G. Liebmann, Versuche über die Rhytmik der Athembewegungen (*Recherches sur le rythme des mouvements respiratoires*). *Tübingen*, 1856.

Schnepf, Note sur un nouveau spiromètre très sensible et très simple, *dans* Comptes rendus de l'Acad. des sciences, t. XLIII, 1856.

Schnepf, Considérations physiologiques sur l'acte de la respiration. — Influence de l'âge sur la capacité vitale du poumon. — Influence de la taille, *dans* Gazette médicale de Paris, nos 11, 21, 25, 39, 1857.

E. Smith, On the quantity of air inspired at every 5, 15 and 30 minutes of the day and nigth, and under the influence of exercise food and medicines, etc., *dans* The Lancet, 1857.

E. Smith, Experiments on the phenomena of respiration, *dans* Procedings of the Royal society, t. IX, 1859 et *dans* The Lancet, t. I, 1859.

E. Smith, On the influence of exercise on respiration and pulsation, *dans* Edinburgh medical Journal, 1859.

E. Smith, Résumé de recherches expérimentales sur la respiration, *dans* Journal de Physiologie, en deux parties, t. III, 1860.

Chr. Baümler, Beobachtungen über die Wirkungen der Zwischenrippenmuskeln (*Observations sur l'action des muscles intercostaux*), Dissert. inaug. *Erlangen*, 1860.

Budge, Zur Physiologie des Zwerchfells (*Sur la physiologie du diaphragme*), *dans* Deutsche Klinik, no 26, 1860.

C. Gerhardt, Der Stand des Diaphragma's. *Tübingen*, 1860.

Koster, Ueber die Wirkung der Respirationsmuskeln, namentlich der Muskeln intercostales *Sur l'action des muscles respiratoires, et en particulier sur les intercostaux*), *dans* Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur und Heilkunde, 1860.

Salter, Das Wesen und die Ursache des Respirationsgeräusches (*Essence et cause des bruits respiratoires*), analyse *dans* The Lancet, novembre 1860.

Schömacker, Ueber die Wirkung der Musculi intercostales, *dans* Archiv für die holländischen Beiträge für Natur und Heilkunde, 1860.

Kowalewski, Ueber die Massbestimmung der athmungsgase durch ein neues Verfahren (*Nouvelle manière de mesurer les gaz de la respiration*), *dans* Berichte der K. Sachs. Gesselsch. d. Wissenschaften, 1866.

P. Bert, De la contractilité des poumons, *dans* Arch. gén. de méd., 1869.

P. Bert, Leçons sur la Respiration, in 8°. *Paris*, 1870.

A. Fick, Ein Pneumograph, *dans* Verhandl. der Wurzb. phys. med. Gesellschaft, 1872.

Lockenberg, Ein Beitrag zur Lehre über die Athembewegungen (*Contrib. à l'étude des mouv. respiratoires*), *dans* Verhandl der Würzb. phys. med. Gesellschaft, 1872.

A. Ransome, On the mechanical conditions of the respiratory movements in man, *dans* Proceed. of the Royal soc., 1872.

G. Carlet et Strauss, Sur le fonctionnement de l'appareil respiratoire après l'ouverture de la paroi thoracique, *dans* Comptes rendus de l'Acad. des sciences, 1873.

H. Eichhorst, Ueber die Pneumatometrie, etc., *dans* Deutsches Arch. f. kl. Medicin. 1873.

M'Kendrick, On an apparatus for maintaining artificial respiration in physiological experiments, *dans* Edinburgh med. Jour., 1873.

A. Ransome, On the respiratory movements, etc. (Le *stéthomètre* instrument pour mesurer les mouvements du thorax), *dans* Medico-chirurg. transactions, 1873.

Riegel, Ueber graphische Durstellung der Athembewegungen (*Sur la représentation graphique des mouvements respiratoires*), *dans* Deutsches Arch. f. klin. Med., t. XI, 1873.

Stern, Ueber den inneren Mechanismus der inspiratorischen Erweiterung der Lunge (*Sur le mécanisme intérieur de l'agrandissement inspiratoire des poumons*), *dans* Allgem. Wiener med. Zeitung, 1873.

Kohts, Experimentelle Untersuchungen ueber den Husten (*Recherches expérimentales sur la toux*), *dans* Arch. f. path. Anat., 1874.

W. Stone, On wind-pressure in the human Lungs during performance, of wind-instruments, *dans* Philos. Magazine, t. XLVIII, 1874.

G. Carlet, Sur le mode d'action des piliers du diaphragme, *dans* Comptes rendus Acad. des sc., 1875.

Guttmann, Zur Lehre von den Athembewegungen (*Étude des mouvements respiratoires*), *dans* Arch. f. Anat. und Physiol. 1875.

Keen, Experiments on the muscles of respiration, etc., in a criminal executed by hanging, *dans* Transact. colleg. of Philadelphia, 1875.

A. W. Volkmann, Zur Mechanik des Brustkastens (*Sur la mécanique de la cage thoracique*), *dans* Zeitsch. für Anat. und Entwickl. 1875.

Woillez. Le *spiroscope* appareil destiné à l'étude de la physiol. du poumon, *dans* Comptes rendus Acad. des sc. et *dans* Bulletin Acad. de médecine, 1875.

Douglas Powell, On some effects of lung elasticity in healt and disease, *dans* Medic. chir. Transactions, t. LIX, 1876.

L. Gerlach, Ueber die Beziehungen der N. vagi zu den Muskelfasern der Lunge (*De l'action des nerfs vagues sur les muscles des bronches*), *dans* Arch. f. d. gesammte Physiol., t. XIII, 1876.

Horvath, Beiträge zur Physiologie der Respiration, *dans* Arch. f. d. ges. Physiologie, 1876.

Rutherford, Note on the action of the internal intercostal muscles, *dans* Journ. of anat. and physiol., t. X, 1876.

Tschiriew, Spirometrograph, *dans* Militärärzl. Journal, sept. 1876.

Cadiat, Sur le développement et la structure du poumon, *dans* Journal de l'Anat. et de la Physiologie, 1877.

F. Penzoldt, Zur Theorie des Vesiculärathmens (*Sur la théorie de la respiration vésiculaire*), *dans* Med. Centralbl., 1877.

T. Halbertsma, Zur Theorie des Vesiculärathmens, *dans* Med. Centralbl., 1877.

Gad, Zwei Apparate zur Demonstration der Wirkung der Intercostalmuskeln (*Appareil pour la démonstrat. de l'action des muscles intercostaux*) *dans* Arch. f. An. und Phys., 1878.

A. Mosso, Ueber die gegenseitigen Beziehungen der Bauch und Brustathmung (*Sur les relation entre la respiration pectorale et ventrale*), *dans* Arch. f. d. ges. Physiol. 1878.

SECTION II.

Phénomènes physico-chimiques de la respiration.

§ 135.

En quoi consistent ces phénomènes. — A chaque mouvement d'inspiration, une certaine quantité d'air atmosphérique pénètre dans les poumons; à chaque mouvement d'expiration, une certaine quantité d'air est expulsée au dehors; mais l'air qui sort n'est pas identique avec l'air qui entre; il a subi dans la proportion de ses éléments constituants, et aussi dans ses propriétés physiques (température, état hygrométrique), des modifications qui se rattachent à des changements importants dans la constitution du sang. Les modifications dans les qualités de l'air expiré, et les changements correspondants dans la constitution du sang : tels sont les deux termes du problème physico-chimique de la respiration.

ARTICLE I.

DE L'ALTÉRATION DE L'AIR PAR LA RESPIRATION.

§ 136.

Composition et analyse de l'air atmosphérique. — Pour bien comprendre les altérations qu'entraîne la respiration dans la constitution de l'air et en mieux saisir la mesure, rappelons en quelques mots la composition normale de l'air.

L'air est un mélange d'oxygène et d'azote, dans des proportions qui sont sensiblement les mêmes sur tous les points du globe : dans les vallées et dans les plaines, dans les villes et dans les campagnes. L'air renferme, en outre, une quantité variable de vapeur d'eau, une petite proportion d'acide carbonique, et, en outre, mais en quantités infiniment petites, quelques autres gaz ou vapeurs[1].

Nous ne pouvons examiner ici dans tous leurs détails les procédés d'analyse de l'air; mais il nous est impossible de les passer complètement sous silence.

[1] Parmi ces substances, répandues en quantité infiniment petite dans les couches inférieures de l'atmosphère, les unes sont simplement divisées et suspendues par l'agitation des vents, les autres sont à l'état de gaz ou de dissolution. Parmi ces substances, on peut compter les gaz sulfureux, sulfhydrique ou ammoniac, l'acide azotique en vapeur; les émanations des végétaux et des animaux, par suite de leur décomposition ou de leurs fonctions ; les exhalaisons fournies par le travail des usines, par l'exploitation des mines, l'éruption des volcans, le voisinage des marais, et une infinité de poussières de toute espèce, d'origine minérale ou organique, visibles ou invisibles.

La physiologie, en effet, n'est arrivée à se former, sur les phénomènes chimiques de la respiration, des idées exactes que le jour où les produits de l'expiration ont été soumis à des analyses rigoureuses. Or, les procédés à l'aide desquels on analyse l'air expiré ne diffèrent point des procédés employés pour l'analyse de l'air ordinaire. Toute la différence porte sur le moyen de recueillir les gaz. Nous aurons occasion plus loin de revenir sur les procédés employés pour recueillir les gaz de l'expiration, et sur les modifications à faire subir aux appareils.

Quand on pratique l'analyse *quantitative* de l'air on se propose de déterminer les proportions relatives de l'oxygène, de l'azote, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Toute analyse de l'air comprend deux séries d'opérations distinctes. La première a pour but de déterminer les proportions de la vapeur d'eau et celles de l'acide carbonique; dans la seconde, on dose l'oxygène et l'azote.

Dosage de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. — L'appareil dont on se sert

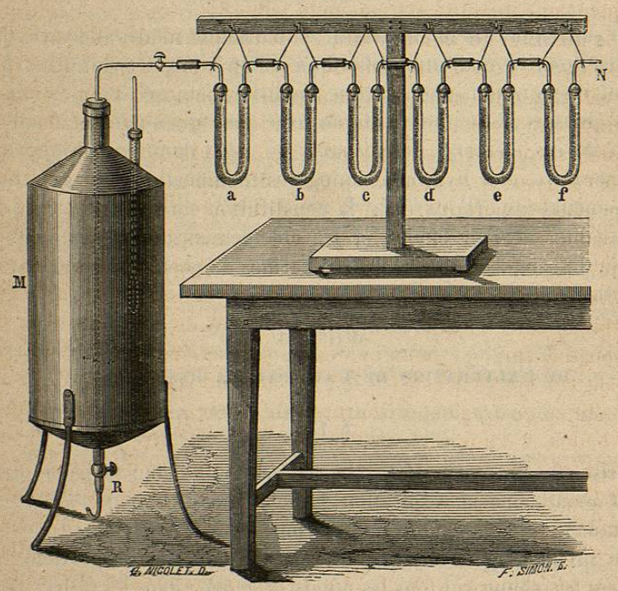

Fig. 80.
Appareil pour doser la vapeur d'eau et l'acide carbonique de l'air.

pour ce dosage est représenté figure 80. Il se compose d'une série de tubes en U. Les uns, *f*, *e*, *b*, *a*, placés aux deux extrémités de la série, sont remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique; les autres, *c*, *d*, placés au milieu, contiennent des fragments de pierre ponce imbibée d'une dissolution de potasse caustique. Ces tubes, pesés d'avance avec leur contenu, reliés les uns aux autres à l'aide de tubes de verre et de manchons imperméables de caoutchouc, forment une chaîne qui vient se fixer, par l'une de ses extrémités, au sommet d'un vase aspirateur M. Ce vase aspirateur, étant mis en action par l'ouverture du robinet R, force l'air à pénétrer par l'extrémité N de la chaîne et à traverser les tubes

en U. Dans son passage à travers ces tubes, l'air se dépouille complètement de sa vapeur d'eau dans les tubes sulfuriques, qui l'absorbent, et de son acide carbonique dans les tubes potassiques qui le fixent sous forme de carbonate de potasse. Après l'expérience, l'augmentation de poids des tubes *f*, *e*, représente la quantité de vapeur d'eau qui existait dans l'air qui a traversé l'appareil. L'augmentation de poids des tubes *d*, *c*, représente la quantité d'acide carbonique contenu dans l'air qui a également traversé la chaîne. Quant aux tubes *b*, *a*, ils ont aussi augmenté de poids, par suite de la vapeur d'eau dont l'air desséché s'est chargé en traversant les tubes à dissolution de potasse. Mais ce qu'ils ont gagné, les tubes *d* et *c* l'ont perdu. Il faut donc restituer aux tubes potassiques cet excédant de poids qui leur appartient.

On mesure la quantité d'air qui a traversé l'appareil, par la quantité dont s'est abaissé le niveau de l'eau dans le vase aspirateur [1].

On arrive ainsi à constater (après les corrections de pressions et de température) que 10,000 parties d'air contiennent de 4 à 6 parties d'acide carbonique; ce qui revient à dire que l'air contient 4/10000 ou 6/10000 d'acide carbonique, par conséquent une quantité extrêmement faible [2].

Quant à la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, elle varie dans des limites très étendues, car elle dépend du degré de saturation de l'atmosphère, et le point de saturation lui-même s'élève avec la température. Rappelons que pour une température moyenne de 15 degrés centigrades, un mètre cube d'air contient, lorsqu'il est complètement *saturé* d'humidité, 14 grammes de vapeur d'eau.

Dosage de l'oxygène et de l'azote. — On peut employer, pour déterminer les proportions d'oxygène et d'azote de l'air, divers procédés, tels que la combustion du phosphore dans un espace clos, ou la combustion, dans l'eudiomètre, d'un volume connu d'hydrogène mélangé à l'air atmosphérique. Un autre procédé d'analyse consiste à déterminer à chaud l'oxydation du cuivre; ce procédé permet d'obtenir directement, et à la fois, le poids de l'oxygène et le poids de l'azote. L'appareil employé pour ce dosage est représenté figure 81. La pièce principale de cet appareil consiste en un tube de verre épais MN, rempli de cuivre métallique en fragments (tournure de cuivre). Ce tube est adapté, d'un côté, à un ballon A d'une certaine capacité, et, de l'autre, à une chaîne composée de deux tubes E, D, remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique, et d'un tube à boules de Liebig C, rempli de potasse caustique en dissolution.

On commence par faire le vide dans le ballon A et dans le tube rempli de cuivre MN, à l'aide d'une machine pneumatique. Le vide est maintenu dans l'appareil par les robinets R, R′, R″. On chauffe alors le tube MN, convenablement disposé dans une auge de tôle. Quand ce tube est fortement chauffé, on ouvre les robinets R, R′, R″, qui permettent la rentrée de l'air dans l'appareil. Ces robinets doivent être ouverts d'une très faible quantité, de manière que l'air aspiré par le vide du ballon ne parcoure l'appareil qu'avec une grande lenteur. L'air traverse alors, *bulle à bulle*, le tube à boules, C, où il se dépouille de son

[1] Le vase aspirateur est un vase rempli d'eau, qui porte à sa partie inférieure un robinet; ce robinet, terminé par un tube fin, laisse couler *goutte à goutte* l'eau du vase. L'air ne peut arriver dans ce vase qu'en s'engageant par l'ouverture N et en traversant les tubes en U. Chaque goutte d'eau qui s'écoule est remplacée par un volume d'air équivalent, puisé par le tube N dans le milieu qu'on veut analyser.

[2] Ce qui revient à dire, en d'autres termes, que dans 10,000 litres d'air (10 mètres cubes) il y a 4 à 6 litres d'acide carbonique.

acide carbonique, et les tubes D, E, où il abandonne sa vapeur d'eau. L'air, *desséché*, arrive dans le tube MN sur le cuivre chauffé, qui lui enlève son oxygène, et l'azote seul se rend dans le ballon. La différence entre le poids du tube MN, avant et après l'expérience, représente le poids d'oxygène fixé; la différence entre le poids du ballon vide et le poids du ballon après l'expérience représente

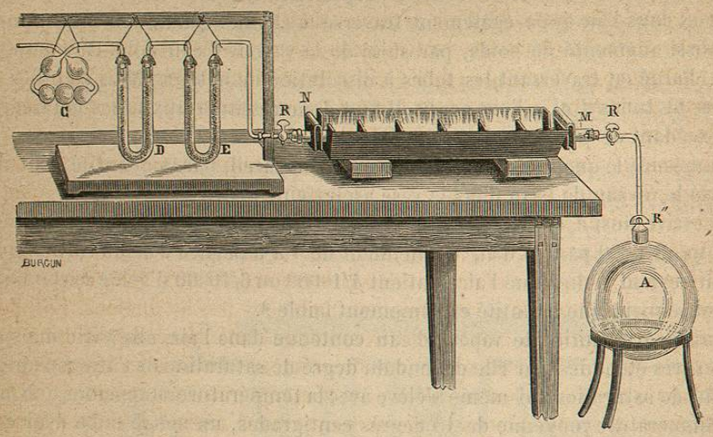

Fig. 81.
Appareil pour doser l'oxygène et l'azote de l'air.

le poids de l'azote qu'il contient. Après certaines précautions et corrections relatives aux pesées, on arrive à ce résultat, qu'à 76gr,9 d'azote correspondent 23gr,1 d'oxygène, c'est-à-dire que 100 parties d'air *en poids* renferment 76,9 d'azote et 23,1 d'oxygène.

Le rapport *en volume* entre l'azote et l'oxygène se calcule facilement, en tenant compte des densités. *En volume*, l'air contient, pour 100 parties, 20,9 d'oxygène et 79,1 d'azote [1].

L'air atmosphérique entoure de toutes parts les animaux et les plantes et agit incessamment sur eux. L'influence qu'il exerce sur l'économie animale peut être envisagée sous trois points de vue principaux : 1° sous celui de la pression qu'il détermine comme fluide pesant; 2° sous le rapport de l'impression qu'en reçoit l'enveloppe tégumentaire extérieure ; 3° enfin, relativement à ses effets sur le sang dans les poumons. Ces deux derniers points de vue se rattachent aux phénomènes de la respiration pulmonaire et cutanée (Voy., pour l'autre mode d'influence, le chapitre MOUVEMENTS, §§ 233 et 234).

§ 137.

Quantité d'air inspiré et expiré. — Spirométrie ou pneumatométrie. — Spiromètres, thoracomètres, pneumomètres, pneumographes, stéthomètres, stéthographes. — La quantité d'air qui entre dans les poumons pendant l'inspiration et celle qui sort pendant l'expiration ne se balancent pas exactement

[1] Le rapport *en volume* est bien plus fréquemment employé que le rapport *en poids*. De plus, et pour simplifier, on énonce généralement la composition de l'air par deux nombres *entiers*: 21 parties d'oxygène, et 79 parties d'azote.

l'une l'autre. Cette quantité n'est pas absolument et rigoureusement la même, parce que le volume de gaz expiré est un peu moins considérable que le volume de gaz inspiré ; nous verrons bientôt pourquoi. Pour le moment, nous pouvons faire abstraction de ces différences minimes.

Ajoutons qu'à chaque expiration le poumon ne se vide jamais complètement de l'air qu'il renferme ; après l'expiration, même la plus forcée, le poumon contient encore une quantité d'air assez considérable. A chaque inspiration, l'air qui entre dans les poumons ne fait qu'*augmenter* la proportion de celui qui y était contenu ; et, à chaque expiration, il reste dans le poumon une quantité d'air qui varie avec la capacité de la cage thoracique, ainsi qu'avec le degré du mouvement d'expiration.

La quantité d'air qui entre dans le poumon à chaque inspiration et la quantité correspondante de l'air expiré ne peut donc pas être évaluée d'une manière absolue. Elle varie avec les individus ; elle varie avec la capacité des poumons ; elle varie avec l'énergie ou la faiblesse des mouvements respiratoires. Ceci nous explique pourquoi les évaluations données par les auteurs (MM. Davy, Allen et Pepys, Dalton, Bostock et Menzies, etc.) ne sont pas les mêmes. Les chiffres qu'on peut fournir en pareille matière ne peuvent donc avoir qu'une valeur approximative. Il importe cependant de poser ces chiffres : nous aurons souvent besoin d'y recourir dans les développements qui vont suivre.

Plusieurs procédés peuvent être employés pour arriver à cette évaluation. Ainsi, on peut, par exemple, expirer pendant un certain temps exclusivement par la bouche, au travers d'un tube recourbé plongeant dans un vase renversé sur une cuve à eau. La quantité d'eau déplacée représente la quantité de gaz expiré pendant un temps donné. Divisant alors ce nombre par le nombre des expirations opérées dans le même temps, on a en volume la quantité d'air rendu à chaque expiration. Il est vrai que l'attention soutenue de l'observateur, dans l'accomplissement d'une fonction qui se fait ordinairement sans le concours de la volonté, constitue, dans ce procédé, une cause d'erreur; mais, avec de l'habitude, on peut se prémunir contre elle et se rapprocher d'une manière assez satisfaisante de la respiration normale.

M. Smith a dernièrement procédé à cette évaluation par un procédé un peu différent. L'appareil qu'il emploie se compose d'un masque qui s'applique sur le visage. Ce masque est garni de soupapes, de sorte que l'air inspiré ne peut sortir au dehors et se rend dans un récipient convenablement disposé. L'appareil de M. Smith est analogue à celui qui a été mis en usage par MM. Andral et Gavarret dans leurs recherches sur la respiration (Voy. page 394).

Un autre procédé, proposé par M. Valentin, est basé sur ce fait, que l'air qui sort du poumon, à une température connue (comme nous le verrons), est *saturé* pour cette température. Or, en tenant compte de cette température, et en expirant à travers un tube rempli de ponce imbibée d'acide sulfurique, il est facile d'évaluer la quantité d'air qui correspondrait à la quantité de vapeur d'eau recueillie pendant un certain nombre d'expirations, et on peut calculer ainsi la quantité d'air afférente à chaque expiration en particulier.

En combinant ces diverses méthodes, qui fournissent, d'ailleurs, des résultats assez concordants, M. Valentin fixe, en moyenne, à 500 centimètres cubes d'air, c'est-à-dire, en d'autres termes, à un demi-litre, la quantité d'air qui entre dans les poumons et qui en sort à chaque mouvement respiratoire normal.