

et Reiset ont fait la même observation. En substituant l'hydrogène à l'azote dans l'atmosphère de leur appareil, ils ont vu les chiens et les grenouilles respirer de la même manière que dans l'air atmosphérique normal¹.

§ 142.

De la température de l'air expiré. — L'air que nous respirons est généralement à une température moindre que celle de notre corps². Il n'y a d'exception à cette règle que dans les pays très-chauds. L'air qui entre dans les poumons, se trouvant en contact avec un organe plus chaud que lui, lui enlève de la chaleur et sort avec une température supérieure à celle qu'il avait à son entrée.

Le degré de température de l'air expiré varie naturellement avec la température de l'air inspiré. Lorsque celui-ci est *très-froid*, le réchauffement de l'air n'est pas tout à fait le même que quand la température extérieure se rapproche de celle du corps humain. Cependant il ne faut pas croire que la différence soit grande. Si l'on inspire par le nez et si l'on expire par la bouche, pendant quelque temps, au travers d'un tube contenant dans son intérieur un thermomètre (Voy. fig. 66, page suiv.), on constate que ce thermomètre s'élève à peu près constamment entre + 35° et + 37°, pour une respiration modérée et pour une température extérieure comprise entre + 10° et + 30°. Lorsque la température extérieure s'abaisse à zéro ou au-dessous, l'air expiré atteint encore, en moyenne, une température de 30°.

La température de l'air expiré ne s'éloigne d'une manière notable de la température propre de l'individu que dans le cas où la respiration est *artificiellement* très-accélérée. L'air n'a pas alors le temps de s'échauffer au contact du poumon.

§ 143.

De la vapeur d'eau contenue dans l'air expiré. — L'air qui sort du

¹ Spallanzani, Davy (1800), Provençal (1809), avaient noté que l'air expiré contient un peu moins d'azote que l'air inspiré. Plus tard, Bertholet (1809), Nysten (1811), Dulong (1823), Despretz (1824), Boussingault (1844), ayant noté une différence en sens contraire, les premiers résultats (peu nombreux d'ailleurs) furent considérés comme des erreurs d'analyse. Mais les recherches de MM. Regnault et Reiset, si précieuses sous le rapport de la rigueur des analyses gazeuses, montrèrent plus tard que, si l'exhalation d'une petite proportion d'azote est la règle, ce n'est pourtant pas une règle sans exception. L'exception (c'est-à-dire l'absorption d'azote par la respiration) peut être reproduite à volonté. Il suffit pour cela de faire jeûner les animaux, c'est-à-dire, vraisemblablement, qu'il suffit de *diminuer* la proportion de l'azote mis en liberté dans le sang, en diminuant l'intensité des métamorphoses organiques. La quantité d'azote tenue en dissolution dans le sang se trouvant diminuée, ce liquide a une tendance (réglée par la tension et la solubilité des gaz) à se charger d'azote aux dépens de l'air atmosphérique.

Allen et Pepys (1808), ainsi que M. Marchand (1845), ont fait voir autrefois qu'en faisant respirer des animaux dans une atmosphère artificielle composée d'oxygène, le dégagement d'azote par la respiration était plus abondant que dans l'air atmosphérique. Ce fait, de même que le précédent, est de nature à démontrer que le phénomène fondamental de l'acte respiratoire est réglé par les lois physiques (Voy. plus loin, § 149).

² La température du corps humain est en moyenne de + 37° (centigrades).

poumon à chaque expiration s'échappe chargé de vapeur d'eau. L'expérience de tous les jours le démontre clairement. Il suffit d'expirer pendant quelques instants sur une glace polie, pour que cette vapeur d'eau s'y condense sous forme de gouttelettes liquides. Lorsque la température extérieure est très-basse, la vapeur de l'air expiré se condense au moment même de sa sortie, et donne lieu à une sorte de brouillard, qui se dissipe bientôt en se répandant dans l'atmosphère.

La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air expiré est liée de la manière la plus intime avec le degré de température des gaz de l'expiration.

L'air expiré sort à l'état de *saturation*¹ ou à un état extrêmement voisin de la saturation, dans les respirations ordinaires. Or, l'air expiré ayant, en moyenne, une température qui s'éloigne peu de + 35° à + 37°, la quantité de vapeur d'eau qu'il peut contenir est à peu près constante.

La quantité de vapeur d'eau émise par la respiration pourrait être évaluée immédiatement, en calculant la quantité de vapeur que contiendrait, à *saturation*, un volume d'air égal à celui de l'air expiré, supposé à une température moyenne de + 36°, en tenant compte, bien entendu, de l'état hygrométrique de l'air inspiré. L'air extérieur, c'est-à-dire l'air inspiré, ne contient pas toujours, en effet, une quantité égale et déterminée de vapeur d'eau; cette quantité, au contraire, est très-variable, non-seulement pour des températures diverses, mais encore pour une même température.

Il est plus simple d'évaluer d'une manière directe la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air expiré, en expirant dans un appareil à acide sulfurique ou dans un tube de Liebig analogue à celui employé pour le dosage de la vapeur d'eau contenue dans l'air atmosphérique (Voy. § 631). Pour que cette évaluation soit rigoureuse, il faut tenir compte de la pression barométrique et de l'état hygrométrique de l'air. Il faut encore avoir soin, dans les épreuves de ce genre, comme d'ailleurs dans toutes celles qui portent sur la respiration, de ne pas exagérer les mouvements

¹ L'air est dit *saturé* de vapeur d'eau, lorsqu'il contient, pour une température déterminée, le maximum de vapeur qu'il peut contenir. Si l'on ajoute à de l'air saturé une nouvelle quantité de vapeur, celle-ci se condense immédiatement à l'état liquide. La quantité de vapeur qu'un même volume d'air peut tenir en dissolution augmente avec la température.

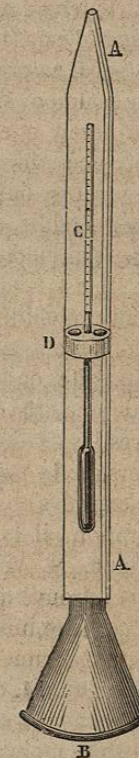


Fig. 66.

- A, tube de verre parcouru par l'air expiré.
- B, embout destiné à être appliqué sur la bouche.
- C, thermomètre.
- D, virole intérieure destinée à fixer le thermomètre.

respiratoires. C'est là, en effet, la cause d'erreur la plus fréquente. Ajoutons que la quantité de vapeur d'eau émise par la respiration, en un temps donné, varie avec la taille des individus et la capacité pulmonaire.

M. Valentin a fait sur lui-même, pendant deux années, un grand nombre d'expériences sous ce rapport. Il conclut de ses expériences qu'il perd, en vingt-quatre heures, un peu moins de 400 grammes d'eau par le poumon. Mais M. Valentin n'est pas d'une constitution athlétique ; il ne pesait que 54 kilogrammes à l'époque de ses recherches. Des expériences du même genre, faites sur des individus plus robustes et plus pesants, ont fourni des résultats en rapport avec la force des sujets. On peut établir, en moyenne, que l'homme perd, en vingt-quatre heures, par ses poumons, une quantité d'eau comprise entre 400 et 500 grammes. Il est remarquable que les chiffres auxquels Séguin est arrivé par une voie différente sont tout à fait concordants avec ceux-ci. Séguin, en défalquant la respiration pulmonaire des produits de la perspiration totale, faite, en un temps donné, par la peau et les poumons, évalue la dernière à 15 onces, c'est-à-dire à 488 grammes par vingt-quatre heures¹.

Lorsque la température extérieure est très-basse, la température de l'air expiré s'abaissant un peu, et par conséquent aussi, son point de saturation, il en résulte que la quantité d'eau rendue par le poumon diminue. M. Valentin a constaté directement le fait par expérience. Il a aussi trouvé que le nombre des inspirations et des expirations, qui a une certaine influence sur la quantité d'acide carbonique exhalé, n'en a presque aucune sur celle de la vapeur d'eau expirée en un temps donné. Pour 4, ou pour 40 respirations par minute, les résultats ont été sensiblement les mêmes. Dans les respirations précipitées, en effet, l'air s'échauffe moins dans les poumons ; le point de saturation s'élève moins : chaque mouvement précipité d'expiration entraîne moins d'eau ; de sorte qu'en définitive la moyenne reste à peu près la même pour un même espace de temps.

La vapeur d'eau qui se forme à la surface du poumon, et que l'air expiré entraîne incessamment, enlève donc, en moyenne, au corps environ un demi-kilogramme d'eau par vingt-quatre heures. Mais, si nous songeons combien l'état hygrométrique de l'atmosphère est variable ; si nous réfléchissons que l'air atmosphérique est quelquefois saturé, et que, dans ce dernier cas, l'air expiré ne se charge que de la quantité

¹ M. Dalton est arrivé, par le procédé signalé plus haut, à un résultat analogue. En mesurant le volume d'air expiré en un temps donné, en calculant la proportion de vapeur d'eau que ce volume de gaz pouvait contenir en le supposant saturé, et en tenant compte de l'état hygrométrique de l'atmosphère, il évalue la quantité d'eau exhalée par le poumon en 24 heures à 560 grammes.

Les expériences récentes de M. Gréhan sont tout à fait concordantes. L'air expiré était saturé, et à une température moyenne de 35°. A 17 mouvements respiratoires par minute, il y avait dans le même temps 0^m,38 de vapeur d'eau exhalée, c'est-à-dire 540 grammes en 24 heures.

de vapeur d'eau correspondante à son élévation de température pendant son passage dans les poumons, il est aisé de se convaincre que l'évaporation pulmonaire est soumise à des fluctuations nombreuses, et que les conditions météorologiques ont sur l'économie une influence énorme. Quand l'air extérieur est saturé, et qu'il possède une température égale ou supérieure à + 37° (centigr.), la fonction d'exhalation du poumon peut même être suspendue momentanément, et transportée à la peau et dans le système urinaire.

L'eau entraînée, à chaque expiration, par le courant d'air qui traverse les ramifications humides des bronches, provient du sang, comme l'eau de toutes les sécrétions, comme l'eau de tous les liquides de l'économie. L'air s'en charge en passant à la surface de la muqueuse pulmonaire, et elle y est sans cesse remplacée.

Nous avons vu précédemment (Voy. §§ 136 et 139) que la proportion d'oxygène absorbé l'emportait sur la proportion d'acide carbonique exhalé. L'excès d'oxygène introduit dans l'organisme est évidemment destiné, en partie au moins, à brûler l'hydrogène des éléments organiques combustibles, et à former de l'eau. Mais il serait tout à fait inexact de regarder l'eau qui s'échappe par le poumon comme le produit de cette combustion en particulier. Il entre dans l'économie avec les boissons, et même avec les aliments solides¹, une grande quantité d'eau ; cette eau s'échappe par des voies nombreuses, et aussi bien par les poumons que par la peau, par les reins, et d'autres glandes encore. Il est d'ailleurs impossible de distinguer l'eau de combustion formée par l'oxygène absorbé dans la respiration, de l'eau universellement répandue dans l'économie ; cette eau, mélangée avec celle de tous les liquides et de tous les tissus de l'organisme, s'échappe par des voies d'élimination diverses. En outre, la quantité d'eau qui correspondrait à la combinaison hydrogénée de l'oxygène absorbé dans la respiration, dans les vingt-quatre heures, est loin de correspondre à celle qui est éliminée dans le même temps par le poumon, et elle n'en formerait qu'une minime partie.

§ 144.

De quelques autres principes éliminés avec l'air expiré. — Les gaz de l'expiration contiennent une très-petite proportion de matière organique. Cette matière (analogue sans doute à celle que la vapeur d'eau qui s'élève d'un sol humide, couvert de débris organiques, entraîne avec elle, sous le nom de *miasmes*) s'échappe avec la vapeur aqueuse de l'expiration. La matière organique dont nous parlons donne à l'air expiré une odeur particulière, odeur qui devient assez désagréable lorsque les produits de l'expiration sont recueillis et abandonnés pen-

¹ La plupart des aliments solides : viandes, pain, pommes de terre, légumes de toute espèce, renferment une grande quantité d'eau. Lorsqu'on les *dessèche*, ils perdent en effet plus de la moitié, et souvent les trois quarts de leur poids, en eau qui se *vaporise*.

dant quelque temps dans un réservoir fermé. Cette matière contribue, avec les substances organiques contenues dans les produits de la transpiration cutanée, à vicier l'air dans les espaces clos habités par l'homme, et entraîne, au même titre que les autres altérations de l'air, la nécessité d'une ventilation convenable. Il est probable, d'ailleurs, que, dans un certain nombre de maladies contagieuses ou infectieuses, cette matière suspendue dans l'air expiré constitue l'une des voies de transmission du mal.

Cette matière colore en jaune l'acide sulfurique au travers duquel l'homme expire pendant longtemps. C'est elle également qui colore en rose une solution concentrée de nitrate d'argent, dans les mêmes conditions.

Lorsque certains liquides ou principes volatils sont introduits dans le sang, par absorption ou autrement, le sang qui passe dans les poumons laisse échapper, avec la vapeur d'eau dont se charge l'air, une partie de ces principes. Cette élimination a lieu tant que les substances ne sont pas encore modifiées ou transformées par le travail de la nutrition. Lorsqu'on a pris de l'alcool, l'air expiré contient pendant quelque temps des vapeurs d'alcool reconnaissables à leur odeur. Le principe volatil et odorant de l'ail s'échappe aussi en partie par la voie pulmonaire. Il en est de même pour l'éther, le chloroforme, le camphre, le musc, l'assa-fœtida, et généralement pour toutes les substances volatiles peu ou point modifiées dans le sang.

Lorsque des gaz sont introduits dans le sang, le sang qui passe dans les poumons laisse également échapper ces gaz, s'ils sont impropres aux phénomènes de la nutrition. Ainsi, Nysten retrouvait dans les produits de l'expiration l'acide sulfhydrique et l'hydrogène injectés dans le sang¹.

On a quelquefois noté l'ammoniaque parmi les produits de l'expiration. Il est vrai que, dans quelques circonstances, ce gaz se rencontre dans l'air expiré. Mais sa source n'est pas dans le poumon. Il provient de plus haut ; il est le résultat de la décomposition putride qui s'opère parfois, soit aux dépens des parcelles alimentaires restées entre les dents après le repas, soit aux dépens des enduits morbides dont se couvrent la langue et les gencives, soit dans la carie dentaire. Des soins de propreté ou des lotions convenables de la bouche suffisent pour faire disparaître ce gaz².

¹ Les injections de petites proportions de gaz (air atmosphérique, hydrogène) dans les vaisseaux sanguins causent sur l'animal un trouble passager, qui disparaît au bout de quelques heures. Lorsque la proportion dépasse pour le chien 50 ou 60 centimètres cubes, la mort en est la plupart du temps la conséquence (Voy. § 110).

² MM. Regnault et Reiset ont aussi noté, parmi les produits gazeux recueillis dans leur appareil, de l'hydrogène, de l'hydrogène carboné, de l'hydrogène sulfuré. Ces gaz ne sont pas des gaz exhalés par le poumon, ils ont une origine intestinale. L'animal étant en entier renfermé dans l'appareil d'expérience, ils se mêlent au milieu ambiant.

ARTICLE II.

ACTION DE LA RESPIRATION SUR LE SANG.

§ 145.

Du sang. — L'étude du sang est du domaine de l'anatomie générale. Nous ne rappellerons ici que les points principaux de son histoire¹.

Le sang de l'homme et des vertébrés est un liquide légèrement alcalin, d'une couleur rouge plus ou moins foncée, d'une saveur légèrement salée, d'une odeur *sui generis*. Le sang est constitué par deux parties différentes. L'une est liquide, transparente : on la nomme *plasma* du sang ; l'autre consiste en une multitude de petites molécules solides, microscopiques (ou globules), lesquels nagent dans le plasma et sont entraînés avec lui dans le torrent de la circulation.

Le plasma contient une matière incolore dissoute dans le sang *vivant*, et qui n'est autre que de la fibrine. Cette matière se coagule *spontanément* quand le sang est extrait de ses vaisseaux ; et, en se coagulant, elle emprisonne les globules dans les mailles de son tissu. C'est au *coagulum*, contenant à la fois et les globules et la fibrine du sang, qu'on donne le nom de *caillot*. Le *sérum* est constitué par la partie liquide et non coagulable du plasma.

Les *globules* du sang sont de deux sortes : les globules rouges et les globules blancs.

Les globules rouges, infiniment plus nombreux que les autres, sont constitués, chez l'homme et chez la plupart des mammifères, par de petits *disques aplatis*, un peu renflés sur leur circonférence. Les globules rouges du sang de l'homme ont 0^{mm},005 à 0^{mm},006 de diamètre² ; ils sont constitués par une enveloppe et un contenu coloré. L'enveloppe, ainsi que le liquide visqueux contenu dans l'intérieur des globules, sont constitués par une substance albuminoïde globuline qui offre toutes les propriétés chimiques des matières azotées neutres. Quant à la matière qui donne au contenu sa couleur, cette matière n'existe dans le globule qu'en quantité très-faible. On lui a donné le nom d'*hématosine*. L'hématosine, ou matière colorante des globules, renferme une petite proportion de sesquioxyde de fer.

Les globules blancs, peu nombreux (M. Moleschott estime que le nombre des globules blancs est au nombre des globules rouges :: 1 : 400, et M. Hirt :: 1 : 1000, en moyenne), sont *sphériques* et *incolores*. Ces glo-

¹ Voyez, pour plus de détails, notre article SANG, dans les *Additions à l'Anatomie générale* de P.-A. Béclard, 4^e édition, in-8, Paris, 1864.

² Les globules rouges du sang des mammifères sont généralement un peu plus petits que chez l'homme. Chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, les globules rouges sont *elliptiques*. Chez les reptiles, ils sont généralement d'un grand volume. Les globules du sang du *proteus anguinus* sont presque visibles à l'œil nu ; ils ont 1/15^e de millimètre de diamètre.

bules ont la plus grande analogie, sinon une identité complète, avec les globules du chyle et de la lymphe. Il est extrêmement probable que ces globules ne sont que des globules du chyle et de la lymphe, versés dans le torrent circulatoire par le canal thoracique, et qui n'ont pas encore disparu. Cela est d'autant plus probable que le nombre de ces globules est manifestement plus considérable dans le sang des animaux, à l'époque où se fait l'absorption digestive, que dans toute autre période ¹.

Enfin, on rencontre aussi dans le sang des éléments solides d'une petitesse extrême, tout à fait analogues aux granules élémentaires du chyle, et qui paraissent formés, comme eux, par des molécules de matière grasse, entourées d'une mince couche d'albumine solidifiée. (On leur donne, dans quelques ouvrages, le nom de *globulins*.)

Le sang se compose essentiellement d'eau, tenant en dissolution ou en suspension des matières variées, c'est-à-dire des principes albuminoïdes (principes azotés neutres), des principes non azotés (principes hydrocarbonés) et des sels. Les principes albuminoïdes sont : la fibrine, l'albumine, la globuline, l'hématosine, et les matières dites *extractives*. Les principes hydrocarbonés sont : les matières grasses (telles que l'oléine, la stéarine, la margarine, les oléates, les stéarates, les margarates de soude, la cholestérine, la cérébrine) et les matières sucrées. Les sels consistent principalement en chlorures, carbonates et phosphates alcalins, à base de soude et de potasse.

Sur 1,000 grammes de sang, il y a, en moyenne, 127 grammes de *globules desséchés*. Dans les 127 grammes de globules, l'hématosine est représentée par 2 grammes environ. 100 grammes d'hématosine contiennent environ 0^{gr}.42 de fer.

Pendant longtemps, l'imperfection des méthodes de séparation chimique ne permettait guère de déterminer exactement le rapport des *globules humides* avec le plasma du sang. On admettait généralement que les globules, tels qu'ils circulent dans le sang vivant, représentaient 50 pour 100 de la masse totale du sang. Si nous nous en rapportons aux recherches microscopiques de M. Welcker cette évaluation n'est pas exacte. Par une méthode qui lui est propre, M. Welcker compte les globules contenus dans un millimètre cube de sang. Suivant lui, il y a dans le sang de l'homme 5 millions de globules par chaque millimètre cube. Or, un globule de sang ayant 0^{mm}.005 de diamètre, on trouve par un calcul très-simple que, si 1 millimètre cube était uniquement rempli de globules, il

¹ Cette supposition, faite par nous il y a vingt ans, et basée sur l'examen comparé du sang des animaux à jeun et des animaux en pleine digestion, vient de recevoir dernièrement une confirmation numérique. A l'aide de la méthode dite de Vierordt, perfectionnée par M. Welcker (méthode qui consiste à compter les globules sur un micromètre quadrillé), à l'aide de cette méthode M. Hirt, ainsi que M. Marfels, ont constaté que le nombre des globules blancs, comparé au nombre des globules rouges, augmente après les repas. Ainsi, par exemple, dans les expériences de M. Hirt faites sur lui-même, tandis que la proportion des globules rouges aux globules blancs, quand il était à jeun, était :: 1 : 1500, cette proportion pendant la période digestive était :: 1 : 750.

en contiendrait au moins 15 millions. La place qui n'est pas occupée par les globules l'étant par le plasma, il s'ensuit que le rapport des globules humides au plasma est :: 33 : 66. C'est-à-dire que dans 100 parties de sang, il y a en volume 33 parties de globules et 66 parties de plasma, ou encore qu'il y a un tiers de globules et deux tiers de plasma ¹. M. Fudakowski, en pratiquant l'analyse du sang suivant la méthode récemment proposée par M. Hoppe-Seyler, est arrivé à des résultats tout à fait concordants avec les évaluations numériques de M. Welcker. L'analyse du sang veineux du chien a donné en effet pour 1,000 parties de sang 616,58 de plasma et 383,42 de globules humides.

La *fibrine* peut être obtenue directement par le *battage* du sang au sortir de la veine. Elle se rassemble alors sous forme de filaments solides, qu'on recueille, qu'on dessèche et qu'on pèse. La fibrine, qui joue un rôle capital dans la formation du caillot, n'existe cependant, dans le sang, qu'en très-petite quantité. Sur 1,000 grammes de sang, il n'y a guère, en moyenne, que 2 ou 3 grammes de fibrine *desséchée*.

Le sérum du sang contient, à l'état de dissolution, une quantité assez considérable d'*albumine*. Lorsqu'on chauffe, en effet, le sérum à une température supérieure à + 70° (centigr.), il se prend en masse par la coagulation de l'albumine. Sur 1,000 grammes de sang, il y a, en moyenne, 78 grammes d'albumine *desséchée*.

Le sérum du sang, indépendamment de l'albumine, contient encore d'autres matières azotées, qu'on groupe généralement sous la désignation générale de *matières extractives*.

Les *matières extractives* du sang s'obtiennent en évaporant le sérum à siccité. Ce résidu, traité par l'eau bouillante (l'eau ne dissout point l'albumine du sérum solidifié par la chaleur), abandonne à l'eau ou à l'alcool, des matières solubles. Les unes sont à la fois solubles dans l'eau et l'alcool, les autres sont solubles dans l'eau et insolubles dans l'alcool. Ces produits existent en petites proportions dans le sang. Ils sont incristallisables pour la plupart. Quelques-unes de ces matières sont des transformations de l'albumine et de la fibrine, et le premier degré des combustions éliminatoires. Telles sont : la *créatine*, la *créatinine*, l'acide *inosique*, ainsi que les matières désignées par M. Mülder sous les noms d'oxyde de protéine, substances provenant de l'oxydation de l'albumine et de la fibrine.

La recherche et le dénombrement exact des matières extractives, c'est-à-dire des substances organiques dissoutes dans le sérum, et autres que l'albumine et la fibrine, est l'un des *desiderata* de la physiologie. Des

¹ Les recherches de M. Welcker n'ont pas seulement porté sur l'homme, mais encore sur les mammifères, les oiseaux, les reptiles et les poissons. Chez les mammifères, le rapport entre les globules *humides* et le plasma est le même que chez l'homme. Chez les oiseaux et les reptiles, il n'y a que 27 pour 100 de globules humides pour 100 parties de sang; chez les poissons, il n'y a que 7 p. 100 de globules humides pour 100 parties de sang.