

Prenons une grenouille, faisons faire hernie au poumon par une incision abdominale et installons ce poumon étalé sur la platine d'un microscope. Nous pouvons voir le sang parcourir par saccades les petits vaisseaux. Mettons à nu le pneumogastrique, coupons sa branche cardiaque pour éviter les arrêts du cœur, et, après l'avoir sectionné, faisons une excitation de son bout périphérique. Nous verrons, sous l'influence du resserrement des vaisseaux, le sang se ralentir et même stagner dans les capillaires pulmonaires.

Ajoutons que, chez les mammifères et chez les oiseaux, il ne semble pas que le pneumogastrique exerce une action directe sur la circulation pulmonaire. Ce serait le système sympathique qui jouerait le rôle de vaso-constricteur.

L'importance du nerf vague dans les phénomènes respiratoires est si considérable, qu'après sa double section, la mort a toujours lieu comme suite directe ou indirecte de phénomènes asphyxiques plus ou moins rapides.

## DIX-SEPTIÈME LEÇON

### Phénomènes chimiques de la respiration, air inspiré, air expiré.

Nous avons jusqu'ici étudié les mécanismes qui font arriver l'air jusqu'au sang chargé lui-même de transmettre l'oxygène aux tissus, mais nous n'avons rien vu de l'essence même de la fonction respiratoire. Sans aller aujourd'hui jusqu'au fond de la question, voyons d'abord les modifications que subit l'air dans l'intérieur du poumon.

AIR INSPIRÉ, AIR EXPIRÉ. ANALYSE. QUOTIENT RESPIRATOIRE. — La composition de l'air inspiré est connue : il renferme en chiffres ronds et en volumes 21 d'oxygène, 79 d'azote, 0<sup>cc</sup>,04 environ d'acide carbonique et de la vapeur d'eau en quantité très variable.

Voyons maintenant celle de l'air expiré.

Pour faire l'analyse de cet air, nous n'avons qu'à souffler dans un gazomètre, y faire des prises de gaz et effectuer des dosages sur ces prises. Pour cela, nous employons une pipette particulière qui consiste en un tube T gradué, mis en relation par son extrémité inférieure, à l'aide d'un tube de caoutchouc *t*, avec un réservoir R plein de mercure et qu'on peut soulever ou abaisser (fig. 191). Commençons par élever le réservoir de façon à ce que le tube soit plein de mercure et mettons son extrémité supérieure en relation avec le gazomètre par un tube de caoutchouc aussi

court et aussi étroit que possible, pour éviter le mélange de l'air à analyser avec l'air atmosphérique; abaissons alors le réservoir: nous attirons ainsi l'air du gazomètre dans le tube. Quand ce dernier est plein, nous pinçons le tube de caoutchouc et la pipette est alors mise en relation avec une éprouvette graduée pleine de mercure et placée sur la cuve à mercure (fig. 192). L'extrémité du tube de caoutchouc étant amenée sous l'éprouvette, on lâche la pince et on remonte le réservoir de la pipette; l'éprouvette est ainsi remplie de l'air à analyser.

Pour lire la quantité d'air contenue dans l'éprouvette, amenons le mercure à la même hauteur dans cette éprouvette et dans la cuve. Soit  $100^{\text{cc}}$  le chiffre donné par cette lecture. Nous introduisons dans l'éprouvette avec une pipette à boule de caoutchouc quelques centimètres cubes d'une solution saturée de potasse, puis nous agitions le tube et, quand il a repris la température ambiante, nous faisons la lecture à nouveau, toujours en amenant le mercure au même niveau. On peut négliger le poids de la petite colonne de la solution de potasse. Soit  $95^{\text{cc}},6$  le nouveau chiffre, nous avons absorbé  $4^{\text{cc}},4$  par la potasse, donc nous avons  $4^{\text{cc}},4$  % d'acide carbonique.

Ceci fait, introduisons maintenant dans notre éprouvette une solution concentrée d'acide pyrogallique: celui-ci, se combinant avec la potasse en excès,

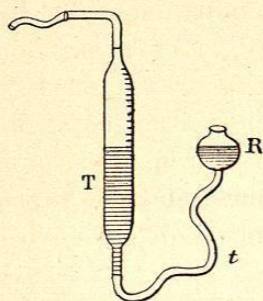


FIG. 191. — Pipette pour prise de gaz: R réservoir plein de mercure qu'on peut monter ou descendre, t tube de caoutchouc, T tube gradué.

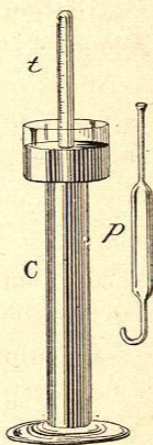


FIG. 192. — Cuve à mercure profond pour analyse de gaz: C cuvette profonde, t tube gradué, p pipette pour l'introduction des solutions de potasse et d'acide pyrogallique.

donne du pyrogallate de potassium qui absorbe l'oxygène. Agitons le tube et faisons notre nouvelle lecture: soit  $79^{\text{cc}},6$  le nouveau chiffre, nous avons donc  $95,6 - 79,6 = 16$  d'oxygène.

Pour l'azote qui se dose par différence, il est en mêmes proportions dans l'air expiré que dans l'air inspiré. Notons en passant que l'air expiré est toujours saturé de vapeur d'eau à sa température de sortie qui est de  $34^{\circ}$  environ chez l'homme.

Si nous examinons la quantité de  $\text{CO}_2$  apparue, soit  $4,40 - 0,04$  (de l'air normal) =  $4,36$  et la quantité d'oxygène disparue, soit  $20,8 - 16 = 4,8$ , nous voyons que le rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  est plus petit que l'unité  $\frac{4,36}{4,8} = 0,92$ ; cela prouve que tout l'oxygène absorbé n'est pas employé à l'oxydation du carbone et que tout l'acide carbonique formé ne s'échappe pas par le poumon.

Nous avons supposé les analyses faites à  $0^{\circ}$  et à  $760^{\text{mm}}$ . Si la pression et la température étaient différentes, on ferait les corrections nécessaires suivant la formule:

$$V_0 H = \frac{V t}{1 + \alpha t} \times \frac{H}{h}$$

$V_0 H$  étant le volume à  $0^{\circ}$  et à  $760^{\text{mm}}$ ,  $V t$  le volume à  $t^{\circ}$  et à la pression  $h$ ,  $\alpha$  le coefficient de dilatation de l'air et  $t$  la température.

Le dosage de l'oxygène se fait plus rigoureusement par la *méthode eudiométrique*. Après avoir absorbé l'acide carbonique par la potasse, on introduit dans l'éprouvette une quantité d'hydrogène plus que suffisante pour la formation d'eau avec l'oxygène et l'on fait jaillir une étincelle électrique entre deux pointes de platine situées au sommet de l'éprouvette (fig. 193). Immédiatement l'hydrogène se combine avec l'oxygène, forme de l'eau, et le niveau

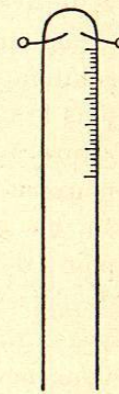


FIG. 193. — Eudiomètre.

monte dans l'éprouvette. La quantité de gaz qui disparaît se compose en volume de  $\frac{2}{3}$  H et  $\frac{1}{3}$  O; il est donc facile de calculer d'une part l'oxygène combiné, d'autre part l'hydrogène qui est en surplus et qu'il faut retrancher de ce qui reste dans l'éprouvette pour avoir l'azote. Donnons un exemple numérique pour fixer les idées. Soit  $95^{\text{cc}},6$  le volume de gaz dans l'éprouvette, après l'action de la potasse; introduisons  $40^{\text{cc}}$  d'H, ce qui porte à  $135^{\text{cc}},6$  le volume total, et faisons passer l'étincelle: le volume se réduit à  $87^{\text{cc}},6$ . Il a donc disparu  $48^{\text{cc}}$  dont les  $\frac{2}{3} = 32$  sont de l'hydrogène et l'autre tiers = 16 de l'oxygène. Par conséquent, il est resté en surplus  $40 - 32 = 8$  d'hydrogène, et nous avons  $87,6 - 8 = 79^{\text{cc}},6$  d'azote.

DOSAGE DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET DE LA PRODUCTION D'ACIDE CARBONIQUE DANS UN TEMPS DONNÉ. — Il est parfois intéressant de connaître, non pas la composition de l'air expiré, mais la consommation d'oxygène et la production d'acide carbonique pour un temps donné.

Dans une première méthode, on place l'animal dans un espace clos et on remplace l'oxygène au fur et à mesure qu'il s'épuise, tout en absorbant l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production.

Voici comment on procède (fig. 194). L'animal est placé sous une cloche C, mise en relation avec une poire de caoutchouc P qui peut alternativement être comprimée et se dilater, de manière à créer un courant d'air dans l'espace clos. Grâce à un système de soupapes S quelconque à boules, à clapet ou à mercure, l'air envoyé par la compression de la poire est lancé dans un premier tube *t* en relation avec la cloche et aspiré par un second tube *t'* également en relation avec la cloche. Pour que ces envois et ces aspirations successives ne provoquent pas des varia-

tions de pression dans la cloche, on adapte à celle-ci un petit ballon de caoutchouc *b* à parois très minces, qui se gonfle et qui se dégonfle alternativement.

Sur le trajet de l'air qui revient de la cloche à la poire est intercalé un barboteur à potasse B; la cloche est encore, d'autre part, en relation avec un récipient R plein d'oxygène. L'acide carbonique produit par l'animal est arrêté par la potasse, mais, de ce fait, la pression baisse

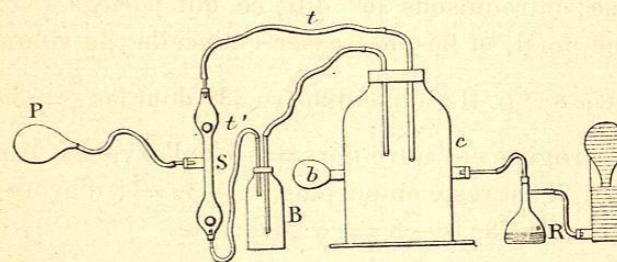


FIG. 194. — Appareil pour l'étude des échanges respiratoires: *c* cloche où est mis l'animal, *b* ballon de caoutchouc, *P* poire de caoutchouc qui, comprimée, chasse de l'air par le tube *t* dans la cloche, et, relâchée, en aspire par le tube *t'*, *B* barboteur à potasse, *R* réservoir d'oxygène alimentant automatiquement la cloche.

dans la cloche; cette baisse de pression amène un écoulement d'eau dans le récipient à oxygène, mais la pression se rétablit en même temps que la composition normale de l'air.

Quand l'expérience a duré assez longtemps, on mesure la consommation de l'oxygène par la quantité d'eau écoulée et la quantité d'acide carbonique en pesant le barboteur à nouveau ou mieux en dégageant par un acide fort, dans la pompe à mercure, l'acide carbonique du carbonate de potassium formé. Nous verrons ce dispositif expérimental à propos de l'analyse des gaz du sang. On a ainsi, pour un temps donné, le quotient  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ .

Une deuxième méthode consiste à mettre l'animal en relation avec un gazomètre plein d'oxygène, en le faisant inspirer et expirer dans ce gazomètre; un système de

soupapes sépare le courant d'air de l'inspiration de celui de l'expiration, et sur ce dernier est intercalé un barboteur à potasse (fig. 195). La baisse du gazomètre à la fin de l'expérience indique l'oxygène absorbé; on mesure comme ci-dessus l'acide carbonique produit.

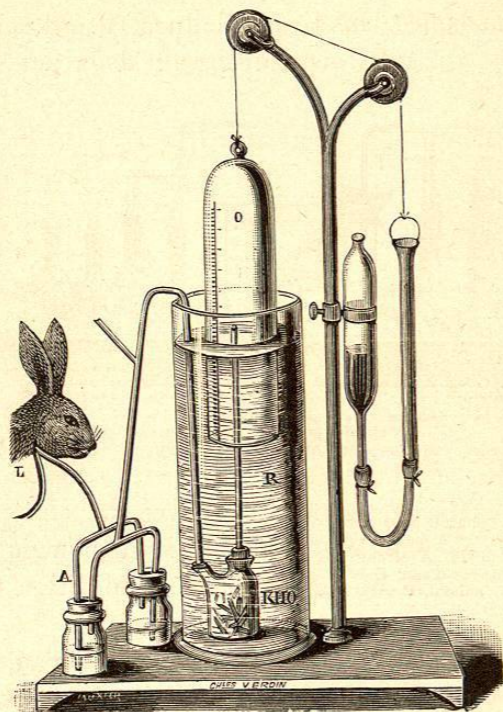


FIG. 195. — Autre appareil pour l'étude des échanges respiratoires : O réservoir d'oxygène, KHO barboteur à potasse, A soupapes de Müller pour diriger le courant d'air d'inspiration et d'expiration.

En munissant le gazomètre d'un stylet portant sur un cylindre enregistreur tournant lentement et mis dans la position verticale, on a le graphique de la consommation de l'oxygène (fig. 180).

Quand on veut avoir seulement l'acide carbonique produit dans un temps donné, il vaut mieux faire respirer l'animal dans un courant d'air; les conditions sont plus

normales que dans les deux procédés sus-indiqués. Pour cela, on place le sujet dans une cloche à deux tubulures : la première est mise en relation avec une trompe aspirante par l'intermédiaire d'une série de barboteurs propres à recueillir l'acide carbonique, la deuxième avec un autre barboteur à potasse qui dépouille l'air atmosphérique aspiré dans la cloche du  $\text{CO}_2$  qu'il peut contenir (fig. 196). On met ordinairement, dans les barboteurs

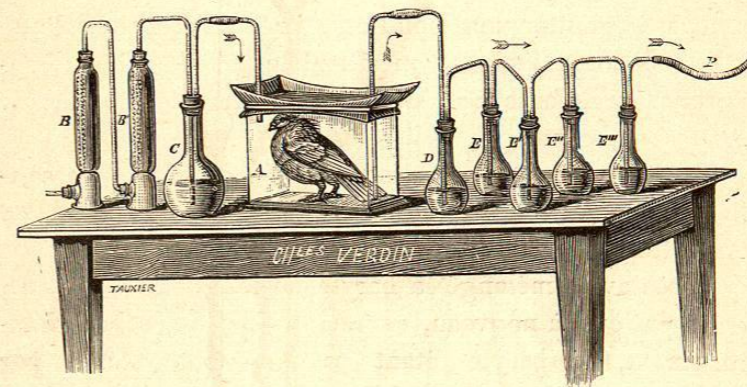


FIG. 196. — Appareil pour doser l'acide carbonique produit dans un temps donné : BB' éprouvettes à potasse pour dépouiller l'air de son acide carbonique, C ballon témoin à baryte, A cloche où l'on met l'animal, D flacon à acide sulfurique pour retenir la vapeur d'eau, E E' E'' E''' ballons à baryte pour arrêter l'acide carbonique produit par l'animal, P tube d'aspiration de l'air.

destinés à recueillir le  $\text{CO}_2$  produit par l'animal, de la potasse, sauf dans le dernier, qui contient de l'eau de baryte. Ces tubes doivent être très nombreux, parce qu'il faut un courant d'air assez rapide. Lorsque le flacon contenant de l'eau de baryte commence à se troubler, il est temps d'interrompre l'expérience. Il n'y a plus qu'à calculer le temps et à doser par les procédés ordinaires.

Quand il s'agit d'animaux qui fabriquent peu d'acide carbonique, par exemple les vertébrés inférieurs et les invertébrés, on peut mettre de la baryte dans tous les barboteurs, ce qui simplifie beaucoup le dosage.

Ce dernier peut être effectué, en effet, par un *procédé colorimétrique*.

On met dans des barboteurs, qui doivent être absolument étanches pour que tout l'air aspiré passe bien par la cloche et la balaie, 400<sup>cc</sup> de solution de baryte, par exemple.

On prélève sur la solution employée pour l'opération 10<sup>cc</sup> que l'on dose alcalimétriquement. Pour cela, après l'avoir colorée par la phtaléine, on y laisse tomber goutte à goutte une solution titrée d'acide oxalique (2 gr. 863 par litre) et on attend la décoloration. Supposons qu'il faille 27<sup>cc</sup> de la solution pour décolorer les 10<sup>cc</sup> de baryte.

L'expérience est alors mise en train et on l'arrête seulement lorsque le dernier ballon commence à se troubler. Admettons qu'il ait fallu pour cela deux heures.

Après avoir mélangé la baryte de tous les barboteurs, on y prélève, à nouveau, 10<sup>cc</sup> et on titre de rechef. Naturellement, la baryte étant partiellement saturée par l'acide carbonique, il va falloir moins d'acide oxalique pour la neutraliser. Soit 20<sup>cc</sup> la quantité nécessaire de la solution d'acide oxalique qui est telle que 1<sup>cc</sup> correspond à 1 mmgr. d'acide carbonique. Les 7<sup>cc</sup> de différence avec le dosage précédent indiquent que ces 10<sup>cc</sup> de baryte ont fixé 7 mmgr. d'acide carbonique. Comme on avait en tout 400<sup>cc</sup> de baryte, cette baryte a fixé  $7 \times 40 = 280$  mmgr. d'acide carbonique. La durée de l'expérience ayant été de deux heures, on en conclut facilement la production en 24 heures.

## DIX-HUITIÈME LEÇON

### Mouvements du cœur. — Circulation dans les vaisseaux.

L'appareil circulatoire se compose d'un organe moteur central, le *cœur*, et de vaisseaux qui partent de cet organe, les *artères*, ou y aboutissent, les *veines*. Entre les artères et les veines sont intercalés les *capillaires*, petits vaisseaux excessivement étroits. Le cours du sang, réglé par des *valvules* fonctionnant comme des soupapes, se fait toujours suivant le même sens dans cet appareil.

Le cœur est divisé en quatre cavités, deux supérieures, les *oreillettes*, deux inférieures, les *ventricules*. Chaque oreillette communique avec le ventricule du même côté par un orifice muni d'une valvule permettant le passage du sang de l'oreillette dans le ventricule, mais non le reflux du sang du ventricule dans l'oreillette.

On peut grouper encore ces cavités en cœur droit, composé de l'oreillette et du ventricule droits, et cœur gauche, comprenant l'oreillette et le ventricule gauches. Du ventricule droit part l'artère pulmonaire; l'artère aorte sort du ventricule gauche. A l'oreillette droite aboutissent les veines caves et à l'oreillette gauche les veines pulmonaires (fig. 197).

Ces cavités, ayant des parois musculaires, sont susceptibles de se contracter. Quand une oreillette se contracte, c'est-à-dire pendant la *systole*, elle envoie du sang dans le ventricule correspondant; quand elle se relâche, c'est-à-dire lorsqu'elle est en *diastole*, elle se