

que la dilation du poumon fait subir à l'air déjà contenu, et qu'inversement, vu la compression de cet air quand le poumon revient sur lui-même, il y a expulsion lors de l'expiration ; mais un détail intéressant serait de savoir si l'équilibre entre l'air pulmonaire et l'air extérieur s'établit très vite, ou bien si, par exemple, pendant toute la durée de l'inspiration, la pression reste moindre dans le poumon qu'à l'extérieur. Une élégante expérience de P. Bert donne la solution de ce problème. A cet effet, un animal est placé sous une cloche hermétiquement fermée et communiquant par une tubulure avec un tambour inscripteur, qui donne les variations de pression dans la cloche. Si l'air extérieur et l'air intrapulmonaire réalisaient instantanément leur équilibre, cet appareil ne marquerait aucune variation de pression, car peu importe que l'air soit au dedans ou au dehors de l'animal. Mais il n'en est rien : on voit, en effet, l'appareil enregistreur accuser des augmentations de pression de l'air de la cloche pendant les mouvements d'inspiration, ce qui indique qu'alors cet air ne se précipite pas assez vite dans le poumon dilaté et que, par suite, il se trouve comprimé lui-même par le mouvement d'expansion du thorax ; il y a, en un mot, excès d'air dans la cloche et défaut dans le poumon. Pendant l'expiration, au contraire, il y a manque d'équilibre en sens inverse, et la dilatation de l'air de la cloche indique la compression de l'air intrapulmonaire.

Nous avons déjà étudié les nombres qui nous représentent les conditions du sang vis-à-vis de l'air intrapulmonaire ; rappelons que la surface respiratoire, égale en totalité à 200 mètres carrés, est essentiellement représentée par une nappe sanguine de 150 mètres carrés ; que cette nappe représente une masse de 2 litres de sang : que ce sang est continuellement renouvelé, de telle sorte que le poumon donne passage par vingt-quatre heures à 20 000 litres de liquide sanguin (fig. 114). Il nous faut préciser actuellement les résultats de la respiration relativement à la quantité d'air mise en présence de ce sang, et la valeur numérique des puissances qui produisent ce renouvellement d'air.

Le cône pulmonaire représente un réservoir dont la capacité totale s'élève en moyenne à 4 ou 5 litres, quand ce réservoir est rempli au maximum, c'est-à-dire quand on a fait la plus grande inspiration possible ; quand on fait la plus grande expiration possible, il reste toujours dans les poumons 1 à 1 1/2 litre qu'on ne peut en chasser d'aucune manière, puisque nous avons vu que le poumon ne peut jamais réaliser complètement sa forme naturelle. La différence entre ce second nombre et le premier constitue la

quantité d'air que l'on peut successivement introduire dans le poumon et en chasser ensuite en faisant les mouvements les plus énergiques de respiration ; c'est ce qu'on appelle la *capacité vitale* (ou *capacité pulmonaire*, ou mieux encore *capacité respiratoire*) ; elle est égale à 3 1/2 litres. Ce nombre est assez important ; il indique la grandeur des conditions physiques de nos échanges respiratoires et, par suite, il constitue comme une mesure de notre

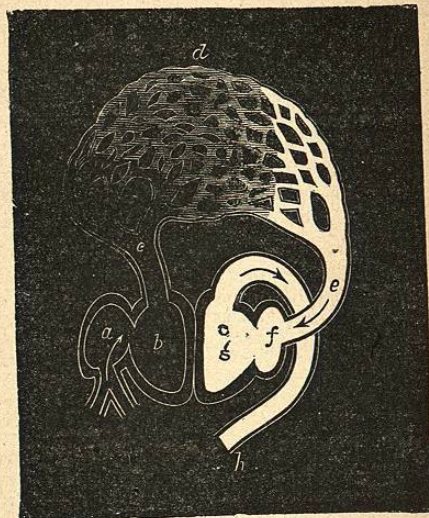


FIG. 114. — Circulation à travers le poumon \*.

vie ; car respirer, c'est vivre. Aussi a-t-on construit, pour l'évaluer, un grand nombre d'appareils dont le plus connu est le spiromètre de Hutchinson \*. Il consiste simplement en un gazomètre

\* Hutchinson, *Mélico-chirurg. Transactions*, 1846. Plus récemment on s'est servi, pour des évaluations comparatives, de l'*anapnographie* de MM. Bergeon et Kastus (de Lyon). Cet instrument est, en somme, le sphygmographe de Marey, appliqué sur les courants d'air qui pénètrent dans la poitrine ou qui s'en échappent à chaque respiration ; il consiste, en effet, essentiellement

\* a, b, Cœur droit (sang veineux) ; — g, f, cœur gauche (sang artériel) ; c, artère pulmonaire et ses branches (transportant le sang veineux vers le poumon) ; — e, veines pulmonaires (ramenant le sang artériel) ; — d, nappe sanguine du poumon ; — h, aorte. (Dalton, *Physiologie et Hygiène*.)

qui plonge dans une cuve à eau et qui est mis en rapport avec la bouche du sujet en expérience à l'aide d'un tube en caoutchouc. Un indicateur mobile et une échelle graduée et fixe permettent d'apprécier les mouvements du récipient à air. On fait faire d'abord une grande inspiration, puis on fait souffler dans le tube, et on a ainsi le volume maximum de l'air inspiré. En opérant ainsi sur environ deux mille personnes, Hutchinson a pu formuler cette loi que le volume d'air expiré maximum à l'état normal serait en proportion régulière, sinon mathématique, avec la stature. Chez un Américain athlétique, cet auteur a trouvé que le volume expiré maximum était de 7 litres (ce qui n'empêcha pas cet homme de mourir phthisique quelques années après). Nous donnons (fig. 115) le dessin du spiromètre de Schnepf, qui n'est que l'appareil d'Hutchinson modifié. L'air, expiré par le tube A, est reçu dans la cloche C, qui sert de gazomètre <sup>1</sup>.

Les nombres indiqués plus haut sont des nombres extrêmes; dans la respiration calme et ordinaire, chaque inspiration n'introduit et

en un ressort appliqué sur le courant inspiratoire et le courant expiratoire. Un levier enregistreur, muni d'une pointe écrivante, présente à son extrémité opposée une partie élargie, obturant un tube par lequel on respire. Cette partie élargie, feuille d'aluminium excessivement mince et d'une grande légèreté, joue le rôle d'une valve qui, maintenue dans l'immobilité verticale par deux ressorts opposés et d'égale force, se déplace sous l'action de chaque courant respiratoire, entraînant avec elle le levier écrivain, qui traduit sur le papier, par des traits successivement verticaux et horizontaux, les mouvements de la valve, c'est-à-dire les impressions qu'elle subit, en même temps que le ressort, de la part des courants d'air plus ou moins intenses et plus ou moins prolongés. L'exquise sensibilité de l'appareil, qui enregistre les plus faibles mouvements de l'air, comme l'éclosion d'une bulle dans un flacon, permet d'apprécier exactement la fréquence des mouvements respiratoires, la durée relative de chacun d'eux, leur intensité et surtout leur forme. (Bergeon et Kastus, *Recherches sur la physiologie médicale de la respiration, à l'aide d'un nouvel instrument, l'anapnographie*, Paris, 1869). Ces auteurs ont ainsi recueilli des tracés d'une régularité saisissante, d'une physiologie particulière suivant l'âge du sujet, l'exercice exagéré ou l'état morbide de ses poumons, etc. V. Maurice Jeannel, *Arsenal du diagnostic médical, mode d'emploi et appréciation des procédés et des instruments d'exploration employés en sémiologie*. Paris, 1877.

Il est évident que le spiromètre pourrait servir à apprécier la diminution de la capacité pulmonaire dès le début de la phthisie, alors que les signes physiques (auscultation) laissent le médecin dans le doute; mais il faudrait pour cela qu'on l'eût mesurée exactement pendant l'état de santé. Toute lésion telle que l'emphysème, la pleurésie, etc., diminuant l'espace occupé par l'air ou la quantité d'air en circulation (comme dans l'emphysème), produirait, du reste, le même résultat que la phthisie. Aussi la spirométrie ne donne-t-elle pas des renseignements très utiles à la pratique médicale.

<sup>1</sup> Schnepf, *Capacité vitale du poumon, ses rapports physiologiques et pathologiques avec les maladies de la poitrine*, 1858.

chaque expiration ne chasse que 1/2 litre d'air. On pourrait appeler ce nombre le *chiffre de la respiration ordinaire*.

Pour apprécier exactement la capacité des poumons et les quantités d'air introduites, il faut d'abord dénombrer exactement les diverses parties qui constituent successivement ces quantités d'air. On nomme *air résiduel (a)* la quantité d'air qui ne peut être chassé du poumon même pendant l'expiration la plus énergique; *air de réserve (b)*, l'air qui peut être encore chassé après une expiration ordinaire (c'est-à-dire la différence entre une expiration modérée et une expiration forcée); *air de la respiration (c)*, la quantité d'air que nous inspirons et expirons à chaque mouvement de la respiration ordinaire; enfin, *air complémentaire (d)*, la quantité d'air que nous pouvons inspirer en plus par une inspiration énergique (c'est-à-dire la différence entre l'inspiration normale et l'inspiration forcée; Hermann).

Cela étant posé, on conçoit que rien n'est plus facile que d'évaluer expérimentalement cette dernière quantité (d); la valeur numérique de cet air complémentaire est essentiellement variable avec les individus, et ces variétés se montrent subordonnées moins à la taille des individus

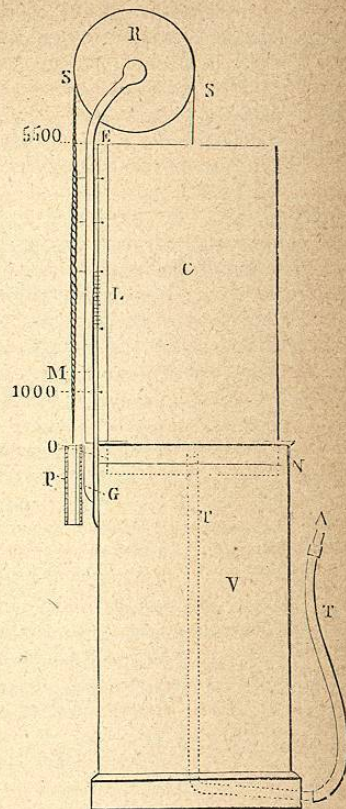


FIG. 115. — Spiromètre de Schnepf <sup>\*</sup>.

\* V, Cylindre de lait; — TT, tube respiratoire; — A, embout du tube respiratoire; — C, Cloche ou gazomètre; — P, contrepoids; — S, chaîne; — R, poulie; — L, échelle; — M, montant; G, gaine qui contient l'échelle; — N, surface du liquide contenu dans le réservoir; — E, fond du gazomètre; — O, partie inférieure ouverte du gazomètre.

qu'au mode de conformation de la poitrine. Cette quantité est d'autant plus considérable que le diamètre de la cavité thoracique est plus étendu dans le sens transverse. Les trois diamètres du poumon, ou, ce qui revient au même, de la cavité thoracique, diffèrent beaucoup par leur importance; le transverse, sous ce rapport, l'emporte notablement sur les deux autres (Sappey).

Il est également facile de mesurer la quantité  $c$  ou l'*air de la respiration* (ordinaire); il n'y a qu'à recueillir le gaz qui sort des poumons par un certain nombre d'expirations, à le mesurer, et à diviser la quantité ainsi obtenue par le nombre des expirations. Cependant il est difficile de ne pas changer involontairement pendant l'expérience le nombre et l'étendue des mouvements respiratoires. Par des moyens de contrôle particuliers, basés sur l'analyse de l'air expiré, au commencement et à la fin de l'expérience, Gréhant<sup>1</sup> est parvenu à s'entourer de toutes les conditions d'exactitude, et il a ainsi évalué la quantité  $c$  à 0<sup>l</sup>.510, ce qui est à peu près le chiffre déjà classique de 1/2 litre (Dalton, Valentin, Bérard).

Les deux autres quantités, l'*air de réserve* ( $b$ ) et l'*air résiduel* ( $a$ ), sont beaucoup plus difficiles à évaluer; on n'y peut parvenir que par un détour. On mesure d'abord la somme de ces deux quantités ( $a + b$ ), et puis ensuite l'une d'elles ( $a$ ). On obtient alors par une soustraction la valeur de la troisième inconnue ( $b$ ).

La somme  $a + b$  a été évaluée par Gréhant avec une grande rigueur; sa méthode est basée sur le même principe que nous avons déjà vu employé pour évaluer la quantité de sang contenue dans le réservoir circulatoire (V. p. 180). Pour mesurer le sang contenu dans les vaisseaux, on examine le degré de dilution que lui fait subir l'injection d'une certaine quantité d'eau; pour mesurer le volume d'air qui reste dans les poumons après une expiration ordinaire ( $a + b$ ), on mélange exactement les gaz qui sont contenus alors dans l'arbre aérien avec un volume connu d'hydrogène, puis on fait l'analyse du mélange avec l'eudiomètre. Ainsi, à la fin d'une expiration à l'air libre, l'expérimentateur se met à respirer dans une cloche contenant 500 centimètres cubes d'hydrogène pur. Après le cinquième mouvement respiratoire, le mélange est complet (V. p. 394), c'est-à-dire identique dans la cloche et dans le poumon. On n'a donc alors qu'à analyser les gaz de la cloche pour obtenir par un simple calcul le volume d'air qui était contenu dans le poumon au commencement de l'expérience, c'est-à-dire après une expiration ordinaire, ou, en d'autres termes, le volume  $a + b$ .

<sup>1</sup> V. *Journal de l'anatomie*, etc., de Charles Robin, 1864, p. 542.

Gréhant a ainsi obtenu, pour les personnes dont l'âge est compris entre dix-sept et trente ans, des valeurs qui varient entre 2<sup>l</sup>.19 et 3<sup>l</sup>.22. (Gréhant nomme cette quantité *capacité pulmonaire*. Ce n'est pas là le sens classique attribué à l'expression *capacité pulmonaire*: Si l'on se rapporte à ce qui a été dit plus haut, la *capacité pulmonaire* ou *vitale* représente la somme  $b + c + d$ ; tandis que la capacité déterminée par Gréhant représente la somme  $a + b$ .)

Reste à déterminer la quantité  $a$ ; c'est encore à Gréhant que nous en devons la connaissance exacte. « Pour la mesurer, j'introduis dans une cloche (à robinet) 1/2 litre d'air; puis, après une expiration faite dans l'air, j'inspire ce gaz et je fais ensuite dans la cloche une expiration prolongée autant qu'il est possible; puis je mesure le volume des gaz expirés; je le trouve égal à 1<sup>l</sup>.8. La capacité pulmonaire, qui est égale à 2<sup>l</sup>.34, a augmenté par l'inspiration de 1/2 litre, puis diminué de 1<sup>l</sup>.8. Ce qui est resté dans les poumons est donc 2<sup>l</sup>.34 + 0,5 — 1<sup>l</sup>.8 = 1<sup>l</sup>.04. » Ainsi la quantité  $a$  (l'*air résiduel*), qui comprend, bien entendu, le volume de la cavité buccale, est égale à 1 litre environ<sup>1</sup>.

Cette même expérience nous donne la valeur de  $b$ , ou de l'*air de réserve*. On a donc ainsi toutes les données pour résoudre tous les problèmes physiologiques qui se rapportent aux quantités  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

L'un des plus intéressants parmi ces problèmes est celui de la *ventilation du poumon*, que Gréhant s'est posé et qu'il a résolu le premier. On appelle *coefficient de ventilation* la quantité d'air nouveau qui, après chaque mouvement de ventilation, reste dans l'unité de volume de l'espace ventilé; le poumon est un espace de ce genre, et le mouvement respiratoire constitue un véritable mouvement de ventilation. Le coefficient de ventilation sera donc le quotient obtenu en divisant la quantité ( $x$ ) d'air pur qui reste dans le poumon, après une expiration normale, par le volume connu du poumon après cette expiration ( $a + b =$ , par exemple, 2<sup>l</sup>.365). Gréhant a trouvé, toujours par la méthode de l'inspiration d'hydrogène, que la quantité  $x =$  en moyenne 0<sup>l</sup>.320 (c'est-à-dire que quand on exécute une inspiration et une expiration ordinaires, ou égales chacune à 1/2 litre, un tiers environ de l'air inspiré est rendu à l'atmosphère, mélangé avec deux tiers d'air vicié, et deux tiers d'air pur entrent et renouvellent par leur mélange le contenu du poumon). Donc le *coefficient de la ventilation* pulmonaire sera

<sup>1</sup> Nous nommons, avec la plupart des physiologistes, cette quantité *air résiduel*. Nous devons prévenir le lecteur que Gréhant lui donne le nom d'*air de réserve*, nom qui appartient plus naturellement à la quantité  $b$ . (V. *Revue des cours scientifiques*, août 1871.)

de  $\frac{2365}{320} = 0,145$  ; il est un peu plus fort que  $1/10$ . Ce coefficient varie, du reste, avec le volume des poumons et avec le volume de l'inspiration. Gréhan est arrivé à ce point de vue à des résultats très intéressants. Ainsi il a observé qu'une inspiration de  $1/2$  litre renouvelle mieux l'air dans les poumons que deux inspirations de 300 centimètres cubes, qui feraient ensemble 600 centimètres cubes : « Il résulte de là que dans certaines affections thoraciques, lorsque les malades font des mouvements respiratoires nombreux, mais présentant peu d'amplitude, l'air peut être moins bien renouvelé que dans les conditions de la respiration normale ; ainsi quarante inspirations de 300 centimètres cubes ne produisent pas un renouvellement aussi parfait que vingt inspirations de 500 centimètres.

Telles sont les valeurs des quantités d'air introduites dans le poumon. Quant à la fréquence des mouvements qui produisent ce renouvellement, il est facile de constater que nous respirons de quatorze à seize fois par minute, ce qui porte à 20 000 le nombre des inspirations par vingt-quatre heures : et comme chaque inspiration introduit  $1/2$  litre, nous respirons en somme 10 000 litres d'air en une journée. Le chiffre du sang mis au contact de cet air est avec celui-ci dans un rapport numérique très simple, puisqu'il s'élève à 20 000 litres, ou mieux encore à 10 000 litres de globules (1 litre de sang =  $1/2$  litre de globules ou cruor +  $1/2$  litre de liquor).

Les *différences de pression* produites par le jeu mécanique du thorax et destinées à amener les mouvements de l'air, sont aussi fort peu considérables à l'état normal. Si, par exemple, nous représentons par 100 la pression extérieure (la pression atmosphérique), à l'état de repos la pression intrapulmonaire sera également de 100. Mais par l'effet de la dilatation de l'inspiration, la pression intérieure descend à 99,5 (mesurée au manomètre à mercure, la pression négative de l'inspiration est de 4 à 5 millimètres), de sorte que l'air extérieur pénètre dans le poumon ( $1/2$  litre, avons-nous dit). Quand se produit l'expiration normale, la pression intrapulmonaire monte à 100,5 (cette pression positive est, au manomètre à mercure de 3 à 4 millimètres), et une quantité de gaz égale à celle qui avait été introduite se précipite au dehors.

Mais, dans les mouvements respiratoires énergiques, ces nombres sont bien plus élevés. Ainsi l'inspiration peut réduire à 75 la pression intérieure, et l'expiration la faire monter à 130 ou 135 ; en d'autres termes, la pression intérieure diffère de l'extérieure de  $1/4$  d'atmosphère dans une inspiration très énergique, et de  $1/3$  dans une expiration très énergique. On voit, en somme, que la dif-

férence est plus considérable pour l'expiration que pour l'inspiration, quand on agit avec force ; et en effet, tout le monde sait qu'on peut produire plus d'effet mécanique en expirant qu'en inspirant, en soufflant, par exemple, dans un tube, qu'en aspirant par un semblable conduit. Cette différence s'explique facilement si l'on se rappelle que les contractions des muscles inspireurs ont à lutter contre l'élasticité d'un grand nombre d'organes qu'elles violentent (poumon, cartilages costaux, viscères abdominaux, etc.), tandis que les muscles expireurs, au moins aussi puissants que leurs antagonistes, n'ont qu'à ajouter leur action à celle de ces parties élastiques agissant dans le même sens qu'eux. Cette puissance de l'expiration forcée vient se joindre aux conditions mécaniques résultant du rétrécissement de la trachée et de la glotte, pour favoriser l'expulsion des corps étrangers ou des mucosités (toux).

Cette différence, à l'avantage de l'expiration, n'existe, nous ne saurions trop le répéter, que pour la respiration forcée. A l'état normal, l'expiration n'est qu'une réaction de l'élasticité des organes violentés par l'inspiration ; aussi l'une a-t-elle à peu près la même force que l'autre. Mais elles n'ont pas toutes deux le même type, la même forme, la même durée ; c'est-à-dire que l'inspiration, produite par des contractions musculaires, s'effectue d'une manière à peu près égale, et peut être représentée par une ligne régulièrement ascendante ; l'expiration, au contraire, vu son mode de production, suit dans sa forme la loi des corps élastiques ; or, si l'on comprime un gaz dans le corps d'une seringue, par exemple, au moyen du piston, au moment où l'on cessera de presser sur celui-ci, on le verra remonter d'abord brusquement, puis achever lentement sa réaction ascensionnelle ; il en est de même de l'expiration ; elle est d'abord brusque, puis elle s'achève par un mouvement lent et d'une durée relativement longue. Dans un schéma, on pourrait la représenter par une ligne d'abord brusquement et presque verticalement ascendante, très prolongée et très oblique ensuite. C'est, du reste, ce que montre le tracé de la figure 116, obtenu par l'enregistrement des mouvements du thorax à l'aide du pneumographe de Marey (décrit ci-dessus, p. 407). De sorte qu'en somme, l'expiration dure plus longtemps que l'inspiration. Mais un examen superficiel ne laisse constater que le premier temps de l'expiration, qui alors paraît être très courte, plus courte que l'inspiration.

Le passage de l'air dans les tubes aériens produit des frottements que l'on désigne sous les noms de *bruit de l'inspiration* et *bruit de l'expiration*. Le bruit de l'inspiration dure aussi longtemps que cet acte lui-même ; celui de l'expiration ne se perçoit à l'état nor-

mal que pendant la première partie de cet acte; parce que, pendant la seconde partie, le courant d'air est trop lent et trop faible pour se faire entendre. On voit donc que l'auscultation de la respiration normale donnerait une idée fautive de la durée relative des deux actes de la respiration, puisqu'elle assignerait une plus grande longueur à l'inspiration qu'à l'expiration, et que ce qui est vrai pour les bruits n'est pas vrai pour les actes mêmes qui leur donnent naissance.

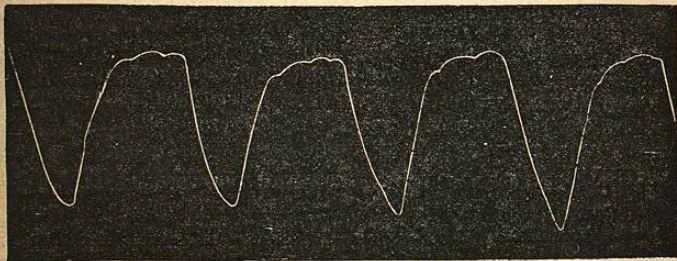


Fig. 116. — Tracé normal des mouvements respiratoires chez l'homme d'après Marey\*.

Depuis la découverte de l'auscultation (Laënnec), bien des théories ont été émises pour expliquer le bruit que produit la respiration normale et ses altérations dans les cas pathologiques. Le *murmure respiratoire* est dû évidemment au frottement de l'air contre les parois des conduits aériens, mais il est plus difficile de localiser exactement le siège de ce murmure. On l'attribuait généralement au *déploiement* des vésicules pulmonaires, d'où le nom de *murmure vésiculaire*. Beau en plaçait cependant le siège au niveau de l'ouverture de la glotte; beaucoup de physiologistes se sont ralliés à cette manière de voir; mais aujourd'hui (Cornil, Woillez, etc.), on s'accorde à en chercher la principale cause dans le poumon lui-même. En effet, on ne peut placer la cause des bruits respiratoires au niveau de la glotte, car le murmure persiste avec ses caractères ordinaires dans les cas où l'air ne passe plus à travers le larynx, comme après les opérations de trachéotomie. Concluons donc que les causes du *murmure respiratoire* sont multiples, et que l'on peut désigner comme principales (Sabatier) : la crépitation sourde

\* La ligne descendante est le tracé de l'inspiration, l'ascendante celui de l'expiration.

produite par le décollement des trabécules ou cloisons légèrement humides des alvéoles pulmonaires; les vibrations imprimées à l'air par les éperons bronchiques, et peut-être enfin le retentissement plus ou moins prononcé des bruits supérieurs ou glottiques<sup>1</sup>.

B. *Effets mécaniques produits par la respiration dans les organes voisins du poumon.* — Les conséquences mécaniques des mouvements respiratoires et expiratoires ne se localisent pas seulement dans les voies aériennes, elles retentissent encore sur les canaux sanguins, et sur la circulation du sang, puisque la plus grande partie de l'appareil circulatoire se trouve enfermée dans la cavité thoracique.

Nous avons schématiquement figuré l'ensemble de la circulation par un 8 de chiffre, dont le cercle supérieur représenterait la circulation pulmonaire, le cercle inférieur la circulation générale, et dont le point de jonction serait occupé par le cœur (V. fig. 61, p. 210; et fig. 60, p. 223); or, la cavité pulmonaire contient : 1° toute la circulation du même nom, c'est-à-dire le cercle supérieur; 2° le point de jonction des deux cercles; et 3° enfin les origines latérales de cercle inférieur, c'est-à-dire les sommets du cône artériel et du cône veineux. Les variations de pression intra-thoracique peuvent agir sur ces trois parties.

Cependant cette action est à peu près nulle sur la circulation pulmonaire, car le cône veineux de cette circulation étant soumis en même temps que son cône artériel aux mêmes variations, les différences de pression intravasculaire qui déterminent la circulation doivent rester les mêmes, et, par suite, la circulation ne sera pas modifiée; elle n'est guère influencée que par le déplissement plus ou moins complet des alvéoles, d'où une perméabilité plus ou moins grande des capillaires, c'est-à-dire de la base du cône pulmonaire.

L'influence de la respiration se fait plus vivement sentir sur le cœur. En effet, si l'expiration se fait avec force, par exemple, dans l'effort, il en résulte pour le cœur une pression énorme, et comme cette cavité a des parois minces et déprimables, il s'ensuit une déformation. Weber a expérimenté dans ce sens, en faisant, après une très large inspiration, les mouvements les plus énergiques d'expiration avec la glotte fermée, et au besoin en appuyant avec les bras contre les flancs. Au bout de quelques secondes, on remarque alors une variation dans le pouls; il se ralentit et finit par cesser com-

<sup>1</sup> V. les recherches de V. Cornil, *Anatomie pathologique et auscultation du poumon* (Mouvement médical, avril et mai 1873).

plètement ; si on place l'oreille contre la poitrine, on ne perçoit plus alors aucun bruit, d'où on peut conclure qu'il y a arrêt complet du cœur. Si l'expérience se prolonge, il y a perte de connaissance, et l'expérimentateur reprend son état primitif de circulation et de vie malgré lui.

Mais si l'individu est passif, l'arrêt du cœur se prolonge, et il pourrait peut-être en résulter la mort ; c'est probablement ainsi que meurent les gens pressés au milieu de foules en désordre, la compression étrangère à l'individu se continuant même après que la syncope est survenue.

L'influence de la respiration n'est pas moins considérable sur la circulation générale, qui a le sommet de ses deux cônes (artériel et veineux) compris dans le thorax. Nous savons que dans le sommet du cône veineux la pression est presque nulle, et que nous pouvons la représenter par 0 ou  $1/100$  ; dans le sommet du cône artériel, la contraction ventriculaire produit, au contraire, une pression que l'on peut représenter par  $25/100$  d'atmosphère (V. p. 224).

Supposons que, par une forte expiration, il se produise dans la cavité thoracique une pression de  $15/100$  ; la pression au sommet du cône veineux sera donc de  $16/100$ , c'est-à-dire une pression énorme pour ce point de l'appareil circulatoire, dont le fonctionnement a pour condition essentielle l'absence de pression. Il devrait donc en résulter un reflux considérable dans les veines ; ce reflux est d'abord empêché par les nombreuses valvules qui garnissent les veines non loin du cœur, et ce n'est que tout à fait au sommet du cône que la pression se fait sentir. Mais le sang arrivant toujours, et ne trouvant pas d'accès, il en résulte une stase avec distension des veines voisines du thorax. Cela se voit surtout dans l'effort, et dans tous les actes qu'il accompagne, comme dans la parturition, la défécation, etc. ; cette stase du sang se manifeste par l'injection des yeux, la rougeur de la face, l'abolition de la circulation cérébrale, enfin la suppression des fonctions du cerveau (vertiges et même apoplexie) ; des stases moins violentes, mais souvent répétées, amèneront des dilatations veineuses, des varices, une hypertrophie vasculaire de la glande thyroïde, etc.

Dans le cône artériel, il se produit, sous cette même influence de l'expiration, des effets aussi marqués. Nous avons au sommet de ce cône une pression de  $25/100$ , produite par le ventricule. Supposons que la pression thoracique soit encore de  $15/100$ , cela nous fera  $40/100$  dans le cône artériel ; d'où une accélération considérable dans le cours du sang artériel, car ici il n'y a pas d'appareil qui puisse retarder l'effet de cette exagération de pression, et le liquide

se trouve poussé alors dans les artères par deux pompes, le cœur et le thorax. Il est vrai que le retard qu'éprouve en même temps le sang dans les veines tend à contre-balancer l'accélération du cours dans les artères, mais il n'en résulte pas moins une pression énorme dans tout le torrent circulatoire, une grande tendance aux hémorragies, aux ruptures d'anévrisme, aux dilatations variqueuses<sup>1</sup>, etc.

Les phénomènes sont tout autres quand la pression diminue dans le thorax par suite d'un fort mouvement d'inspiration. Alors la pression au sommet du cône veineux devient inférieure à 0, elle est négative, il y a aspiration du sang des veines, et accélération très grande dans la circulation du sang veineux ; le sang n'arrivant pas en assez grande abondance pour satisfaire à cette aspiration, il en résulte un relâchement des parois veineuses qui tendent à s'affaïsser. Dans les veines voisines du thorax, et, par conséquent, soumises à cette aspiration, les rapports des parois veineuses et des aponévroses sont tels que ces vaisseaux restent toujours béants ; aussi l'aspiration se propage-t-elle au loin sur des veines moins voisines du cœur. Il en résulte aussi que si, dans une opération chirurgicale, on vient à ouvrir une des veines voisines du thorax, l'air extérieur, au moment de l'inspiration, pourra être aspiré dans l'intérieur du vaisseau, et l'on sait que cet accident amène d'ordinaire une mort subite.

Sous l'influence de cette même aspiration inspiratoire, la pression, qui, dans l'aorte, est de  $25/100$ , tombe à  $15/100$  ou  $10/100$ , d'où retard dans la circulation, moindre tension des vaisseaux, faiblesse du pouls, etc. Mais autant les conditions de l'expiration étaient favorables à l'hémorragie, autant celles-ci s'y opposent, et il suffit souvent, pour arrêter une perte de sang, de faire faire au malade quelques fortes inspirations.

Ces résultats, que le simple raisonnement nous indique, ont été vérifiés expérimentalement par Marey au moyen de la méthode graphique. Étudiant l'influence de la respiration sur la circulation, ce physiologiste est arrivé aux conclusions suivantes. La respiration agit sur les battements du cœur ; non seulement elle fait varier la ligne d'ensemble du tracé, mais elle donne aux pulsations qui se produisent pendant l'inspiration une amplitude et une forme différentes de celles de l'expiration ; l'arrêt de la respiration produit un ralentissement des battements du cœur et une diminution de leur

<sup>1</sup> V. E. Guyon, *Note sur l'arrêt de la circulation carotidienne pendant l'effort* (Archives des physiologie. Paris, 1866).

intensité; ces modifications s'expliquent par la difficulté plus grande du passage du sang au travers du poumon quand celui-ci ne respire pas. Après un effort (tentative énergique d'expiration, la glotte étant fermée) les battements du cœur prennent des caractères particuliers. Le ventricule gauche fait sentir violemment son action, et le sang de l'oreillette se précipite violemment au moment où commence la diastole. Si l'on respire par un tube étroit, le rapport des battements du cœur et des mouvements respiratoires est changé; en même temps que la respiration devient plus rare, les battements deviennent plus fréquents.

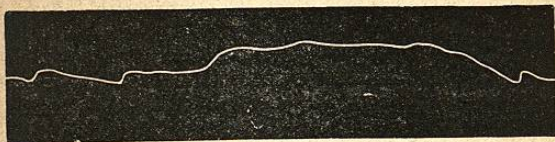


Fig. 117. — Type abdominal.

On retrouve même dans le pouls des différences correspondant aux divers types respiratoires (type thoracique et type abdominal. V. p. 401). Le type thoracique nous offre une diminution de pression pendant l'inspiration, puis la ligne d'ensemble du tracé remonte dans l'expiration. Le type abdominal donne lieu à des effets directement inverses (Marey). Nous donnons (fig. 117) le tracé du pouls pendant que la respiration s'effectue par des contractions énergiques du diaphragme. On voit que dans le type abdominal (comme dans le type thoracique), la pulsation diminue, puis disparaît, en même temps que la tension artérielle augmente<sup>1</sup>.

Enfin on peut encore citer, plutôt comme curiosité expérimentable que comme fait physiologique important, l'influence en sens inverse que l'on peut constater entre le cœur et le poumon. « On sait que les battements du cœur changent les conditions de la pression intra-thoracique; l'afflux sanguin, qui se fait à chaque diastole, doit (en supposant le thorax immobile) comprimer l'air du poumon, et, si la glotte est ouverte, provoquer une légère expiration; de même, lorsque le cœur se vide brusquement, le sang qu'il lance hors du thorax doit être remplacé par une certaine quantité d'air venu par la trachée. Dans l'état normal cela est peu sensible, à cause des modifications incessantes que la respiration apporte dans la capacité aérienne du thorax. Mais on peut

<sup>1</sup> P. Lorrain, *Étude de médecine clinique. Le pouls*, 1870.

aisément mettre en évidence ce phénomène. Il suffit pour cela de mettre en communication la trachée d'un chien avec l'appareil enregistreur, puis de trancher d'un coup le bulbe de l'animal; la respiration s'arrête à l'instant, et le cœur continuant de battre pendant quelques minutes, *ses battements s'enregistrent par l'intermédiaire de l'air de la trachée.* » (P. Bert.)

#### IV. — PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION

Nous connaissons les masses d'air et de sang mises en présence, ainsi que le mécanisme qui les renouvelle; il nous faut donc étudier les échanges qui se produisent à ce contact au niveau du poumon; ils nous seront rendus évidents par la constatation des changements qu'ont subis l'air et le sang à leur passage dans le poumon.

A. *Modifications de l'air expiré.* — Nous savons que nous introduisons par jour dans notre poumon 10 mètres cubes d'air (10 000 litres). Nous expulsions une quantité d'air à peu près égale à celle que nous inspirons, mais cependant un peu moins forte: ainsi nous retenir environ 1/40 ou 1/50 de l'air inspiré; mais au premier examen, le volume du gaz expiré n'est pas diminué, car il contient de la vapeur d'eau qui occupe un volume considérable, et, d'autre part, il est dilaté par le fait de l'élévation de sa température (la température de l'aisselle étant de 37°, 40°, celle de l'air expiré est en moyenne de 36°, 35°)<sup>1</sup>. Mais un changement bien plus important qu'a subi l'air, c'est une perte d'*oxygène* qui a été remplacé en grande partie par de l'*acide carbonique*. En effet, dans les 10 mètres cubes d'air inspiré, il y a 1/5 d'oxygène (21 d'O pour 79 d'Az), ce qui donne en poids 2 k. 1/2 d'oxygène environ (puisque 1 litre

<sup>1</sup> Le procédé pour prendre cette température de l'air expiré est des plus simples; il consiste dans l'emploi d'un tube de verre dans lequel est maintenu un thermomètre, et qu'on place dans la bouche, en ayant soin d'une part d'inspirer par le nez (en forment le tube avec le bout de la langue) et d'autre part d'expirer par la bouche, c'est-à-dire par ce tube, de sorte que l'air, pendant sa sortie, frôle longuement le réservoir du thermomètre. Quand on inspire par la bouche, la température de l'air expiré est un peu plus basse que quand on inspire par le nez, preuve de ce que nous avons signalé précédemment (p. 392), à savoir, qu'au point de vue de la caléfaction de l'air, ce sont les fosses nasales qui représentent la voie naturelle de l'inspiration. Enfin il est évident *a priori* que moins l'air séjournera dans les voies respiratoires, moins il arrivera à se rapprocher de la température de corps; la température de l'air expiré sera donc d'autant moins élevée qu'on accélérera davantage les mouvements respiratoires, et si en même temps la température ambiante est inférieure à 0°, il arrivera facilement que celle de l'air expiré reste inférieure à 30°.