

mais il est fort impur. Si on prend le soin d'agiter, à de nombreuses reprises, le chloroforme limpide avec de l'eau distillée, celle-ci entraîne des matières brunes. Lorsque après avoir fait ces lavages à l'eau jusqu'à disparition de leur acidité et si on les continue avec une solution de soude au millième, le chloroforme cède de nouvelles matières colorantes jaunes ou orangées. Après ces épauements successifs, on a enlevé de l'extrait chloroformique les matières colorantes solubles dans l'eau, soit en milieu acide, soit en milieu alcalin : ce sont les « couleurs aqueuses ».

L'extrait chloroformique est alors pur et représente quelque chose de défini, car il est composé essentiellement de deux matières colorantes indoxyliques : l'indigotine et l'indirubine. Suivant les proportions relatives des deux couleurs, bleu et rouge, le chloroforme peut présenter une foule de teintes, allant du bleu indigo pur au rouge-rubis ; en passant par toute la gamme des nuances violettes, mauves et pourpréses.

L'étude chimique des substances indoxyliques urinaires se trouve donc simplifiée et il est fort probable, comme le dit Maillard, qu'une étude minutieuse des « couleurs aqueuses » conduirait à des simplifications analogues à celles qu'a fournies à cet auteur l'étude des « couleurs chloroformiques ».

## VII. — CARBONE URINAIRE TOTAL

**Dosage du carbone urinaire total.** — Le professeur Bouchard a appelé l'attention des cliniciens sur l'utilité de la connaissance du carbone urinaire total. Cette détermination permettra, comme on le verra quand nous traiterons des urines pathologiques, de formuler des conclusions importantes sur les échanges nutritifs et, en particulier, de déceler un trouble dans leur fonctionnement. Nous aurons alors recours aux différents rapports urologiques (Voir p. 149), et spécialement au rapport qui existe entre le carbone total et l'azote total, ce qui rendra possible la mesure de l'énergie fonctionnelle du foie et facilitera l'établissement d'un diagnostic.

La détermination du carbone urinaire par les procédés analytiques ordinaires, c'est-à-dire par la combustion du résidu de l'évaporation de l'urine, au moyen de la méthode de Dumas, n'était pas à la portée des physiologistes et encore moins des cliniciens. En outre, il fallait autant que possible recourir à une méthode dans laquelle on n'eût pas à faire évaporer l'urine, opération qui, faite à l'air libre, entraîne le dédoublement de certaines substances, telles que l'urée et les bicarbonates.

A. Desgrez a donné un procédé qui supprime cette évaporation et met à la portée de tous la pratique du dosage. Il a très heureusement mis à profit la technique, indiquée la première fois par Ullgren pour le dosage du carbone des fontes, et il l'a modifiée en vue des dosages physiologiques.

Voici ce manuel opératoire tel que Desgrez l'a donné :

On introduit 10 grammes d'acide chromique dans un ballon B de 100 centimètres cubes à large col rodé intérieurement. Ce col est légèrement relevé autour du bouchon, de manière à former une petite rigole que l'on remplit d'acide sulfurique, pour assurer une fermeture rigoureuse (*fig. 9*). Le bouchon de verre, également rodé, qui s'adapte sur le col du ballon, livre passage :

1° A un réfrigérant à boules R, disposé à reflux, c'est-à-dire verticalement et destiné à condenser la vapeur d'eau qui se dégage des produits en réaction ;

2° A un tube recourbé à angle droit T qui amène, vers la fin de l'opération, le courant d'air nécessaire pour entraîner l'acide carbonique resté dans l'appareil ;

3° A un tube à brome *b* qui permet d'introduire 10 centimètres cubes d'urine et, par fractions, 25 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré.

On chauffe doucement le ballon sur un bec Bunsen allumé en veilleuse, de manière à pouvoir compter les bulles d'acide carbonique, et à n'élever la température jusqu'à l'ébullition du mélange, que vers la fin du dégagement gazeux. On cesse alors de chauffer pour établir dans l'appareil, à l'aide d'un aspirateur, un courant d'air modéré qui doit durer vingt minutes environ. Cet air est dépouillé d'acide carbonique par son passage dans une éprouvette à pied E contenant de la chaux sodée.

A la suite du réfrigérant qui surmonte le ballon, le gaz se dessèche complètement dans un tube en U à ponce sulfurique P. Il se rend ensuite dans un second tube semblable F où il rencontre du ferrocyanure de potassium et du borate de soude desséchés. Ces réactifs fixeront le chlore et l'acide chlorhydrique provenant du chlorure de sodium contenu dans les matières analysées. L'acide chlorhydrique résulte, en effet, de la décomposition de ce sel par l'acide sulfurique, et, d'autre part, l'acide chromique peut, à son tour, oxyder l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore. Quant à l'acide sulfureux qui résulte

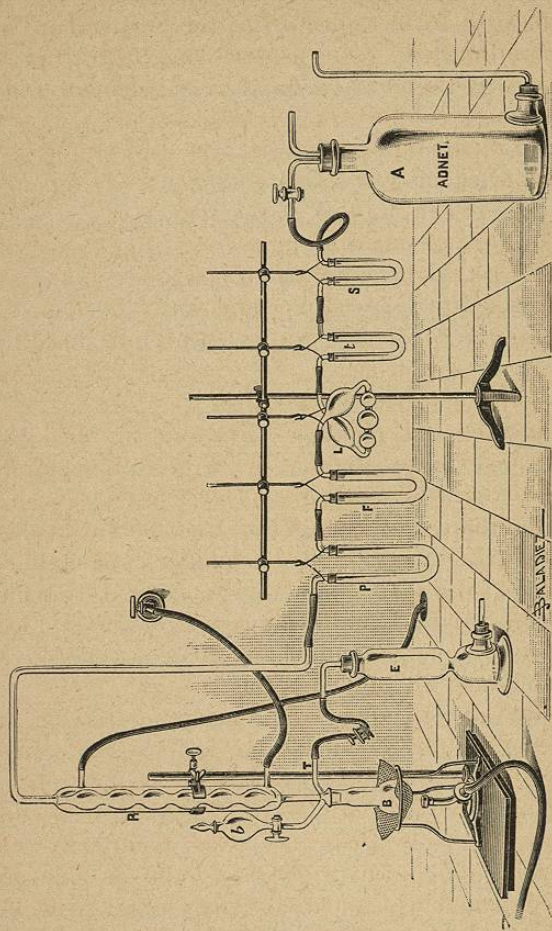


FIG. 9. — Appareil de Desgrez pour le dosage du carbone urinaire total.

de la réduction de l'acide sulfurique par les matières organiques, il se trouve transformé en sulfate de chrome par l'acide chromique en excès. Le gaz vient enfin, à la suite de ces deux tubes en U, se fixer dans un tube de Liebig L suivi d'un tube témoin t, le premier renfermant une solution de potasse à 48°B., le second de la ponce potassique. Un dernier tube en U à ponce sulfurique S empêche l'eau de l'aspirateur d'altérer, par son évaporation, le résultat du dosage. Comme on le voit, on n'aura qu'à peser le tube de Liebig et le tube témoin avant et après l'opération, la deuxième pesée pouvant d'ailleurs servir pour le dosage suivant, si on le fait dans la même journée.

La différence du poids de ces deux tubes donnera l'acide carbonique fourni par le carbone total des 10 centimètres cubes d'urine sur lesquels on opère. Les  $\frac{3}{11}$  du poids obtenu représentent, comme l'on sait, le carbone correspondant. En multipliant par 100, on aura le carbone rapporté au litre d'urine.

La durée totale d'un dosage ainsi conduit est de deux heures environ. Il est à peine besoin de faire remarquer que l'on pourra procéder simultanément à deux ou trois dosages semblables, ou que d'autres opérations, telles qu'un dosage d'azote ou d'urée, pourront se faire en même temps.

G. Donzé et E. Lambling ajoutent à l'appareil de Desgrez un tube à oxyde de cuivre, chauffé par une petite grille, afin d'achever la combustion de l'oxyde de carbone qui se produit toujours en petite quantité dans l'oxydation des matières organiques par l'acide chromique. Cette addition est d'ailleurs recommandée par Desgrez pour les analyses précises. Elle complique légèrement le montage de l'appareil, mais nullement son fonctionnement qui reste aussi commode et d'une surveillance aussi facile. De plus, ces chimistes ont substitué le bichromate de potasse à l'acide chromique employé par Desgrez : les résultats sont

plus satisfaisants et plus constants. Pour la conduite du dosage du carbone urinaire avec ces modifications, nous renvoyons le lecteur au mémoire original paru dans les *Comptes rendus de la Société de Biologie* de 1903 (p. 968).

**Élimination du carbone urinaire.** — L'urine d'un adulte contient normalement de 10 à 12 grammes de carbone par litre; celle de l'enfant en renferme une proportion légèrement supérieure. Si on prend les différentes émissions de la journée, on ne constate que de faibles variations (A. Desgrez).

Néanmoins Chapelle estime que, pendant la digestion, l'élimination du carbone est un peu plus importante; le taux du carbone total reste sensiblement constant chez le même sujet, ne variant guère d'un jour à l'autre, si l'alimentation elle-même ne varie pas.

Nous verrons que la notion du carbone urinaire total permettra d'établir le rapport qui existe entre l'excrétion du carbone et celle de l'azote par la voie rénale et de tirer de ce rapport des déductions importantes sur l'énergie fonctionnelle du foie (Voir *Rapports urinaires*, p. 149).

## VIII. — AZOTE URINAIRE TOTAL

**Dosage de l'azote total.** — La connaissance de la quantité absolue d'azote total éliminée en vingt-quatre heures n'a en elle-même qu'une importance secondaire, mais cette proportion, comparée à celle de l'azote excrété à l'état d'urée, permet de déterminer le coefficient azoturique (Voir p. 152), qui a le grand avantage de donner des indications exactes sur les phénomènes de la nutrition.

L'azote total de l'urine comprend, outre l'azote de l'urée, celui des substances azotées telles que l'acide urique, la créatinine, les bases xanthiques, l'ammoniaque, l'acide oxyprotéique, l'acide hippurique, les pigments, l'indol, etc.

Pour doser cet azote total dans les urines, on emploie ordinairement la méthode de Kjeldahl, basée sur ce que les substances organiques azotées, chauffées en présence de l'acide sulfurique concentré, se décomposent en acide carbonique, eau et ammoniaque. Tout l'azote passe à l'état d'ammoniaque qui se combine à l'acide sulfurique. Il suffit de décomposer le sel formé par un alcali, de séparer l'ammoniaque par distillation et de le doser volumétriquement.

Dans un matras de Kjeldahl, sorte de fiole à fond rond et en forme de poire de 3 à 400 centimètres cubes de capacité, on introduit 10 centimètres cubes d'urine, 10 centimètres cubes d'un mélange de 2 parties d'acide sulfurique monohydraté et d'une partie d'acide sulfurique fumant et un petit globule de mercure.

On dispose le matras légèrement incliné sur un bec de Bunsen (fig. 10) et on place sur le goulot un petit entonnoir dont la douille est taillée en biseau ; on chauffe dou-

cement. Tout d'abord l'eau s'évapore, le mélange brunit et mousse ; à ce moment, on verse par l'entonnoir 1 à 2 centimètres cubes d'alcool pour faire tomber cette mousse. On porte à l'ébullition qu'on maintient modérée, jusqu'à décoloration complète du liquide. On éteint alors le bec de Bunsen, on laisse refroidir le matras et on ajoute peu à peu 15 à 20 centimètres cubes d'eau. Le matras est

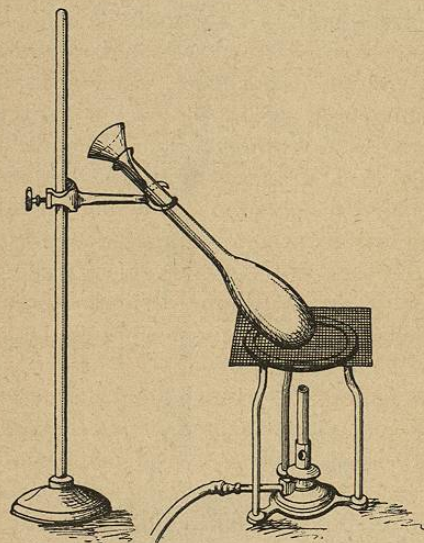


FIG. 10.

de nouveau abandonné au refroidissement, on y ajoute 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine et on sature rapidement la liqueur en y versant de la soude jusqu'à léger excès, ce qui amène la coloration rose intense du mélange. On y ajoute ensuite un excès de monosulfure de sodium (6 à 8 centimètres cubes environ d'une solution à 10 0/0) pour empêcher la formation de combinaisons ammonio-mercureuses, difficilement décomposables par les alcalis et qui n'assureraient pas la libre distillation de l'ammoniaque.

Maquenne et Roux préfèrent au monosulfure de sodium l'hypophosphite de soude, qui précipite le métal à l'état libre et d'une façon absolue, car le sulfure de mercure se dissout dans les sulfures alcalins, la précipitation est alors incomplète et dès lors rien ne s'oppose à ce qu'il se

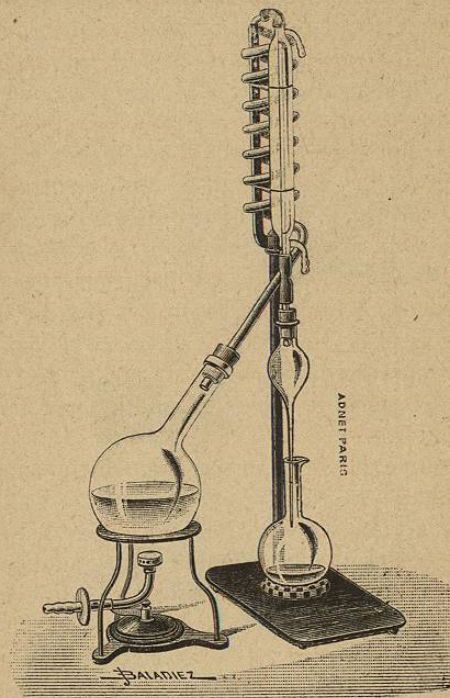


FIG. 11.

reforme des composés ammonio-mercuriques semblables ou identiques à ceux que l'on se proposait de détruire. L'emploi de l'hypophosphite est très simple : il suffit de l'introduire par petites portions dans le liquide sulfurique étendu et encore chaud. La précipitation du mercure s'effectue presque instantanément et d'une manière brusque;

on la complète en chauffant le tout jusque vers 60 à 70° et on refroidit.

Quelle que soit la méthode employée pour la séparation du mercure, le liquide est rapidement transvasé dans un matras à fond rond de l'appareil à distiller d'Aubin (fig. 11); on ajoute encore 10 à 15 centimètres cubes de lessive de soude et quelques grenailles de zinc, puis on distille. Le liquide distillé est reçu dans un matras où vient aboutir un tube à entonnoir fixé au réfrigérant de l'appareil. Ce matras contient 50 centimètres cubes de liqueur normale décime d'acide sulfurique, colorés en rouge par quelques gouttes de teinture de tournesol; on conduit l'ébullition du liquide du matras, de façon à ce que le tube métallique ne laisse tomber dans le tube à entonnoir qu'une goutte toutes les deux ou trois secondes. On continue la distillation, tant que le liquide distillé colore une goutte de réactif de Nessler.

On procède ensuite au dosage de l'acide resté libre; pour cela, on enlève le tube à entonnoir, que l'on lave au-dessus du matras avec de l'eau distillée et, à l'aide d'une burette graduée, on verse de la soude décimale jusqu'à virage au bleu.

Soit  $n$ , le nombre de centimètres cubes de soude décimale nécessaire à la saturation de l'acide resté libre sur les 50 centimètres cubes employés; la différence  $50 - n$  correspond à l'ammoniaque de l'azote total des 10 centimètres cubes d'urine, et cette différence  $50 - n$ , multipliée par 0,0014, exprimera la proportion d'azote total de ces 10 centimètres cubes.

G. Denigès propose d'employer l'oxalate de potasse à la place du mercure comme adjuvant dans la destruction de la matière organique de l'urine par l'acide sulfurique concentré, et la technique que donne cet auteur est la suivante :

Dans un matras de Kjeldahl, on introduit 10 centimètres cubes d'urine, 5 centimètres cubes d'une solution d'oxalate

neutre de potasse à 30 0/0 et 5 centimètres cubes d'acide sulfurique pur (7 centimètres cubes avec les urines glycosuriques ou albumineuses). La destruction de la matière organique s'effectue comme dans le procédé précédent. Lorsque la décoloration est obtenue, on enlève le ballon du feu, on l'agite quelques instants à l'air, et on achève de le refroidir en le posant quelques minutes sur de la ouate.

Après refroidissement, on verse par l'entonnoir 20 centimètres cubes d'eau tiède, et on agite jusqu'à obtention d'un liquide homogène. On fait refroidir en plongeant le ballon dans l'eau froide, on ajoute, dans le liquide qu'il contient, une ou deux gouttes de phtaléine du phénol; puis, le ballon étant maintenu dans l'eau, on y verse peu à peu, en agitant, de la lessive des savonniers non carbonatée, de densité 1,033, jusqu'à ce qu'il se forme une coloration faiblement rosée, que l'on fait aussitôt disparaître par une à deux gouttes d'acide sulfurique au cinquième.

On introduit alors le contenu du ballon dans un matras jaugé de 50 centimètres cubes, et, avec les eaux de lavage du premier récipient, on remplit à peu près ce matras jusqu'au trait de jauge; on agite son contenu, on le porte jusqu'à équilibre de température dans un bain d'eau à 18-20°, on complète exactement avec de l'eau distillée le volume de 50 centimètres cubes, et, sur la totalité ou sur une partie aliquote, on dose l'ammoniaque comme on l'a indiqué précédemment.

**Variations physiologiques.** — La quantité moyenne d'azote total excrété par jour varie, pour l'adulte, entre 12 et 15 grammes (L. Hugounenq); il est facile, connaissant cette proportion d'azote éliminé par les urines, de savoir la quantité des matières albuminoïdes, qui ont été désassimilées dans l'organisme en multipliant le chiffre d'azote total des vingt-quatre heures par 6,45.

D'après Bödtker, l'azote total urinaire, pour 100 parties, se répartit quant à l'origine de la façon suivante :

88,4 à 91,3 appartiennent à l'urée ;

1,5 à l'acide urique ;

4 0/0 à l'ammoniaque préformée et à différentes matières azolées, comme les bases xanthiques, la créatinine, l'acide hippurique, l'acide oxyprotéique, les pigments, l'indol, etc.

Après une alimentation riche en substances protéiques, l'excrétion de l'azote urinaire passe par trois périodes maxima : l'une qui suit immédiatement le repas et qui est la plus sensible; la seconde, deux à quatre heures après, et la troisième au bout de six à sept heures.

Avec des aliments peu riches en matières albuminoïdes, ces trois phases peuvent encore être perçues; mais elles sont moins accentuées (Otto Veragutt).

Il est inutile de mentionner que toutes les circonstances qui produiront une hyperexcrétion d'urée, amèneront conséquemment une augmentation de l'azote total, puisque l'urée constitue presque les 9/10<sup>es</sup> de cet azote.