

les mailles de leur tissu, et elles dépendent évidemment du départ, tantôt moins considérable, tantôt plus considérable du sang par le calibre des vaisseaux veineux.

ARTICLE V.

DE QUELQUES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE LA CIRCULATION.

§ 107.

Vitesse de la circulation. — Nombre des pulsations du cœur. — Lorsque le cœur se contracte, il chasse en même temps le sang dans l'artère pulmonaire et dans l'artère aorte, car la contraction des deux ventricules est simultanée. Il est évident que la quantité de sang envoyée par le cœur droit dans le poumon, et la quantité de sang envoyée par le cœur gauche dans les organes, sont sensiblement égales. La chose est difficile à démontrer expérimentalement, mais il est facile de concevoir que, si le cœur droit envoyait plus de sang au poumon que le cœur gauche n'en reçoit du poumon dans le même temps, le poumon serait bientôt rempli.

S'il passe, dans un temps donné, la même quantité de sang dans le cœur droit et dans le cœur gauche, la vitesse du cours du sang dans le grand et le petit cercle de la circulation est la même, c'est-à-dire, en d'autres termes, que le sang franchit, en moyenne, en un même espace de temps, une même distance. Mais comme la carrière de la grande circulation est plus longue que la carrière de la petite, il est évident que, quoique animé d'une même vitesse moyenne, le sang a besoin d'un temps plus long pour parcourir le cercle de la grande circulation que pour parcourir le cercle de la petite.

Avec quelle vitesse le sang se meut-il dans les vaisseaux ? Il est évident, d'après tout ce qui précède, que le temps qu'emploie une tranche de liquide prise en un certain point du système circulatoire, pour franchir un certain nombre de centimètres, n'est pas le même dans tous les points. Le liquide sanguin, en effet, ne coule pas d'une manière uniforme dans toutes les divisions du système vasculaire. Le sang qui se meut dans les artères circule dans des espaces d'une *capacité moindre* que le sang qui circule dans les veines. De plus, la capacité artérielle va sans cesse en augmentant, à mesure qu'on s'approche des capillaires. Les capillaires constituent, ainsi que nous l'avons dit, la partie la plus *spacieuse* de la carrière sanguine : enfin, la capacité du système veineux va sans cesse en diminuant, à mesure qu'on s'approche du cœur ¹. En somme, et d'une manière générale, on peut dire que la capacité du système circulatoire va sans cesse en augmentant dans les

¹ La mécanique nous apprend encore que les diverses molécules d'une même tranche liquide ne se meuvent pas avec des vitesses égales ; celles qui avoisinent les parois marchent moins vite que celles qui occupent l'axe du vaisseau : cela est surtout applicable à la circulation des capillaires.

artères, à partir du cœur vers les organes, et sans cesse en diminuant dans les veines, à partir des organes vers le cœur ; donc on peut dire, d'une manière générale aussi, que le sang, animé d'une certaine vitesse à sa sortie du cœur, perd sans cesse de sa vitesse jusqu'aux capillaires, et qu'il gagne sans cesse en vitesse à partir des capillaires jusqu'au cœur. Lorsqu'on demande quelle est la vitesse du sang dans le système circulatoire, il faut donc distinguer s'il s'agit de la vitesse moyenne du sang dans le système circulatoire envisagé dans son entier, ou s'il s'agit de la vitesse du sang dans un département quelconque du système. C'est pour n'avoir pas tenu compte de cette distinction, que les évaluations les plus diverses et les plus contradictoires ont été souvent proposées.

Pour déterminer la vitesse du cours du sang par expérience, M. Volkmann a imaginé un petit instrument très-ingénieux, auquel il a donné le nom d'*hémodynamomètre* (de *αἷμα*, sang, *δρόμος* course) (Voy. fig. 42). Cet instrument consiste en un tube de verre recourbé, fixé sur une boîte en cuivre. Quand on veut faire une expérience, on commence par remplir d'eau le tube de verre *bc*. Les robinets *e*, *f* sont tournés de telle façon qu'ils interceptent toute communication entre le tube de verre *bc* et les orifices *a* et *d* (Voy. fig. 43). On fait alors la section du vaisseau sur lequel doit porter l'expérience, on lie sur la canule *g* (Voy. fig. 42) un des bouts du vaisseau, et sur la canule *h* l'autre bout du vaisseau. Après quoi, on entre à frottement les canules *g* et *h* sur les pièces *a* et *d*. Quand cela est fait, les aides qui comprimaient le vaisseau au-dessus et au-dessous de la section cessent leur compression, et le sang passe au travers de l'appareil. Comme les robinets *e*, *f* sont fermés (fig. 43), le sang ne peut pas s'introduire dans le tube *bc*, et il continue son trajet directement de *a* en *d*. Alors l'opérateur tourne brusquement le robinet *f* (qui entraîne avec lui le robinet *e*), la communication directe de *a* en *d* se trouve fermée (Voy. fig. 44), et le sang, pour passer de *a* en *d*, est obligé de parcourir le tube de verre *bc* de l'hémodynamomètre (fig. 42). Le temps qu'emploie le sang à parcourir la longueur du tube de verre *bc* représente le temps qu'il aurait mis à parcourir une étendue correspondante du vaisseau en expérience ¹.

M. Volkmann et M. Lenz ont principalement étudié la vitesse du

¹ L'expérience dont nous parlons demande certaines précautions. Le temps employé par le sang pour franchir le tube étant très-court (ce tube ne peut avoir qu'une petite longueur, pour ne pas modifier sensiblement la circulation, — quelques centimètres au plus), il faut recourir à des mesures chronométriques qui exigent une certaine habitude. En outre, comme c'est la *couleur* du sang qui sert à évaluer la rapidité de l'ondée sanguine d'un point à un autre, et comme le tube que cette ondée doit traverser est rempli d'eau, il se fait à la limite de séparation des liquides un mélange qui rend cette limite moins tranchée. Cependant la différence de densité des deux liquides, et surtout la rapidité de l'expérience, atténuent cette dernière difficulté, et il n'en résulte, suivant M. Volkmann, que des erreurs de peu d'importance. Enfin, pour que la vitesse du sang dans l'instrument représente la vitesse du sang dans le vaisseau en expérience, il faut

cours du sang dans l'artère carotide. Les expériences de M. Volkmann ont été faites sur le chien, la chèvre, le mouton, le cheval, le veau ; celles de M. Lenz ont porté sur le veau. Sur le chien, la vitesse moyenne

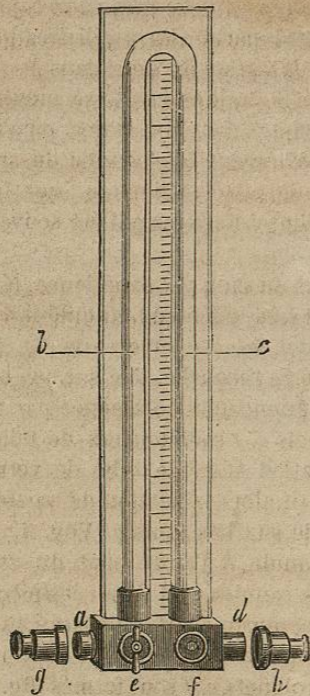


Fig. 42.

HÉMODROMÈTRE.

- a, orifice d'entrée.
- b, branche ascendante du tube de l'hémodr.
- c, branche descendante.
- d, orifice de sortie.
- e, robinet permettant ou empêchant l'entrée du sang dans la branche ascendante b.
- f, robinet lié au robinet e par une roue dentée placée derrière la figure.
- g, h, canules pouvant entrer à frottement sur les pièces a et d.

a été de 29 centimètres par seconde ; sur la chèvre, de 29 centimètres ; sur le mouton, de 28 ; sur le cheval, de 22 (Volkmann) ; sur le veau, de 20 centimètres (Lenz). On peut donc établir en moyenne que la vitesse du cours du sang vers l'origine du système artériel est de 1/4 de mètre par seconde, et qu'elle est à peu près la même dans tous les grands mammifères.

encore que le calibre du tube bc soit exactement le même que celui du vaisseau en expérience, ou, s'il n'est pas le même, il faut, tenant compte des différences de diamètre, ramener par le calcul la vitesse observée dans l'appareil à la vitesse qui lui correspondrait dans le vaisseau.

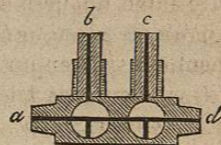


Fig. 43.

Coupe représentant les robinets e, f fermés. Le cours du liquide a lieu de a en d.

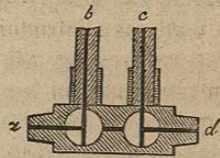


Fig. 44.

Coupe représentant les robinets e, f ouverts. Le cours du liquide a lieu suivant a, b, c, d.

M. Volkmann, à l'aide de son instrument, a trouvé, ainsi qu'on devait s'y attendre, que la vitesse du cours du sang diminue, dans le système artériel, à mesure qu'on s'éloigne du cœur, c'est-à-dire à mesure que la capacité du système augmente. Ainsi, la vitesse était de 22 centimètres par seconde dans la carotide du cheval, et seulement de 16 centimètres dans l'artère faciale. MM. Bidder et Lenz ont constaté, sur le chien, que la vitesse du cours du sang dans l'artère carotide est double de ce qu'elle est dans l'artère crurale.

M. Vierordt a imaginé de son côté, pour mesurer la vitesse du sang, un instrument basé sur le principe du pendule hydrométrique.

Son instrument, auquel il donne le nom de *hémotachomètre* (αἷμα, sang, τάχος, vitesse), consiste en une petite caisse à parois de verre, qui porte à ses deux extrémités des orifices en forme de canules destinés à être adaptés aux deux bouts du vaisseau divisé. Cette petite caisse, traversée par le courant sanguin, renferme un petit pendule qui peut être dévié de la verticale par l'ondée liquide, et suivant la vitesse avec laquelle elle se meut. L'extrémité opposée du pendule met en mouvement une aiguille qui se meut sur un cercle gradué et qui indique, à chaque moment de l'expérience, le degré de déviation du pendule¹. L'hémotachomètre est gradué par avance à l'aide de liquides dont la densité et les qualités physiques sont analogues à celles du sang, et qu'on fait arriver dans l'appareil avec des vitesses connues.

M. Vierordt est arrivé, en ce qui concerne la vitesse du cours du sang dans les artères, à des résultats analogues à ceux de M. Volkmann : cette vitesse moyenne est estimée par lui à 26 centimètres par seconde.

L'hémodynamomètre de M. Chauveau est basé sur le même principe

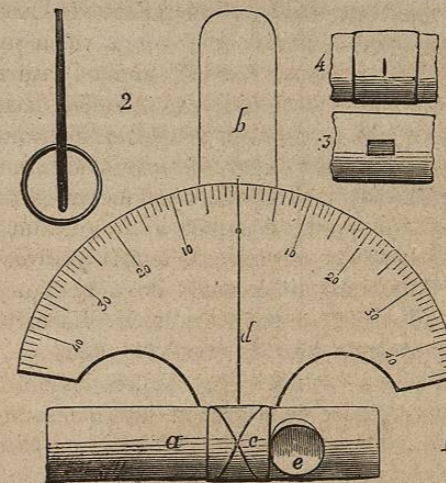


Fig. 45.

HÉMODROMÈTRE À AIGUILLE (de Chauveau).

1. a, tube métallique.
- c, membrane de caoutchouc enveloppant le tube et fermant l'ouverture qu'on voit figure 3.
- d, partie libre de l'aiguille qui se meut sur un cadran.
- e, ouverture sur laquelle on peut brancher un manomètre.
- 2, représente la partie de l'aiguille qui plonge dans le courant sanguin.
- 3, représente la fenêtre du tube par laquelle l'aiguille plonge dans le sang.
- 4, représente cette fenêtre fermée par un manchon de caoutchouc. Ce manchon est traversé par l'aiguille plate et mince qui fait office de pendule.

¹ On peut aussi annexer à l'appareil un cylindre *enregistreur*. Dans ce cas, le pendule met en mouvement un pinceau ou un crayon au-devant duquel tourne d'un mouvement circulaire uniforme un cylindre entouré d'une bande de papier.

que celui de M. Vierordt. Il est représenté figure 45. On peut prolonger la partie libre de l'aiguille en un levier long et léger, qui trace ses mouvements sur une bande de papier qui se déroule (voyez l'appareil enregistreur du cardiographe, fig. 32).

M. Lortet a publié, tout récemment, une série de recherches sur la vitesse du cours du sang chez le cheval à l'aide d'un hémodynamomètre analogue à celui de M. Chauveau. L'instrument, lié à un appareil enregistreur, a été désigné pour cette raison par l'auteur sous le nom de *hémodynamographe* ¹.

La vitesse de la circulation dans le système des vaisseaux capillaires ne peut pas être appréciée à l'aide de l'hémodynamomètre. A l'aide du microscope, on peut, nous l'avons vu, observer le cours du sang dans les parties transparentes des animaux vivants; dans la membrane interdigitaire de la grenouille, par exemple. Mais il faut tenir compte, bien entendu, du pouvoir grossissant. L'instrument donne à la circulation une vitesse apparente qui n'est pas la vitesse réelle. Par conséquent, lorsqu'on a compté le temps que met un globule du sang, placé dans le milieu du courant, à parcourir une certaine étendue du vaisseau, on diminue la vitesse observée de tout le pouvoir amplifiant de la lentille.

Hales estimait le cours du sang dans les petits vaisseaux de la grenouille à 0^{mm},3 par seconde. M. Weber a trouvé cette vitesse de 0^{mm},5 par seconde dans les capillaires de la queue du têtard. M. Valentin l'estime pareillement à 0^{mm},5 d'après des observations faites sur la membrane interdigitaire de la grenouille; nous sommes arrivé, nous-même, à une évaluation analogue. M. Volkmann, enfin, estime la vitesse du courant sanguin dans les capillaires du mésentère du chien à 0^{mm},8 par seconde.

La vitesse du cours du sang dans les vaisseaux capillaires est très-faible, et cela devait être, car les capillaires constituent la partie la plus spacieuse du réservoir sanguin. Cette vitesse est donc, en moyenne, de 1/2 millimètre par seconde ².

M. Vierordt a dernièrement mis à profit un phénomène particulier de la vision, sur lequel nous reviendrons (Voy. § 297 bis), et à l'aide duquel il a pu observer les vaisseaux capillaires de sa propre rétine. Ces vaisseaux, en leur qualité de capillaires, ont des parois tout à fait transparentes, au travers desquelles on peut voir circuler les globules sanguins et les suivre pendant un certain temps et dans une certaine étendue.

¹ Dans ses expériences M. Lortet a constaté directement l'influence de la respiration, sur le cours du sang artériel, et par conséquent sur les contractions ventriculaires (Voyez plus haut). Il y avait accélération de vitesse pendant l'expiration, et ralentissement pendant l'inspiration. Ces deux effets n'influencent pas sur la vitesse générale du sang, attendu qu'ils se détruisent.

² Il est vrai qu'elle paraît être un peu plus rapide sur le chien que sur la grenouille; mais il faut remarquer que, pour placer le mésentère d'un animal sous le microscope, il faut lui faire subir une mutilation préalable et mettre brusquement au contact de l'air la membrane vasculaire. Il est possible que l'action de l'air s'exerce sur les *petites artères* et, mettant en jeu leur contractilité, modifie à un certain degré la circulation locale.

due de leur parcours ¹. Lorsqu'on fixe ainsi un globule du sang en particulier, on peut souvent le suivre pendant une course de 20 à 25 millimètres. Or, en mesurant la vitesse de ces globules à l'aide du tic tac d'un chronomètre, et en tenant compte du grossissement sous lequel ils apparaissent, M. Vierordt trouve comme moyenne d'un grand nombre d'observations 0^{mm},6 à 0^{mm},9 parcourus par seconde; c'est-à-dire un chiffre peu différent de celui que donne l'observation de la circulation capillaire chez les animaux ².

On comprend l'application que l'on peut faire de la comparaison des vitesses du sang prises d'une part à l'origine du système aortique, et, d'autre part, dans le système des capillaires, pour se faire une idée de la capacité relative de ces deux portions du système vasculaire. La masse du sang, qui, dans un temps donné, traverse l'ensemble des capillaires de la grande circulation, est équivalente à celle qui passe dans l'aorte dans le même temps. La vitesse du courant dans chacun de ces départements du système vasculaire sera, d'après les lois de la mécanique, en raison inverse de la grandeur de l'aire de chacun d'eux. Or, on connaît, d'une part, l'aire de l'aorte à son origine, ainsi que la vitesse du sang qui la parcourt; d'autre part, on connaît la vitesse du sang dans les capillaires: il est, dès lors, facile de dégager l'inconnue, c'est-à-dire la valeur de l'aire de tous les capillaires réunis. En faisant le calcul sur les bases précédentes, M. Vierordt estime, d'après ses expériences et ses mesures, que l'aire du système capillaire de la grande circulation est huit cents fois celle de l'aorte à son origine. M. Donders, prenant pour point de départ les expériences et les mesures de M. Volkmann, évalue l'aire totale du système capillaire de la grande circulation à cinq cents fois l'aire aortique ³.

¹ Le procédé mis en usage par M. Vierordt n'est que l'application d'une expérience déjà connue sous le nom de *image vasculaire* de Purkinje. Voici comment procède M. Vierordt. Il fixe pendant deux ou trois minutes le globe dépoli et vivement éclairé d'une lampe, ou bien un nuage blanc vivement éclairé par le soleil. Il exécute ensuite, au-devant des yeux, un mouvement rapide de va-et-vient à l'aide de sa main, dont les doigts sont légèrement écartés. D'abord l'observateur aperçoit un mouvement confus dans le champ de la vision; puis apparaissent de nombreux points clairs, tandis que le fond sur lequel ils se détachent s'obscurcit. Ces points se multiplient et se disposent suivant un ordre déterminé, le fond devient grisâtre, et sur ce fond se détachent nettement des traînées jaunâtres. La période de l'expérience la plus propre à l'observation est celle qui correspond au moment où les espaces intervasculaires deviennent médiocrement clairs, et où les globules du sang apparaissent comme de petits points légèrement jaunâtres. M. Vierordt a pu faire durer cette période de 2 à 4 minutes. Les parois des vaisseaux ne tombent pas sous la vue; on n'aperçoit que des traînées de globules.

² Cette vitesse de la circulation des vaisseaux de l'œil est celle des *vaisseaux capillaires* du plus petit calibre, où les globules circulent à la file. D'autres vaisseaux plus gros apparaissent aussi dans l'expérience, vaisseaux dans lesquels plusieurs globules circulent de front. Il est aisé de constater que la vitesse du cours du sang y est plus grande; elle peut être deux fois, quatre fois, cinq fois, etc., plus considérable.

³ Ces divers calculs ne sont évidemment qu'approximatifs; pour qu'ils fussent rigoureusement exacts, il faudrait que tous les capillaires fussent également éloignés du