

côte ne semble se mouvoir. Cette observation a donné lieu à la création de trois types respiratoires (Beau et Maissiat) : type abdominal, type costo-inférieur, type costo-supérieur. La respiration est *abdominale* chez l'enfant de l'un et de l'autre sexe (voyez plus haut) ; elle est *costo-inférieure* chez l'homme ; elle est, chez la femme, le plus souvent *costo-supérieure*. Mais il faut reconnaître que cette distinction ne peut être considérée comme absolue : le diaphragme, même lorsqu'il agit seul, élève manifestement les côtes inférieures ; d'autre part, dans le type costo-supérieur, les côtes inférieures sont aussi élevées dans une certaine mesure ; le sternum ne saurait se mouvoir sans les entraîner dans son ascension.

Que devient le poumon pendant ces mouvements du thorax ? Nous avons vu que le cône pulmonaire communique avec l'air extérieur : d'autre part, entre la surface externe du poumon et la face interne de la cavité thoracique, se trouve une cavité parfaitement close, la cavité pleurale. Le poumon adhère donc, par suite de ce vide, à la cage thoracique, et doit en suivre chaque mouvement absolument comme un caillou, sur lequel on applique exactement un morceau de cuir mouillé, suit ce morceau de cuir quand on le soulève : ce jouet bien connu des enfants, nous représente le mécanisme par lequel le cône thoracique, activement amplifié, force le cône pulmonaire à suivre toutes ses variations de volume, à se dilater en un mot. Tel est le mécanisme de l'inspiration : le poumon est entièrement passif ; la cage thoracique se dilate activement, et le poumon est forcé de suivre.

Ce phénomène mécanique a pour effet l'introduction d'une certaine quantité d'air dans le poumon. En effet le principe qui préside aux mouvements des gaz dans la respiration est le même qui préside à ceux des liquides dans la circulation : c'est le résultat de l'*inégalité des pressions*. Du moment que, par l'effet de l'ampliation du cône pulmonaire ou thoracique (nous pouvons dès maintenant regarder les deux mots comme synonymes), les gaz sont raréfiés dans le réservoir pulmonaire, il devra se produire une

irruption de l'air extérieur, puisque le poumon est en libre communication avec lui, et par suite un courant de dehors en dedans. Nous avons déjà indiqué combien la forme du cône pulmonaire devait rendre différentes les vitesses de ce courant dans les différentes zones du réservoir respiratoire. (Voyez p. 251.)

*B. Expiration.* — Mais ce n'est là qu'une moitié de l'acte respiratoire : à l'introduction de l'air, à l'inspiration succède bientôt l'*expiration*, l'expulsion de l'air par un courant en sens inverse.

Ce dernier mouvement se produit par un mécanisme tout différent du précédent, et ne demande à l'état normal l'intervention d'aucune puissance musculaire. Pour s'en faire une juste idée, il faut avoir bien présentes à l'esprit la structure du parenchyme pulmonaire et les propriétés de son tissu. La coque des alvéoles se compose de tissu élastique ; il y a peut-être du tissu musculaire, mais en tout cas ce tissu musculaire ne donne que rarement lieu à des phénomènes de contraction (1) : les expérimentateurs ne sont pas d'accord sur ce point. Williams a fait sur le chien une expérience qui consiste à faire passer un courant électrique à travers un poumon dont la bronche est munie d'un appareil manométrique : sous l'influence du courant on pourrait alors observer des variations dans la colonne de mercure ; il y aurait donc contraction des fibres musculaires lisses soit du poumon proprement dit (alvéoles), soit des bronches. C'est en vain que nous avons essayé à plusieurs reprises de reproduire cette expérience, elle nous a toujours donné un résultat négatif (2). Cependant on est tenté

(1) On donne souvent à ces fibres musculaires le nom de *muscles de Reisseisen* ; c'est qu'en effet elles ont été décrites pour la première fois par cet auteur (Reisseisen, *De fabrica pulmonum*. Strasbourg, 1822).

(2) Paul Bert (*Leçons sur la physiologie comparée de la respiration professées au Muséum d'histoire naturelle*, Paris, 1870), ayant repris les expériences sur la contractilité du tissu pulmonaire, est arrivé aux résultats suivants : le tissu pulmonaire est contractile chez les mammifères et chez les reptiles ; cette contractilité s'observe en galvanisant avec un courant induit, après avoir appliqué, autour de la trachée et à l'extrémité opposée des poumons, deux larges plaques métalliques qui servent de conducteurs : l'ascension manométrique que l'on observe

d'admettre la contraction des muscles pulmonaires chez l'homme, en ayant égard à certains états morbides, comme par exemple certaines formes d'asthme, ou certaines crampe pulmonaires, qui paraissent résulter soit d'une paralysie, soit d'un spasme de ces muscles (des alvéoles et des petites bronches). — En tout cas la contraction de ces éléments musculaires ne paraît pas jouer un rôle bien important dans la mécanique normale de la respiration. Ce n'est pas à dire que ce tissu musculaire n'ait pour cela aucune utilité. N'oublions pas que l'élasticité du muscle constitue pour ce tissu une propriété aussi importante que la contractilité et aussi utilisée dans l'économie; nous avons déjà vu du reste que les muscles intercostaux, par exemple, étaient des agents plus utiles par leur élasticité que par leur contraction. Donc à nos yeux le tissu musculaire qui peut entrer dans la structure du poumon représente un élément élastique, qu'il faut physiologiquement rapprocher du tissu élastique proprement dit. Les développements dans lesquels nous sommes entrés à ce sujet, à propos de la structure des artères, nous dispensent d'y insister davantage ici (1).

Si le poumon est un tissu éminemment élastique, il doit, comme les artères, avoir une forme naturelle à laquelle il

alors n'est pas due à des contractions de l'œsophage (comme l'avait prétendu Rugenburg), puisqu'elle se produit même lorsque les poumons ont été extraits du thorax et qu'on en a séparé le cœur et l'œsophage. Ces contractions sont du reste sous la dépendance du pneumogastrique.

Mais il est bien évident d'autre part que cette contractilité ne peut avoir un rôle physiologique important; si ces muscles (muscles de Reisseisen) fonctionnaient activement à chaque mouvement respiratoire, ils devraient se contracter plus de 20000 fois en 24 heures, et cette rapidité serait tout à fait en désaccord avec ce qu'on connaît de positif sur la Physiologie générale de la fibre lisse. Du reste, il est évident que la contraction du poumon ne saurait avoir un rôle actif pendant l'expiration en particulier; elle est pour cela bien trop faible. Peut-être préside-t-elle à quelque espèce de mouvement péristaltique des bronches, utile pour brasser l'air? (Paul Bert.) On peut enfin affirmer qu'elle n'est pas indispensable à l'intégrité du parenchyme pulmonaire et des fonctions respiratoires, car les sections nerveuses qui la font disparaître (section du pneumogastrique) n'amènent aucun trouble sous ce rapport dans le poumon (P. Bert).

(1) Voyez p. 186 et la remarque p. 188.

tend sans cesse à revenir. C'est ce que nous allons voir en effet, et ici encore, comme pour les artères, cette forme n'est jamais complètement réalisée pendant la vie. Si l'on ouvre la cage thoracique d'un animal mort, le poumon se présente sous la forme d'une masse spongieuse assez fortement rétractée vers la colonne vertébrale, mais ce n'est pas encore là la forme naturelle du poumon: sur le cadavre le tissu musculaire a perdu son élasticité, il n'y a plus que le tissu élastique qui existe physiologiquement. Ouvrons en effet la cage thoracique d'un lapin vivant: aussitôt le poumon fuit et se rétracte vers la colonne vertébrale à un degré bien plus considérable que nous ne l'avions constaté antérieurement sur le cadavre; il s'est réduit à une petite masse ne contenant plus ou presque plus ni air ni sang; c'est un parenchyme compacte, hépatisé, pourrait-on dire. Qu'un épanchement abondant, occupant l'une des cavités pleurales, permette au poumon correspondant de revenir sur lui-même, et on le verra de même se rétracter comme dans l'expérience précédente. D'autre part le poumon d'un fœtus qui n'a pas respiré présente une grande analogie avec les précédents.

La forme naturelle du poumon est donc celle d'une éponge, d'une vessie à cloisons multiples, étroitement rétractée contre la colonne vertébrale; mais dès la première inspiration du fœtus à la naissance, cette forme est violente: le thorax se dilate, et, vu le vide pleural, force, comme nous l'avons vu plus haut, le poumon à se développer en une cavité que notre schéma nous a représentée comme un cône. Dès lors, vu la rigidité des côtes, le poumon ne peut plus jamais (à moins de perforation ou d'épanchement dans les plèvres) réaliser sa forme naturelle, mais il tend toujours à la faire, absolument comme nous l'avons vu pour les artères.

L'inspiration, telle que nous l'avons étudiée, peut être considérée comme une nouvelle violence faite au poumon, l'éloignant de plus en plus de sa forme naturelle (1).

(1) Voyez L. Oger, *Considérations physiologiques sur la forme naturelle de certains organes*. Thèse de Strasbourg, 1870, n° 283.

Dès lors il nous sera très-facile de comprendre le *mécanisme de l'expiration* : dès que les contractions des muscles inspireurs s'arrêtent, *l'élasticité pulmonaire*, jusque-là violentée, *tend à reprendre ses droits*; le poumon revient sur lui-même, et, vu le vide pleural, entraîne avec lui la paroi thoracique. Il semble donc que le poumon est actif, inversement à ce qui se passe dans l'inspiration, et que la paroi thoracique est passive; mais on voit qu'en réalité les deux organes sont passifs. Il en est de même pour le diaphragme que l'on peut dans ce cas voir remonter comme automatiquement, en observant sa face inférieure, par l'abdomen ouvert et vidé : c'est que le poumon tend à remonter très-haut et entraîne puissamment le diaphragme, grâce au vide pleural, vide qui est tel qu'ici le diaphragme doit suivre le poumon, comme le poumon suivait tantôt le diaphragme. Aussi sur le cadavre trouve-t-on le diaphragme très-bombé vers le haut et très-tendu; les anatomistes savent combien cette disposition est favorable à la dissection de ce muscle, mais ils savent aussi que le moindre coup de scalpel qui le traverse et qui permet à l'air de se précipiter entre les deux feuillets de la plèvre, produit immédiatement l'affaissement du muscle, qui tombe flasque, ridé et flottant, et dont il est alors impossible de faire une belle dissection.

Ainsi, à l'état normal, l'inspiration et l'expiration diffèrent complètement de mécanisme; la première est *active* et due à des contractions musculaires; la seconde, *passive*, est due à des phénomènes d'élasticité de la part des organes violentés par l'inspiration : car il n'y a pas rien que l'élasticité du poumon qui produise cette réaction, il faut encore tenir compte de celle des parois de la cage thoracique, parois qui ont été également violentées, comme par exemple les cartilages costaux, qui ont subi un mouvement de torsion assez notable selon leur axe pendant l'inspiration. Enfin les viscères et les parois abdominales, déplacés pendant l'inspiration, tendent à reprendre leurs dispositions normales, et notamment l'estomac et l'intestin, qui renferment des gaz élastiques, repoussent ainsi le diaphragme vers le haut.

L'expiration peut cependant devenir active dans des cas particuliers. De même que nous avons vu une *inspiration ordinaire* et une *inspiration forcée*, nous trouvons ici une *expiration ordinaire* et une *expiration forcée* : c'est dans cette dernière seulement que le phénomène devient actif et que l'on voit intervenir des puissances musculaires, telles que les muscles de l'abdomen, le petit dentelé inférieur, et en général tous les muscles capables d'abaisser les côtes. Cette *expiration active* se produit surtout dans la toux : alors les parois thoraciques ne se contentent plus de suivre le mouvement de retrait du poumon, elles le compriment pour augmenter la vitesse et l'énergie du courant d'air expiré.

Nous ne saurions trop insister sur le rôle tout particulier que joue la cavité pleurale, qui, tout en permettant aux poumons de glisser et de se déplacer le long de la face interne de la paroi thoracique, lie ces deux surfaces solidaiement l'une à l'autre, de sorte qu'il ne peut y avoir dilatation du thorax, sans qu'il s'en suive dilatation du poumon, ni rétrécissement de celui-ci, sans rétrécissement de celui-là. Les feuillets pleuraux, qui tapissent les deux organes en contact, agissent par adhésion, par le vide, en un mot par une espèce de succion à la manière des ventouses.

La figure ci-jointe (p. 366) empruntée à Beaunis (d'après Funke) fait comprendre les conditions mécaniques dans lesquelles le poumon est placé relativement à la cavité thoracique. La cloche 1 (fig. 84) représente la cage thoracique; la membrane de caoutchouc 4, le diaphragme; la membrane 6, les parties molles d'un espace intercostal; le tube 2, figurant la trachée, traverse le bouchon du goulot de la cloche et se bifurque pour aboutir aux deux vessies minces qui représentent les poumons; un manomètre, 3, donne la mesure de la pression dans l'intérieur de la cloche. Si on tire en bas le bouton 5, on augmente la cavité de la cloche (dilatation du thorax en inspiration), on diminue la pression dans son intérieur, et on voit les deux vessies se dilater; si on parvient à faire le vide absolu dans la cloche, les vessies se dilatent au point que leurs parois viennent s'accoler intimement à

la face interne des parois de la cloche (Beauvis, *Physiologie*, 1876, p. 583.)

Cet appareil schématique peut être appelé à rendre de grands services dans l'étude des phénomènes de la respiration; en le construisant d'une manière aussi analogue que possible à la réalité, M. Woillez (1) a réalisé son spi-

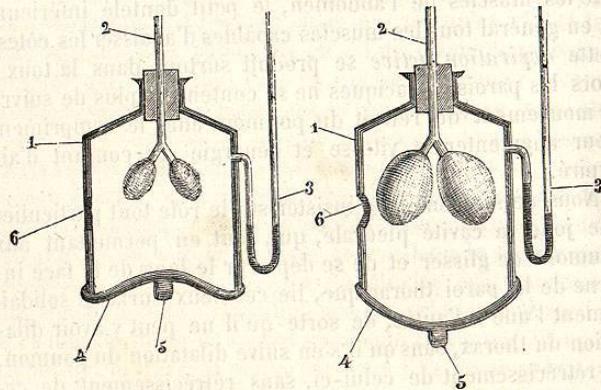


FIG. 84. — Rapports du poumon et de la cavité thoracique (Funke).

roscope, qu'il destine à l'étude de l'auscultation pulmonaire. Ce *spiroscop*e consiste en une petite chambre cylindrique ou manchon de verre, où l'on suspend un poumon parfaitement sain, de façon à laisser les voies aériennes en communication avec l'extérieur. On fait le vide dans le manchon au moyen d'un soufflet cylindroïde avec lequel on reproduit les mouvements d'inspiration et d'expiration. Comme à l'aide d'une palette mobile on peut rapprocher le poumon des parois du manchon, il est facile d'ausculter l'organe, et de suivre ainsi avec les yeux et les oreilles les détails intimes de l'acte respiratoire. Des études entreprises par M. Woillez avec cet instrument, il ressort déjà une réfutation de la théorie défendue par Beau, et dont nous parlerons dans un instant, théorie qui rattachait le murmure vésiculaire au retentissement des bruits pharyngiens et glottiques.

(1) Woillez, *Académie de médecine*, 1875.

### C. Rôle des voies aériennes dans la respiration.

L'air, que les mouvements respiratoires amènent et chassent du poumon, passe par la partie étroite de notre cône pulmonaire, c'est-à-dire par les narines, les fosses nasales, le pharynx et la trachée avec le larynx. Tous ces canaux présentent des phénomènes mécaniques accessoires à ceux que nous venons d'étudier dans le poumon.

Les narines se dilatent activement, mais seulement dans les grandes inspirations et lorsqu'il y a sentiment de dyspnée : les fosses nasales ne présentent pas non plus de phénomènes mécaniques particuliers; mais nous savons déjà qu'elles jouent un rôle capital comme lieu de préparation de l'air respiré, qu'elles chargent de chaleur et de vapeur d'eau.

Au niveau du pharynx le canal aérien croise le canal alimentaire, et nous avons vu, en étudiant ce dernier, comment, lors du passage des aliments, les orifices supérieurs et inférieurs se trouvaient oblitérés (p. 277).

Chez quelques animaux, les communications entre le canal aérien et le canal alimentaire sont oblitérées d'une manière permanente : chez les cétacés, le larynx est reçu dans une boutonnière complète du voile du palais, de sorte que la trachée communique directement avec les fosses nasales, par lesquelles seules l'animal peut respirer. Chez les pachydermes, le voile du palais forme au larynx un demi-anneau, et il en résulte encore une respiration exclusivement nasale. Le cheval ne peut également respirer que par le nez, à cause de la disposition du voile du palais et de l'épiglotte qui remonte jusqu'à l'orifice postérieur des fosses nasales. Il en résulte que quand on coupe, chez le cheval, le nerf facial qui innerve les muscles de la narine, la narine devenue inerte s'aplatit et se soulève comme une soupape au moment de l'inspiration et de l'expiration, de sorte que l'animal, ouvrant largement la bouche, suffoque malgré ses efforts pour inspirer. Cet accident est particulier au cheval et ne se montre pas chez le chien ou chez d'autres animaux qui peuvent inspirer par la bouche (Cl. Bernard). Enfin, chez les fœtus humains, de même que chez les fœtus de chien, on remarque que le larynx remonte

un peu plus haut que chez l'adulte, et reproduit jusqu'à un certain point la disposition que nous venons de signaler chez des mammifères inférieurs.

Le larynx, la trachée et ses divisions, les bronches, forment un canal ramifié, qui, comme toutes les parties constituantes de l'appareil respiratoire, est remarquable par ses éléments élastiques. — Ce sont d'abord ses *cerceaux cartilagineux*, interrompus en arrière; mais l'espace que ces anneaux incomplets laissent ainsi à la partie postérieure, est comblé par des lames longitudinales de *tissu élastique*, formant des bandes entre-croisées et anastomosées au-dessous de la muqueuse. — Plus profondément les extrémités libres de chaque anneau sont réunies par des fibres *musculaires lisses*: la présence de ces fibres se continue très-loin jusque sur les dernières ramifications bronchiques, de sorte que les derniers noyaux cartilagineux, vestiges des anneaux trachéens, ont déjà disparu, quand les fibres musculaires existent encore, et même plus abondamment, et d'une manière plus uniforme tout autour du canalicule aérifère (voy. p. 361); ces fibres (muscles de Reisseisen) ne se contractent pas sous l'influence de la volonté. Nous pouvons répéter pour elles ce que nous avons déjà dit des fibres musculaires un peu problématiques de la paroi alvéolaire, car peut-être n'y a-t-il dans le poumon d'autres éléments musculaires que ceux des petites bronches et des petits vaisseaux. Il est difficile, pour ne pas dire impossible, de démontrer que ces fibres se contractent pour prendre part à des actes physiologiques. Leur participation (1) à des phénomènes pathologiques est tout aussi problématique, et par exemple elles ne peuvent se contracter avec assez de force pour prendre part à la toux; nous avons déjà parlé de la possibilité de leur intervention dans l'asthme et les spasmes bronchiques. En tout cas ce que nous devons voir surtout dans cet élément, comme dans les précédents, c'est un tissu éminemment *élastique*, et utile surtout par cette propriété. Ainsi les cartilages trachéens et bronchiques s'opposent à des changements de forme trop con-

(1) Voyez la remarque 2 de la p. 361.

sidérables, et par leur élasticité ramènent le canal à sa forme primitive lorsqu'il a été violenté: ils sont aidés dans cette action par les tissus élastique et musculaire.

La trachée est soumise, par l'action des muscles du cou (sous et sus-hyoïdiens), à des mouvements d'ascension et de descente qui correspondent aux mouvements de la respiration. *Pendant l'inspiration la trachée descend*; par suite, son calibre devient plus large, et le courant d'air d'inspiration s'y fait facilement et sans frottements. *Pendant l'expiration, elle monte*, elle s'allonge, donc elle se rétrécit; il s'ensuit que l'air de l'expiration, sortant par un canal plus étroit, doit circuler plus vite et avec plus de frottement contre la paroi.

Le larynx contribue aussi puissamment à produire cette différence entre le courant d'air de l'inspiration et celui de l'expiration. En étudiant cet organe comme appareil vocal, nous verrons qu'il se compose essentiellement d'une fente antéro-postérieure (glotte) capable de s'élargir ou de se rétrécir: et en effet *elle s'élargit dans l'inspiration et se rétrécit dans l'expiration*. Ce rétrécissement peut aller plus ou moins loin: dans le phénomène de l'*effort*, il est complet, et le thorax, comprimant l'air qui ne peut s'échapper, forme un solide point d'appui aux muscles qui doivent être le siège de la manifestation de l'effort.

Cette différence dans la vitesse du courant d'air de l'inspiration et de l'expiration, différence due aux mouvements respiratoires du larynx et de la trachée, a pour but l'expulsion des corps étrangers, ou plutôt des mucosités qui peuvent se trouver dans l'arbre aérien. En effet le courant d'air d'inspiration, par sa lenteur et son peu de frottements, n'aura nulle tendance à entraîner plus profondément ces mucosités adhérentes à la paroi; au contraire le courant d'air d'expiration, présentant les conditions opposées, entraînera vivement ces petites masses vers l'orifice supérieur des voies aériennes.

La *toux* n'est qu'une expiration encore plus brusque, précédée d'une inspiration encore plus lente que l'expiration et l'inspiration normales: aussi la toux a-t-elle essentielle-

ment pour effet de rejeter au dehors les mucosités qui encombrant l'arbre aérien.

Cette expulsion continue et inconsciente des mucosités est encore opérée par le jeu des cils vibratiles qui garnissent l'épithélium cylindrique de toute l'étendue du tube bronchial et trachéen (excepté au niveau des cordes vocales); les mouvements de ces cils sont tels qu'ils portent vers l'extérieur tous les corpuscules déposés à leur surface, et les font arriver jusque dans la cavité laryngienne. (Voyez p. 231.) Ce n'est qu'à ce niveau que l'expulsion devient volontaire, parce que ce n'est qu'au niveau du larynx que les corps étrangers ou mucosités sont senties; plus bas leur présence ne donne lieu qu'à des sensations très-obtuses, et incapables d'amener des réflexes énergiques. Mais au niveau du larynx elle est le point de départ de réflexes ou de phénomènes volontaires, qui produisent l'expulsion, toujours par ce mécanisme des courants d'air inégaux, mais avec une énergie bien plus considérable; c'est précisément alors que se produit la *toux*; et plus haut (vers le pharynx et les fosses nasales) l'*éternument*, et plus haut enfin (vers les narines) l'*action de se mouffer*, actions qui consistent toutes en une inspiration lente par un orifice dilaté, et une expiration brusque par un orifice resserré, soit par la contraction de ses propres muscles, soit par un mécanisme plus ou moins éloigné.

### III. — RÉSULTATS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DE LA RESPIRATION.

#### A. Effets mécaniques produits au niveau du poumon.

Nous avons déjà étudié les nombres qui nous représentent les conditions du sang vis-à-vis de l'air intra-pulmonaire; 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 24 heures à 20000 litres de liquide san-

guin (fig. 85). 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 capa-

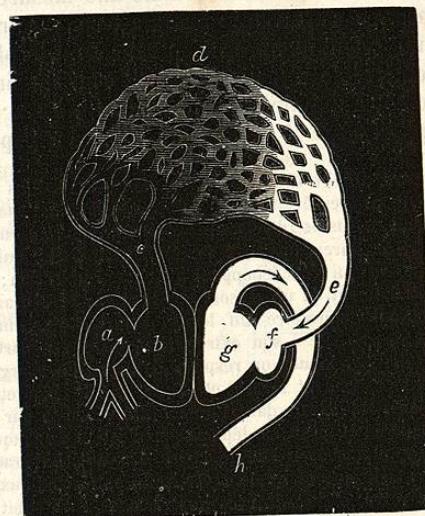


FIG. 85. — Circulation à travers le poumon\*.

cité 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

\* 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*.)