

l'intervention de la pression atmosphérique. Dans la poitrine, on n'observe plus, sur le trajet de l'air, que des effets de l'ampliation du poumon, ampliation que nous avons déjà étudiée.

SECTION II.

De l'expiration.

L'air qui a pénétré dans les poumons ne peut y rester longtemps, parce que son séjour prolongé exigerait, ou une contraction perpétuelle des muscles inspirateurs, ou un resserrement dans les parties supérieures des voies aériennes : deux choses qui ne peuvent pas durer longtemps. C'est le but de l'expiration de chasser cet air hors de la poitrine.

Comme pour l'inspiration, nous avons à examiner trois ordres de phénomènes : 1° le resserrement de la poitrine ; 2° le resserrement du poumon ; 3° le resserrement du conduit aérien.

§ I. — Du resserrement de la poitrine.

Tandis que dans l'inspiration il y a toujours un effet plus ou moins grand qui exige la contraction de plusieurs muscles, dans l'expiration la seule élasticité des parties pourrait suffire à la rigueur. Mais il peut se faire aussi que des contractions musculaires viennent s'y joindre.

Dans l'expiration, les leviers et les parois thoraciques se comportent en sens inverse de ce qui arrive dans l'inspiration ; il y a là seulement un effet de l'élasticité de ces parties. De sorte que nous n'avons pas besoin de décrire les phénomènes qui ont lieu dans les côtes, le sternum, les cartilages et les espaces intercostaux. Nous ne décrirons que ce qu'il y a de spécial dans cette partie de la respiration.

Des puissances qui opèrent le resserrement de la poitrine.

Ces parties agissent par leur élasticité et par des contractions musculaires. Lorsque la contraction du diaphragme cesse, la paroi abdominale, qui a été poussée en avant et en bas, réagit par l'élasticité de toutes ses parties constituantes.

Les mouvements des côtes n'ont point lieu sans qu'il s'établisse un effort de torsion dans les ligaments de leurs articulations ; ces

ligaments deviennent agents d'expiration en se détordant. Il en est de même des cartilages qui ont été légèrement tordus et qui ont éprouvé un changement de direction en vertu duquel l'angle qu'ils forment avec les côtes s'est sensiblement ouvert. Les côtes elles-mêmes jouissent d'une grande flexibilité qui est utilisée lorsque dans l'inspiration elles éprouvent les mutations que nous avons décrites précédemment. Leur élasticité contribue à remettre les choses en place, quand l'effort d'inspiration a cessé. La flexibilité des côtes est peu marquée dans leur partie postérieure, mais elle est très grande à partir de l'angle de la côte jusqu'à son extrémité sternale.

Le péricarde, qui, malgré sa résistance, a été un peu abaissé avec le centre phrénique, remonte le centre à son tour.

L'élasticité des parois thoraciques, qui concourt d'une manière régulière à l'expiration, peut, dans certaines circonstances données, opérer une sorte d'inspiration. Voici comment il faut comprendre ce dernier phénomène. Si une compression accidentelle vient à imprimer à la poitrine un resserrement qui dépasse celui d'une expiration, il sortira une plus grande quantité d'air ; mais, dès que la compression cessera, le thorax, revenant par son élasticité à ses dimensions ordinaires, aura à aspirer de l'air sans le concours d'aucune contraction musculaire. C'est sur la connaissance de cette propriété qu'en Angleterre MM. Hutchinson et Sibson ont fait construire un appareil pour les noyés. Cet appareil consiste dans un bandage à plusieurs chefs qui entoure la poitrine et la serre par toute sa circonférence. Dès que l'on cesse la constriction, la poitrine se dilate, aspire de l'air, et l'on peut ainsi rétablir artificiellement la respiration.

Parmi les agents de l'expiration, M. Maissiat invoque les gaz du tube digestif. D'après ce physiologiste, tous les gaz de la cavité abdominale peuvent être assimilés à une grosse bulle élastique qui se laissera comprimer par le diaphragme, et réagira ensuite contre ce muscle. Il pense que chez les animaux de grande taille qui ont les parois de l'abdomen très résistantes, le diaphragme peut descendre sans qu'il y ait déplacement de ces parois, la réduction de volume du gaz comprimé ayant suffi pour l'excursion du muscle.

Les intercostaux internes sont expirateurs, par cela seul que leurs fibres s'allongent pendant l'inspiration. MM. Beau et Maissiat pensent que les intercostaux externes sont expirateurs dans la toux, le cri, etc.

Le triangulaire du sternum est évidemment expirateur. D'après Haller, il tire les cartilages sur lesquels il s'insère, en bas et un peu en arrière. MM. Beau et Maissiat, qui ont vu ce muscle très dévo-

loppé sur le chien, pensent qu'il est en rapport avec l'expiration complexe de l'aboiement.

Les muscles de l'abdomen abaissent les côtes, les tirent en dedans et repoussent vers le diaphragme les viscères abdominaux que ce muscle avait déprimés et portés en avant. Dans le cri, la toux, l'effort, ces muscles se durcissent. MM. Beau et Maissiat repoussent comme expirateurs les muscles droits du bas-ventre.

Le grand dentelé concourt peu à l'expiration, et encore faut-il que l'épaule soit fixée.

Au moyen de l'appareil électrique de M. Duchenne de Boulogne, on peut voir que la contraction du petit dentelé postérieur et inférieur déprime les côtes; il est donc expirateur. M. Sibson a vu chez l'âne tous les faisceaux porter les côtes en arrière et en bas; les faisceaux, qui tirent plus en arrière qu'en bas, seraient, d'après lui, expirateurs.

Le grand dorsal n'est pas favorablement disposé pour être expirateur. Cependant MM. Beau et Maissiat et Sibson ont observé que, si l'on empoigne le bord postérieur de l'aisselle pendant une expiration violente, on sent le muscle se durcir. Mais n'oublions pas ici une réflexion très judicieuse qui était faite souvent par M. le professeur Denonvilliers dans ses cours d'anatomie. Il ne faut pas conclure qu'un muscle est expirateur, parce qu'il est contracté pendant l'expiration: ainsi, le grand dorsal se contracte pendant l'expiration, c'est un fait certain; mais cette contraction n'est faite que pour modérer la trop grande rapidité avec laquelle se produirait l'expiration, si ce muscle venait à se relâcher d'une manière subite. Et c'est parce que les auteurs qui ont écrit sur les agents de la respiration n'ont pas tenu compte de cette remarque, qu'ils ont quelquefois tiré de fausses conclusions.

Le grand pectoral ne peut évidemment concourir à l'expiration que par ses fibres claviculaires, et encore ce ne sera que d'une manière exceptionnelle.

MM. Beau et Maissiat ont vu se contracter la partie inférieure du trapèze dans les expirations forcées: dans la toux, par exemple.

Le sacro-lombaire, le long dorsal, peuvent abaisser les côtes sur lesquelles ils viennent s'insérer; mais s'il faut en croire MM. Beau et Maissiat, ces muscles ne se contractent que pendant les mouvements de redressement de la colonne vertébrale.

§ II. — Du resserrement du poumon.

La différence qu'il y a entre la dilatation et le resserrement du

poumon est grande. Dans le premier cas, le poumon est passif; dans le second, il est actif. Le poumon concourt à ce resserrement par deux de ses propriétés: 1° par son *élasticité*; 2° par sa *contractilité*.

Voyons d'abord comment agit l'*élasticité pulmonaire*. En vertu de cette propriété, le poumon a toujours de la tendance à revenir sur lui-même. Il faut donc qu'il y ait une puissance qui le maintienne dans un état permanent de dilatation et violente son élasticité. Cette puissance, c'est la pression atmosphérique. En effet, le poumon est plein d'air, et cet air est en libre communication avec l'air extérieur, au moyen de la trachée. C'est donc la pression atmosphérique qui agit à la face interne du poumon. Si ce poumon obéissait librement à son élasticité, il expulserait une grande partie de l'air qu'il contient, et pour cela il faudrait qu'il s'éloignât de la paroi thoracique, ce qui ne pourrait avoir lieu sans qu'un vide se produisît immédiatement dans la cavité pleurale, mais la pression atmosphérique empêche cette formation de vide virtuel. Mais si la paroi thoracique suit le poumon dans son retrait, alors l'air sera expulsé par cette force élastique qui pourra entrer en jeu. Cette élasticité est due surtout aux fibres de tissu élastique qui occupent les dernières ramifications bronchiques. « Ces fibres sont rarement isolées dans le poumon: elles sont disposées par faisceaux généralement assez serrés, formés de fibres un peu plus minces et à bords moins réguliers que celles des ligaments jaunes des vertèbres. Elles sont ramifiées et anastomosées; mais, bien que très rapprochées, les anastomoses sont moins fréquentes que dans les fibres des ligaments ci-dessus. Ces faisceaux ne sont jamais longitudinaux, comme on le dit souvent à tort, et rarement immédiatement sous-muqueux. Ils sont une des parties constituantes essentielles et fondamentales du parenchyme même du poumon, quant à la masse et quant à la structure. Ils sont disposés circulairement autour des dernières ramifications bronchiques, étagés les uns au-dessus des autres dans le sens de la longueur de ces ramifications et peu écartés. Ces faisceaux varient de 4 à 5 centièmes de millimètre d'épaisseur. Ils s'envoient des branches de l'un à l'autre, ce qui, avec leur disposition annulaire ou polygonale à angles arrondis, donne à leur ensemble un aspect des plus élégants, lorsqu'on les examine sous le microscope. Le tissu cellulaire sous-pleural, bien que renfermant des fibres élastiques de la variété *dartoïque* (fibres de noyaux), est beaucoup moins riche en tissu élastique que le parenchyme du poumon lui-même et ne mérite pas le nom de *capsule élastique* qu'on lui a donné. Le poumon porte dans toute l'épaisseur de son tissu même l'élément anatomique qui lui donne

son élasticité, son resserrement purement physique après distension, physique également quant à l'organe pulmonaire lui-même. » (Ch. Robin.)

Ce n'est pas seulement par son tissu élastique que le poumon concourt à expulser l'air, il existe encore des fibres musculaires de la vie organique que nous avons vues dans la trachée-artère et que nous retrouvons ici remplissant le même rôle. Ces fibres sont transversales, elles occupent en arrière l'intervalle des cerceaux cartilagineux et s'attachent à leurs extrémités qu'elles peuvent ainsi rapprocher au moyen de leur contraction. L'air, se trouvant ainsi logé dans des conduits plus étroits, s'échappe du côté où il trouve le moins de résistance, et ce côté c'est la trachée.

§ III. — Du resserrement du conduit aérien.

Pour compléter l'étude des phénomènes de l'expiration, il ne nous reste plus qu'à voir ce qui se passe dans le conduit aérien. Nous allons commencer des parties profondes vers les parties superficielles.

La *trachée-artère*, qui s'était abaissée et élargie, va remonter et se rétrécir. Cette ascension a lieu un peu par un mouvement en masse de tout l'appareil pulmonaire qui tend à être expulsé de la cavité pectorale; mais il a lieu aussi au moyen des fibres longitudinales de nature élastique qui reviennent à leur état primitif. De plus, le resserrement de conduit a lieu au moyen de fibres musculaires transverses que Reisseisen a bien décrites. Il est difficile de savoir si la contraction des bronches et de la trachée intervient, comme leur élasticité, dans chaque expiration, ou si elle ne se prononce que dans certaines expirations forcées ou complexes, pour la toux, par exemple, pour l'expectoration, etc.

Le *larynx* change-t-il de configuration? Oui. Mais cette fois, si la glotte est dilatée, ce n'est pas par une contraction du muscle crico-aryténoïdien postérieur, c'est par un effet tout physique. En effet, l'air des bronches rencontre en remontant une espèce d'entonnoir au fond duquel il y a une soupape; alors la pression exercée par l'air suffit pour soulever les cordes vocales, et il les écarte nécessairement. C'est ce qui explique pourquoi les animaux auxquels on a coupé le larynx inférieur ne peuvent plus inspirer; mais si, par un moyen ou un autre, il s'est introduit un peu d'air dans leurs bronches, cet air sera chassé avec la plus grande facilité.

Le *pharynx*, les *fosses nasales*, la *cavité buccale*, ne sont pas beaucoup modifiés ordinairement par le retour de l'air; mais quand

cet air est parlé, il se passe alors des phénomènes d'une haute importance et dont nous ferons une étude complète à propos de la phonation. Mais y a-t-il, dans cet air qui descend et dans cet air qui remonte, y a-t-il, dis-je, des courants spéciaux dont les uns seraient formés par l'air qui a été respiré, et les autres par l'air que l'inspiration conduit dans le parenchyme pulmonaire? On a supposé ainsi une espèce de cercle appelé *circulus Cartesii*, mais ce sont là des hypothèses que la physique et l'anatomie rejettent.

Considérations générales sur l'inspiration et l'expiration.

Les deux mouvements dont nous venons d'exposer le mécanisme constituent, par leur succession, une *respiration complète*.

Ils n'absorbent pas un temps égal pour chacun d'eux; ainsi l'inspiration dure moins que l'expiration. Le rapport de cette durée est comme 3 : 2.

Nombre de mouvements respiratoires. — Il paraît que ce nombre varie beaucoup d'un homme à un autre. Hales le croit de 20 dans une minute. D'après Menzies, ce serait 14. Davy respirait 26 à 27 fois dans cet espace de temps; Thomson, 19; Magendie, 15. La plupart des adultes font 16 inspirations par minute à l'état normal et de repos. L'exercice, les efforts, augmentent normalement ce nombre jusqu'à 18, 20 ou 25 et même plus, selon leur énergie et selon les individus. Ces nombres varient beaucoup, suivant une foule de circonstances, telles que l'état de sommeil, le mouvement, la distension de l'estomac par les aliments, la température extérieure, la capacité de la poitrine, les affections morales, etc.

Chez le nouveau-né, la respiration n'a pas autant de régularité que chez l'adulte. Vers deux ans elle commence à prendre les caractères qu'elle conservera toujours à l'état normal, sauf encore un peu plus de fréquence. Lorsque l'enfant est endormi ou tranquille, la respiration peut être de 30, 25 ou 20 fois seulement par minute. Dans la colère ou la douleur, le nombre des inspirations s'élève facilement à 30 et 35 fois.

Les gros oiseaux respirent 20 à 30 fois dans une minute; le bœuf et le cheval, de 8 à 12; le chien et le chat, de 22 à 25.

Variétés de la respiration — Ces variétés doivent être étudiées avec soin, et ce n'est pas sans raison qu'Hippocrate attachait tant d'importance à la manière dont la respiration s'exécute. La respiration est *fréquente* ou *rare*, quand le nombre des mouvements augmente ou diminue dans un temps donné. Si l'inspiration est lente et l'expiration rapide, on dit que la respiration est *prompte*, *vite*; si ces deux mouvements prennent un rapport inverse, on la dit *lente*,

tardive. Suivant que le développement du thorax est plus ou moins considérable, elle est *grande* ou *petite*. Quand les muscles qui dilatent ou resserrent la poitrine emploient beaucoup d'énergie, ou peu, elle est *forte* ou *faible*. Il existe d'autres variétés qui sont plutôt du ressort de la pathologie que de la physiologie.

Influence de la volonté sur la respiration. — Tous les mouvements respiratoires s'exécutent sans le secours de la volonté, et cependant ils ne sont pas complètement soustraits à son influence. Ils ont lieu pendant le sommeil, sans que nous le sachions, et en observant un rythme constant : tantôt ce sont de simples inspirations périodiques, dans les intervalles desquelles les parties se resserrent en vertu de leur élasticité ; tantôt aussi ce sont des mouvements alternatifs d'inspiration et d'expiration. Les mouvements respiratoires sont soumis à la volonté, en ce sens que nous sommes libres, mais dans certaines limites seulement, de raccourcir, d'allonger, de retarder, d'avancer l'inspiration et l'expiration, et que nous pouvons borner nos mouvements respiratoires à tel ou tel groupe de muscles : par exemple, inspirer tantôt avec les parois de la poitrine, tantôt avec le diaphragme, ou avec tous les deux à la fois ; ou bien encore, comme quelques personnes, par un seul côté de la poitrine, ce qui est plus extraordinaire.

Des phénomènes, dépendants de divers états nerveux, qui peuvent se passer dans une respiration.

Parmi ces phénomènes se rangent le *soupir*, le *bâillement*, l'*étournement*, la *toux*, l'*anhélation*, le *rire*, le *sanglot*, et le *hoquet*. Ces divers phénomènes peuvent se rapporter plus particulièrement à l'inspiration ou à l'expiration, ou bien en même temps à ces deux mouvements.

Le *soupir* et le *bâillement* se rapportent plus spécialement à l'inspiration. Le premier de ces deux phénomènes n'est autre chose qu'une inspiration longtemps continuée, à laquelle succède une expiration assez prompte. Le second n'en diffère que parce qu'il est précédé de l'écartement des deux mâchoires et de l'abaissement de la langue, du larynx et de l'os hyoïde. L'un et l'autre ont donc entre eux la plus grande analogie sous ce rapport ; mais ce n'est pas le tout, ils en ont encore sous le rapport des causes qui les mettent en jeu puisque l'un et l'autre reconnaissent à peu près les mêmes, savoir : toutes celles qui ralentissent, gênent ou suspendent la respiration ; ou bien encore celles qui en changent le type. La seule différence qu'il y ait, c'est que l'un ou l'autre est plus fréquemment déterminé par telle ou telle autre cause. Ainsi le soupir

est-il plus fréquemment occasionné par celles qui ralentissent, gênent ou suspendent la respiration : telles sont les passions tristes, les méditations opiniâtres, les rêveries amoureuses, etc. ; tandis que le bâillement l'est plus souvent par celles qui changent le type de la respiration et de la circulation : tels sont le sommeil, le réveil, l'ennui, l'étude pour celui qui n'y est pas habitué, etc. Quant au but de l'un et de l'autre phénomène, il est le même, celui de porter dans les poumons une proportion d'air atmosphérique plus grande que celle qui y est portée dans les inspirations ordinaires ; ils sont en cela un moyen dont la nature se sert pour remédier aux effets physiologiques qui sont le résultat du ralentissement ou de la suspension momentanée de la respiration.

L'*étournement* et la *toux* se rapportent plus particulièrement à l'expiration. Le premier de ces deux phénomènes consiste en une expiration grande et subite, à la faveur de laquelle l'air est chassé avec rapidité par les fosses nasales, en produisant un bruit remarquable. La toux lui ressemble en ce point, mais elle en diffère en ce que l'air chassé avec force, au lieu d'aller heurter les parois des fosses nasales, s'échappe par la bouche qui est constamment ouverte, et en ce que le bruit qui l'accompagne est le résultat du passage de l'air par la glotte, préliminairement rétrécie pour donner plus de rapidité à ce fluide. Si, sous le rapport du mécanisme de ces phénomènes, il y a tant de ressemblance, il n'y en a pas moins sous le rapport des causes qui les sollicitent et de l'usage auquel ils paraissent destinés : l'un et l'autre sont, en effet, déterminés par toutes les causes capables de faire naître une sensation pénible sur la membrane qui tapisse les fosses nasales, ou sur celle qui revêt la trachée-artère et les bronches, soit directement, soit sympathiquement. L'un et l'autre ont aussi la même destination, celle de faire cesser cette sensation incommode, en débarrassant les muqueuses pulmonaire et nasale des corps étrangers qui peuvent être mis en contact avec elles, ou bien en convertissant cette sensation en une autre plus supportable ; l'un et l'autre ont encore pour usage de solliciter l'action des différents organes en produisant sur eux une secousse plus ou moins remarquable. Les enfants ne toussent pas avant le deuxième ou le troisième mois.

L'*anhélation*, le *rire*, le *sanglot* et le *hoquet*, se rapportent en même temps aux deux mouvements de la respiration. Le premier de ces phénomènes consiste en une suite d'inspirations et d'expirations courtes et rapides. Il a lieu toutes les fois que la circulation est accélérée, comme à la suite d'une course rapide, d'un accès de fièvre, etc., et toutes les fois que l'air contient peu de

principes respirables ou que la respiration a été suspendue pendant quelque temps. Faire pénétrer dans la poitrine une quantité d'air plus considérable qu'il n'y en a habituellement, tel est le but spécial de ce phénomène.

Le *rire*, le *sanglot* et le *hoquet*, ont beaucoup d'analogie avec l'anhélation; ils ne lui ressemblent cependant pas sous le rapport de leur nature, de leurs causes et de leur destination. Ils sont indépendants de la volonté, plus familiers aux personnes sensibles et irritables, telles que les femmes et les enfants, et ne paraissent tenir qu'à un état convulsif propre au diaphragme.

Le *rire* consiste en une succession rapide d'inspirations et d'expirations courtes; il est le plus souvent occasionné par des idées gaies, bizarres ou ridicules, par le chatouillement, etc.; tout autant de causes qui mettent préliminairement en jeu l'action cérébrale.

Le *sanglot* ressemblerait au *rire*, si les mouvements qui le constituent étaient moins sensibles, et s'ils se succédaient avec plus de rapidité. Il est ordinairement déterminé par le chagrin, la tristesse, etc.; causes qui agissent aussi préalablement sur le cerveau.

Quant au *hoquet*, semblable au *sanglot*, en tant qu'il est, comme lui, le résultat d'une contraction brusque et subite du diaphragme suivie du relâchement de ce muscle, il en diffère par le bruit particulier qui l'accompagne; bruit qui dépend du passage à travers la glotte, qui se rétrécit auparavant, de l'air porté avec rapidité dans les poumons. Il en diffère encore en ce que les contractions du diaphragme sont ici plus rares, moins précipitées. Il peut succéder au *sanglot* et reconnaître les mêmes causes; mais le plus souvent il se manifeste seul et dépend d'un état particulier de l'estomac. On ne pourrait assigner aucun but déterminé à ces trois phénomènes.

Il est encore d'autres phénomènes qui sont sous la dépendance de la fonction de respiration, auxquels elle vient en aide, ou qui la modifient: tels sont la succion, l'expectoration, la défécation, l'effort en général, et les différentes modifications de la voix; mais nous avons traité des premiers; pour l'effort et la voix, il en sera question plus loin. Les mouvements respiratoires jouent aussi un très grand rôle dans le vomissement, la miction difficile, dans l'accouchement, etc.

Des bruits respiratoires.

L'air qui se meut dans la poitrine y produit des bruits dont la

connaissance est aussi utile au physiologiste qu'au médecin. C'est Laënnec qui a la gloire d'avoir découvert les modifications morbides de ces bruits que l'on entend en appliquant l'oreille contre la poitrine. Aujourd'hui l'auscultation est devenue un des moyens les plus précieux de diagnostic. Nous n'avons à parler ici que des bruits normaux; pour les autres, nous devons renvoyer aux traités spéciaux.

Auscultation du poumon. — Au moment de l'inspiration, on perçoit un souffle léger, pur, successif dans sa durée, qui laisse à l'oreille une sensation de doux, de moelleux, d'expansion libre et facile. L'expiration est accompagnée d'un souffle propre, léger, pur, mais moins successif que celui de l'inspiration, lui ressemblant par les autres caractères. Mais ces deux bruits diffèrent notablement par leur durée et par leur intensité.

Le bruit de l'inspiration est beaucoup plus prolongé que celui de l'expiration. La différence entre les deux est, suivant Fournet, comme 10 : 2; suivant MM. Barth et Roger, l'inspiration est à l'expiration pour la durée comme 3 : 4.

On dit généralement de la respiration des enfants qu'elle est puérile, c'est-à-dire que l'inspiration est sonore et bruyante. Cela est exact pour les enfants de deux ans, mais chez les enfants à la mamelle, il n'en est point ainsi. Leur respiration s'accompagne d'un bruit plus intense qui n'a rien de moelleux, analogue au bruit de la respiration rude (Bouchut).

L'intensité du bruit inspiratoire est plus grande que celle du bruit de l'expiration; les mêmes chiffres que les précédents ont été donnés par Fournet et par MM. Barth et Roger.

Les deux bruits sont bien continus, mais celui de l'expiration, qui est peut-être plus uniformément continu à son début, devient un peu saccadé à la fin.

Les mêmes caractères existent-ils à droite et à gauche, et dans les points symétriques du poumon? Il faut se rappeler que la branche droite est un peu plus grosse que la branche gauche, qu'elle est aussi plus courte et qu'elle ne se bifurque pas de la même manière. La gauche, en effet, se divise en deux branches, tandis que la droite se divise en trois branches principales. On croirait, au premier abord, que cette disposition anatomique suffirait pour amener des différences dans les bruits; il n'en est rien, cependant, s'il faut en croire Fournet. Cet auteur fait observer, avec raison, que les branches secondaires prennent immédiatement les mêmes diamètres dans les deux poumons, et s'appuyant sur de nombreuses recherches, il formule cette loi: que toutes les fois qu'une différence existera entre les bruits des deux sommets de la poitrine,

cette différence pourra, en règle générale, être attribuée à un état pathologique.

Cependant, M. Gerhard soutient que le bruit respiratoire est un peu plus intense à droite, et M. Louis pense que cette intensité porte principalement sur le bruit de l'expiration. Le bruit respiratoire est plus marqué chez les enfants et chez les sujets maigres.

M. Beau (*Archiv. gén. de méd.*, juin 1840), regarde le ralentissement du bruit qui se produit à la glotte, lors du passage de l'air à travers cet orifice, comme l'unique cause des bruits trachéal, bronchique et vésiculaire. MM. Barth et Roger admettent volontiers que la glotte est le principal foyer de production du bruit qui va retentir dans la poitrine, mais ils veulent aussi reconnaître que le passage de l'air dans les bronches et les canalicules pulmonaires peut avoir une part dans la formation du murmure respiratoire. Ils basent leur opinion sur des expériences. Au fait si démonstratif signalé par M. Beau, à savoir que la suspension artificielle du bruit glottique suspend le murmure pulmonaire, MM. Barth et Roger répondent qu'on ne peut en conclure que ce dernier soit exclusivement l'effet du premier, et en tirer cette conséquence que, dans les respirations ordinaires, la pénétration de l'air dans les poumons ne détermine aucun bruit.

MM. Barth et Roger pensent que la suspension du bruit inférieur s'explique par la même cause qui suspend le supérieur : « Si, en effet, disent-ils, on respire assez faiblement pour qu'il ne se fasse aucun bruit à la glotte dont l'étroitesse est une condition si favorable aux vibrations sonores, n'est-il pas naturel qu'aucun murmure ne se produise dans les bronches et dans les cellules aériennes? » Nous ferons une simple réflexion à propos de cette objection. Nous ne pensons pas que les bronches ni la trachée puissent se dilater par la volonté, et puis nous n'admettons de bruit que là où il y a frottement ; or, dans les bronches le frottement est impossible. Ne sait-on pas que le diamètre des tuyaux bronchiques réunis l'emporte de beaucoup sur celui de la trachée. L'air arrive donc dans des espaces de plus en plus larges, il n'y a pas frottement, il n'y a pas de bruit.

MM. Barth et Roger disent encore, contre M. Beau, que le rapport entre les bruits inférieurs et supérieurs n'est ni constant ni forcé : ces auteurs prétendent qu'on peut produire beaucoup de bruit dans le poumon et très peu à la glotte et *vice versa*. Les preuves sur lesquelles ils s'appuyent sont toutes tirées de la pathologie.

Si Skoda a remarqué que le bruit respiratoire est beaucoup plus distinct et plus fort chez les enfants que chez les adultes, bien qu'il

n'y ait aucune différence dans l'intensité du bruit laryngé, s'il a remarqué aussi chez l'adulte que le bruit respiratoire du thorax peut augmenter d'intensité par diverses causes, éгалer même le bruit respiratoire des enfants, alors que le bruit du larynx ne présente aucune modification, nous ne voyons rien là qui renverse la théorie de M. Beau.

Bruit des bronches, souffle bronchique. — On nomme souffle bronchique le bruit que les bronches transmettent à l'oreille appliquée sur la poitrine. Dans l'état de santé, ce bruit n'est guère perçu que vers la racine des poumons ou bien dans le côté droit, parce que le décubitus sur ce côté rendrait le son plus perceptible à cause de la densité un peu plus grande du poumon de ce côté.

Il existe aussi un *souffle trachéal* normal, de même qu'un *souffle glottique* ou *laryngé*. Ces souffles sont très faciles à constater, même à distance, mais surtout en appliquant l'oreille ou le stéthoscope sur le cou, soit au niveau de la trachée, soit au niveau du larynx. Sur ce dernier organe on entend un bruit qui ressemble à l'espèce de souffle que déterminerait l'entrée de l'air dans une cavité plus large. Ce bruit est rude et caverneux. Les bruits qui se produisent par le passage de l'air au niveau du pharynx, du voile du palais, des narines et de la bouche quelquefois seront examinés plus tard.

Nous croyons, avec notre savant maître, M. Beau, que le souffle bronchique, comme le souffle trachéal, n'est que le retentissement du souffle glottique.

Nombre de respirations suivant les espèces animales. — Le nombre des mouvements respiratoires en un temps donné est loin d'être le même dans les diverses espèces animales. D'après Burdach, la grenouille respire 3 à 5 fois plus souvent que l'homme. Les gros oiseaux, comme nous l'avons dit plus haut, respirent de 20 à 30 fois par minute : les petits de 30 à 50. La baleine respire 5 fois par minute, le cheval et le bœuf de 8 à 12, le chien et le chat de 22 à 25, d'après Burdach, et seulement de 18 à 20 d'après nos observations sur des chiens adultes. Le lapin adulte respire 60 à 70 fois par minute.

On ne peut guère poser de règle générale sous le rapport de la fréquence des mouvements respiratoires, surtout chez les animaux à température variable, dont le nombre des mouvements respiratoires change avec l'état de l'atmosphère. Cependant on pourrait établir cette loi : que pour une même classe d'animaux, les mouvements respiratoires sont plus fréquents dans les petites espèces que dans les grandes ; mais il y a exception dans la chèvre et la brebis qui, dit-on, ne respirent guère que 10 fois par minute.

SECTION III.

De l'hématose, ou phénomènes chimiques de la respiration.

Définition. — On doit entendre, par *phénomènes chimiques* de la respiration ou *hématose*, les altérations ou les changements chimiques qu'éprouvent l'air et le sang que la respiration met en contact médiat.

Le mécanisme si compliqué que nous venons de décrire n'a d'autre but que celui de favoriser l'accès de l'air jusque dans les canalicules pulmonaires où vont se passer ces phénomènes qui constituent la partie la plus importante et vraiment essentielle de la respiration.

Pour bien faire comprendre comment ces deux fluides, l'air et le sang, peuvent entrer en conflit, il nous suffit comme physiologistes, de connaître les faits suivants. On dit généralement que les bronches se divisent et se subdivisent indéfiniment, et forment par leur terminaison des *cellules* ou *vésicules* qui constituent le parenchyme pulmonaire : mais il importe de savoir qu'après un certain nombre de subdivisions, les bronches, arrivées à n'avoir plus qu'un demi-millimètre de diamètre environ, cessant d'avoir des portions d'anneaux cartilagineux, cessent aussi d'avoir une muqueuse séparable de la paroi bronchique proprement dite : elles cessent, en outre, d'avoir un épithélium cylindrique à cils vibratiles : elles perdent, en un mot, les caractères des bronches. Les canalicules pulmonaires ou respirateurs qui leur font suite, appelés à tort, par conséquent, *dernières ramifications bronchiques*, continuent à se subdiviser, et se terminent en culs-de-sac arrondis ou ovoïdes, non renflés ou à peine renflés (dits improprement *cellules bronchiques* ou *pulmonaires*), qui sont, à l'époque de la naissance, 5 à 8 centièmes de millimètre de large environ. Ces conduits n'ont point la structure des bronches, mais une structure propre qui caractérise le parenchyme pulmonaire. Ils sont limités par des faisceaux rapprochés et anastomosés de fibres élastiques, anastomosées elles-mêmes et mélangées de fibres du tissu cellulaire, d'éléments fibro-plastiques et de vaisseaux. Ces derniers forment, à la face interne des conduits (qui présente de légers plis saillants en dedans), un réseau différent de celui des bronches. Ce réseau est à capillaires assez larges, se touchant ou à peu près, de manière à laisser des intervalles libres ou mailles presque nulles ou plus étroites que le diamètre du capillaire. Il rampe sur le tissu même

de la paroi des conduits pulmonaires, sans qu'il y ait de muqueuse séparable du parenchyme élastique : il n'est séparé de la cavité des conduits que par une couche d'épithélium pavimenteux à gros noyaux, qui commence où cesse l'épithélium cylindrique des bronches. Ainsi les conduits pulmonaires où s'accomplit l'hématose ont une structure différente de celle des bronches qui portent l'air nécessaire à la respiration, sans qu'il soit possible de distinguer une muqueuse séparable distincte du parenchyme élastique et du tissu cellulaire, dans laquelle ou à la surface de laquelle serait distribué ce réseau, tel qu'on le voit sur les bronches encore pourvues de cartilage, lesquelles ont une muqueuse susceptible d'être disséquée et qui disparaît peu à peu en s'amincissant. On s'explique ainsi facilement l'absorption si prompte dans le poumon et plus difficile dans les autres organes revêtus d'une muqueuse.

Nous allons étudier séparément les changements survenus dans l'air qui a été respiré et ceux qui sont survenus dans le sang après une respiration.

§ 1. — Des changements survenus dans l'air qui a été inspiré.

Pour connaître ces changements d'une manière précise, il faut d'abord avoir des notions exactes sur la composition de l'air avant qu'il pénètre dans les voies aériennes, et savoir ensuite quelle quantité chaque inspiration en introduit dans la cavité thoracique.

1° *De l'air atmosphérique.* — Nous ne décrirons pas ici les propriétés de l'air ; mais nous devons rappeler que la masse gazeuse qui, sous le nom d'*atmosphère*, enveloppe le globe d'une couche qui n'a pas moins de quinze lieues d'épaisseur, constitue le *milieu* dans lequel la respiration trouve les matériaux nécessaires à l'hématose.

L'air est un mélange de gaz et de vapeurs, mais point une combinaison. Ces gaz sont :

	En volume.	En poids.
Oxygène	20,95	25,15
Azote	79,07	76,87
Acide carbonique	"	4 à 6 dix millièmes.
Vapeur d'eau en moyenne		5 à 7 grammes par m. cube.

On y a signalé encore des traces d'hydrogène beaucoup moindres encore que la quantité d'acide carbonique, des traces d'azotate d'ammoniaque ou autres sels ammoniacaux p'us petites encore. L'*ozone*, dont on a parlé beaucoup dans ces derniers temps, comme d'un corps simple ou composé spécial et nouveau, n'est que de l'oxygène, mais à un état particulier de dimorphisme, qu'il acquiert lorsqu'il est à l'état d'électrisation positive. L'iode qu'on a cru

y trouver n'y existe pas ; il en est de même des prétendus germes de plantes et d'animaux microscopiques ; ils ne se trouvent que dans certaines poussières.

Les deux gaz qui composent l'atmosphère semblent être à l'état de simple mélange, et ce mélange ne paraît pas se modifier beaucoup quant à ses proportions, en quelque endroit qu'on le considère dans la couche atmosphérique ; cependant des recherches récentes ont prouvé que la quantité d'oxygène peut varier de 1 centième. D'un autre côté, les expériences de MM. Dumas et Bous-singault ont prouvé que grâce à la végétation, l'air ne peut pas être souillé par la perspiration incessante de tous les êtres qui couvrent la surface de la terre.

Mesure de la capacité thoracique. — Capacité vitale. — Dans ces dernières années on a beaucoup étudié cette question, dans le but d'en faire des applications à la pathologie. Les travaux de Herbst, de Hutchinson, de Wintrich, de Schneevogt, de Hecht, ont été analysés avec une critique très savante par M. Lasègue (1).

Hutchinson a cherché à mesurer la quantité d'air qui pénètre dans le poumon au moyen d'un instrument appelé *spiromètre*, mot mal fait auquel MM. Littré et Ch. Robin ont substitué celui de *pnéomètre* (πνεύ, je respire, et μέτρον, mesure), ainsi que le mot de *pnéométrie* à celui de *spirométrie*. Pour apporter une régularité indispensable, il fallait choisir un type, et Hutchinson l'a pris dans la succession de deux temps, dont l'un représente l'inspiration volontaire la plus profonde, et l'autre, l'expiration volontaire la plus complète possible ; on a ainsi le volume d'air déplacé par des mouvements exécutés sous l'influence exclusive de la vie, une sorte de volume vivant ; de là l'expression de *capacité vitale* choisie par Hutchinson pour désigner la capacité thoracique.

Le spiromètre ne sert donc pas à mesurer la capacité totale de la poitrine, mais seulement la quantité d'air inspiré et expiré, sans tenir compte du résidu qui n'est pas expulsé, même dans le mouvement expiratoire le plus intense.

Déjà on avait bien cherché à déterminer rigoureusement le plus ou moins de capacité pulmonaire ; dans ce but on avait mesuré l'étendue des mouvements du thorax ; mais c'était là un indice trompeur, et Hutchinson a eu raison de ne mesurer que le volume de l'air, c'est pour cela qu'il a inventé le spiromètre.

Cet appareil consiste dans un gazomètre muni d'une échelle fixe et d'un indicateur mobile qui suit les mouvements du récipient d'air et les indique sur l'échelle graduée ; le récipient à air plonge

(1) *Archiv. gén. de méd.*, avril 1856.

dans un réservoir rempli d'eau, il est en communication avec la poitrine du sujet en expérience, à l'aide d'un tube de caoutchouc, terminé par un embout de verre. M. Boudin a inventé un spiromètre plus portatif, mais peut-être moins parfait.

L'individu soumis à l'examen avec cet instrument doit être debout et libre de toute entrave ; il respire la plus grande somme d'air qu'il puisse appeler dans la poitrine et fait l'expiration la plus complète, après avoir introduit le tube entre les lèvres. L'expérience est répétée trois fois, et chaque fois le chiffre est noté.

L'expérimentation a prouvé que la capacité totale du thorax est constante et qu'elle n'est profondément influencée ni par l'exercice, ni par l'habitude, ni par toute autre cause. On a cherché à déterminer quel est le chiffre normal qui la représente. Il est certain d'avance que le volume d'air expiré par le même individu n'est pas égal à toutes les périodes de développement. La taille de l'individu est une des conditions qui font le plus varier cette capacité. Les expériences faites par Hutchinson, Schneevogt, Hecht, le démontrent. C'est ainsi que la capacité vitale croît de 4 décilitre par 2 centimètres d'augmentation dans la taille.

Le poids du corps est un guide beaucoup plus infidèle que la taille ; en effet, le poids du corps ne répond pas à des volumes d'air si régulièrement croissants, et ensuite, chez le même individu, il est sujet à des variations de volume trop grandes, trop fréquentes.

La circonférence de la poitrine, chose remarquable, est sans aucune proportion avec le volume d'air expiré.

La vigueur des poumons n'est pas plus subordonnée à leurs dimensions que celle des autres organes splanchniques à leur volume.

L'âge est une des modifications les moins puissantes : Hutchinson d'abord, plus tard Wintrich, sont arrivés seulement, malgré le nombre énorme des expériences, à conclure que la période de vingt à quarante ans est celle où la capacité vitale est la plus grande.

Quant au sexe, Schneevogt et Wintrich admettent que chez la femme la capacité respiratoire est moindre que chez l'homme.

Aussi, l'on peut avancer qu'un homme de la taille de 4^m,50 doit avoir une capacité vitale d'environ 2,35 centimètres cubes, et qu'une femme à stature égale a une capacité de 2,00 centimètres cubes seulement.

Voici quelques résultats obtenus par le spiromètre :

Age.	Taille. m.	Volumes d'air en décimètres cubes.
15	1,48	250
20	1,57	265
25	1,65	550
35	1,69	590

MM. Bonnet et Pomiès de Lyon, viennent d'appliquer le compteur à gaz dans des recherches qui ont pleinement confirmé celles de Hutchinson. C'est ainsi que M. Bonnet a vu que la capacité pulmonaire variait avec l'âge et la taille. D'après ces observations on peut dire que de vingt à trente-cinq ans, le maximum de la capacité pulmonaire est, pour une petite taille, de 3 litres, pour une taille moyenne, de 3 litres et demi, pour une grande taille, de 4 litres. Si le sujet dépasse trente-cinq ans, il faut retrancher du chiffre obtenu d'après les considérations de la taille, autant de fois 33 millimètres que le nombre de ses années s'élève au-dessus de trente-cinq ans.

De la quantité d'air introduite dans les bronches à chaque inspiration. — Nous venons de voir la capacité vitale, c'est-à-dire ce que peut contenir le poumon dans sa distension la plus grande; voyons maintenant ce qui a lieu dans chaque inspiration. Or, sous ce rapport, il existe de grandes variations.

D'après Herbst, la quantité d'air inspiré et expiré ou en mouvement pendant la respiration calme et naturelle est de 396^{cc},727 à 496^{cc},109 chez les adultes sains, de taille ordinaire, tandis que chez ceux de petite taille, elle est de 319^{cc},382 à 357^{cc},055.

On peut, à l'aide de ces chiffres, calculer la quantité d'air qui est introduite chaque jour dans les poumons, en comptant sur seize à dix-huit inspirations par minute. Dans les plus grandes inspirations sur des individus de taille ordinaire et vigoureux, la poitrine étant libre, la quantité peut être portée à 3887^{cc},929, elle est de un quart ou un tiers en moins chez les hommes faibles.

Dans l'expiration forcée, il y a une quantité de gaz rejetée qui répond à la précédente à quelques centimètres cubes près en moins.

Les vêtements serrés diminuent, du quart au tiers environ, la quantité d'air en mouvement.

Le jeune âge, la petitesse de la taille comme on le voit chez les femmes par exemple, l'état d'obésité, les affections du poumon, donnent des chiffres moindres que les précédents pour la capacité pulmonaire, les conditions d'expériences restant les mêmes.

Nous connaissons maintenant la qualité et la quantité de l'air qui entre dans la poitrine; si l'on examine ce même air quand il sort des voies aériennes, on le trouve modifié :

- 1° Dans son volume;
- 2° Dans sa température;
- 3° Dans sa quantité d'oxygène;
- 4° Dans sa quantité d'acide carbonique;
- 5° Dans sa quantité d'azote;
- 6° Dans sa quantité de vapeur aqueuse;

7° Il y a de plus une matière animale et d'autres principes accidentels.

De la modification de l'air dans son volume.

Il est aujourd'hui parfaitement établi que le volume de l'air expiré est moindre que celui de l'air inspiré. Les expériences de Mayow, de Hales, de Robert Boyle, ont démontré qu'il y avait un déficit dans l'air expiré, qui pouvait être évalué à 0,063.

On peut examiner cette perte dans deux conditions différentes: pour une seule respiration, ou bien sur un certain nombre de respirations pendant un certain temps. Dans le premier cas, on ne peut arriver qu'à une appréciation insuffisante, parce que, comme nous venons de le voir, les deux mouvements respiratoires peuvent être plus ou moins amples: aussi le résultat des expériences conçues d'après cette idée est extrêmement variable. Ainsi Davy, après une petite inspiration de 456^{cc},228 d'air, ne fait perdre à l'air que 5^{cc},95; puis, après une inspiration de 1983^{cc},6, le déficit dans l'air expiré s'élève à 23^{cc},786; enfin, après une inspiration de 2796^{cc},876, il fit perdre à l'air que la poitrine avait reçu 39^{cc},672: cela constituerait une perte d'environ 1/70^e environ de l'air inspiré.

D'après le second mode, comme l'a fait M. Despretz (1), on constate une perte très sensible. Six jeunes lapins ayant respiré pendant deux heures dans 49 litres d'air, il y eut 1 litre de diminution. La perte peut être portée jusqu'à 1/24^e, quand l'animal respire le même air, jusqu'à ce que son altération ne permette plus de le respirer davantage. Telle est au moins la moyenne des expériences de Lavoisier, Davy, Goodwin, Allen, Pepys et Pfaff.

De la modification de l'air dans sa température.

En traversant successivement la bouche ou les cavités nasales, le pharynx, le larynx, la trachée-artère et les bronches, l'air inspiré prend une température analogue à celle du corps; dans la plupart des cas, il s'échauffe et par conséquent se raréfie, de sorte que la même quantité d'air en poids occupe dans le poumon un espace beaucoup plus considérable que celui qu'elle occupait avant d'être introduite dans ce vis-ère. On comprend dès lors qu'à sa sortie du poumon, l'air possède une température voisine de celle du corps, variable comme celle de ce dernier; c'est ce qui explique pourquoi chez les moribonds l'haleine devient froide et ne se trouve plus modifiée dans sa température.

(1) *Annales de physique et de chimie*, t. XXVI, p. 357.

De la modification de l'air dans sa quantité d'oxygène. —
Diminution de l'oxygène.

Ce phénomène de la diminution de l'oxygène dans la respiration forme le trait le plus saillant de cette fonction. Découvert par Priestley et Schèele, il a été admis par tout le monde. Les expériences de Spallanzani ont prouvé que c'est un fait dont l'universalité est constatée dans toute l'échelle animale.

Nous allons étudier d'abord à combien la perte d'oxygène peut être évaluée dans une respiration, et nous verrons ensuite combien d'oxygène est absorbé en un temps donné :

1° D'après Davy et Gay-Lussac, l'air inspiré contenant 21 parties d'oxygène, n'en contiendrait plus que 19 ou 18 parties en sortant du poumon, ou, en d'autres termes, il y aurait un cinquième environ d'oxygène absorbé. C'était d'ailleurs le chiffre déjà donné par Menzies, qui évaluait la déperdition d'oxygène au quart. Dulong fait observer, avec raison, que cette déperdition doit être variable suivant les diverses circonstances dans lesquelles se trouve placé le même individu.

Quant à la quantité absolue d'oxygène enlevée dans une respiration, elle varie suivant la quantité d'air qui a été inspirée. Davy, après une inspiration de 614^{cc},916 d'air, trouva 23^{cc},803 d'oxygène de moins dans l'air expiré. Après une inspiration de 1983^{cc},6, 450^{cc},753 d'oxygène avaient disparu. Après une inspiration de 2796^{cc},875, la perte d'oxygène s'élevait à 198^{cc},36.

2° Quant à la quantité d'oxygène absorbée dans des temps égaux, on l'a calculée pour une inspiration moyenne, par minute, par vingt-quatre heures, pour un siècle.

Pour une inspiration moyenne l'absorption est de 19^{cc},572 (Abernethy), 24^{cc},80 (Allen et Pepys), 29^{cc},50 (Dalton).

Par minute, elle est de 297^{cc},440 (Nysten), 535^{cc},572 (Allen et Pepys), 555^{cc},408 (Lavoisier), 595^{cc},080 (Dalton), 604^{cc},916.

Par vingt-quatre heures, elle est de 745 décimètres cubes (Lavoisier et Davy). Si l'on calcule en poids, ce serait de 4 kilogramme (B. Prévost).

MM. Dumas et Boussingault ont calculé cette absorption pendant un siècle. En supposant, disent-ils, que chaque homme consomme 1 kilogramme d'oxygène par jour, qu'il y ait mille millions d'hommes sur la terre, et que, par le fait de la respiration des animaux, ou par la putréfaction des matières organiques, cette consommation attribuée aux hommes soit quadruplée; supposons, de plus, que l'oxygène dégagé par les plantes vienne compenser

RESPIRATION. — DIMINUTION DE L'OXYGÈNE DE L'AIR. 225

seulement l'effet des causes d'absorption d'oxygène oubliées dans cette estimation, ce sera mettre bien haut, à coup sûr, les chances d'altération de l'air.

Eh bien ! dans cette hypothèse exagérée, au bout d'un siècle, tout le genre humain, et trois fois son équivalent, n'aurait absorbé qu'une quantité égale au poids de 15 ou 16 cubes de cuivre de 4 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme près de 454,000.

On a inventé un moyen fort simple de rapporter à une mesure commune les expériences faites sur une foule d'animaux qui diffèrent pourtant considérablement entre eux, quant à leur poids absolu.

Ce moyen consiste à calculer, pour un temps donné, la quantité d'oxygène absorbée en raison de 1 kilogramme de l'animal. D'après MM. Regnault et Reiset, dans sept expériences faites sur le même chien, la moyenne d'oxygène consommée a été en poids 1^{er},183, *maximum* 1,393, *minimum* 1,016. On voit déjà que, pour le même animal, il y a des différences assez considérables pour des temps égaux et semblables.

Appliquons ces données à la respiration de l'homme. Supposons un adulte du poids de 75 kilogrammes; nous aurons pour une heure une consommation de 88^{gr},725, ce qui donne pour vingt-quatre heures 2 kilogrammes 129^{gr},400.

Il convient néanmoins de réduire ce chiffre; car il faut remarquer que si certains animaux, comme le chien, prennent plus d'un gramme pour 1 kilogramme de l'animal en une heure, d'autres, comme les lapins, restent un peu au-dessous de 1 gramme. Il faut donc prendre pour l'homme le chiffre de 1 gramme par heure pour 1 kilogramme de l'individu. Cela donne alors 75 grammes par heure, et 1 kilogramme 800 grammes, ou un peu plus de 3 livres 3/4 par vingt-quatre heures.

Si maintenant nous examinons ce qui arrive dans les animaux, nous trouvons dans le Mémoire de MM. Regnault et Reiset les résultats suivants :

La moyenne de six expériences faites sur des *lapins* a été de 0,918.

Les *poules* absorbent moins que les carnivores, un peu plus que les lapins.

Pour les *canards*, elle est de 1^{er},527 par heure pour 1 kilogramme de l'animal.

Les *petits oiseaux* consomment proportionnellement plus de dix fois autant d'oxygène que les *gros*, savoir : de 9 à 13 grammes d'oxygène par heure pour 1 kilogramme de l'animal.

Les *reptiles* absorbent beaucoup moins d'oxygène que les ani-