

basse qu'il est plus éloigné de l'orifice d'entrée du liquide. Mais à présent remplaçons ce tube d'écoulement par un autre présentant un rétrécissement sur une partie de sa longueur (fig. 41) : la décroissance des niveaux va cesser d'être régulière, et nous voyons la pression s'élever en amont de l'obstacle et baisser en aval.

Telles sont les considérations générales qui sont relatives à la pression du sang dans les vaisseaux. Voyons encore celles qui ont trait au débit et à la vitesse. Lorsqu'un régime régulier d'écoulement est établi, il faut de toute nécessité que la même

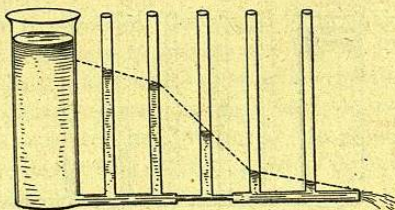


Fig. 41.

Écoulement d'un liquide dans un tube inégalement calibré.

quantité de sang passe au même instant par chaque section théorique du système circulatoire. Si, par exemple, le ventricule gauche lance dans l'aorte 100 grammes de sang, le ventricule droit devra en envoyer la même quantité dans l'artère pulmonaire ; en même temps, et avant qu'une autre systole se soit effectuée, 100 grammes de sang traverseront les capillaires généraux, et 100 grammes les capillaires du poumon. Il doit forcément en être ainsi, sans quoi tout l'équilibre circulatoire serait rompu, et des stases sanguines se produiraient en différents points du système vasculaire. Or, puisque chaque section de l'arbre vasculaire laisse passer au même moment la même quantité de sang, il est clair que la vitesse imprimée aux molécules liquides dans les différents segments du système circulatoire sera très différente : rapide dans les parties étroites du cône vas-

laire, lente au contraire dans ses parties larges, de même que le courant d'un fleuve est rapide quand son lit se rétrécit et plus lent lorsqu'il s'élargit. Le sang aura donc son maximum de vitesse dans l'aorte, et cette vitesse ira ensuite en diminuant jusqu'aux capillaires où elle sera minima, pour augmenter ensuite progressivement dans les veines, jusqu'à un maximum qu'elle atteindra dans les veines caves ; ce maximum sera néanmoins toujours inférieur à celui de l'aorte, en raison de la capacité plus grande du système veineux. De plus, comme les capillaires du poumon ont une capacité bien inférieure à celle des capillaires généraux, et que néanmoins ils laissent passer la même quantité de sang dans le même temps, la circulation pulmonaire doit être bien plus rapide que la circulation générale. La quantité de sang de la petite circulation étant à celle de la grande dans le rapport de 2 à 11, on peut en déduire que le renouvellement du sang dans le poumon se fait cinq fois plus vite que dans les autres organes.

Dans le système de tubes de la figure 40 la vitesse d'écoulement est régulière et l'inclinaison de la pente est d'autant plus grande que l'écoulement est plus rapide. Mais dans le système 41, où le tube d'écoulement présente un étranglement, nous constatons que la pente est plus faible que précédemment parce que le débit est devenu moindre et que, en conséquence, les parties larges du tube laissent circuler le liquide avec moins de vitesse. Or, les résistances de frottement croissant et décroissant avec la vitesse du courant, il est clair que la série des piézomètres doit accuser une moindre décroissance de pression que dans le système précédent, et, de plus, cette décroissance de pression doit être pareillement affaiblie en amont et en aval de l'obstacle, puisque toutes les parties de la colonne d'eau sont solidaires les unes les autres.

§ 2. — CIRCULATION DANS LE CŒUR

Le cœur, muscle creux, est composé chez les mammifères et les oiseaux de quatre cavités, les deux oreillettes et les deux ventricules. Les oreillettes ne communiquent pas entre elles, excepté

chez le fœtus dont la cloison interauriculaire présente un orifice (trou de BOTAL). Les deux ventricules sont séparés par une cloison étanche (cloison interventriculaire qui n'existe pas chez les batraciens et les reptiles dont le cœur ne possède qu'un ventricule). L'oreillette droite communique avec le ventricule droit, l'oreillette gauche avec le ventricule gauche, respectivement par les orifices auriculo-ventriculaires droit et gauche, et le mouvement du sang dans ces cavités se fait ainsi : déversé par les veines caves dans l'oreillette droite, le sang est chassé par les contractions de cette poche cardiaque dans le ventricule droit qui à son tour se contracte et le pousse dans l'artère pulmonaire ; après avoir traversé les capillaires du poumon, le sang revient par les veines pulmonaires dans l'oreillette gauche qui, par sa contraction, l'envoie dans le ventricule gauche ; et ce dernier le chasse dans l'aorte.

Si, pour se rendre compte de la manière dont s'effectuent ces diverses contractions et de l'ordre dans lequel elles apparaissent, on met le cœur à nu par l'ouverture de la cage thoracique chez un chien curarisé soumis à la respiration artificielle, on constate facilement que le cœur se contracte ou bat d'une façon rythmique, c'est-à-dire que chaque contraction est séparée de la suivante par un intervalle de repos. On voit, en outre, par une observation plus attentive que les deux oreillettes se contractent ensemble synergiquement, et que les deux ventricules se contractent de même aussitôt que la contraction des oreillettes est terminée ; de telle sorte que la succession des phénomènes apparents est celle-ci : 1° contraction ou *systole auriculaire* ; 2° contraction ou *systole ventriculaire* ; 3° repos général du cœur pendant lequel s'opère sa dilatation ou *diastole*. La succession de ces trois temps constitue ce qu'on appelle une *révolution cardiaque*. L'analyse de cette révolution cardiaque, les signes extérieurs par lesquels elle se manifeste, la façon dont elle est interprétée en clinique, feront l'objet des détails qui vont suivre ; nous terminerons par quelques mots sur le travail du cœur et sur les troubles pathologiques de la circulation intra-cardiaque.

1° Analyse de la révolution cardiaque. — Cette analyse

peut être poussée déjà fort loin par la seule observation du cœur mis à nu et par le raisonnement ; mais pour la compléter, il faut employer la méthode graphique.

a. *Systole auriculaire.* — L'oreillette est distendue peu à peu par le sang qui lui arrive des veines (veines caves ou pulmonaires) ; lorsqu'elle est pleine, elle se resserre brusquement ; sa contraction est brève, rapide, et débute dans la portion voisine de l'embouchure des grosses veines pour se propager comme une onde péristaltique vers l'auricule et l'orifice ventriculaire. L'effet de la systole est de chasser le sang dans le ventricule pour en achever la réplétion. Le ventricule reçoit, en effet, le sang pendant toute la durée de la distension de l'oreillette, et la systole auriculaire peut manquer sans que le débit du ventricule soit beaucoup diminué. L'oreillette peut donc être considérée comme une dilatation des grosses veines tenant en réserve une certaine quantité de sang pour le ventricule. En raison de la minceur de sa paroi musculaire, elle ne développe que peu de force dans sa contraction et ne se vide pas complètement de son contenu. Au moment de la systole auriculaire, le sang n'a pas de tendance à refluer dans les veines, malgré l'absence de valvules à leur embouchure, pour la seule raison que la pression veineuse, si faible qu'elle soit, est encore supérieure à celle qui existe dans la cavité du ventricule au moment de sa diastole ; le ventricule n'oppose, en effet, qu'une résistance insignifiante à la distension, et le sens du mouvement du sang, ici comme dans le reste du système circulatoire, est déterminé par les différences de pression.

b. *Systole ventriculaire.* — Elle succède immédiatement à la systole auriculaire, et se manifeste par une dureté et une rigidité soudaines du ventricule se propageant rapidement de la pointe à la base du cœur. Le sang pressé par la contraction du ventricule n'a d'autre issue que les orifices artériels (aortique et pulmonaire), car les orifices auriculo-ventriculaires se trouvent fermés hermétiquement par le jeu des valvules mitrale et triscupide. Ces valvules forment des voiles qui pendent dans l'intérieur du ventricule au moment de la diastole ; sous l'action de la pression sanguine développée par la systole, leurs bords flottants

sont projetés les uns contre les autres, et les parties de leurs faces auriculaires voisines des bords s'affrontent sur une certaine étendue; la tension des cordages tendineux qui s'y insèrent et la contraction des muscles papillaires d'où émanent ces tendons, règlent le jeu de ces soupapes en les maintenant en place et en empêchant leur renversement dans la cavité de l'oreillette

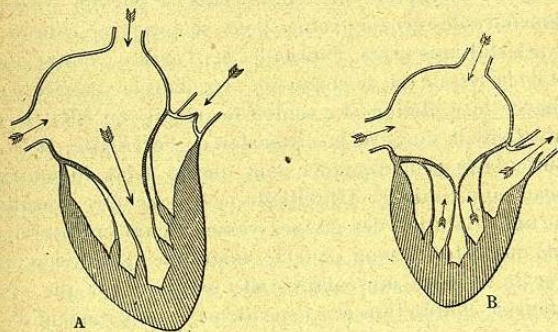


Fig. 42.

Schéma indiquant le jeu des valvules auriculo-ventriculaires et sigmoïdes : A, pendant la diastole ventriculaire; B, pendant la systole ventriculaire.

(fig. 42). De la sorte, l'augmentation de la pression sanguine intra-ventriculaire n'a d'autre effet que d'accoler plus intimement les bords des valvules et de faire bomber leurs faces du côté des oreillettes, de façon à produire un dôme multiconvexe que l'on peut sentir facilement avec le doigt introduit dans l'oreillette du cœur des gros animaux, comme l'ont remarqué CHAUVEAU et FAIVRE. Dès que la tension sanguine intraventriculaire a atteint une valeur suffisante (15 à 20 centimètres de Hg pour le ventricule gauche, 3 à 5 pour le ventricule droit), ce qui arrive quelques centièmes de seconde après le début de la systole (*retard essentiel* de CHAUVEAU et MAREY), le sang pénètre dans les artères; lorsque le ventricule se relâche, le reflux du sang est empêché par le jeu purement mécanique des valvules sigmoïdes en forme de nid de pigeon, qui s'accolent par leurs bords sous

l'action de la tension sanguine et opposent leurs faces concaves à la poussée artérielle. La systole ventriculaire ayant à vaincre une forte résistance, a aussi une durée plus longue que la systole auriculaire. Le ventricule lance à chaque systole environ 100 grammes de sang et se vide complètement; il resterait cependant, d'après CHAUVEAU, une petite quantité de sang sous les dômes valvulaires.

c. *Diastole*. L'oreillette entre déjà en diastole pendant la systole ventriculaire; une fois celle-ci terminée, le ventricule se relâche à son tour, et toutes les cavités sont alors en diastole et se remplissent de sang; c'est le repos du cœur. Le sang est poussé dans les cavités cardiaques sous l'action de la pression veineuse développée par la réaction élastique des veines sur leur contenu. La diastole est donc passive. Cependant on peut admettre encore que le cœur est capable d'exercer une aspiration sur le sang par la dilatation de ses cavités. En effet, par suite de l'élasticité de leurs parois, les ventricules tendent à reprendre après la systole une certaine capacité, de même qu'une poire en caoutchouc à parois épaisses pressée entre les doigts revient à sa forme primitive quand on cesse la compression. Il en résulte qu'il se produit dans les ventricules, après chaque systole, une *pression négative* (*vide postsystolique* de MAREY) et une aspiration du sang. Le cœur, d'après certains physiologistes, agirait donc comme une pompe à la fois aspirante et foulante. Il faut remarquer de plus que le cœur est, comme tous les autres organes contenus dans le thorax, soumis à l'influence de l'aspiration thoracique. Lorsqu'il s'est contracté, cette aspiration doit donc contribuer à lui faire reprendre une *forme d'équilibre* correspondant à un certain degré de dilatation.

La simple inspection et la palpation du cœur mis à nu permettent encore de se rendre compte des changements de forme, de volume, de position et de consistance qui accompagnent chaque contraction. Pendant la diastole, la poche ventriculaire est conique et sa section transversale figure une ellipse; pendant la systole elle devient plus petite et globuleuse par le raccourcissement de son diamètre antéro-postérieur, et sa section prend une forme circulaire. On observe aussi pendant la systole la production

d'un mouvement spiroïde ou de torsion du cœur; cette torsion se fait autour de l'axe longitudinal de l'organe, de gauche à droite, et a pour effet de mettre en saillie le ventricule gauche; en même temps la pointe du cœur se redresse légèrement en se portant à droite et en avant. Le mouvement de retrait de la

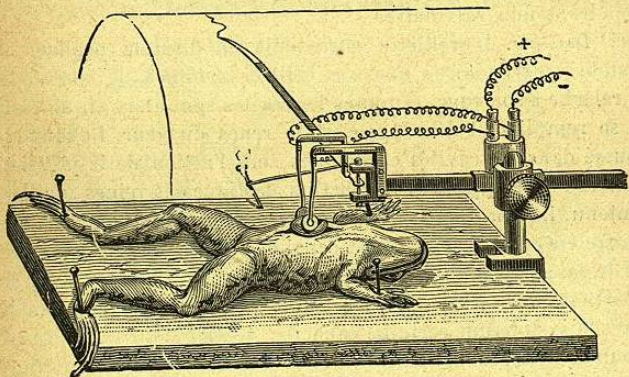


Fig. 43.

Pince cardiaque de MAREY.

Le cœur est saisi entre deux cuillers dont l'une est mobile et actionne le style inscripteur auquel elle est soudée. Au moment de la systole le myocarde repousse la cuiller mobile et le style trace un crochet sur le cylindre enregistreur. Pendant le repos du cœur, le style inscripteur est ramené mécaniquement à une position d'équilibre par un fil élastique attaché à l'épingle *e*. Des fils + et - aboutissant à chaque cuiller permettent de porter des excitations électriques sur le myocarde.

pointe, qui résulte nécessairement du raccourcissement de l'axe longitudinal, est du reste peu accentué, parce qu'il est compensé par la projection de la base du cœur provenant de la chasse brusque du sang dans les artères (*mouvement de recul* analogue au recul du fusil au moment où le coup part). Le muscle cardiaque est mou et dépressible pendant la diastole; pendant la systole il devient dur et ferme, et repousse le doigt qui le palpe.

d. *Cardiographie*. — Pour enregistrer les battements du cœur, on peut faire reposer directement sur les poches cardiaques des

leviers inscripteurs (*cardiographes* pour le cœur de grenouille, de tortue). Le tracé ci-dessous (fig. 44) des pulsations du cœur de grenouille a été pris avec la pince cardiaque de MAREY (fig. 43). Mais, pour obtenir des tracés permettant d'analyser en détail la révolution cardiaque, il faut avoir recours à la belle méthode imaginée par CHAUVEAU et MAREY. Ces physiologistes introduisirent des sondes dans les cavités du cœur du cheval, en les poussant par la jugulaire pour l'oreillette et le ventricule droit, et

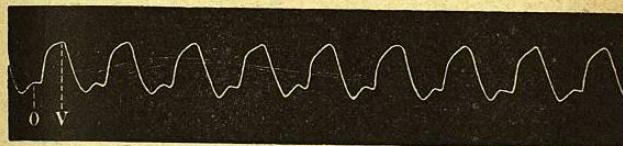


Fig. 44.

Tracé des battements du cœur de la grenouille.

O, oreillette. — V, ventricule.

par la carotide pour le ventricule gauche. Ces sondes cardiaques étaient munies à leur extrémité d'une ampoule de caoutchouc remplie d'air, et reliées par un tube à un tambour inscripteur à levier. A l'aide du schéma suivant (fig. 45) qui représente la sonde cardiaque droite munie de deux ampoules dont l'une se trouve dans la cavité auriculaire et l'autre dans la cavité ventriculaire, il est facile de comprendre que la compression de l'air des ampoules par la pression du sang, au moment de la systole, produit une élévation du levier des tambours inscripteurs, et que sa dilatation pendant la diastole amène au contraire un abaissement du levier. Les plumes écrivent sur un cylindre enregistreur, tournant d'un mouvement uniforme, et tracent la courbe de la contraction auriculaire et ventriculaire. On peut aussi recueillir le tracé de la *pulsation cardiaque*, c'est-à-dire de ce choc que perçoit la main appliquée sur la poitrine; il n'y a pour cela qu'à maintenir sur le thorax dans la région précordiale une autre ampoule reliée aussi à un tambour inscripteur

Les tracés que l'on obtient, ou *cardiogrammes*, sont représentés ci-dessous (fig. 46). Comment les interpréter ?

La ligne supérieure O représente le tracé de l'oreillette, celle qui est au-dessous V le tracé du ventricule, la troisième P le tracé de la pulsation cardiaque. Comme les points des leviers.

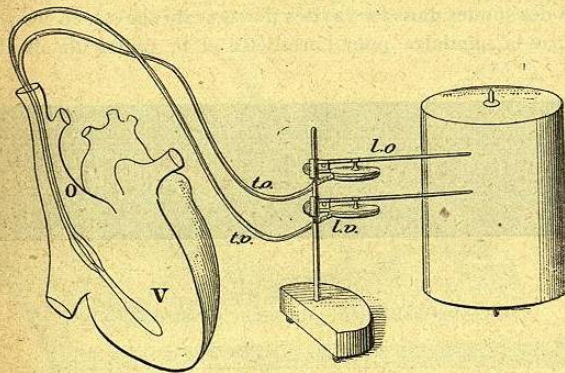


Fig. 45.

Schéma de l'expérience de cardiographie de CHAUCHEAU et MAREY.

Sonde cardiaque droite munie de deux ampoules, l'une située dans le ventricule V et reliée au tambour enregistreur t.v. par le tube t.v., l'autre située dans l'oreillette O et reliée au tambour l.o. par le tube l.o. (d'après L. FRÉDÉRICQ).

sont exactement de même longueur et superposées, il est clair que les accidents qui se trouvent sur ces trois tracés, selon la même ligne verticale, sont synchrones. Le quadrillage imprimé dans la figure permet de s'en rendre compte; les lignes verticales de ce quadrillage étant espacées par intervalles de un dixième de seconde, on peut en outre apprécier la durée de chacun des actes de la révolution cardiaque; les lignes horizontales permettent de comparer plus facilement les différences d'amplitude des oscillations du levier.

Le tracé de l'oreillette O présente tout d'abord une élévation A de courte durée qui correspond évidemment à la systole de l'oreillette; après cet accident, la ligne du tracé s'élève progres-

sivement jusqu'à la production d'un nouveau soulèvement systolique, traduisant ainsi le remplissage graduel de l'oreillette par le sang.

Sur le tracé ventriculaire V on trouve d'abord une petite oscillation synchronisée avec la systole auriculaire, et qui exprime

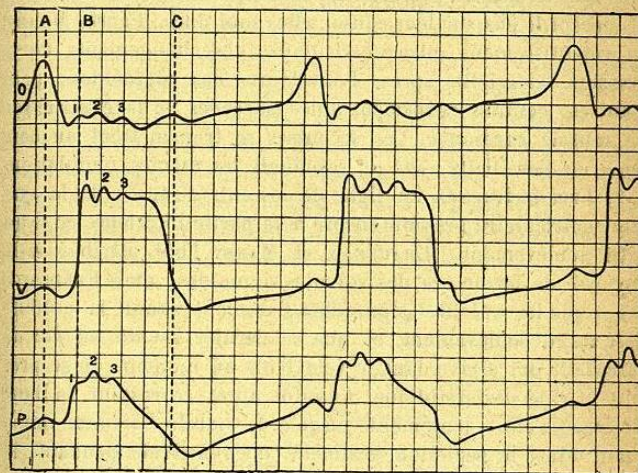


Fig. 46.

Cardiogramme (d'après MAREY).

O, tracé de l'oreillette. — V, du ventricule. — P, de la pulsation cardiaque.

la légère augmentation de pression du sang dans le ventricule au moment où il est chassé par la contraction de l'oreillette. Aussitôt après, la ligne s'élève brusquement très haut en B, se maintient un certain temps à cette hauteur dans un sens à peu près horizontal en formant ce qu'on appelle un *plateau*, puis s'abaisse, mais moins rapidement qu'elle ne s'est élevée. L'ensemble de cette courbe répond à la systole ventriculaire; son amplitude traduit l'énergie de la contraction, la distance qui sépare la ligne d'ascension de la ligne de descente mesure la durée de la systole qui, on le voit, est au moins trois fois