

fluence d'excitations parties de ces derniers, ils peuvent entrer en jeu et continuer à fonctionner, même quand une section vient interrompre leur communication avec les centres supérieurs.

Un point curieux à noter dans l'intoxication chez ces animaux est la lenteur dans l'apparition des mouvements convulsifs. Presque toujours les convulsions n'apparaissent que quinze à trente minutes après l'injection, et les doses nécessaires pour déterminer les convulsions ont toujours entraîné la mort dans un bref délai, alors que, chez les mammifères, si l'on a soin de ne pas dépasser la dose minima, l'animal ne succombe pas à l'intoxication. On peut même affirmer que chez les poissons la dose mortelle est bien inférieure à la dose convulsivante. Des crénilabres de 200 grammes sont morts six heures après l'injection de 3 milligrammes de chlorhydrate de cinchonigine sans avoir présenté de véritables convulsions.

Au point de vue de la toxicité des isomères, mes expériences n'ont porté que sur trois isomères : cinchonigine, cinchonifine et cinchoniline. Les difficultés de l'expérience ne permettent pas de donner des chiffres aussi précis que pour le chien ; néanmoins, on peut établir le tableau suivant :

	CRÉNILABRE.	BOX SALPA.	ANGUILLE.
Cinchonigine	0,04	0,11	0,08
Cinchoniline	0,10	0,14	0,12
Cinchonifine	0,15	0,20	"

Les écarts si considérables observés chez les vertébrés avec ces isomères sont beaucoup moins marqués chez les poissons.

Chez les invertébrés (crabes), LANGLOIS et DE VARIGNY ont observé également et pu enregistrer les mouvements convulsifs dans les pattes, déterminés par l'injection de la cinchonine et de ses isomères, mais l'échelle de toxicité est complètement modifiée : la cinchonibine n'est pas convulsivante ; la cinchonidine l'est très faiblement ; la cinchonigine exerce une influence convulsivante appréciable ; la cinchonifine et la cinchonine, par contre, sont extrêmement actives.

Bibliographie. — **Chimie.** — **Physiologie et Pharmacodynamie.** — BOCHEFONTAINE. Action de la cinchonine et de la conchonidine sur la circulation (B. B., 1884, 423). — BOCHEFONTAINE et SÉE. Action toxique de la cinchonine (Bull. de Thérap., cv, 381) ; — Antagonisme entre la cinchonine et la digitaline (C. R., 2 mars 1885). — BOUCHARDAT. Sulfate de cinchonidine (Bull. de Thérap., xcii, 304) ; — Histoire physiologique et thérapeutique de la cinchonine (Acad. de Médecine, 1859-1860) ; — De l'action physiologique et thérapeutique de la cinchonine dans la fièvre (Bull. de Thérap., xcvi, 285). — CERNA. Étude physiologique de la cinchonidine (Philadelphia medical Times, 1880, 493). — CHIRONE et CURCI. Ricerca sperimentale sull'azione biologica della cinchonidina (Rivista italiana di terapia, 1881 et Giornale intern. di sc. med., Naples, 1880, 422-536-640). — COLETTI. Sur l'action physiologique et thérapeutique de la cinchonidine (Philadelph. med. Times, 1880, 46). — DOUVRELEUR. Étude sur la cinchonine (D., Paris, 1887). — GALLERANI et LUSSANA. La cinchonidine (Arch. ital. de Biologie, xii, Suppl., p. xxxviii). — LABORDE. Quinine et cinchonine (B. B., 1882, 660-675 ; B. B., 1883, 475; Tribune médicale, 1886, 232-243-252-284). — LANGLOIS. Toxicité des isomères de la cinchonine (B. B., 1888, 829 ; A. de P., 1893, 377) ; — Action des sels de la série cinchonique sur le carcinus mœnas (Journ. de l'Anat. et de Physiol., 1889, 273). — LANGLOIS et CH. RICHET. Influence de la température interne sur les convulsions (cocaine et cinchonidine) (A. P., 1889, 181). — LAVERAN. Action comparée de la quinine et de la cinchonine dans les fièvres intermittentes (Gaz. méd. de Paris, 1856). — MOUTARD-MARTIN. Mémoire sur l'action du sulfate de cinchonine dans les fièvres intermittentes (Acad. de médecine, 1860). — CH. RICHET. Les poisons convulsivants (Arch. Internationales de Pharmacodynamie, 1898, iv, fasc. 3). — SIMON. De l'action comparée des quatre principaux alcaloïdes du quinquina (D., Paris, 1883).

P. LANGLOIS.

CIRCONVOLUTIONS. — Voyez Cerveau.

CIRCULATION (de *Circulus*, cercle). Depuis CÉSALPIN et HARVEY, on donne le

nom de Circulation (*Circulatio sanguinis* CÉSALPIN) au mouvement que le sang exécute à travers l'organisme, mouvement qui lui fait parcourir un système de canaux élastiques, formant un cercle fermé; de telle sorte que chaque particule de sang revient à son point de départ, après un trajet circulaire plus ou moins long, pour recommencer ensuite un mouvement analogue.

Par extension, on applique la même dénomination de *Circulation* au mouvement progressif et nullement circulaire des différents fluides de l'économie : lymphé, chyle, produits de sécrétion ou d'excrétion, sève des végétaux, etc.

Il ne sera question ici que de la *Circulation du sang*.

La nécessité de ce mouvement du sang saute aux yeux. En effet, le corps des animaux supérieurs est formé d'un nombre immense de cellules, de fibres, etc. La plupart de ces éléments, vivant dans la profondeur des tissus, sont entièrement soustraits à l'action directe du milieu extérieur : pour respirer, pour puiser au dehors leur nourriture, pour se débarrasser ensuite des déchets de la nutrition, ces cellules ont besoin d'un intermédiaire, le sang.

Pour accomplir les échanges nutritifs et respiratoires auxquels il préside, le sang ne peut rester en repos au contact des organes; il se meut incessamment entre les différents organes et les surfaces d'échange du corps (poumon, intestin, reins). Ce mouvement du sang est réalisé par les battements du cœur, véritable pompe aspirante et foulante qui puise le liquide du côté du système veineux, pour le pousser avec une grande force dans le système artériel.

L'étude de la circulation dans le Cœur, les Artères, les Veines et les Capillaires est faite aux articles *Cœur, Cardiographe, Pneumogastrique, Artères, Pouls, Pression sanguine, Sphygmographe, Veines, Capillaires, Pléthysmographe, Vaso-Moteurs*, etc.

Nous renvoyons également à *Cerveau, Foie, Veine porte, Reins, Poumons*, etc., pour l'étude des circulations cérébrale, hépatique, rénale, pulmonaire, etc.

Nous ne traiterons ici que quelques questions générales se rapportant à la circulation :

- I. — *Historique de la Découverte de la Circulation.*
- II. — *Appareil circulatoire dans la Série animale.*
- III. — *Généralités sur les Conditions mécaniques de la circulation et sur les procédés employés pour les réaliser artificiellement.*
- IV. — *Effets de la Suppression de la circulation, notamment, genèse de la circulation collatérale.*
- V. — *Influence de la Pesanteur sur la Circulation.*
- VI. — *Influence de la Respiration sur la Circulation.*
- VII. — *Durée totale de la Circulation.*

§ I. Historique de la découverte de la circulation du sang. — Les anciens n'ignoraien pas que le sang est contenu dans des réservoirs en forme de tubes membraneux : les vaisseaux. Mais ils n'avaient aucune idée du mouvement circulaire dont ce liquide est animé. Pour eux, le sang cheminait lentement, en partant du cœur ou du foie, vers les différents organes, pour s'y arrêter et les nourrir.

Le respect religieux que les Grecs professaient pour les morts les empêchait de se livrer à des recherches anatomiques sur la structure du corps humain. Aussi n'est-il pas étonnant que les écrits d'HIPPOCRATE et d'ARISTOTE témoignent d'une connaissance incomplète, et en grande partie erronée, de la disposition anatomique du cœur et des vaisseaux.

A l'époque d'HIPPOCRATE (460 av. J.-C.) on distinguait cependant les *Veines* des *Artères* : mais les veines seules étaient censées contenir du sang : elles étaient chargées de conduire ce liquide aux différentes parties du corps. Les artères contenaient de l'air. (L'étyologie, *artère*, de ἀρτή, air et τηρεῖν, conserver, est fort douteuse.)

ARISTOTE admettait également qu'il n'y a de sang que dans le cœur et dans les veines. « De l'intestin, par les veines mésentériques, les aliments vont au cœur, dit-il, qui les anime, les transforme et les rend semblables au sang. Ce sang contenu dans les veines se répand avec elles dans toutes les parties et sert à les nourrir... Le corps humain se renouvelle ainsi dans les intestins par les veines du mésentère, comme l'arbre se renouvelle dans la sève de sa racine.

« L'air passe des poumons au cœur, par les vaisseaux qui réunissent ces deux organes, comme on peut s'en assurer en insufflant la trachée... Du cœur, l'air pénètre dans les artères qui en naissent... Les artères elles-mêmes perdent leur cavité intérieure en s'effilant et se continuent avec les nerfs ou tendons. »

ARISTOTE donne une description vague et fort peu exacte du cœur et des gros vaisseaux qui en partent. Il est probable qu'il n'avait jamais eu sous les yeux les organes dont il parle.

L'école d'ALEXANDRIE (créée environ trois siècles avant J.-C., par PTOLÉMIE I^{er} LAGUS ou SOTER) inaugura bientôt l'étude scientifique de l'anatomie par la dissection du cadavre humain. Nous devons à ses deux premiers fondateurs, HÉROPHILE et ERASISTRATE, des découvertes importantes se rapportant à notre sujet.

HÉROPHILE donna une description assez exacte du cœur et des gros vaisseaux qui en partent, notamment de la *veine artérieuse* (notre artère pulmonaire) et de l'*artère veineuse* (veine pulmonaire). Il fut le premier à constater l'isochronisme des battements du cœur et des artères.

ÉRASISTRATE, contemporain d'HÉROPHILE et petit-fils d'ARISTOTE (304 avant J.-C.), dit-on, constata le jeu des valvules qui dans le cœur séparent les oreillettes des ventricules, et fit plusieurs autres découvertes anatomiques. Mais, sur le terrain physiologique, il en est encore aux erreurs d'ARISTOTE et notamment à la présence de l'air dans les artères.

Cette dernière erreur fut réfutée par GALIEN (né à Pergame, 131 après J.-C.), disciple de l'école d'Alexandrie.

GALIEN se lança franchement dans la voie de l'expérimentation sur l'animal vivant. Il montra que, si l'on ouvre une artère après l'avoir comprise entre deux ligatures, on la trouve remplie de sang, et jamais d'air. De même, si l'on fait une blessure à une artère, il s'en échappe immédiatement un jet de sang, et, par suite des anastomoses entre les veines et les artères, tout le sang du corps finit par s'écouler. Le mouvement des artères vient du cœur : si on lie une artère, aussitôt on verra cesser sa pulsation. GALIEN admet à tort que la propagation du pouls se fait uniquement dans l'épaisseur des parois de l'artère. Si l'on met à nu, dit-il, une artère, et si l'on place dans son intérieur une tige creuse, en serrant dessus les parois de l'artère, immédiatement l'artère cesse de battre, car on a interrompu la communication avec le cœur. Les battements avaient sans doute cessé, dans l'expérience de GALIEN, par suite d'une coagulation du sang à la surface interne du tube.

GALIEN accepte les erreurs d'ARISTOTE concernant la direction centrifuge du sang dans les veines, et le passage de l'air du poumon au cœur par les veines pulmonaires. Il admit que cet air était transporté avec le sang par les artères dans les différentes parties du corps.

Il admit également un mélange de ce sang pneumatisé avec le sang du cœur droit, à travers la cloison interventriculaire, cloison perforée selon lui. Le foie est pour lui le centre de toutes les veines du corps : c'est le foie qui distribue le sang aux parties. Par la veine porte, le foie reçoit les aliments élaborés dans l'estomac : par la veine cave il envoie une partie de ce sang alimentaire au cœur droit.

La figure suivante, empruntée à Ch. RICHER (HARVEY, *La Circulation du sang*, Paris, 1879), est destinée à donner une idée schématique des théories de GALIEN sur le mouvement du sang (fig. 124).

A la civilisation hellénique succèdent les ténèbres du moyen âge. Pendant treize siècles, on se contenta d'étudier et de commenter les livres de GALIEN et d'ARISTOTE, sans rien ajouter à leurs découvertes.

Les anatomistes de la Renaissance reprirent l'œuvre de GALIEN et redressèrent une à une les erreurs de l'illustre médecin de Pergame.

Ce sont d'abord VÉSALE¹ et SERVET qui montrent que la cloison interventriculaire du

1. Récemment encore, on admettait que VÉSALE avait le premier osé s'attaquer à l'autorité de GALIEN, en affirmant que la cloison du cœur n'est pas perforée.

TOLLIN (*A. g. P.* 1884, xxxiii, 489 et *Biol. Centralbl.* 1885, 474) a fait observer que VÉSALE dans la première édition de *De humani corporis fabrica* (Bâle, 1543, vi, 599), admet encore les trous dans la cloison interventriculaire ; et que ce n'est qu'en 1555, deux ans après la publication de l'ouvrage de MICHEL SERVET, que l'on trouve l'opinion de GALIEN combattue par VÉSALE (Ed. de 1555, 746^b).

§ II. Appareil circulatoire dans la série animale. — Les animaux inférieurs formés d'une seule cellule (Protozoaires), ou d'un petit nombre de cellules, disposées en deux feuillets épithéliaux, ectoderme et endoderme (Mésozoaires), n'ont pas d'appareil circulatoire. Leur protoplasme puise directement les aliments et l'oxygène dans le milieu cosmique extérieur, et y rejette pareillement l'acide carbonique et les autres produits de la combustion organique. Beaucoup de vers intestinaux (Trématodes endoparasites et Cestodes) quoique possédant un mésoderme, sont dans le même cas, par suite de l'atrophie de leur appareil digestif : ils se nourrissent par imbibition, sans intervention de liquides nourriciers.

A part ces cas de parasitisme, on peut dire qu'avec l'apparition du mésoderme se sont établies des dispositions spéciales et diverses, destinées à distribuer les matières nutritives dans toutes les parties de l'organisme. Dans le cas le plus simple (Coelentérés, Spongiaires, Platodes et Trématodes ectoparasites), c'est l'appareil digestif qui joue à la fois le rôle digestif et le rôle respiratoire ; il constitue, en d'autres termes, un *système gastro-vasculaire*, formé par des ramifications nombreuses du tube digestif, qui transportent les produits de la digestion dans toutes les parties de l'organisme. Dans d'autres cas, il y a séparation entre l'appareil digestif proprement dit et l'appareil circulatoire, mais ce dernier consiste exclusivement en une série de lacunes, souvent dépourvues de paroi propre, et qui représentent le cœlome ou cavité générale du corps (Nématodes, Acanthocéphales) ; le sang qui circule dans ces lacunes est un liquide incolore ou coloré, généralement en rouge. Chez les autres invertébrés, le système circulatoire est représenté à la fois par des vaisseaux sanguins proprement dits, à parois propres partiellement contractiles, mais communiquant encore généralement avec des lacunes ou des systèmes de cavités, représentant encore des parties de cœlome. Ce n'est que chez les vertébrés que l'on rencontre un appareil circulatoire absolument clos et sans communication avec le cœlome.

Chez les Éponges, il n'y a pas non plus de liquide comparable au sang ; mais il y a une circulation fort active de l'eau extérieure, qui pénètre par un grand nombre de pores, traverse des canaux creusés dans l'épaisseur du corps et tapissés en partie de cellules flagellées, pour se rendre dans la cavité centrale, et sortir par un orifice ou *osculum*, placé à l'extrémité supérieure du corps.

Les Coelentérés nous présentent un système de canaux radiaires, ramifiés et anastomosés, creusés dans la substance du corps et revêtus de l'endoderme. Ces canaux ne sont que des prolongements de la cavité gastrale ; ils servent à transporter les produits de la digestion élaborés dans cette dernière. Ainsi le même appareil et le même fluide servent à l'accomplissement des phénomènes de la circulation et de la digestion : système gastro-vasculaire.

Un peu plus haut dans la série, chez un grand nombre de Vers, l'appareil circulatoire se différencie de l'appareil digestif. On voit apparaître un liquide spécial, le *sang*, contenu primitivement dans des cavités sans parois propres, auxquelles MILNE-EDWARDS a donné le nom de *lacunes*. Ces lacunes elles-mêmes sont bientôt remplacées, en tout ou en partie, par des canaux indépendants, à parois membraneuses, les *vaisseaux sanguins*.

Parmi les Vers, les Nématodes (Ascarides) n'ont pas de vaisseaux. Cependant la cavité du corps, c'est-à-dire les espaces compris entre la surface extérieure de l'intestin et les faisceaux musculaires de la paroi, contient un liquide nourricier albumineux, qui est mis en mouvement par les contractions générales du corps.

Chez les Acanthocéphales, il existe un système de canaux, mais sans paroi propre, situés dans le tissu sous-cuticulaire.

Chez les Brachiopodes, ou bien le système circulatoire est représenté par un système de lacunes appartenant à la cavité générale du corps, ou bien il existe un cœur tubuleux, contractile, situé au-dessus de l'estomac et auquel aboutit une veine, placée au-dessus de l'intestin antérieur ; tout le restant du système circulatoire étant purement lacunaire.

Chez les Géphyriens (Siponcles), deux vaisseaux accompagnent l'intestin antérieur : l'un est dorsal ; l'autre, ventral. En avant ils débouchent dans un sinus annulaire, entourant la cavité buccale et placé à la base de la couronne tentaculaire. Ce sinus est en rapport avec la cavité des tentacules. Le liquide vasculaire contient les mêmes éléments

que le liquide de la cavité du corps, de sorte qu'il est probable qu'il existe une communication entre la cavité générale et le système circulatoire.

Chez les *Némertiens* et les *Hirudinés*, nous voyons apparaître de véritables vaisseaux pulsatiles à parois propres renfermant un liquide sanguin parfois coloré en rouge (Sangue). La circulation paraît en partie lacunaire.

Les *Annelides* (Lombric, Arénicole) ont un appareil vasculaire clos, déjà fort compliqué : vaisseau dorsal contractile (dans lequel le sang rouge, ou vert, se meut d'arrière en avant), communiquant de chaque côté dans la partie antérieure du corps par une série d'anses transversales (contractiles chez le lombric — coeurs latéraux) avec un vaisseau longitudinal ventral dans lequel le sang circule d'avant en arrière. De ces vaisseaux partent des ramuscules pour la peau et pour l'intestin. Chez l'Arénicole, le vaisseau ventral fournit les vaisseaux afférents des branchies, tandis que les vaisseaux branchiaux efférents se rendent au vaisseau longitudinal dorsal et à un vaisseau sous-intestinal. Chez l'Arénicole, il y a, à la partie antérieure du vaisseau dorsal, une espèce de cœur pulsatile formé de deux ventricules, un droit, un gauche, faisant communiquer le vaisseau dorsal avec le vaisseau ventral.

Chez les *Échinodermes* (Oursin, Holothurie) nous présentent au moins deux systèmes de canaux ramifiés : 1^o le système des canaux aquifères affectant une disposition radiée très régulière, présentant un grand nombre d'appendices locomoteurs creux, les *ambulacres*, qui font saillie à l'extérieur; 2^o un système d'irrigation intestinale formé de gros vaisseaux longeant l'intestin et envoyant à sa surface des réseaux vasculaires fort riches.

Ces deux systèmes paraissent communiquer : 1^o entre eux; 2^o avec la cavité générale du corps; 3^o avec le milieu extérieur. Ils sont remplis d'un liquide fort analogue à l'eau de mer, mais contenant des éléments figurés.

Chez les *Mollusques*, le sang est mis en mouvement par un cœur dorsal, *artériel*, qui reçoit directement le sang des organes respiratoires (branchies, poumon). Les pulsations du ventricule cardiaque lancent ce sang, par un système fort riche d'artères, dans tous les organes du corps : le sang se répand dans des espaces lacunaires, ainsi que dans la cavité générale du corps. Il est repris par des veines, qui le conduisent à l'organe respiratoire. Chez les *Céphalopodes*, les artéries sont reliées dans beaucoup d'organes aux ramifications ultimes des veines, par un réseau capillaire plus ou moins serré. Cependant certaines régions présentent des espaces lacunaires vasculaires, comme chez les autres mollusques. Il existe également chez les *Céphalopodes* des coeurs veineux pulsatiles, sur le trajet des veines afférentes des branchies.

L'existence d'un appareil aquifère distinct de l'appareil circulatoire sanguin, et celle de communications directes entre le sang et l'eau extérieure paraît fort douteuse.

Chez les *Tuniciers* le système circulatoire se compose d'un cœur à paroi contractile, et de vaisseaux clos : il n'existe de lacunes qu'autour de l'intestin. Le cœur, logé dans une cavité péricardique, est ventral et situé à l'extrémité postérieure de la cavité branchiale. De son extrémité antérieure part un gros vaisseau ventral qui longe, dans le plan médian, la paroi du sac branchial et d'où partent de nombreux petits vaisseaux qui se distribuent dans cette paroi branchiale et se réunissent dans le plan médian du corps, à la face dorsale du sac branchial, en un vaisseau dorsal qui, après s'être uni avec les vaisseaux du tube digestif et des organes sexuels, constitue un tronc volumineux qui se continue avec l'extrémité postérieure du cœur. Cette disposition anatomique rappelle celle qui se trouve réalisée chez les poissons. Les *Tuniciers* présentent une particularité physiologique qui leur est propre, c'est l'alternance de la direction du cours du sang à l'intérieur du cœur et des gros vaisseaux. Le cœur fonctionne, par exemple, comme cœur artériel pendant quelque temps, recevant comme chez les *mollusques*, le sang oxygéné qui revient de l'organe respiratoire, et envoyant dans tous les organes du corps; puis le sens du courant se renverse, et le cœur fonctionne comme cœur veineux, à l'instar de celui des poissons, poussant cette fois vers la branchie le sang veineux qui lui est amené des différents organes.

Chez les *Arthropodes* la circulation est, comme chez les *Mollusques*, en grande partie lacunaire et la cavité générale du corps ou *cælome* se trouve intercalée sur le trajet du sang. Chez un certain nombre de *Crustacés* inférieurs, la cavité du corps fournit le seul réservoir du liquide nourricier, qui baigne les organes et subit des fluctuations secon-

daires de va-et-vient, par les mouvements des organes locomoteurs, de l'intestin, etc. Une circulation proprement dite s'établit par la formation d'un cœur, toujours situé vers la face dorsale et présentant le plus souvent des fentes ou boutonnières latérales, par lesquelles entre le sang, presque toujours incolore, mais contenant des corpuscules cytoidaires de forme diverse. Il semble que la forme primitive du cœur soit métamérique, en ce sens qu'à chaque segment correspondrait une paire de fentes latérales; mais souvent l'organe se montre plus concentré, et réduit même à une seule chambre. Les artères qui partent de ce cœur se ramifient plus ou moins pour s'ouvrir finalement dans les lacunes, dont naît, chez certains types plus élevés, un système circulatoire pour les organes de la respiration. Il est rare que ce système soit relié directement au cœur par des vaisseaux distincts; les veines branchiales débouchent le plus souvent dans le système lacunaire, dont le sang retourne au cœur par des fentes latérales. Le cœur est donc artériel comme chez les Mollusques.

Chez les Crustacés supérieurs (écrevisse, homard, etc.), l'appareil circulatoire est fort développé: vaisseaux efférents des branchies amenant le sang artérialisé dans le sinus péricardique, ventricule lançant ce sang par plusieurs artères dans les différentes parties du corps, où il finit par se répandre dans la cavité générale; retour du sang veineux aux branchies par de véritables vaisseaux afférents.

Chez les Insectes, tout l'appareil circulatoire se borne à un cœur ou vaisseau dorsal longitudinal exécutant ses pulsations d'avant en arrière. Les pulsations sont très appartenantes chez le ver à soie (larve).

Chez les Vertébrés, l'appareil circulatoire est en général clos et composé sur tout son trajet de vaisseaux (artères, capillaires, veines) à parois propres, charriant le sang proprement dit (coloré en rouge par les globules, chez la plupart des vertébrés). Mais la partie liquide, incolore, du sang, qui a transsudé à travers la paroi des capillaires (lymph), et qui s'est répandue dans les interstices des tissus, ou dans les cavités séreuses, est reprise dans un système de canaux spéciaux, les capillaires lymphatiques. Ces capillaires se réunissent en troncs de plus en plus volumineux, qui déversent la lymphe dans le système veineux, et ramènent ainsi dans le torrent de la circulation sanguine, le liquide qui s'en était momentanément séparé (*circulation lymphatique*, annexe de la *circulation sanguine*).

Chez les Poissons, le cœur reçoit le sang veineux du corps dans une oreillette unique et le pousse par l'intermédiaire d'un ventricule, d'un bulbe artériel et d'artères disposées symétriquement en forme d'arcs, à droite et à gauche, dans les branchies. Le sang y traverse un réseau de capillaires, s'y artérialise, et retourne par les vaisseaux branchiaux efférents, dans une aorte dorsale qui le distribue aux différents organes du corps. En traversant les réseaux capillaires de la circulation générale, le sang redevient veineux.

Chez les larves de Batraciens, la disposition de l'appareil circulatoire rappelle celle des Poissons. Chez les Batraciens adultes, l'apparition de la respiration pulmonaire entraîne des modifications profondes dans l'appareil circulatoire: transformation des vaisseaux branchiaux en arcs aortiques, atrophie d'une partie de ces arcs, formation d'artères pulmonaires, de veines pulmonaires. L'oreillette se cloisonne et se subdivise en oreillette droite et oreillette gauche. L'oreillette droite reçoit le sang veineux du corps, l'oreille gauche le sang artériel qui revient du poumon. Ces deux sangs se mélangent incomplètement dans le ventricule unique. Du ventricule, ce mélange est lancé par le bulbe artériel à la fois dans le poumon par l'artère pulmonaire, et par l'aorte dans tous les organes.

Chez les Reptiles, le ventricule tend à se cloisonner de manière à empêcher de plus en plus le mélange du sang veineux amené à l'oreillette droite, et destiné à l'artère pulmonaire avec le sang artériel amené du poumon à l'oreillette gauche, et destiné à l'aorte. Chez les Crocodiliens, la séparation du sang artériel et du sang veineux est complète, au moins à l'intérieur du cœur. Au lieu du cœur veineux simple, comprenant une oreillette et un ventricule, que nous avons rencontré chez les Poissons et les larves des Batraciens, nous avons un cœur double, à moitié droite veineuse formée d'une oreillette et d'un ventricule, à moitié gauche artérielle, ayant également oreillette et ventricule.

La même disposition se rencontre chez les Oiseaux et chez les Mammifères.

§ III. Conditions mécaniques générales de la circulation et procédés employés pour les réaliser artificiellement. — La figure suivante, empruntée à mes Éléments

de physiologie (3^e éd., 112, 1893), résume d'une façon graphique les particularités générales les plus intéressantes de la circulation dans les artères, les capillaires et les veines.

La quantité moyenne de sang qui passe dans un temps donné est évidemment la même pour chacune des surfaces de section successives de l'appareil circulatoire. Le débit moyen est donc le même pour le ventricule gauche, pour l'aorte, pour l'ensemble des artères, pour l'ensemble des capillaires ou des veines ou pour les deux veines caves, pour le ventricule droit, etc. Ce débit constant est représenté, au niveau de chacune des surfaces de section de l'appareil circulatoire, par le produit de la vitesse locale par la section : $V \times S$. Comme $V \times S =$ une quantité constante C, il en résulte que les vitesses locales sont partout en raison inverse des aires transversales de l'appareil circulatoire.

$$V \times S = V' \times S' \text{ d'où } \frac{V}{S} = \frac{V'}{S'} \text{ ou encore } V = \frac{VS'}{S}$$

Artères. — Aire ou surface de section totale restreinte, allant en augmentant depuis le cœur et l'aorte jusqu'aux capillaires (cône artériel). Pression et vitesse du sang consi-

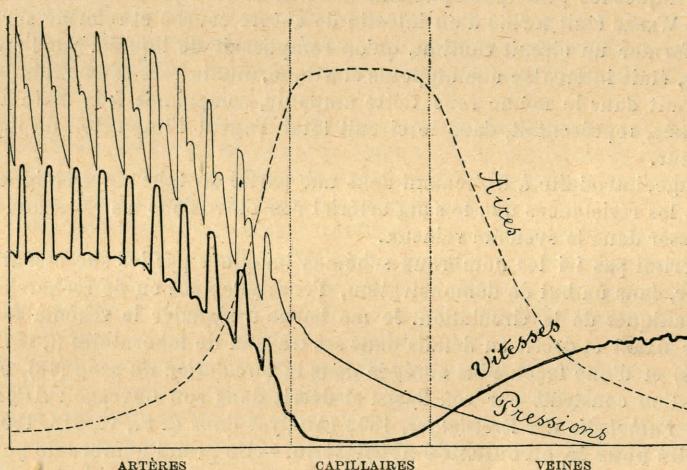


FIG. 125. — Schéma représentant les variations de pression et de vitesse du sang, ainsi que les aires des différentes parties de l'appareil circulatoire.

On n'a pas représenté les variations respiratoires de pression dans les artères et dans les veines.
(En partie d'après GAD.)

dérables, présentant dans l'aorte une valeur moyenne typique et constante. Oscillations cardiaques de la pression (pouls artériel) très marquées, provoquant des variations pulsitaires de volume des organes. (Voir *Pléthysmographe*).

KRONECKER et HAMEL (*Die Bedeutung des Pulses für den Blutstrom. Z. B. [N. F.]*, VII, 474, 1889) admettent que les oscillations de pression, présentées par la circulation artérielle, exercent une espèce de massage sur les vaisseaux et sont plus favorables que l'action d'une pression continue, pour conserver intacte l'élasticité des tubes artériels. Ils ont constaté chez la grenouille, qu'un liquide injecté par l'aorte abdominale, éprouve beaucoup plus de résistance à traverser le réseau vasculaire des capillaires, lorsqu'il est injecté sous pression continue et constante, que lorsque la pression s'exerce seulement à intervalles rythmiques, imitant par conséquent l'action naturelle des pulsations du cœur.

Capillaires. — Aire totale considérable. Vitesse faible, uniforme. Pression médiocre, sans oscillations cardiaques.

Veines. — Aire totale au moins triple de celle des artères correspondantes, allant en se rétrécissant de la périphérie vers le cœur (cône veineux à sommet cardiaque). Vitesse moyenne trois fois plus faible en moyenne que dans les artères correspondantes, allant en augmentant à mesure qu'on se rapproche du cœur. Vitesses et pressions locales extrêmement variables : la multiplicité des causes de propulsion dans les veines, leur énergie, faible en général, et variant d'un instant à l'autre, ont pour effet d'imprimer à la circulation du sang dans les veines un caractère d'irrégularité et de langueur, qui contraste

CIRCULATION.

nettement avec les conditions énergiques et typiques de la circulation artérielle. J. RANKE estime que le quart de la masse du sang se trouve dans les muscles, un quart dans le foie, un autre quart dans le cœur et les gros vaisseaux, et le reste dans les autres organes du corps. Quant à l'importance de l'irrigation sanguine des différents organes, tant à l'état de repos qu'à l'état d'activité, voir les articles *Cerveau*, *Poumon*, *Foie*, *Rein*, etc., de ce Dictionnaire.

Si l'on suppose le cœur arrêté par une ligature ou par excitation du vague, le sang continuera à s'écouler des artères à travers les capillaires dans les veines, jusqu'à ce que la pression soit la même dans les différentes parties de l'appareil circulatoire. On peut alors mesurer la pression moyenne du sang dans l'appareil circulatoire considéré comme tout. Cette pression serait de 10 à 15 millimètres de mercure, d'après BRUNNER (1855).

Schéma de la circulation. — E. H. WEBER (*Arch. f. Anat. u. Physiol.*, 1851, 497). Voir aussi *H. H.*, 1, 1, 222) eut le premier l'idée de reproduire dans un système de conduits élastiques les principaux phénomènes mécaniques de la circulation. Le schéma classique de WEBER était formé d'un intestin de chèvre courbé et refermé sur lui-même, de façon à former un circuit continu, qu'on remplissait de liquide. Sur l'un des points de ce circuit, était intercalée une ampoule élastique, munie à ses extrémités de deux souches papées s'ouvrant dans le même sens. Cette ampoule, comprimée à la main à des intervalles rythmés, représentait, dans le circuit total, l'agent d'impulsion du liquide, c'est-à-dire du cœur.

Une éponge, introduite à frottement dans une partie du tube assez éloignée du cœur, représentait les résistances que le sang artériel rencontre dans les vaisseaux capillaires, avant de passer dans le système veineux.

Je ne décrirai pas ici les nombreux schémas imaginés par les successeurs de WEBER pour réaliser, dans un but de démonstration, d'enseignement ou de recherches, les conditions mécaniques de la circulation. Je me borne à signaler le schéma fort complet, imaginé par MAREY et décrit en détails dans ses travaux de laboratoire (I, 1873, 63, et IV, 1878-79, 234) et d'une façon plus abrégée dans la *Circulation du sang* (18), et le modèle de la circulation construit par VON BASCH et décrit dans son ouvrage : *Allgemeine Physiologie und Pathologie des Kreislaufes*, 1892 (Analysé dans C. P., VI, 618, 1892).

Appareils pour la circulation artificielle. — Un grand nombre de physiologistes ont eu l'idée d'étudier le fonctionnement des organes isolés, soumis à une circulation artificielle de sang défibriné. Cette méthode a été principalement utilisée au laboratoire de Leipzig, sous la direction de LUDWIG, à partir de 1868 (*Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig*, 1868, 113; 1869, 1, etc.) et poussée à un haut degré de perfection. Elle servit aux recherches de SCHMIEDEBERG, BUNGE, SCHRÖDER, HOFFMANN et d'autres (A. A. P., VI, 233; VII, 239; XIV, 300; XV, 364, etc.) sur les échanges nutritifs dont les organes isolés sont le siège.

La méthode consiste à injecter sous pression (flacon de MARIOTTE), le sang défibriné, convenablement oxygéné et chauffé à la température du corps : le sang qui s'écoule de la veine peut servir de nouveau, si l'on a soin de l'agiter à l'air, de manière à lui enlever CO₂ et à lui restituer O₂ consommé par l'organe. HÉGER appliqua la méthode à l'étude des conditions mécaniques de la circulation dans le foie et dans le poumon (*Exp. sur la circul. du sang dans les organes isolés*, Brux., 1872); FREY et GRUBER (*Ein Respirationsapparat für isolirte Organe*, A. P., 1883, 518) perfectionnèrent l'appareil de Leipzig en y adjointant un « poumon artificiel » dans lequel l'artérialisation du sang veineux se faisait automatiquement. Ce poumon artificiel est constitué par un grand cylindre de verre, à la surface duquel suinte le sang veineux en couche mince, ce qui lui permet de se charger d'oxygène et de se débarrasser de CO₂. L'appareil est clos de toutes parts et la même quantité limitée de sang peut passer un grand nombre de fois à travers l'organe, ce qui permet d'étudier quantitativement les échanges nutritifs de l'organe, notamment sa consommation d'oxygène et sa production de CO₂. Le moteur de la circulation artificielle est ici une petite seringue munie de valves, et dont le piston est animé d'un mouvement alternatif de va-et-vient. Nous renvoyons au mémoire original et à la planche qui l'accompagne, pour les détails de construction de l'appareil.

Cet appareil a été complété et amélioré par JACOBI : *Apparat z. Durchblutung isolirter*

überlebender Organe (A. P. P., xxvi, 388, 1890) et *Ein Beitrag zur Technik der künstlichen Durchblutung überlebender Organe* (A. P. P., xxxvi, 330, 1895).

JACOBI a remplacé le poumon artificiel de v. FREY et GRUBER par un poumon véritable, intercalé sur le trajet du sang. Il ne serait pas possible de décrire ici sans une figure l'appareil assez compliqué dont JACOBI s'est servi.

Parmi les nombreux appareils imaginés pour étudier la circulation dans tel ou tel organe isolé, nous nous bornerons à mentionner :

Le manomètre pour le cœur de la grenouille, imaginé par LUDWIG et perfectionné par KRONECKER (Voir *H. H.*, iv, (4), 359, 1880, et KRONECKER. *Beitz. z. Anat. für C. Ludwig*, 1874, 173) et l'appareil de LANGENDORFF (*Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen*, A. g. P., lxI, 291, 1895), destiné à entretenir la circulation dans les artères coronaires du cœur des mammifères entièrement isolé.

Les procédés de circulation artificielle dont nous venons de parler s'adressent à des organes isolés, ce qui présente des avantages à certains points de vue, mais ce qui, à d'autres, prête à objection. A différentes reprises, les physiologistes ont eu recours à des circulations artificielles pratiquées sur des organes *in situ*. C'est ainsi que BROWN-SÉQUARD a vu les muscles de l'arrière-train du chien, que la rigidité cadavérique commençait à envahir, redevenir souples et recouvrir leur contractilité sous l'influence d'une injection de sang défibriné.

C'est ainsi que BIENFAIT et HOGGE (*Recherches sur le rythme respiratoire. A. Biologie*, x, 139 et *Travaux labor. de Léon Fredericq*, iii, 1889, 13) ont étudié dans mon laboratoire les effets de l'injection de sang défibriné riche en CO₂, ou pauvre en oxygène, par la carotide du chien, sur l'activité des centres respiratoires.

On peut aussi pratiquer la circulation artificielle en utilisant la transfusion directe de sang d'animal à animal. Dans ce cas, c'est du sang entier non défibriné que l'on fait passer au transfusé. Une variante de ce procédé consiste dans ce que j'ai appelé la *circulation céphalique croisée*, c'est-à-dire l'échange de sang carotidien entre deux animaux. (Voir *Travaux du labor.*, iii, 1, 1889-90 et *A. Biologie*, x, 427.)

Je prends deux chiens ou deux très grands lapins A et B, auxquels je lie au préalable les vertébrales, et sur lesquels je prépare les carotides. J'introduis des canules dans ces vaisseaux, de manière qu'il y ait échange de sang carotidien, ou circulation céphalique croisée entre les deux animaux. Les carotides du lapin A envoient leur sang dans la tête du lapin B; pareillement, la tête du lapin A ne reçoit que du sang provenant du corps de B. Les animaux ainsi préparés peuvent servir à faire une expérience fort intéressante sur la production de la dyspnée. Si je fais respirer au lapin A un mélange gazeux pauvre en oxygène, ou si je lui ferme la trachée, c'est le lapin B, celui dont la tête reçoit le sang asphyxique de A, qui montrera de la dyspnée, ou des convulsions asphyxiques, tandis que le lapin A présentera plutôt une tendance à l'apnée. Cette expérience montre donc qu'il y a une relation étroite entre la composition du sang qui circule dans la tête et l'activité des mouvements respiratoires.

Signalons les oscillations pulsatiles présentées par le corps tout entier sous l'influence de l'ébranlement qui lui imprime la pulsation cardiaque. GORDON (*On certain movements of the human body produced by the circulation of the blood. Journ. of Anat. a. Physiol.*, xi, 533, Remarques de TROTTER, *ibid.*, xi, 753, 1877) les étudiait en plaçant le sujet sur le plateau d'une balance à ressort et enregistrait les oscillations de ce plateau.

LANDOIS (*Lehrb. d. Physiologie*, 2^e éd., 1881, 160) s'est servi dans le même but d'un petit plancher supporté par des liens élastiques. Le sujet se place debout sur ce plancher. A chaque pulsation le sujet imprime trois ou quatre oscillations à la planche qui le supporte. Nous renvoyons aux originaux pour l'interprétation fort obscure de ces oscillations.

S IV. Effets de la suppression de la circulation collatérale. — Les effets fonctionnels de la suppression de la circulation ont été étudiés à l'article Anémie. Je puis me borner à signaler ce fait, que les organes dont on a lié les vaisseaux nourriciers, présentent une paralysie vasculaire, qui explique la congestion à première vue paradoxale, qui est en général la conséquence de la ligature des artères. Lorsqu'il s'agit de réseaux vasculaires terminaux, sans anastomoses avec les réseaux voisins (rein, rate, etc.), la ligature des artères nourricières arrête définitive-

ment les échanges nutritifs du territoire exclu de la circulation, et amène en peu de temps la nécrose des tissus. Cette nécrose ne s'observe qu'exceptionnellement, à la suite de ligatures d'artères se rendant à des organes, dont le réseau vasculaire communique par des anastomoses plus ou moins larges, avec les réseaux voisins. On voit alors les anastomoses s'élargir, et la circulation dite collatérale suppléer plus ou moins à la suppression de la circulation directe. Au bout de quelques jours, cette suppléance est complète, grâce à l'élargissement progressif de ces voies collatérales. Cependant la ligature de l'artère crurale chez l'homme a fréquemment amené la nécrose du membre inférieur; et pour l'intestin, cette nécrose est de règle après oblitération des vaisseaux artériels (LITTEN. *Ueber die Folgen des Verschlusses der Arteria mesaraica superior.* A. A. P., LXIII, MADELUNG, *Arch. f. klin. Chirurgie*, xxvii, etc., cités par BIER. A. A. P., vol. 147, 444, 1897).

Je me bornerai à l'étude de l'établissement de la circulation collatérale, question des plus intéressantes au point de vue physiologique, et qui cependant n'a été traitée ni dans le *Handbuch* de HERMANN, ni dans les grands ouvrages sur la circulation de MAREY, TIGERSTEDT, etc.

Il existe deux théories principales sur la genèse de la circulation collatérale après ligature d'artère.

La première, mise en avant par A. W. VOLKMANN et LIEBERMEISTER, et soutenue par O. WEBER (dans v. PITTA U. BILLROTH. *Handbuch der Chirurgie* I, Erlangen, 1863), MAREY, TALMA, v. RECKLINGHAUSEN, etc., admet que la circulation collatérale s'établit sous l'influence de facteurs purement mécaniques : l'augmentation de pression provoquée localement en amont de l'artère oblitérée, et la diminution de pression qui règne dans le territoire anémique, situé en aval de l'oblitération. D'après cette théorie, « il ne faut pas chercher en dehors des causes physiques l'influence qui rétablit le cours du sang à travers les voies collatérales. Ces voies se dilatent graduellement, parce que la pression du sang à l'intérieur devient plus forte, et cette augmentation de la pression sanguine est un effet direct de l'oblitération de l'artère » (MAREY).

TALMA (*Ueber collaterale Circulation.* A. g. P., xxiii, 231, 1880) a étudié chez le chien les effets de la ligature de l'artère crurale.

Il constate, au moyen de son tonomètre, une augmentation locale de la pression en amont de l'artère liée. Cette augmentation de pression, quoique manifeste, n'augmente pas d'embrée le diamètre des troncs artériels qui se détachent au-dessus de l'endroit lié, à cause du peu d'extensibilité des parois artérielles, mais provoque immédiatement une dilatation purement mécanique des capillaires des réseaux alimentés par ces collatérales. Des capillaires, la dilatation gagne peu à peu les artéries les plus fines, puis les artères moyennes, et enfin les troncs qui se détachent au-dessus du point lié. Cette dilatation est due à l'action persistante de l'augmentation de la pression sanguine.

TALMA admet (p. 274) que la régénération de la circulation après ligature d'artère, s'effectue donc par des influences purement mécaniques, et qu'il n'y a pas lieu de faire intervenir une dilatation vaso-motrice des vaisseaux du territoire anémique. Cette dernière conclusion est basée sur les expériences suivantes.

Après ligature d'une artère crurale chez le chien, la température fort basse de la patte (au niveau de la jambe) correspondante, se relève légèrement (par dilatation vasculaire) lorsqu'on sectionne le sciatique du même côté, et qu'on l'irrite mécaniquement par des sections répétées au moyen de ciseaux tranchants. Si les vaso-dilatateurs jouaient un rôle dans la production de l'hyperémie collatérale, dit TALMA, on devrait s'attendre à trouver dans cette expérience les vaisseaux dilatés déjà au maximum, et l'on n'aurait pas dû obtenir de vaso-dilatation par la section du sciatique.

De même la destruction mécanique de la moelle lombaire (la section de la moelle dorsale ayant été pratiquée quelques jours auparavant) provoque une augmentation de la température de la jambe encore plus marquée alors que l'artère crurale venait d'être liée.

S. R. HERMANIDES (*Das Tonometer Talma's und seine erste Frucht. Die Genese der collateralen Circulation,* A. P. P., LXXXIV, 496, 1881) a vivement critiqué les procédés d'investigation employés par TALMA. HERMANIDES nie l'augmentation de pression locale admise par TALMA en amont de l'artère ligaturée; il attribue l'accélération de la circulation col-

latérale à la diminution de pression locale qui règne dans le territoire vasculaire primivement irrigué par l'artère liée. Il admet que les ganglions contenus dans l'épaisseur de la paroi jouent un rôle actif dans l'établissement de la circulation collatérale, mais sans préciser ce rôle, et sans fournir les preuves de cette assertion.

CORIN (*Sur la circulation du sang dans le cercle artériel de WILLIS. Bull. Acad. Belg. 1887, et Trav. du lab., Liège, II, 185, 1887-88*) mesure la pression dans le cercle artériel de WILLIS, au moyen d'un manomètre fixé dans le bout périphérique d'une carotide. Il constate que l'oblitération de l'autre carotide et des deux vertébrales ne produit qu'une baisse momentanée dans le cercle artériel. La pression remonte bientôt par suite de la dilatation des voies collatérales, dilatation dépendant, d'après CORIN, de l'augmentation de la pression artérielle générale, augmentation de pression constatée par le tracé du manomètre fixé dans le bout cardiaque de la carotide.

v. RECKLINGHAUSEN (*Handbuch der allgem. Pathologie des Kreislaufs, in : Deutsche Chirurgie, Stuttgart, 1883*) insista sur l'appel de sang exercé par le territoire anémisé.

NOTHNAGEL (*Ueber Anpassungen und Ausgleichungen bei pathologischen Zuständen. Zeits. f. klin. Med., XV, 43, 1888*) fait également jouer dans la genèse de la circulation collatérale le rôle le plus important à la diminution de pression qui règne en aval de l'endroit lié. Cette diminution de pression dans le district anémisé provoque, dans les collatérales qui s'y rendent, une augmentation de vitesse du courant sanguin, ce qui amène l'élargissement et l'hypertrophie des rameaux vasculaires qui constituent des anastomoses directes entre les territoires vasculaires situés en amont et en aval de la ligature. Les expériences de NOTHNAGEL ont été faites sur la crurale du lapin. (Voir les figures du travail de NOTHNAGEL, ainsi que les planches de l'Atlas de PORTA. *Delle alter. pat. delle arterie per la legatura e la torsione*. Milano, 1845.)

La seconde théorie, qui attribue aux nerfs vaso-moteurs, ou tout au moins à des influences vitales, un rôle actif dans la dilatation des voies collatérales, après occlusion d'une artère, a été soutenue par SAMUEL (1869), BROWN-SÉQUARD (1870), LATSCHENBERGER et DEAHNA (1876), ZUNTZ (1878), HERMANIDES (voir plus haut), COHNHEIM (*Vorles. üb. allg. Pathol.*, Berlin, 1882), STEFANI (1886), HÜRTHLE (1889), CAVAZZANI (1891), et d'autres.

BROWN-SÉQUARD (*Des congestions consécutives aux ligatures d'artères. A. de P., III, 518, 1870*). Voir aussi MOREAU, B. B., 233, 234, 1868) émit l'opinion « que la ligature d'une artère paralyse les nerfs qui l'accompagnent et produit conséquemment la paralysie des ramifications de ce vaisseau, d'où il suit que le sang des vaisseaux collatéraux, trouvant une voie largement ouverte dans les parties où se distribue l'artère liée, y afflue et y produit quelquefois de la congestion et une élévation de la température ».

SAMUEL (*Der Einfluss der Nerven auf Vollendung des Collateralkreislaufs. Centralbl. f. d. med. Wiss., 1869, n° 25*) a constaté que les tissus anémisés par ligature d'artère ne présentent pas l'inflammation aiguë classique, aux lieux d'application d'une goutte d'huile de croton. Il a utilisé cette propriété pour déterminer le moment du rétablissement de la circulation collatérale. Après ligature d'une carotide, la circulation dans l'oreille du lapin se rétablit au bout de trente-six à quarante heures, même plus tôt (vingt-quatre à trente heures), si le sympathique est en même temps coupé. La section des nerfs sensibles, au contraire, retarde de deux jours environ l'apparition de la réaction inflammatoire, indice du rétablissement du cours du sang. La circulation collatérale met six jours à se rétablir, après ligature de l'artère auriculaire à la base de l'oreille, et plus de quinze jours, après section des nerfs grand et petit auriculaire et de l'auriculo-temporal. Mais, si l'on coupe en même temps le sympathique, le rétablissement de la circulation est denouveau hâté.

LATSCHENBERGER et DEAHNA (*Beitr. z. Lehre von der reflectorischen Erregung der Gefäß-muskeln. A. g. P., XII, 157, 1876*) ont constaté que la ligature d'une artère crurale provoque une élévation de la pression générale. Si l'on produit ensuite la désobstruction, on observe une chute de pression plus forte qu'après section du sciatique. L'élévation et la chute de pression ne se montrent plus après section des nerfs sciatique et crural : il s'agit donc d'une action nerveuse réflexe exercée sur les centres vaso-moteurs par des filets centripètes presseurs et dépresseurs provenant des vaisseaux. Les auteurs admettent que toute diminution de pression (ligature d'artère) se produisant dans un territoire vasculaire limité, provoque une excitation réflexe des nerfs centripètes presseurs généraux, et une excitation réflexe des nerfs centrifuges vaso-dilatateurs locaux.

ZUNTZ (*Beitr. z. Kenntniss der Einwirkungen der Athmung auf den Kreislauf. A. g. P.*, xvii, 374, 1878) croit que l'excitation des nerfs centripètes presseurs est plutôt de nature chimique que mécanique. Elle serait due à l'asphyxie locale provenant de la stagnation du sang et s'observerait aussi bien après ligature des veines (oblitération de la veine cave) qu'après ligature des artères.

ZUNTZ admet que la dyspnée locale provoque une vaso-dilatation vasculaire locale, accompagnée d'une vaso-constriction générale réflexe.

STEFANI (*Della influenza del sistema nervoso sulla circolazione collaterale. Sperimentale*, 1886, sept., Anal. dans *J. P.*) lie l'artère axillaire chez différents animaux et compare les effets de la ligature simple avec celle de la ligature vasculaire, combinée avec la section des nerfs de l'extrémité supérieure.

Les résultats ne furent pas probants chez le lapin. Chez le pigeon la conservation des nerfs parut favoriser le rétablissement de la circulation. Chez la salamandre, elle est indispensable. Il en fut de même pour la plupart des expériences pratiquées chez la grenouille. Dans d'autres cas, la circulation collatérale put s'établir malgré la section des nerfs.

E. CAVAZZANI (*Sur la genèse de la circulation collatérale, ses rapports avec l'influence nerveuse, particulièrement dans l'hexagone de WILLIS. A. i. B.*, xvi, 1, 1891) a démontré également l'influence directe du système nerveux dans la dilatation des voies collatérales après la ligature des carotides. Il mesure la pression de l'hexagone de WILLIS, au moyen d'un manomètre fixé dans le bout périphérique d'une carotide, et observe les modifications qui se produisent sous l'influence de l'occlusion de l'autre carotide, avec ou sans section préalable du grand sympathique. Immédiatement après l'occlusion, la pression baisse notablement dans l'hexagone de WILLIS, mais elle ne tarde pas à se relever, par suite de la dilatation des autres vaisseaux (artères vertébrales) qui alimentent le territoire anémique. Cette dilatation est d'origine nerveuse, puisqu'on ne l'observe plus après la section du grand sympathique cervical. CAVAZZANI admet que cette dilatation est déterminée par voie réflexe et que l'excitation périphérique qui en est le point de départ est très probablement représentée par l'anémie vasculaire.

K. HÜRTHLE (*Unters. über die Innervation der Hirngefäße. A. g. P.*, xliv, 560, 1889) avait également montré que l'augmentation de la pression générale aortique, qui se montre après la compression des carotides ou après l'excitation du bout céphalique du grand sympathique cervical, ne se montre plus, ou est insignifiante, après la section de la moelle épinière cervicale. Cette hausse de pression semble donc due à une constriction vasculaire réalisée dans d'autres territoires vasculaires et due probablement à une excitation anémique des centres vaso-moteurs. Si l'on relâche la carotide comprimée, la pression dans le cercle artériel ne remonte généralement pas à son niveau primitif : il y a donc là dilatation locale du territoire anémique.

GILTAY (*Sur l'occlusion des artères nourricières de la tête chez le lapin. Archives de Biologie*, xiv, 395. *Trav. lab. de Liège*, v, 113, 1895-96. Voir aussi LÉON FREDERICQ. *C. P.*, viii, 623, 1894) a étudié chez le lapin la dilatation des voies collatérales qui s'établit après l'occlusion des carotides et des vertébrales. On sait depuis KUSSMAUL et TENNER (*Moleschott's Unters.*, 1857) que cette occlusion, si elle est faite brusquement et définitivement, amène en général la mort du lapin en un petit nombre de minutes. GILTAY a constaté qu'une occlusion temporaire (durée de quelques secondes) des carotides (les vertébrales ayant été liées au préalable) provoque, après désocclusion des carotides, au bout de deux ou trois minutes, une dilatation des voies collatérales (artéries provenant des sous-clavières) suffisante pour nourrir les centres nerveux et leur permettre à présent de supporter l'occlusion définitive des carotides, opération qui, pratiquée d'emblée, aurait été mortelle. Une occlusion temporaire procure donc à l'animal une immunité complète contre une occlusion définitive survenant trois minutes plus tard, et cela par une action vaso-motrice agissant sur les voies collatérales émanées des sous-clavières. L'expérience de KUSSMAUL-TENNER de l'occlusion définitive des quatre artères nourricières de la tête n'est donc mortelle chez le lapin, que parce que la dilatation des voies collatérales se produit avec un retard trop grand, pour que l'animal puisse encore être sauvé.

Enfin citons un travail tout récent de A. BIER (*Die Entstehung des Collateralalkreislaufs. I. Der arterielle Collateralalkreislauf. A. A. P.*, cxlvii, 256, 44, 1897). L'auteur insiste

vivement sur l'énorme hyperémie artérielle que montrent les extrémités (bras ou jambes), quand on les a anémisées temporairement par la bande d'ESMARCH, et qu'on enlève le lien de manière à laisser de nouveau libre accès au sang (Voir une expérience analogue dans MAREY. *Trav. labor.*, II, et *La circulation du sang*, Paris, 1881). Il démontre, par une série d'expériences, que l'hyperémie consécutive à l'anémie est indépendante du système nerveux central, et dépend d'un état particulier, provoqué localement par l'anémie. Voici l'une de ses expériences (Exp. 41) : On ampute complètement sur un porc une des pattes antérieures, en respectant seulement l'artère et la veine axillaire. On arrête la circulation artérielle, au moyen d'une pince à pression pendant cinq minutes. Puis on rétablit le cours du sang en levant la pince : la congestion qui se produit dans ce cas est tout à fait comparable à celle qui se montre après une application de la bande d'ESMARCH.

Il y a un véritable appel de sang dans tout territoire anémisé, comme si le territoire anémisé éprouvait le besoin de l'irrigation sanguine. Cette attraction ne s'exerce d'après l'auteur que vis-à-vis du sang artériel. Si l'on provoque un commencement d'asphyxie, de manière à rendre le sang veineux, la congestion consécutive à l'anémie ne se montre plus. Cet appel de sang serait le facteur principal de l'établissement de la circulation collatérale. Mais certains organes, notamment l'intestin, n'éprouveraient pas cette sensibilité spéciale vis-à-vis de la privation du sang. Un intestin (vide) anémisé par compression temporaire de ses artères ne se congestionne pas au moment où on fait cesser la compression.

Cette insensibilité de l'intestin vide vis-à-vis de l'excitant due à l'anémie est sans doute en rapport avec ce fait signalé par les chirurgiens, que la circulation collatérale ne s'établit pas après oblitération des artères de l'intestin et que l'arrêt de la circulation y conduit fatallement à la nécrose. D'autres organes, rein, rate, etc., sont peut-être dans le même cas que l'intestin.

En résumé, les auteurs assez nombreux qui se sont occupés de la genèse de la circulation collatérale sont arrivés à des résultats peu concordants. Le sujet appelle de nouvelles recherches.

Cependant, je crois pouvoir formuler les conclusions générales suivantes. Des deux facteurs mécaniques qui ont été invoqués pour expliquer l'appel de sang vers le réseau vasculaire momentanément anémisé par ligature de son artère nourricière, l'augmentation de pression en amont de l'oblitération artérielle et la diminution de pression en aval, le second seul me paraît devoir être pris en considération sérieuse. Seule cette diminution de pression est spéciale au territoire anémisé. L'augmentation de pression en amont ne peut être limitée au voisinage de la ligature : elle s'étend à tout le système artériel : de plus elle ne peut être que temporaire.

Il me paraît probable aussi que les facteurs purement mécaniques ne sont pas seuls en jeu, que l'augmentation de pression générale est en partie d'origine nerveuse, et due à une action réflexe générale vaso-constrictive, ayant pour point de départ l'excitation de nerfs centripètes presseurs provenant du territoire anémisé (expériences de LATSCHEŃ-BERGER et DEAHNA et de ZUNTZ).

La vaso-dilatation locale, spéciale au territoire anémisé, est également liée au fonctionnement des éléments vivants de la paroi vasculaire : paralysie par altération de la nutrition locale (expériences de BIER) et par action vaso-dilatatrice locale réflexe (réflexe dépresseur local, expériences de LATSCHEŃ-BERGER et DEAHNA et de ZUNTZ).

§ V. Influence de la pesanteur sur la circulation. — **Influence de la pesanteur sur la position du cœur.** — Le cœur jouit d'une certaine mobilité dans la cavité du péritoine. L'extrémité ventriculaire se déplace sous l'influence de la pesanteur, suivant que le sujet incline le corps en avant (position favorable pour l'inscription du choc du cœur), ou en arrière (position défavorable), à droite ou à gauche (position recommandée pour obtenir chez l'homme de bons tracés du ventricule gauche). Voir MAREY. *Circulation du sang*, Paris, 1881, 436).

J'ai constaté que, chez le chien, on obtenait des tracés cardiographiques typiques du ventricule droit, en inclinant l'animal sur le côté droit, tandis que les tracés obtenus à gauche sont le plus souvent atypiques (*Comparaison du tracé du choc du cœur avec celui de la pression intra-ventriculaire*. *Trav. labor.*, v, 83, aussi *Arch. Biol.*, XIV, 139).

Influence de la pesanteur sur la circulation dans les artères et dans les veines. — (Voir MAREY, *Circ. sang.* et PASCHUTIN. *Die Bewegungen der Flüssigkeiten in Röhren die ihre Lage ändern.* Med. Centralblatt, 1879. — Voir aussi les articles *Pression artérielle*, *Veines*, de ce Dictionnaire.)

Les lois de l'hydraulique faisaient prévoir, et l'expérience confirme que les changements d'attitude du corps exercent une influence considérable sur la répartition du sang entre les différentes parties du corps. L'action de la pesanteur tend à retarder le cours du sang et à diminuer la pression artérielle dans les membres ou les parties du corps qui sont placées dans une attitude élevée. La circulation s'accélère au contraire et la pression, tant artérielle que veineuse, tend à monter dans les parties déclives. Le sang s'accumule dans ces mêmes parties.

Il est surtout intéressant d'étudier les changements que présentent les phénomènes de la circulation lorsque le corps tout entier change d'attitude, passe par exemple de l'attitude couchée à la station verticale, ou réciproquement.

Mosso (*Application de la balance à l'étude de la circulation du sang chez l'homme. A. i. B. v.*, 130, 1884) a montré, au moyen de sa balance, que le sang s'accumule dans les membres inférieurs de l'homme pendant la station verticale; si le sujet se met ensuite dans la position horizontale, l'excès de sang accumulé dans les membres inférieurs s'en écoule peu à peu, d'où une diminution de poids de l'arrière-train, dont l'importance peut être déterminée par la balance. La partie principale de la balance de Mosso est une caisse de bois rectangulaire, placée en guise de balance horizontalement sur un couteau d'acier. Si un homme qui se tenait d'abord debout, se couche horizontalement dans la caisse et qu'on équilibre soigneusement l'appareil de manière qu'il soit horizontal, l'équilibre atteint primitivement se trouve bientôt rompu, la balance s'inclinant vers la tête. On est obligé d'ajouter au moins 100 grammes du côté des pieds pour rétablir l'équilibre, après que l'excès de sang contenu dans les membres inférieurs s'est écoulé dans le reste du corps.

La station verticale, surtout si elle se prolonge, et si elle coïncide avec l'immobilité plus ou moins complète du sujet, exerce une action des plus défavorables sur la circulation de retour de la partie inférieure du corps, où le sang veineux est obligé de remonter vers le cœur contre l'action de la pesanteur.

Le sang, s'accumulant dans les veines des membres inférieurs, peut arriver à les distendre au delà de la limite de leur élasticité, et amener leur dilatation permanente: fréquence des varices chez les repasseuses, et autres personnes obligées par métier à rester debout dans une immobilité plus ou moins complète.

Le sang s'accumule alors dans le système veineux des membres inférieurs et de l'abdomen, au détriment du système artériel, d'où chute de la pression artérielle générale, et comme conséquence, diminution du *tonus* d'arrêt du pneumogastrique et accélération des battements du cœur.

Cette accélération du rythme cardiaque sous l'influence du passage de l'attitude couchée à la station verticale, a été notée depuis longtemps par les médecins et les physiologistes. Citons quelques chiffres à titre d'exemple. Guy (*Guy's Hospital Reports*, vol. III, 92 à 308. Cité par MAREY. *Circulation du sang*, 1881) trouve par exemple les variations suivantes: Sujet debout: 79 pulsations (minute); sujet assis: 70 pulsations; sujet couché: 67 pulsations.

D'après GRAVES, cette influence de l'attitude sur le pouls est d'autant plus grande que le sujet qu'on observe a le pouls plus fréquent au moment de l'expérience.

SCHAPIRO (*Jb. P.*, 1881, 60) a constaté sur 50 soldats que le pouls est toujours plus fréquent (Différ. maxim.: 34 pulsations; minim.: 2; moyenne: 14 pulsations de plus par minute) quand le sujet est debout que lorsqu'il est couché horizontalement. La fréquence plus grande des battements du cœur est en relation avec la diminution de pression qui se traduit par une modification de forme du tracé sphygmographique, ainsi que l'a montré MAREY. (Voir aussi FRIEDMANN, *Ueber die Aenderungen, welche der Blutdruck des Menschen in verschiedenen Körperlagen erfährt.* Wiener Med. Jahrbücher, 1882, 197.) MAREY (*Circulation du sang*, 1881, 438) a constaté les mêmes modifications du tracé sphygmographique sous l'influence des changements d'attitude du bras qui porte le sphygmographe. La pression baisse quand on élève le bras: elle s'élève dans l'artère radiale du membre qu'on

abaisse. (BINET et COURTADE, *Influence de l'attitude et de la compression sur la forme du pouls capillaire et du pouls artériel*. B. B., 14 décembre 1895, 819.)

L'influence de l'attitude sur le nombre des battements du cœur fait défaut dans certains cas de maladies du cœur (L. AZOULAY, *Les attitudes du corps comme méthode d'examen, de diagnostic et de pronostic dans les maladies du foie*. Paris, 1892, et *Influence de la position du corps sur le tracé sphygmographique*. B. B., 7 mai 1892, 395). Elle fait également défaut dans la grossesse, d'après JORISSENNE (*Ann. soc. médico-chirurg. de Liège*).

La diminution de pression artérielle dans la station verticale, son augmentation dans la position horizontale ou dans la position verticale renversée, fut constatée également chez les animaux, par un grand nombre d'expérimentateurs. Citons surtout : CYBULSKI (*Medic. Woch.*, Saint-Pétersbourg, 1878), FRIEDMAN (*Med. Jahrb. d. Ges. d. Aerzte. Wien*), L. HERMANN (expériences de BLUMBERG et E. WAGNER), et plus récemment : HILL (*The influence of the force of gravity on the circulation of the blood. Proc. R. S.*, LVII, 1894, et *J. P.*, XVIII, 15, 1895, HILL et BARNARD. *The influence of gravity on the circulation*, *J. P.*, 1896, 1).

BLUMBERG (*Ueber den Einfluss der Schwere auf Kreislauf und Athmung*. Königsberg, 1885, et *A. g. P.*, 1885, XXXVII, 467) et E. WAGNER (*Fortgesetzte Untersuchungen über den Einfluss der Schwere auf den Kreislauf. A. g. P.*, XXXIX, 371) étudièrent chez le chat, le lapin et le chien, sous la direction de HERMANN, l'influence que la position du corps exerce sur la pression sanguine.

L'animal était fixé sur une planche pouvant basculer autour d'un axe transversal horizontal correspondant au point d'*indifférence statique de la masse du sang* (point situé au niveau de la pointe du cœur, et déterminé empiriquement sur le cadavre), de manière à éliminer l'action hydrostatique immédiate sur le manomètre fixé dans la carotide.

La station verticale (tête en haut) produit une accélération du rythme respiratoire et du rythme cardiaque. Ces deux phénomènes ne se montrent plus après section des vagues. La pression artérielle baisse, tant dans la crurale que dans la carotide, que les vagues aient été coupés ou non. L'accélération des pulsations cardiaques est une conséquence de cette diminution de pression (diminution du tonus d'arrêt du pneumogastrique). La baisse de pression artérielle est due à l'accumulation du sang veineux dans l'arrière-train de l'animal.

Si l'on place l'animal verticalement, la tête en bas, il y a également légère baisse de pression artérielle, mais cet effet ne se montre plus chez l'animal curarisé. Ici la position verticale renversée a pour effet d'augmenter la pression sanguine.

E. CAVAZZANI (*La courbe cardiovolumétrique dans les changements de position. A. i. B.*, XIX, 394, 1893) a constaté directement par le procédé de la fistule péricardique de STEFANI sur des chiens curarisés, que le passage de la position horizontale à la position verticale (avec tête en haut) diminue l'afflux du sang veineux vers le cœur. Dans la position verticale, avec la tête en bas, l'afflux veineux vers le cœur est favorisé; mais la déplétion ventriculaire est générée.

Mais les recherches les plus complètes sur ce sujet ont été faites par L. HILL (*The influence of the force of gravity on the circulation of the blood. Proc. Royal Soc.*, LVII, 1894, et *J. P.*, XVIII, 15, 1895).

HILL a mesuré la pression dans la carotide, dans le pressoir d'HÉROPHILE, dans l'artère et la veine crurales, dans l'artère et la veine spléniques, chez le lapin, le chien, le chat et le singe, dans les différentes attitudes du corps, et sous différentes conditions (anesthésie, asphyxie, curare, section des vagues, section des splanchniques, section de la moelle cervicale, compression abdominale).

L'axe de rotation du corps passait toujours au niveau de la canule vasculaire, de sorte que le manomètre conservait une position invariable par rapport au vaisseau, ce qui n'était pas le cas dans les expériences de BLUMBERG et de E. WAGNER.

HILL observe, conformément aux prévisions hydrostatiques, une baisse notable de pression dans la carotide quand l'animal est placé verticalement, la tête en haut, une légère hausse de pression (après une baisse passagère due à l'inhibition du cœur) quand il est placé verticalement la tête en bas. De même, si l'on fait tourner le corps autour d'un axe passant au niveau de la crurale, la pression monte dans cette artère lors du relèvement de l'animal la tête en haut; elle baisse dans la position verticale, tête en bas.

Mais cette tendance à la hausse, due à la baisse de pression qui s'explique par des considérations purement mécaniques, est plus ou moins masquée, contrebalancée, chez les différents individus et chez les différentes espèces animales, par des facteurs physiologiques, tendant à amener une compensation plus ou moins parfaite de la pression. Il s'agit avant tout d'un resserrement compensateur ou d'une dilatation des vaisseaux abdominaux, s'exerçant par l'intermédiaire des vaso-moteurs contenus dans le tronc des splanchniques et descendant du centre vaso-moteur par la moelle cervicale.

La compensation est remarquable chez le singe. Si l'on place l'animal verticalement, la tête en haut, la pression carotidienne pourra ne subir qu'une chute insignifiante, ou même montrer une hausse de pression, par suite d'un resserrement vasculaire compensateur exagéré, dépassant la valeur normale.

La section des splanchniques, celle de la moelle, l'anesthésie profonde suppriment cette tendance à la compensation, et permettent à l'action hydrostatique de s'exercer sans correctif.

L'auteur montre également qu'une compression de l'abdomen, exercée au moyen d'un bandage approprié, peut jusqu'à un certain point remplir le même office que la constriction vaso-motrice des vaisseaux abdominaux et amener un relèvement de la pression sanguine abaissée dans la carotide par l'attitude verticale (tête en haut) de l'animal.

KLEMENSIEWICZ (*Ueber den Einfluss der Körperstellung auf das Verhalten des Blutstromes und der Gefäße. Sitzungsber. Wien. Akad.*, (3), xcvi, 69, 1887) a étudié chez la grenouille, l'influence que l'attitude du corps exerce sur les vaisseaux de la membrane inter-digital, et constaté que ces changements sont dus aux facteurs hydrostatiques combinés avec les facteurs nerveux.

La station verticale prédispose à l'anémie cérébrale, le sang artériel étant envoyé au cerveau en quantité insuffisante, et le sang veineux de la tête étant pour ainsi dire aspiré vers le cœur par son propre poids. PIORRY (*Arch. gén. de méd.*, 1826), MARSHALL HALL (*Med. chir. Trans.*, 1832), BASEDOW (*Woch. f. d. ges. Heilkunde*, Berlin, 1838) et d'autres ont insisté sur ce fait que la syncope se produit facilement chez l'homme ou chez le chien, après une saignée, lorsqu'on place le sujet dans la position verticale, la tête en haut.

De même, tous les médecins savent que le meilleur moyen de traiter la syncope consiste à coucher le patient en lui plaçant la tête dans une position déclive.

Les différentes espèces animales présentent à cet égard une susceptibilité très différente. Ainsi la position verticale du corps, qui est naturelle chez l'homme, n'est pas supportée par le lapin. Il suffit d'immobiliser un lapin dans cette position, la tête en haut, pour le tuer par anémie cérébrale au bout d'un temps relativement court, variant suivant les individus, entre quelques minutes et deux heures (REGNARD. *Rech. sur la congest. cérébr. Thèse Strasbourg*, 1868; SALATHÉ. *Trav. du labor. de MAREY*, 1876, 1877).

La diminution de volume du cerveau dans l'attitude verticale, son augmentation dans la position horizontale et surtout dans la position verticale renversée (pieds en haut, tête en bas) fut constatée chez l'homme et chez les animaux par SALATHÉ, BRISSAUD et FRANÇOIS-FRANCK (*Trav. labor. MAREY*, III, 1877), etc. (Voir aussi H. GRASHEY. *Experimentelle Beiträge zur Lehre von der Blutcirculation in der Schädel-Rückgrathöhle. Festschrift für Prof. Buchner, München*, 1892).

SALATHÉ a montré que la force centrifuge pouvait produire des effets de congestion ou d'anémie du cerveau analogues à ceux qui sont dus à la gravitation. Si l'on fixe un lapin suivant un des rayons d'un disque horizontal animé d'un mouvement rapide de rotation, la force centrifuge accumulera le sang de l'animal dans les organes situés à la périphérie du disque, au détriment de ceux qui auront été placés vers le centre du disque (*Trav. labor. MAREY*, III, 1877).

Bornons-nous à signaler les mémoires de JOACHIMSTHAL (*Ueber den Einfluss der Suspension am Kopfe auf den Kreislauf. A. P.*, 1893, 200), et de COWL et JOACHIMSTHAL (*Ueber die Einwirkung einer auf die Wirbelsäule ausgeübten Extension auf den Blutdruck. C. P.*, VIII, 1893, 769) sur l'influence que l'extension de la colonne vertébrale exerce sur la circulation. Ces travaux intéressent plus le médecin que le physiologue.

§ VI. Influence de la respiration sur la circulation. — Le rôle que joue l'aspiration produite par le vide thoracique (CARSON, *Philos. Trans.*, I, 42, 1820; DONDERS, Z.

nat. Med. N. F., III) sur la circulation de retour sera étudié aux articles **Veines et Respiration**.

Bornons-nous à rappeler ici que cette aspiration atteint sa valeur la plus élevée pendant l'inspiration, d'où accélération du cours du sang veineux pendant cette phase de la respiration : la pression baisse dans toutes les veines de la moitié supérieure du corps (tête, cou, extrémités supérieures). L'inspiration exerce une action encore plus favorable sur le cours du sang dans les veines des organes abdominaux. A l'aspiration thoracique vient s'ajouter pour ces vaisseaux la compression active qui résulte de l'abaissement du diaphragme pendant l'inspiration.

Les veines du membre inférieur paraissent seules placées dans des conditions relativement défavorables pendant la phase d'inspiration. Le cours du sang semble s'y trouver momentanément ralenti ou arrêté, par suite de l'augmentation de la pression intra-abdominale. Le sang des extrémités inférieures doit, en effet, traverser le milieu abdominal, où règne d'ordinaire une pression plus forte, avant de pénétrer dans le milieu raréfié de la poitrine.

Les variations respiratoires de la circulation de retour se traduisent par des variations périodiques dans le diamètre des vaisseaux veineux. Ces oscillations (affaissement à l'inspiration, gonflement à l'expiration) sont des plus manifestes sur les grosses veines avoisinant le thorax, notamment sur les jugulaires externes. Ces variations de volume des veines sont assez importantes pour influencer le volume des organes. La courbe phléthysmographique du cerveau, du bras ou de la main, s'abaisse pendant l'inspiration, tandis que la courbe du volume du pied ou de la jambe monterait à l'inspiration, d'après Mosso.

WERTHEIMER (*Influence de la respiration sur la circulation veineuse des membres inférieurs*. B. B., 17 nov. 1894) affirme cependant que la pression baisse dans les veines du membre inférieur lors de l'inspiration, tant que les pneumogastriques sont intacts. Après leur section, l'inspiration coïnciderait avec une élévation de la pression veineuse du membre inférieur.

Le vide thoracique atteint une valeur énorme dans l'expérience dite de MÜLLER, qui consiste à fermer la glotte après une expiration forcée, et à dilater ensuite la poitrine en faisant un effort d'inspiration poussé au maximum. La pression négative que l'on développe de cette façon dans le poumon vient s'ajouter à la valeur normale du vide pleural; elle peut être telle que les oreillettes distendues par aspiration ne versent plus leur sang dans les ventricules. Les ondées sanguines du ventricule gauche diminuent d'importance, et le pouls peut même cesser complètement. Il en résulte une anémie générale dans le système de la grande circulation, une hyperémie dans le système de la circulation pulmonaire.

La pression pleurale peut au contraire atteindre une valeur positive considérable, dans l'expérience suivante, appelée (à tort) expérience de VALSALVA. On ferme la glotte, après avoir, par une inspiration profonde, enfermé une grande quantité d'air dans la poitrine, puis on comprime cet air, par une contraction énergique de tous les muscles expirateurs. On développe de cette façon un excès de pression positive considérable dans les poumons, 250 millimètres de mercure par exemple, d'après VALENTIN (1847). La pression pleurale doit alors avoir la même valeur de + 250 millimètres, diminuée de la valeur négative correspondant à l'élasticité pulmonaire (- 10 à - 15 millim.). Dans ces conditions, le sang veineux ne peut plus pénétrer dans la poitrine, il s'accumule dans les veines de la grande circulation. Les poumons se vident de sang, le cœur bat presque à vide, et le pouls peut devenir imperceptible ou tout au moins diminuer notablement d'amplitude. Ces expériences ne sont pas sans danger.

Voir pour la bibliographie de cette question : H. H., IV, (1), 297 et suiv., 1880, et E. HIRSCHMANN. PH. KNOLL (*Ueber die Deutung der Pulskurven beim Valsalva'schen und Müller'schen Versuch.*, A. g. P., LVI, 389, LVII, 406).

Pour l'influence de la respiration sur la circulation pulmonaire, voyez **Poumon**; pour les variations respiratoires de la pression artérielle, voyez **Pouls et Pression artérielle**.

§ VII. Durée totale de la circulation. — On appelle, depuis E. HERING, *vitesse ou durée totale de la circulation*, le temps qu'une particule de sang met à parcourir complètement le double cycle de la grande et de la petite circulation. Ce sera, par exemple, le

temps qui s'écoule entre deux passages successifs d'un globule sanguin au même endroit de l'appareil vasculaire.

Pour déterminer ce temps chez le cheval, E. HERING (*Zeits. f. Physiologie*, 1829, III, 85, et 1833, v, 58; *Archiv f. physiol. Heilkunde*, 1853, XII, 112; *Rep. der Thierheilkunde*, XL, 105, 1879) injectait dans le bout central de la jugulaire une solution de ferro-cyanure de potassium (4 grammes de ferro-cyanure dissous dans 30 grammes d'eau). Aussitôt un aide recevait dans des verres qu'il changeait de cinq secondes en cinq secondes, le sang qui s'écoulait par le bout céphalique de la jugulaire de l'autre côté. On recherchait le ferro-cyanure dans le sérum de ces échantillons au moyen de perchlorure de fer (formation de bleu de Prusse). E. HERING constatait que le ferro-cyanure apparaît dans le sang du bout périphérique de la jugulaire du cheval vingt-cinq à trente secondes après que ce sel a été injecté dans le bout central du vaisseau symétrique.

VOLKMANN (*Hämodynamik*, 254) avait objecté aux expériences de HERING que l'écoulement du sang par un vaisseau ouvert pouvait avoir contribué à accélérer le cours du sang. HERING montra que cette influence est insignifiante. Le temps de la circulation reste le même, que la jugulaire soit ouverte au moment de l'injection, ou seulement vingt ou vingt-cinq secondes plus tard.

POISEUILLE (*Ann. des Scien. nat.*, (2), *Zool.*, xix, 30) répéta les expériences de HERING. Il constata que l'acétate d'ammoniaque ou le nitrate de potassium, ajoutés au sang en solution diluée, ont pour effet de raccourcir la durée de la circulation, que l'alcool allonge au contraire. Ces résultats concordaient avec les expériences de POISEUILLE sur les variations de vitesse d'écoulement de l'eau par les tubes capillaires, sous l'influence de l'addition des substances en question.

VIERORDT (*Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes*. Frankfurt a M., 1858, et *Das Abhängigkeitsgesetz der mittleren Kreislaufzeiten von der mittleren Pulsfrequenz*, etc. *Arch. f. physiol. Heilkunde*, N. F., II, 527, 1858) perfectionna le procédé de HERING. Le vaisseau qui doit fournir le sang d'épreuve est muni d'une canule par laquelle le sang s'écoule, à partir du moment de l'injection, d'une manière continue, dans une série de quatre-vingt-un petits entonnoirs carrés, fixés autour d'un disque horizontal animé d'un mouvement circulaire uniforme.

Le disque fait un tour en cinquante secondes. Il en résulte que chaque entonnoir vient se présenter pendant un temps assez court ($\frac{50}{81} = 0'',6$ environ) au tube d'écoulement. Le temps se trouve ainsi mesuré plus exactement et la méthode devient applicable à de petits animaux.

AINSER et LOHE (*Zeits. f. rat. Med.*, XXXI, 33, 1868) ont appliqué le même procédé.

HERMANN (*A. g. P.*, 1884, XXXII, 169) l'a simplifié, en recevant le sang qui s'écoule de la jugulaire, sur une feuille de papier buvard, fixée sur le cylindre horizontal de l'appareil enregistreur, animé d'un mouvement de rotation uniforme. Après l'expérience on détache la feuille, on la sèche, on la découpe en languettes dont la largeur correspond à une fraction déterminée de temps. Chaque languette est soumise à l'ébullition dans une éprouvette avec un peu d'eau. Cette décoction est essayée au perchlorure de fer. HERMANN a substitué le ferro-cyanure de sodium, au ferro-cyanure de potassium, afin d'éviter l'action toxique du sel de potassium.

Enfin E. MEYER (*Procédé spectroscopique pour l'étude de la vitesse moyenne de la circulation du sang*. B. B., 1892, 963) propose de remplacer la solution de ferro-cyanure, par une injection de sang contenant de la méthémoglobine, facile à reconnaître au spectroscope. Il intercale sur le trajet de l'autre jugulaire une canule spéciale permettant l'examen spectroscopique direct du sang circulant dans la veine. Quant au sang contenant de la méthémoglobine, il est fourni par un autre animal empoisonné par l'aniline ou la pyridine.

WOLFF (*Ueber die Umlaufsgeschwindigkeit des Blutes im Fieber*. A. P. P., xix, 265, 1885), appliquant la méthode de HERMANN, trouve que la durée de la circulation est de 5''⁵ chez le lapin. Cette durée augmente sous l'influence de la fièvre.

STEWART (*A new method of measuring the velocity of the blood*. J. P., XI, p. xv, 1890) utilise une méthode analogue pour déterminer la vitesse du courant sanguin. Il injecte une solution saline dans une veine et détermine le moment de l'arrivée de la solution

à deux endroits inégalement distants de l'appareil circulatoire, en constatant la diminution de résistance au passage du courant électrique, provoquée par l'arrivée de la solution saline.

L'auteur trouve, chez le lapin, que le trajet entre la jugulaire droite et la fémorale du même côté, prend 7'',5, entre la jugulaire et la carotide gauche, de 6 à 6'',5, entre la fémorale droite et la carotide gauche, 9'',5 à 10''.

LOEWY (*Ueber den Einfluss der verdünnten und verdichteten Luft auf Bluthkreislauf. A. P., 1894, 535*) a constaté qu'un changement notable dans la pression extérieure (entre 400 millim. et 1200 millim. Hg.) n'a pas d'influence sur la durée totale de la circulation. Cette constatation est surtout intéressante pour les diminutions de pression : elle montre que l'organisme n'emploie pas l'accélération de la circulation, comme moyen de lutter contre le déficit d'oxygène de l'air respiré provenant d'une diminution de pression.

VIERORDT a publié de nombreux résultats d'expériences qui sont cités dans tous les traités classiques de physiologie. Il trouva pour le cheval des valeurs analogues à celles de HERING : pour le chien, 16'',7; pour le lapin, 7'',46; pour la chèvre, 14'',14, etc. Il remarqua que le nombre des pulsations cardiaques exécutées chez chacun de ces animaux, pendant le temps moyen de la circulation, est à peu près le même : 26,1 chez le lapin, 26 chez la chèvre, 26,7 chez le chien et 28,8 chez le cheval.

En procédant par analogie, VIERORDT admis que chez l'homme la durée totale de la circulation correspond également à 27 (entre 26 et 28) pulsations cardiaques, c'est-à-dire à environ 23 secondes (en admettant 72 pulsations à la minute).

VIERORDT constata chez le chien que la durée de la circulation reste à peu près la même, si l'on s'adrese à la veine crurale, au lieu de la veine jugulaire.

VIERORDT avait utilisé les résultats numériques de ses expériences, pour calculer le débit du cœur et l'importance de l'irrigation sanguine chez les différents animaux. Il avait constaté que l'irrigation sanguine est d'autant plus abondante que l'animal est plus petit. Il avait trouvé qu'il passe en une minute :

Chez le lapin	592	grammes de sang par kilogramme de tissus.
— la chèvre	311	—
— le chien	272	—
— l'homme	207	—
— le cheval	152	—

Il avait trouvé aussi que le débit du cœur, rapporté au poids de l'animal, est d'autant plus considérable que l'animal est plus petit.

DÉBIT DU CŒUR par minute.	DÉBIT relatif.	POIDS du corps.	POIDS relatif.
		grammes.	kilogrammes.
Lapin	812	1	1
Chèvre	1 166	1,4	2,7
Chien	2 504	3,4	6,7
Homme	13 143	16	46
Cheval	58 800	72	277

VIERORDT étendit ses recherches à un grand nombre de mammifères et d'oiseaux, et arriva à des résultats analogues.

VIERORDT, dans ces calculs, avait tenu compte de ce fait que le temps qui s'écoule entre l'injection du ferro-cyanure, et son apparition dans le bout périphérique d'une veine symétrique, représente, non la moyenne, mais un minimum de la durée de la circulation. En effet, les particules de sang situées dans l'axe du vaisseau cheminent plus vite que celles qui frottent contre les parois. De plus, celles qui n'ont à traverser que des réseaux peu étendus, le réseau des artères coronaires par exemple, reviendront plus vite à leur point de départ que celles qui vont jusqu'aux extrémités des membres. Or c'est la première apparition du ferro-cyanure que l'expérimentateur guette dans l'expérience de VIERORDT. Il y a donc lieu de n'admettre les valeurs qu'après correction. VIERORDT admettait que le cinquième de la masse du sang était animé d'une vitesse plus faible de 2/5 que celle trouvée directement.

CIRCULATION.

Les valeurs citées précédemment sont des valeurs corrigées par VIERORDT d'après cette base.

Ajoutons que JOLYET (JOLYET et TAUZIAC. *Capacités relatives des systèmes circulatoires de la grande et de la petite circulation. Labor. de méd. exp. Bordeaux, 1880*) a appliqué le procédé d'EB. HERING à la détermination de la durée relative de la circulation pulmonaire et de la grande circulation. Le ferro-cyanure de potassium (ou un sel de lithium), injecté dans le cœur droit chez le chien, apparut dans le cœur gauche au bout de 6 secondes, tandis que chez le même animal, la durée totale de la circulation avait été trouvée de 24 secondes, c'est-à-dire quatre fois plus forte. JOLYET en conclut que le système de la circulation pulmonaire contient quatre fois moins de sang que celui de la grande circulation. Le rapport du poids du poumon au sang qu'il contient serait égal à 2,6, alors que le rapport du poids du corps au sang total est égal à 13 environ.

SMITH, von KRIES, TIGERSTEDT et d'autres ont fait à la méthode de HERING-VIERORDT une série d'objections des plus sérieuses.

R. M. SMITH (*The time required by the blood for making a complete circuit of the body. Transact. Coll. physic. Philadelphia, (3), vii, 133, d'après HERMANN, Jb. P.*) a objecté que le ferro-cyanure injecté pouvait diffuser et arriver ainsi plus vite que le sang lui-même à l'endroit où se font les prises de sang. Il a répété les expériences en remplaçant l'injection de solution de ferro-cyanure par une injection de sang d'oiseau dilué (sang à globules elliptiques faciles à reconnaître) et a trouvé en effet la durée de la circulation notablement plus longue que par la méthode du ferro-cyanure, par ex. 20 secondes et 17 secondes (sang d'oiseau) au lieu de 15 secondes et 9",5 (ferro-cyanure).

Voici quelques-uns des résultats obtenus par la méthode au sang de pigeon :

	Poids.	Durée.	Nombre
	kil.	secondes.	de pulsations.
Chien.	18	20	55
—	10	17	53
—	8	15	50
—	8	15	47
—	10	18	44
Lapin.	3	20	60
—	—	14	—
—	3	12	—
—	1 1/2	9	27
—	2 1/2	9	35

En employant du carmin en suspension, l'auteur a trouvé 35 secondes comme durée de la circulation chez un chien de 10 kilos.

V. KRIES (*Ueber das Verhältniss der maximalen zu der mittleren Geschwindigkeit bei dem Strömen von Flüssigkeiten in Röhren. Carl Ludwig's Beiträge zur Physiologie, 1887, 101*) fit remarquer que la correction adoptée par VIERORDT était tout à fait arbitraire. Il admit que la vitesse moyenne pouvait peut-être approcher de la vitesse maximale trouvée dans les expériences de VIERORDT, mais pouvait tout aussi bien n'en représenter que la moitié.

Il fit remarquer aussi qu'une diminution ou une augmentation momentanée de cette vitesse maximale, trouvée expérimentalement, ne prouve nullement que la vitesse moyenne, c'est-à-dire le débit moyen, subit des variations de même sens. Il suffit par exemple, pour raccourcir notablement le temps trouvé, qu'un seul réseau vasculaire de minime étendue présente localement des conditions favorisant le passage rapide du sang, le reste de l'appareil circulatoire pouvant présenter des conditions précisément inverses.

TIGERSTEDT (*Lehrbuch der Physiologie des Kreislaufes. Leipzig, 1893, 467*) a insisté sur les différences considérables que peuvent présenter la vitesse maximale constatée par l'expérience d'injection de ferro-cyanure, et la vitesse moyenne réelle, et sur l'impossibilité de calculer le débit moyen du cœur, comme l'a fait VIERORDT, au moyen des données des expériences d'injection de ferro-cyanure.

Il montre notamment que, chez le lapin, certaines valeurs, calculées par VIERORDT, sont près de dix fois plus fortes que les valeurs fournies par la détermination directe du débit du cœur, ou de l'irrigation sanguine d'un kilogramme de lapin.

Ainsi TIGERSTEDT (*Bestimmung der von dem linken Herzen herausgetriebenen Blutmenge. Skand. Arch. f. Physiol.*, III, 233, 1892) trouve chez le lapin 0,43 centimètres cubes de sang comme débit du cœur à chaque pulsation, contre 3,88 centimètres cubes comme débit calculé par VIERORDT, et 51 centimètres cubes comme volume de sang traversant 1 kilogramme de lapin par minute, contre 593 centimètres cubes comme volume calculé par VIERORDT.

TIGERSTEDT, en prenant comme base de son calcul les valeurs de débit du cœur, trouvées directement, et la quantité totale de sang du corps d'un lapin, admet que la durée totale moyenne de la circulation doit correspondre à une minute environ (au lieu des 7",46 admises par VIERORDT), et à 197 pulsations cardiaques (au lieu des 26 pulsations admises par VIERORDT).

Les déterminations récentes de débit du ventricule chez le chien ont également conduit à cette conclusion que ce débit est notablement plus faible qu'on serait tenté de l'admettre d'après les calculs basés sur les valeurs trouvées par VIERORDT.

Parmi les différentes méthodes qui ont été proposées pour calculer ce débit, je citerai celle de ZUNTZ (*Ueber eine neue Methode zur Messung der circulirenden Blutmenge und der Arbeit des Herzens. A. P.*, 1894, 193, et *A. g. P.*, LV, 523, 1894) et celle de FICK.

Le principe de la méthode de ZUNTZ consiste à provoquer un arrêt temporaire du cœur par excitation du pneumogastrique et à injecter dans l'aorte, par une de ses branches, une quantité de sang telle que la pression se maintienne au niveau primitif. Cette quantité de sang représente celle que le cœur aurait débitée pendant le même temps, s'il avait continué à fonctionner comme précédemment.

ZUNTZ constata de cette façon qu'un chien de 4850 grammes, présentait par minute un débit de 162, 536, 300, 404, 329, 377, 512, 466, 365 centimètres cubes. En évaluant la masse du sang à un treizième du poids du corps, soit 373 grammes, on voit que ce débit du cœur a été en général, pendant une minute, un peu supérieur à cette valeur de 373 grammes, c'est-à-dire que la durée totale de la circulation serait ici voisine d'une minute.

La méthode consistant à déduire le débit du cœur d'après la différence d'oxygène du sang artériel et du sang veineux et d'après la valeur de l'absorption respiratoire de l'oxygène, a conduit à des résultats analogues.

Cette méthode, proposée par FICK, a été appliquée par GRÉHANT et QUINQUAUD chez le chien, et par HAGEMANN et ZUNTZ au cheval. (V. Cheval.)

Il en est de même des calculs analogues appliqués au débit du cœur de l'homme. L'ondée ventriculaire de l'homme qui avait été estimée à 180 grammes environ, pendant de longues années, n'atteint probablement pas la valeur de 60 grammes (Voir l'article Cœur).

En admettant 50 à 60 grammes comme valeur du débit d'une pulsation ventriculaire, et 5 000 grammes comme masse totale du sang de l'homme, on constate qu'il faut près de 100 pulsations, ou près d'une minute et demie, pour que la masse totale du sang ait passé par le cœur. La durée moyenne de la circulation, calculée d'après cette donnée, est au moins trois fois plus longue que celle admise d'après les résultats des expériences de VIERORDT.

Les données fournies par les expériences d'injection de ferro-cyanure ou de substances analogues doivent donc être utilisées avec la plus grande réserve, et ne pas être identifiées avec la vitesse moyenne du sang, qui paraît beaucoup plus faible.

Bibliographie générale de la circulation. — Articles « Circulation » des Dictionnaires de médecine, de la Real-Encyclopädie d'EULENBURG, de Todd's Cyclopaedia, etc. — ROLLET, dans H. H. IV, (1), 1880. — MAREY. *La circulation du sang*, Paris, 1881. — TIGERSTEDT. *Lehrbuch des Physiologie des Kreislaufes*, Leipzig, 1893.

LÉON FREDERICQ.

Cires. — Ce sont des substances composées de carbone, d'oxygène et d'hydrogène sécrétées par quelques insectes hyménoptères (cires animales) ou extraites de divers végétaux (cires végétales). Ce sont en somme, au point de vue de la composition élémentaire, des corps gras, dont elles présentent d'ailleurs plusieurs des propriétés.

Voici, d'après MALAGUTI, un tableau donnant leur composition centésimale.