

Les chiffres produits par M. Bonnet sont tout à fait concordants. Ainsi, il trouve, pour les petites tailles, de 2 litres et demi à 3 litres (de 2500 à 3000 centimètres cubes), pour les tailles moyennes, 3 litres et demi (3500 centimètres cubes), pour les grandes tailles, 4 litres (4000 centimètres cubes). M. Bonnet a vérifié aussi cette remarque de M. Arnold, savoir : qu'à partir de trente-cinq ans, la capacité vitale des poumons va sans cesse en diminuant d'une faible quantité.

La grandeur de la circonférence du thorax influe également sur les résultats, et aussi, ainsi qu'on pouvait le prévoir, les professions, le sexe et le genre de vie, c'est-à-dire les habitudes corporelles.

Le fait, annoncé par M. Hutchinson et étudié depuis quelques années avec beaucoup de persévérance, a pris une certaine importance en pathologie : on conçoit, en effet, que la diminution dans le volume d'air que l'individu peut mettre en circulation dans ses poumons puisse indiquer que les phénomènes de la respiration ne s'accomplissent pas comme ils doivent s'accomplir dans l'état normal, appeler l'attention du médecin ou sur l'état des poumons ou sur l'état de la cage thoracique, et servir de mesure à l'état pathologique.

Il ne faut ni s'exagérer la portée des services que la spirométrie ou pneumatométrie peut rendre en pathologie, ni repousser systématiquement ce nouveau mode d'investigation, comme quelques-uns le font. Les recherches de M. Buys-Ballot, celles de M. Fabius, celles de M. Donders prouvent, il est vrai, que la *capacité vitale* des poumons est subordonnée à des conditions individuelles si nombreuses, qu'il n'est guère possible d'arriver aujourd'hui, à cet égard, à des déterminations rigoureuses ; mais il n'en est pas moins certain que toutes les affections pulmonaires diminuent la *capacité vitale* des poumons.

§ 138.

Changements chimiques dans la constitution de l'air expiré. —

L'air que nous expirons est moins riche en oxygène que celui que nous avons inspiré. L'air expiré contenant moins d'oxygène que l'air inspiré, la quantité en moins représente la proportion d'oxygène enlevée à l'air atmosphérique et passée dans le sang, au travers des membranes du poumon. L'air perd donc de l'oxygène pendant son passage dans les poumons. D'un autre côté, il contient une quantité d'acide carbonique beaucoup plus considérable. Quant aux proportions d'azote, tantôt elles sont à peu près les mêmes dans l'air expiré et dans l'air inspiré, tantôt les proportions de ce gaz sont légèrement augmentées dans l'air expiré.

Des recherches assez exactes sur la composition de l'air expiré par l'homme ont été faites autrefois par M. Davy et aussi par MM. Allen et Pepys. Ces derniers recueillaient les produits de l'expiration dans un gazomètre et en faisaient ensuite l'analyse. Les expériences plus récentes de MM. Brunner et Valentin, celles de M. Vierordt, celles de MM. Andral

et Gavarret, celles de M. Smith, celles de MM. Pettenkofer et Voit, offrent, à cet égard, des garanties plus sérieuses d'exactitude.

L'appareil employé par MM. Brunner et Valentin, pour mesurer chez l'homme la quantité d'oxygène contenu dans l'air expiré, est représenté figure 63. Il consiste dans un vase à trois tubulures A, d'une contenance

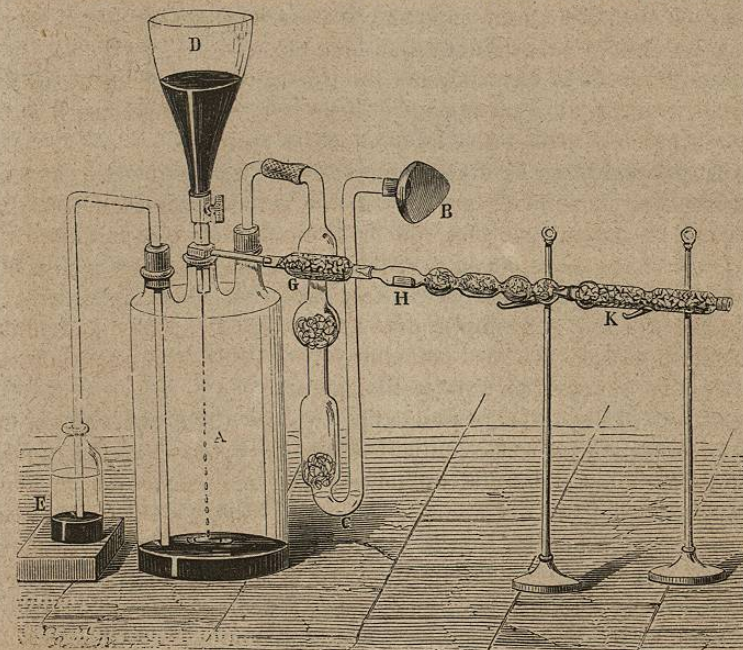


Fig. 63.

de 1 litre environ. Sur la tubulure du milieu est fixé un entonnoir à robinet D, rempli de mercure. Sur l'une des deux autres tubulures est fixé un tube recourbé et à renflements C, terminé à son extrémité par un embout B, destiné à s'appliquer hermétiquement sur la bouche. Ce tube recourbé contient, dans sa partie déclive, en C, et dans ses parties renflées, de l'amiante imbibée d'acide sulfurique. La troisième tubulure du flacon A donne passage à un tube recourbé, qui plonge librement dans un verre E contenant du mercure. L'expérimentateur applique hermétiquement l'embout B sur sa bouche, inspire par le nez et expire par la bouche. L'air contenu dans le flacon A est déplacé par l'air expiré, et sort en E, annonçant sa sortie par des bulles qui éclatent à la surface du liquide. Au bout d'un quart d'heure, on peut être certain que tout l'air atmosphérique a été chassé par déplacement, et que le mélange gazeux contenu dans le flacon A représente exactement les gaz de l'expiration ¹. On laisse alors refroidir l'appareil. Le contenu gazeux

¹ Au bout de ce temps, en effet, il a passé environ 135 litres de gaz dans l'appareil un demi-litre par expiration, et 18 expirations par minute.

du flacon A ne renferme point de vapeur d'eau, car l'air expiré s'en est dépouillé pendant l'expérience, en traversant le tube C : il renferme donc l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique expirés. Reste à doser la quantité d'oxygène contenu dans le mélange gazeux du flacon. A cet effet, on adapte à la tubulure moyenne du flacon A un tube à renflements GH. Le tube G contient des fragments de chlorure de calcium ou de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique ; il est destiné à arrêter les traces d'humidité qui auraient pu échapper au tube C. Le tube H contient des fragments de phosphore. A la suite de H est un tube à ampoules rempli de coton. On chauffe alors le tube à phosphore, et on ouvre légèrement l'entonnoir à mercure qui surmonte l'appareil. Le mercure qui tombe dans le flacon A déplace le mélange gazeux et le force à passer par le tube à phosphore, où il se dépouille de son oxygène. L'oxygène se fixe sur le phosphore, et forme de l'acide phosphorique, de l'acide phosphoreux et de l'oxyde de phosphore. Ces produits se subliment sur les parois du tube H, ou sont arrêtés par le tube à coton qui lui fait suite.

Le volume du mélange gazeux qui a traversé le tube à phosphore est indiqué par le volume du mercure qui l'a déplacé dans le flacon A. En comparant la quantité dont le tube à phosphore et les tubes à coton ont augmenté de poids, au volume du mélange gazeux qui a traversé le tube à phosphore, on obtient le poids d'oxygène contenu dans un volume déterminé du mélange gazeux. Le poids d'oxygène obtenu est réduit en volume par un simple calcul.

En opérant ainsi, MM. Brunner et Valentin ont trouvé (moyenne de 34 expériences) que l'air expiré ne contient plus que 16,03 pour 100 en volume d'oxygène. Or, l'air atmosphérique en contient 20,9 pour 100 ; il a donc disparu, par absorption, 4,87 d'oxygène pendant la respiration.

L'appareil employé par MM. Brunner et Valentin pour mesurer la quantité d'acide carbonique contenu dans l'air expiré par l'homme est le même que celui de la figure 63, avec cette différence que l'on adapte, outre le tube GH, lorsque l'appareil est rempli par les gaz de l'expiration, un autre tube à renflement K renfermant des fragments de pierre ponce imbibés d'une dissolution saturée de potasse caustique.

Lorsque le vase A est rempli par les produits gazeux de l'expiration, on ouvre l'entonnoir à mercure qui surmonte ce vase, et on détermine ainsi le passage du gaz au travers des tubes à analyse. Les produits gazeux s'échappent non-seulement au travers du tube à phosphore, mais encore au travers des tubes renfermant la potasse caustique. Ces derniers tubes fixent l'acide carbonique, et des pesées comparatives, faites avant et après l'expérience, indiquent ces proportions.

Il résulte de 103 observations, faites par MM. Brunner et Valentin, que la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air expiré est de 4,267 (minimum 2,361, maximum 5,495) pour 100 en volume (l'air inspiré

n'en contenait que 0,0004 (ou 0,0006 de son volume). M. Vierordt, qui a tenté à cet égard près de 600 expériences, est arrivé, à peu de chose près, aux mêmes résultats. L'air expiré contient, suivant lui, en moyenne, 4,336 (minimum 3,358, maximum 6,220) pour 100 en volume d'acide carbonique.

Si maintenant nous additionnons entre elles les quantités d'acide carbonique exhalé à chaque expiration, pendant *une heure* consécutive, nous arrivons, en volume et en moyenne, au chiffre de 18 litres 50 centilitres.

Dix-huit litres 50 centilitres d'acide carbonique sont donc exhalés par heure par la surface pulmonaire. Or, chaque litre d'acide carbonique pesant 1 gramme 98 centigrammes, il en résulte que l'homme exhale en moyenne, par heure, 36 grammes d'acide carbonique. Je n'ai pas besoin de rappeler que c'est là une moyenne qui peut varier en plus ou en moins dans des limites assez étendues ¹.

Dans leurs recherches chimiques sur la respiration, MM. Regnault et Reiset ont expérimenté, non sur l'homme, mais sur les animaux, ce qui leur a permis de varier beaucoup leurs expériences. MM. Regnault et Reiset n'ont pas procédé comme MM. Brunner et Valentin. Les animaux sont introduits dans un volume d'air limité, dans lequel ils séjournent plusieurs jours. La composition de l'air emprisonné est sans cesse ramenée à l'état naturel par le jeu des appareils. L'oxygène consommé par les animaux est restitué à l'air à mesure qu'ils le consomment. L'acide carbonique produit est enlevé à mesure qu'ils le dégagent. Quant à l'azote, comme sa quantité varie peu, on ne l'apprécie qu'à la fin de l'expérience. Dans ce mode d'expérimentation, l'animal se trouvant placé dans un espace limité, clos de manière que rien ne s'en échappe, il s'ensuit qu'on peut modifier à volonté les conditions de l'expérience : on peut varier, par exemple, les proportions du mélange gazeux offert à la respiration. Nous reviendrons à diverses reprises sur les résultats obtenus par MM. Regnault et Reiset ; nous placerons seulement ici sous les yeux du lecteur l'appareil qui a servi à leurs expériences.

L'appareil employé par MM. Regnault et Reiset est représenté figure 64. Il se compose de trois parties essentielles : 1° de l'enceinte dans laquelle est renfermé l'animal ; 2° d'un condenseur de l'acide carbonique formé dans la respiration ; 3° d'un appareil qui remplace constamment l'oxygène absorbé par l'animal.

¹ M. Pettenkofer, dont nous décrivons plus loin l'appareil, estime que la quantité d'air qui circule en moyenne dans les poumons à chaque respiration n'est pas de un demi-litre, mais seulement de un tiers de litre, et il estime seulement à 14 litres d'acide carbonique la quantité que l'homme exhale par heure ; c'est-à-dire, en poids, 28 grammes d'acide carbonique.

L'appareil employé par M. Pettenkofer est le plus parfait dont on se soit encore servi dans les recherches sur la respiration de l'homme. Nous remarquerons que, dans les *minima* des 600 expériences de M. Vierordt, il y en a un certain nombre qui sont identiques avec la moyenne adoptée par M. Pettenkofer.

1° L'enceinte qui contient l'animal consiste en une cloche de verre A, de 55 litres de capacité environ. La cloche A présente à sa partie inférieure une ouverture destinée au passage de l'animal et fermée par un couvercle hermétiquement assujéti à l'aide d'un système de boulons. La

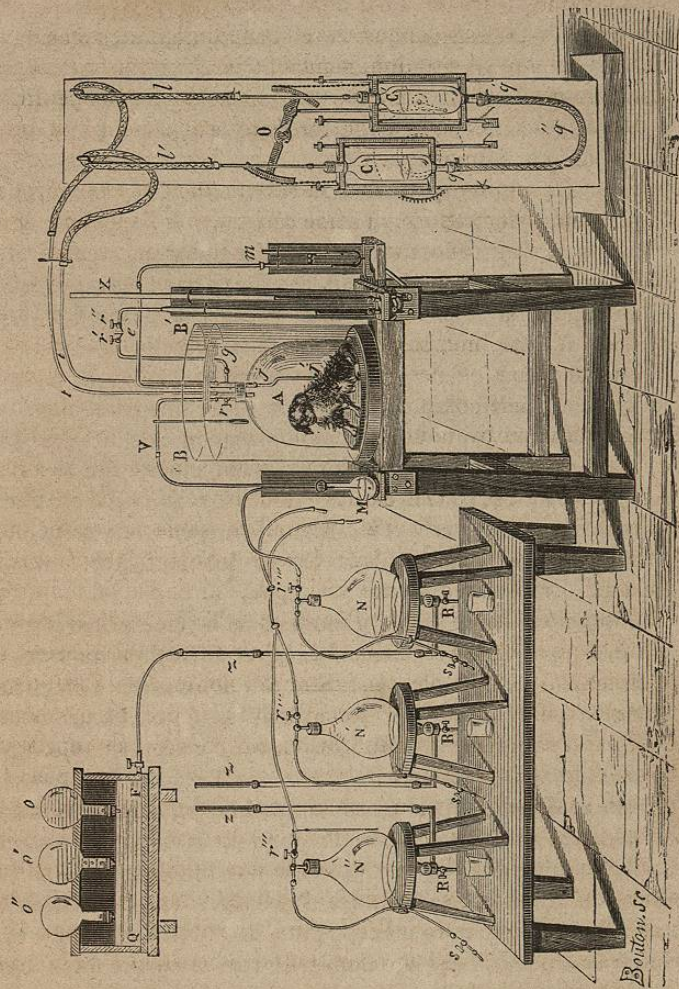


Fig. 64.

cloche A est, en outre, enveloppée d'un manchon en verre BB'. Ce manchon est rempli d'eau à une température déterminée, de manière que l'air de la cloche A est maintenu à une température sensiblement constante pendant l'expérience. La partie supérieure de la cloche A présente une tubulure qui donne passage à plusieurs tubes. Par le tube *e* la cloche communique avec un manomètre à mercure *m*, qui donne à chaque instant la tension du gaz intérieur. Par les tubes *t*, *t'*, la cloche A communique avec l'appareil condenseur d'acide carbonique. Le tube V

sert à l'introduction, par le robinet *r*, de l'oxygène nécessaire au rétablissement de la composition normale de l'air.

2° L'appareil condenseur de l'acide carbonique consiste en deux vases ou pipettes C, C', d'une capacité de 3 litres chacun. Ces deux vases contiennent chacun 1 litre et demi d'une dissolution de potasse, dont la composition et le poids sont connus, et communiquent entre eux par leurs tubulures au moyen d'un tube en caoutchouc *qq'q''*. Les tubulures supérieures des vases C et C' communiquent, par l'intermédiaire de longs tubes en caoutchouc *l*, *l'*, avec les tubes *t* et *t'*, par conséquent, avec la cloche A.

Les vases C et C' sont montés sur des cadres en fer, et ces cadres sont suspendus à un mouvement de va-et-vient annexé à l'appareil, et dont le centre est en O. Ces cadres sont guidés dans leur mouvement d'élévation et d'abaissement par des tringles de glissement. Lorsque la pipette C monte, la pipette C' descend, et comme la dissolution circule librement dans le tube en caoutchouc *qq'q''*, la pipette C se vide et la pipette C' se remplit. L'effet opposé se produit alors que la pipette C descend et que la pipette C' monte. Lorsque le liquide passe dans l'une des pipettes, il refoule l'air, dont il prend la place, du côté de la cloche A, tandis que l'air est aspiré de la cloche A vers la pipette qui se vide de liquide. Le jeu des pipettes C et C' attire donc et repousse à chaque instant l'air de la cloche A, et, de plus, l'air qui retourne vers cette cloche a été débarrassé de l'acide carbonique par son contact avec la dissolution de potasse.

L'une des pipettes attire l'air du sommet de la cloche par l'un des tubes *t*, l'autre pipette attire l'air de la région inférieure de la cloche par le prolongement *j* et *j'* de l'autre tube *t*. Ces deux prises d'air, situées à des hauteurs différentes, déterminent une agitation continue de l'air respiré par l'animal, et tendent ainsi à lui conserver une composition uniforme dans toute sa masse.

3° L'appareil destiné à fournir incessamment l'oxygène nécessaire à la respiration consiste en trois ballons de verre ou trois grosses pipettes N, N', N''. Chacune de ces pipettes présente une tubulure supérieure et une tubulure inférieure. La tubulure supérieure est pourvue d'une monture métallique à deux branches; l'une des branches, pourvue du robinet *r''*, est destinée à conduire l'oxygène vers la cloche qui contient l'animal, la seconde branche, pourvue du robinet *s*, est destinée à remplir les pipettes N, N', N'' d'oxygène (avant l'expérience). La tubulure inférieure présente également une monture métallique à deux branches. L'une des branches, pourvue du robinet R, sert à laisser écouler le liquide des pipettes quand on les remplit d'oxygène; l'autre branche, composée d'une partie horizontale et d'une partie verticale *z*, sert à introduire dans les pipettes le liquide destiné à remplacer le gaz oxygène, quand celui-ci se dirige vers la cloche où est l'animal.

Le flacon M, placé sur le chemin de l'oxygène qui des pipettes N, N', N''

se dirige vers la cloche A, contient une petite quantité de dissolution de potasse. On juge, par le passage des bulles de gaz à travers le liquide, de la rapidité avec laquelle marche le courant, c'est-à-dire de la rapidité avec laquelle l'animal consomme l'oxygène. En effet, toute diminution de tension, déterminée dans l'appareil par la fixation de l'acide carbonique dans les pipettes potassiques C, C', est aussitôt comblée par le courant gazeux des pipettes N, N', N'' vers la cloche A.

Le réservoir de liquide QF, placé à la partie supérieure et gauche de la figure, est destiné à fournir constamment aux pipettes N, N', N'' la quantité de liquide nécessaire pour maintenir la force élastique du gaz intérieur de ces pipettes égale à celle de l'atmosphère. Les ballons o, o', o'', renversés dans le réservoir QF, ont pour but de maintenir constant le niveau du liquide dans ce réservoir ¹.

4° Enfin, à côté de la cloche A se trouve disposé un manomètre X, qu'on peut mettre en communication avec la cloche A, à l'aide des robinets r', r''. Ce manomètre, pourvu inférieurement d'un robinet, donne la possibilité de puiser, à un moment quelconque de l'expérience, un volume déterminé d'air dans la cloche A, pour le soumettre à l'analyse.

Dans leurs expériences, MM. Regnault et Reiset laissaient séjourner l'animal dans l'appareil jusqu'à ce qu'il eût transformé en acide carbonique 100 ou 150 litres d'oxygène; l'expérience avait une durée de douze ou quinze heures. Quelquefois elle était prolongée pendant deux ou trois jours.

Quand on veut faire une expérience avec l'appareil que nous venons de décrire, on commence par mettre en mouvement le mécanisme ² des pipettes C, C' (préalablement garnies d'une quantité connue de dissolution potassique), et par remplir les pipettes N, N', N'' d'oxygène. On place l'animal dans la cloche, on scelle hermétiquement le couvercle qui couvre le trou par lequel on l'a introduit, puis on met en communication la pipette N avec le flacon laveur M, et, par conséquent, avec la cloche où est l'animal. L'acide carbonique, formé par la respiration, étant continuellement absorbé par les pipettes C, et C', la tension du gaz diminue dans la cloche où est l'animal (le volume d'acide carbonique produit correspondant à un volume sensiblement égal d'oxygène) et la pipette N envoie dans la cloche un volume équivalent d'oxygène. De cette manière, l'animal se trouve dans un milieu dont la tension ne varie pas et dont la composition est sensiblement la même.

Quand la pipette N a livré tout son gaz, et qu'elle se trouve remplie par le liquide du réservoir QF qui a pris sa place, on ferme le robinet r''' et on la remplace par une autre (par N''). Si l'expérience dure longtemps,

¹ Le liquide du réservoir QF, de même que le liquide des pipettes N, N', N'', est une dissolution concentrée de chlorure de sodium, qui n'exerce qu'un pouvoir dissolvant très-faible sur l'oxygène.

² Ce mécanisme est mù par un mouvement de tournebroche.

on peut remplir de gaz et épuiser successivement plusieurs fois chacune des pipettes d'oxygène.

Pour terminer l'opération, on fait une prise d'air dans la cloche A, à l'aide du tube manométrique X. L'analyse de cet air donne la composition du milieu gazeux qui entoure l'animal à la fin de l'expérience. On connaissait la composition de ce milieu au début de l'opération (air atmosphérique). La quantité d'oxygène fournie à l'animal est connue par le nombre des pipettes N qui sont vidées; la quantité d'acide carbonique formée par lui est connue par l'augmentation de poids des pipettes C et C'. La proportion d'azote contenue dans l'air, à la fin de l'expérience, est rapportée au volume de la masse gazeuse contenue dans l'appareil.

Les recherches de MM. Regnault et Reiset, précieuses par la rigueur des analyses et par le nombre des animaux sur lesquels elles ont porté, ne sont pourtant pas à l'abri de toute objection. Les échanges qui se font par la peau sont mis sur le compte de la respiration pulmonaire. Il est vrai que, sur les animaux couverts de poils et de plumes, ces échanges sont bien plus limités qu'ils ne le sont chez l'homme, et qu'on peut chez eux, et sans erreur sensible, attribuer la totalité de l'acide carbonique produit aux phénomènes de la respiration ¹. Une objection plus sérieuse, c'est que les animaux se trouvent placés dans un milieu gazeux saturé de vapeur d'eau: on voit, en effet, pendant la durée des expériences, l'eau ruisseler sur les parois de la cloche. D'une autre part, malgré les précautions prises pour absorber l'acide carbonique à mesure qu'il était formé, l'air renfermé dans la cloche, à la fin des expériences, contenait en moyenne 2 pour 100 d'acide carbonique. Cette moyenne, qui n'est pas suffisante pour amener l'asphyxie, n'est probablement pas sans influence sur la nature des gaz exhalés par le poumon durant l'expérience.

Pour placer l'animal dans une situation aussi rapprochée que possible de l'état normal, il serait préférable de le disposer au milieu d'un courant d'air, déterminé par un appareil aspirateur amenant sans cesse de l'air neuf et entraînant sans cesse l'air vicié. L'expérience serait plus compliquée, il est vrai, et les masses de gaz à analyser seraient considérables; mais nous dirons avec M. Gavarret: « L'établissement et l'entretien d'un courant constant d'air pur autour de l'animal ne permettraient pas peut-être d'atteindre un si haut degré de précision dans l'analyse des gaz expirés, mais satisferaient beaucoup plus sûrement aux exigences physiologiques du problème. »

L'appareil construit par M. Pettenkofer et utilisé par lui et par M. Voit

¹ Chez les mammifères et les oiseaux, l'exhalation cutanée de l'acide carbonique ne s'élève qu'aux 0,008 de l'acide carbonique rendu par l'exhalation pulmonaire; c'est du moins la moyenne des résultats de MM. Regnault et Reiset. Chez l'homme, au contraire, l'exhalation cutanée d'acide carbonique constitue la trente-huitième partie de l'exhalation pulmonaire (Voy. § 156).