-marie. Quand le sulfure est bien rassemblé, ce qui demande quelque temps, on le recueille sur un filtre taré, on le lave à l'acide azotique très étendu, puis on le pèse après dessiccation à 100°. Le sulfure d'argent multiplié par 0,459 donne le sulfure d'allyle.

Pour le *phosphore*, on extrait, au moyen d'une solution chlorhydrique à 2 %, les phosphates préexistants solubles dans l'eau et les acides faibles, et précipitables directement à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien (en passant par le phosphomolybdate, si l'on veut). On peut rechercher les bases qui passent en même temps dans la solution. La différence entre le phosphore des phosphates et le phosphore total indique la teneur en cet élément des composés minéraux de l'ordre des phosphites, des composés éthers de l'ordre des phosphoglycérites, et surtout des autres combinaisons organiques phosphorées. Parmi ces dernières, on range les nucléines, substances voisines des

albuminoïdes, mais résistant à l'action des suc digestifs, et les lécithines, extraites par les mêmes dissolvants que les matières grasses avec qui elles présentent de grandes analogies. Les nucléines et lécithines, une fois isolées par les procédés que nous verrons, il n'est donc pas sans intérêt d'y doser le phosphore.

L'existence de composés organiques *chlorés* n'est pas encore nettement établie, mais il est probable que les chlorures, de même que bien des sels minéraux, contractent avec les albuminoïdes des combinaisons peu stables. On comparera donc au chlore total, le chlore préexistant dans les plantes, sous forme de chlorures. Ces derniers peuvent être extraits par une macération à froid, dans une solution étendue d'acide azotique. On fait deux parts du liquide : L'une est concentrée, après neutralisation, pour y doser le chlore par distillation avec l'acide azotique, comme nous l'avons indiqué. Dans l'autre, on recherche les bases passées en solution, potassium, sodium, calcium, magnésium, etc.

Pour la *silice*, comme pour tous les éléments du reste, on en dose la partie soluble dans l'eau. Par une macération à froid, dans une solution de potasse au dixième, on arrive généralement à extraire presque toute la silice.

La *soude* et la *potasse* sont engagées sous trois formes : La première, soluble dans l'eau, la seconde soluble à froid dans l'acide chlorhydrique à 2 $\%$. Le reste est à l'état de composés de nature organique, probablement mieux fixés dans les tissus.

On extrait une partie de la *chaux* par une macération à froid dans une solution chlorhydrique à 2 $\%$. Si l'on veut avoir la chaux des sels organiques insolubles, tels que les oxalates par exemple, ou décomposer les combinaisons de cet élément avec les gommés, les matières pectiques, il faut opérer à chaud avec la même solution dans un appareil à reflux.

Tous les sels de *fer*, que l'acide soit organique ou minéral, sont solubles dans l'alcool acidulé avec de l'acide chlorhydrique. La substance une fois épuisée par ce dernier dissolvant, le fer qui reste dans le résidu est à l'état de combinaisons organiques. On retrouve principalement ces dernières dans les nucléines ayant résisté à l'action des sucs digestifs.

Ces macérations doivent être faites sur la matière non desséchée. Après passage de la substance fraîche au moulin Girard, on en prend, par exemple, 40 grammes que l'on écrase petit à petit dans un mortier, en l'imbibant de la solution chlor-

hydrique à 2 %. On transvase dans un ballon avec 400 centimètres cubes de la même solution, puis on laisse digérer 24 heures à une température assez basse pour éviter les fermentations, et en agitant assez souvent. On filtre après avoir exprimé le résidu dans un nouet de toile, on le lave de nouveau sur l'entonnoir avec de l'eau froide. On amène à un volume connu pour procéder aux dosages que nous venons d'indiquer.

5. Dosage des nitrates et de l'ammoniaque. — Les nitrates et les sels ammoniacaux (quelquefois assez abondants, surtout les nitrates), sont, dans les substances végétales, les seules matières azotées dont l'azote est engagé dans des combinaisons minérales.

Pour doser les *nitrates*, on commence par les dissoudre en traitant à froid un certain poids de substance sèche par de l'alcool à 60°. L'eau peut également être employée comme dissolvant, mais la solution aqueuse contient avec les nitrates, beaucoup plus de principes immédiats que la solution hydro-alcoolique. Le liquide est évaporé au bain-marie, puis le résidu dissout dans le plus petit volume d'eau possible, 15 à 20 centimètres cubes. On passe la solution de nitrates et les eaux de lavage de la capsule

qui les contenait dans l'appareil de Schlœsing. L'acide azotique y est dosé, sous forme de bioxyde d'azote, par la méthode ordinaire, assez connue pour nous dispenser de la décrire ⁽¹⁾. Disons seulement que le dosage n'est pas gêné par les matières gommeuses sucrées et azotées, qui ont pu être mises en solution en même temps que les nitrates. Le volume de gaz recueilli étant très petit, car les végétaux sont relativement pauvres en nitrates, on opère sur la cuve à mercure, en se servant d'éprouvettes divisées en dixièmes de centimètre cube. On commence par débarrasser le gaz de l'acide carbonique au moyen d'une solution de potasse pure, puis on le mesure saturé de vapeur d'eau, en tenant compte de la température et de la pression. Pour vérifier sa pureté, on introduit dans l'éprouvette, au moyen d'une pipette à bout recourbé, quelques gouttes d'une solution très concentrée de protochlorure ou de sulfate de fer. On retranche du volume primitif celui du résidu, s'il y en a. Par le calcul connu, on réduit le volume du gaz à 0° et à 760. A 1 centimètre cube de bioxyde d'azote correspond 0^{mg},627 d'azote, ou 2^{mg},417 d'acide azotique anhydre.

(1) GRANDEAU. — *Analyse des Matières agricoles*, t. I, p. 29.

Le dosage de l'*ammoniaque* des sels et composés ammoniacaux est très incertain. Comme les végétaux n'en renferment, en général, que des traces très faibles, on peut, dans la pratique courante, ne pas y porter une sérieuse attention. Si l'on attaque le végétal à chaud ou à froid par la magnésie et l'eau, l'ammoniaque, par exemple, des phosphates ammoniaco-magnésiens engagés dans des combinaisons organiques, peut parfaitement résister à cette action. De plus, certains principes amidés sont altérés par les alcalis. Un extrait aqueux du végétal ne peut davantage servir au dosage, car il ne contient pas tous les composés ammoniacaux, dont quelques-uns sont peu solubles. Si, pour opérer cet extrait, l'on emploie enfin les acides dilués, ceux-ci produisent de l'ammoniaque aux dépens des amides, et l'on ne peut distinguer l'ammoniaque ainsi régénéré de l'ammoniaque préexistant à l'état de sels et de combinaisons organiques. Le meilleur procédé consiste encore à précipiter l'extrait végétal aqueux, ainsi que nous le verrons (§ 10), par l'acide phosphotungstique. Dans le phosphotungstate d'ammoniaque insoluble, on déplace la base par la magnésie, et l'on distille dans l'appareil de Schlöesing.

CHAPITRE III

MATIÈRES AZOTÉES ORGANIQUES

6. Dosage de l'azote organique total. —

L'azote total renfermé dans des combinaisons organiques, peut être dosé par la *méthode de la chaux sodée* ou par la *méthode Kjeldahl*, dans les cas où la substance *ne contient pas de nitrates*.

Pour doser l'azote par la *chaux sodée*, on peut suivre le procédé ordinaire, ou le modifier ainsi : On se sert d'un tube en fer, ouvert aux deux extrémités, et long de 60 centimètres. Le tube est ainsi monté ; on met à un bout un tampon d'amiante calcinée suivi de 10 centimètres de chaux sodée, puis une longueur de 10 centimètres du mélange de la matière avec la chaux sodée, ensuite de la chaux sodée pure jusqu'à 25 centimètres de l'extrémité du tube, et, en dernier, un tampon d'amiante. Le tube est mis en communication, d'un côté, avec un gazomé-

tre permettant de faire passer un courant continu d'hydrogène, lavé et desséché. Le gaz, durant la combustion, entraîne tout l'ammoniaque dans un tube à boules contenant un volume connu d'acide sulfurique titré. Ce tube absorbant est relié au reste de l'appareil, au moyen d'un bouchon dont on évite l'échauffement en faisant couler un filet d'eau froide sur l'extrémité du tube de fer. Ce dernier remplace avantageusement les tubes en verre. Inutile d'insister sur la conduite de cette analyse classique.

La méthode *Kjeldahl-Gunning* est préférable dans les laboratoires où l'on travaille en série. Elle donne d'aussi bons résultats que la précédente, mais à la condition d'opérer, suivant certaines règles, la destruction de la matière organique et la transformation de l'azote en ammoniaque. On pèse de 0^{gr},500 à 2 grammes, suivant sa teneur en azote, de la matière sèche et réduite en poudre. Il ne faut pas attaquer à la fois plus de 2 grammes, car la destruction de la matière organique devient difficile. La substance est introduite dans un ballon de 350 centimètres cubes, dont le col, d'une longueur de 10 centimètres, a environ 2 centimètres de diamètre. Les ballons en verre de Bohême sont préférables, car le verre ordinaire résiste souvent mal. On

ajoute 2^{gr},5 de sulfate de cuivre desséché à 100°, 10 grammes de sulfate acide de potassium, et 30 centimètres cubes d'acide sulfurique monohydraté, pur et bouilli. Il existe dans les végétaux des substances comme les nucléines, les alcaloïdes, dont l'azote offre une grande résistance à sa transformation en ammoniaque. Pour détruire ces combinaisons, il faut une température plus élevée que le point ordinaire d'ébullition de l'acide sulfurique, mais on arrive au même effet par l'addition au cuivre de sulfate de potasse. On peut imaginer de nombreux dispositifs permettant de procéder à ces attaques en série, sous une hotte munie d'un bon tirage. On chauffe au début très doucement, jusqu'à dissolution de la matière. Celle-ci opérée, on porte graduellement à l'ébullition. *C'est à tort que l'on arrête l'attaque dès que le liquide est limpide.* Il faut non seulement arriver à décoloration complète, mais, une fois cette décoloration obtenue, entretenir une vive ébullition durant deux heures et demie, trois heures. Au bout de ce temps, on est sûr que tous les composés azotés organiques et les amines complexes qui se forment au début de l'attaque sont bien transformés en ammoniaque.

On dose cette ammoniaque en la dépla-

cant à l'ébullition dans l'appareil classique de Schlœsing-Aubin, au moyen d'une solution concentrée de soude, exempte de nitrates, et non carbonatée. Pour verser la lessive alcaline dans le ballon de distillation, on incline le col de façon à pouvoir faire couler la soude le long des parois. Vu sa densité, elle tombe au fond de la liqueur, et est ainsi recouverte d'une couche acide qui arrête tout dégagement d'ammoniaque. Il faut toujours distiller au moins le tiers du liquide. On recueille, par exemple, dans de l'acide sulfurique titré décime, dont 1 centimètre cube correspond à 0^{gr},00175 d'azote. La liqueur alcaline titrée, sera de la potasse ou de la soude décime. Comme indicateur, on emploie le tournesol d'orcine ou la phtaléine du phénol, ou l'héliantine, si la lessive de soude est carbonatée. Il faut toujours opérer en même temps un dosage à blanc, pour connaître la correction nécessaire par les impuretés des réactifs employés.

Un bon moyen de contrôler l'exactitude du titrage des liqueurs, est le suivant : On attaque par le procédé Kjeldahl, 0^{gr},100 d'urée purifiée par une récente cristallisation et séchée à 100°. On recueille l'ammoniaque dans un certain volume d'acide titré suffisant pour n'être pas entièrement saturé. La quantité d'azote correspon-

dant à ce volume d'acide titré est donnée par la formule

$$\frac{0^{\text{gr}},0466 V'}{V' - V}$$

V' représente le volume de la liqueur nécessaire pour saturer tout l'acide employé; V , le volume de liqueur alcaline nécessaire pour amener à neutralité, après distillation de l'ammoniaque dégagée.

On peut remplacer le dosage volumétrique par la pesée de l'ammoniaque distillée à l'état de chlorhydrate. On recueille dans un ballon renfermant de l'eau additionnée, suivant les besoins, de 2 ou 3 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, entièrement volatilisable sans résidu. On évapore au bain de sable la moitié du liquide, sans atteindre l'ébullition; on transvase dans une fiole tarée en rinçant le ballon. On termine l'évaporation et la dessiccation dans une étuve à 105°. Au bout de vingt-quatre heures, on repèse la fiole. Le poids de chlorhydrate multiplié par 0,26168, donne le poids d'azote correspondant.

Si l'on préfère attaquer la matière par le mercure, au lieu de sulfate de cuivre, il vaut mieux éliminer le mercure, non par le sulfure de so-

dium, comme cela se pratique habituellement, mais par l'hypophosphite de sodium. On introduit ce sel par pincée de 1 gramme dans le liquide sulfurique étendu et encore chaud, puis on agite. Pour rendre la précipitation complète, on chauffe à 60-70°. Après refroidissement, on ajoute la lessive de soude et le zinc, comme précédemment, et l'on distille.

Comme l'ammoniaque ne gêne pas dans le procédé Kjeldahl, si l'on constate sa présence, il n'y a qu'à déduire de l'azote total obtenu, l'azote qui provient de l'ammoniaque dosée à part. Il faut, au contraire, *éliminer les nitrates avant le dosage de l'azote par la chaux sodée ou par la méthode Kjeldahl ordinaire*. Si l'on suit cette dernière, voici comment il faut opérer. On lave sur un filtre la substance sèche avec de l'alcool à 60°, que l'on recueille dans un ballon d'attaque en verre de Bohême. Ce liquide contient non seulement les nitrates, mais des matières azotées organiques, ce dont, à tort, on ne tient souvent pas compte. On évapore le liquide alcoolique presque à siccité, puis, pour éliminer les nitrates, on verse dans le ballon 1 gramme de sulfate de protoxyde de fer pulvérisé. En agitant pour mélanger, on ajoute ensuite goutte à goutte, 1 centimètre cube d'acide sulfurique pur. On

chauffe légèrement au bain de sable, et l'azote nitrique se dégage. Il ne reste plus qu'à attaquer, comme l'on a vu, le filtre et son contenu dans le ballon où se trouve l'extrait alcoolique débarrassé des nitrates. On fait la correction pour l'azote du filtre.

La méthode *Kjeldahl* modifiée par *Jodlbauer*, peut donner l'azote total, y compris celui des nitrates. On ajoute à la substance pesée, 30 centimètres cubes d'acide sulfurique pur, et 3 centimètres cubes d'acide phénolsulfurique, obtenu en dissolvant 50 grammes de phénol dans 100 centimètres cubes d'acide sulfurique. On chauffe lentement jusqu'à 40°, en agitant. On laisse refroidir, puis on ajoute, par petites portions, 2 grammes de poudre de zinc. Après une digestion à froid, d'au moins deux heures, on opère l'attaque par le procédé *Kjeldahl* ordinaire.

C'est à tort que, suivant la méthode de Weende, on déduit de l'azote total la teneur de la substance en matières albuminoïdes. La diversité des combinaisons organiques azotées des végétaux, bien démontrée aujourd'hui, n'autorise pas cette erreur qui devrait disparaître de la routine des laboratoires.

7. Dosage des albuminoïdes et des peptones. — On admet que les albuminoïdes contiennent en moyenne 16 % d'azote. On peut donc, par un procédé indirect, les doser en bloc, en multipliant par le coefficient 6,25 l'azote qui s'y trouve engagé, mais non l'azote total de la substance. Ce coefficient est purement conventionnel, car la teneur en azote des albuminoïdes végétaux, varie de 15 à 18 %. Devant la difficulté de séparation des matières albuminoïdes elles-mêmes, et pour rendre les résultats comparatifs, on est convenu d'adopter un coefficient unique. Ne serait-il pas cependant plus rationnel de prendre des multiplicateurs variant avec les substances ? Ritthausen et d'autres auteurs, après de nombreuses recherches, ont proposé les coefficients suivants :

6,25 (pomme de terre) ;

6,00 (orge, maïs, sarrazin, soja) ;

5,70 (froment, son, seigle, avoine, pois, fèves, vesces) ;

5,50 (lupin, tourteaux de lin, chanvre, coton, amandes, ricin, coco).

Les *albuminoïdes* se dosent en bloc par le procédé de *Stutzer* à l'oxyde de cuivre hydraté (1).

(1) GRANDEAU. — *Analyse des Matières agricoles*, t. II, p. 365.

Nous lui préférons la méthode suivante, moins compliquée et tout aussi exacte : 2 grammes de substance desséchée dans le vide à froid ou à très basse température, sont introduits dans un ballon d'attaque en verre de Bohême, et délayés dans 100 centimètres cubes d'eau bouillante, contenant 1 % d'acide acétique. On passe le mélange à l'autoclave chauffé, mais en laissant ouvert le robinet de sortie de la vapeur, pour ne pas opérer sous pression. On maintient ainsi le ballon un quart d'heure à 100°, puis on décante le liquide sur un filtre. On lave, à plusieurs reprises, à l'acide acétique chaud étendu, le résidu insoluble et le filtre. Celui-ci est mis alors dans le ballon que l'on dessèche, et l'on dose l'azote des albuminoïdes restés insolubles. On fait une correction pour l'azote du filtre. Avec les matières amylacées, la filtration du liquide acétique est souvent pénible. On opère alors ainsi : la substance est réduite en empois avec 100 centimètres cubes d'eau non acidulée, on fait agir à 67° un volume connu d'extrait aqueux de malt ; après saccharification, on ajoute 1 centimètre cube d'acide acétique, puis on passe à l'autoclave, comme nous l'avons vu. On fait la correction pour le filtre et les albuminoïdes du malt, en traitant comme la matière le même volume

de liquide diastasiqne ajouté. *Les résultats concordent avec ceux de la méthode classique de Stutzer.*

Pour plus d'exactitude, il faut ajouter à l'azote ainsi obtenu, celui des albuminoïdes incomplètement précipités et toujours dissous en quantités appréciables par l'acide acétique. Pour les isoler de la solution acétique, on évapore cette dernière à petit volume, puis on la neutralise, aussi exactement que possible, au moyen d'une liqueur normale de soude. S'il se forme un précipité, on le recueille sur filtre au bout de deux heures pour en doser l'azote.

Les peptones doivent être également comptées comme albuminoïdes. Ainsi que les albumoses, elles restent solubles dans la liqueur acétique filtrée, mais comme les peptones se trouvent toujours en très faibles quantités dans les végétaux, il vaut mieux les doser dans l'extrait aqueux correspondant au moins à 10 ou 20 grammes de substance. Nous avons vu, au § 3, comment on opère cet extrait. Celui-ci étant réduit au volume de 100 centimètres cubes environ, on précipite les albuminoïdes par une ébullition de dix minutes, après légère addition d'acide acétique. On filtre et lave le coagulum à l'eau chaude. La solution est concentrée à nouveau, puis neutralisée exac-

tement. On filtre s'il y a lieu. A l'extrait peptonique, dont le volume est finalement réduit par distillation dans le vide à 40 centimètres cubes, on ajoute 250 centimètres cubes d'alcool à 95. Si la solution est neutre, les *albumoses* sont précipitées, et peuvent être recueillies sur filtre après deux heures de dépôt.

L'alcool filtré contient les *peptones*. On l'évapore, et le résidu est repris par 5 centimètres cubes d'eau que l'on transvase, en rinçant dans un grand tube à essais. Ce tube porte un trait indiquant le volume de 50 centimètres cubes. On opère alors sur le liquide, la réaction du biuret, par l'addition de 25 centimètres cubes de soude caustique à 40 %, puis de quelques gouttes de sulfate de cuivre à 1 %. S'il y a des peptones, on observe une teinte rose violacée. Il faut mettre assez de cuivre pour avoir une trace de bleu dans la teinte qui vire de plus en plus vers le violet, à mesure que l'on ajoute le cuivre. On complète enfin le volume à 50 centimètres cubes avec de l'eau de baryte qui précipite l'excès de cuivre, et ne laisse au liquide que la teinte de la réaction. On traite par les mêmes quantités de réactifs, 10 à 15 centimètres cubes d'une solution titrée de peptone (à $\frac{1}{4000}$ environ), que l'on amène au volume de 50 centimètres cubes. Après dépôt des précipités, on

passé au colorimètre les liquides clairs décantés, mais non filtrés. On compare ainsi le titre en peptones de l'extrait végétal, avec celui de la solution préparée. Le dosage demande de l'habitude, car il est un peu arbitraire (1).

Si la substance contient des alcaloïdes, il faut les séparer comme nous le verrons, avant de procéder au dosage des albuminoïdes.

8. Composition immédiate des albuminoïdes. — On sait que la classification des albuminoïdes repose non sur la connaissance exacte de leur constitution moléculaire, mais sur un certain nombre de réactions qui permettent des séparations conventionnelles d'ordre mécanique et physique, plutôt que des différenciations d'espèces chimiques. Il ne faut pas compter, en général, sur les procédés de l'analyse immédiate, pour séparer et doser les albuminoïdes végétaux. On arrive bien à extraire des matières azotées que l'on peut, après une analyse qualitative, faire rentrer dans les différents groupes d'une des classifications adoptées (2), mais l'analyse quantitative reste impossible devant l'insolu-

(1) Description du colorimètre Duboscq (GRANDEAU. — *Analyse des matières agricoles*, t. II, p. 271).

(2) A. GAUTIER. — *Leçons de chimie biologique*, p. 72.

bilité partielle de beaucoup d'albuminoïdes dans les dissolvants les mieux appropriés. On n'arrive jamais, même avec des réactions énergiques, à extraire toute la matière azotée d'un végétal. Ces dosages incomplets ne peuvent donc offrir de l'intérêt que si l'on veut, par exemple, comparer entre elles les quantités d'albuminoïdes extraits au moyen du même dissolvant et dans les mêmes conditions de grains ou de plantes de même espèce. Les récoltes des échantillons doivent naturellement avoir été faites en même temps.

En malaxant la substance avec de l'eau, on dissout des albumines, des peptones et des légumineuses. Comme ces dernières précipitent très facilement par les acides, il faut que l'eau de dissolution soit rendue assez alcaline pour neutraliser aussi exactement que possible l'acidité de la substance. Les *légumineuses* sont précipitées à froid par l'addition de quelques gouttes d'acide acétique, et recueillies sur un filtre. Les *albumines* sont coagulées à 100° dans la solution privée de légumineuses.

Si l'on traite le même poids de substance par une solution de sel marin au dixième, on dissout des albumines, des globulines et des vitellines ou congutines, mais non des légumineuses. Les *vitellines* sont précipitées par quelques

gouttes d'acide acétique et séparées de la solution. On précipite ensuite, par l'ébullition, les albumines et les *globulines*.

L'eau et l'eau salée dissolvent également les *toxines* et les *diastases végétales* qui se comportent généralement comme des albuminoïdes facilement solubles.

Toutes ces macérations sont faites à froid, en agitant, dans une éprouvette à pied et bouchée à l'émeri, un poids connu de substance fraîche que l'on délaye dans un certain volume du dissolvant. On fait l'analyse sur une partie du liquide surnageant après dépôt de la substance au fond de l'éprouvette. Par le calcul, et en dosant en même temps l'humidité de l'échantillon, on rapporte les résultats à la matière sèche.

Il n'est pas à recommander de peser les précipités albuminoïdes toujours impurs. Le taux d'azote permettra des comparaisons plus exactes. On fait les précipitations dans des ballons d'attaque au Kjeldahl, ce qui évite la peine de détacher des parois du vase le coagulum azoté qui colle facilement. Le reste de la matière azotée recueillie après filtration est attaqué dans le même ballon avec le filtre dont il faut déduire l'azote.

Les traitements à l'eau et à l'eau salée laissent dans la substance, principalement pour les graines, d'autres albuminoïdes, les uns solubles dans l'eau alcaline et insolubles dans l'alcool, les autres solubles dans l'alcool neutre ou alcalinisé. Ces matières azotées constituent ce que l'on a coutume de désigner sous le nom de *gluten*. Le dosage du gluten dans le blé s'effectue en malaxant un pâton de farine sous un filet d'eau, jusqu'à ce que la masse élastique des albuminoïdes insolubles dans l'eau se rassemble bien sous les doigts et que les eaux de lavage passent limpides. Inutile d'insister sur cette opération décrite dans tous les traités. Les résultats de ce dosage qui, malgré son peu de précision, intéresse cependant le meunier et le boulanger, ne seront comparatifs que si la manipulation est opérée dans des conditions identiques. La pesée, pour avoir quelque valeur, devra toujours se faire sur le gluten sec.

M. Fleurent ⁽¹⁾ a isolé qualitativement et quantitativement du gluten de blé, trois principes bien distincts : un albuminoïde de propriétés voisines de celles de la *conglutine*, une *gluten-caséine* dénommée *gluténine* et une *glu-*

(1) FLEURENT. — *Annales de la Science agronomique*, 1898, t. I, p. 371.

ten-fibrine ou gliadine qui, par ses propriétés agglutinatives, sert de lien entre les deux autres. Dans le travail original, on trouvera la méthode rigoureuse de dosage de ces principes dans un gluten extrait du blé par malaxage, ainsi qu'un mode d'appréciation de la valeur boulangère de la farine basé sur les résultats de l'analyse chimique.

En appliquant les données de cette étude, on peut, avec assez d'approximation, doser la gluténine et la gliadine dans les farines de céréales ou de légumineuses dont le gluten est inextractible à la main par le procédé ordinaire. 10 grammes de la substance, réduite en farine très fine, sont lavés sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante avec de la benzine et non avec de l'éther qui modifierait les propriétés du gluten. On procède ensuite à l'extraction des albuminoïdes solubles par des lavages à l'eau, puis à l'eau salée. Le produit détaché de l'entonnoir avec l'amiante est réduit en empois et saccharifié par la diastase, puis on recueille le résidu insoluble sur un filtre, auquel sert de tare un autre filtre de même poids. Ces deux filtres sont tarés après lavage à l'eau chaude et dessiccation. On fait alors agir, ainsi que nous le dirons au chapitre suivant, une solution de liquide gas-

trique sur ces deux filtres que l'on évite de détériorer en les séparant et dont on replie les bords de l'un pour éviter la perte de son contenu. La peptonisation du gluten opérée, on retire les filtres avec précaution, on les lave à l'eau pour les repeser après dessiccation. La différence de poids du filtre avant et après digestion donne le taux total du gluten qui a été dissous par la pepsine. On opère de même sur 10 grammes du même échantillon, mais, après la filtration qui suit la saccharification par la diastase, on introduit le filtre et son contenu dans un flacon bouchant à l'émeri, avec exactement 250 centimètres cubes d'alcool à 70° contenant, par litre, 3 grammes de potasse, quantité qui ne modifie pas les albuminoïdes. On maintient le contact quarante-huit heures, en agitant de temps en temps. On traite alors la liqueur jusqu'à refus par un courant d'acide carbonique. Après précipitation de la gluten-caséine qui était en émulsion, on prélève un certain volume de la liqueur claire (200 centimètres cubes, par exemple) correspondant à un poids connu de la substance. On évapore l'alcool dans le vide et le liquide amené à un petit volume, est étendu d'eau, puis acidifié avec de l'acide sulfurique dilué. La gluten-fibrine ainsi précipitée est

recueillie sur un filtre taré que l'on pèse après dessiccation. En retranchant du gluten total la gluten-fibrine, on a, par différence, la gluten-caséine. Il est toujours bon de doser l'azote des différents précipités ainsi obtenus.

9. Dosage des nucléines, digestions artificielles. — On trouve, dans les végétaux, des matières azotées intermédiaires de composition et de propriétés entre les albuminoïdes et leurs dérivés simples, tels que les amides, les alcaloïdes, etc. Ce sont les nucléines et les léci-thines. Ces dernières devant être portées plutôt au compte des matières grasses que des corps azotés, nous y reviendrons dans la suite.

Les *nucléines* accompagnent généralement les différents albuminoïdes, mais elles diffèrent de ces derniers en ce qu'elles ne sont pas transformées par le suc gastrique ou pancréatique. Comme les nucléines ont été dosées avec les albuminoïdes séparés en bloc, ainsi que nous l'avons vu, on conçoit l'intérêt que l'on a à en connaître le taux, pour établir le coefficient réel de digestibilité des matières azotées. Malgré quelques caractères communs, les nucléines ne forment pas un groupe bien net, et l'on ne peut compter sur les procédés chimiques pour les séparer. On arrive à en fixer approxi-

mativement le taux par la *méthode des digestions artificielles* qui permet le dosage des matières azotées non digestibles (parmi lesquelles rentrent les nucléines), et, par conséquent, des matières azotées digestibles.

Il existe beaucoup de modes de préparation des *sucs gastriques artificiels*. Souvent on se contente d'une macération de muqueuse gastrique dans une solution d'acide chlorhydrique à 1 ou 2 ‰. Il vaut mieux cependant que la liqueur soit débarrassée, autant que possible, des matières azotées, car une fois la digestion opérée, on peut, pour contrôler les résultats, précipiter par l'acide phosphotungstique les albumoses et peptones formées et en doser l'azote. Nous conseillons de préparer ainsi la solution de pepsine. On prend des estomacs de porcs, abattus de préférence en pleine digestion, et, par un frotlage énergique sous un courant d'eau, on les débarrasse de leur contenu et du mucus. Avec un scalpel, on sépare de la couche musculaire, la muqueuse rose de la grande courbure, région des glandes gastriques. Les muqueuses réduites en bouillie par un hachage, sont mélangées dans un cristalliseur avec du sel marin (500 grammes pour dix estomacs). On ajoute alors exactement la quantité d'eau suffisante

(1 400 centimètres cubes) pour dissoudre le sel, puis de l'acide chlorhydrique (2 centimètres cubes) et 3 grammes de thymol. Après une macération de deux ou trois jours à 29° environ, on décante le liquide, et le reste de la bouillie est passé à la presse dans un nouet de toile. On dialyse la liqueur recueillie pour la débarrasser du sel. Pour extraire la pepsine, on provoque dans le liquide un précipité de phosphate tricalcique par addition de phosphate disodique, de chlorure de calcium et d'un peu d'ammoniaque. Le précipité séparé par filtration est lavé à l'eau, puis dissous dans l'acide chlorhydrique étendu. On dialyse enfin de nouveau jusqu'à disparition des phosphates et des chlorures. Pendant toutes ces opérations, on évite les fermentations au moyen du thymol. La solution de pepsine ainsi préparée, est très active et ne contient pas de matières azotées ; on la conserve dans des flacons bouchés, après addition de 3 ou 4 grammes de thymol par litre.

Pour doser les matières azotées non digestibles, on procède ainsi : Deux grammes de la substance sèche, finement pulvérisée, sont débarrassés des matières grasses par un traitement à la benzine, ainsi que nous le verrons plus loin. On les transvase sans pertes dans un flacon d'Erlen-

mayer où l'on verse ensuite 200 centimètres cubes de liquide gastrique additionné de 0,1 % d'acide chlorhydrique. La solution est, en outre,

légèrement thymolisée pour éviter le développement des micro-organismes. On porte le flacon bouché, à l'étuve de d'Arsonval, réglée à 37-40°.

Inutile d'insister sur les avantages que présente cette étuve pour l'analyse d'un bon nombre de principes immédiats. La *fig. 1* en montre la coupe médiane. Pour régler l'étuve, on la remplit complètement d'eau bouillante par la douille supérieure (5), que l'on ferme au moyen d'un bou-

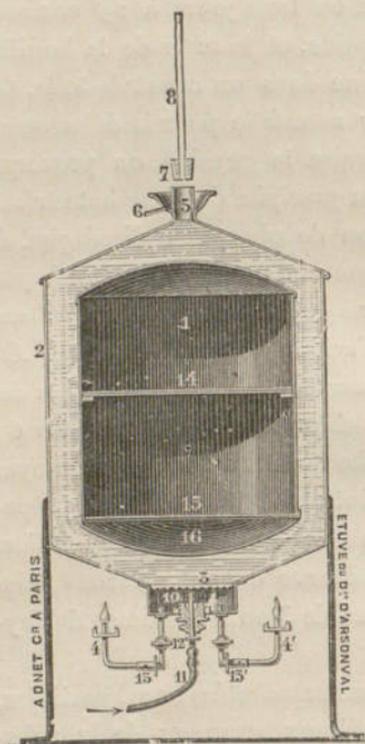


Fig. 1

plètement d'eau bouillante par la douille supérieure (5), que l'on ferme au moyen d'un bou-

chon de caoutchouc (7) surmonté d'un tube de verre (8). Le tube (11) d'accès du gaz étant dévissé, on allume les brûleurs (4 et 4') de façon à ce que la température soit assez élevée pour forcer les bulles d'air à s'échapper au dehors. L'eau, en se dilatant, monte dans le tube 8 qui doit affleurer le bas du bouchon pour permettre aux gaz de sortir facilement. On éteint, puis on laisse l'eau se refroidir. Lorsque l'on arrive à une température inférieure environ de 5° à celle que l'on veut obtenir, on allume de nouveau les deux becs en tournant les prises d'air 13 et 13' de façon à les faire brûler à blanc. Par des tâtonnements successifs, on fait augmenter ou diminuer la flamme en dévissant ou en revissant l'érou qui se trouve sur le tube (11) d'arrivée du gaz et que l'on maintient au moyen du contre-érou (12). On arrive facilement à obtenir, entre 30 et 80°, une température invariable et fixée une fois pour toutes ; on peut, en effet, éteindre, puis rallumer ensuite après refroidissement, sans avoir à opérer un nouveau réglage.

Revenons à l'opération de la digestion artificielle : au début, d'heure en heure, on ajoute 0^{cc}, 2 d'acide chlorhydrique, et cela, neuf fois environ, jusqu'à ce que l'acidité du mélange soit portée à 1 ‰. Après une digestion de qua-

rante-huit heures, on recueille le résidu insoluble sur un filtre à plis; on lave tant que le liquide contient de l'acide chlorhydrique. Le filtre et son contenu desséchés, on en dose l'azote. Si l'on a, en même temps, déterminé l'azote total des albuminoïdes, par différence, on a l'azote non digestible qui appartient en grande partie aux nucléines. Les résultats de ces digestions artificielles, comparés à ceux des essais faits sur les animaux eux-mêmes, concordent à peu près, mais il faut laisser la digestion s'opérer durant quarante-huit heures et non vingt-quatre comme on le fait souvent. Il est inutile de reprendre le résidu de la digestion gastrique par une liqueur pancréatique, car les résultats ne sont pas modifiés; de plus, la préparation de bons liquides pancréatiques artificiels est fort difficile⁽¹⁾.

10. Dosage des matières azotées non albuminoïdes. — Nous avons dit que les végétaux renfermaient beaucoup de composés azotés dérivés, par hydratation ou oxydation, des albuminoïdes. Tous ces corps, restés en solution dans le liquide acétique, ayant servi au dosage en bloc des albuminoïdes, forment un mélange

(1) M. ARTHUS. — *Chimie physiologique*, p. 277.

très complexe. Pour simplifier l'analyse, nous les classerons en trois groupes : 1° Les alcaloïdes ; 2° les produits basiques issus du dédoublement des albuminoïdes ; 3° les amides jouissant à la fois de fonctions acides et basiques.

On extrait les *alcaloïdes* en faisant bouillir au bain-marie 2 ou 3 grammes de substance sèche avec 100 centimètres cubes d'alcool absolu, contenant 1 % d'acide acétique. On filtre, on lave à l'alcool le résidu insoluble, puis on évapore la liqueur alcoolique à un petit volume.

On précipite les alcaloïdes au moyen d'une solution à 5 % d'acide silicotungstique cristallisé (1), qui sépare seulement les alcaloïdes et les albuminoïdes, sans précipiter les glucosides, les corps amidés et autres substances que l'on peut trouver dans un extrait alcoolique. La solution d'alcaloïdes est additionnée de 3 ou 4 % d'acide chlorhydrique et de quelques gouttes du réactif, puis chauffée jusqu'à l'ébullition. Après refroidissement, on trouve un précipité très fin de silicotungstates d'alcaloïdes qui se déposent lentement et passent facilement à travers les filtres ; aussi, au début de la filtration, doit-on refiltrer plusieurs fois les premières portions du liquide.

(1) BERTRAND. — *Bulletin de la Société chimique*, 1899, t. I, p. 435.

Si la solution filtrée ne précipite plus à chaud par une nouvelle addition de réactif, on met le filtre et le précipité dans une allonge à robinet, on délaye dans un peu d'eau et l'on ajoute quelques gouttes d'ammoniaque pour mettre les alcaloïdes en liberté. On verse ensuite dans l'allonge 50 centimètres cubes de chloroforme, on bouche et l'on agite. On soutire le chloroforme qui s'est emparé des alcaloïdes, on l'évapore et l'on pèse le résidu, dont on dose l'azote si l'on veut.

Pour doser les *combinaisons azotées basiques* dérivées des albuminoïdes, on commence par extraire les alcaloïdes sur 3 ou 4 grammes de substance, ainsi que nous venons de l'expliquer, puis le résidu insoluble dans l'alcool est traité à 100° par une solution aqueuse d'acide acétique à 1 %, comme si l'on voulait séparer en bloc les albuminoïdes. On réunit l'alcool et le liquide acétique filtrés, on les concentre à un petit volume, puis on précipite par quelques gouttes d'acide phosphotungstique. On prépare ce réactif en dissolvant une partie d'acide phosphotungstique cristallisé dans cinq parties d'eau, et en ajoutant à la solution 2 % d'acide sulfurique concentré. L'acide phosphotungstique précipite, avec les composés basiques, les albumoses, les peptones,

les alcaloïdes et les sels ammoniacaux, mais ne sépare pas les amides qui se trouvent également en solution. Il faut laisser le précipité déposer pendant deux heures. Si l'on déduit de l'azote total du précipité l'azote provenant des peptones, des alcaloïdes et des sels ammoniacaux dosés à part, on a l'azote cherché. Ce dosage par différence est un peu brutal, mais, dans la pratique, il suffit largement.

Disons en outre, que pour compléter l'analyse, on peut décomposer, au moyen d'un lait de chaux, le précipité produit par l'acide phosphotungstique. La dissolution, séparée par filtration du composé calcaire insoluble, est concentrée à un petit volume et alcalinisée avec de l'ammoniaque. On y précipite à froid, par le nitrate d'argent, les alcaloïdes faibles tels que la *xanthine*, l'*hypoxanthine*, la *guanine*, ainsi que la *vernine*. Le liquide, séparé de ce précipité, contient les bases voisines de la *créatine* comme l'*arginine*, et les bases analogues à la *névrine* comme la *choline* et la *bétaïne*. Pour plus de détails, nous renvoyons aux travaux de Schulze sur la question ⁽¹⁾.

L'acide silicotungstique peut également servir

(1) SCHULZE. — *Matières azotées des plantes*, Annales de la Science agronomique, 1887, t. II, p. 153.

à séparer en bloc des amides, les autres matières azotées non albuminoïdes. On ajoute 4 % d'acide chlorhydrique au liquide acétique filtré ayant servi au dosage des albuminoïdes, puis 20 % environ de la solution d'acide silicotungstique (à 5 %). On fait bouillir, et l'on recueille le précipité. Après lavage avec de l'acide chlorhydrique faible, on le dissout dans de la lessive de soude étendue, et l'on dose alors l'azote total dans cette liqueur alcaline.

Parmi les *amides*, l'*asparagine* nous intéresse tout spécialement. Généralement, elle forme la plus grande partie de ce groupe azoté, aussi peut-on, sans grande erreur, se contenter de la doser seule. Voici le procédé que nous considérons comme le plus pratique pour les analyses courantes. On fait bouillir un poids connu de substance sèche avec de l'acide acétique à 1 %, comme pour le dosage total des albuminoïdes. Le liquide filtré contient l'asparagine dédoublée en aspartate d'ammonium. On le transvase dans le ballon de l'appareil Schlœsing, on étend d'eau de façon à avoir environ 500 centimètres cubes, puis après avoir alcalinisé très légèrement avec de la potasse, on distille. L'ammoniaque recueillie dans de l'acide titré contient exactement la moitié de l'azote de l'asparagine. La potasse

étendue est sans action sur les albuminoïdes et acides amidés dissous en même temps que l'asparagine dans le liquide acétique (1). En multipliant donc l'azote recueilli à l'état d'ammoniaque par le coefficient 9,43, on obtient l'asparagine anhydre. Ainsi opéré, le dosage des amides est incomplet, puisqu'il ne tient compte que de l'azote de l'asparagine. Pour doser les autres amides, tels que la *léucine*, la *tyrosine*, il faut suivre la méthode de Sachsse-Brumme basée sur la décomposition des corps amidés par l'acide nitreux. Ce procédé est délicat et un peu compliqué pour les analyses courantes (2). On peut avoir, du reste, l'azote des autres composés amidés, en retranchant de l'azote total non albuminoïde l'azote des alcaloïdes, des bases et de l'asparagine.

11. Résumé de l'analyse des matières azotées. — Le tableau suivant donne les différents groupes en lesquels on peut diviser l'azote total d'une substance végétale. A côté de chaque groupe, nous avons indiqué le chapitre où le dosage est traité en détail.

(1) ANDRÉ. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1900, t. I, p. 728.

(2) GRANDEAU. — *Analyse des Matières agricoles*, t. II, p. 316.

A. Az. organique total (§ 6)	B. Az. Albuminoïde total = d + e	d. Az. albuminoïde séparé par l'acide acétique bouillant à 1 ^o / ₀ § (7)	f. Az. des nucléines séparées par di- gestion artificielle (§ 9)	non digestibles	} albuminoïdes	
			g. Az. digestible de d = d - f			digestibles
		e. Az. des peptones dosées par la méthode colorimétrique (§ 7)				
		C. Az. non albuminoïde total = A - B	h. Az. des alcaloïdes séparés par l'acide silico-tungstique de l'extrait alcoolique acétique (§ 10).			
			i. Az. des composés basiques: Az précipité par l'acide phospho-tungstique dans la solution acétique filtrée après le dosage de d diminué de l'Az. de (e + h) (§ 10).			
		j. Az. de l'asparagine (§ 10)		composés azotés de valeur nutritive faible		
		k. Az. des autres corps ami- dés = C - (h + i + j).	corps amidés			

Les alcaloïdes et les peptones n'existent qu'en très faibles quantités dans les substances végétales que les laboratoires agricoles ont le plus souvent à analyser ; on peut donc, dans la pratique courante, se contenter de doser leur azote avec celui des composés basiques, après précipitation en bloc de tous ces corps par l'acide phosphotungstique.

CHAPITRE IV

MATIERES GRASSES

12. Dosage des matières grasses brutes.

— Nous allons examiner d'abord les propriétés des différents dissolvants généralement employés, puis nous indiquerons comment préparer sa matière en vue de l'extraction des corps gras, et enfin comment on procède au dosage.

Les dissolvants qui servent à extraire et, par conséquent, à doser les matières grasses, peuvent se réduire à quatre : l'éther, le sulfure de carbone, la benzine cristallisable et l'éther de pétrole.

C'est bien à tort que, jusqu'à présent, l'on s'est borné à l'emploi presque exclusif de l'éther. Ce véhicule a la propriété de dissoudre une multitude de corps appartenant à toutes les fonctions chimiques, il ne permet donc aucun classement, même grossier, des matières dissoutes ⁽¹⁾.

(1) A. ÉTARD. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1893, t. I, p. 1116.

En tout cas, pour ne pas augmenter davantage la complexité de l'extrait par l'éther, faut-il n'employer ce dissolvant qu'exempt d'eau et d'alcool. A cet effet, on laisse l'éther du commerce en digestion pendant plusieurs semaines avec un mélange de chlorure de calcium fondu et de chaux vive, puis on rectifie, au bain-marie, sans dépasser 33-34°.

Les trois autres dissolvants séparent des catégories mieux limitées de principes immédiats et n'extraient que les carbures, les alcools, les glycols, constituant les différentes matières grasses, les matières colorantes et les corps analogues que nous avons énumérés précédemment. Le *sulfure de carbone* du commerce peut servir après avoir été ainsi purifié : on l'agite avec du mercure pour lui enlever un peu de son odeur désagréable, puis on le rectifie entre 44 et 46° sur du chlorure de calcium fondu. Le traitement des végétaux par le sulfure demande à être opéré à l'abri de l'air et de la lumière vive ; le sulfure s'hydrate, en effet, assez facilement, et, en se décomposant, forme un dépôt de soufre qui se trouve pesé avec les matières extraites.

On devrait employer de préférence à l'éther et au sulfure, la *benzine cristallisable*, et surtout l'*éther de pétrole*. Ces deux véhicules ont, en

effet, le pouvoir de dissoudre les graisses neutres plus facilement que les matières résineuses, les matières colorantes et substances congénères, peu digestibles et aussi solubles dans l'éther et le sulfure que les glycérides. Ces dissolvants ne provoquent pas, il est vrai, une séparation absolument rigoureuse (la chlorophylle, par exemple, quoique difficilement soluble à l'état pur dans l'éther de pétrole est entraînée dans l'extrait par les autres matières grasses), mais enfin, par leur emploi, on peut arriver à une exactitude plus grande, si l'on recherche le dosage en bloc des principes véritablement alimentaires de ce groupe. L'éther de pétrole et la benzine présentent encore cet autre avantage de ne point coaguler les matières albuminoïdes. La benzine cristallisable du commerce ne nécessite pas de purification, on peut cependant, si l'on veut, la rectifier à 80° environ sur du chlorure de calcium fondu. L'éther de pétrole, sur les conseils de Dragendorff qui, le premier, en a préconisé l'emploi ⁽¹⁾, doit être purifié par plusieurs distillations fractionnées, et débarrassé de la benzine et des liquides dont le point d'ébullition est supérieur à 45°, et cela après un contact

(1) DRAGENDORFF. — *Analyse chimique des Végétaux*. Encyclopédie Frémy, p. 7.

assez long avec du chlorure de calcium fondu. Pour enlever à l'éther de pétrole sa mauvaise odeur, on n'a qu'à le distiller sur du saindoux bien sec.

Ces réactifs doivent donc avant tout être privés d'eau, et, par conséquent, on ne doit les faire agir que sur des substances parfaitement desséchées. Avec les dissolvants aqueux et les matières humides, on entraîne une multitude de corps extractifs tels que les sucres, les acides organiques, qui, dans la pesée finale, sont comptés comme matières grasses. Nous avons donné ailleurs en détail le mode de dessiccation des substances végétales, et indiqué que la dessiccation dans le vide s'imposait pour éviter les altérations.

Si, pour dessécher, l'on emploie la chaleur, on peut s'exposer à perdre une partie des acides gras volatils et à décomposer certains principes altérables dès 70°. Lorsque les acides gras volatils sont abondants, on évite alors la dessiccation par l'artifice suivant : on épuise la substance humide par le dissolvant choisi que l'on évapore ensuite à très basse température, en employant le vide s'il le faut. L'extrait, une fois complètement desséché dans le vide à froid sur l'acide sulfurique, on le reprend par le même dissol-

vant que l'on évapore à nouveau, après filtration et lavage du filtre.

L'extraction des corps gras se fait à froid ou à chaud. Il est préférable d'épuiser la substance à la température ordinaire, car plus on chauffe, plus on s'expose à dissoudre des principes dont la constitution et la digestibilité s'éloignent de celles des glycérides.

Pour opérer à *froid*, on pèse 5 grammes de substance sèche et finement moulue, que l'on place dans une petite allonge à robinet, garnie au fond d'un tampon peu serré d'amiante ou de coton préalablement dégraissés. On peut autrement mettre la matière dans un filtre que l'on introduit dans l'allonge. Le robinet étant fermé, on verse 10 ou 15 centimètres cubes du dissolvant dans l'allonge que l'on bouche. Après une heure de digestion, on laisse la solution s'écouler dans un petit ballon taré. On épuise ainsi la matière à cinq ou six reprises différentes, en remplaçant, par une nouvelle quantité de dissolvant, le liquide écoulé après chaque digestion. Pour éliminer le dissolvant du ballon taré, on adapte ce dernier à un petit serpent muni d'un réfrigérant, et l'on distille au voisinage de la température d'ébullition du liquide. L'opération est d'autant plus facile, et l'on a d'autan

moins à craindre les pertes, que la volatilité du dissolvant est plus grande. Pour cette raison, l'éther de pétrole est préférable à la benzine. Au début de la distillation, tant qu'il y a du liquide dans le ballon, la présence du dissolvant empêche l'oxydation des graisses, mais il vaut mieux terminer l'évaporation dans le vide complet ou dans une atmosphère d'acide carbonique. L'extrait est pesé dans le ballon même, après une dessiccation de deux heures dans le vide à 90° ou à froid, si l'on craint la perte de corps volatils. On peut également

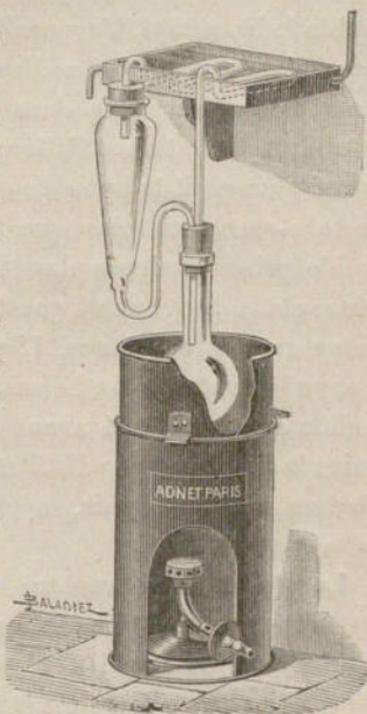


Fig. 2

dessécher les graisses en présence du gaz d'éclairage dans l'étuve construite spécialement en vue de cette opération, et dont nous avons parlé dans

un autre volume à propos de l'analyse élémentaire.

L'épuisement *à chaud* se fait généralement au moyen d'appareils qui pratiquent une extraction continue à l'aide d'une proportion relativement faible de dissolvant. L'appareil de Schløsing est le plus simple et la *fig. 2* dispense de le décrire. La substance est mise dans un filtre que l'on introduit debout dans l'allonge dont le fond est garni d'un petit tampon de coton. En chauffant le bain-marie, on provoque la distillation du liquide qui se condense dans le réfrigérant supérieur et tombe, goutte à goutte, d'une façon continue sur la substance. L'épuisement de 5 à 10 grammes exige dix heures au maximum. Le ballon ayant été taré avant l'opération, on élimine le dissolvant par distillation, ainsi que nous l'avons expliqué, puis, après dessiccation, on pèse l'extrait.

La *fig. 3* nous montre une modification, apportée par le D^r Louise, au tube classique à épuisement de Soxhlet. L'appareil se compose de trois parties : le ballon taré, qui est chauffé dans le bain-marie ; le gros tube où l'on place dans une cartouche Schleicher le produit que l'on veut épuiser, et le réfrigérant. En chauffant, le liquide se distille, puis se condense dans le

tube d'où il se siphonne de lui-même de temps en temps dans le ballon, et cela, lorsque le robinet de droite est ouvert. L'épuisement terminé, on ferme le robinet pour retenir le dissolvant dans le tube. On dessèche le ballon taré d'avance, puis on le pèse ainsi que nous l'avons précédemment indiqué.

Ce dosage, bien que très simple, nécessite, on le voit, deux opérations délicates : d'abord, la dessiccation du produit, sans laquelle

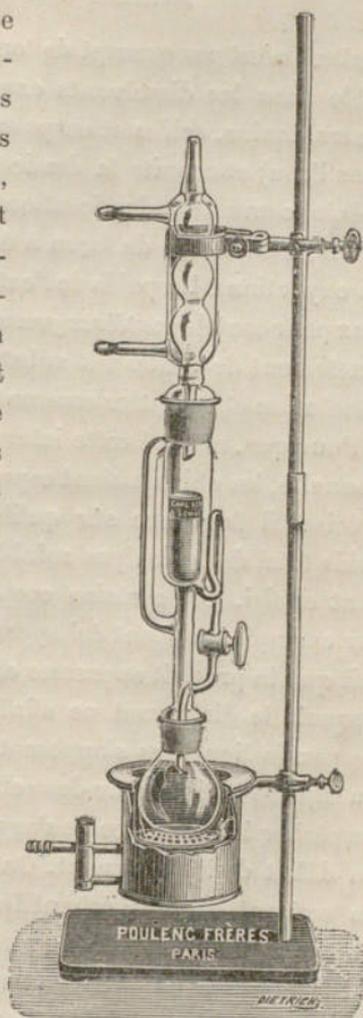


Fig. 66

ALQUIER — Analyse immédiate des Aliments du Bétail 6

l'extrait n'est pas exempt de tout ce qui est insoluble dans les dissolvants examinés (gommes, sucres, tanins, acides et corps extractifs solubles dans l'eau) et ensuite la dessiccation de l'extrait opérée comme la dessiccation du produit lui-même, c'est-à-dire de façon à éviter les pertes et les oxydations. Du poids de l'extrait, on déduit le taux pour cent de *matières grasses brutes*, ou plus exactement de toutes les substances entrées en dissolution et comptées comme matières grasses.

Pour que, malgré cette interprétation conventionnelle, les chiffres aient cependant une valeur précise, il faut être sûr qu'ils représentent le poids total des principes solubles dans le dissolvant choisi. Or, certains corps, des glycérides par exemple, peuvent échapper à la dissolution, soit que le produit se prenne en pâtons à travers lesquels le dissolvant ne s'infiltré pas, soit que les parois lignifiées s'opposent à la pénétration du liquide à l'intérieur des cellules. Il faut donc empêcher la substance de s'agglutiner en masse, au début de l'épuisement. On y arrive, non pas en opérant sur des échantillons broyés moins finement, mais en mélangeant la poudre végétale sèche avec du verre pilé ou du sable préalablement lavé et calciné. Lorsque l'on opère à froid, l'addition de sable devient inutile car il

est toujours facile d'écraser la substance dans l'allonge, au moyen d'un petit fil métallique.

Pour désagréger les parois des cellules, on peut suivre le procédé suivant : Sous une cloche à douille, reposant sur une plaque de verre dépoli, on étale la substance sur une soucoupe. Au-dessus de celle-ci, on place une capsule contenant du sel marin sur lequel, à l'aide d'un tube à robinet traversant la douille, on fait couler de l'acide sulfurique concentré. L'acide chlorhydrique gazeux dégagé, après trois ou quatre heures de contact, forme de l'hydrocellulose et rend, par conséquent, les parois celluloseuses friables (1). Il ne reste plus qu'à passer au moulin et à dessécher, avant d'opérer l'extraction des corps gras.

En résumé, on voit, d'après ce qui précède, que les résultats dépendent non seulement du soin apporté par l'opérateur, mais du dissolvant et de la température à laquelle on fait l'extraction. *Les conditions de l'opération devraient toujours être indiquées en regard du pourcentage trouvé de matières grasses brutes.*

13. Composition immédiate de la ma-

(1) AIMÉ GIRARD. — *Bulletin du Ministère de l'Agriculture*, 1899, p. 1047.

tière grasse brute. — Parmi les principes mis en solution et dont le mélange constitue la matière grasse brute, tantôt ce sont les triglycérides qui dominent, accompagnés d'acides gras libres ou de substances analogues à la cholestérine et à la lécithine, tantôt ce sont les résines et les cires imprégnées de matières colorantes. On peut encore trouver dans l'extrait des acides organiques, des alcaloïdes, etc. La composition qualitative et quantitative du mélange varie, du reste, nous l'avons dit, avec les différents végétaux et pour le même végétal avec le dissolvant et les conditions de l'opération. Étant donné le but de l'analyse dans notre cas particulier, il faut employer de préférence les dissolvants qui extraient les corps gras facilement digestibles, à l'exclusion des matières cireuses, résineuses et colorantes. Mais, même avec l'éther de pétrole dont nous avons montré les avantages, on trouve réunis dans l'extrait un grand nombre de principes d'origines très diverses. La difficulté de doser séparément toutes ces substances, satellites des véritables graisses, est due à la petite quantité relative de certaines d'entre elles, à leur altérabilité, et surtout à l'impossibilité de les isoler des matières étrangères qui les accompagnent. L'analyse immédiate est très en retard de ce

côté et nous ne ferons guère qu'indiquer les quelques méthodes qui nous ont paru susceptibles d'une application courante.

Pour séparer les *acides organiques solubles dans l'eau*, on redissout dans l'éther de pétrole l'extrait qui vient d'être pesé, on le transvase en rinçant dans une allonge à robinet bouchant à l'émeri, et l'on ajoute ensuite quelques grammes d'eau. En agitant, on dissout les acides tout en laissant les corps gras dans l'éther de pétrole. Pour cette opération, ce dernier véhicule est préférable à la benzine et à l'éther qui est partiellement soluble dans l'eau. Il faut prendre garde de ne jamais mêler trop brusquement les deux liquides, car on forme souvent ainsi une émulsion très longue à disparaître. Lorsque, après repos, la séparation des liquides est complète, on soutire l'eau, puis on renouvelle le traitement une ou deux fois. La solution aqueuse, filtrée s'il y a lieu, est évaporée sur l'acide sulfurique à froid dans le vide. L'extrait donne le poids des acides organiques, car les autres matières étrangères dissoutes sont négligeables. Nous reviendrons, dans la suite, sur le dosage total des acides organiques dans les substances végétales.

On sépare de la même façon les *acides gras*

libres par agitation avec une solution aqueuse de carbonate de soude à 2 ‰, qui les transforme en savons sodiques, solubles dans l'eau, et cela, sans altérer les glycérides, les matières résineuses et colorantes. On procède ainsi : la solution d'éther de pétrole, une fois débarrassée des acides organiques, on met dans l'allonge deux ou trois gouttes d'une solution alcoolique de phénolphaléine (à 2 ‰), puis on verse goutte à goutte la solution de carbonate de soude, en agitant après chaque addition d'alcali. Quand la teinte rose de l'indicateur marque la fin de la saturation, on laisse reposer suffisamment, et lorsque la partie aqueuse est séparée entièrement, on la soutire. On agite ensuite à deux ou trois reprises avec de l'eau distillée que l'on soutire également pour extraire tout le savon sodique formé. En décomposant ce dernier par un acide minéral, on régénère les acides gras libres. Pour terminer le dosage, et opérer la séparation des acides gras volatils, solubles et insolubles, des acides gras fixes, ne voulant pas sortir du cadre de cet aide-mémoire, nous renvoyons, ainsi que pour le dosage des triglycérides, aux travaux de MM. Müntz et Milliau et au traité de G. Halphen (1).

(1) Müntz. — *Bulletin du Ministère de l'Agricul-*

Si l'on ne juge pas le dosage rigoureux nécessaire, on peut se contenter de neutraliser les acides gras libres au moyen d'une liqueur titrée déci-normale de soude. A 1 centimètre cube de cette dernière, correspondent par exemple, 0^{sr},0282 d'acide oléique ou 0^{sr},0088 d'acide butyrique. Pour opérer ce dosage alcalimétrique, on dissout l'extrait de matières grasses brutes dans dix fois environ son poids d'alcool amylique, on ajoute quelques gouttes de phtaléine de phénol, puis on verse directement, dans cette solution, la liqueur alcoolique déci-normale de soude (alcool à 95°). La difficulté de ce dosage, sans l'intervention de l'alcool amylique, résulte de la solubilité des acides gras libres dans les glycérides neutres et de l'insolubilité partielle de ceux-ci dans l'alcool éthylique. L'alcool amylique dissout les glycérides neutres et la solution de soude dans l'alcool éthylique⁽¹⁾. Il faut s'arrêter dans le dosage au moment où, par agitation, la masse devient rouge, mais sans rechercher la persistance de coloration.

ture. 1894, p. 49; MÜNTZ, MILLIAU et DURAND. — *Bulletin du Ministère de l'Agriculture*, 1895, p. 89-139.

G. HALPHEN. — *Analyse des matières grasses*. Encyclopédie Léauté. Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

(1) G. HALPHEN. — *Revue de physique et chimie*, juillet 1899, p. 295.

Pour séparer les *matières colorantes*, on a préconisé l'emploi du noir animal, mais ce dernier retient avec les chlorophylles d'autres principes dissous, des glycérides, par exemple. On isole principalement les *matières colorantes vertes* par le procédé suivant, que nous recommandons : on dissout dans l'éther de pétrole l'extrait opéré au moyen d'un dissolvant quelconque (éther, sulfure, benzine), on filtre, s'il y a lieu, puis, par petites portions, on ajoute de l'acide phosphotungstique très finement pulvérisé, en agitant après chaque addition. Au bout d'un contact de vingt-quatre heures, la matière verte est totalement enlevée au dissolvant. On sépare le précipité coloré par filtration, puis on évapore l'éther. La pesée de l'extrait avant et après le traitement permet de déduire de l'extrait brut le poids des *chlorophylles*. On peut, autrement, peser celles-ci directement : l'extrait brut est repris par l'alcool à 95°. On décante, puis on évapore la solution alcoolique dont on dissout ensuite le résidu dans une solution de potasse à 2 $\frac{0}{0}$. On filtre ; après lavage, on régénère par un acide étendu la chlorophylle, que l'on recueille sur un filtre taré et dégraissé. On lave ce dernier et la matière verte avec quelques centimètres cubes de pen-

tane de pétrole distillant à 37-39°. On pèse, après évaporation du pentane. Par ces traitements successifs, les chlorophylles ont été débarrassées des cires, des corps gras neutres, des essences, des alcaloïdes, de la carottine et des acides gras libres (1).

Pour doser la carottine ou *matière colorante rouge*, on traite la substance desséchée par l'éther de pétrole, qui s'empare rapidement de la carottine, tandis que les chlorophylles se trouvent retenues dans les tissus par affinité capillaire. L'éther de pétrole dissoudrait, au contraire, en plus grande quantité les matières colorantes vertes, si celles-ci avaient été, auparavant, extraites par un autre dissolvant. On laisse l'éther de pétrole s'évaporer à l'air dans des capsules très plates, puis on reprend le résidu par le sulfure de carbone. Celui-ci se colore en rouge, d'autant plus intense, qu'il y a plus de carottine; les cires et autres matières grasses qui entrent également en solution n'ont aucune influence sur la coloration. On titre en comparant la liqueur avec une solution-type sulfo-carbonique contenant, par exemple, 0^{gr},010 de carottine cristallisée par litre. On se sert des

(1) ETARD. — *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1897, t. I, p. 1352.

colorimètres ordinaires, légèrement modifiés, pour pouvoir opérer avec des liquides volatils ⁽¹⁾.

Il n'est pas inutile de faire observer que l'on dose ainsi la carottine totale de la substance, tandis que précédemment nous avons seulement indiqué le moyen d'isoler les chlorophylles seules qui se trouvaient mélangées aux autres principes constituant la matière grasse brute. Celle-ci est extraite, en effet, au moyen de dissolvants qui ne sont pas assez énergiques pour enlever aux tissus la totalité des chlorophylles, des résines et de bien d'autres principes similaires. Si, après le traitement à l'éther ou au sulfure, ou à plus forte raison à l'éther de pétrole, on épuise le résidu par l'alcool, on extrait encore une quantité très notable de corps analogues aux précédents, corps qui ont échappé à l'action des premiers dissolvants, bien que très solubles dans ceux-ci après leur extraction par l'alcool. Cet épuisement incomplet contribue à rendre encore plus flottants les résultats donnés par le mélange complexe des matières grasses brutes, mais ici, l'extraction totale des chlorophylles, des résines et autres principes peu digestibles n'offre pas d'intérêt. Les alcoolats sont,

(1) ARNAUD. — *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 1887, t. 1, p. 1295.

du reste, encore plus complexes que les extraits étherés ou sulfocarboniques et l'on peut regarder leur analyse comme impossible.

On emploie cependant l'alcool pour extraire certains corps qui n'entrent pas entièrement en solution dans l'éther ou le sulfure, comme, par exemple, les *lécithines*, substances voisines des matières grasses digestibles et dont le dosage nous intéresse, par conséquent. En même temps que ce dosage, nous donnerons celui des *cholestérines* et substances analogues qui, dans les grains, accompagnent généralement les *lécithines*. Ces dernières étant facilement décomposables par la chaleur, on n'opère que sur des substances desséchées au-dessous de 70°. On traite la matière par le sulfure ou l'éther, puis par l'alcool bouillant. On évapore les dissolvants et l'on reprend par l'éther. L'extrait de cette solution étherée est saponifié par la potasse alcoolique, et chauffé au bain-marie jusqu'à évaporation complète de l'alcool. Le résidu, constitué par un mélange des cholestérines avec les produits de la saponification des corps gras et des *lécithines*, est traité par l'eau, puis la solution alcaline est agitée avec du chloroforme. On décante ce dernier et l'on renouvelle l'épuisement à deux ou trois reprises. Le chlo-

roforme évaporé laisse de la cholestérine, que l'on redissout encore dans le chloroforme. Après une nouvelle distillation, on pèse la cholestérine, à peu près pure, qui reste. Pour doser les léci-thines, on profite de ce qu'elles contiennent toujours la même proportion de phosphore, et l'on se contente de faire un dosage d'acide phosphorique, d'après le procédé par voie humide (attaque par l'acide sulfurique, et le mercure), sur la solution aqueuse alcaline dont on vient de séparer les cholestérines. Le poids de pyrophosphate de magnésie multiplié par 7,27, d'après Hoppe-Seyler, ou par 7,00, coefficient tiré de la formule des différentes léci-thines théoriques, fournit le poids correspondant de léci-thine dont il provient. A propos de ce dosage, il ne faut pas oublier que les chlorophylles ont une constitution voisine des léci-thines et que, comme ces dernières, elles contiennent du phosphore dans leur molécule.

Les *résines* se laissent séparer, grâce à leur insolubilité, dans l'éther de pétrole. Quant aux *cires*, on n'obtient qu'une séparation très incertaine en reprenant les matières grasses brutes par l'alcool bouillant et en les laissant cristalliser par refroidissement dans ce dernier dissolvant.

Ces procédés, appliqués dans la pratique courante, rendraient de grands services, malgré leur précision relative; en effet, il serait plus rationnel de doser des lécithines ou des matières colorantes, que de désigner sous une rubrique unique des substances très différentes et de pouvoir alimentaire par trop inégal.

CHAPITRE V

MATIÈRES HYDROCARBONÉES

14. Composition immédiate des hydrocarbonés. — Dans le langage courant, la dénomination d'*hydrate de carbone* s'applique non seulement aux sucres vulgaires à 6 atomes de carbone, ou l'hydrogène et l'oxygène se trouvent combinés dans les mêmes proportions que dans l'eau, mais à des corps analogues contenant 4, 5, 7 atomes de carbone, et à un grand nombre de substances de structure moléculaire mal définie qui se rattachent aux sucres précédents.

Pour les besoins de l'analyse, nous divisons les hydrocarbonés en trois groupes :

- 1° Les *sucres* qui se trouvent à l'état libre ;
- 2° Les corps complexes de l'ordre des *glucosides* qui s'hydrolysent sous l'influence des acides étendus bouillants ou des diastases appropriées, c'est-à-dire se dédoublent en plusieurs

molécules d'un même sucre ou en un mélange de plusieurs sucres bien définis ;

3° Les matières *cellulosiques* et leurs congénères qui composent en majorité le résidu trouvé après que l'on a fait bouillir les substances végétales avec des acides puis avec des alcalis étendus.

Parmi les *sucres*, c'est-à-dire parmi les corps à fonctions mixtes alcooliques, que Fischer a groupés d'une façon parfaitement définie et bien délimitée, il n'en existe qu'un nombre relativement restreint qui se trouvent à l'état libre. On pourrait les doser avec une grande précision s'il n'y en avait qu'un seul à la fois, mais l'on n'extrait généralement que des mélanges complexes, dont la composition qualitative est, le plus souvent, indéterminable, et d'où il est impossible d'isoler les sucres en nature. On se contente alors de doser, d'abord et en bloc, les sucres qui réduisent la liqueur de Fehling, et l'on exprime le résultat comme s'il ne s'agissait que du sucre supposé exister en plus forte proportion. Le mélange contient également, et surtout, des sucres qui ne réduisent pas la liqueur de Fehling. Pour les doser à leur tour en bloc, on profite de ce qu'ils peuvent, de même que les glucosides, régénérer des sucres

réduisant la liqueur de Fehling, et cela, sous l'action des acides étendus bouillants ou des diastases. On les hydrolyse donc, pour en établir ensuite le taux au moyen des liqueurs cuivriques, exactement comme pour les sucres réducteurs précédents. On exprime alors le résultat en supposant que l'on opère sur une solution contenant uniquement le sucre hydrolysable que l'on croit dominer. L'emploi seul de la liqueur de Fehling nous suffira donc ici. Le dosage par polarisation a, du reste, été traité dans un autre volume de cette Encyclopédie (1).

La méthode dite *des liqueurs cupro-potassiques* ou *de Fehling* consiste à déterminer, par voie pondérale ou volumétrique, et cela, dans des conditions bien établies, la quantité de cuivre réduit par le sucre que l'on veut déterminer quantitativement. Nous avons abandonné le dosage volumétrique parce qu'il exige des tâtonnements et, par conséquent, une assez grande consommation de réactif; la fin de la réaction manque, avec cela, souvent de netteté. Lorsque l'on veut mener de front un grand nombre d'opérations, on arrive plus vite en em-

(1) SIDERSKY. — *Polarisation et saccharimétrie*. Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire. Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

ployant le procédé de dosage en poids, qui consiste à faire bouillir le sucre avec un excès de réactif, et à peser le cuivre précipité.

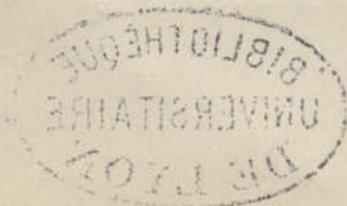
On opère, on le voit, un peu conventionnellement, mais sans que, cependant, les résultats s'écartent par trop de la vérité. On suppose n'avoir à doser qu'un sucre unique, alors, qu'en réalité, on se trouve en présence d'un mélange. Mais comme celui-ci ne contient généralement, en fait de sucres réducteurs, que du glucose ou du lévulose, ou les deux mélangés à poids égaux, c'est-à-dire du sucre interverti, et comme les sucres hydrolysables se réduisent presque toujours au saccharose, on a, finalement, un résultat très approché, en basant ses calculs sur les tables dressées pour le dosage de l'un d'eux supposé pur. Les pouvoirs réducteurs de ces sucres, qui sont les plus répandus à l'état libre, ne diffèrent pas, en effet, au point de fausser beaucoup les résultats. On peut objecter encore que le pouvoir réducteur d'un sucre peut être influencé par la présence des autres hydrates de carbone mis en solution avec lui, ou que les sucres ne réduisant pas avant l'hydrolyse peuvent agir, quand même, par suite des changements qui interviennent après une ébullition prolongée avec la liqueur cuivrique; mais

ces réactions ne peuvent troubler le dosage, que si l'un des sucres se trouve en très grand excès sur les autres composants du mélange. Cela arrive, par exemple, pour la betterave. Dans ce cas, on procède par polarisation, ou bien l'on emploie des liqueurs cuivriques modifiées ⁽¹⁾.

Les *alcools polyatomiques*, tels que les hexites (mannite, sorbite, etc.), qui rentrent dans le groupe des sucres, sont sans action sur la liqueur de Fehling, soit avant, soit après l'action des acides; mais, comme on constate rarement leur présence dans les substances végétales analysées couramment, on ne commet pas une grande erreur en négligeant leur dosage.

Les différents composés que l'on réunit dans le deuxième groupe, ne sont guère définissables d'une façon précise. Ils ne réduisent que peu ou point la liqueur de Fehling, mais acquièrent cette propriété lorsqu'ils ont été dédoublés par l'hydrolyse. Ce sont donc des glucosides, *produits de la condensation des sucres*: or, tous les hydrocarbonés, les sucres réducteurs mis à part, sont des glucosides, et il n'est pas facile d'établir de limites bien précises entre ces corps pris en bloc, et les deux autres groupes

(1) SIDERSKY. — *Traité d'analyse des matières sucrées*.



de la classification, les sucres et les matières cellulosiques.

On sait aujourd'hui, que le poids moléculaire des hydrates de carbone croît lorsque l'on passe des sucres aux celluloses, mais l'échelle possède-t-elle, de bout en bout, des échelons uniformément rapprochés, ou bien ces échelons sont-ils disposés par séries, nettement séparées? Nous supposons qu'il en est ainsi. Les conventions, en matière d'analyse, ne peuvent induire en erreur que si elles consistent à donner un nom et une individualité chimique à des corps qui n'en ont pas. Mais, de notre supposition, ne sortira ici aucune définition d'espèce chimique, et l'on ne peut qualifier d'arbitraire le fait de constater comment se comporte, vis-à-vis de certains réactifs choisis, le groupe si complexe des hydrocarbonés.

Lorsque l'on épuise une substance végétale quelconque par de l'alcool à 90-95°, on n'extrait seulement, parmi les hydrates de carbone, que les sucres, fait facile à vérifier car ces derniers sont des espèces bien définies. Les sucres, une fois extraits, et l'on peut les extraire totalement, si l'on traite le résidu à l'ébullition par des acides très étendus, dont on augmente peu à peu le titre, on observe d'abord



une régularité croissante de l'action du réactif; mais, avec les acides étendus, on n'arrive pas à dédoubler tout le résidu hydrocarboné et l'on ne régénère pas indéfiniment de plus en plus de sucres. Il y a un maximum d'action et, ce maximum atteint, on constate que, pour dédoubler les glucosides cellulosiques restant, il faut employer des acides presque purs et, par conséquent, de concentrations très différentes; voilà un second fait. On observe, en même temps, que cette hydrolyse ménagée peut donner naissance, suivant les substances, aux sucres les plus divers, hexoses, pentoses; tandis que les celluloses qu'elle laisse, ne donnent presque toujours que du glucose, après traitement par les acides concentrés. N'est-ce pas là l'indice d'une différence dans la constitution moléculaire, ou tout au moins dans le degré de condensation du second groupe et du groupe des celluloses.

Les mélanges de sucres, ainsi mis en liberté, varient de composition quantitative plus que de composition qualitative avec les différents réactifs, avec la durée et la température de l'hydrolyse; mais, en ne faisant varier parmi les facteurs de l'opération, que la concentration de l'acide, on remarque, ainsi que nous ve-

nons de le dire, que les quantités croissantes de l'agent d'hydrolyse cessent d'agir d'une façon appréciable à partir d'un certain titre qui ne varie pas beaucoup avec les diverses substances. Si donc, l'on détermine les conditions de l'hydrolyse capable, suivant l'expression usuelle, de saccharifier totalement ces hydrates de carbone facilement attaquables par les acides étendus, on aura là, non pas le moyen de pouvoir donner un nom commun à tout ce qui se trouve dédoublé, mais, en tout cas, rien ne nous empêchera de considérer les sucres régénérés comme provenant de principes très voisins les uns des autres.

Quels sont ces principes congénères ? Pendant longtemps, on a parlé, comme de corps bien définis, de l'amidon, des matières pectiques, des gommes, des mucilages, etc., pour ne citer que quelques-uns de ces groupes arbitraires, aussi variés que difficiles à identifier et à séparer. Nous venons de dire que ces prétendues espèces chimiques n'étaient, au fond, que des agrégats plus ou moins condensés des divers sucres. Il faut donc abandonner ces divisions conventionnelles toutes flottantes et ne reposant que bien rarement sur des distinctions d'ordre chimique. Il ne faut pas davantage songer à classer et à dénommer ces

principes d'après les sucres que l'hydrolyse met en liberté, les glucosanes fournissant du glucose, les pentosanes des pentoses. On régénère, en effet, le plus souvent, plusieurs sucres et l'on ne sait alors si l'on a affaire à un mélange de plusieurs anhydrides, ou si la molécule d'une des espèces existant véritablement, n'est pas composée de groupes différents de sucres. De plus, ce qui arrive encore fréquemment, on trouve dans la même substance plusieurs hydrates de carbone à poids moléculaires différents, mais fournissant cependant à l'hydrolyse les mêmes sucres.

Ces quelques notions générales montrent bien que la question se complique à mesure qu'on l'approfondit. Le laboratoire agricole, chargé seulement de donner des résultats d'ordre général, ne peut cependant suivre les méthodes de recherches que le savant emploie pour isoler et disséquer la molécule complexe des différents hydrocarbonés ; sous aucun prétexte, il ne doit donc chercher à se faire illusion sur ses connaissances en classant les différents principes par groupes qui ne correspondent nullement à une espèce chimique bien définie. Ici, les sucres mis en liberté par l'hydrolyse sont les seuls corps que nous connaissions. Il faut donc se contenter de

leur dosage, sans essayer, sauf dans quelques cas particuliers, d'en déduire la quantité d'anhydrides qui leur a donné naissance. Cette façon d'exprimer les résultats est, somme toute, assez rationnelle ; les hydrates de carbone complexes ne sont pas, en effet, directement assimilables par l'organisme, et celui-ci doit les dédoubler en sucres avant de pouvoir les utiliser.

Comme complément du dosage total de ces sucres régénérés, il faudrait pouvoir déterminer en même temps dans quelles proportions ces derniers sont susceptibles d'être mis en liberté, pour être ensuite assimilés, autrement dit pouvoir déterminer en bloc les hydrocarbonés digestibles. Malheureusement, on ne peut faire ici un dosage analogue à celui des matières azotées digestibles, car il n'existe pas d'agent physiologique normal pouvant saccharifier totalement, ou même en partie, tous les corps complexes de ce groupe.

L'amidon, par exemple, se laisse bien dédoubler par la ptyaline de la salive ou l'amylopsine du suc pancréatique, ferments analogues à la diastase de l'orge germée qui n'agit pas sur les produits de condensation des pentoses, du lévulose, du galactose, etc. Mais on n'a pas découvert dans l'appareil digestif des divers animaux, de fer-

ments capables d'intervenir dans la saccharification de ces derniers hydrates de carbone. L'acide chlorhydrique à la dilution où il se trouve dans le suc gastrique, suffit peut-être pour opérer, dès la température du corps, certaines transformations comme celle de l'inuline en lévulose. Les diastases préexistent peut-être encore dans les substances végétales avant leur ingestion, comme la séminase qui peut doubler en sucres réducteurs assimilables les agrégats de mannose et de galactose ; et le corps n'aurait alors d'autre rôle à jouer que celui de fournir les conditions de température et de milieu favorables aux fermentations. Mais, ce sont là des faits épars qui ne peuvent être utilisés pour étudier *in vitro* la digestibilité des hydrates de carbone. Tout ce que l'on peut faire, c'est de peser en bloc, après en avoir opéré la séparation, les espèces de ce groupe solubles dans l'eau. On dose ainsi les hydrocarbonés, à poids moléculaires les moins élevés, qui, par l'ensemble de leurs caractères, se rapprochent le plus des sucres éminemment digestibles.

Quant à dénommer, et à isoler du mélange complexe soluble ou non soluble dans l'eau, tous les hydrocarbonés qui constituent de véritables espèces chimiques, nous voyons qu'il n'y

faut pas songer en général. On peut cependant, et sans grande erreur, faire exception à cette règle pour deux substances qui, toutes deux, ne semblent être que le produit de la condensation d'un seul sucre et qui, par suite de leur séparation dans le végétal sous forme de grains en apparence organisés ou de cristaux, offrent quelques garanties de pureté : ce sont l'*amidon* et l'*inuline*. Et encore peut-être, en raison des dernières recherches faites à ce sujet, n'est-il pas très exact de dire que l'on se trouve en présence de deux espèces immédiates bien définies : l'amidon semble, en effet, composé de plusieurs hydrates de carbone qui, bien que fournissant à l'hydrolyse uniquement du glucose, ont cependant des poids moléculaires différents ; l'inuline saccharifiée donne naissance non pas seulement à du lévulose mais, paraît-il aussi, à un peu de glucose. Quoi qu'il en soit, l'importance de ces corps au point de vue alimentaire, leur digestibilité presque totale, et la présence abondante surtout de l'amidon dans la plupart des substances végétales, suffisent à montrer l'intérêt que l'on a à les doser à part, même approximativement.

On trouve souvent aussi dans les substances végétales, certains hydrates de carbone gélatineux qui, vu leur origine commune évidente,

méritent également d'être rangés à part. Ces corps se distinguent du reste du groupe en ce qu'ils peuvent se transformer en un principe assez stable, et relativement bien défini, l'*acide pectique*. Celui-ci peut se trouver engagé dans les combinaisons les plus variées, aussi ne tenterons-nous pas la séparation des diverses formes sous lesquelles se rencontrent généralement les matières pectiques. Ce terme de « matière pectique » n'a aucune signification précise, pas plus que les dénominations de pectine, pectose, employées couramment pour distinguer diverses catégories parmi ces corps ⁽¹⁾. Ceux-ci sont généralement constitués par des agrégats diversement condensés de galactose, d'arabinose et quelquefois de xylose; mais, comme l'hydrolyse d'un mélange végétal complexe peut régénérer ces trois sucres, sans qu'ils proviennent des corps spécialement visés ici, pour doser ces derniers, il est donc préférable d'en dégager l'acide pectique que l'on sépare ensuite assez facilement.

Nous verrons dans la suite comment on doit opérer la saccharification totale des divers glucosides de ce groupe. Cette opération est très

(1) BOURQUELOT. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1899, t. I, p. 1241.

délicate, car l'action des agents d'hydrolyse, que ce soient des acides ou des diastases, est généralement accompagnée d'une réaction en sens contraire qui tend à régénérer l'agrégat dédoublé.

Ces diverses hydrolyses opérées, il reste à effectuer le dosage des sucres qui ont pris naissance. Ceux-ci réduisent tous la liqueur de Fehling; aussi s'est-on souvent contenté de les doser en bloc, de même que les sucres réducteurs trouvés à l'état libre. Mais le liquide d'hydrolyse est ici plus complexe que le mélange extrait par l'alcool; on y trouve généralement non seulement des hexoses comme le glucose, le lévulose, le galactose, le mannose, mais également des pentoses comme l'arabinose et le xylose. Il faut savoir doser à part tous ces sucres et particulièrement ceux qui sont les plus répandus et que nous venons de citer. La détermination en bloc par la liqueur de Fehling, peut, très bien, dans l'expression des résultats, ne pas faire attribuer à ces sucres un poids très différent de la vérité, mais ceci ne doit pas faire perdre de vue la qualité du mélange. On a tout intérêt, nous l'avons dit, à pouvoir au moins déterminer sous quelles formes l'organisme peut absorber tous ces hydrates de carbone que

leur complexité empêche d'isoler et d'étudier. Pour l'analyse qualitative des liquides d'hydrolyse, opération très importante, on le conçoit facilement, le lecteur trouvera tous les renseignements nécessaires dans l'ouvrage classique du D^r Tollens et dans le traité plus récent de L. Maquenne (1).

Les *matières cellulosiques* et leurs congénères, qui constituent le troisième groupe, sont encore des glucosides. On peut donc répéter, à ce sujet, les mêmes généralités que pour le groupe précédent. On ne peut séparer nettement de la cellulose, véritable espèce chimique, tous les autres hydrocarbonés, et alors, ce terme de « matière cellulosique » n'est qu'une dénomination collective des différents anhydrides des sucres possédant un degré de condensation tel qu'ils sont à peine ou pas du tout attaqués par les acides et les alcalis étendus.

On peut ici prendre deux partis : ou bien établir franchement une convention précise qui permette d'isoler un certain résidu ne correspondant du reste à aucune espèce chimique définie, mais dont le taux peut servir, par comparaison, à

(1) D^r TOLLENS. — *Les hydrates de carbone* (traduction par Bourgeois), 1896 ; MAQUENNE. — *Les sucres et principaux dérivés*, 1900.

classer les substances végétales en groupes de valeurs nutritives différentes, ou bien provoquer le dédoublement des gluco-ides ayant résisté à l'hydrolyse ménagée et se contenter de doser les sucres ainsi mis en liberté. En opérant d'après l'une ou l'autre voie, on suit donc deux ordres d'idées absolument différents.

La convention dont nous parlons en premier lieu, c'est le procédé bien connu de *Weende*, qui remplit parfaitement le but qu'on lui demande ; mais, la chose ne saurait trop être répétée, ne donne nullement de la cellulose pure. Par cette méthode, on obtient un résidu de fibres ligneuses encore fortement souillées de matières incrustantes de natures très diverses. Ce résidu reste constant pour la même substance s'il est obtenu dans des conditions identiques. Malheureusement chaque laboratoire a ses prescriptions spéciales, oubliant ainsi que les conventions n'ont de valeur que si elles sont universellement et scrupuleusement adoptées. Nous décrivons le procédé de *Weende* tel que nous l'appliquons, c'est-à-dire suivant des conventions qui n'ont rien d'officiel et qui, peut-être, ne sont pas meilleures que celles des laboratoires voisins.

La fibre brute une fois séparée, nous ne chercherons pas à la débarrasser de toutes les im-

puretés qui ne sont pas de la cellulose vraie. Entre cette dernière et les matières incrustantes, il existe souvent des combinaisons difficiles à détruire et, si l'on veut purifier, on risque d'altérer la cellulose elle-même. Pour l'obtention analytique d'une cellulose soi-disant pure, on a proposé un grand nombre de méthodes, mais toutes reposent sur l'emploi de réactifs spéciaux ⁽¹⁾ et n'ont, par conséquent, pas plus de valeur que le procédé de Weende.

Parmi ces réactifs conventionnels, la liqueur de *Schweitzer* doit cependant attirer notre attention : elle dissout, en effet, tous les glucosides d'apparence organisée, qui sont voisins de la cellulose vraie, et les sépare d'un résidu complexe qui ne s'y dissout pas. Ce résidu, contrairement aux glucosides cellulosiques, présente une résistance absolue à l'hydrolyse, même opérée énergiquement. Nous sommes donc en présence d'un groupe spécial de matières ternaires. Celles-ci ont une composition élémentaire qui les rapproche tantôt de la *vasculose*, tantôt de la *lignine* ⁽²⁾, mais le

(1) Réactif de *Schulze* (acide azotique et chlorate de potasse) ; Réactif de *Hoffmeister* (acide chlorhydrique et chlorate de potasse).

(2) G. ANDRÉ. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1901, t. II, p. 1133.

point intéressant, c'est qu'elles ne peuvent fournir à l'organisme des sucres assimilables comme les hydrocarbonés qui se dissolvent dans le Schweitzer.

Quant à savoir dans quelle proportion seront utilisés les sucres que l'hydrolyse totale peut mettre en liberté dans ce groupe, rien ne peut nous renseigner à ce sujet. La transformation en sucres des matières cellulosiques est l'œuvre des nombreux microbes du tube digestif des herbivores, et de ferments dont l'activité dépend d'une foule de circonstances qu'il nous est impossible d'apprécier.

15. Procédés d'extraction des sucres libres. — On extrait totalement les sucres au moyen de l'alcool, mais il est indispensable d'épuiser auparavant la substance par l'éther anhydre ou le sulfure de carbone, capables de dissoudre bien des corps dont le dosage n'intéresse pas ici et que l'on retrouverait dans l'extrait alcoolique. La substance une fois épuisée par l'un quelconque des dissolvants des matières grasses, il suffit de la traiter ensuite de la même façon par l'alcool. Avant de faire agir ce dernier, il faut laisser le sulfure ou l'éther qui imbibaient la matière s'égoutter d'abord, puis s'évaporer ensuite. On peut faciliter cette éva-

poration dans une étuve chauffée entre 30 et 40°, mais sous laquelle on éteint le feu afin d'éviter l'inflammation possible des vapeurs. Pour la technique de l'opération, pour les appareils à employer et les précautions à prendre en vue d'une extraction totale, nous n'avons qu'à renvoyer au dosage des matières grasses (§ 12).

Le mieux est d'opérer à froid et dans une allonge à robinet ; on se sert d'un alcool dont le titre peut varier entre 89 et 95°. On a tort d'employer des alcools plus aqueux, car on solubilise ainsi des hydrocarbonés autres que les sucres. Le traitement à l'éther qui précède celui à l'alcool nécessite une dessiccation préalable de la substance, mais, dans quelques cas particuliers, on opère directement sur la matière humide et non débarrassée des graisses, comme par exemple, pour la betterave. On traite la pulpe fraîche par l'alcool dans des extracteurs de Soxhlet, appareils à épuisement continu analogues à celui du D^r Louise, ou bien l'on extrait les sucres par le procédé de la digestion aqueuse. L'analyse des betteraves a été décrite en détail dans l'ouvrage déjà cité de M. Sidersky.

La liqueur sucrée devant être analysée au moyen de la solution de Fehling, il faut en séparer toutes les substances étrangères capables de

réduire ou de précipiter le cuivre. On évapore l'alcool par distillation dans le vide et l'on reprend l'extrait par quelques centimètres cubes d'eau chaude. On filtre dans un ballon jaugé de 100 centimètres cubes, on rince parfaitement le ballon où l'on a opéré l'extrait, puis on lave le filtre. On précipite alors la liqueur qui est généralement louche et colorée au moyen d'une solution concentrée de sous-acétate de plomb à 21° B. On ajoute ce réactif avec précaution, goutte à goutte, tant qu'il se forme un précipité et en évitant d'en mettre un excès ; une seule goutte suffit souvent. On laisse déposer pendant une heure, car la précipitation des impuretés n'est pas immédiate, puis on sépare le plomb qui reste en solution dans la liqueur, le plus souvent parce qu'il a été mis en excès, au moyen d'oxalate d'ammoniaque ou de bicarbonate de soude, ou encore et mieux de sulfate de soude. Le plomb, une fois précipité totalement, et l'on doit s'assurer qu'il en est ainsi, on amène le volume à 100 centimètres cubes, on agite et on laisse déposer avant de filtrer. Si le liquide ne passe pas limpide, on y ajoute de la silice légère sèche et l'on refiltre.

On a reconnu que le sous-acétate peut précipiter partiellement les sucres, mais cela n'arrive

que dans les solutions riches en sels formant facilement des combinaisons avec le réactif comme les chlorures, et lorsque le sous-acétate est mis en excès. Si l'on extrait les sucres au moyen de l'alcool fort, et si l'on n'ajoute que la quantité de plomb nécessaire, on n'a pas à craindre les pertes.

16. Mode d'emploi de la liqueur de Fehling pour l'analyse pondérale des sucres.
— Nous avons indiqué le principe de la méthode (§ 14). Mais lorsque l'on fait bouillir une solution de sucres réducteurs avec un excès de liqueur de Fehling, la quantité d'oxyde cuivreux précipité varie pour une même quantité de sucre avec la formule du réactif, avec l'excès de la solution cuivrique employée, avec la durée de la chauffe, enfin avec la concentration des liqueurs sucrées. Voilà des remarques dont on ne tient généralement pas compte, aussi, *en adoptant un coefficient unique pour passer du cuivre au sucre et en ne spécifiant pas les conditions de l'opération, on ne peut avoir que des résultats variables avec les opérateurs.* Depuis que Soxhlet a étudié la question, on a dressé, d'après ces données, des tables destinées aux usages pratiques. Ces tables n'ont naturellement de la valeur que si l'on suit exactement toutes les indications des auteurs, sans rien y changer.

Nous donnons ici une partie des tables de Kjeldahl ; nous indiquerons donc la formule de son réactif et son mode d'opérer. Sa méthode est pratique lorsque l'on travaille en série ; les liqueurs sont, en effet, conventionnellement chauffées au bain-marie bouillant durant vingt minutes. On a le temps de filtrer un dosage pendant que la précipitation s'opère dans le suivant sans nécessiter une grande surveillance. *Les liqueurs de Fehling, préparées longtemps à l'avance, se conservent mal ; on évite les altérations en n'ajoutant le sulfate de cuivre à la solution alcaline qu'au moment même du dosage. Voici la composition des deux réactifs préparés séparément par Kjeldahl, et que l'on mélange à volumes égaux pour avoir la liqueur normale :*

Solution bleue	{	Sulfate de cuivre, pulvérisé et pressé entre des feuilles de pa- pier filtre	34gr,63g
		Eau	500cc,000
Solution blanche	{	Hydraté de soude	65gr,000
		Sel de Seignette	173gr,000
		Eau	500cc,000

La technique de l'opération est la suivante : le liquide sucré doit tout d'abord être amené par dilution à avoir une teneur en sucre plutôt infé-

rieure à 1 $\%$. Dans une fiole d'Erlenmayer de 150 centimètres cubes environ, on verse un volume connu de la solution, après l'avoir très légèrement alcalinisée, s'il y a lieu, avec du carbonate de soude; on étend exactement à 100 centimètres cubes, volume que l'on indique d'avance par un trait sur les parois de la fiole, puis on ajoute finalement 15 ou 50 centimètres cubes de la liqueur normale de Fehling suivant la richesse présumée en sucres. On chauffe vingt minutes dans un bain-marie à l'ébullition, puis on recueille l'oxyde précipité sur un filtre Berzélius à plis, assez grand pour opérer rapidement la filtration. On rince la fiole, puis on lave le filtre à l'eau chaude, particulièrement sur son bord supérieur, tant que les eaux de lavages sont alcalines. Pour sécher le filtre, on l'arrose avec de l'alcool, on le met ensuite dans une nacelle tarée et on l'incinère. Le précipité peut être pesé à l'état de cuivre réduit ou de bioxyde de cuivre. Dans le premier cas, on opère la réduction dans un petit tube que l'on chauffe très légèrement, en même temps que l'on y fait passer un courant d'hydrogène sec. L'opération terminée, on maintient la nacelle dans le gaz, en attendant qu'elle soit suffisamment refroidie pour être pesée. Si l'on veut peser le précipité à

l'état de bioxyde, on arrose le filtre, après l'incinération, avec quelques gouttes d'acide azotique que l'on évapore sur le bain de sable, puis on calcine de nouveau. Il faut toujours effectuer un essai préalable à blanc ; cela permet de retrancher de la pesée le cuivre précipité que donne parfois la liqueur de Fehling seule et le cuivre toujours retenu en petite quantité par le filtre.

Les tables dès p. 118 à 122 donnent le poids de glucose (Gl.) ou de lévulose (Lé.) ou de sucre interverti (S. In.) correspondant à un poids donné de cuivre réduit (Cu.). Si la pesée a été faite à l'état de bioxyde, on transforme ce dernier en cuivre au moyen du coefficient 0,798.

17. Dosage total des sucres libres réducteurs et non réducteurs. — Sur une partie de la liqueur déféquée et ne contenant plus de plomb, on dose en bloc les *sucres réducteurs* par le réactif de Fehling. Les tables permettent d'exprimer le résultat en glucose. Lorsque l'on ne connaît pas le sucre qui domine dans le mélange, ce qui arrive le plus souvent, on peut prendre un résultat moyen et transformer, par exemple, le cuivre en sucre interverti.

Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.	Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.
Avec 15cc de liqueur de Fehling.				34	15,7	17,9	17,1
				35	16,2	18,5	17,6
5	2,2	2,6	2,5	36	16,6	19,0	18,1
6	2,7	3,1	3,0	37	17,1	19,5	18,6
7	3,1	3,6	3,5	38	17,6	20,1	19,1
8	3,5	4,1	4,0	39	18,1	20,6	19,6
9	4,0	4,6	4,5	40	18,6	21,2	20,2
10	4,4	5,2	5,1	41	19,1	21,7	20,7
11	4,9	5,7	5,6	42	19,6	22,3	21,2
12	5,4	6,2	6,1	43	20,1	22,8	21,7
13	5,8	6,7	6,5	44	20,6	23,4	22,3
14	6,3	7,2	7,0	45	21,1	23,9	22,8
15	6,7	7,8	7,5	46	21,6	24,5	23,3
16	7,2	8,3	8,0	47	22,1	25,1	23,9
17	7,7	8,8	8,5	48	22,7	25,6	24,4
18	8,1	9,4	9,0	49	23,2	26,2	25,0
19	8,6	9,9	9,5	50	23,7	26,7	25,5
20	9,0	10,4	10,0	51	24,2	27,3	26,0
21	9,5	10,9	10,5	52	24,7	27,9	26,6
22	9,9	11,5	11,0	53	25,2	28,4	27,1
23	10,4	12,0	11,5	54	25,7	29,0	27,6
24	10,9	12,5	12,0	55	26,2	29,5	28,1
25	11,4	13,1	12,5	56	26,8	30,1	28,7
26	11,8	13,6	13,0	57	27,3	30,7	29,3
27	12,3	14,1	13,5	58	27,8	31,2	29,8
28	12,8	14,7	14,0	59	28,4	31,8	30,4
29	13,3	15,2	14,5	60	28,9	32,4	30,9
30	13,7	15,8	15,0	61	29,4	32,9	31,4
31	14,2	16,3	15,5	62	29,9	33,5	32,0
32	14,7	16,8	16,0	63	30,5	34,1	32,6
33	15,2	17,4	16,6	64	31,0	34,7	23,1

Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.	Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.
65	31,6	35,2	33,7	95	49,1	53,1	51,4
66	32,1	35,8	34,2	96	49,7	53,7	52,0
67	32,7	36,4	34,8	97	50,3	54,3	52,6
68	33,2	37,0	35,4	98	51,0	55,0	53,2
69	33,8	37,6	36,0	99	51,6	55,6	53,9
70	34,3	38,1	36,5	100	52,3	56,2	54,5
71	34,9	38,7	37,1	101	52,9	56,8	55,1
72	35,4	39,3	37,6	102	53,6	57,4	55,8
73	36,0	39,9	38,2	103	54,2	58,1	56,4
74	36,6	40,5	38,8	104	54,9	58,7	57,1
75	37,2	41,1	39,4	105	55,5	59,3	57,7
76	37,7	41,6	39,9	106	56,2	59,9	58,3
77	38,3	42,2	40,5	107	56,9	60,6	59,0
78	38,9	42,8	41,1	108	57,6	61,2	59,7
79	39,4	43,4	41,7	109	58,2	61,9	60,3
80	40,0	44,0	42,3	110	58,9	62,5	61,0
81	40,6	44,6	42,9	111	59,6	63,1	61,6
82	41,2	45,2	43,5	112	60,3	63,8	62,3
83	41,8	45,8	44,1	113	61,0	64,4	63,0
84	42,4	46,4	44,7	114	61,7	65,0	63,6
85	43,0	47,0	45,3	115	62,4	65,7	64,3
86	43,6	47,6	45,9	116	63,1	66,3	65,0
87	44,2	48,2	46,5	117	63,8	67,0	65,7
88	44,8	48,8	47,1	118	64,6	67,7	66,4
89	45,3	49,4	47,7	119	65,3	68,3	67,1
90	46,0	50,0	48,3	120	66,0	69,0	67,8
91	46,6	50,6	48,9	121	66,8	69,6	68,5
92	47,2	51,3	49,5	122	67,5	70,3	69,2
93	47,8	51,5	50,1	123	68,3	70,9	69,9
94	48,5	52,9	50,8	124	69,0	71,6	70,6

Ca. mg.	Gl mg.	Lé. mg.	S. In. mg.	Ca. mg.	Gl mg.	Lé. mg.	S. In. mg.
Avec 50cc de liqueur de Fehling.				170	78,4	85,9	82,4
				171	78,9	86,4	82,9
142	64,6	70,9	68,0	172	79,4	86,9	83,4
143	65,1	71,4	68,5	173	79,9	87,5	84,0
144	65,6	72,0	69,1	174	80,4	88,0	84,5
145	66,1	72,5	69,6	175	80,9	88,6	85,0
146	66,6	73,0	70,1	176	81,4	89,1	85,5
147	67,1	73,6	70,6	177	81,9	89,6	86,0
148	67,5	74,1	71,1	178	82,4	90,2	86,6
149	68,0	74,6	71,6	179	82,9	90,7	87,1
150	68,5	75,2	72,1	180	83,4	91,3	87,6
151	69,0	75,7	72,6	181	83,9	91,8	88,1
152	69,5	76,2	73,1	182	84,4	92,4	88,7
153	70,0	76,7	73,6	183	84,9	92,9	89,2
154	70,5	77,3	74,2	184	85,4	93,5	89,7
155	71,0	77,8	74,7	185	85,9	94,0	90,2
156	71,5	78,3	75,2	186	86,4	94,6	90,8
157	71,9	78,9	75,7	187	86,9	95,1	91,3
158	72,4	79,4	76,2	188	87,4	95,7	91,8
159	72,9	79,9	76,7	189	87,9	96,2	92,3
160	73,4	80,5	77,2	190	88,4	96,8	92,9
161	73,9	81,0	77,7	191	88,9	97,3	93,4
162	74,4	81,5	78,2	192	89,4	97,9	93,9
163	74,9	82,1	78,8	193	90,0	98,4	94,5
164	75,4	82,6	79,3	194	90,5	99,0	95,0
165	75,9	83,2	79,8	195	91,0	99,5	95,5
166	76,4	83,7	80,1	196	91,5	100,1	96,1
167	76,9	84,2	80,8	197	92,0	100,6	96,6
168	77,4	84,8	81,4	198	92,5	101,2	97,1
169	77,9	85,3	81,9	199	93,0	101,7	97,6

Ca. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.	Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.
200	93,5	102,3	98,2	230	109,2	119,2	114,5
201	94,1	102,8	98,7	231	109,7	119,7	115,0
202	94,6	103,4	99,3	232	110,3	120,3	115,6
203	95,1	103,9	99,8	233	110,8	120,9	116,1
204	95,6	104,5	100,3	234	111,3	121,4	116,6
205	96,1	105,0	100,8	235	111,9	122,0	117,2
206	96,6	105,6	101,4	236	112,4	122,6	117,8
207	97,2	106,2	102,0	237	112,9	123,2	118,3
208	97,7	106,7	102,5	238	113,5	123,7	118,9
209	98,2	107,3	103,0	239	114,0	124,3	119,4
210	98,7	107,9	103,6	240	114,5	124,9	120,0
211	99,2	108,4	104,1	241	115,1	125,4	120,5
212	99,7	109,0	104,6	242	115,6	126,0	121,1
213	100,3	109,5	105,2	243	116,2	126,6	121,7
214	100,8	110,1	105,7	244	116,7	127,2	122,2
215	101,3	110,7	106,3	245	117,2	127,8	122,8
216	101,8	111,2	106,8	246	117,8	128,3	123,3
217	102,4	111,8	107,4	247	118,3	128,9	123,9
218	102,9	112,3	107,9	248	118,9	129,5	124,5
219	103,4	112,9	108,4	249	119,4	130,1	125,0
220	103,9	113,5	109,0	250	119,9	130,7	125,6
221	104,4	114,0	109,5	251	120,5	131,3	126,2
222	105,0	114,6	110,1	252	121,0	131,8	126,7
223	105,5	115,2	110,6	253	121,6	132,4	127,3
224	106,0	115,7	111,1	254	122,1	133,0	127,8
225	106,6	116,3	111,7	255	122,7	133,6	128,4
226	107,1	116,9	112,3	256	123,2	134,2	129,0
227	107,6	117,5	112,8	257	123,8	134,7	129,5
228	108,1	118,0	113,3	258	124,3	135,3	130,1
229	108,7	118,6	113,9	259	124,9	135,9	130,7

Cu. mg.	Gl. mg.	Lé. mg.	S. In. mg.	Cu. mg.	Gl. mg.	Le. mg.	S. In. mg.
260	125,2	136,5	131,2	281	137,2	148,9	143,3
261	126,0	137,1	131,8	282	137,7	149,5	143,9
262	126,5	137,7	132,4	283	138,3	150,1	144,5
263	127,1	138,3	133,0	284	138,9	150,7	145,1
264	127,6	138,8	133,5	285	139,4	151,3	145,6
265	128,2	139,4	134,1	286	140,0	151,9	146,2
266	128,7	140,0	134,6	287	140,6	152,5	146,8
267	129,3	140,6	135,2	288	141,1	153,1	147,4
268	129,9	141,2	135,8	289	141,7	153,7	148,0
269	130,4	141,8	136,4	290	142,3	154,3	148,6
270	131,0	142,4	137,0	291	142,9	154,9	149,2
271	131,5	143,0	137,5	292	143,4	155,6	149,8
272	132,1	143,6	138,1	293	144,0	156,2	150,4
273	132,6	144,2	138,7	294	144,6	156,8	151,0
274	133,2	144,8	139,3	295	145,1	157,4	151,5
275	133,8	145,4	139,9	296	145,7	158,0	152,1
276	134,3	146,0	140,4	297	146,3	158,6	152,7
277	134,9	146,6	141,0	298	146,9	159,2	153,3
278	135,5	147,1	141,6	299	147,5	159,8	153,9
279	136,0	147,7	142,1	300	148,0	160,4	154,5
580	136,6	148,3	142,7				

Ce premier dosage terminé, on intervertit, ainsi que nous le verrons, la même quantité de liqueur, et on y détermine de nouveau, comme précédemment, les sucres réducteurs. La différence entre le cuivre obtenu après l'inversion et le cuivre afférent aux sucres réducteurs qui existaient primitivement, corres-

pond aux *sucres intervertis*. On exprime généralement ces derniers en saccharose. Pour cela, on cherche, dans les tables, le sucre interverti correspondant au cuivre obtenu par différence, et en multipliant ce poids de sucre interverti par le coefficient 0,95, on obtient le résultat exprimé en sucre de canne.

L'*inversion* se fait de la façon la plus simple en chauffant la solution sucrée avec de l'acide chlorhydrique étendu. On met le liquide dans la fiole d'Erlenmayer qui sert au dosage par le Fehling, on y ajoute 5 gouttes d'acide chlorhydrique de densité 1,11, c'est-à-dire contenant en poids, 66 % d'acide chlorhydrique pur à 22° B., on étend exactement à 100 centimètres cubes et l'on maintient le mélange une demi-heure au bain-marie bouillant. Avant d'ajouter le réactif cuivrique, on neutralise par le carbonate de soude.

Le mélange contient quelquefois d'autres principes hydrolysables que le saccharose ; en chauffant avec de l'acide chlorhydrique, on peut transformer ces glucosides qui acquièrent alors une action réductrice sur la liqueur de Fehling. Dans ce cas, on invertit, avec le ferment de la levure, l'*invertine*, qui est sans action sur les hydrates de carbone autres que le sucre de canne. On ajoute à la solution sucrée

de la levure haute, bien lavée auparavant à l'eau, puis quelques gouttes d'une solution alcoolique de thymol qui, sans influencer l'invertine, empêche la levure de faire fermenter le sucre. Le mélange est abandonné pendant 3 jours à 17° environ, puis précipité par le sous-acétate avant le dosage par le Fehling. Comme l'invertine dédouble aussi un peu le *raffinose*, on dose ce sucre à part, s'il y a lieu, en pesant l'acide mucique qui se forme lorsque l'on oxyde le mélange par l'acide nitrique. A propos du dosage de galactose, nous décrirons cette opération en détail (§ 24). Le raffinose donne ainsi 22 à 23 % de son poids d'acide mucique.

18. Dosage total des hydrocarbonés solubles dans l'eau. — Nous avons vu en détail (§ 3) comment il faut opérer leur extraction au moyen de l'eau glacée. Par distillation dans le vide, on amène à 50 centimètres cubes environ un certain volume de la solution correspondant à un poids connu de la substance, à 20 grammes au moins. On ajoute au liquide cinq fois son volume d'alcool à 96° ou mieux d'alcool absolu, dans le ballon même où a eu lieu la concentration. Il se forme un précipité. Au bout de vingt-quatre heures, on fait bouillir l'alcool au bain-marie pour bien dissoudre les sucres, puis on

recueille sur deux filtres Berzélius dont l'un sert de tare à l'autre. On lave le précipité à l'éther pour le peser ensuite après dessiccation.

Les hydrocarbonés ainsi précipités, sont toujours souillés de matières azotées et minérales, dont il faut soustraire le poids. Pour cela, on fait l'opération en double, et dans les mêmes conditions ; sur un des précipités, on détermine les cendres et, dans l'autre, on dose l'azote total. Si l'on veut plus de précision, on peut encore déterminer sur un troisième précipité les albuminoïdes et l'asparagine. On a ainsi les éléments qui permettent de calculer par différence, mais cependant avec assez d'exactitude, les hydrocarbonés purs.

Ainsi que nous l'avons dit, il faut se contenter d'un dosage en bloc, car il est impossible de partager ce mélange complexe en un certain nombre de principes réellement définis. En dehors de l'inuline dont nous apprendrons à effectuer le dosage à part, on trouve réunies, dans ce précipité, les substances désignées sous le nom général de gommes, de mucilages, et qui renferment du galactose comme la galactine de Müntz, la lupéose de Schulze, ou du lévulose comme les lévulosanes, la graminine, la phléine, la triticine, la lévosine de Tan-

ret, etc. On trouve également des corps contenant des pentoses et de l'acide pectique. Si l'on veut régénérer et doser les sucres et l'acide pectique qui se trouvent diversement condensés dans ce mélange, on opère sur le précipité ainsi que nous le verrons dans la suite.

19. Dosage total de l'acide pectique. — Les corps d'où l'on peut régénérer l'acide pectique sont très facilement décomposables par la chaleur, il vaut donc mieux opérer sur la substance desséchée dans l'alcool ou sur la substance humide réduite en poudre ou en bouillie fine. 5 grammes de matière sont introduits dans un ballon de 250 centimètres cubes avec 100 centimètres cubes d'alcool à 95° et 0^{gr},5 de carbonate de potasse pur dissous dans le moins d'eau possible. On munit le ballon d'un bouchon portant un long tube ouvert ou un réfrigérant ascendant, destiné à condenser l'alcool. On chauffe au bain-marie à 75° pendant une demi-heure. Les corps gélatineux visés ici sont ainsi exclusivement transformés en acide pectique et cela sans que l'amidon et les autres hydrates de carbone soient modifiés. On décante sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante, en évitant d'y faire tomber la matière. Celle-ci est lavée à plusieurs reprises avec de l'alcool que l'on dé-

cante. Les parties retenues par le filtre sont alors remises dans le ballon avec le jet d'une pissette contenant de l'alcool acidulé au quart avec de l'acide chlorhydrique pur. On verse environ 50 centimètres cubes du même alcool acide et l'on agite assez souvent durant une heure pour que la matière s'imprègne bien. On décante de nouveau sur l'entonnoir, puis on lave avec de l'alcool pur, jusqu'à élimination de l'acide. Le résidu passé sur le filtre est réintroduit dans le ballon au moyen de la pissette d'alcool pur, alcool que l'on évapore ensuite dans le vide à basse température. Pour dissoudre l'acide pectique qui a été mis en liberté, on verse dans le ballon 50 centimètres cubes d'une solution à 2 % d'oxalate d'ammoniaque. On laisse digérer deux ou trois heures à la température ordinaire, en agitant souvent. On filtre sur papier, on renouvelle encore une fois la dissolution dans l'oxalate, et l'on filtre enfin en faisant tomber dans l'entonnoir le résidu qui, cette fois, est soigneusement lavé avec une solution tiède d'oxalate d'ammoniaque à 1 %. Les liqueurs filtrées réunies qui atteignent au maximum 150 centimètres cubes sont additionnées de 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, et de cinq fois leur volume d'alcool à 95°. Après

trois ou quatre heures de dépôt, on recueille sur un filtre le précipité gélatineux d'acide pectique qu'on lave à l'alcool fort et à l'éther anhydre.

Pour purifier ce précipité, on le redissout aussitôt sur le filtre même, au moyen d'une solution chaude contenant 5 % d'ammoniaque ordinaire. Le filtre, une fois lavé, on neutralise la solution pectique ammoniacale avec de l'acide chlorhydrique. On y ajoute un excès de 5 centimètres cubes du même acide, et l'on reprécipite par l'alcool, ainsi que nous l'avons dit. On recueille finalement sur deux filtres, dont l'un sert de tare à l'autre, et l'on pèse après un lavage à l'alcool et à l'éther et une dessiccation à 90°. Comme le précipité contient toujours des matières azotées et minérales en quantité assez grande pour nécessiter une correction, on fait l'opération en double ou en triple, et l'on détermine à part les cendres, l'azote total ou les albuminoïdes.

20. Dosage de l'amidon. — On dose l'amidon en le solubilisant d'abord, et en déterminant ensuite la quantité de glucose qui résulte de sa saccharification. *Il faut abandonner la dissolution à chaud de l'amidon dans la glycérine ou le chlorure de zinc, ou l'acide salicylique, etc., ainsi que la saccharification directe de la substance par les acides.* Par ces méthodes

un peu brutales, on s'expose toujours à de graves erreurs; il existe, en effet, beaucoup d'autres hydrates de carbone qui peuvent se solubiliser et se saccharifier en même temps que l'amidon.

Le meilleur procédé de dosage consiste à employer l'infusion de malt qui dissout seulement l'amidon, sans toucher aux corps voisins ou analogues du même groupe, tels que les pentosanes, les galactanes. La diastase de l'orge germée agit cependant aussi sur les corps d'où l'on peut régénérer de l'acide pectique, en donnant naissance à des sucres réducteurs que l'on ne doit pas confondre avec ceux qui résultent du dédoublement de l'amidon.

On prend de 2 à 5 grammes de matière, suivant que l'on a affaire à de l'amidon presque pur ou à une substance n'en contenant que très peu. On peut opérer aussi bien sur la matière humide que sur la matière sèche, mais, dans ce dernier cas, la dessiccation doit avoir été faite surtout pour les substances amylacées très humides, en suivant les prescriptions que nous avons indiquées dans un autre volume. La matière est introduite dans un petit tube étiré finement par un bout, et dont la partie étirée est garnie d'un tampon d'amiante convenablement serré. On la traite d'abord par l'éther, puis, après évaporation de

ce dernier dissolvant, on ferme à la lampe la pointe du tube. On verse ensuite, dans ce dernier, 50 centimètres cubes environ d'eau glacée, et l'on met le tout dans une éprouvette remplie de glace. On agite de temps en temps avec un fil rigide, mais en ayant bien soin de ne pas écraser la substance, ni de toucher au tampon d'amiante. Au bout d'une heure au moins, l'eau a solubilisé les matières azotées, les sucres et tous les hydrocarbonés solubles que nous avons appris à séparer. On casse alors la pointe, et le liquide s'écoule ; pour maintenir la température basse pendant la filtration, on entoure le tube d'un petit sac en toile contenant du nitrate d'ammoniaque que l'on arrose avec de l'eau. Il faut bien se rendre compte au microscope s'il ne passe pas d'amidon dans la liqueur filtrée. Celle-ci, une fois écoulée, on lave la matière à deux reprises avec 10 centimètres cubes d'eau glacée, puis avec de l'alcool à 80°. A ce moment, il ne reste, en fait d'hydrates de carbone, que l'amidon sur qui la diastase puisse agir.

Cependant, avec les substances riches en corps pectiques, avant de dissoudre l'amidon, il vaut mieux opérer autrement et traiter préalablement la matière comme nous l'avons indiqué pour le dosage total de l'acide pectique : on épuise la pesée

avec de l'éther sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante, on la transvase après dans un ballon pour la traiter à l'ébullition par l'alcool alcalinisé, puis à froid par l'alcool acide ; on recueille le résidu dans un petit tube effilé, garni à la pointe d'un tampon d'amiante ; après un lavage à l'alcool ordinaire, on procède à une macération dans une solution glacée d'oxalate d'ammoniaque ; on lave à l'eau glacée et finalement à l'alcool. Inutile d'insister sur cette opération que nous avons décrite en détail (§ 19).

Une fois les matières grasses, les sucres, une grande partie des matières azotées, les hydrates de carbone solubles et les corps pectiques enlevés, on évapore l'alcool qui imprègne la substance, en mettant le petit tube dans l'étuve à 40° environ. On fait alors tomber peu à peu, dans un petit mortier, la presque totalité de la substance. On y ajoute quelques centimètres cubes d'eau bouillante, puis du sable bien lavé à l'acide et à l'eau chaude et l'on broie ensuite énergiquement avec le pilon. Avec un jet de la pissette à eau chaude, on arrive facilement à faire passer, dans un petit ballon, le mélange du mortier et ce qui reste dans le tube, y compris le tampon d'amiante ; s'il y a lieu, on détache les parties qui collent au verre ou au

mortier au moyen d'un agitateur garni à son extrémité d'un bout de tube de caoutchouc. On réduit alors l'amidon en empois, en maintenant un peu plus d'une demi-heure, dans un bain-marie à 80°, le ballon que l'on agite très souvent. On laisse refroidir à 63° et l'on ajoute 0^{gr},250 de fluorure de sodium ou d'ammonium (pour 70 centimètres cubes d'eau environ mis précédemment), plus un volume connu, 10 centimètres cubes, par exemple, d'infusion de malt.

Le fluorure est destiné, sans nuire à l'action de la diastase, à empêcher le développement des micro-organismes qui, à 63°, détruisent facilement une partie des sucres résultant du dédoublement de l'amidon ; nous avons observé que, *sans antiseptiques, on commettait souvent, pour cette raison, de grandes erreurs.* Le liquide diastasiqne se prépare en broyant dans un mortier 5 grammes de malt frais avec 50 centimètres cubes d'eau froide et un peu de sable ; après dix minutes de contact, on filtre sur un papier épais de façon à avoir une liqueur claire. 10 centimètres cubes de cette solution suffisent pour solubiliser rapidement 3 ou 4 grammes d'empois d'amidon pur.

Pour tenir compte des sucres que la solution diastasiqne apporte, on fait en même temps, et

dans les mêmes conditions, un dosage à blanc : on introduit, dans un autre ballon, le même volume, 10 centimètres cubes, du même extrait de malt, on y ajoute 70 centimètres cubes d'eau et 0^{gr},250 de fluorure de sodium. Le ballon contenant la substance et le ballon témoin sont mis ensemble dans l'étuve de d'Arsonval réglée à 62-63°. On les y maintient au moins six heures, en ayant soin de les agiter souvent pour renouveler le contact de toutes les parties avec la solution diastasique. La vitesse de saccharification varie avec les divers amidons, mais au bout de six heures, si l'on opère avec un malt actif, quelle que soit la substance amylacée, on ne trouve plus au microscope, dans le résidu insoluble, de parties se colorant encore par l'iode. Ce dernier réactif permet, du reste, de savoir exactement à quel moment on peut arrêter l'action du ferment. On chauffe alors les ballons jusqu'à l'ébullition, et l'on filtre les liquides chauds sur des entonnoirs garnis de tampons d'amiante. A propos du dosage des matières cellulosiques, nous indiquerons comment opérer ces filtrations sur amiante. On lave à l'eau chaude le ballon et le résidu que l'on a jeté sur l'entonnoir, puis, après refroidissement, les liquides sont amenés à un volume connu. Pour la commodité du dosage, il faut

étendre la liqueur provenant de la substance, de façon à avoir environ 1 d'amidon soluble dans 200 de liquide ; le témoin est amené au même volume, ce qui facilite la correction. Quand, après six heures, l'iode donne encore une réaction, il vaut mieux filtrer, puis broyer de nouveau au mortier, avec un peu de sable, le résidu débarrassé des parties solubles, et remettre le tout ensemble à l'étuve pendant une heure ou deux.

Pour achever le dosage, il faut transformer en glucose le mélange de maltose et de dextrine qui résulte de l'action de la diastase et qui, tel quel, n'est pas facile à analyser. Au moyen d'une pipette, on prélève par exemple 25 centimètres cubes du liquide, que l'on introduit dans une fiole d'Erlenmayer avec $1/2$ centimètre cube d'acide chlorhydrique à 22° ; on acidifie de même 25 centimètres cubes du témoin, puis l'on chauffe ces deux prises dans un autoclave ordinaire à stérilisation, à 120° , température que l'on maintient vingt minutes. Au bout de ce temps, la transformation du maltose et de la dextrine en glucose est complète, et le glucose produit ne subit aucun changement dans son pouvoir réducteur. Le reste de l'analyse consiste à neutraliser les deux liquides au moyen du carbonate de

soude, puis, dans les fioles mêmes où a eu lieu la saccharification, à doser le sucre au moyen de la liqueur de Fehling. Les tables donnent le poids de glucose correspondant au cuivre précipité. On retranche le cuivre provenant des sucres du témoin. Si, pour le calcul, on adopte la formule ordinaire de l'amidon, le poids de celui-ci est égal au poids de glucose trouvé, multiplié par 0,90. Ce coefficient n'a pas toujours été trouvé exact, mais en attendant que la question soit résolue définitivement, il faut admettre que les amidons, quelle que soit leur origine, donnent par saccharification le même poids de glucose. Comme les traitements à l'éther, à l'eau et à l'alcool enlèvent les substances étrangères qui pourraient réduire la liqueur de Fehling en même temps que le glucose, il n'y a pas lieu de déféquer par le sous-acétate les liquides diastasiques sucrés. En traitant par le plomb, on obtient, il est vrai, un résultat plus faible, mais cela est dû à l'entraînement du sucre par le chlorure de plomb qui se forme, de l'acide chlorhydrique ayant été ajouté pour opérer l'hydrolyse.

21. Dosage de l'inuline. — Ce principe se transformant facilement en sucres réducteurs, sous l'influence de la chaleur, il vaut mieux le

doser sur une substance desséchée par macération dans l'alcool. La pulpe humide est traitée, par l'alcool concentré bouillant, puis par l'éther anhydre. On fait ensuite bouillir le résidu avec de l'eau pendant une demi-heure (5 parties de matière pour 100 d'eau). On filtre et, après refroidissement, on amène à un volume connu. On hydrolyse 25 centimètres cubes de cette solution à l'autoclave à 120°, pendant une demi-heure, après addition de 2^{cc},5 d'acide acétique ordinaire, ou de 1 gramme d'acide oxalique. On transforme ainsi seulement l'inuline, sans toucher à l'amidon ou aux autres hydrocarbonés voisins qui auraient pu passer en solution. Après neutralisation du liquide sucré par le carbonate de soude, on dose le lévulose qui a pris naissance, au moyen de la liqueur de Fehling. Le poids de lévulose indiqué dans les tables, multiplié par le coefficient 0,90, donne le poids correspondant d'inuline.

22. Dosage des sucres réducteurs résultant de l'hydrolyse ménagée. — On appelle *hydrolyse ménagée*, l'opération qui consiste à transformer en sucres réducteurs le mélange hydrocarboné qui se laisse facilement saccharifier. Il faut, ainsi que nous l'avons dit, provoquer une réaction complète, c'est-à-dire telle

qu'avec un même poids de substance, quels que soient les changements que l'on fasse subir à la proportion d'eau et d'acide et en ne s'écartant pas trop des concentrations faibles (entre 0 et 30 %, par exemple), quel que soit l'acide, quelles que soient la durée et la température de l'opération, on ne puisse avoir en bloc une plus grande quantité de sucres réducteurs. Les conditions de la réaction doivent, en outre, être telles que les sucres mis en liberté ne sont ni détruits, ni altérés, surtout quant à leur pouvoir réducteur.

Tel est le résultat que doit atteindre l'hydrolyse ménagée. Mais il ne faut pas oublier, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment (§ 14), que cette opération ne peut établir de distinction bien nette entre les corps facilement saccharifiables comme l'amidon, les pentosanes, etc., et les celluloses plus résistantes. Celui qui pratiquera la saccharification, ainsi que nous le recommandons, ne devra donc pas s'attendre, par exemple, à ne plus retrouver, après l'opération, la réaction des pentosanes. L'hydrolyse ménagée dédouble bien la plus grande partie de ces dernières, mais elle en laisse toujours intacte une portion très minime qui se trouve si étroitement liée aux celluloses que, pour arriver

au dédoublement complet, il faudrait opérer l'attaque plus énergiquement et décomposer en même temps une partie des celluloses.

On saccharifie généralement au moyen de l'acide sulfurique par ébullition à l'air libre ou par chauffage au bain de sel et en flacons bouchés. De cette façon, on n'arrive pas au but recherché que nous avons indiqué en tête de ce chapitre. Il vaut mieux employer l'acide chlorhydrique qui est un bien meilleur agent d'hydrolyse que l'acide sulfurique, et opérer dans l'autoclave sous pression. La saccharification est ainsi très rapide ; les sucres mis en liberté n'ont pas le temps d'être altérés, leur pouvoir réducteur n'est que très peu modifié, quand cela se produit, et l'on évite enfin de régénérer en partie l'agrégat dédoublé, ainsi que cela a lieu si l'on prolonge l'hydrolyse à l'air libre. En un mot, la saccharification dans l'autoclave au moyen de l'acide chlorhydrique doit remplacer les procédés par trop simples employés autrefois.

Ce n'est qu'à la suite de nombreux tâtonnements et en faisant varier les divers facteurs de l'opération, c'est-à-dire la substance, son poids, le titre de l'acide, la température et la durée de la réaction, que nous sommes arrivés à indiquer la méthode générale suivante : elle est empirique,

mais, néanmoins, elle résout aussi bien que possible le problème posé.

L'hydrolyse ménagée attaquant à la fois la plus grande partie des hydrocarbonés qui ne sont pas de la nature des celluloses, on ne la pratique généralement que sur la substance débarrassée, après extraction des sucres, de l'amidon ou de l'inuline, les deux seuls principes de ce groupe qu'il nous est à peu près possible de doser à part. On saccharifie d'abord les hydrates de carbone solubles dans l'eau glacée, et ensuite le résidu restant après traitement à l'eau et solubilisation de l'amidon ou de l'inuline s'il y a lieu. Il faut généralement se contenter de doser les divers sucres qui prennent naissance durant l'hydrolyse, puisque nous ignorons, dans la plupart des cas, la relation existant entre ces sucres régénérés et les hydrates de carbone d'où ils proviennent.

On épuise un certain poids de matière sèche par l'éther anhydre ensuite par l'alcool à 90° pour extraire les sucres, enfin par l'eau glacée, ainsi que nous avons appris à le faire. On additionne la solution aqueuse ainsi obtenue et correspondant à un poids connu de substance, de 0^{cc},3 d'acide chlorhydrique à 22° par 25^{cc} de liquide et l'on maintient le tout à l'autoclave à

à 120° durant vingt minutes. Dans ces vingt-minutes ne rentre pas le temps que l'autoclave met pour monter à 120° lorsque, l'air ayant été chassé avec les premières vapeurs qui sortent, on ferme le robinet. Il ne faut pas dépasser cette acidité de 1,2 % en volume, ni la durée et la température de chauffe indiquées, car parmi les hydrocarbonés solubles se trouvent souvent des produits de condensation du lévulose, sucre que les acides plus concentrés attaquent facilement. Après refroidissement, on retire le liquide de l'autoclave, on le filtre et on l'amène à un volume connu. On a ainsi le liquide d'hydrolyse des hydrocarbonés solubles.

On a recueilli sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante ce qui est resté insoluble dans l'éther, l'alcool et l'eau glacée. On traite ce résidu par l'eau à l'ébullition et ensuite par une solution aqueuse de malt de façon à éliminer complètement, s'il y a lieu, soit l'inuline soit l'amidon. Ces deux derniers principes solubilisés, on filtre puis on lave à l'eau chaude sur un entonnoir le résidu insoluble que l'on introduit, pour l'hydrolyser, dans un ballon avec de l'eau acidulée à 2 % en volume avec de l'acide chlorhydrique à 22°. Pour 0,5 en poids de résidu hydrocarboné y compris la cellulose (étant donnée la

substance, on sait toujours à peu près le taux de l'extractif non azoté), il faut mettre 100, en volume, de liquide acide d'hydrolyse. On chauffe dans l'autoclave durant une demi-heure à 120° , (non compris le temps nécessaire pour atteindre cette température et pour laisser ensuite l'appareil se refroidir). On filtre alors, on lave à l'eau chaude les corps cellulosiques restés insolubles et l'on reçoit le liquide dans un ballon gradué.

La saccharification ainsi opérée est généralement complète; cependant avec les substances ligneuses comme les fourrages, on peut, dans certains cas, si l'on augmente un peu l'acidité du liquide d'hydrolyse, doubler encore une nouvelle portion, mais toujours très minime, des hydrocarbonés, pentosanes ou autres qui sont plus intimement liés aux celluloses. Pour achever la saccharification, on chauffe encore à l'autoclave à 120° durant vingt minutes, le résidu de l'hydrolyse précédente, que l'on introduit dans un ballon avec le même volume que précédemment d'eau acidulée mais contenant cette fois 3,2 % en volume du même acide chlorhydrique. Cette nouvelle opération peut très bien ne pas donner de résultats, mais lorsque l'on arrive à obtenir de nouveau des sucres réducteurs, on recueille dans le même ballon que

précédemment la nouvelle liqueur sucrée obtenue, puis si l'on a opéré en deux fois, on amène à un volume connu les deux liquides d'hydrolyse mélangés.

Ainsi donc la saccharification dans l'autoclave à 120°, durant 20-30 minutes de 0^{gr},5 de résidu hydrocarboné, y compris les celluloses, mise en contact avec 100 centimètres cubes d'eau acidulée à 3,2 % en volume avec de l'acide chlorhydrique à 22°, est la limite extrême que nous ayons trouvée, après de nombreuses recherches sur les matières végétales les plus diverses. En augmentant le temps de chauffe, et la concentration de l'acide jusqu'à 20 %, on n'obtient pas une hydrolyse plus complète. De plus, en opérant comme nous venons de le dire, le pouvoir réducteur des sucres mis en liberté n'est pas altéré de façon à amener des changements sensibles dans les résultats, lorsque l'on dose ces sucres par la liqueur de Fehling.

Dans le mélange résultant de l'hydrolyse des hydrocarbonés solubles dans l'eau, ou de la saccharification des hydrates insolubles, on dose les sucres qui ont pris naissance. Ceux-ci se réduisent généralement à six : l'arabinose et le xylose qui sont des pentoses; le glucose, le lévulose, le galactose et le mannose qui sont des hexoses.

Dans la nature, l'arabinose se rencontre presque toujours mélangé avec le galactose, et le xylose avec le glucose. Le galactose, et surtout le levulose, proviennent le plus souvent des corps solubles dans l'eau, tandis que le mannose et les pentoses dominant dans le ligneux où ils constituent des hydrates assez voisins des celluloses mais se laissant cependant hydrolyser assez facilement. On peut obtenir du glucose, par l'hydrolyse ménagée des corps solubles dans l'eau, tandis que le résidu, une fois débarrassé de l'amidon et traité dans l'autoclave par les acides étendus n'en fournit au contraire jamais. Ces observations générales sont utiles à connaître, mais il ne faut pas leur donner la valeur d'une règle absolue.

Si l'on se contente d'un résultat approximatif sur une partie du liquide d'hydrolyse, et après neutralisation de l'acide, on dose en bloc les sucres réducteurs par la liqueur de Fehling. On recherche ensuite dans les tables, en regard du poids de cuivre précipité, le poids correspondant du sucre que l'on croit dominer dans le mélange. Les tables que nous avons données ne sont pas complètes, en ce sens qu'elles ne correspondent pas à tous les sucres que l'on peut rencontrer couramment, mais il est facile d'en dresser de semblables pour le galactose, l'arabinose, le

xylose, etc. Pour cela, sans rien changer à la technique du dosage suivant Kjeldahl, on recherche les poids de cuivre précipité par des poids connus du sucre pur. On trouve, par exemple, qu'à 10, 20, 30, 40, 50 milligrammes de cuivre correspondent 5,0, 10,2, 15,5, 20,9, 26,5 milligrammes de galactose, si l'on prend 15 centimètres cubes de liqueur normale. On termine l'établissement de ces tables par interpolation. On trouve de même que 1 partie d'arabinose correspond, en moyenne, à 1,92-2,10 de cuivre et 1 partie de xylose à 1,86-2,06 de cuivre.

Si l'on veut, toujours grossièrement, établir une distinction entre les pentoses et les hexoses, on dose une première fois en bloc tous les sucres réducteurs, puis, sur le même volume du liquide d'hydrolyse, on recommence le dosage après avoir détruit les hexoses par fermentation. Le cuivre précipité en second correspond aux pentoses et, par différence, on a le cuivre afférent aux hexoses. La fermentation s'opère dans un petit flacon, sur 50 centimètres cubes du liquide sucré. On amène ce dernier presque à neutralité avec du carbonate de soude, on porte à l'ébullition, puis on bouche avec un tampon de ouate stérilisé d'avance. Après refroidissement, on ajoute

3 centimètres cubes de levure en pâte bien fraîche et lavée à l'eau, on rebouche le flacon que l'on maintient 3 jours à 25° environ.

Dans tous ces dosages, il faut bien se garder de déféquer les liquides d'hydrolyse par le sous-acétate de plomb qui précipite toujours les sucres en se combinant avec l'acide chlorhydrique.

On conçoit qu'en opérant ainsi sur de pareils mélanges, on ne peut obtenir que des résultats très approximatifs, aussi vaut-il mieux doser à part les pentoses, le galactose et le mannose, au moyen des réactions spéciales que nous allons faire connaître.

23. Dosage des pentoses. — Lorsque l'on veut doser directement les pentoses, on profite de leur propriété de se convertir partiellement en furfurol si l'on vient à les chauffer avec un acide minéral. Ce dernier peut donc opérer en même temps l'hydrolyse des hydrates de carbone et engendrer la réaction du furfurol sur les sucres en C⁵ mis en liberté. Il ne faut pas perdre de vue cependant, que le furfurol produit, lorsque l'on distille un végétal avec un acide, peut très bien ne pas provenir uniquement des pentoses régénérés. Si l'on recherche toutes les substances furogènes, la méthode est exacte; mais elle

n'est qu'approximative, et donne, en général, des résultats trop forts, si l'on a seulement en vue le dosage des pentoses eux-mêmes. On peut doser les pentoses, soit sur une partie du liquide provenant de l'hydrolyse ménagée (§ 22), soit dans le précipité hydrocarboné obtenu par addition d'alcool (§ 18) à la solution aqueuse privée des albuminoïdes par une courte ébullition suivie d'une filtration, soit enfin dans le résidu insoluble dans l'éther, l'alcool, l'eau et l'extrait de malt. Il faut, en effet, se débarrasser le plus possible des matières azotées, des sucres et de l'amidon qui fournissent du furfurol. C'est en opérant le dosage sur ce dernier résidu que l'on a le plus de chance de doser seulement les pentoses provenant des pentosanes.

La *fig. 4* montre l'appareil très simple qui sert à traiter la matière par l'acide chlorhydrique, et à distiller le furfurol produit.

Dans le ballon, d'une capacité de 300 centimètres cubes, on met les hydrocarbonés (correspondant, par exemple, à 5 grammes de substance) solubles dans l'eau et précipités par l'alcool, ou bien le résidu insoluble de 3 à 5 grammes de matière sèche traitée ainsi que nous venons de le dire par l'éther, l'alcool et l'extrait de malt.

On y verse ensuite 100 centimètres cubes d'acide

chlorhydrique étendu, de densité 1,06, contenant 34,5 % de son poids d'acide à 22° B. Si l'on opère sur le liquide d'hydrolyse total, on ajoute, à 50 centimètres cubes de ce dernier, 33 % environ de son poids du même acide concentré. On distille au bain d'alliage de Darcet ou de Rose.

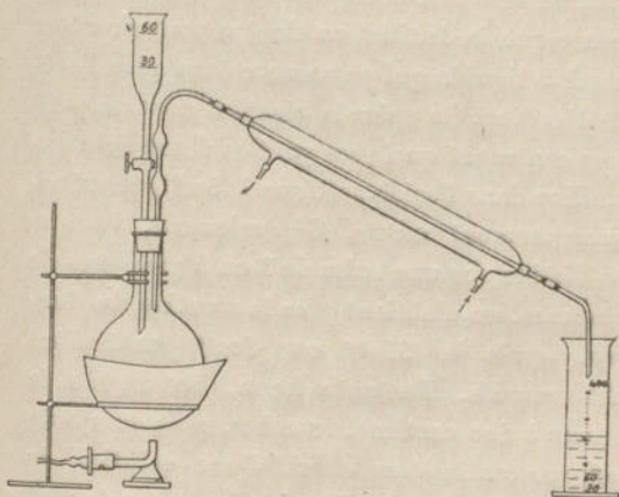


Fig. 4

Ce bain est contenu dans une capsule en fer émaillé que l'on chauffe avec un bec Bunsen, de façon à atteindre la température de 120-130°, que l'on maintient durant l'opération. On recueille le produit de distillation dans un grand verre à bec de 600 centimètres cubes environ, et portant des traits de jauge de 30 en 30 centimè-

tres cubes. Lorsque l'on a distillé, au début, 30 centimètres cubes, ce qui demande un bon quart d'heure si le bain est bien réglé, on verse dans le ballon 30 centimètres cubes du même acide chlorhydrique étendu, au moyen de l'allonge à robinet qui traverse le bouchon. On continue ces additions d'acide, au fur et à mesure que la distillation s'opère pour s'arrêter quand le liquide qui passe ne colore plus l'acétate d'aniline. On opère la réaction dans un petit verre contenant quelques gouttes d'une solution d'aniline dans l'acide acétique à 50 % et préparée au moment même. Généralement, lorsque l'on distille sur une prise de 3 ou 5 grammes de substance, on n'obtient plus la réaction du furfurool après le 350^{me} ou 400^{me} centimètre cube recueilli. De toute façon, on amène le volume à 400 centimètres cubes, puis on ajoute quelques centimètres cubes d'une solution de phloroglucine dans l'acide chlorhydrique de 1,06 de densité. Il faut mettre environ une quantité de phloroglucine triple de celle de furfurool supposé distillé. On agite, et il se forme un précipité qui brunit de plus en plus. Après 3 heures de repos, pour s'assurer que l'on a mis assez de phloroglucine, on prélève, au moyen d'une baguette de verre, une goutte du liquide que

l'on essaye sur une soucoupe avec l'acétate d'aniline. Tant que la réaction se produit, et qu'il reste du furfurool libre, on remet de la phloroglucine. On laisse reposer 24 heures, puis on jette le précipité sur deux filtres desséchés à 97-100°, dont l'un sert de tare à l'autre. On lave ce précipité avec environ 150 centimètres cubes d'eau, on dépose les filtres sur du papier buvard, et après égouttage, on termine la dessiccation dans l'étuve réglée à 97-100°, ce qui demande 4 ou 5 heures. On pèse ensuite. La phloroglucine doit être exempte de dirésorcine, reconnaissable à la coloration violette qu'elle prend lorsqu'elle est additionnée de 2 ou 3 gouttes d'acide acétique anhydre, puis de 1 ou 2 gouttes d'acide sulfurique concentré pur. Pour déduire le furfurool du poids de phloroglucide, on divise ce dernier, par divers coefficients qui varient avec le poids phloroglucide.

Voici les coefficients d'après Tollens :

Pour 0 ^{gr} ,20 de phloroglucide, on divise par 1,820			
" 0, 22	"	"	1,839
" 0, 24	"	"	1,856
" 0, 26	"	"	1,871
" 0, 28	"	"	1,884
" 0, 30	"	"	1,895
" 0, 32	"	"	1,904
" 0, 34	"	"	1,911
" 0, 36	"	"	1,916

Pour 0gr,38 de phloroglucide, on divise par 1,919			
" 0, 40	"	"	1,920
" 0, 45	"	"	1,927
" 0, 50	"	"	1,930

Les données suivantes permettent ensuite de passer du furfurool à l'arabinose et au xylose, ou bien d'exprimer le résultat en arabane et en xylane à qui l'on suppose une formule $(C^5H^8O^4)^n$ semblable à celle de l'amidon. Généralement, on se contente de déterminer en bloc le taux des pentoses ou des pentosanes, sans préciser l'un d'eux ou l'une d'elles, on prend alors des formules à coefficients moyens :

(Furfurool — 0,0104) × 1,91 = Xylose
(Furfurool — 0,0104) × 2,35 = Arabinose
(Furfurool — 0,0104) × 2,13 = Pentoses en général
(Furfurool — 0,0104) × 1,68 = Xylane
(Furfurool — 0,0104) × 2,07 = Arabane
(Furfurool — 0,0104) × 1,88 = Pentosanes en général.

24. Dosage du galactose et du mannose.

— Nous avons dit que l'hydrolyse des hydrocarbonés, solubles dans l'eau glacée, ne donnait généralement naissance qu'au premier de ces sucres.

Pour doser le galactose qui se trouve sous forme de produits de condensation solubles dans l'eau, on opère ainsi : on réduit à 50 centimètres

cubes par distillation dans le vide, la solution glacée correspondant à environ 10 grammes de substance, on la transvase dans un verre de Bohême de 175 centimètres cubes et de 57 millimètres de diamètre environ, puis on l'additionne de 24 grammes d'acide nitrique à 36°B. (ce qui porte la densité de la solution nitrique à 1,15). On plonge le verre dans un bain-marie à l'ébullition, et l'on chauffe jusqu'à ce que la hauteur du liquide soit réduite au tiers. L'oxydation du galactose qui rentre dans la constitution de tous ces hydrates complexes, produit de l'acide mucique. Au bout de 24 heures, on filtre pour recueillir tout ce qui est insoluble. L'acide mucique s'est déposé en même temps que beaucoup d'autres impuretés que l'acide azotique n'a pu dissoudre. Pour le purifier, on chauffe le filtre et son contenu dans une solution moyennement concentrée de carbonate d'ammoniaque ; après filtration et lavage, on évapore cette liqueur presque à siccité dans une capsule, puis on l'étend avec de l'acide azotique de densité 1,15. 24 heures après, on recueille l'acide mucique reprécipité, sur deux filtres qui, desséchés, se servent mutuellement de tare. On lave avec 20 ou 30 centimètres cubes d'eau, on dessèche à 100° et l'on pèse. Le galactose fournit ainsi, en

moyenne, 76 % (de 75 à 77) de son poids d'acide mucique.

On peut doser le galactose total en traitant exactement de même 5 grammes de la substance à analyser par 60 centimètres cubes d'acide nitrique de densité 1,15.

La macération dans l'eau glacée laisse souvent insolubles d'autres produits de condensation du galactose et généralement tous les hydrates contenant du mannose; elle extrait cependant en partie ces derniers, si elle est accompagnée d'un broyage, mais alors le liquide devient visqueux, infiltrable et comme, de plus, il ne contient pas la totalité des mannanes, le dosage devient impossible. Pour dissoudre et commencer en même temps l'hydrolyse des galactanes et des mannanes, on utilise l'action de la séminase, ferment secrété par les graines de légumineuses en germination (1). On procède exactement, comme nous l'avons fait pour le dosage de l'amidon, avec l'extrait de malt. On obtient une solution riche en séminase, en faisant germer, à 25-30° et à l'obscurité, des graines de luzerne préalablement trempées 5 heures dans l'eau froide. Après trois jours de germination,

(1) BOURQUELOT. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1899, p. 228, 1900, p. 340 et 731.

on écrase les graines au mortier, puis on les fait macérer 12 heures à la température ordinaire, dans leur poids d'eau contenant 1 % de fluorure de sodium. Le liquide filtré est très actif.

Pour le dosage, on épuise de 3 à 5 grammes de substance sèche, successivement par l'éther et l'alcool à 90°. S'il y a lieu, on peut même opérer la séparation de l'amidon au moyen de l'extrait de malt, car, en arrêtant l'action de la diastase dès que la liquéfaction de l'amidon est terminée, ce qui demande 30 minutes environ, on ne dédouble que très peu les mannanes et les galactanes. Le résidu des opérations précédentes est écrasé dans un mortier avec de l'eau chaude et du sable, transvasé ensuite sans pertes dans un verre de Bohême, additionné d'eau de façon à avoir 50 centimètres cubes de liquide par gramme de matière, enfin passé une demi-heure à l'autoclave à 120°. On ajoute 1 gramme de fluorure de sodium par 100 centimètres cubes de liquide, puis, après refroidissement, 25 centimètres cubes de la solution de séminase. On abandonne le mélange à l'étuve réglée à 38-40°, en remuant assez souvent. Pour opérer la correction nécessitée par les sucres que la solution de séminase apporte, on procède simultanément, et de même, sur un liquide témoin, soit

ici 25 centimètres cubes de la liqueur diastatique. Au bout de 48 heures au moins, l'empois de mannanes et de galactanes n'a plus l'apparence visqueuse, on filtre alors, ce qui peut se faire facilement, puis on lave le résidu à l'eau chaude.

La séminase rend ainsi solubles généralement tous les anhydrides du galactose et une partie seulement des anhydrides du mannose. Ce dernier sucre se trouve souvent, en effet, à un état de condensation, voisin de celui du glucose des matières cellulosiques, et ne peut être mis en liberté que sous l'influence d'une hydrolyse très énergique. De plus, en même temps qu'elle les solubilise, la séminase opère le dédoublement en sucres réducteurs des hydrates considérés ici, mais comme il est difficile de savoir si cette hydrolyse est totale, pour la compléter, on passe le liquide à l'autoclave, 30 minutes à 120°, après l'avoir additionné de 2 % en volume d'acide chlorhydrique à 22° B. Avant de doser les sucres, il faut se débarrasser de l'acide chlorhydrique ; pour cela, on distille une première fois, dans le vide, le liquide d'hydrolyse, on reprend l'extrait par 50 centimètres cubes d'eau, et l'on distille à nouveau jusqu'à siccité. On reprend par l'eau, on s'assure de la

neutralité, on filtre et l'on amène à un volume connu, 150 centimètres cubes par exemple. Du liquide, on prélève deux portions de 50 centimètres cubes, ce qui correspond au tiers de la substance. La première portion est évaporée à consistance sirupeuse, puis traitée, comme nous l'avons vu, par l'acide nitrique de densité 1,15 pour l'obtention de l'acide mucique. On dose ainsi le galactose.

Dans l'autre portion, on dose le mannose, en utilisant la propriété qu'il a de pouvoir donner naissance à une phénylhydrazone, presque insoluble dans l'eau. On mélange au liquide sucré la solution suivante :

Phénylhydrazine	4 ^{cc}
Acide acétique cristallisable	4 ^{cc}
Eau distillée	12 ^{cc}

quantité largement suffisante pour doser 3 grammes de mannose. Le flacon dans lequel on opère le mélange, doit être plein. On laisse déposer 12 heures à 10° environ, puis on recueille l'hydrazone sur deux filtres, dont l'un sert de tare à l'autre. On essore à la trompe, on lave finalement avec 25 centimètres cubes d'eau glacée, puis avec 20 centimètres cubes d'alcool à 95° et 25 centimètres cubes d'éther. On dessèche 24 heures dans le vide sulfurique, on porte les filtres une

demi-heure à l'étuve à 100°, puis on pèse. Quand la liqueur renferme moins de 3 % de mannose, on ajoute au poids d'hydrazone, en raison de sa solubilité dans l'eau, 0^{gr},040 par centimètre cube de mélange. La présence des autres sucres ne modifie pas les résultats, qui sont suffisamment précis, si l'on a soin d'opérer à une température aussi basse que possible. A 1 gramme de mannose, correspond 1^{gr},50 d'hydrazone.

25. Dosage du lévulose. — Ce sucre ne possède pas de réactions spéciales permettant de le doser rapidement, autrement que par la liqueur de Fehling. Le lévulose se trouve le plus souvent dans les hydrocarbonés solubles dans l'eau. On hydrolyse l'extrait aqueux glacé de la substance, ainsi que nous l'avons vu (§ 22) après addition de 1,2 % d'acide chlorhydrique seulement. Sur un certain volume de la liqueur, on dose en bloc tous les sucres réducteurs par le réactif de Fehling, qui précipite un certain poids de cuivre. En même temps, on dose, au moyen des méthodes spéciales décrites précédemment, les pentoses et le galactose. On recherche dans les tables les poids de cuivre correspondant aux quantités trouvées de ces sucres. Si, du cuivre total, on retranche les poids de cuivre afférents aux sucres autres que le lévulose, on a par différence le poids de cuivre

correspondant à ce dernier. On obtient ainsi des résultats assez approchés.

26. Dosage des fibres ligneuses brutes (procédé de Weende). — Pour doser les fibres ligneuses brutes ou la *cellulose brute*, suivant l'expression usuelle, on se base sur leur insolubilité presque absolue dans les réactifs à action faible, et l'on se contente de peser le résidu que l'on obtient, après épuisement de la substance par les acides et les alcalis étendus et bouillants. On peut opérer conformément aux prescriptions suivantes que nous suivons habituellement :

Dans une capsule, marquée intérieurement d'un trait indiquant un volume de 300 centimètres cubes, on délaye, au moyen d'un agitateur, 5 grammes de substance sèche et finement moulue avec 250 centimètres cubes d'eau. Il faut éviter que la matière ne se prenne en pâte, où qu'elle colle en partie au fond de la capsule, ce qui arrive avec les substances amylacées. On ajoute 12 centimètres cubes d'acide chlorhydrique à 22°, on complète le volume à 300 centimètres cubes, et l'on porte graduellement à l'ébullition sur un bec Bunsen, au-dessus d'une toile métallique. On maintient à une ébullition modérée, pendant une demi-heure, en ayant

soin de remplacer par de l'eau chaude l'eau qui s'évapore (l'addition d'eau froide provoque souvent des soubresauts). Au bout de 30 minutes, on cesse, durant 15 minutes, de compléter le volume, on retire ensuite du feu et l'on remplit complètement la capsule d'eau froide. Cette addition brusque d'eau froide a pour effet de faciliter le dépôt de la matière cellulosique, et le liquide surnageant devient clair en peu de temps. On décante alors sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante, ou bien l'on siphonne la liqueur, opérations sur lesquelles nous reviendrons dans la suite. Tout en laissant le résidu dans la capsule, on le lave 2 ou 3 fois avec de l'eau chaude que l'on décante ou siphonne chaque fois, mais seulement lorsque les matières cellulosiques se sont bien déposées. Ce qui reste sur l'entonnoir est introduit de nouveau dans la capsule avec le tampon d'amiante; on y ajoute 6 grammes de potasse caustique en solution, on complète à 300 centimètres cubes, et l'on fait bouillir une demi-heure, en maintenant le niveau. On concentre ensuite durant 10 minutes, on retire du feu, on remplit la capsule d'eau froide, puis on décante ou siphonne la liqueur, comme précédemment. On lave le résidu à l'eau chaude et, lorsque les eaux de lavage cessent d'être alcalines, on finit de le faire

tomber sur l'entonnoir pour l'arroser ensuite avec de l'acide chlorhydrique étendu, puis avec de l'alcool et de l'éther. On place enfin dans une capsule de platine la matière détachée de l'entonnoir, ainsi que l'amiante qui a servi à nettoyer ce dernier. On porte à l'étuve à 100°, et, quand le poids ne varie plus, au bout de 7 à 8^h, on pèse.

Ce poids ne représente pas encore la cellulose brute, car le résidu est fortement souillé de matières étrangères. Logiquement, il faudrait en déduire toutes les substances qui ont été dosées précédemment et qui sont retenues comme impuretés, telles que, par exemple, les matières azotées et les cendres. On se contente conventionnellement d'opérer seulement la correction relative aux matières minérales retenues par les fibres ou apportées par l'amiante qui a servi aux filtrations. Pour cela, après la pesée, on incinère au moufle avec les précautions habituelles, et l'on pèse de nouveau. La différence entre le poids de la capsule avant et après incinération, donne la quantité de ce que l'on désigne sous la rubrique de « cellulose brute ». Si l'on se conforme aux conventions généralement suivies, on n'opère pas de correction pour les matières protéiques, bien qu'elles subsistent toujours dans les fibres en quantités

appréciables. Pour retrancher leur poids du résidu, il faudrait faire le dosage en double, et déterminer, d'une part, les cendres et, de l'autre, l'azote, car par suite de l'addition d'amiante, le résidu cellulosique n'est pas, en effet, assez homogène pour pouvoir en faire plusieurs parts, en vue des dosages complémentaires.

Nous ne citons que pour mémoire la modification apportée par Holdesfleiss : elle consiste à faire bouillir, non plus à feu nu, mais en insufflant de la vapeur d'eau dans des allonges piriformes, où la substance se trouve mélangée au liquide. La partie inférieure de la poire d'Holdesfleiss est étranglée et bouchée d'abord par un tampon d'amiante, ensuite par un bouchon de caoutchouc. En retirant ce dernier, on peut filtrer et opérer les lavages, sans faire sortir le résidu insoluble du récipient.

La difficulté de ce dosage provient de ce que la filtration des liquides d'attaque, acides ou alcalins, est toujours longue et souvent pénible. Pour mener l'opération assez rapidement, nous conseillons d'abord, de ne traiter la substance par l'acide ou la potasse, qu'après l'avoir épuisée par l'éther. De plus, si la substance contient de l'amidon, il vaut mieux réduire la matière amylicée en empôis, la saccharifier au moyen du

malt, ainsi que nous l'avons indiqué, et séparer, par une première filtration sur amiante, tout ce qui a été ainsi solubilisé. Les liquides d'attaque doivent ensuite, comme nous l'avons dit, n'être décantés que lorsque le résidu cellulosique insoluble est complètement déposé au fond de la capsule, ce que l'on obtient rapidement si l'on a soin d'ajouter brusquement de l'eau froide. Nous décantons sur de grands entonnoirs coniques d'une capacité de 250 centimètres cubes, et dont la tige, d'une longueur de 10 à 12 centimètres, a un diamètre de 6 à 7 millimètres.

Le choix de l'amiante, avec lequel on garnit le fond de l'entonnoir, est très important. Il faut prendre de l'amiante à longues mèches, non feutré ou cardé, fibreux au toucher et non soyeux. On prend une mèche d'une longueur de 10 à 12 centimètres environ, d'un poids moyen de 0^{gr},5 à 0^{gr},7, on la desserre bien, en écartant transversalement les fibres, mais sans les briser dans leur longueur, puis, au moyen d'un agitateur de verre, on l'enfonce dans la tige, son milieu le premier, de façon à ce qu'elle se replie en deux, et que les fibres soient dans le sens de la tige. Celle-ci se trouve ainsi garnie d'un feutrage d'amiante sur une longueur de 4 à 5 centimètres environ. On intro-

duit l'amiant sec, mais il vaut mieux l'humecter avant de commencer le décantage. Il ne faut jamais serrer le tampon qui doit être plutôt lâche; la matière en suspension, feutre, en effet, très rapidement les interstices, mais alors, comme les premières portions filtrées sont troubles, on les reçoit dans un grand verre à pied, au fond duquel se dépose tout ce qui est insoluble. Il est facile de décanter la portion limpide du filtrat, pour rejeter ensuite le dépôt sur l'entonnoir.

Au lieu de décanter les liquides d'attaque et les eaux de lavage, on peut les siphonner au moyen du filtre-siphon Bartmann (*fig. 5*). L'extrémité A est un petit entonnoir renversé, dont l'ouverture est garnie d'un morceau d'étamine très fine, ou de mousseline. En B et C se trouvent des pinces. On amorce le siphon en plongeant l'entonnoir A dans l'eau, on ouvre alors la pince B, et l'on aspire jusqu'à ce que les branches soient pleines. Pour siphonner, quand les matières cellulosiques sont bien déposées, on enfonce à peine l'entonnoir dans le liquide à filtrer, et l'on ouvre la pince C. A mesure que le niveau baisse dans la capsule, on y enfonce naturellement la branche ascendante, de façon à maintenir les bords de l'entonnoir, légèrement au-dessous du niveau du liquide. On s'arrête de

siphonner avant que la surface filtrante ne vienne au contact du dépôt insoluble ; celui-ci pourrait, en effet, boucher la toile, et l'on risquerait, en outre, de perdre les parties fines pouvant passer à travers le tissu. Il est toujours bon, du reste, de recueillir les eaux de filtration dans un grand verre à pied, et de les laisser déposer pour se rendre compte si elles ne contiennent pas de résidu insoluble. Lorsque le siphonnage des liquides d'attaque et des eaux de lavage est terminé, on détache au moyen d'un jet de pissette, la cellulose qui peut rester collée à la surface du tissu.

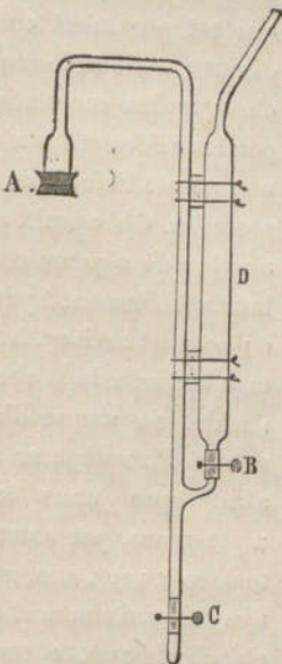


Fig. 5

En réalité, les fibres ligneuses ainsi obtenues, renferment d'autres impuretés que des matières azotées et des matières minérales ; on y trouve, par exemple, de notables quantités de pentosanes, c'est-à-dire des hydrates de carbone, que

L'on est sensé avoir dédoublés par l'ébullition avec les acides étendus. Le procédé de Weende, qui est purement conventionnel, ne peut être discuté, mais rationnellement il vaudrait mieux changer les conventions, et traiter la substance par les acides et les alcalis étendus et bouillants, non plus à l'air libre, mais à l'autoclave et sous pression. On aurait ainsi la certitude presque absolue de séparer complètement les hydrocarbonés facilement hydrolysables, résultat auquel on ne peut arriver, à l'air libre, qu'en augmentant la durée de la chauffe et la concentration de l'acide, au risque d'attaquer la cellulose elle-même. Pour séparer les matières cellulosiques, ainsi que nous le conseillons, on traite 2 grammes, par exemple, de substance à l'autoclave à 120°, successivement par 400 centimètres cubes d'eau acidulée à 3,2 % avec de l'acide chlorhydrique, et par 150 centimètres cubes d'eau contenant 3 % de potasse caustique, et cela, chaque fois, durant trente minutes. Le dosage s'opère et se termine exactement, comme nous venons de le décrire pour le procédé ordinaire de Weende. Le résidu cellulosique ainsi obtenu finalement, ne donne plus la réaction de pentosanes.

27. Hydrolyse des matières cellulosi-

ques. **Réactif de Schweitzer. Dosage de la lignine et de la vasculose.** — Pour remplir le programme que nous nous sommes tracé (§ 14), il nous faut opérer maintenant l'hydrolyse du groupe des matières cellulosiques, c'est-à-dire des hydrates de carbone ayant résisté à l'hydrolyse ménagée. On conçoit qu'il ne faut ici opérer le dédoublement en sucres, que sur les fibres ligneuses seules, ayant été traitées à l'autoclave, comme nous venons de le dire dans le paragraphe précédent. Le réactif dont nous conseillons l'emploi pour dissoudre les celluloses et les hydrolyser, est ainsi composé : on verse avec précaution, 530 centimètres cubes d'acide sulfurique pur et concentré dans 250 centimètres cubes d'eau ; après refroidissement, on y ajoute 230 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur concentré, par petites quantités à la fois, et en maintenant le vase où s'opère la réaction sous un robinet d'eau froide. On traite dans une capsule en porcelaine, 3 grammes au maximum de résidu cellulosique, par 40 centimètres cubes du mélange précédent, et l'on remue la masse avec un agitateur à bout aplati. Après une trituration d'une demi-heure à froid, la cellulose est généralement dissoute. On brasse de temps à autre le mélange, puis on laisse le contact se

prolonger vingt-quatre heures. On transvase alors sans pertes, car le plus souvent il y a un résidu insoluble, dans un ballon gradué de 1 litre, on étend avec de l'eau à 950 centimètres cubes environ, puis on passe trente minutes à l'autoclave à 120°. Après refroidissement, on complète exactement le volume à 1 litre. On filtre, s'il y a lieu, sur un entonnoir garni d'un tampon d'amiante, puis, sur un volume connu de la liqueur, après neutralisation de l'acide, on dose en bloc les sucres réducteurs au moyen de la liqueur de Fehling. Si du glucose seul a pris naissance, ce qui arrive le plus souvent, on déduit facilement son poids (§ 16) du poids de cuivre obtenu. Le poids de glucose multiplié par 0,9 donne le taux de cellulose pure, en adoptant pour cette dernière la même formule que pour l'amidon.

Quelquefois l'hydrolyse engendre du manose; on dose alors ce sucre à part, dans la liqueur ainsi que nous l'avons indiqué (§ 24); puis, dans les tables, on cherche le poids de cuivre qui lui correspond, pour le retrancher du cuivre réduit par la totalité des sucres réducteurs. Par différence, on a le cuivre afférent au glucose, car ces deux sucres sont généralement les seuls que l'on rencontre.

Le résidu insoluble définitif et non attaqué par les acides concentrés, est recueilli sur un entonnoir. On le lave bien à l'eau bouillante, on le transvase avec l'amianté dans une capsule de platine, puis, après dessiccation, on le pèse. Comme ce résidu ne contient presque plus d'azote, il suffit de retrancher de son poids celui des cendres que l'on détermine par incinération. On dose ainsi en bloc la *lignine* et la *vasculose*.

La séparation de ce groupe insoluble et non hydrolysable, par les acides concentrés, s'obtient également au moyen du *réactif de Schweitzer*.

On prépare ce dernier assez rapidement, de la façon suivante : On ajoute à une solution de sulfate de cuivre, assez d'ammoniaque pour redissoudre le précipité qui se forme d'abord ; puis on y verse une solution de potasse jusqu'à cessation de précipité. Après décantation du liquide, on conserve le dépôt dans un vase hermétiquement fermé, en le délayant dans un peu d'eau. En redissolvant ce dépôt, dans la plus petite quantité d'ammoniaque possible à 20 %₀, on obtient le réactif de Schweitzer.

On fait agir cette solution ammoniacale de cuivre sur les fibres ligneuses ayant subi l'hydrolyse à l'autoclave sous pression, et non comme on le fait quelquefois, sur la substance végétale

fraîche ou simplement desséchée. On broie, dans un mortier, le résidu cellulosique, avec cinquante fois au moins son poids de réactif, et cela, le plus souvent possible, jusqu'à ce que la dissolution de la cellulose soit bien opérée. On laisse ensuite le contact se prolonger douze heures, sous une cloche destinée à empêcher l'évaporation de l'ammoniaque, on filtre sur amiante, en ajoutant du réactif pour bien laver le mortier et l'entonnoir. Il est bon durant l'opération de couvrir l'entonnoir avec une plaque de verre, et d'activer la filtration, qui est lente, en fixant la tige de l'entonnoir dans le bouchon d'un flacon où l'on produit une légère aspiration. Le résidu insoluble est lavé à l'eau chaude, séché puis pesé. En déduisant de son poids celui des cendres, on a, comme précédemment, la lignine et la vasculose.

Dans la liqueur d'oxyde cuivrique ammoniacal claire, on peut précipiter la cellulose dissoute, en neutralisant la solution au moyen d'un acide faible. Un excès d'acide peut redissoudre la cellulose précipitée, aussi le mieux est de faire barboter dans le liquide un courant d'acide carbonique purifié. Quand la liqueur vire du bleu foncé au bleu verdâtre, la réaction de la solution est nettement acide. On laisse le dépôt de cellu-

lose bien se rassembler au fond du vase, ce qui demande douze heures ; on décante sur deux filtres, dont l'un sert de tare à l'autre, on lave le précipité à l'eau chaude, pour ne le jeter entièrement sur le filtre qu'après élimination complète du cuivre. On pèse après dessiccation, puis on détermine par incinération le poids des impuretés minérales retenues. On ne précipite ainsi que la cellulose proprement dite, c'est-à-dire un composé hydrocarboné, ne fournissant à l'hydrolyse que du glucose. Les hydrates donnant du mannose restent dissous.

CHAPITRE VI

MATIÈRES INDÉTERMINÉES

28. Dosage des acides organiques. — Lorsque l'on a déterminé dans une substance les principes immédiats susceptibles d'être considérés comme de véritables espèces chimiques, il reste toujours un résidu indéterminé, qui doit cependant jouer un rôle dans l'alimentation. M. Müntz, suivant l'exemple de Boussingault, a montré le parti que l'on pouvait tirer ici de l'emploi simultané de l'analyse élémentaire et de l'analyse immédiate ⁽¹⁾. En retranchant de l'azote total, du carbone total, etc., l'azote, le carbone contenus dans les principes définis que l'on a pu doser, on a, par différence, l'azote, le carbone engagés dans ce groupe des indéterminés. Les résultats fournissent parfois des indications utiles sur la nature des principes non dosés.

⁽¹⁾ MÜNTZ. — *Annales de l'Institut agronomique*, 1877-1878, p. 77.

Parmi ces indéterminés, nous ne nous arrêterons qu'aux acides organiques. Leur dosage présente une certaine importance, car la réaction alcaline de l'organisme des herbivores est en grande partie due aux carbonates et bicarbonates alcalins qui, prenant naissance à la suite de la combustion des sels organiques, viennent diminuer l'acidité du sang et des urines.

Pour doser l'acidité totale organique, on se contente souvent de procéder à une macération de la substance dans l'alcool à 90°, d'amener à un volume connu, et de neutraliser une partie de la liqueur au moyen d'une solution alcaline titrée. Les résultats ainsi obtenus, ne peuvent avoir aucune signification. Pour opérer rationnellement le titrage, il faut au moins auparavant mettre les acides organiques en liberté et les déplacer par un acide minéral plus énergique. On titre alors deux fois, en se servant comme indicateur, la première fois du tournesol et, la seconde fois, de papier imbibé d'une solution aqueuse au millième de rouge de Congo 4R et fraîchement humecté. Ce dernier réactif, sur lequel les acides organiques sont sans action, cesse de bleuir lorsque l'acide minéral est saturé.

Pour extraire et doser tous les acides organiques libres ou à l'état de sels, on opère ainsi :

Dans un petit mortier de verre, on broie 10 grammes de substance fraîche, avec 20 ou 30 centimètres cubes d'eau contenant 10 % d'acide sulfurique concentré. Il faut opérer un malaxage énergique, pour que l'acide pénètre dans toute la masse, et déplace complètement les acides organiques. La dose d'acide à employer doit être largement suffisante pour saturer les bases des cendres de la substance. On mêle la pâte obtenue avec de la ponce en très petits fragments, et l'on transvase dans l'allonge de l'appareil à épuisement continu de Schlœsing (§ 12). On a garni auparavant le fond de l'allonge d'un tampon de coton, et par-dessus, d'une bonne couche de ponce. Pour essuyer et nettoyer le mortier, on se sert de papier buvard, que l'on joint au reste de la matière. On épuise avec de l'éther durant au moins 24 heures. L'extraction est terminée lorsque l'éther qui s'écoule de l'allonge n'est plus acide. Si l'on a mis assez de ponce pour absorber l'extrait aqueux acide, il n'y a pas à craindre de voir l'éther chasser le liquide devant lui par déplacement. De plus, dans ces conditions, l'éther ne dissout pas l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique et l'acide phosphorique existant dans la matière, pas plus que l'acide sulfurique ajouté. Nous avons vu (§ 13) com-

ment en agitant l'éther avec de l'eau, on dissout les acides, tout en laissant les matières grasses dans leur premier dissolvant. Le liquide aqueux évaporé dans le vide sulfurique, abandonne les acides organiques que l'on pèse en bloc. Si l'on reprend par l'eau et, qu'après une bonne ébullition, on amène de nouveau à siccité, on peut doser les acides organiques fixes. Par différence, on a les acides organiques volatils.

CHAPITRE VII

COMPLÉMENTS

29. Méthodes proposées pour les transactions commerciales. — Il n'existe pas, en France, de méthodes officielles pour l'analyse des substances végétales alimentaires du bétail. Nous avons cru cependant devoir résumer très brièvement, en un chapitre, les procédés analytiques qui nous ont paru susceptibles d'être acceptés par tous les laboratoires.

1° EAU. — Concasser très grossièrement et rapidement dans un moulin ordinaire, ou bien découper au ciseau, ou bien râper, et cela suivant la substance.

Dessécher 20 grammes dans le vide à 90°, jusqu'à poids constant. Si la substance est humide, commencer la dessiccation à 40°.

2° PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON SEC. — Broyer trois fois la substance sèche dans le moulin râpe, et redessécher à 90° dans le vide. La mouture doit passer au tamis d'un demi-millimètre.

3° AZOTE TOTAL. — Dosé sur 2 grammes secs au maximum, suivant la méthode Kjeldahl-Gunning (acide sulfurique, sulfate de cuivre anhydre, sulfate de potasse anhydre); prolonger l'attaque deux heures après la décoloration. S'il y a des nitrates, employer le procédé Kjeldahl modifié par Jodlbauer (attaque par l'acide phénol sulfurique, voir § 6).

4° AZOTE ALBUMINOÏDE. — Dosage de l'azote sur le résidu insoluble de 2 grammes secs dans 100 centimètres cubes d'acide acétique à 1 % bouillant. Multiplier le résultat par 6,25 (?) pour avoir les matières azotées albuminoïdes. (voir § 7).

5° MATIÈRE GRASSE. — Épuisement à froid, de 5 grammes de substance parfaitement sèche, par l'éther de pétrole distillant au-dessous de 45 (voir § 12).

6° SUCRES LIBRES. — Extraction par l'alcool à 90° sur 5 grammes de substance sèche. Reprise par l'eau après évaporation du dissolvant. Filtration après addition de sous-acétate de plomb. Saccharification par la méthode Clerget. Dosage des sucres réducteurs en poids par le Fehling, à l'état de glucose. Indiquer la formule du réactif, et la provenance des tables de transformation du cuivre en sucre.

7° AMIDON. — Après épuisement de 5 grammes de substance sèche par l'éther, l'eau glacée et l'alcool, solubilisation de l'amidon réduit en empois au moyen de l'extrait de malt fluoré.

Saccharification de l'amidon solubilisé et transformé, 20 minutes à 120° à l'autoclave, après addition de 2 % en volume d'acide chlorhydrique. Dosage du glucose par le Fehling en poids. Amidon = glucose multiplié par 0,9 (voir § 20).

8° SUCRES RÉSULTANT DE L'HYDROLYSE MÉNAGÉE. — Après épuisement de 2 grammes de substance sèche par l'éther, et l'alcool, saccharification à l'autoclave à 120° durant 30 minutes avec 400 centimètres cubes d'eau contenant 3,2 % d'acide chlorhydrique en volume. Doser les sucres en poids par le Fehling (toujours indiquer la formule du réactif et la provenance des tables).

9° FIBRES CELLULOSIQUES BRUTES. — Traiter le résidu de l'opération précédente (hydrolyse ménagée) à l'autoclave à 120°, durant 30 minutes, avec 150 centimètres cubes d'eau contenant 3 % de potasse caustique. Déduire les cendres du résidu final lavé à l'eau bouillante, à l'alcool chaud, puis à l'éther, et desséché à 100°.

10° CENDRES. — Mélanger à 2 grammes de substance sèche, le tiers de son poids de mousse

de platine. Incinérer au moufle, avec la porte close, au-dessous du rouge sombre et dans une capsule de platine. Recarbonater avec du carbonate d'ammoniaque, dessécher et repasser au moufle.

Telles sont les analyses qui nous paraissent suffisantes pour établir nettement l'identité d'un aliment d'origine végétale. Ces dix dosages ne sont pas tous nécessaires, mais, en général, il faut toujours déterminer l'eau, les cendres et la cellulose brute. L'acheteur pourra, en outre, spécifier dans son marché le taux du principe immédiat qui l'intéresse tout spécialement dans le produit, par exemple, le taux de l'azote total et de l'azote albuminoïde, ou celui de la matière grasse brute, ou de l'amidon, des sucres, etc.

30. Valeur argent des aliments végétaux. — On demande souvent au chimiste de fixer le prix des aliments d'après leur composition chimique. Disons tout de suite que la question ne peut être résolue rigoureusement comme pour les engrais, aussi nous contenterons-nous, d'indiquer rapidement les quelques méthodes qui ont été proposées :

1^o *Méthode belge.* — On déduit la valeur des denrées, d'après le prix des éléments nutritifs dans certains aliments pris comme types. On

donne à l'amidon, le prix auquel il revient dans la pomme de terre ; à la graisse, le prix auquel revient la matière grasse dans l'huile de colza ; à la protéine, le prix auquel elle revient dans le tourteau de lin. Ces prix sont établis d'après le cours.

La méthode, on le conçoit, ne convient guère qu'aux résidus industriels ; de plus, il n'est pas logique d'assigner une valeur identique à un principe extrait industriellement ou au même principe encore inclus dans la substance.

2° *Méthode allemande du professeur Kühn, de Halle.* — D'après ses expériences sur le bœuf à l'entretien, Kühn admet que la relation nutritive doit être de $\frac{1}{6}$ comme dans le foin de bonne qualité moyenne. Dans l'estimation de la valeur argent d'un aliment, on doit donc compter 1 kilogramme de matière azotée digestible au prix de 6 kilogrammes d'hydrocarbonés digestibles. Parmi ces derniers, Kühn comprend, par convention, les composés azotés autres que l'albumine, et 80 % seulement de la cellulose digestible, une partie de cette cellulose échappant, en effet, à l'assimilation par suite de sa transformation en gaz. Kühn admet, en outre, que les mêmes éléments digestibles sont équivalents, dans toutes les substances alimentaires, et que

la valeur de la graisse par suite de son pouvoir calorifique élevé est égale à 2,44 fois celle de l'amidon et de ses congénères. Si donc l'on prend comme unité, l'unité de poids des substances hydrocarbonées, on a :

	unités nutritives
1 kg d'amidon, sucres, etc.	= 1
1 // de graisse	= 2,44
1 // de protéine	= 6

D'après ces données, on établit le nombre d'unités digestibles que fournissent 100 kilogrammes de la substance, ainsi que le montre le calcul suivant, basé sur la composition d'un foin :

100 de ce foin contenaient :

	unités nutritives
4,42 protéine digestible × 6.	= 26,52
1,54 graisse digestible × 2,44	= 3,70
26,37 hydrocarbonés digestibles	} = 39,94
12,69 cellulose utilisable	
1,28 matière azotée non protéique.	
Total dans 100 kilogrammes	= 70,16

En divisant le prix de 100 kilogrammes de ce foin par le nombre trouvé d'unités nutritives, on a la valeur argent d'une unité digestible.

Cette méthode est empirique, car elle repose entièrement sur la relation nutritive $\frac{1}{6}$; or celle-ci peut varier suivant les animaux et le produit demandé, viande, travail, lait, etc.

3^e Méthode du laboratoire de la Compagnie des voitures. — On pose :

x = prix de la matière azotée brute totale.

y = " " grasse brute.

z = " " hydrocarbonée (sans la cellulose).

Plusieurs analyses ayant donné la composition de la denrée (il faut au moins trois analyses ou moyennes d'analyses), si l'on représente

par $\left. \begin{matrix} a \\ a' \\ a'' \end{matrix} \right\}$ les taux de matières azotées,

par $\left. \begin{matrix} g \\ g' \\ g'' \end{matrix} \right\}$ les taux de matières grasses.

par $\left. \begin{matrix} h \\ h' \\ h'' \end{matrix} \right\}$ les taux de matières hydrocarbonées (sans la cellulose brute).

On peut poser le système d'équations suivant :

$$ax + gy + hz = \text{le prix de la denrée}$$

$$a'x + g'y + h'z = \quad \quad \quad "$$

$$a''x + g''y + h''z = \quad \quad \quad "$$

On en tire la valeur de x, y, z .

On peut également poser x = le prix de la matière azotée digestible, alors a devra indiquer le taux de matière azotée digestible.

Il arrive parfois que le système d'équations donne des résultats négatifs, aussi la méthode n'est-elle pas applicable dans tous les cas ; nous avons vu du reste qu'elle nécessitait au moins l'analyse de trois échantillons différents du même produit.



TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS	5

CHAPITRE PREMIER

Analyse immédiate

1. Analyse immédiate	15
2. Principes immédiats à doser dans les substances complexes d'origine végétale. . .	19
3. Dosage des matières solubles dans l'eau .	31

CHAPITRE II

Matières minérales

4. Combinaisons des matières minérales . .	35
5. Dosage des nitrates et de l'ammoniaque .	41

CHAPITRE III

Matières azotées organiques

6. Dosage de l'azote organique total. . . .	44
7. Dosage des albuminoïdes et des peptones.	51
8. Composition immédiate des albuminoïdes .	55
9. Dosage des nucléines ; digestions artificielles	61
10. Dosage des matières azotées organiques non albuminoïdes.	66
11. Résumé de l'analyse des matières azotées	71



CHAPITRE IV

Matières grasses

	Pages
12. Dosage des matières grasses brutes. . .	74
13. Composition immédiate des matières grasses brutes	84

CHAPITRE V

Matières hydrocarbonées

14. Composition immédiate des hydrocarbonés	94
15. Procédés d'extraction des sucres libres	111
16. Mode d'emploi de la liqueur de Fehling pour l'analyse pondérale des sucres	114
17. Dosage total des sucres libres réducteurs et non réducteurs	117
18. Dosage total des hydrocarbonés solubles dans l'eau	124
19. Dosage total de l'acide pectique	126
20. Dosage de l'amidon	128
21. Dosage de l'inuline.	135
22. Dosage total des sucres réducteurs résultant de l'hydrolyse ménagée	136
23. Dosage des pentoses	145
24. Dosage du galactose et du mannose	150
25. Dosage du lévulose	156
26. Dosage des fibres ligneuses brutes (procédé de Weende)	157
27. Hydrolyse des matières cellulosiques. Réactif de Schweitzer. Dosage de la lignine et de la vasculose.	164

CHAPITRE VI

Matières dites indéterminées

	Pages
28. Dosage total des acides organiques. . .	170

CHAPITRE VII

Compléments

29. Méthodes proposées pour les transactions commerciales	174
30. Valeur argent des aliments végétaux . .	177

MASSON & C^{ie}, Éditeurs
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)
P. n^o 262.

EXTRAIT DU CATALOGUE ⁽¹⁾
(Décembre 1904)

La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER
BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER
DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELÓ, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE
LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN
RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES

4 volumes richement cartonnés toile formant ensemble environ
3.600 pages, très largement illustrés de figures en noir et de planches
en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du tome III. 150 fr.
Chaque volume sera vendu séparément.

TOME PREMIER

1 fort vol. gr. in-8^o avec 230 figures en noir et 24 planches en couleurs.
Richement cartonné toile. . . . 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la
Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acan-
thosis Nigricans. — Acnés. — Actinomyose. — Adénomes. —
Alopécies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient.
— Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. —
Dermatites polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. —
Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

TOME II

1 fort vol. gr. in-8^o avec 168 figures en noir et 21 planches en couleurs.
Richement cartonné toile. . . . 40 fr.

Eczéma. — Electricité. — Eléphantiasis. — Epithélioma. — Eruptions
artificielles. — Erythème. — Erythrasma. — Erythrodermes. —
Esthiomène. — Favus. — Folliculites. — Furunculose. — Gale. —
Gangrène cutanée. — Gerçures. — Greffe. — Hématodermes. —
Herpès. — Hydroa vacciniiforme. — Ichtyose. — Impétigo. —
Kératodermie. — Kératose pileaire. — Langue.

TOME III (sous presse)

Lèpre. Lichen. — Lupus. — Lymphangiome. — Mycosis fongoiide.
Cedème. — Ongles. — Pelade. — Pemphigus. — Phtiriase. —
Pityriasis.

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes
les personnes qui lui en font la demande. — Catalogue général. — Catalogues
de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : I. Section de l'ingé-
nieur; II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE
FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

- TOME I.** — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.
RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.
- TOME II.** — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.
LEJARS. — Nerts.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.
- TOME III.** — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.
NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.
- TOME IV.** — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.
DELENS. — L'œil et ses annexes.
GÉRARD MARCHANT. — Nez, fosses
- TOME V.** — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.
BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.
HARTMANN. — Plancher buccal, glandes
- TOME VI.** — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.
MICHAUX. — Parois de l'abdomen.
BERGER. — Hernies.
JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.
- TOME VII.** 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.
WALTHER. — Bassin.
FORGUE. — Urètre et prostate.
RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.
- TOME VIII.** 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.
MICHAUX. — Vulve et vagin.
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.
SEGOND. — Annexes de l'utérus,
- QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.
RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.
LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes. nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires. des salivaires, œsophage et pharynx.
WALTHER. — Maladies du cou.
PEYROT. — Poitrine.
PIERRE DELBET. — Mamelle.
HARTMANN. — Estomac.
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.
HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.
SEGOND. — Foie.
RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.
TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres. Capsules surrénales.
KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — Cannieu — B. Cunéo — Paul Delbet
P. Fredet — Glantenay — Gosset — P. Jacques — Th. Jonnesco
E. Laguesse — L. Manouvrier — A. Nicolas — Nobécourt — O. Pasteau
M. Picou — A. Prenant — H. Rieffel — Ch. Simon. — A. Soulié

5 volumes grand in-8°. En souscription : 150 fr.

Chaque volume est illustré de nombreuses figures en noir et en couleurs.

ÉTAT DE LA PUBLICATION (DÉCEMBRE 1901)

- TOME PREMIER** (*Deuxième édition, revue et augmentée*). — **Embryologie.** Notions d'embryologie. — **Ostéologie.** Considérations générales, des membres, squelette du tronc, squelette de la tête. — **Arthrologie.** Développement des articulations, structure, articulations des membres, articulations du tronc, articulations de la tête. 1 vol. gr. in-8° avec 807 figures. 20 fr.
- TOME II** (*Deuxième édition revue et augmentée*). — 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Embryologie, histologie, peauciers et aponévroses. 1 vol. gr. in-8° avec 331 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Angéiologie.** Cœur et Artères. Histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 145 figures. 8 fr.
3^e Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** 1 vol. gr. in-8° avec 75 figures. 6 fr.
4^e Fascicule : **Les Lymphatiques** (sous presse).
- TOME III** (*Deuxième édition, revue et augmentée*). — 1^{er} Fascicule : **Système nerveux.** Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie. 1 vol. gr. in-8° avec 265 figures. 10 fr.
2^e Fascicule (*Deuxième édition, revue et augmentée*) : **Système nerveux.** Encéphale. 1 vol. grand in-8° avec 206 figures. . . . 12 fr.
3^e Fascicule : **Système nerveux.** Les nerfs, nerfs crâniens, nerfs rachidiens. 1 vol. gr. in-8° avec 203 figures. 12 fr.
- TOME IV.** 1^{er} Fascicule (*Deuxième édition, revue et augmentée*) : **Tube digestif.** Développement, bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestins. 1 vol. gr. in-8°, avec 201 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Appareil respiratoire.** Larynx, trachée, poumons, plèvre, thyroïde, thymus. 1 vol. gr. in-8°, avec 121 figures. . . 6 fr.
3^e Fascicule : **Annexes du tube digestif.** Dents, glandes salivaires, foie, voies biliaires; pancréas, rate, Péritoine. 1 vol. gr. in-8° avec 361 fig. en noir et en couleurs. 16 fr.
- TOME V.** 1^{er} Fascicule : **Organes génito-urinaires.** Reins, urètre, vessie, urètre, prostate, verge, périnée, appareil génital de l'homme, appareil génital de la femme. 1 vol. gr. in-8° avec 431 figures. . 20 fr.
2^e Fascicule : **Les Organes des Sens** (sous presse).

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine
de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine
de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 vol. gr. in-8°, av. fig., dans le texte. *En souscription.* 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME V

1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte. 18 fr.

Maladies du foie et des voies biliaires, par A. CHAUFFARD, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. — **Maladies du rein et des capsules surrénales**, par A. BRAULT, médecin des hôpitaux. — **Pathologie des organes hématopoétiques et des glandes vasculaires sanguines**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte d'Aubervilliers.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRISAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poulmon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poulmon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

Sous presse : Tome VIII.

Traité de Physiologie

PAR

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 50 fr.

- I. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
II. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excretion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

Sous presse : Système nerveux.

Traité de Chirurgie d'urgence

Par Félix LEJARS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'hôpital Tenon, Membre de la Société de Chirurgie.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8° de 1005 pages, avec 751 fig. dont 351 dessinées d'après nature, par le Dr DALEINE, et 172 photogr. origin. Relié toile. 25 fr.

Traité des

Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin des hôpitaux.

A.-B. MARFAN

Agréé, Médecin des hôpitaux

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité de Pathologie générale

Publié par Ch. BOUCHARD

Membre de l'Institut

Professeur de pathologie générale à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G.-H. ROGER

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, R. BLANCHARD, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÈRE, FRÉMY, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYEZ, LETELLE, LUBET-BARRON, MARFAN, MAYOR, MÉNÉTRIER, NETTER, PIERRET, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, RAYMOND, TRIPIER, VUILLEMIN, FERNAND VIDAL.

6 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

Prix en souscription jusqu'à la publication du t. VI. 120 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux. — Considérations générales sur les maladies des végétaux. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie. — L'hérédité et la pathologie générale. — Prédilection et immunité. — La fatigue et le surmenage. — Les Agents mécaniques. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante. — Les Agents chimiques : les caustiques. — Les intoxications.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

L'infection. — Notions générales de morphologie bactériologique. — Notions de chimie bactériologique. — Les microbes pathogènes. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses. — Des maladies épidémiques. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes. — Les parasites.

TOME III

1 vol. in-8° de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal. — Les troubles préalables de la nutrition. — Les réactions nerveuses. — Les processus pathologiques de deuxième ordre.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques. — De la fièvre. — L'hypothermie. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires. — Les désordres de la circulation dans les maladies. — Thrombose et embolie. — De l'inflammation. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires. — Les altérations anatomiques non inflammatoires. — Les tumeurs.

TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 46 fr.

Evolution des maladies. — Sémiologie du sang. — Spectroscopie du sang. Sémiologie. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal. — Sémiologie du larynx. — Sémiologie des voies respiratoires. — Sémiologie générale du tube digestif.

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie. — Pancréas. — Analyse chimique des urines. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique). — Le rein, l'urine et l'organisme. — Sémiologie des organes génitaux. — Sémiologie du système nerveux.

TOME VI

1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte (sous presse)

Les troubles de l'intelligence. — Sémiologie de la peau. — Sémiologie de l'appareil visuel. — Sémiologie de l'appareil auditif. — Considérations sur le diagnostic et le pronostic. — Diagnostic et pronostic. — Radiographie. — Hygiène. — Thérapeutique générale.

Traité de Physique Biologique

publié sous la direction de MM.

D'ARSONVAL

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut et de l'Académie
de médecine.

GARIEL

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Prof. à la Faculté de médecine de Paris
Membre de l'Académie de médecine.

CHAUVEAU

Profes. au Muséum d'histoire naturelle
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

MAREY

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut
et de l'Académie de médecine.

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription 60 fr.

TOME PREMIER

1 fort volume in-8°, avec 591 figures dans le texte. . . 25 fr.

Sous Presse : **Tome II**

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

Dr **CRITZMAN**, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 24. **L'Analgésie chirurgicale par voie rachidienne** (*Injections sous-arachnoïdiennes de cocaïne*). Technique, résultats, indications, par le Dr **TUFFIER**, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.
- N° 25. **L'Asepsie opératoire**, par **PIERRE DELBET**, chirurgien des hôpitaux, professeur agrégé à la Faculté de médecine, et **BIGEARD**, chef de clinique.
- N° 26. **Anatomie chirurgicale et médecine opératoire de l'Oreille moyenne**, par **AUG. BROCA**, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.
- N° 27. **Traitements modernes de l'Hypertrophie de la Prostata**, par le Dr **E. DESNOS**, ancien interne des hôpitaux.
- N° 28. **La Gastro-entérostomie**, par **MM. ROUX et BOURGET**, professeurs de l'Université à Lausanne.

Traité élémentaire de Clinique Thérapeutique

Par le D^r Gaston LYON

Ancien chef de Clinique médicale à la Faculté de Médecine de Paris.

QUATRIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 fort volume in-8° de 1.540 pages, cartonné toile : 25 francs.

Maladies de l'Estomac, *Traité pratique à l'usage des médecins et des étudiants*, par le D^r Max EINHORN, professeur de clinique médicale à l'École de médecine et à l'hôpital post-graduate de New-York, médecin du Dispensaire allemand. Traduit de l'anglais par le D^r FERRÉOL T. LABADIE (de New-York). 1 volume in-8° avec figures dans le texte. 8 fr.

Manuel de Thérapeutique, par Fernand BERLIOZ, professeur à l'École de médecine de Grenoble, directeur du Bureau d'Hygiène et de l'Institut sérothérapique. Avec une introduction de M. Ch. BOUCHARD, professeur de pathologie et de thérapeutique générales, médecin des hôpitaux. *Quatrième édition, revue et augmentée*. 1 vol. in-16 diamant, cartonné toile, tranches rouges. 6 fr.

Précis d'anatomie pathologique, par L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Lyon, médecin de l'Hôtel-Dieu. *Deuxième édition, revue et augmentée*, avec 125 figures dans le texte. 1 volume in-16 diamant, de XII-804 pages, cartonné toile, tranches rouges 7 fr. 50

Leçons sur les maladies du sang (*Clinique de l'Hôpital Saint-Antoine*), par Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, recueillies par MM. E. PARMENTIER, médecin des hôpitaux, et R. BENSANUDE, chef du laboratoire d'anatomie pathologique à l'hôpital Saint-Antoine. 1 vol. in-8°, broché, avec 4 planches en couleurs, par M. KARMANSKI 15 fr.

Précis d'Histologie, par Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine. *Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages 18 fr.

Traité de Microbiologie, par E. DUCLAUX, membre de l'Institut de France, directeur de l'Institut Pasteur, professeur à la Sorbonne et à l'Institut national agronomique. 1 vol. gr. in-8°.

I. Microbiologie générale. — II. Diastases, toxines et venins. — III. Fermentation alcoolique. — IV. Fermentations variées des diverses substances ternaires.

Chaque volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . 15 fr.

Manuel de Pathologie externe, par MM. RECLUS, KIR-
MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de
médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. Édition complète
illustrée de 720 figures. 4 volumes in-8°. 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu, par
Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté
de médecine, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de
l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs M. CAZIN, chef
de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des tra-
vaux gynécologiques. *Troisième série.* 1 vol. gr. in-8° avec fig. 8 fr.

Éléments de Chimie physiologique, par Maurice
ARTHUS, professeur de physiologie et de chimie physiologique à
l'Université de Fribourg. *Troisième édition revue et augmentée.* 1 vol.
in-16, avec fig. dans le texte, cartonné toile, tr. rouges . . . 4 fr.

Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie,
par P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine de
Paris, médecin de l'hôpital Tenon. Préface de M. Mathias DUVAL,
professeur d'Histologie à la Faculté de Paris, membre de l'Académie
de médecine. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 vol. in-16
diamant, cartonné toile avec 261 figures dans le texte . . . 8 fr.

Manuel de Pathologie interne, par Georges DIEULAFOY,
professeur de Clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris,
médecin de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine. *Trei-
zième édition entièrement refondue et considérablement augmentée.*
4 vol. in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs, cartonnés
à l'anglaise, tranches rouges. 28 fr.

Un progrès de l'Hydrothérapie. *Examen et critique des
systèmes de Priessnitz et de Kneipp.* Exposé fait pour la première
fois d'après les documents authentiques, par le Dr Alfred BAUM-
GARTEN, directeur de l'Etablissement de Wörishofen. Traduction
française par le Dr ERNEST BONNAYMÉ, de Lyon. 1 vol. in-8° br. 6 fr.

LES

Maladies Infectieuses

PAR

G.-H. ROGER

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris
Médecin de l'hôpital de la porte d'Aubervilliers, Membre de la Société de Biologie

1 volume in-8° de 1.480 pages publié en 2 fascicules avec figures
dans le texte. 28 fr.

Éléments de Physiologie

PAR

Maurice ARTHUS

Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille.

1 vol. in-16 de la Bibliothèque Diamant, avec figures dans le texte,
cartonné toile 8 fr.

LES MALADIES DU CUIR CHEVELU

I. MALADIES SÉBORRHÉIQUES

Séborrhée, Aenés, Calvitie

Par le **D^r R. SABOURAUD**

Chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint Louis
Membre de la Société de Dermatologie.

1 vol. in-8°, avec 94 figures dans le texte dont 40 aquarelles
en couleurs 10 fr.

Traité d'Hygiène

PAR

A. PROUST

Professeur d'Hygiène à la Faculté de médecine de l'Université de Paris
Médecin honoraire de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine, du Comité consultatif d'hygiène publique
de France et du Conseil supérieur des habitations à bon marché
Inspecteur général des Services sanitaires.

TROISIÈME ÉDITION

revue et considérablement augmentée

AVEC LA COLLABORATION DE

A. NETTER

et

H. BOURGES

Professeur agrégé à la Faculté
de médecine
Médecin de l'hôpital Trousseau
Membre du Comité consultatif d'hygiène
publique de France.

Chef du laboratoire d'hygiène
à la Faculté de médecine
Chef du laboratoire à l'hôpital Trousseau
Auditeur du Comité consultatif
d'hygiène publique de France.

Ouvrage couronné par l'Institut et la Faculté de médecine

1 vol. in-8°, avec figures et cartes dans le texte, publié en 2 fascicules.
En souscription. 18 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
-et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le Dr SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le Dr CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNE-LONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le Dr VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le Dr LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

Traité

DE

Chimie industrielle

Par R. WAGNER et F. FISCHER

QUATRIÈME ÉDITION FRANÇAISE ENTIÈREMENT REFONDUE

Rédigée d'après la quinzième édition allemande

par le D^r L. GAUTIER

2 vol. grand in-8° avec de nombreuses figures dans le texte

En souscription. 30 fr.

Dans cette quatrième édition, l'ouvrage a subi un remaniement si complet et si profond qu'on peut le considérer comme un livre nouveau, absolument au niveau des progrès de la science et répondant de la manière la plus complète aux besoins de l'industrie chimique actuelle. Tous les perfectionnements de la chimie technologique y sont exposés avec tous les développements qu'ils comportent et afin de rendre encore plus facile l'intelligence du texte, de nombreuses figures nouvelles ont été introduites.

Ainsi refondue et mise au courant, nous espérons que la nouvelle édition française de la *Chimie industrielle* recevra de la part du public un accueil aussi favorable que celui qui a été fait aux éditions précédentes.

Charles Gerhardt. *Sa vie, son Œuvre, sa Correspondance (1816-1856).* Document d'Histoire de la Chimie, par MM. Edouard Grimaud, de l'Institut et Charles Gerhardt, ingénieur. 1 vol. in-8° de xi-595 p. avec portrait. 15 fr.

Le Constructeur, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par F. Reuleaux. *Troisième édition française*, par A. Debize, ingénieur des manufactures de l'Etat. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par R. Frésenius. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Neuvième édition française* d'après la 16^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative, par R. Frésenius. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6^e édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . 16 fr.

Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse, par **J. RIBAN**, professeur Chargé du cours d'Analyse chimique et maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 96 figures dans le texte 9 fr.

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux, par **Charles GIRARD**, directeur du Laboratoire municipal de la Ville de Paris, et **Lucien CUNIASSE**, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile 7 fr.

Chimie Végétale et Agricole (Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889), par **M. BERTHELOT**, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, professeur au Collège de France. 4 volumes in-8° avec figures dans le texte . . . 36 fr.

Précis de Chimie analytique, Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais, par **J.-A. MULLER**, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché. 3 fr.

COURS PRÉPARATOIRE AU CERTIFICAT

D'ÉTUDES PHYSIQUES, CHIMIQUES & NATURELLES (P.C.N.)

Cours élémentaire de Zoologie, par **Rémy PERRIER**, maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris, chargé du Cours de Zoologie pour le Certificat d'études P. C. N. *Nouvelle édition*, entièrement revue. 1 volume in-8° avec 693 figures dans le texte, relié toile 10 fr.

Traité des Manipulations de Physique, par **B.-C. DAMIEN**, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille, et **R. PAILLOT**, agrégé, chef des Travaux pratiques de physique à la Faculté des Sciences de Lille. 1 vol. in-8° avec 246 fig. 7 fr.

Eléments de Chimie organique et de Chimie biologique, par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. 1 volume in-16. . . 2 fr.

Eléments de Chimie des métaux, par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**, professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier. 1 volume in-16 2 fr.

Eléments de Botanique, par **Ph. VAN TIEGHEM**, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. *Troisième édition*, revue et augmentée. 2 volumes in-16 de 1.170 pages avec 580 figures, cartonnés toile 12 fr.

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig. cartes et croquis . . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de VIII-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 3 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes (Bretagne aux Vosges. — Belgique à Auvergne). 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XX-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de XII-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de XVI-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché 2 fr. 50

Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

- Le Cantal,** par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Louis FARGES, archiviste-paléographe. 1 volume in-16 avec 85 dessins et photographies, et 2 cartes en coul., relié toile anglaise. 4 fr. 50
- La Lozère,** par Ernest CORD, ingénieur-agronome, Gustave CORD, docteur en droit, avec la collaboration de M. Armand VIRÉ, docteur ès sciences. 1 vol. in-16 avec 87 dessins et photographies et cartes en couleurs. 4 fr. 50
- Le Puy-de-Dôme et Vichy,** par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE, ancien président de l'Académie de Clermont. 1 vol. in-16, avec 109 dessins ou photographies et 3 cartes en couleur. Cartonné toile. 4 fr. 50

~~~~~  
Pour paraître en mai 1902 : La Haute-Savoie.

## MISSION SAHARIENNE FOUREAU-LAMY

## D'Alger au Congo par le Tchad

Par F. FOUREAU

Lauréat de l'Institut.

1 fort volume in-8°, avec 170 figures reproduites directement d'après les photographies de l'auteur, et une carte en couleurs des régions explorées par la Mission.

Broché : 12 francs. — Richement cartonné : 15 francs.

## Traité de Zoologie

Par Edmond PERRIER

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

|                                                                                                               |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte. . . . .           | 12 fr. |
| FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures. . . . .            | 10 fr. |
| FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures. . . . .                         | 8 fr.  |
| Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures. . . . . | 30 fr. |
| FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte. . . . .     | 16 fr. |
| FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte. . . . .     | 6 fr.  |
| FASCICULE VI : Vertébrés. (Sous presse).                                                                      |        |

## PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

Recettes et Procédés utiles, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Neuvième édition.

Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique, par Gaston TISSANDIER. Cinquième édition, avec figures dans le texte.

Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série, par Gaston TISSANDIER. Quatrième édition, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Quatrième série, par Gaston TISSANDIER. Troisième édition, avec 38 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Cinquième série, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Septième édition des *Récréations scientifiques*. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon). Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

# LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

**Société de Géographie**

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.  
ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. Cette publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique, rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde fait connaître, dans le plus bref délai, toutes les nouvelles reçues des voyageurs en mission par la Société de Géographie, et présente un résumé des renseignements fournis par les publications étrangères : elle constitue, en un mot, un résumé du *mouvement géographique* pour chaque mois.

# La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

*des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —  
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50,  
— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisées avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui trouvent chaque jour des applications nouvelles et modifient sans cesse les conditions de notre vie.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Casse-to. — 552.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS  
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6<sup>e</sup>).

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

## TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE

PAR

**ALHEILIG,**  
Ingénieur de la Marine.

**Camille ROCHE,**  
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : avec 412 figures; 1895 ..... 20 fr.  
TOME II : avec 281 figures; 1895 ..... 18 fr.

## CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

**E. DEHARME,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>er</sup> aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

## CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

**E. DEHARME,**  
Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**  
Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>er</sup> aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8 de vi-608 p., avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E. I.). 15 fr.

## TRAITÉ PRATIQUE

DES

## CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

ET DES

## TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON,**

Ingénieur, Chef de traction à la G<sup>ie</sup> générale des Omnibus de Paris.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

1

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par **Lucien GESCHWIND**, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de VIII-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

## COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **C. BRICKA**,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

## COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P).. 20 FR.

## CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

## ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **Al. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

## VERRE ET VERRERIE

PAR

**Léon APPERT** et **Jules HENRIVAUX**, Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS  
TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-  
tures nationales  
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique  
et de Chimie industrielles  
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-  
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

ET

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE MATHÉMATIQUE DE L'ÉLASTICITÉ

Par Aug. FÖPPL,

Professeur à l'Université technique de Munich.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR E. HAHN,

Ingénieur diplômé de l'École Polytechnique de Zurich.

GRAND IN-8, DE 489 PAGES, AVEC 74 FIG.: 1901 (E. I.)... 15 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par A. CRONEAU,

Ingénieur de la Marine,

Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.):

TOME I : avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4°; 1894..... 18 fr.

TOME II : avec 359 fig.; 1894..... 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES  
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par Ernest HENRY,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

CHEMINS DE FER.

## EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

**SCHÉLLER,**

Chef adjoint des Services commerciaux  
à la Compagnie du Nord.

**FLEURQUIN,**

Inspecteur des Services commerciaux  
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

## TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES.

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

## MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **J. HIRSCH,**

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,  
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2<sup>e</sup> édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

## LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT,**

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU  
VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCO-  
NOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

## TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,  
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1896 (E. I.).

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig. 1896. 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1<sup>re</sup> partie; 1893; 10 fr. 2<sup>e</sup> partie; 1898; 10 fr.

## MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR, PAR

**P. PETIT**,

Prof<sup>r</sup> à la Faculté des Sciences de Nancy,  
Directeur de l'École de Brasserie.

**J. JAQUET**,

Ingénieur civil.

Grand in-8 de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. L.)... 7 fr.

## COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ingr et Prof<sup>r</sup> à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.).... 12 fr.

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES

## ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. L.)..... 10 fr.

## TRAITÉ DES FOURS A GAZ

A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par **Friedrich TOLDT**,

Ingénieur, Professeur à l'Académie impériale des Mines de Leoben.

TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2<sup>e</sup> ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par **F. DOMMER**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. L.) 11 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par E. ROUCHÉ et L. LÉVY.

2 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES (E. T. P.) :

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*..... (Sous presse.)

# COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. COLSON,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État.

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.) :

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOMES II et III..... (Sous presse.)

# COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUNDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

(\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.

2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

(\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.

(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.

3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures ..... 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.  
(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.  
3<sup>e</sup> fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3<sup>e</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.  
4<sup>e</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique.* In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

- 1<sup>er</sup> SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.  
2<sup>e</sup> SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules; Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.

LEÇONS

D'ÉLECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE

PROFESSÉES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Par P. JANET,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,  
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 307 FIGURES; 1900..... 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

## D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES,  
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. C. N.).

Par **Ch. FABRY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

## MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT**,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,  
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure  
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103<sup>r</sup> FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

RAPPORTS

PRÉSENTÉS AU

## CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI A PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICES DE LA SOCIÉTÉ  
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

**Ch.-Éd. GUILLAUME** et **L. POINCARÉ**,

Secrétaires généraux du Congrès.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1900..... 50 FR.

On vend séparément :

- TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Physique moléculaire*..... 18 fr.  
TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.  
TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cosmique. Physique biologique*..... 18 fr.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE

**NOUVELLES TABLES DE LOGARITHMES  
A CINQ DÉCIMALES**

POUR LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES  
DANS LES DEUX SYSTÈMES DE LA DIVISION **CENTÉSIMALE**  
ET DE LA DIVISION **SEXAGÉSIMALE** DU QUADRANT  
ET POUR LES NOMBRES 1 A 12000.

*Edition spéciale à l'usage des Candidats aux Écoles Polytechnique  
et de Saint-Cyr.*

UN VOLUME GRAND IN-8; 1901, CARTONNÉ..... 3 FR.

**LEÇONS SUR LA THÉORIE DES GAZ**

**Par L. BOLTZMANN,**  
Professeur à l'Université de Leipzig.

TRADUITES PAR A. GALLOTTI, ancien Élève de l'École Normale;  
AVEC UNE *Introduction* ET DES *Notes*  
PAR M. BRILLOUIN, Professeur au Collège de France.

1<sup>re</sup> PARTIE. GRAND IN-8 DE XIX-204 PAGES AVEC FIGURES; 1902. 8 fr.

**LA CONVENTION DU MÈTRE  
ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.**

**Par Ch.-Ed. GUILLAUME,**  
Directeur adjoint du Bureau International des Poids et Mesures.

UN VOLUME IN-4, AVEC NOMBREUSES FIGURES; 1901... 7 FR. 50 C.

**LEÇONS SUR LES MOTEURS A GAZ  
ET A PÉTROLE,**

FAITES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX,  
**Par L. MARCHIS,**  
Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

UN VOLUME IN-16 DE L-175 PAGES AVEC 19 FIGURES; 1901. 2 FR. 75 C.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE  
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,  
Directeur de cet Institut.

6<sup>e</sup> ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

- TOME I: *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques; avec 388 figures; 1900*..... 12 fr.
- TOME II: *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle; avec 387 figures; 1900*..... 12 fr.

## TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Éric GÉRARD**,

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

## MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Éric GÉRARD**,

2<sup>e</sup> édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

## LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR **LOUIS BARBILLION**,  
ET UNE PRÉFACE DE **CH.-ED. GUILLAUME**.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

## TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,  
Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

# TRAITÉ D'ANALYSE

Par **Émile PICARD**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infiniésimal. 2<sup>e</sup> édition, revue et corrigée; 1901..... 16 fr.

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... 15 fr.

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Équations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... 18 fr.

TOME IV : Équations aux dérivées partielles..... (En préparation.)

## LEÇONS

# SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

TOME I : *Exposé de la théorie des ensembles et applications*; 1898... 3 fr. 50 c.

TOME II : *Leçons sur les fonctions entières*; 1900..... 3 fr. 50 c.

TOME III : *Leçons sur les séries divergentes*; 1901..... 4 fr. 50 c.

TOME IV : *Leçons sur les séries à termes positifs*, professées au Collège de France; 1902..... 3 fr. 50 c.

# ANNALES CÉLESTES DU XVII<sup>e</sup> SIÈCLE

Par **A.-G. PINGRÉ**.

OUVRAGE PUBLIÉ SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PAR **G. BIGOURDAN**, ASTRONOME TITULAIRE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

In-4 de xi-628 pages; 1901..... 40 fr.

## LE SYSTÈME MÉTRIQUE

# DES POIDS ET MESURES

SON ÉTABLISSEMENT ET SA PROPAGATION GRADUELLE

Par **G. BIGOURDAN**,

Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.

Petit in-8 en caractères elzéviens, titre en 2 couleurs, 17 figures et 10 planches ou portraits; 1901..... 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

GUIDE PRATIQUE

POUR LES

CALCULS DE RÉSISTANCE

DES

CHAUDIÈRES A VAPEUR ET L'ESSAI DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS,

Publié par l'Union Internationale des Associations de surveillance d'Appareils à vapeur,

TRADUIT SUR LA 7<sup>e</sup> ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUIN**, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Capitaine d'Artillerie,

**E. MAIRE**, Ingénieur E. C. P., Directeur de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est,

Avec la collaboration de **H. WALTHER MEUNIER**, Ingénieur E. C. P., Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur.

Un volume in-12 raisin, avec 10 figures; 1901..... 2 fr. 75 c.

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,

à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.

TOME II..... (En préparation.)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par **H. PELLAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures; 1901..... 10 fr.

TOME II : (Sous presse.) — TOME III : (En préparation.)

ESSAI SUR LES

FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Par **B.-A.-W. RUSSELL**,

Traduction par **C. CADENAT**, revue et annotée par l'Auteur et par **Louis COUTURAT**.

Grand in-8, avec 11 figures; 1901..... 9 fr.

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES.

## THÉORIE ANALYTIQUE DE LA CHALEUR

MISE EN HARMONIE AVEC LA THERMODYNAMIQUE  
ET AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA LUMIÈRE.

Par **J. BOUSSINESQ**,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Deux volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : *Problèmes généraux*. Vol. de xxvii-333 p.; av. 14 fig.; 1901. 10 fr.

TOME II : *Échauffement par contact et échauffement par rayonnement. Conductibilité des aiguilles, lames et masses cristallines. Courants de convection. Théorie mécanique de la lumière* :..... (Sous presse.)

## LES CARBURES D'HYDROGÈNE (1851-1901)

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

Par **M. BERTHELOT**,

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

3 volumes grand in-8, se vendant ensemble..... 45 fr.

TOME I : *L'Acétylène : synthèse totale des carbures d'hydrogène*. Volume de x-414 pages. — TOME II : *Les Carbures pyrogénés. — Séries diverses*. Volume de iv-558 pages. — TOME III : *Combinaison des carbures d'hydrogène avec l'hydrogène, l'oxygène, les éléments de l'eau*. Vol. de iv-459 pages.

**GUSTAVE ROBIN**,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

## ŒUVRES SCIENTIFIQUES

réunies et publiées sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique,

Par **Louis RAFFY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

MATHÉMATIQUES : *Nouvelle théorie des fonctions exclusivement fondée sur l'idée de nombre*. Un volume grand in-8..... (Sous presse.)

PHYSIQUE : Un volume grand in-8, en deux fascicules :

*Physique mathématique*. Grand in-8; 1899..... 5 fr.

*Thermodynamique générale*. Grand in-8; 1901..... 9 fr.

CHIMIE : *Leçons de Chimie physique, professées à la Faculté des Sciences de Paris*. Un volume in-8..... (En préparation.)

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## A B C DE LA PHOTOGRAPHIE MODERNE,

Par W.-K. BURTON.

5<sup>e</sup> édition. Traduction sur la 1<sup>re</sup> édition anglaise, par G. HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 3 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS,

PAR LA MÉTHODE INTERFÉRENTIELLE DE M. LIPPMANN.

Par A. BERGET.

2<sup>e</sup> édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec fig.; 1901... 1 fr. 75 c.

## FABRICATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE,

Par BURTON. — Traduction par HUBERSON.

In-18 jésus, avec figures; 1901..... 0 fr. 50 c.

## REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.

Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

## LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

**TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,**

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.  
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1<sup>er</sup> Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2<sup>e</sup> Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

**LA PHOTOGRAPHIE D'ART**

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900.

Par C. KLARY.

Grand in-8 de 88 pages, avec nombreuses illustrations et planches; 1901..... 6 fr. 50 c.

**LA PHOTOTYPIE POUR TOUS**

ET SES APPLICATIONS DIRECTES

AUX TIRAGES LITHOGRAPHIQUES ET TYPOGRAPHIQUES.

Par L. LAYNAUD.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

**L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,**

ÉTUDE PRATIQUE. EXAMEN. ESSAI. CHOIX ET MODE D'EMPLOI.

Par P. MOËSSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,  
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 116 figures et 1 planche; 1899..... 6 fr. 50 c.

**MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,**

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine  
de Bordeaux.

3<sup>e</sup> ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

**LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,**

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

**ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE,**

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ PRATIQUE  
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES  
A L'USAGE DES AMATEURS,

Par E. TRUTAT.

2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 2 vol. in-18 jésus..... 5 fr.

On vend séparément :

I<sup>re</sup> PARTIE : *Obtention des petits clichés*, avec 81 figures; 1900.... 2 fr. 75 c.  
II<sup>e</sup> PARTIE : *Agrandissements*, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE  
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900 .... 6 fr. 50 c.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE  
EN 1899.

Brochures in-8; 1899. — On vend séparément :

- LA PHOTOCOLLOGRAPHIE, par G. BALAGNY..... 1 fr. 25 c.  
LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE, par R. COLSON.. 1 fr.  
CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.  
LA MÉTROPHOTOGRAPHIE, avec 17 figures et 2 planches, par le Colonel A. LAUSSE DAT..... 2 fr. 75 c.  
LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS, avec 29 figures, par Albert LONDE..... 1 fr. 50 c.  
LA CHRONOPHOTOGRAPHIE, avec 23 fig., par MAREY. 1 fr. 50 c.  
LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE, avec 19 figures, par H. MEYER-HEINE..... 1 fr. 50 c.  
LA MICROPHOTOGRAPHIE, avec 3 planches en couleur, par MONPILLARD..... 2 fr. 50 c.  
SUR LES PROGRÈS RÉCENTS ACCOMPLIS AVEC L'AIDE DE LA PHOTOGRAPHIE DANS L'ÉTUDE DU CIEL; avec 2 planches, par P. PUISEUX..... 2 fr.  
LA PHOTOGRAPHIE DES MONTAGNES, à l'usage des alpinistes, avec 19 figures, par J. VALLOT..... 1 fr. 75 c.  
LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAVURE, avec 21 figures et 2 planches, par Léon VIDAL..... 1 fr. 75 c.  
LE RÔLE DES DIVERSES RADIATIONS EN PHOTOGRAPHIE, avec 8 figures, par P. VILLARD..... 1 fr.  
LES AGRANDISSEMENTS, avec fig., par E. WALLON. 1 fr. 75 c.

31232. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (24 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

## Derniers ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- PICOT. — Distribution de l'électricité. (2 vol.). — Canalisations électriques.
- DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Calorimétrie. — II. Dynamique.
- A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Déteinte variable de la vapeur. — Epures de régulation.
- AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.
- H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
- BERTIN. — État de la marine de guerre.
- BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.
- DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
- GUILLEAUME. — Unités et étalons.
- WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
- MINEL (P.). — Electricité industrielle. (2 vol.). — Electricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
- HEBERT. — Boissons falsifiées.
- NAUDIN. — Fabrication des vernis.
- SINGAGLIA. — Accidents de chaudières.
- VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
- BLOCH. — Eau sous pression.
- DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).
- PEUD'HOMME. — Teinture et impression.
- SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.
- DE BILLY. — Fabrication de la fonte.
- HENNRBERT (C). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.
- CASPARI. — Chronomètres de marine.
- LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
- DUDEBOIT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
- C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.
- H. LÉAUTÉ et A. BERARD. — Transmissions par câbles métalliques
- HATT. — Les marées.
- H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie. — III. Opérations financières.
- C. VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.).
- LELOUTER. — Machines à vapeur.
- I. Fonctionnement. — II. Echappement.

### Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
- MAGNAN et SÉRIEX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.
- AUVARD. — I. Séméiologie péritale. — II. Menstruation et fécondation.
- G. WEISS. — Electro-physiologie.
- BAZY. — Maladies des voies urinaires. (4 vol.).
- TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.
- FÈRE. — Epilepsie.
- LAYERAN. — Pseudisme.
- POLIN et LABIT. — Aliments suspects.
- BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.
- MEGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.
- DEMELIN. — Anatomie obstétricale.
- TB. SCHLÆSING fils. — Chimie agricole.
- CUENOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.
- A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
- BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
- CHARRIN. — Poisons de l'organisme (3 vol.).
- ROGER. — Physiologie du foie.
- BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).
- HANOT. — De l'endocardite aiguë.
- DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
- BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.
- DU CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.
- LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières.
- KÄHLER. — Applications de la photographie aux sciences naturelles.
- BEAUREGARD. — Le microscope.
- LESAGE. — Le choléra.
- LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
- CORNÉVIN. — Production du lait.
- J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 vol.).
- CASTEX. — Hygiène de la voix.
- MERKLEN. — Maladies du cœur.
- G. ROCHE. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.
- OLLIER. — I. Résections sous-périostées. — II. Résections des grands articulations.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

## Derniers ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- DARIÈS.** — Cubature des terrasses. — Conduites d'eau. — Calcul des canaux.
- SIDERSKY.** — I. Polarisation et saccharimétrie. — II. Constantes physiques.
- NIENKOWSKI.** — Applications scientifiques et industrielles de la photographie (2 vol.). — Chimie des manipulations photographiques (2 vol.)
- ROCQUES (X.).** — Alcools et eaux-de-vie. — Le Cidre.
- MOISSARD.** — Topographie.
- BOURSAULT.** — Calcul du temps de pose. — Eaux potables et industrielles.
- SEGUELA.** — Les tramways.
- LEFEVRE (J.).** — I. La spectroscopie. — II. La spectrométrie. — III. Eclairage électrique. — IV. Eclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras. — Liquéfaction des gaz.
- BARILLOT (E.).** — Distillation des bois.
- MOISSAN et OUVIARD.** — Le nickel.
- URBAIN.** — Les succédanés du chiffon en papeterie.
- LOPPE.** — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.
- ARIÈS.** — I. Chaleur et énergie. — II. Thermodynamique.
- FABRY.** — Piles électriques.
- HENRIET.** — Les gaz de l'atmosphère.
- DUMONT.** — Electromoteurs. — Automobiles sur rails.
- MINET (A.).** — I. L'électro-metallurgie. — II. Les fours électriques. — III. L'électro-chimie. — IV. L'électrolyse. — V. Analyses électrolytiques.
- DUFOUR.** — Tracé d'un chemin de fer.
- MIRON (F.).** — Les huiles minérales.
- BORNECQUE.** — Armement portatif.
- LAVERGNE.** — Les turbines.
- PERISSE.** — Automobiles sur routes.
- LECORNU.** — Régularisation du mouvement dans les machines.
- LE VERRIER.** — La fonderie.
- MEYRIG.** — Statique graphique (2 vol.).
- LAURENT (P.).** — Débouchement des bouches à feu. — Résistance des bouches à feu.
- JAUBERT.** — Goudron de houille. — Matières colorantes. — Matières odorantes. — Produits aromatiques. — Parfums comestibles.
- ELERC.** — Photographie des couleurs.
- GOUBÉ DE VILLEMONTÉ.** — Résistance électrique.
- LADRE.** — Essai des huiles essentielles.
- VANUTBERGH.** — Exploitation des forêts (2 vol.).
- VIGNERON ET STRUBLE.** — Mesures électriques.
- OZI-ESCOU.** — Analyse chimique (2 v.).
- REBOZ.** — Essai des matières textiles.

### Section du Biologiste

- LETULLE.** — Pus et suppuration.
- CRIFEMAN.** — Le cancer. — La goutte.
- ARMAND GAUTIER.** — La chimie de la cellule vivante.
- SÉGLAS.** — Le délire des négations.
- STANISLAS MEUNIER.** — Les météorites.
- GREHANT.** — Les gaz du sang.
- NOCARD.** — Les tuberculeuses animales et la tuberculose humaine.
- MOUSSOUS.** — Maladies congénitales du cœur.
- BERTHAULT.** — Les prairies (3 vol.).
- TROUSSART.** — Parasites des habitations humaines.
- LAMY.** — Syphilis des centres nerveux.
- RECLUS.** — La cocaïne en chirurgie.
- THOULET.** — Océanographie pratique.
- HOUDAILLE.** — Météorologie agricole.
- VICTOR MEUNIER.** — Sélection et perfectionnement animal.
- HÉNOCQUE.** — Spectroscopie biol.
- GALIPPE et BARRÉ.** — Le pain (2 v.).
- LE DANTEC.** — I. La matière vivante. — II. La bactérie carbonneuse. — III. La forme spécifique.
- L'HÔTE.** — Analyse des engrais.
- LARBALETRIER.** — Les tourteaux. — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.). — Beurre et margarine.
- LE DANTEC et BÉRARD.** — Les sporozoaires.
- DEMMER.** — Soins aux malades.
- DALLEMAGNE.** — La criminalité (3 vol.). — La volonté (3 vol.).
- BRAUT.** — Des artérites (2 vol.).
- RAVAZ.** — Reconstitution du vignoble.
- EHLERS.** — L'ergotisme.
- BONNIER.** — L'oreille (5 vol.).
- DESMOULINS.** — Conservation des produits et denrées agricoles.
- LOVERDO.** — Le ver à soie.
- DUBREUIL et BEILLE.** — Les parasites animaux de la peau humaine.
- KATSER.** — Les levures.
- COLLET.** — Troubles auditifs des maladies nerveuses. — Laryngoscopie.
- LOUBIÉ.** — Essences forestières (2 vol.).
- MONOD.** — L'appendicite.
- DELOBEL et COZETTE.** — La vaccine.
- WURTZ.** — Technique bactériologique.
- BADY.** — L'occlusion intestinale.
- LAULANIE.** — Énergétique musculaire.
- MALPEAUX.** — La pomme de terre.
- GIRAudeau.** — Péricardites.
- BERTHELOT (M.).** — Chaleur animale (2 vol.).
- MAURANGE (G.).** — Péritonite tuberculeuse.
- MARTIN (O.).** — La fièvre typhoïde.