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 cellules 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, à nous physiologistes, de savoir que les parois qui terminent les bronches n'ont pas plus de 5 à 10 millièmes de ligne d'épaisseur. La membrane qui les forme est si mince et si transparente, dit M. Rainey (*Medico-chirurgical transact.*, t. XXVIII, p. 582 et suiv., 1845), qu'elle ne peut être vue que par la lumière transmise. Les vaisseaux venant former un réseau extrêmement riche sur ces cellules terminales ont des parois qui n'excèdent pas 2 millièmes de ligne. Ceci nous fait voir, qu'entre la cavité bronchique et le canal vasculaire, il n'y a qu'une membrane fort mince ayant à peine 10 à 12 millièmes de ligne d'épaisseur, ce qui est une excellente condition pour permettre le phénomène physique d'endosmose et d'exosmose. De plus, la division infinie des extrémités terminales des voies aériennes multiplie, à un degré merveilleux, l'étendue de la surface qui est en contact avec l'air. MM. Robin et Verdeil (*loc. cit.*, t. III, p. 522 et 523) font remarquer que les vaisseaux des dernières ramifications bronchiques sont tout à fait superficiels, séparés de la cavité même de la bronche seulement par l'épithélium, et que celui-là même n'est pas continu. En sorte que dans ces petites bronches, la muqueuse pulmonaire n'est représentée que par un réseau capillaire à mailles plus étroites que le diamètre des vaisseaux capillaires, lesquels sont recouverts extérieurement par une couche discontinue d'épithélium dont les cellules plutôt pavimenteuses que cylindriques sont immédiatement appliquées sur ce réseau. Quant à celui-ci, il rampe sur le tissu même de la paroi des conduits bronchiques terminaux, 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; comme 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.

Cette opinion vient à l'appui, ou du moins se rapproche beaucoup de celle de Magendie qui, se basant sur des expériences physiologiques, soutient que les bronches se rendent dans une trame celluleuse. On s'explique ainsi facilement l'absorption si prompte dans le poumon et plus difficile dans les autres organes revêtus d'une muqueuse. (Voyez Magendie, *Leçons faites au collége de France* recueillies et publiées par M. le docteur Fauconneau-Dufresne, 1851-52, p. 17.)

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.

§ I. — 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 bronchique.

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 composé d'oxygène, d'azote, d'une faible proportion d'acide carbonique et d'eau à divers états. A notre point de vue, nous ne devons pas nous occuper de l'hydrogène, de l'iode et de l'ozone que divers chimistes y ont mentionné dans ces derniers temps.

Le rapport en volume des trois premiers gaz est environ de 21 parties d'oxygène et de 79 parties d'azote. L'acide carbonique y est en trop petite quantité pour modifier la respiration des animaux, mais les plantes y puisent une grande partie du carbone qui entre dans leur composition: sur 1,000 parties d'air, il y en a 4/9 d'acide carbonique. La température de l'air atmosphérique est très variable, suivant une foule de circonstances.

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 un centième. D'un autre côté, les expériences de MM. Dumas et Boussingault ont prouvé que l'air ne peut pas être souillé par la respiration incessante de tous les êtres qui couvrent la surface de la terre.

2° *De la quantité d'air introduite dans les bronches à chaque inspiration.* — Elle est susceptible de varier suivant une foule de circonstances.

Dans la respiration calme, d'après Herbst, de Gottingue (1), un homme adulte, bien portant et de taille ordinaire, aspire de 20 à 25 pouces cubes d'air. Si c'est un homme de petite stature, il n'y aura que de 16 à 18 pouces cubes mis en circulation.

Dans les mouvements exagérés, la quantité d'air inspiré est de 90 pouces cubes au minimum, et de 240 au maximum.

D'après ces faits, on peut voir que, après une expiration ordinaire

(1) *Capacité du poumon dans l'état de santé et de maladie* (*Archives générales de médecine*, t. XXI, p. 412).

et lorsque nous nous disposons de nouveau à attirer de l'air dans nos poumons, nous pourrions encore, au lieu de faire une inspiration, expulser une énorme quantité d'air. Essayons, avec M. le professeur Bérard, de formuler ces différences de manière à les fixer dans la mémoire. Soit, dit-il, un homme adulte à poitrine bien développée : si sa respiration est calme, sa poitrine contiendra, après l'expiration, 175 pouces cubes d'air environ ; il attirera par l'inspiration 25 pouces cubes, il les rendra par l'expiration, et il continuera ainsi, ayant alternativement dans la poitrine 175 et 200 pouces cubes d'air.

Soit maintenant le même individu exécutant des mouvements exagérés de la respiration : il pourra pousser l'inspiration au point que sa poitrine contienne 250 pouces cubes au lieu de 200, et il pourra exagérer l'expiration au point que 80 pouces cubes seulement restent renfermés dans ses poumons. On pourrait, d'après cela, dresser le tableau suivant :

	QUANTITÉ D'AIR mise en circulation.	QUANTITÉ D'AIR contenue dans la poitrine après l'inspiration.	QUANTITÉ D'AIR restant dans la poitrine après l'expiration.
	Pouces cubes.	Pouces cubes.	Pouces cubes.
Respiration modérée.	25	200	175
Respiration exagérée.	170	250	80

Vous voyez, d'après ce tableau, que dans la respiration calme, la poitrine ne contient jamais tout ce qu'elle peut contenir, et qu'elle ne se vide jamais non plus de tout ce qu'elle peut expulser.

Vous voyez aussi que, depuis la respiration calme jusqu'à la respiration exagérée, la quantité d'air en circulation peut varier de 30 à 170 pouces cubes. Ces degrés peuvent se trouver en rapport avec différents états de l'économie, l'essoufflement, l'effort, la phonation, le chant, les grands exercices, qui, en accélérant la circulation, soumettent une plus grande quantité de sang à l'hématose, etc. Enfin, vous ne méconnaîtrez pas l'utilité de cette portion d'air qui reste dans la poitrine après l'expiration ; la circulation allant comme un torrent dans cet organe, il était bon qu'il y eût toujours de l'air en réserve pour vivifier le sang qui passe.

Il est impossible de continuer, pendant un certain temps, les mouvements exagérés d'inspiration et d'expiration; il faut déjà un grand effort pour admettre et rejeter un certain nombre de fois 40 pouces cubes d'air.

Dans l'inspiration calme, on observe, de temps à autre, une inspiration et une expiration plus grandes que celles qui les précèdent et que celles qui les suivent immédiatement.

Plusieurs circonstances peuvent modifier la quantité d'air inspiré

et la capacité du poumon ; elles ont été parfaitement étudiées par Herbst.

Un *vêtement serré* entrave la dilatation de la poitrine. Un homme qui, habillé, n'aspirait que 130 pouces cubes d'air, en introduisit 190 étant nu.

La capacité du poumon est moindre chez les personnes replètes, alors même qu'elles sont robustes.

Un homme d'une grande stature peut inspirer 240 pouces cubes et expirer 244 pouces cubes.

La capacité des poumons est proportionnellement moindre chez les femmes et chez les enfants.

Elle est moindre aussi dans l'état de maladie des viscères de la poitrine.

Enfin elle est proportionnellement moindre chez l'homme que chez les quadrupèdes.

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 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 23 pouces cubes d'air, ne fait perdre à l'air que 0,3 de pouce cube; puis, après une inspiration de 100 pouces cubes, le déficit dans l'air expiré s'élève à 1,3 pouce cube; enfin, après une inspiration de 141 pouces cubes, il fit perdre à l'air que la poitrine avait reçu 2 pouces cubes : cela constituerait une perte d'environ 1,70.

BIBLIOTECA

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 un litre de diminution. La perte peut être portée jusqu'à 1,24, 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 et 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 viscère. 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.

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 13 pouces cubes d'air, trouva 1 pouce 2/10 d'oxygène de moins dans l'air expiré. Après une inspiration de 100 pouces cubes, 3,8 pouces cubes d'oxygène avaient disparu. Après une inspiration de 141 pouces cubes, la perte d'oxygène s'élevait à 5 pouces cubes.

(1) *Annales de physique et de chimie*, t. XXVI, p. 337.

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 1 pouce cube (Abernety), 1 pouce 1/4 (Allen et Pepys), 1 pouce 1/2 (Dalton).

Par minute, elle est de 15 pouces cubes (Nysten), 27 (Allen et Pepys), 28 (Lavoisier), 30 (Dalton), 31 (Davy).

Par vingt-quatre heures, elle est de 745 décimètres cubes (Lavoisier et Davy). Si l'on calcule en poids ce serait de 1 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 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'auront absorbé qu'une quantité égale au poids de 15 ou 16 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme près de 134,000.

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 $1^{gr},183$, *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 150 livres ou 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 1gr.,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 animaux à sang chaud. Le *maximum* d'oxygène enlevé par les grenouilles a été de 0gr.,105, et le *minimum* de 0gr.,063. Le chiffre est à peu près le même pour la respiration des salamandres et des lézards engourdis ; mais ceux-ci, étant éveillés, consomment deux ou trois fois plus d'oxygène que les grenouilles.

Les *insectes* sont loin de ressembler aux reptiles à cet égard. La respiration des hannetons, par exemple, consomme à peu près autant d'oxygène, à poids égaux, que celle des lapins, des chiens et des poules. Il en est de même des vers à soie, mais leurs chrysalides n'en absorbent pas tout à fait autant que l'animal auquel elles succèdent.

La respiration des *vers de terre* ne diffère guère de celle des grenouilles.

L'état d'*inanition* diminue la quantité d'oxygène absorbé. Un lapin, nourri de carottes, avait absorbé par heure 3gr.,124 ; le même à l'inanition, n'absorbait plus que 2gr.,518. Un chien, qui consommait par heure 6gr.,592 d'oxygène ; quand il était nourri au pain, n'en consommait plus que 5gr.,054 quand il fut à l'inanition. Il s'agit ici de la consommation absolue et non de la consommation calculée pour 1 kilogramme de l'animal.

L'état de torpeur hibernale a une influence fort remarquable. Une marmotte qui, éveillée, avait absorbé 1gr.,190 d'oxygène, n'absorba plus, dans l'état de torpeur, que 0gr.,040.

L'absorption d'oxygène est plus grande chez les animaux maigres, mais bien portants, que chez les animaux très gras.

Enfin, un animal respirant dans un mélange d'oxygène et d'hydrogène absorbe plus du premier de ces gaz que dans le mélange d'oxygène et d'azote ; mais ce résultat ne s'obtient pas lorsque l'animal respire dans une atmosphère riche en oxygène, l'autre gaz étant

de l'azote. Dans ce cas, il ne prend pas plus d'oxygène que dans l'air atmosphérique. Sur ce point, les expériences de MM. Regnault et Reiset ne concordent point avec celles d'Allen et Pepys, qui ont vu un homme absorber jusqu'à 84 pouces cubes d'oxygène par minute dans une atmosphère où ce gaz était en excès. Ces derniers ont obtenu le même résultat pour la respiration des pigeons et des chiens placés dans les mêmes circonstances. Mais les expériences de Lavoisier et de Seguin, comme celles de MM. Regnault et Reiset, prouvent qu'ils se sont trompés.

De la modification de l'air dans sa quantité d'acide carbonique. — Acide carbonique expulsé par l'expiration.

Si Spallanzani a prouvé par ses expériences que l'absorption de l'oxygène est une propriété de toute matière organisée et même des substances organiques, comme la fibrine et autres principes voisins, il a prouvé aussi que *rejeter de l'acide carbonique est une autre propriété* de toute *matière organisée*, qu'elle manifeste même dans le vide. L'exhalation de l'acide carbonique est donc un fait aussi universel que celui de l'absorption de l'oxygène.

Nous allons rechercher : 1° quelle est la proportion d'acide carbonique exhalée dans chaque expiration ; 2° quelle quantité absolue est produite dans des temps successifs et égaux ; 3° quelles sont les circonstances physiologiques qui activent ordinairement cette excrétion ; 4° enfin, dans quel rapport marchent l'absorption d'oxygène et le dégagement d'acide carbonique.

1° *Proportion d'acide carbonique exhalée dans chaque expiration.* Sur 100 parties d'air en volume, il y a, après chaque expiration, de 3 à 5 parties d'acide carbonique (Abernethy, Davy, Proust, Dumas, Davy et Gay-Lussac, Coutanceau, Dulong, Despretz, Legallois, Apjohn, Bostock).

Cette proportion est variable, suivant beaucoup de circonstances. Ainsi, Coathupe a trouvé 4 pour 100 d'acide carbonique dans l'air rejeté par l'adulte ; les extrêmes sont 1,90 et 7,98 pour 100. Il a vu, comme Proust, que cette quantité varie suivant les heures du jour. M. le professeur Bérard a fait remarquer depuis longtemps dans ses cours, que si la respiration était lente, et que si l'expiration était quelque peu différée, l'air devait sortir plus altéré du poumon, et par conséquent plus chargé d'acide carbonique. Les expériences de Vierordt, publiées en 1845, ont confirmé cette vue.

Lorsque, dit ce dernier, la respiration est fréquente, la quantité d'acide carbonique expulsée à chaque expiration est beaucoup moins abondante que dans une expiration lente ; mais la quantité d'acide carbonique produite pendant un temps donné, par des respirations fréquentes, est plus forte que celle qui est rejetée par des expirations lentes.

A chaque expiration, quelle que soit sa durée, correspond une valeur constante d'acide carbonique de 2,5 pour 100, à laquelle s'ajoute encore une nouvelle quantité d'acide carbonique exactement proportionnelle à la durée de la respiration. Des expériences récentes faites par le docteur Horn (1) confirment entièrement cette opinion.

2° *Quantité d'acide carbonique produite dans des temps successifs et égaux.* — D'après Lavoisier et Seguin, ce serait 14,930 pouces cubes; MM. Andral et Gavarret sont arrivés à peu près au même résultat que Lavoisier et Seguin, et pour eux, un homme en vingt-quatre heures consomme 240 grammes de carbone. Dumas ne porte ce dernier chiffre qu'à 200 grammes.

Voici la quantité de carbone brûlée en vingt-quatre heures par différents animaux. Pour le cheval, 2,500; pour le lapin, 25 gram.; pour le cochon d'Inde, 6 grammes; pour le pigeon, 7 grammes; pour le chien, 33 grammes; pour le chat, 17 grammes; pour le grand duc, 15 grammes.

3° *Circonstances physiologiques qui augmentent ou diminuent cette excrétion.* — Nous avons déjà dit que Coathupe et Proust avaient constaté une variation suivant les heures du jour. Apjohn était arrivé au même résultat. D'après ces physiologistes, l'exhalation atteint son *summum* entre onze heures et midi.

Horn (*Gaz. méd.*, 1850, p. 902) a étudié ces variations avec beaucoup de soin. Les *minima*, au nombre de 4, sont : de six heures et demie du matin à huit heures; de midi et demi à une heure; de six heures du soir à huit heures, et de minuit à deux heures du matin. C'est de neuf heures du soir jusqu'après minuit que l'économie perd le moins d'acide carbonique.

D'après Proust, le vin, pris en excès, diminue cette exhalation. Vierordt a vu la quantité d'acide carbonique expiré diminuer presque à l'instant, dès qu'on a bu quelque liqueur spiritueuse, et cette diminution dure environ deux heures.

L'éthérisation a une influence remarquable. M. Ville a constaté que l'exhalation d'acide carbonique augmente à proportion que la sensibilité s'affaiblit, et diminue à mesure que la sensibilité revient. Ceci nous prouve une chose, c'est que l'acide carbonique a moins d'affinité pour le sang pendant cette influence. Ne pourrait-on pas s'expliquer par là le dégagement spontané du gaz dans le sang qui a eu lieu dans quelques cas, comme l'ont vu M. Gosselin et moi dans une autopsie que j'ai faite à l'Hôtel-Dieu, dans son service. On a remarqué, enfin, que pendant les mouvements modérés du corps, l'expiration de l'acide carbonique était au moins d'un tiers plus grande que dans l'état de repos.

MM. Paul Hervier et V. Lagier (2) ont étudié l'influence de l'air

(1) *Gazette médicale*, 1850, p. 317.
(2) *Gazette des hôpitaux*, 1849, p. 374.

comprimé sur la quantité d'acide carbonique exhalée. Jusqu'à la pression de 775 millimètres, l'exhalation augmente; elle diminue dès que la pression devient plus considérable. Au sortir du bain d'air comprimé, l'exhalation d'acide carbonique s'accroît, et cet accroissement se soutient pendant quelques heures.

MM. Andral et Gavarret ont étudié avec infiniment de soin les différences en rapport avec l'âge, le sexe, la constitution, et, pour les femmes, les périodes menstruelles et la grossesse.

Depuis l'âge de huit ans jusqu'à celui de la puberté, la quantité d'acide carbonique exhalé augmente sans cesse à mesure que l'individu avance en âge; seulement cette quantité est toujours plus grande chez les enfants du sexe masculin que chez ceux du sexe féminin. Ainsi, en représentant la quantité d'acide carbonique par le carbone qu'il contient, ils ont trouvé qu'un enfant mâle de huit ans brûle en une heure 5 grammes de carbone, tandis que celui de quinze ans en consomme $8^{gr.},7$. Chez les petites filles, la quantité est un peu moindre, de telle façon que, pendant toute la durée de la seconde enfance, la moyenne de l'acide carbonique exhalé en une heure est représentée par $6^{gr.},4$ de carbone pour le sexe féminin, $7^{gr.},4$ pour le sexe masculin.

Après la puberté, MM. les professeurs Andral et Gavarret ont noté une remarquable différence entre l'homme et la femme : chez l'homme, l'exhalation d'acide carbonique va sans cesse en augmentant depuis quinze ans jusqu'à trente ans; puis elle décroît à partir de cet âge jusqu'à la fin de la vie. Ainsi, ils ont trouvé que, entre quinze et vingt ans, la moyenne de carbone brûlé en une heure s'élève à $10^{gr.},8$; de vingt à trente, la moyenne est de $12^{gr.},2$; de trente à quarante, la moyenne descend à 11; de quarante à soixante ans, elle n'est plus que de $10^{gr.},1$; de soixante à quatre-vingts ans, $9^{gr.},2$. Sur un vieillard de cent deux ans, la consommation de carbone n'était que de $5^{gr.},9$.

Chez la femme, la quantité d'acide carbonique exhalé est toujours la même, tant que dure la menstruation. Ainsi, chez une femme adulte bien réglée, quel que soit l'âge, la moyenne est représentée par $6^{gr.},9$ de carbone par heure, à peu près comme cela a lieu chez les jeunes filles prises dans la seconde enfance. On remarque, en outre, que pendant la grossesse, la quantité augmente, et la moyenne s'élève à 8 grammes par heure, pour reprendre, après l'accouchement et le rétablissement des règles, la moyenne indiquée tout à l'heure. Un des buts de la menstruation serait donc de suppléer, jusqu'à un certain point, à la respiration. Enfin, MM. Andral et Gavarret ont montré qu'à tous les âges, l'exhalation d'acide carbonique est d'autant plus abondante, que la constitution est plus vigoureuse. Sur un jeune homme de vingt-six ans, d'une constitution athlétique, ils ont trouvé que la consommation de carbone s'élevait jusqu'à $14^{gr.},1$ par heure. Sur un vieillard de quatre-vingt-douze ans

dont le système musculaire avait encore de la force, la quantité était de 8gr.,8, chiffre énorme, si on le compare à ceux que nous venons d'indiquer pour les vieillards même moins avancés en âge.

Dans certaines maladies, cette exhalation est diminuée. Tel est le typhus, d'après Malcolm.

4° *Rapport entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique exhalé.* — Il s'agit de savoir si tout l'oxygène absorbé pourrait être retrouvé dans l'acide carbonique exhalé. Pour cela, il faut chercher si le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique égale le poids de l'oxygène consommé, ou bien si le volume de l'acide carbonique exhalé est égal au volume d'oxygène enlevé, puisque l'on sait qu'un volume d'acide carbonique représente exactement le volume de l'oxygène qui entre dans sa composition.

L'observation démontre, et cela est digne d'attention, que ces deux valeurs se suivent en général, mais avec quelques fluctuations et sans que l'oxygène de l'acide carbonique représente tout l'oxygène enlevé. Il y a *presque toujours un déficit:* les exceptions à cette loi sont excessivement rares.

Allen et Pepys sont les seuls qui aient cru voir que le volume de l'acide carbonique formé égalait celui de l'oxygène enlevé. Ces résultats sont fautifs, et l'opinion que nous avons émise s'appuie sur les expériences de Dulong, Despretz, Brunner et Valentin, Regnault et Reiset.

On a cherché si ce déficit est le même dans toutes les espèces animales et s'il n'y avait pas une variation suivant le régime.

Il est plus grand chez les carnivores que chez les herbivores. Le poids de l'oxygène enlevé étant représenté par 1000, celui de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique n'était que de 0,745 dans sept expériences sur des chiens (MM. Regnault et Reiset); tandis que la moyenne sur six lapins s'élève à 0,919. Le chiffre est encore plus élevé chez les oiseaux. Il est de 0,927 chez les poules, et quelquefois 0,998. Chez les petits oiseaux, eux qui enlèvent une si grande quantité d'oxygène, la portion d'acide carbonique n'était pas aussi grande que chez les poules: elle ne s'éleva qu'à 0,700 ou 0,800. La proportion pour les grenouilles est 0,698, et pour les insectes 0,791.

Le rapport entre la quantité d'oxygène contenu dans l'acide carbonique et la quantité totale d'oxygène consommé paraît dépendre beaucoup plus de la nature des aliments que de la classe à laquelle appartient l'animal. Ce rapport est le plus grand lorsque les animaux se nourrissent de grains, et il dépasse alors souvent l'unité. Quand ils se nourrissent exclusivement de viande, ce rapport est plus faible et varie de 0,62 à 0,80. Avec le régime des légumes, le rapport est en général intermédiaire entre celui que l'on observe avec le régime de la viande et celui que donne le régime du pain.

Ce rapport est à peu près constant pour les animaux de même espèce qui sont soumis à une alimentation parfaitement uniforme,

comme cela est facile à réaliser pour les chiens; mais il varie notablement pour les animaux d'une même espèce et pour le même animal soumis au même régime, mais dont on ne peut régler l'alimentation, comme pour les poules.

Lorsque les animaux sont à l'inanition, le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé est à peu près le même que celui que l'on observe pour le même animal soumis au régime de la viande; il est cependant, en général, un peu plus faible. L'animal, à l'inanition, ne fournit à la respiration que sa propre substance, qui est de la même nature que la chair qu'il mange lorsqu'il est soumis au régime de la viande. Tous les animaux à sang chaud présentent donc, lorsqu'ils sont à l'inanition, la respiration des animaux carnivores.

Le rapport entre l'oxygène contenu dans l'acide carbonique et l'oxygène total consommé varie, pour le même animal, depuis 0,62 jusqu'à 1,64, suivant le régime auquel il est soumis. Il est donc bien loin d'être constant, comme l'ont admis Brunner et Valentin. (Regnault et Reiset.)

On voit, d'après tous ces faits, que la privation de nourriture a le double résultat de diminuer la quantité absolue d'oxygène absorbé et la proportion d'acide carbonique formé, eu égard à l'oxygène enlevé.

Dans un milieu riche en oxygène, mais qui reste cependant composé d'oxygène et d'azote, la quantité absolue d'oxygène enlevé et le rapport entre cet oxygène et l'acide carbonique exhalé ne changent pas sensiblement. Déjà Lavoisier avait vu que l'acide carbonique n'était pas plus abondant quand un animal respirait dans l'oxygène pur. Allen et Pepys ont cru que cette quantité était plus considérable.

De la modification de l'air dans sa quantité d'azote. Exhalation d'azote.

Il est aujourd'hui incontestable que l'air qui sort du poumon après une expiration est plus chargé d'azote que celui qui y entre. Cela a été constaté par Berthollet, Collard de Martigny, Despretz, Lassaigne et Yvan, Marchand, Boussingault, Barral, Regnault et Reiset.

Voici les résultats fournis par les expériences de ces derniers.

1° Lorsque les animaux à sang chaud, mammifères et oiseaux, sont soumis à leur régime alimentaire habituel, ils dégagent toujours de l'azote; mais la quantité de ce gaz exhalée est très petite : elle ne s'élève jamais à $\frac{2}{400}$ du poids de l'oxygène total consommé, et le plus souvent elle est moindre que $\frac{1}{200}$.

2° Lorsque les animaux sont à l'inanition, ils absorbent souvent de l'azote, et la proportion de l'azote absorbé varie entre les mêmes

limites que celles de l'azote exhalé dans le cas où les animaux sont soumis à leur régime habituel. L'absorption de l'azote s'est montrée presque constamment chez les oiseaux à l'inanition, mais très rarement chez les mammifères.

3° Lorsque après avoir été plusieurs jours à l'inanition, l'animal est soumis à un régime alimentaire très différent de son régime habituel, il absorbe souvent encore de l'azote pendant quelque temps, probablement jusqu'à ce qu'il se soit fait à son nouveau régime; il rentre alors dans le cas général et dégage de l'azote. Ce fait n'a été constaté que sur des poules qui, après avoir été plusieurs jours à l'inanition, échangeaient leur régime de grain pour un régime de viande seule.

4° Lorsque l'animal est souffrant par suite du régime alimentaire auquel il est soumis, ou peut-être par d'autres causes, il absorbe encore de l'azote. Cette absorption de l'azote a été constamment observée dans les expériences faites sur un canard malade qui mourut quelque temps après.

Ces alternatives de dégagement et d'absorption d'azote que présente le même animal lorsqu'il est soumis à divers régimes, est favorable à l'opinion d'Edwards, qui admet que le dégagement et l'absorption d'azote ont toujours lieu simultanément pendant la respiration et que l'on n'observe jamais que les résultats de ces deux effets contraires.

Les frugivores exhalent plus d'azote que les carnivores (Despretz, Dulong).

Historique. — Avant qu'on fût arrivé à connaître ainsi l'exhalation d'azote, il y avait dans la science des opinions qu'il faut passer rapidement en revue :

1° Les uns disaient qu'il y avait moins d'azote dans l'air expiré que dans celui qui était inspiré (Priestley, Abernethy, Henderson, Davy, Allen et Pepys, Humboldt, Provençal). On portait la quantité absorbée jusqu'à 3, 4, 5 pouces cubes par minute.

2° D'autres chimistes, parmi lesquels se trouve Lavoisier, disent que la proportion d'azote inspiré et expiré reste la même, de sorte qu'il n'y aurait ni exhalation ni absorption.

3° D'autres prétendent que l'azote de l'air expiré est tantôt en plus, tantôt en moins, tantôt en même quantité que l'azote de l'air inspiré (Nysten, Dulong, Treviranus, etc.).

4° Enfin nous avons déjà vu qu'Edwards soutenait qu'il y avait à la fois absorption et exhalation d'azote; que tantôt l'exhalation l'emportait sur l'absorption, que tantôt c'était le contraire, et que parfois l'exhalation et l'absorption se faisaient équilibre.

De la modification de l'air dans la vapeur aqueuse. Transpiration pulmonaire.

Nous avons déjà dit que dans l'air atmosphérique il y a toujours une certaine quantité de vapeur aqueuse; mais, quand l'air sort de la poitrine, on le trouve chargé d'une plus grande quantité de cette vapeur, entraînant avec elle une petite proportion de matière animale : c'est ce qui constitue la *transpiration pulmonaire*. Lorsque la température extérieure ne dépasse pas 40 ou 43 degrés Fahrenheit, on voit cette vapeur, condensée tout à coup au sortir de la bouche ou du nez, apparaître sous forme d'une sorte de nuage. Dans l'air plus dense de quelques souterrains profonds, Haller a vu cette vapeur se condenser alors que la température n'était pas plus basse que 53 degrés Fahrenheit. Cette vapeur ternit momentanément une glace ou les métaux brillants sur lesquels on la reçoit. Dans les cas où la mort est douteuse, on a conseillé de placer une glace à l'entrée des voies aériennes pour voir si elle se ternit ou non. Mais ce moyen peut être infidèle.

Cette vapeur ne vient pas seulement des vésicules bronchiques, elle est formée aussi par toute la muqueuse des voies aériennes. L'expérience suivante de Magendie le prouve. Si l'on adapte une seringue à une plaie faite à la trachée d'un animal, et si l'on pousse de l'air dans la trachée, dans le sens de l'expiration, cet air, qui n'a pas traversé le poumon, entraîne cependant une vapeur aqueuse facile à démontrer. Certains cas de fistules de la trachée ont permis de constater chez l'homme ces origines multiples de la vapeur dite *pulmonaire*.

Sa *quantité* est difficile à déterminer. D'après Floyer, elle est de 3 onces par vingt-quatre heures; d'après Sanctivius et Lister, elle est d'une demi-livre et plus dans le même espace de temps. Seguin l'évalue à 15 onces; Hales, à 1 livre 39 centièmes, et Home à 23 onces.

Sa *composition* montre qu'elle est presque exclusivement formée d'eau à laquelle il se joint une petite quantité de matière animale qui se putréfie dans les vases où l'on a renfermé de l'air expiré.

Brunner et Valentin démontrent par un autre procédé l'existence d'une matière organique dans la vapeur expirée. L'acide carbonique, au travers duquel nous avons expiré, disent-ils, devient rougeâtre; mais la quantité de matière organique est si petite, que nous n'avons pu lui donner un chiffre certain.

Accidentellement, la vapeur pulmonaire se charge des principes volatils qui ont été ingérés dans le tube digestif, tels que ceux de l'ail, de l'alcool, du camphre, du musc. Le phosphore s'échappe du poumon par les narines sous la forme d'un nuage épais et blanchâtre, qui, dans l'obscurité, devient lumineux, d'après de Montgarny.

La force aspiratrice par laquelle la poitrine attire l'air dans les voies aériennes paraît, en même temps, exercer une influence sur la perspiration pulmonaire. Breschet et Milne Edwards ont supprimé cette force aspiratrice en ouvrant la poitrine d'animaux vivants auxquels ils établissaient la respiration artificielle; ils ont vu alors que les substances volatiles ne parvenaient plus dans la perspiration pulmonaire ou qu'elles n'y parvenaient pas d'une manière si prompte ni en aussi grande quantité.

§ II. — Action de la respiration sur le sang.

Les artères pulmonaires amènent au poumon du sang *veineux*, les veines pulmonaires ramènent au cœur du sang *artériel*. C'est dans les capillaires du poumon, par le contact de l'air, que cette transformation s'est opérée. Quelles sont les différences que ce conflit a établies entre les deux sangs? Qu'y a-t-il de plus ou de moins? En d'autres termes, quelles modifications la respiration amène dans le sang? C'est ce qui nous reste à examiner.

Le sang artériel diffère du sang veineux par sa couleur, son odeur, sa température, sa capacité pour le calorique, sa pesanteur spécifique, sa coagulation et la quantité du sérum. Il en diffère encore par sa composition chimique.

1° *Couleur dans les deux sangs.* — C'est là la différence la plus frappante. Le sang artériel est rutilant, écarlate, d'une teinte beaucoup moins foncée que celle du sang veineux. Cette différence est très tranchée dans les animaux à respiration aérienne et à double circulation. Le mélange des deux sangs chez les reptiles efface presque complétement cette différence. Dans les capillaires, les deux teintes se confondent; le sang qui y entre rouge en sort noir.

2° *Odeur et saveur des deux sangs.* — L'odeur du sang artériel est forte, et sa saveur plus prononcée que dans le sang veineux.

3° *Température des deux sangs.* — Nous avons déjà vu (*Chaleur animale*, p. 19) que le sang artériel avait une température plus élevée que celle du sang veineux. Suivant Davy, la différence serait de 1 degré à 1 degré 1/2 Fahr. C'est ce que confirment Krimer et Scudamore, Autenrieth, Mayer.

4° *Capacité pour le calorique.* — Davy affirme que la capacité calorique du sang artériel est à celle du sang veineux comme 10,11 : 10,10. Elle n'offre point la différence que Crawford admettait pour expliquer la formation de la chaleur.

5° *Pesanteur spécifique des deux sangs.* — Le sang artériel et le sang veineux ont à peu près la même pesanteur spécifique.

6° *Différences dans la coagulabilité des deux sangs.* — Berthold et Blundell attestent que le sang veineux se coagule avec plus de promptitude que le sang artériel. Schroeder van der Kolk (*De respirationis chymismo*, Trajecti ad Rhenum, 1836) vient appuyer cette opinion. D'après Blundell, il y aurait une différence de 2 minutes dans le sang de l'homme. La différence a été de 1 à 4 minutes chez des agneaux, selon J. Davy, et de 1/2 minute chez des veaux et des chèvres, d'après Berthold. La même différence a été trouvée par Saissy.

7° *Proportion des parties liquides aux solides dans les deux sangs.* — D'après Pallas, la proportion des parties solides aux liquides était dans le sang veineux humain comme 2,550 : 17,400; dans le sang pris dans les capillaires au moyen des ventouses, cette proportion était comme 3,000 : 17,400; et, enfin, dans du sang retiré au moyen des sangsues, c'était 3,000 : 17,35. Dans le sang veineux d'un autre homme, la proportion fut 2,550 : 18,800, et dans le sang des capillaires 2,650 : 18,100. Denis, Burdach et Autenrieth sont arrivés au même résultat.

Quelques personnes ont contesté que les solides fussent en plus grande quantité dans le sang artériel. Ainsi, Abilgaard et Lassaigne sont arrivés à ce résultat dans leurs expériences; mais ces auteurs se sont évidemment trompés.

8° *De la proportion des principes tant organiques qu'inorganiques dans les deux sangs.* — De l'aveu de presque tous les auteurs, il est clair que le rôle principal de la respiration c'est de former la fibrine du sang. Sigward cependant pense que le sang veineux contient une plus grande partie de ce principe que le sang artériel. Cette opinion fut embrassée ensuite par Lassaigne, qui, sur 1,000 parties de sang veineux du chien, trouva 2,10 de fibrine, tandis que dans le sang artériel il n'y en avait que 2,09. D'autres professent une opinion contraire. Ainsi, Mayor trouve une plus grande partie de fibrine dans le sang artériel du même animal que dans le sang veineux. Proust et Dumas, Denis, Berthold, Mueller, sont arrivés aux mêmes résultats sur des chiens, des chats et des chèvres.

Denis et Blainville (*Cours de physiologie générale et comparée*, 1829, p. 219) ont trouvé une plus grande quantité d'albumine dans le sang veineux. Ils contestent aussi que dans le même sang les sels et l'osmazôme prédominent; mais ils sont contredits par une foule d'auteurs.

Prevost, Dumas, Wedemeyer, Pallas, attribuent une moindre quantité de cruor au sang veineux qu'au sang artériel.

9° *Proportion des carbonates alcalins dans les deux sangs.* — Suivant Mitscherlich, Tiedemann et Gmelin, il y a plus de sous-carbonate alcalin dans le sang veineux que dans le sang artériel. 10,000 parties de sang veineux contiennent, disent-ils, 12,3 d'acide carbonique combiné; tandis que 10,000 parties de sang artériel ne contiennent que 8,3 au plus de cet acide. Nous ferons plus loin une application de cette donnée.

10° *De l'oxygène dans les deux sangs.* — L'oxygène est en plus grande quantité dans le sang artériel que dans le sang veineux; en