

est encore animé d'un mouvement circulatoire, et l'agent principal de cette circulation vague et incomplète est un vaisseau dorsal situé sur la ligne médiane du corps, au-dessus du tube digestif (fig. 67). Nous verrons plus tard quelle est la route suivie par le sang dans l'organisme de ces animaux à appareil circulatoire lacunaire.

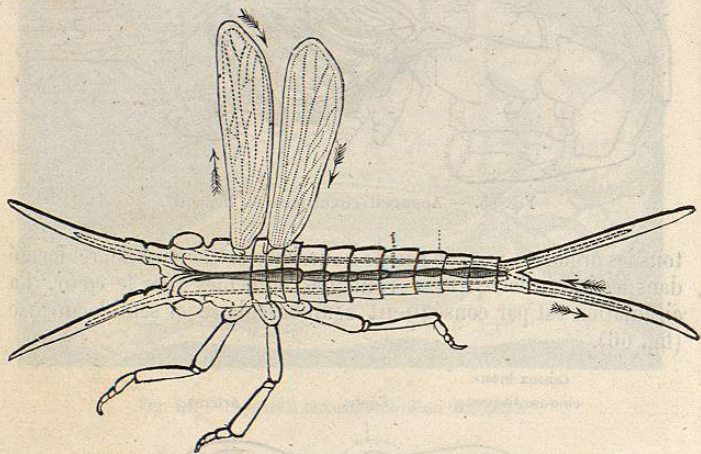


Fig. 67. — Circulation dans les Insectes<sup>1</sup>.

§ 113. **Vers.** — Chez les vers de la classe des annélides (tels que la sangsue et le lombric terrestre), il existe au contraire un appareil vasculaire complet; mais, en général, il n'y a pas de cœur proprement dit, et le liquide nourricier n'est mis en mouvement que par les contractions des principaux vaisseaux. Aussi le cours du sang est-il bien moins régulier que chez les divers animaux dont nous venons de parler, et souvent la direction du courant n'est pas constante.

§ 114. **Zoophytes.** — Enfin, il existe aussi une espèce de circulation encore plus imparfaite chez divers zoophytes, tels que certains polypes, où le liquide nourricier, répandu dans la grande cavité dont le corps de ces animaux est creusé, s'y meut avec assez de rapidité, sous l'influence de petits filaments, appelés *cils vibratiles*, qui garnissent les parois de cette cavité, et qui frappent le liquide comme le feraient des rames ou palettes. Cette cavité,

<sup>1</sup> Les flèches indiquent la direction des courants : — *a*, vaisseau dorsal dans lequel le sang se dirige d'arrière en avant; — *b*, principaux courants latéraux.

qui remplit en même temps les fonctions d'un estomac, est quelquefois simple, mais d'autres fois elle se continue jusque dans les parties les plus éloignées du corps, sous la forme de canaux ramifiés.

§ 115. Telles sont les principales modifications que l'on remarque dans la manière dont s'effectue la circulation du fluide nourricier chez les divers animaux. Étudions maintenant les phénomènes qui s'accomplissent pendant qu'il parcourt ainsi le système vasculaire.

#### DE LA RESPIRATION

§ 116. Nous avons vu que le sang artériel, par son action sur les tissus vivants, perd les qualités qui le rendaient propre à l'entretien de la vie, et qu'après avoir été modifié de la sorte, ce liquide reprend, au contact de l'air, ses propriétés premières : ce contact est donc nécessaire à l'existence des êtres vivants. Et en effet, si l'on place un animal sous la cloche d'une machine pneumatique dans laquelle on fait le vide, ou bien qu'on le prive d'air par tout autre moyen, il survient un trouble très-grand dans les diverses fonctions; bientôt après, l'action de tous les organes s'interrompt, la vie cesse de se manifester, et l'animal tombe dans un état d'*asphyxie* ou de mort apparente; enfin la vie s'éteint complètement et ne peut plus être rappelée.

Ce phénomène est l'un des plus généraux de la nature organique : l'influence de l'air est indispensable à tous les animaux, comme elle l'est à tous les végétaux; et lorsqu'un être vivant en est privé pendant un certain temps, il meurt toujours. Partout où il y a la vie, l'air paraît nécessaire.

Au premier abord, on ne pourrait croire que les animaux qui vivent toujours au fond de l'eau, comme les poissons, sont soustraits à l'influence de l'air, et font, par conséquent, exception à la loi dont nous venons de parler; mais il n'en est pas ainsi, car le liquide dans lequel ils sont plongés absorbe et tient en dissolution une certaine quantité d'air qu'ils peuvent facilement séparer, et qui suffit pour l'entretien de leur vie; il leur est impossible d'exister dans de l'eau purgée d'air, et on les voit s'y asphyxier et y mourir, comme périeraient des mammifères ou des oiseaux que l'on soustrairait à l'action de l'air atmosphérique sous sa forme ordinaire.

Les rapports de l'air avec les êtres organiques forment une des parties les plus importantes de leur histoire physiologique, et la série des phénomènes qui en résultent constitue l'acte de la RESPIRATION.



§ 117. L'air, disons-nous, est nécessaire à la vie de tous les animaux; mais ce fluide n'est pas un corps homogène; la chimie y a démontré l'existence de principes très-différents, et qui, par conséquent, peuvent ne pas jouer le même rôle dans le phénomène de la respiration. En effet, outre la vapeur d'eau dont l'atmosphère est toujours plus ou moins chargée, l'air fournit par l'analyse environ 21 centièmes d'oxygène et 79 centièmes d'azote, ainsi que des traces de gaz acide carbonique. La première question qui se présente à l'esprit, lorsqu'on aborde l'étude de la respiration, est donc de savoir si ces gaz différents agissent de la même manière sur les animaux, ou bien si c'est à l'un d'eux qu'appartient plus spécialement la propriété d'entretenir la vie.

Pour la résoudre, il suffit d'un petit nombre d'expériences. Si l'on place un animal vivant dans un vase rempli d'air, et que l'on intercepte toute communication de ce fluide avec l'atmosphère, on voit qu'au bout d'un temps plus ou moins long, cet animal s'y asphyxie et y périt; l'air qui l'entoure a donc perdu la faculté d'entretenir la vie, et, si l'on en fait alors l'analyse chimique, on s'aperçoit qu'il a perdu en même temps la majeure partie de son oxygène. Si l'on place ensuite un autre animal dans un vase rempli de gaz azote, on le voit périr promptement; tandis que si l'on enferme un troisième animal dans de l'oxygène, il y respire avec activité et ne présente aucun symptôme d'asphyxie.

Il est donc évident que c'est à la présence de l'oxygène que l'air atmosphérique doit ses propriétés vivifiantes.

La découverte de ce fait important ne date que de la fin du siècle dernier (1777), et elle est due à l'un des chimistes français les plus célèbres, Lavoisier, qui, malgré ses titres nombreux à la reconnaissance publique, périt sur l'échafaud, victime de la tourmente révolutionnaire.

§ 118. Par l'acte de la respiration, disons-nous, tous les animaux enlèvent à l'air qui les entoure une certaine quantité d'oxygène; mais les changements qu'ils déterminent ainsi dans la composition de ce fluide ne se bornent pas là: l'oxygène qui disparaît est remplacé par un autre gaz, l'acide carbonique, qui, loin d'être, comme le premier, propre à l'entretien de la vie, fait périr les animaux qui le respirent en quantité un peu considérable. La production de cette substance est un acte non moins général parmi les animaux que l'absorption de l'oxygène; et c'est dans ces deux phénomènes que consiste essentiellement le travail respiratoire.

§ 119. Quant à l'azote de l'air respiré, son volume ne change

que peu; et l'usage principal de ce gaz paraît être d'affaiblir l'action de l'oxygène.

On a remarqué, cependant, que, dans quelques cas, une partie de l'azote de l'air disparaît pendant la respiration, et que d'autres fois son volume augmente. Il paraît même que les animaux en absorbent et en exhalent continuellement, comme ils exhalent et absorbent les liquides renfermés dans la cavité du péricarde, du péritoine, etc., et que les variations que nous venons de signaler dépendent de ce que ces deux fonctions opposées se font en général équilibre, de manière que leur résultat n'est pas apparent, mais que l'absorption de l'azote est quelquefois plus active que son exhalation, tandis que d'autres fois la quantité de ce gaz exhalée excède celle qui est absorbée: d'où résulte tantôt une diminution, tantôt une augmentation dans son volume, lorsqu'on le compare avant et après qu'il a servi à la respiration.

§ 120. Enfin, il s'échappe aussi du corps, avec les produits de la respiration, une quantité plus ou moins considérable de vapeur d'eau; cette exhalation, qui a reçu le nom de *transpiration pulmonaire*, est même un des phénomènes les plus apparents de la respiration, lorsque, par l'action réfrigérante de l'air ambiant, ces vapeurs se condensent à la sortie du corps et forment un nuage plus ou moins épais.

§ 121. Pendant que l'air respiré subit les changements que nous venons d'indiquer, le sang qui parcourt les membranes en contact avec ce fluide éprouve également des modifications importantes: il redevient propre à entretenir la vie, et passe du rouge noirâtre à un rouge vif et éclatant. Pour bien observer ce fait, on n'a qu'à ouvrir une artère sur un animal vivant, et à comprimer en même temps son cou, de façon à empêcher l'air de pénétrer dans ses poumons; le sang qui s'écoulera de l'artère sera d'abord d'un rouge vif, mais ne tardera pas à prendre une couleur sombre et à devenir du sang veineux. Si alors on permet de nouveau l'accès de l'air dans les poumons, on voit ce liquide changer encore de couleur et reprendre la teinte propre au sang artériel.

§ 122. **Théorie de la respiration.** — Tels sont les principaux phénomènes de la respiration des animaux. Cherchons maintenant à nous en rendre compte, à en trouver l'explication.

Et d'abord que devient l'oxygène qui disparaît, et quelle est l'origine de l'acide carbonique produit pendant l'exercice de cette fonction?

Lorsqu'on fait brûler du charbon dans un vase rempli d'air, on voit que l'oxygène disparaît et est remplacé par un volume



égal de gaz acide carbonique; il se fait en même temps un dégagement considérable de chaleur. Or, pendant la respiration, les mêmes phénomènes ont lieu, et l'on observe toujours un rapport remarquable entre la quantité d'oxygène employée par l'animal et celle de l'acide carbonique qu'il produit; dans les circonstances ordinaires, le volume de ce dernier n'est que de peu au-dessous de celui du premier, et les animaux, comme nous le verrons par la suite, dégagent tous plus ou moins de chaleur.

Il existe donc la plus grande analogie entre les principaux phénomènes de la respiration et ceux de la combustion du charbon, et cette parité dans les résultats a fait penser que la cause des uns et des autres devait être la même. On a donc supposé que l'oxygène de l'air inspiré se combinait dans l'intérieur de l'organe de la respiration avec du carbone provenant du sang, et que, de cette espèce de combustion, naissait l'acide carbonique dont l'expulsion est en quelque sorte le complément de l'acte respiratoire.

Mais cette théorie, proposée par le célèbre Lavoisier, et adoptée jusqu'en ces dernières années par la plupart des physiologistes, ne s'accorde pas complètement avec les résultats de l'expérience, et, par conséquent, doit être modifiée; car on sait aujourd'hui que la consommation de l'oxygène par la respiration n'est pas liée immédiatement à la production de l'acide carbonique; ce dernier gaz existe tout formé dans le sang veineux, et vient simplement s'exhaler à la surface de l'organe respiratoire pendant que l'oxygène de l'air, absorbé par cette même surface, va se dissoudre dans le liquide nourricier et donne à celui-ci les qualités caractéristiques du sang artériel.

§ 125. Pour prouver que l'acide carbonique n'est pas le produit de la combinaison directe de l'oxygène inspiré avec du carbone excrété par le sang qui traverse l'organe respiratoire, il suffit d'une expérience très-simple, faite, il y a quelques années, par William Edwards. Placez dans un vase rempli d'azote, ou de quelque autre gaz qui ne contient pas d'oxygène, un animal susceptible de résister pendant assez longtemps à l'asphyxie, une grenouille par exemple; puis faites l'analyse du gaz: vous trouverez que l'animal, ainsi privé d'oxygène, aura continué néanmoins à donner de l'acide carbonique comme s'il avait respiré dans l'air. Or, dans ce cas, il est impossible d'attribuer la formation de l'acide carbonique à une combustion directe qui aurait lieu dans le poumon, car cette combustion aurait nécessairement cessé aussitôt que l'air respiré ne contenait plus d'oxygène; le dégagement de l'acide carbonique se continuant, il faut que ce gaz existe déjà tout formé

dans le corps de l'animal et soit simplement exhalé par l'organe respiratoire.

§ 124. En effet, c'est le sang qui est la source de l'acide carbonique dégagé pendant l'acte de la respiration, et l'on a constaté récemment qu'il existe toujours, en dissolution dans le liquide nourricier, une certaine quantité de ce gaz, ainsi qu'un peu d'oxygène et d'azote. Les recherches d'un chimiste de Berlin, M. Magnus, ont fait voir aussi que le sang possède la propriété de dissoudre une certaine quantité de tous les gaz avec lesquels il se trouve en contact; mais que toutes les fois que ce liquide, étant déjà chargé d'un gaz, vient à en absorber un autre, il ne le fait qu'en abandonnant une certaine quantité du premier, lequel semble céder la place au second. Ainsi, lorsqu'on agite du sang veineux avec de l'hydrogène, une portion de ce gaz est dissoute, et une certaine quantité de l'acide carbonique déjà existant dans le liquide est dégagée<sup>1</sup>. Lorsque, au lieu de se servir d'hydrogène, comme dans l'expérience précédente, on emploie de l'oxygène, on obtient un résultat analogue: le sang veineux dissout une certaine quantité de ce gaz, abandonne une quantité à peu près équivalente de son acide carbonique, et par l'effet de cette substitution, change de teinte, passe du rouge sombre au rouge vermeil, et devient semblable à du sang artériel.

§ 125. On voit que, dans cette expérience, tous les principaux phénomènes de la respiration se reproduisent indépendamment de l'influence de la vie et par le seul effet de la propriété que possède le sang de dissoudre alternativement les divers gaz avec lesquels il est en contact. Il est donc à présumer que les choses se passent de la même manière dans l'intérieur du corps des animaux vivants, et que la respiration ne consiste que dans l'absorption de l'oxygène et des autres matières que l'atmosphère peut nous fournir, absorption qui coïncide avec le dégagement et l'exhalation de l'acide carbonique et des autres gaz dont le sang se trouve préalablement chargé.

On sait, d'ailleurs, que l'interposition d'une membrane analogue à celle qui forme les parois des vaisseaux respiratoires dans lesquels le sang circule n'est pas un obstacle au passage des gaz: si l'on place du sang veineux dans une vessie bien fermée, et qu'on expose celle-ci à l'action de l'oxygène, on observera les mêmes phénomènes que si l'on mettait ces deux fluides en con-

<sup>1</sup> Ce dégagement est une conséquence de la diffusibilité des gaz. (Voyez mes *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, t. I, p. 456 et suivantes.)



tact immédiat : l'oxygène se dissoudra en partie dans le sang et sera remplacé par l'acide carbonique qui se dégagera de ce liquide, dont la couleur passera en même temps du rouge-brun au rouge vermeil. Nous avons déjà vu que les organes respiratoires sont conformés de la manière la plus favorable à l'absorption, et l'on sait par des expériences nombreuses que toutes les substances volatiles introduites dans le torrent de la circulation sont, de même que l'acide carbonique, expulsées peu à peu du corps par l'exhalation dont ces organes sont le siège.

§ 126. D'après cet ensemble de faits, on peut se former une idée nette de ce qui se passe dans l'acte de la respiration.

Le sang veineux qui arrive de toutes les parties du corps tient en dissolution de l'acide carbonique en quantité assez considérable, un peu d'azote et quelques traces d'oxygène. Mais il n'est pas saturé de ce dernier gaz, et en traversant l'appareil respiratoire, où il se trouve en contact presque direct avec l'air, il en rencontre des quantités considérables. Il en dissout donc, et en même temps une portion de l'acide carbonique dont il est chargé, obéissant à la loi de la diffusion des gaz, se dégage pour se répandre dans l'air<sup>4</sup>. Si le sang ne tient en dissolution que très-peu d'azote, il peut en absorber aussi : mais, le plus ordinairement, il en abandonne un peu. Enfin, l'air inspiré n'étant pas saturé d'humidité, il y a aussi dégagement d'une certaine quantité de vapeur d'eau ; il s'effectue de la sorte des échanges entre le sang et l'air.

En résumé, *la respiration consiste donc essentiellement en un phénomène d'absorption et d'exhalation, par suite duquel le sang venant en contact avec l'air atmosphérique, se débarrasse de son acide carbonique et se charge d'oxygène.*

Or, le sang qui est très-chargé d'acide carbonique offre tous les caractères du sang veineux, et celui qui est chargé d'oxygène libre est vermeil et constitue le sang artériel.

Ainsi l'échange respiratoire a pour effet, d'une part la transformation du sang veineux en sang artériel, d'autre part l'altération de l'air, qui se trouve appauvri en oxygène et chargé d'acide carbonique, modification qui le rend inapte à servir, comme au-

<sup>4</sup> Il est essentiel de noter que la quantité d'acide carbonique contenue dans le sang veineux, quoique médiocre, suffit pour rendre compte de toute la quantité de ce gaz dégagée pendant la respiration. Ainsi, chez l'homme, ce liquide contient au moins  $\frac{1}{5}$ <sup>e</sup> de son volume ; et comme la quantité de sang qui traverse les poumons en une minute peut être évaluée à environ 5 litres, il doit y passer pendant ce même espace de temps environ 1 litre de gaz acide carbonique : or, la quantité de ce gaz dégagée par la respiration pendant ce même laps de temps ne dépasserait pas, même d'après l'évaluation la plus élevée, 555 centimètres cubes, ou un peu plus d'un demi-litre.

paravant, soit à la respiration des animaux, soit à l'entretien de la combustion ordinaire.

Quant à la source de l'acide carbonique contenu dans le sang et exhalé de la sorte par le travail respiratoire, il y a lieu de croire que ce gaz se forme à la fois dans toutes les parties du corps, et résulte de la combinaison de l'oxygène absorbé avec du carbone provenant des matières organiques contenues dans le fluide nourricier ou enlevées aux tissus vivants. *Le phénomène essentiel de la respiration n'est donc autre chose qu'une sorte de combustion s'opérant dans la profondeur de l'organisme*, et les échanges qui s'effectuent entre le sang et l'atmosphère par la surface respiratoire ne sont que les préliminaires et les conséquences de ce travail.

§ 127. **Activité de la respiration.** — Nous avons vu que la respiration est indispensable à l'entretien de la vie de tous les êtres animés, mais le degré d'activité de cette fonction varie beaucoup dans les différents animaux.

Les oiseaux sont, de tous ces êtres, ceux dont la respiration est la plus active ; dans un temps donné, ils consomment plus d'air que tous les autres animaux, et ils succombent aussi à l'asphyxie avec plus de rapidité.

Les mammifères ont également une respiration très-active, et l'on a fait un grand nombre d'expériences pour apprécier la quantité d'oxygène que l'un d'eux, l'homme, emploie de la sorte dans un temps donné. Cette quantité varie suivant les individus, les âges et diverses autres circonstances ; mais, d'après les recherches les plus récentes, elle paraît être, terme moyen, d'environ 550 litres ou décimètres cubes par jour. Or, l'oxygène ne forme que les 21 centièmes (en volume) de l'air atmosphérique ; il s'ensuit donc que l'homme consomme, pendant cet espace de temps, au moins 2750 litres ou décimètres cubes de ce dernier fluide<sup>4</sup>.

Les animaux des classes inférieures ont, en général, une respiration bien plus bornée, surtout ceux qui vivent dans l'eau.

Mais néanmoins, si l'on réfléchit à la consommation énorme

<sup>4</sup> On se tromperait grossièrement si, d'après ces calculs, on supposait que la quantité d'air indiquée ci-dessus pourrait suffire à l'entretien de la respiration d'un homme pendant vingt-quatre heures ; car nous ne pouvons pas utiliser tout l'oxygène contenu dans l'air qui entre dans nos poumons, et dès que l'atmosphère qui nous entoure contient une certaine proportion d'acide carbonique, nous ne pouvons y vivre. Un homme fait passer dans ses poumons 7 à 8 mètres cubes d'air par jour, et, pour respirer à son aise dans un lieu renfermé, il a besoin d'une quantité beaucoup plus considérable. Ainsi, dans les salles de spectacle et dans les autres lieux où des hommes se trouvent réunis en grand nombre, il faut pour chacun d'eux jusqu'à 6 ou même 10 mètres cubes d'air par heure.



d'oxygène que tous ces êtres doivent faire chaque jour, on voit que l'atmosphère en serait dépouillée à la longue, et que tous les animaux périraient asphyxiés, si la nature n'employait des moyens puissants pour renouveler sans cesse la quantité de ce gaz répandu autour de la surface du globe.

C'est en effet ce qui a lieu; et une chose digne de remarque, c'est que ce moyen est précisément un phénomène de même ordre que celui dont il est destiné à contre-balancer les effets : c'est la *respiration des plantes*.

Les végétaux absorbent l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère, et, sous l'influence de la lumière solaire, ils en extraient le carbone et mettent l'oxygène à nu. Ainsi c'est le règne végétal qui donne aux animaux l'oxygène qui leur est nécessaire, et c'est la respiration des animaux qui fournit sans cesse aux végétaux l'acide carbonique indispensable à leur accroissement.

On voit donc que c'est en grande partie du rapport qui existe entre les animaux et les végétaux que dépend la nature de l'atmosphère, et qu'à son tour c'est la composition de l'air qui doit régler en quelque sorte le nombre relatif de ces êtres<sup>1</sup>.

§ 128. Il existe toujours un rapport remarquable entre la quantité d'air consommée par chaque animal dans un temps déterminé et la vivacité de ses mouvements. Les animaux dont les mouvements sont lents et rares ont, toutes choses égales d'ailleurs, une respiration bien moins étendue que ceux qui se meuvent avec rapidité et ne restent que peu de temps en repos. Les grenouilles et les crapauds, par exemple, consomment moins d'air que certains papillons, bien que leur corps soit d'un volume bien plus considérable que celui de ces insectes; mais ces reptiles ne se meuvent que peu et lentement, tandis que les papillons exécutent sans cesse les mouvements les plus vifs.

§ 129. L'activité de la respiration varie aussi chez le même animal, suivant les circonstances où il est placé; et l'on peut établir, en thèse générale, que tout ce qui tend à diminuer l'énergie du mouvement vital détermine une diminution, soit dans l'absorption de l'oxygène, soit dans la proportion relative de l'acide carbonique exhalé, tandis que, d'un autre côté, tout ce qui augmente la force de l'animal produit un changement correspondant dans l'étendue de la respiration.

<sup>1</sup> D'après cela, on pourrait croire que dans les villes, où un grand nombre d'hommes vivent réunis et où il existe très-peu de plantes, l'atmosphère doit être moins riche en oxygène que dans les campagnes; mais ce serait une erreur. L'analyse chimique montre que l'air a partout la même composition, et cette uniformité doit être attribuée aux courants dont l'atmosphère est continuellement agitée.

Ainsi, chez les jeunes animaux, ce travail est moins actif que chez ces mêmes êtres à l'âge adulte. Pendant le sommeil, l'étendue de la respiration est également diminuée. La fatigue, l'abstinence, l'abus des liqueurs spiritueuses produisent le même effet. Un exercice modéré et l'alimentation active au contraire cette fonction.

Jusqu'ici nous nous sommes occupé seulement des phénomènes de la respiration, considérés en eux-mêmes, et sans avoir égard aux organes qui en sont le siège. Voyons maintenant quels sont les instruments destinés à cette fonction importante, et voyons aussi comment ils sont modifiés dans les divers animaux.

#### APPAREIL DE LA RESPIRATION

§ 130. Dans les animaux dont l'organisation est la plus simple, la respiration n'est l'apanage d'aucun appareil spécial, mais s'effectue dans toutes les parties qui sont en contact avec l'élément dans lequel ces êtres vivent et puisent l'oxygène nécessaire à leur existence.

L'enveloppe générale du corps, ou la peau, est aussi le siège d'une respiration plus ou moins lente chez la plupart des animaux des classes les plus élevées, et notamment chez l'homme; mais, chez tous ces êtres, une partie déterminée de la membrane tégumentaire est plus spécialement destinée à agir sur l'air et se modifie dans sa structure de manière à mieux remplir cette fonction.

La partie ainsi modifiée pour agir sur l'air présente une texture molle, spongieuse et fine; elle reçoit une grande quantité de sang, et elle est toujours disposée de manière à offrir, sous un volume comparativement petit, une surface d'autant plus étendue, que la respiration doit être plus active. On peut établir aussi, en thèse générale, que cet organe sera un instrument d'autant plus puissant, que son organisation s'éloignera davantage de celle de l'enveloppe générale du corps, et que, toutes choses égales d'ailleurs, la respiration qui a lieu par la peau sera d'autant moins active, que celle dont ces organes spéciaux sont le siège sera au contraire plus étendue.

§ 131. Du reste, la structure des organes respiratoires varie suivant qu'ils sont destinés à être en contact avec l'air à l'état de gaz, ou à agir sur de l'eau tenant en dissolution une certaine quantité de ce fluide.

En effet, chez tous les animaux qui vivent plongés dans l'eau, et qui respirent par l'intermédiaire de ce liquide, les instruments spéciaux de la respiration sont saillants, et portent le nom de