

Recherches sur la Circulation et la Respiration.

La pulsation du cœur chez le chien.

PAR

LÉON FREDERICQ.

CHAPITRE I^{er}.

SUR LE TRACÉ CARDIOGRAPHIQUE DES VENTRICULES.

BIBLIOGRAPHIE.

BUISSON. *Quelques recherches sur la circulation à l'aide d'appareils enregistreurs*. Thèse de Paris, 1862. — Gaz. méd. de Paris, 1861.

CHAUVEAU et MAREY. *Comptes rendus*, t. III, p. 822. — T. LIV p. 32.

Gaz. méd. de Paris, 1861.

Appareils et expériences cardiographiques. Mémoires de l'Acad. de médecine, 1863, t. XXVI, pp. 268-319, 23 fig.

MAREY. *Physiologie médicale de la circulation du sang*, 1863.

Études physiologiques sur le caractère des battements du cœur, etc. Journal de l'anatomie et de la phys., 1865, t. II, pp. 276-301 et pp. 416-425.

Article *Cardiographie* du dictionnaire encyclop. des sc. méd., 1871, t. XII, pp. 425-453.

Mémoire sur la pulsation du cœur. Travaux du laboratoire, 1875, pp. 18-85.

La circulation du sang, 1881.

TRAUBE. *Gesammelte Beiträge*, t. III, p. 595. Cité par Rosenstein.

DONDERS. *Onderzoek van den cardiograaf.* Onderzoekingen. Utrecht, 1867-68. Tweede reeks, t. I, pp. 1-20.

Nederlandsch Archief voor Genees- en Natuurkunde, II, 1865 et III, 1867.

LANDOIS. *Centralblatt f. d. med. Wiss.*, 1866, n° 12, p. 177.

Die Lehre vom Arterienpuls, Berlin, 1872.

Graphische Untersuchungen über den Herzschlag. Berlin, 1876.

Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 1879.

Article : *Herzstosscurve*, dans la *Real-Encyclopädie der gesammten Heilkunde d'Eulenburg*, VI, p. 520-532, 1881.

CERADINI. *Heidelberger Jahrbücher der Literatur*, 1869.

Annali universali di medicina, 1870.

GARROD. *Journal of Anat. and Physiology*, 1871, t. V, p. 265.

GALABIN. *On the interpretation of cardiographic tracings and the evidence which they afford as to the causation of the murmurs attendant upon mitral Stenosis.* *Guy's Hospital Reports*, 1875, 3^e sér., t. XX, p. 261.

MEURISSE et MATHIEU. *Arch. de Physiologie*, 1875, 2^e sér., t. II, p. 257.

GRUNMACH. *Berliner klin. Wochenschrift*, 1876, p. 473.

FRANÇOIS FRANCK. *Recherches sur un cas d'ectopie congénitale du cœur observé chez une femme de 24 ans.* *Trav. Labor. de Marey*, 1877, t. III, pp. 311-327.

GOLTZ et GAULE. *Ueber die Druckverhältnisse im Innern des Herzens.* *Archiv für die gesammte Physiologie*, t. XVII, p. 100.

OTT et HAAS. *Die Herzstosscurve des Menschen im normalen und krankhaften Zustande.* *Prager Vierteljahrschrift*, 1877, t. IV, p. 49.

BAXT. *Die Verkürzung der Systolenzeit durch den Nervus accelerans cordis.* *Archiv für Physiologie*, 1878, pp. 122-136.

FILEHNE et PENZOLDT. *Centralbl. f. d. med. Wiss.*, 1879, n° 26.

ISEBREE MOENS. *Over de polscurve.* *Onderzoekingen.* Leiden, 1878.

Der erste Wellengipfel in dem absteigenden Schenkel der Pulscurve. *Archiv für die ges. Physiologie*, 1879, t. XX, pp. 517-533.

ROSENSTEIN. *Zur Theorie des Herzstosses und zur Deutung des*

Cardiogramms. Deutsches Archiv für klinische Medicin, 1879, t. XXIII, pp. 79-97.

GIBSON. *The sequence and duration of the cardiac movements.* Journal of Anatomy and Physiology, 1879, t. XIV, pp. 234-240.

F. MAURER. *Ueber Herzstosscurven und Pulscurven.* Deutsches Archiv für klinische Medicin, 1879, t. XXIV, pp. 291-341.

KNOLL. Prager med. Wochenschrift, 1879, n° 21.

S. v. BASCH. *Ein verbesserter Sphygmo- und Cardiograph.* Zeitschrift für klinische Medicin, t. II, pp. 1-10.

GRÜTZNER. Breslauer ärztl. Zeitschr., 1879.

LANGENDORFF. Breslauer ärztl. Zeitschr., 1880.

MALBRANC. *Ueber halbseitige Herz-Contraction.* Deutsches Archiv für klinische Medicin, XX, pp. 439-464.

RIEGEL. Berliner klin. Wochenschrift, 1880, n° 35.

RIEGEL et LACHMANN. Deutsches Archiv für klinische Medicin, XXVII.

ROLLETT. *Art. Blutbewegung dans Handbuch der Physiologie de Hermann*, 1880, I Th., IV, Bd., pp. 188-194.

VON ZIEMSSSEN et GREGORIANZ. *Ueber die normalen Bewegungsvorgänge am Herzen der Catharina Serafin.* Deutsches Archiv für klinische Medicin, 1882, t. XXX, pp. 277-203.

AD. D'ESPINE. *Essai de cardiographie clinique.* Revue de médecine, 1882, pp. 1-39 et pp. 116-141.

S. DE JAGER. *Ueber die Saugkraft des Herzens.* Archiv für die ges. Physiologie, 1883, t. XXX, p. 491-510.

KLUG. *Untersuchungen über den Herzstoss und das Cardiogramm.* Archiv für Physiologie, 1883, pp. 391-404.

LEFÈVRE. *De l'aspiration propre du cœur.* Lyon, 1884, pp. 1-48.

S. TALMA. *Beitrag z. Kenntniss des Pulscs und des Herzstosses.* Archiv für die ges. Physiologie, 1885, t. XXXVII, pp. 607-617.

MAGINI. *La pression du sang dans les cavités du cœur étudiée au moyen d'un trocart spécial.* Archives italiennes de Biologie, 1887, t. VIII, pp. 125-130.

H. D. ROLLESTON. B. A. *Observations on the endocardial pressure curve.* The Journal of Physiology, Oct. 1887, VIII, p. 235-262, 1 fig. 1 pl.

EDGREN. *Cardiographische und sphygmographische Studien.* Centralblatt für Physiologie, 1887, n° 20, p. 437-490, 2 fig.

J. A. MACWILLIAM. *Fibrillar contraction of the heart.* The Journal of Physiology, 1887, VIII, 5 p. 296.

A. D. WALLER et E. WAYMOUTH REID. *On the action of the excised mammalian heart*. Roy. Soc. Philos. Trans. 1887.

M. LAFFONT. *Contributions à l'étude des excitations électriques du myocarde chez le chien*. Comptes Rendus, 1887, C. V. 22, p. 1092 et C. R. Soc. de Biologie, 26 nov. 1887, p. 711.

MARTIUS. *Graphische Untersuchungen über die Herzbewegung*. Sep.-Abdruck aus der Zeitschrift für klinische Medicin, 1888, XIII, p. 1-75, fig. 1-22.

§ I. — Historique.

Les mémorables travaux de Chauveau et Marey sur le rythme cardiaque, ceux de Marey sur la nature de la systole ventriculaire, ont depuis longtemps passé dans le domaine classique de la physiologie. Ces recherches cardiographiques sont à la fois les premières en date et les plus importantes : on peut dire qu'elles représentent encore aujourd'hui, sur ce sujet difficile, le dernier mot de la science. Aussi, le résumé historique qui va suivre leur sera en grande partie consacré. Je ne crois mieux pouvoir faire que de reproduire textuellement quelques passages empruntés à l'exposé fait, il y a peu d'années, par Marey, dans son livre magistral sur la circulation du sang. Je signalerai ensuite quelques autres travaux parus sur le même sujet et les différentes interprétations auxquelles ont donné lieu les graphiques de contraction ventriculaire.

“ Les noms de *systole* et de *diastole*, dit Marey ⁽¹⁾, expriment les alternatives de resserrement ou de relâchement des cavités du cœur ; ils méritent d'être conservés, car ils ne préjugent rien sur la nature des actes musculaires qui correspondent à ces mouvements. Depuis quelques années, en effet, la contraction musculaire est considérée comme un acte complexe formé par la fusion d'une série de petits mouvements élémentaires que l'on nomme secousses et qui concourent à former la contraction proprement dite, comme les ondes sonores concourent à la formation des sons. „

(1) *La circulation du sang*, p. 22 et suivantes.

“ Bien des raisons tendent à faire considérer chaque systole du cœur comme ne représentant qu'une *secousse* du muscle cardiaque ; de sorte que le mot de *contraction* serait impropre pour désigner l'acte par lequel les cavités du cœur se vident du sang qu'elles renferment. „

“ Le meilleur moyen d'étudier l'action d'un muscle est la myographie, qui traduit par une courbe alternativement ascendante et descendante les phases du raccourcissement d'un muscle, et de son retour à sa longueur primitive. Mais les procédés ordinaires de la myographie consistent à attacher à un levier inscripteur le tendon sectionné d'un muscle, de façon que les changements de longueur de ce muscle impriment au levier des mouvements susceptibles d'être inscrits. Pour le cœur, on doit recourir à une autre méthode qui consiste à inscrire les changements du diamètre transversal des muscles ; ceux-ci traduisent fidèlement les phases de l'action du cœur : sa fibre musculaire, en effet, ne peut diminuer de longueur qu'en se gonflant, ni s'allonger qu'en s'amincissant. „

“ On excise le cœur (d'une grenouille) et on le place dans un petit godet de cire modelé pour le contenir exactement et disposé sur une tablette de métal établie sur un support. Au-dessus du cœur est placé un levier horizontal de bois mince et léger ; ce levier, dont la base est métallique, porte un curseur auquel est appendu un petit bâtonnet de moelle de sureau ; on place ce bâtonnet sur la partie du cœur dont on veut explorer le mouvement. „

“ La plume qui termine le levier de ce myographe trace sur un cylindre tournant des courbes dont l'ascension correspond à la systole et la descente à la diastole du cœur. Sur toutes les espèces animales, le cœur, vide de sang et soumis à l'étude myographique, donne des courbes semblables „ dont les figures 1 et 2 montrent des spécimens obtenus chez le lapin.

“ Si ⁽¹⁾ nous laissons de côté ce qui a rapport au rythme du cœur et dépend de l'innervation de cet organe, pour ne

(1) *La circulation du sang*, p. 24.

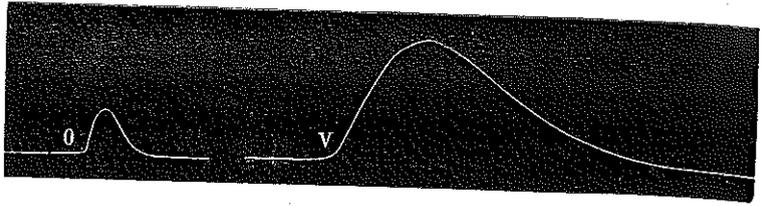


Fig. 1. Durées comparatives des systoles de l'oreillette O et du ventricule V sur un cœur de lapin. (D'après Marey. *La circulation du sang*, fig. 10, p. 23.)

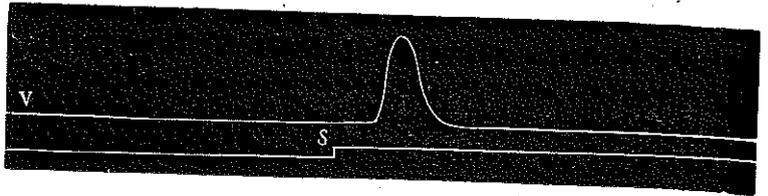


Fig. 2. Systole ventriculaire provoquée par une [excitation] électrique (en S) sur un cœur de lapin excisé qui avait cessé de battre. (D'après Marey. *La circulation du sang*, fig. 13, p. 28.)

considérer que la forme du mouvement cardiaque, nous y trouvons une ressemblance parfaite avec la *secousse* des autres muscles. „

“ La *forme* de la systole est celle d'une secousse musculaire : la période ascendante qui correspond au raccourcissement du muscle est plus brève que la période descendante, c'est-à-dire de retour du muscle à sa longueur primitive. „

“ La *fatigue* modifie dans le même sens la systole du cœur et la secousse d'un muscle : de part et d'autre, il y a diminution de l'amplitude et augmentation de la durée du mouvement. „

“ La *chaleur* et le *froid* impriment les mêmes caractères à la systole du cœur et à la secousse d'un muscle. La chaleur donne à ces mouvements de la brièveté et de l'énergie ; le froid les affaiblit et les allonge. „

“ Cette analogie entre la systole et une secousse musculaire ne saurait être infirmée par la différence de durée que présentent ces deux actes. Sur la grenouille, la secousse du cœur est, il est vrai, beaucoup plus longue que la secousse d'un

muscle volontaire : mais on sait que la durée d'une secousse musculaire varie sous l'influence d'un grand nombre de conditions : ainsi, en refroidissant les muscles d'une patte de grenouille, on en rend la secousse aussi longue et même plus longue que la systole du cœur. D'autre part, chez les différentes espèces animales, il y a des différences énormes dans la durée de la secousse musculaire : j'ai trouvé que les muscles pectoraux d'un oiseau agissent à peu près 75 fois plus vite que les muscles de la tortue. »

« La systole n'a pas la même durée dans les différentes parties du cœur ; l'oreillette accomplit la sienne beaucoup plus vite que le ventricule, ainsi qu'on le voit par la figure 1, recueillie sur le cœur détaché d'un lapin. »

Enfin Marey a cherché à contrôler ces vues sur la nature de la systole du cœur, en comparant les phénomènes électriques qui l'accompagnent, à ceux qui se produisent pendant la secousse d'un muscle, et il a trouvé dans cette comparaison un argument nouveau pour l'assimilation de la systole du cœur à une secousse musculaire simple. De part et d'autre l'oscillation électrique est simple, tandis que dans la contraction tétanique, il y a autant d'oscillations négatives que de secousses élémentaires. Je laisse de côté cette partie de l'argumentation de Marey ; j'aurai l'occasion d'y revenir au chapitre II, spécialement consacré à l'étude des phénomènes électriques de la systole ventriculaire ⁽¹⁾. Je passe immédiatement à l'explication donnée par Marey, de la contradiction, au moins apparente, qui existe entre la nature simple de la contraction ou secousse du muscle cardiaque, et la complexité du graphique de la pulsation du cœur.

« L'examen des tracés cardiographiques, dit Marey ⁽²⁾, montre que la pression du sang dans les différentes cavités du cœur passe par des phases très compliquées ; on est tout d'abord tenté de s'en étonner, quand on se rappelle l'extrême simplicité

⁽¹⁾ *Sur les phénomènes électriques de la systole ventriculaire chez le chien.* Bulletin de l'Académie royale de Belgique. Mai 1887.

⁽²⁾ *La circulation du sang*, pp. 93 et suiv.

de la courbe myographique du mouvement des oreillettes et des ventricules. Dans les tracés de la pression du sang dans le cœur, il n'y a plus rien de ces courbes arrondies que donnait le muscle cardiaque isolé et travaillant à vide. Les différences de forme que présentent les tracés, suivant qu'on les recueille sur un cœur vide ou sur un cœur plein, tiennent à ce que la présence du sang modifie beaucoup la nature des mouvements ventriculaires. D'une part, en effet, le ventricule subit un certain gonflement quand il reçoit du sang de l'oreillette; d'autre part, l'effort ventriculaire change à chaque instant, suivant les résistances qu'il rencontre pour pousser le sang dans les artères. „

“... Tout muscle proportionne son effort aux résistances qu'il doit surmonter; le cœur agit à cet égard comme tous les autres organes musculaires... Si la force musculaire de ses cavités développe des efforts incessamment variés, c'est que les résistances qu'il éprouve sont incessamment variables. On a vu que, placé sous le levier d'un myographe, le ventricule d'une grenouille donnait des courbes très simples à contours arrondis. En effet, la résistance que le muscle avait à vaincre était constante: c'était le poids du levier; il n'y avait donc, dans le mouvement, d'autres variations que celles qui tenaient aux phases de l'acte musculaire lui-même. Plaçons le même myographe sur le ventricule d'une grenouille vivante, nous obtiendrons une courbe d'un tout autre aspect, parce que ce ventricule agit sur du sang qu'il reçoit et expulse tour à tour, et que, d'une part, l'admission de ce sang se fait d'une manière saccadée, et d'autre part son expulsion rencontre des résistances irrégulières. L'expérience suivante fera bien ressortir la différence d'action du cœur, suivant qu'il est vide ou rempli de sang.,

“ Ne considérons, pour le moment, que ce qui se passe dans les ventricules de la grenouille, et pour bien mettre en évidence le rôle du sang, supprimons-en l'abord par une compression des gros troncs veineux en amont des oreillettes. Bientôt le cœur se sera vidé et il présentera la courbe myographique simple que nous connaissons déjà. (Voir fig. 3, ligne ponctuée.) Laissons maintenant rentrer le sang dans le cœur; aussitôt nous

verrons changer la forme des courbes. D'une part, la réplétion du ventricule se traduira par une courbe ascendante $r o$ qui se substituera à la pente descendante du relâchement musculaire; d'autre part, la fin de cette période présentera l'ondulation o qui dépend de la systole de l'oreillette et de l'arrivée d'une certaine quantité de sang dans le ventricule déjà rempli.,

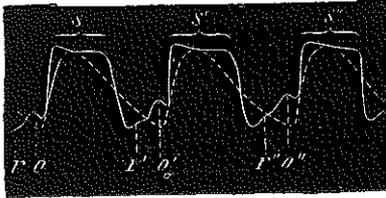


Fig. 3. Différence d'aspect des mouvements du cœur de la grenouille suivant qu'il est vide de sang (*ligne ponctuée*) ou que la circulation s'y effectue normalement (*ligne pleine*). S, durée de la systole; r, réplétion diastolique du ventricule; o, systole de l'oreillette.

“ La systole S du ventricule ne sera pas moins modifiée: nous y verrons la pression s'élever soudainement à un certain maximum, où elle restera sensiblement stationnaire jusqu'au retour de la phase de relâchement. Cette période de brusque élévation de la pression correspond au moment où les parois ventriculaires prennent leur point d'appui sur le sang qu'elles contiennent, et le compriment jusqu'à ce que le sang ait acquis une pression capable de soulever les valvules sigmoïdes et de pénétrer dans l'aorte. A ce moment, comme dans une chaudière à vapeur dont la soupape de sûreté se soulève, la pression cesse de monter dans le ventricule, et même, en général, la courbe s'abaisse du commencement à la fin de la période systolique, parce que le ventricule se vide et diminue considérablement de volume. Puis arrive le relâchement ventriculaire; la pression tombe brusquement et la réplétion recommence.,

“ Les effets de la présence du sang sur la forme du tracé ventriculaire sont très simples dans le cœur de la grenouille, où ce liquide se meut avec assez de lenteur, mais dans le cœur des

grands animaux le phénomène se complique, ainsi qu'on le verra par l'analyse d'un tracé recueilli sur le cheval.,

“ L'appareil ⁽¹⁾ qui a fourni ces tracés se compose de trois ampoules manométriques reliées chacune par un tube spécial à un tambour à levier.,

“ Les leviers qui écrivent les mouvements de l'oreillette (droite) et ceux du ventricule (droit) sont reliés chacun à l'une des deux ampoules de la sonde cardiaque; le levier qui inscrira le choc du cœur est relié à une ampoule manométrique spéciale.,

“ Après avoir placé l'ampoule manométrique destinée à recevoir le choc du cœur dans le quatrième espace intercostal, à l'intérieur d'une cavité pratiquée par le décollement des muscles intercostaux externe et interne, on introduit par la veine jugulaire externe la sonde cardiaque droite jusqu'à ce qu'elle cesse de pénétrer; on constate qu'elle est dans le cœur, en voyant les deux leviers qui lui correspondent animés de mouvements rythmés différents l'un de l'autre. Après s'être assuré que les trois plumes écrivent à la fois, on met en marche le mouvement d'horlogerie et l'on recueille les tracés suivants (fig. 4 et 5):

Le tracé ventriculaire (voir figure 4) présente d'abord un petit soulèvement correspondant à la systole de l'oreillette A, c'est-à-dire au moment où l'oreillette envoie son onnée dans le ventricule; puis en B commence la systole ventriculaire proprement dite, qui dure de B en C. L'ondulation qui se voit en C, correspond à la fin de la systole ventriculaire et au relâchement du ventricule: elle coïncide avec la fermeture des valvules sigmoïdes, qui, poussées par la pression du sang artériel, s'abaissent subitement, sont repoussées du côté du ventricule et y produisent une légère augmentation de pression. „

La figure 5 montre des tracés analogues, recueillis également chez le cheval par Chauveau et Marey, au moyen de trois ampoules exploratrices placées respectivement dans l'oreillette droite, dans le ventricule droit et dans le ventricule gauche.

(1) *La circulation du sang*, p. 86.

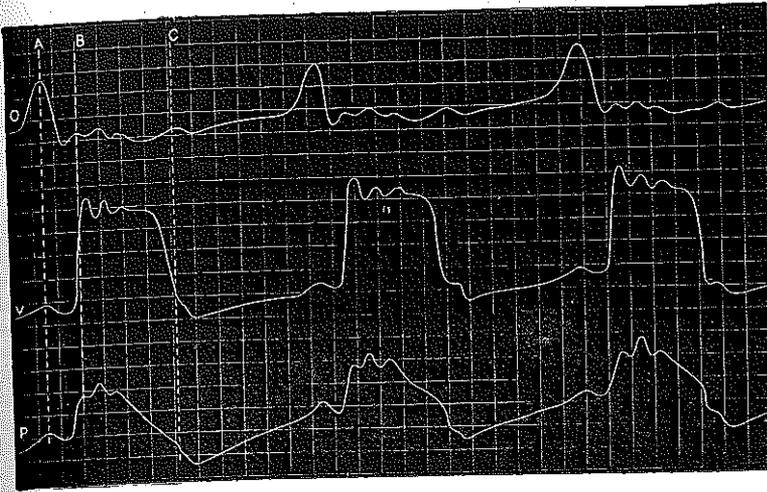


Fig. 4. Tracés des mouvements de l'oreillette droite O, du ventricule droit V et du choc du cœur P, recueillis chez un cheval.
 A, sommet de la systole auriculaire; de B en C, systole ventriculaire; C, ondulation de clôture des valvules sigmoïdes. (D'après Marey, *La circulation du sang*, fig. 33, p. 88)

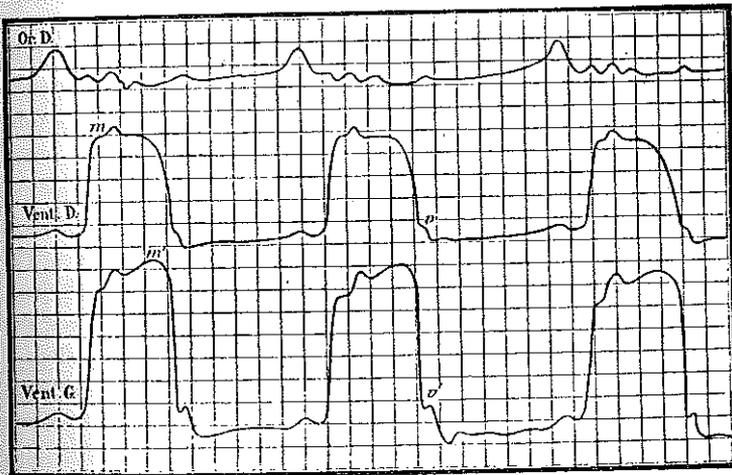


Fig. 5. Tracés simultanés de l'oreillette droite (Or. D.), du ventricule droit (Vent. D.) et du ventricule gauche (Vent. G.) recueillis sur le cheval. (D'après Chauveau et Marey. *Appareils et expériences cardiographiques*, p. 35, fig. 8, 1863.)

Quant aux " variations ondulatoires de la pression du sang dans le ventricule, dans l'oreillette et dans la pulsation du cœur droit, qui se produisent pendant la durée de la systole ventriculaire, „ elles sont " les retentissements des ondes de l'artère pulmonaire (1). „ Marey expliquait autrefois ces ondulations qui se voient sur les tracés cardiographiques, pendant la période d'état de la systole ventriculaire, par des vibrations des valvules auriculo-ventriculaires, refoulées d'une manière intermittente du côté de l'oreillette. Il a reconnu depuis que " ces vibrations (1) valvulaires ne peuvent être que passives ; elles sont nécessairement provoquées par des changements périodiques de la pression du sang dans le ventricule droit. Ces changements de pression ne tiennent évidemment pas aux phases propres du raccourcissement des parois ventriculaires ; les phases de ce mouvement nous sont connues par les expériences de myographie du cœur. C'est dans les ondes sanguines de l'artère pulmonaire qu'il faut chercher la cause des changements de pression dans le ventricule droit pendant la durée de la systole, c'est-à-dire pendant le temps où la cavité du ventricule droit communique largement avec celle de l'artère pulmonaire. „

" Cette cause étant admise, il est clair que, chaque fois qu'une onde rétrograde venant de l'artère pulmonaire retournera au cœur droit, l'élévation de pression se fera sentir à la fois dans le ventricule et dans l'oreillette. L'onde rétrograde aura deux effets : d'une part, elle refoulera les valvules auriculo-ventriculaires vers l'oreillette et y élèvera la pression ; d'autre part, elle accroîtra la dureté du ventricule lui-même, et retentira du côté de la pulsation du cœur droit par une élévation du tracé. „

" Tout changement dans la pression artérielle retentit sur la pression intra-ventriculaire, comme cela résulte des considérations précédemment émises sur les relations de l'effort ventriculaire avec la résistance qu'il doit vaincre. Comprimons l'aorte d'un animal, en même temps que nous recueillerons la pulsation du ventricule gauche ; nous verrons que l'élévation de la

(1) *La circulation du sang*, p. 247.

pression aortique en amont du point comprimé retentit instantanément jusqu'au cœur dont la pulsation devient plus forte ; cessons la compression, la pulsation du cœur retombe à sa force normale. Ouvrons l'aorte d'un animal et faisons tomber la pression dans ce vaisseau par une hémorrhagie foudroyante, aussitôt le cœur gauche cesse d'éprouver de la résistance à se vider et sa pulsation s'éteint presque entièrement. „

Marey admet donc que le tracé de la contraction du muscle ventriculaire, fonctionnant à vide, correspond à une secousse musculaire unique, c'est-à-dire représente une colline à un seul sommet. Or, le tracé cardiographique de la systole du ventricule montre, chez l'animal vivant, non une colline à un sommet, mais un plateau à trois ou quatre ondulations ou dentelures. Comme ces ondulations ne peuvent être attribuées à des vibrations des valvules auriculo-ventriculaires, Marey leur assigne une origine extra-ventriculaire. Ce sont pour lui, comme on l'a vu, des ondes artérielles, nées dans l'aorte et l'artère pulmonaire, et rétrogradant vers les ventricules. Il a réussi à reproduire le phénomène au moyen de son schéma de la circulation (1).

“ On dispose (2) le schéma de manière qu'il se produise dans l'aorte, après chaque systole, des ondes très nombreuses, ce qui s'obtient avec des impulsions brusques dans une aorte très extensible. On recueille alors le tracé de la pulsation ventriculaire et de la pulsation aortique. Les vibrations multiples du tracé aortique (5 pour chaque pulsation) retentissent dans le tracé ventriculaire pendant la période systolique : on en compte $2\frac{1}{2}$. „

“ Supprimons maintenant les ondes de l'aorte en comprimant ce tube au-dessous du point où l'on y explore la pulsation; aussitôt apparaît le double tracé P A, montrant que le pouls aortique a perdu ses ondes, et P V, que la pulsation du cœur les a perdues également. „

(1) La courbe de secousse simple du muscle cardiaque (fig. 1 et 2) a été prise comme base de la construction du schéma de la circulation de Marey.

(2) *La circulation du sang*, p. 245.

“ La vitesse ⁽¹⁾ de pénétration du sang est la cause productrice des ondes; or, comme le sang pénètre d'autant plus vite dans les vaisseaux qu'il y trouve moins de résistance, il s'ensuit qu'en faisant baisser la tension artérielle on se trouve dans des conditions favorables à la formation des ondes et, par conséquent, que la pulsation du cœur présentera à son sommet les ondulations multiples dont nous venons de parler. ”

“ Il y a plusieurs moyens assurés de faire baisser la tension artérielle: l'un est de faire courir le sujet pendant quelques minutes; un autre consiste à lui faire faire, la glotte étant fermée, un effort soutenu pendant dix à quinze secondes. Après la course, comme après l'effort, la circulation est dans les conditions requises pour la production d'ondes aortiques. Le sommet de la pulsation du cœur porte la trace de ces ondes. ”

“ Dans la circulation calme, lorsque l'ondée ventriculaire pénètre avec lenteur dans les artères, on n'observe pas ces vibrations du sommet de la pulsation du cœur. Ainsi, dans la figure 6, le sommet de la pulsation présente une forme qui correspond à des ondes beaucoup moins amples que dans les exemples que nous venons de mentionner ci-dessus. Les systoles ventriculaires produisent dans une aorte très tendue des ondes assez fréquentes, mais de faible amplitude; on en peut juger par la forme du tracé ventriculaire dans la circulation calme. ”

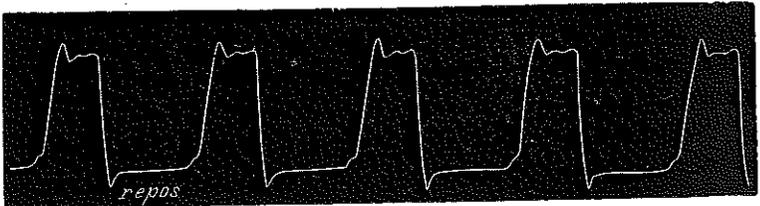


Fig. 6. Tracé cardiographique recueilli chez l'homme. Circulation calme du matin; le sommet de la pulsation du cœur a des ondes de faible amplitude. (D'après Marey. *La circulation du sang*, p. 231, fig. 136.)

Le tracé de la figure 6 a été pris chez l'homme, au moyen d'une capsule à air, recueillant le choc du cœur à l'extérieur de

(1) *La circulation du sang*, p. 249.

la poitrine, au niveau du 5^e espace intercostal, et le transmettant à un tambour à levier. On y distingue, comme sur les tracés cardiographiques du cheval, une ondulation faible, correspondant à la systole auriculaire, et précédant immédiatement le graphique de la systole ventriculaire. Celui-ci débute par une brusque ascension, puis montre un plateau à trois ondulations, se termine par une ligne de descente également raide. L'ondulation de clôture des valvules sigmoïdes n'y est pas visible.

Il faut, pour obtenir des tracés de ce genre, appliquer la capsule à air (explorateur à coquille de Marey, explorateur à tambour du même) au niveau précis du point de contact des ventricules avec les parois de la poitrine. C'est le seul endroit qui subisse un ébranlement excentrique au moment de la systole. Tout à côté, les parois thoraciques sont, au contraire, déprimées; elles tendent à venir combler le vide qui se produit sur les côtés du cœur, par le fait de son changement de forme (diminution du diamètre transversal) et de sa diminution de volume, au moment de la pénétration de l'ondée sanguine dans l'aorte et dans l'artère pulmonaire. Le cardiographe, mal placé, pourra donc fournir un tracé présentant des pulsations négatives. Il suffit parfois d'un changement d'attitude du corps pour transformer un tracé de pulsation positive en pulsation négative. La figure 7, empruntée à Marey, nous en montre un tel exemple.

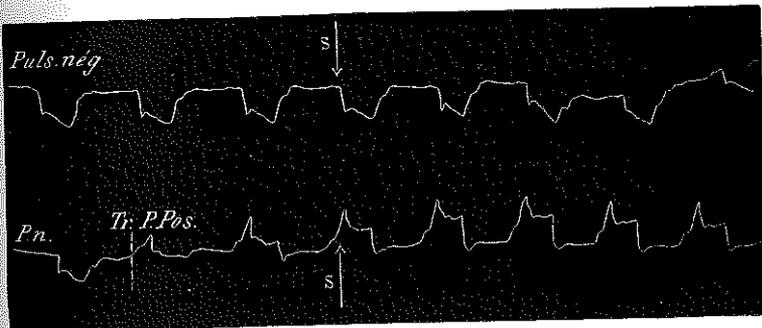


Fig. 7. Tracé de la pulsation du cœur de l'homme pris au moyen du cardiographe. La pulsation est négative à la première ligne. A la seconde, elle devient positive au point marqué Tr., par un changement de position du corps. (D'après Marey. *La circulation du sang*, p. 134, fig. 70.)

Les physiologistes de tous les pays se sont ralliés à l'opinion émise par Marey sur la nature simple de la systole ventriculaire et sur son assimilation à une secousse musculaire unique.

Son explication des ondulations du plateau de la systole ventriculaire a rencontré également, du moins en France, une adhésion à peu près unanime. Je n'analyserai pas les travaux français dans lesquels les conclusions de Marey sont formellement ou tacitement adoptées. Je me borne à reproduire ici un graphique de pulsation cardiaque, obtenu chez une femme atteinte d'ectopie du cœur. Ce tracé a été recueilli par François Franck, et rappelle entièrement les tracés du cœur du cheval, empruntés aux travaux de Chauveau et Marey.

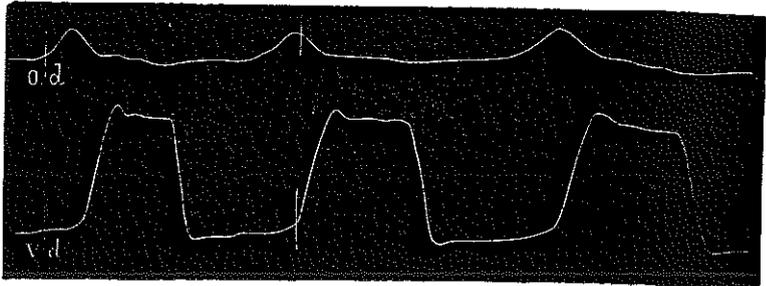


Fig. 8. Tracés de l'oreillette droite *Od* et du ventricule droit *Vd*, recueillis chez une femme atteinte d'ectopie du cœur. (D'après François Franck, *Trav. lab de Marey*, 1877, III, p. 347, fig. 14.)

Edgren a récemment (décembre 1887) publié dans le *Centralblatt für Physiologie* des tracés cardiographiques très semblables à ceux de Marey et Chauveau. Edgren enregistre le choc du cœur au moyen d'un cardiographe appliqué chez l'homme à l'extérieur de la poitrine et relié à un tambour à levier de Marey. Il ausculte en même temps les bruits du cœur et inscrit au moyen d'un signal électrique, sur le même cylindre enregistreur, les moments précis où il entend les deux bruits du cœur. La figure 9 reproduit un des tracés d'Edgren. On y voit que le début du premier bruit coïncide avec le début de l'ascension du tracé cardiographique ; les deux phénomènes

correspondent au début de la systole ventriculaire. Le second bruit correspond, d'après Edgren, à la fin de la période de descente du tracé cardiographique : la petite ondulation *f* qui se voit sur la portion descendante du tracé cardiographique coïncide donc avec la fermeture des valvules sigmoïdes artérielles, et marque la fin de la systole ventriculaire. Quant aux ondulations *c d e* qui se voient sur la partie élevée du tracé de la systole ventriculaire, et qui se retrouvent plus ou moins sur le tracé sphygmographique, voici en quels termes Edgren les interprète :

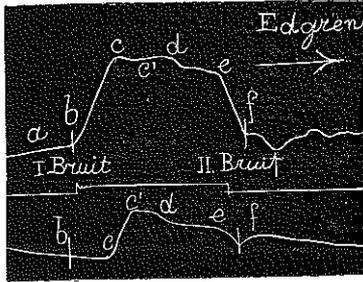


Fig. 9. Tracé du choc du cœur (1^{re} ligne); signaux indiquant les 2 bruits du cœur (2^e ligne); tracé de la carotide (3^e ligne).
a b, systole de l'oreillette ; *b c d e*, systole du ventricule; *e f*, relâchement du ventricule. (D'après Edgren.)

Lorsque le ventricule se contracte, la pression sanguine augmente à son intérieur, jusqu'à ce qu'elle soit capable de vaincre la pression qui pèse sur les valvules aortiques. A ce moment, la masse sanguine est projetée hors du cœur (*c*). Il en résulte une augmentation de la tension de la paroi artérielle, de sorte que le nouvel équilibre est seulement atteint au point *c'*. Sur le cardiogramme, *c'* représente un changement de direction du tracé, la descente de la ligne cessant, ou tout au moins diminuant. Si l'afflux ventriculaire compense exactement le débit par les vaisseaux périphériques, il en résulte que le plateau *c'd* du tracé aortique est horizontal. Cette portion *c'd* est légèrement décline, si le débit dépasse l'afflux.

Le ventricule s'est enfin vidé, mais le débit artériel continue, d'où la descente brusque de la courbe artérielle en *d*; par suite de l'élasticité des vaisseaux, l'équilibre est de nouveau promptement atteint, d'où l'inscription du second plateau artériel de *d* en *e*.

La contraction ventriculaire cesse en *e*; une petite quantité de sang reflue vers le cœur : c'est l'origine de la seconde descente de la courbe artérielle au point *e*. Ce reflux du sang a pour effet de fermer brusquement les valvules semilunaires (*f*). Il en résulte un arrêt du mouvement de rétrogradation du sang et une seconde élévation de la courbe artérielle.

Comme on le voit, l'interprétation donnée par Edgren aux tracés cardiographiques et sphygmographiques est très voisine de celle de Marey. Il n'y a guère que l'idée, purement hypothétique d'ailleurs, d'après laquelle, l'afflux ventriculaire cesserait en *d*, tandis que le muscle ventriculaire resterait encore contracté de *d* en *e*, qui appartienne en propre à Edgren.

Quant à la coïncidence des bruits du cœur avec le début et la fin de l'inscription du tracé de la systole ventriculaire, Donders et Marey avaient employé un procédé d'inscription analogue à celui d'Edgren. La figure 55, p. 127, de la *Circulation du sang*, de Marey montre un tracé de la pression ventriculaire d'un cheval recueilli en même temps que les signaux du premier et du second bruit du cœur. Il y a concordance complète avec les tracés d'Edgren.

Au contraire Landois, et après lui plusieurs cliniciens allemands, tout en adoptant les idées de Marey sur la nature simple de la contraction ventriculaire, expliquent autrement les ondulations du tracé cardiographique.

Les figures que Landois donne du choc du cœur, inscrit chez l'homme et chez le chien au moyen du cardiographe appliqué à l'extérieur de la poitrine, ne s'éloignent pas trop de celles de Marey (voir fig. 10). On y voit également une ondulation légère *a b*, correspondant à la systole auriculaire, une ascension brusque *b c*, marquant le début de la systole ventriculaire, puis un plateau systolique *c d e* à trois ondulations, enfin une descente rapide *e f*.

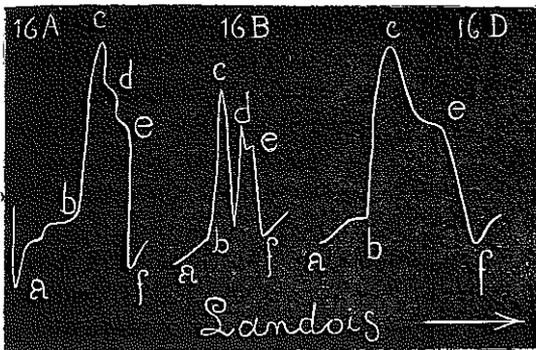


Fig 10. Graphiques du choc du cœur, d'après Landois. A et D, homme ; B, chien. Les figures A et B ont été agrandies. Sur la figure D, on a supprimé les vibrations propres de la plaque de l'appareil enregistreur.

L'interprétation est totalement différente de celle de Marey :

La première des trois ondulations du plateau systolique *c* correspond seule, pour Landois, à la contraction des ventricules. La seconde, *d*, est due à la fermeture des valvules sigmoïdes de l'aorte; la troisième, *e*, à la fermeture des valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire. Landois admet que les valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire se ferment 0,05 à 0,09 de seconde plus tôt que celles de l'aorte.

Voici le principal argument sur lequel Landois se base pour justifier cette interprétation du tracé cardiographique: tous les physiologistes sont d'accord pour admettre que le second bruit du cœur doit être attribué à la fermeture brusque des valvules sigmoïdes artérielles et qu'il marque par conséquent la fin de la systole ventriculaire. Or, Landois entend le second bruit pendant que s'inscrit la portion *d e* du tracé ventriculaire; en outre, dans les cas de dédoublement du second bruit, l'un, celui qui correspond à la clôture des sigmoïdes aortiques, s'entendrait au point *d* du tracé cardiographique; l'autre, celui qui naît à l'origine de l'artère pulmonaire, coïnciderait avec l'inscription de la portion *e* du graphique. Il est d'ailleurs rationnel d'admettre que les valvules de l'aorte se referment plus vite que celles de l'artère pulmonaire, puisque la pression aortique est bien plus

forte que celle de l'artère pulmonaire. Ce dédoublement du second bruit du cœur avait d'ailleurs été observé par Potain (1), dès 1866, chez $\frac{1}{5}$ environ des sujets examinés.

Les tracés cardiographiques recueillis chez un grand nombre de patients atteints de maladies du cœur sont également invoqués par Landois et par plusieurs cliniciens, à l'appui de la fermeture prématurée de l'orifice aortique.

Martius employant comme Marey, un signal à transmission par l'air pour enregistrer le moment précis où s'entend le second bruit du cœur, a encore renchéri sur le désaccord qui existe entre Marey et Landois, au sujet de la coïncidence de ce second bruit. Martius entend le second bruit, non à partir du sommet *d* du tracé cardiographique, mais au moment où s'inscrit le creux qui précède *d* et qui sépare *c* et *d*.

Dans la théorie de Landois, la portion *b c* du tracé ventriculaire correspond seule à la contraction active du muscle ventriculaire, qui commence à se relâcher à partir de *c*. Il suffit de jeter les yeux sur les courbes de pression intra-ventriculaire publiées par Marey, pour reconnaître le peu de vraisemblance de la théorie de Landois: ces courbes nous montrent que la pression intra-ventriculaire se maintient à un niveau très élevé depuis le point *c* jusqu'au point *e*, et que le relâchement du muscle cardiaque, c'est-à-dire la chute de pression, tant dans le ventricule droit que dans le ventricule gauche, commence non en *c*, comme le veut Landois, mais seulement en *e*.

D'ailleurs, si l'on met en regard un tracé sphygmographique et un tracé cardiographique (tous deux empruntés à Landois et représentant pour lui des moyennes ou des types), comme je l'ai fait dans la figure 11, en tenant compte du retard du premier sur le second (retard de 5 vibrations de 0".01613 d'après Landois), on constate que le prétendu relâchement du muscle cardiaque qui est censé commencer en *c*, correspond au début de l'entrée de l'ondée ventriculaire dans le système artériel, c'est-à-dire que le cœur effectue la plus grande partie de son

(1) POTAIN. Union Médicale, 1866.

travail utile précisément dans la phase de relâchement du muscle cardiaque.

Une autre conséquence de la fermeture prématurée de l'orifice aortique, c'est que le temps pendant lequel l'aorte communique avec le ventricule gauche, c'est-à-dire le temps que ce ventricule emploie à lancer son onnée sanguine dans l'aorte, doit être fort court; ce temps est évalué par Landois à 8 ou 9 centièmes de seconde chez l'homme.

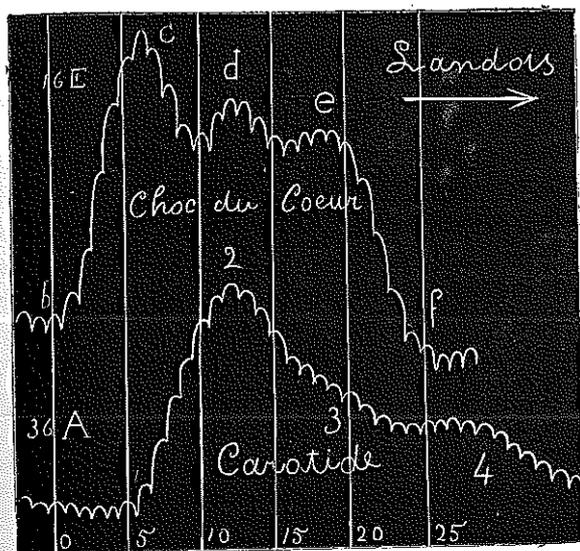


Fig. 11. Graphiques de choc du cœur et du pouls carotidien, d'après deux tracés de Landois fortement agrandis, pour faciliter la comparaison. Chaque dentelure correspond à 0,01613 de seconde (les tracés sont recueillis sur une plaque vibrante). Choc du cœur: *bc*, contraction des ventricules; *d*, fermeture des valvules aortiques; *e*, fermeture des valvules de l'artère pulmonaire. Pouls carotidien: 1-2-3, pulsation principale; 4, pulsation dicrote.

Ces invraisemblances ne paraissent pas avoir frappé Maurer, Ott et Haas, von Ziemssen, Gregorianz, Malbranc, etc., qui ont adopté l'interprétation de Landois, et l'ont prise comme point de départ de leurs recherches de cardiographie clinique.

La description que Maurer donne du tracé cardiographique de l'homme est identiquement celle de Landois. Des trois élévations *c*, *d*, *e*, Maurer considère également la première comme correspondant seule à la contraction systolique proprement dite du ventricule; à partir du sommet de *c*, commence la phase diastolique, pendant laquelle s'inscrivent les deux ondulations *d* et *e*, dues respectivement à la fermeture des sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire. Maurer affirme que le premier bruit du cœur (contraction des ventricules et fermeture des valvules auriculo-ventriculaires) correspond à l'inscription de la ligne ascendante du graphique *bc*, et que le second bruit s'entend exactement au moment de l'inscription de *d* (fermeture des valvules sigmoïdes de l'aorte).

Maurer admet, avec Landois, que la fermeture des valvules pulmonaires retarde de 0".092 sur celles des valvules aortiques. Cependant le second bruit est généralement unique. Cela provient, dit Maurer, de ce que notre oreille confond deux sons successifs, lorsque l'intervalle de temps qui les sépare est moindre que 0".1.

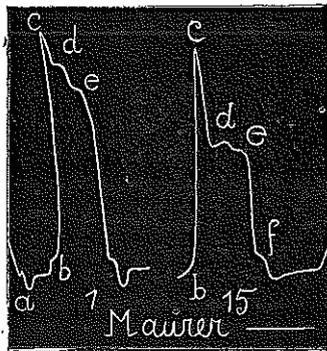


Fig. 12. Tracés du choc du cœur. (D'après Maurer. *Deutsches Archiv f. klin. Medic.*, XXIV, 4879; fig. 4, p. 293, et fig. 15, p. 309.)

Pour la fig. 15, Maurer donne les durées suivantes :

$ab = 0''.338$	$de = 0''.092$
$bc = 0''.098$	$ef = 0''.069$
$cd = 0''.078$	$af = 0''.677$

Dans un cas pathologique où le second bruit était dédoublé, les ondulations *d* et *e* étaient séparées par un intervalle correspondant à 0".156. L'auscultation, pratiquée en même temps que l'inscription cardiographique, montra que chacun des sons dont se composait le second bruit dédoublé, correspondait, très exactement, le premier à l'ondulation *d*, le second à l'ondulation *e*.

Parmi les tracés publiés par Gelabin, Ott et Haas, von Ziemssen et Gregorianz, etc., on en trouve un grand nombre qui reproduisent presque exactement ceux de Marey, François Franck, Landois, Maurer, que j'ai donnés dans le présent

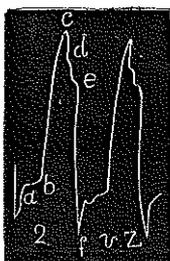


Fig. 13. Tracé du choc du cœur (agrandi), recueilli par v. Ziemssen, chez une femme dont le cœur était directement accessible (Catharina Serafin).

ab, systole auriculaire; *bc*, systole ventriculaire; *d*, fermeture des sigmoïdes de l'aorte; *e*, fermeture des sigmoïdes de l'artère pulmonaire. (*Deutsches Archiv f. klin. Medic.*, XXX, 1882, p. 278, fig. 2.)

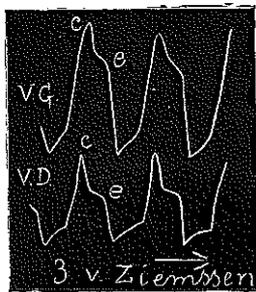


Fig. 14. Tracés du ventricule gauche, V. G., et du ventricule droit, V. D., recueillis chez Catharina Serafin.

ce, plateau systolique du cardiogramme.

travail. Ceux de von Ziemssen présentent un intérêt spécial, parce qu'ils ont été recueillis sur une femme dont le cœur était directement accessible à l'exploration. Cette femme avait subi la résection de la paroi thoracique antérieure au niveau du cœur, qui n'était plus recouvert que par la peau. Les figures 13, 14 et 15 reproduisent trois des graphiques publiés par von Ziemssen.

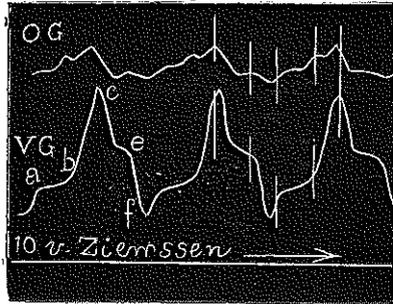


Fig. 13. Tracés de l'oreillette gauche OG, et du ventricule gauche VG, recueillis chez Catharina Serafin.

ab, systole auriculaire; *bc*, systole ventriculaire; *cc*, plateau systolique.

Baxt a pris ses tracés cardiographiques par un procédé spécial. Il ouvre la poitrine par une incision médiane (chez le chien curarisé) et divise le péricarde. Une tige verticale de bois de sapin, passant sans frottement à travers un tube de verre également vertical, repose, par son extrémité inférieure, sur le cœur, au niveau du sillon inter-ventriculaire. A chaque systole, la tige est soulevée : elle retombe pendant la diastole. Les mouvements de la surface des ventricules s'inscrivent, par l'intermédiaire de cette tige, sur le papier de l'appareil enre-

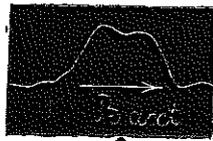


Fig. 16. Tracé du choc du cœur recueilli chez le chien. (D'après Baxt, *Archiv für Physiologie*, 1878, p. 423, fig. 4.)

gistrateur. La figure 16 reproduit un tracé cardiographique obtenu de cette façon.

Baxt affirme que le début de la pulsation carotidienne coïncide avec le début de la systole ventriculaire. On n'y constaterait pas le retard signalé par Marey, et admis par la plupart des physiologistes (1). En outre, la contraction du ventricule se prolongerait quelque temps après la production de l'onde artérielle, correspondant à la pénétration du sang dans l'aorte.

Baxt a constaté que la durée de la systole ventriculaire diminue par le fait de l'excitation des nerfs accélérateurs du cœur.

Klug trouve, comme Marey, que le ventricule de grenouille, quand il est vide de sang, donne un tracé rappelant la courbe myographique de la secousse simple. Le cœur, rempli de sang et fonctionnant normalement, fournit un cardiogramme très différent du précédent : le plateau systolique présente deux saillies principales, correspondant, l'une au commencement, l'autre à la fin de la systole. On observe parfois, entre ces deux saillies, une ou deux ondulations supplémentaires. Ces dernières ondulations sont surtout marquées lorsque la systole cardiaque doit surmonter une résistance considérable ; elles sont l'indice d'une contraction énergique des ventricules.

Klug retrouve la même forme de tracé cardiographique chez le lapin : il admet que les cardiogrammes des mammifères correspondent exactement à ceux de la grenouille ; et comme, chez la grenouille, la destruction des valvules semi-lunaires ne modifie nullement le tracé cardiographique, il en conclut que toutes les théories qui attribuent les ondulations des cardiogrammes à la fermeture ou aux vibrations des valvules, sont inexactes.

Pour Klug, le tracé cardiographique du lapin et de la grenouille a la signification suivante : la portion ascendante de la

(1) Voir : LÉON FREDERICQ. *Exploration des battements du cœur par la sonde œsophagienne*. Archives de biologie, VII, p. 231, et *Travaux du laboratoire*, I, p. 83, 1886.

courbe *bc*, et la première ondulation *c* du plateau systolique, correspondent à l'augmentation de diamètre du muscle cardiaque se contractant; puis le ventricule verse son contenu dans les gros troncs artériels pendant l'inscription de *cd*. La pointe du cœur se soulève ensuite par un dernier effort du muscle cardiaque, et trace l'élévation terminale *e* du plateau systolique. Enfin la diastole commence et amène la chute *ef* de la courbe. Quant à l'ondulation *d* (une ou deux ondulations) que l'on observe parfois entre *c* et *e*, elle marque également, d'après Klug, un effort plus considérable du cœur. Elle se montre surtout quand les résistances sont augmentées.

J'ai traduit ici presque littéralement le paragraphe final qui résume le travail de Klug. Il rejette les théories de Marey et de Landois; mais ce qu'il donne comme une explication nouvelle du tracé cardiographique, me paraît n'être qu'une simple description de ce tracé, description mise en parallèle avec les changements de forme du cœur pendant la pulsation.

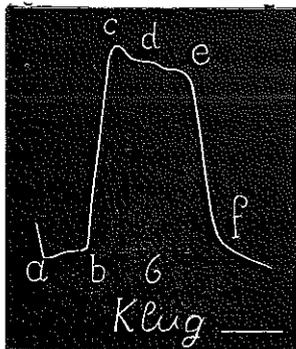


Fig. 17. Tracé du choc du cœur recueilli chez le lapin (agrandi), d'après Klug.

Rosenstein décrit quatre ondulations dans le tracé cardiographique recueilli chez l'homme ou chez le chien (voir fig. 18). Les deux premiers sommets *c* et *d* correspondraient à la contraction ventriculaire proprement dite. Cette contraction se ferait en deux saccades. Rosenstein ne dit pas s'il entend par là que, parmi les fibres musculaires du cœur, les unes se contractent avant les autres. Ce serait la seule explication com-

patible avec la théorie de la secousse simple, théorie classique depuis les travaux de Marey, et que Rosenstein ne combat pas formellement (non plus que Klug d'ailleurs). Rosenstein fait observer que Traube avait déjà mis en avant l'idée que le cœur n'exécute pas sa contraction en une fois.

Comme les saccades de la contraction ventriculaire retentissent dans le tracé sphygmographique des artères, elles donnent naissance aux ondulations qui précèdent le dicrotisme, ondulations dont, jusqu'à présent, on n'avait pu donner d'explication satisfaisante.

Quant aux deux dernières ondulations *e*, elles seraient dues, comme dans l'interprétation de Landois, la première à la fermeture des valvules sigmoïdes de l'aorte, la seconde à celle des valvules de l'artère pulmonaire. Ces deux dernières ondulations se confondent parfois en une seule (n° 7*e*, fig. 18).

Chez un chien dont le cardiogramme présentait cette dernière particularité, Rosenstein lia l'aorte et l'artère pulmonaire à leur origine, de manière à empêcher le jeu des sigmoïdes; il n'observa plus que deux ondulations du tracé cardiographique, et considéra ce résultat comme la preuve expérimentale du bien-fondé de son explication.

Rosenstein invoque également un certain nombre de cas

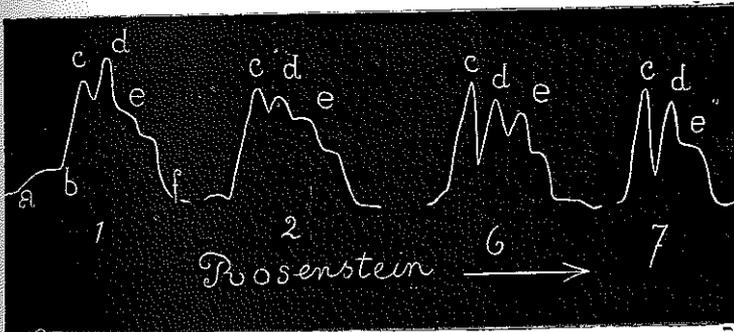


Fig. 18. Tracés (agrandis) du choc du cœur, d'après Rosenstein : 1, 2, homme ; 6, 7, chien.

ab, systole auriculaire ; *bcd*, systole ventriculaire ; *e*, les deux ondulations correspondant la première à la clôture des sigmoïdes de l'aorte, la seconde à la clôture des valvules de l'artère pulmonaire. (*Deutsches Archiv f. klin. Medic.*, Bd. XXIII, 1879, fig. 1 et 2, p. 84 ; fig. 6 et 7, p. 87.)

pathologiques, dans lesquels les lésions cardiaques ou valvulaires avaient produit des altérations du tracé cardiographique, concordant avec son interprétation.

D'Espine, dans un travail récent, émet, sur la nature de la systole, des idées analogues à celles de Rosenstein, comme on en jugera par le passage suivant :

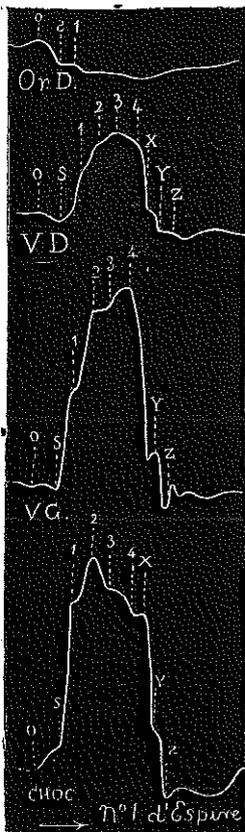


Fig. 19 Tracés cardiographiques du cheval (oreillette droite, ventricule droit, ventricule gauche, choc du cœur). (D'après Ad. d'Espine. *Essai de cardiographie clinique*, fig. 1, p. 6.)

“ Deux faits principaux, dit-il, ressortent de l'étude des tracés cardiographiques chez le cheval; ce sont : 1° la contraction en plusieurs temps des ventricules; 2° le synchronisme de la contraction dans les deux cœurs. ”

“ La figure 19, empruntée à la collection de Chauveau, montre bien ces deux phénomènes; en même temps, le tracé du choc, ayant été recueilli d'une façon très parfaite à l'aide de l'ampoule intercostale, nous permettra d'interpréter d'une façon rationnelle le cardiogramme de l'homme. ”

“ Le tracé du ventricule gauche dans la figure 19 porte la trace de trois efforts successifs, qui vont *crescendo* jusqu'au début de la diastole. En comparant ce tracé à celui du pouls aortique pris simultanément (voir la figure 9 du mémoire classique de Chauveau et Marey. *Expériences cardiographiques*, etc. Paris 1863), on voit que les deux premiers efforts (1 et 2) précèdent la pénétration du sang dans l'aorte; ils représentent la contraction nécessaire pour soulever les valvules sigmoïdes maintenues fermées par la tension artérielle moyenne, et pour lancer le sang dans le réservoir aortique; la distance de s

à 2 exprime donc le *retard du pouls aortique* sur le début de la systole, fait fondamental sur lequel ces deux auteurs ont déjà insisté. Les valvules mitrales sont relevées dès le début de cette première période, et sont tendues à leur maximum au moment où le sang pénètre dans l'aorte, de façon à empêcher une fuite vers l'oreillette et à forcer le sang dans le système artériel. C'est donc la partie du tracé qui correspond à la production du premier bruit; pour rappeler ce phénomène, nous appellerons cette première pulsation du cœur *pulsation mitrale*. En 2 la contraction du cœur subit un léger temps d'arrêt, dû à la déplétion ventriculaire et à la résistance vaincue. Il est évident que, si l'orifice aortique était toujours béant et rigide, il n'y aurait pas de saccade, et que la contraction du ventricule se ferait *uno tenore* jusqu'à la fin. La preuve nous en sera donnée plus loin par le tracé du choc dans le rétrécissement aortique chez l'homme (fig. 27). „

“ Mais à mesure que le sang pénètre dans l'aorte, la *résistance augmente*, puisqu'elle ne peut s'échapper aussi vite par les canaux de plus en plus étroits qui forment l'arbre artériel; d'où, de 3 en 4, seconde pulsation du cœur, plus prolongée et plus énergique, que nous appellerons *aortique*, puisqu'il y a large communication pendant tout ce temps entre le ventricule et l'aorte, pulsation dont la forme allongée en dos-d'âne est l'expression de la résistance toujours croissante que l'onde éprouve à la périphérie. Tandis que la forme de la première dépend surtout de la résistance intraventriculaire, celle de la seconde dépend surtout des résistances périphériques. „

“ Une fois l'onde arrivée aux capillaires, le but est atteint, la contraction ventriculaire tombe très rapidement après avoir formé son sommet en 4, et l'élasticité artérielle que la force toujours croissante du ventricule avait réduite au silence, reprend ses droits brusquement et se fait sentir sur les tracés par une série d'ondes en retour, dont les plus importantes correspondent au moment de la fermeture des valvules sigmoïdes (XY). „

“ Immédiatement après, la ligne tombe presque perpendi-

culairement et atteint son point le plus bas en Z; c'est la partie du tracé qui correspond à ce que Marey appelle la vacuité post-systolique. „

“ Les trois temps de la contraction ventriculaire se retrouvent dans la plupart des tracés de M. Chauveau, qui nous y a rendu attentif et nous a donné aussi la confirmation de la systole en plusieurs temps, admise par nous d'après un cardiogramme de néphrite chez l'homme. „

§ II. — *Inscription du choc du cœur et forme du tracé cardiographique.*

L'inscription du tracé cardiographique peut se faire au moyen d'instruments divers, appliqués à l'extérieur ou à l'intérieur du cœur, sans qu'il en résulte des modifications notables de la courbe cardiographique. Cette courbe représente avant tout les variations de pression à l'intérieur du cœur, ou, ce qui revient à-peu près au même, les variations de consistance de la paroi musculaire du cœur pendant la systole.

On distingue dans le tracé du ventricule une ascension brusque, un plateau systolique présentant trois ou quatre ondulations, et une ligne de descente inclinée, interrompue vers son milieu ou sa fin par une dernière inflexion.

Le chien, fixé sur le dos dans la gouttière d'opération, se prête assez mal à l'inscription du choc du cœur à l'extérieur de la poitrine. Il est probable que, dans cette attitude, le cœur tend, en vertu de son poids, à s'éloigner de la paroi thoracique, et qu'une lame de poumon vient s'interposer entre le cœur et cette paroi. Ce mouvement du cœur est sans doute rendu possible par le peu de résistance des feuilletts résultant de l'accolement du péricarde aux plèvres, et par la laxité des attaches sternales du sac péricardique.

Mais j'obtiens de fort beaux tracés cardiographiques en couchant l'animal sur le ventre; ou, plus exactement, en l'inclinant sur le côté gauche, et en appliquant à la main l'explorateur à coquille ou le cardiographe de Marey, sur la paroi thoracique gauche, de manière que le bouton de l'instrument corresponde à l'endroit où se perçoit à la palpation le maximum d'ébranlement, lors de la pulsation cardiaque. Il est tout à

fait superflu ici de faire usage de la gouttière d'opération, ou d'attacher l'animal. Il suffit de le coucher sur une table ordinaire, et de l'y maintenir, plutôt par des caresses que par la force. L'application du cardiographe ne lui cause d'ailleurs aucune gêne.

Le cardiographe maintenu, soit à la main, soit par une ceinture élastique, est relié à un tambour à levier très sensible, écrivant sur le papier enfumé du cylindre enregistreur. Le modèle de tambour à levier, construit par Rothe de Prague, sur les indications de Knoll, convient particulièrement. Outre sa grande sensibilité, il permet d'éloigner ou de rapprocher la pointe du style écrivant de la surface réceptrice enfumée, par le moyen d'une vis de réglage.

La vis de réglage déplace tout le tambour à levier, par rapport au statif qui le porte. Elle agit sur une lame élastique d'acier qui supporte le tambour à levier, et le relie à l'anneau qui le fixe dans la tige du statif.

A. René de Nancy a récemment ⁽¹⁾ décrit dans les *Comptes rendus* de la Société de Biologie une modification du tambour à levier de Marey, destinée pareillement à éloigner, par une vis de réglage, la plume de la surface noircie, ou à l'en rapprocher.

Le graphique est recueilli sur le papier enfumé du cylindre enregistreur, en même temps qu'un tracé de l'horloge à secondes (fig. 21 et 22), ou de tout autre inscripteur du temps (signal électrique et diapason interrupteur de 100 vibrations doubles à la seconde, par exemple), et, s'il y a lieu, d'un tracé de pression intra-cardiaque recueilli au moyen d'une sonde introduite par la jugulaire.

Dans toutes ces expériences d'inscription multiple, il est essentiel d'établir le synchronisme exact des inflexions des différentes courbes. Après chaque tour de mon cylindre enregistreur, je suspends pendant quelques instants l'expérience pour prendre des repères. A cet effet, je détache les tubes de

⁽¹⁾ *Modification au tambour à levier de Marey ; tambour à levier rectifiable.* C. R. de la Soc. de Biologie, p. 179, séance du 26 mars 1887.

caoutchouc des appareils explorateurs, mais je les laisse en rapport avec les tambours inscripteurs, en évitant soigneusement le moindre dérangement des plumes. Je fais ensuite lentement tourner le cylindre enregistreur à la main, de manière à faire repasser les plumes sur la portion du papier enfumé sur lesquelles elles viennent de tracer les courbes. J'arrête le cylindre au début et à la fin de chaque pulsation ou ondulation, et en général, à toutes les portions du graphique présentant quelque intérêt. A chaque arrêt, je prends des repères, en soufflant légèrement dans les tubes des tambours à levier, de manière à faire décrire à leurs plumes des arcs de cercles qui coupent les courbes enregistrées et constituent des repères d'une précision rigoureuse.

Pour éliminer les erreurs dues au retard inégal que peuvent présenter les tubes à transmission et pouvoir au besoin en tenir compte, j'ai l'habitude d'intervertir de temps à autre les rapports entre les divers appareils récepteurs et les appareils enregistreurs. Soient par exemple deux sphygmoscopes A et B et deux tambours à levier *a* et *b*: je relierai A tantôt à *a*, tantôt à *b*; et pareillement B sera mis en rapport successivement avec *b* et *a*.

Sur les tracés recueillis au moyen du cardiographe, les graphiques de pulsation cardiaque représentent des saillies dentelées de petite dimension, superposées à des ondulations relativement énormes, dues aux mouvements respiratoires du thorax. Pendant l'inspiration, le thorax, en se dilatant, vient comprimer la capsule à air du cardiographe; l'air, refoulé dans le tambour à levier, en fait monter le style à une hauteur exagérée, et rend souvent peu utilisables les tracés recueillis à cette phase de la respiration.

Pendant l'expiration, le thorax revient sur lui-même, la tension de la membrane de l'appareil disparaît, et la plume du tambour à levier trace généralement de beaux graphiques. Au reste, les cardiogrammes recueillis pendant l'expiration doivent être préférés aux autres, pour deux autres motifs. Lors de l'expiration, les rapports du cœur avec la paroi thoracique sont bien

plus étendus et plus directs, à cause du retrait du poumon, qui ne tend plus, comme pendant l'inspiration, à venir s'interposer entre le cœur et le plastron sternal. En outre, chez le chien, on bénéficie du ralentissement expiratoire du rythme cardiaque. Les pulsations du cœur sont à la fois très espacées et très énergiques, conditions éminemment favorables à leur étude.

On peut, jusqu'à un certain point, restreindre l'influence nuisible des mouvements respiratoires, dans l'inscription du choc du cœur, en variant la pression que la main exerce sur la capsule du cardiographe, de manière à la diminuer pendant l'inspiration.

On peut également intercaler, entre la capsule cardiographique et le tambour à levier, un petit appareil composé de deux très petits flacons laveurs A et B, à moitié remplis d'eau et associés comme l'indique la figure 20, de manière à faire office de soupape de sûreté, et à empêcher les trop fortes variations de pression, à l'intérieur de l'appareil qui transmet le choc du cœur à la plume du tambour à levier.

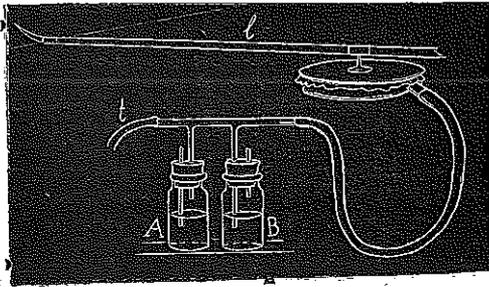


Fig. 20. Deux petits flacons laveurs faisant office de soupape de sûreté dans l'inscription du choc du cœur.

Dès que la pression y dépasse une certaine limite (quelques millimètres d'eau, par exemple), l'excès d'air s'échappe à l'extérieur par le flacon B. Dans le cas de diminution de pression, c'est le flacon A qui intervient pour permettre la rentrée de l'air, la plume *l* du tambour à levier ne s'éloigne donc jamais considérablement de sa position moyenne; elle ne suit pas les

changements considérables de pression qui correspondent aux excursions respiratoires du thorax, mais traduit fidèlement les variations minimales, correspondant aux phases successives d'une même pulsation cardiaque. Ce procédé a été signalé et décrit par Mosso dans ses recherches sur les mouvements du cerveau de l'homme (1).

Les figures 21 et 22 nous montrent diverses formes de tracés cardiographiques recueillis chez le chien par le procédé que je viens de décrire. Ces graphiques rappellent entièrement ceux de Chauveau et Marey, François Franck, Galabin, Landois, Ott et Haas, Rosenstein, Mauer, Baxt, von Basch, Klug, von Ziemssen, etc.

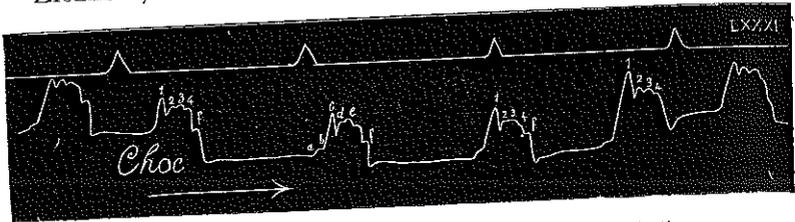


Fig. 21. Choc du cœur à l'extérieur, recueilli pendant la phase d'expiration.

Explorateur à coquille. Chien caniche non anesthésié.

ab, systole auriculaire ;

bc, début de la systole ventriculaire ;

cde ou *1234*, plateau systolique à quatre ondulations ;

f, clôture des valvules artérielles.

Horloge à secondes.

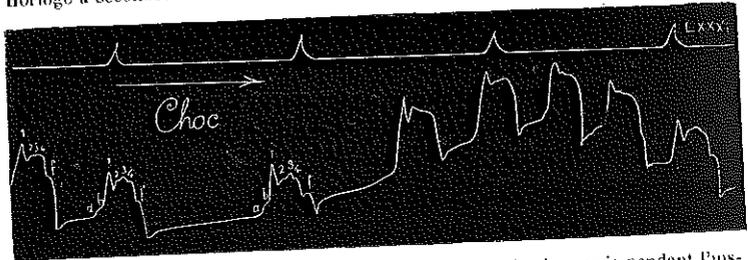


Fig. 22. Choc du cœur à l'extérieur inscrit pendant l'expiration, puis pendant l'inspiration. Explorateur à coquille. Chien caniche non anesthésié. Même signification des lettres que pour la figure 21.

(1) Mosso. *Sulla circolazione del sangue nel cervello dell'uomo*. Atti de Lincci, serc 3^a, vol. V^o, 7 dic. 1879, fig. 3, p. 244.

On y voit, au début de plusieurs des tracés, une petite ondulation *a b* que tous les auteurs attribuent à la systole auriculaire, puis une brusque ascension de la courbe (de *b* en *c* ou de *b* en 1), qui marque le début de la systole ventriculaire ; la courbe se maintient, pendant $\frac{1}{6}$ de seconde environ, à un niveau élevé, en présentant quelques (*c d e* ou 1-2-3-4) ondulations, et redescend ensuite par une pente un peu moins forte que celle de l'ascension. Sur la ligne de descente, on remarque encore une ondulation marquée *f*. Elle est rarement aussi visible que sur les figures 21 et 22 ; elle passe fréquemment inaperçue. J'appellerai *plateau systolique* du tracé cardiographique, la partie élevée, plus ou moins horizontale, de la courbe (de 1 à 4 ou de *c* en *e*), présentant les ondulations dont je viens de parler. La justification de cette dénomination ressortira d'ailleurs de l'exposé qui sera fait au paragraphe suivant.

On compte de deux à quatre ondulations sur le plateau systolique du tracé cardiographique. La première est généralement la mieux marquée, la plus aiguë ; elle est séparée des ondulations suivantes par une dépression, constituant une véritable incisure, parfois très profonde. Les ondulations suivantes sont moins distinctes, se fusionnent fréquemment toutes trois ensemble, de manière à constituer une colline arrondie, faisant suite à la pointe isolée de l'ondulation du début (plateau systolique à deux sommets III, fig. 23). Dans le cas très fréquent (cas-type pour la plupart des auteurs) où le plateau systolique présente trois sommets, le troisième résulte souvent de la fusion des ondulations 3 et 4 (II, fig. 23). Parfois, cependant, il m'a semblé que l'ondulation 4 faisait défaut. Au reste, qu'il y ait originairement quatre ou seulement trois ondulations sur le plateau systolique, c'est là un détail de peu d'importance. La figure 23 nous montre diverses formes de tracés cardiographiques, produites par fusion plus ou moins complète des ondulations 1-4 du plateau systolique. On y retrouve également l'inflexion *f*, qui manque sur la plupart des tracés publiés par les auteurs.

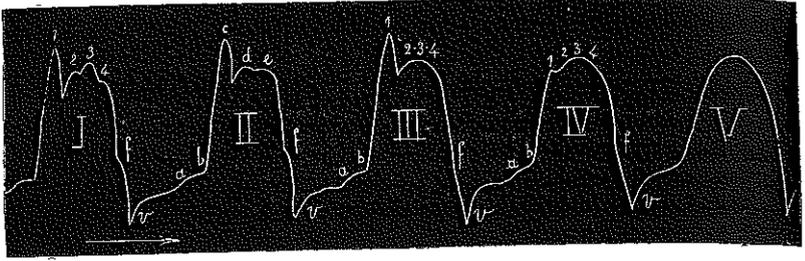


Fig. 23. Diverses formes de tracés cardiographiques de chien (demi-schématiques).

- ab*, systole de l'oreillette ;
bc, début de la systole du ventricule ;
cde ou 1234, plateau systolique ;
cfv, relâchement diastolique du ventricule ;
f, clôture des valvules sigmoïdes ;
v, vide post-systolique.

Le tracé cardiographique recueilli en appliquant directement le cardiographe sur le cœur, après ouverture préalable de la poitrine, ne diffère pas sensiblement de celui que je viens de décrire. L'animal est anesthésié par la morphine et le chloroforme, et maintenu en vie par la respiration artificielle. La poitrine est ouverte plus ou moins largement, soit par une incision linéaire latérale, soit par ablation du plastron sternal. Dans ces conditions, la capsule à air qui recueille le choc du cœur, peut être tenue à la main, ou fixée contre le cœur par un statif approprié.

L'inconvénient de cette méthode réside principalement dans l'accélération exagérée des pulsations cardiaques, qui est la conséquence du contact direct du cardiographe avec la substance du cœur, et de leur frottement réciproque. En effet, le feuillet viscéral du péricarde et la surface des ventricules sont extraordinairement riches en nerfs centripètes, dont l'excitation mécanique est suivie d'une accélération durable du rythme cardiaque.

Le tracé cardiographique recueilli à l'extérieur est également très semblable à la courbe des variations de la pression à l'intérieur des cavités du cœur. J'ai réussi à inscrire ces variations de pression, par deux procédés différents, avec ou sans ouverture de la poitrine.

Si l'on tient à ne pas ouvrir la poitrine de l'animal, on emploie une sonde cardiaque, que l'on introduit par la jugulaire externe droite, et que l'on glisse jusque dans le ventricule droit. Celle dont je me sers est un tube rectiligne en laiton, de 5^{mm},5 de diamètre, présentant, près de son extrémité fermée et mousse, trois fenêtres longitudinales (longueur 11 millimètres; largeur 3^{mm},5). Un morceau de veine jugulaire, provenant d'un autre chien, est lié sur l'extrémité de la sonde, de manière à recouvrir complètement les fenêtres, et à empêcher le sang de pénétrer à l'intérieur de la sonde. L'autre extrémité de cette sonde en laiton est ouverte et peut être reliée à un tambour à levier.

La figure 24 nous montre un tracé de systole du ventricule droit, inscrit de cette façon. On y voit l'ondulation O, due à la contraction de l'oreillette, puis l'ascension brusque O V de la courbe, correspondant au début de la systole ventriculaire, le plateau systolique V V' avec ses (trois) ondulations, et enfin l'ondulation finale *d*, située au bas de la partie descendante de la courbe.

L'enregistrement par la sonde cardiaque manque de sensibilité; il est rare que les inflexions de la courbe soient aussi marquées que dans la figure 24. Ordinairement, les ondulations du plateau systolique ne sont pas apparentes, comme on le constate figure 25.

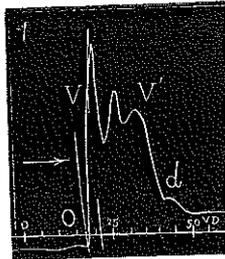


Fig. 24. Tracé de la systole du ventricule droit (chien) inscrit au moyen de la sonde cardiographique, introduite par la veine jugulaire.

O, systole de l'oreillette;

VV', systole ventriculaire;

d, ondulation due à la fermeture des valvûles sigmoïdes.

Diapason de 100 vibrations doubles (reproduites de 5 en 5).

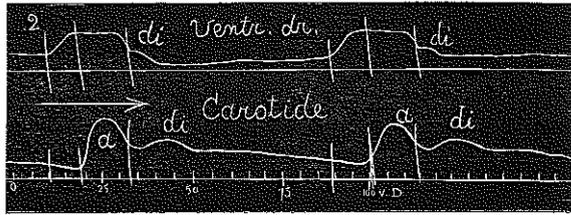


Fig. 25. Tracés simultanés de la pression dans le ventricule droit (sonde cardiographique) et dans la carotide gauche (sphygmoscope de Marey).

Ligne supérieure : *d*, clôture des valvules sigmoïdes.

Ligne inférieure : *a*, plateau systolique de la pulsation artérielle; *d*, dirotisme ou rebondissement du pouls.

100 vibrations doubles par seconde (marquées de 5 en 5).

Les repères des deux courbes permettent d'établir rigoureusement le synchronisme de leurs éléments.

Si l'on veut recueillir un tracé plus étendu, dont les sinuosités révèlent les moindres variations de la pression à l'intérieur des cavités du cœur, il vaut mieux ouvrir la poitrine du chien, diviser le péricarde, mettre le cœur à nu et introduire l'instrument explorateur (sonde cardiaque plus volumineuse et plus sensible, ou mieux sphygmoscope de Marey à très grosse canule) dans le cœur, par l'une des auricules. Le sphygmoscope est rempli d'huile (au lieu de carbonate de sodium); il est relié à un tambour à levier.

Voici le procédé que j'ai suivi pour l'ouverture de la poitrine :

On choisit un grand chien auquel on injecte sous la peau 40 ctg. de chlorhydrate de morphine, vingt à trente minutes avant le début de l'opération. Dès que l'animal est sous l'influence de la morphine, on le fixe sur le dos dans la gouttière d'opération de Cl. Bernard. Une large canule en T est introduite dans la trachée-artère, de manière à ne pas gêner la respiration normale et à permettre ultérieurement d'instituer la respiration artificielle immédiatement après l'ouverture de la poitrine. On divise ensuite la peau sur la ligne médiane, par

une incision longitudinale, partant de la plaie cervicale, suivant le sternum et se prolongeant sur la ligne blanche jusqu'à dix à quinze centimètres au delà de l'appendice xyphoïde. On abandonne à ce moment l'instrument tranchant et l'on dissèque la peau à droite et à gauche, de manière à la détacher des parties sous-jacentes, au moyen du thermo-cautère Paquelin, en partant de l'incision longitudinale médiane, de manière à mettre à nu toute la portion inférieure (puisqu'il s'agit d'un quadrupède) ou sterno-costale de la poitrine. Les muscles pectoraux sont successivement divisés au moyen du thermo-cautère à droite et à gauche, suivant la direction du troisième espace intercostal, en partant des parties latérales moyennes de la poitrine et en remontant vers le sternum. On divise de même les muscles intercostaux en longueur suivant la portion correspondante du troisième espace intercostal, en évitant de percer la plèvre costale. On peut également employer le thermo-cautère pour mettre à nu les portions moyennes des 4^e et 5^e côtes, au niveau où se fera leur section, et pour diviser les muscles des 4^e et 5^e espaces intercostaux au même niveau.

À ce moment, on abandonne le thermo-cautère pour procéder à l'ouverture de la poitrine, pendant qu'un aide commence à entretenir la respiration artificielle. On perce à gauche le troisième espace intercostal, soit au moyen d'un instrument mousse, soit avec les doigts; on élargit l'ouverture, en remontant entre les 3^e et 4^e côtes jusque près du sternum.

La plaie ainsi obtenue sert à introduire dans la poitrine l'indicateur et le médius de la main gauche qui vont à la recherche des artères mammaires internes, à l'endroit où ces vaisseaux, après s'être détachés des artères sous-clavières, s'infléchissent pour venir s'accoler à la face interne du sternum. Les vaisseaux sont séparés du tissu conjonctif ambiant au moyen des doigts, accrochés ensemble sur l'index recourbé, et attirés aussi près que possible de la plaie thoracique extérieure. Un gros fil est passé sous eux au moyen d'un crochet aiguillé; on les lie, puis on les abandonne dans la plaie.

On perce également le quatrième espace intercostal gauche

sur le côté de la poitrine, au moyen du doigt ou d'un instrument moussé. On fait passer une ficelle solide à travers les orifices percés dans les 3^e et 4^e espaces intercostaux gauches, de manière à pouvoir comprendre dans une ligature solide, la quatrième côte avec les tissus mous voisins et notamment l'artère intercostale qui lui est accolée. La ligature faite, on sectionne la côte en travers au moyen de fortes cisailles, en se tenant du côté sternal de la ligature.

On perce de même le 5^e espace intercostal et on lie la 5^e côte puis on la sectionne. On achève de diviser en longueur le 5^e espace intercostal gauche en remontant vers le sternum et l'on entaille encore le cartilage de la 6^e côte, de manière à pouvoir le casser ultérieurement par le milieu.

La même opération comprenant la division des 3^e, 4^e et 5^e espaces intercostaux, la ligature et la section des 4^e et 5^e côtes et l'entaille du 6^e cartilage costal doit être également pratiquée à droite. Deux opérateurs peuvent pratiquer simultanément la ligature et la section des côtes, l'un du côté gauche, l'autre du côté droit.

Le sternum est ensuite divisé au moyen de cisailles, par une section transversale réunissant les 3^{mes} espaces intercostaux de droite et de gauche. L'opérateur placé du côté gauche de l'animal, manie les cisailles de la main droite, tandis que les doigts indicateur et médium de la main gauche, introduits dans le thorax, sont fortement appliqués par leur face palmaire contre la surface interne du sternum, de manière à comprimer les vaisseaux veineux qui accompagnent les artères mammaires internes. En usant de précaution, on peut arriver à diviser complètement le sternum sans entamer les vaisseaux en question, sur lesquels on jette une ligature. On divise ensuite les vaisseaux entre cette ligature et la première ligature des mammaires internes.

La partie du plastron sternal auquel adhèrent les moignons des 4^e et 5^e côtes et les cartilages de la 6^e côte, est rabattue sur le ventre et luxée pour ainsi dire sur la partie du sternum correspondant aux côtes suivantes. Pour pouvoir ainsi replier le sternum sur lui-même, il est nécessaire d'entailler aux

cisailles la face interne de l'os au niveau de l'insertion de la 7^e côte. Le plastron replié est maintenu rabattu sur le ventre au moyen d'une ficelle exerçant une forte traction dans la direction de l'arrière-train de l'animal.

La poitrine se trouve ainsi largement ouverte sans que l'animal ait perdu une quantité notable de sang, et le cœur et les gros vaisseaux sont directement accessibles aux manœuvres opératoires.

Si l'on a à introduire un sphygmoscope dans le cœur, on écarte le poumon; on saisit le bord de l'auricule (droite ou gauche), des deux côtés de son sommet, au moyen de deux pinces de Péan, placées à environ un centimètre l'une de l'autre; on glisse l'indicateur de la main gauche sous les pinces et sous l'auricule, de manière à comprimer légèrement celle-ci; les pinces sont abandonnées à leurs poids ou tendues légèrement par un aide. On fait d'un coup de ciseaux, à la pointe de l'auricule, une incision suffisante pour permettre l'entrée de la grosse canule du sphygmoscope, qu'on introduit immédiatement en la poussant jusque dans le ventricule. Un fil, placé à l'avance sous l'auricule et les pinces, est immédiatement serré de manière à fixer les parois de l'auricule au niveau d'un étranglement de la canule du sphygmoscope. Pendant cette manœuvre, la pression de l'index gauche empêche le sang de l'oreillette de s'épancher au dehors, et permet d'effectuer l'opération, en ne perdant que quelques gouttes du précieux liquide.

L'opération peut se faire, successivement, à droite et à gauche. On recueille alors des tracés simultanés de la pression, dans le ventricule droit et dans le ventricule gauche. Malheureusement, le cœur du chien est extraordinairement sensible aux excitations mécaniques inséparables de ces manipulations opératoires. Il se produit fréquemment une accélération exagérée du rythme cardiaque, dégénéralant en arythmie, en pulsations tumultueuses ou même en trémulations fibrillaires. Ce dernier phénomène est le signe prochain de la mort du cœur.

Les irritations de la surface interne du cœur peuvent être le point de départ d'accidents du même genre. Plus d'une fois j'ai

vu le cœur s'arrêter, au moment où la canule du sphygmoscope pénétrait dans l'un des ventricules. J'ai même eu un jour le regret de perdre un chien par arrêt et mort du cœur, à la suite de la simple introduction de la sonde cardiaque droite, glissée par la jugulaire.

Un moyen souvent fort efficace de ralentir, au moins pendant quelque temps, le rythme cardiaque, lorsqu'il tend à prendre une allure trop accélérée à la suite des manipulations précitées, consiste à provoquer chez l'animal un accès de dyspnée ou un commencement d'asphyxie, en suspendant momentanément la respiration artificielle. La pression sanguine se relève alors, et le cœur espace ses battements : chacun de ceux-ci se fait avec une énergie croissante, en rapport avec la grandeur des résistances à vaincre, et avec le volume exagéré de l'ondée ventriculaire qui doit être lancée dans les artères. On peut user de cet artifice au moment de chaque inscription. Les graphiques des figures 28, 29, 30 et 31 ont été recueillis dans ces conditions.

Le tracé, recueilli au moyen de la sonde cardiaque droite, ou au moyen des sphygmoscopes introduits dans les ventricules, représente la courbe des variations de la pression intra-ventriculaire, indépendamment des variations de volume du cœur, tandis que le tracé cardiographique recueilli à l'extérieur du cœur, par l'application du cardiographe, ou de l'explorateur à coquille, représente la combinaison de la courbe du volume du cœur ou de ses mouvements de locomotion, avec la courbe des variations de consistance ou de pression intérieure de l'organe.

La grande similitude que présentent les tracés recueillis, tantôt à l'intérieur (sonde cardiographique, sphygmoscope), tantôt à l'extérieur du cœur (explorateur à coquille, cardiographe), nous montre le peu d'influence que la courbe de volume du cœur exerce sur le tracé du cardiographe. Ce tracé est donc, avant tout, la courbe des variations de consistance du cœur ; ou, ce qui revient à peu près au même, la courbe de la pression intra-cardiaque.

§ III. — *Synchronisme du tracé cardiographique et des phases de la révolution cardiaque.*

Le second bruit du cœur s'entend au moment de l'inscription de la portion descendante *ef* qui fait suite au plateau systolique du tracé cardiographique. C'est donc à ce moment que se ferment les valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire.

La palpation directe du cœur confirme les résultats de l'auscultation. Le muscle cardiaque reste dur et gonflé pendant tout le temps de l'inscription du plateau systolique. Enfin les tracés de pression intra-ventriculaire, recueillis au moyen des sondes cardiographiques, montrent que la pression intra-ventriculaire ne commence à baisser qu'après l'inscription du plateau systolique *cde*. C'est donc sur la ligne de descente *ef* que se place l'ondulation de fermeture des sigmoïdes artérielles.

L'ondulation dicrote du tracé sphygmographique correspond à l'ondulation de clôture des sigmoïdes *f* du tracé cardiographique.

La portion du tracé sphygmographique qui précède l'ondulation dicrote, montre les mêmes ondulations que celles qui se voient sur le plateau systolique du tracé cardiographique. Cette portion commune des deux tracés correspond au temps pendant lequel ventricules et artères communiquent librement.

Comme on l'a vu dans l'introduction, non seulement les auteurs ne sont pas d'accord sur l'interprétation du tracé cardiographique, mais les plus graves divergences règnent sur la question, en apparence si simple et si facile à résoudre, de la coïncidence des inflexions du tracé cardiographique avec les phases de la révolution cardiaque.

Pour Chauveau et Marey, le plateau tout entier du tracé, avec ses différentes inflexions, appartient à la systole ventriculaire, qui dure jusqu'à la descente de la courbe. La petite inflexion qui se trouve en pleine descente, et même souvent au bas de celle-ci, correspond à la clôture des sigmoïdes de l'aorte.

Pour Landois et les cliniciens allemands, Maurer, Ott et Haas, von Ziemssen, etc., la durée de la systole ventriculaire est extrêmement courte. Le premier sommet, seul, de la courbe cardiographique lui appartient; les deux ondulations suivantes correspondent, la première à la fermeture des valvules de l'aorte, la seconde à la fermeture de celles de l'artère pulmonaire. La figure 26 résume schématiquement ces deux interprétations.

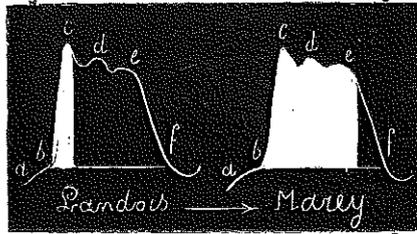


Fig. 26. Représentation schématique des interprétations de Landois et de Marey du tracé cardiographique. Les parties laissées en blanc correspondent à la durée de la systole ventriculaire.

ab, systole de l'oreillette; *bc*, début de la systole ventriculaire.

d et *e*, clôture des valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire pour Landois; *c*, *d*, *e*, ondulations du plateau systolique, dues au retentissement des ondes artérielles, pour Marey; *f*, clôture des valvules artérielles pour Marey.

Le point en litige serait résolu, si l'on pouvait enregistrer simultanément le choc du cœur et les mouvements des valvules sigmoïdes. Malheureusement, l'inscription directe des mouvements des valvules sigmoïdes présente de grandes difficultés techniques chez des animaux de petite taille.

J'ai essayé à différentes reprises chez le chien à poitrine ouverte, d'introduire des aiguilles à l'origine des gros troncs artériels, de manière à traverser une des valvules sigmoïdes et à transmettre ses mouvements par l'intermédiaire d'un fil à la membrane d'une capsule à air, je ne suis arrivé à aucun résultat satisfaisant; mon préparateur M. Gabriel Corin qui a bien voulu tenter quelques expériences dans le même but, n'a pas été plus heureux que moi.

Mais nous pouvons prendre comme indice de la clôture des sigmoïdes, le moment précis où s'entend le second bruit du cœur. Malheureusement, les différents expérimentateurs apprécient très différemment le moment en question. Comme nous l'avons vu dans l'introduction, Martins place le second bruit dans le bas du creux qui sépare *c* de *d*; Landois et Maurer l'entendent en *d* ou de *d* en *e*; pour Marey il correspond " au moment où la diastole ventriculaire s'accuse par une

chute de la courbe de pression, „ c'est-à-dire à l'inscription de la ligne de descente *ef*; enfin pour Edgren, le second bruit coïncide avec l'inscription de la partie inférieure de cette ligne de descente.

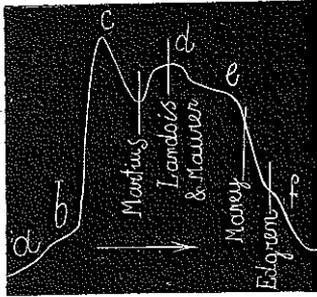


Fig. 27. Tracé cardiographique, indiquant les moments où les différents observateurs Martius, Landois, Maurer, Marey, Edgren, entendent le début du second bruit du cœur.

ab, systole des oreillettes ;
bcde, systole des ventricules ;
ef, relâchement ventriculaire.

La figure 27 donne un tableau schématique de ces divergences d'appréciation.

Comme le fait remarquer Marey (1), toutes les estimations faites au moyen de signaux sont passibles d'une cause d'erreur, à savoir que nous ne signalons l'instant où un phénomène se produit, qu'un certain temps après sa production. Cet intervalle ou temps de la réaction est de plus d'un dixième de seconde, même chez les observateurs les plus exercés. Il s'ensuit que le signal du bruit retarde toujours un peu sur l'instant de sa production.

Martius a cru pouvoir éliminer cette cause d'erreur en signalant le second bruit, non au moment où il vient d'être entendu, mais au moment où on s'attend à sa production. La main qui presse la capsule du signal imite le rythme cardiaque aussi exactement que possible, de manière à ce que ses chocs coïnci-

(1) MAREY. *La circulation du sang*, 1881, p. 128.

dent chaque fois avec l'audition du second bruit. Martius assure que cette méthode est susceptible d'une grande précision : par l'exercice, on pourrait arriver à réduire à moins d'un centième de seconde l'erreur commise.

J'avoue cependant que l'emploi d'un signal me paraît compliquer inutilement l'expérience et y introduire un élément additionnel d'incertitude. Je préfère le procédé beaucoup plus simple, qui consiste à ausculter les bruits du cœur tout en suivant des yeux les mouvements de la plume du cardiographe et à chercher à établir la coïncidence de la sensation acoustique et de la sensation visuelle.

Voici comment j'ai opéré :

On choisit un très grand chien à pulsations lentes, on lui donne 30 à 40 ctg. de chlorhydrate de morphine en injection hypodermique et l'on attend que le poison ait été absorbé et ait produit ses effets physiologiques. L'animal est alors couché sur le ventre, le tronc légèrement incliné à droite, de manière à faire saillir le côté gauche du thorax ; il n'est pas attaché pour l'expérience, mais simplement maintenu sur la table par un aide. Le cardiographe est appliqué au niveau du cœur, comme il a été dit au § II. Le tambour à levier auquel il est relié, inscrit la courbe cardiographique sur le cylindre enregistreur animé d'un mouvement de rotation assez rapide. Le cylindre recouvert de papier enfumé est placé en pleine lumière et à la bonne hauteur, de telle sorte que la personne qui ausculte puisse sans effort suivre tous les détails de l'inscription du tracé.

L'auscultation est pratiquée au moyen d'un stéthoscope li-auriculaire de Verdin, formé d'un pavillon, auquel font suite deux tubes en caoutchouc, terminés par les embouts qui s'introduisent dans les deux conduits auditifs externes de l'observateur. La longueur de ces tubes est approximativement la même que celle du tube qui relie la capsule au cardiographe au tambour à levier. De cette façon, le retard ou temps de transmission est sensiblement le même dans le stéthoscope et dans le cardiographe.

C'est en combinant ainsi l'auscultation des bruits du cœur et l'observation attentive des mouvements de la plume du cardio-

graphe que je me suis convaincu que le second bruit du cœur ne correspond ni au creux qui sépare *c* de *d* comme le veut Martius, ni au sommet *d* ni à l'espace *d e*, comme l'admettent Landois, Maurer et les cliniciens allemands. Le second bruit coïncide exactement pour moi (comme pour Marey) avec la descente brusque de la plume au moment où s'inscrit la portion *e f* du tracé qui fait suite au plateau systolique *c d e*, c'est vers le point *e* que j'entends son début.

Peut-on, de la coïncidence de la perception d'une sensation visuelle (observation de l'inscription de *e*) et d'une sensation acoustique (audition du second bruit), conclure à la coïncidence réelle de la cause du bruit et de la sensation visuelle ?

Nullement. S'il faut en croire Exner (1), les sensations acoustiques sont perçues 0,04 à 0,06 de seconde plus rapidement que les sensations visuelles. La coïncidence apparente indique donc que le son (2^d bruit) s'est produit en réalité 0,04 à 0,06 seconde après le signal lumineux (inscription de *e*). C'est donc, non au haut de la ligne *ef*, mais 0,04 à 0,06 seconde plus loin, c'est-à-dire dans la seconde moitié de la ligne *ef* qu'il faut placer en réalité le second bruit.

J'ai répété la même expérience sur le cheval, qui offre l'avantage inappréciable d'avoir des pulsations fort lentes et présentant chacune une durée notablement supérieure à ce qu'elle est chez le chien ou chez l'homme.

Malheureusement, chez le cheval, il est difficile d'obtenir sans mutilation une inscription convenable du choc du cœur. J'avais choisi pour cette expérience un cheval très amaigri, chez lequel le choc du cœur était des plus manifestes à la palpation. Tout ce que je pus obtenir chez lui, fut une inscription négative, c'est-à-dire un tracé cardiographique renversé, présentant le plateau systolique en creux.

Comme le tracé de pulsation négative a exactement la même signification que le tracé positif ordinaire, il peut servir

(1) EXNER. *Das zeitliche Verhalten psychischer Impulse*, dans Hermann's Handbuch der Physiologie, 1879. Band II, Theil II, p. 260, 1879.

comme ce dernier à la solution de la question qui nous occupe. Ici aussi, c'est à partir du point *e*, au moment où la plume trace la ligne *ef*, que s'entend le second bruit.

Dans ces expériences, où le côté subjectif de la personnalité de l'expérimentateur joue un rôle considérable, il est bon de se défier de son propre jugement qui peut être faussé par des idées théoriques préconçues, et de le faire contrôler par des personnes non prévenues et non intéressées à obtenir un résultat déterminé.

C'est ce que je n'ai pas manqué de faire. Je me suis adressé à plusieurs jeunes docteurs et étudiants en médecine de dernière année, que j'ai fait prier de vouloir répéter chez le chien l'expérience de l'auscultation, combinée avec l'inscription du cardiogramme. Ils étaient invités à marquer sur le tracé cardiographique *abcdef*, le moment précis où ils entendaient le début du second bruit du cœur. Dans la plupart des cas, je n'assistais pas moi-même à l'expérience. Sauf une exception, toutes les personnes consultées ont placé ce début au point *e*, c'est-à-dire après le plateau systolique, là où il passe brusquement à la ligne de descente.

C'est donc bien pour moi, comme pour Marey, sur la ligne de descente *ef*, et plutôt vers la seconde moitié de cette ligne, qu'il faut placer le second bruit du cœur et par suite la fermeture des valvules sigmoïdes. C'est là aussi qu'il faut chercher l'ondulation qui peut correspondre au mouvement de clôture des valvules. Cette ondulation est marquée de la lettre *f* sur les tracés des figures 21, 22, 23, 27, 51, etc., des lettres *di* (dicrotisme) sur les figures 24, 25, 28, 29, 30, 31, etc. du présent travail.

Si, laissant de côté la question du second bruit du cœur et de la clôture des sigmoïdes, nous cherchons à nous rendre compte de la durée de la contraction systolique du ventricule gauche, par la palpation directe, nous y trouvons également une confirmation éclatante de l'interprétation de Marey. Il faut pour cela ouvrir largement la poitrine du chien, de manière à mettre le cœur à nu, et maintenir à la main l'explorateur à coquille

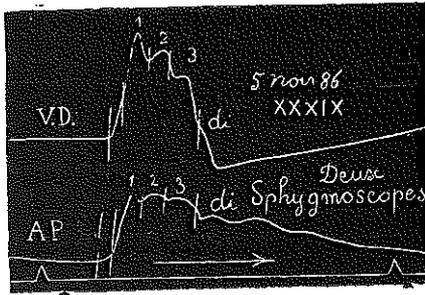


Fig. 28 Graphiques de pression recueillis simultanément dans le ventricule droit V.D. et dans l'artère polmonaire AP, sur un chien à poitrine ouverte. Horloge à secondes.

1, 2, 3, ondulations du plateau systolique ;
di, onde de clôture des valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire.

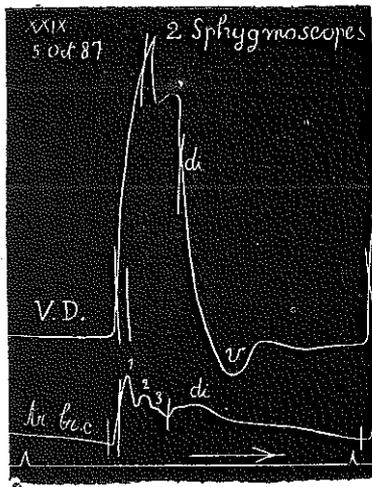


Fig. 29. Graphiques de pression recueillis simultanément dans le ventricule droit V.D. et dans le tronc brachio-céphalique *tr. br. c.* chez un chien à poitrine ouverte. Horloge à secondes.

1, 2, 3, ondulations du plateau systolique ;
di, ondulation due à la fermeture des valvules sigmoïdes (dicrotisme artériel).

(relié au tambour à levier) à la surface du ventricule (droit ou gauche).

La main qui tient l'explorateur est brusquement soulevée de *b* en *c* et est maintenue dans cet état pendant l'inscription de *cde*; elle retombe seulement au moment de la descente *ef*. On sent parfaitement que le ventricule gauche reste dur et gonflé, non jusqu'au point *c* de l'inscription du cardiogramme, comme le veut la théorie de Landois, mais jusqu'en *e*, et que son relâchement brusque coïncide avec la descente *ef*.

Comment expliquer d'ailleurs dans la théorie de Landois l'existence du plateau *cd* *e*? Si réellement le relâchement du muscle cardiaque commençait en *c*, la courbe devrait descendre rapidement à partir de *c*, et non à partir de *e*; *d* et *e* devraient apparaître comme de simples ondulations sur cette ligne de descente, et l'on ne comprend nullement que la clôture des valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire (*e*) soit un phénomène mécanique assez important pour changer complètement l'allure de la courbe cardiographique et transformer le plateau horizontal en descente rapide, alors que le relâchement du muscle cardiaque survenu en *c* et la clôture des valvules de l'aorte survenu en *d*, se marquent à peine sur le tracé.

L'appréciation du moment précis où se produit le second bruit du cœur ou de celui qui coïncide avec le relâchement musculaire du ventricule est toujours entaché d'une erreur dépendant de la personnalité de l'expérimentateur. Aussi, je ne puis guère espérer que Landois, Maurer, Martius, etc., se rallieront à l'interprétation de Marey, uniquement parce que mes expériences d'auscultation ont donné un résultat conforme à celui obtenu par Marey, alors qu'elles diffèrent notablement de ce qu'ils ont entendu. Ces expérimentateurs sont ici évidemment en droit d'attacher plus d'importance à leurs propres appréciations personnelles qu'aux miennes.

Heureusement la question me paraît pouvoir être tranchée par un procédé absolument objectif, c'est-à-dire où l'appréciation personnelle de l'expérimentateur est mise hors de cause.

Les physiologistes sont d'accord pour admettre que la cause

de la fermeture des valvules sigmoïdes de l'aorte doit être cherchée dans une différence de la pression qui agit sur les deux faces de ces valvules, c'est-à-dire que leur fermeture est due à une brusque diminution de la pression intra-ventriculaire. Or, les tracés de pression intra-ventriculaire, recueillis tant à droite qu'à gauche, montrent que la pression reste élevée pendant toute la durée de l'inscription du plateau systolique *c d e*, et qu'elle s'abaisse brusquement à partir du point *e* et nullement à partir du point *c* ou du point *d*. Il y a, sous ce rapport,

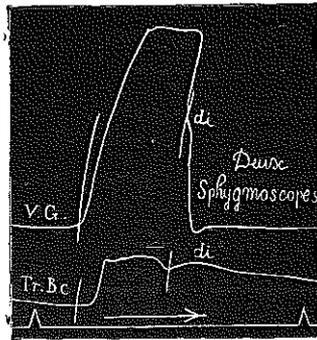


Fig. 30. Graphiques de pression recueillis simultanément dans le ventricule gauche V. G. et dans le tronc brachio-céphalique Tr. Bc.
di, ondulation de clôture des valvules sigmoïdes (dicrotisme artériel).

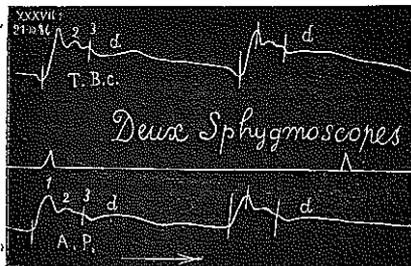


Fig. 31. Graphiques de pression recueillis simultanément à l'origine de l'aorte T. Bc. et dans l'artère pulmonaire A. P.
1, 2, 3, ondulations du plateau systolique ; *di*, ondulation dicrote.

accord complet entre les courbes du ventricule droit et celles du ventricule gauche. La baisse de pression dans le ventricule gauche qui précède la clôture des sigmoïdes artérielles se montre donc à la fin du plateau systolique *c d e* du cardiogramme, et nullement avant l'inscription de l'ondulation *d*, comme le veut Landois.

Outre de nombreux graphiques recueillis par moi sur le chien, je puis également invoquer à l'appui de cette manière de voir, les graphiques publiés par Chauveau et Marey ⁽¹⁾.

Comme on le verra d'ailleurs au chapitre suivant, les ondulations *d* et *e* du plateau du cardiogramme, s'observent encore sur les tracés fournis par le cœur, après ligature des gros troncs artériels ou veineux, alors que toute circulation sanguine a cessé, et qu'il ne peut plus être question de mouvements des valvules artérielles.

Enfin, il est un dernier argument qui plaide en faveur de l'interprétation de Chauveau et Marey : c'est la comparaison des graphiques de pression intra-ventriculaire avec ceux de pression intra-artérielle.

Si réellement, comme je le crois avec Chauveau et Marey, les valvules sigmoïdes se ferment pendant la ligne de descente *ef* du plateau systolique, il en résulte que jusqu'à ce moment, artères et ventricules communiquent librement, et que nous devons retrouver dans le tracé artériel le retentissement des ondulations du plateau systolique du tracé de pression intraventriculaire. Or, on constate précisément sur les tracés artériels cette répétition des ondulations ventriculaires, preuve que, pendant leur productions, artère et ventricule communiquent et que les sigmoïdes sont encore ouvertes.

(1) Landois a reproduit à l'appui de sa manière de voir une série de graphiques représentant, d'après Chauveau et Marey, la pression dans les cavités du cœur du cheval, en regard du tracé artériel et du tracé du choc du cœur. Comme je n'ai pu découvrir dans les publications de Chauveau et Marey, les graphiques d'après lesquels les copies de Landois ont été faites, je préfère m'en tenir aux originaux publiés par Chauveau et Marey; ces graphiques n'admettent pas d'autre interprétation que celle de leurs auteurs.

Après la fermeture des sigmoïdes, il y a, au contraire, discordance complète entre les inflexions du tracé sphygmographique et celles du tracé cardiographique, sauf, bien entendu, l'ondulation dicrote artérielle qui correspond à la fermeture des valvules sigmoïdes, comme Buisson et Marey l'on montré. Les figures 28, 29, 30 et 31 sont instructives à cet égard.

L'examen des figures en question nous montre, en outre, que l'ondulation dicrote se produit à peu près en même temps à l'origine de l'aorte et à celle de l'artère pulmonaire, et se montre, simultanément, dans les tracés des ventricules droit et gauche. Je n'ai jamais constaté le grand intervalle de temps admis par Landois. Tout au plus, le dicrotisme de l'artère pulmonaire retarde-t-il, sur quelques-uns de mes tracés, de deux, parfois de trois centièmes de secondes, sur celui de l'origine de l'aorte.

Il résulte d'une communication verbale de M. le professeur Chauveau, que sur beaucoup de tracés de pression intra-ventriculaire, recueillis par lui chez le cheval, il y a plutôt une légère avance en faveur du côté droit du cœur, l'ondulation de clôture des sigmoïdes se montrant un peu plus tôt sur le tracé du ventricule droit que sur celui du ventricule gauche. Cette particularité se voit bien sur le tracé que j'ai emprunté au mémoire de d'Espine (provenant de la collection Chauveau), et que j'ai reproduit figure 19. Je l'ai moi-même constaté fréquemment chez le chien (comparez le tracé du cœur droit pris au moyen d'une sonde introduite par la jugulaire, avec le tracé du choc extérieur du cœur, qui est principalement un tracé du ventricule gauche).

Le procédé le plus parfait pour résoudre ces questions de coïncidence d'ondulations de pression des cavités du cœur et des gros troncs artériels, me semble consister dans l'emploi de deux explorateurs aussi semblables que possible (dans le cas actuel, deux sphygmoscopes de Marey), introduits, l'un dans le ventricule gauche par l'auricule, l'autre à l'origine de l'aorte, par le tronc brachio-céphalique.

Le tracé du ventricule droit et celui de l'artère pulmonaire

sont recueillis par le même procédé. L'introduction de la canule dans une branche de l'artère pulmonaire gauche, se fait à l'endroit où cette branche (celle qui est située le plus près de la tête) pénètre dans le poumon, c'est-à-dire en dehors du péricarde. Le tissu du poumon gauche est saisi, près du sommet, par plusieurs pinces de Péan; un aide maintient ces pinces de manière à écarter fortement le poumon à gauche et en dehors. Le péricarde (non ouvert) est pareillement tirailé au moyen de pinces et déjeté de l'autre côté, c'est-à-dire à droite. La branche de l'artère pulmonaire gauche est isolée, et la canule du sphygmoscope est introduite et fixée avec les précautions usuelles.

On peut faire cette opération, en utilisant le procédé d'ouverture et de fermeture du thorax que j'ai décrit en 1885 (1).

Le thorax est ouvert, sur le côté gauche, par une fente linéaire, comprenant la section de la peau, des muscles et de six ou sept côtes au moins. L'espace béant, provenant de l'écartement forcé des bords de cette fente, permet de procéder à l'introduction et à la fixation de la canule dans l'artère pulmonaire. Puis la poitrine est refermée, de manière à ne laisser passer, au dehors, que la canule du sphygmoscope; en même temps, on rétablit l'aspiration thoracique.

Dans ces conditions, l'opération ne s'exécute pas très facilement. On éprouve plus de commodité à isoler l'artère pulmonaire et à y introduire une canule, lorsque la poitrine a été largement ouverte, que deux ou trois côtes ont été sectionnées à droite et à gauche, et que le plastron sternal, divisé transversalement au niveau du second ou du troisième espace intercostal, a été rabattu ensuite vers l'abdomen.

(1) Procédé opératoire nouveau pour l'étude physiologique des organes thoraciques. *Archives de biologie*, t. VI, pp. 411-443, et *Travaux du laboratoire*, t. I, pp. 85-89, 1885-86.

§ IV. — *Ondulations du plateau systolique.*

Les ondulations du plateau systolique du tracé cardiographique ne sont pas dues au retentissement d'ondes nées dans le système artériel, puisqu'elles persistent sur les tracés recueillis après ligature ou section des gros vaisseaux artériels. Elles persistent également chez le cœur rendu exsangué par ligature des veines caves et azygos, et ne peuvent donc être attribuées à des mouvements des valvules auriculo-ventriculaires. La cause de ces ondulations réside dans la paroi même du cœur, c'est-à-dire dans la forme de la contraction du muscle cardiaque. Cette contraction n'est pas une *secousse simple*, mais un vrai *tétanos* résultant de la fusion de trois ou quatre secousses élémentaires, comme le prouvent les tracés recueillis sur le cœur extrait du corps, ou sur les ventricules isolés. Le tracé du gonflement du muscle cardiaque, recueilli au moyen du myocardiographe, conduit à la même conclusion. A mesure que le cœur s'épuise, le tétanos cardiaque se simplifie, avorte pour ainsi dire, de manière à simuler à la fin une secousse musculaire simple.

Les trois ou quatre ondulations que présente le plateau systolique du tracé du ventricule, sont attribuées, par Marey, à des ondes qui naissent dans les artères, par suite des réactions réciproques du liquide en mouvement, et des parois vasculaires. Ces ondes vasculaires rétrogradent jusqu'aux ventricules et se marquent sur le tracé du cœur, tant que les ventricules et les artères sont en libre communication, c'est-à-dire depuis le moment de l'ouverture des valvules sigmoïdes jusqu'à celui de leur clôture, par conséquent pendant toute la durée de l'inscription du plateau systolique.

Outre les arguments signalés dans l'introduction, on peut invoquer, en faveur de cette interprétation, l'identité presque complète du plateau systolique du tracé ventriculaire, avec la première partie du plateau systolique du tracé sphygmographique. Les deux sont presque superposables (voir, par exemple, les figures 28, 29, 30 et 31 du présent mémoire).

Une expérience bien simple va nous servir à vérifier l'exactitude de cette hypothèse. Recueillons le tracé du cœur sur un animal à poitrine largement ouverte, à cœur mis à nu; introduisons, sous l'origine de l'aorte et de l'artère pulmonaire, un crochet métallique, contre lequel nous puissions facilement comprimer ces deux vaisseaux, de manière à interrompre la communication entre leur contenu et celui des ventricules.

Si l'interprétation de Marey est exacte, les ondes systoliques du tracé ventriculaire devront disparaître brusquement. Bien plus, le tracé de la systole ventriculaire devra s'identifier avec un tracé de secousse musculaire.

Or, il n'en est rien. La fermeture des gros troncs artériels ne modifie pas sensiblement la forme du tracé cardiographique. Dans tous les cas, les 2, 3 ou 4 ondulations du plateau systolique ne disparaissent pas, et le tracé lui-même ne devient nullement semblable à un graphique de secousse musculaire. Les figures 32, 33, 34 et 35 nous en montrent de beaux exemples.

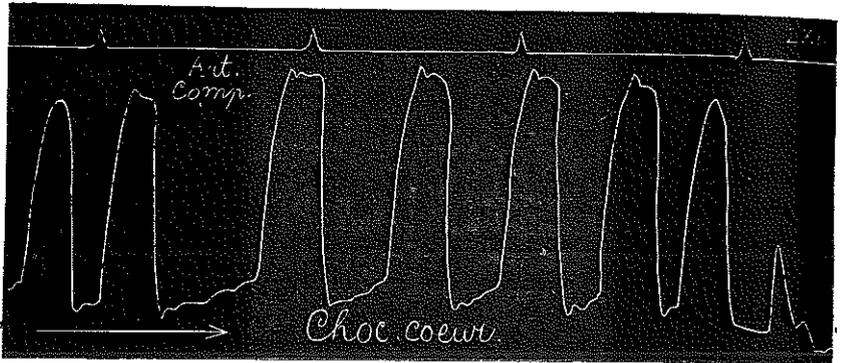


Fig. 32. Tracé cardiographique (explorateur à coquille) inscrit pendant la compression totale de l'artère pulmonaire et de l'origine de l'aorte (Chien à poitrine ouverte.) Horloge à secondes.

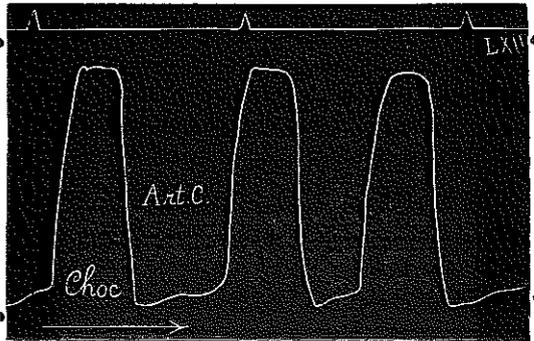


Fig. 33. Tracé cardiographique inscrit pendant la compression totale des gros troncs artériels. (Chien.) Horloge à secondes.

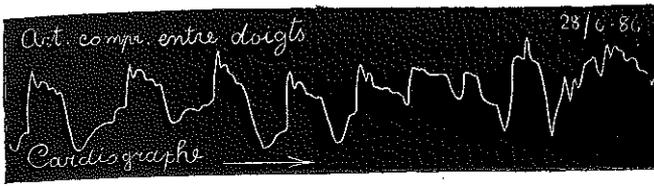


Fig. 34. Tracé cardiographique recueilli pendant la compression totale des gros troncs artériels. (Chien.)

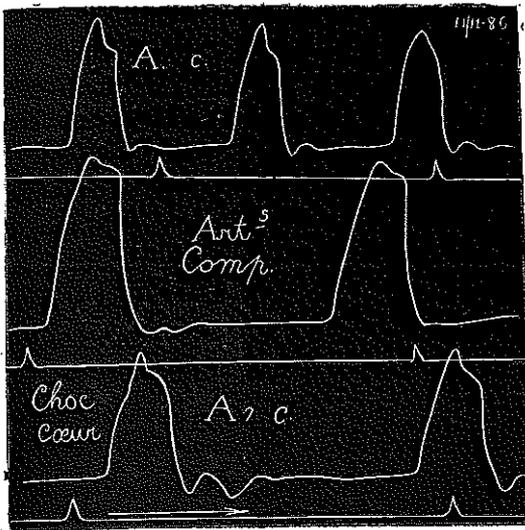


Fig. 35. Tracés cardiographiques recueillis avant (1^{re} ligne), pendant (2^{me} ligne) et après (3^{me} ligne) la compression totale des gros troncs artériels. (Chien à poitrine ouverte.) Horloge à secondes.

Au lieu de lier les artères, nous pouvons les sectionner d'un seul coup de ciseaux, et interrompre, tout aussi brusquement et aussi sûrement, la communication entre les ventricules et les gros troncs artériels. Ici encore, nous obtenons des tracés cardiographiques normaux (voir fig. 36).

Si le tracé du cœur et celui des artères montrent les mêmes inflexions, ce n'est donc pas parce que les ondulations nées dans

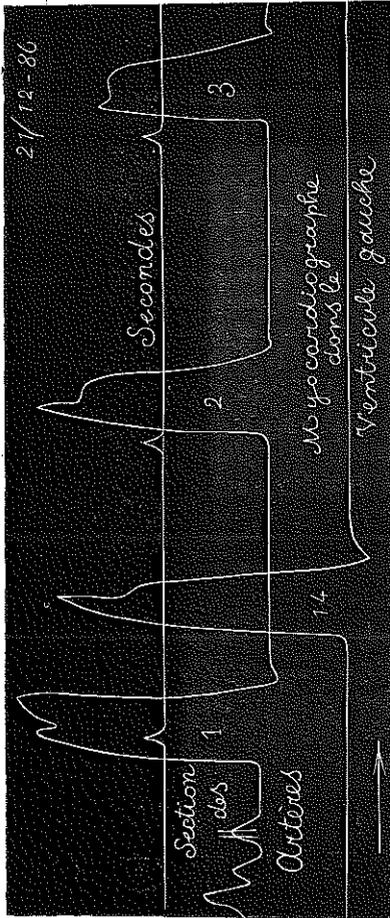


Fig. 36. Tracés pris au moyen du myocardiographe fixé dans le ventricule gauche, immédiatement après la section transversale de l'artère pulmonaire et de l'aorte.

1, 2, 3, première, seconde, troisième pulsation après la section; 14, quatorzième pulsation après la section. (Chien à poitrine ouverte.)
Horloge à secondes.

les artères se propagent au cœur. Tout au contraire, ces ondes se forment dans le cœur et, de là, se propagent aux artères.

Faut-il donc en revenir à l'ancienne explication de Marey, qui attribuait ces ondulations à des mouvements de va-et-vient des valvules auriculo-ventriculaires, agissant pour imprimer, au contenu sanguin des ventricules, des variations ondulatoires de pression? Il ne sera pas difficile de répondre également à cette question.

En rendant le cœur momentanément exsangue, nous supprimons tout reflux de liquide et tout mouvement de va-et-vient des valvules. Pour réaliser cette condition expérimentale, il faut également opérer sur l'animal à poitrine ouverte, à cœur mis à nu. On lie la veine azygos contre l'oreillette droite, et l'on prépare les deux veines caves, de manière à pouvoir

les faire comprimer facilement et simultanément par deux aides. On isole les veines, puis on passe sous chacune d'elles un gros fil à ligature; les deux chefs de chaque fil passent à travers un petit anneau métallique porté au bout d'une tige. Chaque aide tient la tige métallique et les fils, suffisamment relâchés pour ne pas entraver la circulation veineuse.

A un signal donné, on serre brusquement les fils, de manière à effacer leur anse inférieure et à comprimer les veines contre l'extrémité annulaire de la tige métallique, sans qu'il y ait déplacement des veines, ni tiraillement des tissus voisins.

Cette condition est indispensable à la réussite de l'expérience; il est bon aussi de couper, au préalable, le phrénique droit au haut de la poitrine, pour qu'il ne soit pas froissé au moment de la ligature des veines. On évite ainsi les réflexes cardiaques, auxquels l'irritation mécanique du phrénique peut donner lieu.

Si la compression est bien faite, tout afflux de sang veineux vers le cœur ⁽¹⁾ se trouve brusquement arrêté; et, au bout de quelques secondes, le sang contenu dans le poumon a eu le temps de s'écouler vers le cœur gauche et d'être évacué par le ventricule du même côté.

On contrôle le résultat de la ligature, au moyen d'un sphygmoscope placé dans une carotide: la disparition des ondulations

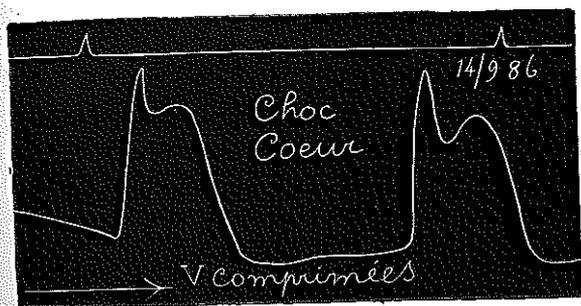


Fig. 37. Choc du cœur chez un chien à poitrine ouverte, à veines caves et azygos fermées depuis 30 secondes. Il ne s'écoule plus de sang par la canule carotidienne. Horloge à secondes.

(1) On peut faire abstraction de la minima quantité de sang qui revient au cœur par une autre voie que celles des veines caves et azygos.

du graphique indique le moment où le ventricule gauche ne lance plus de sang dans l'aorte. On peut également placer une canule dans une carotide, et noter le moment où l'écoulement de sang par la canule ouverte a complètement cessé.

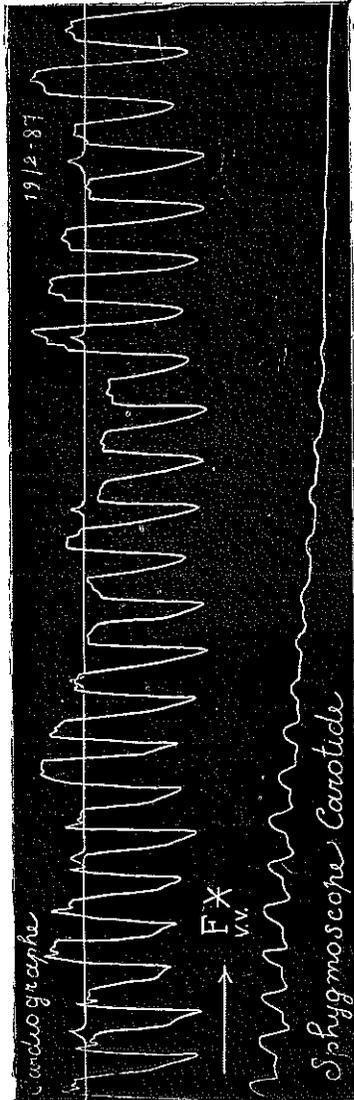


Fig. 38. Choc du cœur. En F. v. on ferme les deux veines caves. L'azygos a été lié. Chien à poitrine ouverte. La ligne inférieure est celle du sphygmoscope. Horloge à secondes. (Chien à poitrine ouverte.)

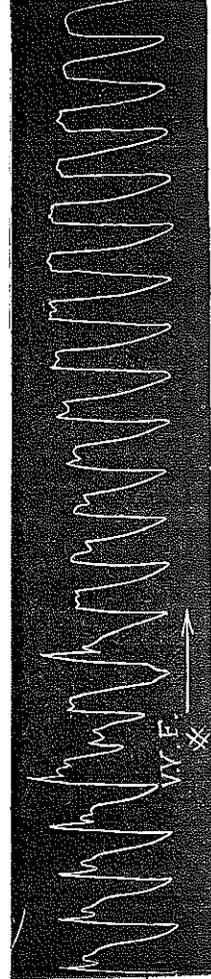


Fig. 39. Choc du cœur. En V. V. F., on ferme les deux veines caves. L'azygos a été lié. Chien à poitrine ouverte.

Ici encore, les tracés cardiographiques, recueillis sur le cœur exsangue, diffèrent à peine des tracés ordinaires et montrent

les mêmes ondulations du plateau systolique.

La principale différence se rapporte à l'allure générale du plateau systolique, qui normalement est fortement incliné à partir du début : cette inclinaison s'explique par l'évacuation progressive des ventricules et la diminution de leur volume, du commencement à la fin de la systole. Après suppression du cours de sang, cette inclinaison du plateau systolique manque ordinairement, de sorte que la seconde ondulation est fréquemment située à un niveau plus élevé que la première. Les figures 37, 38, 39 et 40 permettent de comparer les tracés recueillis avant, pendant et après la suspension de l'afflux sanguin veineux.

Ce n'est donc pas à des mouvements des valvules auriculo-ventriculaires, ébranlées par le passage du sang, qu'il faut attribuer les ondulations du plateau systolique du tracé du ventricule. Nous avons vu qu'on ne peut pas non plus les rapporter à des ondes

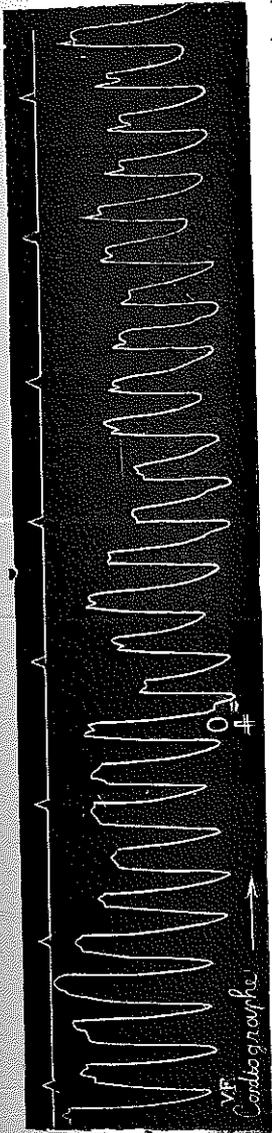


Fig. 40. Choc du cœur inscrit au moyen de l'explorateur à coquille chez un chien à poitrine ouverte, pendant la compression des veines caves et au moment (en O) où on laisse revenir le sang, en relâchant les ligatures veineuses. Horloge à secondes.

artérielles, rétrogradant vers le ventricule, ni à l'ébranlement dû aux valvules sigmoïdes.

En procédant ainsi par exclusion, nous en arrivons à localiser dans la paroi même du cœur, c'est-à-dire dans la forme de la contraction du muscle cardiaque, la cause des ondulations du tracé cardiographique. Cette contraction ne peut être une simple secousse musculaire, comme on l'avait admis jusqu'à présent. Le graphique du cœur exsangue indique qu'il s'agit d'une succession d'efforts, dont les résultats mécaniques se fusionnent plus ou moins, comme c'est d'ailleurs le cas pour la contraction normale des muscles du squelette.

Mais, s'il en est ainsi, le cœur extrait doit nous fournir, non un graphique simple de secousse musculaire, mais un graphique de contraction composée ou tétanos musculaire, c'est-à-dire présentant un sommet à plusieurs dentelures. L'expérience a pleinement répondu à ces prévisions.

Un cœur de chien ou de lapin lié en masse (1) et *rapidement* extrait du corps, puis placé dans un godet de cire ou de plâtre, sous le levier myographique de Marey, trace une courbe à plusieurs dentelures, ainsi que le montrent les figures 41 et 42.

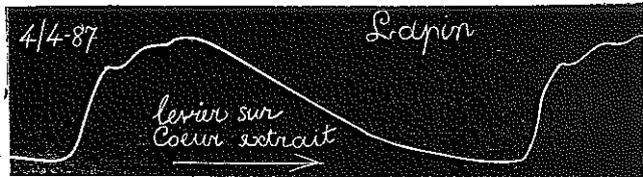


Fig. 41. Tracé myographique du cœur de lapin lié en masse et extrait de la poitrine. Levier reposant sur le cœur.

Il en est de même si l'on place le cœur lié en masse et extrait sous une capsule à air ou sous l'explorateur du cardiographe, relié à un tambour à levier de Marey.

(1) La ligature en masse est pratiquée au moyen d'un gros fil glissé sous le cœur.



Fig. 42. Tracé myographique du cœur de lapin lié en masse et extrait de la poitrine.

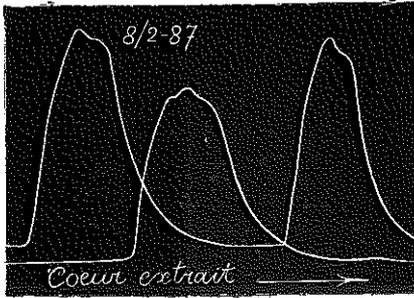


Fig. 43. Tracé cardiographique pris au moyen de l'explorateur à coquille. Cœur de chien extrait.

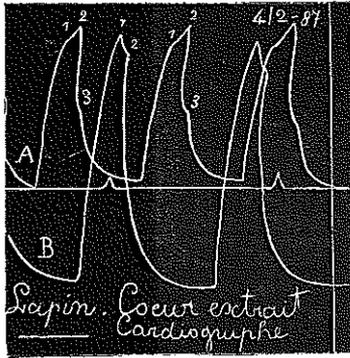


Fig. 44. Tracé cardiographique pris au moyen de l'explorateur à coquille. Cœur de lapin extrait.

Enfin il en est encore de même si, après avoir introduit la canule du sphygmoscope dans un ventricule, on pratique une ligature en masse des deux ventricules sur la canule, de manière à les isoler des oreillettes. Ici encore, on obtient des tracés que l'on ne peut assimiler à des graphiques de secousse simple, et qui rappellent plutôt les tracés cardiographiques normaux (voir fig. 45).

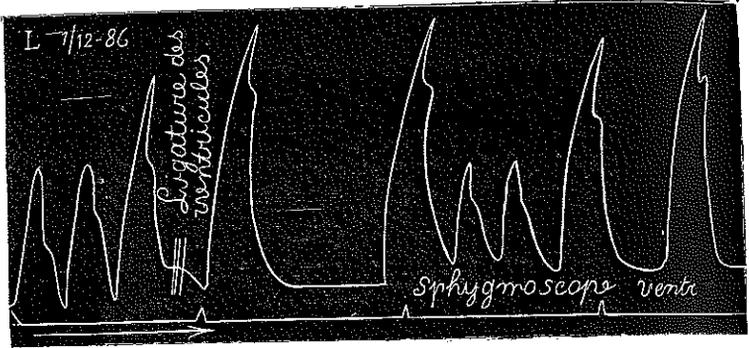


Fig. 45. Tracés pris au moyen du sphygmoscope fixé dans le ventricule, avant et après la ligature en masse des deux ventricules.

Mais, avant de se résoudre à accepter la doctrine du tétanos cardiaque, l'expérimentateur sceptique se demandera si le graphique dentelé ne pourrait pas s'expliquer par un effort unique, mais non synchrone, des différentes parties du cœur. Chaque partie exécuterait une secousse simple, mais toutes ne se contracteraient pas en une fois.

Malgré le peu de vraisemblance de cette explication, il était nécessaire de la soumettre au contrôle de l'expérience. Pour explorer, même sur le vivant, les phénomènes de la contraction du muscle cardiaque, en un endroit déterminé et limité, j'ai modifié légèrement la pince myographique de Marey, de manière à pouvoir introduire une des branches à l'intérieur du cœur, et à saisir entre ses mors la paroi du ventricule suivant l'épaisseur de celle-ci. La figure 46 représente l'instrument dont je me sers.

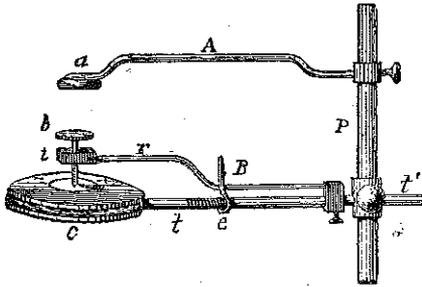


Fig. 46. Myocardiographe pour le cœur du chien.

A, branche interne destinée à être introduite dans le cœur.

B, branche externe, portant la capsule exploratrice *c*, et destinée à être appliquée à la surface externe du cœur.

Les deux branches A et B de la pince myocardiographique se fixent toutes deux, au moyen de bagues et de vis, sur la tige prismatique triangulaire *p*, de manière à pouvoir être éloignées ou rapprochées l'une de l'autre par un mouvement de glissement.

La branche A est une tige de laiton pleine, terminée par une petite plaque *a*, circulaire, de 20 millimètres de diamètre. Cette branche est destinée à être introduite dans le cœur par une auricule, et à être poussée à travers l'orifice auriculo-ventriculaire, de manière que la plaque *a* vienne s'appliquer contre la paroi interne du ventricule.

La branche B s'applique à l'extérieur, en regard de la branche A; elle est formée d'un tube *t* se terminant par une capsule exploratrice à air *c*. Le bouton *b*, qui est destiné à transmettre le mouvement du ventricule à la membrane de cette capsule, est supporté par un ressort *r* que l'excentrique *e* peut rapprocher ou éloigner de la capsule à air. Le bouton *b* est isolé, électriquement, du reste de l'appareil, par un petit parallépipède d'ivoire *i*.

La branche A s'introduit d'abord séparément dans le cœur, par l'auricule, avec les mêmes précautions que pour l'application d'un sphygmoscope cardiaque; on la fixe, par une ligature, au niveau de l'auricule, ou, dans certains cas, au niveau du sillon

auriculo-ventriculaire (quand on veut opérer sur les ventricules seuls, isolés par une ligature).

On glisse ensuite la branche A sur la tige P, de manière que la paroi musculaire du ventricule soit légèrement pincée entre la plaque *a* de la tige A et le bouton *b* de la branche B.

Chaque mouvement d'épaississement de la paroi du cœur agira pour comprimer le bouton *b*, et, par son intermédiaire, déprimera la membrane de la capsule à air *c*. Cette capsule est en relation, par le tube *t*, avec un tambour à levier, auquel elle communique tous les mouvements du bouton *b*.

Les tracés obtenus au moyen de ce myocardiographe, dans les circonstances les plus diverses (ligature des gros troncs artériels, compression des veines, ligature en masse des ventricules, extraction du cœur, etc.), montrent un plateau systolique à plusieurs dentelures, c'est-à-dire présentant le même caractère de complexité que les tracés cardiographiques ordinaires (voir fig. 47 et 48).

Le graphique de la pulsation du muscle cardiaque, explorée au moyen de la pince myographique ou de tout autre appareil enregistreur (cardiographe, explorateur à coquille, sphygmoscope), tant sur le cœur privé de sang que sur le cœur extrait et isolé, doit être assimilé, non au graphique d'une secousse musculaire simple, mais à celui d'un tétanos, composé de trois ou quatre secousses élémentaires, plus ou moins fusionnées.

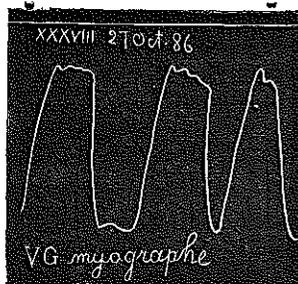


Fig. 47. Tracé myocardiographique du ventricule gauche. Cœur en place.

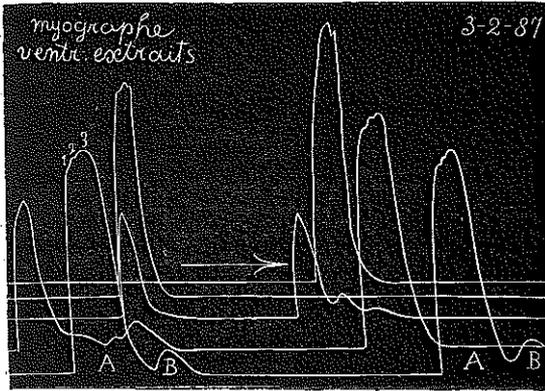


Fig. 48. Tracés pris au moyen du myocardiographe fixé dans le ventricule gauche.
Cœur extrait.

Marey ne s'est cependant pas trompé en affirmant que le cœur du lapin, extrait du corps, peut fournir un graphique de secousse musculaire, sur lequel on ne reconnaît plus les ondulations du plateau systolique. C'est rigoureusement vrai pour les dernières séries de pulsations du cœur lié en masse, celles qui précèdent la mort. Le tétanos cardiaque avorte dans ces cas.

Si, au lieu de lier le cœur avant de l'extraire, on le détache directement à coups de ciseaux, en le saisissant entre les doigts de la main gauche, il se videra complètement de sang. Il se trouve alors dans des conditions moins favorables à la manifestation du tétanos cardiaque; et l'on obtient le plus souvent d'emblée les graphiques simples rappelant ceux de la secousse musculaire unique. Le tétanos, quand on l'observe, avorte au bout de peu de secondes.

La figure 49 nous montre la simplification croissante des tracés cardiographiques, à mesure que le cœur s'épuise, à la suite d'une ligature en masse des ventricules sur la pince myographique.

C'est bien à l'absence de sang qu'est dû ce résultat: mais absence de sang signifie ici simplement arrêt de la nutrition et épuisement du cœur.

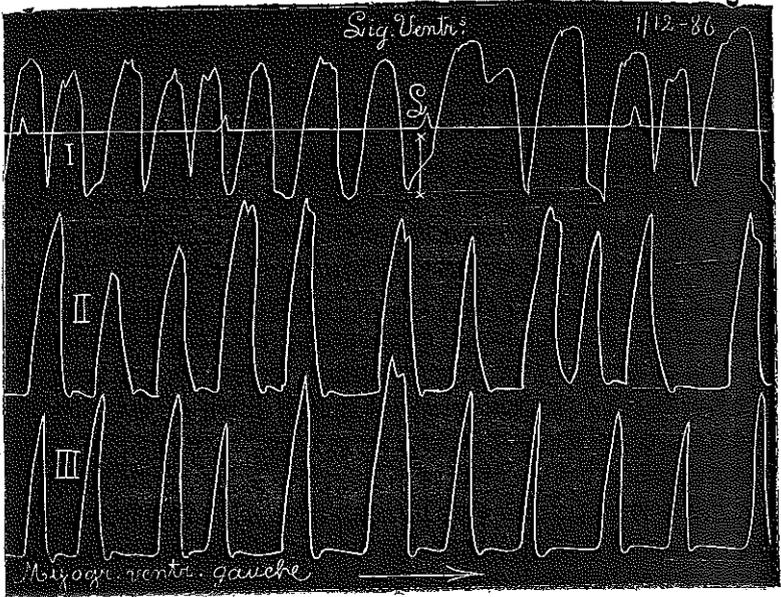


Fig. 49. Tracés pris au moyen du myocardiographe dans le ventricule gauche, avant et après la ligature des ventricules (immédiatement au-dessus du sillon auriculo-ventriculaire).

Dans beaucoup de cas, l'étude des variations électriques du cœur (enregistrement photographique des excursions de la colonne mercurielle de l'électromètre de Lippman) nous révélera la complexité réelle des dernières pulsations cardiaques, alors que le graphique ferait croire à une simple secousse musculaire ⁽¹⁾.

Une particularité que présentent ordinairement les dernières pulsations du cœur, c'est une alternance régulière de pulsations fortes et de pulsations faibles (*pulsus alternans*). Dans ce cas, l'étude des variations électriques du cœur nous montre que les deux espèces de pulsations ne sont pas strictement équivalentes,

(1) Sur les phénomènes électriques de la systole ventriculaire chez le chien. Bulletin de l'Académie royale de Belgique. Mai 1887.

au point de vue du nombre des excitations élémentaires du muscle cardiaque. Pour l'une d'elles, le mouvement de la colonne de l'électromètre est plus complexe que pour l'autre : il y a manifestement une excursion, en plus, du ménisque capillaire.

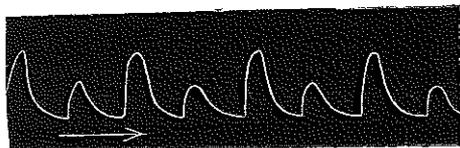


Fig. 50. Dernières pulsations d'un cœur de lapin extrait, montrant le pouls alterne.

§ V. — *Vide post-systolique.*

Le maximum de pression négative se montre dans les ventricules immédiatement après l'ondulation de clôture des sigmoïdes et correspond au vide post-systolique de Marey.

Les tracés de pression ventriculaire recueillis par Marey et Chauveau chez le cheval montrent une dépression plus ou moins profonde, parfois même une véritable encoche, qui suit immédiatement la systole et l'ondulation de clôture des sigmoïdes artérielles. Cette dépression est l'indice d'une diminution considérable de la pression ventriculaire : Marey lui a donné le nom de *vide* ou *vacuité post-systolique*.

Le vide post-systolique a pour effet d'aspirer vers les ventricules le sang contenu dans les oreillettes et de produire ce que Marey appelle le *flot de l'oreillette*. Marey a parfaitement réussi à reproduire sur son grand schéma de la circulation et le phénomène du *vide post-systolique* et celui du *flot de l'oreillette*(¹).

Goltz et Gaule ont étudié, chez le chien, au moyen d'un manomètre à mercure muni d'une valvule (manomètre à minima), la valeur absolue de cette pression négative qui se développe dans les ventricules à chaque révolution cardiaque. Ils ont trouvé chez un chien vigoureux une pression négative atteignant 52^{mm} de mercure dans le ventricule gauche : chez un autre chien, la pression à l'intérieur du ventricule droit descendit à

(¹) MAREY. *Circulation du sang*, 1884, p. 717 et fig. 347.

17,2^{mm} de mercure. La durée pendant laquelle se développe cette pression négative doit être fort courte pour chaque pulsation, car la colonne du manomètre descend lentement et n'atteint son niveau stationnaire le plus bas qu'au bout d'un assez grand nombre de pulsations.

de Jager a trouvé par un procédé analogue que la pression négative pouvait atteindre jusqu'à 38^{mm} de mercure dans le ventricule droit du chien. Les chiffres de pression du ventricule gauche sont moins élevés que ceux de Goltz et Gaule. de Jager admet avec Marey, Goltz et Gaule que le vide ventriculaire se produit immédiatement après la systole du ventricule.

Isebree Moens a constaté également l'existence de l'aspiration ventriculaire : mais il a cherché à démontrer par des raisons théoriques que ce vide doit se produire pendant la seconde partie de la systole ventriculaire, alors que le muscle cardiaque est encore contracté, et non pendant la phase de relâchement du ventricule.

Je ne rapporterai pas ici le raisonnement sur lequel Moens appuie son affirmation : il y a mieux à faire que de peser le degré de probabilité de l'opinion de Moens, c'est de s'adresser à l'expérience directe pour résoudre le point en litige. Il s'agit, en effet, non de chercher à déterminer *a priori*, par le raisonnement ou le calcul mathématique, *ce qui doit théoriquement se passer* dans le ventricule, mais bien de rechercher expérimentalement, sans parti pris, *ce qui se passe réellement*.

Or les courbes de pression intra-ventriculaire recueillies chez le chien au moyen de la sonde cardiaque droite introduite dans le ventricule du même côté par la veine jugulaire (sans ouverture de la poitrine) montrent à l'évidence que le minimum de pression se produit après la systole, immédiatement après la fermeture des valvules sigmoïdes. Ce minimum est peu marqué ici, à cause du manque de sensibilité de la sonde cardiaque droite.

Il est plus facile de vérifier le même fait après ouverture de la poitrine et mise à nu du cœur. On peut alors introduire un sphygmoscope par l'auricule droite ou gauche et le faire pénétrer jusque dans le ventricule correspondant.

Ici, comme dans les tracés de Chauveau et Marey, on constatera toujours que la partie la plus basse de la courbe, c'est-à-dire celle qui correspond au minimum de la pression intra-ventriculaire, se montre immédiatement après la fin de la systole ventriculaire.

Cette conclusion ressort si clairement de l'examen des tracés publiés il y a plus de 25 ans par Chauveau et Marey, que je n'aurais même pas songé à revenir sur cette question si le fait n'avait été contesté par Moens.

Un des arguments sur lesquels Moens se basait pour nier le vide post-systolique et reporter la pression négative en pleine phase systolique du ventricule, c'est que le vide post-systolique aurait dû se propager au contenu des oreillettes et y faire sentir ses effets, ce qu'il niait. Or cette propagation, niée par Moens, est bien réelle, comme l'ont constaté Chauveau et Marey, François Franck, de Jager et d'autres, et comme on pourra le voir sur les tracés cardiographiques de l'oreillette du chapitre suivant.

§ VI. — *Influence de la systole ventriculaire sur la pulsation artérielle.*

Toute modification dans l'interprétation du tracé cardiographique entraîne une modification correspondante dans l'interprétation du tracé sphygmographique. Les ondulations qui précèdent le dicrotisme du tracé artériel ne sont que le retentissement des ondulations *c d e* du plateau systolique du tracé ventriculaire. Ces ondulations correspondent aux différentes secousses simples dont se compose la contraction des ventricules (tétanos cardiaque).

La forme du tracé sphygmographique (fig. 51), est assez bien connue actuellement. Tous les auteurs sont d'accord pour admettre que l'onde du pouls débute brusquement par une phase d'ascension très rapide et très courte (expansion de l'artère), que la descente de la courbe se fait, au contraire, beaucoup plus lentement (phase d'affaissement ou de retrait de l'artère). Cette descente est interrompue un instant par une ondulation (B fig. 51) à laquelle Marey a donné le nom de *rebondissement* ou *dicrotisme du pouls* ou encore celui d'*ondulation secondaire*

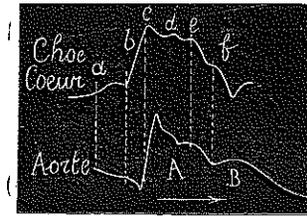


Fig. 51. Tracé cardiographique et tracé sphygmographique (pris au moyen du sphygmoscope).

- a b*, Systole de l'oreillette;
- b c*, début de la Systole ventriculaire;
- c d e*, plateau systolique;
- e f*, début de la diastole ventriculaire;
- f*, ondulation de clôture des valvules sigmoïdes;
- A, pulsation artérielle principale correspondant au plateau systolique *c d e*;
- B, pulsation secondaire ou dicrote, correspondant à l'onde de clôture des valvules sigmoïdes.

(*Rückstosselevation* de Landois, *erste Schliessungsgipfel* de Moens). Lorsque le graphique a été recueilli au moyen d'un appareil très sensible, l'ondulation principale A, qui précède l'ondulation dicrote B, se laisse décomposer elle-même en deux ou trois oscillations plus petites *d e*. Enfin, si les pulsations sont suffisamment espacées, on peut observer après l'ondulation dicrote B, une ou plusieurs oscillations plus ou moins étendues. Ce sont les oscillations élastiques de Landois.

L'interprétation du tracé sphygmographique est l'objet des mêmes controverses et des mêmes incertitudes que celle du tracé cardiographique. Il ne pouvait en être autrement, puisque la pulsation artérielle n'est qu'une émanation et comme la continuation de la pulsation ventriculaire, et que les auteurs ne sont d'accord ni sur le moment de la systole ventriculaire où les valvules sigmoïdes artérielles s'ouvrent, ni sur le moment où elles se referment.

Or, il est clair que ces deux points offrent une importance capitale au point de vue de l'interprétation du tracé sphygmographique. Depuis le moment de l'ouverture des sigmoïdes jusqu'à celui de leur clôture, le ventricule et l'aorte constituent

des vases communiquant librement entre eux. Tout changement de pression, toute ondulation qui se développe à l'intérieur de l'un de ces vases, doit faire sentir ses effets dans l'autre. Le tracé du ventricule et celui de l'aorte devront présenter les mêmes ondulations pendant tout le temps où ces deux cavités communiquent entre elles : l'interprétation donnée à cette partie de la courbe artérielle devra être calquée sur celle de la courbe ventriculaire.

Landois ⁽¹⁾, Maurer, Moens, et tous ceux qui en Allemagne admettent la clôture prématurée des valvules sigmoïdes de l'aorte au point *d* du tracé ventriculaire, devront retrouver l'ondulation de clôture des sigmoïdes aortiques sur le tracé artériel au-devant de l'onde dicrote. L'ondulation de clôture des sigmoïdes indiquée par la lettre S sur les tracés de Landois et de Moens correspond, en effet, à l'ondulation *e* du tracé sphymographique de la figure 51.

Pour Buisson, Marey, Chauveau, les physiologistes et les cliniciens français, l'ondulation dicrote répond comme temps au moment de la clôture des sigmoïdes et reconnaît cette clôture comme cause ⁽²⁾. J'ai recueilli, sur le chien, de nombreux tracés sphymoscopiques, tant dans l'artère pulmonaire qu'à l'origine de l'aorte, tracés qui confirment pleinement cette interprétation de Buisson. Il y a coïncidence parfaite entre le dicrotisme artériel et l'ondulation de clôture des sigmoïdes sur le tracé ventriculaire.

Quant au début de la pulsation artérielle à l'origine de l'aorte, Marey et Chauveau ont montré, il y a plus de vingt-cinq ans, que ce début retarde sur celui de la contraction ventriculaire, la systole du ventricule n'atteignant pas instan-

⁽¹⁾ Dans le résumé du présent travail qui a paru dans les bulletins de l'Académie de Belgique, j'avais commis une erreur importante dans l'énoncé de l'interprétation de Landois du tracé sphymographique. Je lui avais attribué à tort la même opinion qu'à Marey sur l'origine de l'ondulation dicrote.

⁽²⁾ MAREY avait d'abord admis une autre explication de l'ondulation dicrote. Comme ce point n'a plus qu'un intérêt purement historique, je ne m'en occuperai pas ici.

tanément une force suffisante pour soulever les valvules sigmoïdes de l'aorte.

“ *Ce retard.... est sensiblement égal à un dixième de seconde, est employé par le ventricule à atteindre le degré de pression intérieure suffisant pour vaincre la pression du sang dans l'aorte (1).* „

L'existence de ce retard a été contestée formellement par Baxt et implicitement par Grunmach et par Talma (2). Tous les autres auteurs se sont, au contraire, ralliés à l'opinion de Chauveau et Marey. J'ai moi-même, dans un travail antérieur (3), déterminé la valeur de ce retard chez le chien. Je l'ai trouvé voisin de sept centièmes de seconde.

Mes recherches n'ont donc fait que confirmer les données de Chauveau et Marey sur les moments d'ouverture et de clôture des valvules sigmoïdes de l'aorte et je ne puis que me rallier à l'interprétation admise par Marey pour les parties du tracé sphygmographique qui précèdent l'ouverture des sigmoïdes ou suivent leur clôture.

Et quant à la portion *c d e* du tracé sphygmographique, elle n'est pour Marey, comme pour moi d'ailleurs, que la reproduction fidèle de la portion *c d e* du plateau systolique ventriculaire et doit être interprétée comme cette dernière (voir fig. 52, 53, 54).

J'ai démontré que les ondulations *c d e* du tracé ventriculaire persistaient encore après ligature de l'aorte et de l'artère pulmonaire et étaient dues à la forme même de la contraction des

(1) MAREY. *La circulation du sang*, 1881, p. 448.

(2) BAXT. *Die Verkürzung der Systolenzeit durch den Nervus accelerans cordis*. Archiv für Physiologie, 1878, p. 122-136 (aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig).

GRUNMACH. *Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswellen*. Archiv für Physiologie, 1879, p. 417-434 (aus dem physiologischen Institute zu Berlin).

TALMA. *Beitrag zur Kenntniss des Pulses und des Herzstosses*. Archiv für die gesammte Physiologie, 1885, XXXVII, p. 607-617.

(3) *Exploration des battements du cœur par la sonde œsophagienne*. Archives de Biologie, VII, p. 229-248, et Travaux du laboratoire, 1885-86.

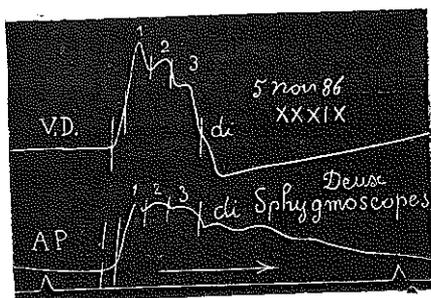


Fig. 52. Graphiques de pression recueillis simultanément, au moyen de deux sphygmoscopes, dans le ventricule droit V. D. et dans l'artère pulmonaire A. P., sur un chien à poitrine ouverte après une suspension de la respiration artificielle. Horloge à secondes.

1. 2. 3. ondulations du plateau systolique; *di*, onde de clôture des valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire ou onde dicrote du tracé artériel.

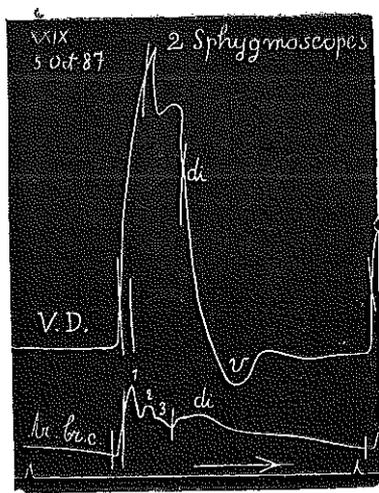


Fig. 53. Graphiques de pression recueillis simultanément dans le ventricule droit V. D., et dans le tronc brachio-céphalique *tr. br. c.*, chez un chien à poitrine ouverte, pendant la suspension de la respiration artificielle.

1. 2. 3. ondulations du plateau systolique; *di*, ondulation dicrote due à la fermeture des valvules sigmoïdes; *v*, vide post-systolique.

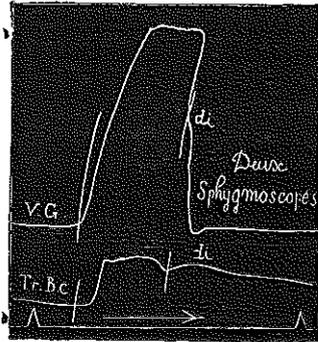


Fig. 54. Graphiques de pression recueillis simultanément dans le ventricule gauche V. G. et dans le tronc brachio-céphalique Tr. B. c.
di, ondulation de clôture des valvules sigmoïdes (dicrotisme artériel).

parois musculaires du ventricule. Cette contraction n'est pas une secousse simple, comme on l'a cru jusqu'à présent, mais un vrai tétanos résultant de la fusion d'au moins trois secousses élémentaires. Les ondulations *c d e* naissent donc dans le ventricule par le fait de la contraction systolique et se propagent de là avec l'onde du pouls dans l'arbre artériel. On les retrouve dans le tracé de l'artère pulmonaire tout comme dans celui des artères de la grande circulation.

L'interprétation nouvelle que je propose du tracé sphygmographique explique donc l'apparition des petites ondulations qui précèdent le dicrotisme, par la propagation au contenu des artères, d'ondulations qui naissent dans le ventricule. Pour Marey, au contraire, ces ondes naissent dans l'aorte et se propagent de l'aorte au ventricule. Enfin pour Moens, Landois, etc., la plus importante de ces ondes, celle qui précède le dicrotisme artériel, est due à la clôture des valvules sigmoïdes de l'aorte.

Je ne m'occuperai pas ici du mode de production de l'ondulation dicrote ou élastique, ni des différences que peuvent présenter les tracés de l'artère pulmonaire et ceux de l'aorte, attendu que je compte traiter ce sujet ultérieurement avec tous les développements qu'il comporte. Tout ce que j'ai voulu

montrer dans le présent paragraphe, c'est que l'interprétation nouvelle du tracé cardiographique que je propose entraîne comme conséquence une interprétation nouvelle du tracé sphymographique.

CHAPITRE II.

SUR LE TRACÉ CARDIOGRAPHIQUE DES OREILLETES.

BIBLIOGRAPHIE.

CHAUVEAU & FAIVRE. *Expériences sur la physiologie du cœur faites à l'École impériale vétérinaire de Lyon.* Gazette médicale de Lyon, 1866.

CHAUVEAU. *Sur les bruits veineux.* Gazette médicale de Paris, 1858.

CHAUVEAU & MAREY. Article cité au ch. I. 1863.

POTAIN. *Recherches sur les mouvements et les bruits qui se passent dans les veines jugulaires.* Mém. soc. méd. des hôpitaux, 1868.

ROVIDA. *Del polso delle vene.* Rivista clinica di Bologna, 6 juin 1871.

LUCIANI. *Delle oscillazioni della Pressione.* Turin, 1877.

FRANÇOIS FRANCK. *Travaux du laboratoire de Marey, 1877.* Comptes rendus de la Société de Biologie, 1882.

Mouvements des veines du cou en rapport avec l'action de la respiration et du cœur. Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie. Mars-Avril 1882.

MOSSO. *Sul polso negativo.* Archiv. p. l. Scienze mediche II, p. 401. Turin, 1878.

GOTTWALT. *Der normale Venenpuls.* Archiv für die gesammte. Physiologie, 1881, XXV, p. 1.

RIBGEL. *Ueber den normalen und pathologischen Venenpuls.* Deutsches Archiv. f. klin. Medicin, 1881, XXXI, p. 1-62 et p. 471-484.

A. LEFÈVRE. *De l'aspiration propre du cœur.* Lyon, 1884.

MARTIUS. *Graphische Untersuchungen über die Herzbewegung.* Zeitschrift für klinische Medicin, 1888.

§ I. — *Historique.*

Les phénomènes qui se passent du côté des oreillettes à chaque révolution du cœur ont bien moins occupé l'attention des physiologistes que ceux de la systole ventriculaire. Ici encore, les recherches classiques de Chauveau et Marey, quoique remontant à plus de vingt-cinq ans, résument le mieux l'état actuel de la science.

Les tracés de pression intra-auriculaire recueillis par Chauveau et Marey, chez le cheval, au moyen des sondes cardiographiques ne montrent qu'une seule élévation de quelque importance: elle correspond à la systole auriculaire (voir fig. 4 et 5). Immédiatement après, survient le relâchement de l'oreillette, coïncidant avec une chute brusque de la courbe cardiographique qui atteint ici, c'est-à-dire au début de la systole ventriculaire, son niveau le plus bas. A partir de ce point, la direction générale de la courbe auriculaire reste presque horizontale, mais présente cependant une légère inclinaison ascendante jusqu'à la prochaine systole auriculaire.

Cette partie horizontale de la courbe montre sur les tracés de Chauveau et Marey, de petites inflexions de peu d'importance qui ne sont que le retentissement des changements de pression plus importants, dont les ventricules sont le siège: ondulations correspondant à celles qui se voient sur le plateau de la systole ventriculaire et ondulation de clôture des valvules sigmoïdes.

Cette description de la systole auriculaire a passé dans le domaine classique de la physiologie et les tracés de Chauveau et Marey se trouvent reproduits dans la plupart des traités de physiologie.

Cependant, ces tracés correspondent probablement à des conditions expérimentales exceptionnelles et sont très différents de ceux que j'ai recueillis sur le cœur du chien. Je me hâte d'ajouter que le travail de Chauveau et Marey renferme, page 46, un paragraphe intitulé: *Influence de l'abaissement de la base des ventricules, pendant leur systole, sur la forme du tracé*

auriculaire, qui modifie assez notablement la description générale de la systole auriculaire, telle que les mêmes auteurs l'avaient donnée quelques pages auparavant. Je transcris ici le passage en question :

“ L'examen du cœur à nu, sur l'animal vivant, a démontré à l'un de nous ⁽¹⁾ que la base des ventricules, du droit principalement, s'abaisse vers la pointe de l'organe pendant l'état systolique. La valvule tricuspide étant relevée à ce moment, et entraînée avec le ventricule, il en résulte que le plancher de la cavité auriculaire s'abaisse sensiblement ; ce qui tend à agrandir cette cavité.

“ Les tracés cardiographiques démontrent que les choses se passent réellement ainsi. Il en est peu où l'on ne trouve au moins des traces de cet agrandissement. Le tracé qui est représenté figure 16 en donne un bel exemple. On y voit, en effet, la courbe auriculaire s'abaisser brusquement immédiatement après la petite élévation (*a*) produite par le début de la systole ventriculaire ; et cet abaissement ne cesse qu'au moment où le relâchement ventriculaire est tout à fait accompli. Cependant le sang continue, pendant que cet abaissement se produit, à couler régulièrement des veines dans l'oreillette, et ce serait ainsi une élévation de la courbe que l'on devrait constater si la cavité auriculaire ne s'agrandissait pas par le mécanisme qui vient d'être indiqué. „

Récemment, le Dr Albert Lefèvre, dans un travail intitulé : *De l'aspiration propre du cœur*, et fait sous la direction de Chauveau, a donné des développements étendus à l'idée exprimée dans le passage que je viens de citer.

Si les résultats de mes recherches sont en désaccord avec la description générale de Chauveau et Marey, ils sont, au contraire, de point en point conformes aux faits mis en lumière par les recherches de Chauveau et publiés par Lefèvre.

(1) CHAUVEAU et FAIVRE. *Gazette médicale de Paris*, 1856.

§ II. — *Inscription de la pulsation auriculaire. Forme du tracé auriculaire ; son interprétation.*

Le tracé de pression intra-auriculaire montre à chaque révolution cardiaque, les détails suivants :

1^o Une ondulation positive *a b*, correspondant à la systole des oreillettes et disparaissant quand on supprime cette dernière ;

2^o Une ondulation positive *b c*, correspondant au début de la systole ventriculaire et à la projection brusque du côté de l'oreillette, des valvules auriculo-ventriculaires. Cette ondulation, ainsi que les suivantes, se montre encore après suppression de la systole auriculaire.

3^o Une onde négative très marquée *cde*, représentant un vrai pouls négatif et correspondant au reste de la systole ventriculaire, à la projection de l'ondée ventriculaire dans l'aorte et dans l'artère pulmonaire. Cette onde négative est due à l'agrandissement brusque de l'oreillette et à l'abaissement de la cloison auriculo-ventriculaire qui se montre au moment où les ventricules déchargent leur contenu dans les grosses artères (recul balistique des ventricules). Cette ondulation conserve ses caractères après l'ouverture de la poitrine.

4^o Une onde négative *f* séparée de la précédente par une portion convexe. Cette onde négative est due à la propagation à l'oreillette du vide ventriculaire post-systolique et à la déplétion auriculaire qui en est la conséquence (not de l'oreillette de Marey).

La sonde cardiaque droite introduite par la jugulaire, poussée jusque dans le ventricule, puis retirée dans l'oreillette, peut nous donner un tracé des variations de la pression auriculaire à chaque révolution cardiaque. Généralement ce tracé manque d'amplitude à cause du peu de sensibilité de la sonde étroite qui doit pénétrer dans la jugulaire.

Comme ces tracés ont exactement la même forme que ceux que l'on recueille après l'ouverture de la poitrine et que cette dernière opération permet l'introduction directe dans les cavités auriculaires d'instruments plus volumineux et plus sensibles, il vaut mieux n'employer qu'exceptionnellement la sonde cardiaque jugulaire. La plupart de mes tracés ont été recueillis au moyen d'un sphygmoscope de Marey rempli d'huile au préalable et présentant une canule très courte et très large, de manière à ce que l'ampoule en caoutchouc du sphygmoscope ne fût pour ainsi dire que le prolongement direct de la cavité auriculaire.

On fait une boutonnière soit à l'auricule droite, soit à l'auricule gauche et on y fixe la canule du sphygmoscope. Il est

indispensable de prendre en même temps, soit un tracé cardiographique, soit un tracé sphygmographique d'une des grosses artères avoisinant le cœur (carotide près de son origine, sous-clavière gauche, ou mieux tronc brachio-céphalique) et de noter au moyen de repères nombreux la position respective des deux plumes qui tracent les graphiques.

L'irritation mécanique de l'auricule, inséparable de l'introduction de la canule du sphygmoscope, a généralement pour effet de suspendre pendant quelques minutes les pulsations dans les deux oreillettes et de provoquer les contractions tremblotantes connues sous le nom de délire du cœur. Les ventricules continuent à battre normalement.

Les tracés auriculaires pris au moment du délire des oreillettes, comparés à ceux que l'on inscrit alors que les oreillettes battent normalement, nous fournissent des renseignements précieux sur la part respective qui revient à la systole auriculaire et à la systole ventriculaire dans la production des inflexions du tracé de pression auriculaire.

Comme on le voit sur les figures 55, 56, 57 et 58, le tracé cardiographique de l'oreillette débute ordinairement par un soulèvement ou une ondulation *a b* qui précède la systole du ventricule et qui correspond exactement à la systole auriculaire.

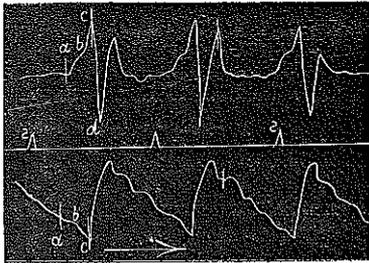


Fig. 58. Tracés de la pression dans l'oreillette droite (ligne supérieure) et dans la carotide (ligne inférieure) pris au moyen de deux sphygmoscopes.

ab, systole de l'oreillette; *bc*, début de la systole ventriculaire; *c*, pénétration du sang dans le système artériel; de *s* en *s* (ligne moyenne) tracé de l'horloge à secondes.

jection de la courbe vers le haut : aussi son sommet peut être fort aigu. *b c* peut être séparé de *a b* par une légère dépression (voir fig. 56 et 57); parfois les deux ondulations se continuent presque sans interruption (fig. 55); parfois même, elles se confondent complètement, de sorte qu'il est impossible de dire où l'une finit et où l'autre commence (fig. 58). Le début de *b c* correspond exactement au début de la systole ventriculaire, c'est-à-dire à l'inscription de la ligne d'ascension *b c* du cardiogramme ventriculaire (fig. 60 et 61).

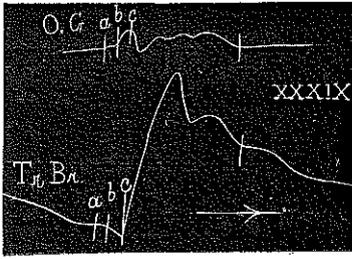


Fig. 59. Tracé de la pression pris simultanément dans l'oreillette gauche (O. G.) et dans le tronc brachio-céphalique (Tr. Br.); *a b*, systole de l'oreillette; *b c*, début de la systole ventriculaire; *c*, pénétration du sang à l'origine de l'aorte.

Immédiatement après la descente de la plume qui a tracé l'ondulation positive *b c*, ou parfois après un intervalle fort court, marqué par une petite portion horizontale du graphique, se produit une pulsation négative *c d* brusque et énergique. C'est souvent l'accident le plus marqué du tracé tout entier; c'est celui sur lequel Chauveau et Lefèvre ont appelé l'attention. Le début de cette dépression correspond approximativement à l'inscription du sommet *c* du tracé cardiographique. Il coïncide exactement avec l'ouverture des valvules sigmoïdes et la pénétration de l'ondée sanguine dans l'aorte et l'artère pulmonaire, de sorte qu'à ce moment les plumes qui tracent, l'une le sphygmogramme de l'origine de l'aorte, l'autre le cardiogramme de l'oreillette, marchent exactement en sens inverse.

Cette marche inverse des deux plumes se poursuit géné-

ralement jusqu'à la fin de la systole ventriculaire, c'est-à-dire jusqu'à la fermeture des valvules sigmoïdes et au début du dirotisme artériel. Au moment où la plume artérielle trace le creux qui sépare l'ondulation principale du sphygmogramme de l'ondulation dicrote, la plume de l'oreillette s'est relevée et trace, au contraire, une pulsation positive *f* à laquelle fait suite un creux plus ou moins accentué répondant comme temps à la pulsation artérielle dicrote et au vide post-systolique du ventricule.

Après avoir donné la description du tracé cardiographique de l'oreillette et avoir établi la coïncidence exacte de ses divers éléments avec ceux du tracé du ventricule et ceux du tracé de l'aorte, je passe à l'interprétation de ce tracé, interprétation entièrement conforme à celle de Chauveau et Lefèvre.

Ondulation a b. — L'ondulation *a b*, qui coïncide avec la systole auriculaire est directement produite par cette dernière. Elle disparaît, en effet, et est remplacée par une portion horizontale de graphique (fig. 60 et 61) dès qu'on supprime la contraction rythmée des parois de l'oreillette; elle reparait sur le tracé quand reparait la systole de l'oreillette. (Comparez les figures 60 et 61 avec les figures 55, 56 et 57.) J'ai déjà dit qu'on pouvait provoquer l'inertie de l'oreillette par excitation mécanique et que l'introduction dans l'auricule de la canule du sphygmoscope avait précisément pour effet de supprimer au moins temporairement le fonctionnement rythmé des muscles auriculaires et de produire les trémulations irrégulières connues sous le nom de délire des oreillettes.

On peut également atteindre le même but par l'excitation électrique. Dans la communication préliminaire ⁽¹⁾, dont le travail actuel n'est que le développement, je disais :

Des chocs d'induction relativement faibles, appliqués sur les ventricules, arrêtent immédiatement les pulsations des deux ventricules, qui sont pris de trémulations fibrillaires; les oreil-

(¹) *Sur la physiologie du cœur chez le chien.* Bulletin Acad. Belg., déc. 1886.

llettes continuent à battre pendant quelques minutes ; le cœur s'arrête bientôt.

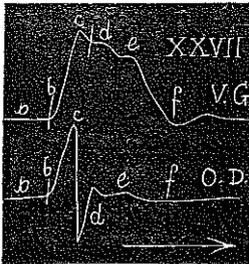


Fig. 60. Tracés de pression pris simultanément dans le ventricule gauche (V. G.) et dans l'oreillette droite (O. D.), au moyen de deux sphygmoscopes. Délire des oreillettes.

a b, place de la systole de l'oreillette ; *b c d e*, systole du ventricule ; *e f*, relâchement ventriculaire ; *f*, vide post-systolique.

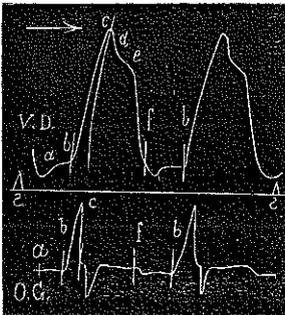


Fig. 61. Tracés de la pression pris simultanément dans le ventricule droit (V. D.) et dans l'oreillette gauche (O. G.), au moyen de deux sphygmoscopes. Délire des oreillettes.

a b, place de la systole de l'oreillette ; *b c d e*, systole du ventricule ; *e*, relâchement ventriculaire.

De même, l'excitation électrique d'une portion d'oreillette arrête la pulsation des deux oreillettes, les ventricules continuant à battre. Dans ce dernier cas, les oreillettes, après avoir présenté pendant quelques minutes des trémulations irrégulières, reprennent le rythme normal de leurs pulsations.

Les deux ventricules d'une part et les deux oreillettes de l'autre constituent donc deux unités physiologiques, jusqu'à un certain point indépendantes l'une de l'autre (confirmation et

extension de faits découverts par Ludwig et Hoffa et par Vulpian).

Pendant la suppression des systoles auriculaires, l'ondulation *ab* disparaît seule et est remplacée par une ligne horizontale. Les autres portions *bcdf* du tracé auriculaire ne subissent aucun changement, ce qui prouve qu'elles dépendent de mouvements du cœur autres que ceux des oreillettes. Elles sont l'indice d'une action de la systole ventriculaire sur le contenu de l'oreillette.

Ondulation b c. — L'ondulation *bc* correspond exactement au début de la systole ventriculaire, c'est-à-dire au moment où les valvules auriculo-ventriculaires se ferment brusquement et où le dôme qu'elles forment ainsi est projeté du côté de l'oreillette.

Ce mouvement de projection des valvules auriculo-ventriculaires peut être directement constaté à la palpation, comme on le sait depuis longtemps. Il suffit de pratiquer une boutonnière dans l'auricule et d'introduire le doigt dans l'oreillette et de là dans l'orifice auriculo-ventriculaire.

Quoi de plus naturel que d'attribuer la courbe *bc* du tracé auriculaire à ce mouvement de projection des valvules au début de la systole ventriculaire et à la compression du contenu de l'oreillette qui en est la conséquence.

L'ondulation *bc* est très marquée et en même temps très courte, comme le mouvement valvulaire qui lui donne naissance.

L'ondulation *bc* se voit manifestement sur beaucoup de tracés publiés par les auteurs.

Elle a souvent été méconnue, confondue avec l'ondulation *ab* et attribuée à tort à la systole auriculaire. Elle n'a cependant rien de commun avec cette dernière, puisqu'elle persiste après la suppression des battements de l'oreillette (voir fig. 60 et 61).

Ondulation négative c d. — Le début de la pulsation négative *cd* et son tracé correspondent assez exactement à la pulsation principale artérielle, c'est-à-dire au temps de pénétration de l'ondée sanguine dans l'aorte et dans l'artère pulmonaire. On pourrait être tenté de l'attribuer au vide qui se produit dans la poitrine au moment où l'ondée de l'aorte est projetée par les grosses artères au dehors du thorax. En effet, dans une cavité

close, remplie en partie de liquides et de gaz comme la poitrine, toute soustraction de substance, toute projection de liquide à l'extérieur, doit avoir pour effet d'agrandir l'espace vide et par conséquent d'abaisser la pression interne. Les changements de pression du milieu intra-thoracique doivent se propager à travers les parois flasques de l'oreillette au contenu sanguin de ces cavités.

C'est l'explication, très rationnelle en théorie, que Brücke, Mosso et d'autres, ont donnée du pouls négatif de la jugulaire qui probablement n'est que la propagation de la pulsation négative *c. d.* Cette explication n'est évidemment applicable qu'à la poitrine considérée comme cavité close et n'est plus admissible au cas où la paroi thoracique a été enlevée et où le cœur est mis à nu. Et comme l'ouverture de la poitrine n'a pas d'influence marquée sur le pouls négatif des jugulaires ni sur le pouls négatif des oreillettes qui persiste en présentant les mêmes caractères essentiels qu'avant l'opération, il faut bien en conclure que la cause principale de cette pulsation négative doit être cherchée ailleurs que dans la projection au dehors du thorax de l'ondée aortique.

Je ne discuterai donc pas la théorie en question de la pulsation négative des veines et de l'oreillette. Pour moi, comme pour Chauveau et son élève Lefèvre, la pulsation auriculaire négative est due au recul hydrodynamique ou balistique du cœur, qui se produit au moment où l'ondée sanguine ventriculaire pénètre dans l'aorte et dans l'artère pulmonaire. Ce recul tend à éloigner les ventricules des oreillettes et à abaisser dans la direction de la pointe du cœur le plancher auriculo-ventriculaire formé par l'accolement des valvules mitrale et tricuspide. Il en résulte un agrandissement brusque de la cavité des oreillettes, d'où production d'un vide relatif qui se traduit par la pulsation négative *c. d.*

La systole des ventricules agit donc à la fois comme pompe foulante du côté des artères et comme pompe aspirante du côté des oreillettes, c'est-à-dire du côté des veines; et, comme le dit fort bien Lefèvre, le même coup de piston produit en même temps le refoulement et l'aspiration.

Le travail de Chauveau et Faivre, paru en 1856 dans la *Gazette médicale de Lyon*, contient un passage intéressant que je transcris ici d'après la citation de Lefèvre, n'ayant pas l'original sous les yeux.

“ Quant à la question de savoir si le cœur peut éprouver un mouvement de recul dans le sens de sa longueur, c'est-à-dire de sa base à sa pointe, pendant la systole ventriculaire, on la résout bien vite par l'affirmative, lorsqu'on jette un coup d'œil sur les conditions dynamiques qui président à la projection de l'ondée sanguine dans le système artériel. L'effort contractile qui détermine cette projection développe, en effet, sur la surface intérieure du cœur, une pression proportionnelle à l'intensité de la systole; et comme, en vertu de la loi physique, cette pression est plus faible au niveau des orifices artériels chargés de donner écoulement au sang, le point de paroi opposé à ces orifices, c'est-à-dire la pointe du cœur, supporte un excès de pression qui peut entraîner l'organe dans le sens de son grand axe, c'est-à-dire lui imprimer un mouvement de recul, le cœur étant suspendu librement dans le sac fibro-séreux qui l'enveloppe, par les troncs élastiques des gros vaisseaux. „

Et plus loin : “ il est clair que si ce mouvement de recul n'avait pas lieu, l'extrémité des ventricules devrait remonter vers les oreillettes, pendant la systole inférieure, comme dans l'expérience du cœur excisé et sorti de la poitrine, la pointe de l'organe étant libre et sa base fixée par les gros vaisseaux. Eh bien! il n'en est rien. Pour s'en convaincre expérimentalement, il suffit d'explorer le cœur avec la main introduite par l'abdomen à travers le diaphragme : on sent alors le sommet du cône ventriculaire rester constamment en rapport avec le fond du sac péricardien.

„ On peut encore ouvrir la paroi latérale de la poitrine d'un cheval, et saisir avec l'œil lui-même le mode de locomotion du cœur. Non seulement alors on constate que l'extrémité des ventricules ne remonte point vers la masse auriculaire en abandonnant la paroi thoracique, mais on voit même quelquefois cette extrémité se porter très légèrement en arrière vers l'appendice

xyphoïde, sans s'éloigner ou se rapprocher sensiblement de la face supérieure du sternum. Il y a donc un recul : ceci est hors de doute. Reste à savoir comment il s'exécute. La pointe du cœur n'allant pas vers la base, *il faut nécessairement que la base aille vers la pointe, et c'est effectivement ce qui a lieu.* A chaque systole ventriculaire, la scissure coronaire qui sépare les oreillettes des ventricules, s'abaisse vers l'extrémité du cœur, tantôt plus, tantôt moins, suivant les sujets, mais toujours d'une manière très manifeste, pendant que les troncs artériels s'allongent en se courbant davantage. „

Cette citation nous fait donc ressortir très nettement le mécanisme par lequel se produit l'aspiration auriculaire.

Quant au déplacement vers le bas, ou plus exactement vers la pointe du cœur, du sillon auriculo-ventriculaire, il est facile à constater à la simple vue sur le cœur de chien mis à nu par ablation du plastron sternal et ouverture du sac péricardien. Dans ces conditions, c'est le ventricule droit qui se prête le mieux à l'observation. A chaque systole ventriculaire, on voit le sillon auriculo-ventriculaire dans le voisinage de l'auricule droite, s'abaisser fortement et se porter pour ainsi dire à la rencontre du sillon inter-ventriculaire ; ce dernier, de son côté, chemine de gauche à droite et de bas en haut, tandis que la pointe du cœur reste à peu près au même niveau, le raccourcissement musculaire y étant exactement compensé par le recul balistique.

On peut fixer, au moyen de la photographie instantanée, les aspects successifs que le cœur présente aux différentes phases de sa révolution. J'ai tenté quelques essais dans ce sens. En superposant et combinant ces photographies, on détermine exactement la part de déplacement qui revient à chaque partie du cœur.

La figure schématique 62 indique la direction dans laquelle se meuvent les limites du ventricule droit lors de la systole. Elle se rapporte au cœur du chien et diffère assez notablement (surtout en ce qui concerne la direction du sillon inter-ventriculaire antérieur d'une figure schématique analogue qui se trouve

reproduite d'après Henke⁽¹⁾, dans l'article de Rollett sur la circulation, dans le grand *Handbuch der Physiologie* de Hermann (fig. 6, p. 170, vol. IV, part. 1, 1880).

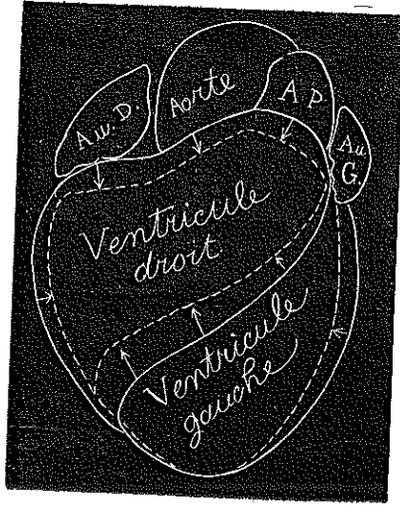


Fig. 62. Cœur de chien vu par sa face antéro-inférieure (demi-schématique).
Les lignes pleines représentent le cœur en diastole.

Les lignes à traits interrompus indiquent les limites des ventricules au moment de leur systole.

Au. D, auricule droite;

Au. G, auricule gauche

A. P., artère pulmonaire.

L'explication de l'aspiration auriculaire par le fait du recul du cœur au moment de la systole ventriculaire n'a été appliquée par Chauveau et Lefèvre qu'au cœur droit. Chauveau pense que l'aspiration auriculaire ne reconnaît pas pour cause dans le cœur gauche le même mécanisme que du côté droit.

Les tracés de pression que j'ai recueillis dans l'oreillette gauche sont absolument semblables à ceux de l'oreillette droite. Il me paraît difficile de ne pas les expliquer de la même façon.

(1) HENKE. *Beiträge z. Anatomie d. Menschen mit Beziehung auf Bewegung*, p. 40, Taf. VII. Leipzig et Heidelberg, 1872.

Avant d'abandonner la question de l'aspiration auriculaire au moment de la systole ventriculaire, je signalerai un fait curieux qui dépend de cette aspiration. Sur un cœur mis à nu et dont les oreillettes ont été frappées de délire par excitation électrique, on peut voir à chaque systole ventriculaire les auricules diminuer de volume et être comme aspirées vers la cavité de l'oreillette. Ce phénomène est des plus marqués lorsque les pulsations sont énergiques.

Onde négative f. — L'onde négative *f* se produit après la systole ventriculaire, au moment où les parois du ventricule exercent sur le contenu de l'oreillette l'aspiration due à la vacuité post-systolique. C'est à ce moment que se produit une brusque déplétion de l'oreillette au profit du ventricule, ce que Marey a appelé *le flot de l'oreillette*. L'onde négative *f* est donc due à la propagation à l'oreillette du vide post-systolique du ventricule. Elle est séparée de l'ondulation négative précédente par une portion saillante, connexe de la courbe, due à la réplétion graduelle et passive des oreillettes, vers la fin de la systole ventriculaire.

§ III. — *Influence des battements auriculaires sur les pulsations œsophagiennes et jugulaires.*

Le tracé de la pulsation œsophagienne recueilli au moyen d'une sonde, montre les mêmes inflexions que celui de l'oreillette. La principale différence consiste dans ce fait que la pression monte dans l'oreillette pendant la systole auriculaire, tandis qu'elle baisse dans l'œsophage au même moment.

La similitude des deux tracés auriculaire et œsophagien provient de ce que les mouvements tant actifs que passifs des oreillettes, et plus spécialement ceux de l'oreillette gauche, se transmettent directement à l'œsophage, à cause des rapports anatomiques intimes présentés par l'oreillette gauche et l'œsophage.

Pulsations œsophagiennes (1). — On introduit par l'œsophage chez le chien, une sonde en gomme (sonde œsophagienne ordinaire) munie à son extrémité d'une ampoule de caoutchouc

(1) Une partie de ce § est la reproduction presque littérale d'un article sur la pulsation œsophagienne que j'ai publié en 1886 dans les Archives de Biologie et dans le premier volume des travaux de mon laboratoire.

en forme de doigt de gant, soutenue au besoin par une carcasse en fil métallique. Le bout extérieur, ouvert, de la sonde est relié à un tambour à levier. La plume du tambour descend à l'inspiration, pour remonter à l'expiration, et décrit ainsi sur le cylindre enregistreur de larges ondulations correspondant aux mouvements respiratoires de l'animal. On distingue ordinairement, à côté de ces ondulations respiratoires et superposées à celles-ci, de petites inflexions saccadées, plus nombreuses que les premières et correspondant aux pulsations cardiaques.

Ces tracés de pulsations œsophagiennes montrent une assez grande diversité de forme, suivant l'endroit de la poitrine occupé par l'ampoule de la sonde. Lorsque l'extrémité de la sonde se trouve à l'entrée de la poitrine ou au niveau de la crosse de l'aorte, la pulsation œsophagienne est relativement simple. Elle représente alors presque exactement un tracé de pulsation artérielle, mais renversée, négative, c'est-à-dire que les inflexions du tracé artériel se trouvent en sens inverse sur le tracé de la sonde œsophagienne.

Le début de la pulsation négative du tracé œsophagien avance d'un ou de deux centièmes de seconde sur le tracé carotidien ; ce qui, vu la distance du sphygmoscope carotidien, établit l'isochronisme parfait entre la pulsation positive artérielle à l'origine de l'aorte et la pulsation négative de l'œsophage.

La projection de l'ondée sanguine du ventricule dans l'aorte s'accompagne donc d'une série de dilatations de l'œsophage et de raréfactions de l'air de l'ampoule de la sonde œsophagienne.

Quelle est la signification de ce mouvement ? S'agit-il de la pulsation négative, à laquelle on a donné le nom de mouvement *cardio-pneumatique*, et qui correspondrait au vide qui se produit dans la poitrine au moment où l'ondée artérielle sort de cette cavité close ? Je ne le crois pas : d'abord, le début de la pulsation négative de l'œsophage correspond au moment où le sang quitte le ventricule gauche pour entrer dans l'aorte, et non au moment où l'ondée artérielle sort de la poitrine. En outre, l'ouverture de la poitrine et sa libre communication avec l'extérieur, ne font pas disparaître la pulsation œsophagienne.

Ici, comme pour la pulsation négative de l'oreillette, la cause du phénomène me paraît résider dans le mouvement de recul balistique que présente le cœur au moment où les ventricules déchargent leur contenu dans l'aorte et l'artère pulmonaire. Les ventricules exercent à ce moment un véritable effort de traction sur les oreillettes et par leur intermédiaire sur les organes situés entre les oreillettes et la colonne vertébrale, notamment sur l'œsophage.

La pulsation négative œsophagienne disparaît, d'ailleurs, aussitôt qu'on empêche le mouvement de recul en question. On y arrive en ouvrant la poitrine, en appliquant la main sur le cœur, et en l'empêchant de se soulever au moment de la systole. En outre, il est facile de constater sur le cadavre du chien, que la locomotion du cœur provoquée artificiellement dans la direction du sternum et du diaphragme, exerce sur l'œsophage une traction qui dilate l'ampoule de la sonde et fait baisser la plume.

Si l'on enfonce davantage la sonde œsophagienne, de façon à la faire pénétrer plus profondément dans la poitrine, à dépasser la croise de l'aorte et à atteindre le niveau de l'oreillette gauche, on voit apparaître au-devant de la pulsation négative *c d e*, dont je viens de parler, une pulsation positive de courte durée *b c*, précédée elle-même d'une pulsation négative *a b*.

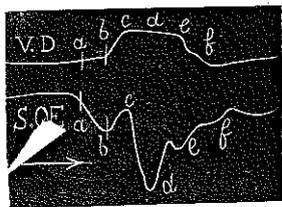


Fig. 63. Tracé cardiographique du ventricule droit V. D. (pris au moyen de la sonde jugulaire), et tracé de la sonde œsophagienne S. OE.

a b, systole de l'oreillette; *b c*, début de la systole ventriculaire; *c d e*, plateau systolique; *e f*, diastole ventriculaire; *f*, ondulation de clôture des sigmoïdes artérielles.

La figure 63 établit le synchronisme de ces ondulations avec les phases systoliques de l'oreillette et du ventricule.

On voit que la pulsation négative *a b* correspond à la systole de l'oreillette, c'est-à-dire au moment où l'oreillette vide son contenu dans le ventricule. La face œsophagienne de l'oreillette s'affaisse probablement à ce moment, s'éloigne de l'œsophage et y produit la tendance au vide qui se traduit par une clôture de la plume reliée à la sonde œsophagienne.

Quant à la pulsation positive *b c* qui coïncide avec le début de la systole du ventricule, elle correspond à l'ondulation positive *b c* du tracé auriculaire et est probablement due, comme elle, à la propagation à travers l'oreillette du choc de fermeture des valvules auriculo-ventriculaires.

Comme on le voit, le tracé cardiographique de la sonde œsophagienne, recueilli dans le voisinage de l'oreillette, est très analogue au tracé de l'oreillette. La principale différence consiste dans ce fait que la pression monte dans l'oreillette pendant la systole auriculaire, tandis qu'elle baisse dans l'œsophage au même moment.

La similitude des deux tracés auriculaire et œsophagien provient de ce que les mouvements tant actifs que passifs des oreillettes, et plus spécialement ceux de l'oreillette gauche, se transmettent directement à l'œ-

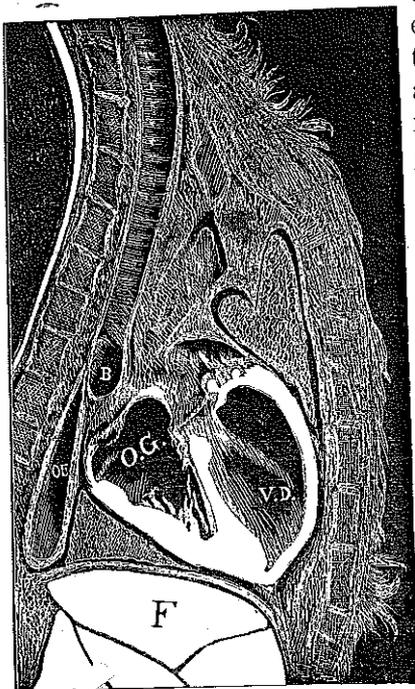


Fig. 64. Coupe sagittale du thorax du chien, montrant les rapports de l'oreillette gauche et de l'œsophage. (D'après une photographie.)

- V. D. Ventricule droit.
- O. G. Oreillette gauche.
- B. Bifurcation de la trachée et entrée de la bronche gauche.
- OE. OEsophage.
- F. Foie.

sophage. L'oreillette gauche présente, en effet, des rapports anatomiques intimes avec l'œsophage: ce canal est pour ainsi dire accolé à l'oreillette sur toute la largeur de cette dernière. Il est facile de se rendre compte de ces rapports sur des coupes transversales et sagittales de cadavres congelés.

La figure 64 représente un schéma d'une coupe sagittale du thorax du chien, coupe qui fait partie de la collection de l'Institut de physiologie.

Je dois à l'obligeance de mon collègue le professeur Swaen, de pouvoir reproduire également ici (fig. 65), un croquis fait d'après une coupe transversale de cadavre humain appartenant à la collection de l'Institut anatomique de l'Université de Liège, et montrant les rapports de la paroi postérieure de l'oreillette gauche avec la face antérieure de l'œsophage.

APPENDICE.

Martius vient de publier dans le *Zeitschrift für klinische Medicin*, XIII, 3-6, 1888, un travail étendu, consacré à l'étude graphique des mouvements du cœur. Le dernier chapitre de ce travail traite précisément la question des pulsations œsophagiennes, telles qu'on les recueille au moyen de la sonde œsophagienne. Martius a constaté, comme moi, que la systole de l'oreillette produit une dépression de la courbe œsophagienne, que le début de la systole ventriculaire coïncide avec une pulsation positive du tracé œsophagien à laquelle fait rapidement place une pulsation négative coïncidant elle-même avec la pulsation positive aortale, etc. L'explication que Martius propose est très analogue à celle que Mosso, Ceradini, Landois et d'autres ont mise en avant à propos du mouvement dit cardio-pneumatique. Dans cette interprétation, la poitrine est considérée comme une cavité close remplie en partie de liquides et de gaz, et les changements de pression observés dans l'œsophage sont rapportés aux variations de la quantité de sang contenue dans la poitrine, variations qui se reproduisent à chaque systole ventriculaire. Cette interprétation, irréprochable au point de

vue théorique, perd toute valeur du moment qu'il est démontré que la pulsation œsophagienne persiste en conservant ses particularités caractéristiques alors que la poitrine a largement été ouverte. Je m'abstiendrai donc d'en faire une critique détaillée.

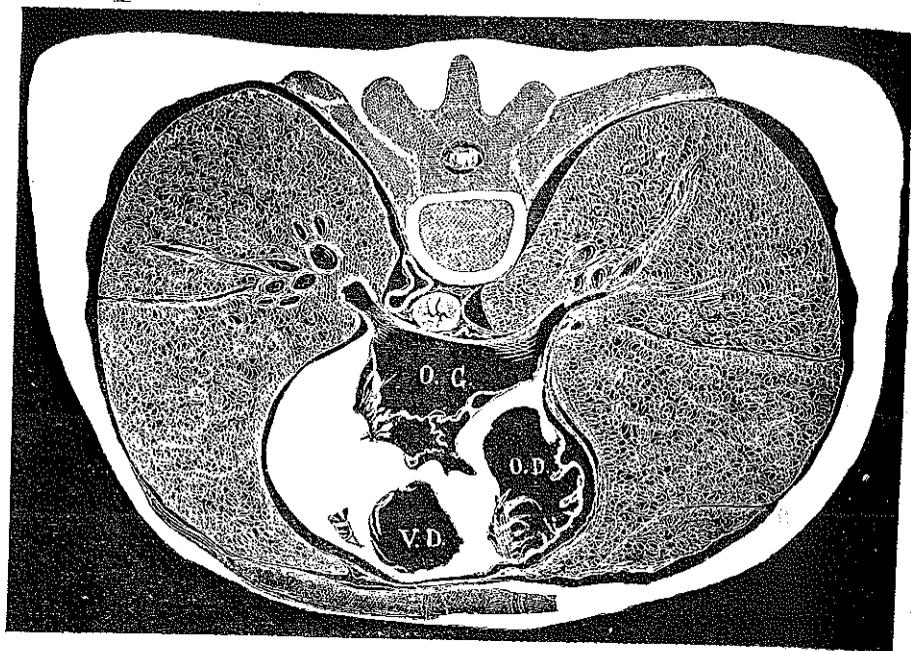


Fig. 43. Coupe transversale du thorax humain, montrant les rapports de l'oreillette gauche avec l'œsophage. (D'après une photographie. La coupe est vivement éclairée et placée sur un fond sombre. Les solutions de continuité, correspondant aux cavités de la préparation se marquent donc en noir).

V. D. Cavité du ventricule droit. — O. D. Cavité de l'oreillette droite. — O. G. Cavité de l'oreillette gauche, se continuant à droite et à gauche avec une veine pulmonaire.

Entre la paroi postérieure de l'oreillette et la colonne vertébrale, se voit la coupe de l'œsophage, sous la forme d'un cercle blanc présentant à son centre une figure étoilée, correspondant à la lumière du canal. A côté de l'œsophage (à gauche) la de coupe l'aorte, sous forme d'anneau aplati latéralement.

CHAPITRE III.

SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE LA SYSTOLE
VENTRICULAIRE.

BIBLIOGRAPHIE.

KOELLIKER et H. MÜLLER. *Würzburger Verhandlungen*, 1856, t. VI, p. 528.

MEISSNER et COHN. *Zeitschrift für rat. Med.*, 1862, 3^e Reihe, t. XV, p. 27.

F.-C. DONDERS. *De secundaire contracties, onder den invloed der systolen van het hart, met en zonder vagusprikkeling*. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht, 1872. Derde reeks, t. I, pp. 246-255.

Rustende spierstroom en secundaire contractie uitgaande van het hart. Ibid., 1872; pp. 256-266.

J.-P. NUEL. *Note sur les phénomènes électriques du cœur*. Bull. Acad. r. de Belgique. 11 oct. 1873, 2^e sér., t. XXVI, pp. 335-344.

MAREY. *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, 1876, t. LXXXIII, p. 78.

Travaux du laboratoire, t. I, p. 47.

Méthode graphique, 1878, pp. 326 et suiv.

La circulation du sang, 1881, pp. 25-27.

ENGELMANN. *De electromotorische verschijnselen der spierzelfstandigheid van het hart, eerste Stuk*. Onderzoekingen physiol. Labor. Utrecht, 1875. Derde reeks, t. III, pp. 101-117.

Ueber das electrische Verhalten des thätigen Herzens. Archiv f. d. ges. Physiologie, 1878, t. XVII, pp. 68-100. Taf. II.

Over de electromotorische verschijnselen der spierzelfstandigheid van het hart. Proc. verb. Akad. v. Wetens. Amsterdam, 28 juni 1873.

R. MARCHAND. *Beiträge z. Kenntniss d. Reizwelle u. Contractions-welle des Herzmuskels*. Archiv. f. d. ges. Physiologie, 1877, t. XV, pp. 511-535.

Der Verlauf der Reizwelle des Ventrikels bei Erregung desselben vom Vorhof aus und die Bahn auf der die Erregung zum Ventrikel gelangt. Archiv. f. d. ges. Physiologie, 1878, t. XVII, pp. 137-152. Taf. V.

SANDERSON et PAGE. *On the time-relation of the excitatory process in the ventricle of the heart of the frog.* The Journal of Physiology, 1880, t. II, pp. 384-435.

Experimental results relating to the rhythmical and excitatory motions of the ventricle of the heart of the frog, and of the electrical phenomena which accompany them. Proceed. Royal Society, 1878, t. XXVII, pp. 410-415.

On the electrical phenomena of the excitatory process in the heart of the frog and of the tortoise, as investigated photographically. The Journal of Physiology, 1884, vol. IV, n° 6, pp. 327-338, pl. I-VIII.

MARTIUS. *Studien zur Physiologie des Tetanus.* Archiv für Physiologie, 1883, pp. 568 et 592.

Verhandl. der physiol. Ges. in Berlin. Juli, 20, 1883, p. 157, *H. Martius demonstrirte am Capillarelectrometer die negative Schwankungen des Muskelstromes des unversehrten Kaninchenherzens zum Beweis der einfachen (nicht tetanischen) Natur der Systole.*

AUGUSTUS D. WALLER. *A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat.* The Journal of Physiology, oct. 1887, vol. VIII, n° 5, pp. 229-234, 7 fig.

§ I. — *Introduction historique.*

Découverte de la variation négative du cœur de la grenouille par Kölliker et H. Müller, confirmée par Meissner et Cohn. Le même phénomène étudié chez les mammifères au moyen de la palte galvanoscopique et de la boussole, par Donders (méthode graphique) et Nuel. Marey photographie les oscillations de l'électromètre capillaire de Lippmann, relié au cœur de tortue ou de grenouille battant spontanément. Engelmann, Marchand, Burdon-Sanderson et Page emploient le rhétome de Bernstein, pour construire la courbe de l'oscillation électrique, qui se produit dans le muscle cardiaque de grenouille, soumis à des excitations artificielles. Photographie de ces oscillations par Burdon-Sanderson et Page (électromètre de Lippmann). Martius emploie la méthode stroboscopique, pour démontrer la nature simple de la variation électrique du cœur du chien et du lapin.

Kölliker et Heinrich Müller observèrent en 1856 que la tension électrique n'est pas la même sur tous les points de la surface du cœur de la grenouille, de sorte qu'il suffit de réunir deux points de cette surface par un conducteur relié à un gal-

vanomètre, pour constater la présence d'un courant électrique (1). En outre, chaque pulsation est accompagnée d'une brusque variation de ce courant, indiquée par une oscillation de l'aiguille du galvanomètre. Ils identifèrent immédiatement cette oscillation avec le phénomène similaire découvert par du Bois-Reymond, pour les muscles du squelette, et désigné par lui sous le nom de variation négative du courant musculaire (*Negative Schwankung des Muskelstromes*). Ils démontrèrent également l'existence de cette variation négative au moyen du rhéoscope physiologique. Si l'on a soin de déposer convenablement le nerf de la patte galvanoscopique sur le ventricule, on peut obtenir à chaque pulsation une secousse secondaire dans la patte de grenouille. La secousse secondaire précède la systole ventriculaire. Les faits signalés par les deux savants de Würzburg furent confirmés et complétés peu d'années après par Meissner et Cohn.

Donders reprit ces expériences de contraction secondaire, en se servant de la méthode graphique. Il enregistra en même temps les pulsations du cœur chez le lapin et le chien, et les contractions d'une patte de grenouille dont le nerf sciatique était placé sur le cœur. A chaque systole, la variation négative du cœur provoque une simple secousse de la patte galvanoscopique. Cependant, dans l'une des expériences, quelques systoles cardiaques provoquèrent des contractions secondaires doubles et à ascension plus élevée, présentant la forme de contractions correspondant à deux excitations se suivant à court intervalle.

D'après les graphiques obtenus par Donders chez le lapin, la variation négative précéderait de $\frac{1}{70}$ de seconde le début de la contraction ventriculaire. Sur un chien mort récemment et dont l'oreillette droite battait encore faiblement, la variation négative précédait la systole de $\frac{1}{17}$ de seconde.

Nuel constatait également sur le cœur de grenouille que la modification négative commence avant la contraction du ventricule, et dure jusque vers la fin de cette contraction. Il lui sembla que le changement dans l'état électrique arrive très vite à

(1) Le fait a été contesté ultérieurement.

un maximum. Il démontra, au moyen du rhéoscope physiologique, que chez le chien la pulsation de l'oreillette est pareillement accompagnée d'une variation dans l'état électrique; cette variation négative de l'oreillette précède le phénomène analogue du ventricule du même espace de temps que la contraction de l'oreillette précède celle du ventricule.

Le nerf de la patte galvanoscopique étant placé sur les ventricules, la contraction secondaire commence avec la systole ventriculaire; le nerf repose-t-il sur l'oreillette, la contraction secondaire commence $\frac{1}{15}$ de seconde avant la systole.

Marey utilisa en 1877 le phénomène de la variation négative du cœur comme argument pour l'assimilation de la systole du cœur à une secousse musculaire.

La systole du ventricule n'induit, en effet, dans la patte galvanoscopique qu'une secousse simple, et non un tétanos (sauf dans quelques expériences de Donders, où la systole cardiaque provoqua deux secousses dans la patte galvanoscopique).

L'argument tiré de l'emploi du rhéoscope physiologique serait aujourd'hui sans valeur. En effet, Harless, Hering et Friedrich, Morat et Toussaint ⁽¹⁾ et d'autres ont prouvé que le tétanos des muscles volontaires ne provoque dans la patte galvanoscopique qu'une secousse du début, et que souvent cette secousse elle-même fait défaut. du Bois-Reymond ⁽²⁾, étudiant le tétanos strychnique au moyen de la patte galvanoscopique, n'avait pu obtenir dans cette dernière que des séries de contractions faibles, peu condensées. C'est ce qui a fait dire à Brücke: si l'on obtient une série de secousses secondaires dans la patte galvanoscopique,

⁽¹⁾ HARLESS. *Henle u. Pfeuffer's. Zeits. f. rat. Med. Dritte Reihe.* Bd. XIV, 1862, p. 97. *Analyse der willkürlichen Bewegung.*

⁽²⁾ DU BOIS-REYMOND. *Unters. üb. thierische Electr.* Berlin, 1849, Bd. II. p. 515.
ERNST BRÜCKE. *Ueber willkürliche u. krampfartige Bewegungen.* Sitz. Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. LXXVI, 3^e Abth. 1877, p. 237.

J.-J. FRIEDRICH. Sitz. Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. LXXII, p. 413 *Untersuchung des physiolog. Tetanus mit Hilfe des stromprüfenden Nervenmuskelpreparates.*

MORAT et TOUSSAINT. *Variation de l'état électrique des muscles dans les différents modes de contraction étudiée à l'aide de la contraction induite.* Arch. de physiol. norm. et pathologique. Paris, 1877, p. 156.

on a le droit d'affirmer que les décharges primaires qui les ont provoquées avaient un caractère de discontinuité ; mais si l'on n'obtient qu'une seule secousse secondaire dans la patte galvanoscopique, on n'est nullement autorisé à dire que la décharge primaire était unique et non composée.

Une preuve plus solide de la nature simple de la systole ventriculaire était tirée par Marey de l'inscription photographique des variations électriques du cœur.

“ Un appareil électrique très sensible, dit Marey, l'électromètre de Lippmann, a fourni sur la nature du phénomène électrique qui accompagne la systole du cœur, des résultats confirmatifs de l'opinion qui vient d'être émise (sur la nature simple de la systole ventriculaire). Cet instrument est formé d'une colonne capillaire de mercure qui exécute des mouvements, lorsqu'elle est soumise à des variations électriques. Mise en rapport avec le ventricule d'un cœur de grenouille ou de tout autre animal, l'électromètre donne une oscillation simple pour chacune de ses systoles. Si l'on met le cœur tout entier en rapport avec l'électromètre, on constate deux oscillations de la colonne de mercure : l'une est produite par la systole des oreillettes, l'autre par celle du ventricule. „

“ J'ai réussi à inscrire ces mouvements en photographiant l'image de la colonne de mercure vivement éclairée, sur une plaque de collodion très sensible et animée d'un mouvement uniforme de translation. Les figures ci-jointes montrent la nature des variations électriques obtenues ; ces variations sont simples pour un ventricule de grenouille ; elles sont doubles pour le cœur entier d'une tortue, qui fournissait pour chaque révolution une systole des oreillettes, puis une systole du ventricule. „

Je dois à l'obligeance de M. le professeur Marey de pouvoir reproduire ici les deux figures en question.

Quelques années plus tard, Marchand entreprenait, sous la direction de Bernstein, une série de recherches, dans le but de construire la courbe représentant l'intensité de l'oscillation négative du cœur de grenouille, en fonction du temps. Il

s'adressa, non aux pulsations spontanées, mais aux contractions provoquées par l'excitation (chocs d'induction) de la pointe isolée du ventricule, pointe qui n'exécute plus de systoles spontanées. L'emploi du rhéotome de Bernstein et de la boussole permet de construire la courbe en question.

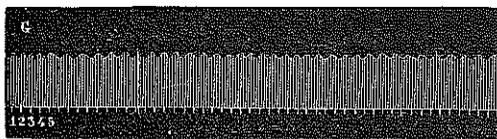


Fig. 66. Tracé photographique des variations électriques d'un ventricule de grenouille. Temps en secondes. (D'après Marey. *La circulation du sang*, p. 26, fig. 14.)

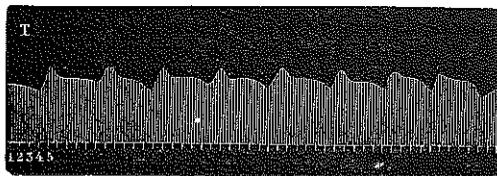


Fig. 67. Tracé photographique des variations électriques d'un cœur de tortue. (D'après Marey. *La circulation du sang*, p. 27, fig. 12.)

Cet instrument sert à fermer le circuit contenant le cœur et la boussole pendant une période de temps fort courte, à différents intervalles comptés à partir du début de l'excitation.

Marchand constata ainsi que le début de la variation négative suit de très près le moment de l'excitation, et précède par conséquent la contraction musculaire; elle atteint son maximum assez rapidement, puis décroît plus lentement; sa durée totale est fort longue; elle dépasse généralement 1". La variation *négative* est ordinairement suivie d'une variation en sens inverse, *positive*. L'électrode la plus rapprochée du point excité se montre d'abord négative par rapport à l'autre (variation négative), puis positive (variation positive).

Comme la courbe de la variation négative est continue et ne présente pas d'ondulations, Marchand en conclut que la con-

traction du muscle cardiaque est une simple secousse, et non un tétanos.

Dans un travail subséquent, Marchand reprit les mêmes expériences en opérant sur le cœur entier, le rhéotome relié au ventricule, les électrodes excitatives étant appliquées sur l'oreillette. Les résultats furent les mêmes, sauf en ce qui concerne le début de la variation négative qui survient notablement plus tard.

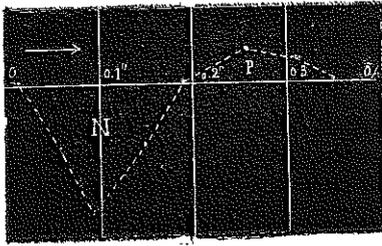


Fig. 68. Courbe de la variation négative dans le ventricule de grenouille, d'après Engelmann (fig. 2). N, variation négative; P, variation positive. Le temps (en dixièmes de seconde) est compté à partir du moment de l'excitation. Distance entre les électrodes reliées à la boussole = 5 à 6 mm. Leur distance de l'endroit excité = moins d'un millimètre. La courbe a été construite en prenant la moyenne de dix séries d'observations, faites au moyen du rhéotome et de la boussole.

Presque en même temps que Marchand, Engelmann publiait une série de recherches sur le même sujet, exécutées d'après des procédés très analogues, mais conduisant à des résultats différents : variation négative à période latente nulle ou très courte, atteignant son maximum au bout de 0,09" en moyenne (avant le début de la contraction proprement dite, dont la période latente dépasse 0,10"), présentant une durée totale moyenne de 0,2" pour la variation négative simple, de 0,4" pour la variation négative suivie d'une variation positive. La durée moyenne de la négativité en un endroit donné est d'au moins 0,2".

Engelmann arrive à la même conclusion que Marchand au sujet de la nature de la systole du ventricule. C'est pour lui une secousse musculaire et non un tétanos ; comme Marchand,

il s'étonne qu'une secousse simple puisse donner lieu à un bruit musculaire (premier bruit du cœur).

Il constata également que l'intensité de la variation négative ne dépend pas de l'intensité de l'excitant ; elle est, comme la systole elle-même, nulle ou maximale (1).

J. Burdon-Sanderson et Page étudient également, au moyen du rhéotome différentiel, les phénomènes électriques présentés par le ventricule de grenouille, dont les pulsations spontanées sont arrêtées par la ligature de Stannius. Les contractions sont provoquées par des chocs d'induction. Les résultats obtenus diffèrent notablement de ceux de Marchand et d'Engelmann. Burdon-Sanderson et Page observent après chaque excitation du cœur une variation négative d'assez courte durée (quelques centièmes de seconde), suivie par une période isoélectrique ou de repos apparent, pendant laquelle l'aimant de la boussole ne montre aucune déviation. La durée de cette période est fort longue : une seconde et plusieurs dixièmes de seconde. Enfin survient une variation positive plus faible et plus longue que la variation négative du début. Ces deux variations, négative et positive, marquent respectivement le début et la fin du processus d'excitation du muscle. L'intervalle qui les sépare (1,6" à + 18° et 2,1" à + 12°) répond exactement à la durée de la contraction ventriculaire.

Tous les faits observés par Burdon-Sanderson et Page s'expliquent fort bien d'après eux, en admettant que chaque portion excitée du cœur est négative, que cette négativité se transporte de l'endroit excité dans toutes les directions, à la façon d'une onde, avec une vitesse de 125^{mm} par seconde. En chaque point, l'onde négative présente un début brusque, puis un stade d'état uniforme fort long (plus d'une seconde), enfin une période décroissante un peu plus longue que celle du début. La durée totale est de 1,6" à + 18°.

(1) BOWDITCH. *Ueber die Eigenth. der Reizbarkeit welche die Muskelfaser des Herzens zeigen*. Ber. der k. sächs. Gesellsch. der Wiss. 1871, p. 652.

La variation négative du début de la contraction musculaire correspondrait à la phase pendant laquelle l'onde négative existe déjà au niveau de l'électrode la plus rapprochée du point excité, mais n'a pas encore atteint toute sa valeur à l'électrode éloignée. La stade isoélectrique ou de repos apparent représente la période pendant laquelle les deux électrodes sont au maximum de la négativité. Les deux ondes négatives sont à leur phase d'état et se compensent exactement. Enfin la variation positive de la fin se montre au moment où l'onde négative décroît au niveau de l'électrode voisine du point excité, mais subsiste encore à l'électrode la plus éloignée.

La figure 69, empruntée au premier mémoire de Burdon-Sanderson et Page, représente graphiquement les relations qui existent entre le développement de l'onde négative aux niveaux des deux électrodes (*m* et *f*), et les phénomènes électriques de variation négative, d'état isoélectrique et de variation positive observés au moyen du rhéotome.

Page et Burdon-Sanderson ont répété les mêmes expériences en intercalant une partie de la surface des ventricules dans le circuit de l'électromètre de Lippmann. A chaque excitation du cœur, la colonne exécute une oscillation négative suivie d'une période de repos, puis d'une oscillation positive. Ils ont, à l'exemple de Marey, réussi à fixer l'image de ces oscillations sur une plaque sensible se déplaçant d'un mouvement de translation uniforme derrière un écran percé d'une fente. L'image du capillaire vivement éclairé à la lumière oxy-hydrique était projetée sur l'écran au moyen d'un objectif de microscope. Les photographies, fort réussies, obtenues de cette façon, confirment pleinement les résultats des recherches entreprises au moyen du rhéotome.

Enfin Martius a récemment employé l'électromètre capillaire pour démontrer devant les membres de la Société de physiologie de Berlin, que chez les mammifères (lapin et chien) la contraction des ventricules est accompagnée d'une seule oscillation négative. Il n'a pu, en effet, en employant la méthode stroboscopique, décomposer l'excursion unique de la colonne de mercure de l'électromètre en vibrations périodiques.

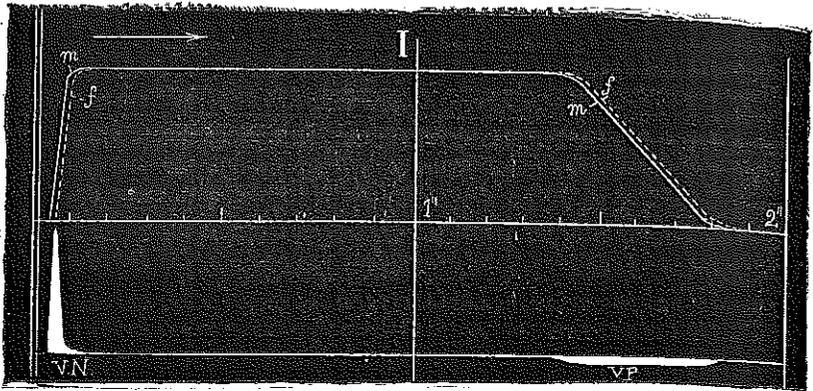


Fig 69. Onde négative du ventricule de grenouille, d'après Burdon-Sanderson et Page. (*The Journal of Physiology*, II, p. 428, 1880.) La courbe pleine *m* (1^{re} ligne) représente la valeur de l'onde négative au niveau de l'électrode rapprochée du point excité; la courbe pointillée *f* représente cette même onde négative à l'électrode éloignée du point excité.

La seconde ligne représente le temps en dixièmes de seconde et secondes entières compté à partir du moment de l'excitation.

La troisième ligne représente en VN la variation négative, en VP la variation positive telles qu'on les observe au moyen du rhéolome de Bernstein.

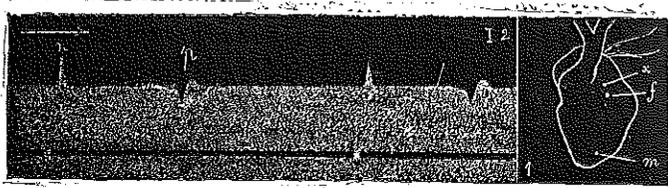


Fig. 70 et 71. Variation électrique du cœur de grenouille (fig. 2, pl. I du mémoire de Burdon-Sanderson et Page. (*The Journal of Physiology*, IV, p. 329, 1884.) Inscription photographique des oscillations de la colonne mercurielle de l'électromètre de Lippmann. Épreuve positive obtenue au moyen d'un négatif recueilli sur glace au gélatino-bromure; *n*, variation négative; *p*, variation positive. La ligne noire dans le bas de la figure indique par ses interruptions les moments de l'excitation de ventricule.

A droite, diagramme du cœur montrant en *x*, l'endroit excité; *f*, la position de l'électrode reliée au mercure du capillaire; en *m*, celle de l'électrode reliée à l'eau acidulée.

Comme on le voit par l'analyse assez détaillée qui précède, les variations électriques du cœur des animaux à sang froid ont fait l'objet d'études approfondies de la part de plusieurs physiologistes en renom. Quoique les méthodes les plus exactes aient été mises à profit, les résultats obtenus présentent des divergences capitales, qu'il est difficile d'expliquer *a priori*. En ce qui concerne les variations électriques du cœur des mammifères, on peut dire que les recherches de Donders, de Nuel et de Martius n'ont fait pour ainsi dire qu'effleurer le sujet. Les données que nous possédons sont tout à fait insuffisantes pour construire la courbe de ces variations, en fonction de temps et en regard de la courbe cardiographique. Je me suis proposé de contribuer à combler cette lacune de nos connaissances. Les expériences ont été faites au laboratoire de physiologie de l'Université de Liège en juin et novembre 1886 et complétées récemment (avril 1887). Les résultats auxquels je suis arrivé ont été brièvement mentionnés dans deux communications préliminaires, insérées, l'une dans le numéro de juillet 1886 des *Annales* de la Société médico-chirurgicale de Liège, l'autre dans le n° 11 du *Bulletin* de l'Académie des sciences, etc., de Belgique, séance du 15 décembre 1886.

§ II. — Description des appareils et des procédés d'expérience.

Construction d'un électromètre capillaire destiné à l'observation microscopique ordinaire.

Inscription photographique des oscillations de la colonne mercurielle. Électromètre pour expériences de projection. Électrodes impolarisables de d'Arsonval. Lanterne à projection éclairée à la lumière électrique. Chambre photographique. Cylindre de Ludwig enfermé dans une caisse noircie présentant une fente horizontale. Inscription simultanée sur papier sensible des variations électriques du cœur et des variations de pression dans les artères ou dans les cavités du cœur.

Mes premières recherches sur la variation négative de la pulsation ventriculaire ont été faites en observant directement au microscope, les mouvements de la colonne mercurielle de l'électromètre de Lippmann, relié par des électrodes impolarisables de du Bois-Reymond avec la surface cardiaque.

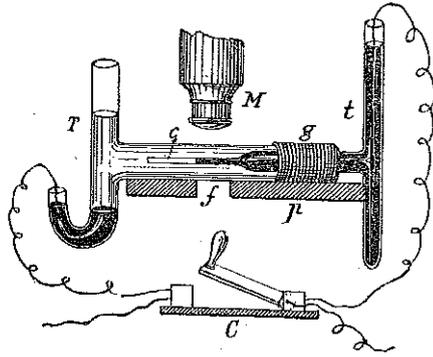


Fig. 72. Electromètre capillaire disposé pour l'observation au microscope.
p, plaque d'ébonite; *f*, fenêtré circulaire correspondant au capillaire *c* et à l'objectif du microscope *M*; *T*, tube rempli d'eau acidulée; *t*, tube rempli de mercure; *C*, clef électrique à frottement.

J'ai construit moi-même l'électromètre sur un modèle rappelant celui décrit par Lovén (¹). Il suffit de deux tubes de verre en \neg , de deux fils de platine, d'un peu de mercure et d'eau acidulée, d'un fragment de tube de caoutchouc et d'une plaque d'ébonite, ou simplement de liège, percée d'une fenêtré.

Les deux tubes en \neg (*t* et *T*) entrent à frottement l'un dans l'autre par leur branche horizontale (branche dressée du *T*). Un petit bout de tube de caoutchouc *g* les maintient réunis. Les deux tubes, emboîtés l'un dans l'autre dans un plan vertical, sont fixés sur la planchette d'ébonite *p*. Celle-ci est destinée à être fixée sur la platine du microscope. La plaque d'ébonite porte en son milieu une fenêtré circulaire *f*, correspondant à l'objectif du microscope *M*, de manière à laisser passer les rayons qui viennent du miroir éclairer le capillaire.

Le plus étroit *t* des deux tubes en \neg est rempli de mercure purifié avec soin. Sa branche horizontale est étirée en capillaire *c* et constitue la partie principale de l'instrument. La branche placée verticalement est ouverte en haut, fermée par le bas. Le fil de platine qui établit la communication entre le mercure de l'électromètre et la clef *C*, peut être soudé au bas de la branche

(¹) LOVÉN. *Nord. med. Arkiv.*, 1879, XI, n° 44.

verticale. On peut également se borner à la faire plonger dans le mercure, comme dans l'instrument représenté fig. 72.

L'autre tube en —, plus large, est rempli d'eau légèrement acidulée. Sa branche placée verticalement est ouverte à ses deux extrémités; elle se recourbe inférieurement en U ou J. Une petite colonne de mercure occupe la région de la courbure, et empêche l'eau acidulée de s'écouler à l'extérieur. Le second fil de platine qui vient de la clef, plonge par son extrémité dans cette petite colonne de mercure.

Dès qu'on relie les deux pôles de l'électromètre avec une source d'électricité, le courant électrique traversant le capillaire s'y manifeste par un déplacement de la colonne mercurielle, dont le ménisque s'arrête dans une nouvelle position d'équilibre. Le sens du courant est indiqué par le sens du déplacement. L'appareil est capable de suivre instantanément les variations les plus délicates dans l'intensité de la source d'électricité. En effet, l'inertie de la petite masse de mercure en mouvement est si faible, qu'on peut la négliger complètement. Aussi l'instrument fonctionne sans temps perdu appréciable, et d'une façon absolument aperiodique. On peut s'en servir aussi, comme on sait, pour déterminer la valeur absolue d'une force électromotrice. Il suffit de relier le tube qui porte le capillaire avec l'électrode négative, l'eau acidulée avec l'électrode positive. Le courant circule alors de l'eau acidulée vers le capillaire et tend à faire rentrer la colonne mercurielle dans le capillaire. Pour la ramener au point O d'où l'on était parti, et d'où le courant électrique l'a déplacée, il faut exercer sur le mercure une contre-pression supplémentaire. Or, il y a proportionnalité rigoureuse entre la force électromotrice qui a déplacé le ménisque mercuriel, et la contre-pression qui ramène ce ménisque au zéro et dont l'action mécanique fait équilibre à celle de la force électromotrice. La contre-pression doit s'exercer au moyen d'un appareil à pression muni d'un manomètre, et qui agit sur l'extrémité supérieure ouverte du tube *t* rempli de mercure. Dans ce cas, le fil de platine doit être soudé à l'extrémité inférieure fermée de ce tube.

Cette disposition n'est pas représentée dans la figure 72. Elle était superflue d'ailleurs dans mes expériences, où il s'agissait, non de mesurer la force électro-motrice du cœur, mais de déterminer les phases de sa variation électrique et leur correspondance exacte avec les phases de la pulsation cardiaque.

Les oscillations de la colonne de mercure à chaque pulsation du cœur peuvent être étudiées par l'observation directe; et c'est ainsi que j'ai opéré au début de mes recherches. Mais j'ai bien vite reconnu l'insuffisance de ce procédé. J'ai eu recours à l'inscription photographique des oscillations de la colonne sur une surface sensible, se déplaçant devant l'image projetée du capillaire, à la façon des appareils enregistreurs.

C'est en somme l'application, à l'étude des variations électriques du cœur du chien, du procédé employé par Marey pour étudier le même phénomène chez la grenouille et la tortue. Depuis l'époque où Marey a publié ses expériences, les procédés d'éclairage des lanternes à projection, mais surtout la sensibilité des plaques et des papiers photographiques, ont fait des progrès immenses. Aussi cette méthode promet actuellement des résultats infiniment supérieurs à ceux qu'on obtenait en 1876. Page et Sanderson paraissent être les seuls physiologistes qui l'aient dans ces derniers temps reprise et appliquée aux études d'électricité animale. Elle mérite à mon sens une place d'honneur parmi les procédés de recherche de l'électro-physiologie, à cause de sa simplicité, de sa facilité d'exécution et de la perfection relative des résultats qu'elle fournit (1).

On me pardonnera sans doute de décrire en détail le dispositif dont je me suis servi et qui fonctionne à mon entière satisfaction. Je parlerai successivement de l'électromètre, des électrodes impolarisables, de la lanterne à projection, de la chambre photographique et de l'appareil enregistreur.

L'électromètre qui sert aux expériences d'inscription photographique a pareillement été construit au laboratoire. Il présente une disposition un peu différente de celui qui sert aux observations microscopiques.

(1) Les travaux de A. Waller et de G. Fano n'avaient pas encore paru lorsque ces lignes ont été écrites.

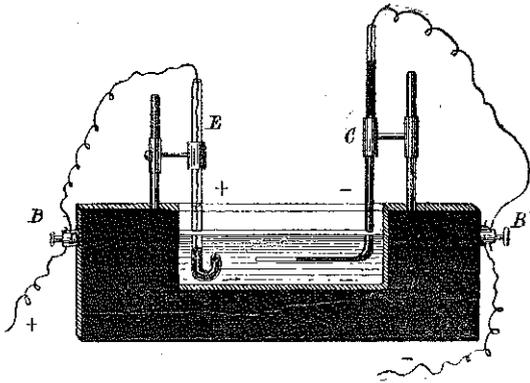


Fig. 73. Électromètre de Lippmann disposé pour la projection et l'inscription photographique.

Une plaque d'ébonite rectangulaire verticale de 150 millimètres de long, de 45 millimètres de haut et de 6 millimètres d'épaisseur est découpée en forme de \square , de façon à former les trois côtés d'un cadre rectangulaire laissant une fenêtre de 30 millimètres de haut, de 80 millimètres de long. La fenêtre est transformée en cuve à faces parallèles, par l'adjonction de deux glaces minces fixées aux deux faces de la plaque d'ébonite. La cuve est remplie aux trois quarts d'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique. Dans cette eau plonge d'une part le capillaire de l'électromètre C, et d'autre part un petit tube E en J, maintenu verticalement et faisant office de seconde électrode. La courbure du tube en J contient du mercure jusqu'à l'orifice de la courte branche; le mercure s'y trouve en contact avec l'eau acidulée. Dans le mercure de la longue branche plonge un fil de platine qui se rend à une petite borne électrique B, vissée latéralement au cadre en ébonite de l'électromètre.

La partie principale de l'instrument est un tube de verre C de 150 millimètres de haut, maintenu verticalement, et étiré inférieurement en un fin tube capillaire, recourbé horizontalement et plongé dans l'eau acidulée. Un fil de platine pénètre par l'extrémité supérieure de ce tube, et établit la communication électrique entre le mercure du capillaire et une seconde

borne électrique B', vissée à la plaque d'ébonite. Des deux bornes B et B' partent des fils électriques, qui se rendent à une clef à frottement de du Bois-Reymond.

C'est à cette clef qu'aboutissent les fils qui relient la surface du cœur à l'électromètre, par l'intermédiaire des électrodes impolarisables.

Je me suis servi, à la fin de cette seconde série d'expériences, des *électrodes impolarisables* de d'Arsonval, qui sont construites de manière à éviter le maniement si désagréable de l'argile au chlorure de sodium et au sulfate de zinc. Chaque électrode est formée d'un tube de verre maintenu plus ou moins verticalement par un statif approprié, fermé supérieurement par un petit bouchon de caoutchouc et ouvert inférieurement. Le tube est rempli de la solution physiologique de chlorure de sodium, qui s'y maintient suspendue grâce à la pression atmosphérique. Dans la solution de chlorure de sodium, plonge une tige d'argent recouverte d'une couche de chlorure d'argent. La tige d'argent est reliée par des fils à la clef de l'électromètre. D'autre part, la solution de chlorure de sodium de chaque électrode est reliée à un point de la surface du cœur, par l'intermédiaire d'une bandelette, découpée dans un fragment enlevé au péricarde de l'animal. La bandelette est fixée supérieurement autour de l'orifice de l'électrode au moyen d'un fil, son extrémité inférieure repose sur le cœur.

Il suffit, dans ces conditions, d'ouvrir la clef de du Bois-Reymond, pour établir la communication électrique entre la surface du cœur et l'électromètre. A chaque pulsation du cœur, la colonne de mercure du capillaire exécute une brusque oscillation.

Pour projeter l'image du ménisque capillaire et obtenir une inscription photographique de ses oscillations, j'introduis l'électromètre dans la *lanterne à projection* de Duboscq, munie d'un objectif comme s'il s'agissait d'obtenir l'image d'une préparation microscopique.

Le capillaire est illuminé par la lumière électrique d'une lampe à arc, lumière qui a traversé au préalable une cuve con-

tenant une solution d'alun. Cette dernière précaution a pour but d'empêcher l'échauffement des lentilles de l'appareil, en arrêtant une partie des rayons calorifiques. La lampe est alimentée soit par des accumulateurs, soit directement par une machine dynamo-électrique (1).

La lanterne portant l'électromètre est solidement installée sur une table, dans une petite pièce du rez-de-chaussée, contiguë au cabinet noir dans lequel se trouve l'appareil photographique. La cloison entre ces deux pièces est percée à la hauteur du foyer électrique et du capillaire de l'électromètre, d'une fente rectangulaire horizontale qu'un écran peut obstruer à volonté. C'est par cette fente que l'image horizontale du capillaire pénètre dans la chambre photographique, pour venir impressionner la surface sensible de l'appareil enregistreur.

La chambre photographique est entièrement noircie intérieurement, et prend son jour au dehors par deux carreaux de verre rouge, ne laissant passer que des rayons non actiniques. L'un de ces carreaux éclaire la table sur laquelle se fait la préparation de la surface sensible avant l'expérience, et qui sert également au traitement ultérieur de cette surface, par les réactifs qui font apparaître l'image et la fixent définitivement. L'autre fenêtre est placée dans le voisinage de l'appareil enregistreur.

Je me suis servi du cylindre de Ludwig (construit par Balzar et Schmidt), disposé horizontalement et recouvert de papier Hutinet. Le cylindre et la partie de l'appareil qui le supporte sont contenus dans une caisse de bois noirci, à couvercle à charnière fermant hermétiquement. Le mouvement d'horlogerie portant le régulateur, ainsi que le disque à friction et la roulette qui transmet le mouvement au cylindre, restent en dehors de cette caisse.

(1) Accumulateurs et machine dynamo-électrique ont été gracieusement mis à ma disposition par M. Éric Gérard, directeur de l'Institut électro-technique Montefiore, annexé à l'Université de Liège. Qu'il me soit permis de lui témoigner ici ma plus vive reconnaissance.

La caisse avec l'appareil enregistreur est placée sur un pied de photographe, en face de la fente de la muraille à travers laquelle se projettera l'image du capillaire. La caisse porte elle-même une seconde fente horizontale étroite, que l'on peut rétrécir à volonté, et qui permet à un fin liseré lumineux, découpé dans la partie axiale de l'image du capillaire, de venir agir sur le papier sensible. La fente a 55 millimètres de long. La largeur est toujours inférieure à un quart de millimètre.

Comme tout se passe dans l'obscurité, il importe que le cylindre s'arrête de lui-même, dès qu'il a accompli une révolution complète. Ce desideratum est atteint de la façon la plus simple, par l'adjonction près du bord de l'une des faces terminales du cylindre, d'une petite tige horizontale qui vient butter contre une saillie de l'appareil. Au départ, la tige qui fait arrêt est placée au delà de l'obstacle. Le cylindre en tournant fait décrire à la petite tige horizontale un cercle complet et s'arrête ensuite lorsque la tige rencontre la saillie qui fait obstacle.

L'obstacle est constitué par le bras prismatique horizontal qui supporte la roulette, dont la fonction consiste à reculer le cylindre dans la direction de son propre axe de rotation.

L'inscription photographique des excursions du ménisque se comprend sans peine d'après ce qui vient d'être dit. Le cylindre, recouvert de papier Hutinet, ayant été placé dans la caisse noircie, dans la position du départ, et les dimensions de la fente de cette caisse ayant été vérifiées, on enlève l'écran qui recouvre le trou de communication de la chambre noire avec la pièce où se trouve la lanterne. L'image du capillaire, mise exactement au point, est amenée sur la fente de la caisse, de manière que l'axe du ménisque coïncide avec la fente, et que l'ombre du ménisque recouvre l'une des extrémités de la fente, et occupe environ le tiers de la longueur de cette fente.

L'autre extrémité de la fente est réservée pour l'inscription du temps. Une petite horloge à secondes est placée de telle façon que la lentille du balancier vienne à chaque excursion projeter le bord de son ombre sur l'extrémité de la fente. Comme le

balancier exécute deux oscillations complètes à la seconde, c'est donc une inscription de demi-secondes dont il s'agit.

Enfin, l'espace laissé libre dans la partie moyenne de la fente sert à prendre un tracé simultané, soit de la pulsation carotidienne, soit de la pulsation ventriculaire. Un petit tambour à levier de Marey (construit par Rothe de Prague) est fixé à une tige horizontale, située au-dessus de la fente, de manière que son levier soit vertical, la pointe en bas, et exécute ses excursions dans un plan vertical situé immédiatement au-devant de la fente. La pointe du stylet écrivant est remplacée ici par une petite tige d'aluminium, dont l'ombre linéaire coupe à angle droit la partie moyenne de la fente horizontale.

Le tambour à levier est en rapport par un tube de caoutchouc avec un sphygmoscope de Marey, fixé soit dans la carotide de l'animal, soit dans l'un des ventricules. Le tube de caoutchouc traverse la muraille pour se rendre du sphygmoscope au tambour à levier. A chaque pulsation, l'ombre de l'extrémité en aluminium du levier du tambour, se déplace horizontalement devant la fente de l'enregistreur. Comme le papier se déplace également, mais dans le sens vertical, et que l'ombre y laisse une trace permanente, il en résulte un véritable graphique de pulsation carotidienne ou ventriculaire, qui permet d'établir la coïncidence exacte des phases de la pulsation ventriculaire avec celles de l'oscillation négative du cœur. Il faut nécessairement tenir compte du retard de la transmission de la pulsation cardiaque du sphygmoscope au tambour à levier, retard d'un centième de seconde environ dans mes expériences.

Le papier Hutinet, au gélatino-bromure d'argent, est découpé à l'avance en bandes de 55 centimètres de long et 10 centimètres de large. Chaque bande sert à prendre successivement deux ou trois tracés. Pendant chaque série d'expériences, les bandes qui ont servi sont, au fur et à mesure de l'enlèvement du cylindre, numérotées, puis mises de côté à l'abri de la lumière pour être ultérieurement développées et fixées. Ces dernières opérations ne présentent rien de particulier et sont décrites dans tous les traités de photographie.

Les tracés que l'on obtient ainsi se présentent sous forme de bande d'un gris plus ou moins foncé, tranchant nettement sur le fond blanchâtre du papier. Au milieu de la bande grise se voit une ligne blanche ondulée, correspondant aux excursions de l'ombre du style du tambour à levier et représentant le tracé sphygmoscopique. L'un des bords de la bande grise présente à des distances régulières des incisures blanches. C'est le tracé du temps. La distance qui sépare deux de ces incisures représente une demi-seconde. Dans beaucoup d'expériences, cette distance était de 25^{mm}, soit 50^{mm} par seconde, soit 0,5^{mm} par centième de seconde.

L'autre bord de la bande présente de distance en distance le tracé de la variation négative. C'est une incisure plus ou moins dentelée du bord clair empiétant sur la bande sombre, dans le cas où le ménisque capillaire est projeté en avant dans la direction de l'extrémité ouverte du tube capillaire, à chaque pulsation du cœur. C'est, au contraire, une saillie du fond gris, empiétant sur sa bordure blanche, lorsque le ménisque exécute un mouvement de retrait à chaque pulsation.

Il ne faut pas oublier, en effet, que c'est un négatif que nous recueillons sur notre papier, c'est-à-dire une épreuve où le fond éclairé apparaît sombre, où les ombres, au contraire, laissent un trait éclairé.

§ III. — *Résultats obtenus.*

Pendant la plus grande partie de la systole, la pointe du ventricule droit (et gauche) devient négative par rapport à la base. Les fig. 4-9, pl. XIX^{bis} et XIX^{ter}, et la fig. 74 représentent les phases assez compliquées de ce phénomène. Il est difficile d'y voir l'indice d'une systole ventriculaire équivalente à une simple secousse musculaire. Il s'agit probablement d'une combinaison de plusieurs variations électriques correspondant chacune à une secousse simple. Il y aurait, pour le muscle cardiaque, fusion de plusieurs phénomènes électriques élémentaires, comme il y a fusion de plusieurs secousses élémentaires.

Relions au moyen des électrodes impolarisables deux points de la surface du ventricule droit, avec l'électromètre capillaire. Rattachons, par exemple, l'eau acidulée avec la base du ventricule, dans le voisinage de l'origine de l'artère pulmonaire, et

établissons pareillement la communication entre la pointe du cœur et le mercure du capillaire. A chaque pulsation, le ménisque mercuriel exécutera un brusque mouvement de rétrogradation, la partie claire du capillaire empiétant momentanément sur la partie sombre. Si nous intervertissons la position des électrodes, de manière à relier cette fois la base du cœur au mercure du capillaire, nous observerons, au contraire, un mouvement de brusque projection du ménisque mercuriel, qui empiète sur l'eau acidulée. A chaque pulsation du cœur, la pointe du cœur devient donc négative par rapport à la base.

Dans beaucoup de cas, il est facile de se convaincre, à la simple inspection, de la complexité du mouvement de la colonne mercurielle à chacune de ses excursions. La projection peut avoir lieu en une fois, mais le retrait se fait par une espèce de tremblement, dont l'œil ne peut que difficilement suivre les phases. Cependant, sur un cœur extrait de la poitrine, les dernières pulsations montrent nettement au moins deux excursions complètes de la colonne mercurielle. Souvent les mouvements doubles alternent régulièrement avec des mouvements de projection simples en apparence.

L'inscription photographique va donner plus de netteté à ces observations, et permettre d'établir le synchronisme des phases de la variation électrique et des différents temps de la pulsation cardiaque.

Les figures 1-9 des planches XIX^{bis} et XIX^{ter} et la figure 74 reproduisent quelques-unes de ces photographies.

Les figures 1-3 ont été prises dans la première position des électrodes, c'est-à-dire que le mercure du capillaire est relié à la pointe du ventricule. A chaque pulsation, le ménisque subit un mouvement de retrait ; l'ombre du capillaire se retire devant l'eau acidulée qui laisse passer la lumière. L'ombre du capillaire correspond à la zone claire inférieure des graphiques, elle a protégé le papier sensible qui est resté blanc ; la zone foncée correspond à l'eau acidulée, là où la lumière a pu agir sur le papier. Les figures des deux planches sont donc des images négatives.

Dans les figures 5-9, le mercure du capillaire était relié à la base du ventricule, et exécutait à chaque pulsation un mouvement de projection en avant. Son ombre empiétait sur la partie éclairée. Sur l'image négative, nous avons l'inverse, c'est-à-dire une zone noire ou grise (eau acidulée) entaillée de blanc (ombre du mercure) à chaque pulsation. Le milieu de la zone lumineuse (foncée sur l'épreuve négative) a été utilisé pour l'inscription de la pulsation carotidienne ou celle du choc du cœur; l'extrémité de cette même zone a servi à recueillir le graphique du temps en demi-secondes, comme il a été dit précédemment.

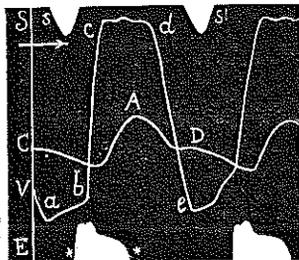


Fig. 7. Inscription photographique des variations électriques du ventricule droit, chez le chien.

S, tracé du temps en demi-secondes (de S en S').

C, tracé sphygmoscopique de la carotide;

A, pulsation principale;

D, pulsation dicrote.

V, tracé cardiographique du ventricule; ab, systole de l'oreillette; b c d e, systole du ventricule.

variations électriques du ventricule droit.

L'examen attentif des tracés nous montre que la négativité de la pointe du cœur débute brusquement, environ quatre centièmes de seconde avant le début de la systole ventriculaire, environ un dixième de seconde avant le début de la pulsation carotidienne. Elle dure pendant une assez grande partie de la systole des ventricules, pour se terminer un peu avant la fin de la systole. Sa durée totale est d'environ 18 centièmes de seconde; elle peut varier de 2, 3 ou même 4 centièmes de seconde, en plus ou en moins. Il m'a semblé que la durée la

plus longue s'observait chez les chiens de grande taille, dont les pulsations cardiaques sont à la fois plus espacées et plus longues.

Le début de la variation négative est ordinairement brusque et se traduit par une ligne d'ascension raide ; il n'en est pas de même de la phase terminale qui correspond à une descente oblique du graphique. Entre les deux, se place une phase d'état, espèce de plateau systolique, dont les inflexions varient dans des limites assez larges, tout comme les inflexions du tracé cardiographique lui-même, pris au moyen d'un sphygmoscope ou d'un cardiographe. Le plateau systolique débute souvent par une saillie aiguë de la courbe, correspondant à un mouvement très brusque de projection de la partie la plus convexe du ménisque. Ce détail se voit beaucoup mieux, lorsque le mercure du capillaire est relié à la base du cœur, et est par conséquent lancé en avant à chaque pulsation. Si, au contraire, la pulsation cardiaque produit un retrait du ménisque, comme c'est le cas lorsque le capillaire est relié à la pointe, la surface convexe du mercure, dans son mouvement de recul, tend à devenir concave. Les parties creusées ne peuvent porter ombre comme les parties convexes. Il est donc recommandable de relier toujours la base du cœur avec le capillaire (fig. 4-8). Cette saillie du début ne me paraît pas due à l'inertie de la masse de mercure en mouvement, qui, je crois, peut être considérée comme une quantité négligeable. Cette première saillie est fréquemment suivie d'une seconde, qui peut même atteindre un niveau plus élevé que la première. Les figures 7, 8 et 9 en montrent de beaux exemples.

La plus grande partie du plateau systolique présente ensuite une descente lente, donnant un graphique plus ou moins creusé vers le haut, présentant parfois une ou deux petites inflexions. Enfin le passage du plateau systolique à la descente terminale se fait par une partie nettement convexe.

Dans beaucoup de cas, la négativité de la pointe du cœur est précédée par une phase très courte, pendant laquelle la pointe est positive par rapport à la base. Les figures 1 et 2 montrent

nettement ce phénomène, qui est à peine indiqué dans les autres tracés. On peut également observer immédiatement, à la fin de la période négative, une phase courte pendant laquelle la pointe est positive. La figure 5 en est un bel exemple.

Marey, puis Martius, ont invoqué la simplicité de la courbe qui représente la variation électrique du cœur, comme argument principal en faveur de la doctrine de la secousse cardiaque, d'après laquelle la systole ventriculaire correspondrait à une seule excitation du muscle cardiaque, ets erait comparable à une secousse unique d'un muscle du squelette.

Cette courbe, comme on vient de le voir, n'est pas simple, mais probablement fort compliquée en chaque point du cœur (1). Elle présente des différences capitales, tant avec la variation électrique correspondant à une secousse musculaire simple, qu'avec les variations multiples correspondant au tétanos — pour autant que nous connaissions les courbes qui représentent ces deux phénomènes électriques.

Comme, d'autre part, l'étude des phénomènes mécaniques de la systole ventriculaire m'a révélé des faits qui ne me paraissent pouvoir s'expliquer qu'en admettant, à chaque systole, un effort multiple du muscle cardiaque, résultant d'une fusion de plusieurs secousses élémentaires, je suis tenté d'admettre qu'à chacune de ces secousses élémentaires correspond une variation négative (de forme pendulaire?), dont la durée serait beaucoup plus grande que pour la secousse d'un muscle ordinaire. Ces variations électriques, se succédant à court intervalle, empiéteraient les unes sur les autres, se fusionneraient plus ou moins. La fusion du phénomène électrique serait comparable à la fusion plus ou moins complète du phénomène mécanique.

La principale particularité présentée par le muscle cardiaque

(1) La courbe photographique de l'électromètre nous donne, non les variations de l'état électrique en un point donné, mais la différence entre les deux points sur lesquels sont appliquées les électrodes.

à ce point de vue spécial serait donc la suivante : tandis que dans les muscles du squelette, la fusion ne porte que sur le phénomène mécanique du raccourcissement et du gonflement, et n'atteint pas le phénomène électrique qui conserve son caractère de discontinuité complète ; dans le cœur, au contraire, la durée des variations électriques étant beaucoup plus longue, il y aurait empiètement de l'une sur l'autre, et fusion plus ou moins complète et des secousses mécaniques et des secousses électriques. La courbe assez compliquée, révélée par l'inscription photographique, résulterait de cette fusion des phénomènes électriques élémentaires. Dans tous les cas, cette courbe ne me paraît guère compatible avec la notion de secousse simple de la systole. Et qu'on ne vienne pas objecter que la courbe compliquée, enregistrée par moi, résulte d'une combinaison de la variation simple de l'oreillette avec une variation simple du ventricule. Comme le montrent les cardiogrammes recueillis en même temps, le début du phénomène électrique enregistré suit la systole auriculaire, et ne saurait donc lui être rapporté. D'ailleurs, l'électromètre dont je me suis servi pour l'enregistrement des variations électriques, était relativement peu sensible, et ne montrait aucun mouvement de la colonne mercurielle, lorsqu'on plaçait les électrodes toutes deux sur l'oreillette droite ou gauche.

Je publierai d'ailleurs sous peu mes observations sur les phénomènes électriques de la systole auriculaire, et je montrerai que, là aussi, on peut avoir plus d'une variation électrique pour une seule systole.

Si, à la suite des expériences dont je viens de relater les résultats, il peut rester quelques doutes sur le degré de complexité du phénomène électrique qui accompagne la systole ventriculaire, ces doutes se dissiperont, je pense, par l'examen des tracés recueillis sur le cœur extrait du corps, tracés correspondant aux dernières pulsations spontanées de l'organe. On dirait que l'approche de la mort décide le cœur à livrer plus complètement son secret à l'expérimentateur.

Sur le cœur mis à nu, on sépare les ventricules des oreillettes par une forte ligature, on détache complètement les ventricules

par quelques coups de ciseaux, on les transporte rapidement, en les tenant par la ligature, sur un godet de plâtre ou de cire préparé à l'avance, et on dispose les électrodes comme il a été dit précédemment. Il faut se hâter de mettre à profit les quelques minutes, parfois même les quelques secondes, qui s'écoulent entre le moment de l'extraction du cœur et celui de sa mort, pour recueillir une ou deux bandes de tracés photographiques. On ne se laissera pas rebuter par les insuccès, et l'on s'estimera fort heureux si l'on obtient de bons graphiques d'une douzaine de pulsations seulement. Celles-ci sont parfois fortement espacées. Un tour complet du cylindre enregistreur (50 centimètres, 10 à 15 secondes) peut n'en offrir que deux ou trois.

Les ondulations du plateau systolique, qui, le plus souvent, sont à peine indiquées sur les tracés du cœur en place dans la poitrine, acquièrent ici un degré d'évidence indéniable. La figure 9, planche XIX^{ter} reproduit une série de quatre tracés d'oscillations négatives, recueillis sur un tour et demi du cylindre. On a supprimé les parties intermédiaires aux pulsations, qui auraient allongé outre mesure la figure.

Je considère chacun de ces graphiques de systole ventriculaire comme résultant de la fusion d'au moins 3 ou 4 excitations du muscle cardiaque se succédant à court intervalle.

En me basant principalement sur les cardiogrammes recueillis sur le cœur du chien, j'ai précédemment (1) affirmé que la systole ventriculaire ne doit pas être assimilée à une secousse simple, mais à un tétanos résultant de la fusion plus ou moins complète de 3-4 secousses élémentaires. On voit que l'étude des variations électriques du cœur vient prêter à cette affirmation un appui nouveau.

Fait assez bizarre, chez le cœur intact, on distingue généralement très bien, sur le tracé cardiographique, les ondulations correspondant aux secousses multiples dont se compose la systole ventriculaire, tandis que la discontinuité du phénomène

(1) *Annales de la Société médico-chirurgicale de Liège*, Juillet 1886; *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 13 Décembre 1886 et Ch. 1^{er} du présent travail.

électrique est moins évidente, et la fusion des oscillations élémentaires souvent complète.

Sur le ventricule extrait, les dernières pulsations fournissent un tracé des variations électriques dont la complexité ne peut être méconnue. Par contre, le cardiogramme, c'est-à-dire le tracé du gonflement mécanique du muscle cardiaque, devient de plus en plus simple et finit par simuler celui d'une secousse unique. En d'autres termes, il y a avortement des phénomènes mécaniques de la contraction musculaire, alors que les phénomènes électriques acquièrent une netteté et une intensité inconnue jusqu'alors. C'est comme s'il existait une espèce de compensation entre l'importance relative de la quantité d'énergie mécanique et de la quantité d'énergie électrique, mise en liberté par la contraction du muscle cardiaque à chaque pulsation.

La principale objection que l'on peut faire à cette démonstration de la nature composée de la systole ventriculaire, résulte des conditions de l'exécution matérielle des expériences qui en rend la réussite assez aléatoire. Il faut sacrifier un animal de grande taille, en ouvrir parfois plusieurs l'un après l'autre, pratiquer sur chacun d'eux une opération préliminaire assez longue et assez laborieuse, avoir plusieurs aides à sa disposition, et réussir à fixer les phases fugitives de l'agonie du cœur, au moyen d'un appareil instrumental compliqué. La moindre distraction de l'un des opérateurs, un contre-temps souvent indépendant de leur volonté, un chariot qui passe dans la rue et qui fait trembler le mercure du capillaire au moment de l'inscription, suffisent pour mettre à néant les espérances fondées sur la réussite d'une expérience bien conduite jusqu'alors.

Comme je l'ai dit, les pulsations persistent fort peu de temps sur le cœur extrait et font rapidement place à ce qu'on a appelé le *délire du cœur*. La masse musculaire, avant de mourir définitivement, est prise de trémulations irrégulières dans lesquelles on ne distingue généralement plus aucun rythme régulier. Chacune de ces trémulations est probablement une secousse musculaire simple. Leurs variations électriques sont, en effet, représentées par des courbes pendulaires, dont la figure 10,

planche XIX^{ter}, reproduit un exemple. On ne s'étonnera pas de la durée assez considérable de chacune de ces variations électriques. La contraction du muscle cardiaque, comme celle de tout autre muscle d'ailleurs, s'allonge par la fatigue.

Je ne puis m'empêcher, en terminant, de formuler ici une comparaison qui s'est bien souvent présentée à mon esprit, au cours de ces recherches. L'analogie n'est-elle pas frappante entre les battements du cœur et les mouvements respiratoires. Chez un lapin qui respire rapidement, le diaphragme peut se contracter deux et même trois fois par seconde. Chacune de ces contractions correspond au minimum, d'après Kronecker et Markwald, à quatre secousses élémentaires se succédant à des intervalles de $\frac{1}{20}$ de seconde.

Il y a donc là un double rythme, l'un le rythme respiratoire proprement dit, suivant lequel sont espacés les différents mouvements respiratoires du diaphragme, l'autre, le rythme propre à une contraction. Ce double rythme doit avoir son origine dans les centres respiratoires de la moelle allongée.

Du côté du cœur, parallélisme complet et double rythme des contractions. Ici aussi le rythme cardiaque proprement dit règle la succession des systoles, de manière qu'il y en ait 2-3 par seconde (chez le lapin), chacune de ces systoles se composant de 3-4 secousses élémentaires, espacées d'après un rythme voisin de 20 à la seconde. Il est difficile de décider ici si le rythme en question appartient en propre au muscle cardiaque, ou s'il a pour point de départ les centres nerveux intra-cardiaques.
