présence des matières alimentaires dans l'appareil digestif, et la lymphe qui en passant dans ces vaisseaux se charge de particules graisseuses, devient blanche, opaque et lactescente et constitue le liquide appelé **chyle** (fig. 107).

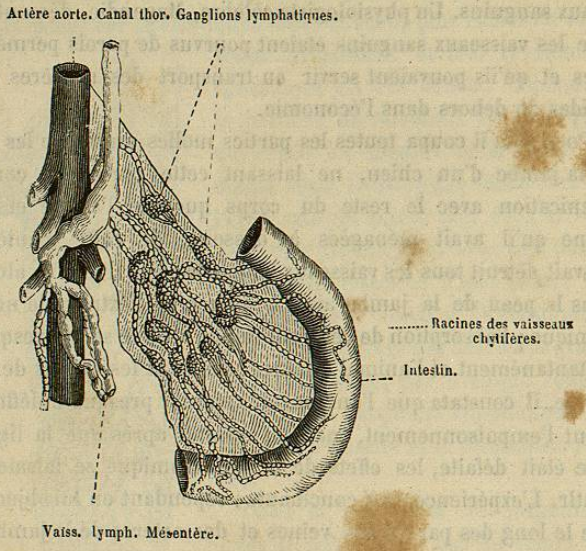

Fig. 106. — Vaisseaux chylifères.

Ainsi c'est essentiellement par les vaisseaux chylifères (fig. 106) que les matières grasses provenant de la digestion des aliments arrivent dans le sang, tandis que la plupart des autres substances absorbées soit dans l'estomac, soit dans l'intestin pénètrent directement dans les veines.

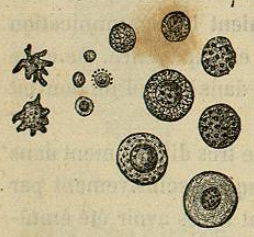

Fig. 107. — Éléments du chyle.

Si l'on ouvre l'abdomen d'un animal en voie de digestion, on voit un grand nombre de vaisseaux chylifères blanchâtres ramper

à la surface du mésentère de l'intestin grêle. Ces vaisseaux naissent dans l'intérieur des villosités *intestinales* (fig. 108), se réunissent en branches, puis en troncs, traversent de petites masses formées par le pelotonnement de ces vaisseaux et appelées ganglions, puis vont déboucher dans le canal thoracique.

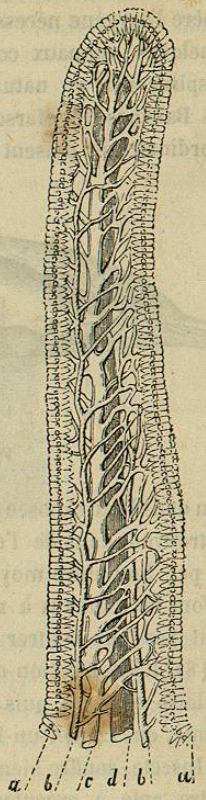

Fig. 108 (*).

DE LA RESPIRATION.

§ 80. Les matières nutritives fournies à l'organisme par le travail digestif ne suffisent jamais à l'entretien de la vie des animaux. Ces êtres sont toujours le siège d'une sorte de combustion qui est nécessaire au développement de toute action vitale, et pour la production de ce phénomène chimique il leur faut un agent comburant qui est l'oxygène ; il leur faut aussi des combustibles fournis soit par les aliments, soit par la substance constitutive de leur corps. C'est dans l'air atmosphérique qu'ils puisent directement ou indirectement cet oxygène ; l'absorption de ce gaz, son emploi dans l'économie animale et l'expulsion ultérieure de l'acide carbonique résultant de la combustion physiologique entretenue de la sorte, constituent la partie essentielle fondamentale du phénomène appelé *respiration* ; mais dans le langage vulgaire on désigne aussi sous

(*) Villosité intestinale grossie environ 20 fois : *aa*, épithélium ; — *bb* artères — *c*, veine ; — *d*, vaisseau chylifère.

le même nom l'acte mécanique au moyen duquel le fluide respirable est renouvelé dans l'appareil respiratoire.

Les animaux terrestres puisent directement dans l'atmosphère l'oxygène nécessaire à l'entretien du travail respiratoire. Quelques animaux complètement aquatiques peuvent aussi respirer l'air en nature comme le font les Cétacés, tels que les Baleines, les Marsouins et les Dauphins (fig. 109) ; mais d'ordinaire ils puisent l'oxygène dans l'air qui est en dissolu-

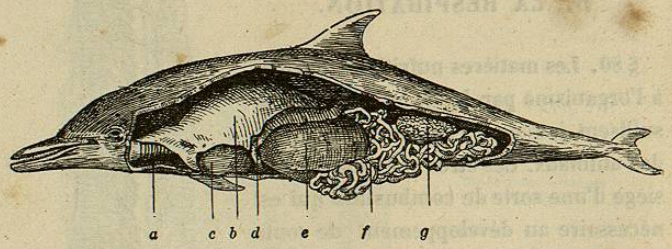

Fig. 109. — Dauphin (*).

tion dans l'eau exposée au contact de l'atmosphère et lorsqu'ils se trouvent dans de l'eau qui a été privée d'air par l'ébullition ou par tout autre moyen, ils s'asphyxient et meurent comme le font les animaux à respiration aérienne lorsqu'ils ne peuvent pas faire rentrer de l'air dans leur appareil respiratoire.

§ 81. L'interruption de la respiration détermine d'abord un malaise extrême, puis des phénomènes plus graves ; l'Être animé, que ce soit un Homme, un Quadrupède, un Oiseau ou un Insecte, souffre bientôt s'il est privé de gaz oxygène ; il cesse d'être apte à exécuter des mouvements et il tombe dans un état de mort apparente appelée *asphyxie* ; enfin cet état est suivi de la mort réelle lorsque la respiration n'est pas rétablie en temps utile. On peut suivre la marche de ce phénomène en

(*) Dauphin dont la cavité viscérale a été ouverte pour montrer : *a*, la trachée-artère ; — *b*, l'un des poumons ; — *c*, le cœur ; — *d*, le diaphragme ; — *e*, le foie ; — *f*, l'intestin ; — *g*, l'un des reins.

enfermant un oiseau sous une cloche de verre, et en retirant, à l'aide d'une machine pneumatique, l'air qui y était contenu. Quand quelques coups de piston ont été donnés, on voit l'oiseau se débattre suffoqué, puis tomber sans mouvement et mourir (fig. 110).

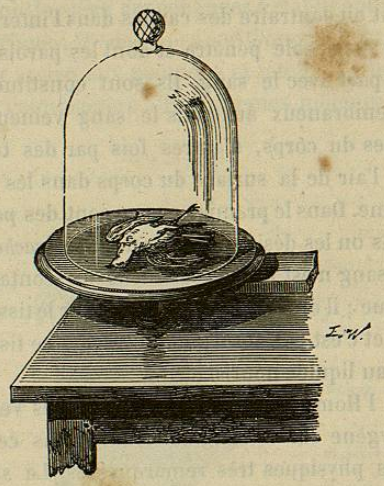

Fig. 110.

Chez beaucoup d'animaux des plus inférieurs dont les besoins respiratoires sont très restreints, la respiration a lieu par l'intermédiaire de la peau seulement et n'est pas localisée dans une partie déterminée de la surface du corps ; mais chez tous les animaux dont l'activité vitale est grande, cette respiration cutanée, lors même qu'elle existe, est insuffisante et l'entretien de la combustion physiologique a lieu au moyen d'un appareil spécial doué d'un pouvoir absorbant très considérable et servant à transmettre au sang l'oxygène dont l'organisme a besoin, ainsi qu'à déverser au dehors les produits aériformes de cette combustion.

§ 82. Chez les animaux aquatiques ces organes respiratoires

sont des *Branchies*, c'est-à-dire des parties saillantes qui sont baignées par l'eau et qui reçoivent dans leur intérieur le sang destiné à y subir l'influence vivifiante de l'oxygène en dissolution dans ce liquide.

Chez les animaux à vie aérienne, les organes spéciaux de respiration sont au contraire des cavités dans l'intérieur desquelles le fluide respirable pénètre et dont les parois sont en rapport d'autre part avec le sang. Ils sont constitués tantôt par des sacs membraneux auxquels le sang veineux arrive des autres parties du corps, d'autres fois par des tubes rameux qui portent l'air de la surface du corps dans les profondeurs de l'organisme. Dans le premier cas ce sont des *poumons*, dans le second cas on les désigne sous le nom de *trachées*.

Jamais le sang n'est mis directement en contact avec l'air atmosphérique ; il en est toujours séparé par le tissu de l'organe respiratoire et c'est par absorption à travers ce tissu que l'oxygène arrive au liquide nourricier.

§ 83. Chez l'Homme, et chez tous les autres Vertébrés, l'action de l'oxygène sur le sang détermine dans ce liquide des changements physiques très remarquables. Le sang veineux qui revient des diverses parties du corps où il a servi à la nutrition est d'un rouge sombre et les physiologistes l'appellent communément du *sang noir* ; mais au contact du gaz oxygène dans un vase inerte aussi bien que dans l'intérieur du corps vivant il change de teinte ; il devient d'un rouge vermeil et il acquiert en même temps des propriétés vivifiantes que ne possède pas le sang noir. Celui-ci est insuffisant pour l'entretien de l'activité vitale, tandis que le passage du sang vermeil dans une partie dont le fonctionnement physiologique a été suspendu peut suffire pour y rétablir cette activité.

Ces notions générales relatives à la nature de la respiration étant acquises, nous passerons maintenant à l'examen de l'appareil respiratoire de l'Homme et des autres Mammifères.

APPAREIL DE LA RESPIRATION.

§ 84. L'appareil respiratoire de tous les Mammifères se compose d'instruments physiologiques de trois sortes, savoir : 1° de poumons qui sont le siège des échanges à établir entre le sang et l'air atmosphérique ; 2° des voies aérifères par l'intermédiaire desquelles l'air arrive aux poumons et retourne ensuite de ces organes dans l'atmosphère ; 3° d'organes moteurs servant à

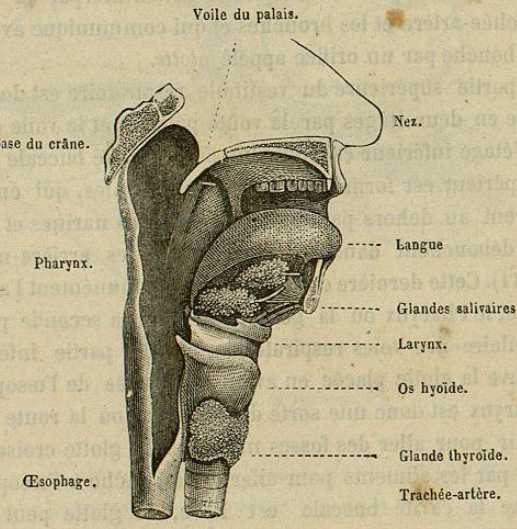

Fig. 111. — Coupe verticale de la bouche et du gosier.

opérer l'*inspiration* ou appel de l'air dans les poumons et l'*expiration* ou sortie des gaz qui de ces organes doivent être rejetés dans l'atmosphère. En effet, par suite de son emploi dans le travail respiratoire, l'air devient inapte à donner au sang les propriétés vivifiantes qu'il doit y communiquer et par conséquent, pour l'entretien de la vie, il faut que le fluide res-

pirable soit sans cesse renouvelé dans l'intérieur des poumons.

Les poumons des Mammifères, ainsi que nous l'avons déjà vu dans la première partie de ce cours, sont, de même que le cœur, logés dans une chambre viscérale spéciale appelée cavité thoracique et séparée de l'abdomen par une cloison charnue désignée sous le nom de *muscle diaphragme* (fig. 114).

L'intérieur de ces organes communique avec l'extérieur au moyen de voies respiratoires composées d'une portion vestibulaire qui est fournie en partie par l'appareil digestif, et d'une portion spéciale qui est tubulaire et constituée par la larynx, la trachée-artère et les bronches et qui communique avec l'arrière-bouche par un orifice appelé *glotte*.

La partie supérieure du vestibule respiratoire est double et divisée en deux étages par la voûte palatine et le voile du palais, l'étage inférieur est constitué par la cavité buccale ; l'étage supérieur est formé par les fosses nasales, qui en avant s'ouvrent au dehors par l'intermédiaire des narines et en arrière débouchent dans le pharynx par les arrière-narines (fig. 111). Cette dernière cavité appelée communément l'arrière-bouche, le Pharynx ou la gorge, constitue la seconde portion vestibulaire des voies respiratoires, et à sa partie inférieure se trouve la glotte placée en avant de l'entrée de l'œsophage. Le pharynx est donc une sorte de carrefour où la route suivie par l'air pour aller des fosses nasales à la glotte croise celle suivie par les aliments pour aller de la bouche à l'œsophage. Lorsque la cavité buccale est libre, la glotte peut donc communiquer avec l'atmosphère soit par la bouche, soit par les narines ; mais pendant que la mastication des aliments s'effectue le voile du palais s'abaisse comme nous l'avons vu précédemment (page 31) et la respiration se fait par les narines seulement. En général, pendant que la déglutition s'opère, la route de l'air se trouve obstruée par la présence du bol alimentaire dans le pharynx. Mais chez quelques Mammifères le voile du palais est conformé de manière à ce que la respiration

ne soit pas interrompue de la sorte. Ainsi chez le Marsouin, la Baleine et les autres Cétacés qui, tout en respirant par des poumons, vivent dans l'eau et ont presque toujours la cavité buccale remplie par ce liquide, le voile du palais descend en forme de tube jusqu'à la glotte et maintient les voies respiratoires libres

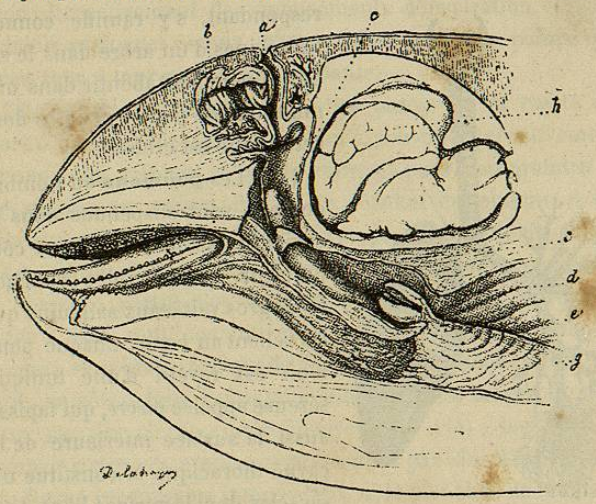

Fig. 112. — Tête de Marsouin (*).

au milieu du pharynx tout en laissant de chaque côté un espace libre pour le passage des aliments (fig. 112).

§ 85. La glotte est l'entrée du tube respiratoire qui descend le long du cou au-devant de l'œsophage et qui est constituée dans sa partie supérieure par le *larynx*, organe dans lequel la voix est produite et sur la structure duquel nous aurons à revenir. De même que la trachée artère qui y fait suite, il est tapissé par

(*) Coupe longitudinale de la tête d'un Marsouin. *a*, évent représentant les narines ; — *b*, cellules en communication avec les fosses nasales ; — *c*, tube contenant en arrière les fosses nasales ; — *d*, glotte qui est saisie par le voile du palais ; — *e*, *g*, extrémités supérieures des voies respiratoires ; — *h*, cerveau.

une membrane muqueuse en continuité avec celle de l'arrière-bouche et ses parois sont renforcées par une charpente solide composée de pièces cartilagineuses disposées transversalement (fig. 113). A la base du cou la trachée se bifurque et chacune de ses branches, appelées *Bronches*, se rend aux poumons correspondant, s'y ramifie comme les racines d'un arbre dans le sol et va finalement aboutir dans une multitude de petites cellules dont cet organe est creusé.

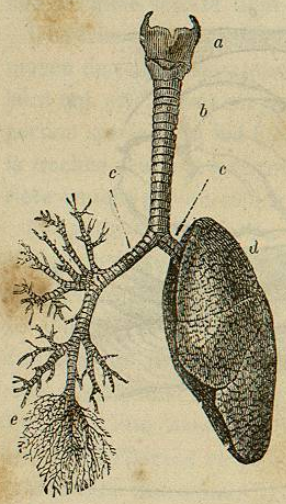

Fig. 113. — Poumons et trachée de l'Homme (*).

§ 86. Les **poumons** au nombre de deux sont suspendus dans la cavité thoracique, de chaque côté du cœur, au moyen des bronches et de gros vaisseaux sanguins qui les relient au cœur. Chaque poumon est revêtu d'une tunique séreuse appelée *plèvre*, qui tapisse aussi la surface intérieure de la cavité thoracique et constitue un sac-clos dont la surface libre, très lisse et lubrifiée par un liquide, est partout en contact avec elle-même (fig. 11). Au moyen des bronches l'air arrive dans l'intérieur des cellules pulmonaires, et les parois de ces petites cavités logent le réseau capillaire sanguin qui relie les artères pulmonaires aux veines du même nom (fig. 74). Le sang veineux venant du ventricule droit du cœur traverse, comme nous l'avons vu précédemment, ce réseau vasculaire ; il y subit l'influence de l'air qui le rend vermeil, et c'est après avoir été

(*) L'un des poumons est resté intact (*d*) ; mais, de l'autre côté, on en a détruit la substance pour mettre à nu les ramifications des bronches (*e*). *a*, larynx et extrémité supérieure de la trachée-artère ; — *b*, trachée ; — *c*, divisions des bronches ; — *e*, ramuscules bronchiques.

changé aussi en sang artériel que ce liquide est reporté au cœur par les veines pulmonaires (1).

§ 87. En agissant ainsi sur le sang l'air perd ses propriétés vivifiantes et par conséquent il doit être souvent renouvelé, résultat qui est obtenu par le jeu de l'appareil moteur qui détermine alternativement des mouvements d'inspiration et d'expiration analogues à ceux d'un soufflet ou d'une pompe qui serait tour à tour aspirante et foulante.

Cet appareil est constitué par les parois de la cavité du thorax qui sont disposées de façon à pouvoir alternativement agrandir ou rétrécir cette chambre, et pour comprendre le mécanisme au moyen duquel ce résultat est obtenu, il est nécessaire de connaître la structure de cette partie du corps.

Les parois thoraciques ont une charpente solide composée en majeure partie d'os mobiles les uns sur les autres. En arrière elles sont constituées sur la ligne médiane par la colonne vertébrale à laquelle s'articule de chaque côté une série de côtes dont l'extrémité antérieure est reliée au sternum par des pièces cartilagineuses (fig. 114) ; les espaces compris entre ces arceaux sont occupés par du tissu charnu qui forme les muscles intercostaux, et le plancher de la chambre limitée de la sorte latéralement est constitué par une cloison également musculaire, par conséquent contractile appelée le **Diaphragme** (fig. 11 et 114). Cette cloison est attachée au bord inférieur de la charpente osseuse dont nous venons de parler et elle s'élève en forme de voûte dans l'intérieur de la cavité thoracique. Or, toutes les fois que le diaphragme se contracte, les fibres qui le constituent se raccourcissent et par conséquent sa courbure diminue ; la voûte qu'elle forme s'abaisse d'autant, et il s'en suit que le diamètre vertical situé au-dessus de cette cloison mobile s'agrandit d'autant. En effet les côtes articulées à la colonne vertébrale par leur extrémité

(1) Voyez page 81.

postérieure sont dirigées obliquement en avant et en bas, et leur extrémité opposée reliée au sternum, s'élève ou s'abaisse chaque fois que certains muscles se contractent ou se relâchent. Or en raison de cette obliquité la paroi antérieure du thorax

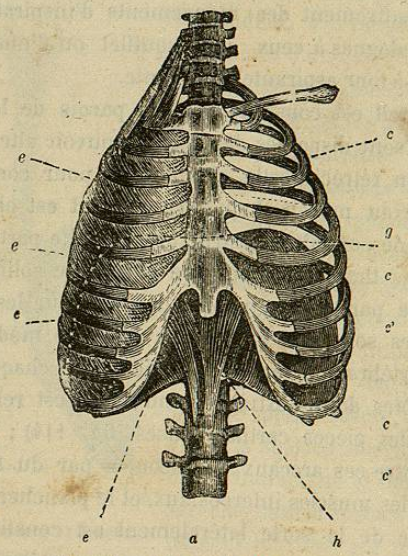

Fig. 114. — Thorax de l'Homme (*)

doit nécessairement s'éloigner de la colonne vertébrale chaque fois que les côtes se meuvent de la sorte (fig. 115 et 116). Enfin ces mêmes os courbes sont inclinés obliquement de dedans en dehors et de haut en bas, de façon que leur mouvement d'ascension en diminuant cette obliquité détermine une

(*) Du côté gauche les muscles ont été enlevés, tandis que du côté opposé ils sont en place. La voûte formée dans l'intérieur du thorax par le diaphragme (*g*) se voit à gauche, et du côté droit la continuation de cette voûte est indiquée par une ligne ponctuée; — *h*, piliers du diaphragme s'insérant aux vertèbres lombaires; — *i*, muscles élévateurs des côtes; — *d*, clavicule; — *c*, côtes; — *e*, muscles intercostaux.

augmentation correspondante dans le diamètre transversal du thorax. Par le jeu du diaphragme et de l'appareil costal, la cavité thoracique peut donc s'agrandir à la fois dans tous les sens, et chaque fois qu'elle se dilate l'air du dehors est appelé dans l'intérieur des poumons, car il n'y a aucune communi-

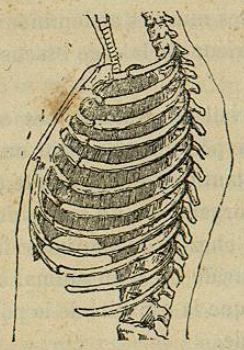

Fig. 115 (*).

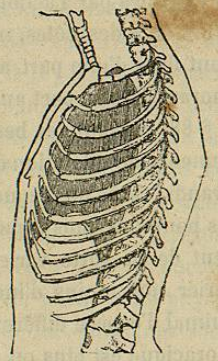

Fig. 116 (**).

cation entre l'atmosphère et cette cavité, tandis que les cellules à parois extensibles qui constituent les poumons communiquent librement avec l'extérieur par l'intermédiaire des bronches, de la trachée et de la partie vestibulaire des voies respiratoires. Les poumons se dilatent donc en même temps que la chambre thoracique s'agrandit par suite de la contraction des muscles élévateurs des côtes ou du muscle diaphragme, et cette dilatation appelle l'air extérieur dans l'intérieur des cellules pulmonaires.

Les mouvements contraires, c'est-à-dire les mouvements d'expiration, peuvent résulter du relâchement des muscles inspirateurs et de l'élasticité du tissu des poumons qui tend toujours à rapetisser ces organes et qui exerce ainsi une

(*) Position des côtes pendant l'inspiration.
(**) Position des côtes pendant l'expiration.

sorte de traction sur les parois de la cavité thoracique (fig. 116). C'est par l'effet de cette traction que le diaphragme remonte en forme de voûte dans le thorax dès que les fibres de ce muscle cessent de se contracter.

Enfin les mouvements d'expiration peuvent devenir plus énergiques par l'action des muscles antagonistes des muscles élévateurs des côtes, notamment des muscles abdominaux qui sont fixés d'une part au bord inférieur de la cage osseuse du thorax, d'autre part au bassin.

§ 88. Suivant les besoins du travail respiratoire, ces mouvements de dilatation de la poitrine peuvent être petits ou très grands, rares ou fréquents, et la quantité d'air introduite dans les poumons puis expulsée de ces organes en un temps donné peut de la sorte varier beaucoup chez le même individu, et varier non moins d'individu à individu ou d'un animal à un animal d'espèce différente suivant que la capacité de la pompe thoracique est plus ou moins grande.

Chez l'Homme au repos le nombre des inspirations est en général de 18 à 20 par minute, et la quantité d'air introduite dans les poumons à chaque inspiration est d'environ un demi-litre, chez les individus de moyenne taille. Mais la fréquence de ces mouvements et leur étendue varient suivant l'âge, l'état de repos ou d'activité musculaire et une multitude d'autres circonstances. Examinons maintenant ce que devient l'air employé de la sorte.

DES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION.

§ 89. L'air atmosphérique qui pénètre dans les poumons est composé normalement d'environ quatre cinquièmes d'azote (en volume) et d'un cinquième d'oxygène ; mais en sortant de ces organes sa composition n'est plus la même ; il contient beaucoup moins d'oxygène et la quantité de cet élément qui a disparu est remplacée à volume presque égal par du gaz acide

carbonique, c'est-à-dire par un composé d'oxygène et de carbone. En perdant son oxygène l'air perd aussi ses propriétés vivifiantes, et l'azote, de même que le gaz acide carbonique, est complètement inapte à l'entretien de la vie.

Les changements subis par l'air dans la respiration de l'Homme et de tous les autres animaux ne diffèrent en rien d'essentiel des changements que ce fluide éprouve dans un foyer où du charbon brûle activement ; là il y a aussi disparition d'oxygène et production d'acide carbonique, et cette production est la conséquence de la combinaison chimique de l'oxygène avec du carbone fourni par le combustible en ignition. Les phénomènes chimiques de la respiration s'expliquent de la même manière et la ressemblance entre la respiration animale et la combustion du charbon devient encore plus frappante lorsqu'on tient compte d'un phénomène physique dont l'un et l'autre de ces phénomènes chimiques sont accompagnés : savoir d'un dégagement de chaleur.

En effet, les animaux en respirant produisent de la chaleur comme le charbon en produit en brûlant, et la quantité de chaleur dégagée par ces Êtres vivants est en rapport avec l'activité du travail respiratoire dont ils sont le siège.

Lavoisier, le plus grand chimiste et aussi le plus grand physiologiste du siècle dernier, découvrit ces faits en 1777, et il fut conduit ainsi à considérer la respiration de l'Homme comme étant une sorte de combustion, théorie qui est en effet l'expression de la vérité :

« La respiration, écrivait Lavoisier, n'est qu'une combinaison lente de carbone et d'hydrogène qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumées, et sous ce point de vue les animaux qui respirent sont de véritables combustibles qui brûlent et se consument. Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique ; mais comme, dans la respiration, c'est la substance même de l'Animal, c'est le sang qui

fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe et l'animal périrait comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. »

§ 90. Ce n'est pas dans l'intérieur des cellules pulmonaires que cette combinaison chimique s'opère. L'oxygène fourni par l'air est absorbé par les parois de ces ampoules respiratoires et pénètre dans le sang en circulation dans le réseau capillaire dont ces parois sont creusées. Ce gaz s'y unit avec l'hémoglobine ou matière rouge des hématies dont il modifie la couleur, et il est ainsi emporté au loin dans toutes les parties de l'organisme par le sang devenu vermeil et artériel. Dans le système capillaire de la grande circulation l'oxygène charrié de la sorte se combine à du carbone et constitue de l'acide carbonique qui se dissout dans le plasma ou s'unit aux hématies, lesquelles prennent alors la teinte sombre caractéristique du sang veineux. L'espèce de combustion obscure effectuée ainsi dans toutes les parties de l'économie animale y détermine un développement de chaleur, et l'acide carbonique entraîné par le torrent circulatoire arrive aux poumons où il est en majeure partie exhalé en même temps qu'une nouvelle provision d'oxygène pénètre dans le sang qui de veineux redevient artériel.

Il y a donc dans les poumons des échanges sans cesse renouvelés ; l'atmosphère cède à ce liquide de l'oxygène et en reçoit de l'acide carbonique ; le sang sert de véhicule à l'une et à l'autre de ces substances ; en sortant des poumons il est chargé d'oxygène qui peut facilement s'en séparer et il ne contient que peu d'acide carbonique, tandis que dans les parties périphériques du système vasculaire de la grande circulation il se dépouille plus ou moins complètement de son oxygène libre et se charge d'acide carbonique qui tend à s'en échapper dès que ce liquide se trouve en rapport avec l'atmosphère, et qui peut en être extrait au moyen de la machine pneumatique. En effet l'absorption de l'oxygène et l'exhalation de l'acide carbonique

sont des phénomènes qui ne dépendent pas d'une action vitale et qui sont régis par les lois générales de la physique et de la chimie.

L'azote de l'air ne remplit aucun rôle important dans le travail respiratoire, mais les produits de ce travail ne consistent pas seulement en gaz carbonique ; le sang en traversant les poumons abandonne une partie de son eau qui s'en échappe sous la forme de vapeur et se répand dans l'atmosphère avec l'air expiré. Ce phénomène est désigné sous le nom de *transpiration pulmonaire*, et lorsque l'air est froid, c'est la vapeur chassée ainsi des poumons qui en se condensant forme le nuage dont chaque jet respiratoire est accompagné.

§ 91. La combustion physiologique qui constitue la partie principale du travail respiratoire s'effectue dans les points où l'activité vitale se manifeste, et son intensité est en rapport avec la grandeur de cette activité. Il en résulte que les besoins de la respiration sont d'autant plus considérables que la puissance vitale est plus développée et que les animaux dont la vie est lente et obscure ne consomment que peu d'oxygène, tandis que ceux dont la vitalité est très développée en consomment beaucoup, et c'est en partie à cause de cette circonstance que la petite quantité de gaz oxygène en dissolution dans l'eau aérée suffit à l'entretien de la respiration de beaucoup d'animaux inférieurs, tandis que les animaux à respiration puissante s'asphyxient et meurent plus ou moins rapidement lorsqu'ils sont submergés dans ce liquide. Cela a été mis bien en évidence par des expériences faites sur des grenouilles par William Edwards qui a démontré que ces animaux respirent par la peau aussi bien que par les poumons, et qu'en été ils ont besoin de respirer en même temps par ces deux moyens ; mais qu'en hiver leur activité vitale est beaucoup ralentie, et alors l'un ou l'autre de ces genres de respiration peut leur suffire. Ainsi en été une grenouille privée de ses poumons, ou complètement submergée dans de l'eau, s'asphyxie en moins d'une