



Déclic

# PHYSIOLOGIE SANGUINE

Plasma · Hématies · Hémostasie · Transfusion

PARCOURS : Préparation EIDE

AUTEUR : Anaïs - Daranjo - IDE

DATE : Juin 2026

### 1. Objectifs du chapitre

À la fin de ce chapitre, tu dois être capable de :

- expliquer la composition générale du sang ;
- différencier plasma et éléments figurés ;
- comprendre le rôle des hématies, leucocytes et plaquettes ;
- expliquer l'érythropoïèse ;
- comprendre le rôle de l'hémoglobine ;
- expliquer le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone ;
- connaître la durée de vie des globules rouges ;
- différencier les grandes familles de leucocytes ;
- comprendre le rôle des polynucléaires, lymphocytes, monocytes, éosinophiles et basophiles ;
- expliquer le rôle des plaquettes dans l'hémostase ;
- comprendre l'activation plaquettaire et l'agrégation ;
- expliquer les grandes étapes de l'hémostase ;
- différencier vasoconstriction, clou plaquettaire, coagulation, fibrine et fibrinolyse ;
- comprendre les bases des groupes sanguins ABO et Rhésus ;
- expliquer les principes de compatibilité transfusionnelle.

### Introduction générale

Le sang est un tissu conjonctif liquide circulant dans les vaisseaux sanguins.

Il relie tous les organes entre eux.

Il permet le transport de l'oxygène, du dioxyde de carbone, des nutriments, des hormones, des déchets, des cellules immunitaires et des éléments nécessaires à la coagulation.

Le sang participe à plusieurs fonctions vitales :

- transport des gaz respiratoires ;
- transport des nutriments ;
- transport des déchets métaboliques ;
- transport des hormones ;
- défense immunitaire ;
- hémostase ;
- régulation de la température ;
- maintien du pH ;
- maintien du volume circulant ;
- équilibre hydro-électrolytique ;
- communication entre organes.

Le sang n'est donc pas seulement un liquide rouge.

C'est un tissu vivant, dynamique, composé d'une partie liquide, le plasma, et d'éléments cellulaires ou fragments cellulaires.

Il est au carrefour de plusieurs systèmes :

- système cardiovasculaire ;
- système respiratoire ;
- système immunitaire ;
- système rénal ;
- système digestif ;
- système endocrinien ;
- moelle osseuse ;
- foie ;
- rate.

Une anomalie du sang peut donc retentir sur tout l'organisme.

#### 11.1. Composition du sang

### 2. Définition générale

Le sang est composé de deux grandes parties :

1. le plasma ;

2. les éléments figurés.

Le plasma est la partie liquide.

Les éléments figurés comprennent :

- hématies ;
- leucocytes ;
- plaquettes.

Chez l'adulte, le sang représente environ 7 à 8 % du poids corporel.

Le volume sanguin total est en moyenne autour de 5 litres, mais il varie selon la taille, le poids, le sexe biologique, la composition corporelle, l'état d'hydratation, la grossesse, l'entraînement physique et certaines pathologies.

### 3. Plasma

Le plasma est la partie liquide du sang.

Il représente environ 55 % du volume sanguin total.

Il est composé majoritairement d'eau.

Il contient aussi de nombreuses substances dissoutes.

Composition principale :

- eau ;
- protéines plasmatiques ;
- électrolytes ;
- glucose ;
- acides aminés ;
- lipides transportés ;
- hormones ;
- déchets métaboliques ;
- gaz dissous ;
- facteurs de coagulation ;
- vitamines ;
- médicaments éventuels ;
- molécules inflammatoires selon contexte.

### 4. Protéines plasmatiques

Les protéines plasmatiques sont essentielles.

Les principales sont :

Protéine plasmatique	Rôle principal
Albumine	maintien de la pression oncotique, transport de molécules
Globulines	immunité, transport
Fibrinogène	coagulation
Facteurs de coagulation	hémostase
Protéines du complément	défense immunitaire
Protéines de transport	transport hormones, fer, lipides, médicaments

L'albumine est très importante pour maintenir l'eau dans le compartiment vasculaire.

Si l'albumine diminue, la pression oncotique baisse.

L'eau sort plus facilement des vaisseaux vers les tissus.

Cela peut favoriser des œdèmes.

### 5. Sérum et plasma

Il faut distinguer plasma et sérum.

Terme	Définition
Plasma	partie liquide du sang contenant les facteurs de coagulation
Sérum	liquide obtenu après coagulation, sans fibrinogène consommable

Le sérum correspond donc au plasma privé d'une partie des facteurs de coagulation après formation du caillot.

Cette différence est importante en biologie médicale.

### 6. Éléments figurés

Les éléments figurés représentent environ 45 % du volume sanguin.

Ils comprennent :

- hématies ;
- leucocytes ;
- plaquettes.

Élément figuré	Autre nom	Rôle principal
Hématies	globules rouges / érythrocytes	transport O <sub>2</sub> et une partie du CO <sub>2</sub>
Leucocytes	globules blancs	défense immunitaire
Plaquettes	thrombocytes	hémostase

## 7. Hématocrite

L'hématocrite correspond à la proportion du volume sanguin occupée par les globules rouges.

Il est exprimé en pourcentage.

### Exemple :

Un hématocrite à 45 % signifie que 45 % du volume sanguin est occupé par les hématies.

L'hématocrite dépend notamment :

- du nombre de globules rouges ;
- du volume des globules rouges ;
- du volume plasmatique ;
- de l'état d'hydratation.

En déshydratation, l'hématocrite peut sembler augmenter par concentration du sang.

En hémorragie ou anémie, il peut diminuer.

## 8. Sang et homéostasie

Le sang participe à l'homéostasie.

Il aide à maintenir :

- l'oxygénation ;
- la pression artérielle ;
- le pH ;
- la température ;
- l'équilibre hydrique ;
- l'équilibre électrolytique ;
- la défense immunitaire ;
- la coagulation.

Le sang est donc un tissu de transport, de régulation et de protection.

## 9. Schéma à insérer

### Image conseillée :

Schéma d'un tube de sang centrifugé : plasma en haut, couche leucocytes/plaquettes au milieu, hématies en bas.

### 11.2. Hématies

## 10. Définition

Les hématies sont les globules rouges.

Elles sont aussi appelées érythrocytes.

Ce sont les cellules sanguines les plus nombreuses.

Elles sont spécialisées dans le transport des gaz respiratoires, surtout l'oxygène.

Une hématie mature humaine a plusieurs particularités :

- elle n'a pas de noyau ;
- elle n'a pas de mitochondries ;
- elle contient beaucoup d'hémoglobine ;
- elle a une forme de disque biconcave ;
- elle est déformable pour passer dans les capillaires.

L'absence de noyau permet de laisser plus de place à l'hémoglobine.

L'absence de mitochondries évite que la cellule consomme l'oxygène qu'elle transporte.

## 11. Forme biconcave

Les hématies ont une forme de disque biconcave.

Cette forme présente plusieurs avantages :

- grande surface d'échange ;
- faible distance de diffusion ;
- souplesse ;
- passage facilité dans les capillaires ;
- optimisation du transport des gaz.

Les capillaires peuvent être très étroits.

Les hématies doivent donc se déformer pour les traverser.

Une anomalie de forme ou de souplesse des globules rouges peut perturber la circulation et le transport de l'oxygène.

## Érythropoïèse

### 12. Définition

L'érythropoïèse est la production des globules rouges.

Elle se déroule dans la moelle osseuse rouge.

Elle part de cellules souches hématopoïétiques et aboutit à des hématies matures.

L'érythropoïèse est un processus continu, car les globules rouges ont une durée de vie limitée.

### 13. Lieu de l'érythropoïèse

Chez l'adulte, la production des globules rouges se fait principalement dans la moelle osseuse rouge de certains os.

Exemples :

- sternum ;
- côtes ;
- vertèbres ;
- bassin ;
- os plats ;
- extrémités proximales de certains os longs.

Chez l'enfant, la moelle rouge est plus largement répartie.

### 14. Étapes générales

L'érythropoïèse suit plusieurs étapes de maturation.

De manière simplifiée :

cellule souche hématopoïétique → progéniteur érythroïde → érythroblaste → réticulocyte → hématie mature

Le réticulocyte est une jeune hématie qui vient de sortir de la moelle osseuse.

Il contient encore des restes d'ARN.

Le nombre de réticulocytes permet d'évaluer la réponse de la moelle à une anémie.

### 15. Rôle de l'érythropoïétine

L'érythropoïétine, ou EPO, est une hormone produite principalement par les reins.

Elle stimule la production de globules rouges par la moelle osseuse.

Quand les tissus manquent d'oxygène, le rein augmente la production d'EPO.

L'EPO stimule alors l'érythropoïèse.

Schéma simple :

**hypoxie tissulaire** → **rein** → **EPO** → **moelle osseuse** → **production de globules rouges**

### 16. Besoins nécessaires à l'érythropoïèse

Pour fabriquer des globules rouges, l'organisme a besoin de plusieurs éléments.

Élément	Rôle
Fer	fabrication de l'hème dans l'hémoglobine
Vitamine B12	synthèse de l'ADN, maturation cellulaire
Folates	synthèse de l'ADN, division cellulaire

Élément	Rôle
Protéines	synthèse de la globine
EPO	stimulation médullaire
Moelle fonctionnelle	lieu de production
Rein fonctionnel	production d'EPO
Inflammation contrôlée	l'inflammation chronique peut freiner l'érythropoïèse

Une carence en fer, vitamine B12 ou folates peut provoquer une anémie.

Une insuffisance rénale chronique peut provoquer une anémie par déficit d'EPO.

## Hémoglobine

### 17. Définition

L'hémoglobine est une protéine contenue dans les hématies.

Elle permet le transport de l'oxygène.

Elle donne au sang sa couleur rouge.

Elle est composée :

- de chaînes de globine ;
- de groupements hème ;
- d'atomes de fer.

Chaque groupement hème peut fixer une molécule d'oxygène.

Une molécule d'hémoglobine peut donc fixer plusieurs molécules d'O<sub>2</sub>.

### 18. Structure fonctionnelle

L'hémoglobine adulte principale est appelée HbA.

Elle contient quatre chaînes de globine :

- deux chaînes alpha ;
- deux chaînes bêta.

Chaque chaîne porte un groupement hème avec du fer.

Le fer doit être sous forme ferreuse Fe<sup>2+</sup> pour fixer l'oxygène correctement.

### 19. Rôle de l'hémoglobine

L'hémoglobine permet :

- transport de l'oxygène des poumons vers les tissus ;
- transport d'une partie du CO<sub>2</sub> des tissus vers les poumons ;
- participation au tamponnement du pH ;
- adaptation de la libération d'oxygène selon les besoins tissulaires.

Elle ne garde pas l'oxygène de manière fixe.

Elle le fixe dans les poumons et le libère dans les tissus.

## Transport de l'oxygène

### 20. Principe

L'oxygène est transporté dans le sang principalement lié à l'hémoglobine.

Une petite partie est dissoute dans le plasma, mais cette quantité est faible.

Le transport efficace de l'oxygène dépend donc de :

- ventilation pulmonaire ;
- diffusion alvéolo-capillaire ;
- concentration d'hémoglobine ;
- saturation de l'hémoglobine ;
- débit cardiaque ;
- perfusion des tissus ;
- capacité de libération de l'oxygène.

### 21. Saturation en oxygène

La saturation en oxygène correspond à la proportion de sites de l'hémoglobine occupés par l'oxygène.

Une saturation élevée signifie que l'hémoglobine est largement chargée en oxygène.

Mais une bonne saturation ne garantit pas toujours une bonne oxygénation tissulaire.

**Exemple :**

En cas d'anémie sévère, la saturation peut être correcte, mais la quantité totale d'hémoglobine disponible est insuffisante. Le transport total d'oxygène est donc diminué.

## 22. Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène varie selon les conditions.

Dans les poumons, l'hémoglobine fixe facilement l'oxygène.

Dans les tissus, elle libère l'oxygène selon les besoins.

Plusieurs facteurs favorisent la libération d'oxygène aux tissus :

- augmentation du  $\text{CO}_2$  ;
- baisse du pH ;
- augmentation de la température ;
- augmentation du 2,3-BPG ;
- effort musculaire.

Ces conditions sont typiques des tissus actifs.

## 23. Effet Bohr

L'effet Bohr décrit la diminution de l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène lorsque le  $\text{CO}_2$  augmente et que le pH baisse.

Autrement dit :

- un tissu actif produit plus de  $\text{CO}_2$  et d'acides ;
- le pH local baisse ;
- l'hémoglobine libère plus facilement l'oxygène.

C'est une adaptation très intelligente : les tissus qui travaillent davantage reçoivent davantage d'oxygène.

## 24. Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone, ou  $\text{CO}$ , se fixe fortement à l'hémoglobine.

Il prend la place de l'oxygène.

Il forme de la carboxyhémoglobine.

Cela diminue la capacité du sang à transporter l'oxygène et gêne aussi la libération d'oxygène aux tissus.

C'est pourquoi l'intoxication au monoxyde de carbone est dangereuse.

# Transport du $\text{CO}_2$

## 25. Principe

Le dioxyde de carbone est produit par le métabolisme cellulaire.

Il diffuse des tissus vers le sang, puis est transporté jusqu'aux poumons pour être éliminé.

Le  $\text{CO}_2$  est transporté sous trois formes principales :

Forme de transport	Proportion approximative
Bicarbonates $\text{HCO}_3^-$	majorité
Lié à l'hémoglobine	une partie
Dissous dans le plasma	petite partie

## 26. $\text{CO}_2$ sous forme de bicarbonates

La majorité du  $\text{CO}_2$  est transformée en bicarbonates.

Dans les globules rouges, une enzyme appelée anhydrase carbonique accélère la réaction.

**Schéma simplifié :**



Le bicarbonate passe ensuite dans le plasma.

Ce système est très important pour le transport du  $\text{CO}_2$  et l'équilibre acido-basique.

## 27. CO<sub>2</sub> lié à l'hémoglobine

Une partie du CO<sub>2</sub> se fixe sur les chaînes de globine de l'hémoglobine.

On parle de carbaminohémoglobine.

Le CO<sub>2</sub> ne se fixe pas sur le même site que l'oxygène.

Ce transport participe à l'élimination du CO<sub>2</sub> vers les poumons.

## 28. CO<sub>2</sub> dissous

Une petite partie du CO<sub>2</sub> est dissoute directement dans le plasma.

Cette fraction est importante car elle influence la pression partielle en CO<sub>2</sub>.

Le CO<sub>2</sub> dissous participe directement à la régulation du pH.

Quand le CO<sub>2</sub> augmente, le pH tend à diminuer.

C'est pourquoi l'hypercapnie peut provoquer une acidose respiratoire.

## 29. Hémoglobine et pH

L'hémoglobine participe au tamponnement du pH.

Elle peut fixer des ions H<sup>+</sup> produits lors de la transformation du CO<sub>2</sub> en bicarbonates.

Cela aide à limiter les variations brutales du pH sanguin.

# Durée de vie des globules rouges

## 30. Durée moyenne

La durée de vie moyenne d'une hématie est d'environ 120 jours.

Après cette période, elle devient moins souple et plus fragile.

Elle est alors éliminée principalement par les macrophages de la rate, du foie et de la moelle osseuse.

## 31. Destruction des hématies

La destruction des globules rouges vieillissants s'appelle hémolyse physiologique.

Les macrophages récupèrent les composants de l'hémoglobine.

Le fer est recyclé.

La partie hème est transformée en bilirubine.

La bilirubine est ensuite transportée vers le foie, conjuguée, puis éliminée dans la bile.

## 32. Recyclage du fer

Le fer est précieux pour l'organisme.

Il est donc recyclé autant que possible.

Il peut être :

- réutilisé pour fabriquer de nouvelles hématies ;
- stocké sous forme de ferritine ;
- transporté dans le sang par la transferrine.

Une perte chronique de sang peut épuiser les réserves en fer et provoquer une anémie ferriprive.

## 33. Rate et globules rouges

La rate filtre le sang.

Elle élimine les globules rouges vieillissants ou anormaux.

Elle participe aussi à la réponse immunitaire.

Après splénectomie, certaines anomalies des globules rouges peuvent persister plus facilement dans le sang, et le risque d'infections par certaines bactéries augmente.

## 34. Schéma à insérer

**Images conseillées :**

Schéma de l'hématie biconcave avec hémoglobine.

**Schéma érythropoïèse : rein EPO moelle osseuse hématies.**



### 11.3. Leucocytes

#### 35. Définition

Les leucocytes sont les globules blancs.

Ils appartiennent au système immunitaire.

Ils défendent l'organisme contre :

- bactéries ;
- virus ;
- champignons ;
- parasites ;
- cellules tumorales ;
- toxines ;
- corps étrangers.

Ils participent aussi à :

- inflammation ;
- cicatrisation ;
- immunité innée ;
- immunité adaptative ;
- mémoire immunitaire ;
- réactions allergiques ;
- surveillance anti-tumorale.

#### 36. Types de leucocytes

On distingue plusieurs grandes familles.

Type	Rôle principal
Polynucléaires neutrophiles	défense contre bactéries, phagocytose
Polynucléaires éosinophiles	parasites, allergie
Polynucléaires basophiles	allergie, histamine
Lymphocytes B	anticorps
Lymphocytes T	immunité cellulaire, coordination
Cellules NK	destruction cellules anormales
Monocytes	deviennent macrophages ou cellules dendritiques

#### 37. Défense immunitaire

Les leucocytes participent à deux grandes formes d'immunité :

- immunité innée ;
- immunité adaptative.

Immunité	Caractéristiques	Cellules principales
Innée	rapide, non spécifique	neutrophiles, macrophages, NK, complément
Adaptative	spécifique, mémoire	lymphocytes B, lymphocytes T

Ces deux systèmes coopèrent.

L'immunité innée déclenche souvent la première réponse.

L'immunité adaptative apporte la spécificité et la mémoire.

## Polynucléaires

#### 38. Définition

Les polynucléaires sont des leucocytes contenant des granulations dans leur cytoplasme.

On les appelle aussi granulocytes.

Ils possèdent un noyau segmenté.

On distingue :

- polynucléaires neutrophiles ;

- polynucléaires éosinophiles ;
- polynucléaires basophiles.

### 39. Polynucléaires neutrophiles

Les neutrophiles sont les leucocytes les plus nombreux dans le sang.

Ils sont essentiels contre les infections bactériennes aiguës.

Ils interviennent rapidement.

Ils peuvent :

- migrer vers le site infecté ;
- phagocyter les bactéries ;
- libérer des enzymes ;
- produire des substances antimicrobiennes ;
- participer à la formation du pus.

### 40. Neutrophiles et inflammation aiguë

Lors d'une infection bactérienne, les neutrophiles quittent le sang et rejoignent le tissu infecté.

Ce processus comprend :

- adhérence à l'endothélium ;
- passage à travers la paroi vasculaire ;
- migration vers le site inflammatoire ;
- phagocytose ;
- destruction microbienne.

Une augmentation des neutrophiles dans le sang peut orienter vers une infection bactérienne, une inflammation aiguë, un stress important ou d'autres situations selon le contexte.

### 41. Neutropénie

La neutropénie correspond à une baisse des neutrophiles.

Elle augmente le risque d'infection bactérienne et fongique.

Une neutropénie profonde est particulièrement dangereuse.

Elle peut être liée à :

- chimiothérapie ;
- atteinte médullaire ;
- médicaments ;
- infections ;
- maladies hématologiques ;
- maladies auto-immunes.

## Lymphocytes

### 42. Définition

Les lymphocytes sont les cellules principales de l'immunité adaptative.

Ils permettent une réponse spécifique contre un antigène.

Ils comprennent :

- lymphocytes B ;
- lymphocytes T ;
- cellules NK, parfois classées avec les lymphocytes mais relevant surtout de l'immunité innée.

### 43. Lymphocytes B

Les lymphocytes B peuvent se transformer en plasmocytes.

Les plasmocytes produisent des anticorps.

Les lymphocytes B peuvent aussi devenir des cellules mémoire.

Rôles :

- reconnaissance d'antigènes ;
- production d'anticorps ;
- mémoire immunitaire ;
- participation aux réponses vaccinales ;

- présentation d'antigènes aux lymphocytes T.

#### 44. Anticorps

Les anticorps sont des immunoglobulines.

Ils se fixent spécifiquement à un antigène.

Ils peuvent :

- neutraliser un microbe ou une toxine ;
- faciliter la phagocytose ;
- activer le complément ;
- empêcher l'entrée d'un virus dans une cellule ;
- participer à la mémoire immunitaire.

Principales classes :

- IgG ;
- IgM ;
- IgA ;
- IgE ;
- IgD.

#### 45. Lymphocytes T

Les lymphocytes T mûrissent dans le thymus.

Ils comprennent notamment :

- T CD4 ;
- T CD8 ;
- T régulateurs ;
- T mémoire.

Les lymphocytes T CD4 coordonnent la réponse immunitaire.

Les lymphocytes T CD8 détruisent des cellules infectées ou anormales.

Les T régulateurs limitent les réponses excessives et participent à la tolérance immunitaire.

#### 46. Cellules NK

Les cellules NK détruisent certaines cellules anormales sans reconnaissance antigénique aussi spécifique que les lymphocytes T.

Elles ciblent notamment :

- cellules infectées par des virus ;
- cellules tumorales ;
- cellules présentant des anomalies de reconnaissance du soi.

Elles appartiennent plutôt à l'immunité innée.

## Monocytes

#### 47. Définition

Les monocytes sont des leucocytes circulant dans le sang.

Ils peuvent quitter la circulation pour entrer dans les tissus.

Dans les tissus, ils deviennent notamment :

- macrophages ;
- cellules dendritiques.

#### 48. Macrophages

Les macrophages assurent plusieurs fonctions :

- phagocytose ;
- nettoyage des débris ;
- destruction de microbes ;
- sécrétion de cytokines ;
- présentation d'antigènes ;
- coordination de l'inflammation ;
- participation à la réparation tissulaire.

Ils sont très importants dans l'inflammation chronique et la cicatrisation.

## 49. Cellules dendritiques

Les cellules dendritiques capturent les antigènes et les présentent aux lymphocytes T.

Elles font le lien entre immunité innée et immunité adaptative.

Elles sont essentielles au déclenchement de nombreuses réponses immunitaires spécifiques.

# Éosinophiles

## 50. Définition

Les éosinophiles sont des polynucléaires impliqués surtout dans :

- défense contre certains parasites ;
- réactions allergiques ;
- asthme allergique ;
- certaines inflammations.

Ils contiennent des granules riches en protéines capables d'endommager des parasites, mais aussi des tissus si la réaction est excessive.

## 51. Éosinophilie

Une éosinophilie correspond à une augmentation des éosinophiles.

Causes possibles :

- allergies ;
- asthme ;
- parasitoses ;
- réactions médicamenteuses ;
- certaines maladies inflammatoires ;
- certaines hémopathies.

L'interprétation dépend toujours du contexte clinique.

# Basophiles

## 52. Définition

Les basophiles sont les leucocytes les moins nombreux dans le sang.

Ils participent surtout aux réactions allergiques et inflammatoires.

Ils contiennent des granules avec :

- histamine ;
- héparine ;
- autres médiateurs.

Ils sont proches fonctionnellement des mastocytes, qui résident dans les tissus.

## 53. Rôle dans l'allergie

Les basophiles peuvent être activés lors de réactions allergiques.

Ils participent à la libération de médiateurs inflammatoires.

Ces médiateurs peuvent provoquer :

- vasodilatation ;
- augmentation de perméabilité ;
- prurit ;
- bronchoconstriction selon contexte ;
- réaction inflammatoire.

## 54. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Tableau visuel des leucocytes : neutrophile, lymphocyte, monocyte, éosinophile, basophile, avec rôle principal.

## 11.4. Plaquettes

## 55. Définition

Les plaquettes sont de petits fragments cellulaires circulant dans le sang.

Elles sont aussi appelées thrombocytes.

Elles proviennent de grosses cellules de la moelle osseuse appelées mégacaryocytes.

Elles n'ont pas de noyau.

Leur rôle principal est de participer à l'hémostase, c'est-à-dire l'arrêt du saignement.

## 56. Production des plaquettes

Les plaquettes sont produites dans la moelle osseuse.

Les mégacaryocytes fragmentent leur cytoplasme pour libérer des plaquettes dans la circulation.

La production plaquettaire est régulée notamment par la thrombopoïétine, produite principalement par le foie et aussi par d'autres tissus.

## 57. Durée de vie des plaquettes

Les plaquettes vivent environ 7 à 10 jours.

Elles sont ensuite éliminées principalement par la rate et le foie.

La moelle doit donc en produire en permanence.

# Rôle dans l'hémostase

## 58. Fonction principale

Les plaquettes interviennent surtout dans l'hémostase primaire.

Elles permettent de former rapidement un clou plaquettaire au niveau d'une lésion vasculaire.

Elles participent aussi à l'activation de la coagulation.

Elles sont donc essentielles pour éviter les saignements.

## 59. Plaquettes et vaisseau intact

Quand l'endothélium vasculaire est intact, il empêche l'activation plaquettaire excessive.

Il produit des substances qui maintiennent les plaquettes au repos.

Quand le vaisseau est lésé, la matrice sous-endothéliale est exposée.

Cela déclenche l'adhésion des plaquettes.

# Activation plaquettaire

## 60. Étape 1 : adhésion

Lorsqu'un vaisseau est lésé, les plaquettes adhèrent au site de lésion.

Elles se fixent notamment au collagène sous-endothélial grâce au facteur von Willebrand.

Le facteur von Willebrand sert de pont entre la plaquette et la paroi lésée.

## 61. Étape 2 : activation

Après adhésion, les plaquettes s'activent.

Elles changent de forme.

Elles deviennent plus irrégulières et émettent des prolongements.

Elles libèrent le contenu de leurs granules.

Les granules contiennent notamment :

- ADP ;
- calcium ;
- sérotonine ;
- facteurs plaquettaires ;
- médiateurs favorisant l'activation d'autres plaquettes.

Les plaquettes produisent aussi du thromboxane A<sub>2</sub>, qui favorise l'agrégation et la vasoconstriction.

## 62. Étape 3 : recrutement

Les substances libérées par les plaquettes activées attirent et activent d'autres plaquettes.

Cela amplifie la réponse locale.

L'objectif est de former rapidement un bouchon plaquettaire.

## Agrégation

### 63. Définition

L'agrégation plaquettaire correspond à l'accolement des plaquettes entre elles.

Elle permet la formation du clou plaquettaire.

Le fibrinogène sert de pont entre les plaquettes via des récepteurs plaquettaires spécifiques, notamment GPIIb/IIIa.

### 64. Clou plaquettaire

Le clou plaquettaire est un bouchon formé par les plaquettes.

Il se forme rapidement.

Il est utile pour arrêter un petit saignement.

Mais il est fragile.

Il doit être consolidé par la fibrine produite lors de la coagulation.

### 65. Plaquettes et médicaments

Certains médicaments diminuent l'activation ou l'agrégation plaquettaire.

Ce sont les antiagrégants plaquettaires.

**Exemples :**

- aspirine ;
- clopidogrel ;
- inhibiteurs GPIIb/IIIa dans certains contextes spécialisés.

Ils diminuent le risque de thrombose artérielle, mais augmentent le risque de saignement.

### 66. Troubles plaquettaires

Un trouble plaquettaire peut être quantitatif ou qualitatif.

Trouble	Description
Thrombopénie	nombre de plaquettes trop bas
Thrombocytose	nombre de plaquettes trop élevé
Thrombopathie	fonctionnement plaquettaire anormal

Une thrombopénie importante augmente le risque hémorragique.

Un excès ou une activation excessive peut participer au risque thrombotique selon le contexte.

### 67. Schéma à insérer

**Image conseillée :**

Schéma plaquettaire : lésion vasculaire adhésion activation libération ADP/TXA<sub>2</sub> agrégation clou plaquettaire.

## 11.5. Hémostase

### 68. Définition

L'hémostase est l'ensemble des mécanismes qui permettent d'arrêter un saignement après une lésion vasculaire.

Elle doit être rapide, efficace et localisée.

Elle repose sur un équilibre délicat.

Si l'hémostase est insuffisante, il y a risque hémorragique.

Si l'hémostase est excessive ou inappropriée, il y a risque de thrombose.

### 69. Grandes étapes de l'hémostase

L'hémostase comprend plusieurs étapes complémentaires.

1. Vasoconstriction.
  2. Hémostase primaire : formation du clou plaquettaire.
  3. Coagulation : formation de fibrine.
  4. Rétraction et stabilisation du caillot.
  5. Fibrinolyse : dissolution progressive du caillot.
- Ces étapes se chevauchent dans le temps.

## Vasoconstriction

### 70. Définition

La vasoconstriction est le rétrécissement du vaisseau lésé.

Elle survient rapidement après une lésion.

Elle limite le débit sanguin local et réduit la perte de sang.

### 71. Mécanismes

La vasoconstriction est favorisée par :

- réflexe local du muscle lisse vasculaire ;
- endothelines ;
- thromboxane A<sub>2</sub> libéré par les plaquettes ;
- sérotonine plaquettaire ;
- stimulation nerveuse locale selon contexte.

Elle est temporaire mais utile pour laisser le temps aux plaquettes et à la coagulation d'agir.

## Clou plaquettaire

### 72. Définition

Le clou plaquettaire est le bouchon initial formé par les plaquettes.

Il correspond à l'hémostase primaire.

Il repose sur :

- adhésion plaquettaire ;
- activation plaquettaire ;
- agrégation plaquettaire.

Il se forme en quelques minutes.

### 73. Limite du clou plaquettaire

Le clou plaquettaire seul est fragile.

Il peut suffire pour de petites lésions capillaires.

Mais pour stabiliser durablement le caillot, il faut la coagulation et la fibrine.

## Coagulation

### 74. Définition

La coagulation est l'ensemble des réactions qui aboutissent à la formation de fibrine.

La fibrine stabilise le clou plaquettaire.

La coagulation repose sur une cascade de facteurs de coagulation présents dans le plasma.

Beaucoup de facteurs sont produits par le foie.

Certains nécessitent la vitamine K pour être fonctionnels.

### 75. Cascade de coagulation

La coagulation est une cascade enzymatique.

Une protéine active la suivante, qui active la suivante, et ainsi de suite.

On décrit classiquement :

- voie extrinsèque ;
- voie intrinsèque ;

- voie commune.

Cette classification est utile pour comprendre les examens biologiques, même si la coagulation réelle in vivo est plus intégrée.

## 76. Voie extrinsèque

La voie extrinsèque est déclenchée par le facteur tissulaire exposé lors d'une lésion.

Elle implique notamment :

- facteur tissulaire ;
- facteur VII.

Elle active ensuite la voie commune.

Elle est explorée principalement par le TP, ou taux de prothrombine, et l'INR.

## 77. Voie intrinsèque

La voie intrinsèque implique des facteurs présents dans le sang.

Elle comprend notamment :

- facteur XII ;
- facteur XI ;
- facteur IX ;
- facteur VIII.

Elle est explorée principalement par le TCA, ou temps de céphaline activée.

Les hémophilies A et B sont liées respectivement à des déficits en facteur VIII et IX.

## 78. Voie commune

La voie commune aboutit à la formation de thrombine puis de fibrine.

Elle implique notamment :

- facteur X ;
- facteur V ;
- prothrombine ;
- fibrinogène.

La thrombine transforme le fibrinogène en fibrine.

La fibrine stabilise le caillot.

# Fibrine

## 79. Définition

La fibrine est une protéine fibreuse qui stabilise le caillot.

Elle provient du fibrinogène.

La thrombine transforme le fibrinogène soluble en fibrine insoluble.

La fibrine forme un réseau autour du clou plaquettaire.

Ce réseau piège les cellules sanguines et renforce le caillot.

## 80. Rôle de la thrombine

La thrombine est une enzyme centrale de la coagulation.

Elle permet :

- transformation du fibrinogène en fibrine ;
- activation de certains facteurs de coagulation ;
- activation plaquettaire ;
- amplification de la coagulation.

La thrombine est donc un point clé de l'hémostase.

## 81. Stabilisation du caillot

Le facteur XIII stabilise la fibrine en créant des liaisons entre les filaments.

Le caillot devient plus solide.

Il peut ensuite se rétracter grâce aux plaquettes, ce qui rapproche les berges de la lésion.



# Fibrinolyse

## 82. Définition

La fibrinolyse est le processus de dégradation du caillot.

Elle permet d'éliminer progressivement la fibrine lorsque le vaisseau est réparé.

Elle évite que le caillot persiste inutilement.

## 83. Plasmine

La plasmine est l'enzyme principale de la fibrinolyse.

Elle dégrade la fibrine.

Elle est produite à partir du plasminogène.

L'activateur tissulaire du plasminogène, ou tPA, transforme le plasminogène en plasmine.

## 84. D-dimères

Lorsque la fibrine stabilisée est dégradée, des fragments appelés D-dimères peuvent être libérés.

Les D-dimères sont donc des marqueurs de dégradation de la fibrine.

Ils peuvent augmenter dans de nombreuses situations :

- thrombose ;
- embolie pulmonaire ;
- inflammation ;
- infection ;
- cancer ;
- grossesse ;
- postopératoire ;
- traumatisme ;
- âge avancé.

Ils ne sont pas spécifiques à eux seuls.

## 85. Équilibre hémostatique

L'hémostase repose sur un équilibre entre :

- coagulation ;
- anticoagulation naturelle ;
- fibrinolyse ;
- intégrité endothéliale ;
- flux sanguin ;
- plaquettes ;
- facteurs de coagulation.

Le corps possède des systèmes anticoagulants naturels :

- antithrombine ;
- protéine C ;
- protéine S ;
- inhibiteur de la voie du facteur tissulaire.

Ces systèmes évitent une coagulation excessive.

## 86. Thrombose

Une thrombose correspond à la formation d'un caillot dans un vaisseau de manière inappropriée.

Elle peut toucher :

- veines ;
- artères ;
- microcirculation.

Les mécanismes favorisants sont classiquement regroupés dans la triade de Virchow :

- stase sanguine ;
- lésion endothéliale ;
- hypercoagulabilité.

**Exemples :**

- phlébite ;

- embolie pulmonaire ;
- infarctus ;
- AVC ischémique ;
- thrombose de cathéter.

## 87. Hémorragie

Une hémorragie correspond à une perte de sang.

Elle peut être liée à :

- plaie vasculaire ;
- déficit plaquettaire ;
- trouble de coagulation ;
- traitement anticoagulant ;
- maladie hépatique ;
- traumatisme ;
- rupture d'anévrisme ;
- saignement digestif ;
- trouble de l'hémostase.

L'hémostase permet normalement de limiter cette perte sanguine.

## 88. Schéma à insérer

**Images conseillées :**

Schéma complet de l'hémostase : vasoconstriction clou plaquettaire coagulation fibrine caillot stable fibrinolyse.

Schéma simplifié de la coagulation : voie extrinsèque + voie intrinsèque voie commune thrombine fibrine.

## 11.6. Groupes sanguins

### 89. Définition

Les groupes sanguins correspondent à des antigènes présents à la surface des globules rouges.

Ces antigènes peuvent être reconnus par le système immunitaire.

Les deux systèmes les plus importants en transfusion courante sont :

- système ABO ;
- système Rhésus, surtout l'antigène D.

Il existe beaucoup d'autres systèmes de groupes sanguins, mais ABO et Rhésus sont les bases indispensables.

## Système ABO

### 90. Principe

Le système ABO repose sur la présence ou l'absence d'antigènes A et B à la surface des hématies.

Il existe quatre groupes principaux :

- A ;
- B ;
- AB ;
- O.

Groupe	Antigènes sur hématies	Anticorps dans le plasma
A	antigène A	anti-B
B	antigène B	anti-A
AB	antigènes A et B	aucun anti-A/anti-B naturel
O	aucun antigène A/B	anti-A et anti-B

Les anticorps anti-A et anti-B sont naturellement présents selon le groupe.

Ils sont importants car ils peuvent provoquer une réaction transfusionnelle grave en cas d'incompatibilité.

### 91. Groupe A

Une personne de groupe A possède l'antigène A sur ses globules rouges.

Elle possède des anticorps anti-B dans son plasma.

Elle ne doit donc pas recevoir de globules rouges portant l'antigène B.

## 92. Groupe B

Une personne de groupe B possède l'antigène B sur ses globules rouges.

Elle possède des anticorps anti-A dans son plasma.

Elle ne doit donc pas recevoir de globules rouges portant l'antigène A.

## 93. Groupe AB

Une personne de groupe AB possède les antigènes A et B.

Elle ne possède normalement pas d'anticorps anti-A ou anti-B naturels.

Pour les globules rouges, elle peut recevoir A, B, AB ou O, sous réserve de compatibilité Rhésus et autres vérifications.

On dit souvent que le groupe AB est receveur universel pour les globules rouges, mais en pratique la transfusion respecte toujours les règles de compatibilité complètes.

## 94. Groupe O

Une personne de groupe O ne possède ni antigène A ni antigène B sur ses globules rouges.

Elle possède des anticorps anti-A et anti-B dans son plasma.

Pour les globules rouges, le groupe O peut donner à tous les groupes ABO, sous réserve de compatibilité Rhésus et des règles transfusionnelles.

On dit souvent que le groupe O est donneur universel de globules rouges, surtout O négatif en urgence extrême.

# Rhésus

## 95. Définition

Le système Rhésus comprend plusieurs antigènes.

Le plus important est l'antigène D.

Si une personne possède l'antigène D, elle est Rhésus positif.

Si elle ne le possède pas, elle est Rhésus négatif.

### Exemples :

- A+ signifie groupe A avec antigène D ;
- A- signifie groupe A sans antigène D.

## 96. Anticorps anti-D

Contrairement aux anticorps ABO, les anticorps anti-D ne sont généralement pas naturellement présents.

Ils apparaissent après immunisation.

Cette immunisation peut survenir après :

- transfusion incompatible ;
- grossesse avec passage de sang fœtal Rh+ chez une mère Rh- ;
- événement exposant à des hématies Rh+.

Une personne Rh- exposée à du sang Rh+ peut développer des anticorps anti-D.

## 97. Rhésus et grossesse

Le système Rhésus est important pendant la grossesse.

Si une mère Rh- porte un fœtus Rh+, elle peut s'immuniser contre l'antigène D si des hématies fœtales passent dans sa circulation.

Lors d'une grossesse ultérieure, les anticorps anti-D maternels peuvent traverser le placenta et détruire les globules rouges d'un fœtus Rh+.

Cela peut provoquer une maladie hémolytique du fœtus ou du nouveau-né.

La prévention repose sur l'administration d'immunoglobulines anti-D selon les indications.

# Compatibilité transfusionnelle

## 98. Principe général

La transfusion doit respecter la compatibilité entre le sang du donneur et celui du receveur.

L'objectif est d'éviter que les anticorps du receveur détruisent les globules rouges transfusés.

Une incompatibilité ABO peut provoquer une hémolyse aiguë grave.

## 99. Compatibilité ABO pour les globules rouges

Pour les concentrés de globules rouges, on raisonne surtout sur les antigènes portés par les hématies transfusées et les anticorps du receveur.

Receveur	Peut recevoir des globules rouges ABO de
O	O
A	A ou O
B	B ou O
AB	AB, A, B ou O

Ce tableau concerne uniquement le système ABO pour les globules rouges.

Il faut aussi tenir compte du Rhésus, des autres anticorps irréguliers et des règles de sécurité transfusionnelle.

## 100. Compatibilité Rhésus pour les globules rouges

En règle générale, une personne Rh- doit recevoir des globules rouges Rh- pour éviter l'immunisation anti-D.

Une personne Rh+ peut recevoir Rh+ ou Rh- selon disponibilité et contexte.

En situation d'urgence vitale, des règles spécifiques existent, mais elles sont strictement encadrées.

## 101. Donneur universel et receveur universel

Pour les globules rouges :

Terme simplifié	Groupe
Donneur universel de globules rouges	O négatif
Receveur universel de globules rouges	AB positif

### Attention :

Ces termes sont des simplifications pédagogiques.

En pratique transfusionnelle, on respecte toujours les protocoles, les contrôles, le groupage, la recherche d'anticorps irréguliers et la compatibilité.

## 102. Compatibilité du plasma

Pour le plasma, la logique est différente de celle des globules rouges.

Le plasma contient des anticorps.

Un plasma de groupe AB ne contient pas d'anti-A ni d'anti-B naturels. Il est donc souvent considéré comme donneur universel de plasma.

Le plasma de groupe O contient des anti-A et anti-B, donc il n'est pas universel.

Cela montre qu'il faut bien distinguer :

- compatibilité des globules rouges ;
- compatibilité du plasma ;
- compatibilité des plaquettes selon contexte.

## 103. Réaction transfusionnelle hémolytique

Une incompatibilité ABO peut provoquer une destruction brutale des globules rouges transfusés.

Signes possibles selon contexte :

- fièvre ;
- frissons ;
- douleur lombaire ;
- douleur thoracique ;
- hypotension ;
- malaise ;
- hémoglobinurie ;
- dyspnée ;
- état de choc ;
- insuffisance rénale aiguë ;
- coagulation intravasculaire disséminée dans les formes graves.

C'est pourquoi l'identitovigilance et les contrôles prétransfusionnels sont absolument essentiels.

## 104. RAI

La RAI signifie recherche d'agglutinines irrégulières.

Elle recherche des anticorps dirigés contre d'autres antigènes des globules rouges que les antigènes ABO habituels.

Elle est importante avant une transfusion et dans le suivi de certaines grossesses.

Elle permet de réduire le risque de réaction transfusionnelle.

## 105. Sécurité transfusionnelle

La transfusion repose sur des règles strictes :

- identification correcte du patient ;
- groupage sanguin ;
- contrôle de compatibilité ;
- RAI ;
- prescription médicale ;
- vérifications prétransfusionnelles ;
- surveillance clinique ;
- traçabilité ;
- arrêt immédiat en cas de réaction suspecte selon protocole.

La physiologie des groupes sanguins explique pourquoi ces règles sont vitales.

## 106. Schéma à insérer

**Images conseillées :**

Schéma du système ABO : globules rouges A, B, AB, O avec antigènes et anticorps plasmatiques.

Schéma compatibilité globules rouges : O donne à tous, AB reçoit de tous, avec prudence pédagogique.

Schéma Rhésus : présence ou absence antigène D, immunisation anti-D.

## Synthèse du chapitre

Le sang est un tissu conjonctif liquide composé de plasma et d'éléments figurés.

Le plasma transporte l'eau, les protéines, les électrolytes, les nutriments, les hormones, les déchets et les facteurs de coagulation. Les éléments figurés comprennent les hématies, les leucocytes et les plaquettes.

Les hématies transportent l'oxygène grâce à l'hémoglobine. Elles participent aussi au transport du CO<sub>2</sub> et au tamponnement du pH. Elles sont produites par l'érythropoïèse dans la moelle osseuse, sous stimulation de l'EPO produite principalement par les reins. Leur durée de vie moyenne est d'environ 120 jours.

Les leucocytes défendent l'organisme. Les neutrophiles participent surtout à la défense antibactérienne aiguë. Les lymphocytes B produisent des anticorps. Les lymphocytes T coordonnent ou détruisent des cellules infectées. Les monocytes deviennent macrophages ou cellules dendritiques. Les éosinophiles participent aux réponses antiparasitaires et allergiques. Les basophiles participent aux réactions allergiques.

Les plaquettes sont essentielles à l'hémostase primaire. Elles adhèrent à la lésion vasculaire, s'activent, recrutent d'autres plaquettes et s'agrègent pour former un clou plaquettaire.

L'hémostase comprend la vasoconstriction, la formation du clou plaquettaire, la coagulation avec production de fibrine, puis la fibrinolyse. Elle doit être équilibrée : trop faible, elle provoque des saignements ; excessive, elle favorise les thromboses.

Les groupes sanguins ABO reposent sur les antigènes A et B des globules rouges et les anticorps naturels du plasma. Le Rhésus dépend surtout de l'antigène D. La compatibilité transfusionnelle est indispensable pour éviter les réactions hémolytiques graves.

## À retenir absolument

Notion	Définition courte
Sang	tissu liquide de transport, défense et hémostase
Plasma	partie liquide du sang
Sérum	plasma après coagulation, sans fibrinogène actif
Éléments figurés	hématies, leucocytes, plaquettes
Hématie	globule rouge transportant O <sub>2</sub>
Hémoglobine	protéine de transport O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>
Érythropoïèse	production des globules rouges
EPO	hormone rénale stimulant l'érythropoïèse

Notion	Définition courte
Réticulocyte	jeune globule rouge
Hématocrite	proportion du sang occupée par les hématies
Leucocyte	globule blanc de défense
Neutrophile	défense antibactérienne aiguë
Lymphocyte B	production d'anticorps
Lymphocyte T	immunité cellulaire et coordination
Monocyte	précurseur macrophage/dendritique
Éosinophile	parasites, allergies
Basophile	allergie, histamine
Plaquette	fragment cellulaire de l'hémostase
Hémostase	arrêt du saignement
Clou plaquettaire	bouchon plaquettaire initial
Coagulation	cascade produisant la fibrine
Fibrine	réseau stabilisant le caillot
Fibrinolyse	dégradation du caillot
ABO	système antigènes A/B
Rhésus	système avec antigène D
RAI	recherche d'anticorps irréguliers
Compatibilité transfusionnelle	sécurité entre donneur et receveur

## Mini-évaluation

Réponds aux questions suivantes :

- De quoi est composé le sang ?
- Quelle est la différence entre plasma et sérum ?
- Quels sont les éléments figurés du sang ?
- Quel est le rôle de l'albumine plasmatique ?
- Qu'est-ce que l'hématocrite ?
- Quelle est la fonction principale des hématies ?
- Pourquoi l'hématie mature n'a-t-elle pas de noyau ?
- Pourquoi l'hématie a-t-elle une forme biconcave ?
- Qu'est-ce que l'érythropoïèse ?
- Où se déroule l'érythropoïèse chez l'adulte ?
- Quel est le rôle de l'EPO ?
- Quels éléments sont nécessaires à la production des globules rouges ?
- Qu'est-ce que l'hémoglobine ?
- Comment l'hémoglobine transporte-t-elle l'oxygène ?
- Pourquoi une anémie peut-elle provoquer une dyspnée ?
- Sous quelles formes le CO<sub>2</sub> est-il transporté ?
- Quel est le rôle de l'anhydrase carbonique ?
- Quelle est la durée de vie moyenne d'un globule rouge ?
- Où les globules rouges vieillissants sont-ils éliminés ?
- Quel est le lien entre hémoglobine et bilirubine ?
- Quel est le rôle général des leucocytes ?
- Quelle est la différence entre immunité innée et adaptative ?
- Quel est le rôle des neutrophiles ?
- Pourquoi une neutropénie est-elle dangereuse ?
- Quel est le rôle des lymphocytes B ?
- Quel est le rôle des lymphocytes T CD4 ?
- Quel est le rôle des lymphocytes T CD8 ?
- Que deviennent les monocytes dans les tissus ?
- Quel est le rôle des éosinophiles ?
- Quel est le rôle des basophiles ?
- D'où viennent les plaquettes ?
- Quelle est la durée de vie moyenne des plaquettes ?

33. Qu'est-ce que l'hémostase ?
34. Quelles sont les grandes étapes de l'hémostase ?
35. Quel est le rôle de la vasoconstriction ?
36. Qu'est-ce que le clou plaquettaire ?
37. Quel est le rôle du facteur von Willebrand ?
38. Qu'est-ce que l'activation plaquettaire ?
39. Qu'est-ce que l'agrégation plaquettaire ?
40. Quel est le rôle du fibrinogène dans l'agrégation ?
41. Qu'est-ce que la coagulation ?
42. Quelle est la différence entre voie intrinsèque et voie extrinsèque ?
43. Quel est le rôle de la thrombine ?
44. Quel est le rôle de la fibrine ?
45. Qu'est-ce que la fibrinolyse ?
46. Que sont les D-dimères ?
47. Qu'est-ce qu'une thrombose ?
48. Qu'est-ce que la triade de Virchow ?
49. Quels sont les quatre groupes ABO ?
50. Quels antigènes possède une personne de groupe A ?
51. Quels anticorps possède une personne de groupe O ?
52. Qu'est-ce que le Rhésus positif ?
53. Pourquoi le Rhésus est-il important pendant la grossesse ?
54. Quels globules rouges peut recevoir une personne de groupe A ?
55. Pourquoi une incompatibilité ABO peut-elle être grave ?
56. Pourquoi la compatibilité du plasma est-elle différente de celle des globules rouges ?
57. Qu'est-ce que la RAI ?
58. Pourquoi l'identitovigilance est-elle essentielle en transfusion ?