

N° D'ORDRE

117

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

NESTOR GRÉHANT,

Docteur en médecine,

licencié ès sciences physiques, membre de la Société de biologie,
aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle.

1^{re} THÈSE. — **Physiologie.** — RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES : 1^o SUR
L'EXCRÉTION DE L'URÉE PAR LES REINS; 2^o SUR LA RES-
PIRATION DES POISSONS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DE BOTANIQUE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **20** janvier 1870 devant la Commission d'Examen.

MM. MILNE EDWARDS,

Président;

DUCHARTRE,

BERT,

} *Examinateurs.*

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1870

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

Doyen.	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, [Physiologie.
Professeurs honoraires. {	DUMAS.	
	BALARD.	
Professeurs.	DELAFOSSÉ.	Minéralogie.
	CHASLES.	Géométrie supérieure.
	LE VERRIER.	Astronomie.
	N.	Algèbre supérieure.
	LAMÉ.	Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	DELAUNAY.	Mécanique physique.
	P. DESAINS.	Physique.
	LIOUVILLE.	Mécanique rationnelle.
	HÉBERT.	Géométrie.
	PUISEUX.	Astronomie.
	DUCHARTRE.	Botanique.
	JAMIN.	Physique.
	SERRET.	Calcul différentiel et intégral.
	H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE.	Chimie.
PASTEUR.	Chimie.	
LACAZE-DUTHIERS.	Anatomie, Physiologie comparée, Zoologie.	
BERT.	Physiologie.	
Agréés.	BERTRAND.	} Sciences mathématiques.
	J. VIEILLE.	
	PELIGOT.	} Sciences physiques.
Secrétaire.	PHILIPPON.	

A MON MAITRE

M. CLAUDE BERNARD

SÉNATEUR,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,
DE L'ACADÉMIE FRANÇAISE,
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE ET AU MUSÉUM D'HISTOIRE
NATURELLE.

Hommage de respect et de reconnaissance.

THÈSE DE PHYSIOLOGIE

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR

L'EXCRÉTION DE L'URÉE PAR LES REINS

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

HISTORIQUE.

Il n'est guère de question en physiologie qui ait été plus étudiée que celle de la formation ou de l'excrétion de l'urée par les reins.

Beaucoup de physiologistes admettent, avec MM. Prévost et Dumas, que le sang apporte aux reins l'urée toute formée et que le rôle des reins est purement excréteur; d'autres physiologistes, MM. Oppler, Zalesky, concluent, au contraire, de leurs expériences que le rein est un organe formateur de l'urée, par conséquent qu'il doit être assimilé aux glandes salivaire, pancréatique, caractérisées par un produit spécial de sécrétion; enfin, d'autres personnes, adoptant l'opinion moyenne, croient que l'urée se forme dans tout l'organisme et dans les reins.

Ces différentes manières de voir sur la même question, déduites d'expériences directes, apportent dans la science de l'incertitude et choquent cette loi si bien établie par M. Claude Bernard, du déterminisme absolu des phénomènes de la vie; c'est pourquoi j'ai entrepris depuis deux ans une série de recherches laborieuses, qui, je l'espère, détruiront le doute sur ce sujet important.

Mais avant de commencer la description de mes expériences, je dois, tout d'abord, rappeler les travaux des physiologistes qui sont relatifs à la formation ou à l'excrétion de l'urée par les reins, et je dois avertir que je ne me suis occupé que de cette question de physiologie pure et que je ne puis parler ici de la partie pathologique et des travaux si nombreux qui ont été faits dans cette direction.

Richerand ayant lié sur un animal les deux uretères, vit continuer la production de l'urine qui distendit les reins et les uretères; mais l'animal fut pris de fièvre et mourut au bout de quelques jours. Le même expérimentateur enleva un seul rein à plusieurs animaux qui n'en souffrirent pas, mais l'ablation des deux reins entraîna rapidement la mort. A l'autopsie, Richerand trouva la vésicule biliaire très-distendue et pensa que la production de la bile suppléait à celle de l'urine; mais il croyait, comme tous les physiologistes de son temps, que les reins forment l'urée.

Cette opinion fut détruite par MM. Prévost et Dumas, dont les travaux si célèbres sur cette question remontent à l'année 1823. Ces physiologistes pratiquèrent sur un Chien la néphrotomie ou l'ablation des reins et reconnurent, d'une manière indubitable, l'accumulation de l'urée dans le sang plusieurs jours après l'opération. L'extirpation d'un seul rein ne présente aucun inconvénient, mais si après quelque temps, quinze jours après par exemple, on enlève le second rein, le Chien ne paraît pas souffrant les deux premiers jours; mais le troisième jour, des déjections fluides, brunes, abondantes ont lieu et en même temps l'animal vomit; la température du corps s'élève à 43 degrés, le pouls est petit, dur, très-fréquent, la respiration est oppressée, l'animal meurt du cinquième au neuvième jour. Si l'on extrait les deux reins à la fois, il y a une forte inflammation des plaies lombaires, l'animal meurt du quatrième au cinquième jour.

MM. Prévost et Dumas soumièrent le sang recueilli après la néphrotomie à la recherche de l'urée; le sérum et le caillot desséché furent traités par l'eau bouillante à plusieurs reprises;

l'eau évaporée laissa un résidu qui fut repris par l'alcool. Le résidu alcoolique était deux fois plus considérable après la néphrotomie que chez le Chien sain. Ce résidu traité par l'acide nitrique donnait une masse blanche et cristalline. En redissolvant ce nitrate d'urée dans l'eau et le faisant cristalliser de nouveau, on le purifia. 160 grammes de sang d'un Chien qui a vécu sans reins pendant deux jours, fournirent plus de 1 gramme d'urée.

MM. Prévost et Dumas firent l'analyse élémentaire de l'urée qu'ils retirèrent ainsi du sang d'un Chien néphrotomisé, et obtinrent, en la décomposant par l'oxyde de cuivre, 48 centimètres cubes d'azote pur et 51 centimètres cubes d'acide carbonique sur 100 volumes du mélange gazeux, c'est-à-dire sensiblement volumes égaux d'azote et d'acide carbonique, ce qui caractérise l'urée pure. J'insiste à dessein sur ce fait que l'urée dans l'analyse organique donne des volumes égaux d'azote et d'acide carbonique.

MM. Prévost et Dumas concluent donc de leurs expériences que le rein ne paraît être qu'une surface éliminatrice de l'urée analogue à la peau qui excrète la sueur.

M. Claude Bernard, mon illustre maître, a répété, en collaboration avec M. Barreswill, les expériences de MM. Prévost et Dumas, en apportant au procédé de recherche de l'urée quelques modifications. Le sang était coagulé par l'alcool, puis exprimé fortement dans un linge de toile. Le liquide obtenu était évaporé à siccité au bain-marie, puis repris par l'alcool concentré qui dissout l'urée. Enfin le résidu de l'évaporation de la liqueur alcoolique était dissous dans une très-petite quantité d'eau, traité par l'acide nitrique et soumis à une température inférieure à 0 degré dans un mélange réfrigérant de sulfate de soude et d'acide chlorhydrique pour favoriser la cristallisation du nitrate d'urée.

MM. Bernard et Barreswill, pour juger de la sensibilité du procédé, injectèrent 1 gramme d'urée dans le sang d'un Chien et trouvèrent du nitrate d'urée dans 100 grammes de sang recueilli peu de temps après. Ayant pratiqué la néphrotomie double sur

des Chiens, M. Claude Bernard ne constata point la présence de l'urée dans le sang, ni vingt-quatre heures, ni quarante-huit heures après l'opération, mais la présence de cette substance fut constatée, avec certitude, dans le sang recueilli trois jours ou quatre jours après la néphrotomie. M. Claude Bernard reconnut, de plus, que chez les Chiens néphrotomisés vigoureux, il s'accumule dans l'estomac une grande quantité de liquide qui renferme non point de l'urée mais des sels ammoniacaux; voici les conclusions du travail de M. Claude Bernard :

1° Après l'ablation des reins, les sécrétions intestinales, et particulièrement la sécrétion gastrique, augmentent considérablement en quantité et changent de type, c'est-à-dire qu'au lieu de rester intermittentes et de ne se former que dans le moment du travail digestif, ces sécrétions se produisent, comme le faisait l'urine, d'une manière continue, aussi bien pendant le jeûne que pendant la digestion.

2° Indépendamment de cette augmentation dans la quantité des sécrétions gastriques, il intervient encore après l'ablation des reins, dans ces mêmes sécrétions, un élément chimique de plus, qui est l'ammoniaque sous forme de combinaison saline.

3° Cette production de sels ammoniacaux dans le suc gastrique devient évidente au bout de quelques heures après la néphrotomie, et malgré cette modification, le suc gastrique resté acide n'a pas paru perdre sensiblement ses propriétés digestives.

4° Enfin cette élimination en quantité considérable de liquides ammoniacaux par l'intestin persiste tant que l'animal reste vivace. C'est seulement au moment où les chiens faiblissent et deviennent languissants que les sécrétions intestinales diminuent et se tarissent progressivement, et c'est aussi à cette période de l'expérience que l'urée commence à s'accumuler dans le fluide sanguin.

M. Picard, dans une thèse présentée à la Faculté de médecine de Strasbourg en 1856, a fait de nombreuses recherches de l'urée dans le sang à l'aide du procédé de dosage de M. Liebig, qui consiste à précipiter l'urée, en solution aqueuse, par le nitrate de bioxyde de mercure; ce sel donne, avec l'urée, une

combinaison presque insoluble dans l'eau. On peut, dans l'emploi de ce procédé, se servir de liqueurs titrées et faire un dosage facile. Mais il faut d'abord, pour rechercher l'urée dans le sang, faire par le procédé de MM. Bernard et Barreswil un extrait alcoolique du sang. M. Picard redissout dans l'eau le résidu du second extrait alcoolique, et cette solution est traitée par la liqueur mercurielle. On juge que toute l'urée est précipitée quand un liquide alcalin, une solution de potasse ou de carbonate de potasse produit dans la liqueur un précipité jaune d'oxyde de mercure. M. Hoppe Seyler reproche à ce procédé d'indiquer trop d'urée parce qu'une partie de l'azotate de mercure en présence du chlorure de sodium, se convertit en bichlorure de mercure et se trouve ainsi échapper à la combinaison avec l'urée, parce que, en outre, les phosphates précipitent de l'oxyde de mercure. Mais je ne crois pas que ces légères causes d'erreur sur le chiffre absolu de l'urée contenue dans le sang enlèvent leur valeur aux recherches comparatives de M. Picard.

M. Picard chercha à démontrer que le rein n'est qu'un organe éliminateur de l'urée, pour cela, il était nécessaire :

« 1° De déterminer la préexistence de l'urée dans le sang normal et d'en doser les quantités.

» 2° De prouver que le sang de la veine rénale renferme moins d'urée que celui de l'artère.

» 3° De faire voir que, quand le rein est malade, l'urée s'accumule dans le sang.

» 4° Enfin si l'urée existe dans le sang normal, il est probable qu'on doit en trouver des traces dans les différents liquides sécrétés. »

M. Picard rappelle que déjà, en 1841, Simon, en opérant sur 8 kilogrammes de sang de veau, a obtenu des cristaux de nitrate d'urée, et que Garrod a retiré de l'urée de 2 kilogrammes de sang humain.

Marchand ayant dissous 1 gramme d'urée dans 200 grammes de sérum, n'a retiré que 0^{gr},2 après avoir coagulé l'albumine par la chaleur, tandis que dans une opération semblable, il a obtenu 0,75 d'urée après s'être servi de l'alcool pour éliminer l'albu-

mine. Aussi faut-il toujours employer l'alcool dans la recherche de l'urée du sang.

M. Picard a trouvé de l'urée dans les principales sécrétions, ainsi :

100 grammes de salive	contenaient.	0,035 d'urée.
100 — de bile	contenaient.	0,030 —
100 — de sueur	contenaient.	0,088 —
100 — d'humeur vitrée	contenaient.	0,500 —

Déjà Millon avait constaté dans l'humeur vitrée une grande proportion d'urée.

M. Picard sur des chiens chloroformés mit à nu les vaisseaux rénaux du côté gauche par une incision lombaire droite et recueillit successivement du sang veineux et du sang artériel. Voici les résultats de deux expériences :

Première expérience.

100 grammes de sang artériel rénal	contenaient.	0,036 d'urée.
100 — de sang veineux rénal	contenaient.	0,018 —

Deuxième expérience.

100 grammes de sang artériel rénal	contenaient.	0,04 d'urée.
100 grammes de sang veineux rénal	contenaient.	0,02 —

Ainsi les résultats de M. Picard confirmaient ceux qui avaient été établis par les expériences de MM. Prévost et Dumas, puisque le sang qui revient des reins contient la moitié de l'urée que renferme le sang qui arrive à ces organes; il y a donc élimination pure et simple, par les reins, de l'urée contenue dans le sang.

Mais voici qu'un point de vue tout différent se présente à plusieurs expérimentateurs. M. Oppler rechercha la créatine dans les muscles et reconnut que 1 kilogramme de muscles sains contient environ 1/3 de gramme de créatine, puis il pratiqua la néphrotomie et trouva après quarante heures que le même poids de muscles contenait 2^{es},2 de créatine ou six fois plus de cette substance. Ainsi les recherches d'Oppler démontrent que l'interruption de la fonction des reins augmente non-seulement l'urée dans le sang, mais y accumule aussi les corps extractifs.

Oppler trouva de plus que l'urée et la créatine augmentaient dans le sang après la néphrotomie, mais que cependant la quantité d'urée était plus abondante après la ligature des uretères qu'après l'ablation des reins, et il conclut de ses recherches que l'urée n'arrive pas aux reins complètement préformée, mais qu'elle se forme aussi en partie dans ces organes.

M. Perls, qui expérimenta sur des Lapins en 1864, ne put constater d'accumulation d'urée chez les animaux néphrotomisés, mais il trouva une grande accumulation de cette substance chez les Lapins dont les uretères étaient liés. Les analyses furent faites non sur le sang, à cause de la petitesse des animaux, mais sur les muscles.

MM. Kühne et Strauch ont démontré que dans le sang des animaux néphrotomisés, il n'y a pas plus d'ammoniaque que dans le sang normal.

Dans ces dernières années, M. Zalesky entreprit un travail important sur l'étude de la fonction des reins. L'auteur de ces recherches, qui furent faites dans le laboratoire et sous la direction de M. Hoppe Seyler, est arrivé aux conclusions suivantes :

« 1° La quantité de l'urée était à peu près la même dans le sang des chiens sains ou néphrotomisés ; ainsi l'ablation des reins n'exerce aucune influence essentielle sur l'augmentation de l'urée.

» 2° Après la ligature des uretères, l'analyse chimique montra toujours une augmentation importante de l'urée dans le sang, dans les muscles, dans la lymphe, dans le contenu de l'estomac et de l'intestin, en général, dans les différents liquides et solides de l'économie.

» 3° Dans la bile, qui toujours existait en grande quantité, on ne trouva jamais de traces d'urée ni après la néphrotomie, ni après la ligature des uretères.

» 4° L'accumulation d'une grande quantité d'urée dans le sang n'augmente pas l'ammoniaque dans le sang.

» 5° L'ammoniaque est chez tous les animaux une partie constituante du sang et se laisse toujours démontrer dans le sang des

animaux sains ou urémiques. Ni la néphrotomie, ni la ligature des uretères n'ont une influence particulière sur le contenu en ammoniacque du sang; dans aucun cas ainsi on ne peut admettre que l'ammoniacque existante dans le sang produit les symptômes de l'urémie.

» 6° Chez les animaux néphrotomisés, le contenu en créatine se trouva toujours fortement accru dans les muscles.

» 7° Le degré dans lequel se montrent les phénomènes de l'urémie, et le caractère de ces phénomènes ne dépendent ni de la quantité d'urée ni de l'ammoniacque existante dans le sang.

» 8° *Les causes pour lesquelles Prévost et Dumas, et plusieurs autres auteurs ont trouvé beaucoup d'urée dans le sang des animaux néphrotomisés, ne me paraissent pas bien explicables.*

Voici des résultats numériques que M. Zalesky a obtenus et qui montrent l'égalité entre la quantité d'urée contenue dans le sang d'un chien normal et d'un chien néphrotomisé, bien que le sang de celui-ci ait été pris soixante-six heures après l'opération.

Chien sain.....	0 ^{gr} ,0039 d'urée dans 100 grammes de sang.
Chien néphrotomisé..	0 ^{gr} ,0040 d'urée dans 100 grammes de sang.
Chien à uretères liés..	0 ^{gr} ,0510 d'urée dans 100 grammes de sang.

M. Zalesky ayant ainsi reconnu chez le chien l'accumulation de l'urée dans le sang après la ligature des uretères et non après la néphrotomie, voulut confirmer ce résultat par des expériences sur les Oiseaux et les Serpents. Chez les Oiseaux, il pratiqua comme le fit pour la première fois Galvani, la ligature des uretères et reconnut des dépôts d'acide urique dans le sang et à la surface des organes. Mais chez les Oiseaux l'ablation des reins est impossible; par suite, l'auteur ne put faire la comparaison des deux opérations.

Chez les Serpents cette comparaison put être faite; M. Zalesky pratiqua la néphrotomie chez un certain nombre de Couleuvres, chez d'autres il fit la ligature des uretères; ces dernières présentèrent de l'acide urique dans les muscles et dans tous les tissus, tandis que les couleuvres néphrotomisées n'en donnèrent que de petites quantités ou des traces.

L'auteur conclut donc de ses recherches que les reins sont des organes sécréteurs actifs qui produisent, dans leur tissu, de l'urée et de l'acide urique.

M. Meissner, qui a repris des recherches comparatives sur la néphrotomie et la ligature des uretères, a reconnu que chez les Lapins et chez les Chiens non-seulement l'urée est démontrable dans le sang normal, mais aussi qu'après la néphrotomie comme après la ligature des uretères l'urée dans le sang est fortement accrue. L'augmentation du contenu de l'urée, après ces deux opérations, est donnée comme si importante par M. Meissner qu'une simple appréciation suffisait pour sa constatation ; des pesées ne furent point faites. Chez les Chiens, l'augmentation du contenu de l'urée par la néphrotomie, quoique aussi évidente, ne parut pas aussi forte que chez les Lapins, ce qui pourrait ramener à cette idée qu'il y a presque toujours des vomissements qui surviennent chez les Chiens après la néphrotomie, par lesquels, d'après les recherches de MM. Bernard et Barreswil et celles de M. Hammond, des liquides sont excrétés par la muqueuse intestinale qui contiennent de l'urée, ou des produits de transformation de cette substance ; ainsi on pourrait s'expliquer la proposition donnée par M. Zalesky et s'écartant des anciens auteurs, que le sang, après la néphrotomie, ne montre aucune augmentation du contenu en urée ; car, dans ces recherches, des vomissements fréquents surviennent et la matière vomie fut recherchée par M. Zalesky, en vain, il est vrai, quant à l'ammoniacque et non quant à l'urée. Ainsi M. Meissner défend l'ancienne opinion de l'excrétion de l'urée par les reins.

Avant de quitter la partie historique et de commencer la description des expériences que j'ai faites pour tâcher de détruire le doute qui peut encore rester sur la question de la formation ou de l'excrétion de l'urée par les reins, qu'il me soit permis de faire connaître l'opinion de M. Kühne sur le procédé de dosage de l'urée du sang qu'a suivi M. Zalesky, je ne puis invoquer le témoignage d'un savant plus compétent en chimie physiologique (1).

(1) *Opinion de M. Kühne sur le dosage de l'urée dans le sang.*

« La démonstration de l'urée et en particulier son analyse quantitative dans le sang normal ou urémique, n'est nullement simple et certaine. Les meilleures méthodes suivies jusqu'ici sont les suivantes : Le sang est, avant la coagulation, injecté dans quatre à cinq fois son volume d'alcool rectifié, le coagulum est soumis à la presse, le filtré est faiblement acidulé par l'acide acétique, de sorte qu'à l'ébullition l'albumine restée encore en solution soit coagulée ; l'extrait clair est évaporé sur le bain d'eau et le résidu est extrait avec un mélange d'alcool absolu et d'éther (Hoppe Seyler). L'extrait filtré ainsi obtenu laisse un résidu duquel l'acide azotique concentré pur précipite de l'azotate d'urée en cristaux. Ceux-ci sont toujours encore rendus impurs par la graisse ou par des acides gras ; à cause de cela, il faut les purifier de nouveau sur le filtre avec un mélange d'alcool et d'éther. Enfin on peut les faire recristalliser après les avoir dissous dans un peu d'eau chaude. Déterminer exactement leur poids est cependant impossible, parce qu'on ne peut les obtenir tout à fait exempts d'un mélange gras ; la détermination de l'urée doit toujours aussi rester incomplète, parce que les corps gras obtenus avec l'urée décomposent toujours un peu d'acide azotique et que l'acide hypoazotique produit décompose toujours un peu d'urée en azote, en acide carbonique et en eau. »

En présence des difficultés du dosage de l'urée dans le sang, je me suis efforcé d'établir tout d'abord un procédé d'analyse quantitative de l'urée plus facile et plus exact que je vais exposer complètement.

CHAPITRE II.

DOSAGE DE L'URÉE. — EMPLOI DE LA POMPE A MERCURE.

Réactif de Millon.— Millon s'est servi, pour doser l'urée, d'un réactif particulier contenant de l'acide azoteux et qui jouit de la propriété de décomposer cette substance en volumes égaux d'azote et d'acide carbonique et en eau. Ce réactif est très-facile

à préparer; on verse dans un tube bouché de l'acide azotique ordinaire et une goutte de mercure : le métal attaqué se dissout, des gaz se produisent qui restent dissous dans le liquide acide en excès et donnent une solution verte qui décompose l'urée.

Millon, en faisant agir ce réactif sur une solution d'urée, obtenait un dégagement d'acide carbonique, gaz qu'il absorbait par une solution de potasse; l'augmentation de poids de la potasse faisait connaître le poids de l'acide carbonique, d'où l'on calculait le poids de l'urée.

Perfectionnement du procédé de Millon. — J'ai rendu le procédé de dosage plus rigoureux et plus exact en recueillant tout l'acide carbonique et tout l'azote provenant de l'action de l'acide azoteux sur la solution d'urée, et dans chaque analyse l'égalité exacte des volumes trouvés d'acide carbonique et d'azote m'a donné la certitude que l'urée seule avait été décomposée; en effet, l'action de l'acide azoteux sur l'urée est assez spéciale, et, de plus, ce réactif décomposerait-il une autre substance azotée, les volumes d'azote et d'acide carbonique que l'on obtiendrait ne seraient jamais égaux. Bien entendu, il faut s'assurer tout d'abord, avant d'agir sur une solution, qu'elle ne contient pas d'acide carbonique libre ou combiné, en la traitant par une petite quantité d'acide azotique pur et faible. La condition que je me suis imposée de doser l'urée à l'état gazeux par les deux gaz qui proviennent de sa décomposition, revient exactement à faire chaque fois une analyse organique de l'urée, car si l'on chauffe de l'urée avec de l'oxyde noir de cuivre, on obtient, comme l'ont reconnu MM. Prévost et Dumas, des volumes égaux d'azote et d'acide carbonique. Seulement mon procédé offre sur l'analyse organique, dans ce cas particulier, plusieurs avantages : 1° Il n'est pas nécessaire que l'urée soit pure, elle peut être mélangée à quelques matières albuminoïdes, à des matières grasses et à des sels; 2° on n'emploie point la balance, car les gaz sont mesurés dans des cloches graduées où on les reçoit en totalité.

Mais l'obligation de recueillir l'azote provenant de la décomposition de l'urée par le réactif de Millon force d'opérer dans le

vide, c'est pourquoi la pompe pneumatique à mercure rend ici d'excellents et indispensables services.

Pompe à mercure. — Je vais décrire cette machine qui est employée depuis plusieurs années en Allemagne dans la forme que lui donne le célèbre constructeur M. Geissler, pour l'extraction des gaz du sang par le vide. Cette pompe est construite à Paris avec beaucoup d'habileté par MM. Alvergnyat, et voici la forme très-simple représentée par la figure 1, qui m'a paru la plus comode dans l'emploi de cette machine, dont l'usage doit être gé-

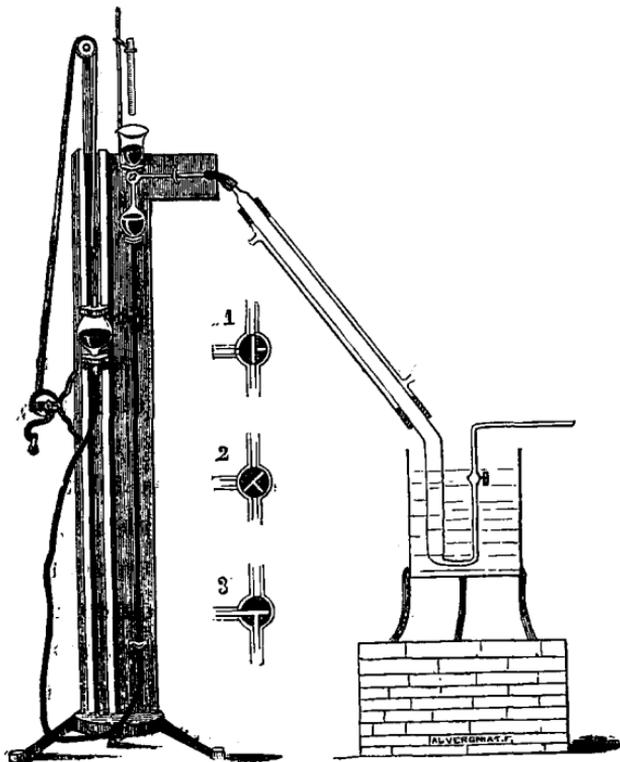


Fig. 1. — Pompe à mercure et appareil servant à l'analyse de l'urée.

néralisé en physiologie; car la pompe à mercure permet de résoudre toutes les questions qui exigent le dégagement aussi complet que possible des gaz qu'un liquide sang ou eau tient en solution.

Un tube barométrique long de 1 mètre, fixé contre une planche verticale, présente un renflement en forme de cylindre ou de sphère d'une capacité de $1/2$ litre environ. A la partie supérieure le constructeur a soudé un robinet de verre à trois voies dont l'enveloppe porte un tube vertical et un tube horizontal; ce robinet de verre est la pièce principale qui permet d'établir ou d'interrompre la communication entre la chambre barométrique et l'un ou l'autre de ces tubes; le tube vertical s'élève jusqu'au centre d'un entonnoir de verre soutenu par un bouchon de caoutchouc que traverse ce tube; le tube horizontal est uni par un caoutchouc épais à l'appareil dans lequel on veut faire le vide et que représente la figure.

A la partie inférieure du tube barométrique, on a fixé un tube de caoutchouc long de 1 mètre environ, dont l'autre extrémité vient s'attacher au fond d'un réservoir qui peut être élevé ou abaissé.

Emploi de la pompe. — Ce réservoir mobile est porté jusqu'à la partie supérieure de la planche support; on le remplit de mercure après avoir établi, à l'aide du robinet placé dans la position 1, une communication entre la chambre barométrique et le tube vertical qui est son prolongement; le métal s'élève au même niveau dans les deux tubes communicants et se déverse dans la petite cuve à mercure. Cela fait, le robinet de verre est tourné de $1/8$ de tour, dans la position 2, et les trois tubes que porte l'enveloppe du robinet sont fermés; le réservoir mobile est abaissé à la partie inférieure de la pompe; ainsi se répète l'expérience de Torricelli, le mercure descend et laisse la chambre barométrique vide d'air. Un récipient comme celui que représente la figure, étant fixé au tube horizontal, tournons le robinet dans la position 3; l'air du récipient se répand dans la chambre barométrique, le mercure descend; ramenons le robinet dans la position 2, élevons le réservoir jusqu'en haut, l'air extrait diminue de volume, se comprime, et le robinet placé dans la position 1 laisse passer les gaz à travers le mercure de la petite cuve.

Par plusieurs manœuvres semblables plus longues à décrire qu'à exécuter, on obtient dans le récipient un vide très-parfait, et si le récipient est légèrement humide, la vapeur d'eau se produit instantanément dans le vide et chasse devant elle les dernières traces d'azote et d'oxygène; on obtient le vide absolu sauf la vapeur d'eau. Pour recueillir les gaz qu'un liquide introduit dans le récipient dégage dans le vide, on retourne sur la cuve à mercure une cloche pleine de ce métal qui est tenue par un support.

Il est très-commode, avant d'employer la pompe à mercure, d'utiliser comme auxiliaire une machine pneumatique ordinaire; un tube de caoutchouc à parois épaisses adapté à celle-ci vient se fixer à l'extrémité du tube qui se trouve au centre de la petite cuve à mercure, et par le robinet convenablement tourné on fait d'abord un vide approché dans le récipient et dans la pompe qui sert de manomètre, et ce vide est ensuite rendu complet par deux ou trois mouvements de la pompe.

L'obligation de porter à la main le réservoir mobile à mercure de haut en bas et de bas en haut devient fatigante quand on fait un fréquent usage de la machine. MM. Alvergnyat ont ajouté récemment un perfectionnement qui rend la manœuvre beaucoup plus facile et qui est indiqué sur la figure; le réservoir mobile est fixé sur un petit chariot qui glisse dans une coulisse verticale et se trouve soutenu par un ruban de fil qui s'enroule sur une poulie supérieure et vient s'attacher à une seconde poulie munie d'un cliquet que l'on fait mouvoir à l'aide d'une manivelle. En restant assis devant la pompe, on fait alors monter le réservoir à mercure à l'aide de la manivelle, et on le fait descendre par son poids en soulevant le cliquet.

Fermetures hydrauliques. — La première condition que doit remplir la pompe à mercure, c'est que le robinet de verre garde parfaitement le vide et ne laisse rentrer l'air dans aucun cas; cette condition est satisfaite quand le robinet est convenablement graissé et que le corps gras ne présente pas de stries, mais lorsque l'on fait le vide au-dessus de liquides chauffés, il arrive ra-

pidement que le corps gras qui enduit le robinet devient trop fluide, qu'il est chassé par la pression exercée sur la clef et le robinet ne garde plus. Pour remédier à ce grave inconvénient, j'ai fait construire et adapter autour du robinet un manchon de caoutchouc qui est constamment rempli d'eau, et c'est au travers du caouichouc qui présente de la souplesse que l'on fait mouvoir la clef du robinet. Cette fermeture hydraulique est indispensable et donne une si grande sécurité que la pompe à mercure garde le vide indéfiniment dans tous les cas, quand même il y aurait longtemps que le graissage n'aurait pas été renouvelé. Dans les appareils que j'adapte à la pompe à mercure, toutes les fois que des tubes de verre sont réunis par du caoutchouc, j'ai toujours soin d'envelopper complètement d'eau les points de réunion, ainsi le vide une fois fait dans les appareils se garde indéfiniment.

Appareil à réaction.— La décomposition de l'urée par l'acide azoteux ou son analyse se fait dans un appareil spécial uni à la pompe à mercure. Cet appareil est un tube de verre d'un diamètre de 2 centimètres environ, long de près de 1 mètre, présentant une courbure à angle obtus, dont l'une des branches plus courte est verticale, tandis que l'autre branche plus longue est inclinée sur l'horizon; l'extrémité de celle-ci est effilée et fixée à la pompe à mercure par un tube de caoutchouc entouré d'un manchon plein d'eau. A l'extrémité inférieure de la branche verticale, on a soudé un long tube de verre étroit qui s'élève d'abord parallèlement au gros tube, puis se recourbe plusieurs fois et présente à peu près la forme d'une M; ce tube offre en son milieu un robinet de verre que l'on maintient plongé dans un vase plein d'eau froide; la branche verticale du tube à réaction est immergée dans un vase cylindrique de métal rempli d'eau bouillante.

DOSAGE DE LA SOLUTION AQUEUSE D'URÉE.

Pour montrer l'exactitude sur laquelle on peut compter dans le dosage de l'urée, je prends le résultat d'une analyse faite sur

une solution contenant 1 milligramme d'urée par centimètre cube d'eau, solution à 1 millième, qui renferme plus d'urée que le sang normal des Mammifères.

Dans l'appareil à réaction vidé d'air, je fais arriver par aspiration 30 centimètres cubes de cette solution renfermant 50 milligrammes d'urée, puis faisant manœuvrer la pompe à mercure sur le liquide chauffé au bain d'eau bouillante, j'obtiens rapidement le vide absolu. Le bain d'eau chaude est retiré et par aspiration je fais pénétrer le réactif de Millon, des gaz se produisent; quelques minutes après je replace le bain d'eau bouillante et je recueille dans trois cloches placées successivement :

	Acide carbonique.	Azote.
	cc	cc
Première cloche.. . . .	13,2	13,5
Deuxième cloche.. . . .	5,0	5,0
Troisième cloche.. . . .	2,3	2,5
	<hr/>	<hr/>
	20,5	21,0

Les deux gaz, acide carbonique et azote, sont toujours mélangés d'une certaine quantité de bioxyde d'azote; on absorbe l'acide carbonique sur le mercure par la potasse, le bioxyde d'azote sur l'eau par l'agitation avec le sulfate de protoxyde de fer en cristaux, l'azote reste.

On voit que dans l'analyse précédente, les volumes des deux gaz sont restés égaux dans chacune des cloches.

Calcul de l'analyse. — Suivons les calculs simples qui permettent d'obtenir le poids d'urée que contenait le liquide donné. 20^{cc},5 d'acide carbonique saturés de vapeur d'eau ont été recueillis et mesurés à la température de 11°,5 et à la pression de 743^{mm},7; quel volume occuperaient-ils secs à 0 degré et à la pression de 760 millimètres?

$$\text{Vol.} = \frac{20,5 (743,7 - 10,1)}{(1 + 11,5\alpha)760} = 19 \text{ centimètres cubes.}$$

10^{mm},1 est la tension maximum de la vapeur d'eau à la température de 11°,5; $\alpha = 0,00367$ est le coefficient de dilatation cubique des gaz.

En prenant la formule de l'urée, C²H⁴Az²O², on trouve que

60 milligrammes d'urée donnent $22^{\circ},36$ d'acide carbonique pur ou d'azote pur à 0 degré et à la pression de 760 millimètres, ou bien que 1 centimètre cube de l'un ou de l'autre gaz dans ces conditions représente $2^{\text{mms}},683$ d'urée pure; par suite, 19 centimètres cubes de gaz représentent $19 \times 2,683$ ou 51 milligrammes d'urée; nous trouvons donc que le liquide donné renfermait ce poids d'urée au lieu de 50 milligrammes que nous avions mis; on ne peut espérer un résultat d'analyse plus parfait.

Dans la pratique, les calculs de correction des volumes gazeux sont facilités par l'emploi des tables de calculs qui se trouvent à la fin du volume intitulé : *Méthodes gazométriques, par M. R. Bunsen*, où l'on trouve une table des valeurs de $(1 + \alpha t)$ et la table des tensions de la vapeur d'eau de M. Regnault. Lorsque l'on a fait une série d'analyses dans la même journée, à une même température et à une même pression, on calcule le facteur par lequel il faut multiplier tous les volumes gazeux, recueillis pour les ramener aux conditions normales à 0 degré et à 760 millimètres de pression.

Il est utile aussi de construire la table des produits partiels du nombre 2,683 par les neuf chiffres pour convertir les volumes gazeux corrigés en poids d'urée.

Dosage de l'urée dans l'urine.—L'application de mon procédé au dosage de l'urée dans l'urine est tout à fait rigoureuse, seulement comme l'urine des Carnassiers contient beaucoup d'urée, il est bon de l'étendre d'eau et d'opérer sur un volume de liquide qui ne donne pas un volume gazeux par trop considérable.

Lorsque l'urine est acide il suffit, avant de faire agir le réactif, de chasser par le vide les gaz simplement dissous dans le liquide.

Lorsque l'urine est alcaline comme celle du Lapin nourri de légumes, il est nécessaire de chasser d'abord l'acide carbonique combiné à l'aide d'une petite quantité d'acide azotique étendu, et cela se fait dans l'appareil, ce qui permet de doser si cela est nécessaire la quantité de cet acide carbonique combiné. On fait

ensuite pénétrer le réactif de Millon et l'on obtient une égalité parfaite entre les volumes d'azote et d'acide carbonique qui proviennent de l'urée.

DOSAGE DE L'URÉE CONTENUE DANS LE SANG.

Un grand nombre de recherches sur l'élimination et la formation de l'urée ne peuvent se résoudre qu'à la condition de doser l'urée dans le sang, et je me suis efforcé de rendre ce dosage aussi parfait que possible. Il faut d'abord faire un extrait alcoolique du sang ; on introduit dans le vaisseau, artère ou veine, une canule de verre, munie d'un tube de caoutchouc pressé par une pince. Une seringue de verre est unie à ce tube de caoutchouc. Lorsque l'on veut recueillir le sang en un certain temps, en une minute par exemple, on tire peu à peu et progressivement le piston pour remplir le corps de pompe complètement dans le temps donné. Le sang aspiré est chassé dans un flacon à l'émeri, à large col, pesé à l'avance, et agité dans ce flacon assez longtemps pour que la fibrine se sépare, et qu'il n'y ait point coagulation ; puis on ajoute au sang le double de son poids d'alcool à 90 degrés ; après agitation, on abandonne le mélange jusqu'au lendemain pour que l'alcool coagule complètement l'albumine contenue dans le sérum et celle que contiennent les globules. Le lendemain, la bouillie contenue dans le flacon est soumise à la presse.

Expression du sang. — Pour soumettre plus rapidement à l'expression un certain nombre d'échantillons de sang coagulé par l'alcool, je me suis procuré plusieurs formes de bois doublé de métal, sur un modèle que M. Cl. Bernard a fait construire, et qui est très-utile. Dans une pièce de bois, on a creusé une cavité de forme rectangulaire dont le fond est plan, dans laquelle est enchâssé un vase métallique de cuivre étamé de même forme, présentant un bec pour l'écoulement des liquides. Une seconde pièce de bois, recouverte également de cuivre étamé, offre en relief exactement la même forme que la première présente en

creux, et entre exactement dans celle-ci. Toutes ces pièces sont mobiles. On étend d'abord sur chaque forme creuse, placée sur un banc légèrement incliné, un linge de calicot mouillé d'alcool, et dont les bords sont relevés (le calicot est préférable à la toile qui offre moins de souplesse). Les bouillies de sang sont versées sur les linges, et l'on reçoit d'abord dans des capsules de porcelaine le liquide qui met un certain temps à s'écouler; lorsque l'égouttage est achevé, le linge est replié, de manière que les bords se recouvrent, et donnent un paquet fermé; puis appliquant la forme en relief, on soumet à la presse, et l'on obtient un liquide complètement incolore, et un tourteau coloré retenant toute l'hémoglobine, l'albumine et la fibrine coagulées. Le poids du sang employé est-il égal à 28 grammes, le tourteau pèse environ 12 grammes. Ce tourteau se détache très-bien du linge; on le pulvérise facilement dans un mortier de fer; la poudre obtenue est broyée avec un poids d'alcool égal au poids primitif du sang, soit 28 grammes d'alcool, avec lequel on a d'abord lavé le flacon qui contenait le sang; un second égouttage et une seconde expression dans le même linge donnent une nouvelle quantité de liquide incolore.

Evaporation des extraits alcooliques du sang. — Les extraits alcooliques peuvent être évaporés sur le bain d'eau bouillante; mais j'ai trouvé plus commode de faire l'évaporation dans une étuve spéciale qui, fonctionnant sans qu'il y ait besoin de surveillance, permet de faire évaporer les liquides pendant la nuit, et de trouver le lendemain, lorsque l'on revient au laboratoire, les résidus secs; on gagne ainsi beaucoup de temps.

L'étuve dont je me sers est construite comme celle de Gay-Lussac, dont elle diffère seulement en quelques points; elle est portée sur des pieds creux formés de tubes cylindriques, percés chacun d'une ouverture à la partie inférieure, et s'ouvrant aux quatre coins de la chambre à air; la partie supérieure de l'étuve est fermée par un couvercle soudé, qui présente plusieurs tubulures permettant de verser l'eau entre les parois, d'introduire un thermomètre; puis un dôme soudé est surmonté d'un tuyau de

poêle assez long. On place dans la chambre à air un support de fil de fer à grosses mailles, qui offre plusieurs étages sur lesquels se disposent à diverses hauteurs les capsules contenant les liquides à évaporer.

Avec un bec de gaz allumé, on chauffe l'eau jusqu'à 95 degrés environ, et il est facile de maintenir à peu près cette température; l'atmosphère intérieure s'échauffe, et il s'établit à travers l'étuve un tirage assez énergique d'air qui, passant par les pieds creux, vient enlever les vapeurs à mesure qu'elles se forment, et active beaucoup l'évaporation.

Le grand avantage de cette étuve, à laquelle j'ai fait donner 40 centimètres de côté, c'est qu'on peut faire évaporer à la fois plus de dix liquides différents, et qu'on n'a plus à se préoccuper des évaporations qui se font d'une manière continue, sans que jamais on ait à craindre que les résidus soient brûlés, comme cela peut arriver sur le bain de sable.

Il peut être nécessaire d'évaporer les liquides extraits de l'organisme à une température déterminée inférieure, par exemple à 70 degrés; on y arrive à l'aide d'un régulateur de température, qui laisse passer seulement la quantité de gaz nécessaire pour maintenir l'eau à 70 degrés; j'ai décrit un de ces régulateurs, page 138, de mon *Manuel de physique médicale*.

L'extrait alcoolique desséché de 25 grammes de sang, qui suffisent pour une analyse exacte de l'urée, est très-peu abondant; il est de couleur blanc jaunâtre, ne contient pas d'hémoglobine qui reste entièrement dans le tourteau, mais renferme de l'urée, des sels, et une petite quantité de matières albuminoïdes. On redissout dans l'eau le résidu sec; la solution aspirée par l'appareil à réaction vide, et soumise au réactif, donne les volumes égaux d'azote et d'acide carbonique, comme on le reconnaît par l'exemple suivant :

Vingt-cinq grammes de sang de la carotide du Chien ont donné par le réactif dans le vide absolu exactement 5^{cc},9 d'acide carbonique et 5^{cc},9 d'azote, après l'absorption du bioxyde d'azote par le sulfate de protoxyde de fer.

L'extrait alcoolique contient-il toute l'urée du sang ? Je me suis demandé si l'alcool employé, comme je l'ai dit plus haut, est capable d'enlever au sang toute l'urée qu'il contient. Pour répondre à cette question, j'ai réservé les tourteaux provenant de six échantillons différents de sang dont chacun pesait 28 grammes ; chaque tourteau pesait 12 grammes. Or, en broyant de nouveau avec l'alcool les six tourteaux qui pesaient 72 grammes, j'en ai fait un nouvel extrait alcoolique, dont le résidu renfermait seulement 5 milligrammes d'urée ; il n'était pas resté dans chaque tourteau un milligramme de cette substance ; ainsi l'alcool enlève au sang toute l'urée.

Ayant obtenu un procédé de dosage de l'urée dans le sang, qui offre toute certitude et une grande sensibilité, j'ai repris tout d'abord les expériences comparatives de la néphrotomie et de la ligature des uretères, dont les résultats ont apporté du doute sur les fonctions des reins.

CHAPITRE III.

NÉPHROTOMIE.

Il m'a semblé tout à fait inutile de reprendre les expériences de néphrotomie au point de vue de l'accumulation de l'urée dans le sang le deuxième, le troisième jour après l'opération ; cette accumulation a été démontrée complètement et d'une manière irréfutable par MM. Prévost et Dumas, et par les expériences confirmatives de M. Claude Bernard.

Je me suis attaché uniquement à la recherche de l'urée dans le sang, dès les premières heures qui suivent l'ablation des reins, pour reconnaître si l'accumulation de cette substance dans le sang est primitive ou consécutive ; les expériences suivantes m'ont permis de résoudre la question :

Expér. I. — Un Chien, du poids de 20 kilogrammes, à jeun depuis deux jours, est soumis à l'anesthésie par le chloroforme. On ouvre une artériole provenant de la fémorale pour recueillir

28 grammes de sang artériel sans arrêter ou ralentir la circulation dans le membre. Pendant l'anesthésie, on enlève successivement par des plaies lombaires le rein gauche et le rein droit; l'opération a lieu sans hémorrhagie et autant que possible sans lésion du péritoine.

Trois heures après la néphrotomie on prend un deuxième échantillon de sang; le lendemain, vingt-sept heures après, un troisième échantillon.

En ramenant les poids d'urée trouvés dans ces différents sangs, à ce que 100 grammes auraient contenu, on a obtenu les résultats suivants :

Avant la néphrotomie, 100 grammes de sang contenaient.	0 ^{gr} ,026	d'urée.
3 heures après.	100 grammes de sang contenaient.	0 ^{gr} ,045 —
27 heures après.	100 grammes de sang contenaient.	0 ^{gr} ,206 —

Ainsi trois heures après l'ablation des reins l'accumulation de l'urée dans le sang est déjà manifeste; vingt-sept heures après cette opération, le sang contient près de dix fois autant d'urée que le sang normal.

Expér. II. — Un Chien à jeun, du poids de 13^k,2, anesthésié, est soumis aux mêmes opérations; on recueille quatre échantillons de sang :

100 grammes de sang artériel contenaient :

Avant la néphrotomie.	0,0880	d'urée.
3 heures 40 minutes après.	0,0932	—
21 heures 20 minutes après.	0,2518	—
27 heures après.	0,2760	—

Expér. III. — Un Chien en digestion est anesthésié par le chloroforme; on prend dans la fémorale droite 42 grammes de sang, puis on lie ce vaisseau et les deux reins sont enlevés successivement sans lésion du péritoine; quatre heures quarante-cinq minutes après la néphrotomie, on recueille dans l'artère un nouveau poids de sang égal à 42 grammes; le lendemain, vingt et une heures après l'opération, l'animal est mort; on prend dans le cœur 50 grammes de sang qui est défibriné et traité par l'alcool.

A l'autopsie, on a trouvé une inflammation étendue des plaies et du tissu cellulaire sous-péritonéal et un épanchement de sérosité rougeâtre dans la cavité de la séreuse, une très-petite quantité de liquide dans l'estomac.

100 grammes de sang artériel contenaient :

Avant la néphrotomie	0,074 d'urée.
4 heures 45 minutes après	0,106 —
21 heures après	0,167 —

Remarque. Ainsi j'ai toujours trouvé, en opérant, comme je l'ai dit, que l'urée s'accumule dans le sang aussitôt après la néphrotomie, et dans mes expériences, les animaux n'ont pas conservé cette vigueur qui est nécessaire comme M. Claude Bernard l'a démontré, pour qu'une excrétion supplémentaire ait lieu par les voies digestives, sous forme de sels ammoniacaux et cause dans le sang une diminution du chiffre de l'urée.

Ce qu'il y a de bien remarquable aussi, c'est que la marche de l'accumulation de l'urée dans le sang reste continue et proportionnelle au temps, comme le montrera un tableau de construction des résultats que j'exposerai plus tard ; ainsi l'urée continue à se former sans aucune interruption, quel que soit l'état de faiblesse des animaux.

La quantité d'urée qui s'accumule dans le sang après la néphrotomie est égale à celle que les reins auraient excrétée. — Pour démontrer cette proposition, il est nécessaire de connaître la quantité de sang que possède un animal, la quantité d'urée qu'il excrète en vingt-quatre heures, de soumettre cet animal à la néphrotomie et de rechercher le poids d'urée dans le sang normal et dans le sang recueilli vingt-quatre heures après la néphrotomie.

Le poids de sang que possède un Chien est, d'après M. Valentin, égal à un cinquième du poids du corps ; le procédé employé par ce physiologiste pour déterminer ce nombre consiste à pratiquer une saignée chez un animal, puis à injecter dans le sang un volume d'eau connu et à répéter la saignée quelque temps

après. Après avoir déterminé le contenu en eau des deux quantités de sang, on calcule facilement le poids total du sang. Ce procédé, qui est soumis à de légères causes d'erreur à cause de l'élimination de l'eau par les reins et par d'autres voies, fait connaître avec le poids du sang le poids de la lymphe, puisque l'eau passe à travers les parois des capillaires dans l'origine des lymphatiques.

Comme la lymphe, ainsi que M. Würtz l'a démontré, contient de l'urée (j'ai trouvé dans 45 grammes d'un mélange de chyle et de lymphe obtenu chez le Chien par le canal thoracique à peu près autant d'urée que dans le sang artériel), en prenant le nombre de M. Valentin qui indique que le poids du sang est un cinquième de celui du corps, je comprends dans ce poids celui de la lymphe et je me rapprocherai davantage de la vérité en calculant avec ce chiffre le poids total d'urée contenu dans l'organisme en dehors de l'appareil urinaire.

MM. Bischoff et Voit ont publié un travail important sur les poids d'urée excrétée chaque jour par des Chiens soumis au jeûne après une alimentation déterminée, j'emprunterai à leurs résultats le chiffre, dont j'ai besoin, du poids d'urée excrétée en vingt-quatre heures par un Chien soumis au jeûne; un Chien du poids de 38 kilogrammes excréta, en vingt-quatre heures, 12^{gr},6 d'urée: un Chien à jeun du poids de 20 kilogrammes aurait excrété dans le même temps 6^{gr},6 en vingt-quatre heures, et en vingt-sept heures $6^{\text{gr}},6 \times \frac{27}{24} = 7^{\text{gr}},4$ d'urée; c'est le poids d'urée que le Chien sujet de l'expérience n° 1 excréta en vingt-sept heures avant la néphrotomie. Le sang normal immédiatement avant l'opération contenait, sur 100 grammes, 0^{gr},026 d'urée; le poids total du sang et de la lymphe égal à un cinquième de 20 kilogrammes ou à 4 kilogrammes, renfermait quarante fois plus d'urée ou 1^{gr},04.

Vingt-sept heures après la néphrotomie, 100 grammes de sang contenaient 0^{gr},206 d'urée, et le poids total du sang et de la lymphe renfermait $40 \times 0^{\text{gr}},206$ ou 8^{gr},24 d'urée; le poids de cette substance qui s'est accumulée dans le sang est donc

8^{sr},24 — 1^{sr},04 ou 7^{sr},20; or, d'après MM. Bischoff et Voit, l'animal à jeun excréta dans le même temps 7^{sr},40; on ne pouvait espérer un accord plus parfait.

L'importance de ce résultat est évidente : Partons de ce principe que le poids d'urée excrétée par un animal, en un certain temps, est égal au poids d'urée qui se forme dans l'organisme, dans le même temps (que ce soit dans les reins ou en dehors); nous trouvons que toute l'urée formée, puis excrétée par l'animal sain est accumulée dans le sang de l'animal privé de reins, donc ces organes ne prennent aucune part à la formation de l'urée et l'excrètent simplement.

Ainsi la néphrotomie seule permet de juger la question de la fonction des reins, mais j'ai dû aussi étudier les effets de la ligature des uretères.

CHAPITRE IV.

LIGATURE DES URETÈRES. — COMPARAISON ENTRE CETTE OPÉRATION ET LA NÉPHROTOMIE.

Expérience. — Sur un Chien à jeun, du poids de 24 kilogrammes, anesthésié par le chloroforme, on prend du sang de la fémorale, puis par une incision à la partie inférieure de la ligne blanche on atteint la vessie; les uretères sont liés un peu au-dessus de leur abouchement dans la vessie; le lendemain, dix-neuf heures après l'opération, on prend du sang de nouveau :

100 grammes de sang, avant la ligature des uretères, contenaient...	0 ^{sr} ,063 d'urée.
— 19 heures après l'opération, contenaient...	0 ^{sr} ,171 —

Une autre opération faite dans les mêmes conditions a donné des résultats semblables. Pour bien établir la comparaison entre la ligature des uretères et la néphrotomie, il est utile de représenter les résultats par des courbes. Sur la ligne des abscisses sont prises des longueurs égales qui représentent les heures, sur les ordonnées des longueurs représentant les poids d'urée en milligrammes contenus dans 100 grammes de sang.

La ligne qui représente l'augmentation de l'urée dans le sang

après la ligature des uretères déterminée seulement par deux points est pointillée, tandis que les trois autres lignes pleines déterminées par trois ou quatre points représentent l'accumulation de l'urée dans le sang, après la néphrotomie ; ces lignes

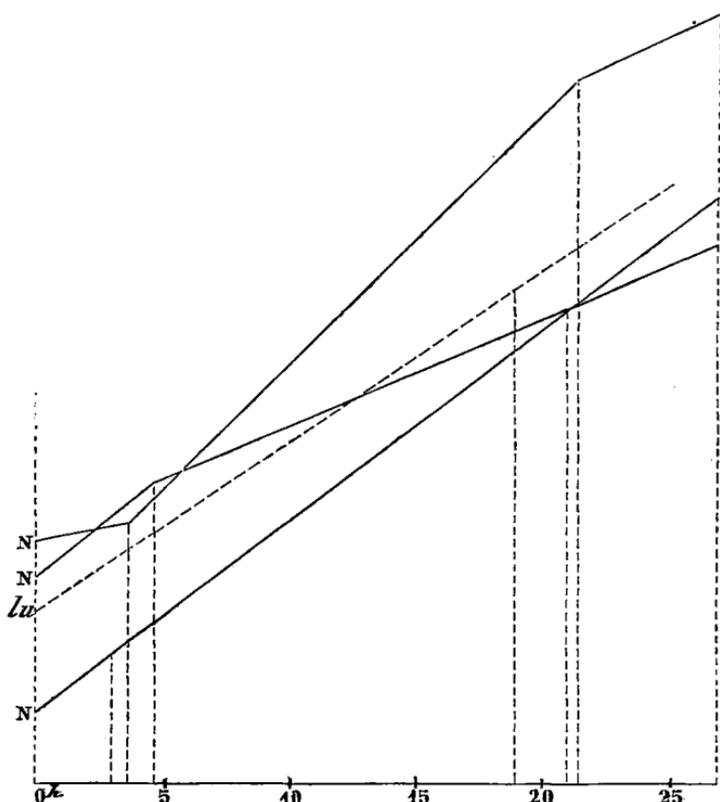


FIG. 2. — Construction des résultats indiquant les quantités d'urée qui se trouvent dans 100 grammes de sang artériel dans les heures qui suivent la néphrotomie (lignes pleines, N) et la ligature des uretères (ligne ponctuée, *lu*). Les temps en heures sont marqués sur la ligne des abscisses. Les poids d'urée en milligrammes sont indiqués par les ordonnées. (Un millimètre de hauteur représente 2 milligrammes.)

s'éloignent peu de la ligne droite et suivent la même direction que la ligne de ligature des uretères ; il résulte de cette comparaison que les résultats de la néphrotomie sont identiques avec ceux qui suivent la ligature des uretères, l'accumulation de l'urée dans le sang a lieu de la même manière après chaque opération.

Suites de la ligature des uretères. — L'expérience m'ayant montré que l'urée s'accumule dans le sang en égale quantité dès les premières heures qui suivent la néphrotomie ou la ligature des uretères, je me suis demandé si cette dernière opération diffère en réalité de la première. Pour répondre à cette question, j'ai fait plusieurs expériences de ligature d'un seul uretère.

Exp. I. — Sur une Chienne du poids de 9^k,7 anesthésiée, la ligature de l'uretère gauche fut pratiquée par une plaie lombaire, sans lésion du péritoine, trois ligatures furent placées sur le canal. Dans ces conditions, le rein droit fonctionnait comme à l'état normal et suffisait pour éliminer l'urée.

Le lendemain de l'opération, l'animal, après avoir mangé, a vomi ses aliments.

Le surlendemain, quarante-huit heures après la ligature, l'animal fut anesthésié de nouveau par le chloroforme, l'abdomen fut ouvert sur la ligne blanche; dans la veine rénale gauche qui était noire on ne put avoir de sang, tandis qu'une hémorrhagie abondante de sang rouge eut lieu aussitôt que la veine rénale droite fut piquée. L'uretère gauche était dilaté et rempli de liquide; en le comprimant de haut en bas, le liquide ne s'échappa point, ce qui montra que les ligatures appliquées sur l'uretère tenaient encore; deux nouvelles ligatures furent appliquées sur le canal, entre elles on fit une petite incision pour introduire puis fixer une canule de verre communiquant avec un petit manomètre à mercure; dès que la ligature placée du côté du rein fut enlevée, le mercure s'éleva et se maintint dans le manomètre à 14 millimètres; déjà M. Löbell et M. Max Hermann ont mesuré cette pression dans l'uretère lié et l'ont trouvée égale chez le Chien à 7 ou 10 millimètres de mercure.

Le rein gauche du côté lié était congestionné et pesait 49 grammes, tandis que le rein du côté droit, qui fonctionnait pour les deux, pesait 35 grammes.

Cette expérience démontre que consécutivement à la ligature de l'uretère, la circulation s'arrête dans le rein; ce résultat se

conçoit facilement, l'urine continue à être excrétée après la ligature de l'uretère et distend ce canal, mais bientôt la pression augmente dans le bassinet et dans les canalicules urinifères ; ceux-ci compriment les capillaires et les rameaux d'origine de la veine rénale qui les entourent et apportent un obstacle au cours du sang.

Exp. II. — Une petite Chienne terrière fut soumise à la ligature de l'uretère gauche ; l'opération fut faite au voisinage de la vessie dans la cavité péritonéale. Les suites de l'opération furent simples et l'animal guérit et mangeait bien ; cependant il devint maigre et ses urines étaient purulentes. Un mois après, l'animal fut anesthésié, l'abdomen fut ouvert et l'on trouva l'uretère gauche non dilaté et rempli de pus ; en pressant sur l'uretère de haut en bas, on fit passer ce liquide dans la vessie ; par un tissu cicatriciel enveloppant les deux bouts de l'uretère, autrefois liés, une communication directe s'était rétablie, et le pus provenant du rein gauche s'écoulait dans la vessie, où il se mélangeait à l'urine normale venant du rein droit. En examinant le rein gauche, on trouva le bassinet rempli de pus qui s'écoula dans l'uretère par quelques pressions, la substance tubuleuse du rein était détruite en grande partie, il y avait atrophie progressive de l'organe ; il serait intéressant de reprendre cette expérience et de voir si l'on peut obtenir la disparition complète ou presque complète du rein, mais c'est là une question de physiologie pathologique qui demande des recherches ultérieures. Ce qu'il y a de certain, c'est que la ligature des uretères est suivie d'une diminution ou d'un arrêt de la circulation dans cet organe, qui cesse de remplir ses fonctions normales, d'où je conclus que la ligature de l'uretère ou la néphrotomie, au point de vue de l'élimination de l'urée, sont deux opérations identiques ; ainsi se trouve contredite de nouveau l'opinion de M. Zalesky que le rein consécutivement à la ligature de l'uretère continue à former l'urée, comme dans l'état normal, et la fait passer par la veine rénale dans le sang où elle s'accumule ; mais je vais démontrer par de nouvelles preuves que cette opinion ne peut plus être soutenue.

CHAPITRE V.

EXAMEN DU SANG DE L'ARTÈRE ET DE LA VEINE RÉNALE.

Bilan de l'excrétion urinaire. — L'urée étant simplement éliminée par le rein, on conçoit la possibilité d'une expérience semblable à celle que M. Claude Bernard a faite sur la glande sous-maxillaire et qui a démontré que le sang artériel, en passant dans la glande, perd un poids d'eau que le sang veineux contient en moins et qui est précisément égal au poids d'eau que renferme la salive. Pour imiter sur le rein cette expérience, il faut recueillir à l'aide d'une fistule de l'uretère l'urine excrétée en un certain temps, puis prendre dans la veine rénale, et ensuite dans l'artère rénale, le sang qui s'écoule dans ces vaisseaux pendant le même temps; on doit trouver que le poids d'urée excrétée par l'urine est égal au poids d'urée que le sang artériel contient en plus que le sang veineux.

Pour établir une fistule de l'uretère il n'y a aucune difficulté; il suffit de pénétrer par une incision dans la région lombaire et l'on trouve l'uretère en dehors du péritoine pariétal, contre lequel il est appliqué. J'ai pratiqué plusieurs fois cette opération, et ayant placé un tube dans l'uretère isolé, j'ai reçu l'urine qui s'écoulait de cinq en cinq minutes dans des tubes différents. Une certaine irrégularité dans l'excrétion s'est montrée, mais bientôt je me suis convaincu que cela tenait à ce que l'urine s'accumulait plus ou moins dans le bassinnet qui, à un certain degré, fonctionne pour l'uretère comme la vessie pour l'urèthre; en effet, ayant introduit dans l'uretère une sonde flexible jusque dans le bassinnet, j'obtins un écoulement d'urine continu et régulier.

Ce qui est plus difficile, c'est de prendre du sang dans la veine rénale et dans l'artère dans de bonnes conditions.

Pour recueillir du sang de la veine rénale, j'ai fait usage du procédé suivant: je pratique à droite dans la région des lombes la néphrotomie; avant d'enlever le rein droit, je place un lien le plus près possible de l'organe pour oblitérer l'uretère et les

vaisseaux, puis, le rein étant excisé, j'attire à moi les fils et je recherche dans le pédicule l'artère et la veine rénale droite. Une sonde à ouverture terminale, introduite par la veine rénale droite, est enfoncée à travers la veine cave inférieure jusque dans la veine rénale gauche dont l'ouverture est située vis-à-vis; une seringue fixée à la sonde sert à produire l'aspiration du sang dans ce vaisseau. J'ai obtenu ainsi, en deux minutes, par une manœuvre graduée de la seringue, 30 grammes de sang veineux rénal qui s'est coagulé rapidement et que j'ai placé dans un flacon avec 60 grammes d'alcool; le flacon est agité vivement.

Par l'artère rénale droite je prends du sang dans l'aorte, au niveau de l'artère rénale gauche, en aspirant à l'aide de la seringue.

La recherche de l'urée dans les deux espèces de sang a montré que :

100 grammes de sang veineux rénal contenaient. 0^{sr},041 d'urée.
 100 grammes de sang artériel rénal contenaient. 0^{sr},052 —

En supposant que nous n'ayons pas changé le rythme de la circulation rénale, que dans l'état normal la veine comme l'artère laisse passer en deux minutes 30 grammes de sang, il faut 6 minutes 40 secondes pour que la veine laisse passer 100 grammes de sang et pour que le rein excrète 0^{sr},052, — 0,041 = 0^{sr},011 d'urée, ce qui ferait en vingt-quatre heures 216 fois plus ou 2^{sr},376 et pour les deux reins le double ou 4^{sr},752, à peu près le poids qu'un Chien à jeun du poids de 10 kilogr. peut excréter.

Si, au lieu de prendre du sang dans la veine rénale par le procédé que je viens d'indiquer, on ouvre largement l'abdomen sur la ligne blanche, puis écartant le paquet intestinal, si l'on déchire le péritoine pariétal pour mettre à nu les vaisseaux rénaux du côté gauche (qui sont plus longs), on peut dans ces conditions prendre du sang dans la veine rénale. Deux liens sont appliqués sur ce vaisseau; entre les ligatures la veine est incisée, un tube est introduit et fixé, puis la ligature placée vers le rein est déliée, le sang qui s'écoule est tout à fait noir;

on l'aspire avec une seringue. En opérant ainsi, j'ai trouvé dans plusieurs expériences que le sang veineux renferme environ la moitié du poids d'urée que contient le sang artériel, je suis donc arrivé aux mêmes résultats que M. Picard.

Plusieurs physiologistes ont cependant affirmé que le sang veineux rénal renferme autant d'urée que le sang artériel; il est facile d'expliquer la contradiction qui existe sur ce point important. Par le procédé que j'ai indiqué, en apportant un faible obstacle à la circulation rénale, j'ai trouvé petite la différence entre la composition du sang artériel rénal et du sang veineux, quant à l'urée, et cette petite différence rend compte cependant du poids d'urée excrété; dans les conditions tout à fait normales, lorsque le sang veineux rénal est tout à fait rouge et présente, comme M. Cl. Bernard l'a démontré le premier, la même couleur que le sang artériel, il est certain qu'il y a encore une moindre différence entre la quantité d'urée contenue dans la veine et celle que renferme l'artère, et si l'on ouvrait largement la veine pour recueillir le sang rouge qui s'écoule, une analyse chimique qui ne serait pas très-délicate pourrait bien ne pas montrer la différence de composition qui existe entre les deux espèces de sang.

En d'autres termes, si nous admettons que la vitesse du cours du sang dans le rein est double de celle que nous avons lorsque le sang a été recueilli dans la veine rénale, pour un même poids d'urée excrétée, il aurait suffi que la différence entre la composition de 100 grammes de sang veineux et 100 grammes de sang artériel, soit 5 milligrammes $1/2$ au lieu de 11 milligr.

Pour établir le bilan de la sécrétion urinaire d'une manière exacte, il faudrait employer l'appareil si ingénieux de M. Ludwig, le compteur du courant sanguin, avec lequel M. Dogiel a fait des expériences nombreuses et instructives. Il faudrait, avec cet appareil, mesurer et recueillir le volume de sang que laisse passer l'artère rénale en un temps donné, recueillir un égal volume de sang que laisse passer la veine dans le même temps, puis la quantité d'urine excrétée par une fistule de l'uretère; enfin, soumettant à l'analyse chimique les liquides obtenus, il

faudrait reconnaître que l'urée excrétée se trouve égale à celle qu'a perdue le sang artériel. Il est évident que la réalisation de l'expérience est très-difficile, mais, sans l'essayer, nous arrivons néanmoins par l'étude de la circulation rénale à établir de nouvelles preuves en faveur de l'élimination pure et simple de l'urée par les reins. Une dernière expérience va contredire encore l'opinion de la formation de l'urée par les reins.

Ligature des uretères. Recherche de l'urée dans le sang artériel et dans le sang veineux du rein, le lendemain de l'opération. — Si l'urée qui s'accumule dans le sang après la ligature des uretères était formée par les reins, il en résulterait nécessairement qu'après cette opération le sang veineux rénal renfermerait plus d'urée que le sang artériel ; j'ai cherché par l'expérience s'il en est ainsi.

Expérience. — Chez un Chien chloroformé à jeun, on lie les uretères par des plaies lombaires à 4 ou 5 centimètres au-dessous des reins. Le lendemain, vingt-trois heures après cette opération, on donne de nouveau à l'animal du chloroforme jusqu'à l'anesthésie ; l'abdomen est incisé sur la ligne médiane, la veine rénale gauche est mise à nu et, à l'aide d'une seringue, on aspire en trois minutes un poids de sang veineux rénal égal à 27 grammes ; on remarque que déjà le sang vient par la veine beaucoup moins vite que dans l'état normal ; puis on prend dans l'artère fémorale du sang artériel en une minute ; on traite immédiatement les deux échantillons de sang par l'alcool. L'animal est sacrifié. A l'autopsie, les reins sont congestionnés, les uretères sont bien liés, et en les pressant du rein vers les ligatures ils restent distendus, ce qui prouve que les ligatures ont bien gardé.

L'analyse chimique a donné pour l'extrait aqueux de chaque sang exactement les mêmes volumes gazeux :

100 grammes de sang artériel renfermaient.....	0 ^{gr} ,157 d'urée,
100 grammes de sang veineux rénal renfermaient.	0 ^{gr} ,157 —

Ainsi consécutivement à la ligature des uretères, le sang qui sort du rein contient exactement la même quantité d'urée que

celui qui entre dans cet organe, il est donc certain que l'urée ne se forme pas dans le rein, mais continue à se former dans d'autres parties de l'organisme.

CONCLUSIONS.

Mes recherches sur la question que je me suis posée me conduisent aux conclusions suivantes :

1° Le dosage de l'urée par le procédé de Millon est rendu plus complet et plus exact par l'usage de la pompe à mercure, qui permet de recueillir les volumes égaux d'azote et d'acide carbonique qui résultent de la décomposition de l'urée par l'acide azoteux.

2° Un centimètre cube d'azote et d'acide carbonique à 0° et sous la pression de 760^{mm} représente exactement 2^{mm^{gr}},683 d'urée pure.

3° Pour doser l'urée dans le sang, il faut faire un extrait alcoolique de ce liquide et redissoudre dans l'eau le produit de l'évaporation de cet extrait.

4° 25 grammes de sang suffisent pour un dosage exact, et le tourteau après l'expression ne contient plus d'urée.

5° Aussitôt après la néphrotomie, chez le Chien à jeun, l'urée commence à s'accumuler dans le sang, et cette accumulation est déjà manifeste trois heures après l'opération.

6° L'accroissement du poids de l'urée dans le sang et dans la lymphe, vingt-quatre heures après la néphrotomie, est égal au poids de cette substance que l'animal sain, à jeun, aurait excrété en vingt-quatre heures.

7° L'accumulation de l'urée dans le sang, dans les heures qui suivent l'ablation des reins, suit la même marche qu'après la ligature des uretères ; les lignes qui représentent les résultats des deux opérations s'élèvent au-dessus de l'horizontale et restent sensiblement parallèles.

8° Après la ligature d'un seul uretère, la circulation du sang diminue dans le rein du côté lié, et quarante-huit heures après l'opération je n'ai pu obtenir de sang dans la veine rénale.

9° Dans les conditions normales, le sang de la veine rénale contient toujours moins d'urée que celui de l'artère.

10° Cette diminution du chiffre de l'urée dans le sang veineux rénal rend compte de la quantité d'urée qui est excrétée par l'uretère.

11° Chez un animal qui a subi la ligature d'un seul uretère, le sang veineux rénal recueilli du côté lié, vingt-quatre heures après l'opération, renferme autant d'urée que le sang artériel; ainsi le rein n'excrète plus d'urée et son tissu n'en forme pas.

12° La ligature des uretères et la néphrotomie sont deux opérations identiques quant à leurs résultats, elles suppriment toutes deux la fonction éliminatrice des reins et n'apportent aucun obstacle à la formation de l'urée qui a lieu en dehors des reins.

DEUXIÈME PARTIE.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR

LA RESPIRATION DES POISSONS

CHAPITRE PREMIER.

HISTORIQUE.

Recherches de MM. de Humboldt et Provençal. — Les recherches les plus importantes qui aient été faites sur la respiration des poissons sont dues à de Humboldt et Provençal; ces expérimentateurs ont placé des poissons dans une cloche pleine d'eau; au bout d'un certain temps, l'air resté dans le liquide fut extrait par l'ébullition de l'eau dans un grand ballon muni d'un tube abducteur qui se rendait sous une cloche pleine de mercure. D'autre part, un égal volume de la même eau dans laquelle le poisson n'avait pas respiré fut soumis à l'extraction des gaz, et la comparaison des résultats fournis par les deux opérations montra que le poisson avait absorbé de l'oxygène et de l'azote et produit de l'acide carbonique.

Une tanche placée dans 2400 centimètres cubes d'eau a pris en dix-sept heures tout l'oxygène dissous, moins $\frac{2}{100}$ du volume des gaz retirés.

De Humboldt et Provençal ont placé sept tanches dans 2582 centimètres cubes d'eau de Seine pendant l'hiver; les gaz retirés après huit heures de séjour des poissons furent analysés. (Pour rendre mes résultats comparables avec ceux de MM. de

Humboldt et Provençal, j'ai calculé les volumes gazeux qu'ils ont trouvés dans un litre d'eau.)

Un litre d'eau avant la respiration contenait :		Un litre d'eau après la respiration contenait :	
cc		cc	
6,03	Oxygène.	0,40	Oxygène.
13,43	Azote.	11,20	Azote.
0,81	Acide carbonique.	5,92	Acide carbonique.

Ainsi, presque tout l'oxygène de l'eau a été absorbé ; l'azote a été absorbé en une proportion considérable, puisqu'elle s'élève à $\frac{1}{6}$ environ du volume d'azote primitivement contenu dans l'eau. Le volume d'acide carbonique produit est moindre que celui de l'oxygène absorbé, il est environ les $\frac{4}{5}$ de celui-ci.

Aussi, de Humboldt et Provençal concluent de leurs expériences que l'oxygène enlevé à l'eau n'est jamais entièrement représenté par l'acide carbonique produit, ce dernier ne s'élève qu'à $\frac{4}{5}$ du premier.

Le corps des tanches agit sur l'eau comme les branchies; pour le reconnaître, les expérimentateurs ont placé dans l'eau le corps d'un poisson et la tête au dehors.

Des tanches auxquelles on avait enlevé la vessie natatoire depuis trois jours furent placées dans de l'eau, et l'on reconnut que l'absorption d'oxygène et d'azote fut considérable, mais la production de l'acide carbonique nulle.

Le procédé que de Humboldt et Provençal ont employé pour déplacer les gaz de l'eau ne permet d'obtenir avec certitude que l'azote et l'oxygène, car l'acide carbonique ne peut être chassé de l'eau que par une longue ébullition qui fait alors passer dans la cloche sur le mercure un grand volume de liquide; l'eau refroidie par le contact du métal peut alors absorber de nouveau une partie de l'acide carbonique obtenu.

De plus, on est obligé, pour remplir le ballon, de verser à travers l'air l'eau respirée par le poisson. Toutefois, le procédé suivi par Humboldt et Provençal était le seul employé pour l'extraction des gaz de l'eau à l'époque où ces illustres expérimentateurs ont exécuté leur travail. Nous possédons depuis plusieurs années seulement un appareil d'extraction des gaz dissous dans

un liquide fondé sur l'emploi de la pompe à mercure, qui, permettant d'obtenir complètement les gaz dissous dans l'eau, peut être employé, comme je vais l'indiquer, à l'étude de la respiration des poissons.

CHAPITRE II.

APPAREIL D'EXTRACTION DES GAZ DISSOUS DANS UN LIQUIDE.

L'appareil que j'ai décrit pour extraire les gaz qui résultent de la décomposition de l'urée peut avec quelques modifications être employé à l'extraction de l'air de l'eau, il suffit d'augmenter ses dimensions pour qu'il puisse recevoir un litre de liquide; le col d'un ballon tubulé du volume d'un litre est fixé par un tube de caoutchouc à un tube de verre de même diamètre, long d'un mètre environ, que l'on réunit à la pompe à mercure; ce tube et l'assemblage de caoutchouc sont enveloppés d'un manchon de verre ou de zinc dans lequel on peut faire circuler un courant d'eau froide. La tubulure du ballon est fermée par un bouchon de caoutchouc dans lequel est fixé un tube de plomb qui se recourbe plusieurs fois, porte un robinet de verre et un bout libre suffisamment long. Le ballon est complètement immergé dans un bain d'eau que l'on porte à l'ébullition; le robinet de verre et ses points de jonction avec le tube de plomb sont maintenus plongés dans une terrine pleine d'eau froide; par tous les points où l'air extérieur pourrait pénétrer dans l'appareil il y a une fermeture hydraulique.

On prend soin tout d'abord que le tube de plomb soit plein d'eau et qu'il y ait un peu d'eau dans le ballon; dans le manchon tenu incliné sur l'horizon on fait circuler de l'eau froide, puis, adaptant la machine pneumatique ordinaire, on fait le vide dans l'appareil, puis on obtient par quelques manœuvres de la pompe à mercure le vide absolu; l'appareil ne contient plus que de la vapeur d'eau.

L'extrémité du tube de plomb est immergée dans le liquide dont il s'agit d'extraire les gaz, que ce soit de l'eau ou du sang; dès que l'on ouvre le robinet de verre, on voit le liquide se pre-

cipiter dans le ballon, entrer en ébullition rapide ; les gaz se dégagent, on les recueille en faisant manœuvrer la pompe.

Avant d'employer cet appareil, j'ai recherché s'il permet d'obtenir un dégagement complet de l'acide carbonique simplement dissous dans l'eau.

Extraction de l'acide carbonique d'une solution aqueuse qui renferme un volume connu de ce gaz. — Un ballon de verre presque rempli d'eau distillée reçoit un bouchon de caoutchouc traversé par un tube droit de verre ; l'eau est maintenue à l'ébullition pendant une heure ; au bout de ce temps, on ferme l'entrée du tube avec le doigt recouvert de caoutchouc et le ballon est retourné sur une cuve à mercure ; le métal monte dans le ballon et l'eau qui reste au-dessus ne présente aucune bulle de gaz ; on abandonne le liquide au refroidissement.

On prépare de l'acide carbonique pur ; avant d'employer le gaz on le soumet à l'analyse : 40^{cc},5 de gaz sont recueillis sur le mercure, un morceau de potasse absorbe 40^{cc},1 d'acide carbonique pur et il reste seulement 0^{cc},4 d'air.

Dans le même tube gradué, bien lavé pour qu'il ne reste pas de potasse, on recueille sur le mercure exactement le même volume de gaz dont la composition est maintenant connue et l'on fait passer les 40^{cc},5 d'acide carbonique dans l'eau distillée purgée d'air sur le mercure ; l'eau absorbe complètement le gaz.

L'appareil d'extraction étant vide, l'extrémité d'un tube de caoutchouc à parois épaisses plein d'eau fixé au tube de plomb est introduite jusqu'à la partie la plus élevée de la solution d'acide carbonique ; on fait passer dans l'appareil à dégagement la totalité du liquide dont le volume était 345 centimètres cubes et même un peu de mercure, ce qui n'offre pas d'inconvénient.

Deux manœuvres de la pompe font recueillir.....	40,00 ^{cc} de gaz.
La potasse absorbe.....	39,60 d'acide carbonique.
	<hr/>
Il reste.....	0,40 d'air.

Trois nouvelles manœuvres de la pompe ne dégagent que.....	0,55 ^{cc} de gaz.
La potasse absorbe.....	0,50 d'acide carbonique.
	<hr/>
Il reste.....	0,05 d'air.

Ainsi, on a obtenu 40^{cc},1 d'acide carbonique pur, c'est-à-dire exactement le volume que l'eau avait absorbé, et 0^{cc},45 d'air au lieu de 0^{cc},4 que l'eau avait absorbé, on ne pouvait espérer un résultat aussi parfait.

Cette expérience démontre que l'appareil à extraction des gaz uni à la pompe à mercure permet d'extraire complètement l'acide carbonique simplement dissous dans un liquide, et en même temps elle fait voir que dans l'appareil on avait d'abord obtenu un vide absolu, puisqu'on ne retrouve pas plus d'air que celui qui a été dissous par l'eau avec l'acide carbonique dont il altérait un peu la pureté.

Description de la cloche employée. — Je me suis servi de ce mode si parfait de dégagement des gaz pour étudier de nouveau la respiration des poissons. Il est nécessaire de placer les animaux dans un flacon plein d'eau, s'ils sont petits, ou dans une cloche plus ou moins grande suivant la quantité d'eau qui doit servir à la respiration. Je dispose une cloche tubulée de la manière suivante :

Je choisis deux vases cylindriques, l'un plus large que la cloche, l'autre un peu plus étroit ; dans le premier je verse du mercure sur lequel je fais flotter le second qui reçoit les poissons dont j'ai déterminé le poids à l'avance ; je recouvre ensuite avec la cloche dont la tubulure est ouverte ; avec des vases gradués la cloche est complètement remplie d'un volume d'eau connu, le mercure déprimé dans la cloche s'élève au dehors à une hauteur telle qu'elle fasse équilibre à la colonne d'eau qui remplit la cloche ; je ferme ensuite la tubulure avec un bouchon traversé par un tube de verre recourbé plein d'eau qui est fermé en dehors par un tube de caoutchouc et une baguette de verre plein.

Par cette disposition, les poissons ne peuvent jamais venir au contact du mercure et la fermeture de la cloche est parfaite ; pour faire passer l'eau respirée dans l'appareil à extraction des gaz, on met celui-ci en communication avec le tube de verre que porte le bouchon, on ouvre le robinet de l'appareil à ex-

traction, l'eau est aspirée, les gaz sont réunis et analysés; ensuite on a soin de mesurer le volume d'eau sur lequel on a opéré.

J'exposerai succinctement les résultats des expériences que j'ai faites sur les poissons munis de leur vessie natatoire, puis sur les poissons qui ont subi l'ablation de cet organe.

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES SUR LA RESPIRATION DES POISSONS.

Exp. I. — Dans un flacon bouché à l'émeri, placé sur l'un des plateaux d'une balance, on introduit un petit cyprin doré (*Cyprinus auratus*), préalablement essuyé avec du papier à filtre; le poisson pèse 8 grammes. Le flacon est rempli d'eau dont le poids est 393 grammes et on le retourne sur le mercure.

Un autre flacon rempli de la même eau, dont il contient 409 grammes, est retourné aussi sur le mercure.

Pendant que le poisson respire, on extrait les gaz de l'eau contenue dans le deuxième flacon et l'on rapporte les résultats de l'analyse au poids d'eau 393 grammes égal à celui dans lequel respire le poisson.

Six heures vingt minutes après le début de l'expérience, le cyprin exécute encore des mouvements respiratoires, mais paraît languissant et se meut à peine; on fait passer l'eau dont l'air a été respiré dans l'appareil à dégagement, puis on recueille et on analyse les gaz :

Comparaison des résultats.

	Poids d'eau ordinaire :	Poids d'eau après la respiration :
	393 ^{gr} ,0	393 ^{gr} ,0
	cc	cc
Acide carbonique....	13,00	18,3
Oxygène.....	3,26	0,1
Azote.....	6,53	6,5

On voit par ces résultats que le poisson a consommé l'oxygène presque en totalité, comme MM. de Humboldt et Provençal l'ont trouvé dans plusieurs expériences.

Quant à l'acide carbonique, l'eau après la respiration contient

3^{cc},3 en plus, c'est-à-dire un volume d'acide carbonique plus grand que celui de l'oxygène absorbé qui est seulement 3^{cc},16; ce résultat peut tenir à deux raisons : 1° le poisson est placé dans un volume d'eau limité dont il enlève l'oxygène presque en totalité; il se trouve donc à une certaine période de l'expérience dans les mêmes conditions qu'un animal aérien placé dans de l'azote ou de l'hydrogène; une Grenouille placée dans l'hydrogène par William Edwards a donné au bout de huit heures et demie à ce savant physiologiste un volume d'acide carbonique supérieur à celui de son corps; 2° l'acide carbonique peut encore provenir des combustions produites par l'oxygène de la vessie natatoire. M. A. Moreau a démontré, en effet, qu'un poisson placé dans une eau mal aérée, dont on ne renouvelle pas l'oxygène, consomme une partie de l'oxygène contenu dans sa vessie natatoire dont les gaz peuvent être considérés comme formant une sorte de *réserve respiratoire*.

Quant à l'azote, il a été absorbé dans l'expérience précédente en petite quantité seulement, car le volume absorbé s'élève à 1/22 du volume d'azote primitivement contenu dans l'eau.

Exp. II. — Cinq Cyprins dorés pesant 78 grammes furent placés dans un flacon contenant 1102 grammes d'eau, la température étant 17°,5. Au bout de deux heures un quart, on fit passer l'eau dans l'appareil à dégagement vide; l'eau ordinaire et l'eau après la respiration contenaient sur un litre (dorénavant, je rapporterai toujours les résultats d'analyse à un litre d'eau, afin de les rendre comparables entre eux et avec les résultats de MM. de Humboldt et Provençal) :

	Un litre d'eau ordinaire:	Un litre d'eau après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique...	34,6	48,7
Oxygène.....	7,0	0,0
Azote.....	15,4	15,6

Dans cette expérience, l'oxygène a été absorbé complètement, l'acide carbonique expiré est en volume double du volume d'oxygène absorbé, il y a eu une légère exhalation d'azote.

Exp. III. — Comme MM. de Humboldt et Provençal ont fait leurs expériences avec le *Cyprinus tinca* ou Tanche, j'ai expérimenté aussi sur cette espèce de poisson.

Trois tanches, dont le poids était 1042 grammes, furent placées dans 5 kilogrammes d'eau. Après une heure quinze minutes de séjour dans la cloche, les poissons paraissent souffrir; aussitôt on extrait les gaz de l'eau dont l'air a été respiré.

	Un litre d'eau ordinaire contenait :	Un litre d'eau après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique...	37,1	53,6
Oxygène.....	7,5	0,4
Azote.....	16,0	15,6

Le volume d'acide carbonique exhalé est toujours plus grand que celui de l'oxygène absorbé, il est le double. Il y a une légère absorption d'azote égale seulement à $1/40$ du volume d'azote que contenait l'eau avant la respiration.

Exp. IV. — Une seule Tanche fut placée dans 4^{kil},68 d'eau, trois heures après elle cessa de respirer et mourut.

	Un litre d'eau ordinaire :	Un litre d'eau après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique...	37,1	42,4
Oxygène.....	7,5	0,2
Azote.....	16,0	16,5

Ce poisson exhala une petite quantité d'azote $1/32$; il avait absorbé presque tout l'oxygène.

Dans les expériences de de Humboldt et Provençal, comme dans celles qui précèdent, les poissons ont été maintenus dans des conditions anormales; en effet, ils ont absorbé chaque fois à peu près tout l'oxygène contenu dans l'air de l'eau et se sont alors trouvés dans les mêmes conditions qu'un animal aérien qui respire l'air confiné. Pour bien étudier la respiration des poissons, il faut les placer dans de l'eau renouvelée, ou dans une cloche contenant un grand volume d'eau et pendant un temps assez court pour que les proportions des gaz soient peu altérées; je me suis rapproché de ces conditions dans l'expérience suivante.

Exp. V. — Deux Tanches pesant 0^k,37 furent placées dans une grande cloche de verre contenant 10^k,74 d'eau de Seine ; la température était 25° ; la cloche était placée dans un seau de verre dans lequel on avait d'abord versé du mercure. Une heure dix minutes après on prend de l'eau dans la cloche, et on laisse encore les poissons une demi-heure dans l'eau ; on les retire ensuite, ils sont malades : replacés dans l'aquarium, ils se tiennent sur le côté.

	Un litre d'eau de Seine contenait :	Un litre d'eau après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique...	34,90	40,2
Oxygène.....	6,06	1,0
Azote.....	13,50	14,5

Comparons les résultats de cette expérience avec ceux qui ont été obtenus par MM. de Humboldt et Provençal et qui sont indiqués page 40. Dans l'eau de Seine dont ils se sont servis, et que pour cette expérience j'ai employée aussi, je trouve exactement les mêmes proportions d'azote et d'oxygène que ces expérimentateurs ; mais pour l'acide carbonique, le volume que permet de dégager et de recueillir l'appareil que j'emploie est plus de quarante fois plus considérable.

Dans cette expérience, les poissons ont exhalé 5^{cc},3 d'acide carbonique et absorbé 5^{cc},06 d'oxygène ; quant à l'azote, au lieu d'être absorbé, il a été exhalé dans la proportion de 1/14.

Toutefois je ferai remarquer qu'ici encore la proportion de l'oxygène dans l'eau a trop diminué, et les poissons n'étaient pas encore dans les conditions normales de leur respiration, conditions dont il faut tâcher de se rapprocher dans des travaux ultérieurs, si l'on veut déterminer, par exemple, le volume d'oxygène absorbé et celui de l'acide carbonique produit par un poisson pendant un certain temps.

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES SUR UNE TANCHE PRIVÉE DE VESSIE NATATOIRE.

Ablation de la vessie natatoire. — Chez une Tanche convenablement fixée, on fit une plaie dans le sens des côtes, au-dessus de la nageoire ventrale ; la vessie natatoire fut découverte, le canal aérien fut lié et les deux parties de la vessie furent arrachées successivement ; une suture profonde et une suture superficielle servirent à fermer la plaie ; l'opération fut faite obligeamment par mon collègue et ami M. le docteur Moreau. Quatre jours après l'opération, ce poisson était très-vigoureux et je pus étudier sa respiration dans l'eau de Seine.

Respiration d'un poisson privé de la vessie natatoire. — La Tanche fut placée dans la cloche contenant trois litres et demi d'eau de Seine prise auprès du pont d'Austerlitz ; après trois heures de séjour dans l'eau, on fit pénétrer dans l'appareil à extraction des gaz une partie de l'eau respirée ; le poisson était languissant, mais il se mit cependant à nager aussitôt qu'il fut remplacé dans l'aquarium. L'eau de Seine ordinaire fut ensuite soumise à l'extraction des gaz.

Dans les deux cas, après l'extraction la plus complète possible de l'acide carbonique libre, on fit passer dans l'appareil de l'acide chlorhydrique pur pour rendre libre tout l'acide carbonique combiné à la chaux et pour donner ainsi à l'expérience comparative toute la certitude désirable, pour déterminer à coup sûr la quantité d'acide carbonique fournie par le poisson.

	Un litre d'eau de Seine ordinaire contenait :	Un litre d'eau de Seine après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique libre . . .	17,28	22,40
Acide carbonique combiné .	70,14	75,04
Acide carbonique total . . .	87,42	97,44
Oxygène	7,44	0,00
Azote	16,14	16,23

Ainsi la Tanche privée de sa vessie natatoire absorba tout

l'oxygène, 7^{cc},43 d'oxygène par litre d'eau respirée, exhala de l'acide carbonique, 10 centimètres cubes de gaz, et n'absorba point d'azote.

Ainsi un poisson privé de sa vessie natatoire exhale de l'acide carbonique comme il le faisait avant l'ablation de cet organe. Quant à l'absorption de l'azote qui a lieu comme l'ont reconnu de Humboldt et Provençal chez les poissons munis de leur vessie natatoire et placés longtemps dans l'eau confinée, elle tient probablement à ce que ces poissons exhalent une certaine quantité d'azote dans leur vessie natatoire; cette hypothèse que rend vraisemblable la non-existence de l'absorption d'azote par un poisson privé de sa vessie natatoire, pourrait être démontrée par une expérience directe.

Respiration dans l'eau distillée. — La même Tanche qui pèse 95 grammes fut placée huit jours après l'ablation de la vessie natatoire dans 3 litres 600 d'eau distillée; je pris de l'eau distillée pour éviter la grande quantité d'acide carbonique libre ou combiné que contient l'eau de Seine; je pris la précaution de bien aérer cette eau pure, en la faisant traverser par le courant d'air d'une trompe établie dans le laboratoire; les bulles d'air se succédèrent dans l'eau pendant une demi-heure.

Après 2 heures 50 minutes de séjour dans l'eau distillée aérée, les gaz furent extraits et l'on trouva les résultats suivants :

	Un litre d'eau distillée aérée contenait :	Un litre d'eau distillée après la respiration :
	cc	cc
Acide carbonique libre...	2,70	9,27
Acide carbonique combiné.	1,14	2,91
Acide carbonique total...	3,84	12,18
Oxygène.....	8,14	3,17
Azote.....	15,00	14,97

Ainsi le poisson n'absorba point d'azote; le volume d'oxygène absorbé fut 4^{cc},97 par litre d'eau, le volume d'acide carbonique produit fut 8^{cc},34.

De ces nombres, il est facile de déduire par le calcul le poids d'oxygène absorbé et le poids d'acide carbonique exhalé en une heure par un kilogramme de poissons; ainsi je trouve que la Tanche avait absorbé 0^k,093 d'oxygène, exhalé 0^k,215 d'acide

carbonique par kilogramme et par heure. Mais je dois faire remarquer de nouveau que le poisson se trouvait dans des conditions qui ne sont pas tout à fait normales ; pour déterminer chez les animaux aquatiques des nombres qui permettent de les classer dans le tableau si instructif des résultats de MM. Regnault et Reiset, il faudra disposer les expériences pour renouveler convenablement l'eau qui sert à la respiration.

CONCLUSIONS.

1° L'ébullition de l'eau dans un ballon de verre, muni d'un tube abducteur, permet d'obtenir le dégagement complet de l'azote et de l'oxygène dissous, mais non point celui de l'acide carbonique libre.

2° L'emploi d'un appareil à extraction des gaz uni à la pompe à mercure permet d'obtenir tous les gaz dissous et même la totalité de l'acide carbonique libre.

3° Un poisson placé pendant plusieurs heures dans un volume d'eau limité exhale toujours plus d'acide carbonique qu'il n'absorbe d'oxygène ; souvent le volume d'acide carbonique exhalé est le double du volume d'oxygène absorbé.

4° Dans ces conditions il y a quelquefois une légère absorption d'azote, d'autres fois une petite exhalation de ce gaz.

5° Un poisson privé de la vessie natatoire exhale de l'acide carbonique, absorbe de l'oxygène comme il le faisait avant l'ablation de cet organe ; placé dans un volume d'eau limité, il exhale aussi plus d'acide carbonique qu'il n'absorbe d'oxygène.

6° Le poisson privé de la vessie natatoire, placé dans l'eau de Seine ou dans l'eau distillée aérée, n'absorbe pas et n'exhale pas d'azote.

Vu et approuvé, le 6 décembre 1869.

Le Doyen de la Faculté des sciences,
MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer, le 6 décembre 1869.

Le Vice-recteur de l'Académie de Paris,
A. MOURIER.

DEUXIÈME THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

BOTANIQUE.

I. Organisation et développement de l'ovule, en y comprenant son passage à l'état de graine.

II. Caractères des Monocotylédones du groupe des Glumacées.

Vu et approuvé, le 6 décembre 1869.

Le Doyen de la Faculté des sciences,
MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer, le 6 décembre 1869.

Le Vice-recteur de l'Académie de Paris,
A. MOURIER.