dixième pas il parcourt l'aorte et ses ramifications pour arriver aux capillaires généraux, d'où nous l'avons fait partir.

Les dix actes dont se composerait cette fonction ainsi envisagée peuvent se réduire aux suivants :

1° *Acte de la circulation dans les vaisseaux capillaires généraux et pulmonaires.*

2° *Acte de la circulation dans les veines, soit générales, soit pulmonaires*, et dans les *lymphatiques* qui en sont une dépendance.

3° *Acte de la circulation dans les oreillettes, soit droite, soit gauche.*

4° *Acte de la circulation dans les ventricules droit et gauche.*

5° *Acte de la circulation dans les artères, soit générales (aorte), soit spéciales (artère pulmonaire).*

Nous aurons, en suivant ce plan, parcouru tout le cercle circulatoire, sans avoir été obligé de revenir deux fois sur les mêmes choses. Quand nous aurons exposé tous les phénomènes qui se rapportent à ces différents actes, nous finirons par quelques remarques : 1° sur la vitesse de la circulation ; 2° sur la simultanéité des phénomènes que nous aurons décrits successivement ; 3° sur quelques variétés que la circulation peut présenter suivant les régions.

SECTION Ire.

Acte circulatoire des capillaires généraux et pulmonaires.

Définition. — C'est cet acte en vertu duquel le sang passe à travers des tubes extrêmement fins pour revenir au cœur.

Nous avons à parcourir un cercle, il est à peu près indifférent dès lors de commencer par un point ou par un autre ; mais comme les capillaires, physiologiquement parlant, sont la partie la plus importante de la circulation, c'est par eux que nous avons préféré commencer. Nous exposerons : 1° les phénomènes de cette partie de la circulation ; 2° les obstacles que le sang doit franchir ; 3° les causes qui les font surmonter.

Phénomènes de la circulation dans les capillaires généraux. — Le sang contenu dans les artères, poussé par les ondées de liquide que lance à chaque instant le ventricule gauche, suit le trajet marqué par les vaisseaux, et, traversant les capillaires, arrive jusque dans les veines. On suit aisément ce trajet au microscope dans beaucoup de parties transparentes, de sorte que c'est là un fait d'observation directe et non uniquement une conclusion logique tirée de la manière dont le sang se meut dans les artères et les veines.

On peut, à cette fin, se servir de la membrane tendue entre les doigts des grenouilles, de la queue des jeunes poissons et des larves de salamandre, du mésentère de tous les vertébrés, etc.

On voit alors distinctement, à un grossissement de 45 à 50 diamètres, les corpuscules du sang passer des plus petites ramifications artérielles dans les réseaux vasculaires dont le calibre ne va plus en diminuant, et, de ces réseaux, dans le commencement des veines qui produisent des troncs et augmentent peu à peu de volume. Dans les capillaires les plus déliés, ils coulent à la suite les uns des autres, souvent avec des interruptions ; lorsqu'ils s'avancent ainsi un à un, ils sont presque incolores, mais quand ils sont réunis plusieurs ensemble, ils paraissent jaunes, et, si leur nombre devient plus considérable, ils affectent une couleur jaune, rougeâtre ou rouge. Chez les animaux qui ont encore de la vigueur, ils coulent d'une manière continue ; mais si l'animal s'affaiblit, le mouvement devient saccadé, et même il arrive un moment où il se passe des phénomènes de flux et de reflux dans les globules sanguins.

1° *Le sens du courant peut se renverser dans les capillaires.* — Bien qu'en général la circulation dans ces vaisseaux se fasse de manière que le sang se rapproche du cœur, il peut arriver que dans un rameau anastomotique établi entre deux troncs parallèles, le sang aille tantôt vers un tronc, tantôt vers un autre, et par conséquent devienne alternativement ascendant et descendant. C'est un fait qui a été démontré par les observations microscopiques.

2° *Le sang dans les capillaires a un courant continu.* — Il est facile de se convaincre de ce fait par une observation journalière. Ainsi quand on se fait une coupure qui n'intéresse que les vaisseaux capillaires, on voit le sang surgir soit sous forme de goutte, soit en nappe, et dans tous les cas il sort d'une manière parfaitement uniforme. Mais on peut encore, pour se convaincre de l'exactitude de cette proposition, se servir du microscope. En effet, quand on examine ainsi les parties transparentes d'un animal vivant, on s'aperçoit que le mouvement pulsatif du sang cesse dans les vaisseaux capillaires, du moins chez l'adulte, et qu'arrivé là, il coule d'une manière continue et uniforme.

3° *Le mouvement du sang dans les capillaires est-il saccadé ?* — Le mouvement du sang qui sort des capillaires est continu. Dans les capillaires voisins du cœur, le cours est saccadé. Il ne l'est pas dans ceux qui sont éloignés. Tel capillaire dans lequel on observe un courant continu, régulier, quand le cœur d'une grenouille se contracte avec une force moyenne, présente un courant saccadé si le cœur se contracte avec violence, comme on peut le voir en pinçant l'animal, etc. (Ch. Robin).

M. Poiseuille, avec son *hémo-dynamomètre*, a fait beaucoup d'expériences pour prouver que ce mouvement est saccadé dans tous les capillaires (*Journal hebd.*, 1831, t. III, p. 98). M. Gerdy a montré que les expériences de ce physiologiste n'étaient pas parfaitement rigoureuses et qu'elles étaient insuffisantes pour démontrer le phénomène.

La circulation présente-t-elle des différences dans les capillaires du

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

poumon ?— Cette partie de la circulation étant encore plus difficile à étudier que la précédente, on ne peut guère s'en faire une idée qu'en examinant cette dernière. On peut d'ailleurs, jusqu'à un certain point, prévoir les différences qu'il peut y avoir dans celle-ci par la connaissance de la position spéciale que ces vaisseaux présentent. Il est probable, dit M. Gerdy, que la proximité du ventricule droit en rend le cours saccadé; il est probable aussi que pendant l'inspiration le sang passe beaucoup plus vite que pendant l'expiration; ce qui établirait ici une tendance à un mouvement saccadé que nous avons vu ne pas exister en général dans les capillaires de tout le corps.

Obstacles que la circulation capillaire rencontre. — Ces obstacles sont assez nombreux. Ils sont dus : 1° à la masse de sang à mouvoir; 2° aux frottements des parois vasculaires; 3° à la difficulté de la circulation veineuse. Passons en revue chacun de ces obstacles.

La masse du sang à mouvoir est un obstacle. — En effet, le sang résiste et par sa force d'inertie, et par sa pesanteur. Sa résistance est en raison de son volume. Tout le monde conçoit que si la force qui chasse le sang des capillaires dans les veines est égale à 100, par exemple, la masse du sang qui remplit ces dernières étant, par sa pesanteur, égale à 50, elle circulerait avec beaucoup plus de vitesse et d'énergie, si la force restant la même, cette masse ne s'élevait qu'à 20. Le sang résiste encore par sa force d'inertie, parce que, même dans les parties supérieures, il ne marche pas assez vite dans la veine cave supérieure et les veines de la tête, par exemple, pour n'offrir aucun obstacle aux masses postérieures qui tendent à se rapprocher du cœur.

Les frottements des parois vasculaires sont encore un obstacle. — La résistance que les vaisseaux capillaires opposent au sang peut être évaluée d'après les expériences de Hales et de Keill. Keill compara les quantités de sang qui s'écoulent par l'artère et la veine crurales ouvertes sur un chien vivant; le rapport entre ces quantités étant de 7 1/2 : 3, il en conclut que la résistance est de $\frac{9}{15}$ de la force du sang artériel. Suivant Hales, lorsqu'il soumettait l'intérieur de l'artère mésentérique d'un animal mort à la pression d'une colonne d'eau de quatre pieds et demi et coupait l'intestin vis-à-vis du mésentère, les petits vaisseaux coupés ne laissaient échapper, dans un laps de temps donné, que le tiers de la quantité d'eau qui s'écoulait par les troncs ouverts de ces mêmes vaisseaux, en sorte que la résistance des petits vaisseaux s'élevait aux deux tiers de la pression.

La difficulté de la circulation veineuse est un troisième obstacle. — Nous verrons bientôt que la circulation veineuse offre de nombreuses causes de résistance à la circulation, qui sont dues, soit à la masse du sang, soit aux valvules, aux flexuosités, etc. Le sang contenu dans les capillaires, pour passer dans les veines, est obligé

de surmonter une partie de ces obstacles et par conséquent il trouve là une résistance considérable, résistance qui est tellement grande que si la force motrice du sang dans les capillaires n'était très puissante, la circulation ne tarderait pas à s'arrêter. Il s'agit actuellement de savoir où se trouve cette force motrice.

Causes de la circulation du sang dans les capillaires. — Ce sont : 1° le cœur; 2° les artères; 3° les capillaires; 4° quelquefois la pesanteur; 5° l'inspiration; 6° diverses compressions. Examinons en détail chacune de ces causes.

1° *Le cœur contribue à la circulation des capillaires.* — Nous avons déjà vu que si l'on regarde au microscope la circulation dans ces vaisseaux, on remarque que le liquide roule d'une manière continue et uniforme. Mais si le cœur s'affaiblit dans ses battements, on voit que les corpuscules du sang, tout en formant un courant continu dans les capillaires, y ont cependant un mouvement pulsatif et saccadé. Si la force du cœur diminue davantage, les corpuscules du sang ne forment plus un courant continu, ils n'y marchent plus que par saccades, et si la faiblesse est plus grande encore, ils rétrogradent même un peu après chaque saccade qui les a portés en avant. Divers physiologistes, Hastings d'Édimbourg, Bichat, ont cru que la force du cœur ne suffisait pas pour chasser le sang à travers les capillaires. Cette hypothèse se trouve réfutée par une expérience de Magendie. Après avoir passé une ligature autour de la cuisse d'un chien, sans comprendre ni l'artère ni la veine, on applique une ligature séparément sur la veine près de l'aine et l'on fait ensuite une légère ouverture à ce vaisseau: aussitôt le sang s'échappe en formant un jet assez élevé. Pressez ensuite l'artère entre les doigts pour empêcher le sang artériel lancé par le cœur d'arriver au membre, le jet du sang veineux ne s'arrêtera pas pour cela, il continuera quelques instants; mais il ira en diminuant et l'écoulement finira par s'arrêter, quoique la veine soit pleine dans toute sa longueur. Si, pendant la production de ces phénomènes, on examine l'artère, on verra qu'elle se resserre peu à peu et qu'elle finit par se vider complétement : c'est alors que le sang de la veine s'arrête. A cette époque de l'expérience, cessez de comprimer l'artère, le sang poussé par le cœur s'y précipitera, et aussitôt qu'il sera arrivé dans les dernières divisions, ce liquide recommencera à couler par l'ouverture de la veine, et petit à petit le jet se rétablira. Maintenant comprimez de nouveau l'artère jusqu'à ce qu'elle soit vidée, ensuite n'y laissez pénétrer que lentement le sang artériel; dans ce cas, l'écoulement du sang par la veine se fera, mais il n'y aura pas de jet, tandis que celui-ci se développera dès que l'artère sera entièrement libre. On obtiendra des résultats analogues en injectant de l'eau tiède dans l'artère, au lieu d'y laisser pénétrer le sang : plus l'injection sera poussée avec force, plus le liquide sortira avec promptitude de la veine.

Le cœur contribue donc à la circulation dans les capillaires par

sa contraction; nous verrons bientôt que la dilatation de ses oreillettes vient aussi en aide à cette circulation. En effet, à chaque dilatation de ces oreillettes, le sang est pour ainsi dire aspiré; alors la circulation veineuse est activée et, par conséquent, la masse de sang à mouvoir par le sang contenu dans les capillaires, est moins considérable, d'où aussi une augmentation dans la rapidité du courant.

2° *Influence des artères sur la circulation dans les capillaires.* — Cette influence est non moins évidente que celle du cœur. L'expérience de Magendie, que nous venons de rapporter, en fournit la preuve, puisque au moment où l'on comprime l'artère, le jet ne cesse pas simultanément, mais va en diminuant d'énergie; il faut donc que l'artère intervienne. Elle le fait par son élasticité. C'est même à l'intervention de l'artère que l'on doit attribuer la circulation continue et uniforme dans ces petits tubes, car, si le cœur était l'unique agent, il faudrait nécessairement que le cours du sang fût saccadé, intermittent, comme la force motrice.

3° *Les capillaires interviennent-ils pour faire circuler le sang?* — A cette question nous répondons d'une manière catégorique. Oui, les capillaires interviennent pour faire marcher le sang qui les traverse. Magendie et Poiseuille ont prétendu que leur action était nulle; mais M. Gerdy, avec Bichat, les a réfutés et aujourd'hui la chose n'offre pas le moindre doute. La substance de la paroi propre des capillaires jouit de la contractilité, au même titre que celle des fibres musculaires, mais d'une contractilité spéciale par sa lenteur et par les conditions dans lesquelles elle a lieu. Cette contractilité existe même après la mort brusque d'un animal et suffit encore pour faire aller le sang soit du côté des artères, soit du côté des veines. D'ailleurs, cette contractilité des parois des capillaires est encore prouvée par le microscope, les vivisections, les injections et la pathologie.

Avec le microscope on voit la dilatation et le resserrement péristaltique lent des capillaires se prolongeant même après la mort du cerveau et du cœur. Cette contractilité est une propriété du tissu capillaire. Elle n'est pas spéciale aux muscles, d'autres éléments anatomiques en jouissent. Il n'est pas nécessaire de l'influx nerveux pour qu'elle se manifeste. On sait du reste qu'on fait contracter sous le microscope des fibres musculaires isolées des nerfs. (Ch. Robin.)

Les injections nous prouvent encore le même fait. Ne sait-on pas qu'immédiatement après la mort, on peut difficilement faire une injection fine, tandis qu'après elle se fait avec beaucoup plus de facilité? Combien la pathologie nous fournirait encore d'exemples à l'appui de l'intervention des capillaires dans la circulation. Si l'on n'admettait pas cette contractilité, on ne pourrait pas s'expliquer comment les capillaires peuvent concourir accidentellement aux changements manifestes qu'éprouve leur circulation, soit lorsque la peau de la face rougit ou pâlit, se sèche ou se mouille de

sueur, sous l'influence d'une émotion; soit lorsque la peau rougit ou s'enflamme sous l'influence d'une excitation inaperçue, du virus vénérien, par exemple, soit lorsqu'elle s'enflamme sous l'influence d'une cause extérieure, irritante, douloureuse et perçue.

4° *Influence de la pesanteur sur la circulation capillaire.* — La pesanteur peut aider ou contrarier la marche du sang dans cette partie du cercle sanguin. Elle la favorisera toutes les fois que la masse de sang à mouvoir sera diminuée, ou bien que la colonne sanguine diminuera de hauteur. Ainsi, en mettant la main dans la position verticale en haut, la circulation des capillaires sera augmentée dans sa rapidité, parce que le sang contenu dans les veines n'étant plus obligé de remonter contre son propre poids, gagnera vite le cœur; alors le sang des capillaires trouvant une issue facile, passera plus rapidement dans les veines. Il est évident que les conditions inverses produiront des résultats opposés, et par conséquent la circulation des capillaires sera ralentie.

5° *Influence de l'inspiration et de l'expiration.* — Cette influence sera appréciée plus tard quand nous étudierons d'une manière spéciale la circulation veineuse, mais elle est incontestable, car à chaque inspiration le sang veineux se trouve aspiré dans la poitrine, et de proche en proche cette action se fait ressentir jusque sur les capillaires. L'expiration activera aussi la circulation; car, au moment où ce phénomène respiratoire a lieu, tous les viscères thoraciques sont comprimés, l'aorte le sera donc, le sang ne pouvant refluer passera du côté des capillaires et immédiatement le cours du sang à travers ces vaisseaux sera d'une rapidité d'autant plus grande que l'expiration sera plus forte.

6° *Influence de diverses compressions.* — Ici nous trouvons de nouvelles causes de la circulation capillaire. Les organes en se contractant, les muscles par exemple, expriment pour ainsi dire le sang qu'ils renfermaient dans leurs capillaires et par conséquent augmentent la rapidité du courant. Cette compression peut être due à des organes environnants. Il peut se faire que l'art intervienne pour produire le même résultat. Ainsi, que de fois ne voit-on pas des phlegmons diffus, des engorgements disparaître à la suite d'une compression méthodiquement exercée?

Le sang peut-il se mouvoir par sa propre force? — Non. Les motifs qu'on allègue en faveur de la force propulsive du sang se fondent sur ce que le mouvement de ce liquide continue sans battements du cœur. Il est deux conditions dans lesquelles, à l'aide du microscope, on voit le sang continuer encore de se mouvoir dans les vaisseaux capillaires d'une partie qui a été détachée du corps :

1° Tant que le sang coule par la plaie faite aux troncs vasculaires, ce qui doit agir sur son état dans les capillaires. Ainsi Mueller a observé des mouvements lents dirigés vers les ouvertures des troncs ouverts, pendant dix minutes après l'ablation d'une patte chez

la grenouille. Ces mouvements tiennent uniquement à l'écoulement de sang, pendant que les vaisseaux, en vertu de leur élasticité, prennent un diamètre moindre que celui qu'ils avaient auparavant dans l'état de distension violente. On aperçoit aussi ce rétrécissement au microscope. Lorsqu'on soulève la surface d'où le sang s'écoule, en portant la patte en l'air, l'écoulement de sang cesse plus tôt, et 5 à 6 minutes suffisent pour qu'on ne voie plus aucun mouvement dans les vaisseaux capillaires.

2° Lorsqu'on fait tomber les rayons du soleil sur une partie humide qui a été détachée du corps, la surface de cette partie, en se desséchant, se fronce avec tant de rapidité, que le changement devient visible à l'œil nu. Ce phénomène tient à ce que les vaisseaux capillaires se vident plus promptement, ce qui, joint à l'effet de l'éclairage par la lumière directe du soleil, produit l'apparence d'un mouvement vibratoire. Par conséquent, comme Mueller l'a vu sur une aile de chauve-souris séparée du corps, des traces de mouvement vibratoire s'observent, même durant des heures entières, dans les vaisseaux les plus déliés, mais dans les points seulement à travers lesquels on fait passer la lumière solaire, à l'instant de ce passage. Le froncement extrêmement rapide de la surface se voit à l'œil nu. Si l'on humecte de nouveau le point qui se fronce, le froncement cesse pour quelques instants, et avec lui, le mouvement vibratoire dans les petits vaisseaux; mais les deux phénomènes reparaissent dès que l'évaporation et la dessiccation recommencent. Même au bout d'un jour et demi Mueller a pu encore apercevoir des vibrations dans l'intérieur de l'aile ainsi humectée, en ayant recours à la lumière directe du soleil.

Dans les parties qui tiennent encore au corps, mais sur lesquelles le cœur n'exerce plus d'influence, soit parce que les artères ont été liées, soit parce qu'on l'a frappé lui-même de mort, au moyen d'un alcali, le mouvement du sang persiste jusqu'à ce que l'élasticité des artères ait réduit ces vaisseaux à leur minimum de diamètre.

Si le sang agissait par une sorte d'attraction envers les capillaires le rôle principal appartiendrait incontestablement à ses corpuscules.

Dans les circonstances où le courant du liquide est suspendu d'une manière subite par des obstacles mécaniques, ces corpuscules pourraient obéir à leur force d'attraction dans l'intérieur de la liqueur du sang arrêtée, et par conséquent, continuer à se mouvoir. C'est ce qui n'a pas lieu : lorsque l'on comprime subitement le membre d'une grenouille dont on observe la circulation dans la membrane natatoire, le mouvement du sang s'arrête complétement et instantanément, et avec lui celui des corpuscules. (Mueller, *Manuel de physiologie*, 1851.)

SECTION II.

De la circulation veineuse.

Définition. — La circulation veineuse est cet acte en vertu duquel le sang est transporté depuis les capillaires jusque dans les oreillettes.

Voici le plan que nous allons adopter dans l'exposition de cette question :

1° Phénomènes de la circulation veineuse ;
2° Obstacles ou résistances à cette circulation ;
3° Causes qui font marcher le sang dans les veines.

A. *Phénomènes de la circulation veineuse.*

Première proposition. — *Le sang veineux se meut de la périphérie au centre.* — En effet, des capillaires généraux le sang passe dans les veines et arrive bientôt jusque dans l'oreillette droite, et des capillaires du poumon, il vient se rendre dans l'oreillette gauche. En considérant le cœur comme le centre de la circulation nous avons alors raison d'émettre la proposition ci-dessus. Mais, il ne faut pas s'y tromper, nous n'avons formulé par là qu'un fait général, c'est-à-dire qu'en définitive le sang marche vers un but unique. Si, au contraire, on envisage cette marche du sang dans certaines localités on ne tarde pas à trouver quelques exceptions; ainsi nous voyons dans le cours du sang veineux quelque chose d'analogue à ce que nous avons déjà constaté pour les capillaires; c'est-à-dire que vers les anastomoses transversales entre deux veines, le sang ira tantôt vers une veine, tantôt vers l'autre. Cela se voit surtout dans les réseaux veineux du rachis, dans les canaux veineux du diploë où le cours du sang se fait toujours vers le point le plus déclive.

Deuxième proposition. — *Le cours du sang veineux est plus vaste que celui du sang artériel.* — Si les veines sont plus droites que les artères, il est incontestable qu'elles sont plus nombreuses et, par conséquent, que la capacité de toutes les veines l'emporte sur celle de toutes les artères. Ainsi le sang sort du cœur par deux artères, il rentre par sept veines. Dans les membres les artères sont accompagnées de deux veines satellites aussi grosses que l'artère et de plus il existe des veines superficielles. Un autre fait, c'est que les veines sont plus dilatables que les artères. D'où cette conséquence que ce sont les veines qui doivent être le réservoir du sang. C'est là, en effet, que vient le trop-plein.

Troisième proposition. — *La carrière du sang veineux est plus variée que celle du sang artériel.*—Nous n'avons pas ici une subdivision uniforme; mais, au contraire, une variété infinie dans le mode de distribution des veines. On peut s'en convaincre, en se rappelant les faits anatomiques suivants :