des mollusques a une certaine analogie avec celle des poissons, avec cette différence que le cœur, au lieu d'être sur le trajet du sang veineux, est placé sur le trajet du sang artériel. Le sang qui a servi à la nutrition des organes (le sang veineux par conséquent) gagne directement l'appareil respiratoire. Le sang,

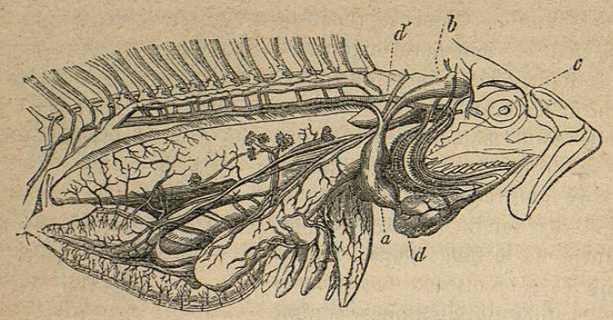

Fig. 68.
Circulation d'un poisson osseux.

a, sinus veineux inférieur, } Ces deux sinus communiquent entre eux et reçoivent toutes les veines du corps.
b, sinus veineux supérieur, }
c, branchies recevant le sang veineux par l'artère branchiale.
d, cœur simple, composé d'une oreillette et d'un ventricule.
d', aorte recevant le sang qui vient des branchies (par les veines branchiales).

vivifié par la respiration, se dirige vers le cœur, qui l'envoie vers les organes. Le cœur est ordinairement composé d'un ventricule et d'une ou deux oreillettes. Chez quelques mollusques (la plupart des céphalopodes), on rencontre sur les vaisseaux veineux qui vont pénétrer dans les branchies des renflements contractiles ou cœurs branchiaux.

Le sang des mollusques est incolore ou légèrement bleuâtre.

Crustacés (écrevisses, crabes, homards, etc.). — Le cœur des crustacés, comme celui des mollusques, est placé sur le trajet du sang artériel : il correspond au cœur gauche des animaux supérieurs. Ce cœur consiste en une cavité unique ou ventricule. Le sang, envoyé dans les organes par les artères qui font suite au cœur uniloculaire, gagne ensuite un système vasculaire peu régulier. Les cavités irrégulières dans lesquelles se répand le sang, tapissées par une fine membrane vasculaire, communiquent avec des sinus situés à la base des pattes. De là, le sang gagne les branchies ; des branchies, il revient au cœur par les vaisseaux branchio-cardiaques.

Le sang des crustacés est incolore, bleuâtre ou lilas.

Annélides. — Les annélides n'ont pas de cœur, quoiqu'ils aient un appareil circulatoire distinct. Le sang des annélides, qui est généralement rouge ou rosé, est mis en mouvement dans les canaux sanguins par les contractions des parois vasculaires. Il n'est guère possible de distinguer en eux un sang artériel et un sang veineux, quoique le liquide qui circule dans les canaux vasculaires soit soumis à l'influence vivifiante de l'air atmosphérique dans les branchies. Il n'y a pas non plus de régularité bien marquée dans le cours du sang, et la direction des courants change souvent d'un moment à l'autre.

Insectes. — Dans beaucoup de parties du corps des insectes, le sang n'est point renfermé dans des vaisseaux arrondis et tubuleux analogues à ceux des animaux

supérieurs. Le sang, généralement incolore, n'est pas nettement distinct du fluide nourricier, ou plutôt il représente le fluide nourricier lui-même qui, après avoir traversé les parois de l'intestin, se répand dans les interstices des organes, interstices tapissés par de fines membranes vasculaires. Ces lacunes vasculaires communiquent avec des vaisseaux arrondis, dont les uns pénètrent jusque dans les pattes, et dont les autres s'étendent jusque dans les ailes (quand ces appendices membraneux ne sont pas desséchés). D'un autre côté, les lacunes vasculaires communiquent avec un vaisseau central situé le long de la région dorsale, au-dessus du tube digestif. Ce vaisseau dorsal, contractile du côté de sa partie postérieure, exécute des mouvements alternatifs de resserrement et de dilatation, et joue, par conséquent, le rôle d'un véritable cœur.

Le liquide s'introduit dans le vaisseau dorsal, ou cœur, par un certain nombre d'orifices. Ces orifices, disposés par paires (généralement au nombre de huit), occupent les parties latérales du vaisseau dorsal, et font communiquer ce vaisseau avec les canaux irréguliers ou lacunes vasculaires de l'abdomen. Quand le vaisseau dorsal se contracte, le liquide comprimé ne peut s'échapper par les orifices dont nous parlons, car ces orifices possèdent une paire de valvules analogues aux valvules auriculo-ventriculaires. Le liquide s'écoule donc d'arrière en avant, du côté de la tête, d'où il gagne ensuite toutes les parties du corps, pour revenir vers son point de départ. On observe très bien ce double courant dans l'aile de l'hémérobe. On voit, en effet, les courants centrifuges suivre les grandes nervures, et les courants centripètes rentrer dans l'animal, le long de la nervure marginale.

Zoophytes. — La circulation des zoophytes est plus imparfaite. On distingue encore, chez quelques-uns, un système spécial de canaux où circule le fluide nourricier (holothuries, oursins); chez d'autres, on constate que le système des vaisseaux qui distribuent le fluide nourricier est constitué par des appendices dépendant manifestement du tube digestif (méduses), enfin, il en est d'autres (sertulaires) où le liquide nourricier se répand par une sorte d'infiltration successive des parois du tube digestif dans la trame des tissus, sans qu'on puisse distinguer les voies spéciales de distribution.

CHAPITRE IV

RESPIRATION

§ 114.

Définition. — Division. — La respiration est cette fonction de l'économie qui a pour but la transformation du sang veineux en sang artériel. Le sang arrivait aux poumons sous forme de sang veineux, c'est-à-dire *rouge brun*, il en sortira à l'état de sang artériel, c'est-à-dire *rouge vermeil*. Cette transformation s'accomplit par l'intermédiaire de l'air atmosphérique. A cet effet, l'air est introduit dans l'intérieur du poumon, entre en contact médiat avec le sang

veineux, lui communique une partie de lui-même, lui enlève quelques principes, et le rend apte à nourrir et à vivifier les organes. Commune à tous les êtres vivants, la respiration s'accomplit d'une manière continue, incessante ; elle ne saurait être suspendue, même durant un temps très court, sans entraîner rapidement la mort[1].

Le phénomène de la respiration, envisagé dans sa généralité, consiste donc dans l'action exercée par l'air sur le sang. L'air atmosphérique entourant le corps de toutes parts, cette action a lieu aussi sur toutes les surfaces de l'économie. Mais le peu de perméabilité de l'épiderme chez l'homme, les poils et les plumes qui recouvrent la peau de la plupart des animaux à double circulation, circonscrivent plus particulièrement l'action de l'air atmosphérique sur la membrane muqueuse pulmonaire. Il n'en est pas de même chez un grand nombre d'animaux invertébrés à peau molle. Il n'y a pas toujours chez eux d'organe respiratoire spécial, et la respiration s'exerce sur toutes les surfaces en contact avec l'air atmosphérique. La localisation de la respiration chez les animaux supérieurs n'est d'ailleurs pas absolue, et nous verrons qu'il y a bien réellement, par la peau de l'homme, une respiration rudimentaire. Chez les reptiles à peau nue, dont la respiration est peu énergique, la localisation de la respiration pulmonaire ou branchiale est bien moins tranchée, et l'action de l'air sur le sang, au travers de la peau, suffit, dans quelques cas, pour prolonger pendant longtemps l'existence, lorsque la respiration proprement dite fait défaut.

La respiration des animaux s'accomplit de manières très diverses, à l'aide d'appareils variés sur lesquels nous jetterons plus loin (§ 160), un rapide coup d'œil. Mais, quelque variés que soient ces appareils, le phénomène ne cesse pas d'être le même : la respiration consiste toujours dans une absorption d'oxygène provenant du dehors et une exhalation d'acide carbonique provenant de l'animal. L'essence de la respiration consiste donc en un échange gazeux entre le milieu qui entoure l'animal et l'animal lui-même.

Il y a une quinzaine d'années, un savant éminent, M. Pasteur, a annoncé qu'il y a des animaux (infusoires), qui vivent sans air ; bien plus, il ajoute que ces êtres microscopiques succombent presque instantanément quand on fait arriver sur eux de l'oxygène ou de l'air atmosphérique.

Et où vivraient ces êtres étranges ? Dans les matières organiques en état de

[1] Une expérience très saisissante à laquelle est attaché le nom de notre immortel Bichat, montre de la manière la plus claire l'influence de l'air sur le sang veineux dans les poumons. On la trouve rapportée dans le traité de *la Vie et la Mort*.

On pratique une ouverture à la trachée-artère d'un chien ; on introduit dans ce canal une canule à robinet et on l'y fixe par une ligature. On place et on fixe en outre, dans l'artère carotide du même animal, à gauche ou à droite, peu importe, une canule à robinet qui regarde du côté du cœur. Le robinet de la trachée est ouvert, le robinet de l'artère est fermé. On ouvre un instant et on referme le robinet de la canule artérielle, on recueille ainsi une petite quantité de sang artériel caractérisé par sa couleur rouge vermeille. Alors on ferme le robinet trachéal, c'est-à-dire qu'on suspend la respiration de l'animal. Le sang recueilli dans ces conditions par la canule artérielle au bout de 30 secondes, est déjà manifestement foncé ; il est tout à fait semblable au sang veineux au bout d'une minute et demie. Si on rouvre le robinet trachéal, c'est-à-dire si on rétablit la respiration, au bout d'un temps également très court, le sang artériel a repris ses caractères.

Cette expérience prouve donc que l'artérialisation, c'est-à-dire le changement de couleur du sang se fait dans le poumon, et qu'elle s'y fait rapidement. Cette expérience montre encore que la suspension de la respiration est rapidement mortelle, car si le robinet trachéal est maintenu fermé quelques minutes seulement, l'animal succombe.

putréfaction; ils se rattacheraient aux phénomènes de la décomposition putride, de même que des infusoires d'autres espèces (qui, elles, ont besoin d'air ou d'oxygène libre) accompagnent les actes de la fermentation proprement dite.

En conclura-t-on qu'il y aurait aux confins de l'échelle animale des êtres qui vivraient sans oxygène ? Non certes. Telle ne saurait être, et telle n'est pas d'ailleurs la conclusion de M. Pasteur.

De même que les autres animaux, ces infusoires ne sauraient vivre qu'à la condition d'absorber de l'oxygène. Mais ce qu'il leur faudrait, ce n'est pas de l'oxygène tout fait, c'est-à-dire de l'oxygène libre, mais de l'oxygène à

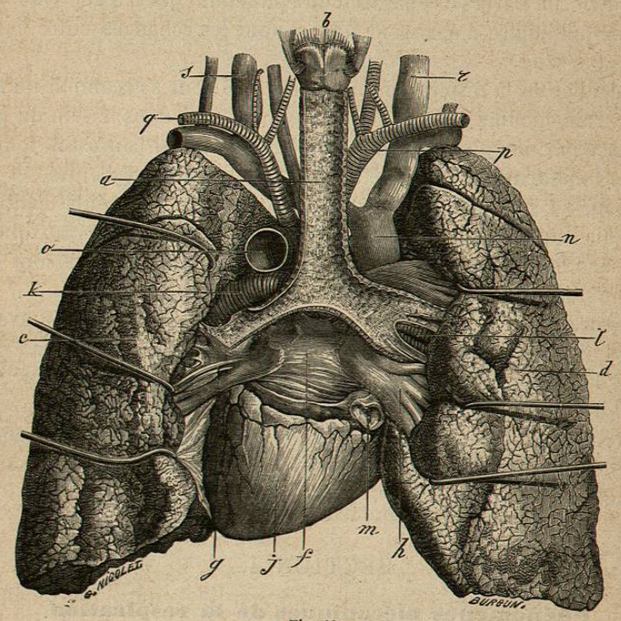

Fig. 69.

Cœur et poumon (vus par derrière).

a, la trachée dont la partie postérieure membraneuse est enlevée, sa division en branches droite et gauche.
b, le cartilage cricoïde (face postérieure).
c, poumon gauche.
d, poumon droit.
f, oreillette gauche.
g, *h*, veines pulmonaires.
j, ventricule gauche.
k, branche de l'artère pulmonaire qui va au poumon gauche.
l, branche de l'artère pulmonaire qui va au poumon droit.
m, extrémité coupée de la veine cave inférieure.
n, veine cave supérieure.
o, la crosse de l'aorte (ouverte).
p, tronc artériel brachio-céphalique, se divisant en sous-clavière et carotide.
q, artère sous-clavière gauche.
r, veine jugulaire interne droite.
s, veine jugulaire interne gauche.

l'*état naissant*. Pour se procurer cet oxygène nécessaire, ils exerceraient sur le milieu qui les contient une action catalytique ou de dédoublement, et ils en détermineraient ainsi la décomposition.

En admettant que ces infusoires, qui ne sont guère jusqu'ici que des êtres théoriques, existent en réalité, on voit donc que l'exception des animaux qui semblent vivre sans air ou *anaérobies*[1] est plus apparente que réelle.

[1] On dit de ces infusoires qu'ils sont *anaérobies* parce qu'ils vivent sans air, c'est-à-dire sans

Chez l'homme et chez les animaux supérieurs, le poumon est constitué par d'innombrables canaux (bronches), qui se divisent et se subdivisent, et se terminent enfin dans des vésicules closes. L'air est, à chaque instant, attiré dans ces vésicules tapissées par une membrane très fine, dans l'épaisseur de laquelle rampe un réseau sanguin d'une admirable richesse. Réunissant en une seule, par la pensée, toutes les surfaces fractionnées de ces vésicules, on peut envisager le poumon comme une vaste surface en contact avec l'air atmosphérique, et sous laquelle circulent des vaisseaux. Dans les vésicules pulmonaires, le réseau vasculaire sanguin n'est séparé de la cavité vésiculaire (c'est-à-dire de l'air) que par une simple couche d'épithélium à cellules pavimenteuses aplaties. C'est donc au travers des parois d'un épithélium qui n'a guère qu'un demi-centième de millimètre d'épaisseur que se font les échanges entre l'air atmosphérique et le sang[1].

L'acte régulier de la respiration pulmonaire ne peut s'accomplir qu'à la condition que l'air, modifié par son contact avec le sang dans le sein du poumon, soit remplacé par une nouvelle quantité d'air pur. Aussi l'air est-il, tour à tour, attiré dans la poitrine et repoussé au dehors. Un courant d'entrée et un courant de sortie se succèdent sans interruption. Ces mouvements d'entrée et de sortie de l'air sont déterminés par une série d'actes mécaniques, auxquels prennent part des leviers osseux et des muscles. Ces mouvements sont désignés sous le nom d'*inspiration* et d'*expiration*.

Dans l'ordre logique, l'inspiration ouvre la marche, puis l'air exerce une action sur le sang, et l'expiration succède à cette action. Mais il y a avantage à rapprocher les faits de même ordre. C'est par l'ensemble des phénomènes d'inspiration et d'expiration, dits *phénomènes mécaniques* de la respiration, que nous commencerons. Les *phénomènes physico-chimiques* de la respiration, comprenant l'examen des modifications simultanées subies par l'air et par le sang, viendront ensuite.

SECTION I.

Phénomènes mécaniques de la respiration.

ARTICLE I.

DE L'INSPIRATION.

§ 115.

Inspiration. — Agents de l'inspiration. — L'inspiration est le premier acte des phénomènes respiratoires : c'est par un mouvement d'inspiration que débute l'enfant qui naît à la lumière et à l'air atmosphérique. Un homme

oxygène libre ; par opposition aux autres infusoires, qui vivent à la manière ordinaire, ou infusoires *aérobies*.

[1] Les bronches sont tapissées par une membrane muqueuse. Mais, à mesure qu'on approche des vésicules pulmonaires, la membrane muqueuse s'amincit ; dans les vésicules, la membrane muqueuse n'est plus guère représentée que par une simple couche d'épithélium. Dans les bronches d'un certain calibre (toutes celles qui ont plus de 1/2 millimètre de diamètre), la membrane muqueuse est recouverte, comme on sait, par un épithélium *cylindrique* ou *prismatique*, pourvu de cils vibratiles.

adulte, bien portant, fait en moyenne 18 respirations par minute, c'est-à-dire qu'il inspire une certaine quantité d'air 18 fois par minute, et qu'il expire cet air le même nombre de fois, pendant le même temps. En admettant que l'homme adulte respire 18 fois par minute, la durée moyenne d'un mouvement respiratoire complet est donc d'un peu plus de 3 secondes.

Le chiffre 18 respirations par minute est une moyenne. Mais il y a des variations extrêmement étendues, non pas seulement dans l'état pathologique, mais dans l'état physiologique. Ce chiffre oscille généralement entre 16 et 20, mais il peut descendre à 10, ce qui est rare, et s'élever à 25 et à 30, ce qui est moins rare.

L'âge exerce sur la fréquence des mouvements respiratoires une influence qu'il est aisé de prévoir et qui est en harmonie avec le nombre des pulsations du cœur. M. Quételet a examiné, sous ce rapport, trois cents personnes de tout âge, et voici les moyennes qu'il a résumées sous forme de tableau :

Enfants nouveau-nés.....	44	mouvements respiratoires	par minute.
— de 5 ans.....	26	—	—
Adultes de 15 à 20 ans....	20	—	—
— de 20 à 25 ans...	18	—	—
— de 25 à 30 ans...	16	—	—
— de 30 à 50 ans...	18	—	—

L'exercice, surtout l'exercice violent, accélère beaucoup les mouvements de la respiration. L'homme ou les animaux qui viennent de fournir une course rapide ou d'exercer un effort musculaire énergique sont *haletants*.

Un cheval au repos ne respire guère que 10 à 15 fois par minute ; une course au trot de cinq minutes élève ce nombre à 50 ; une course au galop pendant le même temps l'élève à 65. Cette accélération dure quelques minutes, et le type normal revient peu à peu. (Colin.)

Il faut remarquer encore que, chez l'homme tout au moins, la durée de l'inspiration et la durée de l'expiration ne sont pas égales. L'expiration est toujours un peu plus longue que l'inspiration.

M. Vierordt, M. Ludwig, M. Liebmann, en se servant d'appareils enregistreurs, ont établi expérimentalement que la durée de l'inspiration est à la durée de l'expiration :: 100 : 140. A cet effet, un crayon coudé était fixé à la poitrine et inscrivait, à la surface d'un cylindre animé d'un mouvement circulaire uniforme, sous forme d'une courbe ondulée, le mouvement de soulèvement et d'abaissement des côtes. M. Sibson était arrivé précédemment à des résultats analogues. Il résulte, en outre, de ses recherches que chez l'homme la durée de l'expiration est un peu moindre que chez la femme, l'enfant et le vieillard. La durée de l'inspiration, comparée à la durée de l'expiration, serait chez l'homme :: 100 : 120 ; chez l'enfant, la femme et le vieillard :: 100 : 140 ou 150.

En s'observant soi-même avec attention, on constate que l'expiration peut se décomposer en deux temps. Dans la première moitié de l'expiration, le mouvement de retour est très marqué. Dans la seconde moitié, l'expiration est moins sensible, et il semble qu'il y ait un temps de repos. C'est ce temps de quasi-repos qui donne à l'expiration une durée un peu plus longue qu'à l'inspiration.