

constituent la course, le saut, la natation, etc., nous indiquerons seulement le caractère essentiel de la course comparée à la marche ordinaire.

Dans la course il n'y a plus de *double appui*; au contraire il y a un *temps de suspension* pendant lequel, entre deux appuis des pieds, le corps reste en l'air un instant. La durée de ce temps de suspension semble peu varier d'une manière absolue; mais si on l'apprécie relativement à la durée d'un pas de course, on voit la valeur relative de cette suspension croître avec la vitesse de la course, car avec cette vitesse diminue la durée de chacun des appuis. Mais ce qu'il y a de plus remarquable, c'est la manière dont se produit, d'après Marey, ce temps de suspension; on pourrait croire, au premier abord, que c'est l'effet d'une sorte de saut, dans lequel le corps serait projeté en haut, de manière à décrire en l'air une courbe au milieu de laquelle il serait à son maximum d'éloignement du sol. Il n'en est rien; le temps de suspension correspond au moment où le corps est à son minimum d'élévation; ce temps de suspension ne tient donc pas à ce que le corps est projeté en l'air, mais à ce que les *jambes se sont retirées du sol par l'effet de leur flexion* (Marey).

RÉSUMÉ. — Les muscles sont les *agents actifs* des mouvements: les tissus de substance conjonctive servent à séparer les muscles (tissu conjonctif proprement dit) ou bien constituent les *leviers* (os) que les muscles meuvent par l'intermédiaire des *tendons*.

Il faut bien distinguer la *contractilité* des muscles, propriété vitale (liée à la *vie*, c'est-à-dire à la *NUTRITION*), de l'*élasticité* des tissus élastiques, propriété purement physique qui subsiste sur le cadavre.

Dans le jeu des muscles, des tendons et des os, on retrouve les trois ordres de leviers.

La *pression atmosphérique* maintient le contact des surfaces articulaires. La *synovie* (riche en *mucosine*) favorise le glissement de ces surfaces.

Dans un *pas* (élément de la marche ordinaire), il y a une jambe dite *active* et une jambe dite *passive*; mais cette dernière n'est point soumise à une simple oscillation pendulaire: comme la jambe active, elle est le siège de contractions musculaires, très faibles, il est vrai.

## QUATRIÈME PARTIE

### SANG ET CIRCULATION; SYSTÈME LYMPHATIQUE

#### DU SANG

Le sang est un liquide qui, circulant dans l'organisme de la périphérie au centre et du centre à la périphérie, transporte dans l'économie les éléments absorbés par certaines surfaces (principalement la muqueuse intestinale) et entraîne les déchets de l'organisme en général vers d'autres organes chargés de les rejeter à l'extérieur. Il remplit ainsi, vis à vis des éléments anatomiques, un rôle *afférent* et un rôle *efférent*; il contient les substances de *nutrition* et les produits de *dénutrition*. Dans ce continuel commerce d'échange, il est impossible qu'il y ait, à chaque instant, compensation parfaite, de sorte que le sang n'a pas une composition fixe, normale, typique, et qu'on peut même, à un moment donné, distinguer plusieurs espèces de sang, notamment le *sang artériel* et le *sang veineux*.

Le sang est donc l'une des principales *humeurs constituantes* (Ch. Robin). En ayant égard à ce fait que c'est par son intermédiaire que tous les principes introduits dans l'organisme (même les gaz, V. *Respiration*) viennent au contact des éléments anatomiques, c'est-à-dire que ces éléments vivent réellement dans le liquide sanguin, on peut appeler le sang le *milieu intérieur*<sup>1</sup> (Cl. Bernard).

<sup>1</sup> « On donne le nom de *milieu* à l'ensemble des circonstances qui environnent l'être vivant et dans lesquelles il trouve les conditions propres à développer, entretenir et manifester la vie qui l'anime. Il faut distinguer les *milieux cosmiques* (air, eau, aliment, température, lumière, électricité) et les *milieux intérieurs*. Les premiers entourent l'individu tout entier, les seconds sont en contact immédiat avec les éléments anatomiques qui composent l'être vivant. » (Cl. Bernard, *Propriétés des tissus vivants*.) Au point de vue purement anatomique, on a pu considérer le sang comme un *tissu*, ainsi que le font

Le sang est d'une couleur rouge vermeil (sang artériel) ou rouge pourpre foncé (sang veineux ou sang noir; il est presque noir à la lumière réfléchi). Sa densité est de 1045 à 1075. Sa réaction est *toujours alcaline*<sup>1</sup> chez tous les animaux, et aussi bien dans les conditions morbides que dans les conditions normales. Mais, d'après Lépine, cette réaction alcaline est plus faible chez les anémiques et les rhumatisants chroniques. Sa saveur est légèrement salée. Il a une odeur propre, peu prononcée et différente selon les espèces animales.

QUANTITÉ DE SANG. — L'évaluation de la masse totale du sang paraît, au premier abord, facile à réaliser, mais présente de grandes difficultés pratiques. On admet généralement aujourd'hui que l'organisme humain renferme en moyenne 5 à 6 litres de sang. Pour évaluer cette masse liquide, on avait essayé de *saigner un animal à blanc* (Herbst, Heidenhain); mais il reste toujours dans les vaisseaux une quantité de sang difficile à apprécier. Une injection complète du système vasculaire, destinée à en mesurer la capacité, ne donne pas des résultats plus recommandables. Un moyen plus simple et en même temps plus ingénieux est celui qu'a employé Valentin: il consiste à *calculer la quantité de sang d'après la dilution que lui fait subir l'injection d'une quantité d'eau déterminée*, étant connue la proportion de solide et de liquide qu'il contenait d'abord. Supposons, pour fixer les termes, qu'on ait constaté que le sang d'un animal contient, à un moment donné (sur

aujourd'hui un grand nombre d'histologistes, et le définir un *tissu formé de cellules avec substance intercellulaire liquide*. Il rentre ainsi dans l'une des quatre grandes classes de tissus:

1° Tissus cellulaires avec peu ou pas de substance intercellulaire; épithéliums et leurs dérivés (ongles, poils, emails, cristallin);

2° Tissus cellulaires avec substance fondamentale liquide (sang, lymphe, chyle);

3° Tissus cellulaires avec substance fondamentale abondante, muqueuse, hyaline ou fibreuse (cartilage et tous les tissus collagènes ou conjonctifs).

4° Tissus formés par des cellules ayant donné lieu par leur juxtaposition et transformation à des formes de fibres ou de tubes (muscles, nerfs, vaisseaux, etc.).

<sup>1</sup> D'après la plupart des auteurs (V. plus loin) ce seraient le carbonate et le phosphate tribasique de soude qui donneraient au sang sa réaction alcaline; mais d'après les recherches de Rabuteau, le phosphate tribasique ne peut, sans se décomposer, exister dans le sang riche en acide carbonique: il conclut que l'alcalinité est due au bicarbonate de soude. Nous verrons plus loin que, grâce à cette alcalinité, l'acide carbonique se fixe sur le plasma du sang (dans les carbonates, P. Bert).

Notons déjà à propos de l'alcalinité du sang, qu'il n'y a que trois liquides de l'organisme présentant une réaction acide: la sueur, l'urine et le suc gastrique.

un échantillon extrait par saignée), quatre parties de liquide pour une de solide. Aussitôt on introduit dans le système vasculaire une quantité d'eau égale à celle du sang qu'on avait retiré, puis on pratique une deuxième saignée, qui naturellement donnera un liquide sanguin plus dilué que celui obtenu par la première. Si, par exemple, la première saignée était de 100 grammes, et qu'après avoir injecté 100 grammes d'eau, la deuxième saignée amène du sang deux fois plus aqueux, il sera facile, par une simple proportion, de calculer le sang que contenait primitivement l'animal<sup>1</sup>.

Il y a encore bien des objections à faire à cette méthode, vu les échanges rapides qui se produisent, dans le court espace de temps qui sépare les deux saignées, entre le sang et les tissus qu'il baigne; en effet, immédiatement après une saignée, la masse du sang tend à se reconstituer aussitôt, en empruntant aux tissus ambiants leurs parties liquides.

Une meilleure méthode est celle du *lavage* de Welcker. Un animal est décapité; on recueille tout le sang qui s'en écoule et on mesure le pouvoir colorant de ce liquide. On divise alors le cadavre en fragments, et, par un lavage complet, on en retire tout le sang. En comparant alors le pouvoir colorant de l'eau sanguinolente ainsi obtenue au pouvoir colorant du sang déjà extrait, on peut facilement calculer quelle est la proportion du sang contenu dans cette eau, et on obtient ainsi l'expression de la totalité de la masse sanguine. Mais il y a encore ici de nombreuses causes d'erreur, parmi lesquelles il suffit de citer celle qui tient à ce que le lavage enlève non seulement le sang, mais encore la matière colorante des muscles, celle de la moelle des os spongieux, de la rate, etc., matières colorantes qui dérivent de celles du sang, mais qui, attribuées à ce liquide, donnent à l'évaluation de sa masse une valeur supérieure à ce qu'elle est en réalité.

Cependant on admet en général, d'après les résultats fournis par

<sup>1</sup> Un ingénieux procédé, analogue à celui de Valentin, a été employé par Gréhant et Quinquaud (*Mesure du volume de sang contenu dans l'organisme d'un mammifère vivant. Compt. rend. Acad. des sciences*, 29 mai 1882). Ce nouveau procédé est basé sur la propriété que possède l'oxyde de carbone de donner une hémoglobine oxycarbonée, combinaison très fixe. On fait donc respirer à un animal une certaine quantité de gaz contenant des proportions d'oxyde de carbone bien déterminées. Au bout d'un quart d'heure, par exemple, on constate quel est le volume d'oxyde de carbone fixé par l'animal, et quel est le volume fixé par une quantité donnée de sang: ces deux volumes étant connus, il suffit d'un simple calcul de proportion pour obtenir le volume du sang total. L'exactitude de cette méthode est mise en évidence par le résultat suivant: après avoir déterminé le volume normal de sang, si l'on soustrait par hémorragie une quantité mesurée, on trouve un volume de sang moindre, et la différence est égale au volume enlevé par hémorragie.

cette méthode, que le poids total du sang est en moyenne la treizième partie <sup>1</sup> du poids total du corps de l'homme, ce qui ferait donc 5 kilogrammes <sup>2</sup> de sang pour l'homme, dont le poids moyen est de 65 kilogrammes.

Du reste, la *masse du sang* est très variable selon les circonstances : l'état de jeûne ou d'absorption digestive est ce qui influe le plus sur cette quantité, et dans ces cas il peut y avoir des *variations du simple au double*. C'est ce qu'a directement constaté Cl. Bernard en décapitant deux chiens, l'un à jeun et l'autre en pleine période d'absorption digestive ; c'est ce qu'il a démontré indirectement en faisant voir qu'il faut, pour faire périr un animal en digestion, une dose de poison (strychnine, par exemple) double de celle qui suffit pour le tuer quand il est à jeun <sup>3</sup>. Il est vrai que dans ce cas il faut tenir compte non seulement de ce que l'organisme en général est gorgé de liquide, mais de ce que les éléments anatomiques eux-mêmes sont saturés et bien moins disposés à l'absorption du poison. Un fait plus significatif encore est le suivant : Sur un lapin à l'état ordinaire, il faut enlever 30 grammes de sang pour amener la mort par hémorragie ; au bout de trois jours d'inanition, il suffit d'enlever 7 grammes pour obtenir le même résultat. On comprend quelle importance a ce fait pour le médecin, au point de vue des saignées pratiquées au début d'une maladie, ou après plusieurs jours de diète.

#### COMPOSITION DU SANG

Si nous étudions le sang au point de vue pour ainsi dire anatomique (comme un tissu), nous voyons qu'il se compose de deux parties bien distinctes : le *cruor*, qui comprend la partie solide, les *globules* ; et le *liquor*, qui comprend toute la partie liquide à l'état physiologique. Ces deux parties sont en quantités à peu près égales <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Cette proportion varie avec les espèces animales : 1/17 du poids du corps chez le chien, 1/24 chez le mouton, 1/36 chez le lapin.

<sup>2</sup> 5 kilogrammes, c'est-à-dire un peu moins de 5 litres, puisque la densité du sang (1055 en moyenne) est un peu supérieure à celle de l'eau.

<sup>3</sup> On comprend bien l'augmentation de la masse du sang pendant l'absorption intestinale, quand on se rappelle que Colin a recueilli, sur une vache, jusqu'à 95 litres (en vingt-quatre heures) de lymphes, par une fistule du canal thoracique, canal qui ne représente cependant que l'une des voies de l'absorption intestinale (l'autre voie est représentée par la veine porte). G. Colin, *Traité de physiologie comparée des animaux*.

<sup>4</sup> La proportion exacte (chez l'adulte) est la suivante : 1000 grammes de sang se composent de 446 grammes de globules (*cruor*), et de 555 de plasma (*liquor*). Nous disons chez l'adulte, parce que chez le fœtus la proportion est

de sorte que l'on peut considérer le sang comme une *certaine masse de cruor en suspension dans une masse égale de liquor*.

Mais cette proportion varie, surtout dans les cas signalés précédemment. Pendant l'absorption, la masse du sang peut doubler : C'est alors surtout le liquor qui augmente, car cette augmentation est due à la grande quantité de lymphes versée dans le torrent circulatoire (Colin a recueilli jusqu'à 95 litres de lymphes en vingt-quatre heures par une fistule du canal thoracique pratiquée sur une vache). De même, après une saignée abondante, le sang tend à recouvrer sa masse primitive, en empruntant leurs liquides aux tissus voisins ; c'est donc le *liquor* qui augmente, et la masse du *cruor* ne se reconstitue que bien lentement. Ainsi on sait que la mort arrive d'ordinaire lorsqu'une hémorragie a enlevé la moitié de la masse du sang ; mais c'est en réalité la moitié du *cruor* qu'il faudrait dire avec précision, et l'on conçoit l'importance de ce fait, pour ces saignées successives, alors que la masse liquide, mais non la quantité des globules, a eu le temps de se reconstituer.

**Cruor.** — Cette partie solide du sang est uniquement formée de globules en suspension dans le liquide ; les globules du sang sont de deux espèces : les *rouges* et les *blancs*.

a) Les *globules blancs* du sang, mieux nommés *globules incolores* (leucocytes, Robin), sont un peu plus gros que les rouges (8 à 9 millièmes de millimètre de diamètre), mais bien



FIG. 57. — Globules blancs du sang (leucocytes, Robin)\*.

moins nombreux (1 globule blanc pour 300 à 700 rouges en général) ; ils sont sphériques et identiques sous tous les rapports aux *globules de la lymphe*, que l'on trouve dans les vaisseaux lymphatiques : ils proviennent, en effet, de ces vaisseaux, sont entraînés par la lymphe jusque dans le canal thoracique, et de là se déversent avec ce liquide dans le sang. Ce sont des globules ronds, à noyaux, avec une surface un peu granuleuse (fig. 57). Examinés au milieu du liquor du sang, avec un grossissement de 200 à 300 diamètres, ils présentent un aspect granuleux et un contour irrégulier, une cou-

inverse : les globules, apparaissant les premiers, forment la plus grande partie du sang, et à la naissance on trouve encore la proportion de 722 de globules pour 278 de plasma.

\* A, Globules blancs frais ; — a, globules blancs dans son liquide naturel ; — b, globule blanc dans l'eau ; — B, globules blancs traités par l'acide acétique ; — a, c, globule blanc uninucléaire ; — d, division du noyau ; — f, h, division plus avancée du noyau ; — i, k, fragmentations de plus en plus avancées du noyau (Virchow, *Pathologie cellulaire*).

leur d'un blanc d'argent caractéristique. Ils sont formés par une petite masse de protoplasma, sans enveloppe, et présentent des *mouvements amœboïdes* très accentués, lorsqu'on les examine dans une goutte de sérum ou de lymphe. Il est impossible, dans ces conditions, de distinguer aucun autre détail de leur structure; mais la simple adjonction d'eau gonfle ces éléments, rend leur contour lisse et y fait apparaître un noyau, de forme irrégulière (en boudin), parfois double ou multiple; l'adjonction d'acide acétique rend ces détails encore plus visibles et parfois fractionne le noyau en plusieurs parties, ou fait apparaître d'emblée deux ou trois noyaux dans un globule (fig. 57, B; f, h, i, k).

Dans certaines circonstances et spécialement dans les maladies de la rate et des ganglions lymphatiques, ces globules blancs s'accumulent jusqu'à former le tiers ou la moitié de la masse globulaire du sang qui paraît lie de vin ou même analogue à du pus sanguinolent (d'où le nom de *leucémie*, ou *leucocytémie*). Cette accumulation des globules blancs semble provenir d'une plus grande abondance de la production des globules blancs par la rate (leucémie splénique) ou par les ganglions lymphatiques (leucémie lymphatique: leucocytose); mais même à l'état physiologique on trouve des variations assez considérables dans la proportion numérique des globules blancs ou rouges: ainsi le nombre des globules blancs diminue sous l'influence de l'abstinence, et chez les sujets avancés en âge; il est, au contraire, plus considérable après les repas, à la suite d'hémorragies, chez des enfants, et chez la femme pendant la grossesse. Leur augmentation, dans ces cas, et surtout après le repas, constitue ce qu'on a nommé la *leucocytose physiologique*. Enfin, dans certains départements du système vasculaire, les globules blancs sont plus abondants: telles sont les veines de la rate et du foie. Ce fait est très important pour établir la physiologie de ces organes.

b) Les *globules rouges* ou *hématies* (Gruithuisen, Ch. Robin) forment la plus grande masse du cruor (300 à 700 rouges pour 1 blanc). On a calculé que 1 litre de sang en contient 5 trillions, ce qui porte à 25 trillions leur masse totale.

La découverte des globules du sang appartient à Swammerdam (sur la grenouille), à Malpighi (sur le hérisson). C'est Leeuwenhoek qui les a vus le premier chez l'homme<sup>1</sup> (1773). Cette découverte ne fit pas grand bruit,

<sup>1</sup> Swammerdam, médecin et naturaliste hollandais (1637-1680), célèbre par ses découvertes microscopiques (globules du sang, métamorphoses des insectes, etc.) qui n'ont été publiées que cinquante-huit ans après sa mort, dans le grand ouvrage intitulé: *Biblia naturæ*, 1738.

Malpighi, anatomiste italien (1628-1694), professa successivement à Bologne, à Pise, à Rome. Il fut des premiers à employer le microscope pour l'étude des organes animaux et végétaux, et pour l'embryologie. Ses observations les plus célèbres portent sur la circulation dans les capillaires, sur la coagulation du

et au commencement de ce siècle Magendie lui-même ne croyait pas à leur existence, pensant qu'on avait pris des petites bulles d'air pour des globules. En 1835, Giacomini, de Pise, niait encore la présence de globules dans le sang.

Pour arriver à une *numération* exacte des globules rouges du sang on calcule le nombre qu'en renferme 1 millimètre cube. Un procédé usité à cet effet est celui de Vierordt modifié par Potain et plus récemment par Malassez et par Hayem. Il consiste à diluer une quantité déterminée de sang dans une quantité également déterminée d'eau et à recueillir une portion du mélange dans un tube capillaire, puis à compter à l'aide d'un micromètre gradué, sous le microscope, le contenu d'une portion de ce tube<sup>1</sup>.



FIG. 58. — Globules rouges du sang humain, vus à plat.

Les *globules rouges* ou globules sanguins proprement dits sont chez l'homme de petits disques biconcaves, c'est-à-dire excavés sur leurs deux faces et épais sur leurs bords (fig. 58 et 60): leur diamètre est d'environ 1/150 de millimètre et leur épaisseur de 1/600; en millièmes de millimètre, unité employée en micrographie et désignée par la lettre  $\mu$ , ils ont en diamètre de 6 à 7  $\mu$ , et en épaisseur environ 2  $\mu$ .

sang, sur la structure de la peau (*couche de Malpighi* de l'épiderme), du poulmon, du rein (*glomérules de Malpighi*), de la rate, de la langue, etc.

Leeuwenhoek (1638-1723) Célèbre naturaliste hollandais; il occupait, à Delft, les modestes fonctions de gardien de la porte des Échevins, et, construisant lui-même des microscopes excellents pour l'époque, il s'en servait pour examiner, pour ainsi dire en amateur, tout ce qui tombait sous sa main. Aussi ses découvertes furent-elles innombrables, dans ce monde des infiniments petits inconnu jusque-là (infusoires, globules du sang, cils vibratiles, fibres nerveuses, fibres musculaires, spermatozoïdes, etc., etc.).

<sup>1</sup> L'appareil de M. Malassez consiste en un tube capillaire très fin (*compte-globules*), dans lequel on fait arriver un mélange de sang et de sérum artificiel, et dans lequel on a marqué le rapport entre le volume du liquide et la longueur du trajet qu'il occupe dans ce tube. On peut donc, après avoir examiné avec un oculaire quadrillé et compté les globules qui se trouvent dans une certaine longueur, arriver au chiffre qui doit se trouver dans 1 millimètre cube. Ce chiffre est plus grand pour le sang des veines que pour celui des artères, et en général d'autant plus élevé dans les veines que le sang contenu dans ces dernières a perdu plus ou moins d'eau par les exosmoses qui se sont opérées (par exemple, au niveau des capillaires de la peau). (Malassez, *Archives de physiologie*, 1874). — Hayem et Nachet (*Compt. rendus Acad. des sciences*, avril 1875) ont proposé un appareil et un manuel opératoire plus simple et exempt des erreurs qui se produisent avec tout appareil se remplissant par capillarité. Ne pouvant entrer ici dans le détail des manœuvres de la numé-

Au point de vue histologique, les globules rouges sont de petites masses de protoplasma associé à des composés chimiques particuliers (V. plus loin, *Globuline, Hématine, etc.*); vus par la tranche, ces éléments se présentent sous la forme d'un biscuit rétréci en son milieu et renflé à ses deux extrémités (fig. 60, *c*): vus de face, ils représentent des disques de couleur jaunâtre plus foncés sur les bords, plus transparents vers le centre (fig. 60, *a*). On ne voit pas de noyau ni d'enveloppe, mais cependant une couche limite

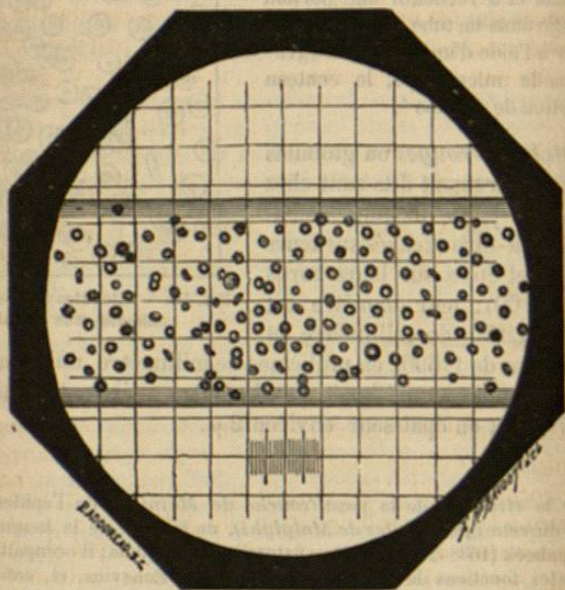


FIG. 59. — Tube capillaire de Malassez examiné au microscope avec l'oculaire quadrillé (V. la note ci-dessous).

très mince qui semble indiquer une membrane enveloppante, ou tout au moins une zone limite plus condensée, et de composition différente de celle du corps même des globules: on a cru démontrer l'absence de membrane en étudiant les déformations que ces globules subissent par l'action d'une température de 40 à 45°, ou par

tion des globules, nous donnons seulement dans la figure ci-jointe (fig. 59) l'aspect d'une certaine étendue du tube capillaire (méthode Malassez) examinée au microscope avec l'oculaire quadrillé, et nous indiquons le résultat le plus général au point de vue physiologique: M. Malassez donne, comme chiffre normal que fournit le sang du doigt d'un sujet sain, le nombre de 4.300.000 (par millimètre cube); M. Hayem donne le nombre de 5.000.000.

celle du carbonate de potasse (Dujardin): dans ces circonstances les globules se dépriment et se retournent en forme de bonnet ou de coupe, dont les bords peuvent se souder régulièrement, ou par des expansions sarcodiques isolées. Mais, dans les mêmes circonstances, on observe les mêmes phénomènes sur le corps des infusoires (Rouget), auquel on ne peut refuser une enveloppe, ou tout au moins une *couche corticale* (*Hautschicht* des Allemands). Enfin, par l'action de l'acide picrique ou chromique, de l'alcool, et par la coloration au sulfate de rosaniline, on observe très nettement une membrane « qui est formée par une substance très ductile et molle comme une pâte, puisqu'elle se laisse traverser par des corps et se referme sur eux sans conserver aucune trace de leur passage ».



FIG. 60. — Globules sanguins d'un homme adulte\*.



FIG. 61. — Globules du sang de grenouille.

Les globules rouges s'altèrent très facilement; la moindre évaporation, la moindre concentration du liquide dans lequel ils nagent leur donnent par exosmose une forme ratatinée, *crênelée* (fig. 60, *e*) sur les bords, et qui, parfois, par ses saillies vues de face, peut faire croire à la présence d'un noyau (fig. 60, *f*).

La forme, les dimensions, et même la structure des globules rouges ne sont pas les mêmes pour les différents animaux ni pour un même animal aux diverses époques de son développement. Dans

\* Ranvier, *Recherches sur les éléments du sang* (*Archives de physiol.* 1875, p. 9). La membrane des globules rouges se laisse traverser par des corpuscules et se referme exactement après leur avoir donné passage: au moyen de l'alcool étendu de deux fois son volume d'eau, on détermine souvent l'issue des noyaux contenus dans les globules rouges de la grenouille. Ces globules se transforment alors en vésicules dont la membrane limitante est très nettement dessinée. Cette membrane se colore vivement par le rouge d'aniline, et, lorsque le noyau du globe l'a traversée, on ne peut y observer aucune perte de substance comme trace de son passage.

\* a, Globule rouge ordinaire ayant la forme d'un disque; — b, globule blanc; — c, globules rouges vus de côté, appuyés sur leurs bords; — d, globules rouges empilés comme des écus; — e, globules rouges anguleux, l'exosmose leur ayant fait perdre une partie de leur contenu, d'où l'aspect ratatiné; — f, globules rouges ratatinés (à bords mamelonnés; leur face présente un soulèvement semblable à un noyau); — g, ratatinement plus complet; — h, dernier degré de ratatinement. Grossiss.. 280 diam. (Virchow).

tout ce qui précède, nous n'avons fait allusion qu'aux globules rouges de l'homme adulte. Les *globules du fœtus humain* se distinguent de ceux de l'adulte par l'existence d'un noyau, et ce n'est que vers la seconde moitié de la vie intra-utérine qu'ils perdent cet élément. Les *globules sanguins des mammifères adultes* ressemblent à ceux de l'homme comme forme, mais en différent comme dimensions; ceux du cochon d'Inde, de la chèvre, du mouton, du cheval, du lapin sont plus petits; ceux du chien, à peu près égaux; ceux de l'éléphant, beaucoup plus volumineux (9  $\mu$ ). Seuls parmi les mammifères, les *camélides* ou *caméliens* (chameau et lama) présentent des globules elliptiques et toujours, du reste, sans noyau. Les oiseaux présentent des globules plus gros que ceux des mammifères, elliptiques, longs de 10 à 18  $\mu$ , large de 5 à 9  $\mu$ , biconvexes avec des traces de noyau. Les globules des *reptiles* et des *amphibies* (fig. 61) sont volumineux, elliptiques, biconvexes, avec un noyau très visible; il en est de même pour la généralité des poissons. Pour donner une idée des différences de dimensions, il nous suffira de citer le chiffre suivant: les globules rouges de l'homme mesurent 1/150 (7  $\mu$ ) de millimètre, ceux du protée 1/12 (80  $\mu$ ).

Au point de vue physiologique, les globules rouges sont remarquables par leur élasticité; ils sont *faiblement et parfaitement* élastiques: la moindre pression les déforme, mais ils reviennent facilement à leur forme primitive: en effet, en examinant la circulation au microscope (sur le mésentère de la grenouille, par exemple), on les voit parfois se plier en deux ou se mettre à cheval sur l'éperon résultant de la bifurcation d'un vaisseau.

Au point de vue chimique, les globules rouges présentent ce fait intéressant qu'ils contiennent, comme matières minérales, des sels autres que ceux du liquor. Ainsi ils renferment surtout des phosphates et des sels de potasse, tandis que le liquor contient surtout des carbonates et des sels de soude. Nous avons déjà indiqué, comme une des propriétés générales de la cellule vivante (V. première partie, p. 10), cette faculté de maintenir sa composition propre malgré les lois de l'endosmose et de la diffusion.

Si, après cette indication particulière, si intéressante au point de vue de la nutrition, de la vie du globule sanguin, nous passons à l'étude des résultats généraux fournis par l'analyse chimique, nous pouvons dire que le globule rouge est formé d'un stroma ou *globuline*, renfermant une matière colorante dite *hémoglobine*. En effet, par l'action de l'eau, les globules rouges se décolorent et semblent bientôt disparaître: en réalité, la matière colorante (hémoglobine), s'est dissoute dans l'eau, et le corps même du globule (*stroma, globuline*) est demeuré à l'état incolore. Donc le globule est

formé d'un stroma (réseau protoplasmique), chargé d'hémoglobine. Ajoutons que, l'action de l'eau continuant, le stroma lui-même finit par s'y dissoudre et disparaître.

A. *Globuline*. — Le stroma (Rollet) ou globuline (Denis, de Commercy) est une matière albuminoïde particulière. Dans la constitution du globule, le stroma est à l'hémoglobine comme 1 à 13. On se procure de la globuline en plaçant une certaine quantité de globules frais dans un nouet de linge fin et en l'arrosant d'eau qui entraîne l'hémoglobine. La globuline renferme une certaine quantité de sels de potasse et de soude (potasse 60/0, soude 0,6).

B. *Hémoglobine*. — L'hémoglobine ou *hématocristalline*, substance très importante pour le physiologiste, est une matière albuminoïde cristallisable, chez l'homme et chez certains animaux seulement (rat, chien, cochon d'Inde), et remarquable en ce que le fer est un élément important dans sa composition (l'hémoglobine renferme 0,42 pour 100 de fer). L'oxygène qui se fixe sur les globules, dans la respiration, se combine avec l'hémoglobine et forme un oxyde appelé oxy-hémoglobine. Le fer paraît

jouer un rôle essentiel dans cette combinaison, 100 grammes d'hémoglobine peuvent absorber 130 centimètres cubes d'oxygène. On se procure l'hémoglobine cristallisée en ajoutant quelques gouttes d'éther à une petite quantité de sang contenue dans une éprouvette. L'éther détruit les globules et met l'hémoglobine en liberté. Celle-ci, d'abord dissoute dans l'éther, cristallise ensuite, par suite de l'évaporation de ce liquide. Les *cristaux* d'hémoglobine sont rhom-

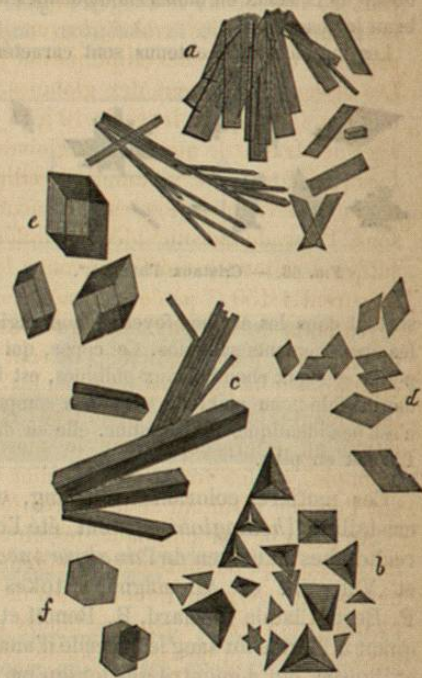


FIG. 62. — Cristaux d'hémoglobine\*.

\* a et d, de l'homme; — b, du cochon d'Inde; — c, du chat; — e, du hamster; — f, de l'écureuil (d'après Frey).

boédriques chez l'homme, tétraédriques chez le cochon d'Inde, hexaédriques chez l'écureuil (V. fig. 62).

*Dérivés de l'hémoglobine.* — En faisant agir divers réactifs sur l'hémoglobine, on obtient des dérivés et des combinaisons cristallisant dans des formes régulières : ce sont l'hématine et l'hématoïdine.

1° L'hémine. En faisant agir sur du sang desséché du chlorure de sodium et de l'acide acétique cristallisable, on obtient un nouveau corps, l'hémine (ou chlorhydrate d'hématine) (fig. 63), qui se présente sous forme de cristaux en tables rhomboïdales aplaties, à angles aigus, et d'un brun intense.



FIG. 63. — Cristaux d'hémine\*.

Les cristaux ainsi obtenus sont caractéristiques du sang. C'est bien du chlorhydrate d'hématine, car on est parvenu récemment à les produire en mettant simplement en présence l'hématine et l'acide chlorhydrique.

2° Enfin, l'hématoïdine est un dérivé de l'hématine, dérivé qui se produit spontanément dans l'économie, surtout dans les anciens foyers hémorragiques, et en général dans tous les épanchements sanguins. Ce corps, qui se présente sous forme de très petits cristaux rhomboïdaux obliques, est identique à la matière colorante de la bile : au point de vue de la composition chimique, l'hématoïdine n'est pas identique à l'hématine, elle en diffère par 1 de fer en moins et 1 d'eau en plus.

Ces matières colorantes du sang, et particulièrement l'hémato-cristalline (*hémoglobine*), ont été l'objet de très intéressantes recherches au moyen de l'analyse spectrale. Hoppe Seyler (1862) et Valentin, en Allemagne; Stokes et Sorby en Angleterre; P. Bert, Claude Bernard, R. Benoit et Fumouze, en France, appliquant à l'étude du sang le procédé d'analyse découvert par Kirchhoff et Bunsen, ont démontré que lorsqu'on regarde à travers un prisme (spectroscope) une solution de sang artériel très étendue, éclairée par la lumière solaire ou par la flamme d'une lampe, au lieu d'observer le spectre lumineux ordinaire, on voit ce spectre interrompu par de larges bandes obscures placées comme l'indique la figure 64. C'est ce qu'on appelle le spectre d'absorption du sang; il est caractérisé essentiellement par deux bandes obscures dans la partie jaune verte (B, fig. 64), et de plus par l'extinction, à peu près complète, de tous les rayons les plus réfringibles à partir du bleu ou de l'indigo (fig. 64, C).

\* Obtenus artificiellement du sang par l'action du sel de cuisine et de l'acide acétique (chlorhydrate d'hématine). Grossiss., 800 diam. (Virchow).

Chose remarquable, le sang veineux, ou celui qui a perdu son oxygène, ou les solutions d'hémoglobine que l'on a désoxygénées par un agent réducteur quelconque, présentent un spectre différent. L'intervalle qui sépare les deux bandes est obscurci, ou, en d'autres termes, les deux bandes noires se fondent en une seule, dite *bande de réduction de Stokes* (fig. 64, E); en même temps, l'ombre qui recouvre la partie la plus réfrangible a reculé vers le violet, de sorte qu'il y a plus de transparence pour les rayons bleus.

Il y a donc un spectre du sang oxygéné et un spectre du sang désoxygéné, de l'hémoglobuline oxygénée et de l'hémoglobuline réduite.

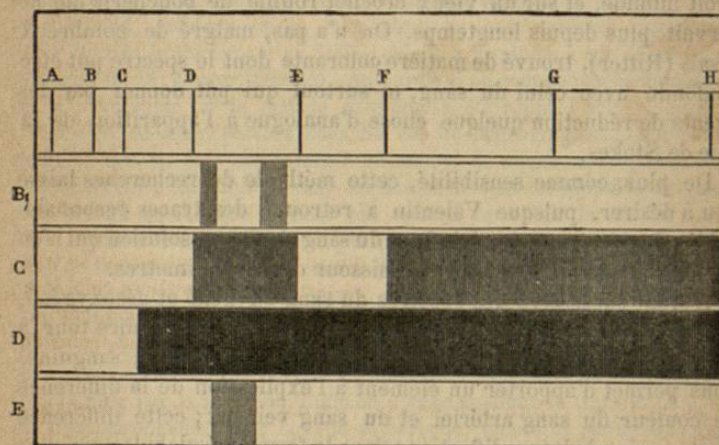


FIG. 64. — Absorption de certaines régions du spectre par des dissolutions sanguines\*.

Claude Bernard et Hoppe Seyler ont montré, à peu près en même temps, que l'oxyde de carbone, qui chasse avec tant d'énergie l'oxygène du sang, prend sa place, et combiné avec l'hémoglobine, donne un spectre (spectre du sang oxycarboné) très analogue au spectre oxygéné, si ce n'est que les deux bandes noires sont un peu déplacées vers la droite. Mais ce que ce spectre a de caractéristique, c'est qu'il ne subit aucun changement par l'action des agents réducteurs; en d'autres termes, le spectre de l'hémoglobine

\* A, Raies de Fraunhofer; — B, sang artériel oxygéné (deux bandes d'absorption entre les raies D et E de Fraunhofer, c'est-à-dire dans le jaune du spectre).

C, Sang artériel en dissolution plus concentrée (absorption de tous les rayons à partir de la raie F, c'est-à-dire du bleu).

D, Dissolution plus concentrée encore; — E, sang veineux, sang réduit; raie de réduction près de la raie D de Fraunhofer (c'est-à-dire dans le jaune).

oxycarbonée ne peut plus donner, comme celui de l'hémoglobine oxygénée, la raie de réduction Stokes. Il est facile de comprendre l'intérêt de ces recherches et leur application, par exemple, à l'analyse du sang d'une personne asphyxiée par les vapeurs du charbon, par l'oxyde de carbone<sup>1</sup>. A un point de vue analogue, il est très intéressant de constater que ces bandes caractéristiques s'obtiennent encore en traitant par l'eau des taches de sang même très anciennes, laissées sur du fer, du bois, du linge, etc., ou bien encore avec du sang déjà décomposé et putréfié. Valentin a très nettement constaté la présence du sang sur une ancienne planche de table de dissection qui était restée sans usage depuis trois ans dans un endroit humide, et sur un vieux crochet rouillé de boucherie qui ne servait plus depuis longtemps. On n'a pas, malgré de nombreux essais (Ritter), trouvé de matière colorante dont le spectre pût être confondu avec celui du sang, ni surtout qui pût donner par les agents de réduction quelque chose d'analogue à l'apparition de la raie de Stokes.

De plus, comme sensibilité, cette méthode de recherches laisse peu à désirer, puisque Valentin a retrouvé des traces reconnaissables du spectre caractéristique du sang dans une solution qui n'en contenait que 1/7000 sous une épaisseur de 15 millimètres.

L'étude successive des spectres du sang oxygéné et désoxygéné, de l'hémoglobine réduite, spectres que l'on peut reproduire tour à tour en enlevant et en rendant l'oxygène à la solution sanguine, nous permet d'apporter un élément à l'explication de la différence de couleur du sang artériel et du sang veineux; cette différence n'est pas due à des modifications dans la forme des globules, puisque ces phénomènes de coloration, corrélatifs aux différences des spectres du sang artériel et du sang veineux, s'établissent, comme eux, grâce à des alternatives d'oxydation et de réduction de l'hémoglobine, de sorte que le sang artériel et le sang veineux représentent les deux états d'oxydation et de réduction de la matière colorante du sang.

Le rôle physiologique des globules rouges consiste essentiellement à se charger d'oxygène qu'ils vont ensuite distribuer aux tissus; ces globules sont des réceptacles, des appareils condensateurs de ce gaz. Lorsqu'ils traversent les capillaires du poumon, ils empruntent à l'air venu de l'extérieur son oxygène, qu'ils vont ensuite transporter vers les différents éléments de l'économie, et surtout vers ceux

<sup>1</sup> V. Cl. Bernard, *Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie*, Paris, 1875.

E. Cherbuliez, *Etudes spectroscopiques du sang oxycarboné, applications médico-légales*, Paris, 1890, et *Annales d'hygiène*.

qui consomment beaucoup de ce gaz, c'est-à-dire vers les cellules nerveuses, les nerfs et les muscles. En échange de l'oxygène qu'ils emploient, ces éléments rendent une quantité à peu près équivalente (V. *Respiration*) d'acide carbonique, qui se dissout dans le liquor du sang (se combinant avec les sels du sérum; V. plus loin).

Les globules rouges du sang, et, par suite, la totalité du sang préside donc aux phénomènes respiratoires, et la mort qui survient après une abondante hémorragie est causée essentiellement parce que l'oxygène n'est plus distribué en quantité suffisante aux tissus et spécialement aux éléments anatomiques du système nerveux central. A ce point de vue, la transfusion du sang consiste donc uniquement en un *nouvel apport de globules sanguins*. Ainsi cette opération ne répond ni aux espérances exagérées (rajeunissement, guérison de la folie, etc.), ni aux craintes démesurées (interdite par le Parlement en 1668) qu'elle a inspirées à son début (dix-septième siècle; Lower, Denis<sup>1</sup>). Aujourd'hui on compte par centaines les cas d'hémorragie où le malade exsangue a été rappelé à la vie par la transfusion du sang, surtout dans les cas de métrorragies. Les globules sanguins doivent être empruntés à un animal de même espèce, sans quoi l'effet cherché n'est point obtenu, car non seulement les globules sanguins d'un animal quelconque ne sont pas aptes à entretenir la vie des tissus d'un animal d'espèce différente, pas plus que les spermatozoïdes du premier ne seraient propres à féconder l'ovule du second, mais il faut noter de plus, comme l'a démontré Hayem, que les globules d'un animal sont le plus souvent détruits dans le sérum d'un animal d'une autre espèce<sup>2</sup>. Il suffit, du reste, d'une très petite quantité de sang transfusé pour ramener les échanges vitaux et permettre à l'opéré de reconstituer sa masse primitive de sang par la nutrition. Enfin on a aussi appliqué la transfusion à des cas d'empoisonnement par l'oxyde de carbone, agent qui paralyse le globule rouge. Et, en effet, elle a été couronnée de succès (Rouget, Laborde), car on remplace alors des globules inutiles par des globules propres aux échanges nutritifs et respiratoires.

<sup>1</sup> Lower (R.), anatomiste anglais (1630-1691), connu surtout par ses travaux sur la structure du cœur.

Denis, médecin et philosophe du XVIII<sup>e</sup> siècle, mort en 1704.

<sup>2</sup> Hayem (*Acad. des sciences*, 5 oct. 1888) a montré que l'introduction d'un sang étranger dans les vaisseaux d'un animal donne lieu à une action réciproque des deux sangs l'un sur l'autre, se traduisant par la formation de petits caillots: ceux-ci sont constitués par une partie centrale, amas d'hématoblastes (voir ci-après), et une partie périphérique, composée d'hématies conglomerées. Ces caillots produisent des hémorragies par embolies. En même temps il y a presque toujours une destruction active des hématies par dissolution de l'hémoglobine. Les diverses formes données par l'auteur à ses expériences démontrent qu'il est impossible de rapporter ces effets au ferment de la coagulation fibrineuse, non plus qu'à la nature des matières albuminoïdes ou des sels. Il s'agit peut-être de l'action de substances chimiques en quelque sorte individuelles (spécifiques) qui seraient variables selon les espèces de sang et qui agirait sur les éléments anatomiques, particulièrement sur des hématoblastes.



Les globules rouges sont donc ce qu'on pourrait appeler l'organe du sang. Quand ces globules sont en trop grande proportion, il y a alors une sorte de pléthore, la circulation est gênée et les congestions se font facilement; on trouve quelque chose d'analogue dont le choléra, mais par un mécanisme tout autre: la déperdition énorme des liquides par l'intestin rend le sang très épais; les globules s'agglutinent et le rendent poisseux. Dans toutes les maladies chroniques et dans la plupart des maladies aiguës, quand la diète dure longtemps, on observe une diminution notable dans l'organe du sang. Cette diminution est proportionnelle à la durée de la maladie. Dans l'anémie, dans la chlorose, elle atteint son maximum, et l'on a vu des cas de chlorose où le crueur ne formait plus que le quart de la masse sanguine; il y a alors ce que l'on appelle *hydrémie* (vu l'augmentation relative de la partie aqueuse du sang) et qui serait mieux nommé *acruorie*.

Sous le rapport de leur existence propre, les globules du sang présentent des phases d'existence: les premiers globules rouges de l'embryon proviennent des cellules du feuillet blastodermique moyen d'après la plupart des auteurs<sup>1</sup>; chez l'adulte, cette question a été l'objet de très nombreuses recherches; l'opinion la plus ancienne et à laquelle se rattachent les recherches de Sappey<sup>2</sup>, est que les globules rouges proviennent de la transformation des globules incolores, des globules blancs de la lymphe.

Tout démontre en effet, aujourd'hui, que les globules rouges proviennent d'une transformation des globules blancs; mais cette transformation n'est pas directe, elle a lieu par des processus compliqués et qui ne sont pas les mêmes pour les globules rouges à noyaux (animaux ovipares) et pour les globules rouges non nucléés (animaux vivipares).

En effet, il faut d'abord signaler dans le sang la présence d'un élément figuré qui est intermédiaire au globule blanc et au globule rouge, et que Hayem, qui en a fait une étude complète, a nommé *hématoblaste*. Ces éléments, qui existent dans le sang en circulation, sont colorés par la présence d'une quantité plus ou moins grande d'hémoglobine, mais ils se distinguent des globules rouges par leurs petites dimensions<sup>3</sup>, leur forme

<sup>1</sup> 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*. (*Etudes histologiques et morphologiques sur les annexes des embryons d'oiseaux*. *Journal de l'anat. et de la physiol.*, mai 1884).

<sup>2</sup> G. Sappey, *Les éléments figurés du sang dans la série animale*, Paris, 1881.

<sup>3</sup> A peine sortis des vaisseaux les hématoblastes se déforment, présentent une surface épineuse et, se fusionnant entre eux, se réduisent en des amas, en forme de plaques irrégulières. Pour pouvoir les étudier, il faut les fixer

peu régulière (ovales avec prolongement effilé), et par leur extrême altérabilité. Enfin, fait essentiel pour l'étude qui va suivre, les hématoblastes des ovipares possèdent un noyau (comme les hématies de ces animaux); les hématoblastes des vivipares n'en possèdent pas.

Or quand on fait subir à des animaux des pertes de sang considérables de manière à nécessiter une rapide reproduction des hématies, on constate que cette régénération se fait à l'aide du développement progressif et de plus en plus complet des hématoblastes, 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 hématoblastes se présentent comme des éléments de 1 à 3  $\mu$ , remarquables par leur grande altérabilité, et qui, en se développant, deviennent plus colorés et se comportent comme des globules rouges dont ils ne 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 hématoblastes arrêtés dans les diverses formes de leur évolution en globules rouges.

Ainsi nous pouvons considérer comme acquis un premier résultat, c'est que les globules rouges du sang proviennent de l'évolution ultime des hématoblastes: les globules rouges nucléés des ovipares proviennent d'hématoblastes à noyau; les globules rouges non nucléés des vivipares proviennent d'hématoblastes sans noyau. Il ne resterait donc plus qu'à déterminer l'origine des hématoblastes eux-mêmes. Disons-le de suite, les hématoblastes proviennent des globules blancs, mais non par transformation simple et directe de ceux-ci: le processus qui leur donne naissance est compliqué, et diffère chez les ovipares et les vivipares, en raison même de ce fait que les premiers ont des hématoblastes nucléés, et les seconds des hématoblastes non nucléés.

L'origine des hématoblastes nucléés des ovipares nous a été révélée par les recherches de Pouchet<sup>4</sup>. Cet auteur a constaté que les globules blancs

soit par l'action de l'acide osmique, soit par une dessiccation rapide, soit en faisant les observations à une température très basse (à 0° ils se conservent très bien). Cette grande altérabilité des hématoblastes explique comment ces éléments ont échappé si longtemps aux recherches des micrographes; 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 fibrineux qui enserme 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'hématoblastes, lesquels se sont transformés en corpuscules irréguliers, anguleux, étoilés, de la surface desquels partent des fibrilles extrêmement fines, entre-croisées en réseau (voy. fig. 65, ci-après, p. 201). La coagulation du sang aurait donc pour origine les actes physico-chimiques qui accompagnent la décomposition d'un des éléments figurés du sang. Voir Hayem, *Du sang et de ses altérations anatomiques*, Paris, 1889.

<sup>4</sup> G. Pouchet, *Evolution et structure des éléments du sang chez le triton* (*Journ. de l'anat. et de la physiol.*; janvier, 1889).