

pense qu'après une expiration complète, le poumon contient encore 1786 centimètres cubes; Menziès assure que cette quantité est plus forte, et qu'elle s'élève à 2923 c. c.

Suivant Davy, après une expiration forcée, ses poumons retiennent encore 672 c. c., et,

Après une expiration naturelle. . . .	1933 c. c.
Après une inspiration naturelle. . . .	2212
Après une inspiration forcée. . . .	6412
Après une expiration forcée après une inspiration forcée, il sortit des poumons.	3113
Après une inspiration naturelle. . . .	1286
Après une expiration naturelle. . . .	1106

Quantité d'air contenu habituellement dans le poumon.

Quantité d'air qui sert à la respiration en 24 heures.

M. Thomson croit qu'on ne s'éloignerait pas beaucoup de la vérité, en supposant que la quantité ordinaire d'air contenu dans les poumons est de 4588 centimètres c., et qu'il en entre et qu'il en sort à chaque inspiration ou expiration, 655 c. c. Ainsi, en supposant 20 inspirations par minute, on aura, pour la quantité d'air entré ou sorti des poumons dans cet intervalle de temps, 13100, c. c.; ce qui, pour une heure, fait 786 décimètres c., et pour les 24 heures environ 19 mètres c., ou à peu près 24 kilogrammes.

Les chimistes ont fait un grand nombre d'expériences pour déterminer si le volume de l'air diminue par son séjour dans le poumon. En tenant compte des expériences les plus récentes, par

MM. Dulong et Despretz, cette diminution est assez considérable; M. Despretz, ayant fait respirer six petits lapins dans quarante-neuf litres d'air pendant deux heures, trouva une diminution d'un litre.

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. Outre ce changement de volume, l'air inspiré se charge de vapeur qui s'élève continuellement de la membrane muqueuse des voies aériennes, et c'est ainsi que, chaud et humide, il arrive aux lobules pulmonaires; enfin la portion d'air dont nous parlons se mêle à celle que contenaient les poumons.

Mais l'expiration succède bientôt à l'inspiration: il ne s'écoule guère ordinairement entre elles plus de quelques secondes; l'air que contient le poumon, pressé par les puissances expiratrices, s'échappe en parcourant, en sens inverse de l'air inspiré, le canal respiratoire.

Il faut remarquer ici que la portion d'air expirée n'est pas précisément celle qui avait été inspirée précédemment, mais une partie de la masse

Changements physiques de l'air inspiré.

Renouvellement partiel de l'air que contient le poumon.

	<i>Sang artériel.</i>	<i>Sang veineux.</i>
Carbone	50,2	55,7
Azote	16,3	16,2
Hydrogène	6,6	6,4
Oxigène	26,3	21,7 (1)

J'ai décrit plus haut les changements que l'air éprouve dans les poumons ; je viens de dire ceux qui arrivent au sang veineux en traversant ces organes. Voyons maintenant quelle liaison peut être établie entre ces deux ordres de phénomènes.

Coloration
du sang.

La coloration du sang dépend bien évidemment de son contact médiat avec l'oxigène ; car, si tout autre gaz se trouve dans le poumon, ou seulement si l'air atmosphérique n'est pas convenablement renouvelé, le changement de couleur n'a plus lieu. Il se manifeste de nouveau aussitôt qu'on permet l'introduction de l'oxigène dans les lobules pulmonaires.

Il est facile de voir le phénomène de la coloration du sang veineux, même sur le cadavre. Souvent, aux approches de la mort, le sang veineux s'accumule dans les vaisseaux du poumon ; les lobules bronchiques étant dépourvus d'air, il conserve les propriétés veineuses long-temps après la mort. De l'air atmosphérique poussé dans la tra-

(1) Voyez *Annales de chimie*, décembre 1832, t. 51.

chée, de manière à distendre le tissu du poumon, fait aussitôt changer la couleur rouge brun du sang accumulé en rouge vermeil.

Le même phénomène arrive toutes les fois que le sang veineux est en contact avec l'oxigène ou l'air atmosphérique. Du sang tiré d'une veine et exposé à l'air rougit d'abord à sa surface, et ensuite la couleur rouge gagne peu à peu toute la masse, le contact immédiat n'est pas même nécessaire ; contenu dans une vessie, et plongé dans du gaz oxigène, le sang devient écarlate. Ainsi, la paroi vasculaire très-mince qui, dans le poumon, est placée entre l'air atmosphérique et le sang ne peut être considérée comme un obstacle à la coloration de celui-ci.

Mais comment le gaz oxigène produit-il le changement de couleur du sang veineux ? Les chimistes ne sont pas d'accord sur ce point. Les uns pensent que le gaz se combine directement avec le sang ; les autres croient que c'est en enlevant au sang une certaine quantité de carbone ; et quelques uns ne sont pas éloignés de croire que ces deux effets ont lieu en même temps ; mais aucune de ces explications ne rend raison du changement de couleur.

Plusieurs chimistes ont attribué la coloration du sang au fer. Cette opinion est rejetée maintenant, comme très-douteuse ; cependant elle serait d'autant moins invraisemblable que, si l'on

Respiration
après la mort.

sépare ce métal de la partie colorante du sang, cette substance, dont la couleur est rouge, vineuse, perd la propriété de devenir écarlate par le gaz oxygène (1).

Transpira-
tion
pulmonaire.

On conçoit plus aisément la déperdition de sérum qu'éprouve le sang dans la respiration : cela tient très-probablement à ce qu'une certaine quantité de sérum s'échappe des dernières divisions de l'artère pulmonaire, et vient se vaporiser dans l'air que contiennent les lobules. Cette vapeur sort ensuite avec l'air expiré, sous le nom de *transpiration pulmonaire*.

Il ne faut pas croire cependant que toute la vapeur qui sort dans l'expiration provienne du sang de l'artère pulmonaire ; je ferai voir plus tard qu'une partie assez considérable de cette vapeur est formée aux dépens du sang artériel qui est distribué à la membrane muqueuse des voies aériennes.

Expériences
sur la
transpiration
pulmonaire.

Dans ses premières recherches sur la respiration, Lavoisier avait cru qu'il pouvait y avoir combustion d'hydrogène dans les poumons, et formation d'une certaine quantité d'eau. Cette eau aurait formé une partie de la transpiration pulmonaire.

(1) Il ne faut pas confondre la matière colorante du sang, décrite par MM. Brande et Vauquelin, avec l'hématine, qui est la matière colorante du bois de campêche, et qui a été découverte par M. de Chevreul.

Mais cette idée n'est plus admise aujourd'hui, et la transpiration du poumon est considérée, ainsi qu'il vient d'être dit, comme le résultat du passage dans les vésicules bronchiques d'une partie du liquide qui parcourt l'artère pulmonaire.

L'anatomie met sur la voie de ce phénomène. Une injection d'eau poussée dans l'artère pulmonaire passe sous la forme d'une innombrable quantité de gouttelettes presque imperceptibles dans les cellules aériennes, et se mêle à l'air qu'elles contiennent.

Sur les animaux vivants, on augmente à volonté la quantité de la transpiration pulmonaire, en injectant de l'eau distillée, à une température voisine de celle du corps, dans le système veineux, comme le prouve l'expérience suivante : Prenez un chien de petite taille, injectez à diverses reprises un volume considérable d'eau : l'animal sera d'abord dans un état de véritable pléthore, ses vaisseaux seront même tellement distendus, qu'il aura peine à se mouvoir ; mais, au bout de quelques instants, les mouvements respiratoires s'accéléreront sensiblement, et de tous les points de la gueule s'écoulera en abondance un liquide dont la source est évidemment la transpiration du poumon considérablement augmentée.

Ce n'est pas seulement la partie aqueuse du sang qui s'échappe par la transpiration pulmonaire : j'ai montré, par des expériences particu-

Expériences
sur la
transpiration
pulmonaire.

lières, que plusieurs substances, introduites dans les veines par l'absorption ou par une injection directe, ne tardent pas à sortir par le poumon. De l'alcool faible, une dissolution de camphre, de l'éther, ou autres substances odorantes, introduites dans la cavité du péritoine ou ailleurs, sont bientôt absorbées par les veines, transportées au poumon; elles passent dans les vésicules bronchiques, et se font connaître par leur odeur dans l'air expiré.

Le phosphore se comporte de même; non seulement son odeur est sensible dans l'air expiré, mais sa présence est facile à constater d'une manière encore plus positive.

Injectez dans la veine crurale d'un chien une demi-once d'huile dans laquelle du phosphore aura été dissous: à peine aurez-vous fait l'injection, que l'animal rendra par les narines des flots d'une vapeur épaisse et blanche, qui n'est autre chose que de l'acide phosphoreux. Si vous faites l'expérience dans l'obscurité, ce sont des flots de lumière qui s'échappent avec l'air expiré (1).

Il résulte d'expériences intéressantes faites par Nysten, que les gaz se comportent à peu près de

(1) L'idée de faire cette expérience dans l'obscurité appartient à M. Armand de Montgarny, jeune médecin de beaucoup de mérite, que la mort a frappé au milieu de ses premiers travaux.

la même manière; c'est-à-dire qu'après avoir été injectés dans les veines, ils sortent avec l'air expiré.

Quelques tentatives ont été faites pour déterminer la quantité de vapeur qui s'échappe du poumon d'un homme adulte en vingt-quatre heures. Les dernières, qui sont dues à M. Thomson, la mettent à environ 590 grammes; Lavoisier et Séguin l'avaient estimée autrefois à 560 grammes: il est probable qu'elle doit être très-variable, suivant une multitude de circonstances.

On n'est pas d'accord sur la manière dont se forme l'acide carbonique que contient l'air expiré. Ceux-ci croient qu'il existait tout formé dans le sang veineux, et qu'il est exhalé au moment du passage à travers le poumon; ceux-là pensent qu'il résulte de la combustion directe du carbone du sang veineux par l'oxygène: ni l'une ni l'autre de ces deux opinions n'est suffisamment démontrée; peut-être les deux effets ont-ils lieu en même temps. Par la même raison qu'on n'est pas instruit sur le mode de formation de l'acide carbonique, on manque de données sur le rôle que joue l'oxygène dans la respiration. Les uns disent qu'il est employé à brûler le carbone du sang veineux; les autres veulent qu'il passe dans les veines pulmonaires, et d'autres enfin pensent qu'il remplit à la fois les deux offices.

Toute cette partie de la chimie animale demande de nouvelles recherches.

Quantité
de la
transpiration
pulmonaire.

Formation
de l'acide
carbonique.

Action
de l'oxygène.

que contenait le poumon après l'inspiration ; et si l'on compare le volume d'air que contiennent habituellement les poumons, avec celui qui est inspiré et expiré à chaque mouvement de respiration, on supposera avec raison que l'inspiration et l'expiration ont pour but de renouveler en partie la masse considérable d'air renfermé dans les poumons. Ce renouvellement sera d'autant plus considérable que la quantité d'air expiré sera plus forte, et que l'inspiration qui suivra sera plus complète.

Propriétés physiques et chimiques de l'air qui sort des poumons.

Propriétés
physiques et
chimiques
de l'air des
poumons.

A sa sortie du poumon, l'air a une température voisine de celle du corps ; avec lui s'échappe de la poitrine une certaine quantité de vapeur nommée *transpiration pulmonaire* ; en outre sa composition chimique est différente de celle de l'air inspiré.

Quantité
d'oxygène
absorbé.

Au lieu de 0,21 d'oxygène et d'une trace d'acide carbonique que présente l'air atmosphérique, l'air expiré offre 0,18 ou 0,19 d'oxygène ; de 0,2 à 0,3 centièmes d'acide carbonique. En général, la quantité d'acide carbonique est inférieure à celle de l'oxygène disparu : d'après les dernières expériences de MM. Dulong et Despretz, cette différence pourrait aller jusqu'au tiers pour les animaux carnivores, et seulement au dixième, terme moyen, pour les animaux herbivores.

Pour évaluer la quantité d'oxygène consommé par un homme adulte en vingt-quatre heures, il ne faut que se rappeler la quantité d'air respiré pendant cet intervalle. D'après Lavoisier et H. Davy, 512 centimètres cubes sont consommés en une minute, ce qui, pour vingt-quatre heures, donne 745 décimètres cubes.

Il n'est pas plus difficile d'apprécier la quantité d'acide carbonique qui sort du poumon dans le même temps, puisqu'elle représente au moins les deux tiers de l'oxygène disparu. M. Thomson l'évalue à 655 c. c., quoiqu'elle soit, dit-il, probablement un peu moindre : or, cette quantité d'acide carbonique représente environ 340 grammes de carbone.

Quantité
d'acide
carbonique
formé.

Quelques chimistes disent qu'il y a disparition d'une petite quantité d'azote pendant la respiration ; ce fait ne s'est pas vérifié dans les recherches récentes. D'autres pensent, au contraire, que la quantité de ce gaz est sensiblement augmentée ; ce dernier résultat vient d'être mis hors de doute par les travaux de MM. Edwards, Dulong et Despretz, qui ont toujours trouvé un accroissement sensible de l'azote dans l'air où des animaux avaient respiré un certain temps.

Exhalation
de l'azote par
le poumon.

Nous sommes avertis du degré d'altération que subit l'air dans nos poumons par un sentiment qui nous porte à le renouveler : à peine sensible dans la respiration ordinaire, parce que nous nous

Instinct qui
nous porte
à respirer.

hâtons d'y obéir, il devient douloureux s'il n'est pas assez promptement satisfait ; à ce degré, il est accompagné d'anxiété et d'effroi, avertissement instinctif de l'importance de la respiration.

Tandis que l'air contenu dans les poumons est ainsi modifié dans ses propriétés physiques et chimiques, le sang veineux traverse les ramifications de l'artère pulmonaire, qui forment en partie le tissu des lobules du poumon ; il passe dans les radicules des veines pulmonaires, et bientôt parcourt ces veines elles-mêmes ; mais, en passant des unes dans les autres, il change de nature, et de veineux il devient artériel.

Examinons les phénomènes de cette transformation.

Changement du sang veineux en sang artériel.

Transforma-
tion du
sang veineux
en
sang artériel.

Au moment où le sang veineux traverse dans les petits vaisseaux des lobules pulmonaires, il prend une couleur écarlate, son odeur devient plus forte, sa saveur plus prononcée ; sa température s'élève d'environ un degré ; une partie de son sérum s'échappe sous la forme de vapeur dans le tissu des lobules et se mêle à l'air. Sa tendance pour se coaguler augmente sensiblement, fait exprimé généralement en disant que sa *plasticité* devient plus forte ; sa pesanteur spécifique diminue, ainsi que sa capa-

cité pour le calorique. Le sang veineux ayant acquis ces caractères est du sang artériel.

Afin de rendre plus évidentes les différences du sang veineux et du sang artériel, nous les opposons dans le tableau suivant :

Différences principales du sang veineux et du sang artériel.

	<i>Sang veineux.</i>	<i>Sang artériel.</i>
Couleur.	rouge brun.	rouge vermeil.
Odeur.	faible.	forte.
Température.	31° R.	près de 32° R.
Capacité pour le calorique.	852 (1).	839.
Pesanteur spécifique.	1051 (2).	1049.
Coagulation.	moins prompte.	plus prompte.
Sérum.	plus abondant.	moins abondant.

L'analyse élémentaire des sangs artériel et veineux a donné à MM. Macaire et Marcel le moyen d'établir entre ces deux liquides une différence prononcée, et qui porte spécialement sur la quantité d'oxygène et de carbone qui entre dans leur composition.

Voici le résultat de leur analyse, faite par l'oxide de cuivre après avoir desséché le sang dans le vide par l'acide sulfurique et l'avoir réduit en poudre d'un beau rouge clair pour le sang artériel et d'un rouge brunâtre pour le sang veineux.

(1) L'eau étant 1000. J. DAVY, *Trans. philos.* 1815.

(2) L'eau étant 1000. *Loc. cit.*