

berculeux, de coucher avec la fenêtre ouverte; il paraît que les effets en ont été excellents. Pour que l'air ne soit pas trop froid, il suffit de mettre à la fenêtre une grille métallique. La grille métallique, tout en n'opposant aucun obstacle au passage de l'air, empêche le froid de pénétrer; car, par suite de leur très faible chaleur spécifique, les gaz de l'air se réchauffent dès qu'ils passent par les interstices de la grille.

Les hygiénistes distinguent dans la ventilation ou aération des lieux habités la ventilation *naturelle* et la ventilation *artificielle*. La ventilation naturelle peut être *spontanée*, ou *provoquée*, suivant que la volonté intervient ou non pour le renouvellement de l'air.

La ventilation spontanée est due aux maljoins des portes et fenêtres. Elle est d'autant plus active qu'il y a appel d'air par une cause quelconque, soit une différence de température entre l'air de la chambre et l'air extérieur, soit par l'instillation d'une cheminée dans laquelle est allumé du feu. La ventilation est provoquée quand les fenêtres sont ouvertes, et surtout quand il y a plusieurs fenêtres ouvertes dans la même pièce. Alors la ventilation est maximum, pour ainsi dire, et absolument suffisante dans tous les cas.

Pour la ventilation artificielle, elle est rarement utile ou nécessaire aux habitations bourgeoises. C'est surtout dans les tunnels, égouts, usines, mines, etc., que ces moyens doivent être employés. Beaucoup d'appareils ont été imaginés; mais nous n'avons pas à nous en occuper ici. On les trouvera décrits dans l'*Encyclopédie d'hygiène*, par M. E. ROCHARD (t. III, p. 557).

G. H. R.

**AÉROBIE.** — On dit d'un être, d'après PASTEUR, qu'il est aérobie quand il vit dans l'air libre, ayant besoin d'air ou d'oxygène libre pour vivre. Cette expression s'applique surtout aux organismes microscopiques qui sont tantôt aérobies, tantôt anaérobies. La plupart des microbes sont aérobies (Voyez **Fermentation**).

**AÉROTONOMÈTRE** (*ἀήρ*, air; *τόνος*, pression; *μέτρον*, mesure). — Appareil imaginé par PFLÜGER, décrit par son élève STRASSBURGER (*A. Pf.* t. VI, p. 68, 1872) et destiné à déterminer la valeur de la tension des gaz ( $O^2$ ,  $CO^2$ ) dans le sang et dans les autres liquides de l'économie.

Le principe de l'aérotomètre est le suivant: lorsqu'un liquide se trouve en contact avec une atmosphère gazeuse limitée, il tend à s'établir pour chaque gaz un équilibre de tension entre ce gaz dans l'atmosphère considérée et le même gaz absorbé par le liquide. Si le contact est suffisamment prolongé, l'équilibre finira par être atteint; dans ce cas, la pression partielle du gaz dans l'atmosphère limitée indique la tension du gaz dans le liquide.

L'appareil se compose de plusieurs tubes de verre verticaux (de 60 centimètres de long, de 12 millimètres de diamètre intérieur) effilés à leurs deux extrémités et placés dans un bain d'eau maintenu à la température du corps. On remplit à l'avance chaque tube avec un mélange gazeux de composition connue, puis on fait arriver par leur extrémité supérieure du sang sortant directement de l'artère ou de la veine d'un animal vivant. Le sang s'écoule le long des parois du tube, et tend par diffusion à se mettre en équilibre de tension avec les gaz contenus dans les tubes. On laisse couler dans chaque tube environ 150 centimètres cubes de sang pendant deux à trois minutes. Le sang s'écoule par l'extrémité inférieure de chaque tube, extrémité qui plonge sous une petite couche de mercure. Après l'expérience, les gaz contenus dans les tubes sont recueillis séparément et analysés.

Exemple (Exp. III, p. 73. *A. Pf.*, VI): Deux tubes de l'aérotomètre sont remplis d'un mélange d'azote et de  $CO^2$ , l'un A contient 7,17 p. 100  $CO^2$ , l'autre B, 2,36 p. 100  $CO^2$ . Après le passage du sang, A contient 2,91 p. 100  $CO^2$  et 3,03 p. 100  $O^2$ ; B contient 2,68 p. 100  $CO^2$  et 2,56 p. 100  $O^2$ . La tension de  $CO^2$  du sang était donc comprise entre 2,68 et 2,91 p. 100 d'une atmosphère; celle de l'oxygène est indéterminée, mais certainement supérieure à 3 pour 100 d'une atmosphère. Deux autres tubes A' et B' contenant les mêmes mélanges gazeux avaient été en même temps soumis au contact du sang veineux

de l'animal. Après l'expérience, A' contient 5,13 p. 100 CO<sup>2</sup> et 0,98 p. 100 O<sup>2</sup>, B' contient 5,38 p. 100 CO<sup>2</sup> et 1,74 p. 100 O<sup>2</sup>. La tension de CO<sup>2</sup> du sang veineux est donc voisine de 5,13 ou 5,38 p. 100 d'une atmosphère, celle de l'oxygène est supérieure à 1,74 p. 100 d'une atmosphère.

STRASSBURG a trouvé comme moyenne (dix expériences) de la tension de CO<sup>2</sup>, 5,4 p. 100 d'atmosphère dans le sang veineux et 2,9 p. 100 d'atmosphère dans le sang artériel. La tension de l'oxygène était au moins de 2,8 p. 100 d'une atmosphère dans le sang veineux, au moins de 3,9 p. 100 d'une atmosphère dans le sang artériel.

La coagulation du sang s'accompagne d'une élévation notable de la tension de CO<sup>2</sup>, qui monte à 6 à 8 p. 100 d'atmosphère pour le sang veineux, à 4 p. 100 d'atmosphère pour le sang artériel.

STRASSBURG a trouvé pour la lymphe du canal thoracique ou des gros troncs lymphatiques du cou une tension de CO<sup>2</sup>, inférieure de 0,5 à 1 p. 100 à celle du sang veineux.

La tension de CO<sup>2</sup> dans les produits de sécrétion provenant de l'activité cellulaire (bile, urine) ou dans les cavités tapissées de cellules vivantes a été trouvée comprise entre 5 et 9 p. 100 d'une atmosphère.

Deux autres élèves de PFLÜGER, WOLFFBERG (*A. Pf.* t. VI, p. 23, 1872) et NUSSBAUM (*A. Pf.* 1873, t. VII, p. 296) ont fait, par le procédé de l'aérotomètre, ou par des procédés analogues, de nombreuses déterminations de tension de CO<sup>2</sup> dans le sang veineux du cœur droit, c'est-à-dire dans le sang qui arrive au poumon et dans le sang artériel, c'est-à-dire dans le sang qui revient du poumon; et ils ont comparé les valeurs trouvées avec celles de la tension de CO<sup>2</sup> dans l'air qui a servi à la respiration. Ils ont constaté que, chez le chien, l'air qui revient du poumon (dernières portions d'air expiré) présente sensiblement la même tension de CO<sup>2</sup> (2,8 p. 100 de CO<sup>2</sup>) que le sang artériel qui revient du poumon (2,8 p. 100 d'atmosphère). Il s'établit donc, en vertu des lois de la diffusion, un équilibre parfait entre la tension de CO<sup>2</sup> du sang et de l'air au niveau des alvéoles pulmonaires.

L'absorption par les capillaires de la circulation générale du CO<sup>2</sup> formé dans les tissus, son exhalation à la surface du poumon et son élimination dans l'atmosphère extérieure, s'expliquent par les lois de la diffusion gazeuse, qui veulent que CO<sup>2</sup> chemine des endroits à tension élevée, vers les endroits à faible tension. En effet la tension de CO<sup>2</sup> peut être approximativement représentée chez le chien, par les chiffres suivants :

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Tissus.} & & \text{Sang veineux.} & & \text{Air des alvéoles.} & & \text{Air extérieur.} \\ (5 \text{ à } 9 \text{ p. } 100 \text{ At.}) & > & (3,81 \text{ à } 5,4 \text{ p. } 100 \text{ At.}) & > & (2,8 \text{ p. } 100 \text{ At.}) & > & (0,03 \text{ p. } 100 \text{ At.}) \end{array}$$

Il est donc superflu d'admettre, comme l'avaient fait C. LUDWIG, ROBIN et VERDEIL, et d'autres, une action spécifique du tissu pulmonaire pour expliquer l'exhalation de CO<sup>2</sup> à la surface du poumon; les lois physiques de la diffusion en rendant complètement compte.

Ajoutons que WOLFFBERG et NUSSBAUM ont constaté que, si l'on obstrue une bronchiole d'un animal vivant, de manière à empêcher le renouvellement de l'air dans une portion du poumon, l'analyse de cet air confiné montre qu'il présente exactement la même tension de CO<sup>2</sup> que le sang veineux, soit 3,81 à 5,4 p. 100 d'une atmosphère. Ici aussi il y a établissement d'un équilibre complet de tension entre l'air des alvéoles et le sang.

De même, l'absorption d'oxygène à la surface pulmonaire par le sang veineux et son passage à travers les parois des capillaires de la circulation générale pour alimenter le foyer de la combustion organique et de la production de CO<sup>2</sup> s'expliquent en vertu des lois de la diffusion, qui veulent que l'oxygène chemine des endroits à tension forte vers ceux à tension faible :

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Air extérieur.} & & \text{Air des alvéoles.} & & \text{Sang artériel.} & & \text{Tissus.} \\ (20,95 \text{ p. } 100 \text{ At.}) & > & (18 \text{ p. } 100 \text{ At.}) & > & \text{plus de } 3,9 \text{ p. } 100 \text{ At.} & > & \text{tension voisine de zéro.} \end{array}$$

Il semble, d'après les chiffres de tension d'oxygène du sang artériel trouvés par STRASSBURG (3,9 p. 100 d'atmosphère) et ceux plus récents et un peu plus élevés (10 p. 100 d'atmosphère) déterminés également au moyen de l'aérotomètre par HERTER (*Zeits. f. physiol. Chemie*, 1879, t. III, p. 98) que la tension de l'oxygène du sang artériel est inférieure à celle de l'air des alvéoles pulmonaires et que l'équilibre de tension de l'oxygène est loin d'être atteint dans le poumon entre l'air et le sang.

Tel était l'état de la question lorsque parurent les travaux de BOHR (*Skandin. Arch.*

f. *Physiol.* 1891, t. II, p. 236; *C. Ph.* 1887, t. I, et 1888, t. II, p. 437; *Sur la respiration pulmonaire*, *Bull. acad. royale dan. des sc. et des lettres*, 2 nov. 1888, p. 139). BOHR a publié une série de déterminations de tension d'oxygène et de CO<sup>2</sup> dans le sang artériel du chien, pour montrer que souvent la tension de l'oxygène y est plus élevée (plus de 20 p. 100 d'une atmosphère) et celle de CO<sup>2</sup> plus basse (plusieurs fois tension nulle de CO<sup>2</sup>) que dans l'air des alvéoles pulmonaires. Ici donc les gaz auraient cheminé dans un sens inverse à celui que demandaient les différences de tensions; et leur transport ne pouvait plus être mis sur le compte de la diffusion, comme le veut la théorie de PFLÜGER. BOHR s'appuie sur ces expériences pour assigner au tissu du poumon un rôle actif dans l'absorption de l'oxygène, et l'exhalation de CO<sup>2</sup>, et pour comparer la fonction respiratoire de l'épithélium pulmonaire à la fonction sécrétoire des épithéliums glandulaires.

BOHR se servit pour ses expériences de chiens dont le sang était rendu incoagulable par une injection intra-veineuse de peptone ou d'extrait de sangsue. Il employa comme aérotonomètre une forme modifiée du grand compteur de LUDWIG qu'il appela *Hématoaréomètre* (*Hämatarcometer* en allemand). Le sang arrivait par une carotide à l'hématoaréomètre, s'y mettait en contact avec le mélange gazeux contenu dans l'appareil, puis retournait à l'animal par une canule fixée dans un autre vaisseau, la veine fémorale par exemple. La persistance de la fluidité du sang permit de prolonger à volonté le contact entre la minime atmosphère gazeuse de l'appareil et le sang qui s'y renouvelle constamment. BOHR affirme que l'équilibre entre l'air de l'aérotonomètre et les

gaz du sang qui y afflue s'établit très rapidement, en général au bout de quelques minutes, à cause des conditions favorables qui facilitent la diffusion (*loc. cit.*, p. 236); à l'appui de cette assertion, il cite un certain nombre de chiffres fournis aux différents moments d'une même expérience.

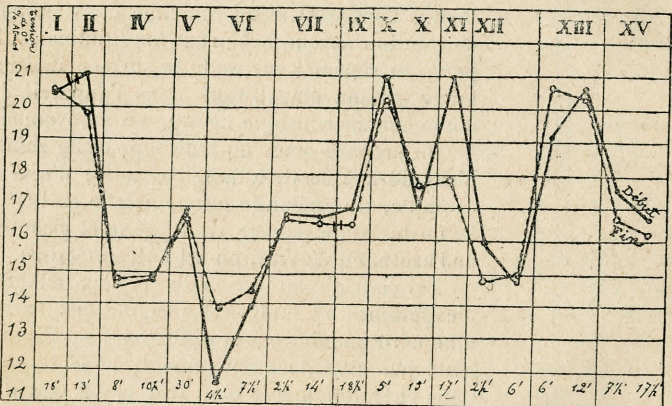


Fig. 26. — Courbes représentant les tensions d'oxygène au début (trait plein marqué *Début*) et à la fin (trait interrompu marqué *Fin*) des expériences de BOHR. I, II, III, etc., sont les numéros d'ordre des expériences (les expériences III, VIII et XIV n'ont pas fourni de valeur d'oxygène). 18', 13', 8', durée en minutes de l'afflux du sang dans chaque expérience. 11, 12, 13 à gauche, échelle de la tension de l'oxygène en centièmes d'atmosphère.

Je dois avouer que l'examen des résultats numériques des expériences de BOHR me semble au contraire indiquer que l'équilibre de tension était loin d'être atteint à la fin de chaque expérience, principalement en ce qui regarde l'oxygène. Ce qui me frappe dans ces chiffres, c'est l'influence considérable exercée sur la valeur de la tension trouvée dans l'aérotonomètre à la fin de l'expérience (composition finale du mélange gazeux) par la tension qui y régnait au début (composition initiale du mélange gazeux), et qui avait été choisie arbitrairement par l'expérimentateur. Tous les cas où la tension finale de CO<sup>2</sup> fut trouvée très faible (moins de 1,5 p. 100 atmosphères) sont précisément ceux où cette tension était faible au début de l'expérience. Les deux cas où cette tension finale fut trouvée = 0, celui où elle était presque nulle (0,14 p. 100 atmosphères) correspondent à trois des six expériences où la tension était déjà = 0 au début. Mêmes remarques pour les valeurs de l'oxygène. Le graphique ci-dessus (fig. 26) montre nettement la relation existant entre les valeurs de tension de l'oxygène dans l'atmosphère de l'aérotonomètre au début et à la fin de chacune des expériences de BOHR.

Cette influence ne s'explique qu'en admettant que l'équilibre de tension n'avait pas eu le temps d'être atteint pendant la durée trop courte de l'expérience.

J'ai répété les expériences de BOHR (*C. Ph.*, 1893, t. VII, p. 35 et 1894, t. VIII, p. 34) en me servant également de grands chiens dont le sang avait été rendu incoagulable par une injection intra-veineuse de propeptone (0,25 gr. par kilo d'animal.) Je relie la carotide droite et la jugulaire du même côté au moyen de tubes de caoutchouc d'un demi-mètre de long avec les deux extrémités *a* et *b* d'un aérotonomètre dont la fig. 27 montre la disposition. Le sang arrive par *a*, suinte à la surface du tube *c*, se rassemble à l'extrémité inférieure *b* et retourne à l'animal. Le tube *c* a une longueur de 75 centimètres et une contenance de 70 centimètres cubes. Il est rempli au début d'un mélange gazeux de composition connue (air atmosphérique, azote pur, mélange d'air et de  $\text{CO}_2$ , mélange d'azote et de  $\text{CO}_2$ , etc.).

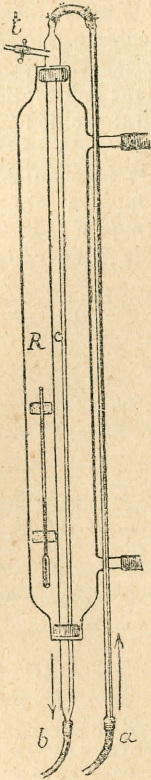


FIG. 27. — Aérotonomètre de FREDERICQ.

R est un réfrigérant de LIEBIG, dans lequel on fait circuler de l'eau à la température du corps de l'animal (+ 39°). Un aide tient l'appareil à une hauteur telle (au-dessus ou au-dessous de l'animal) que la pression intérieure (le tube *t* peut servir à y greffer un manomètre) correspond sensiblement à la pression atmosphérique extérieure; il incline l'appareil et lui imprime constamment un mouvement lent de rotation autour de son axe longitudinal, afin que le sang qui afflue par *a* se répande sur toute la surface intérieure de *c* et que le mélange gazeux emprisonné dans l'appareil soit toujours enveloppé d'une couche continue de sang en mouvement.

On prépare deux ou trois appareils semblables A, B, C, chacun d'eux devant servir à une expérience d'une heure : A contient, par exemple, un mélange gazeux, riche en  $\text{CO}_2$  et pauvre en oxygène; B, un mélange pauvre en oxygène et riche en  $\text{CO}_2$ , C peut contenir de l'azote, ou de l'air, ou tel autre mélange.

J'ai constaté au moyen de cet appareil que, même après une heure d'expérience et malgré les conditions extrêmement favorables de mon aérotonomètre à la diffusion, l'équilibre de tension de l'oxygène n'est pas atteint complètement, si la tension initiale de l'oxygène dans l'aérotonomètre était très basse (azote pur) ou très élevée (air atmosphérique avec 20,9 p. 100 atmosphères). La tension de l'oxygène du sang artériel peptonisé est inférieure de plusieurs centièmes d'atmosphère à celle de l'air des alvéoles pulmonaires. Elle oscille en général entre 10 et 15 p. 100 d'une atmosphère. Celle de  $\text{CO}_2$  est voisine de 3 p. 100 d'une atmosphère et correspond par conséquent à la valeur déterminée par les élèves de PFLÜGER pour le sang normal et à celle admise par GRANDIS (*A. Db.*, 1891, p. 499) pour le sang artériel peptonisé.

Les recherches de BOHR ne peuvent donc être considérées comme constituant une réfutation des travaux des élèves de PFLÜGER, et, jusqu'à preuve du contraire, on est autorisé à admettre avec PFLÜGER que ces échanges gazeux dont le poumon est le siège ne relèvent que des lois physiques de la diffusion des gaz, en vertu desquelles tout gaz tend à cheminer des endroits à forte tension vers ceux à faible tension.

**Bibliographie.** — PFLÜGER. *Ueber die Diffusion des Sauerstoffs, den Ort und die Gesetze der Oxydationsprozesse im thierischen Organismus.* A. Pf., t. VI, p. 43. — FLEISCHL. v. MARXOW. *Die Bedeutung des Herzschlages für die Athmung.* Stuttgart, 1887. — ZUNTZ. *Ueber die Kräfte, welche den respiratorischen Gasaustausch in den Lungen und in den Geweben des Körpers vermitteln.* A. Pf., 1888, t. XLII, p. 408, et les mémoires cités. Voir aussi pour les déterminations de tension des gaz du sang par d'autres méthodes que celle de l'aérotonomètre : HOLMGREN. *Wiener Sitzungsber.*, 1863, t. XLVIII, 2<sup>e</sup> part., p. 646. — GAULE. *A. Db.*, 1878, p. 470. — GRANDIS. *A. Db.*, 1891, p. 499. — G. HUFNER. *Zeit. f. physiol. Chemie*, t. XII, p. 368, t. XIII, p. 285.

LÉON FREDERICQ.

**AÉROPLÉTHYSMOGRAPHE** (Ἀήρ air; Πληθισμός, accroissement, γράφω, écriture ou inscription du volume respiratoire). — Pour mettre en évidence les changements de volume du thorax pendant la respiration chez les animaux et chez