

ques), ils se ratatinent en perdant de l'eau, et dans les solutions plus faibles (*hypotoniques*), ils se gonflent en absorbant de l'eau, et commencent à laisser diffuser leur hémoglobine quand la proportion du NaCl tombe vers 0,5 p. 100 (*valeur limite isotonique*, voy. p. 40). On voit que la concentration moléculaire du sérum sanguin est notablement plus élevée que celle d'une solution limite; aussi pour l'abaisser à cette valeur limite, il faudrait diluer le sérum de 50 à 80 p. 100 d'eau.

Si, dans les transfusions de sérum artificiel, il convient d'employer des solutions salines isotoniques avec le plasma sanguin, il ne s'ensuit pas cependant que des désordres graves doivent résulter forcément de l'injection de solutions à pression osmotique plus forte ou plus faible. En effet, si la solution est *hypotonique*, le sang se trouve dilué par l'eau; mais aussitôt les tissus lui enlèvent cet excès d'eau et lui cèdent de leurs sels, de manière à rétablir la pression osmotique à sa valeur normale. Si la solution est *hypertonique*, un phénomène inverse a lieu: l'équilibre est immédiatement rétabli par un apport d'eau des tissus au sang dont la masse augmente; il se produit ainsi une *pléthore hydrique* qui n'est que transitoire, parce que l'eau et le sel en excès ne tardent pas à être éliminés par les divers émonctoires et surtout par les reins. De la sorte, la pression osmotique du sang ne subit que des fluctuations passagères et revient toujours à sa valeur physiologique (comparez avec phénomènes d'absorption décrits p. 142).

**2° Rôle spécial des éléments figurés du sang.** — Examinons séparément ce qui revient à ce point de vue aux globules rouges et aux globules blancs.

**A. GLOBULES ROUGES.** — Les globules rouges n'ont pas d'autre rôle que celui de transporter dans toutes les parties du corps l'oxygène pris à l'air atmosphérique au niveau des alvéoles pulmonaires. Ce sont les convoyeurs de l'oxygène. Cette fonction spéciale, ils la doivent au pigment rouge qu'ils renferment, à l'hémoglobine qui jouit de la propriété de former avec l'oxygène une combinaison lâche, facilement dissociable, l'oxyhémoglobine.

**B. GLOBULES BLANCS.** — Les fonctions des globules blancs sont multiples et doivent être envisagées à plusieurs points de vue.

**a. Irritabilité des leucocytes et leur rôle dans la nutrition.** — Le leucocyte, véritable petit organisme unicellulaire, analogue à une amibe, présente tous les caractères de la vie. Il est irritable et contractile; par les *pseudopodes* qu'il émet, il change de forme, se déplace, englobe et digère les particules solides qui viennent le toucher. C'est grâce à leurs *mouvements amiboïdes* que les leucocytes peuvent traverser les parois des capillaires (*diapédèse*) et pénétrer dans les lacunes du tissu conjonctif (voy. fig. 70, p. 223). Tandis que les globules rouges dans les conditions normales, restent toujours dans les vaisseaux sanguins, les globules blancs au contraire peuvent en sortir, émigrer dans les interstices des tissus (*cellules migratrices*); la diffluence particulière de leur corps protoplasmique leur permet en effet de se déformer et de traverser en s'effilant les plus fins pertuis. De la sorte, ils constituent les *intermédiaires morphologiques* qui établissent les échanges nutritifs entre le sang et les tissus. Les leucocytes ont leurs mouvements amiboïdes activés par la chaleur jusqu'à une certaine température; à 40° ils sont tétanisés et rentrent leurs pseudopodes; à 50° ils sont tués. La présence de l'oxygène est indispensable à la production de leurs mouvements; dans une préparation recouverte d'une lamelle, les leucocytes se dirigent tous vers les bords de la lamelle ou autour des bulles d'air, c'est-à-dire vers l'oxygène.

**b. Rôle de défense. Phagocytose.** — Les globules blancs (les mononucléaires et polynucléaires) jouent un rôle capital comme défenseurs de l'organisme contre les corps étrangers; ils représentent à ce point de vue un *corps de police* admirablement constitué et fortement armé pour la lutte. D'abord, ils ont un flair particulier qui leur permet de distinguer de loin les substances qu'ils aiment et vers lesquelles ils sont attirés, de celles qui leur répugnent et qu'ils fuient (*sensibilité chimiotactique*, voy. p. 63). Arrivés sur l'intrus, il s'en emparent, l'englobent par leurs pseudopodes et le noient dans leur masse, en se mettant à plusieurs s'il est trop gros; et comme leur substance protoplasmique est douée de propriétés digestives très fortes, le corps

englobé se désagrège peu à peu et finit par disparaître entièrement ; il a été mangé et digéré par le *phagocyte* (fig. 34). Ainsi disparaissent les corps solides qui ont pénétré avec effraction dans l'organisme (par exemple, les fils à ligature de catgut employés en chirurgie), les cellules vieilles et dégénérées, les

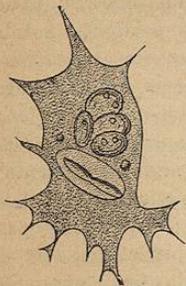


Fig. 34.

Leucocyte de grenouille (phagocyte) contenant une bactérie en partie digérée (d'après METCHNIKOFF).

organes comme la rate. Du sort de la lutte dépend la guérison ou la mort de l'organisme infecté, et lorsque celui-ci sort victorieux de l'épreuve, il le doit à ses phagocytes qui ont réussi à dévorer les envahisseurs. Après la victoire, les leucocytes sont devenus mieux armés pour une nouvelle lutte ; ils se sont aguerris. De la sorte, une seconde infection de l'organisme par une même espèce microbienne peut être devenue impossible ; on dit alors que l'animal est *vacciné* ou qu'il a acquis l'*immunité*.

Tels sont les phénomènes de la *phagocytose* dont nous devons la connaissance aux beaux travaux de METCHNIKOFF. On remarquera qu'il ne s'agit là que d'un cas particulier de la *digestion intracellulaire* (voy. p. 33).

c. *Rôle dans la formation des anticorps.* — C'est encore au leucocyte qu'il faut attribuer, d'après METCHNIKOFF, la formation de certains contrepoisons dans le sang. Il arrive en effet qu'après

une infection de l'organisme par certaines bactéries virulentes, et d'une manière générale par tout élément cellulaire possédant quelque toxicité, et capable d'être digéré par les phagocytes, le sérum sanguin acquiert des propriétés *antitoxiques* nouvelles et *spécifiques* contre l'élément envahisseur (*sérums bactéricides*, *sérums cytotoxiques*). Or la substance antitoxique serait un produit d'excrétion du leucocyte et la conséquence de la digestion intracellulaire.

Le mécanisme d'action des anticorps spécifiques est éclairé d'une vive lumière par les travaux de J. BORDET sur les *sérums hémolytiques*. Lorsqu'on injecte à un animal d'une espèce déterminée des globules rouges d'une autre espèce, son sérum ne tarde pas à acquérir la propriété de dissoudre les globules de l'espèce étrangère ; ce pouvoir hémolytique est beaucoup plus énergique que le pouvoir hémolytique du sérum normal, et de plus est *spécifique*, c'est-à-dire ne se montre que sur les globules de l'espèce animale qui a fourni le sang injecté. En outre, ces globules avant de se dissoudre sont fortement *précipités et agglutinés* par le sérum spécifique. Soit un lapin injecté de sang de cobaye dans la cavité péritonéale. Les phagocytes du lapin s'emparent bientôt des hématies étrangères et les digèrent, et, au bout de quelques jours, le sérum de l'animal présente à un haut degré le pouvoir d'agglutiner et de dissoudre *in vitro* les globules du cobaye, pouvoir qu'il ne possède guère à l'état normal ; il agit de même *in vivo* ; aussi est-il devenu fortement toxique pour le cobaye. Le sérum hémolytique perd son action globulicide par un chauffage à 55° et ne conserve que la propriété agglutinante, mais il redevient actif si on l'additionne de sérum pris à un animal neuf (n'ayant subi aucune injection) et inactif par lui-même ; c'est-à-dire que, dans ce cas, deux sérums inactifs isolément acquièrent par leur mélange un pouvoir hémolytique prononcé. En outre, des globules déposés dans un sérum spécifique rendu inactif par un chauffage à 55°, puis enlevés de ce milieu et lavés à l'eau salée, se dissolvent quand on les dépose dans un sérum neuf, non hémolytique.

Voici maintenant la théorie de ces phénomènes. L'hémolyse est le résultat de l'action combinée de deux substances. L'une *thermo-*

labile, destructible à 55°, existe dans tous les sérums normaux ou spécifiques : c'est l'*alexine*, substance qui agit à la manière des ferments et qui dissout non seulement les globules, mais aussi divers microbes. L'autre, *thermostabile*, affaiblie seulement par une température élevée de 60 à 70°, prend naissance dans le corps de l'animal immunisé, c'est-à-dire injecté de globules; elle est spécifique et sa nature dépend de l'espèce de globules injectée; à elle seule, elle n'a aucune action destructive, mais elle possède la propriété de se fixer d'une manière élective sur les globules qui y correspondent : ceux-ci deviennent alors attaquables par l'alexine; en un mot, elle sensibilise les globules vis-à-vis de l'alexine, d'où le nom de *substance sensibilisatrice* que lui a donné BORDET. D'après cet auteur, elle agirait sur les globules à la manière d'un mordant sur une étoffe, rendant les hématies aptes à prendre l'alexine, comme le mordantage rend l'étoffe apte à prendre la teinture. Pour EHRLICH, ce serait une *substance intermédiaire*, ayant d'une part de l'affinité pour les globules et d'autre part pour l'alexine.

Ce qui vient d'être dit pour les hématies, s'observe de même avec certains microbes et d'autres éléments cellulaires amenant une réaction de défense dans l'organisme infecté. Toujours la dissolution de l'élément sensible (*hémolyse, bacteriolyse, cytolyse*) est le résultat de l'action combinée de ces deux substances, l'alexine et la substance sensibilisatrice; cette dernière seule est spécifique et représente le résultat de l'immunisation de l'animal contre un élément cellulaire déterminé.

Il faut encore ajouter que les réactions de défense de l'organisme ne se montrent pas seulement contre les *éléments figurés*, mais aussi contre certains *poisons solubles* : et le mécanisme en est encore ici dans l'activité leucocytaire, d'après METCHNIKOFF. Ainsi, dans l'empoisonnement par certaines toxines, comme la toxine de la diphtérie, celle du tétanos, le venin des serpents, les toxalbumoses végétales (abrine, ricine), il se forme dans le liquide sanguin un *anticorps spécifique* ou *antitoxine*; de telle sorte que si l'on accoutume un animal à l'un de ces poisons par l'injection à intervalles espacés de doses progressivement croissantes, son sérum sanguin arrive à posséder à la longue

des qualités antitoxiques telles qu'une faible quantité de ce sérum suffit pour annuler *in vitro* et même *in vivo* des masses considérables de toxine. C'est sur ces faits que repose la sérothérapie de la diphtérie, depuis les belles découvertes de BEHRING et de ROUX.

#### D) FORMATION ET DESTRUCTION DES GLOBULES ROUGES

Pendant la période embryonnaire, les globules rouges se forment aux dépens du feuillet moyen du blastoderme dans des sortes de cordons cellulaires anastomosés; les cellules centrales forment les globules, les cellules périphériques la paroi du vaisseau. Dans le cours de la vie, les hématies naissent, suivant la plupart des auteurs, de cellules spéciales nucléées, cellules de NEUMANN, qui se chargent peu à peu d'hémoglobine, perdent leur noyau et prennent graduellement la forme et les caractères du globule rouge. C'est dans la rate (voy. *Glandes vasculaires sanguines*) et la moelle osseuse que se fait la genèse des hématies. La moelle rouge des os (qui se trouve dans les os courts et dans les épiphyses des os longs) contient, d'après les recherches de NEUMANN et de BIZZOZERO, des éléments de transition entre la cellule primaire et le globule rouge. On y trouve des cellules pâles, contractiles, analogues à des globules blancs, des cellules rouges nucléées et de vrais globules rouges. Les globules rouges se détruisent après un certain temps : la durée de leur vie peut dépasser, d'après QUINCKE, trois à quatre semaines. Pour être éliminés, ils sont transformés en albuminates de fer et englobés par les leucocytes des capillaires du foie, de la rate et de la moelle osseuse. L'hémoglobine détruite sert à former d'autres pigments. La bilirubine en dérive, et sa formule représente l'hémoglobine moins le fer.

#### E) ALTÉRATIONS PATHOLOGIQUES DU SANG

Elles peuvent porter sur la quantité, soit que la masse du sang et des globules devienne supérieure (pléthore) ou inférieure (anémie) à la normale. Mais les altérations les plus importantes

sont celles qui se rapportent à la qualité du sang. Dans la chlorose, il y a diminution de l'hémoglobine (et par conséquent du fer du sang; l'hémoglobine peut tomber à 6 et à 5 p. 100). Dans la leucémie le nombre des globules blancs augmente au point d'égaliser le nombre des hématies et de donner au sang une couleur laiteuse. La fibrine augmente dans les maladies inflammatoires (rhumatismes, pneumonie, etc.) jusqu'à atteindre 9 à 10 p. 1 000, et, dans la coagulation d'un tel sang, il se forme à la partie supérieure du caillot une couenne épaisse (*couenne inflammatoire*). Dans le *mal de Bright* l'albumine diminue dans le sang par suite de la perte occasionnée par l'albuminurie; l'urée, au contraire augmente (urémie). L'acide urique augmente dans la goutte, le sucre dans le diabète. L'eau et les sels diminuent fortement dans certaines maladies, en particulier dans le choléra.

## § 2. — LYPHNE

La lymphe recueillie par une fistule du canal thoracique chez un animal à jeun, est un liquide transparent ou légèrement opalescent; si l'animal est en digestion, sa couleur est blanc laiteux par suite de son mélange avec le chyle, qui n'est pas autre chose que de la lymphe chargée de gouttelettes grasses extrêmement fines. Par cette fistule du canal thoracique, on peut obtenir des quantités considérables de lymphe. COLIN a pu de la sorte, chez une vache, recueillir plus de 95 kilogrammes de lymphe en vingt-quatre heures. Dans un cas de fistule lymphatique chez l'homme, cette quantité était de 6 kilogrammes en vingt-quatre heures. La quantité totale de la lymphe contenue dans le corps est cependant difficile à calculer d'après ces chiffres. LUDWIG l'estime au quart du poids du corps.

La lymphe est alcaline comme le sang; elle a une saveur fade, un peu salée; elle se coagule à la sortie des vaisseaux et donne un caillot blanc, mou, peu rétractile et moins volumineux que celui du sang par rapport au sérum restant. La composition de la lymphe est semblable à celle du sang, moins les hématies. Elle ne contient pas d'oxygène; aussi les leucocytes, qui sont identiques aux mononucléaires du sang, ne présentent-ils point

de mouvements amiboïdes dans l'intérieur des vaisseaux lymphatiques. WÜRTZ a trouvé qu'elle est plus riche en urée que le sang.

La lymphe provient de la transsudation du sang et de la diapedèse des leucocytes à travers les parois des capillaires. C'est pourquoi la quantité de lymphe formée augmente dans tous les cas où la filtration du plasma sanguin à travers les parois des capillaires est favorisée (dilatation des petits vaisseaux, stase veineuse). Mais HEIDENHAIN a soutenu qu'elle prend aussi naissance par une sorte de sécrétion dont l'endothélium des vaisseaux lymphatiques est le siège. Cette sécrétion serait augmentée par l'injection intra-veineuse de certaines substances appelées pour ce motif *lymphagogues* (peptones, extraits de sangsues, de muscles d'écrevisses, etc.). Ces substances jouissent en même temps de la propriété de rendre le sang et la lymphe incoagulables (voy. p. 166). L'écoulement de la lymphe est également très renforcé par l'injection dans les vaisseaux de solutions salées ou sucrées hypertoniques.

Les globules blancs se forment dans les ganglions lymphatiques et probablement aussi dans les organes dits lymphoïdes, principalement la rate; la lymphe qui sort des ganglions est plus riche en globules et en fibrine que celle qui y pénètre.

Quant au rôle physiologique de la lymphe, il est double, comme nous l'avons déjà fait remarquer; la lymphe sert d'intermédiaire dans les échanges nutritifs entre le sang et les tissus; de plus, le système lymphatique représente un véritable appareil de drainage.

## ARTICLE II

### MÉCANIQUE DE LA CIRCULATION

Le sang veineux qui arrive dans le cœur droit par les veines caves est lancé dans l'artère pulmonaire, traverse les capillaires du poumon et revient artérialisé au cœur gauche par les veines pulmonaires. Ce premier cycle représente ce qu'on appelle la *petite circulation*; c'est le moine MICHEL SERVET (1553) qui en eut