

muscles striés, peuvent être répétées sur des muscles lisses tels qu'un fragment de tube intestinal, par exemple. Là encore, une excitation unique produit une secousse et des excitations rapprochées provoquent un tétanos. Mais on remarque : 1° que la secousse est bien plus lente; 2° que le temps perdu est bien plus long; 3° qu'il faut des excitations relativement peu rapprochées pour produire le tétanos. Logiquement d'ailleurs, ce résultat n'est qu'un corollaire de la lenteur de la secousse.

Chez les invertébrés, sauf les arthropodes, les muscles sont lisses et présentent les particularités que nous venons de signaler. Les expériences peuvent se faire très facilement sur les siphons de lamellibranches siphonnés, ceux des pholades par exemple. Chez les arthropodes, qui ont des muscles striés, la secousse est plus brève.

Tous les muscles n'ont pas, d'ailleurs, dans le même organisme, au point de vue de la nature de la courbe, les mêmes caractères. Ainsi, si l'on prend une écrevisse, on constate que les muscles de la queue ont une secousse plus rapide et un temps perdu moindre que ceux des pinces. Des faits analogues ont été signalés pour des mammifères et des oiseaux. On sait que, chez le lapin et le poulet, par exemple, il y a des *muscles rouges* et des *muscles blancs*. Les derniers ont une secousse bien plus rapide que les premiers.

QUINZIÈME LEÇON

Mécanismes respiratoires.

La fonction respiratoire consiste dans les échanges gazeux qui se font entre les éléments anatomiques des êtres vivants et le milieu ambiant, c'est-à-dire fixation d'oxygène et rejet d'acide carbonique. Un certain nombre de mécanismes, variables avec les espèces, assurent cette fonction.

Chez les vertébrés aériens, l'air pénètre dans une cavité dite poumon où le sang vient se charger d'oxygène pour le porter aux tissus et se débarrasser de l'acide carbonique qu'il y a puisé; les arthropodes aériens ont des trachées au lieu de poumons, tandis que, chez les vertébrés et arthropodes aquatiques, les mêmes échanges se font à l'aide de branchies.

Mammifères. — La pénétration de l'air dans les poumons est due aux mouvements de la *cage thoracique*. Celle-ci, dont le squelette est formé par la colonne vertébrale, le sternum et les côtes, est fermée en bas par le diaphragme. Elle peut, dans les mouvements d'*inspiration*, s'agrandir suivant trois diamètres : vertical, antéro-postérieur et transversal. L'agrandissement vertical est dû à la contraction du diaphragme (schéma 162), les deux autres au soulèvement des côtes; ce soulèvement est produit surtout par la contraction des scalènes et des surcostaux.

Le poumon, qu'on peut regarder comme un sac, est

mis en relation avec l'extérieur par une tubulure, la trachée, et est accolé aux parois du thorax par le double

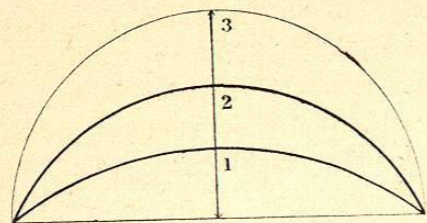


FIG. 162. — Schéma des mouvements du diaphragme : 1 inspiration, 3 expiration, 1, 2, 3 positions successives du diaphragme.

feuille de la plèvre, dont il suit tous les mouvements. L'agrandissement du thorax est donc suivi de celui du poumon, d'où pénétration de l'air dans l'organe : c'est l'inspiration. Le petit ap-

pareil représenté par la figure 163 permet de se rendre assez facilement compte de cet effet de l'agrandissement de la cage thoracique : il se compose d'une cloche tubulée fermée à sa partie inférieure par une membrane de caoutchouc, et dont le bouchon de la tubulure est traversé par un tube en Y auquel sont attachés deux petits ballons de caoutchouc mince qui pendent dans la cloche. Chaque fois que l'on tire sur la membrane de caoutchouc, l'air se précipite dans les petits ballons (fig. 163).

Pourquoi l'air se précipite-t-il dans le poumon ?

Soit V la contenance préalable de l'organe, avec de l'air à la pression H . Cet espace devient $V + v$ et la pression $H - h$: l'air de l'extérieur se précipite pour combler cette dépression.

Le poumon revient ensuite sur lui-même, par son élasticité propre, entraînant la cage thoracique qui s'affaisse : c'est l'expiration. Son volume redevient V ; la pression augmentant par conséquent devient $H + h$, par exemple,

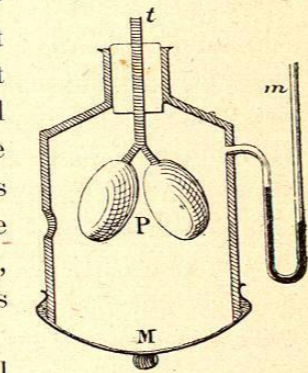


FIG. 163. — Schéma de l'influence de l'agrandissement de la cage thoracique sur le poumon. Quand on abaisse la membrane de caoutchouc M , la pression baisse dans la cloche, comme le montre le manomètre m , et l'air se précipite par le tube t dans les poumons P .

et l'air sort pour rétablir la pression atmosphérique. Ces variations dans la pression de l'air à l'inspiration et à l'expiration sont mises facilement en évidence en fixant un manomètre sur la trachée.

Nous avons donc alternativement : 1° agrandissement de la cage thoracique avec aspiration d'air dans le poumon ; 2° retrait du poumon avec affaissement de la cage et sortie de l'air.

I. MOUVEMENTS DE LA CAGE, PNEUMOGRAPHES. — On enregistre assez difficilement les mouvements directs du diaphragme, lesquels déterminent les variations du diamètre longitudinal de la cage, à moins de faire une boutonnière dans la paroi abdominale et de passer par cette boutonnière la tige d'un levier qui, venant buter contre la cloison diaphragmatique, en peut transmettre les contractions par des mécanismes appropriés. Mais, ces mouvements ayant un retentissement sur le volume de la cavité abdominale, qui se gonfle à chaque contraction et s'affaisse au moment du repos, on peut les enregistrer indirectement par le même procédé que les variations transversales de la cavité thoracique, c'est-à-dire avec des pneumographes.

Le pneumographe le plus employé est celui de Paul Bert (fig. 164), qui consiste en un cylindre fermé à ses deux extrémités par une membrane de caoutchouc et portant une tubulure latérale. Les membranes de caoutchouc sont munies de crochets

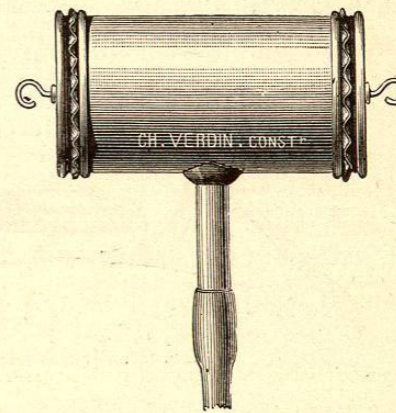


FIG. 164. — Pneumographe de Paul Bert.

auxquels on attache un lien embrassant le thorax, en le serrant modérément. Il est facile de concevoir qu'à chaque dilatation de la cage thoracique, c'est-à-dire à chaque inspiration, une traction s'opère sur les membranes et que celles-ci reviennent sur elles-mêmes pendant l'expiration. Si le pneumographe est relié à un tambour enregistreur, toutes les variations de pression du pneumographe lui seront transmises. On enregistre de cette manière la dilatation circulaire totale.

Le dispositif est le même pour l'abdomen.

En prenant deux tracés simultanés du thorax et de l'abdomen, on constate que leurs mouvements sont synchrones; ces régions se dilatent et se rétractent ensemble, comme le montre l'analyse des lignes d'inspiration et d'expiration.

On voit, en outre, que l'inspiration est régulière et relativement brève, l'expiration d'abord très rapide, puis retardée, ce qui rend sa durée totale plus grande que celle de l'inspiration.

Notons que, dans la prise des tracés, on doit toujours obéir à une convention des physiologistes, de manière que la ligne de l'inspiration soit descendante et celle de l'expiration ascendante.

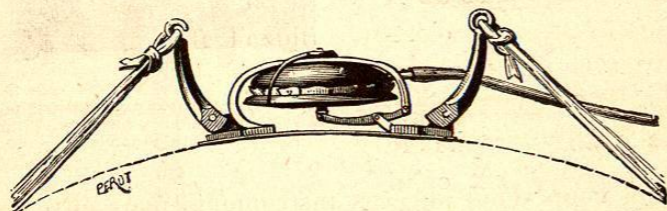


FIG. 165. — Pneumographe de Marey.

L'enregistrement de la dilatation totale du thorax et de l'abdomen se fait encore par le pneumographe de Marey, où la traction exercée sur une lame d'acier, et qui en provoque la courbure, se transmet à un tam-

bour relié lui-même au tambour enregistreur (fig. 165).

Un dernier moyen pour enregistrer des mouvements locaux consiste à faire usage de ce qu'on appelle des *palpeurs* (fig. 166) ou des *compas* (fig. 167). Il suffit de

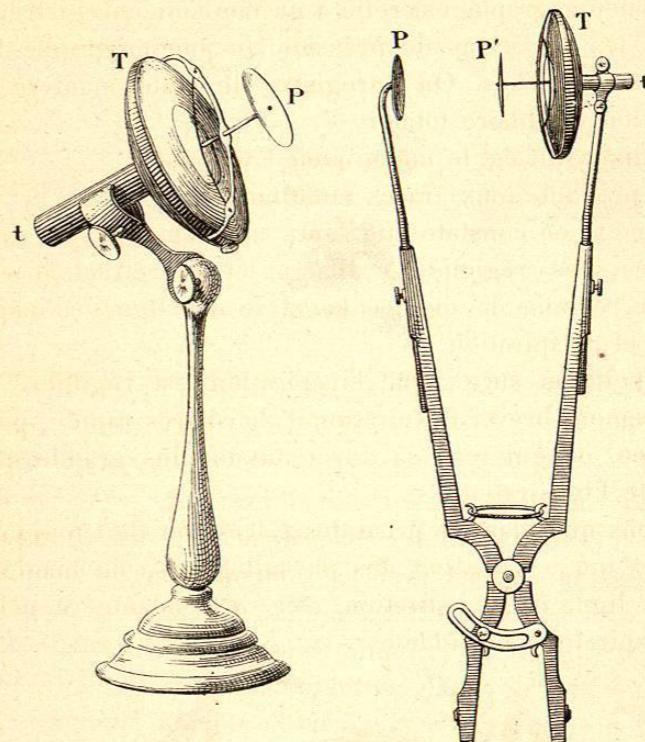


FIG. 166. — Tambour palpeur à pied articulé : T tambour, t tubulure du tambour, P disque du palpeur.

FIG. 167. — Compas explorateur à tambour : PP' disques palpeurs, T tambour, t tubulure du tambour.

jeter un coup d'œil sur ces instruments pour en comprendre le fonctionnement.

II. MOUVEMENTS DE L'AIR. — Ces mouvements s'enregistrent à l'aide d'une muselière tubulée ou d'un tube placé dans la trachée. Dans ce dernier cas, à cause du grand volume d'air déplacé, on ne peut mettre directement le

poumon en rapport avec un tambour; on interpose alors un récipient de volume variable suivant la taille de l'animal (fig. 168), ou bien encore on laisse une fuite sur le tube reliant la muselière ou la trachée au tambour enregistreur.

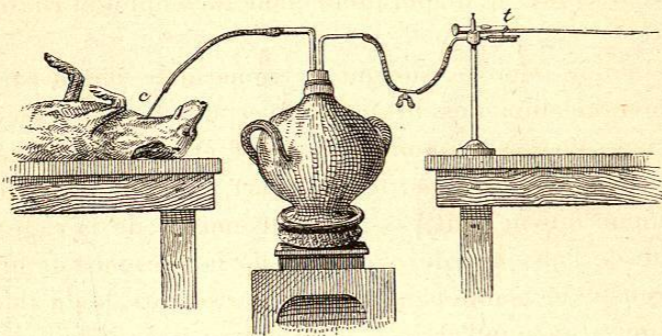


FIG. 168. — Dispositif pour enregistrer la respiration par la trachée : c canule trachéale, t tambour.

Un autre procédé élégant pour enregistrer le va-et-vient de l'air consiste à placer l'animal dans une cloche tubulée, soigneusement lutée sur un plateau rodé et dont la tubulure est en rapport avec le tambour enregistreur. On assiste alors à ce résultat singulier, que la pression monte à chaque inspiration, pour baisser à chaque expiration. L'explication de ce fait est toute naturelle, quand on songe à la dépression qui règne dans le poumon au moment de l'inspiration.

En enregistrant simultanément avec les tracés respiratoires une ligne de temps, on voit que les mouvements relativement lents chez les grands mammifères sont très rapides chez les petits, et généralement d'autant plus fréquents que la taille est plus réduite. Il y en a 16 environ chez l'homme, 100 environ chez le lapin, par minute, quand il est effrayé.

Oiseaux. — Les procédés d'enregistrement sont tou-

jours les mêmes : pneumographes, muselières, tubes dans la trachée; nous n'avons donc pas à y insister. Nous parlerons seulement de quelques particularités propres à ce groupe des vertébrés. La dilatation du thorax se fait presque uniquement par des mouvements des côtes et du coracoïde, le diaphragme étant incomplet et rudimentaire.

Mais il importe surtout de remarquer, d'une part, la communication des bronches avec de vastes réservoirs aériens ou sacs, au nombre de neuf, et celle de ces réservoirs avec certains os; d'autre part, la faible mobilité du poumon qui ne suit pas les mouvements de la cage, par suite de l'absence de plèvres et de la présence de brides fibreuses le maintenant dans la partie dorsale du thorax. Ce qui provoque l'arrivée de l'air dans le poumon, malgré cette immobilité relative, c'est la dilatation des sacs, la sortie étant amenée par leur compression. On peut prouver facilement par des tracés que, contrairement à l'opinion autrefois admise, ces sacs sont tous dilatés simultanément et tous comprimés en même temps.

Ils sont donc tous dans le même moment inspirateurs ou expirateurs.

Pour le montrer, il suffit d'enfoncer un trocart dans deux quelconques de ces sacs et d'inscrire simultanément les variations de pression en conjuguant les tubes des trocarts avec des tambours : les deux courbes sont comparables, et c'est seulement quand l'animal est dans une position insolite, couché sur le dos par exemple, que les sacs du thorax et ceux de l'abdomen sont antagonistes au lieu d'être synergiques et que l'on voit à l'œil une respiration en bascule.

La communication des sacs avec les bronches est facile à prouver : il suffit d'ouvrir un de ces sacs et d'oblitérer la trachée; la respiration n'en continue pas moins.

Pour montrer enfin leur communication avec les os, on

prend un oiseau âgé, un canard de préférence, les jeunes ayant les os pleins de moelle, et on lui sectionne l'humérus. En approchant une bougie du bout central de l'os, on constate que la flamme est alternativement attirée et repoussée et que ces mouvements sont synchrones avec ceux de la respiration. Il est d'ailleurs possible de conjuguer le bout de l'os avec un tambour, en interposant sur le trajet un récipient, et d'inscrire les mouvements dont nous venons de parler, en même temps que ceux du

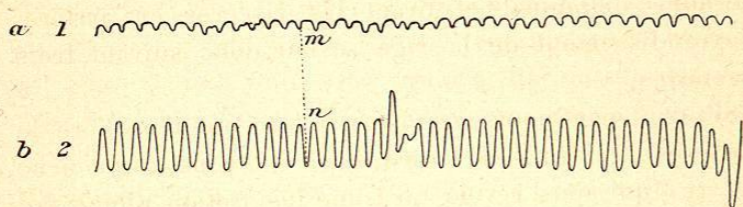


Fig. 169. — Respiration d'un oiseau enregistrée simultanément par un palpeur *a 1* et par l'humérus *b 2* : la ligne *m n* montre qu'il y a coïncidence des tracés.

thorax sont enregistrés à l'aide d'un pneumographe : il y a appel d'air par l'humérus, à chaque inspiration, refoulement à chaque expiration (fig. 169).

En comprimant la trachée d'un oiseau à humérus sectionné, la respiration continue à se faire par cet os : c'est une deuxième démonstration de la communication des sacs avec les bronches.

Reptiles. — Dans ce groupe nous allons trouver des types et des mécanismes différents. Nous examinerons successivement : un crocodilien, un lacertien, un ophidien, un chélonien.

Si nous observons un crocodile, nous sommes frappés de ce fait que les respirations se font par série de deux ou trois, séparées par des pauses plus ou moins longues en inspiration pleine (fig. 170); de plus, en plaçant deux palpeurs, l'un sur le thorax, l'autre sur le plancher buccal,

nous pourrions constater que l'expiration se fait en deux temps. Dans un premier temps, l'abdomen ainsi que le thorax se resserrent et l'air est chassé dans la cavité buccale; au deuxième temps, le plancher buccal, en se relevant, chasse l'air au dehors par les narines (fig. 171). Les pauses en inspiration sont dues à une oblitération de l'arrière-bouche par un repli de la langue. Les agents actifs de l'inspiration sont, d'une part, les muscles costaux, d'autre part, des muscles s'insérant sur le sternum abdominal et tirant les viscères en arrière. L'agrandissement de la cage se fait donc suivant trois diamètres.

Si maintenant nous enregistrons avec une muselière le tracé respiratoire d'un lézard, nous obtenons une courbe (fig. 172) qui nous révèle qu'à une inspiration pleine fait suite une demi-expiration, puis l'animal reste plus ou moins longtemps à demi gonflé et termine son expiration, laquelle est suivie immédiatement d'une inspiration. La pause en demi-expiration n'est pas due à une occlusion de la glotte, car elle persiste quand on prend le tracé directement par la trachée. Les agents actifs de l'inspiration sont exclusivement les muscles costaux.

Chez les ophidiens, la respiration est relativement lente et chaque inspiration est suivie d'une pause; comme chez les lacertiens, seuls les mouvements des côtes produisent la dilatation du thorax. Il existe quelquefois chez ces animaux de très longues pauses en inspiration, pendant lesquelles, la glotte étant fermée, ils brassent l'air dans leurs volumineux poumons très allongés.

Le type respiratoire des chéloniens est un peu variable suivant les espèces. Avec la *Testudo græca*, on a le même graphique qu'avec les lézards (fig. 173), mais ici la pause en demi-expiration est due à l'oblitération de la glotte; en effet, si le graphique est pris à l'aide d'un tube dans