

que les muscles ; elles viennent donc en aide à ces derniers et diminuent d'autant le travail qu'ils ont à accomplir. — De plus, nous le répétons, les muscles de l'expiration ne sont pas destinés à agir d'une manière permanente comme ceux de l'inspiration, puisque la simple élasticité pulmonaire suffit à produire les expirations tranquilles, automatiques, qui constituent l'état normal ; ils n'entrent en jeu que dans des conditions déterminées et pour ainsi dire exceptionnelles (efforts violents, chant, toux, etc.).

Nous avons cherché jusqu'ici à faire comprendre quel est, d'une manière générale, le mécanisme de l'inspiration et de l'expiration ; il convient maintenant de préciser un peu plus et d'étudier certaines particularités relatives à ces deux phénomènes.

### § 3. — Durée relative de l'inspiration et de l'expiration.

Nous avons dit plus haut que l'homme sain et adulte fait en moyenne 16 excursions respiratoires par minute<sup>1</sup>, c'est-à-dire que la durée d'une excursion respiratoire est de 3 secondes environ. Mais cette durée de 3 secondes n'est pas également répartie entre les deux temps qui constituent l'excursion respiratoire. *L'expiration est toujours un peu plus longue que l'inspiration* ; M. Vierordt, M. Ludwig et M. Liebmann ont établi expérimentalement que la seconde est à la première :: 100 : 140.

A un examen superficiel, c'est le contraire qui semble avoir lieu. Mais cette contradiction apparente s'explique aisément ; elle provient de ce que les deux temps de la respiration n'ont pas le même *type*. L'inspiration, produite par des contractions musculaires, s'effectue sans secousses, graduellement, et pourrait être représentée dans un schéma par une ligne régulièrement ascendante. L'expiration au contraire, en vertu de son mode de production, rappelle par sa forme le mouvement de détente d'un

1. Ce chiffre n'est qu'une moyenne. Une foule de conditions physiologiques (exercices violents) et pathologiques (dyspnée, etc.) sont susceptibles de le faire *varier*. Il varie, en particulier, avec l'âge ; chez l'enfant nouveau-né, il est de 44 ; à partir de ce moment, il décroît jusqu'à l'âge adulte (20 ans), auquel correspond la moyenne que nous avons indiquée (M. Quételet).

ressort élastique, c'est-à-dire que, d'abord brusque, elle s'achève par un mouvement lent et d'une durée relativement longue. Cette dernière partie passe facilement inaperçue, et c'est faute de savoir la constater qu'on peut croire de prime abord à un résultat inverse.

### § 4. — Vitesse et force relatives du courant d'air pendant les deux temps de la respiration.

Nous avons vu que, dans l'expiration forcée, l'élasticité pulmonaire ajoutait son action à celle des muscles, au lieu de combattre cette dernière, comme dans l'inspiration. De plus, pendant l'inspiration, la trachée s'élargit, la glotte se dilate ; pendant l'expiration au contraire, la glotte est réduite à une simple fente, la trachée diminue de calibre.

L'ensemble de ces diverses conditions explique pourquoi le courant d'air de l'expiration aura en général plus de force et de vitesse que celui de l'inspiration, pourquoi, par exemple, on pourra produire un effet mécanique plus énergique en *soufflant* dans un tube qu'en *aspirant* par un semblable conduit. Il résulte de là que les corps étrangers des voies aériennes, les mucosités en particulier, auront plus de tendance à être rejetées au dehors qu'à être aspirées vers le poumon.

### § 5. — Quantité d'air introduite dans le poumon par la respiration. — Spiromètres.

Lorsque le réservoir pulmonaire est rempli au maximum, c'est-à-dire quand on a fait la plus grande inspiration possible, il contient en moyenne 4 ou 5 litres d'air. Par contre, nous avons vu qu'à la fin d'une expiration, même forcée, le poumon contient encore une certaine quantité d'air : cette quantité, appelée *air résiduel*, peut être évaluée à 1 litre ou 1 litre 1/2. La différence entre ces deux chiffres est donc approximativement égal à 3 lit. 1/2.

Cette différence constitue ce qu'on appelle la *capacité respiratoire*. On l'a considérée avec quelque raison comme pouvant donner la mesure de la vigueur physique d'un individu, puisqu'elle indique l'intensité de ses échanges respiratoires.

Aussi a-t-on construit pour l'évaluer un certain nombre d'instruments, appelés *spiromètres*, dont les plus connus sont ceux de

Hutchinson, de Schnepf, de Vogel, de Wintrich, etc. Ces instruments ne diffèrent entre eux que par des détails de construction. Leur principe à tous est le suivant : Un réservoir d'air, renversé sur l'eau, est muni d'un tube en caoutchouc ; le sujet en expérience fait une forte inspiration à l'air libre ; puis il souffle dans le tube en prolongeant cette expiration aussi longtemps que possible. Un indicateur mobile et une échelle graduée et fixe permettent d'apprécier de quelle quantité le réservoir s'est élevé, c'est-à-dire quel volume d'air a été expiré par le sujet.

Les indications fournies par le spiromètre au point de vue de la vigueur du sujet sont loin d'avoir une exactitude absolue ; l'emploi de l'instrument n'est pas d'ailleurs d'une application facile. On peut obtenir plus pratiquement une approximation d'une certaine valeur en tenant compte de ce fait que la capacité respiratoire est en relation manifeste avec les *dimensions extérieures du thorax*, en particulier avec la longueur du diamètre transversal (Sappey).

Les chiffres indiqués plus haut sont des chiffres extrêmes. Il est bien évident que les quantités d'air inspirées et expirées peuvent varier dans des proportions considérables, suivant les conditions où l'individu se trouve placé. M. Edw. Smith a démontré par un grand nombre d'expériences l'influence de l'état de repos et de l'état de mouvement. Il a trouvé que la quantité d'air inspiré pouvait varier dans la proportion de 4 à 7, suivant que l'homme était couché ou suivant qu'il se livrait à une course de 7 milles à l'heure.

Dans la respiration naturelle, normale, il résulte des recherches de MM. Smith, Valentin, Bérard, Vierordt, etc., que l'inspiration n'introduit et que l'expiration ne chasse que 500 centimètres cubes d'air en moyenne.

500 cent. cubes, ou 1/2 litre d'air, tel est donc le chiffre qu'il importe de retenir comme représentant ce qu'on pourrait appeler le *chiffre de la respiration ordinaire*.

Puisque nous respirons 16 fois par minute, il est facile de calculer que la quantité d'air mise en rapport avec le sang dans les poumons est de 44,520 litres environ par 24 heures. Ce chiffre est donc dans un rapport très-simple avec la quantité de sang qui parcourt le poumon pendant le même temps (20,000 litres). On sait d'ailleurs (voir *Circulation*) que les globules rouges entrent pour moitié dans un volume donné de sang, 20,000 litres de sang représentent donc 10,000 litres de globules, et l'on peut dire que les échanges gazeux effectués en 24 heures dans le poumon ont

lieu entre des volumes sensiblement égaux de globules et d'air atmosphérique.

Sans empiéter sur l'étude des modifications chimiques de l'air, dont il sera question dans le prochain chapitre, nous pouvons dès maintenant signaler le fait suivant. M. Gréhant a calculé que quand on exécute une inspiration et une expiration ordinaires (égales chacune à 1/2 litre), un tiers environ de l'air inspiré est rendu à l'atmosphère mélangé avec 2/3 d'air vicié, et deux tiers d'air pur entrent et renouvellent par leur mélange le contenu du poumon.

### § 6. — Du murmure vésiculaire.

Si l'on applique l'oreille sur le thorax d'un individu qui respire, on entend une espèce de souffle léger, doux et moelleux, connu sous le nom de *murmure vésiculaire* ou *respiratoire*. On a beaucoup discuté sur le mécanisme de sa production ; il est probable que ce mécanisme est complexe, mais le déplissement des vésicules pulmonaires paraît y prendre la plus grande part.

Le murmure vésiculaire offre ce caractère d'être *beaucoup plus intense et prolongé* pendant l'*inspiration* que pendant l'*expiration*. D'après ce que nous avons dit plus haut, on voit donc que la durée relative des bruits de la respiration n'est nullement en rapport avec la durée des actes qui leur donnent naissance. Ce résultat est dû à ce que le murmure vésiculaire ne se produit que pendant la première partie de l'expiration ; pendant la seconde partie de cet acte, le courant d'air est trop lent et trop faible pour se faire entendre.

Nous n'avons pas à étudier ici les causes pathologiques qui peuvent modifier la durée, l'intensité, le rythme du murmure vésiculaire, ou provoquer son remplacement par des bruits anormaux. Cette étude constitue la science de l'*auscultation*, qui a rendu de si grands services, depuis Laënnec, dans le diagnostic des affections thoraciques. Nous renvoyons pour cette étude aux ouvrages spéciaux (voir Fort, *Manuel de Pathologie interne*).

### § 7. — Effets produits par la respiration dans les organes thoraciques voisins du poumon.

Les alternatives de dilatation et de resserrement du thorax doivent retentir à des degrés divers sur tous les organes qui s'y trou-

vent contenus. Cette action se fait principalement sentir sur les organes circulatoires, c'est-à-dire sur le cœur et sur les *gros vaisseaux*.

**Cœur.** — Le cœur peut être comprimé dans une expiration forcée. Cette compression (expérience de Weber) produit un ralentissement des battements du cœur qui peut aller jusqu'à leur arrêt complet; c'est à ce mécanisme qu'on doit rapporter le prétendu arrêt volontaire des mouvements du cœur dont quelques personnes se sont dites capables; en réalité, la volonté n'agit qu'indirectement sur le cœur par l'intermédiaire de la paroi thoracique. Si l'expérience se prolonge, il y a syncope; à ce moment la volonté cesse d'agir; la compression cesse donc *ipso facto* et le sujet revient à lui. Mais il peut arriver que l'individu soit passif, c'est-à-dire que son thorax soit comprimé par une cause extérieure, indépendante de sa volonté; la syncope peut alors aboutir à la mort; c'est de cette façon qu'on peut expliquer la mort des gens pressés au milieu de foules en désordre.

**Vaisseaux.** — Pendant l'*inspiration*, les gros troncs artériels et veineux de la circulation générale, qui sont contenus dans le thorax tendent à se dilater. Il en résulte un appel plus énergique, une sorte d'aspiration du sang dans la poitrine, d'où une diminution de pression dans les vaisseaux périphériques. Lorsque les veines sont maintenues béantes, comme cela a lieu au niveau des aponévroses du cou, elles sont tout à fait comparables à ce moment aux canaux aériens (trachée, etc.); aussi, lorsque ces veines viennent à être ouvertes par le fait d'un traumatisme ou d'une opération, l'air y est-il aspiré énergiquement, au moment de l'inspiration, dans la direction du cœur. On connaît la gravité de cet accident, gravité due à ce que l'air est lancé par le cœur droit dans les capillaires du poumon, où il fait obstacle à la circulation et par suite à l'hématose.

Pendant l'*expiration*, au contraire, au moment des efforts, par exemple (parturition, défécation, etc.), la pression se trouve augmentée dans tout le système circulatoire, à cause de la difficulté qu'éprouve le sang à se déverser dans le thorax. Il en résulte dans le système *veineux* une stase qui gagne de proche en proche et qui se traduit par la turgescence des veines du cou, par l'injection des yeux et de la face, par des vertiges, quelquefois des apoplexies cérébrales. Du côté des *artères*, l'augmentation de pression n'est pas moins évidente; elle se manifeste par une tendance aux hémorragies, aux ruptures d'anévrysmes, etc.

### § 8. — Rôle des agents mécaniques de la respiration dans certains phénomènes.

Nous avons vu dans le cours de cet ouvrage les agents musculaires de l'inspiration et de l'expiration intervenir dans une foule d'actes physiologiques (vomissement, défécation, préhension, des liquides, phonation, locomotion, miction, parturition, etc.). Mais nous devons examiner ici un certain nombre de phénomènes de ce genre dont la description trouverait difficilement place ailleurs.

**Effort.** — L'effort consiste dans une expiration forcée, la glotte étant maintenue fermée par ses muscles constricteurs (ary-aryténoïdien, crico-aryténoïdien latéral). Cet acte a pour but d'emmaigâser l'air dans le thorax et de rendre celui-ci immobile pour lui permettre de fournir un solide point d'appui aux membres supérieurs.

**Bâillement.** — Le bâillement consiste en une inspiration lente et profonde à laquelle succède une expiration lente aussi et graduée. Dans ces deux mouvements, l'air n'entre et ne sort que par la bouche; les voies nasales sont fermées par le soulèvement en quelque sorte convulsif du voile du palais.

**Hoquet.** — Il est déterminé par une sorte de convulsion du diaphragme qui provoque une inspiration brusque, accompagnée d'une vibration spéciale des lèvres de la glotte. — Le *sanglot* reconnaît le même mécanisme; il ne diffère du hoquet qu'en ce que l'inspiration est *saccadée* et en ce que la sortie de l'air, pendant l'expiration qui suit, présente les mêmes caractères.

**Rire.** — Le rire est caractérisé par des respirations résonnantes et saccadées qui se succèdent avec rapidité.

**Ronflement.** — Le ronflement n'est autre chose qu'une respiration s'accompagnant de vibrations du voile du palais, avec résonnance anormale de l'air dans les fosses nasales.

**Toux.** — Elle est caractérisée par une expiration brusque, précédée d'une forte inspiration et provoquée ordinairement par le besoin de balayer les mucosités bronchiques. Le bruit de la toux est déterminé par l'action de cette expiration brusque sur les lèvres de la glotte. — L'*expectoration* est le résultat de la toux, c'est-à-dire l'expulsion des mucosités hors des voies aériennes. — L'*expuition* ou *crachement* est le rejet de ces mucosités de la cavité buccale à l'extérieur; elle résulte d'une expiration brus-

que, la bouche étant demi-close et la communication avec les fosses nasales étant interrompue par le soulèvement du voile du palais.

**Éternuement.** — L'éternuement consiste en une inspiration profonde, bientôt suivie d'une expiration brusque qui se fait à la fois par la bouche et par les fosses nasales.

## ARTICLE II.

### PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA RESPIRATION.

Les phénomènes physico-chimiques de la respiration résultent du contact qui se produit entre le sang et l'air atmosphérique au niveau de la surface pulmonaire. Le plan que nous suivrons dans leur étude sera donc bien simple. Il consistera à mettre en regard les propriétés et la constitution de ces deux milieux, envisagées comparativement avant et après ce contact.

#### § 1<sup>er</sup>.—Action de la respiration pulmonaire sur l'air.

**1<sup>o</sup> Air inspiré.** — Nous n'avons pas à insister longuement sur la composition normale de l'air atmosphérique ; cette étude trouve sa place dans tous les traités de chimie. Nous nous bornerons à rappeler en deux mots que l'air est un *mélange gazeux* composé principalement d'oxygène et d'azote dans la proportion (en volume) de 20,9 du premier pour 79,1 du second : il contient de plus quatre à six dix-millièmes d'acide carbonique, une quantité variable de vapeur d'eau, enfin, des quantités infinitésimales de quelques autres gaz ou vapeurs.

Telle est la composition normale de l'air atmosphérique au moment où celui-ci est aspiré de l'extérieur. Mais il importe de noter que cette composition est loin de rester la même à mesure qu'on pénètre plus profondément dans les voies respiratoires ; il ne faut pas croire, en d'autres termes, que la couche d'air qui se met en contact avec le sang pour produire les échanges gazeux soit constitué par de l'air atmosphérique ordinaire. La raison de ce fait est facile à comprendre. L'ensemble des voies respiratoires peut être considéré en effet comme représentant schématiquement un cône dont l'orifice supérieur du larynx serait le sommet, dont

la surface pulmonaire serait la base. La vitesse du courant d'air sera donc variable dans les différentes zones de ce conduit ; d'autant plus grande que l'on considère une zone plus élevée (c'est-à-dire plus étroite), elle sera portée à son minimum au voisinage de la surface pulmonaire, et l'on conçoit qu'à ce niveau il doive se produire une stagnation relative, un renouvellement moins actif des couches d'air. M. Gréhant a démontré qu'il fallait environ 4 à 5 mouvements respiratoires pour renouveler le contenu gazeux du poumon, et qu'*au niveau de la surface pulmonaire on trouvait non pas de l'air pur, mais un air qui contient jusqu'à 8 et 9 pour 100 d'acide carbonique provenant des échanges gazeux antérieurs.*

**2<sup>o</sup> Air expiré.** — L'air expiré diffère de l'air inspiré au point de vue du *volume*, de la *température*, de la *composition chimique*.

*a. Volume.* — Le *volume* de l'air expiré est en général inférieur de 1/40<sup>e</sup> ou 1/50<sup>e</sup> au volume de l'air inspiré. Nous verrons tout à l'heure la raison de cette différence, différence minime d'ailleurs et dont on pourrait se dispenser de tenir compte.

*b. Température.* — La *température* de l'air expiré varie avec celle de l'air inspiré. Ce qu'on peut dire d'une manière générale, c'est qu'elle lui est *presque toujours supérieure*. Il est rare en effet (sauf dans les climats très-chauds) que la température de notre corps ne soit pas plus élevée que celle de l'air extérieur ; le séjour de celui-ci dans nos poumons doit donc avoir pour résultat de le réchauffer dans une certaine mesure.

Mais cet échauffement de l'air ne va jamais jusqu'à lui donner une température égale à celle de notre corps. Nous avons vu en effet que le volume d'air d'une expiration quelconque était constitué pour 1/3 par de l'air inspiré pendant l'expiration précédente ; or, cet air n'a pu séjourner assez longtemps au contact du poumon pour se mettre en équilibre de température avec lui ; donc même en admettant que cet équilibre soit réalisé par les deux autres tiers, la présence de cet air relativement froid abaissera forcément la température du mélange.

*c. Composition chimique.* — La composition chimique de l'air expiré a été étudiée avec une grande exactitude par MM. Brunner et Valentin, Vierordt, Audral et Gavarret, Smith, Pettenkofer et Voit. Nous ne décrirons pas ici les procédés et les appareils très-compliqués qui ont été employés dans ces recherches. Le lecteur en trouvera la description dans les ouvrages de chimie. Nous nous contenterons d'en exposer les résultats :

*Oxygène et acide carbonique.* — L'air expiré ne contient plus en volume que 16,03 0/0 d'oxygène; mais en revanche il contient 4,26 0/0 d'acide carbonique. En d'autres termes, il contient 4,87 d'oxygène en moins que l'air inspiré; mais il contient 4,26 d'acide carbonique en plus (car la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air atmosphérique inspiré est si minime qu'elle peut être négligée).

On voit donc que les volumes d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé ne se correspondent pas exactement; cette différence est rendue plus sensible si on considère les résultats de la respiration en 24 heures; on trouve ainsi que pour 500 litres d'oxygène absorbé nous ne rendons que 400 litres environ d'acide carbonique. Ainsi se trouve expliquée la légère diminution de volume de l'air expiré par rapport à l'air inspiré que nous avons signalée tout à l'heure.

Mais à quoi est dû cet excès d'absorption d'oxygène? Il est dû à ce que tout l'oxygène inspiré n'est pas utilisé pour brûler du carbone, c'est-à-dire pour produire de l'acide carbonique; une faible partie se combine à de l'hydrogène et se trouve rejetée sous forme de vapeur d'eau.

*Azote.* — La quantité d'azote se trouve-t-elle modifiée dans l'air expiré? La réponse à cette question diffère suivant les expérimentateurs. Pour les uns (Lavoisier et Seguin, Valentin et Brunner), la proportion d'azote serait exactement la même dans l'air expiré que dans l'air inspiré. Pour d'autres (Spallanzani, Davy, Pfaff), elle serait un peu moindre dans le premier. Enfin Berthollet, Nysten, Dulong, Despretz, MM. Boussingault, Regnault et Reiset semblent avoir démontré qu'il y aurait au contraire dans l'air expiré un léger excès d'azote. Cet azote proviendrait des transformations organiques des matières azotées de nos tissus. En tout cas, les variations de ce gaz sont insignifiantes.

*Vapeur d'eau.* — Le sang, en passant dans le poumon, dégage une grande quantité de vapeur d'eau<sup>1</sup>. On a évalué cette quantité

1. Il ne faudrait pas considérer cette eau comme formée uniquement par la combinaison d'une partie de l'oxygène inspiré avec l'hydrogène des tissus. L'eau produite par ce dernier mécanisme ne représente qu'une fraction minime de l'eau exhalée. La plus grande partie de celle-ci a été introduite de toutes pièces dans l'économie avec les boissons et avec les aliments solides.

à 500 grammes en moyenne pendant les 24 heures (Béclard). Mais on conçoit combien ce chiffre est variable suivant les conditions météorologiques de l'air ambiant et suivant les déperditions de même nature qui ont lieu dans l'économie par d'autres voies (peau, reins). Cette vapeur d'eau est rejetée à l'extérieur avec l'air de l'expiration. M. Gréhant a démontré que cet air est à peu près constamment saturé de vapeur d'eau à la température qu'il possède (35° en moyenne). Un faible abaissement de température suffit donc à condenser cette vapeur d'eau sous forme liquide à sa sortie des voies respiratoires; chacun peut s'en convaincre facilement en expirant par un temps froid et humide.

*Substances diverses.* — L'air expiré contient toujours en faible proportion des *substances organiques*. Ce sont ces substances connues sous le nom de *miasmes*, qui déterminent à la longue la viciation de l'air dans un milieu confiné et qui donnent à ce milieu une odeur spéciale et désagréable.

L'air expiré peut encore contenir accidentellement certains *principes volatils* qui, introduits dans le sang par une voie quelconque, ont la propriété de s'éliminer par le poumon (alcool, ail, éther, chloroforme, musc, hydrogène sulfuré, etc.). Le poumon est, ainsi que nous l'avons démontré le premier, une glande en grappe chargée d'éliminer du sang tous les principes volatils. (Voy. *Sécrétion de l'haleine*.)

## § 2. — Action de la respiration pulmonaire sur le sang.

Nous avons vu que le sang qui revient des tissus est lancé dans les capillaires pulmonaires par le ventricule droit à l'état de *sang veineux*; il sort de ces capillaires, pour se porter dans le cœur gauche, à l'état de sang artériel, de sang *hématosé*, c'est-à-dire modifié dans sa *couleur*, dans sa *température*, dans sa *composition chimique*.

*a. Couleur.* — La couleur d'un rouge vermeil du sang qui revient du poumon est le premier résultat appréciable de l'*hématisation*. Ce changement de couleur est dû incontestablement à l'absorption de l'oxygène de l'air. Une expérience bien connue de Bichat met en évidence cette action de l'oxygène sur la coloration du sang.

*Expérience.* — Bichat introduit une canule munie d'un robinet

dans la trachée d'un chien : puis il ouvre une artère à l'animal et constate la couleur vermeille du sang qui s'en écoule. Il ferme alors le robinet et suspend ainsi l'accès de l'oxygène dans le poumon : au bout de trente secondes, le sang fourni par la plaie artérielle est tout à fait analogue par sa couleur au sang veineux. Si l'on ouvre le robinet, la couleur vermeille reparait graduellement à mesure que la respiration se rétablit.

Nous avons vu que l'oxygène absorbé se fixe sur les globules rouges. Quant à savoir par quel mécanisme cette combinaison a pour résultat un changement de couleur de ces derniers, la chose est encore peu connue. Il est probable toutefois que le changement de couleur est sous la dépendance d'un changement de forme qui agit en modifiant les conditions de réfraction.

**b. Température.** — Le sang se refroidit dans le poumon au contact de l'air extérieur et abandonne à celui-ci une certaine quantité de chaleur. Le fait avait été méconnu à plusieurs reprises : d'abord par Lavoisier, qui faisait du poumon, nous l'avons vu, un foyer de combustion où le sang s'échauffait pour aller distribuer la chaleur animale à tout l'organisme; ensuite par certains expérimentateurs qui avaient mesuré comparativement la température du sang dans les deux ventricules du cœur en plaçant un thermomètre dans chacune de ces deux cavités, sans tenir compte de l'épaisseur moindre des parois du ventricule droit et de la perte plus considérable de chaleur qui en est la conséquence. Plus récemment enfin, MM. Heidenhain et Körner, tout en reconnaissant que la température est plus élevée dans le ventricule droit, ont voulu attribuer ce résultat au contact intime de cette cavité avec les viscères abdominaux par l'intermédiaire du diaphragme.

M. Cl. Bernard a combattu victorieusement cette dernière interprétation à l'aide de faits empruntés à l'anatomie pathologique et à l'anatomie comparée. Il reste bien prouvé aujourd'hui que le point du système circulatoire où le sang offre la plus basse température est précisément le ventricule gauche, c'est-à-dire la cavité qui reçoit le sang à sa sortie du poumon.

**c. Composition chimique.** — Les modifications chimiques subies par le sang pendant son passage dans le poumon consistent essentiellement dans une *perte d'acide carbonique* et dans une *absorption d'oxygène*. Les détails que nous avons donnés plus haut sur ce sujet nous dispensent d'y insister bien longuement.

Nous donnerons seulement les chiffres qui expriment les proportions de ces deux gaz contenues dans le sang (chez le chien)

avant et après son passage dans le poumon. Ces chiffres sont les suivants :

		OXYGÈNE.	ACIDE CARBONIQUE.
100 volumes de sang contiennent	Sang veineux.	12 vol.	47 vol.
	Sang artériel.	20 vol.	34,8 vol.

Mais par quel mécanisme l'acide carbonique se dégage-t-il du sang pour faire place à l'oxygène? Si l'on se rappelle que cet acide est en grande partie combiné dans le sang aux sels du sérum; si l'on se rappelle d'autre part que l'air des vésicules pulmonaires contient 8 à 9 0/0 d'acide carbonique (Gréhant), on conviendra que ces deux conditions sont peu favorables à un dégagement spontané de l'acide carbonique du sang. Il est bien plus probable que ce gaz est *chassé par une force active*. C'est dans cet ordre d'idées que MM. Robin et Verdeil avaient émis l'hypothèse de la formation dans le poumon d'un acide spécial, *acide pneumique*, qui agirait à la manière de la plupart des autres acides en chassant l'acide carbonique de ses combinaisons. Mais l'existence de cet acide pneumique n'a jamais été constatée. On en est donc réduit à supposer que ce rôle d'acide vis-à-vis de l'acide carbonique est rempli tout simplement par l'*oxy-hémoglobine*; l'absorption de l'oxygène par les globules précéderait donc le départ de l'acide carbonique, et celui-ci se dégagerait par cela même que l'oxygène aurait été absorbé.

### § 3. — Nature de la fonction pulmonaire.

En dernière analyse, les actes physico-chimiques de la respiration pulmonaire se réduisent à un phénomène purement physique. Nous assistons tout simplement dans le poumon à un phénomène d'*osmose gazeuse*, c'est-à-dire à un échange de gaz entre deux milieux séparés par une membrane animale.

On peut, en effet, reproduire avec la plus grande facilité par une expérience bien simple le phénomène capital de la respiration (Béclard). On place sous une cloche remplie d'oxygène une vessie pleine de sang veineux. Au bout de peu de temps, non-seulement une partie de l'oxygène a pénétré dans le sang au travers de la vessie, mais encore une certaine proportion d'acide carbonique est sortie du sang et a passé dans la cloche. Les volumes de

gaz absorbés et exhalés se balancent à peu près, tout comme dans la respiration.

Il convient donc de réduire à sa juste valeur le rôle de la surface pulmonaire, et nous croyons qu'on peut se faire de cette membrane l'idée suivante. Cette membrane n'a aucune propriété spéciale, aucune fonction qui la distingue des autres tissus ; son rôle est purement passif ; elle intervient dans l'acte de l'hématose au même titre qu'intervient la vessie dans l'expérience précédente. Les phénomènes d'échanges sont déterminés uniquement par la tendance que des gaz différents ont à se mélanger toutes les fois qu'ils sont mis en présence. Si ces échanges se localisent chez l'homme au niveau d'une surface particulière, c'est simplement parce que cette surface, nous le répétons, réalise au maximum les conditions de perméabilité favorables aux phénomènes d'osmose.

Un certain nombre d'autres faits viennent encore à l'appui de cette manière de voir :

1<sup>o</sup> La loche d'étang (*cobitis fossilis*) respire par l'intestin ; elle déglutit l'air, absorbe l'oxygène à la surface intestinale et rend l'acide carbonique par l'anus.

2<sup>o</sup> Quand on étale le mésentère d'une grenouille pour en examiner la circulation, on remarque bientôt que le sang des veines mésoaraïques, noir au début de l'opération, ne tarde pas à devenir rutilant comme du sang artériel ; c'est qu'en effet la surface mésentérique et la surface de l'intestin sont alors devenues expérimentalement un lieu où se fait l'hématose, et la grenouille ainsi préparée respire (dans le sens pulmonaire du mot) par le mésentère (Küss).

3<sup>o</sup> Au niveau des bronches de petit calibre, les artères bronchiques n'ont pas de veines correspondantes ; les radicales veineuses qui naissent à ce niveau vont se jeter dans les veines pulmonaires. En effet, le sang apporté dans les parois de ces petites bronches par les artères bronchiques est assez rapproché du courant aérien, vu la minceur de ces parois, pour en subir l'influence ; si donc il tend à perdre ses propriétés essentielles par le fait de la nutrition, il tend aussi à les recouvrer par le fait de ce contact (Sappey). En un mot, il redevient artériel au fur et à mesure qu'il a cessé de l'être ; il se trouve donc dans les conditions nécessaires pour être recueilli par les veines pulmonaires (vaisseaux à sang rouge).

4<sup>o</sup> Enfin nous verrons tout à l'heure que les échanges gazeux se produisent dans une certaine surface de la peau, et que chez le fœtus ils ont lieu dans l'épaisseur du placenta.

#### § 4. — Causes qui font varier l'intensité de la respiration pulmonaire.

L'intensité des échanges gazeux au niveau du poumon, mesurée par la quantité d'acide carbonique exhalée, est susceptible de varier sous l'influence de conditions diverses. D'une manière générale on peut dire que l'exhalation d'acide carbonique augmente toutes les fois que les combustions qui ont lieu dans les tissus deviennent plus énergiques, et *vice versa*.

On conçoit donc d'après cela que cette exhalation doit être plus considérable par les températures basses que par les températures élevées, sous l'influence d'une alimentation abondante que sous l'influence de l'inanition, pendant l'état de veille que pendant le sommeil, pendant l'exercice que pendant le repos, chez les individus robustes que chez les sujets débilites. Nous n'avons pas à insister sur ces divers points, qui seront l'objet de plus longs développements dans une autre partie de cet ouvrage. (Voyez *Chaleur animale*.)

L'influence de l'âge et du sexe offre certaines particularités curieuses.

**Age.** — D'une manière générale, l'enfant produit à poids égal plus d'acide carbonique que l'adulte, fait qui est en rapport avec l'activité plus grande des échanges organiques à cet âge de la vie. M. P. Bert a toutefois démontré que ce fait cesse d'être vrai pour l'enfant nouveau-né et pour le fœtus. A cet âge les combustions sont encore fort peu actives, et par conséquent l'exhalation d'acide carbonique ainsi que l'absorption d'oxygène au niveau du poumon sont relativement faibles. M. P. Bert attribue à cette circonstance la résistance remarquable des nouveau-nés à l'asphyxie.

**Sexe.** — L'homme produit en général plus d'acide carbonique que la femme.

Mais chez lui cette production va croissant d'une manière régulière de 8 à 30 ans, pour décroître ensuite avec l'âge.

Chez la femme au contraire, MM. Andral et Gavarret ont signalé les particularités suivantes : la production d'acide carbonique croît jusqu'à l'apparition des premières règles, reste stationnaire jusqu'à l'époque de la ménopause, augmente à ce moment pendant un temps assez court, puis décroît comme chez l'homme