

fréquente durant la fièvre, et ceci est particulièrement marqué chez les jeunes enfants. Nous ne prolongerons par cette énumération des variations de l'activité respiratoire, et il nous suffira d'indiquer une fois pour toutes, que la ventilation est *proportionnelle à l'activité chimique*, à la consommation d'oxygène.

La fréquence du rythme respiratoire peut bien nous donner quelques renseignements sur l'activité de la respiration ; mais ils sont incomplets. Pour les compléter, il faut savoir quelle *quantité* d'air est introduite à chaque inspiration, et celle-ci est fournie par l'emploi du *spiromètre* imaginé par Hutchinson (1846). C'est un réservoir gradué plein d'eau dans lequel on expire, l'air expiré chassant un volume égal d'eau (fig. 43).

Quantité d'air inspirée à chaque mouvement respiratoire.

— L'évaluation du volume moyen d'air mis en mouvement par chaque inspiration ou expiration tranquille varie naturellement selon les individus en expérience, mais le chiffre généralement adopté pour l'*adulte moyen normal et sain* est de 500 *centimètres cubes*. Chaque mouvement respiratoire produit l'expulsion ou l'introduction de 500 centimètres cubes d'air, un peu plus chez les sujets de haute taille, un peu moins chez les sujets petits. En outre, chez la femme, cette quantité est sensiblement moindre que chez l'homme.

Mais ces 500 centimètres cubes ne représentent pas tout l'air des deux poumons. Après ce que nous avons dit de la violence perpétuelle à laquelle est soumis le poumon, du jour où il a commencé à respirer jusqu'à celui où il entre en décomposition, on comprend que la quantité d'air alternativement inspirée et expirée est loin de remplir à elle seule cet organe. Ce que nous aspirons et expirons n'est qu'une partie de ce que peut contenir et contient réellement le poumon, et nous savons que dans une inspiration ou une expiration *forcée*, nous aspirons ou expirons plus de 500 cen-

timètres cubes. Mais encore même après l'expiration la plus forcée, le poumon doit contenir et contient encore de l'air. La quantité de cet air varie selon les sujets. Hutchinson a appelé *capacité vitale* la quantité d'air maxima mise en mouvement au moyen de l'expiration ou de l'inspiration la plus forcée. Elle varie beaucoup, comme l'on peut bien s'y attendre, puisqu'elle doit résulter de la valeur d'éléments fort variables : diamètres thoraciques, activité des muscles thoraciques, état du poumon, etc., facteurs qui eux-mêmes varient selon d'autres influences ; mais comme moyenne, acceptons le chiffre de 3 *litres et demi* pour l'*adulte sain, bien constitué* (Hutchinson). Nous voilà assez loin des 500 centimètres cubes du mouvement respiratoire moyen. Toutefois cette capacité vitale varie naturellement beaucoup : selon la taille, étant d'environ 3 litres chez les sujets de 1 m. 50, et de plus de 4 litres chez ceux qui atteignent 1 m. 80 ; elle varie selon la circonférence thoracique, naturellement, elle diminue avec l'âge, à partir de quarante ans ; elle est moindre chez la femme que chez l'homme, etc.

Mais cette capacité vitale, cela est évident, ne représente point encore la capacité totale du poumon : après l'expiration forcée la plus énergique, celui-ci contient toujours une certaine quantité d'air qui ne peut être expulsée. Cet air porte le nom d'*air résiduel*. Et maintenant, si nous considérons des poumons dilatés au maximum, nous voyons qu'il est possible d'y distinguer différentes catégories d'air, pour ainsi dire. Nous avons :

I° L'air en excès du volume d'une inspiration normale (*air complémentaire*) ;

II° L'air équivalent à une inspiration normale (*air courant*) ;

III° L'air qui peut être expulsé par une expiration forcée seulement (*air de réserve*) ;

IV° L'air que nulle expiration, si forcée soit-elle, ne peut expulser : c'est l'*air résiduel* dont il vient d'être question.

Il s'agit maintenant de connaître la valeur de ces différentes quantités. En somme, le spiromètre nous en fait connaître trois : il nous donne le chiffre de l'inspiration normale ; il nous donne la valeur de l'excédent inspiré dans une inspiration forcée, maximale ; il nous donne la quantité qui peut être expirée dans une expiration forcée. Mais il reste une dernière quantité à évaluer : celle de l'air résiduel. On l'évalue facilement de la façon suivante : le sujet inspire dans une cloche contenant, par exemple, 500 centimètres cubes d'hydrogène — gaz qui n'est point absorbé par le poumon, et qui n'est point toxique, — il inspire et expire plusieurs fois dans la cloche jusqu'à ce que l'air de la cloche et celui du poumon aient une composition homogène ; il y suffit de cinq ou six mouvements respiratoires. On analyse un échantillon de cet air, et on connaît par là la proportion de l'hydrogène à l'air total, c'est-à-dire à l'air courant *plus* l'air de réserve, *plus* l'air résiduel. Connaissant par le spiromètre la valeur de ces deux premières quantités, on déduit facilement celle de la troisième, qui est en moyenne d'un peu plus d'un litre.

Résumant les résultats des observations et expériences faites par les différents physiologistes, nous arrivons aux chiffres que voici :

Capacité totale.	}	Air complémentaire	1.670
		Air normal	500
		Air de réserve	1.600
		Air résiduel	1.200

La *capacité totale* ou *respiratoire* qui représente la totalité, le maximum de la quantité d'air que peuvent renfermer les poumons est donc d'environ 5 litres.

On donne le nom de *capacité vitale*, avons-nous dit, à la quantité d'air composant une inspiration ou une expiration maximale ; on voit par là en quoi elle diffère de la *capacité totale* ; et si nous schématisons le poumon sous forme d'une pompe dont le piston peut prendre les positions variées (fig. 44), nous voyons qu'il peut occuper toute position intermédiaire

entre A et B, sans jamais empiéter sur la portion comprise entre A et C, sans jamais vider totalement la pompe qui se trouve donc pourvue d'un espace nuisible assez considérable.

La méthode employée par Gréhant pour déterminer la quantité de l'air résiduel a été utilisée aussi par lui pour étudier la ventilation du poumon, pour connaître la quantité d'air qui, sur le total inspiré durant une inspiration ordinaire, reste dans le poumon au lieu d'être immédiatement expulsée par l'expiration suivante, et il a trouvé que sur 500 centimètres cubes inspirés, il en ressort de suite *un tiers* ; le complément des 500 centimètres cubes expirés est formé d'air vicié à la place desquels le poumon garde une égale quantité d'air pur. Le *coefficient de la ventilation* pulmonaire (quantité d'air nouveau qui, après chaque mouvement, reste dans l'unité de volume de l'espace ventilé) est donc d'un peu plus de un dixième (0,145). Ce coefficient augmente avec le volume de l'inspiration, et ceci explique comment il est plus avantageux de substituer une inspiration profonde à deux inspirations légères, quand même la somme de l'air inspiré en deux fois serait supérieure à la quantité inspirée en une seule fois. Ainsi 18 inspirations de 500 centimètres cubes sont plus avantageuses que 36 de 300 centimètres cubes, bien que dans ce dernier cas il entre près de 11 litres au lieu de 9 litres. Le sujet anhélant respire moins que le sujet à respirations profondes ; mais en somme *jamais la respiration ne s'effectue dans un air réellement pur* ; celui-ci est toujours mélangé d'une forte proportion d'air vicié, et Gréhant trouve que l'air contenu dans le poumon renferme *au moins 8 p. 100 de CO²*. Pour l'adulte moyen, à respiration normale, le coefficient de ventilation est d'environ 8 litres d'air par kilogramme de poids et par heure : 560 litres pour un adulte de 70 kilogrammes, par heure.

Naturellement, est-il besoin de le dire, c'est là un chiffre moyen : beaucoup de conditions le font varier, et du moment où il dépend de la profondeur et du rythme de la respi-

ration, toutes les influences qui agissent sur ces deux élé-

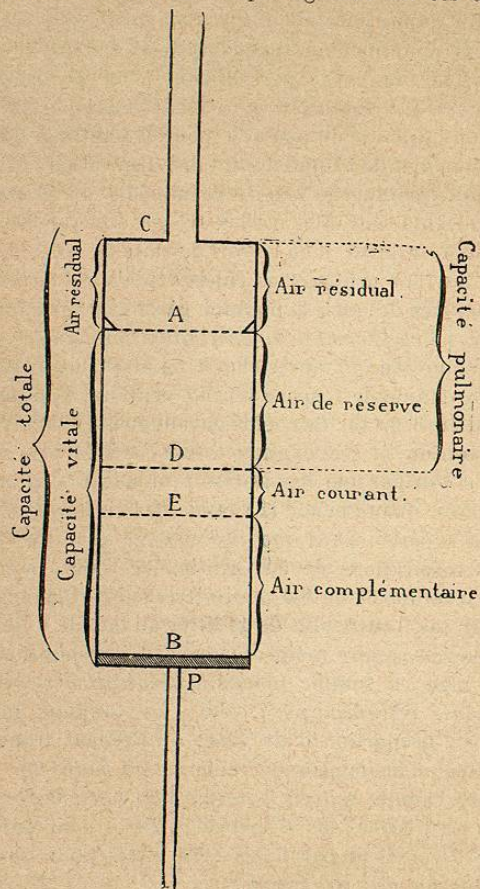


Fig. 44. Schéma de la pompe thoracique. (Viault et Jolyet.)

ments agissent aussi sur la ventilation pulmonaire.

Pression intrapulmonaire. — Ce que nous avons dit du mécanisme respiratoire nous a montré que l'air ne pénètre dans la cavité thoracique qu'en vertu de la *différence* des pressions extérieure et intérieure. Il nous faut revenir sur ce point. Quand la cavité thoracique se dilate, sous l'influence combinée des divers muscles respiratoires, la pression intrapulmonaire diminue aussitôt; un manomètre en communication avec la trachée indique une pression négative. Celle-ci est faible lors de la respiration calme (— 1 mill. Hg), mais dans une respiration profonde elle peut atteindre jusqu'à — 57 mill. Hg. Par contre, lors de l'expiration, il y a accroissement de pression (positive); celle-ci est normalement de 2 ou 3 millimètres, et peut aller jusqu'à 87 millimètres durant l'expiration forcée (Donders). La pression d'expiration est donc supérieure à celle de l'inspiration: du reste, chacun sait que l'effet mécanique produit est plus grand pendant que l'on souffle que pendant l'inspiration, et le fait s'explique aisément: l'inspiration est une violence faite au poumon, dont il faut vaincre la résistance perpétuelle (résistance variant de 6 à 36 millimètres de pression de mercure; il faut encore dilater le thorax, comprimer l'abdomen, etc.); dans l'expiration forte, au contraire, il y a coopération de l'élasticité pulmonaire et des efforts actifs.

P. Bert a donné de nombreux tracés indiquant les oscillations de la pression pulmonaire en opérant d'une façon très simple. Il enferme dans une cloche en communication avec un manomètre un animal quelconque. Si l'orifice glottique suffit au débit pulmonaire, il est évident que l'air contenu dans les poumons et l'air de la cloche auront la même pression. Mais s'il n'en est pas de même, s'il y a diminution de pression dans le thorax de l'animal par suite d'une insuffisante pénétration d'air par la trachée, il devra y avoir au contraire compression de l'air de la cloche: l'excès du volume acquis par l'animal pressera sur l'air qui l'entoure. C'est ce qui a lieu.

Valentin et Donders avaient cru la pression inspiratoire supérieure à l'expiratoire; Ewald a démontré le contraire. Le rapport de cette dernière à la première, est d'après lui, égale à $\frac{0,13}{0,10}$. Les

chiffres extrêmes constatés par Carson, Donders, Hutchinson, relativement à la pression négative du poumon à l'état de repos (poumon de cadavre, après incision des cavités pleurales, et poumon de vivant, dans une inspiration forcée) sont 6 millimètres et 30 millimètres de mercure. Rosenthal en déduit que la paroi thoracique supporte au repos une pression de 10 grammes par centimètre carré, pression qui croît à mesure que se dilate le poumon, et qui ramène la poitrine à l'état initial après cessation de l'effort inspiratoire. La pression négative mesurée dans la plèvre est, d'après Jacobson et Adamkiewicz de 3, 4 ou 5 millimètres Hg. Heynsius évalue la pression intrathoracique à 4 et 7,5 millimètres Hg., chiffres extrêmes : c'est la mesure de l'action incessante de l'élasticité pulmonaire, du degré de vide que le poumon, même en expiration complète, tend à établir autour de lui : on remarquera que c'est la pression péri-pulmonaire, naturellement, et non intra-pulmonaire.

Influence des mouvements respiratoires sur la circulation.

— Pendant l'inspiration, il y a *afflux sanguin* vers la cavité thoracique, diminution de pression artérielle, augmentation de pression veineuse, et il y a afflux de sang dans les veines caves. Pendant l'expiration, il y a une forte pression au sommet du cône veineux, d'où stase veineuse momentanée ; par contre, la pression expiratoire, en augmentant la pression artérielle, facilite la déplétion des vaisseaux artériels, ou tout au moins augmente fortement la pression de ceux-ci. Ces faits expliquent la stase veineuse générale qui se produit lors de l'effort (pression expiratoire forte), la fâcheuse influence qu'exerce celui-ci sur les hémorragies, anévrismes, etc. On comprend aussi que l'aspiration veineuse, due à l'inspiration thoracique, aspiration qui se propage assez loin, rend plus facile la pénétration de l'air dans les veines, pendant une piqûre de celles-ci, au cours d'une opération dans une région voisine du thorax ; et que la même inspiration thoracique exerce sur les hémorragies artérielles une influence favorable, par le retard qu'elle impose à la déplétion artérielle. Une expiration forcée peut, par la forte pression qu'elle produit, arrêter le cœur pendant quelques instants (Weber) ; dans une inspiration forcée l'action du cœur peut

faiblir par suite de la difficulté qu'il éprouve à chasser tout le sang qui vient à lui, ou est retenu dans ses parois par le fait de la diminution de pression intra-thoracique.

(Il est à noter que les effets de l'inspiration et l'expiration sur les vaisseaux deviennent inverses dans le cas de respiration à type abdominal (Marey), bien que Luciani ait vu, sur des chiens il est vrai, que la pression abdominale suit les variations de la pression thoracique.)

En résumé, l'inspiration attire à la fois l'air pur et le sang qui en cherche le contact, tandis que l'expiration, chassant l'air devenu inutile, aide au cours du sang qui en a épuisé l'influence réparatrice et, pourrait-on ajouter, « oblige le sang qui n'a point encore été purifié à attendre un nouvel afflux d'air ».

Dans le poumon même, le sang est plus abondant durant l'inspiration. Haller, Poiseuille et Gréhan avaient conclu au contraire, mais ils opéraient d'une façon défectueuse : ils faisaient des insufflations trachéales ; rien d'étonnant à ce que, dans ces conditions, le poumon s'anémiât. Il faut se rappeler que, dans l'état physiologique, la dilatation pulmonaire est le résultat du vide pleural. Quand ce vide se produit, il s'établit un certain vide dans le poumon ; la pression s'y abaisse par rapport à la pression extérieure. Dès lors, le poumon en état d'aspiration représente un tissu vasculaire interposé à deux espaces à moindre pression (plèvre et cavité pulmonaire) ; à priori, le sang doit s'y porter en plus grande quantité, et ce vide relatif facilite l'expulsion de l'acide carbonique du sang. En expiration au contraire, il y a une légère compression de l'air intrapulmonaire, ce qui doit faciliter la fixation de l'oxygène.

Phénomènes chimiques de la respiration. — La respiration est un processus chimique ; c'est une oxydation ou, pour mieux dire, un ensemble de réactions exothermiques (dégageant de la chaleur) aboutissant à la formation d'acide car-

bonique, d'eau, et d'un certain nombre d'autres produits qui sont rejetés au dehors. Ces réactions ne peuvent se produire sans apport d'oxygène. L'aération du sang, qui s'effectue dans le poumon, fournit cet apport. Quant aux produits de la combustion et des autres réactions, ils s'éliminent en partie par le poumon (CO^2 et eau), en partie par la peau, en partie encore par le rein.

Les principaux traits de l'histoire de la découverte de la nature réelle de la fonction respiratoire peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

Les animaux vivants ont besoin d'air pour vivre. Ce fait est constaté par Boyle, Huyghens, Derham, Bernouillé, et les physiiciens de Florence.

L'air a besoin d'être renouvelé : R. Boyle.

Théorie mécanique. — L'air déplisse les poumons pour permettre la circulation du sang (iatro-mécaniciens). Hales modifie la théorie en supposant que la respiration a pour but de brasser le sang, ce qui le rend rutilant.

Théorie physique. — L'air rafraîchit le sang (Platon, Aristote, Descartes, Boerhaave); il condense le sang veineux, trop chaud et trop dilaté, et l'empêche de briser les vaisseaux (Hévétius).

Théorie dynamique ou vitale. — La respiration introduit des particules impondérables de l'air, qui se détruisent en nous.

Théorie chimique. — Jean Mayow découvre que le sang contient un esprit *nitro-aérien* (oxygène) qui produit la rutilance du sang et la chaleur animale : c'est cet esprit qui forme les acides en se combinant avec certains corps, la rouille en se combinant avec le fer, qui s'unit avec les corps comburés, dans la combustion, laquelle laisse derrière elle un air sans esprit nitro-aérien, impropre à alimenter la combustion ou à entretenir la vie. Black reconnaît que l'air devient irrespirable par suite de la présence de CO^2 (*acide aérien*). Priestley isole l'oxygène deviné par J. Mayow; il reconnaît que les plantes purifient l'air vicié par la respiration; que l'air et l'oxygène seuls rendent le sang rutilant. Lavoisier fait l'analyse de l'air; il constate l'absorption de l'oxygène dans la respiration, et il fonde enfin la théorie chimique, celle qui subsiste aujourd'hui avec quelques modifications, dont la principale est que l'on place le siège des combustions respiratoires dans tout l'organisme, et non dans le poumon seul, comme le faisait Lavoisier (avec réserves d'ailleurs).

Toutefois on n'a commencé à formuler la théorie moderne de la respiration qu'après les beaux travaux de Magnus qui, en 1836, a méthodiquement extrait les gaz du sang, en fournissant aux physiologistes une méthode qui a sans doute été perfectionnée depuis, mais qui a été le point de départ de recherches des plus importantes. Magnus croyait à tort que l'O et le CO^2 sont simplement dissous dans le sang : Liebig pressentit et Fernet démontra qu'il y a combinaison chimique faible entre ces gaz et différents éléments du sang. Enfin, entre 1862 et 1864, Hoppe-Seyler et Stokes ont découvert le rôle de l'hémoglobine.

La respiration, au point de vue chimique, est surtout une *combustion*, une combinaison de l'oxygène de l'air avec différentes substances, avec le carbone en particulier. Cette combustion s'opère non dans le poumon, qui est simplement le siège des échanges gazeux entre l'air et le sang, et qui est l'intermédiaire entre l'air et les tissus, mais dans les tissus eux-mêmes, comme nous le verrons plus loin. Tous les êtres vivants respirent; les animaux et les plantes absorbent de l'oxygène et rejettent de l'acide carbonique; tous brûlent, selon la comparaison de Lavoisier, qui les assimilait à des corps en combustion; de là leur chaleur propre — variable — et leur mouvement. Les uns empruntent leur oxygène à l'air; d'autres à l'eau, et si les plantes, par la chlorophylle, décomposent l'acide carbonique de l'air en carbone qu'elles conservent et en oxygène qu'elles rejettent, il ne faut pas oublier que cette fonction de *nutrition* est parfaitement distincte de leur fonction respiratoire, identique à celle de l'animal. D'autres êtres n'absorbent pas l'oxygène en nature, ou, du moins, sont capables de se passer de celui-ci; mais cela ne veut pas dire qu'ils ne respirent point; ils empruntent l'oxygène à des combinaisons où il se trouve : c'est ce que fait la levure de bière par exemple, qui, lorsqu'elle est privée d'oxygène, et se trouve en présence de sucre, prend à celui-ci une partie de son oxygène, et produit ainsi de l'acide carbonique et de l'alcool. Tels ferments peuvent vivre en présence de l'oxygène; mais d'autres sont *anaérobies*

et meurent de l'oxygène libre ; ils en consomment pourtant, mais l'empruntent à des combinaisons oxygénées. En réalité, il y a beaucoup d'anaérobies ; les tissus des fruits sont anaérobies puisqu'ils peuvent former de l'alcool et l'acide carbonique aux dépens des sucres ; on peut dire que les tissus animaux aussi sont en quelque façon anaérobies, car ils consomment de l'oxygène combiné à de l'hémoglobine, et l'oxygène dissous leur est toxique (P. Bert).

C'est M. Pasteur qui a développé cette idée de l'anaérobiose des tissus animaux. Il fait remarquer que, si l'oxygène trouble le fonctionnement des cellules anaérobies, il leur rend pourtant des services s'il vient de temps à autre les exciter. L'O de l'air servirait d'excitant ou de condiment aux cellules du corps qui, il faut le reconnaître, auraient un bien plus grand besoin de cet excitant que ne l'ont les cellules de la levure par exemple. « Les combustions directes seraient de peu d'importance excepté peut-être dans l'état de croissance des individus, c'est-à-dire quand il y aurait multiplication des cellules. La fermentation devient, dans cet ordre d'idées, un phénomène général, universel, propre à toutes les cellules vivantes... La plupart des phénomènes physiologiques devraient être revisés à la clarté des vues que je viens d'exposer. Dans les applications qu'on en peut faire, je suis frappé de la simplicité des explications qu'elles suggèrent. Elles rendent compte des faits les plus obscurs pour la théorie de la combustion directe.

a. Un muscle en activité produit un volume de CO_2 supérieur au volume d'oxygène absorbé dans le même temps. La consommation d'oxygène n'est donc pas en rapport exact avec la production d'acide carbonique. Pour la théorie nouvelle, ce fait n'a rien de naturel puisque l'acide carbonique produit résulte d'actes de fermentation qui n'ont aucune relation nécessaire avec la quantité d'O absorbée et fixée.

b. On sait que dans les gaz inertes, dans l'H, l'Az, CO_2 , le muscle peut se contracter et qu'il produit alors CO_2 . Ce fait est une conséquence obligée de la prolongation de la vie des cellules dans leur état anaérobie, sous l'influence de l'excitation qu'elles ont reçue antérieurement au contact du gaz oxygène apporté par les globules du sang. Il est inexplicable dans la théorie des combustions respiratoires.

c. Les muscles ont, après la mort et dans l'asphyxie, une réaction acide. On le comprend aisément si des actes de décomposi-

tion et de fermentation s'accomplissent et se prolongent au delà de la vie dans toutes les cellules fonctionnant comme cellules anaérobies.

d. On asphyxie un animal, et l'on constate que sur l'heure sa température augmente, tandis qu'elle devrait diminuer aussitôt par la suppression des combustions, si la chaleur était la conséquence de ces combustions. Quoi de plus naturel que ce fait, au contraire, si l'on considère que le corps de l'animal asphyxié est livré sans travail musculaire quelconque à des phénomènes de fermentation qui dégagent de la chaleur.

e. La fièvre, elle-même, dont l'explication est si difficile aujourd'hui, ne sera-t-elle pas envisagée dans l'avenir comme un des effets d'un trouble survenu dans le fonctionnement des cellules anaérobies du corps, d'où résulterait une exaltation des fermentations qu'elles provoquent ? »

Il convient d'ajouter toutefois que cette intéressante théorie de la fermentation substituée à celle des oxydations respiratoires n'est point généralement adoptée par les physiologistes.

Directement ou indirectement l'oxygène de la respiration vient toujours de l'air qui en est le grand réservoir naturel. On pourrait, au premier abord, supposer que si tous les êtres vivants consomment de l'oxygène, la tension (ou proportion) de ce gaz dans l'air doit diminuer sans cesse. Il n'en est rien. En quelque point qu'on analyse l'air, celui-ci présente une composition identique (O, 20, 8 ; Az. 79, 2 ; CO_2 0,028). Pourtant, connaissant le nombre des êtres humains et leur consommation d'oxygène, tenant compte des animaux et des combustions (houille, bois, etc.), on arrive à la conclusion qu'en trente ans, l'oxygène devrait passer de 20,800 à 20,799, et avec le temps, l'oxygène devrait disparaître. Il le devrait, en effet, et la chose aurait lieu si, comme il a été dit, les plantes, par leur fonction chlorophyllienne, ne restituaient à l'air l'oxygène qui lui a été pris, n'en déversaient sans cesse dans l'atmosphère une quantité considérable évidemment égale à celle que consomment les règnes animal et végétal, et les combustions industrielles. La plante est donc le régulateur de l'équilibre de composition de l'atmosphère ; elle y

est d'ailleurs aidée par la mer, qui sert de régulateur des proportions d'acide carbonique (Schlœsing).

Dosage des produits de la respiration. — On ne peut étudier les

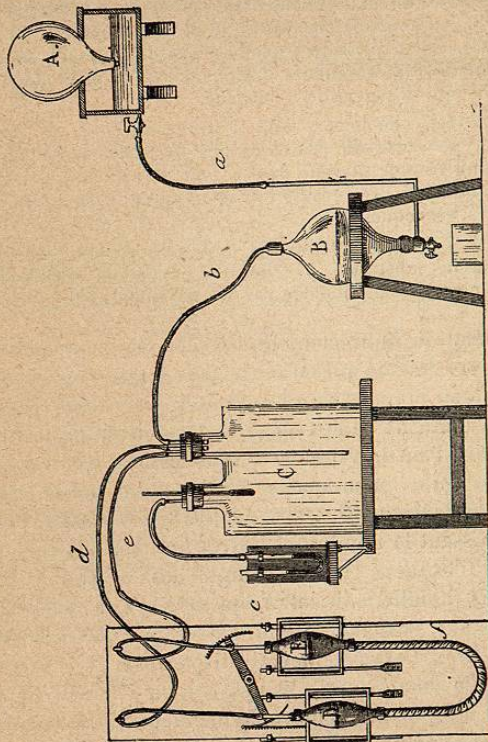


Fig. 45. — Schéma de l'appareil de Regnault et Reiset pour l'étude des gaz de la respiration. (D'après Viault et Jolyet.)

modifications imprimées à l'air respiré qu'au moyen d'appareils délicats, complexes, qui indiquent la quantité d'air qui a passé

par les poumons, et les modifications qualitatives que celui-ci y a subies. Les plus connus de ces appareils sont les suivants :

App. de Regnault et Reiset. — Un animal est placé (fig. 45) dans une cloche close C communiquant avec un appareil D E où l'acide carbonique produit est absorbé par de la potasse caustique et avec un ballon B plein d'oxygène, lequel oxygène passe peu à peu dans la cloche, chassé par l'écoulement graduel qui se fait de A en B, d'une solution de chlorure de calcium. On dose l'acide carbonique par la solution de potasse, et on sait combien il a été consommé d'oxygène d'après ce qu'il en reste dans la cloche B. Cet appareil a cependant un inconvénient : l'absorption d'acide carbonique est trop lente, et l'animal respire dans un milieu contenant jusqu'à 40 fois plus d'acide carbonique que l'air normal.

App. d'Andral et Gavarret. — Il se compose de ballons où l'on a fait le vide, et où, grâce à un jeu de robinets et de soupapes, ne se rend que l'air qui a été *expiré* par l'expérimentateur : il est facile d'en faire ensuite l'analyse. L'appareil de Pettenkofer et Voit est plus complexe. Le sujet, homme ou animal, respire dans une chambre close où l'air arrive par un appareil aspiratoire. L'air de la chambre est aspiré dans un compteur à gaz et analysé ensuite. Jolyet, Bergognié et Sigalas, et d'autres encore, ont modifié cet appareil.

Enfin Hanriot et C. Richet ont imaginé un appareil (*Soc. de Biologie*, 1886), où l'acide carbonique est dosé d'une façon spéciale entre deux compteurs dont le premier indique l'air total expiré, et le second l'air *moins* l'acide carbonique (dosage en volumes).

L'emploi des appareils dont il vient d'être parlé a montré quelles modifications subit l'air dans le poumon — ou organe respiratoire quel qu'il soit, car il existe des appareils pour l'étude de la respiration aquatique (Jolyet et Regnard). — Ils montrent qu'il y a un changement de composition important.

Comparons, en effet, l'air inspiré avec l'air expiré : nous avons les chiffres suivants (en volume) :

	Air inspiré	Air expiré
Oxygène	20,9	15,4
Azote	79,1	79,3
Acide carbonique	deux ou trois dix millièmes.	4,3

Par conséquent, l'air, en passant par les poumons, perd de

l'oxygène, gagne un peu d'azote, et beaucoup d'acide carbonique ; en outre, il est saturé de vapeur d'eau.

Reprenons chacun de ces points ¹.

L'air expiré a perdu de l'oxygène, c'est-à-dire que l'organisme s'en est approprié une certaine quantité. Cette quantité peut être évaluée par vingt-quatre heures, pour un cube respiratoire de 10,000 litres, à 530 litres, ou 750 grammes d'oxygène (chiffre moyen).

Cette évaluation représente une moyenne : l'absorption d'oxygène varie selon plusieurs conditions.

Selon la pression. — La pression est plus grande en inspiration qu'en expiration ; en inspiration profonde qu'en inspiration calme ; l'absorption se fait donc avec plus de puissance dans l'inspiration, et surtout dans l'inspiration profonde : les différences sont sensibles. *Selon l'état de mouvement ou de repos.* — Hirn a montré qu'avec le mouvement, on absorbe de 80 à 110 grammes d'oxygène de plus par heure que durant le repos. *Selon la température.* — L'absorption d'O augmente avec le froid. *Selon l'état de jeûne ou de digestion.* — Les chiffres suivants donnés par Lavoisier et Séguin en 1789 (d'après Longet) se rapportent aux deux conditions précédentes, et à celle que nous venons de citer : l'unité de temps est l'heure :

Homme au repos et à jeun, à 32°,5 de temp. ext., 24 litres ; ou 34 gr. 490.

Homme au repos et à jeun, à 15° de temp. ext. 26 l. 660 = 38 gr. 310.

Homme en état de digestion, 37 l. 689 = 54 gr. 159.

Homme à jeun fournissant le travail nécessaire pour élever en 15 minutes un poids de 7^{kg},343 à 199^m,776 : 63 litres 477 = 91 gr. 216.

Homme en digestion fournissant le travail nécessaire pour élever le même poids à 211^m,146 : 91 l. 248 = 131 gr. 123.

Selon l'âge. — Despretz a vu que de jeunes chiens absorbent moins que des chiens âgés, mais il ne paraît pas avoir tenu compte des poids. *Selon le poids.* — Regnault et Reiset ont eu l'idée de calculer la quantité d'oxygène absorbée en la rapportant à une unité de

¹ Voy. Hanriot et Ch. Richet. *Des Echanges Respiratoires chez l'Homme* (Ann. de Chimie et de Physique, 1890).

poids, quel que soit le sujet, quelle que soit l'espèce considérée : cette unité est le kilogramme. Ils sont arrivés aux résultats suivants (par kilogramme d'animal et par heure) :

Lapins	0 gr. 918	Petits oiseaux	9 à 13 gr.
Canards	1 gr. 527	Grenouilles	0 gr. 063 — 0 gr. 105

Les insectes absorbent autant d'oxygène que les chiens, lapins et poules ; les vers de terre n'en prennent guère que ce que prennent les grenouilles. Ces chiffres diminuent encore dans l' inanition, l'hibernation, et chez les sujets très gras.

D'une façon générale, les animaux petits — parmi les homéothermes — consomment beaucoup plus d'O que les grands : le cheval brûlera 50 centigrammes d'O par heure et par kilogramme, alors que le pinson en brûlera 10 ou 14 grammes. Les petits animaux ont une surface proportionnellement plus grande, d'où déperdition thermique plus considérable. Le pinson brûle son poids d'O en 3 ou 4 jours ; les grands mammifères ont besoin pour cela de 100 ou 150 jours.

Sans prolonger l'énumération des causes qui peuvent faire varier l'absorption de l'oxygène — car ce sont celles qui agissent sur l'excrétion d'acide carbonique, et nous en parlerons plus loin à propos de ce dernier phénomène, — on peut prendre comme chiffres moyens de l'absorption d'oxygène par heure 22 litres (de 20 à 25), c'est-à-dire 530 litres par 24 heures, en poids 750 grammes. Ce chiffre a la valeur des moyennes, une valeur très relative, puisqu'il doit varier sous des influences nombreuses, dont les unes viennent d'être citées, et dont les autres vont être énumérées.

L'air expiré contient une proportion de CO² plus considérable que l'air inspiré, c'est-à-dire que l'oxygène perdu est en partie remplacé par de l'acide carbonique. Celui-ci est aisément révélé par le précipité (de carbonate de chaux ou de baryte), qui se forme quand on fait passer l'air expiré dans une solution de CaO ou de BaO. En moyenne, nous expirons 850 grammes (400 litres) ou 900 grammes (455 litres) de CO² par vingt-quatre heures.

Les plantes produisent moins de CO² que les animaux : les chiffres varient de 0 gr. 02 (par kilogramme et par heure) chez les graines à vie latente et lente, à 0 gr. 50 pour les fleurs chez qui la respiration est très intense : en moyenne, la production, est

de 0 gr. 25 pour les parties diverses de la plante vivante en activité (fleur exceptée).

Les causes qui font varier la proportion de CO² sont nombreuses¹.
Age. — La proportion de CO² rejetée par la voie pulmonaire suit les variations suivantes d'après Andral et Gavarret, mais il est à noter qu'il s'agit ici de quantités absolues, non rapportées à une unité de poids, comme le sont la plupart des numérations de ce genre. Il s'agit de la quantité excrétée en vingt-quatre heures :

Age.	Quantité rejetée.	Age.	Quantité rejetée.
8	440 grammes	20-40	1072 grammes
15	765 —	40-60	887 —
16	949 —	60-80	808 —
18-20	1002		

Rapportée à une unité de poids et de temps (par kilogramme et par heure) l'excrétion de CO² est de 30 centimètres cubes chez le fœtus, 500 chez l'enfant, 300 chez l'adulte, 250 chez le vieillard. En réalité, l'âge agit surtout par les différences de taille, c'est-à-dire aussi du rapport du poids à la surface. A poids égal, l'enfant produit plus de CO² que l'adulte (Scharling).

Sexe. — Le sexe masculin exhale plus de CO² que le féminin, d'après Andral et Gavarret, qui ne tiennent pas compte du poids. Moleschott et Schelske concluent pareillement de leurs expériences sur divers amphibiens (grenouille, crapaud, triton, salamandre), que l'exhalation de CO² est sensiblement moindre chez les femelles.

Espèce animale. — Voici quelques chiffres d'après Pott, Baumer, Paul Bert, Ch. Richet; CO² est indiqué en grammes, rapporté au kilogramme le poids de l'animal, et l'unité de temps est l'heure :

	CO ² produit.	Poids de l'animal.
Bœuf	0,25	500 kilogrammes.
Homme	0,50	60 —
Mouton.	0,70	40 —
Chien.	1,00	10 —
Lapin	1,25	12 —
Cobaye.	2,50	0,500 grammes.
Moineau	15,00	0,025 —

On remarquera que les espèces à sang froid produisent peu d'acide carbonique, comparées aux animaux homéothermes. Pourtant les insectes font exception; ils produisent beaucoup de CO² parce qu'ils sont très actifs, et tels insectes

produisent plus de CO² que tels autres animaux hétérothermes (poissons, batraciens), plus élevés dans la série animale, uniquement en raison de leur activité beaucoup plus considérable : ce n'est pas une affaire de taille.

Etat de veille ou de sommeil. — CO² diminue durant le sommeil (Boussingault, Pettenkoffer et Voit) : pour 100 de CO² en vingt-quatre heures, il y a 58 pour le jour et 42 pour la nuit; mais l'absorption d'O ne diminue pas autant que l'exhalation de CO² et il en résulte une augmentation de poids par accumulation d'O non consommé. « Qui dort dine, » dit le proverbe : on voit qu'il renferme une vérité réelle. Ce fait a été vu par Pettenkoffer et Voit, Regnault et Reiset, et confirmé par Sczelkow et Ludwig.

En léthargie hystérique les échanges s'abaissent énormément (Richet et Hanriot).

Alimentation. — Pendant l'inanition, CO² est éliminé en moindre quantité; il augmente après les repas, comme l'ont montré de nombreuses expériences faites par Bidder et Schmidt sur des chats, par Pettenkoffer et Voit, sur le chien. Ces derniers ont vu qu'un chien peut éliminer 300 ou 850 grammes de CO², selon qu'il est en inanition, ou bien alimenté. D'autres ont constaté le même fait chez le bœuf et le mouton, Ranke sur lui-même. La suralimentation (alimentation de luxe) augmente l'élimination de CO², et les aliments agissent d'autant plus dans ce sens qu'ils sont plus riches en carbone (hydrocarbonés) : on verra plus loin pourquoi Les corps gras et azotés augmentent très peu la production de CO². Les alcooliques, le thé et le café, la glycérine diminuent CO²; les substances aisément oxydables l'augmentent.

D'après C. Richet et Hanriot, la production de CO² par Kg. par heure est de 0 gr. 500 à jeun et de 0. g. 580 en digestion.

Température. — Ici il y a lieu de faire une distinction importante. Chez les espèces homéothermes, le froid augmente la production de CO² (Lavoisier, etc.). Celle-ci, pour le cobaye, est augmentée de 3 ou 4 centimètres cubes par kilogramme et par heure pour un abaissement de quelques degrés (de 15 à 5 par exemple); l'augmentation est également bien marquée pour l'homme (Voit). Chez les espèces hétérothermes le contraire a lieu, et l'exhalation de CO² diminue d'après Regnault et Reiset, Moleschott, etc.

A 1°, la grenouille n'élimine presque pas de CO², alors qu'à 33 ou 35° elle en élimine autant que l'homme proportionnellement (H. Schulz); naturellement il ne s'agit ici que des variations de température compatibles avec la vie.