

dans l'expiration. Le type abdominal donne lieu à des effets directement inverses (Marey). Nous donnons (fig. 125) le tracé du pouls pendant que la respiration s'effectue par des contractions énergiques du diaphragme. On voit que dans le type abdominal (comme dans le type thoracique), la pulsation diminue, puis disparaît, en même temps que la tension artérielle augmente<sup>1</sup>.

Enfin on peut encore citer, plutôt comme curiosité expérimentale que comme fait physiologique important, l'influence en sens inverse que l'on peut constater entre le cœur et le poumon. « On sait que les battements du cœur changent les conditions de la pression intra-thoracique; l'afflux sanguin, qui se fait à chaque diastole, doit (en supposant le thorax immobile) comprimer l'air du poumon, et, si la glotte est ouverte, provoquer une légère expiration; de même, lorsque le cœur se vide brusquement, le sang qu'il lance hors du thorax doit être remplacé par une certaine quantité d'air venu par la trachée. Dans l'état normal cela est peu sensible, à cause des modifications incessantes que la respiration apporte dans la capacité aérienne du thorax. Mais on peut aisément mettre en évidence ce phénomène. Il suffit pour cela de mettre en communication la trachée d'un chien avec l'appareil enregistreur, puis de trancher d'un coup le bulbe de l'animal; la respiration s'arrête à l'instant, et le cœur continuant de battre pendant quelques minutes, ses battements s'enregistrent par l'intermédiaire de l'air de la trachée. » (P. Bert.)

#### IV. PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION

Nous connaissons les masses d'air et de sang mises en présence, ainsi que le mécanisme qui les renouvelle; il nous faut donc étudier les échanges qui se produisent à ce contact au niveau du poumon; ils nous seront rendus évidents par la constatation des changements qu'ont subis l'air et le sang à leur passage dans le poumon.

**A. Modifications de l'air expiré.** — Nous savons que nous introduisons par jour dans notre poumon 10 mètres cubes d'air (10.000 litres). Nous expulsons une quantité d'air à peu près égale à celle que nous inspirons, mais cependant un peu moins forte: ainsi nous retenons environ 1/40 ou 1/50 de l'air inspiré; mais au premier examen, le volume du gaz expiré n'est pas diminué, car il contient de la vapeur d'eau qui occupe un volume considérable, et, d'autre part, il est dilaté par le fait de l'élévation de sa température (la température de l'aisselle étant de 37°, 40°, celle de l'air expiré est en moyenne de 36°, 35°<sup>2</sup>). Mais un changement bien plus

<sup>1</sup> P. Lorrain, *Étude de médecine clinique. Le pouls*, 1870.

<sup>2</sup> Le procédé pour prendre cette température de l'air expiré est des plus simples; il consiste dans l'emploi d'un tube de verre dans lequel est maintenu

important qu'a subi l'air, c'est une perte d'oxygène qui a été remplacé en grande partie par de l'acide carbonique. En effet, dans les 10 mètres cubes d'air inspiré, il y a 1/5 d'oxygène (21 d'O pour 79 d'Az), ce qui donne en poids 2<sup>es</sup>,500 d'oxygène environ (puisque 1 litre d'oxygène pèse 1<sup>er</sup>,4). Or, dans l'air expiré des vingt-quatre heures, il n'en reste plus que 1<sup>er</sup>,750; c'est-à-dire que 750 grammes d'O ont été retenus par le poumon (2500 — 1750 = 750). Nous voyons donc qu'en somme nous retenons 3/4 de kilogrammes d'oxygène en vingt-quatre heures (750 grammes, ou, en volume, 530 litres).

D'autre part, on sait que l'acide carbonique ne se trouve représenté que par millièmes dans l'air atmosphérique, dans l'air inspiré (1/2500, c'est-à-dire 4 dix-millièmes). Or, dans l'air expiré, il est dans une proportion très considérable. Il suffit, pour le démontrer, d'expirer par un tube de verre dans une solution de chaux ou de baryte et on voit aussitôt se former un précipité qui n'est autre chose qu'un carbonate (de chaux ou de baryte). La quantité en est variable suivant les circonstances, mais on peut dire qu'en moyenne, nous expirons en vingt-quatre heures 850 grammes d'acide carbonique (en volume 400 litres: à rapprocher des 500 litres d'O absorbé pour se rendre compte de la diminution de volume que nous avons signalée entre l'air inspiré et expiré). Tels sont les faits principaux relatifs à l'air; les autres modifications sont insignifiantes. Ainsi l'air contient 4/5 d'azote (21 d'O, 79 d'Az); selon les uns, la quantité inspirée et la quantité expirée de ce gaz sont égales; selon d'autres, ces quantités pourraient varier, et parfois il y en aurait un peu plus de rendu, par suite une certaine quantité en serait excrétée par le poumon. En effet, on trouve assez souvent dans le poumon des traces d'ammoniaque et diverses exhalations provenant des substances azotées, ainsi que des vapeurs de toutes les substances volatiles

un thermomètre, et qu'on place dans la bouche, en ayant soin d'une part d'inspirer par le nez (en formant le tube avec le bout de la langue) et d'autre part d'expirer par la bouche, c'est-à-dire par ce tube, de sorte que l'air, pendant sa sortie, frôle longuement le réservoir du thermomètre. Quand on inspire par la bouche, la température de l'air expiré est un peu plus basse que quand on inspire par le nez, preuve de ce que nous avons signalé précédemment (p. 395), à savoir, qu'au point de vue de la caléfaction de l'air, ce sont les fosses nasales qui représentent la voie naturelle de l'inspiration. Enfin il est évident *a priori* que moins l'air séjournera dans les voies respiratoires, moins il arrivera à se rapprocher de la température de corps; la température de l'air expiré sera donc d'autant moins élevée qu'on accélérera davantage les mouvements respiratoires, et si en même temps la température ambiante est inférieure à 0°, il arrivera facilement que celle de l'air expiré reste inférieure à 30°.

accidentellement contenues dans le sang, comme l'alcool, l'éther, des produits phosphorés, des gaz paludéens.

**B. Modifications du sang qui a traversé le poumon.** — Que se passe-t-il du côté du sang? Comme la simple induction pouvait le faire prévoir et comme l'expérience l'a démontré, l'acide carbonique expiré provient du sang veineux qui se débarrasse de ce produit d'excrétion, et se charge d'oxygène, de façon à passer à l'état de sang artériel. En effet, nous avons déjà étudié les gaz du sang, et nous avons vu qu'au point de vue de la respiration le sang peut être considéré comme une véritable solution gazeuse, dans laquelle le globule sanguin est le véhicule de l'oxygène, et le sérum celui de l'acide carbonique, et nous avons vu que la différence essentielle entre le sang artériel et le sang veineux est précisément la prédominance de l'oxygène dans le premier, de l'acide carbonique dans le second (p. 206).

Les analyses des gaz contenus dans le sang artériel et le sang veineux donnent <sup>1</sup>:

Pour 100 volumes de sang artériel (chien):

Oxygène — 20; acide carbonique — 34, 8.

Pour 100 volumes de sang veineux:

Oxygène — 12; acide carbonique — 47.

Il y a donc eu au niveau du poumon un échange gazeux entre le sang et l'air introduit par l'inspiration: le sang a abandonné une partie de son acide carbonique et est devenu plus riche en oxygène.

La couleur rutilante du sang artériel dépend sans doute d'une action chimique de l'oxygène sur la matière colorante, ou hématine: mais elle paraît tenir aussi à un changement de forme; sous l'influence excitante de l'oxygène, comme sous celle de plusieurs autres agents (le chlorure de sodium, par exemple), le globule sanguin devient plus plat, plus mince, et il réfracte autrement la lumière, que sous l'influence de l'acide carbonique qui a pour effet de le faire gonfler, en le rapprochant de la forme sphérique.

De plus, en passant par le poumon, le sang dégage, comme nous l'avons vu, une certaine quantité de vapeur d'eau (très variable, mais que l'on peut représenter en moyenne par 300 grammes en vingt-quatre heures). En effet, l'air de l'expiration sort du poumon presque saturé de vapeur d'eau, à une température très voisine de celle du corps, ainsi que l'a démontré Gréhant. Nous avons déjà vu que, si l'on inspire 1/2 litre d'air atmosphérique, on rejette par l'expiration qui suit un tiers de ce volume d'air pur mélangé à deux tiers d'air vicié. Or, l'air vicié, qui a séjourné un certain temps au

<sup>1</sup> Ludwig et ses élèves (*Archives de physiologie* de Pflüger, 1872).

contact des bronches, possède la température des poumons et se trouve saturé d'humidité; le tiers d'air pur qui est rejeté aussitôt n'a pas eu le temps de prendre exactement la température des parois de l'arbre aérien, de sorte que la totalité de l'air expiré ne peut avoir une température égale à celle du corps. Par des recherches expérimentales très exactes, Gréhant a montré que la température de l'air extérieur étant de 22°, celle de l'air expiré est égale à 35°,3 (avec un rythme de dix-sept expirations par minute; V., du reste, ci-dessus, p. 430).

Ainsi le sang doit se rafraîchir au contact de l'air pulmonaire, puisqu'il lui abandonne une certaine quantité de chaleur.

Ce fait a été longtemps contesté; d'abord parce que l'expérience directe semblait lui être contraire: deux thermomètres placés, l'un dans le cœur gauche, l'autre dans le cœur droit, semblaient indiquer un excès de chaleur dans la première cavité, et, par suite, un échauffement du sang à son passage dans le poumon; mais une expérimentation plus exacte a donné des résultats opposés (Cl. Bernard) et montré que, dans les premières recherches, on n'avait pas tenu compte de l'épaisseur inégale des parois des deux ventricules, d'où une perte de chaleur plus considérable pour le ventricule droit (parois minces) que pour le ventricule gauche (parois épaisses <sup>1</sup>). En second lieu, l'excès de température, en faveur du sang artérialisé, avait été considéré comme la conséquence de l'hypothèse qu'il se fait dans le poumon une véritable combustion, et que c'est là même que l'oxygène absorbé pendant l'inspiration est utilisé pour brûler le carbone et produire l'acide carbonique exhalé dans l'expiration.

Mais il est prouvé aujourd'hui que l'acide carbonique ne se produit pas dans le sang au niveau de la surface pulmonaire, mais bien dans tout

<sup>1</sup> Heidehain et Körner avaient cherché à établir que la différence de température du sang du cœur droit et du cœur gauche ne tient pas à un refroidissement éprouvé par le sang à son passage dans le poumon. La température plus élevée du ventricule droit tiendrait à ce que ce ventricule repose plus immédiatement sur le centre phrénique et par là se trouve en contact avec les organes contenus dans la cavité abdominale, foie, estomac, intestins, qui présentent tous une température plus élevée que celle des organes thoraciques. Mais Cl. Bernard a opposé à cette conclusion les cas d'ectopie du cœur, où le cœur, sortant librement de la poitrine, ne présentait aucun rapport de contact avec le diaphragme ni avec les viscères abdominaux, et cependant contenait du sang plus chaud dans le ventricule droit que dans le gauche. D'autre part, chez le chien, le cœur, entouré de son péricarde libre de toute adhérence diaphragmatique, est pour ainsi dire flottant dans la poitrine. En changeant la position du chien, on modifie les rapports du diaphragme avec le ventricule sans changer pour cela les relations de température entre le sang du ventricule droit et celui du ventricule gauche. Enfin les expériences si précises de Cl. Bernard sur la *topographie calorifique* (V. ci-après *Chaleur animale*) ne peuvent laisser subsister aucun doute à ce sujet (V. Cl. Bernard, *Physiologie opératoire*, Paris, 1879).

l'organisme, dans tout le torrent circulatoire au niveau des réseaux capillaires. En effet, l'acide carbonique se trouve partout dans le sang veineux, et ne fait qu'augmenter à mesure qu'on se rapproche du sommet du cône veineux. Le phénomène respiratoire pulmonaire consiste simplement en un échange gazeux, plus ou moins identique à un phénomène de diffusion, mais non en une combustion. C'est aux points où les tissus de l'économie sont en contact intime avec le sang, c'est dans l'épaisseur même de ces tissus que se produisent les combustions, et le sang artériel n'est pour ces tissus que le véhicule de l'oxygène, comme le sang veineux est le véhicule qui emporte au loin l'acide carbonique.

C. **Théorie de la respiration.** — Ainsi la respiration, considérée au point de vue, non des échanges gazeux, mais des phénomènes chimiques de combustion, de décomposition et de dédoublement, la respiration dans son essence intime, en un mot, se passe non au niveau du poumon, mais dans l'intimité des tissus ; c'est ainsi que le foie, où s'accomplissent des phénomènes chimiques très importants, quoique encore mal définis, utilise jusqu'aux derniers restes d'oxygène que contient le sang de la veine porte, et que le sang qui sort du foie est celui qui présente en même temps et la température la plus élevée et les caractères les plus accentués du sang veineux typique. Ce qui prouve que, dans le sens chimique, ce sont bien les tissus qui respirent eux-mêmes, c'est que l'on peut observer directement leur respiration, en les plaçant dans un milieu gazeux oxygéné<sup>1</sup>. Ainsi un muscle, isolé d'un organisme et suspendu dans une atmosphère d'oxygène, y consomme de ce gaz et exhale de l'acide carbonique ; cette combustion est encore plus intense si l'on excite la contraction du muscle, ce que l'on comprendra facilement si l'on se reporte à l'étude physiologique du muscle. Dans sa situation normale, dans l'organisme, les phénomènes ne se passent pas autrement pour le muscle et pour les autres tissus ; seulement c'est le sang qui joue ici le rôle de milieu auquel l'élément vivant emprunte l'oxygène (sang artériel) et auquel il rend de l'acide carbonique (sang veineux). Aussi le sang de la veine d'un muscle est-il bien plus noir, bien plus veineux, en un mot, quand ce muscle se contracte que lorsqu'il reste dans un repos complet.

La respiration, chez l'homme et les animaux supérieurs, considérée à un point de vue d'ensemble, se compose donc de trois grands actes, de trois phénomènes intimement enchaînés et solidaires les uns les autres : 1° respiration des tissus ; 2° fonctions du sang comme véhicule des agents et des produits gazeux de la respiration des tissus ; 3° échanges gazeux du sang au niveau de la surface pulmo-

<sup>1</sup> V. P. Bert, *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, 1870. Leçons III et IV : *Respiration des tissus*.

naire. Les recherches modernes ont jeté un grand jour sur les phénomènes intimes qui composent chacun de ces trois grands actes, et leur étude dans la série des êtres organisés montre nettement leur importance relative.

1° *Respiration des tissus.* — Nous avons déjà parlé à plusieurs reprises de la respiration des tissus (V. p. 137) ; de même que les éléments anatomiques peuvent respirer isolément, de même nous voyons des organismes inférieurs, des animaux mono-cellulaires, respirer directement dans les milieux où ils sont plongés, comme les tissus respirent dans le sang. Mais, chose remarquable, il est des animaux à structure déjà très complexe dont les éléments histologiques respirent directement dans l'air, tels sont les insectes et les articulés en général. Chez ces animaux, l'air extérieur est amené par une multitude de petits canaux très finement ramifiés (*trachées*) jusqu'au contact de chaque élément histologique, de sorte qu'il n'y a aucun intermédiaire entre les tissus et le milieu gazeux respirable, et chez ces animaux, le sang n'a pas besoin de circuler bien activement ; ce n'est plus un milieu affecté à la respiration, c'est simplement un liquide nutritif qui baigne les tissus.

Quant au phénomène intime qui constitue la respiration des tissus, c'est une *oxydation*, une *combustion*, en un mot. Il nous faut d'abord indiquer sous ce rapport la différence fonctionnelle qui semble exister entre la respiration des animaux et celle des végétaux.

La respiration des tissus végétaux consiste en une réduction (du moins pendant le jour et sous l'influence de la lumière solaire) ; les végétaux absorbent de l'acide carbonique qu'ils réduisent, pour former avec de l'eau des hydrocarbures ; en réduisant de plus l'eau absorbée, ils forment des substances grasses ; ils absorbent de plus des composés oxygénés du soufre, qu'ils réduisent pour former, par exemple, les sulfures d'allyle (dans l'ail) ; ils absorbent des composés oxygénés de l'azote (Az O<sup>5</sup>) qu'ils réduisent pour former des albuminoïdes. Tous ces phénomènes de réduction donnent lieu à un dégagement d'oxygène, et accumulent dans les tissus végétaux ce qu'on appelle des *forces de tension*, c'est-à-dire que ces tissus *emmagasinent la chaleur solaire* qu'ils emploient à produire les réductions précédemment énumérées, chaleur qui pourra se dégager sous la forme de *forces vives* lors de la combustion des tissus végétaux.

C'est précisément là le rôle des animaux<sup>1</sup>. Les tissus de ceux-ci

<sup>1</sup> Il ne faut pas croire cependant qu'il y ait entre le règne végétal et le règne animal un antagonisme si absolu en principe. L'on observe des *réductions* dans les organismes animaux, et des *oxydations* dans les organismes végé-

brûlent les éléments fournis par le règne végétal, ils les oxydent et les décomposent en acide carbonique et en eau, et produisent ainsi de la chaleur et des forces (deux mots synonymes ou équivalents). Nos phénomènes intimes de nutrition oxydent le carbone, l'hydrogène, le soufre; l'azote paraît résister davantage à ces oxydations organiques, et l'urée, qui représente le produit ultime de la combustion des albuminoïdes, paraît renfermer de l'azote, sinon libre, du moins non combiné à l'oxygène, car l'on dose l'urée en la décomposant (par le réactif de Millon, Gréhan; V. *Physiologie du rein*) en acide carbonique et en azote.

2° *Rôle du sang dans la respiration.* — Chez les animaux placés au-dessus des articulés, le sang sert d'intermédiaire entre les tissus et les milieux respirables. Mais on ne peut pas dire que le sang va respirer pour les tissus; il ne consomme pas d'oxygène, il ne produit pas l'acide carbonique; il se charge seulement de ces deux gaz, pour apporter le premier aux tissus, pour emporter le second vers les surfaces où il pourra être dégagé<sup>4</sup>. Chez le fœtus

taux; les uns et les autres respirent, vivent en oxydant (les plantes dégagent CO<sup>2</sup> dans l'obscurité). Mais, au point de vue fonctionnel, les animaux dégagent de la force par oxydation, tandis que les végétaux emmagasinent de la force par réduction grâce à la fonction chlorophyllienne: cette dernière fonction ne s'exerce que sous l'influence de la lumière solaire. Pour la question du dualisme vital (animaux opposés aux végétaux), voy. Cl. Bernard (*De la définition de la vie*, p. 148, de *Science expérimentale*, Paris, 1878).

<sup>1</sup> On peut se demander si le sang, dépositaire de l'oxygène, est, pour ainsi dire, un dépositaire fidèle, c'est-à-dire s'il ne consomme pas pour son propre compte une partie de cet oxygène, en produisant de l'acide carbonique. *A priori*, puisque le sang renferme des éléments anatomiques vivants, des globules blancs et rouges, il n'est aucune raison de refuser à ces globules l'oxygène qu'ils vont porter aux autres éléments de tissus: et, en effet, ils en consomment une partie. On a remarqué, en effet, que, si l'analyse du sang artériel extrait des vaisseaux n'est pas rapidement faite, les chiffres obtenus alors et indiquant la teneur du sang en oxygène sont un peu trop faibles, et on a également constaté que cela tient à ce qu'une petite partie de ce gaz est consommée par le sang et lui fait subir une sorte de combustion intérieure pendant la durée même de l'expérience. Cette déperdition d'oxygène est d'ailleurs peu considérable et, d'après Schützemberger, ne s'élève qu'à 3 ou 4 centimètres cubes par heure pour 100 grammes de sang. Elle devient plus rapide lorsqu'on abandonne le sang pendant quelque temps à lui-même. Il noircit alors et laisse dégager, lors de l'extraction du gaz, une quantité d'oxygène de plus en plus faible, l'oxyhémoglobine passant bientôt à l'état d'hémoglobine réduite. Si le sang demeure stagnant dans un vaisseau, cette consommation d'oxygène est plus considérable, mais tient alors à une cause nouvelle: ainsi quand on pose, comme l'a fait Hoppe Seyler, deux ligatures sur une artère, le sang devient très rapidement noir à l'intérieur. Mais il noircit infiniment moins vite si l'on remplace le segment d'artère lié par un tube de verre. Dans le premier cas, l'oxygène avait donc été consommé par la paroi même du vaisseau. Pour ce qui est du sang en mouvement, si l'on a égard à la

ce rôle intermédiaire est double; le sang du fœtus ne vient pas directement faire les échanges avec l'air extérieur, mais dans le sang maternel. Quant au mode par lequel les éléments du sang servent de véhicule à l'oxygène et à l'acide carbonique, il a été suffisamment indiqué par toutes nos études précédentes, par celle des globules rouges du sang et de leur hémato-cristalline, par celle du sérum et de ses sels (V. p. 192 et 206).

Le sang étant le véhicule de l'oxygène, plus un animal possèdera de sang, plus il contiendra d'oxygène en provision dans son réservoir circulatoire, et, par suite, plus il pourra résister à la privation d'air; inversement un animal ayant perdu beaucoup de sang résistera très peu de temps à la privation d'oxygène, parce qu'il manque de globules sanguins dans lesquels une certaine quantité de ce gaz aurait pu s'accumuler. On a cherché depuis longtemps à expliquer la résistance de certains animaux à l'asphyxie; Paul Bert a démontré que, pour les animaux plongeurs, cette résistance était due tout simplement à une plus grande quantité de sang. Ainsi, à poids égal, un canard renferme environ 1/3 ou même 1/2 de plus de sang qu'un poulet; aussi ce dernier animal immergé dans l'eau (ou étranglé) périt au bout de 2 ou 3 minutes, tandis que le premier résiste jusqu'à 7 ou 8 minutes. Cette résistance à la privation d'air s'explique par la grande quantité de sang qui constitue comme un magasin d'oxygène combiné. (P. Bert, *op. cit.*)

On sait que le pouvoir absorbant du sang pour l'oxygène diminue sous l'influence de la dépression, et que cependant les animaux vivant sur des hauts lieux s'acclimatent de manière à ne pas éprouver les effets de cette dépression. Paul Bert a attribué cette acclimatation à l'augmentation du pouvoir absorbant du sang pour l'oxygène. Les expériences de Muntz<sup>4</sup> démontrent le bien fondé de cette hypothèse. Des lapins de la plaine ont été acclimatés au Pic du Midi et s'y sont reproduits normalement. Au bout de sept ans on a examiné leur sang comparativement avec celui des lapins vivant dans les plaines, et on a trouvé qu'il renfermait presque le double de fer et absorbait bien plus puissamment l'oxygène. Du reste, d'autres observations faites sur les moutons ont montré à l'auteur qu'une durée de temps bien moins grande est suffisante pour amener cette acclimatation; six

rapidité de la circulation, il est évident que, dans le court espace de temps que met le sang hématosé pour aller du poumon jusque dans l'intimité des tissus, la quantité d'oxygène qu'il consomme doit être infiniment peu considérable. Il s'est trouvé cependant deux auteurs, Estor et Saint-Pierre, qui ont avancé que la principale combustion respiratoire se ferait dans le sang lui-même. (V. notre art. RESPIRATION: *Nouv. Dict. de médecine et de chirurg. prat.*, t. XXXI, p. 268.)

<sup>4</sup> *De l'enrichissement du sang en hémoglobine, suivant les conditions d'existence*, par Muntz (Compt. rend. Acad. des sciences, février 1891).

semaines ont suffi ici pour l'enrichissement du sang permettant aux fonctions respiratoires de s'exercer avec la même intensité dans les grandes altitudes, où la tension de l'oxygène est faible.

De même Viault<sup>1</sup> a constaté qu'un des premiers effets produits par le séjour de l'homme sur les hautes montagnes consiste dans l'exagération de la fonction normale de l'hématopoïèse; le nombre des globules rouges, par millimètre cube de sang, du chiffre normal de 5 millions, passe successivement à 7 millions après quinze jours de séjour, à 8 millions après trois semaines. Une jeune chienne présente 9 millions de globules; chez le lama, mammifère camélien de ces plateaux, le chiffre normal est de 16 millions. C'est donc par une augmentation des éléments respiratoires du sang que l'homme et les animaux peuvent vivre dans l'atmosphère raréfiée de ces lieux élevés.

3° *Rôle de la surface pulmonaire.* — Le sang, intermédiaire entre les fissus et le milieu respirable, peut aller accomplir les échanges gazeux au niveau de toute surface qui se trouve en contact avec ce milieu. C'est ainsi que les échanges de la respiration se font chez la grenouille aussi bien par la surface cutanée que par la muqueuse pulmonaire. Quand on étale le mésentère d'un batracien pour en examiner la circulation, on remarque bientôt que le contenu des veines mésentériques, noir au début de l'opération, ne tarde pas à devenir rutilant comme du sang artériel; c'est que, en effet, la surface mésentérique et la surface de l'intestin sont alors devenues expérimentalement un lieu où se fait l'hématose, et la grenouille ainsi préparée respire (dans le sens *pulmonaire* du mot) et par le poumon, et par la peau, et par le mésentère. Nous avons déjà cité, à propos de l'épithélium pulmonaire, la muqueuse intestinale du *Cobitis fossilis* (loche d'étang), comme l'un des points où peut se produire l'hématose. Enfin, chez les animaux supérieurs et chez l'homme même, la peau ne paraît pas étrangère aux échanges de la respiration entre le sang et le milieu extérieur, surtout au point de vue de l'exhalation; nous y reviendrons en étudiant les fonctions de la surface cutanée.

Mais, en général, ces échanges se localisent au niveau d'une surface particulière, qui, chez les animaux placés dans l'air, nous est représentée par le poumon. Les poumons sont l'organe de la respiration en tant que lieu d'échanges entre le sang et l'air extérieur; c'est à ce point de vue que l'on étudie en général la *respiration*; mais on voit, en somme, que nos connaissances actuelles nous permettent de regarder la *fonction pulmonaire* non comme le

<sup>1</sup> Sur l'augmentation considérable du nombre des globules rouges dans le sang chez les habitants des hauts plateaux de l'Amérique du Sud, par F. Viault (*Compt. rend. Acad. des sciences*, 15 décembre 1890).

lieu unique de la respiration, mais comme représentant seulement l'un des chaînons, et l'un des chaînons les moins essentiels, parmi les chaînons de cette longue série d'actes qui commencent dans l'indétermination des éléments histologiques pour venir se terminer au niveau des surfaces en contact avec le milieu extérieur.

Le rôle de la surface pulmonaire ne pouvait donc être exactement apprécié qu'avec les conquêtes modernes de la physiologie; aussi l'histoire de la respiration nous présente-t-elle à ce sujet les hypothèses les plus curieuses émises par les physiologistes et les médecins. Pour les uns, la respiration pulmonaire n'avait qu'un rôle *mécanique* destiné à permettre le passage du sang à travers les vaisseaux du poumon, grâce au déplissement de celui-ci; pour d'autres, ce rôle était purement physique, et consistait à *rafraîchir* le sang par le contact de l'air; cette action rafraîchissante se produit, en effet, nous l'avons déjà dit (p. 433), mais elle est secondaire et presque insignifiante (Cl. Bernard). L'air froid, que chaque inspiration amène dans l'arbre respiratoire, ne pénètre jusqu'aux lobules pulmonaires qu'en faible proportion et après s'être déjà réchauffé. La plus grande partie de l'air respiré reste confinée dans les voies respiratoires, dans les fosses nasales, le pharynx et les grosses bronches. — C'est à Lavoisier que nous devons les premières connaissances exactes sur la respiration; confirmant les idées que, un siècle auparavant, J. Mayow<sup>1</sup> avait émises à propos de son *esprit igno-aérien*, Lavoisier identifia la respiration à une *combustion*, mais il resta indécis sur le *siège* précis de cette combustion. Lagrange, Spallanzani, Williams Edwards montrèrent que ces oxydations se font au niveau des tissus, et que le poumon n'est que le lieu où s'exhalent les produits gazeux de ces combustions intimes.

Cependant ce n'est pas tout encore que de savoir que le sang vient simplement dégager de l'acide carbonique et puiser de l'oxygène au niveau du poumon; il est encore dans cet échange des conditions qu'il faut préciser.

1° D'abord pour l'oxygène, nous savons qu'il ne s'agit pas là d'une simple dissolution de ce gaz dans le sang, mais bien de son absorption par le globule, et que, dans cette absorption, c'est un fait chimique, la combinaison oxyhémoglobique qui joue le principal rôle. Ce qui le prouve, c'est l'énergie avec laquelle le sang d'un animal respirant enlève l'oxygène à l'air ambiant. Dans les conditions ordinaires nous respirons dans un milieu (air atmosphérique) où l'oxygène possède une tension de  $\frac{1}{5}$  d'atmosphère (puisque'il y a 21 d'oxygène pour 79 d'azote); on pourrait penser que dans un milieu plus pauvre en oxygène, ou dans un espace clos où l'oxygène devient de plus en plus rare à mesure qu'il est pris par l'animal, il arriverait très vite un moment où la tension de ce gaz serait trop faible pour que le sang continuât à s'en charger. Or, on peut dire qu'il n'en est rien, car si l'on fait respirer un animal en espace clos, en ayant soin de soustraire l'acide carbonique exhalé, on constate que les mammifères continuent à vivre jusqu'à ce que l'oxygène que contient cet espace soit réduit à 2, à 1

<sup>1</sup> Mayow (J.), chimiste anglais (1645-1679), considéré comme le précurseur de Lavoisier.

et même à 0,5 pour 100 (P. Bert). L'absorption de l'oxygène par le sang du poumon se fait donc, alors même que la pression de ce gaz est presque nulle. Müller a même constaté que plus l'espace clos est étroit, plus l'absorption de l'oxygène peut y être poussée loin; ainsi en faisant respirer un animal dans le plus petit espace clos possible, c'est-à-dire dans l'air emprisonné dans ses poumons, alors qu'on l'a étranglé, il épuise la totalité de l'oxygène de cet air. C'est que l'hémoglobine, en vertu de son affinité chimique, s'empare de l'oxygène à mesure que ce gaz se dissout dans le sérum, de sorte que celui-ci, constamment spolié, n'arrive jamais à satisfaire son coefficient d'absorption pour l'oxygène, quelque faible que soit ce coefficient, et quelle que faible que soit la tension de l'oxygène dans l'air ambiant.

2° Quant à l'exhalation de l'acide carbonique, elle ne se produit pas d'une manière aussi simple qu'on pourrait le croire *a priori* par une simple diffusion gazeuse, ou par un phénomène de *dégagement d'un gaz dissous* en présence d'une atmosphère qui contient très peu de ce gaz. En effet, l'air des vésicules pulmonaires contient 8 pour 100 de  $\text{CO}_2$ , ce qui est une condition peu favorable au dégagement de l'acide carbonique du sang, et, d'autre part, une partie de ce dernier est non dissoute, mais combinée avec les sels du sérum (carbonates et phosphates. Emile Fernet, V. p. 206<sup>1</sup>). Il est donc probable qu'il se passe au niveau du poumon une action qui a pour effet de *chasser* vivement l'acide carbonique. Cette action est sans doute de nature chimique, et quelques expériences peuvent faire supposer que c'est une action analogue à celle des acides dégagant l'acide carbonique des carbonates. Ce sont ces faits qui donnèrent lieu à la théorie de Robin et Verdeil d'un *acide pneumique*<sup>2</sup>; l'existence de cet acide n'a pu

<sup>1</sup> Bien plus, d'après les recherches de P. Bert, il n'y aurait pas d'acide carbonique en dissolution, c'est-à-dire à l'état libre, dans le sérum; tout l'acide carbonique du sang veineux est combiné aux sels du sérum. Le fait que l'acide carbonique sort facilement du sang dans les appareils à vide, dit P. Bert (*Comp. rend. Acad. des sciences*, 28 octobre 1878), ne prouve pas que ce gaz se trouve dans le sang à l'état de solution et non à l'état de combinaison, puisque les bicarbonates et les phosphocarbonates se dissocient aisément par le vide. Pour juger la question, P. Bert analyse d'abord un échantillon de sang au moyen de la pompe à extraction des gaz; puis il en agite pendant quelques heures un autre échantillon avec de l'acide carbonique pur, jusqu'à ce qu'il ne se fasse plus d'absorption; faisant alors une nouvelle extraction de gaz, l'expérimentateur détermine le nombre alors trouvé la quantité d'acide carbonique qui, d'après les tables de Bunsen (applicables au sang, suivant Fernet), pourrait à la température ambiante se dissoudre dans le sang: si le chiffre obtenu par cette soustraction est supérieur à celui qui exprimait le volume d'acide carbonique contenu naturellement dans le sang, c'est bien évidemment que les alcalis de ce sang n'étaient pas complètement saturés. C'est précisément ce qui est arrivé dans toutes les expériences entreprises avec cette méthode; jamais il ne s'est trouvé d'acide carbonique dissous ni dans le sang artériel, ni dans le sang veineux. Si donc le sang n'est jamais saturé d'acide carbonique, la sortie de ce gaz pendant la traversée des poumons est un phénomène de dissociation.

<sup>2</sup> Plus récemment L. Garnier a remis en honneur cette théorie (*Compt.*

être constatée, et, du reste, on a vu que toutes les fois que l'oxygène se mêle au sang veineux, même *in vitro* dans les expériences, l'acide carbonique se dégage aussitôt. On est donc porté aujourd'hui à admettre que la combinaison de l'oxygène avec le globule (oxyhémoglobuline, dont nous avons étudié les caractères spectroscopiques, p. 193) joue un rôle analogue à celui d'un *acide* et amène par cela même le dégagement de l'acide carbonique du sang veineux. L'absorption de l'oxygène serait donc doublement importante dans la respiration, et comme source d'oxygène et comme cause du départ de l'acide carbonique antérieurement formé. Nous avons vu que, grâce à l'affinité des globules pour l'oxygène, un animal pouvait, par sa respiration, arriver à dépouiller presque complètement d'oxygène un espace clos. Pour l'acide carbonique, on le comprendra facilement d'après les considérations précédentes, le phénomène inverse, mais analogue, ne peut se produire, c'est-à-dire qu'un animal ne peut, dans un espace clos, continuer à exhaler le gaz carbonique jusqu'à en saturer cet espace. Quand la pression du gaz carbonique dans l'air ambiant équilibre celle du gaz dans les capillaires pulmonaires, il n'y a plus d'élimination de ce gaz carbonique du sang; on peut même produire l'inverse, c'est-à-dire, dans des conditions artificielles, en faisant respirer un animal dans une atmosphère d'oxygène renfermant 30 pour 100 d'acide carbonique, on voit se produire une absorption d'acide carbonique par le sang, la pression de ce gaz dans le poumon étant alors supérieure à celle qu'il a dans le sang.

D. *Asphyxie*. — Les études précédentes nous permettent d'in-

*rend. Acad. des sciences*, 26 juillet 1886), et fait sur le tissu pulmonaire des recherches qui l'amènent à conclure qu'il existe dans le tissu pulmonaire un corps à fonction acide, différent de la taurine: c'est qu'en effet l'outre mer bleu injecté en pulvérisation dans le poumon de cobayes vivants, se décolore, décoloration qui ne peut se produire qu'au contact d'un acide fort; la taurine, comme l'acide carbonique, ne peuvent produire cette action. L'analyse chimique du poumon n'a cependant pas permis d'en extraire un acide déterminé. — D'autre part nous penserions volontiers que, pour les échanges pulmonaires, comme pour la question de l'absorption intestinale, c'est peut-être à tort que les physiologistes continuent à ne voir dans ces phénomènes que de simples faits d'endosmose de liquide, de diffusion de gaz séparés par une membrane inerte. Selon l'idée dont Bohr s'est fait le défenseur, il est permis de penser que le tissu pulmonaire, c'est-à-dire la paroi de la vésicule qui sépare le sang et l'air, n'est pas une membrane si inerte que l'ont admis jusqu'à présent les physiologistes. Les cellules qui tapissent la surface interne des alvéoles interviennent peut-être activement pour décomposer les combinaisons de l'acide carbonique du sang et pour rejeter le gaz acide carbonique du côté de l'atmosphère des vésicules, peut-être président-elles de même à l'absorption de l'oxygène. Le poumon serait ainsi l'analogue physiologique des autres glandes dont il est d'ailleurs l'analogue au point de vue anatomique et embryologique. Le revêtement épithélial des branchies des poissons est tout à fait comparable à l'épithélium des vésicules pulmonaires; or, le professeur L. Fredericq, de Liège, a montré que cette membrane branchiale n'est pas une cloison inerte, car, si elle laisse passer certaines substances, elle arrête les sels de l'eau de mer, et fait un véritable choix parmi les substances dissoutes dans le milieu extérieur.

diquer en quelques mots les divers modes selon lesquels peut se produire l'asphyxie. Il peut y avoir asphyxie par *privation d'air respirable*, ou par *intoxication*, c'est-à-dire par absorption de gaz pernicieux.

a) L'asphyxie par *défaut d'air respirable* peut se produire de deux manières : ou bien parce qu'il n'y a plus d'oxygène à absorber, ou bien parce que l'acide carbonique ne peut plus se dégager.

1° Dans une atmosphère qui ne se renouvelle pas, les animaux ne meurent que quand ils ont épuisé la plus grande partie de l'oxygène, pourvu que l'on enlève tout l'acide carbonique formé, afin d'éviter les troubles dus à son accumulation; on voit alors que les reptiles meurent après avoir utilisé tout l'oxygène, les mammifères quand il ne reste plus que 2 pour 100 d'oxygène, les oiseaux déjà quand il n'en reste plus que 4 à 3 pour 100 (Paul Bert). Ces faits nous rendent compte des troubles éprouvés par les aéronautes ou par les voyageurs dans l'ascension des hautes montagnes; la diminution de pression extérieure équivaut à une raréfaction de l'oxygène; par suite la respiration se fait mal, l'oxygène manque pour entretenir les combustions, produire de la chaleur et des forces; de là la fatigue, le refroidissement, la tendance au sommeil. Ces troubles sont surtout prononcés pendant les ascensions des montagnes (*mal des montagnes*) et dans les ascensions en ballon. Paul Bert a montré que les modifications de la pression barométrique agissent sur l'organisme par les changements qu'elles apportent dans la tension de l'oxygène ambiant. C'est par ce mécanisme qu'agit la dépression (V. plus loin comment agit la compression). Quoique l'oxygène soit en très faible partie dissous dans le sérum, et en plus grande proportion combiné avec l'hémoglobine du globule rouge, on observe, sur des chiens, que, lorsque la pression du milieu ambiant diminue, la perte d'oxygène éprouvée par le sang suit presque la loi de Dalton, surtout pour les fortes dépressions<sup>1</sup>.

La catastrophe du ballon *le Zénith*<sup>2</sup> a rendu cruellement évidente l'influence funeste exercée sur l'organisme humain par la diminution excessive de la pression atmosphérique. M. Jourdanet, qui, après de longues observations recueillies principalement au Mexique, avait mis en avant l'opinion qu'une diminution notable de la pression atmosphérique modifie la composition des gaz qui existent dans le sang, et qu'il en résulterait une sorte

<sup>1</sup> Paul Bert, *Acad. des sciences*, 22 mars 1874. *La pression barométrique, recherches de physiologie expérimentale*, Paris, 1877.

<sup>2</sup> Mort de Crocé-Spinelli et Sivel (*Voy. Acad. des sciences*, 26 avril 1875, la relation de M. G. Tissandier, seul survivant).

d'*anémie* plus ou moins grave selon les climats, a récemment publié ses études sur ce sujet<sup>1</sup>. Selon lui, cet ensemble de sensations douloureuses qui constitue le *mal des montagnes* aurait pour cause principale la diminution de la masse d'oxygène dans le sang, l'anoxémie, état provenant de la diminution de pression effective de ce gaz dans l'air ambiant. M. Jourdanet indique, comme limite probable des accidents de cette nature, la demi-distance entre le niveau de la mer et le niveau où commencent les neiges éternelles, limite qui sépare les *climats d'altitude* des *climats de montagne*.

Les expériences de Paul Bert ont aussi parfaitement montré que le moyen de combattre les effets de la diminution de pression consiste à respirer de l'oxygène pur; c'est la précaution que prennent aujourd'hui ceux qui s'élèvent en ballon à une grande hauteur. « J'ai la conviction, dit Paul Bert, que Crocé-Spinelli et Sivel vivraient encore, malgré leur séjour si prolongé dans les hautes régions, s'ils avaient pu respirer l'oxygène. Ils auraient malheureusement perdu brusquement la faculté de se mouvoir; les tubes adducteurs de l'air vital auront subitement échappé de leurs mains paralysées. »

Ces faits, avons-nous dit, nous expliquent l'influence qu'exerce sur l'hygiène et la pathologie des habitants des hautes montagnes la faible pression de l'atmosphère au milieu de laquelle ils sont plongés. Ces hommes, ainsi que l'a montré Jourdanet, sont placés dans des conditions d'oxygénation insuffisante. Ils sont *anoxémiques*<sup>2</sup>, à moins que leur organisme ne réagisse par la production d'un sang plus riche en hémoglobine, c'est-à-dire capable de fixer, pour un moindre volume de sang, une plus grande quantité d'oxygène, comme nous l'avons vu précédemment (p. 438) d'après les observations de Muntz et de Viault.

2° Si l'on fournit à l'animal enfermé dans un espace clos une quantité toujours suffisante d'oxygène, mais qu'on laisse s'accumuler dans cet espace l'acide carbonique produit par la respiration, on voit les animaux *périr quand la proportion de ce gaz est devenue trop considérable*, dans une mesure très variable selon les espèces. Ce n'est pas que l'acide carbonique soit un *poison*, mais la trop grande quantité de ce gaz (sa trop grande pression) dans le milieu ambiant s'oppose à la sortie de celui qui est dans le sang; par suite, le sang ne peut plus recueillir celui que dégagent les combustions des tissus, et la respiration de ceux-ci se trouve entravée.

Dans l'asphyxie dans une atmosphère confinée, les deux causes précédentes se trouvent réunies. Diminution de l'oxygène, augmentation de l'acide carbonique. Aussi l'arrêt mécanique de la respiration produit-il, comme tout le monde le sait, la mort très rapi-

<sup>1</sup> Jourdanet, *Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme*, 2 vol., Paris, 1875.

<sup>2</sup> Jourdanet, *Le Mexique et l'Amérique tropicale*, Paris, 1864.

dement. Les plus habiles plongeurs de perles ne peuvent rester plus de deux minutes sous l'eau, et les noyés ne peuvent généralement, après six ou huit minutes de submersion totale, être rappelés à la vie. Dans ces diverses circonstances d'asphyxie par manque d'air, les deux causes de mort, privation d'oxygène et excès d'acide carbonique, paraissent agir toutes deux, mais dans des proportions différentes et variables. D'après de nombreuses expériences que nous ne pouvons rapporter ici, Paul Bert arrive à cette conclusion que la mort, dans l'air confiné, est déterminée chez les animaux à sang chaud par le manque d'oxygène, et chez les animaux à sang froid par la présence en excès de l'acide carbonique<sup>1</sup>.

Dans la mort naturelle, quelle qu'en soit la cause, le sang tant artériel que veineux est privé de tout son oxygène. De là cette opinion de P. Bert, un peu paradoxale dans son énoncé, que « l'on meurt toujours d'asphyxie ».

b) *L'asphyxie par intoxication* a pour type l'asphyxie par l'oxyde de carbone; c'est ce gaz qui joue le rôle toxique essentiel dans les asphyxies par la *vapeur de charbon* (Leblanc). Dans ce cas, c'est le globule rouge qui est primitivement atteint; nous avons déjà vu, en étudiant les caractères spectroscopiques du sang (p. 193), comment l'oxyde de carbone venait prendre la place de l'oxygène dans l'hémoglobine, et l'on conçoit facilement que cette hémoglobine oxycarbonée devienne impropre à entretenir la combustion des tissus<sup>2</sup>; aussi dans l'asphyxie par l'oxyde de carbone y a-t-il abaissement de la température (Cl. Bernard). On voit qu'en somme cette asphyxie se réduit à une privation d'oxygène; mais cette privation a un autre mécanisme que précédemment, elle est due uni-

<sup>1</sup> Voy. Paul Bert, *Leçons sur la respiration*, Leçons XXVII et XXVIII.

<sup>2</sup> La rapidité avec laquelle se fait cette intoxication est très grande; il résulte des expériences que Gréhant a pratiquées sur des chiens, que chez un animal qui respire de l'air contenant 1/10 d'oxyde de carbone, le sang artériel, entre la dixième et la vingt-cinquième seconde, renferme déjà 4 pour 100 d'oxyde de carbone, et seulement 14 pour 100 d'oxygène; qu'entre une minute quinze secondes et une minute trente seconde, l'oxyde de carbone se trouve dans le sang en très forte proportion (18,4 pour 100), tandis que la quantité de l'oxygène a diminué encore davantage et se trouve réduite à 4 pour 100. Il est donc permis de conclure, avec Gréhant, que si un homme pénètre dans un milieu fortement chargé d'oxyde de carbone, le poison gazeux est dès la première minute absorbé par le sang artériel, c'est-à-dire qu'il prend presque instantanément la place de l'oxygène dans le globule, et rend celui-ci incapable d'absorber de l'oxygène. D'après les plus récentes recherches de Gréhant (*Journ. de l'anat. et de la physiol.*, 1889), la combustion du tabac à fumer produit de l'oxyde de carbone, mais le fumeur n'en absorbe pas tant qu'il ne fait pas pénétrer la fumée dans la trachée, tandis que l'absorption a lieu, en petite quantité du reste, quand on fume très vite en avalant la fumée.

quement à ce que le globule sanguin ne peut plus être le véhicule de ce gaz<sup>1</sup>.

L'oxyde de carbone n'est pas un agent qui porte directement une action toxique sur les tissus, car Paul Bert a démontré que la présence de ce gaz ne modifie en rien les échanges gazeux qui constituent la respiration élémentaire des tissus au contact de l'oxygène.

Il est des gaz qui vont agir directement comme principes toxiques sur les éléments anatomiques; ces faits ne sont plus des cas d'*asphyxie* proprement dite, au point de vue de la *respiration*; ce sont des empoisonnements produits par un agent gazeux: tels sont, par exemple, les composés du cyanogène.

Les recherches de P. Bert sur l'influence de l'air comprimé l'ont amené à la découverte de ce fait bien singulier et bien inattendu, que l'oxygène suffisamment condensé exerce une action toxique<sup>2</sup>. Lorsqu'on place un animal, un chien, par exemple, dans de l'oxygène pur à la pression de 5 ou 6 atmosphères, ou, ce qui revient au même, dans de l'air ordinaire à la pression de 20 atmosphères, l'animal présente des symptômes véritablement effrayants, consistant en des attaques de convulsions toniques, analogues à celles que produit la strychnine, et qui alternent avec des convulsions cloniques. Ces accidents débent dès que le sang artériel du chien, au lieu de la proportion normale de 18 à 20 centimètres cubes d'oxygène par 100 centimètres cubes, en contient 28 ou 30. Si la proportion atteint 35 centimètres cubes, la mort est la règle. Chose remarquable, les accidents convulsifs continuent alors que l'animal est ramené à l'air libre et que son sang ne renferme plus que la quantité normale d'oxygène. L'oxygène est donc un poison du système nerveux qui amène un abaissement notable de température, indice d'un trouble profond dans les phénomènes généraux de la nutrition. Le sang ici joue seulement le rôle d'un véhicule allant porter le poison aux tissus. Cette circonstance explique pourquoi l'empoisonnement apparaît plus lentement par l'effet de la compression, alors que la masse du véhicule qui sert d'intermédiaire, c'est-à-dire du sang, a été diminuée par une saignée copieuse, par exemple.

Cette action sur le système nerveux, exercée par l'oxygène en excès, se produit non seulement chez les vertébrés aériens, mais aussi chez les poissons qu'on voit périr quand l'eau renferme plus de 10 volumes d'oxygène. Les invertébrés eux-mêmes ne jouissent d'aucune immunité relativement à l'action toxique de l'air comprimé. P. Bert s'est appliqué à rechercher la nature de l'altération produite dans les phénomènes nutritifs sous l'influence d'un excès d'oxygène. Les manifestations les plus

<sup>1</sup> V. Cl. Bernard, *Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie*, Paris, 1875.

<sup>2</sup> Paul Bert, *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, Paris, 1870.

frappantes sont une diminution des phénomènes d'oxydation occasionnée par une moindre absorption d'oxygène pendant l'intoxication, un abaissement de la proportion de l'acide carbonique contenu dans le sang, puis une diminution dans la production de l'urée. L'abaissement de température est un corollaire naturel de cette réduction de tous les processus chimiques consécutifs à la fixation de l'oxygène dans l'organisme. C'est ainsi que P. Bert a constaté, dans une atmosphère d'oxygène comprimé, le ralentissement ou même la cessation d'un grand nombre de phénomènes chimiques du groupe des fermentations, dont le résultat final est soit une oxydation, soit un dédoublement, soit encore une simple hydratation. Paul Bert a donc été amené à cette conclusion générale que l'air comprimé à un certain degré tue rapidement tous les êtres vivants, et que cette action redoutable est due non à la *pression* de l'air considéré comme agent physico-mécanique, mais à la *tension* de l'oxygène comprimé. En effet, il a démontré que sous l'influence de l'oxygène à forte tension, les combustions corrélatives au mouvement vital sont diminuées ou même supprimées; qu'en un mot une oxygénation trop forte des tissus en empêche l'oxydation<sup>1</sup>.

**E. Résultats généraux de la respiration.** — L'échange gazeux au niveau des poumons n'est donc que la résultante des produits des respirations (combustions) partielles qui se passent au niveau des différents départements de l'organisme. Or, comme respirer c'est vivre, c'est fonctionner, la grandeur des échanges gazeux pulmonaires nous donne la mesure de la vie, de l'énergie du fonctionnement de l'organisme en général. Aussi remarque-t-on, selon les circonstances, des variations assez considérables dans les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé; ainsi on a pu établir que ces échanges sont en raison directe de l'activité des organes; qu'ils sont plus considérables dans la veille que dans le sommeil; qu'après le repas on absorbe plus d'oxygène et exhale plus d'acide carbonique; que le mouvement et en général le travail musculaire amènent ces échanges à leur plus haut degré; que le travail intellectuel les augmente aussi, puisque les cellules nerveuses et les éléments nerveux en général consomment de l'oxygène comme tous les autres éléments et surtout au moment de leur fonctionnement.

On dirait même que, de tous les tissus, celui qui a le plus besoin de l'oxygène, c'est-à-dire du sang artériel, c'est le tissu nerveux; les premiers symptômes de l'*asphyxie* sont des troubles nerveux,

<sup>1</sup> Paul Bert, *Compt. rend. de l'Ac. des sciences, passim*, de 1871 à 1875, et *Recherches expérimentales sur l'influence que les modifications de pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie*, Paris, 1874 (*Annal. des sc. nat.*). — *La pression barométrique*, recherches de physiologie expérimentale, Paris, 1877.

tintements des oreilles, obscurcissement de la vue, troubles intellectuels, perte de la connaissance, troubles qui siègent d'abord dans la partie céphalique du système céphalo-rachidien; les réflexes de nature médullaire se produisent encore quelque temps (mouvements de défense, de fuite, de natation, excrétion des matières fécales, de l'urine, du sperme, etc.), mais ne tardent pas à disparaître aussi. Il semble de plus qu'au moment de l'asphyxie, l'acide carbonique accumulé dans le sang agit par sa présence sur les centres nerveux et les excite. C'est ainsi qu'alors on voit certaines facultés psychiques portés au plus haut degré, par exemple, la mémoire, et l'on sait, par des noyés revenus à la vie, qu'au moment de l'asphyxie cette faculté atteint son maximum, et qu'en pareil cas, on voit repasser devant ses yeux, en moins de quelques secondes, et avec une prodigieuse netteté, toute la série des événements qui se sont passés dans la vie et dont on croirait souvent toute trace éteinte dans les organes de la pensée et du souvenir<sup>1</sup>. Cette excitation, produite par l'excès d'acide carbonique, se localise surtout dans les centres nerveux qui président à la respiration (et que nous étudierons bientôt : bulbe), et alors la respiration surexcitée se précipite et prend une forme remarquable par son énergie. C'est ce qu'on observe dans les cas de dyspnée. Au contraire, quand le sang est très oxygéné, le besoin (central) de respirer se fait moins vivement sentir, et la respiration devient nulle ou insensible. Si, par exemple, on pratique sur un animal la respiration artificielle, de façon à suroxygéner son sang, le besoin de respirer ne se produit plus dans les centres nerveux (bulbe) que l'acide carbonique n'excite plus, et la respira-

<sup>1</sup> Brown-Séguard a depuis longtemps attiré l'attention des physiologistes sur cette *action excitante de l'acide carbonique* (V. *Journal de physiologie*, année 1858 et suiv.); on la constate surtout sur les muscles (lisses ou striés), qu'on voit se contracter très vivement chez les animaux asphyxiés par strangulation; c'est à une cause semblable qu'il faut attribuer les mouvements observés *post mortem*, et les attitudes parfois bizarres prises spontanément par des cadavres (observées surtout chez les cholériques). Enfin Cl. Bernard a montré que, chez les animaux asphyxiés par l'acide carbonique (strangulation), il y a une *élévation de température pendant tout le temps que dure l'asphyxie*, et que cette production de chaleur a surtout son siège dans le système musculaire (excité sans doute par CO<sup>2</sup>) et s'y produit, comme toujours, par des phénomènes chimiques de combustion, exagérés par suite des conditions mêmes de l'asphyxie, qui détermine des convulsions. Dans ces cas, le muscle épuise complètement l'oxygène du sang, qui fournit ainsi un aliment aux phénomènes exagérés et, par suite, à la calorification. (Cl. Bernard, *Cours*, 1872.) C'est ainsi qu'il faut expliquer l'*élévation de la température observée sur des cadavres*, peu de temps après la mort (surtout encore chez les cholériques), élévation de température dont on avait contesté la réalité, mais qui est parfaitement démontrée, et qui ne présente plus rien d'étonnant aujourd'hui qu'on peut facilement se rendre compte de son mécanisme.