

55 fois plus grandes que la pression exercée normalement par le sang dans ce vaisseau. La veine jugulaire ne se rompt que sous des pressions de 6 à 9 atmosphères. On n'a pu mesurer directement la pression dans les capillaires; nous savons par le raisonnement qu'elle doit être de 12/100 d'atmosphère. Cependant le sang ne sort pas par jet dans les hémorragies capillaires: c'est qu'ici la marche du sang est très retardée par les frottements considérables que ce liquide éprouve contre les parois de ces petits tubes; en effet, si on examine au microscope la circulation dans les capillaires, on voit que toute la partie périphérique du liquide en mouvement adhère à la paroi et se meut très peu (*couche inerte*), et que la colonne centrale seule se meut, entraînant avec elle les éléments globulaires du sang et surtout les globules rouges (fig. 71).



FIG. 71. — Vaisseau capillaire de la membrane natale d'une grenouille *.

Ces notions si simples sur la distribution des pressions dans le système circulatoire ont été cependant assez difficiles à acquérir. Poiseuille pensa tout d'abord que la pression était la même dans tout l'appareil circulatoire, quelle que fût la distance du ventricule au point considéré; cette erreur, que le raisonnement pouvait déjà faire relever, a été expérimentalement renversée par Marey, qui a montré que dans le système vasculaire, du cœur vers les capillaires, les pressions se distribuent comme dans le liquide d'un tube qui, d'un côté, est librement ouvert, de l'autre, communique avec le fond d'un vase rempli de liquide à une certaine pression. Poiseuille avait encore pensé *a priori* que la pression générale devait varier chez les animaux de volumes différents, et être en rapport avec leur taille. Mais Claude Bernard a montré qu'il n'en est point ainsi, et

se continue avec un tube en métal c, destiné à entrer dans le vaisseau dans lequel on veut mesurer la pression.

Quand l'instrument est en action, toute la portion supérieure de l'appareil Cct, est remplie d'une solution de carbonate de soude pour empêcher la coagulation du sang. La pression exercée par le sang sur la surface du mercure se communique par l'ouverture T au mercure du tube gradué, et l'on mesure ainsi la tension du sang.

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

* r, Courant central des globules rouges; — l, l, l, couche périphérique du courant sanguin où se meuvent plus lentement les globules blancs. (Grossiss, 280 diamètres.)

que, par exemple, l'appareil qui suffit pour mesurer la pression moyenne ou la pression minimum chez un lapin est parfaitement suffisant pour mesurer ces mêmes pressions, par exemple, chez un cheval. Mais, grâce à l'usage du cardiomètre, il a montré en même temps que dans la pression du système artériel il faut distinguer deux choses: 1° ce que nous venons d'appeler la pression générale, la pression minimum; 2° les oscillations que subit cette pression à chaque nouvelle ondée que lance le ventricule. C'est dans l'appréciation de ce nouvel élément, de ces maxima rythmiques, que l'idée de Poiseuille se trouve jusqu'à un certain point confirmée: cette pression varie, d'un animal à un autre, en raison d'une foule de conditions, parmi lesquelles il faut tenir grand compte de la taille (Cl. Bernard) ¹.

Vitesse. — La vitesse et la pression du sang en un point donné ne sont nullement en raison directe l'une de l'autre: nous avons vu qu'en arrêtant la marche du sang dans une veine, on augmente la pression. Si la pression en un point donné dépend de la distance à laquelle ce point est situé des deux extrémités du double cône circulatoire, la vitesse, au contraire, dépend de la largeur, de la forme de la portion des cônes circulatoires à laquelle appartient ce point. En d'autres termes, et cela est facile à concevoir, le mouvement du sang est d'autant plus rapide que la portion du canal considérée présente une moindre lumière. Il est bien évident que nous parlons toujours de l'ensemble des canaux réunis sous la forme de double cône. Ainsi là où l'appareil circulatoire est très large (bases des cônes, région des capillaires), le sang doit circuler lentement; absolument de même que le courant d'une rivière se ralentit beaucoup là où cette rivière s'élargit, par exemple, en un lac; les *capillaires forment donc le lac du torrent sanguin*. Au contraire, la vitesse doit avoir son maximum vers les orifices étroits d'écoulement, c'est-à-dire vers le sommet des cônes, dans l'aorte et dans les veines caves.

Ces déductions ont été vérifiées par l'expérience directe. Pour les capillaires, on mesure cette vitesse par l'examen microscopique des petits vaisseaux de la grenouille, par exemple, ou bien encore en examinant à l'ophtalmoscope les capillaires rétinien de l'homme, capillaires dans lesquels on peut parfaitement suivre les globules sanguins et apprécier le temps qui leur est nécessaire pour parcourir une distance déterminée; on s'est ainsi assuré que la vitesse dans les

¹ Cl. Bernard, *Liquide de l'organisme*, t. I.

capillaires n'est que de $1/2$ à 1 millimètre par seconde : 0,75 de millimètre dans les capillaires de la rétine de l'homme; 0,57 de millimètre dans les capillaires de la queue du têtard. Cette vitesse est très peu considérable par rapport à celle que nous constaterons dans les gros vaisseaux : c'est qu'ici il faut tenir compte non seulement de ce fait que le système capillaire, pris dans son ensemble, représente le *lac du torrent sanguin*, mais encore de ce que ce lac est subdivisé en une masse de réseaux très fins, où le frottement fait perdre au liquide une grande partie de sa force d'impulsion; l'influence de ce frottement, de cette adhérence aux parois capillaires est mise dans toute son évidence par les recherches de Poiseuille sur l'écoulement des liquides à travers les tubes de petit diamètre; elles se résument par les deux lois suivantes : *Les quantités écoulées sont entre elles comme la quatrième puissance des diamètres, elles sont en raison inverse de la longueur des tubes*. Or, les vaisseaux capillaires, vu leur disposition en réseau, représentent des tubes très longs, et réunissent, par suite, toutes les conditions nécessaires pour retarder le cours du sang et prolonger son contact avec les tissus.

Pour évaluer la vitesse du sang dans les gros vaisseaux, on a recours à des appareils particuliers : par exemple, on substitue à une certaine longueur d'une artère de fort calibre un tube de verre rempli d'un liquide alcalin, et on détermine le temps qu'il faut au sang pour chasser du tube le liquide en question et, par suite, parcourir la longueur connue de ce canal artificiel. Cet appareil constitue l'*hémodynamomètre* (de Volkmann) (fig. 72); il se compose d'un tube de verre (A), recourbé en fer à cheval, garni à chacune de ses extrémités d'un ajutage métallique muni d'un robinet et communiquant avec un tube métallique droit que l'on enchâsse dans les deux bouts de l'artère (a, a'). Le tube étant rempli de la liqueur alcaline et toute communication supprimée avec l'artère (fig. 72, n° 1), grâce au jeu des robinets (à trois voies), de telle sorte que le sang suive le canal métallique, on tourne subitement les deux robinets, de telle sorte que le sang se trouve forcé de se dévier pour s'engager dans le tube de verre (fig. 72, n° 2), qu'il parcourt, en chassant devant lui la colonne de liquide incolore, pour gagner

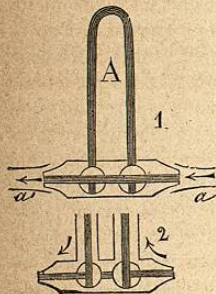


FIG. 72. — Hémodynamomètre de Volkmann.

l'autre bout de l'artère. Un appareil tout aussi ingénieux, nommé *hémotachomètre* (de Vierordt), consiste en une petite boîte transparente (fig. 73) que l'on substitue à une partie d'artère; dans cette boîte flotte un pendule que le courant dévie d'autant plus qu'il est plus rapide; on peut, d'après le degré de la déviation, calculer la vitesse du sang. On a reconnu par ces expériences que la vitesse du sang dans la carotide est de $0^m,33$ par seconde, et de $0^m,44$ dans l'aorte (en moyenne de $0^m,50$ à l'origine de l'aorte); elle est donc dans ce dernier vaisseau 400 fois plus considérable que dans les capillaires. Des résultats semblables ont été obtenus avec l'*hémodynamomètre* de Chauveau et l'*hémodynamographe* de Lortet (fig. 74), qui sont construits sur le même principe que l'instrument de Vierordt. D'après Budge, la vitesse du cours du sang, chez le chien, est de $0^m,26$ par seconde dans la carotide, et de $0,056$ dans la mésentérique.

On peut encore se demander, considérant la circulation dans son ensemble, quelle est la vitesse générale, après avoir vu la vitesse du sang en des points déterminés. En un mot, combien faut-il de temps à un globule sanguin pour aller du ventricule gauche à l'oreillette droite? En moyenne, chaque contraction du cœur lance dans l'aorte 180 grammes de sang. Comme la masse totale du sang s'élève seulement à 5 kilogrammes, il en résulte qu'il faut 25 à 30 pulsations cardiaques pour que tout le sang passe par l'organe central, de sorte qu'il faut un peu plus de 30 secondes pour qu'un globule parti du cœur y soit revenu. Ce résultat donné par le calcul ne peut être que très général et très approximatif : ainsi le sang qui va au membre inférieur a un trajet bien plus long à parcourir que celui qui passe dans les artères et veines cardiaques; le temps du voyage complet (aller et retour) d'un globule sanguin doit donc varier selon les régions où il est lancé; mais en tout cas, la circulation générale doit être très rapide, l'expérience directe en donne la preuve. Déjà les phénomènes d'empoisonnement nous éclairent à ce sujet, car l'on sait qu'une goutte d'acide prussique, déposée sur la conjonctive, fait périr un animal en 8 ou 10 secondes, et que l'on trouve le poison diffusé dans tout l'organisme. Si le poison est déposé sur un point plus éloigné, sur une blessure du pied, par exemple, la mort est un peu moins prompte à se produire, parce que le sang met plus de temps à revenir par les saphènes que par les jugulaires. L'expérience classique consiste à injecter du cyanure jaune dans le bout

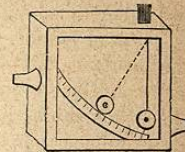


FIG. 73. — Hémotachomètre de Vierordt.

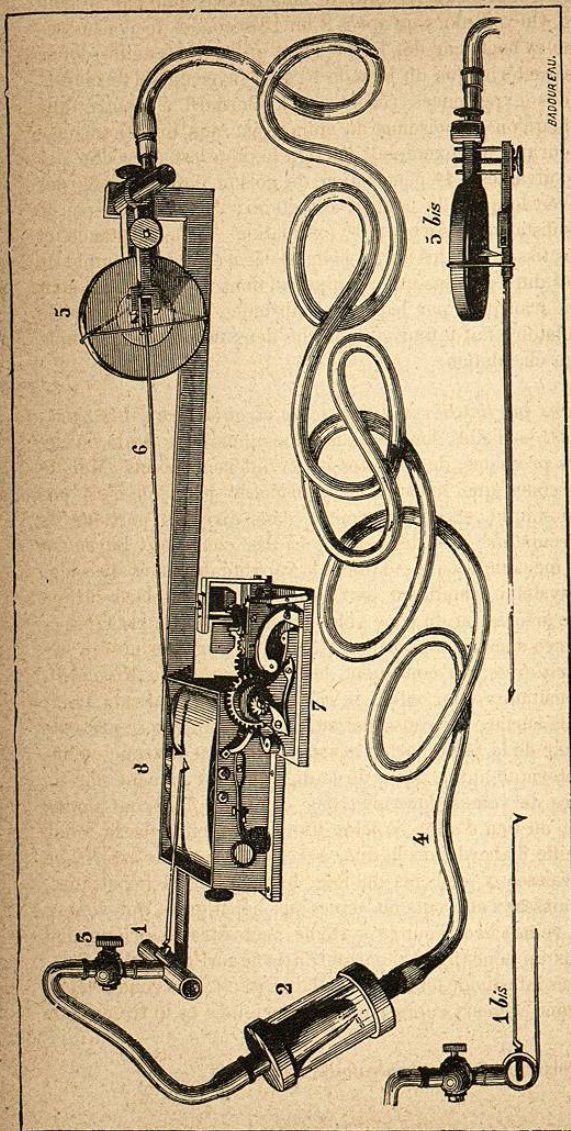


FIG. 74. — Hémodromographe de Chauveau; — 1, tube de métal qui doit être traversé par le courant artériel; 1 bis, détail de l'appareil hémodromographique; 2, sphygmoscope de Marey, permettant de recueillir le tracé de la pulsation en même temps que celui de la vitesse; — 3, robinet destiné à permettre ou à empêcher l'abord du sang dans le sphygmoscope; — 4, tube de caoutchouc chargé de transmettre la pulsation à l'appareil enregistreur; — 5, petit tambour sur lequel s'appuie le levier, 6, qui amplifie et inscrit les pulsations; — 5 bis, détails du tambour et du levier; — 7, appareil enregistreur composé d'un mouvement d'horlogerie et d'une bande de papier (8) qui se déroule au-dessous des deux leviers de vitesse et de pulsation, et sur laquelle s'inscrivent simultanément les deux tracés. — 1/2 grandeur (d'après Lortet, *Annales des sciences naturelles*).

central de la jugulaire et à recueillir le sang qui s'écoule par le bout périphérique. On voit alors qu'après 8 ou 15 secondes le poison revient déjà par ce bout, car dès lors le sang qu'on y recueille donne la réaction caractéristique du bleu de Prusse (avec un sel ferrique). Enfin dans des expériences récentes, Cl. Bernard a montré que toutes les fois qu'on empoisonne un animal par une injection sous-cutanée (de curare, par exemple), l'action toxique est précédée des trois phases suivantes : 1^o pénétration du poison dans le sang des capillaires avec lesquels le contact est établi; 2^o transport par le sang de la substance absorbée; 3^o exsudation de la substance et action sur les tissus (sur les nerfs, pour le curare)¹. L'ensemble de ces trois actes dure au plus quatre minutes, dont sept secondes sont employées au transport par lequel la substance entraînée dans le torrent circulatoire fait le tour complet des deux cercles de la grande et de la petite circulation.

Dispositions particulières du système circulatoire dans quelques organes. — Telles sont les conditions générales de la circulation, de ses pressions, de ses vitesses en différents points. Mais le système des cônes que nous avons considérés jusqu'ici n'est pas partout aussi simple, et l'on rencontre dans diverses portions de l'appareil circulatoire des dispositions et des conditions purement physiques et mécaniques qui modifient la rapidité du cours du sang. Parfois un système capillaire particulier se trouve placé sur un point du cône artériel ou du cône veineux qu'il interrompt. C'est ce que l'on observe dans les vaisseaux artériels du rein, au niveau des *pelotons vasculaires* qui constituent les *glomérules de Malpighi*. Là cette disposition a pour effet, en ralentissant le cours du sang, d'augmenter la surface de transsudation. Un fait analogue se présente dans le système de la veine porte : le sang fourni par le tronc coeliaque et mésentérique aux organes de la digestion est ramené par un grand nombre de veines dans un tronc commun, la *veine porte*. Mais celle-ci, au lieu d'aller se jeter immédiatement dans la veine cave, se ramifie d'abord dans le foie, à la manière d'une artère, en formant les vaisseaux afférents du foie, les capillaires hépatiques, et enfin les vaisseaux efférents ou veines sus-hépatiques, qui vont se jeter dans la veine cave. Tout ce système peut être théoriquement représenté par un cône (fig. 75) partant du tronc aortique (a) et figurant les artères intestinales et leurs capillaires (c'c'); à ce cône artériel succède un cône veineux représentant les origines et le tronc de la

¹ Claude Bernard, *Physiologie opératoire*. Paris, 1879

veine porte(sp); mais ce deuxième cône se continue avec un troisième disposé comme un cône artériel (où la circulation se fait du sommet vers la base) et figurant les ramifications de la veine porte dans le foie(cc). Par sa base (capillaires hépatiques), ce cône s'adosse à un quatrième cône représentant les veines sus-hépatiques. Ainsi, dans ce trajet, le sang parcourt un système de cônes double du système général et subit à chaque double base (chaque réseau capillaire c'c' et cc) les ralentissements que nous avons étudiés. Dans quel-

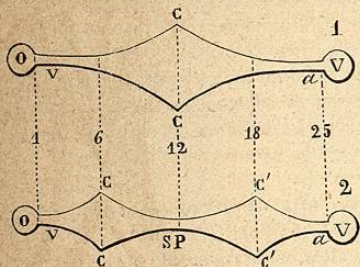


Fig. 75. — Schéma des doubles cônes d'un système porte*.

que région que ces dispositions se produisent, on donne toujours le nom de *vaisseau porte* à toute partie de l'appareil circulatoire dans laquelle le sang marche des capillaires d'un organe vers les capillaires d'un autre organe. De plus les systèmes capillaires, interposés aux séries de cônes de l'appareil de la veine porte intestinale, par exemple, ne supportent pas les mêmes pressions que les capillaires ordinaires. Aucun de ces systèmes n'étant à égale distance du ventricule gauche et de l'oreillette droite, ne peut avoir une pression moyenne entre 1/100 et 25/100 d'atmosphère. La pression sera plus faible dans les capillaires hépatiques (fig. 75, 2 c, c) puisqu'ils sont plus rapprochés de l'oreillette; plus forte dans les capillaires intestinaux, puisqu'ils sont plus rapprochés du ventricule gauche (c' c'); cette dernière condition est très peu favorable, comme nous le verrons, à la théorie de l'absorption intestinale par simple endosmose. Nous verrons aussi que les systèmes capillaires du rein donnent lieu à des considérations semblables.

B. Propriétés et fonctions des vaisseaux. — Les conditions générales de la circulation du sang, de ses pressions et de ses vitesses,

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

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

2. *Un système porte.* — V, Ventricule; — O, oreillette; — a, artères; — c', c', premier système de capillaires (pression = 48); — SP, tronc porte; — c, c, deuxième système de capillaires (pression = 6); — v, veine.

conditions résultant uniquement de la *disposition mécanique* des canaux sanguins, peuvent être modifiées et compliquées par les *propriétés physiologiques* des parois des vaisseaux, *artères, capillaires, veines.*

1° *Artères.* — L'anatomie nous enseigne que les artères se composent de trois tuniques (fig. 76); de ces trois membranes, celle qui intéresse le plus le physiologiste, c'est la tunique moyenne; elle contient deux éléments essentiels: du *tissu élastique* et du *muscle* (muscle lisse, cellules contractiles). Le premier de ces éléments, le tissu élastique, domine presque seul au sommet du cône artériel, et l'aorte est presque uniquement formée de membranes jaunes élastiques; par contre, c'est l'élément musculaire qui est largement prédominant à la base du cône, c'est-à-dire dans les parois des petites artères qui précèdent les capillaires; dans les parties intermédiaires, les tissus élastique et musculaire se partagent la composition de la tunique moyenne proportionnellement à la distance à laquelle le point considéré se trouve de la base et du sommet du cône, de sorte qu'une diagonale qui, sur un schéma, partage obliquement l'épaisseur des parois du cône artériel, représente parfaitement la richesse comparée des divers points des parois artérielles en tissu élastique et musculaire (fig. 77).

Les artères sont donc des canaux d'une grande élasticité, grâce à la présence du tissu musculaire et du tissu jaune. Ce seul énoncé nous indique que ces vaisseaux doivent avoir une forme naturelle à laquelle ils tendent à revenir sans cesse, violemment qu'ils sont par la circulation. Aussi les artères ne sont-elles

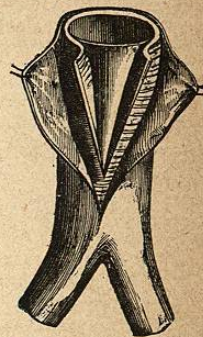


Fig. 76. — Artère avec ses trois tuniques disséquées.

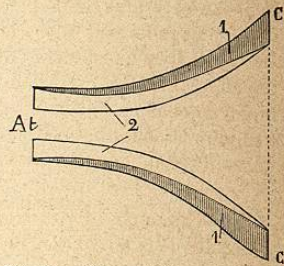


Fig. 77. — Cône artériel: composition des parois artérielles*.

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

pas, comme on est porté à le croire, des cylindres creux, mais bien des rubans creux à parois aplaties et presque en contact.

En effet, une artère de moyen calibre contient à peu près parties égales de tissu musculaire et de tissu élastique. Si le tissu musculaire était seul, comme il est disposé en couches circulaires, comme un sphincter, il ne laisserait, en réalisant sa forme naturelle de repos, pour toute ouverture centrale de l'artère, qu'un point ou une ligne axiale, indice du canal (fig. 78, A). Mais, d'autre part, le tissu

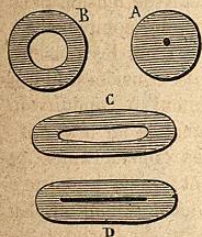


FIG. 78. — Forme naturelle des artères*.

élastique tend à maintenir l'artère largement béante, et lui donnerait l'aspect d'un large canal cylindrique, s'il existait seul (B). De cet antagonisme continu entre l'élasticité du muscle et celle du tissu élastique, résulte, par une espèce de compromis, une forme intermédiaire entre ces deux formes extrêmes, la forme d'un ruban cylindrique aplati (C et mieux encore D), ayant pour lumière une fente transversale¹. Cette forme naturelle est sans cesse violente par la masse du sang que le ventricule lance à chaque systole dans

l'arbre artériel : aussi les artères pleines de sang ont-elles un canal cylindrique ; mais on sait aussi qu'elles peuvent changer de forme selon la plus ou moins grande quantité de sang qui leur est envoyée. Quand une hémorragie considérable a lieu, elles réalisent leur forme naturelle rubanée ; après la mort, elles la réalisent aussi, en expulsant tout leur contenu vers les capillaires et les veines ; aussi les artères du cadavre sont-elles vides et rubanées. Il faut ajouter cependant qu'elles ne conservent cette forme sur le cadavre que tant que l'air n'a pas pénétré dans leur intérieur ; dès qu'on fait une ouverture à leur paroi, elles aspirent l'air et prennent l'aspect de cylindres creux. Ce fait est facile à expliquer : après le dernier battement du cœur, les artères encore vivantes ont, en expul-

¹ V. Louis Oger, *Considérations physiologiques sur la forme naturelle et la forme apparente de quelques organes, et en particulier sur la forme apparente des artères*. Thèse de Strasbourg, 1870, n° 283.

* Éléments qui déterminent la forme naturelle des artères ; A, aspect de la coupe d'une artère qui ne serait composée que de tissu musculaire ; — B, coupe d'une artère qui ne serait composée que de tissu élastique ; — C, D, coupe d'une artère, montrant sa forme réelle, rubanée, telle qu'elle résulte physiologiquement de la lutte des deux éléments, élastique et musculaire.

sant leur contenu vers les veines, réalisé leur forme naturelle de ruban creux aplati, forme due au conflit du tissu musculaire et du tissu élastique ; mais bientôt le tissu musculaire perd ses propriétés ; dès lors, au point de vue physiologique, l'artère n'est plus composée que du tissu élastique, et la forme naturelle de l'artère du cadavre est désormais celle d'un cylindre creux ; toutefois la pression atmosphérique ne lui permet pas de se dilater et de réaliser cette forme qu'elle ne peut prendre complètement que quand une incision laisse l'air s'introduire dans sa cavité.

Ainsi les artères sont pendant la vie dans un état de tension permanente ; c'est ce qui constitue leur *tonicité*, tonicité comparable à celle que nous avons étudiée dans les sphincters, dans les muscles en général¹. Grâce à cet état, grâce à l'élasticité considérable qui en résulte, les artères ne servent pas simplement à conduire le sang ; elles transforment la circulation et changent le jet intermittent du cœur en un jet continu. Dans les artères considérables et voisines du cœur, le jet est encore intermittent ; mais à mesure qu'on s'avance dans l'arbre artériel, on le voit devenir continu. En effet, déduisant du débit de l'artère carotide celui de l'origine de l'aorte, on a pu calculer que chaque ondée sanguine est d'environ 180 grammes de sang. Cette quantité est énorme et il doit en résulter une forte dilatation de l'aorte : ses parois réagissent à leur tour

¹ Ces considérations sur la forme naturelle et la forme apparente d'un organe, d'un tissu simple ou composé de plusieurs éléments, sont du plus haut intérêt en physiologie générale, et apportent parfois une clarté inattendue à l'explication de certains phénomènes. Si par deux traits de scie portés en arrière sur toute la longueur des lames vertébrales, on sépare la série des apophyses épineuses et des lames d'avec la série des masses articulaires ; si après cette séparation on juxtapose les deux moitiés verticales de la colonne pour comparer leurs longueurs, on constate que la moitié postérieure s'est raccourcie d'une quantité très notable. Le raccourcissement correspond presque à la hauteur de trois vertèbres de taille moyenne. Evidemment les ligaments jaunes doivent seuls être accusés de ce raccourcissement : ces ligaments, sur une colonne vertébrale intacte, sont violents par l'écartement et la rigidité des lames sur lesquelles ils sont étendus ; ils ne peuvent réaliser leur forme naturelle, à laquelle on ne les voit revenir que par la suppression de cette force antagoniste.

Nous verrons que la forme naturelle du poumon vivant diffère de la forme naturelle du poumon sur le cadavre ; que jamais dans l'organisme vivant et normal la première n'est réalisée : cette étude nous permettra de comprendre très simplement le mécanisme de l'expiration.

On doit entendre par *forme naturelle*, soit d'un tissu, soit d'un organe, la forme qui est propre à ce tissu, ou à cet organe, indépendamment de toutes les influences étrangères plus ou moins constantes qui tendent à le violenter.

sur le sang, le chassent vers le cône artériel, où, par une série de dilatations et de retours successifs de moins en moins sensibles, le *cours saccadé* du sang vers le sommet du cône devient à peu près *régulier* vers la région des capillaires (base du cône).

L'élasticité artérielle, en changeant le mouvement intermittent du sang en un mouvement continu, soulage beaucoup les efforts du cœur, ou, en d'autres termes, rend plus efficaces ses contractions. En effet, Marey a démontré que pour un écoulement constant, produit sous une même pression, les quantités de liquide écoulé dans un temps donné sont les mêmes lorsque le liquide sort par un tube rigide ou par un tube élastique; mais il n'en est plus de même pour un écoulement intermittent : dans ce cas le débit pour une même pression est beaucoup plus considérable par un tube élastique que par un tube rigide. Le cœur, à égalité de force dans ses contractions, produit donc une circulation beaucoup plus active en lançant son contenu dans des vaisseaux élastiques que dans des vaisseaux rigides. En d'autres termes, si les artères cessaient d'être élastiques, le cœur devrait augmenter l'énergie de ses contractions pour produire les mêmes effets de circulation. C'est ce que l'on observe, du reste, dans l'*athérome*; dans cette affection, les artères s'incrument de sels calcaires et deviennent rigides. Aussi voit-on le cœur s'hypertrophier pour parvenir à produire, sans le secours de l'élasticité artérielle, le même travail que précédemment. L'élasticité artérielle, mise en jeu à chaque systole ventriculaire, emmagasine, puis restitue, lors de la diastole cardiaque, une certaine quantité de force qui, dans un tube rigide, est dépensée dans les frottements (V. plus loin : *Dicrotisme*).

Quant au *tissu musculaire*, par son abondance au niveau des petites artères, nous verrons qu'il a pour but, sous l'influence des nerfs (V. *Vaso-moteurs*), de modifier les circulations locales par la *contraction* (anémie) ou la *dilatation* (hyperémie, rougeur) des petits vaisseaux.

Du pouls. — Il y a donc au sommet du cône artériel, à chaque systole du ventricule, une augmentation brusque de pression, un *choc*, et par suite une *onde* très sensible, qui se sent encore dans les artères moyennes et disparaît vers les capillaires. C'est pourquoi, lorsqu'on applique la pulpe d'un doigt au niveau d'une artère superficielle et telle qu'elle puisse être légèrement comprimée contre un plan osseux (*art. radiale* à l'extrémité inférieure du radius; *faciale* au niveau du maxillaire inférieur; *pédieuse* au niveau de la partie antérieure du tarse), on constate des changements rythmiques dans la consistance que présente cette artère; le doigt reçoit l'im-

pression de soulèvements, de battements réguliers, auxquels on a donné le nom de *pulsation artérielle*, de *pouls artériel*, ou simplement de *pouls*. Ces manifestations de la pulsation artérielle résultent des changements qui surviennent dans la *pression* ou *tension* artérielle; ces changements sont produits par les mouvements du cœur, qui, à chaque systole ventriculaire, lance dans l'arbre artériel une masse de sang égale à environ 180 ou 200 grammes; et, en effet, le pouls artériel est sensiblement synchrone avec la contraction des ventricules, c'est-à-dire avec le *choc précordial*, signe extérieur de cette contraction. La sensation de choc, éprouvée par le doigt qui déprime une artère, tient au durcissement subit de celle-ci, lorsqu'une onde sanguine, poussée par le ventricule dans le système artériel, vient augmenter subitement la tension du sang dans ce système. A ce moment, l'artère, qui est élastique, se laisse dilater par cette augmentation de pression : on peut dire encore que la pulsation perçue par le doigt, le pouls, est la manifestation de la *diastole artérielle*.

Quelque simple et évident que paraisse le fait sus-indiqué, à savoir que le pouls correspond à la systole ventriculaire et qu'il est produit par l'augmentation de pression dans les artères, la confusion sur la nature même du phénomène pulsatif serait trop facile si l'on n'avait soin de bien préciser les rapports exacts entre les trois facteurs que nous avons mentionnés : sensation de soulèvement ou de diastole perçue par le doigt; augmentation de la pression sanguine ou tension artérielle, et arrivée dans l'arbre artériel du sang chassé par le ventricule. C'est cette nouvelle masse de sang qui, venant s'ajouter à celle qui était déjà contenue dans les artères, et la poussant devant elle, augmente la tension vasculaire et produit la diastole artérielle; mais ce n'est pas à dire qu'en percevant la diastole artérielle le doigt assiste pour ainsi dire au passage dans l'artère en question du sang que vient de lui envoyer le ventricule; il perçoit seulement le choc que le sang sorti du ventricule a transmis successivement aux colonnes de liquide placées au devant de lui; ce n'est pas l'*ondée* ventriculaire qui passe sous le doigt au moment du pouls, c'est l'*onde* qu'elle a produite dans la colonne sanguine, qui soulève la paroi artérielle et devient perceptible. Il sera facile de comprendre cette distinction en invoquant un certain nombre de faits élémentaires plus ou moins familiers au médecin. 1^o Quand une grosse artère (la crurale, par exemple) vient d'être liée dans le moignon d'une cuisse amputée, on voit encore ce bout de vaisseau, terminé en cul-de-sac, se soulever à chaque contraction cardiaque; cependant le sang n'y circule plus à proprement parler, il le remplit seulement et il le remplit sous des pressions variables, c'est-à-dire avec augmentation brusque de pression à chaque systole ventriculaire, avec diminution de pression dans

l'intervalle de ces systoles, puisque le sang s'échappe alors par les collatérales qui naissent en arrière de la ligature; ces soulèvements du bout de l'artère liée ne sont autre chose que le *pouls* devenu ici sensible à la vue; 2^o il est un petit appareil de physique destiné à montrer les effets de l'élasticité des corps solides et qui consiste en une série de billes d'ivoire suspendues par des fils à une règle horizontale, de manière à ce qu'elles soient en contact et forment elles-mêmes une rangée linéaire horizontale. Quand à une des extrémités de cette série on écarte une de ces billes pour la laisser brusquement retomber sur celle qui suit, celle-ci, non plus que la troisième, ni la quatrième, ne se déplace; la dernière seulement, celle qui est à l'extrémité de la série, s'écarte de celle qui la précède; c'est que le choc s'est transmis, de molécule à molécule, d'une bille à l'autre, sans déplacement des billes jusqu'au niveau de la dernière, qui, étant libre, s'est trouvée dans les conditions suffisantes pour que le choc se traduise par un mouvement: ainsi le choc s'est transmis indépendamment du mouvement. De même le choc produit par la systole cardiaque se transmet de proche en proche au contenu des artères, mais la propagation de ce choc est chose distincte du mouvement du sang, quoique de fait ce mouvement ait, comme précédemment, ce choc ou cette augmentation de pression pour cause mécanique.

Ces deux exemples peuvent déjà faire comprendre qu'il ne faudra pas confondre la force du *pouls* avec l'énergie de la circulation, la *vitesse* du pouls avec la *vitesse* de la circulation: la circulation consiste dans le déplacement du sang; le pouls, qui se transmet du cœur aux artères, consiste dans la progression d'un choc, d'une oscillation qui se propage d'une tranche de la colonne sanguine à une autre tranche, alors même que cette colonne est immobile, et, en tout cas, indépendamment des mouvements de cette colonne. Lorsque le chirurgien, pour s'assurer de la nature liquide du contenu d'une tumeur, produit ce qu'on appelle la *fluctuation*, il applique d'un côté de la tumeur la pulpe des doigts de la main gauche, tandis que de la main droite il produit un choc brusque sur le côté opposé de la tumeur; ce choc est transmis, par le liquide, sans déplacement réel de celui-ci, jusqu'au niveau des couches sous-jacentes à la main gauche qui le perçoit comme un léger soulèvement. Cette fluctuation ainsi produite, et qui n'est qu'une forme peu différente de l'expérience sus-indiquée avec des billes d'ivoire, cette fluctuation est un phénomène identique à celui du pouls: ici la main droite représente la colonne sanguine qui transmet le choc cardiaque indépendamment du mouvement de la circulation.

Le pouls, qui traduit l'augmentation de pression artérielle, est donc une *oscillation* qui se propage: les comparaisons qui précèdent permettent de le comprendre; il s'agit maintenant de le prouver, c'est-à-dire de démontrer que la vitesse de propagation de cette oscillation est complètement différente, indépendante de la vitesse de la circulation. Rappelons d'abord la comparaison qu'a faite Weber entre les ondes pulsatives et les ondes formées à la surface de l'eau par la chute d'un corps. Quand un corps tombe dans une masse liquide, il déter-

mine des *ondes*, visibles à l'œil sous la forme des soulèvements désignés vulgairement sous le nom de *vagues*, qu'on voit progresser en s'éloignant du point où le corps est tombé; ces vagues ne sont nullement constituées par les portions liquides qui ont été mises en contact avec le corps en question et qui se seraient déplacées; elles sont constituées non par un déplacement de la matière même, mais par un mouvement se propageant à travers les molécules (*unda non est materia progrediens, sed forma materix progrediens*). Si le corps tombe dans un liquide en mouvement, les ondes qu'il y produira se propageront indépendamment du mouvement du liquide; de même l'onde pulsatile produite dans la colonne sanguine se propage du centre à la périphérie, indépendamment du mouvement du sang. Nous avons dit précédemment que le pouls était synchrone au choc cardiaque, à la systole ventriculaire; c'est une indication qui répond à la constatation grossière que nous pouvons faire à l'aide de nos sens, en dehors de l'usage des appareils de précision: l'oreille appliquée à la région précordiale, et le doigt qui déprime l'artère, nous donnent deux sensations qui paraissent simultanées, mais qui, en réalité, ne le sont pas et ne sauraient l'être; en effet, comme toute onde qui progresse dans un liquide, le pouls ne saurait se présenter simultanément dans tout le système artériel; il doit se montrer plus tard dans les artères éloignées du cœur que dans les plus voisines, c'est-à-dire progresser du cœur vers les capillaires avec une vitesse telle que le retard du pouls radial sur le choc cardiaque échappe à nos sens, mais ne saurait échapper aux recherches faites avec des appareils de précision. C'est ce qu'ont démontré les expériences de Czermak; il a prouvé par des recherches très exactes (sphygmographe à miroir), que tandis que le mouvement du sang diminue de vitesse à mesure qu'on se rapproche des capillaires (V. plus haut, p. 227), la vitesse de propagation de l'onde pulsative va, au contraire, en augmentant du centre à la périphérie, qu'elle est plus considérable chez les vieillards et les adultes que chez les enfants, résultats qui montrent bien qu'il ne faut pas confondre, nous l'avons déjà démontré, le pouls, sa vitesse, sa forme, avec la vitesse du sang et l'activité de sa circulation. Onimus a particulièrement insisté sur ces caractères de l'onde pulsative.

On peut par l'expérience constater directement les ondes de la colonne sanguine en mettant un manomètre en communication avec le vaisseau; on constate alors facilement des *soulèvements* et des *abaisssements successifs*. On a essayé de fixer ces ondulations au moyen du *kymographion* de Ludwig (fig. 79), qui n'est qu'une modification de l'hémodynamomètre que nous avons étudié plus haut. A la surface de la colonne mercurielle du manomètre (en *a*, fig. 79) se trouve un petit flotteur portant à sa face supérieure une tige verticale *b* articulée avec une seconde tige horizontale *c*, munie

d'une pointe qui touche un cylindre tournant noirci au noir de fumée (*d, d'*). Si ce cylindre était immobile, le stylet tracerait des lignes verticales; mais comme il tourne régulièrement, il en résulte que le stylet trace des ondulations qui, selon qu'elles sont à convexité supérieure ou inférieure, sont dites *positives* ou *negatives*; elles correspondent, les premières aux systoles ventriculaires, les secondes au repos du cœur.

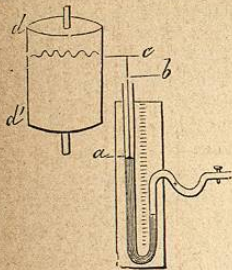


Fig. 79. — Kymographe.

Le sphygmographe de Marey, applicable à l'artère radiale de l'homme, donne des résultats semblables; c'est un *appareil enregistreur* (V. fig. 80 et 81 et leur explication), qui note les impulsions que lui imprime l'artère, grâce à un petit levier qui appuie sur cette artère, comme y appuie le doigt

du médecin qui explore le pouls. D'après la longueur de chacune de ces ondes on peut établir la durée comparative de la systole et de la diastole. On constate ainsi toutes les modifications de la circulation (fig. 82).

On a pu ainsi montrer que le *dicrotisme* du pouls, manifestement sensible au toucher dans certaines maladies, n'est qu'une exagération d'un *dicrotisme* que l'onde sanguine présente toujours normalement. Ce dicrotisme consiste en un petit soulèvement qui interrompt la ligne de descente du tracé (fig. 82, en *d*), c'est comme une seconde pulsation qui se produit après la première. Les recherches de Marey, de Vivenot, de Duchek, ont élucidé le mécanisme de ce phénomène: on l'attribuait d'abord à une *onde en retour* produite soit par l'abaissement des valvules sigmoïdes, soit par le reflux d'une pulsation qui se réfléchit à la terminaison de l'aorte sur l'éperon qui résulte de sa bifurcation en deux iliaques. Tout démontre aujourd'hui que le dicrotisme est dû à l'élasticité de l'artère, qui, distendue par la systole ventriculaire, revient à son volume primitif (systole artérielle). La petite ascension qui interrompt la ligne de descente (fig. 82, *d*) nous marque précisément le moment où, comme nous le disions plus haut, l'élasticité artérielle restituée à l'ondée sanguine la force qu'elle avait emmagasinée, et qui se serait perdue, dépensée en frottements dans un tube rigide (V. plus haut, p. 236). Le sphygmographe a encore permis d'étudier nombre d'autres particularités de la circulation: par exemple, dans les grandes inspirations les ondes négatives augmentent tandis qu'elles diminuent dans les fortes pressions du thorax coïncidant avec une expiration énergique; alors les ondes positives augmentent (V. *Respiration*). On a cru remarquer que dans certaines cir-

constances le pouls droit était plus ou moins rapide que le pouls gauche: c'est ce qu'on appelle le *pouls différent*; mais ce sont là

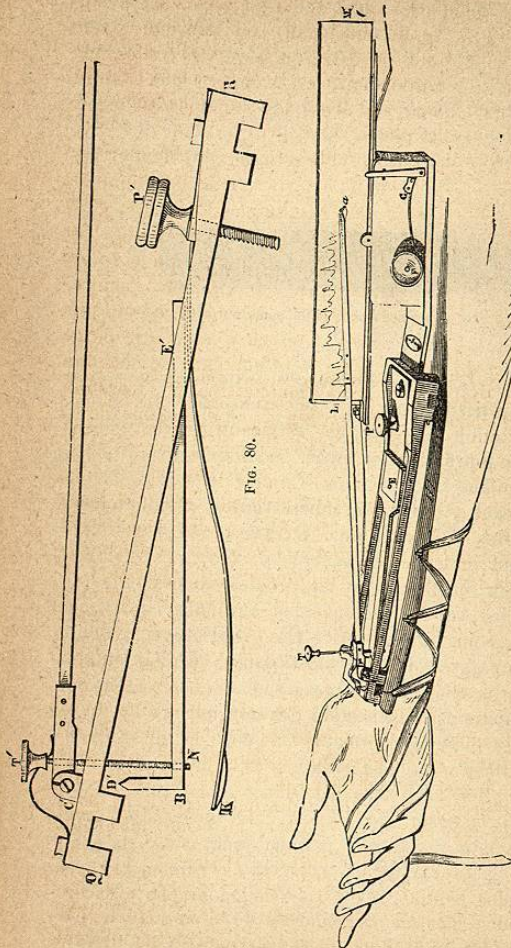


Fig. 80.

Fig. 81.

L'instrument est appliqué sur le poignet, autour duquel il est fixé par un lacet; dans l'inférieur du cadre de l'instrument, fixé par une de ses extrémités par le ressort et le levier, ensemble dont la figure 80 montre le profil; c'est un ressort (*K*) très flexible, la déprimer. Chaque pulsation de l'artère imprimera donc à la plaque *K* des mouvements très petits, mais qui seront amplifiés par le levier qui est à la partie supérieure de la figure 80 (représenté seulement en partie; sa pointe libre, terminée par un bec rempli d'encree, et frottant contre une plaque recouverte de papier, dépasserait les limites de la figure; mais on peut la voir, avec le tracé qu'elle écrit, dans la figure 81); ce levier très léger, bois ou aluminium pivote autour du point *C*, et reçoit l'impulsion très près de son centre de mouvement par la vis *TN* et par la pièce intermédiaire *BE*; cette-ci est une pièce de cuivre mobile autour du point *E*, et la vis *TN* est placée là pour assurer les contacts dans toutes les circonstances, et, par exemple, notamment lorsque l'artère est très profondément située.

des faits résultant d'observations erronées; ces pouls différents ne sont que le résultat de contractions rythmiques accidentelles des