

tains mouvements accessoires dans la respiration. Au moment de l'inspiration le larynx s'abaisse, ainsi que la trachée qui en même temps se dilate un peu : un mouvement inverse a lieu pendant l'expiration. La glotte, dans l'inspiration calme, est modérément ouverte et a la forme d'un triangle élargi dans sa partie inter-aryténoïdienne ; elle se dilate beaucoup plus dans l'inspiration profonde, et les cordes vocales s'écartent alors fortement par la contraction des muscles dilatateurs de la glotte (voy. fig. 438, p. 481) ; pendant l'expiration, les cordes vocales se rapprochent au contraire et interceptent une fente étroite.

§ 4. — MOUVEMENTS RESPIRATOIRES MODIFIÉS

Les mouvements respiratoires peuvent se modifier de diverses manières pour concourir à l'accomplissement de certains actes physiologiques spéciaux. La production de la voix et de la parole représente la principale de ces modifications, mais en raison de son importance nous l'étudierons dans un chapitre à part. Les mouvements respiratoires présentent aussi différents troubles à l'état pathologique.

1° Modifications physiologiques. — Dans l'*effort*, on ferme la glotte après avoir exécuté une profonde inspiration et l'on contracte fortement les muscles expirateurs ; l'air ne pouvant sortir, est comprimé dans le poumon, et le thorax acquiert ainsi une certaine fixité qui permet aux muscles qui s'y insèrent de prendre un point d'appui solide au moment de leur contraction ; il se produit en même temps une augmentation de pression dans l'abdomen ; les viscères peuvent alors faire hernie au dehors, si les parois du ventre présentent une solution de continuité. Avant que l'effort soit complètement terminé, on peut relâcher les cordes vocales, et alors l'air s'échappe brusquement de la poitrine en produisant un son (*han !*)

Les autres modifications de la respiration portent soit sur les actes inspirateurs, soit sur les actes expirateurs. Le *bâillement* consiste en une inspiration profonde par la bouche, maintenue largement ouverte par la contraction spasmodique des muscles

abaisseurs de la mâchoire. Le *hoquet* est dû à des contractions involontaires et convulsives du diaphragme produisant un brusque appel d'air dans le thorax avec son glottique. Il en est de même du *sanglot*. L'expiration est modifiée dans le *rire* qui est caractérisé par une expiration sonore, saccadée, accompagnée de la contraction de certains muscles de la face. Dans l'*éternuement*, l'expiration se fait brusquement par les fosses nasales en produisant un bruit spécial. Dans la *toux*, la glotte est d'abord fermée comme dans l'effort ; puis, quand l'air intra-pulmonaire se trouve soumis à une pression suffisante, les cordes vocales se relâchent, et l'air s'échappe brusquement en produisant un son et en balayant les mucosités des voies respiratoires.

2° Modifications pathologiques. — Les mouvements respiratoires peuvent être altérés dans leur fréquence, leur amplitude et leur rythme sous l'influence de différentes causes morbides. Le nombre des respirations est augmenté dans les maladies fébriles ; il peut s'élever à 25,30 par minute, et même encore plus si des lésions pulmonaires apportent un obstacle à l'hématose. Il se produit au contraire une diminution du nombre des mouvements respiratoires dans d'autres maladies, dans certaines affections cérébrales. L'augmentation d'amplitude des mouvements respiratoires accompagne souvent l'accroissement du nombre, mais elle ne lui est pas forcément liée. Quand il existe une gêne au passage de l'air dans le larynx, le nombre des respirations diminue, mais l'inspiration devient très profonde et prolongée, l'expiration s'allonge et se ralentit ; comme l'air ne vient pas combler assez rapidement le vide intra-thoracique, les parties dépressibles de la cage thoracique, les creux sus-claviculaires s'excavent sous l'influence de la pression atmosphérique. Parmi les altérations du rythme respiratoire, la principale à mentionner est celle que l'on désigne sous le nom de *rythme de Cheyne-Stokes*, et qui s'observe dans diverses affections cérébrales, dans l'urémie. Elle consiste dans des respirations coupées périodiquement par des arrêts ; après chaque arrêt, les mouvements respiratoires présentent une amplitude d'abord croissante puis graduellement décroissante jusqu'à l'arrêt suivant. Ce phé-

nomène résulte d'une inhibition incomplète des centres respiratoires.

§ 5. — RÉSULTATS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DE LA RESPIRATION

Les mouvements de la cage thoracique se traduisent par certaines modifications portant sur le poumon et sur d'autres organes contenus dans le thorax et dans l'abdomen.

1° Effets mécaniques produits au niveau du poumon. —

Les poumons présentent des mouvements d'expansion et de retrait dépendant de l'inspiration et de l'expiration ; sous l'influence de ces mouvements, la circulation du parenchyme pulmonaire subit certains changements et, phénomène capital, l'air est alternativement attiré dans les alvéoles pulmonaires et repoussé au dehors.

A. MOUVEMENTS DU POUMON. — Pour comprendre comment les poumons suivent tous les mouvements des parois du thorax, il faut se les représenter comme occupant tout l'espace laissé libre dans la cavité thoracique par les autres organes. Entre leur surface externe et la face interne du thorax il n'y a rien ; c'est-à-dire que l'accrolement est parfait entre la plèvre pulmonaire et la plèvre pariétale, et que l'interstice qui les sépare n'est que virtuel ; lors donc qu'on parle du vide pleural, on exprime seulement ce fait que si le thorax pouvait se dilater sans que le poumon suivit ce mouvement, le vide se produirait dans la cavité pleurale. Mais en réalité ce vide ne saurait exister, car lorsque la cage thoracique se dilate dans l'inspiration, la tendance au vide est aussitôt compensée par la dilatation du poumon qui, sous l'influence de la pression atmosphérique, se remplit d'air. La cavité thoracique est donc complètement remplie par les organes qu'elle renferme tant en inspiration qu'en expiration, et l'espace virtuel situé entre la surface du poumon et les parois thoraciques ne devient réel que si une blessure du poumon ou du thorax permet l'entrée de l'air dans la poitrine, ou s'il se

produit un épanchement de liquide dans la cavité pleurale.

On peut reproduire quelques-unes des conditions de la ventilation pulmonaire avec l'appareil schématisé suivant (fig. 87) : Une cloche tubulée représente la cage thoracique ; son fond est fermé par une membrane de caoutchouc figurant le diaphragme (D) ; un orifice de la paroi est également fermé par une membrane élastique figurant un espace intercostal (C) ; enfin la cavité de

la cloche est mise en rapport d'une part avec un manomètre (M) et d'autre part avec l'air extérieur au moyen de deux tubes traversant le bouchon du goulot : l'un de ces tubes pourvu d'un robinet (A) permet de faire le vide dans la cloche ; l'autre librement ouvert représente la trachée T et se bifurque en deux branches dans la cavité de la cloche ; à l'extrémité de chacune des branches est lié fortement un ballon de baudruche (V) figurant le poumon. Si alors on aspire l'air de la cloche, les vessies de baudruche se distendent et arrivent à occuper tout l'espace libre, pourvu qu'elles soient assez souples ; en même temps les membranes D et C bombent vers l'intérieur. On peut maintenant imiter les mouvements respiratoires en exerçant une traction sur la membrane simulant le diaphragme (inspiration), puis en l'abandonnant à elle-même (expiration).

Dans les mouvements de dilatation et de resserrement du poumon, la plèvre pulmonaire glisse à la surface des plèvres costale et diaphragmatique ; c'est à la base du poumon que ce mouvement de locomotion est le plus accentué ; pendant l'expiration la plèvre diaphragmatique, qui tapisse la périphérie du diaphragme, s'applique contre la plèvre costale correspondante, et le bord tranchant de la base du poumon remonte jusqu'à la sixième ou la cinquième côte ; dans l'inspiration le

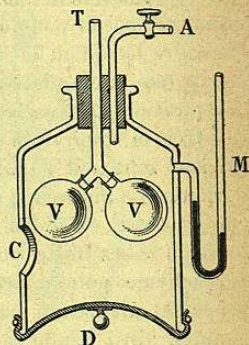


Fig. 87.

Schéma de la ventilation pulmonaire.

poumon s'insinue entre les deux plèvres de ce sinus costo-diaphragmatique en les écartant, et, dans les inspirations profondes, son bord inférieur peut arriver jusqu'aux insertions du diaphragme. Il en résulte qu'un instrument piquant enfoncé dans les derniers espaces intercostaux n'atteint le poumon que sur le thorax en inspiration.

B. CIRCULATION PULMONAIRE. — Certains physiologistes, ayant remarqué que le poumon pâlit lorsqu'on l'insufflé et rougit au contraire lorsqu'on le laisse revenir sur lui-même, en avaient conclu que la circulation est ralentie dans cet organe pendant l'inspiration et favorisée pendant l'expiration. Mais les conditions de la respiration artificielle (insufflation de l'air par la trachée) sont tout à fait différentes de celles de la respiration normale. La distension des poumons par insufflation, le thorax étant ouvert, exige en effet que l'air soit introduit sous une pression assez forte pour vaincre la résistance élastique du parenchyme pulmonaire. Cette pression est suffisante pour gêner la circulation capillaire, et on comprend alors qu'un poumon ainsi gonflé pâlisce. Mais il n'en est point de même à l'état normal ; en observant la couleur du poumon, sans ouvrir le thorax, par transparence à travers la plèvre, on voit au contraire que c'est pendant l'inspiration que le poumon rougit et contient plus de sang. Il est facile de se rendre compte qu'il doit en être ainsi, en réfléchissant que la dilatation du thorax exerce, en vertu du vide pleural, une aspiration sur le sang tout comme sur l'air ; la même force qui aspire l'air dans les alvéoles pulmonaires, attire donc aussi le sang dans les capillaires du poumon ; l'air et le sang se précipitent ainsi au-devant l'un de l'autre pour combler le vide.

Ces faits peuvent être démontrés expérimentalement par le dispositif suivant (fig. 88). Les poumons et le cœur enlevés de la poitrine d'un animal sont placés à l'intérieur d'une cloche de verre ; au moyen de tubes traversant le bouchon du goulot, on met en rapport la veine cave supérieure avec un réservoir contenant du sang défibriné (1), l'aorte avec une éprouvette graduée où le sang se déversera. (2), la trachée avec l'air extérieur (3),

enfin la cavité même de la cloche avec l'atmosphère (4). Cela fait, on lute la base de la cloche sur une plaque de verre dépolie. Si alors on fait passer le sang à travers les poumons affaissés, les tubes 3 et 4 étant ouverts, on obtient un certain débit ; si l'on pratique l'insufflation pulmonaire en soufflant par le tube 3, le débit diminue ; mais si laissant le poumon revenir sur lui-même, on provoque sa dilatation en faisant le vide dans la cloche par le tube 4 (conditions de la respiration naturelle), le débit augmente.

C. MOUVEMENT DE L'AIR DANS LE POUMON. — Ce mouvement est en dernière analyse, tout comme le mouvement du sang dans les vaisseaux, le résultat de l'inégalité des pressions. Recherchons les conditions qui se rapportent à l'établissement d'un courant d'air intra-pulmonaire, puis la quantité

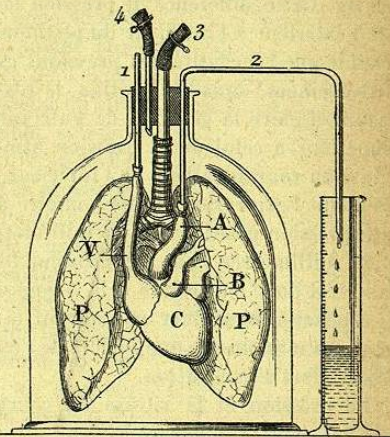


Fig. 88.

Dispositif expérimental pour démontrer que les poumons sont traversés par une plus grande quantité de sang dans l'inspiration.

C, veine. — P, poumons. — V, veine cave supérieure. — A, aorte. — B, artère pulmonaire.

d'air qui est mise en mouvement dans l'inspiration et l'expiration ; enfin la cause du bruit ou murmure vésiculaire, qui prend naissance dans le poumon pendant le passage de l'air.

a. *Pression et vitesse de l'air dans le poumon.* — L'entrée et la sortie de l'air proviennent de la différence qui existe entre la pression atmosphérique et la pression de l'air intrapulmonaire ; pendant toute la durée de l'inspiration, la pression intrapulmonaire, en raison du mouvement de dilatation du thorax, est inférieure à la pression atmosphérique, et la différence est

d'autant plus grande que l'inspiration est plus énergique : ainsi, un manomètre en communication avec la trachée indique une dépression ou *pression négative* qui, en vérité, ne dépasse pas — 1 millimètre de Hg. dans une inspiration calme, mais qui dans une inspiration profonde peut s'élever à — 57 millimètres de Hg. Cette différence de pression fait naître un courant d'air de l'extérieur à l'intérieur du poumon d'autant plus fort et plus rapide que l'inégalité des pressions est elle-même plus grande. Inversement, dans l'expiration, le resserrement du thorax et du poumon élève la pression de l'air intrapulmonaire à un chiffre supérieur à celui de la pression atmosphérique, et fait naître ainsi un courant allant de l'intérieur du poumon à l'extérieur. Pendant l'expiration, le manomètre adapté à la trachée accuse une pression positive de 2 à 5 millimètres de Hg. qui peut monter à 87 millimètres dans l'expiration forcée. La pression expiratoire est donc supérieure à la dépression inspiratoire ; du reste il est facile de vérifier en aspirant et soufflant avec la bouche dans un manomètre que l'effort de l'expiration est plus puissant que l'effort d'inspiration.

La pression et la vitesse du courant d'air ne sont pas les mêmes dans tout l'arbre aérien ; elles diminuent de la trachée aux petites bronches, de même qu'elles diminuent pour le sang de l'aorte aux capillaires. A ce point de vue, la division des bronches dans le parenchyme pulmonaire entraîne les mêmes résultats physiques que la division successive des vaisseaux ; et on peut représenter schématiquement cette division des bronches par un cône dont le sommet serait à la trachée et la base aux alvéoles pulmonaires : cône pulmonaire absolument semblable au cône vasculaire dont il a déjà été question, et qui donne lieu pour le mouvement des gaz aux mêmes considérations que celles que nous avons exposées pour le mouvement du sang.

b. *Quantité de l'air inspiré et expiré.* — La mesure de cette quantité ou *spirométrie* peut se faire à l'aide d'une simple cloche graduée renversée sur la cuve à eau et maintenue en équilibre par un contrepois ; on y conduit l'air par un tube portant à une de ses extrémités un embout qui peut s'appliquer sur la bouche

(fig. 89). Cet appareil, qui n'est pas autre chose qu'un gazomètre, constitue le *spiromètre* de HUTCHINSON. Si, après avoir fait une inspiration maxima, on expire dans la cloche tout l'air qu'il est possible d'expulser du poumon, on mesure ce que HUTCHINSON a

dénommé la *capacité vitale* ; cette capacité vitale exprime donc le volume d'air mis en mouvement par le jeu de l'inspiration et de l'expiration forcées. On comprend qu'elle soit éminemment variable suivant les dimensions du thorax et la taille de l'individu ; elle s'élève en moyenne à 3 litres et demi chez l'adulte sain bien constitué. Mais cette quantité ne représente qu'une partie de la *capacité totale* du poumon ; car, après l'expiration la plus forcée, il reste encore dans le poumon un certain volume d'air qui ne peut en être expulsé par le jeu normal du thorax, de même que dans un corps de pompe il existe ce qu'on appelle l'espace nuisible d'où le piston ne parvient pas à chasser l'air. Cet air ne peut sortir du poumon que lorsqu'on ouvre la cage thoracique, de manière à permettre au poumon de revenir complètement sur lui-même ; encore reste-t-il, même dans ce cas, une certaine quantité d'air qu'on ne saurait chasser qu'en pétrissant et malaxant entre les doigts le parenchyme pulmonaire de façon à en faire un tissu compact analogue au poumon du fœtus qui n'a pas encore respiré. On appelle *résidu pulmonaire* ou *air résiduel* cette quantité d'air qui reste dans le poumon et ne peut en être expulsée, même par les plus grands efforts expiratoires. La capacité totale du pou-

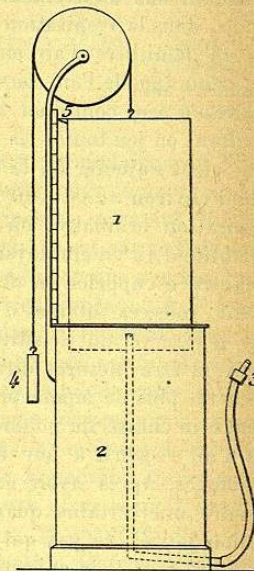


Fig. 89.
Spiromètre.

1, cloche à gaz. — 2, réservoir rempli d'eau. — 3, tube d'adduction du gaz. — 4, contrepois. — 5, index se mouvant le long d'une règle graduée.

mon comprend donc la capacité vitale de HUTCHINSON plus l'air résiduel.

Dans la respiration ordinaire, la capacité vitale n'est pas complètement utilisée; en d'autres termes, nous ne respirons pas en donnant aux mouvements thoraciques leur plus grande amplitude; dans la respiration calme nous n'inspirons et n'expirons qu'un demi-litre d'air en moyenne; cette quantité représente ce qu'on appelle l'*air courant*. Mais après une inspiration ordinaire on peut continuer à introduire l'air dans le poumon en mettant en jeu toutes les forces inspiratoires; la quantité d'air qui vient s'ajouter de la sorte à l'air courant est de 1 litre et demi environ: c'est l'*air complémentaire*. De même, après une expiration ordinaire, on peut expulser encore une certaine quantité d'air en employant toutes les forces expiratoires; cette quantité est appelée *air de réserve*; elle s'élève aussi à un litre et demi. Tous ces volumes d'air, air courant, air complémentaire, air de réserve, qui constituent la capacité vitale de HUTCHINSON peuvent être mesurés directement avec le spiromètre. Mais il n'en est plus de même pour l'air résiduel, puisque cet air ne peut être chassé du poumon, et, pour en connaître la quantité, on a dû recourir à une méthode indirecte, à la méthode des mélanges. Après avoir exécuté une expiration à l'air libre, on respire une certaine quantité d'hydrogène contenu dans un ballon jaugé; ce gaz qui n'est pas absorbé par le poumon se mélange avec l'air enfermé dans les alvéoles pulmonaires, et, après quelques mouvements respiratoires, le mélange d'hydrogène et d'air est homogène dans le ballon et dans le poumon. Il suffit alors de faire l'analyse du mélange pour savoir quelle est la quantité d'air qu'il renferme dans l'unité de volume; si l'on a mesuré la quantité d'hydrogène employée, il devient facile par un simple calcul de proportion de connaître la quantité d'air qui restait dans le poumon après l'expiration à l'air libre. Cette méthode très rigoureuse imaginée par GRÉHANT donne pour le volume de l'air résiduel la valeur d'un litre environ. GRÉHANT appelle *capacité pulmonaire* la quantité d'air qui reste dans le poumon après une expiration ordinaire non forcée (air de réserve plus air résiduel); cette dénomination nous paraît

superflue, et en tout cas mieux s'appliquer à la capacité totale du poumon. Voici donc maintenant de quoi se compose la capacité totale du poumon:

Capacité	}	Capacité	}	Air complément.	11,500	}	Capacité pulmonaire de Gréhant. 21,500
totale		vitale		Air courant	0,500		
du poumon.	de	Air de réserve	11,500				
41,500	Hutchinson.	31,500	Air résiduel 1 litre.				

La méthode du mélange de l'air intra-pulmonaire avec l'hydrogène a permis d'étudier la *ventilation* du poumon, c'est-à-dire la façon dont se renouvelle l'air dans sa cavité. Il faut bien remarquer que l'air intrapulmonaire n'est pas de l'air pur, mais qu'il contient, tant pendant l'inspiration que pendant l'expiration, une notable quantité de CO² (en moyenne 8 p. 100). La quantité d'air pur qui pénètre dans le poumon pendant l'inspiration n'est pas utilisée tout entière, une partie est perdue et rejetée par l'expiration suivante, l'autre partie reste dans le poumon et se mélange à la masse gazeuse intrapulmonaire par diffusion. GRÉHANT a nommé *coefficient de ventilation* le rapport de la quantité d'air pur qui reste dans le poumon après l'expiration, à la masse gazeuse qui s'y trouve alors et qu'il appelle capacité pulmonaire. Pour déterminer la quantité d'air pur demeurée dans le poumon après l'expiration, GRÉHANT remplaça l'air par l'hydrogène. Il inspira 500 centimètres cubes d'hydrogène, c'est-à-dire une quantité égale à celle de l'air courant, et expira le même volume. Ce dernier était composé d'un mélange d'hydrogène et d'air venant du poumon; l'analyse démontra qu'il renfermait 170 centimètres cubes d'hydrogène. La différence représentait l'hydrogène resté dans le poumon. L'air se comportant comme l'hydrogène, il en résulte qu'après chaque mouvement respiratoire sur les 500 centimètres cubes de l'air courant, 170 centimètres cubes sont rejetés et 330 centimètres cubes restent dans le poumon et se mélangent par diffusion avec la masse gazeuse intrapulmonaire. En divisant donc 330 centimètres cubes par le volume de la capacité pulmonaire, on

aura le coefficient de ventilation : $\frac{230}{2500} = 0,43$. Ce coefficient varie naturellement avec la capacité pulmonaire et le volume de l'air inspiré. A ce dernier point de vue, GRÉHANT a remarqué qu'une forte inspiration produit une ventilation plus efficace que deux inspirations plus petites apportant cependant le même volume d'air.

c. *Murmure vésiculaire*. — En appliquant l'oreille contre les parois thoraciques on perçoit, pendant toute la durée de l'inspiration et au début de l'expiration, un souffle doux, moelleux, appelé *bruit* ou *murmure vésiculaire*. Au niveau de la trachée et de la bifurcation des grosses bronches, ce bruit est plus fort et plus rude (*souffle bronchique*). Le murmure vésiculaire ne provient pas seulement de la propagation des bruits laryngiens et trachéaux à la masse gazeuse des poumons; mais il doit être attribué au frottement de l'air contre les parois des petites bronches et au déplissement des alvéoles. CHAUVÉAU et BONDET ont observé qu'après la section transversale de la trachée faite de manière à permettre la libre entrée et sortie de l'air, le bruit bronchique disparaît, tandis que le murmure vésiculaire persiste; et que, par contre, la section des pneumogastriques (qui paralyse les petits muscles des bronches et dilate leurs anneaux) abolit le murmure vésiculaire et laisse intact le bruit trachéal.

2° **Effets produits par les mouvements respiratoires sur les organes autres que le poumon.** — Les mouvements d'inspiration et d'expiration font sentir leurs effets sur tous les organes contenus dans le thorax et l'abdomen. Nous avons déjà fait remarquer qu'ils exercent leur influence sur la circulation intracardiaque et sur la circulation des veines voisines du cœur et du thorax. L'effet de l'aspiration thoracique est non seulement d'attirer l'air dans le poumon, mais aussi le sang dans les cavités cardiaques. Si après avoir fait une expiration forcée, on dilate le thorax en maintenant la bouche et le nez fermés (*expérience* de MÜLLER), l'air ne pouvant entrer dans le poumon, le vide intrathoracique est comblé seulement par l'afflux du sang dans le cœur et les gros vaisseaux qui se dis-

tendent; la circulation veineuse est ainsi favorisée, mais la circulation artérielle est au contraire gênée, et la pression sanguine baisse dans les artères périphériques. Inversement, si après une profonde inspiration, on fait une forte expiration en fermant la glotte comme dans l'effort, ou en se bouchant les narines (*expérience* de VALSALVA), la masse gazeuse comprimée dans le poumon transmet cette compression au cœur et aux vaisseaux intrathoraciques; ceux-ci se vident alors plus ou moins du sang qu'ils contiennent, une stase veineuse se produit, et la pression sanguine augmente dans les vaisseaux périphériques. Si la compression du thorax est très forte et se prolonge, le cœur peut même s'arrêter et le pouls disparaître, d'où syncope.

Les mouvements respiratoires font sentir aussi leur influence sur les organes abdominaux. Pendant l'inspiration calme, le diaphragme en diminuant sa voussure abaisse le foie et comprime la masse intestinale, d'où projection en avant de la paroi antérieure de l'abdomen. L'augmentation de pression intra-abdominale favorise la circulation dans les branches de la veine porte et dans la veine cave. Lorsque le diaphragme remonte dans l'expiration calme, le foie suit ce mouvement d'ascension, et les autres viscères subissent une décompression. Dans l'expiration forcée, dans l'effort, les viscères abdominaux sont par contre fortement comprimés par la contraction énergique des muscles expirateurs qui entrent dans la composition des parois du ventre.

ARTICLE II

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION

Les phénomènes chimiques de la respiration envisagés dans leurs rapports avec la fonction pulmonaire, consistent dans l'absorption de l'oxygène de l'air et l'exhalation d'acide carbonique et de vapeur d'eau. C'est LAVOISIER qui établit le premier la vraie théorie de la respiration; il découvrit le rôle de l'oxygène et montra que la respiration est une combustion qui résulte prin-