A l'aide du cardiographe, on constate beaucoup de choses. Pour le moment, il s'agit d'interroger l'instrument en ce qui regarde la relation qui peut exister entre tel ou tel mouvement du cœur et le choc précordial, en un mot, il s'agit de savoir à quel moment de la révolution du cœur correspond ce choc.

D'abord il faut remarquer que sur les animaux supérieurs (cheval, mouton, chien), les cavités droites du cœur sont accessibles sans qu'il soit nécessaire d'intéresser les parois de la poitrine. On peut y parvenir par une grosse veine du

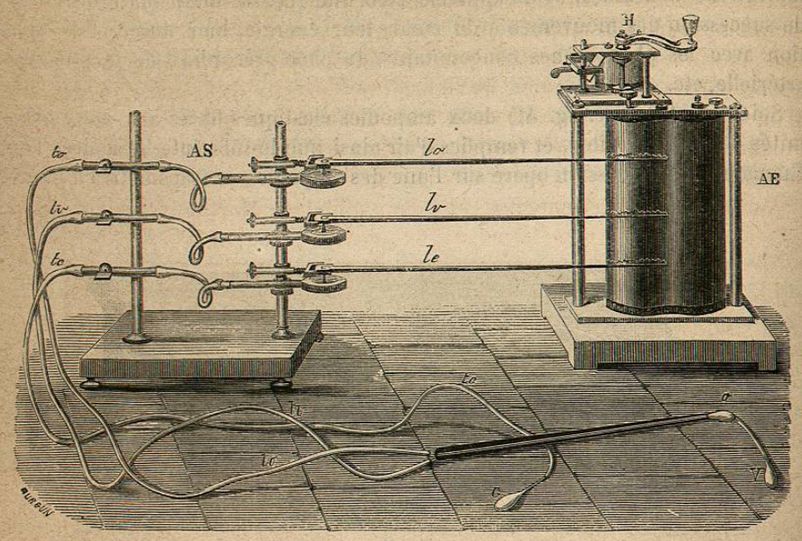

Fig. 42. — Cardiographe de MM. Chauveau et Marey. (1/6 de la grandeur réelle.)

AE, appareil enregistreur. — L'appareil enregistreur AE se compose de deux cylindres (un seul se voit sur la figure; il masque celui qui est derrière). Ces deux cylindres sont mus d'un mouvement uniforme par un appareil d'horlogerie H. Quand l'appareil est en marche, une bande de papier se déroule de l'un des cylindres et s'enroule sur l'autre. A mesure que la bande s'enroule sur le second cylindre, les leviers de l'appareil sphygmographique y impriment leur trace.

AS, *appareil sphygmographique*, c'est-à-dire appareil qui *reçoit*, *transmet* et *amplifie* le mouvement. L'ampoule *c* *reçoit* le choc précordial; l'ampoule *v* *reçoit* la pression sanguine déterminée par la contraction d'un ventricule; l'ampoule *o* (rendue indépendante de l'ampoule *v* par un artifice de construction)] *reçoit* la pression sanguine de l'oreillette. Les tubes *tc*, *tv*, *to*, *transmettent* les pressions correspondantes à leurs ampoules, vers d'autres ampoules construites sous forme de tambour. La membrane élastique qui recouvre ces tambours aplatis met en mouvement, lorsqu'elle se soulève, les leviers enregistreurs, à l'aide d'une petite tige verticale. Cette petite tige agit sur les leviers à une très-courte distance de leur articulation, c'est-à-dire sur un très-court bras de levier, de manière que le mouvement des grands bras de levier *lc*, *lv*, *lo*, qui se dirigent du côté des cylindres enregistreurs, est considérablement amplifié.

cou, la veine jugulaire du côté droit par exemple. Une sonde à double ampoule (voy. fig. 42, *v* et *o*) introduite dans cette veine, poussée dans le tronc veineux brachio-céphalique, puis dans la veine cave supérieure, gagne l'oreillette droite et enfin le ventricule droit où elle se trouve arrêtée à l'extrémité inférieure de cette cavité. Par un artifice de construction, l'ampoule qui plonge dans la cavité ventriculaire et celle qui répond à la cavité de l'oreillette, tout en faisant partie du même système, sont indépendantes l'une de l'autre. En relation avec le dehors par des tubes de communication également indépendants, les deux ampoules *v* et *o* transmettent leurs mouvements par l'intermédiaire des tambours aux leviers *lv* et *lo*.

Une autre ampoule (voy. fig. 42, *c*) est introduite dans l'épaisseur de la paroi

pectorale, dans l'intervalle intercostal qui correspond au choc du cœur, entre les deux plans des muscles intercostaux externe et interne. Cette ampoule transmet son mouvement par l'intermédiaire du tambour au levier *lc*.

Les trois leviers enregistreurs recevant leur impulsion chacun d'une source particulière, on obtient sur le cylindre enregistreur AE trois tracés : le tracé ventriculaire, le tracé auriculaire, le tracé précordial. L'un des leviers écrit les mouvements du ventricule, un autre écrit les mouvements de l'oreillette, le troisième donne le tracé du choc du cœur. Or, en consultant ces tracés, obtenus simultanément, on constate qu'il y a entre la contraction ventriculaire et le choc précordial un *synchronisme parfait :* donc, c'est pendant la systole ventriculaire qu'a lieu le battement du cœur et non pendant la systole de l'oreillette. D'un autre côté, on peut voir sur le tracé de l'oreillette que la contraction auriculaire *précède* le choc précordial, de même qu'elle précède la contraction du ventricule.

Au lieu de l'appareil enregistreur à deux cylindres, M. Marey emploie aujour-

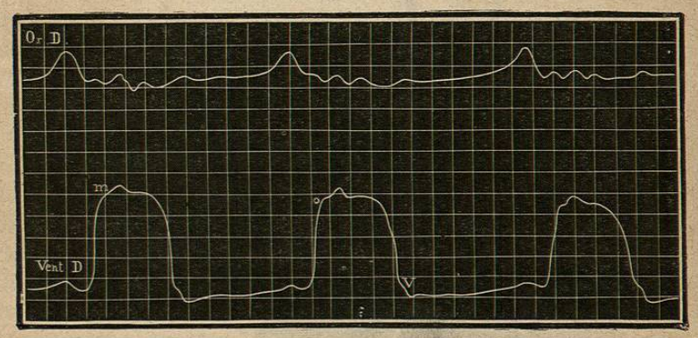

Fig. 43.

Tracés des mouvements de l'oreillette droite et du ventricule droit, obtenus simultanément sur le cheval à l'aide du cardiographe.

d'hui, et tous les physiologistes ont adopté, l'appareil à un seul cylindre qui est plus simple et plus précis [1]. Quant aux tambours qui recueillent et transmettent aux leviers enregistreurs les modifications survenues dans les ampoules d'épreuve, on peut les employer comme appareils de transmission dans une foule d'actes physiologiques où interviennent des phénomènes de mouvement (circulation, respiration, locomotion, etc.). Le tambour de transmission pouvant être utilisé dans des cas très-variés et annexé aux appareils de recherches les plus divers, porte, pour cette raison, le nom de tambour *polygraphe*. La figure 44 le représente isolé et amplifié.

L'examen de la figure 43 (voyez le tracé de la contraction ventriculaire) montre que l'ascension du levier une fois arrivé à son summum s'y maintient pendant quelque temps, c'est-à-dire pendant toute la durée qui sépare ce moment du moment de la descente. Le temps qui mesure ces deux points mesure la durée de la systole ventriculaire et montre en même temps que ce qu'on désigne sous le nom de choc précordial n'est pas instantané, mais que la pro-

[1] Voyez fig. 52, page 249.

pulsion précordiale ou pulsation cardiaque dure autant que la contraction ventriculaire.

Si le choc ou battement du cœur contre les parois de la poitrine est lié à la contraction des ventricules, il est naturel de penser que c'est cette contraction elle-même qui le détermine. La contraction ou systole ventriculaire projette, en effet, l'ondée sanguine dans les courbures de l'aorte et de l'artère pulmonaire, c'est-à-dire dans des canaux élastiques. Ceux-ci tendent à se redresser comme un ressort, et ce mouvement de redressement se manifeste à l'extré-

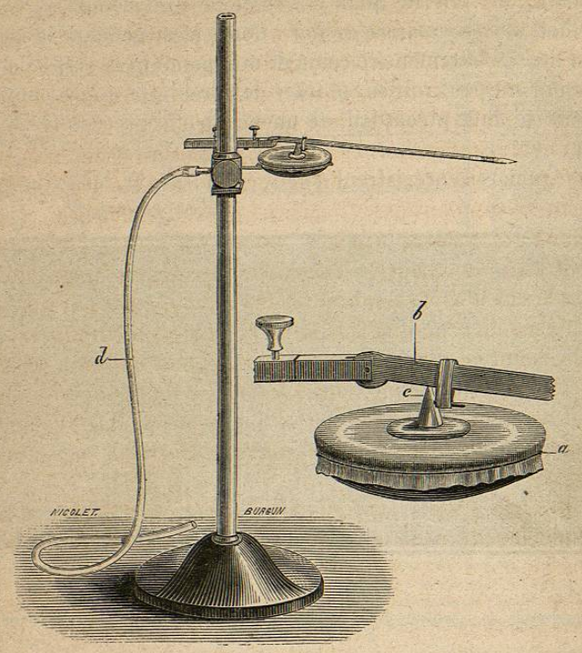

Fig. 44. — Tambour polygraphe.

a, ampoule en forme de tambour. La partie inférieure de cette ampoule est en métal (en laiton), c'est-à-dire rigide. Les changements dans le ressort élastique de l'air contenu dans l'ampoule se traduisent et s'accusent par conséquent avec plus d'énergie sur la partie élastique, c'est-à-dire sur la membrane de caoutchouc fixée sur la cupule rigide.

b, levier enregistreur.

c, pointe conique fixée à la membrane élastique du tambour *a* et transmettant au levier *b* tous les changements de volume de l'air contenu dans le tambour. Comme le point par lequel la pointe *c* soulève le levier *b* est très-rapprochée de l'articulation du levier, les mouvements de l'extrémité écrivante de ce levier ont une amplitude considérable eu égard aux faibles déplacements qui ont lieu au point *c*.

d, tube à l'aide duquel on fait communiquer le tambour *a* avec l'ampoule d'*épreuve* ou ampoule *initiale* (ampoule qui peut avoir les formes les plus diverses) introduite dans un organe ou dans une cavité ou bien encore appliquée sur une partie où s'opèrent les mouvements qu'on veut enregistrer.

mité du ressort représentée par la partie libre du cœur. On a objecté à cette explication, qui a été donnée par Sénac, que, sur les autres points du trajet circulatoire, les courbures des artères ne se redressent point au moment de la poussée du sang, mais qu'elles ont, au contraire, de la tendance à s'exagérer. L'objection est très-juste pour les artères dont la courbure est comprise entre deux points *fixes*. Mais ici les conditions sont autres. Le cœur, appendu aux gros vaisseaux, est *libre* du côté de sa pointe. Le phénomène mécanique en vertu

duquel le cœur est soulevé au moment où le sang s'engage dans les courbures aortiques est tout à fait analogue à celui qui se produit dans le petit appareil suivant. Supposez un tube de caoutchouc fixé horizontalement à l'extrémité inférieure d'un corps de pompe muni d'un piston. Si le tube de caoutchouc est d'une certaine longueur, son extrémité obéit à la pesanteur, elle s'incline par en bas, en se coudant. A l'aide du piston, faites sortir le liquide par le tube de caoutchouc, celui-ci tend à se redresser. Si la pression est suffisante, il efface sa courbure, se redresse et se rapproche de la direction rectiligne. Dans le battement du cœur, les artères aorte et pulmonaire représentent notre tube de caoutchouc, et le cœur représente le corps de pompe. Il est vrai que c'est le cœur qui est libre, et non les artères; mais cela ne change rien au phénomène envisagé en lui-même (en mécanique, l'action et la réaction sont égales), et le mouvement se produit là où il peut se produire.

M. O'Brian et M. Gutbrod ont émis, relativement au choc du cœur contre les parois thoraciques, une doctrine dernièrement rééditée par M. Fatou et par M. Hiffelsheim, et qui nous paraît inacceptable. M. Hiffelsheim a résumé cette théorie en une formule assez originale : *le cœur bat parce qu'il recule.*

Chacun sait qu'au moment de l'explosion des armes à feu, la pression qui s'exerce dans la chambre de combustion de l'arme n'étant pas exactement équilibrée dans le sens du départ de la balle ou du boulet, le fusil ou le canon éprouvent un mouvement en sens opposé, dit mouvement de *recul*. Chacun sait que le petit instrument de physique appelé *tourniquet hydraulique* se dirige en sens opposé de l'écoulement du liquide, parce que la pression fait défaut aux orifices de sortie, tandis qu'elle s'exerce sur les portions de parois opposées aux orifices de sortie.

Au moment où la systole ventriculaire fait pénétrer le sang dans l'aorte et l'artère pulmonaire, le cœur doit être projeté, suivant les expérimentateurs dont nous parlons, en sens contraire de la direction des orifices aortiques, et la projection a lieu suivant une ligne oblique représentant la diagonale du parallélogramme des forces (les côtés inégaux de ce parallélogramme représenteraient la force du ventricule gauche et la force du ventricule droit, forces inégales, comme nous le verrons).

M. Hiffelsheim opère sur des poches de caoutchouc *distendues* de liquide et suspendues. Aussitôt que l'orifice d'écoulement est ouvert, le phénomène du tourniquet hydraulique se produit ici, ainsi qu'il était aisé de le prévoir : la poche est repoussée en sens opposé de l'écoulement du liquide.

Mais dans l'appareil circulatoire les choses ne se passent pas de la même manière. Dans cet appareil l'orifice d'écoulement n'est jamais librement ouvert. Il existe dans le système artériel, et par conséquent dans l'aorte, une *tension permanente*, tension équivalente à une colonne de 15 centimètres de mercure (Voy. § 94). Cette tension existe *à tous les moments*, aussi bien pendant l'état de repos du cœur que pendant la contraction des ventricules. Lorsque cette contraction arrive et que le sang pressé par elle abaisse les valvules sigmoïdes et s'introduit dans l'aorte, la cavité du ventricule communique avec la cavité artérielle, et la pression est aussitôt la même dans les artères voisines du cœur, et dans le cœur lui-même.

Tandis que le cœur s'applique avec force contre les parois de la poitrine, au moment de la systole des ventricules, et détermine le choc ou pulsation car-

diaque, il éprouve encore un déplacement de masse, en vertu duquel il s'abaisse légèrement. M. Bamberger a noté ce léger mouvement d'abaissement sur son blessé, M. Frickhoffer a également remarqué ce mouvement sur un enfant dont le thorax était mal conformé ; enfin au nombre des faits signalés par M. Wilckens figure aussi une légère descente du cœur correspondant à chaque systole ventriculaire.

On peut d'ailleurs constater ce mouvement sur des lapins dont on a préalablement dénudé les espaces intercostaux, et chez lesquels on observe directement le cœur par la transparence de la plèvre restée intacte. Il faut avoir soin d'endormir ces animaux à l'aide de la teinture d'opium. Il faut aussi ralentir les mouvements de la respiration et le chiffre des battements du cœur par l'administration du chloroforme, pour la facilité de l'observation.

Ce léger mouvement du cœur, par en bas, au moment de la systole ventriculaire, est évidemment déterminé par l'allongement élastique des gros vaisseaux au moment où la tension sanguine augmente dans leur intérieur.

C'est, sans doute, ce léger mouvement d'abaissement du cœur, au moment de la systole ventriculaire, qui a fait croire à quelques observateurs (entre autres MM. Pennock et Moore) que le cœur s'allongeait au moment de la contraction des ventricules. Des expériences précises ont démontré que la contraction des ventricules est accompagnée, ainsi que nous l'avons dit, par le raccourcissement de tous leurs diamètres.

§ 88.

Mouvement de torsion du cœur autour de son axe longitudinal. — Tandis que le cœur est projeté en avant à chaque systole ventriculaire, non-seulement il s'abaisse légèrement par en bas, mais encore, et en même temps, il exécute un léger mouvement de torsion autour de son axe longitudinal. Ce mouvement de torsion devient de moins en moins visible, à mesure que les mouvements du cœur perdent leur énergie. Pour le saisir dans toute son étendue, il faut l'examiner après l'ouverture de la poitrine. Dans ces conditions, on constate que le ventricule gauche devient *plus visible* à chaque systole ventriculaire. Au moment de la contraction des ventricules, le cœur tourne donc légèrement sur son axe, de gauche à droite. Pendant la diastole ventriculaire, le cœur reprend sa position première; par conséquent, le mouvement de torsion s'exécute en sens contraire.

Ce mouvement de torsion peut être mieux observé encore sur des animaux auxquels on a enlevé les parties molles qui garnissent les espaces intercostaux et chez lesquels on examine le cœur grâce à la transparence de la plèvre pariétale restée intacte. Ce mouvement a été pareillement constaté par plusieurs physiologistes sur des enfants mal conformés, dont la vie s'est prolongée quelques heures après la naissance, bien qu'ils eussent le cœur à nu hors de la poitrine. Sur la femme observée par M. Wilckens, et dont nous avons parlé, ce mouvement de rotation sur l'axe, était des plus manifestes.

C'est sans doute au mouvemeut de torsion du cœur autour de son axe longitudinal, qu'il faut rattacher la disposition striée en travers que présentent parfois les exsudations de la péricardite.

Le mouvement de torsion du cœur sur son axe est simultané avec la projection du cœur en avant. Ce mouvement de torsion est dû à la contraction ventriculaire elle-même. Les fibres charnues du cœur, groupées autour des orifices auriculo-ventriculaires et aortiques, prennent, au moment de la contraction, leur point fixe sur les zones fibreuses qui garnissent, à la manière d'anneaux, ces ouvertures. Or, les plans charnus communs aux deux ventricules sont obliquement étendus sur les faces du cœur. Les antérieurs partent des anneaux auriculo-ventriculaires et aortiques, et descendent de droite à gauche; les postérieurs partent des mêmes anneaux (en arrière) et descendent de gauche à droite. Tous ces plans, en prenant leur point fixe aux anneaux auriculo-ventriculaires et aortiques, agissent de concert, au moment de la contraction, pour faire tourner le cœur de gauche à droite. La torsion du cœur ne s'étend pas à la totalité du cœur : les oreillettes n'y prennent point part. La torsion commence à la base des ventricules, où elle est sensiblement nulle : c'est à la pointe qu'elle est le plus prononcée.

La torsion du cœur est accompagnée d'un léger redressement de la pointe du cœur en avant. Ce redressement de la pointe, qui reconnaît la même cause que la torsion, c'est-à-dire la contraction propre des ventricules, ne doit pas être confondu avec la propulsion en avant de la masse du cœur contre les parois de la poitrine. La projection d'où résulte le *battement* du cœur tient à une autre cause que nous avons précédemment indiquée. Dans le *battement* du cœur, ce n'est pas seulement la pointe du cœur qui frappe les parois thoraciques, mais c'est le tiers inférieur de la face antérieure du cœur, ainsi qu'on peut le constater sur l'animal vivant. Le redressement de la pointe du cœur, dont il est ici question, est très-circonscrit; il persiste quelque temps (comme, d'ailleurs, les contractions du cœur elles-mêmes) sur un cœur arraché de la poitrine d'un animal et placé à plat sur une table.

§ 89.

Rhythme des contractions du cœur. — Durée de la diastole et de la systole des oreillettes et des ventricules. — Le sang qui arrive au cœur est lancé dans les artères par la contraction successive des oreillettes et celle des ventricules. Les deux oreillettes se contractent ensemble; puis les deux ventricules se contractent ensemble. Le synchronisme des mouvements des deux oreillettes, ainsi que celui des mouvements des deux ventricules, est parfait. Le cardiographe le démontre, ainsi qu'on devait s'y attendre. Le cardiographe montre également, ce qu'on savait déjà, que lacontraction du ventricule gauche est plus énergique que la contraction du ventricule droit.

Ce qu'on peut constater chaque jour sur les animaux à l'aide des tracés cardiographiques, M. Franck l'a observé pareillement sur la femme atteinte d'ectopie du cœur, dont il a été question précédemment. Deux ampoules de même sensibilité, appliquées et maintenues sur le ventricule gauche et sur le ventricule droit, ont accusé sur le cylindre enregistreur un synchronisme absolument parfait des deux pulsations ventriculaires; de plus, et comme il était facile de le prévoir, l'examen du tracé révélait une énergie musculaire moins forte dans le ventricule droit que dans le gauche [1].

[1] Voyez, § 94, la même démonstration fournie par l'étude des différences de tension du sang dans l'aorte et dans l'artère pulmonaire.

Lorsqu'on examine le cœur de l'animal vivant, il semble que la contraction des ventricules suive *immédiatement* la contraction des oreillettes. A l'aide des ampoules du cardiographe introduites dans les cavités du cœur on constate (notion que la vue et le toucher étaient impuissants à nous fournir) que, sur le cheval, il s'écoule environ 1/10 de seconde entre ces deux mouvements. Chez l'homme, dont le cœur bat plus vite que chez le cheval, il est probable que cet intervalle est plus petit encore.

La durée de la contraction des oreillettes est presque instantanée (1/10 de seconde environ). La contraction des ventricules n'est pas seulement plus énergique que celle des oreillettes, elle est aussi beaucoup plus longue, car elle a une durée équivalente à plus du tiers de la durée totale d'une révolution du cœur. Le choc précordial a la même durée que la contraction ventriculaire.

Après la contraction des ventricules survient le repos du cœur. Pendant cet intervalle le cœur tout entier est dans le repos. Les oreillettes avaient déjà commencé à recevoir le sang pendant la systole des ventricules; aussitôt que cette dernière a cessé, le cœur tout entier reçoit librement du sang et dans les oreillettes et dans les ventricules. Lorsque le cœur est rempli d'une certaine quantité de sang, le repos de l'organe fait place à l'action; les oreillettes se contractent et le flot liquide qu'elles chassent dans les ventricules *distend* ceux-ci, car le flot est poussé par une contraction musculaire. La distension ventriculaire se trouve, en vertu de la force active des oreillettes, poussée à ses dernières limites. Alors survient immédiatement la contraction ventriculaire, et ainsi de suite.

Une contraction complète du cœur comprend la durée pendant laquelle chaque section du cœur (section auriculaire et section ventriculaire) a été une fois à l'état de systole et une fois à l'état de diastole. La durée d'une contraction complète du cœur ou d'une révolution du cœur peut être estimée par les battements du cœur contre les parois thoraciques, ces battements se reproduisant régulièrement à chaque systole ventriculaire.

On répète, encore aujourd'hui, dans beaucoup d'ouvrages de médecine, qu'une révolution complète du cœur ayant une durée représentée par exemple par 3 unités, la contraction des oreillettes peut être évaluée à 1, la contraction des ventricules à 1, et l'intervalle de repos également à 1; en sorte que le rhythme des mouvements du cœur pourrait être approximativement comparé à une mesure à trois temps. C'est là une comparaison tout à fait inexacte. Les expériences cardiographiques prouvent que ces divers temps sont au contraire très-inégaux en durée. En comparant, eu égard à leur durée relative, les mouvements du cœur de l'homme aux mouvements du cœur du cheval, voici comment on peut établir la durée respective de ces trois périodes : en divisant en 10 unités de temps une révolution du cœur, la contraction des oreillettes durerait 1, l'intervalle entre la contraction de l'oreillette et la contraction ventriculaire durerait 1, la contraction des ventricules 4, le repos de l'organe 4 [1].

[1] En supposant que le cœur batte 80 fois par minute, chez l'homme, une révolution du cœur dure $0^{sec},750$. Dans une révolution du cœur qui dure $0^{sec},750$, la durée de la contraction de l'oreillette serait de $0^{sec},075$. L'intervalle entre la contraction de l'oreillette et la contraction du ventricule $0^{sec},075$, la durée de la contraction du ventricule $0^{sec},300$, la durée du repos de $0^{sec},300$.

§ 90.

Marche du sang dans les cavités du cœur. — Le cœur, placé au centre du système fermé de la circulation, communiquant, d'une part, avec les artères, et, d'autre part, avec les veines, aurait, en se contractant, une tendance à peu près égale à chasser le sang, aussi bien du côté des veines que du côté des artères, s'il n'y avait dans l'intérieur du cœur un appareil valvulaire. Cet appareil valvulaire, ou système de soupapes membraneuses, *détermine la direction du courant*.

L'appareil valvulaire est aussi complet que possible pour les ventricules. La valvule tricuspide intercepte, en effet, à un certain moment, toute communication entre le ventricule droit et l'oreillette droite; et la valvule mitrale joue exactement le même rôle dans le cœur gauche. Les valvules sigmoïdes, placées aux orifices artériels des deux ventricules, peuvent aussi, dans un autre moment, interrompre la continuité du ventricule gauche avec l'aorte et du ventricule droit avec l'artère pulmonaire.

L'appareil valvulaire des oreillettes est moins complet : leur communication avec les ventricules peut être suspendue par les valvules auriculo-ventriculaires (valvules tricuspide et mitrale); mais l'orifice des veines dans les oreillettes n'est point pourvu de valvules analogues à celles des orifices artériels des ventricules. La valvule d'Eustache et la valvule coronaire ne ferment qu'incomplétement les veines caves et coronaires, et les veines pulmonaires sont dépourvues de valvules. Mais, en analysant la marche du sang dans le cœur, il est facile de se convaincre que les soupapes complètes dont sont pourvus les ventricules *suffisent* à déterminer la direction du courant. C'est ce que les développements dans lesquels nous allons entrer feront aisément comprendre.

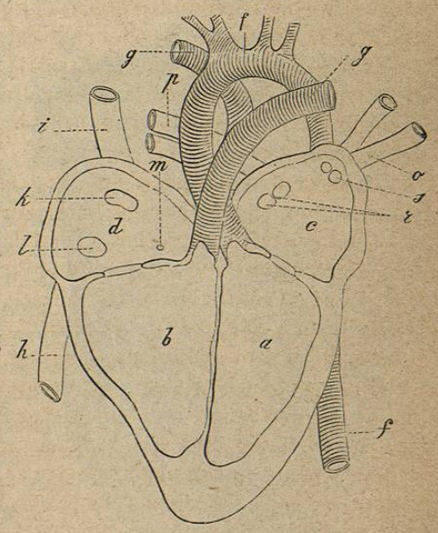

Fig. 45.
Cœur dont la paroi supérieure est supposée enlevée.
(Figure schématique.)

a, ventricule gauche.
b, ventricule droit.
c, oreillette gauche.
d, oreillette droite.
f, artère aorte.
gg, artère pulmonaire.
h, veine cave inférieure.
i, veine cave supérieure.
k, orifice de la veine cave supérieure.
l, orifice de la veine cave inférieure.
m, orifice de la veine coronaire.
o, veines pulmon. gauches.
p, veines pulmon. droites.
r, orifices des veines pulmonaires droites.
s, orifices des veines pulmonaires gauches.

Le sang afflue dans l'intérieur de l'oreillette droite par la voie des veines caves supérieure et inférieure, et par la voie des veines coronaires. Il afflue dans l'oreillette gauche par la voie des veines pulmonaires (Voy. fig. 45). Cet afflux a lieu en vertu des lois qui président au cours du sang dans l'arbre veineux (Voy. § 104). L'afflux du sang dans les oreillettes commence aussitôt après que leur contraction a cessé : il dure pendant tout le temps de la systole