

gauche, et en conjuguant ces trois ampoules cardiaques avec trois ampoules extérieures et par suite trois leviers, on obtient simultanément sur le cylindre enregistreur trois lignes ondulées, c'est-à-dire trois tracés, comme le montre la figure 71. Le tracé supérieur (Or. D) est celui des contractions de l'oreillette droite; le tracé moyen représente celles du ventricule droit (V. le soulèvement de la ligne en *m*). Enfin le tracé inférieur donne les contractions du ventricule gauche (soulèvement en *m'*).

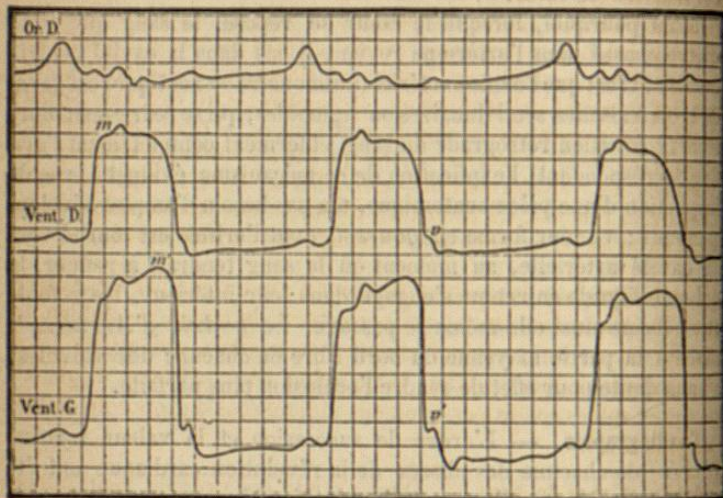


FIG. 71. — Rapports des mouvements intrinsèques du cœur entre eux. — Or. D, tracé de la contraction de l'oreillette droite; — Vent. D, tracé du ventricule droit (soulèvement en *m*); — Vent. G, tracé du ventricule gauche.

On voit, en lisant ces tracés de gauche à droite, que l'ordre de succession des systoles auriculaire et ventriculaire est bien tel que nous l'avons indiqué, et qu'il en est de même de leur durée relative. Si, en effet, on compte cette durée en ayant égard au nombre de divisions transversales qu'occupe la base de chaque soulèvement, on voit que le soulèvement de la systole auriculaire correspond à deux divisions, le soulèvement de la systole ventriculaire à cinq divisions et le repos total à trois divisions: le tout représente dix divisions, correspondant à toute la révolution cardiaque (V. le tableau, p. 221).

On aurait pu se demander si ces tracés recueillis sur le cheval étaient applicables à la physiologie du cœur humain. Parmi les nombreuses observations qui légitiment cette application, nous citerons seulement,

d'après F. Franck, un cas exceptionnellement favorable pour l'étude de la physiologie du cœur chez l'homme, car la région ventriculaire du cœur faisait tout entière saillie à l'épigastre et permettait, outre les constatations faites par la palpation et l'auscultation, l'application simultanée de plusieurs appareils explorateurs. Nous ne nous arrêtons ici que sur les résultats fournis par ce dernier mode d'investigation.

En explorant les deux pulsations des ventricules à l'aide de deux explorateurs à tambour, placés l'un à droite et en avant, l'autre à gauche et en arrière de la tumeur ventriculaire, on obtient un double tracé qui montre à la fois le synchronisme des deux ventricules et l'impulsion plus énergique du ventricule gauche. La pulsation de l'oreillette précède immédiatement la pulsation ventriculaire. Si l'on compare ces tracés recueillis sur l'homme à celui recueilli par Chauveau et Marey, sur le cheval, en explorant les pressions intracardiaques, on constate entre eux une parfaite identité. Au moment de la systole ventriculaire, le tracé de l'oreillette présente des soulèvements secondaires qui ont été attribués par Marey aux vibrations des valvules auriculo-ventriculaires. Dans le nouveau tracé obtenu chez l'homme, ces oscillations paraissent très atténuées, sans doute parce qu'on n'a pu explorer que l'extrémité de l'auricule droite †.

Les battements du cœur se révèlent à l'extérieur par des signes que nous allons analyser et qui permettent de compter combien de fois le cœur se contracte par minute; ce nombre, qui est de 70 à 75 en moyenne chez l'adulte, varie selon les conditions d'âge, et quelques autres conditions que nous indiquerons à propos du *pouls* (V. plus loin).

**Bruits et choc du cœur.** — Dans l'étude qui précède, nous avons employé indifféremment les mots de cœur droit ou gauche, d'artère aorte ou pulmonaire; c'est qu'en effet tout ce que l'on dit du cœur droit peut s'appliquer au cœur gauche, et il n'y a pas plus de valvules aux veines pulmonaires qu'aux veines caves.

Les phénomènes que nous venons d'étudier dans les deux cœurs se révèlent à l'extérieur par des *bruits particuliers* (*premier et deuxième bruit du cœur*) et par le *choc du cœur*; il y a donc un *choc et deux bruits* pour chaque révolution cardiaque.

**Choc du cœur.** — Le *choc du cœur*, qui est isochrone avec la *systole ventriculaire*, consiste en un ébranlement que l'on sent contre la paroi thoracique: en appliquant la main vers la sixième côte, en dedans du mamelon, il semble que le cœur est lancé à chaque contraction contre cette paroi comme un marteau sur une enclume. Mais en réalité il n'y a pas de choc dans le sens propre

† François Frank, *Ectopie congénitale du cœur: comparaison de l'examen graphique des mouvements du cœur et de la cardiographie chez les animaux* (Compt. rend. Acad. des sciences, 15 et 30 juillet 1877).

du mot, puisque la pointe du cœur touche en permanence la paroi thoracique, et qu'il n'y a jamais séparation entre ces deux parties; du reste, on ne saurait concevoir une semblable séparation, car pour remplir le vide qu'elle produirait, pour venir s'interposer entre le cœur et la cage thoracique, il n'y a rien, pas même le poumon, puisque, en général, il y a quatre pulsations du cœur pour un seul mouvement d'expansion du poumon. Il n'y a donc, à chaque prétendu choc, qu'un contact plus prononcé entre le cœur et le point correspondant de la paroi. Pour expliquer ce phénomène, on a invoqué un grand nombre de théories, dont la plus généralement admise est celle de Hiffelsheim, *théorie du recul* ou *choc en retour*. On compare le choc du cœur, au moment où le ventricule expulse son contenu, au recul d'un fusil au moment où le coup part. Mais de quelque côté qu'on touche le cœur, on sent ce choc, même quand on touche sa partie inférieure, à travers le diaphragme. Cette simple expérience réfute la théorie du recul qui ne peut s'exercer dans tous les sens. Elle renverse aussi l'explication basée sur un mouvement de redressement de la crosse de l'aorte, sous l'influence de l'ondée sanguine, d'autant plus que le choc du cœur existe même chez les animaux qui n'ont pas de crosse de l'aorte.

On se rend compte du *choc du cœur* en se rappelant les changements de forme et de consistance que le ventricule subit au moment de la systole : de l'état de relâchement il passe à celui de contraction; il presse avec force sur son contenu pour le faire pénétrer dans l'arbre artériel qui renferme déjà du sang sous une tension assez forte. Même lorsque la poitrine d'un animal est ouverte, et qu'on saisit son cœur à pleine main, on sent sur toute sa surface se produire ce changement de consistance qui coïncide avec la systole ventriculaire. On sent alors le *choc du cœur*, comme lorsque la main, placée vers la région cardiaque, ne le perçoit qu'à travers la paroi thoracique. Le *déplacement*, le *recul*, et même la *torsion* du cœur n'entre donc que pour peu de chose dans la production du choc; celui-ci est dû essentiellement au changement d'état du ventricule, qui de flasque et mou, se raidit dans sa totalité pour expulser son contenu.

Le *cardiographe* de Marey est destiné à transmettre à un levier enregistreur le *choc du cœur*. Cet appareil se compose d'une capsule en bois (fig. 72) dont les bords s'appliquent hermétiquement à la peau de la région précordiale (du fond de la capsule, s'élève un ressort muni à son extrémité libre d'une plaque d'ivoire qui déprime la région où se produit le choc du cœur); les mouvements communiqués à l'air de la capsule par les pulsations de la région précordiale se transmettent par un tube à un levier inscripteur. On obtient ainsi des tracés analogues à celui de la figure 73

et dont il sera facile de reconnaître les divers éléments en les comparant à ceux de la figure 71.

Les expériences sur les animaux montrent que les variations de pression pendant la systole présentent un type différent dans le ventricule droit qui donne, dès le début de la systole, le maximum de son effort, et dans le ventricule gauche, où la pression continue à s'élever jusqu'à la fin de la

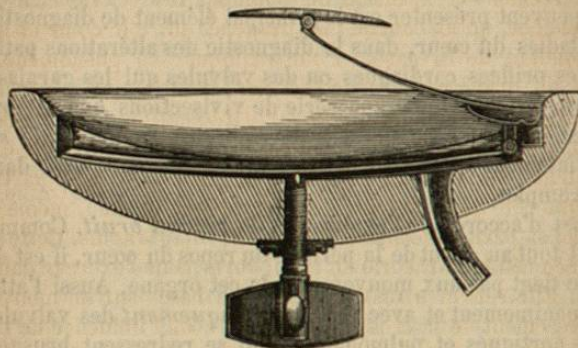


FIG. 72. — Cardiographe de Marey.

phase systolique. Ces mêmes différences se retrouvent chez l'homme quand on explore la pulsation du cœur, car, en appliquant l'appareil explorateur dans le quatrième espace intercostal et au-dessous du mamelon, on a un tracé qui offre les caractères de la pression du cœur droit, tandis qu'en plaçant l'explorateur plus en dehors et en faisant coucher le sujet sur le



FIG. 73. — Graphique des mouvements du cœur chez l'homme (Marey).

côté gauche, on a le tracé du ventricule gauche. On constate alors, ce qui devient un précieux moyen de contrôle pour bien distinguer la place où bat l'un ou l'autre ventricule, on constate que le cœur droit et le cœur gauche ne se comportent pas de la même manière pendant un arrêt de la respiration. Pendant cet arrêt, une stase se produisant dans le poumon et le cœur droit se vidant moins facilement, on voit sa pulsation diminuer d'amplitude, et présenter de moins en moins ces chutes de pression qui traduisent sa vacuité. Au contraire, le cœur gauche, pendant l'arrêt res-

piratoire, donne des pulsations dont l'amplitude présente un léger accroissement<sup>1</sup>.

**Bruits du cœur.** — En auscultant le cœur, on entend pendant une de ses contractions deux bruits qui se succèdent à de courts intervalles. L'étude de ces bruits est de première importance en médecine, puisque la constatation des modifications ou altérations qu'ils peuvent présenter est le principal élément de diagnostic dans les maladies du cœur, dans le diagnostic des altérations pathologiques des orifices cardiaques ou des valvules qui les garnissent. Il est démontré par toute une série de vivisections que le *premier bruit* se produit pendant la systole du ventricule, et le *second* immédiatement après cette systole, quand le cœur entre dans son repos complet.

On est d'accord sur l'explication du *second bruit*. Comme il se produit tout au début de la période du repos du cœur, il est évident qu'il ne tient pas aux mouvements de cet organe. Aussi l'attribue-t-on unanimement et avec raison au *claquement* des valvules sigmoïdes aortiques et pulmonaires, qui se redressent brusquement sous l'influence de l'ondée de reflux qu'elles arrêtent. Aussi ce bruit est-il court et sec. (Théorie de Rouanet.)

Quant au *premier bruit*, *synchrone avec la systole ventriculaire*, avec le choc du cœur (et aussi avec le *pouls* périphérique, voir ci-après), on admet généralement qu'il est dû au jeu des valvules auriculo-ventriculaires; mais si ces replis membraneux fonctionnent en vraies valvules, ils doivent se redresser brusquement, et comme, d'autre part, le premier bruit présente une certaine durée à peu près égale à celle de la contraction du ventricule, on ne peut expliquer son intensité et sa durée qu'en invoquant encore comme source de ce bruit un bruit de contraction musculaire produit par les parois du ventricule. Si, au contraire, nous nous rappelons la manière dont nous avons conçu le fonctionnement des appareils auriculo-ventriculaires, l'explication de ce bruit devient toute simple. Il est une manifestation sonore du fonctionnement des voiles membraneuses auriculo-ventriculaires, tendues et tirillées par les muscles papillaires et leurs tendons aussi longtemps que dure la systole ventriculaire. En effet, nous trouvons là toutes les conditions de tensions saccadées, longues et énergiques, capables de faire naître ce bruit. On admet donc généralement que le premier bruit est dû en partie au claquement (à la tension) des valvules

<sup>1</sup> Caractères distinctifs de la pulsation du cœur, suivant qu'on explore le ventricule droit ou le ventricule gauche. Note de M. Marey (Compt. rend. Acad. des sciences, 23 août 1880).

auriculo-ventriculaires, et en partie au bruit musculaire propre du cœur (paroi ventriculaire et ses muscles papillaires<sup>1</sup>).

Pour résumer en un tableau la durée relative des systoles et diastoles auriculaires et ventriculaires, et leur *synchronisme* avec le choc et les bruits du cœur, nous pouvons, étant donné une ligne divisée en dix parties égales, qui représentera la durée d'une révolution cardiaque, inscrire ainsi qu'il suit le temps de chacun de ces mouvements et des bruits correspondants.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
— OREILLETTE.	Systole				Diastole ou repos					
— VENTRICULE.	Repos				Systole			Repos		
— BRUITS.	Silence				1 <sup>er</sup> Bruit			2 <sup>e</sup> Bruit		
— CHOC.					Choc					

On voit que ce tableau, pour ce qui est de la succession et de la durée relative de chaque période de la révolution cardiaque, exprime les mêmes résultats que les tracés de la figure 71 (p. 216); par une comparaison attentive, ce tableau et cette figure se servent naturellement d'explication.

## II. — DES ORGANES PÉRIPHÉRIQUES DE LA CIRCULATION

**A. Dispositions mécaniques de ces organes.** — Nous avons vu que du ventricule partait une artère qui va se ramifiant de plus en plus. Au point de vue mécanique ou hydrostatique, on peut faire abstraction de la forme ramifiée de l'arbre artériel (fig. 74, A), c'est-à-dire que, juxtaposant tous les troncs artériels (B), on peut faire abstraction de toutes les cloisons résultant de l'accolement des vaisseaux (C). Or, comme il est prouvé, tout au moins pour les branches périphériques, terminales, des artères, que, quand un tronc vasculaire se divise, la somme des lumières des deux branches est toujours plus forte que la lumière du tronc primitif, en sorte que la capacité du système augmente à mesure qu'on s'éloigne du tronc aortique, en faisant l'opération schématique précédente,

<sup>1</sup> Dans des recherches récentes Krehl a cherché à faire la part de ces deux facteurs, en auscultant directement le cœur du chien tout en le soumettant à des manipulations (introduction d'un écarteur des valvules), permettant d'exclure à volonté le jeu des valvules, et il est arrivé à cette conclusion que le premier bruit est presque exclusivement d'origine musculaire. Ces expériences n'ont pas grande signification à notre avis, car elles ont été faites avec la pensée que les valvules auriculo-ventriculaires fonctionnent en se redressant vers l'oreillette.

on obtiendra en somme une *figure conique pour le système artériel* (fig. 74, C). Ce cône sera évasé en pavillon, et cet évasement sera assez considérable vers les extrémités artérielles (base du cône), car l'élargissement du lit dans lequel circule le sang est très rapide à mesure qu'on approche des capillaires (fig. 75). Les mêmes principes étant appliqués au système veineux, *celui-ci pourra être figuré théoriquement par un cône opposé par sa base au cône aortique*; la base commune représentera le système capillaire: ce sera un très court cylindre compris entre deux cônes<sup>1</sup> (fig. 75).

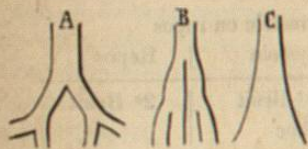


FIG. 74. — Schéma d'un cône vasculaire\*.

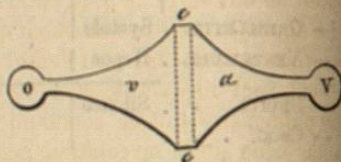


FIG. 75. — Schéma de l'évasement du cône artériel et du cône veineux, avec interposition des capillaires\*\*.

Pour ce qui est de leurs rapports avec le cœur, nous savons déjà qu'au sommet du cône artériel se trouve un réservoir musculéux, le ventricule gauche, au sommet du cône veineux un réservoir analogue, l'oreille droite. Cet ensemble constitue le système de la circulation générale, *la grande circulation*. A côté de ce double cône représentant la circulation générale, s'en place un autre représentant la circulation pulmonaire; comme pour le premier système,

<sup>1</sup> Berryer-Fontaine (thèse de Paris, 1835) a fait observer que, dans la comparaison du calibre d'une artère et du calibre total de ses branches de division, les physiologistes, comparant entre eux les diamètres et non les carrés des diamètres, avaient été induits en erreur et avaient à tort posé comme règle générale que la somme des lumières des deux branches est supérieure à la lumière du tronc primitif. Aussi pour Berryer-Fontaine, le système artériel resterait sensiblement cylindrique dans toute son étendue. Cette remarque est juste pour l'aorte et les grosses artères des membres; mais vers leurs divisions terminales les artères et artérioles représentent, selon le schéma classique, un cône dont le sommet est vers le cœur et la base vers les capillaires: les cônes schématiques que nous figurons ici sont sans doute trop courts; leur sommet devrait se prolonger en cylindre comme le représenteraient plus exactement les figures 67 et 68 (p. 208 et 210).

\* Construction d'un cône vasculaire, d'un cône artériel, par exemple: A, artère se bifurquant successivement; — en B, on suppose les branches de bifurcation rapprochées et juxtaposées; il en résulte une seule cavité cloisonnée; — en C, par la suppression de ces cloisons, on voit que l'ensemble du tronc primitif et de ses branches de division constitue un cône.

\*\* V, ventricule; — O, oreillette; — a, cône artériel; — v, cône veineux; — c, c, capillaires.

les deux extrémités du double cône aboutissent chacune à un réservoir musculéux: le ventricule droit d'une part, et l'oreillette gauche, de l'autre.

En donnant à ces deux systèmes de cônes la forme courbe, de façon à pouvoir ramener leurs différents sommets au même point central, au cœur, tel qu'il est en réalité disposé, on pourra représenter graphiquement l'ensemble du système circulatoire sous la figure de deux cercles incomplets, se touchant par les deux extrémités où chacun d'eux est ouvert, de façon à former par leur opposition une sorte de 8 de chiffre (fig. 76).

La figure 76 montre nettement que les quatre réservoirs musculéux, dont l'ensemble constitue le cœur, sont disposés de manière que le double cône pulmonaire soit en communication avec le double cône de la circulation générale. A cet effet, dans le ventricule gauche, commencement du système de la circulation générale, s'ouvre l'oreillette gauche, aboutissant du système veineux pulmonaire: tel est le cœur gauche. D'autre part, dans le ventricule droit, point de départ du cône artériel pulmonaire, s'ouvre l'oreillette droite, aboutissant du système veineux général: tel est le cœur droit.

Connaissant le mécanisme du cœur, nous pouvons, avec ce simple schéma des organes périphériques, nous rendre un compte exact de la circulation et apprécier les deux conditions essentielles du sang en mouvement, c'est-à-dire sa *pression* et sa *vitesse* dans les divers points de l'appareil circulatoire.

**Pression du sang.** — Le ventricule lance à chaque contraction 175 à 180 grammes de sang dans le système du cône artériel, ce qui a pour effet d'y maintenir une pression qui s'élève à  $1/4$  ou  $1/5$  d'atmosphère (environ 180 à 190 millimètres de mercure; exactement: 200, chez le chien, 100 chez le lapin; 30, chez la grenouille.) Au contraire, l'oreillette, placée au sommet du cône veineux, a



FIG. 76. — Schéma de la grande et de la petite circulation\*.

\* A, GRANDE CIRCULATION. — V, Ventricule gauche; — a, aorte et son cône artériel; — c, c, capillaires généraux du corps; — v, veines allant former les veines-caves (cône veineux); — O, oreillette droite.

B, PETITE CIRCULATION. — V, Ventricule droit; — v', artère pulmonaire et ses divisions (cône artériel de la petite circulation); — c', c', capillaires pulmonaires; — a', veines pulmonaires (cône veineux de la petite circulation); — O', oreillette gauche; — toute la partie ombrée de la figure représente la partie du système vasculaire remplie par du sang veineux, du sang noir.

pour effet, par son relâchement, de diminuer la pression, de la rendre nulle à l'extrémité de ce cône, puisque nous avons déjà comparé son action à celle d'une saignée. Il en résulte donc une diminution graduelle de pression dans l'intérieur de l'appareil hydrostatique formé par les deux cônes, diminution de pression qui fait circuler le sang depuis le ventricule gauche jusque dans l'oreillette droite; en d'autres termes, le défaut d'équilibre fait naître un courant du côté de la pression la plus faible.

La *pression* du sang dans un point quelconque de l'appareil circulatoire est donc en raison de la distance (mesurée sur le trajet vasculaire) à laquelle ce point est placé du sommet ventriculaire et du sommet auriculaire du double cône circulatoire. Au niveau du sommet ventriculaire, c'est-à-dire dans l'aorte, la pression est à son maximum ( $1/4$  ou  $25/100$  d'atmosphère; soit 180 millimètres de mercure); au sommet auriculaire, c'est-à-dire dans les veines caves, elle peut être regardée comme à peu près égale à 0 (ou  $1/100$  d'atmosphère). Dans les capillaires placés à une distance moyenne de ces deux extrémités, elle sera donc de  $12/100$  (soit 90 millimètres de mercure). Dans un point quelconque des artères elle sera représentée par un nombre intermédiaire entre  $25/100$  et  $12/100$ , selon la position du point considéré; de même dans un point du cône veineux, par un nombre semblablement intermédiaire entre  $12/100$  et  $1/100$ . Aussi quand on ouvre un point quelconque du système artériel, et surtout près de son origine, on a un jet de sang qui s'élève très haut (jusqu'à 2 mètres), tandis que d'une ouverture faite sur les veines, le sang sort en bavant, à moins qu'on ne change artificiellement les conditions de pression, comme, par exemple, en plaçant une ligature sur les veines (comme lorsqu'on comprime les veines pour pratiquer la saignée du bras).

Ces différences dans la pression latérale qu'exerce le sang contre les parois le long desquelles il passe peuvent être directement mesurées en faisant communiquer différents points du système circulatoire avec des appareils manométriques, qui pour ce cas spécial prennent le nom d'*hémodynamomètres*. Le premier hémodynamomètre, employé par Hales, dès 1733<sup>1</sup> consistait en un long tube que ce physiologiste introduisait dans un vaisseau et où le sang s'élevait à une hauteur proportionnelle à sa pression (en général  $2^m,50$ ). Aujourd'hui cet appareil a été perfectionné et on se sert d'un manomètre à mercure dans lequel, pour éviter la coagulation du sang, on sépare ce liquide du mercure par une couche d'eau

<sup>1</sup> Hales, physicien et naturaliste anglais (1677-1761), qui s'est occupé de la circulation des sucs dans les végétaux plus encore que de celle du sang des animaux.

alcaline (solution de carbonate de soude) capable de retarder la solidification de la fibrine (fig. 77).

C'est ainsi qu'on a trouvé pour les grosses artères une pression de  $1/4$  d'atmosphère (180 à 200 millimètres de mercure dans la carotide du chien); pour les artères plus éloignées du cœur, comme l'humérale,  $1/6$  (110 à 120 millimètres de mercure dans la brachiale de l'homme), et ainsi de suite. Dans les veines, on trouve, au contraire, des pressions très faibles, comme le font prévoir nos considérations schématiques. Ces vaisseaux, artères et veines, ont des parois assez résistantes pour supporter des pressions bien supérieures à celles qu'elles supportent normalement. Ainsi, d'après les expériences de Gréhan et Quinquaud<sup>4</sup>, il faut, pour rompre la carotide du chien, des pressions de 35 à 55 fois plus grandes que la pression exercée normalement par le sang dans ce vaisseau. La veine jugulaire ne se rompt que sous des pressions de 6 à 9 atmosphères.

On n'a pu mesurer directement la pression dans les capillaires; nous savons par le raisonnement qu'elle doit être de  $12/100$  d'atmosphère. Cependant le sang ne sort pas par jet dans les hémorragies capillaires; c'est qu'ici la marche du sang est très retardée par les frottements considérables que ce liquide éprouve contre les parois de petits tubes; en effet, si l'on examine au microscope la

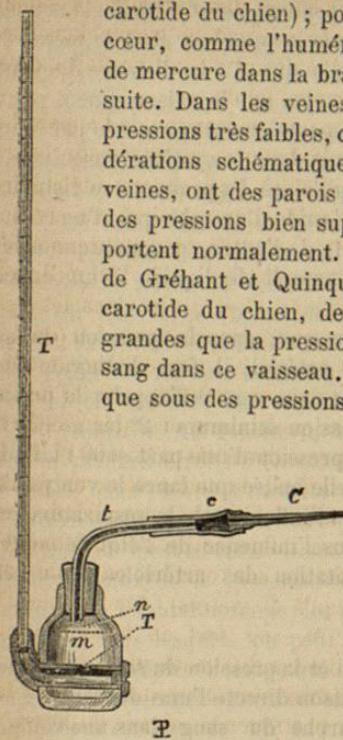


FIG. 77. — Hémodynamomètre (ou cardiomètre)\*.

circulation dans les capillaires, on voit que toute la partie périphérique du liquide en mouvement adhère à la paroi et se meut très peu

<sup>4</sup> Gréhan et Quinquaud, *Mesure de la pression nécessaire pour déterminer la rupture des vaisseaux sanguins* (Acad. des sc., 2 mars 1885).

\* Cet instrument se compose d'un flacon en verre épais et solide. En T, se trouve un tube avec une ouverture; — l'autre extrémité du tube sort du flacon et se courbe en haut de manière à recevoir en n' un tube en verre (T) gradué; — le fond du flacon et le commencement du tube gradué sont remplis de mercure. Par sa partie supérieure, le flacon est fermé par un bouchon contenant un tube t, qui se continue avec un tube en métal c, destiné à entrer dans le vaisseau dans lequel on veut mesurer la pression.

Quand l'instrument est en action, toute la portion supérieure de l'appareil Cct, est

M. DUVAL, Physiol.

(*couche inerte*), et que la colonne centrale seule se meut, entraînant avec elle les éléments globulaires du sang et surtout les globules rouges (fig. 78).

Ces notions si simples sur la distribution des pressions dans le système circulatoire ont été cependant assez difficiles à acquérir. Poiseuille pensa tout d'abord que la pression était la même dans tout l'appareil circulatoire, quelle que fût la distance du ventricule au point considéré; cette erreur, que le raisonnement pouvait déjà faire relever, a été expérimentalement renversée par Marey,



FIG. 78. — Vaisseau capillaire de la membrane nata-toire d'une grenouille\*.

qui a montré que dans le système vasculaire, du cœur vers les capillaires, les pressions se distribuent comme dans le liquide d'un tube qui, d'un côté, est librement ouvert, de l'autre, communique avec le fond d'un vase rempli de liquide à une certaine pression.

Notons encore que, dans la pression du sang dans le système artériel, il faut distinguer deux choses: 1° ce que nous venons d'appeler la pression générale, la pression minimum: 2° les oscillations que subit cette pression d'une part sous l'influence de chaque nouvelle ondée que lance le ventricule et d'autre part sous l'influence de la respiration (voy. plus loin) et sous l'influence de l'état de contraction ou de dilatation des artéριοles (ci-après: *vaso-moteurs*).

**Vitesse du sang.** — La vitesse et la pression du sang en un point donné ne sont nullement en raison directe l'une de l'autre: nous avons vu qu'en arrêtant la marche du sang dans une veine, on augmente la pression et on diminue singulièrement la vitesse, puisqu'on peut aller jusqu'à arrêter complètement le cours du sang dans le vaisseau. D'une manière générale, et sans qu'il soit besoin d'expliquer ces lois autrement que par leur énoncé, on peut dire

remplie d'une solution de carbonate de soude pour empêcher la coagulation du sang. La pression exercée par le sang sur la surface du mercure se communique par l'ouverture T au mercure du tube gradué, et l'on mesure ainsi la tension du sang.

Cet appareil (cardiomètre de Magendie) a sur les manomètres employés ordinairement (appareils de Poiseuille, de Ludwig), l'avantage de traduire exactement les pulsations cardiaques, parce que, le mercure y remplissant un flacon relativement large, et non un simple tube en U, il n'y a pas, à chaque changement de pression, un déplacement en totalité de toute la masse du mercure, ni, par suite les frottements considérables qui produisent la perte d'une grande partie de la force que l'on veut apprécier.

\* r, Courant central des globules rouges; — l, l, l, couche périphérique du courant sanguin où se meuvent plus lentement les globules blancs (Grossiss., 2:0 diamètres)

que la pression augmente avec la vitesse, quand l'augmentation de pression vient du cœur (augmentation de la vitesse et de la force des systoles cardiaques); et que, par contre, si l'augmentation de pression est due à un obstacle périphérique (constriction et arrêt dans les vaisseaux), la vitesse diminue quand la pression augmente. Si la pression en un point donné dépend de la distance à laquelle ce point est situé des deux extrémités du double cône circulatoire, la vitesse, au contraire, dans les conditions normales, dépend de la largeur, de la forme de la portion des cônes circulatoires à laquelle appartient ce point. En d'autres termes, et cela est facile à concevoir, le mouvement du sang est d'autant plus rapide que la portion du canal considérée présente une moindre lumière. Il est bien évident que nous parlons toujours de l'ensemble des canaux réunis sous la forme de double cône. Ainsi là où l'appareil circulatoire est très large (bases des cônes, région des capillaires), le sang doit circuler lentement; absolument de même que le courant d'une rivière se ralentit beaucoup là où cette rivière s'élargit, par exemple, en un lac; les capillaires forment donc le lac du torrent sanguin. Au contraire, la vitesse doit avoir son maximum vers les orifices étroits d'écoulement, c'est-à-dire vers le sommet des cônes, dans l'aorte et dans les veines caves.

Ces déductions ont été vérifiées par l'expérience directe. Pour les capillaires, on mesure cette vitesse par l'examen microscopique des petits vaisseaux de la grenouille, par exemple, ou bien encore en examinant à l'ophtalmoscope les capillaires rétiens de l'homme, capillaires dans lesquels on peut parfaitement suivre les globules sanguins et apprécier le temps qui leur est nécessaire pour parcourir une distance déterminée; on s'est ainsi assuré que la vitesse dans les capillaires n'est que de 1/2 à 1 millimètre par seconde; 0,75 de millimètre dans les capillaires de la rétine de l'homme; 0,57 de millimètre dans les capillaires de la queue du têtard. Cette vitesse est très peu considérable par rapport à celle que nous constaterons dans les gros vaisseaux; c'est qu'ici il faut tenir compte non seulement de ce fait que le système capillaire, pris dans son ensemble, représente le lac du torrent sanguin, mais encore de ce que ce lac est subdivisé en une masse de réseaux très fins, où le frottement fait perdre au liquide une grande partie de sa force d'impulsion; l'influence de ce frottement, de cette adhérence aux parois capillaires, est mise dans toute son évidence par les recherches de Poiseuille sur l'écoulement des liquides à travers les tubes de petit diamètre; elles se résument par les deux lois suivantes: les quantités écoulées sont entre elles comme la quatrième puissance des diamètres; elles sont en raison inverse de la longueur des

tubes. Or, les vaisseaux capillaires, vu leur disposition en réseau, représentent des tubes très étroits et très longs, et réunissent, par suite, toutes les conditions nécessaires pour retarder le cours du sang et prolonger son contact avec les tissus.

Pour évaluer la vitesse du sang dans les gros vaisseaux, on a recours à des appareils particuliers : par exemple, on substitue à une certaine longueur d'une artère de fort calibre un tube de verre rempli d'un liquide alcalin, et on détermine le temps qu'il faut au sang pour chasser du tube le liquide en question et, par suite, parcourir la longueur connue de ce canal artificiel. Cet appareil constitue l'hémodynamomètre (de Volkmann) (fig. 79); il se compose d'un tube de verre (A), recourbé en fer à cheval, garni à cha-

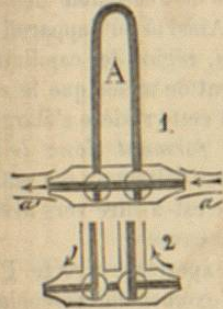


Fig. 79. — Hémodynamomètre de Volkmann.

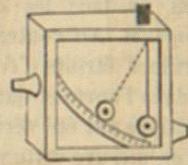


Fig. 80. — Hémotachomètre de Vierordt.

cune de ses extrémités d'un ajutage métallique muni d'un robinet et communiquant avec un tube métallique droit que l'on enchâsse dans les deux bouts de l'artère (*a, a'*). Le tube étant rempli de la liqueur alcaline et toute communication supprimée avec l'artère (fig. 79, n° 1), grâce au jeu des robinets (à trois voies), de telle sorte que le sang suive le canal métallique, on tourne subitement les deux robinets, de telle sorte que le sang se trouve forcé de se dévier pour s'engager dans le tube de verre (fig. 79, n° 2), qu'il parcourt, en chassant devant lui la colonne de liquide incolore, pour gagner l'autre bout de l'artère. Un appareil tout aussi ingénieux, nommé hémotachomètre (de Vierordt), consiste en une petite boîte transparente (fig. 80) que l'on substitue à une partie d'artère; dans cette boîte flotte un pendule que le courant dévie d'autant plus qu'il est plus rapide; on peut, d'après le degré de la déviation, calculer la vitesse du sang. On a reconnu par ces expériences que la vitesse du sang dans la carotide est, chez les grands mammifères, de 25 à 33 centimètres par seconde, et de 0<sup>m</sup>,44 dans l'aorte (en moyenne de

0<sup>m</sup>,50 à l'origine de l'aorte); elle est donc dans ce dernier vaisseau

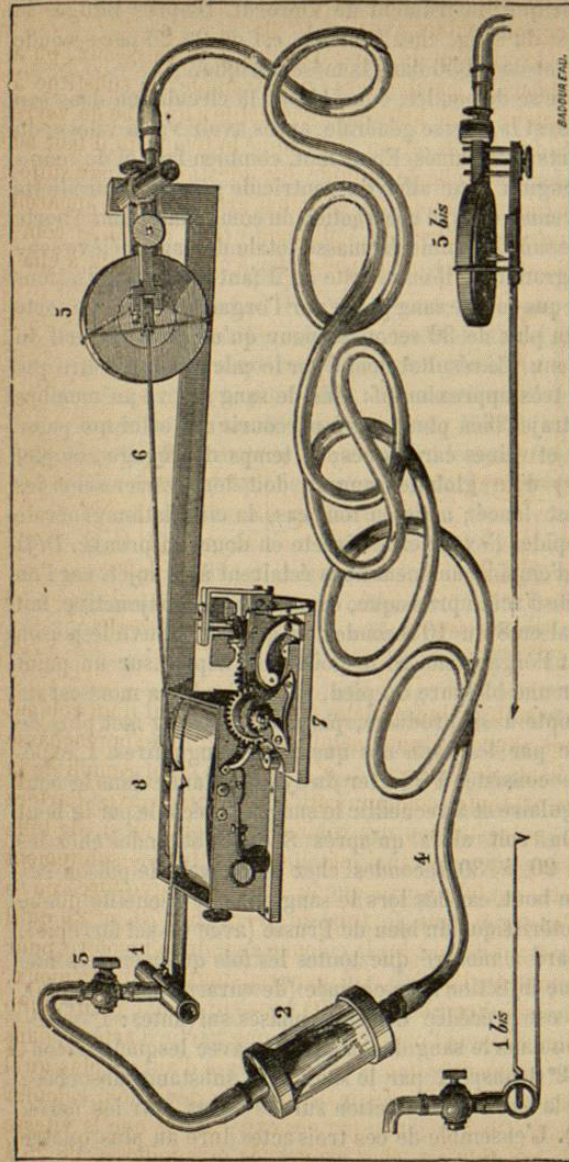


Fig. 81. — Hémodynamomètre de Chauveau: — 1, tube de métal qui doit être traversé par le courant artériel; — 1 bis, détail de l'appareil hémodynamométrique; — 2, sphéromètre de Marrey, permettant de recueillir le tracé de la pulsation en même temps que celui de la vitesse; — 3, robinet destiné à permettre ou à empêcher l'abord du sang dans le sphéromètre; — 4, tube de caoutchouc chargé de transmettre la pulsation à l'appareil enregistreur; — 5, petit tambour sur lequel s'appuie le levier, 6, qui amplifie et inscrit les pulsations; — 6 bis, détails du tambour et du levier; — 7, appareil enregistreur composé d'un mouvement d'horlogerie et d'une bande de papier 8 qui se déroule au-dessous des deux leviers de vitesse et de pulsation, et sur laquelle s'inscrivent simultanément les deux tracés. — 1/2 grandeur (d'après Lortet, *Annales des sciences naturelles*).

400 fois plus considérable que dans les capillaires. Des résultats

semblables ont été obtenus avec l'hémodynamomètre de Chauveau et l'hémodynamographe de Lortet (fig. 81), qui sont construits sur le même principe que l'instrument de Vierordt. D'après Budge, la vitesse du cours du sang, chez le chien, est de 0<sup>m</sup>,26 par seconde dans la carotide, et de 0,056 dans la mésentérique.

On peut encore se demander, considérant la circulation dans son ensemble, quelle est la vitesse générale, après avoir vu la vitesse du sang en des points déterminés. En un mot, combien faut-il de temps à un globule sanguin pour aller du ventricule gauche à l'oreillette droite? En moyenne, chaque contraction du cœur lance dans l'aorte 180 grammes de sang. Comme la masse totale du sang s'élève seulement à 5 kilogrammes, il en résulte qu'il faut 25 à 33 pulsations cardiaques pour que tout le sang passe par l'organe central, de sorte qu'il faut un peu plus de 30 secondes pour qu'un globule parti du cœur y soit revenu. Ce résultat donné par le calcul ne peut être que très général et très approximatif: ainsi le sang qui va au membre inférieur a un trajet bien plus long à parcourir que celui qui passe dans les artères et veines cardiaques; le temps du voyage complet (aller et retour) d'un globule sanguin doit donc varier selon les régions où il est lancé; mais en tout cas, la circulation générale doit être très rapide, l'expérience directe en donne la preuve. Déjà les phénomènes d'empoisonnement nous éclairent à ce sujet, car l'on sait qu'une goutte d'acide prussique, déposée sur la conjonctive, fait périr un animal en 8 ou 10 secondes, et que l'on trouve le poison diffusé dans tout l'organisme. Si le poison est déposé sur un point plus éloigné, sur une blessure du pied, par exemple, la mort est un peu moins prompte à se produire, parce que le sang met plus de temps à revenir par les saphènes que par les jugulaires. L'expérience classique consiste à injecter du cyanure jaune dans le bout central de la jugulaire et à recueillir le sang qui s'écoule par le bout périphérique. On voit alors qu'après 8 ou 15 secondes chez les petits animaux, 20 à 30 secondes chez le cheval, le poison revient déjà par ce bout, car dès lors le sang qu'on y recueille donne la réaction caractéristique du bleu de Prusse (avec un sel ferrique). Enfin Cl. Bernard a montré que toutes les fois qu'on empoisonne un animal par une injection sous-cutanée (de curare, par exemple), l'action toxique est précédée des trois phases suivantes: 1° pénétration du poison dans le sang des capillaires avec lesquels le contact est établi; 2° transport par le sang de la substance absorbée; 3° exsudation de la substance et action sur les tissus (sur les nerfs, pour le curare<sup>1</sup>). L'ensemble de ces trois actes dure au plus quatre

<sup>1</sup> Claude Bernard, *Physiologie opératoire*, Paris, 1879.

minutes, dont sept secondes sont employées au transport par lequel la substance entraînée dans le torrent circulatoire fait le tour complet des deux cercles de la grande et de la petite circulation.

*Dispositions particulières du système circulatoire dans quelques organes.* — Telles sont les conditions générales de la circulation, de ses pressions, de ses vitesses en différents points. Mais le système des cônes que nous avons considérés jusqu'ici n'est pas partout aussi simple, et l'on rencontre dans diverses portions de l'appareil circulatoire des dispositions et des conditions purement physiques et mécaniques qui modifient la rapidité du cours du sang. Parfois un système capillaire particulier se trouve placé sur un point du cône artériel ou du cône veineux qu'il interrompt. C'est ce que l'on observe dans les vaisseaux artériels du rein, au niveau des *pelotons vasculaires* qui constituent les *glomérules de Malpighi*. Là cette disposition a pour effet, en ralentissant le cours du sang, d'augmenter la surface de transsudation. Un fait analogue se présente dans le système de la veine porte: le sang fourni par le tronc cœliaque et mésentérique aux organes de la digestion est ramené par un grand nombre de veines dans un tronc commun, la *veine porte*. Mais celle-ci, au lieu d'aller se jeter immédiatement dans la veine cave, se ramifie d'abord dans le foie, à la manière d'une artère, en formant les vaisseaux afférents du foie, les capillaires hépatiques, et enfin les vaisseaux efférents ou veines sus-hépatiques, qui vont se jeter dans la veine cave. Tout ce système peut être théoriquement représenté par un cône (fig. 82) partant du tronc aortique (a) et figurant les artères intestinales et leurs capillaires (C'C'); à ce cône artériel succède un cône veineux représentant les origines et le tronc de la veine porte (SP); mais ce deuxième cône se continue avec un troisième disposé comme un cône artériel (où la circulation se fait du sommet vers la base) et figurant les ramifications de la veine porte dans le foie (CC). Par sa base (capillaire hépatiques), ce cône s'adosse à un quatrième cône représentant les veines sus-hépatiques. Ainsi, dans ce trajet, le sang parcourt un système de cônes double du système général et subit à chaque double base (chaque réseau capillaire C'C' et CC) les ralentissements que nous avons étudiés. Dans quelque région que ces dispositions se produisent, on donne toujours le nom de *vaisseau porte* ou de *système porte* à toute partie de l'appareil circulatoire dans laquelle le sang marche des capillaires d'un organe vers les capillaires d'un autre organe.

De plus les systèmes capillaires, interposés aux séries de cônes de l'appareil de la veine porte intestinale, par exemple, ne sup-



portent pas les mêmes pressions que les capillaires ordinaires. Aucun de ces systèmes n'étant à égale distance du ventricule gauche et de l'oreillette droite, ne peut avoir une pression moyenne entre 1/100 et 25/100 d'atmosphère. La pression sera plus faible dans les capillaires hépatiques (fig. 82, 2, en C, C) puisqu'ils sont plus rapprochés de l'oreillette; plus forte dans les capillaires intestinaux, puisqu'ils sont plus rapprochés du ventricule gauche (C' C', et V); cette dernière condition est très peu favorable, comme nous le verrons, à la théorie de l'absorption intestinale par simple endosmose. Nous verrons aussi que les systèmes capillaires du rein donnent lieu à des considérations semblables.

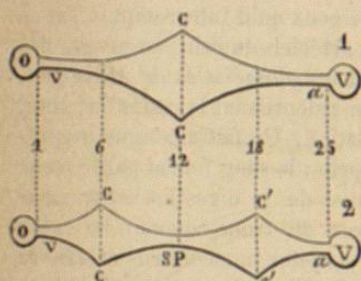


FIG. 82. — Schéma des doubles cônes d'un système porte\*.

**1° Artères.** — L'anatomie nous enseigne que les artères se composent de trois tuniques (fig. 83); de ces trois membranes, celle qui intéresse le plus le physiologiste, c'est la tunique moyenne; elle contient deux éléments essentiels : du *tissu élastique* et du *muscle* (muscle lisse, cellules contractiles). Le premier de ces éléments, le tissu élastique, domine presque seul au sommet du cône artériel, et l'aorte est presque uniquement formée de membranes jaunes élastiques; c'est pourquoi on donne à ces grosses artères (aorte, carotide) le nom d'*artères à type élastique*. Par contre, c'est l'élément musculaire qui est largement prédominant à la base du cône, c'est-à-dire dans les parois des petites artères et des artérioles qui précèdent les capillaires, et c'est pourquoi on donne à ces vaisseaux le nom d'*artères à type musculaire*. Dans les parties

\* La superposition des deux schémas montre que les pressions ne sont pas les mêmes dans les capillaires d'un système porte et dans ceux de la circulation générale.

1. *Circulation générale.* — V, Ventricule; — O, oreillette; — a, artères; — v, veines; — C, capillaires (pression=12).

2. *Un système porte.* — V, Ventricule; — O, oreillette; — a, artères; — C, C', premier système de capillaires (pression=18); — SP, tronc porte; — C, C, deuxième système de capillaires (pression=6); — v, veine.

**B. Propriétés et fonctions des vaisseaux.** — Les conditions générales de la circulation du sang, de ses pressions et de ses vitesses, conditions résultant uniquement de la *disposition mécanique* des canaux sanguins, peuvent être modifiées et compliquées par les *propriétés physiologiques* des parois des vaisseaux, artères, capillaires, veines.

intermédiaires, les tissus élastique et musculaire se partagent la composition de la tunique moyenne proportionnellement à la distance à laquelle le point considéré se trouve de la base et du sommet du cône, de sorte qu'une diagonale qui, sur un schéma, partage obliquement l'épaisseur des parois du cône artériel, représente parfaitement la richesse comparée des divers points des parois artérielles en tissu élastique et musculaire (fig. 84).

Les artères sont donc, les unes très élastiques, les autres très contractiles. Grâce à ces propriétés, elles ne se comportent pas comme des tubes inertes; elles conduisent le sang, mais en modi-

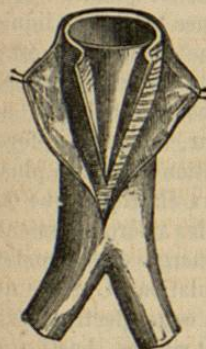


FIG. 83. — Artère avec ses trois tuniques disséquées.

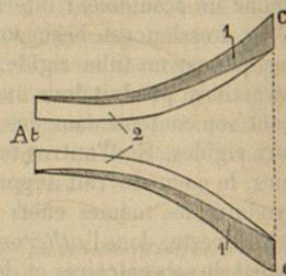


FIG. 84. — Cône artériel : composition des parois artérielles\*.

fiant les conditions premières (d'origine cardiaque) de sa circulation, et par le fait de leur élasticité et par le fait de leur contractilité.

Grâce à leur *élasticité*, les artères transforment la circulation et changent le jet intermittent du cœur en un jet presque continu. Dans les artères considérables et voisines du cœur, le jet est encore intermittent; mais à mesure qu'on s'avance dans l'arbre artériel, on le voit devenir presque continu. En effet, déduisant du débit de l'artère carotide celui de l'origine de l'aorte, on a pu calculer que chaque onnée sanguine est d'environ 180 grammes de sang. Cette quantité est énorme et il doit en résulter une forte dilatation de l'aorte élastique; aussitôt ses parois réagissent à leur tour sur le sang, le chassent vers le cône artériel, où, par une série de dilatations et de retours successifs de moins en moins sensibles, le *cours saccadé* du sang vers le sommet du cône devient à peu près *régulier* vers la région des capillaires (base du cône).

\* Proportion dans laquelle l'élément élastique et l'élément musculaire entrent dans la composition de la paroi du cône depuis le sommet A jusqu'à la base C, C; — 1, 1 élément musculaire; — 2, élément élastique.