

2 LE SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

2.1 Introduction

Le système cardiovasculaire (*kardia* : cœur ; *vasculum* : vaisseau) se divise en trois composants liés entre eux : le **sang**, le **cœur** et les **vaisseaux sanguins**.

Sur le plan fonctionnel, le sang achemine des substances vers les cellules et collecte leurs produits et leurs déchets. Pour ce faire, il doit circuler dans tout le corps. Le cœur sert de pompe pour la circulation, et les vaisseaux sanguins transportent le sang du cœur aux cellules et de ces dernières au cœur.

La discipline scientifique consacrée à l'étude du sang, des tissus hématopoïétiques et des maladies du sang est appelée **hématologie**.

2.2 Le sang

2.2.1 Les fonctions du sang

Le sang est un tissu **conjonctif** composé d'une matrice extracellulaire liquide appelée **plasma** ; on y rencontre des **cellules**, des **fragments de cellules** en suspension, ainsi que de nombreuses **substances** en solution. Le sang assure **trois** grandes fonctions : le **transport**, la **régulation** et la **protection**.

1.- Le transport.

Le sang apporte l'**oxygène** des poumons jusqu'aux cellules de l'organisme et ramène le **dioxyde de carbone** (déchet de la respiration cellulaire) des cellules jusqu'aux poumons, où il est exhalé. Il achemine aussi les **nutriments** provenant du tube digestif jusqu'aux cellules. Il se charge également de la diffusion de la **chaleur**, de l'élimination des **déchets** provenant de divers organes, et du transport des **hormones** des glandes endocrines vers d'autres cellules.

2.- La régulation.

Le sang **maintien** le **pH** de tous les liquides de l'organisme. Il contribue également à la régulation de la **température corporelle** par différents moyens. L'eau qu'il contient absorbe la chaleur et exerce un effet rafraîchissant ; de plus, en variant son débit à travers la peau, le sang peut rejeter l'excédent de chaleur accumulée dans l'organisme.

3.- La protection.

La **coagulation** protège le système cardiovasculaire contre les hémorragies accompagnant une blessure. De plus, les **globules blancs** combattent un grand nombre de maladies en effectuant la **phagocytose** et en produisant des protéines appelées **anticorps**. Le sang contient aussi d'autres protéines qui contribuent de diverses manières à la protection de l'organisme contre les maladies.

2.2.2 Les composants du sang

Le sang est plus dense et plus visqueux (épais) que l'eau. Sa température est d'environ 38°C, soit environ 1°C de plus que la température corporelle. Le sang est légèrement alcalin : son pH varie entre 7,35 et 7,45. Il constitue environ 8% du poids total du corps. Chez un adulte de taille moyenne, le volume sanguin est de 5 à 6 litres pour un homme et de 4 à 5 litres pour une femme. Cette différence de volume est attribuable à la taille moyenne du corps, qui diffère chez l'homme et la femme.

Le sang total est constitué de deux composants :

- Le **plasma** sanguin, un liquide contenant des substances dissoutes ;
- Les **éléments figurés**, qui comprennent des cellules et des fragments de cellules.

Si on centrifuge un échantillon de sang dans une éprouvette, les cellules se déposent au fond tandis que le plasma, qui est plus léger, forme une couche à la surface (*figure 22*). Le sang contient environ 45% d'éléments figurés et 55% de plasma sanguin. Normalement, plus de 99% des éléments figurés sont des érythrocytes (**globules rouges**). Le pourcentage du volume sanguin total occupé par les érythrocytes est appelé hémocrite. Les leucocytes (**globules blancs**), qui sont incolores, et les thrombocytes (plaquettes) occupent moins de 1% du volume sanguin total. La *figure 22* décrit la composition du plasma sanguin et donne la proportion des différents types d'éléments figurés dans le sang.

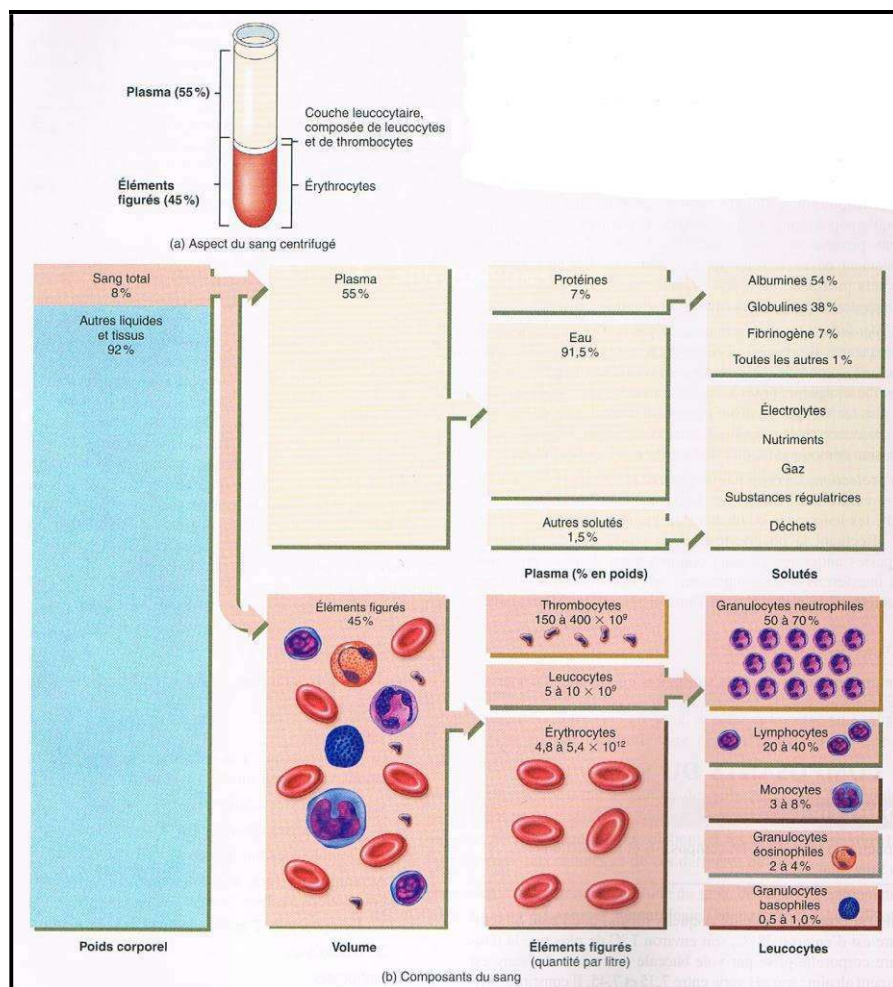


Figure 22 : Les composants du sang chez un adulte

2.2.2.1 Le plasma

Si on enlève les éléments figurés du sang, il reste un liquide de couleur jaunâtre appelé plasma. Celui-ci contient environ 91,5% d'eau, 7% de protéines et 1,5% de solutés qui ne sont pas des protéines. Les protéines du sang, appelées protéines plasmatiques, sont synthétisées principalement par le foie. Les plus abondantes d'entre elles, les albumines. Elles assurent le transport des acides gras et de plusieurs hormones. Les globulines, comprennent les anticorps, qui défendent l'organisme lors de certaines réponses immunitaires. Le fibrinogène joue un rôle clé dans la coagulation. Les autres solutés sont des ions, des nutriments, des gaz, des substances régulatrices telles que les enzymes et les hormones, des vitamines, des électrolytes et des déchets cellulaires (urée, ...).

2.2.2.2 Les éléments figurés (« cellules sanguines »)

Les éléments figurés du sang sont les suivants (figure 23) :

- I. Erythrocytes (globules rouges).
- II. Leucocytes (globules blancs).
- III. Thrombocytes.

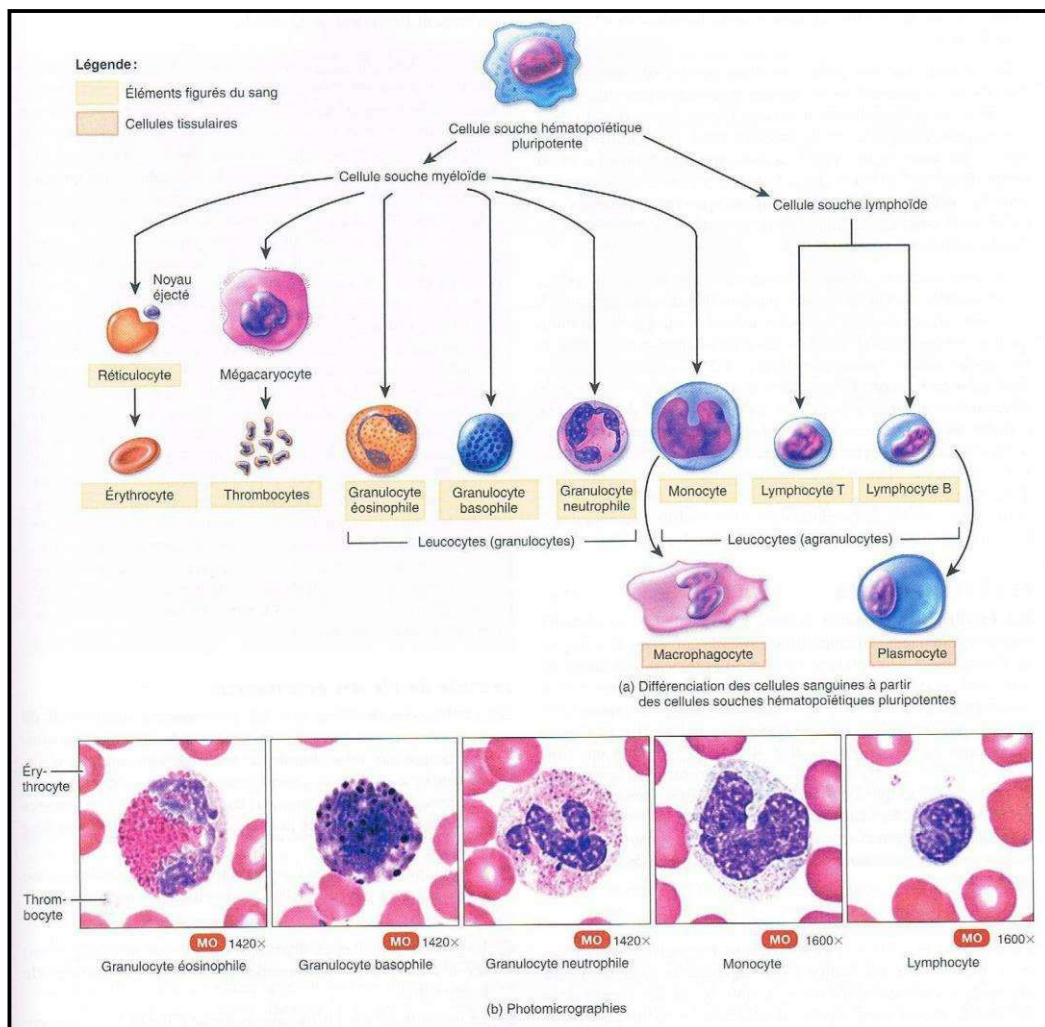


Figure 23 : L'origine, le développement et la structure des cellules sanguines.

2.2.2.2.1 La formation des cellules sanguines

Bien que la durée de certaines cellules sanguines se mesure en années, celle de la plupart des éléments figurés du sang est de l'ordre de quelques heures, quelques jours ou quelques semaines. C'est pourquoi l'organisme doit les remplacer continuellement. Le processus de formation des éléments figurés du sang porte le nom d'**hématopoïèse** (*poïein* : faire). L'hématopoïèse se déroule principalement dans la **moelle osseuse**. La moelle osseuse rouge, un tissu conjonctif extrêmement vascularisé. Moins de 1% des cellules de la moelle osseuse rouge sont des **cellules souches** hématopoïétiques **pluripotentes**, ou **hémocytoblastes**. Ces cellules ont la capacité de se différencier en lignée cellulaire (*figure 23*).

En réponse à des stimuli hormonaux, les cellules souches hématopoïétiques pluripotentes donnent naissance à deux autres types de cellules, les **cellules souches myéloïdes** et les **cellules souches lymphoïdes** (*figure 23*).

2.2.2.3 Les érythrocytes (globules rouges)

Les érythrocytes (*eruthros* : rouge ; *kutos* : cellule), ou globules rouges, contiennent l'**hémoglobine**, protéine qui assure le transport de l'oxygène. L'hémoglobine est aussi un pigment, qui donne au sang total sa couleur rouge. Elle transporte également un peu de dioxyde de carbone. Le nombre d'érythrocytes reste constant, pour cela, de nouveaux globules rouges doivent entrer dans la circulation sanguine à la vitesse stupéfiante d'au moins 2 millions par seconde. Ce rythme est nécessaire pour compenser le taux élevé de destruction des érythrocytes.

2.2.2.3.1 La structure des érythrocytes

Ils ont une forme de disque biconcave (concave des deux côtés) et mesure environ 8µm de diamètre. Les érythrocytes matures sont **dépourvus** de **noyau** et d'autres organites. Ils ne peuvent donc pas se reproduire. Cependant, tout leur espace interne est disponible pour le transport de l'oxygène.

2.2.2.3.2 L'érythropoïèse

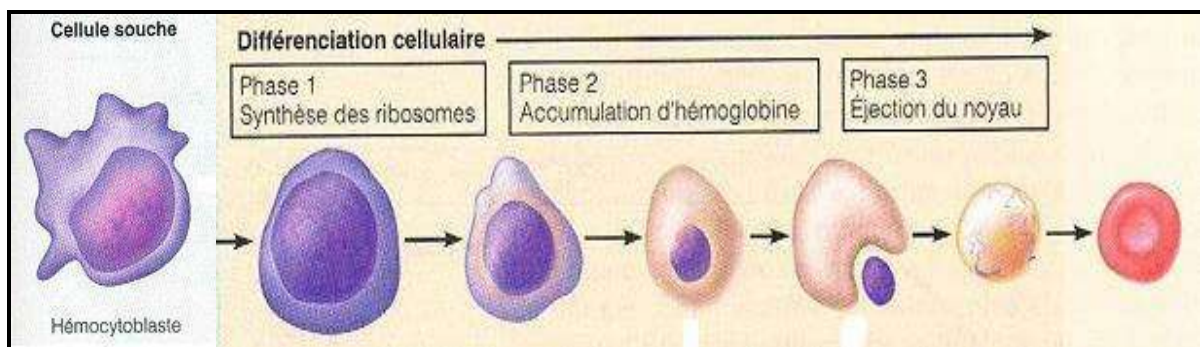


Figure 24 : l'érythropoïèse.

2.2.2.3.3 La régulation de l'érythropoïèse

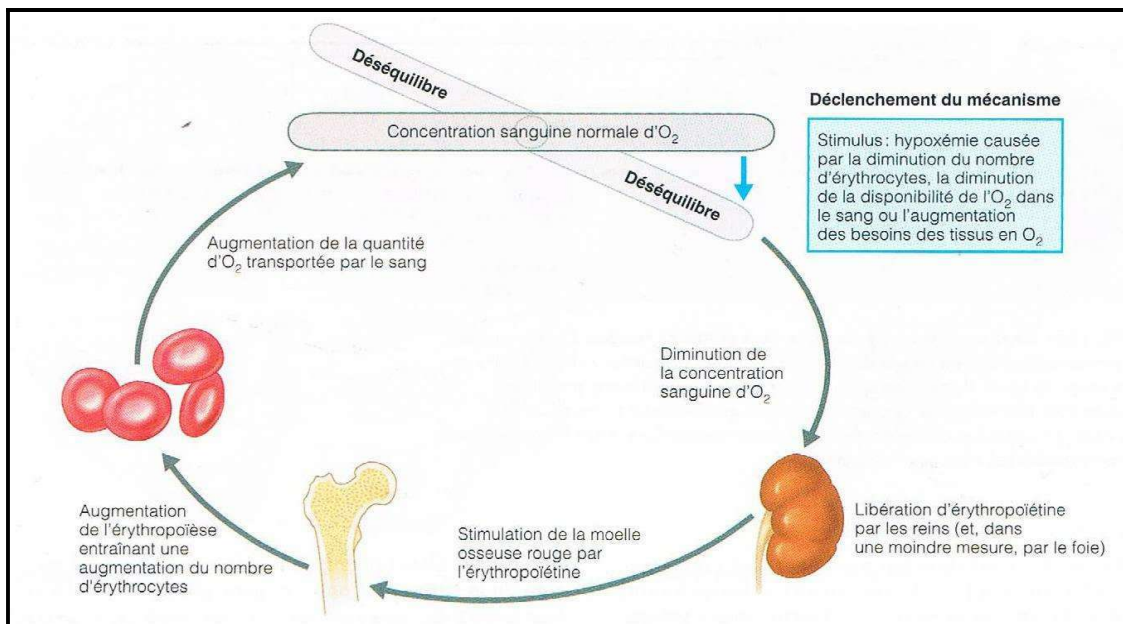


Figure 25 : la régulation de l'érythropoïèse.

2.2.2.3.4 Le cycle de vie des érythrocytes

Les érythrocytes ne vivent que **120 jours** environ. Dépourvus de noyau et d'autres organites, ils ne peuvent pas synthétiser de nouveaux composants pour remplacer ceux qui sont endommagés. Leur membrane plasmique s'use à force de traverser les capillaires et sa rupture provoque l'éclatement de la cellule. Les érythrocytes usés et éclatés sont retirés de la circulation sanguine de la manière suivante (figure 26).

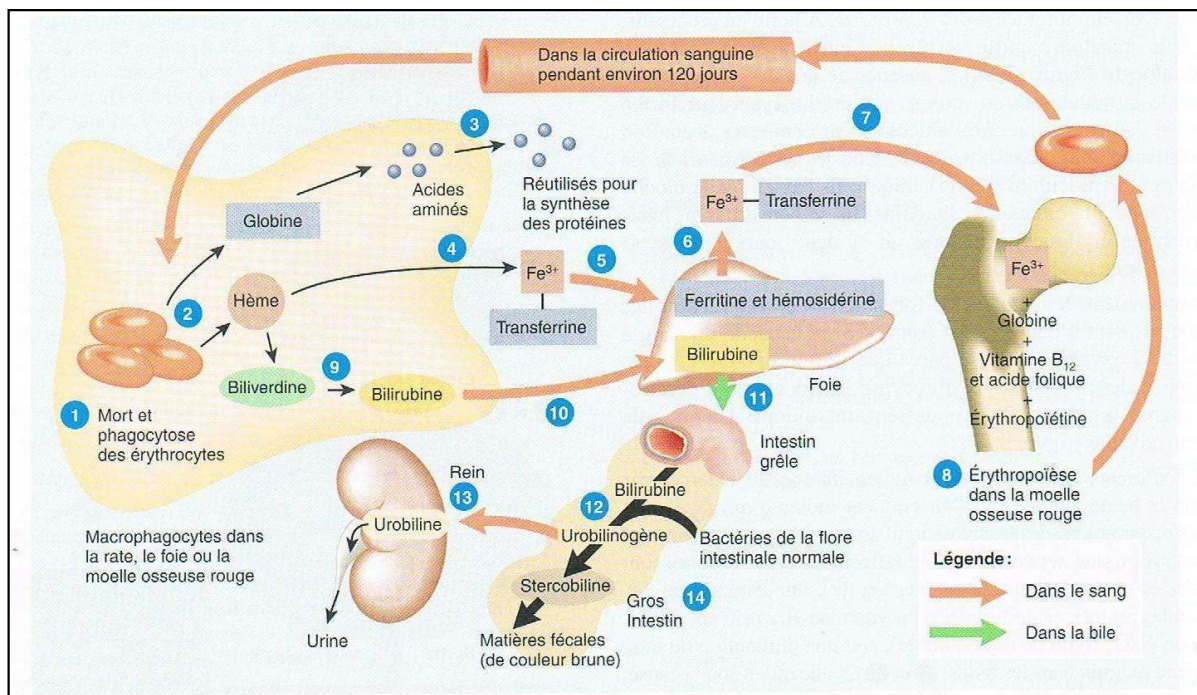
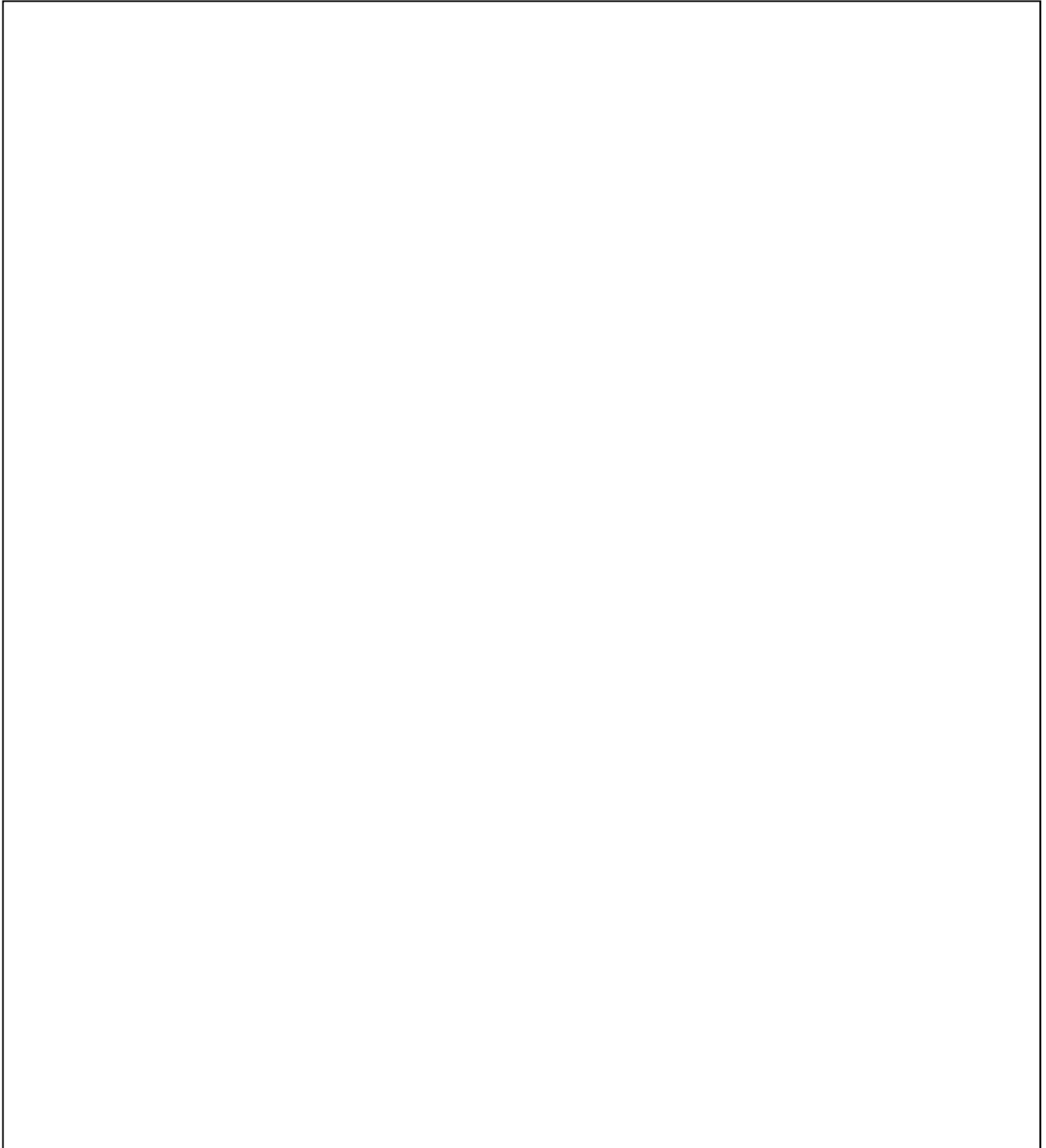


Figure 26 : Le cycle de vie des globules rouges.

Schéma simplifié du cycle de vie des globules rouges (remplace la figure 26) :



2.2.2.3.5 Les types d'anémies

Types	Cause	Conséquence
Anémie hémorragique	Hémorragie soudaine	↓ du nombre de globules rouges
Anémie hémolytique	Lyse des globules rouges à la suite d'une infection bactérienne	
Anémie pernicieuse	Carence en vitamine B ₁₂	
Anémie aplasique	Inhibition ou destruction de la moelle osseuse rouge par le cancer, les radiations ou certains médicaments	
Anémie ferriprive	Carence en fer ou saignement lent et prolongé (ulcère...)	Teneur insuffisante en hémoglobine
Anémie à hématies falciformes	Anomalie génétique entraînant une déformation de la molécule d'hémoglobine	Anomalie de l'hémoglobine

Tableau 1 : Les divers types d'anémies.

2.2.2.4 Les leucocytes (globules blancs)

Contrairement aux érythrocytes, les leucocytes (*leukos* : blanc), ou globules blancs, possèdent un **noyau**, mais ne contiennent pas d'hémoglobine. Il en existe divers types avec des fonctions spécifiques.

2.2.2.4.1 La leucopoièse

Voir *figure 23*.

2.2.2.5 Les thrombocytes (plaquettes)

Les thrombocytes interviennent dans la coagulation sanguine.

2.2.2.5.1 La thrombopoïèse

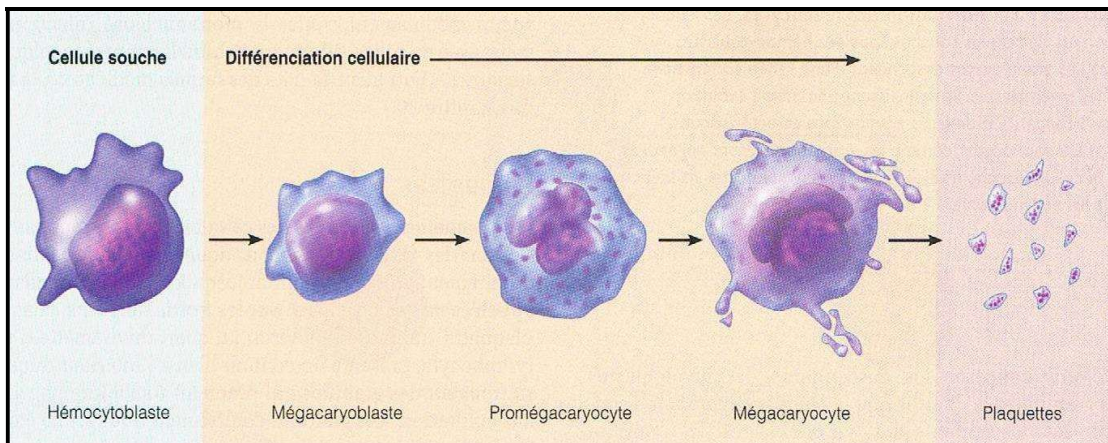


Figure 27 : La thrombopoïèse

2.2.2.6 La coagulation sanguine

Normalement, le sang circule librement contre l'endothélium intact des vaisseaux sanguins. Mais, en cas de rupture d'un vaisseau sanguin, une série de réactions s'amorce pour arrêter le saignement : c'est la coagulation sanguine. Cette réponse rapide et localisée fait intervenir de nombreuses substances généralement présentes dans le plasma, de même que des substances libérées par les plaquettes et les cellules endommagées.

La coagulation sanguine s'effectue en **trois phases** qui se succèdent rapidement :

- 1) La formation du clou plaquettaire.
- 2) Les spasmes vasculaires.
- 3) La coagulation ou formation du caillot.

Le tissu fibreux qui se forme dans le caillot colmate l'ouverture créée dans le vaisseau sanguin et empêche le saignement à cet endroit. Le déroulement de la coagulation sanguine se résume comme suit (*figure 28*) :

1.- **Formation du clou plaquettaire.** Les plaquettes sont repoussées par l'endothélium intact mais deviennent collantes, se gonflent et se fixent à la lésion quand une rupture de l'endothélium met à nu les fibres de collagènes sous-jacentes. Les plaquettes agrégées libèrent des substances chimiques qui attirent d'autres plaquettes. Une petite masse appelée **clou plaquettaire** se forme à mesure que les plaquettes s'accumulent.

2.- **Spasme vasculaire.** Les plaquettes amarrées libèrent des **substances** qui provoquent des spasmes vasculaires pouvant durer une trentaine de minutes. Le **rétrécissement** local du vaisseau, si le diamètre de celui-ci n'est pas trop gros, endigue l'écoulement de sang jusqu'au moment de la coagulation.

3.- Coagulation.

a) Pendant ce temps, les tissus endommagés libèrent de la **thromboplastine** tissulaire, qui joue un rôle important dans la coagulation.

b) Le **PF₃**, phospholipide qui recouvre les surfaces des plaquettes, interagit avec la **thromboplastine** tissulaire, la **vitamine K** et d'autres **facteurs de coagulation** (une douzaine de facteurs au total agissant en cascade, le produit d'une réaction activant, à son tour, la réaction suivante), ainsi qu'avec du **calcium** pour former l'**activateur** de la **prothrombine** qui déclenche le processus de la coagulation.

c) L'activateur de la prothrombine convertit la **prothrombine** présente dans le plasma en une enzyme appelée **thrombine**.

d) La **thrombine** unit les protéines solubles du **fibrinogène** en de longues molécules de **fibrine** insoluble. La fibrine forme un filet qui emprisonne les globules rouges et les plaquettes, et crée la base du caillot (*figure 28*).

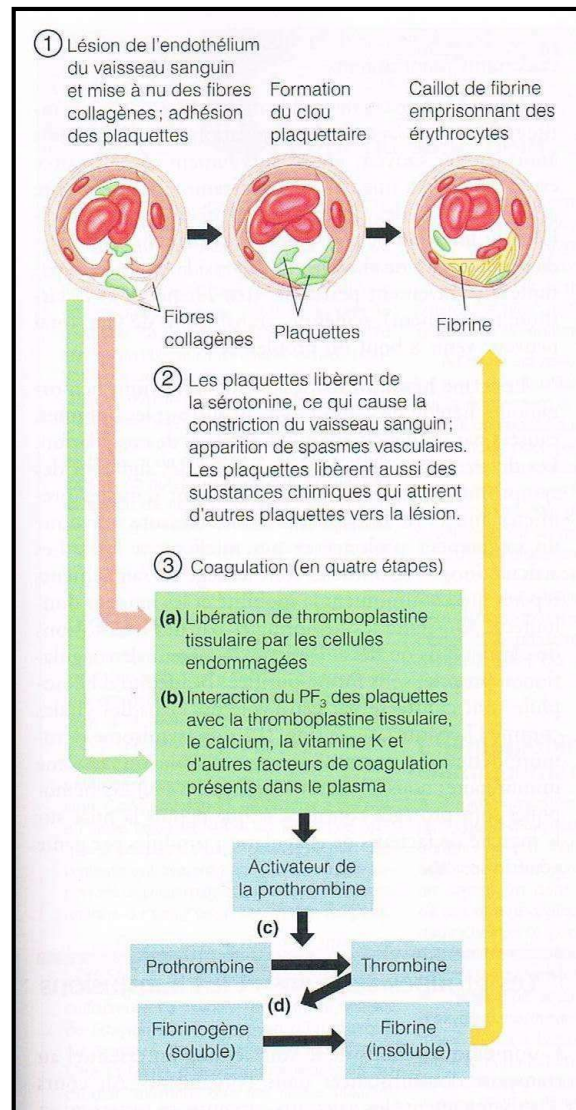


Figure 28 : La coagulation sanguine

Le sang se coagule normalement en trois à six minutes. En règle générale, les facteurs déclencheurs sont inactivés dès que le processus de coagulation s'amorce afin de prévenir une généralisation de la coagulation. L'endothélium finit par se régénérer et le caillot par se dégrader. Lorsque les scientifiques ont découvert la série de réactions qui aboutit à la coagulation, ils ont compris que l'application de pression ou d'un morceau de gaze stérile sur une blessure accélérât la coagulation. En effet, la pression brise des cellules, ce qui augmente localement la libération de thromboplastine tissulaire, et la gaze fournit aux plaquettes une surface rugueuse à laquelle elles peuvent adhérer.

2.2.2.7 Les groupes sanguins et les transfusions

Comme nous venons de le voir, le sang est essentiel au transport des substances dans l'organisme. Au cours d'un saignement, les vaisseaux sanguins se resserrent et la moelle osseuse accélère la formation de globules afin de maintenir une circulation adéquate. Ces mécanismes de compensation ont cependant leurs limites. Les pertes de 15 à 30% du volume sanguin causent la pâleur et la faiblesse. Les pertes supérieures à 30% entraînent un état de choc grave, voire fatal. On procède habituellement à des transfusions de sang pour compenser les pertes de sang importantes ainsi que pour traiter l'anémie grave et la thrombopénie. Généralement, la banque de sang prélève le sang d'un donneur puis le mélange à un anticoagulant. Le sang traité peut se conserver (à 4°C) durant environ 35 jours.

2.2.2.7.1 Théorie sur les groupes sanguins

Les transfusions sanguines peuvent sauver des vies. Or, il existe différents groupes sanguins, et les transfusions de sang incompatible peuvent être fatales. Pourquoi ? Parce que la membrane plasmique des globules rouges, comme celle de toutes les autres cellules, porte des protéines génétiquement déterminées appelée **antigènes**, qui font que de chaque individu un être unique. Si des antigènes étrangers entrent en contact avec les tissus d'un individu, l'organisme de celui-ci ne les reconnaît pas comme siens ; ces antigènes mobilisent le système immunitaire de l'individu qui les reçoit, et celui-ci se met à libérer des **anticorps** ou à organiser, par d'autres moyens, la défense de l'organisme. La plupart des antigènes sont des protéines étrangères ; ce sont par exemple les protéines constituant la structure de virus ou de bactéries qui ont envahi l'organisme. Celui-ci tolère ses propres antigènes cellulaires (« le soi »), mais il considère comme étrangères les protéines des globules rouges d'une autre personne qui sont différentes des siennes.

Les « veilleurs » qui effectuent la reconnaissance sont des anticorps présents dans le plasma qui s'attachent aux globules rouges dont les antigènes sont différents de ceux du receveur. La liaison des anticorps aux antigènes provoque l'**agglutination** des globules rouges et, par conséquent, l'obstruction des petits vaisseaux sanguins. (Les antigènes des globules rouges qui provoquent l'agglutination sont parfois appelés agglutinogènes et les anticorps qui les lient agglutinines). Les globules rouges se lysent (éclatent) dans les heures qui suivent, et leur hémoglobine se répand dans la circulation sanguine. Le sang incompatible n'a pas la capacité de transporter l'oxygène adéquatement, de sorte que certains tissus peuvent être privés d'irrigation.

On compte plus de 30 agglutinogènes dans la population humaine. La présence ou l'absence de chacun permet de classer les globules rouges de tout individu. Mais ce sont les agglutinogènes déterminant les systèmes ABO et Rh qui causent les pires réactions hémolytiques s'ils sont transfusés à un receveur incompatible. C'est pourquoi nous décrivons ces deux systèmes ici.

Comme le montre le *tableau 2*, le **système ABO** est fondé sur la présence ou l'absence de l'agglutinogène A et de l'agglutinogène B. L'absence des deux agglutinogènes détermine le groupe O ; la présence détermine le groupe AB ; la présence de l'agglutinogène A détermine le groupe A ; la présence de l'agglutinogène B détermine le groupe B. Il se forme pendant la petite enfance des agglutinines qui s'attaquent aux agglutinogènes A ou B absents des globules rouges de l'individu. Comme l'indique le tableau, un bébé qui ne possède ni agglutinogène A, ni agglutinogène B (groupe O) forme des agglutinines anti-A et anti-B. Un bébé qui possède les agglutinogènes A (groupe A) forme des agglutinines anti-B, et ainsi de suite.

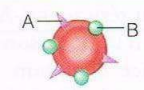
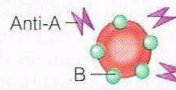
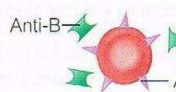
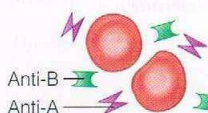
Groupe sanguin	Fréquence des érythrocytes (% de la population)		Antigènes du plasma (agglutinogènes)	Illustration	Anticorps du plasma (agglutinines)	Sang compatible
	Canada	France				
AB	3	3	A B		Aucun	A, B, AB, O Receveur universel
B	9	8	B		Anti-A	B, O
A	42	45	A		Anti-B	A, O
O	46	44	Aucun		Anti-A Anti-B	O Donneur universel

Tableau 2 : Le système ABO

La répartition des groupes sanguins varie d'une population à l'autre. Si, comme le montre le *tableau 2*, elle diffère peu à l'intérieur d'une population donnée (la distribution des différents groupes au Canada et en France est sensiblement la même), elle peut montrer des variations importantes si on compare les populations noires d'Afrique (où le groupe O domine) et les populations d'Asie (où le groupe B est souvent prépondérant). Dans certaines populations, des groupes peuvent être inexistantes ou presque : c'est le cas des groupes B et AB chez les aborigènes d'Australie. Le tableau 3 représente la répartition des groupes en Suisse.

Dénomination officielle	Dénomination courante	Fréquence
A Rh+	A+	40%
O Rh+	O+	35%
B Rh+	B+	7%
A Rh-	A-	7%
O Rh-	O-	6%
AB Rh+	AB+	3%
B Rh-	B-	1%
AB Rh-	AB-	1%

Tableau 3 : La répartition des groupes en Suisse

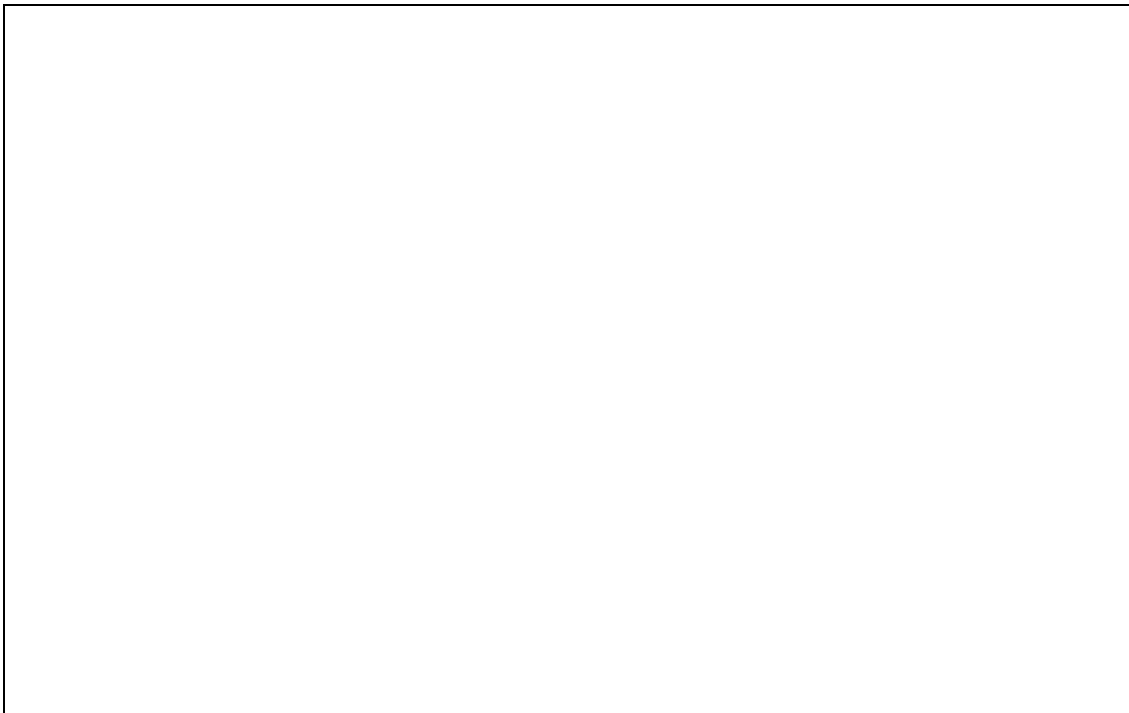
Le **système Rh** est ainsi nommé parce qu'on a identifié l'un des huit antigènes Rh (**l'agglutinogène D**) chez le singe **Rhésus** avant de le découvrir chez l'être humain. Dans la population blanche, 85% des individus ont un Rh positif (Rh⁺), c'est-à-dire que leurs globules rouges portent l'agglutinogène Rh. Contrairement aux agglutinines du système ABO, les agglutinines anti-Rh ne se forment pas spontanément dans le sang des individus à Rh négatif (Rh⁻). Toutefois, si une personne Rh⁻ reçoit du sang incompatible (c'est-à-dire du sang Rh⁺), son système immunitaire se sensibilise peu après la transfusion et commence à produire des agglutinines anti-Rh. La première transfusion de sang incompatible ne provoque pas d'hémolyse, car le système immunitaire met un certain temps à réagir et à produire des agglutinines. Mais toutes les transfusions suivantes occasionnent une réaction hémolytique caractérisée au cours de laquelle les agglutinines du receveur attaquent et détruisent les globules rouges Rh⁺ du donneur.

2.2.2.7.2 Etude de cas

Rien n'allait plus entre Nicole et Robert. Tout avait commencé lorsque Robert avait décidé de suivre des cours de biologie. Il y avait appris le mode de transmission des groupes sanguins. Dans le cours le professeur avait précisé qu'il était impossible à des parents de groupe O d'avoir des enfants d'un autre groupe que O. OO avec OO ça ne peut donner que des OO répétait-il.

Mais voilà, Robert et Nicole étaient de groupe O alors que leur jeune bébé était de groupe A. Robert ne cessait de penser à André, un collègue de Nicole qui venait souvent en visite à la maison. André était de groupe A, comme le bébé. Aux yeux de Robert, il n'y avait plus aucun doute, Nicole l'avait trompé. Pourtant Nicole niait tout. Elle jurait que l'idée de le tromper, surtout avec André, ne lui avait jamais effleuré l'esprit. Robert, tout confiant en sa nouvelle science, n'en croyait rien et il était fermement décidé à rompre. Mais avant, Nicole le convainquit de faire un test de paternité. La surprise fut belle quand il découvrit que le test confirmait sa paternité.

→ *Comment expliquer cette situation ? Justifie ta réponse.*

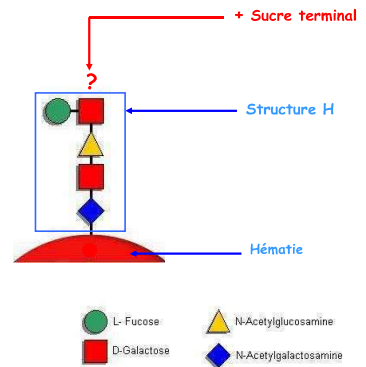


2.2.2.7.3 Etude de cas – FICHE 1

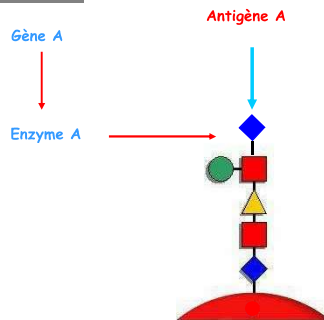
Le polymorphisme sanguin dans le système ABO:

une histoire de sucres ...

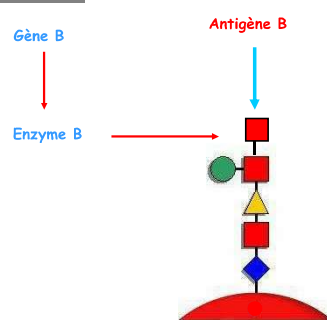
Groupe O



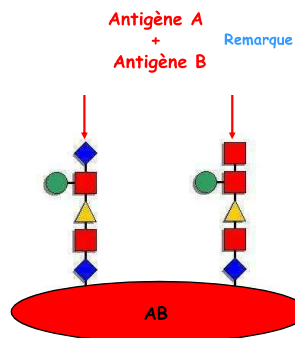
Groupe A



Groupe B



Groupe AB



Gène I → Enzyme spécifique → Sucre terminal → Groupe sanguin

→ Allèle A	Enzyme A	N-acétyl-galactosamine	A
→ Allèle B	Enzyme B	Galactose	B
→ Allèle A + Allèle B	Enzyme A + Enzyme B	N-acétyl-galactosamine + Galactose	AB
→ Allèle O	Aucune Enzyme	Aucun sucre terminal	O

Chaque antigène est le sucre final d'une structure polysaccharidique qui est amené et fixé par l'enzyme correspondante (enzyme A pour l'antigène A, et enzyme B pour l'antigène B) sur la substance H initiale. C'est la présence de l'antigène qui définit le groupe.

2.2.2.7.4 Etude de cas – FICHE 2

Le groupe Bombay

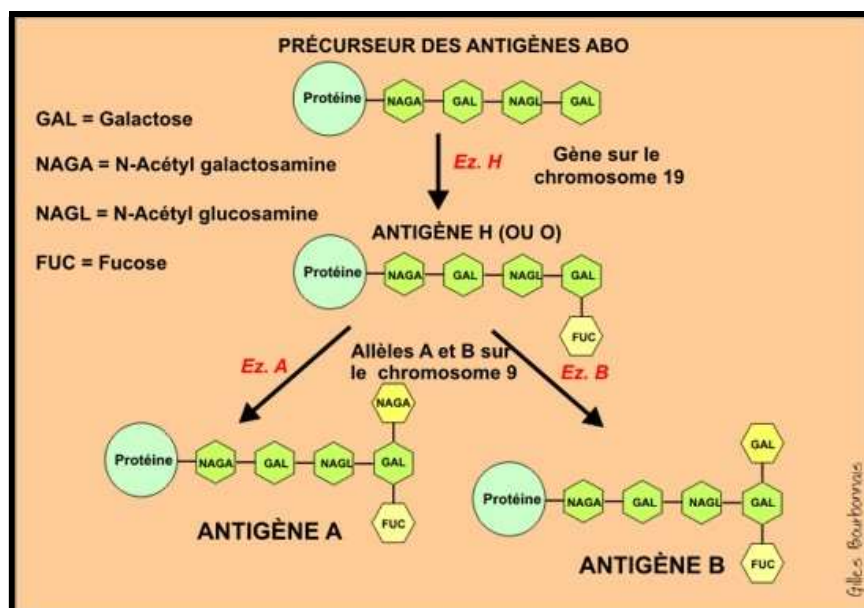
Dans le système ABO, nous savons que l'antigène A résulte d'un sucre fixé par une enzyme sur une substance de base, également osidique, dite substance H. Cette même substance H résulte de l'action d'un gène H, que des très rares sujets ne possèdent pas. Ces sujets sont de génotype h/h, possédant en double dose l'allèle inactif h du gène H. Ces sujets sont dits de groupe « Bombay », du nom de la localité où cette particularité a été décrite en 1952. Ce génotype est transmis par des parents porteurs de cet allèle, donc hétérozygotes pour l'allèle, ou homozygotes hh et eux-mêmes de groupe sanguin Bombay. Ce génotype étant très rare, il est souvent retrouvé chez des gens dont les parents sont de la même famille, et sont donc consanguins.

Ces individus ne produisent pas le carbohydrate H qui est le précurseur des antigènes A et B. N'ayant pas cette substance H, même si ces sujets « Bombay » possèdent le gène A ou le gène B, les substances A ou B ne pourront être fabriquées, et ces sujets seront en apparence de groupe O. Leurs enfants héritant de ce parent d'un gène h et d'un gène A ou B, et de l'autre parent d'un gène normal H (dans le système Hh) et d'un gène O par exemple (dans le système ABO) pourront à nouveau exprimer le gène A ou B qui leur a été transmis par le premier parent et seront de groupe A ou B normal.

Les globules rouges des individus de type Bombay ne possèdent aucun des antigènes A, B ou H (groupe O), et ces antigènes sont donc reconnus comme des substances étrangères par leur organisme. Les individus de phénotype Bombay ne peuvent ainsi pas recevoir de sang de type O, qui entraîne chez eux une crise hémolytique aiguë car ils ont un anticorps anti-H dans leur plasma. Ils sont cependant détectés comme étant de groupe O par les tests sanguins standards ABO, et sont donc à risque si le phénotype Bombay n'est pas testé.

Biosynthèse des antigènes

La biosynthèse des antigènes H, A et B fait intervenir une série d'enzymes, des glycosyl transférases, qui transfèrent des monosaccharides. Les antigènes résultants sont des chaînes d'oligosaccharides qui s'attachent à la membrane des globules rouges. L'antigène H est produit par une fucosyl transférase spécifique. Il peut être converti en antigène A pour donner un groupe sanguin A, en antigène B pour un groupe sanguin B, en les deux pour donner AB ou il peut ne pas être modifié, auquel cas il donnera un groupe sanguin O.



→ Si le père de Robert est AB et la mère A, quels sont les génotypes possibles de Nicole, Robert, le bébé et les parents de Robert pour les systèmes ABO et H ?

2.2.2.7.5 La détermination du groupe sanguin

Il va de soi que la détermination du groupe sanguin du donneur et du receveur avant la transfusion est d'une importance capitale. La marche à suivre pour le système ABO (*figure 29*) consiste à mélanger le sang avec du sérum anti-A et du sérum anti-B. Les globules rouges d'une personne du groupe A s'agglutinent en présence de sérum anti-A mais non en présence de sérum anti-B. De même, les globules rouges d'une personne du groupe B s'agglutinent en présence de sérum anti-B mais non en présence de sérum anti-A. Pour plus de sûreté, on procède également à une épreuve de compatibilité croisée. On vérifie alors si le sérum du receveur provoque l'agglutination des globules rouges du donneur, et si le sérum du donneur provoque l'agglutination des globules rouges du receveur. Les groupes du système Rh sont déterminés de la même façon que les groupes du système ABO.

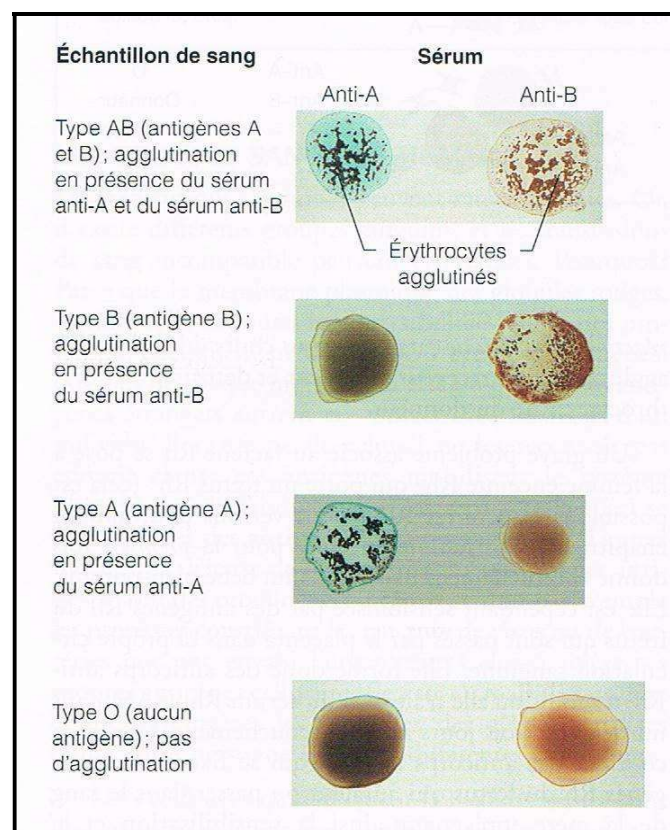


Figure 29 : La détermination des groupes sanguins