

moyen d'après la plupart des auteurs¹; chez l'adulte, cette question a été l'objet de très nombreuses recherches; l'opinion la plus ancienne et que confirment les récentes recherches de Sappey², est que les globules rouges proviennent de la transformation des globules incolores, des globules blancs de la lymphe.

La transformation des globules blancs en globules rouges, douteuse pour quelques histologistes, est cependant démontrée par un grand nombre de preuves; citons d'abord la constatation directe. Recklinghausen, puis Kölliker ont vu la transformation des globules blancs en globules rouges se produire même en dehors de l'organisme, dans du sang conservé à la température du corps vivant, au contact d'air maintenu humide. D'autre part, l'étude du sang dans la série animale montre toutes les transitions entre les deux espèces de globules: Rouget les a constatées chez les invertébrés, les siphoncles. Chez les vertébrés inférieurs et surtout chez le têtard (Kölliker, Rouget), on voit la transformation des corpuscules lymphatiques en globules colorés pourvus d'un noyau, et dans lesquels la matière colorante se dépose d'abord sous forme de granulations pour se répandre ensuite uniformément dans toute la masse du globule. Sur des embryons de lapin, Rouget a montré ces mêmes transformations: là le noyau diminue, puis disparaît, à mesure que la matière colorante se dépose d'abord par grumeaux, puis d'une manière uniforme. Dans le canal thoracique, et même dans les veines pulmonaires (Kölliker), on a trouvé de jeunes globules rouges, présentant les caractères intermédiaires entre les globules blancs et les globules rouges parfaits. Enfin Sappey, par des réactions microchimiques diverses, a récemment révélé les parentés intimes d'organisation des globules blancs et rouges et la possibilité de passage des uns aux autres². Quant aux preuves indirectes de cette transformation, on pourrait invoquer ce fait que les glandes lymphatiques et la rate versent continuellement dans le torrent sanguin des globules blancs; or, le nombre de ces éléments n'augmente pas normalement dans le sang, et comme on ne connaît aucune forme qui nous les représente en voie de destruction, on est

¹ Dans des recherches encore inédites nous avons constaté que les globules du sang, chez l'embryon du poulet, se forment dans le feuillet interne, ou, pour mieux dire, dans une région du vitellus homologue au feuillet interne, dans ce que nous avons appelé l'*entoderme vitellin* (*Études histologiques et morphologiques sur les annexes des embryons d'oiseaux. Journal de l'anat. et de la physiol.*, mai 1884).

² C. Sappey, *Les Éléments figurés du sang dans la série animale.* Paris, 1881.

forcé d'admettre qu'ils disparaissent en se transformant en globules rouges.

D'autre part, Sappey (*op. cit.*, 1881) s'est attaché à montrer combien, malgré des différences apparentes, la constitution des globules blancs et des globules rouges est analogue, ou, pour mieux dire identique. « Les mêmes parties, dit-il, constituent les globules blancs et les globules rouges: une enveloppe, un protoplasma, un noyau. — Dans les globules rouges, comme dans les globules blancs, l'enveloppe est caractérisée par son extrême minceur, sa transparence, son homogénéité et sa grande perméabilité qui a pour but de faciliter les échanges. — Le protoplasma des globules blancs est granuleux; celui des globules rouges l'est également. Les granulations, il est vrai, semblent avoir disparu dans ceux-ci; mais leur disparition n'est qu'apparente; elles existent à l'état latent et les réactifs les remettent en pleine lumière. — Reste le noyau; or, dans tous les éléments figurés du sang, quelle que soit leur couleur, le noyau existe, et est en connexion intime avec l'enveloppe; dans tous il est arrondi; dans tous il est granuleux.

« Entre les globules rouges et les globules blancs, les histologistes ont jusqu'à présent signalé surtout des différences; et en effet, ils diffèrent à quelques égards: il est parfaitement vrai que les globules rouges, chez les vertébrés supérieurs, sont plus petits que les blancs, qu'ils sont plus nombreux, qu'ils sont aplatis et non sphériques. Mais ces différences méritent-elles qu'on leur attache une si grande importance? Que prouvent-elles lorsqu'on les envisage dans leur constitution même? Ne voit-on pas des différences semblables entre les globules rouges des ovipares et ceux des mammifères? Et cependant pour ces derniers il est bien évident que, considérés en eux-mêmes, ils se rapprochent tellement par leur nature intime, qu'il n'y a pas lieu d'en faire deux ordres. Cette conclusion est celle aussi qui s'impose quand on compare les globules blancs et les globules rouges: leurs différences ne relèvent que de considérations secondaires; leur analogie repose sur leur identité de composition.

« Et, en effet, conclut Sappey, les globules rouges sont des globules blancs arrivés à une période plus avancée de leur évolution, à une période de sénilité, pour ainsi dire: alors le noyau a diminué de volume; ses granulations ont définitivement disparu; les réactifs n'ont plus le pouvoir de les faire reparaitre. »

Il est cependant des auteurs qui attribuent aux globules rouges une origine autre que l'évolution et la transformation des globules blancs (Hayem et Pouchet); la question, telle qu'ils la posent, est encore loin d'être résolue et, en présence de résultats contradictoires nous nous contenterons de donner ici un aperçu des recherches des deux derniers auteurs cités.

1° Hayem a reconnu qu'il existe chez les vertébrés supérieurs, outre les hématies et les leucocytes, des éléments particuliers, très petits, qu'il a nommé *hématoblastes*, car ils seraient destinés à devenir des

globules rouges. Ces hémastoblastes sont très altérables. A peine sortis des vaisseaux, ils se déforment, présentent une surface épineuse et, se fusionnant entre eux, se réduisent à des amas en forme de plaques à noyaux multiples. Mais en opérant à une basse température, on peut retarder cette décomposition des hémastoblastes; et en leur faisant subir l'action de quelques réactifs, on voit, par la manière dont ils se comportent, que ces éléments diffèrent complètement des globules blancs et qu'ils se rapprochent, au contraire, des globules rouges¹. Ces hémastoblastes, étudiés chez la grenouille, sont le plus souvent fusiformes ou ovoïdes; ils présentent des dimensions très variables, ce qui semble indiquer que, d'abord petits, ils se développent peu à peu dans le sang. Ils présentent toujours un noyau unique, qui ne rappelle en rien les noyaux des globules blancs.

Quand on fait subir aux animaux des pertes de sang considérables, de manière à activer la régénération des hématies, on constate que cette régénération se fait à l'aide du développement progressif et de plus en plus complet des hémastoblastes, dont le disque s'accroît et acquiert une quantité de plus en plus grande d'hémoglobine, tout en conservant longtemps encore un noyau volumineux. Étudiés chez l'homme, les hémastoblastes se présentent comme des éléments de 1 à 3 μ , remarquables par leur grande altérabilité, et qui, en se développant, deviennent plus colorés et se comportent comme des globules rouges dont ils en diffèrent que par la taille; quelques-uns d'entre eux acquièrent les caractères de véritables globules rouges avant de grossir notablement et forment ces hématies extrêmement petites décrites sous le nom de *globules nains*. Dans l'anémie, il est facile d'observer les hémastoblastes arrêtés dans les diverses formes de leur évolution en globules rouges.

Quant à la grande altérabilité qui caractérise les hémastoblastes en dehors des vaisseaux sanguins, non seulement elle explique comment ces éléments ont échappé si longtemps aux recherches des micrographes, mais elle paraît encore appelée à nous donner l'explication d'un phénomène des plus importants, la *coagulation* du sang. On sait que, en laissant une mince couche de sang se coaguler sur une lame de verre, on peut observer au microscope le réticulum fibreux qui enserrme dans ses mailles les globules rouges; mais par un léger lavage au sérum iodé, on voit que les nœuds du réticulum sont occupés par des amas d'hémastoblastes, lesquels se sont transformés en corpuscules irréguliers, anguleux, étoilés, de la surface desquels partent des fibrilles extrêmement fines, entre croisées en réseau (Voy. fig. 58, ci-après, p. 200). La coagulation du sang aurait donc pour origine les actes physico-chimiques qui accompagnent la décomposition d'un des

¹ G. Hayem, *Sur l'évolution des globules rouges dans le sang des vertébrés ovipares* (Comptes rendus Académie des sciences, 12 nov. 1877). — Id., id., *Société de biologie*, 24 novembre 1877. — *Sur l'évolution des globules rouges dans le sang des animaux supérieurs* (Comptes rendus Acad. des sciences, 31 déc. 1877).

éléments figurés du sang, décomposition qui commence instantanément à la sortie du sang des vaisseaux.

² Les recherches de G. Pouchet l'ont amené à admettre que les leucocytes et les hématies des vertébrés ovipares procèdent d'un seul et même élément anatomique qu'il désigne sous le nom de *noyau d'origine*¹.

Le noyau d'origine est de petite dimension, sphérique, nucléolé, environné d'un corps cellulaire à peine distinct; on peut le considérer comme provenant de la dissociation des leucocytes polynucléés dont il sera question plus loin, le corps cellulaire de ceux-ci laissant échapper, en se détruisant, ses noyaux, qui, devenus libres, recommencent le cycle d'une évolution nouvelle. Ce noyau d'origine, en s'accroissant en même temps que l'existence d'un corps cellulaire autour de lui devient manifeste, prend bientôt des caractères morphologiques nouveaux, différents selon que l'élément continue de se développer en leucocyte, ou bien qu'il éprouve une sorte d'*avortement normal* pour devenir hématie.

Quand l'évolution se fait dans le sens leucocyte, le noyau, en même temps qu'il s'enveloppe d'un corps cellulaire de plus en plus abondant, présente à sa surface des incisions, sillons de segmentation, qui l'amènent à l'état d'amas nucléaire central (*noyau en boudin* de Ranvier et de Hayem). Ces amas nucléaires du leucocyte ne montrent jamais aucune trace de sénilité, et semblent appelés, comme il a été dit plus haut, en se désagrégant après la destruction du corps cellulaire, à reproduire des noyaux d'origine qui pourront redevenir d'autres leucocytes.

Tout au contraire, les hématies, suivant une évolution différente, seraient des formes définitives, ultimes, terminales: cet élément tendrait à redevenir et redeviendrait en réalité partie constituante du sérum, où il se dissoudrait finalement. Quoi qu'il en soit, les hématies des batraciens dériveraient de la manière suivante des noyaux d'origine. Dans cette seconde forme d'évolution, le noyau d'origine prend une forme ovoïde et s'entoure d'un corps cellulaire d'abord absolument hyalin, de forme également allongée. Le noyau présente bientôt, comme dans le type leucocyte, une segmentation indiquée par des sillons, dont le point de départ est d'ordinaire une grande incisure longitudinale servant de centre de rayonnement à d'autres sillons, d'où l'aspect plus ou moins régulièrement chiffonné du noyau. Ces sillons seraient donc la cause de l'apparence désignée sous le nom de *réticulum* par un certain nombre d'anatomistes, notamment par Stricker. A la période d'état fonctionnel, l'hématie, dont le corps cellulaire s'est chargé d'hémoglobine, est déjà, comme le montre la diminution de volume du noyau qui ne fixe plus que faiblement le carmin, à un premier stade de régression, dans lequel il paraît demeurer un temps assez long; puis

¹ G. Pouchet, *Évolution et structure des éléments du sang chez le triton* (Journal de l'anat. et de la physiol., janvier 1879).

cette régression s'accroît, le noyau qui ne prend plus le carmin se confondant peu à peu avec la substance du corps cellulaire.

Dans leur *période d'état* les globules rouges usent eux-mêmes une partie de l'oxygène dont ils se chargent, et cette présence de l'oxygène est nécessaire au maintien de leur vitalité et de leur forme. Aussi, dans les expériences, quand on veut filtrer du sang, a-t-on soin de faire passer dans ce liquide un courant d'oxygène grâce auquel les globules conservent leur constitution et ne se dissolvent pas dans le liquor. En se détruisant dans l'économie, les globules donnent des produits de leur décomposition. Il est vrai qu'il n'y a guère dans le sang d'éléments qu'on puisse considérer comme les déchets du globule, mais il est des organes où il paraît se décomposer. Malheureusement rien n'est plus contradictoire que les résultats des recherches sur les divers organes qu'on a voulu considérer comme des ateliers de destruction ou de formation des globules rouges.

Tel est le cas pour la rate et pour le foie. Si on examine comparativement le sang qui entre dans la rate et celui qui en sort, on observe, d'après quelques auteurs, une diminution de moitié dans le cruor, d'où il faudrait conclure que les globules disparaissent dans cet organe. L'étude de la rate elle-même y montre d'ailleurs beaucoup d'éléments qui paraissent de vieux globules sanguins. Le sang de la veine porte présente le caractère du sang ordinaire, mais il est plus *hydrémié*, parce que le sang de la veine splénique, appauvri dans la rate, vient l'appauvrir à son tour en se mêlant à lui. Dans les veines sus-hépatiques, au contraire, on trouverait que le sang a gagné des globules dans la proportion de 1/2 à 2/3. Ainsi le foie, par opposition à la rate, serait peut-être une sorte d'atelier où se constituent les globules sanguins. (Sur ces questions controversées, V. plus loin : *Rate et Foie.*)

Cependant cette fonction hématopoiétique du foie n'est pas très nettement démontrée, et même les nombres sur lesquels elle est fondée peuvent recevoir une autre interprétation. En effet, ces nombres expriment le rapport des globules à la partie liquide du sang, du *cruor* au *liquor*, c'est-à-dire d'après Lehmann, que 1000 parties du sang de la veine porte (chez le cheval) ne contiennent que 141 parties de globules rouges (en poids), tandis qu'on en trouve 317 sur 1000 dans le sang sus-hépatique. Mais cette augmentation n'est pas absolue : il est reconnu qu'après la formation de la bile le plasma du sang est très concentré, de sorte que l'eau du sang sus-hépatique ne forme que les 68/100 de la totalité des éléments constituants, tandis que dans le sang de la veine porte l'eau cons-

titue les 77/100. Dans un liquide aussi concentré que le sang sus-hépatique, l'augmentation des globules rouges ne saurait être considérée comme absolue. D'autre part, les chiffres donnés par Lehmann représentent le poids des globules humides. Or, dans le sang artériel typique, le poids des globules humides est à peu près (V. p. 182) de 500 pour 1000 (moitié cruor et moitié liquor). Une interprétation exacte des nombres nous amène donc à penser que les globules rouges se détruisent plutôt qu'ils ne se forment dans le foie.

Une preuve directe consiste à chercher le rapport des globules rouges aux globules blancs dans le sang de la veine porte et dans celui des veines hépatiques; les recherches dans ce sens donnent pour résultat : 1 globule blanc sur 740 rouges dans la veine porte, et 1 globule blanc sur 170 globules rouges dans les veines sus-hépatiques; cette différence ne peut tenir qu'à une production de globules blancs dans le foie, ou à une destruction de globules rouges.

La première hypothèse est tout à fait en dehors de ce que l'on connaît sur la physiologie du foie; la seconde, au contraire, est parfaitement en rapport avec les fonctions biliaires de cet organe, puisque la matière colorante de la bile est identique à l'hématoïdine, l'un des dérivés de l'hématine du sang. Nous arrivons donc à conclure que la foie peut être regardé comme un des lieux où les *vieux* globules rouges se détruisent.

Liquor. — La partie liquide du sang (*liquor* ou plasma du sang) peut être considérée comme une solution d'albumine renfermant de plus quelques sels, des graisses, des matières extractives, des gaz. — Le *liquor* est un liquide relativement chargé d'albumine, car il en contient à peu près 1/10, proportion qui se rencontre assez rarement dans les autres liquides de l'économie. De cette albumine, une faible partie (2 à 3 grammes de fibrine sèche¹ pour un litre de sang) est spontanément coagulable : c'est la *fibrine*. L'autre partie (70 à 75 grammes pour 1 litre de sang²) est l'albumine proprement dite, qui ne se coagule que par la chaleur ou les réactifs.

La *fibrine* est la cause ou, pour mieux dire, le produit de la *coagulation* du sang, c'est-à-dire de ce phénomène bien connu par lequel, dès sa sortie des vaisseaux, le liquide sanguin se solidifie en

¹ Quinze grammes de fibrine humide.

² Soixante-dix à 75 grammes d'albumine sèche, c'est-à-dire à peu près 481 d'albumine humide. (V. Robin, *Leçons sur les humeurs normales et morbides*, 1874, p. 55 et 60.)

une masse qui présente l'aspect d'une gelée. C'est la fibrine seule qui se coagule dans ce cas et forme une espèce de réseau dans lequel sont emprisonnés les autres éléments du sang et notamment les globules. La figure 58 montre un réticulum fibrineux, tel qu'on l'observe au microscope, lorsqu'on laisse une très mince couche de sang se coaguler sur une lamelle de verre; la préparation représentée dans cette figure a été obtenue (procédé de Ranvier) en lavant la tache coagulée, de manière à enlever les globules et à ne laisser

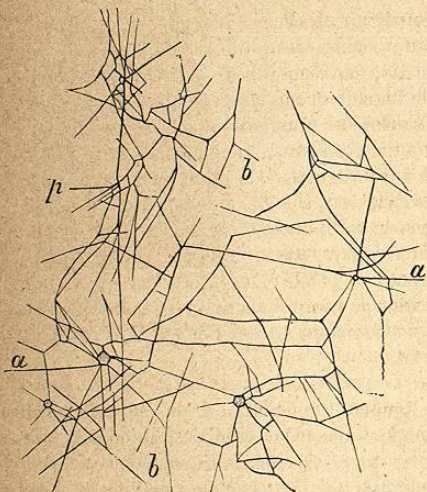


FIG. 58. — Réticulum fibrineux du sang de l'homme (préparation microscopique. Grossiss., 500).

qu'à le réseau fibrineux, qui a été ensuite coloré à l'aide de la fuchsine. On voit que les fibrilles de fibrine semblent émanées d'un certain nombre de centres ou nœuds, au niveau desquels le réseau est plus serré; ces centres, mesurant de 1 à 5 μ , présentent, du reste, les mêmes réactions colorées que les fibrilles elles-mêmes. Quand le sang se coagule en masse, la fibrine forme une espèce de masse spongieuse qui contient dans ses mailles toutes les autres parties

du sang; puis, la coagulation se prononçant de plus en plus, la partie liquide se trouve exprimée sous forme de *sérum*, liquide limpide ou un peu opalin, qui contient l'albumine et les divers sels du liquor; la masse coagulée, et qui surnage, forme le *caillot*. Le caillot ne doit pas être confondu avec le *cruor*, puisque c'est la *fibrine englobant le cruor*: le mot *sérum* n'est pas non plus synonyme de *liquor*, puisque c'est le *liquor moins la fibrine*.

On ne connaît pas bien les circonstances qui favorisent la coagulation du sang. Le froid la retarde, le contact de l'air l'accélère, et le battage, que l'on emploie pour défibriner le sang, n'agit pas autrement qu'en rendant plus intime et plus étendu le contact de

l'air et de la fibrine, d'où rapide coagulation de celle-ci, qui s'attache sous forme de filaments à l'instrument employé pour battre le sang. Les globules paraissent aussi jouer un certain rôle dans ce phénomène, et hâter par leur présence la solidification de la fibrine, et nous avons vu, en effet, précédemment (ci-dessus, p. 196), que d'après Hayem la fibrine serait produite par la décomposition des *hématoblastes*. On sait que cette coagulation est retardée par le mélange au sang de substances telles que le sucre, un sel ou un alcali. Dans ce cas, un certain nombre des globules échappent à l'action enveloppante de la fibrine et colorent le sérum en rouge, tandis que le caillot est plus pâle et peut même être tout à fait blanc dans ses couches superficielles (*couenne*): ces *couennes fibrineuses* se rencontrent aussi dans certaines conditions pathologiques, par exemple chez les pneumoniques, où l'on voit l'éponge fibrineuse enfermant les globules recouverte d'une couche de fibrine simple, blanchâtre, lardacée, couenneuse en un mot, et renfermant à sa partie inférieure les globules blancs, qui, vu leur légèreté, tendent à monter à la superficie du liquide, tandis que les rouges tombent au fond du liquide (fig. 59). Ce phénomène peut avoir deux causes différentes, et même indépendantes d'un excès de fibrine: ou bien les globules sanguins (rouges) sont devenus spécifiquement plus lourds, ou bien la coagulation est plus lente. Dans le premier cas, ils n'occupent pas le même niveau du liquide que la fibrine qui surnage et se coagule à part: dans le second, ils ont le temps de se précipiter pendant que la fibrine se coagule lentement. Chez les chevaux, le sang coagulé présente toujours une couenne¹.

l'air et de la fibrine, d'où rapide coagulation de celle-ci, qui s'attache sous forme de filaments à l'instrument employé pour battre le sang. Les globules paraissent aussi jouer un certain rôle dans ce phénomène, et hâter par leur présence la solidification de la fibrine, et nous avons vu, en effet, précédemment (ci-dessus, p. 196), que d'après Hayem la fibrine serait produite par la décomposition des *hématoblastes*. On sait que cette coagulation est retardée par le mélange au sang de substances telles que le sucre, un sel ou un alcali. Dans ce cas, un certain nombre des globules échappent à l'action enveloppante de la fibrine et colorent le sérum en rouge, tandis que le caillot est plus pâle et peut même être tout à fait blanc dans ses couches superficielles (*couenne*): ces *couennes fibrineuses* se rencontrent aussi dans certaines conditions pathologiques, par exemple chez les pneumoniques, où l'on voit l'éponge fibrineuse enfermant les globules recouverte d'une couche de fibrine simple, blanchâtre, lardacée, couenneuse en un mot, et renfermant à sa partie inférieure les globules blancs, qui, vu leur légèreté, tendent à monter à la superficie du liquide, tandis que les rouges tombent au fond du liquide (fig. 59). Ce phénomène peut avoir deux causes différentes, et même indépendantes d'un excès de fibrine: ou bien les globules sanguins (rouges) sont devenus spécifiquement plus lourds, ou bien la coagulation est plus lente. Dans le premier cas, ils n'occupent pas le même niveau du liquide que la fibrine qui surnage et se coagule à part: dans le second, ils ont le temps de se précipiter pendant que la fibrine se coagule lentement. Chez les chevaux, le sang coagulé présente toujours une couenne¹.

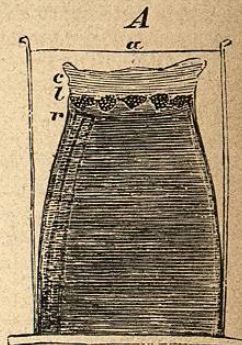


FIG. 59. — Tableau schématique d'un sang coagulé avec couenne*.

¹ La question de la *coagulation du sang* soulève encore tous les jours quantité de travaux qui n'ont pu cependant nous donner encore une théorie satisfaisante de ce phénomène. Aussi nous en tiendrons-nous encore à la théorie de Denis (de Commercy) et de Schmidt, théorie que nous exposons plus loin (p. 205), parce qu'elle ne peut être comprise qu'après l'étude des

* a, Niveau du liquide sanguin; — c, couenne ayant la forme d'une coupe; — l, croûte granuleuse avec les amas granuleux, puriformes des globules blancs; — r, caillot avec les globules rouges (cruor et caillot rouge). (Virchow, *Pathologie cellulaire*.)

On attribuait autrefois à la fibrine un rôle très important dans l'économie : on la regardait, d'une part, comme la substance nutritive par excellence, comme une albumine perfectionnée; d'autre part, on confondait la coagulation avec l'organisation, à cause de l'apparente structure fibreuse que prend la fibrine coagulée. Mais il est reconnu aujourd'hui que la fibrine est loin d'avoir cette importance; elle est rare dans les matières les plus nutritives, et sa quantité dans le sang n'est pas en raison directe de la vigueur du sujet; au contraire, on la voit s'accumuler dans le sang après le jeûne, après une marche épuisante, dans les maladies qui amaigrissent, dans les cas où la nutrition languit, dans la chlorose, etc. Elle est plus abondante chez l'adulte que chez l'enfant. Quand on saigne un animal et qu'on lui enlève ainsi beaucoup de fibrine, on peut constater qu'après peu de temps la fibrine s'est reproduite. Ainsi donc cette fibrine ne vient pas du dehors, elle se forme dans l'organisme, et l'étude des circonstances où sa proportion augmente prouve qu'elle constitue une sorte de déchet organique. En effet,

divers éléments albuminoïdes du plasma. Mais nous donnerons cependant ici quelques indications sur les travaux les plus récents entrepris à ce sujet.

¹⁰ Pour Arm. Gautier (*Chimie appliquée à la physiologie*, etc., Paris 1874, t. I, p. 509), la coagulation du sang est due à une réaction produite par la *paraglobuline*, substance exsudée du globule rouge. Tout ce qui peut faire extravaser la paraglobuline, c'est-à-dire diminuer la vitalité du globule, hâte, en effet, la coagulation du sang; de là la coagulation plus rapide par le battage, etc.

²⁰ Pour Mathieu et Urbain (*Comp. rend. Acad. des sciences*, 14 sept., 1874), c'est l'*acide carbonique* qui, en se portant sur la fibrine dissoute dans le plasma, la transforme en fibrine coagulée. En effet, du sang privé rapidement de tout l'acide carbonique qu'il renferme ne se coagulerait pas, à moins qu'il ne se trouve de nouveau en contact avec de l'acide carbonique.

³⁰ M. Glénard (*Contribution à l'étude des causes de la coagulation spontanée du sang à son issue de l'organisme*, thèse, Paris, 1876), sans donner une théorie de la coagulation, a cherché à bien préciser les causes qui influent sur elle et a réalisé dans ce sens une expérience intéressante qui aura certainement son influence sur les théories à venir. Voici cette expérience.

Lorsque sur un animal vivant (cheval, bœuf) on enlève un segment artériel ou veineux plein de sang et qu'on le conserve à l'air, le sang ne s'y coagule pas, quelle que soit la capacité du segment. Après un temps variable en relation avec le volume du vaisseau et la masse du sang conservé, le segment sèche au point d'offrir la consistance de la corne. Si, à cet état, on reprend le sang ainsi transformé par la dessiccation et qu'on le désagrège dans l'eau, il s'y dissout, et cette solution est susceptible de se coaguler spontanément en masse. M. Glénard en conclut que la coagulation du sang est causée par le contact des corps étrangers (parois du vase où il est reçu); cette influence coagulatrice du contact des corps étrangers est d'autant moins grande que, par leur structure physique, ces corps étrangers se rapprochent davantage de la structure physique du vaisseau.

le sang qui revient d'un muscle est d'autant plus riche en fibrine que le muscle a plus travaillé, qu'il vient, par exemple, d'être soumis à la galvanisation. La fibrine est donc bien déjà une forme excrémentitielle des produits de nutrition des tissus, se rencontrant avec d'autant plus d'abondance que le tissu a une nutrition plus active. Il est difficile de dire où disparaît, où va se détruire cette fibrine. On a prétendu que le sang qui sort du foie ne contient plus de fibrine, mais c'est là une erreur. Le sang du foie est tout aussi riche en fibrine que celui de la rate, que celui des muscles, et il n'en paraît dépourvu dans les analyses que quand on laisse la bile se mêler au sang extrait de ce viscère (Vulpian). On constate dans le sang un excès de fibrine toutes les fois qu'il y a exagération de travail, de combustions organiques: il y a donc *hyperinose* dans toute inflammation; cette hyperinose est tout à fait secondaire, et ne joue nullement le rôle de cause vis-à-vis de l'état de fièvre ou d'inflammation. Dans les épanchements, on ne trouve de fibrine que si les tissus voisins sont dans un état d'inflammation capable de donner lieu à un excès de ce déchet organique: ainsi le liquide d'un hydrothorax ne contient pas de fibrine; celui d'une pleurésie en est, au contraire, très riche, etc.

Le liquide qui reste après la coagulation de la fibrine constitue le *sérum*. Ce sérum contient les substances albuminoïdes non spontanément coagulables dans une proportion considérable, avons-nous dit (70 à 75 grammes pour 1000). La principale de ces substances albuminoïdes est celle qui a reçu le nom de *sérine*; la *sérine* présente de grandes analogies avec l'albuminoïde de l'œuf, mais elle est plus endosmotique et se coagule à une température un peu plus élevée (70° au lieu de 60°). Les autres matières albuminoïdes sont en proportion bien moins considérables: ce sont la *paraglobuline* (de Schmidt) et les *peptones* qui proviennent de l'absorption intestinale.

Le sérum contient des matières grasses, plus dans le sang veineux que dans l'artériel, plus après l'absorption digestive qu'après l'abstinence. En général, le sérum contient de 2 à 4 pour 1000 de graisse, ce qui fait pour 1 litre de sang, moyenne 1,4.

On trouve encore dans le sérum une substance que l'on rapprochait autrefois des matières grasses, mais que la chimie a montrée analogue aux éthers et aux alcools; c'est la *cholestérine* (0,1 p. 1000).

C'est encore dans le sérum que nous trouvons ces composés désignés sous le nom de *matières extractives*, et qui sont aujourd'hui bien déterminés, comme : 1° *sucres*; le sang normal, ainsi que l'a montré Cl. Bernard, contient toujours du sucre qui provient essentiellement des transformations glycogéniques dont le foie est le siège

(V. DIGESTION, fonctions du foie); 2° des alcools (*cholestérine* citée plus haut); 3° des acides gras volatils : ce sont peut-être ces acides qui, particuliers à chaque animal, donnent lieu, quand on traite le sang par l'acide sulfurique, à une odeur caractéristique au moyen de laquelle on a prétendu pouvoir distinguer nettement le sang de l'homme de celui des animaux, et même le sang de l'homme de celui de la femme; 4° l'urée et l'acide urique, produits excrémentiels destinés à être rejetés et dont la rétention dans le sang amène les troubles les plus graves : telles sont encore la *créatine*, la *créatinine*, leucine, xanthine, hypoxanthine, dérivés azotés. — Nous devons encore citer ici des *matières colorantes* provenant sans doute des globules et destinées à reparaître dans quelques sécrétions et particulièrement dans la bile.

Les sels contenus dans le sérum (et, par suite, dans le *liquor*) sont tout autres que ceux que nous avons signalés dans les globules. Le sérum renferme à peu près 6 à 8 pour 1000 de sels, dont la plus grande partie à bases alcalines. La base qui domine dans le liquor est la soude (chlorure de sodium, 3 à 5 grammes p. 1000; carbonate de soude, 1 à 2 grammes p. 1000, etc.). Le sérum est très alcalin, et la nécessité de cette réaction se conçoit facilement si l'on songe à toutes les réductions qui doivent se faire dans ce liquide. Il est, du reste, peu de métaux dont la présence n'ait été soupçonnée dans le sang (*liquor et cruor*); on en a retiré du fer et du *manganèse*; on y a trouvé parfois du *civre*, qu'il faut peut-être considérer comme normal; on prétend même y avoir rencontré de l'arsenic; ce n'est que rarement qu'on y a vu du plomb; mais ce ne sont là que de simples curiosités chimiques.

Gaz du sang. — Le sang ne contient pas seulement des solides et des liquides, il contient aussi des gaz. Considéré au point de vue de la respiration, le sang est une véritable solution gazeuse : 1° Nous avons déjà vu qu'une certaine quantité d'oxygène avait pour véhicule le globule rouge. Une moins forte proportion de ce même gaz est dissoute dans le liquor. 2° Quant à l'acide carbonique, il est tout entier contenu dans le sérum, partie à l'état de dissolution, partie combiné avec les carbonates alcalins qui passent ainsi à l'état de bicarbonates (Émile Fernet)¹. L'étude complète des gaz du sang sera faite à propos de la respiration; nous verrons ainsi que le sang

¹ D'après les dernières recherches de P. Bert, tout l'acide carbonique serait dans le sang veineux combiné avec les carbonates : il n'y aurait pas d'acide carbonique dissous. (V. le chap. *Respiration*.)

est essentiellement le véhicule des gaz qui servent aux combustions intimes des tissus ou qui proviennent de ces combustions. Nous dirons seulement ici qu'en moyenne le sang contient en volume de 40 à 45 pour 100 de gaz qui se répartissent ainsi :

Sang artériel : oxygène = 16	acide carbonique : = 28
Sang veineux : oxygène = 8	acide carbonique : = 32

Appendice (V. p. 201). — La question des substances albuminoïdes du sang est une de celles qui ont donné lieu au plus grand nombre de travaux, et cependant elle est loin d'être complètement élucidée. Il est prouvé aujourd'hui que la *fibrine* ne provient pas des globules, comme on le croyait tout d'abord; qu'elle ne représente pas une substance dissoute dans le sang, soit à la faveur du chlorure de sodium, soit à la faveur de l'ammoniaque (Richardson), quoique l'action fluidifiante de ces substances soit incontestable. Robin et Verdeil avaient déjà montré (1851)¹ que la fibrine ne préexiste pas dans le sang comme substance concrète, mais que son état normal est l'état liquide, qu'elle n'abandonne d'ordinaire qu'en dehors de l'économie. Mais aujourd'hui on est allé plus loin, et les études récentes, encore bien incomplètes sans doute, tendent à la faire considérer comme le produit d'un dédoublement, en même temps qu'elles précisent ses rapports avec les autres substances albuminoïdes qui l'accompagnent dans le liquor du sang.

En effet, une série de recherches fécondes en applications pathologiques ont donné des résultats tellement semblables à Denis (de Commerc) en France, et à Schmidt en Allemagne, que nous ne pouvons nous dispenser de les résumer en quelques lignes, pour compléter l'étude du sérum.

D'après Schmidt et Denis (de Commerc), la partie albumineuse du sang se compose de deux substances : l'une, la *sérine* (52 p. 1000 de sang), n'est coagulable que par la chaleur et les acides; l'autre, la *plasmine* (25 p. 1000 de sang), est coagulable par le chlorure de sodium, et peut se redissoudre dans 10 à 20 parties de son poids d'eau; mais de cette solution, comme de la plasmine normale, une partie peut se séparer spontanément et se coaguler : c'est la *fibrine concrète* (3 à 4 p. 1000 de sang); l'autre reste dissoute, mais est coagulable par le sulfate de magnésie : c'est la *fibrine dissoute* (22 p. 1000 de sang). Ainsi la coagulation du sang résulte du dédoublement de la plasmine en fibrine dissoute et en fibrine concrète. Tout, dans les variations de la quantité de fibrine du sang coagulé, se réduit à un dédoublement qui partage d'une façon plus ou moins inégale la plasmine en ses deux produits : lorsqu'on trouve un excès de *fibrine concrète* (par exemple, 8 grammes), il y a alors diminution de la fibrine dissoute (17 seulement dans l'exemple choisi) et *vice versa*.

¹ Robin et Verdeil, *Traité de chimie anatomique*

Cette manière de voir permet de se rendre compte de tout ce qu'avait encore d'obscur la physiologie comme la pathologie de la coagulation du sang. Ainsi le sang des veines sus-hépatiques paraît ne pas renfermer de fibrine; mais que l'on précipite sa plasmine par le chlorure de sodium, et si l'on dissout ce coagulum dans 10 à 20 fois son poids d'eau, on verra spontanément ou par le battage se précipiter la quantité normale de fibrine concrète (2 à 4 grammes); la plasmine du sang sus-hépatique contenait donc, comme normalement, les deux espèces de fibrine, mais une cause difficile encore à préciser (V. plus haut, p. 203) en empêchait le dédoublement et nous cachait ainsi l'existence de la fibrine concrète telle qu'elle est anciennement connue. D'autre part, nous avons reconnu comme règle générale l'augmentation du caillot, de la fibrine dans les inflammations; cependant il est quelques inflammations où l'examen du caillot semblerait indiquer une diminution dans l'élément coagulable, une *hypinose*; mais ici encore, la fibrine concrète l'emporte sur la fibrine dissoute dans la composition de la plasmine, et se révèle immédiatement si l'on parvient par un artifice à provoquer le dédoublement de cette dernière, et la formation du caillot (précipitation par le chlorure de sodium, dissolution en 10 fois son poids d'eau, exposition à l'air, battage, etc.). Nous pouvons donc conclure avec Germain Sée (*Pathologie expérimentale : des Anémies*) que dans les maladies en général, comme dans les anémies, il n'y a pas réellement excès ou défaut de fibrine, mais une plasmine plus ou moins parfaite, plus ou moins facile à dissocier en deux éléments qui se partagent d'une façon variable sa composition. Enfin, pour Vulpian, toute la partie albumineuse du sang forme probablement un composé, dont la sérine, la plasmine (et ses deux éléments), sont un produit de dédoublement, comme l'alcool et l'acide carbonique sont le produit du dédoublement du sucre. Cette manière de voir jette un grand jour sur la pathogénie des albuminuries, particulièrement des albuminuries par altération de l'albumine du sang, et des albuminuries expérimentales après ingestion ou injection d'albumine, même de l'albumine retirée précédemment du sang de l'animal. (*Expériences* de Cl. Bernard, de Stokvis, de Calmettes).

Résumé sur le sang. — Principale humeur constituante. Milieu intérieur. — Réaction toujours alcaline; saveur légèrement salée.

Le corps humain renferme en moyenne de 5 à 6 litres de sang.

1 litre de sang se compose à peu près de 2 parties égales de cruor (globules) et de liquor (plasma). (Exactement : 446 de globules pour 554 de plasma.)

A. Les globules se distinguent en : 1° *globules blancs* (1 p. 300 de rouges) ou *leucocytes*, caractérisés par leur forme sphérique, leur aspect homogène, incolore, et par ce fait que l'action de l'eau ou de l'acide acétique y fait apparaître de un à quatre petits amas ou noyaux; 2° *globules rouges* : ceux-ci, en forme de disque biconcave (chez l'homme), de 7 μ de diamètre, de 2 μ d'épaisseur, sont colorés par une

matière très importante, l'hémoglobine, d'où dérivent l'hématine, l'hémine (chlorhydrate d'hématine) et l'hématoïdine. Il y a 5 millions de globules rouges dans 1 millimètre cube de sang normal.

La matière colorante du sang donne, par l'examen spectroscopique, des bandes d'absorption caractéristiques de l'hémoglobine oxygénée et de l'hémoglobine réduite (non oxygénée) : l'hémoglobine oxycarbonée (empoisonnement par l'oxyde de carbone) donne à peu près le même spectre que l'hémoglobine oxygénée, mais avec cette différence capitale qu'avec les agents réducteurs on n'obtient plus alors le spectre de l'hémoglobine réduite.

La fonction des globules rouges du sang consiste à prendre l'oxygène au niveau de la surface pulmonaire, pour le porter dans les tissus, au niveau des capillaires généraux (V. *Respiration*).

L'origine des globules rouges est encore l'objet de discussions et de recherches. D'après Recklinghausen, les globules blancs se transformeraient directement en globules rouges. Les recherches de Sappey amènent à une conclusion semblable. D'autre part, Hayem a étudié dans le sang de petits éléments cellulaires, les *hématoblastes*, qui se transformeraient en globules rouges. Les *hématoblastes* ne peuvent être observés qu'à 15 ou 20°. Les uns sont incolores, d'autres contiennent de la matière colorante par places, et celle-ci s'étend ensuite graduellement à tous les globules. Les *hématoblastes* ont un noyau qui disparaît à mesure que le globe se développe.

B. La partie liquide du sang contient beaucoup de substance albumineuse (environ 78 à 100 grammes pour 1 litre de sang). Ces 78 grammes (de substance albumineuse sèche) sont composés de 3 grammes de fibrine (sèche) et de 75 grammes de diverses albumines (sèches).

La solidification de la fibrine est la cause de la *coagulation* du sang. Lorsque la fibrine se coagule en englobant les globules rouges, il se produit un *caillot* (fibrine et globules); ne pas confondre *caillot* et *cruor*. Lorsque les globules rouges se déposent au fond du vase avant la séparation de la fibrine, celle-ci se coagule alors en un caillot incolore qui vient surnager et que l'on nomme *couenne*. On peut d'autre part, par le battage, séparer la fibrine; il reste alors un liquide tenant les globules en suspension (sérum plus les globules). Ne pas confondre le *sérum* du sang avec le *liquor* ou *plasma* (V. p. 200).

Le mécanisme de la coagulation de la fibrine est encore discuté; on ne peut qu'enregistrer les causes qui la retardent (froid, contact des parois vasculaires) ou qui la favorisent (contact de l'air, des parois du vase, des corps étrangers, battage, présence des globules, etc.).

Le liquide qui reste après la coagulation et la séparation de la fibrine est le *sérum*, dans lequel on trouve :

- 1° Les albumines du sang : *sérine*, *fibrine dissoute* de Denis, *paraglobuline*, *peptones*;
- 2° Les *matières grasses* (2 à 4 p. 1000 de sérum);
- 3° Les alcools (cholestérine), les sucres (glycose), les dérivés azotés (acide urique, urée, etc.);

4° Les sels minéraux (6 à 8 p. 1000 de sérum), qui sont, dans l'ordre d'importance : le chlorure de sodium, le carbonate de soude, le phosphate de soude.

Le sang contient en volume 45 pour 100 de gaz : ce sont l'oxygène et l'acide carbonique, en proportion de sens inverse dans le sang artériel et dans le sang veineux (V. *Respiration*).

CIRCULATION DU SANG

La *circulation* consiste dans le mouvement continu du sang dans un réservoir circulaire en forme de canaux ramifiés (*appareil circulatoire*). Cet appareil, considéré dans son ensemble, forme essentiellement une série de tubes à propriétés

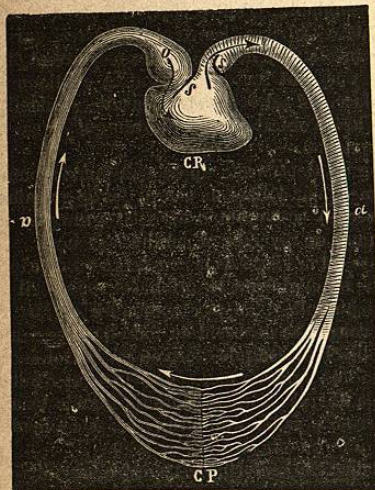


Fig. 60. — Type idéal de l'appareil circulatoire*.

(fig. 60). Ce sont : 1° Le *cœur*, réservoir musculaire, divisé en quatre cavités (chez l'homme, mais bien plus simple chez les animaux moins élevés). Primitivement il forme lui aussi un tube cylindrique qui, pendant la vie embryonnaire, se tord et se cloisonne de façon à donner les oreillettes et les ventricules. 2° Les *artères*, système de canaux ramifiés en forme d'arbre, remarquables au premier abord par l'épaisseur de leurs parois (fig. 60, a). 3° Les *veines*, autre système ramifié, comme celui qui constitue les artères, mais se distinguant de ces dernières par la minceur relative et la flaccidité de leurs parois (fig. 60, p). 4° Entre ces deux systèmes, le *système capillaire* (qui naît des artères et aboutit aux veines), ensemble de vaisseaux très fins disposés en réseau (fig. 60, CP), dont les plus

* CR, Cœur, ventricule ; — o, oreillette ; — s, s, valvules ; — a, artères ; — CP, capillaires ; p, veine. — Les flèches indiquent le sens dans lequel circule le liquide.

étroits ont généralement le diamètre des globules sanguins ; leur calibre est même quelquefois moindre, mais les globules étant élastiques peuvent s'allonger et s'amincir pour traverser des canaux plus fins qu'eux (V. p. 188).

On voit qu'en somme on peut diviser l'ensemble de l'appareil circulatoire en un organe central, le *cœur*, et un ensemble d'organes périphérique, les *vaisseaux* (artères, capillaires, veines).

Le sang circule dans le système des vaisseaux, parce qu'à l'origine de ce système (origine de l'aorte ou de l'artère pulmonaire) se trouve une des cavités du cœur, destinée à y produire de fortes pressions (ventricule), tandis qu'à l'autre extrémité (veines caves) se trouve une autre cavité du cœur (oreillette), qui a pour action de diminuer la pression ou tout au moins de laisser libre passage au sang qu'elle reçoit pour le transmettre au ventricule ; c'est ce double antagonisme entre ces deux cavités du cœur qui produit la circulation.

En un mot, le sang circule par suite de l'*inegalité de pression* dans les différentes parties du circuit vasculaire ; et le cœur, dans son ensemble (oreillettes et ventricules), a pour but de maintenir cette inégalité de pression, qui, des artères, où la pression est forte, fait passer le sang dans les veines, où elle est de plus en plus faible.

Les anciens n'avaient que des notions fausses et incomplètes sur la circulation. Galien faisait du foie l'organe formateur du sang ; parti du foie, le sang se répandait dans la partie inférieure du corps par la veine cave inférieure, dans la partie supérieure par la veine cave supérieure ; une portion de ce dernier sang arrivait au cœur, et, filtrant à travers la cloison interventriculaire, y acquérait des propriétés nouvelles pour circuler dans les artères sous le nom d'*esprits vitaux*. Galien ne soupçonnait donc pas la *circulation pulmonaire* (V. plus loin, p. 224).

Michel Servet, en 1553, indiqua pour la première fois la *circulation pulmonaire*. Fabrice d'Aquapendente montra la disposition des valvules veineuses, qui s'opposent à la circulation telle que la concevait Galien. Enfin Harvey (1615-1628) démontra la circulation telle que nous la connaissons aujourd'hui, c'est-à-dire formée d'un double système correspondant au double cœur (droit et gauche) : la *circulation pulmonaire* et la *circulation générale* ; la figure 61 donne de l'ensemble de l'appareil circulatoire une vue générale, qu'il est facile de saisir en invoquant les souvenirs les plus élémentaires d'anatomie (V., du reste, *Respiration*, et fig. 69, ci-après).