

quant au siège du maximum d'intensité à l'auscultation, il est à la base du cœur pour les souffles qui proviennent des lésions des orifices artériels, et à la pointe pour ceux qui sont dus aux lésions des orifices auriculo-ventriculaires.

Il est une autre modification des bruits normaux qu'on entend fréquemment à l'auscultation : c'est le dédoublement du second bruit : il prend naissance quand la fermeture des sigmoïdes n'est pas absolument synchrone pour l'orifice aortique et pour l'orifice pulmonaire. Dans ce cas, le rythme du cœur peut être schématiquement figuré par le signe de prosodie appelé dactyle — ∪∪. D'après POTAIN le dédoublement du second bruit s'entend chez un cinquième des sujets normaux.

### § 3. — CIRCULATION DANS LES VAISSEAUX

Cette étude doit être naturellement divisée en circulation dans les artères, dans les capillaires, dans les veines et dans les lymphatiques. Il faut y ajouter des considérations spéciales pour la circulation pulmonaire.

#### A) CIRCULATION DANS LES ARTÈRES

Les propriétés des artères dont le jeu intervient dans la circulation, la pression et la vitesse du sang dans le système artériel et les signes extérieurs par lesquels se manifestent leurs variations, tels sont les points fondamentaux autour desquels nous allons grouper les notions qui se rapportent à la circulation artérielle.

**1° Propriétés des artères.** — Les artères sont élastiques et contractiles, car leur tunique moyenne contient des fibres élastiques et des fibres musculaires lisses. Ces deux sortes d'éléments ne sont pas répartis uniformément dans le système artériel ; le tissu élastique est plus développé dans les grosses artères, et l'aorte en est presque exclusivement composée ; les fibres musculaires au contraire abondent dans les artères de moyen et petit calibre, et la tunique moyenne des artérioles est formée par une couche de fibres musculaires lisses circu-

lares. *Élasticité et contractilité*, telles sont donc les deux propriétés fondamentales des artères. L'étude de la contractilité artérielle sera faite à propos des vaso-moteurs ; l'élasticité seule nous importe pour l'instant.

Lorsqu'on ouvre un gros tronc artériel, le jet de sang qui s'en échappe est saccadé, et chaque renforcement du jet répond à une systole ventriculaire ; par la section d'une artériole, le sang jaillit au contraire sans saccades et sans intermitteces. Pourquoi cette différence ? Elle est due à l'élasticité artérielle. Si les artères étaient des tubes rigides, l'ondée ventriculaire ne pourrait se loger dans les vaisseaux qu'en poussant devant elle une colonne de sang précisément égale ; comme les liquides sont incompressibles, cette poussée se ferait sentir dans tout l'arbre artériel, capillaire et veineux, et la progression du sang se ferait par saccades. Or, s'il n'en est pas ainsi, c'est que les artères, en raison de leur élasticité, se laissent distendre par l'ondée ventriculaire, emmagasinant ainsi une partie de la force déployée par le ventricule dans sa contraction, puis reviennent sur elles-mêmes pendant la diastole, en pressant sur leur contenu et restituant par là l'énergie empruntée au muscle cardiaque. De la sorte, l'élasticité artérielle fusionne les secousses et transforme le jet intermittent du cœur en jet continu ; et cet effet est naturellement de plus en plus accentué au fur et à mesure que le sang progresse dans les vaisseaux et s'éloigne du cœur. Il est facile de donner la démonstration physique de ce phénomène au moyen de l'expérience suivante de MAREY (fig. 48). Si deux tubes d'égal diamètre, mais dont l'un est rigide (tube de verre), et l'autre élastique (tube de caoutchouc), sont reliés au moyen d'un branchement en Y à un vase de Mariotte contenant de l'eau, on constate que l'écoulement se fait d'une façon uniforme pour chacun d'eux ; mais que l'on rende l'écoulement du vase intermittent, en comprimant rythmiquement le tuyau qui relie le vase aux tubes, on voit immédiatement que le jet donné par le tube rigide devient saccadé, tandis que celui qui est fourni par le tube élastique ne présente pas ces intermittences. Si de plus on recueille le liquide qui s'écoule des deux tubes dans ces

dernières conditions pendant un temps donné, on s'aperçoit que le débit du tube élastique est plus considérable que celui du tube rigide. Il résulte de ce dernier fait que l'élasticité artérielle favorise aussi le travail du cœur, puisqu'elle accroît le débit. C'est pourquoi les lésions athéromateuses, qui dimi-

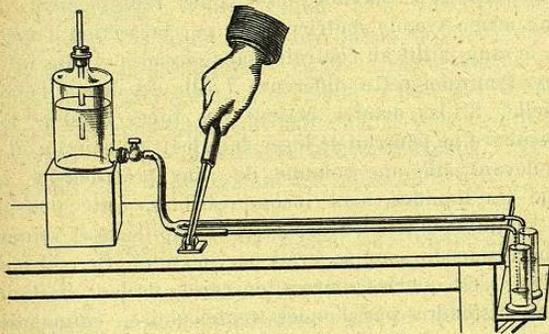


Fig. 48.

Écoulement comparé dans un tube de verre et un tube de caoutchouc. (Expérience de MAREY.)

nent l'élasticité des artères, sont accompagnées d'une hypertrophie du ventricule gauche; car pour produire le même effet utile avec des artères rigides, le cœur est astreint à un plus grand effort, et c'est pour ce motif que sa musculature se développe, de même que tout muscle soumis à un travail exagéré s'hypertrophie.

**2° Pression du sang dans les artères.** — La *pression* ou *tension sanguine* résulte de la réaction des vaisseaux sur leur contenu; cette pression est très forte dans les artères, en raison de la résistance qu'apportent les capillaires au passage du sang; les systoles ventriculaires accumulent le sang dans les artères jusqu'à ce que sa pression ait acquis une valeur suffisante pour vaincre cette résistance à l'écoulement. Comment mesure-t-on cette pression et qu'elle en est la valeur?

a. *Mesure de la pression sanguine.* — Pour mesurer la pres-

sion sanguine, on se sert des manomètres des physiciens. Soit un tube en U à moitié rempli de mercure; si l'on fait communiquer une de ses branches avec la cavité d'une artère, le mercure s'abaissera dans cette branche, s'élèvera dans l'autre, et la dénivellation représentera en colonne de mercure la pression artérielle. Tel est le manomètre en U qu'employa POISEUILLE. Pour empêcher le sang d'arriver dans le manomètre et de s'y coaguler, on remplit le tube qui communique avec l'artère d'une solution anticoagulante (carbonate ou oxalate de soude). Pour recueillir un tracé de la pression sanguine, on fait reposer à la surface du mercure dans la branche libre du manomètre un petit flotteur qui supporte une tige légère terminée par un style inscripteur. Ce flotteur subit de la sorte toutes les oscillations du mercure et marque sur un cylindre enregistreur la courbe de la pression sanguine. Ainsi se trouve réalisé l'appareil de LUDWIG appelé *kymographion* (fig. 49).

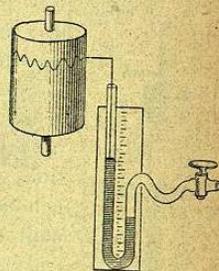


Fig. 49.

Schéma du kymographe de Ludwig.

On peut encore inscrire la courbe de la pression avec les manomètres élastiques. Le plus simple de ces appareils est le *sphygmoscope* de CHAUVEAU et MAREY (fig. 50); il consiste en une ampoule de caoutchouc (2) remplie de la solution anticoagulante et reliée par un tube à l'artère (1); cette ampoule est logée dans un manchon de verre (3) dont la cavité bien close est remplie d'air et mise en communication (4) avec un tambour inscripteur; les mouvements d'expansion et de retrait de l'ampoule produisent ainsi des déplacements d'air que l'on peut enregistrer. Le *manomètre métallique inscripteur* de MAREY n'est pas autre chose qu'un sphygmoscope dans lequel l'ampoule de caoutchouc est remplacée par une capsule de baromètre anéroïde. Cette capsule est contenue dans un récipient à parois inextensibles rempli d'eau et relié à un tambour inscripteur (fig. 51).

b. *Analyse de la courbe de la tension artérielle.* — La pression dans les gros troncs artériels, comme la carotide, est de 15 à 16 centimètres de Hg chez le chien ; de 5 à 9 chez le lapin, de 28 chez le cheval ; chez l'homme on peut l'évaluer à environ 16 centimètres. Ce chiffre représente la *pression moyenne* entre les maxima et les minima, car le tracé de la tension sanguine



Fig. 50.  
Sphygmoscope.

n'est pas une ligne droite, mais une ligne ondulée ; ce qui signifie que la valeur de la pression n'est pas uniforme, mais varie constamment. Les ondulations de la ligne sont de plusieurs ordres (voy. fig. 69. p. 222) ; les plus petites de faible amplitude sont synchrones avec les pulsations du cœur ; on comprend facilement que pendant la diastole cardiaque, les artères revenant sur elles-mêmes en chassant leur contenu à travers les capillaires, la tension sanguine doit baisser ; puis la systole survenant, le sang qui est lancé dans l'aorte fait hausser la pression. Il se produit ainsi une série d'oscillations qui indiquent les maxima et les minima de la pression, et qui donnent à la ligne du tracé un aspect dentelé. Les minima constituent la *pression constante*, les maxima la *pression variable* ; si, par exemple, le mercure du manomètre oscille entre 16 et 17 centimètres de Hg, c'est 16 qui est la pression constante et 17 la pression variable. La ligne de la pression présente encore de grandes oscillations isochrones aux mouvements respiratoires et qui proviennent des changements de tension auxquels sont soumis les vaisseaux dans le thorax et l'abdomen pendant l'inspiration et l'expiration ; enfin on y distingue encore des ondulations plus lentes que l'on peut rapporter à des contractions et relâchements rythmiques des petits vaisseaux (voy. *Vaso-moteurs*).

c. *Causes qui font varier la valeur de la pression.* — La pression sanguine n'a pas une valeur égale dans toute l'étendue de l'arbre artériel, et de même que dans l'écoulement d'un liquide par un tuyau de conduite la pression va en dimi-

nant à mesure qu'on s'éloigne du point de pénétration du liquide dans le tuyau (expérience de BERNOULLI), de même dans le système artériel la pression s'abaisse progressivement des

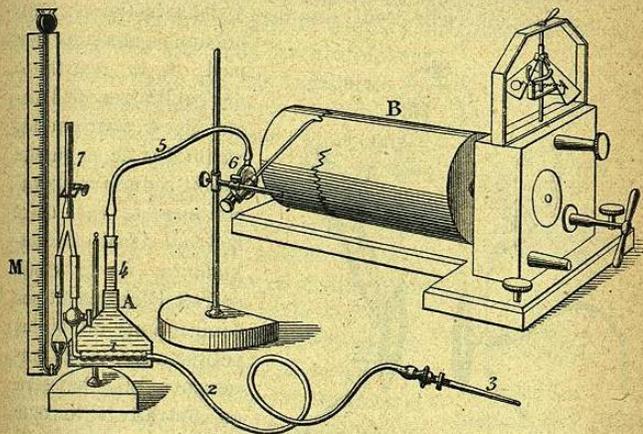


Fig. 51.

Dispositif expérimental pour enregistrer la courbe de la pression sanguine à l'aide du manomètre métallique de MAREY.

Dans le récipient A rempli d'eau se trouve en 1 une capsule de baromètre anéroïde dont la cavité est en rapport d'une part avec le tube 2 terminé par la canule 3 que l'on fixe dans une artère, et d'autre part avec le manomètre à mercure M. Le tube 7 sert à introduire dans l'appareil la solution anticoagulante. Au-dessus du niveau de l'eau 4 dans le récipient A se trouve un petit espace plein d'air qui est mis en communication par le tube 5 avec le tambour 6 dont le levier inscrit la courbe de la pression sur le cylindre enregistreur B, animé d'un mouvement de rotation uniforme par un mécanisme d'horlogerie. De la sorte, les variations de volume de la capsule 1 dues à la pression artérielle, se traduisent à la fois et par des changements de volume de l'air du tambour inscripteur et par des oscillations du niveau du mercure dans le manomètre.

grosses aux petites artères. On peut le démontrer facilement à l'aide du manomètre différentiel de CL. BERNARD, qui n'est pas autre chose qu'un manomètre en U dont les deux branches peuvent être mises simultanément en communication avec deux artères. Si on relie les deux carotides aux branches du manomètre, le niveau du mercure ne bouge pas ; mais si

le calibre des artères est différent (crurale et tibiale par exemple) le mercure s'abaisse dans la branche qui communique avec l'artère dont la pression est plus forte (crurale dans l'exemple choisi) et s'élève dans l'autre.

La pression artérielle étant soumise à deux facteurs : l'impulsion cardiaque d'une part et la résistance des capillaires de l'autre, il est clair que les variations de sa valeur seront soumises aux variations de ces deux facteurs. Ainsi, elle augmentera si le cœur accroit l'énergie de ses contractions ou si les petits vaisseaux se resserrent ; elle baissera au contraire si le cœur faiblit ou si les capillaires se dilatent. Ces actions, cardiaque et vasculaire, sont régulées par le système nerveux de façon que la pression n'oscille que dans certaines limites : ainsi le cœur atténue la force de ses contractions et bat moins vite, lorsque la contraction des petits vaisseaux élève la pression ; la tension sanguine vient-elle au contraire à diminuer, le cœur accélère ses battements. En somme, le cœur règle ses mouvements d'après la résistance à vaincre, comme l'a démontré MAREY. Il est évident encore que la valeur de la pression varie suivant la quantité de sang contenue dans les vaisseaux ; tout ce qui augmente cette quantité (absorption des boissons par exemple) élève la pression ; tout ce qui diminue la masse sanguine (hémorragie) l'abaisse.

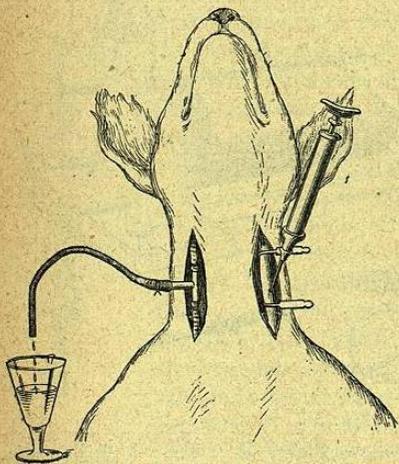


Fig. 52.

Évaluation de la durée de la circulation par la méthode d'HERING.

dans certaines limites : ainsi le cœur atténue la force de ses contractions et bat moins vite, lorsque la contraction des petits vaisseaux élève la pression ; la tension sanguine vient-elle au contraire à diminuer, le cœur accélère ses battements. En somme, le cœur règle ses mouvements d'après la résistance à vaincre, comme l'a démontré MAREY. Il est évident encore que la valeur de la pression varie suivant la quantité de sang contenue dans les vaisseaux ; tout ce qui augmente cette quantité (absorption des boissons par exemple) élève la pression ; tout ce qui diminue la masse sanguine (hémorragie) l'abaisse.

**3° Vitesse du sang dans les artères.** — Le temps que met le sang à parcourir complètement le circuit vasculaire, ou la durée de la circulation, est essentiellement variable suivant la distance des capillaires au cœur ; un globule sanguin doit évidemment mettre moins de temps pour parcourir le cycle des coronaires que pour revenir au cœur après avoir passé par les capillaires du pied. La vitesse moyenne de la circulation pour un circuit de longueur moyenne a cependant pu être évaluée assez exactement par le procédé d'HERING (fig. 52). Dans un tronçon de veine compris entre deux ligatures volantes (pincés hémostatiques) on injecte au moyen d'une canule effilée une solution de prussiate de potasse. La veine similaire du côté opposé est préparée pour recueillir le sang qui s'en écoule. Cela fait, on lève les ligatures et on recueille une série d'échantillons de sang de seconde en seconde. Dès que la réaction du prussiate apparaît dans un des échantillons (coloration bleu de prusse avec perchlorure de fer), c'est que le sang a parcouru un cycle circulatoire complet. En effet le prussiate a été conduit au cœur par le courant sanguin de la veine, et, après avoir parcouru le circuit pulmonaire, a été lancé dans les artères, puis a traversé les capillaires généraux pour revenir à la veine, c'est-à-dire à son point de départ.

On admet d'après les résultats de cette expérience faite sur la veine jugulaire ou la veine crurale du chien, que la durée de la circulation est approximativement de vingt-trois secondes chez l'homme.

Mais pour mesurer la vitesse du sang en un point donné du système vasculaire, il faut avoir recours à des appareils spéciaux que l'on interpose sur le trajet d'un vaisseau (*hémodynamomètres* ou *hémotachomètres*).

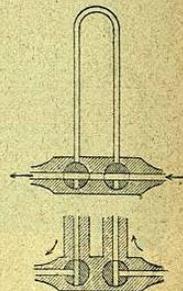


Fig. 53.

Schéma de l'hémodynamomètre de Volkmann.

A, disposition des robinets de l'appareil dans laquelle le sang ne passe pas dans le tube en U. — B, disposition des robinets permettant le passage.

a. *Appareils mesureurs de vitesse.* — L'hémodynamomètre de VOLKMANN (fig. 53) est un long tube en U dont on adapte chaque branche aux bouts du vaisseau sectionné; le temps que met le sang à en parcourir la longueur indique la vitesse. Le compteur ou *stromuhr* de LUDWIG repose sur le même principe,

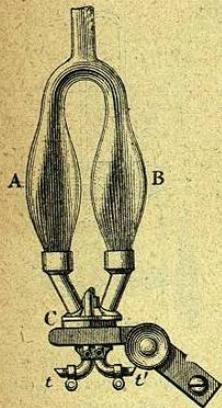


Fig. 54.  
Stromuhr ou rhéomètre  
de Ludwig.

mais le tube en U est beaucoup plus court et ses branches sont en forme de boules dont la capacité est connue (fig. 54). On remplit une des boules avec de l'huile, l'autre avec du sérum; la première A est mise en rapport avec le bout central de l'artère, la seconde B avec son bout périphérique au moyen des tubes *W'*; de la sorte, lorsque le sang entre dans l'appareil, il vient prendre dans la boule A la place de l'huile qui passe dans la boule B, en chassant le sérum dans l'artère. Quand la boule A est pleine de sang, on renverse l'ordre des boules, de façon que B vienne prendre la place de A (cette transposition est rendue possible par la situation des boules sur une plateforme mobile C). Il en résulte que le sang venant du bout central de l'artère chasse de nouveau l'huile devant lui et que celle-ci repousse dans le bout périphérique de l'artère le sang déjà contenu dans la boule A. On renouvelle cette manœuvre à plusieurs reprises. D'après la quantité du sang qui passe dans l'appareil dans un temps donné on déduit la vitesse. Tout autre est le principe de l'hémotachomètre de VIERORDT; la vitesse du sang est calculée d'après l'inclinaison que le courant sanguin fait subir à un pendule suspendu dans une petite caisse que l'on interpose sur le trajet d'un vaisseau (fig. 55). L'hémodynamomètre de CHAUCHEAU est un appareil du même genre basé sur ce fait: si on enfonce une aiguille dans une artère, bien perpendiculairement à ses parois, la pointe de cette aiguille frappée par le courant sanguin

s'inclinera, et la partie extérieure au vaisseau formera un levier propre à accentuer la déviation; l'intensité de cette déviation donnera la mesure de la vitesse. L'appareil de CHAUCHEAU est un tube de laiton (ES, fig. 56) qu'on interpose sur le trajet d'un vaisseau et qui porte en un point de sa surface un orifice fermé par une membrane de caoutchouc. Une aiguille (CC') traverse cette membrane; elle se termine en palette dans l'intérieur du tube et se meut à l'extérieur sur un cadran divisé: on peut la convertir en style inscripteur, et l'appareil devient un *hémodynamographe* ou enregistreur de vitesse.

b. *Résultats.* — Les résultats obtenus avec ces appareils montrent que la vitesse du sang, de même que sa pression, diminue dans les artères de l'aorte aux capillaires; ainsi, tandis qu'elle est chez le cheval de 200 millimètres par seconde dans la carotide, elle n'est plus que de 165 millimètres dans la maxillaire et de 56 millimètres dans la métatarsienne. Nous en avons déjà donné la raison en comparant l'évasement du cône artériel à l'élargissement du lit d'une rivière; lorsque le lit d'une rivière s'étale en surface, le courant en devient moins rapide. La vitesse est donc en raison inverse du calibre total des vaisseaux. Elle dépend des différences de pression que subissent les molécules liquides en amont et en aval du point exploré, et se trouve d'autant plus rapide que cette différence est plus grande, de même que la vitesse d'écoulement d'une rivière devient d'autant plus grande que la pente est plus forte. La vitesse du sang n'est uniforme que dans les petites artères; dans les grosses elle présente, comme la pression, des oscillations et des renforcements synchrones avec la systole cardiaque; on obtient avec l'hémodynamographe de CHAUCHEAU une

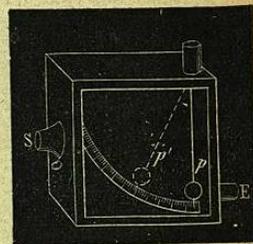


Fig. 55.  
Hémostachomètre de Vierordt.

E, S, tubes qui doivent être mis en communication avec les deux bouts du vaisseau sectionné. — *p*, pendule. — *p'*, position que prend le pendule sous l'impulsion du jet sanguin arrivant par E.

et de 56 millimètres dans la métatarsienne. Nous en avons déjà donné la raison en comparant l'évasement du cône artériel à l'élargissement du lit d'une rivière; lorsque le lit d'une rivière s'étale en surface, le courant en devient moins rapide. La vitesse est donc en raison inverse du calibre total des vaisseaux. Elle dépend des différences de pression que subissent les molécules liquides en amont et en aval du point exploré, et se trouve d'autant plus rapide que cette différence est plus grande, de même que la vitesse d'écoulement d'une rivière devient d'autant plus grande que la pente est plus forte. La vitesse du sang n'est uniforme que dans les petites artères; dans les grosses elle présente, comme la pression, des oscillations et des renforcements synchrones avec la systole cardiaque; on obtient avec l'hémodynamographe de CHAUCHEAU une

courbe de la vitesse dans laquelle on voit l'aiguille de l'appareil tracer un brusque crochet au moment où la pression s'élève dans l'artère sous l'effort systolique du cœur. Pour les grosses artères, l'aiguille après avoir tracé ce crochet revient au zéro et même le dépasse en sens inverse, indiquant par là un courant

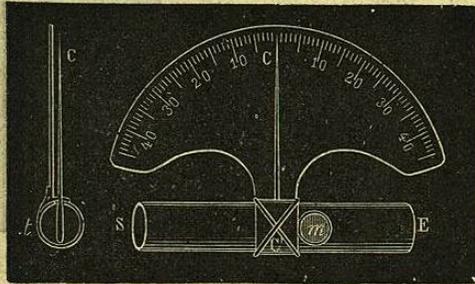


Fig. 56.

Hémodromomètre de Chauveau : à droite vue de face ; à gauche en coupe.

rétrograde momentané qui coïncide avec le début de la diastole du ventricule et l'occlusion des valvules sigmoïdes, comme l'indique le tracé suivant (fig. 57).

c. *Causes qui font varier la vitesse du sang.* La vitesse du sang dans une artère donnée dépend de deux facteurs, la force du cœur et la résistance périphérique à l'écoulement. Elle varie en raison directe de l'énergie cardiaque et en raison inverse des résistances périphériques. En effet, elle augmente si le cœur accroît la force de ses battements, ou bien, ce facteur restant constant, si les petits vaisseaux se dilatent en aval du point exploré, de manière à restreindre l'obstacle à l'écoulement. Elle diminue dans les conditions contraires.

d. *Rapports entre la vitesse et la pression.* — Les valeurs de la pression et de la vitesse en un point quelconque du système circulatoire peuvent présenter des variations de même sens, mais aussi de sens inverse. A ce point de vue, la loi est

que la pression et la vitesse varient dans le même sens toutes les fois que la cause de la variation se trouve en amont du point exploré, tandis qu'elles varient en sens inverse lorsque

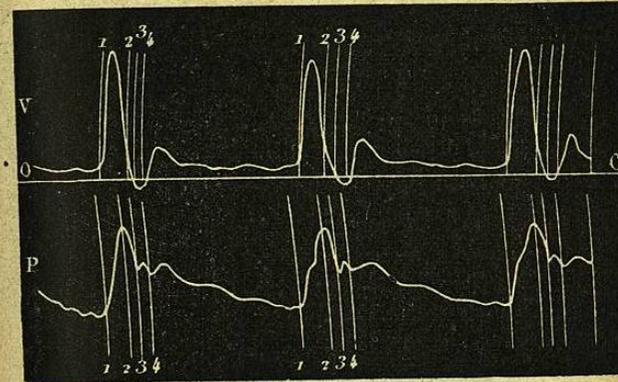


Fig. 57.

Tracés simultanés de la vitesse du sang V, et de la pression P, recueillis dans la carotide d'un cheval. 1, 2, 3, 4, sont des repères servant à déterminer le synchronisme des différents éléments de ces courbes (d'après MAREY).

cette cause se fait sentir en aval, ainsi que l'indique le tableau suivant :

		Pression	Vitesse
Force du cœur . . . . .	{ Augmentée	+	+
	{ Diminuée	-	-
Résistance à l'écoulement . . . . .	{ Augmentée	+	-
	{ Diminuée	-	+

#### 4° Signes extérieurs de la circulation dans les artères.

— Ces signes sont : les mouvements de locomotion des artères, le pouls et le changement de volume des organes.

a. *Locomotion des artères.* — Nous avons dit que les artères, en raison de leur élasticité, se laissent distendre par l'ondée ven-