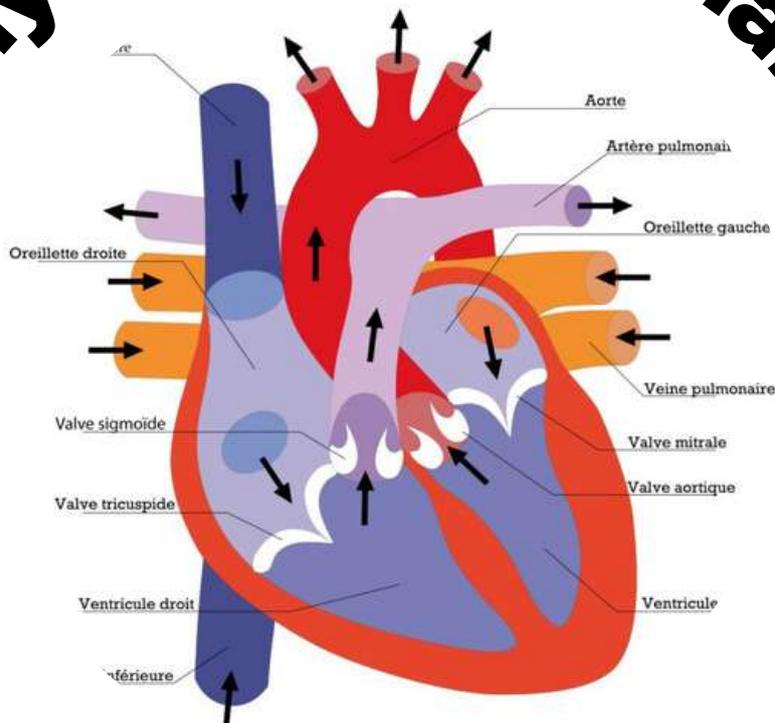


Physiologie Animale



SCIENCES DE LA VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE



UNIVERSITÉ ABDELMALEK ESSAÂDI
FACULTÉ DES SCIENCES TÉTOUAN
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE
FILIÈRE: LICENCE FONDAMENTALE
SCIENCES DE LA VIE (S4)
MODULE M25 : PHYSIOLOGIE ANIMALE

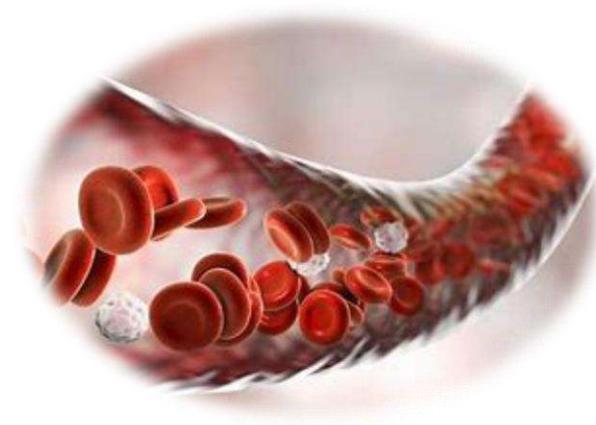
Physiologie animale :

Sang et immunité - Homéostasie

PR. M. BEN EL CAID

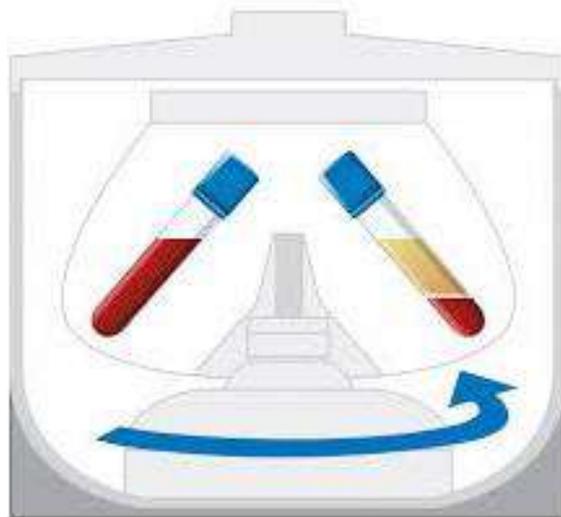
2020 / 2021

I. Sang : plasma et éléments figurés

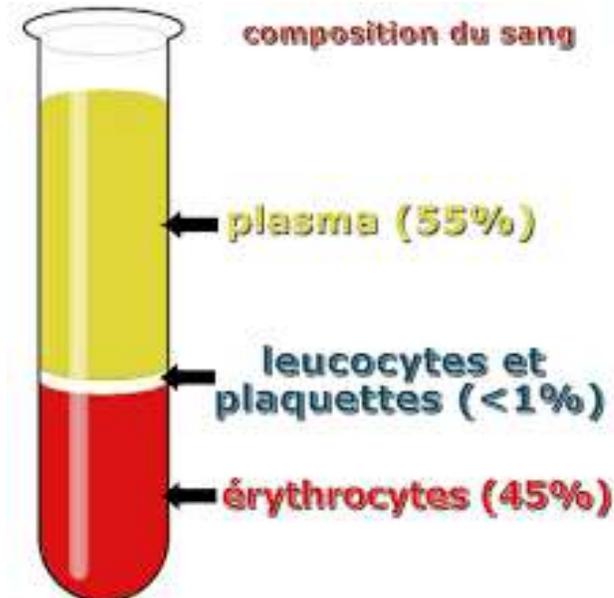


Le **sang**, par définition, est un fluide qui se déplace dans les vaisseaux d'un système circulatoire.

- Le **plasma** principalement constitué d'eau, de protéines, d'ions, de nutriments et de déchets.
- Les **globules rouges** sont responsables du transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone.
- Les **plaquettes** sont responsables de la coagulation du sang.
- Les **globules blancs** font partie du système immunitaire et agissent dans la réponse immunitaire.



Centrifugation



Plasma 55 %	
Composants	Principales fonctions
Eau	Solvant pour le transport d'autres substances
Ions (électrolytes sanguins) Sodium Potassium Calcium Magnésium Chlorure Hydrogénocarbonate	Équilibre osmotique, effet tampon sur le pH et régulation de la perméabilité des membranes
Protéines plasmatiques Albumine	Équilibre osmotique et effet tampon sur le pH
Fibrinogène	Coagulation
Immunoglobulines	Défense de l'organisme (anticorps)
Autres substances transportées par le sang Nutriments (par exemple glucose, acides gras et vitamines) Déchets métaboliques Gaz respiratoires (O ₂ et CO ₂) Hormones	

Séparation des éléments figurés

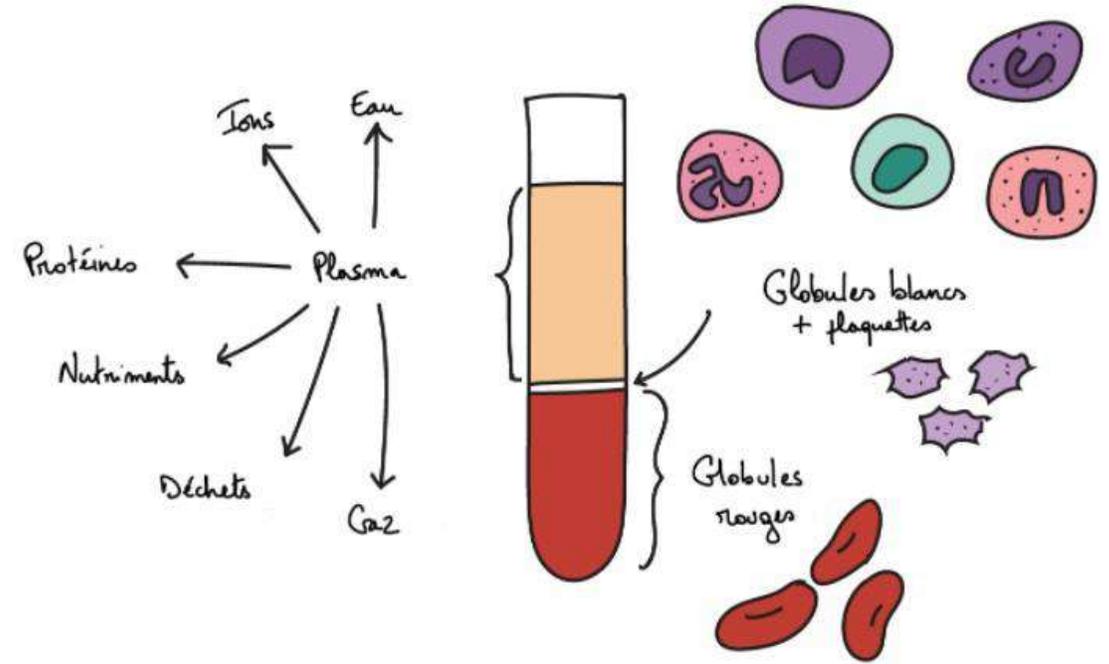


Éléments figurés: 45 %		
Types de cellule	Nombre par litre de sang	Fonctions
Leucocytes (globules blancs) Granulocytes basophiles Lymphocytes Granulocytes éosinophiles Neutrophiles Monocytes	5 – 10 × 10 ⁹	Défense et immunité
Plaquettes 	250 – 400 × 10 ⁹	Coagulation
Érythrocytes (globules rouges) 	5 – 6 × 10 ¹²	Transport du O ₂ et contribution au transport du CO ₂

La composition du sang des Mammifères.

Le plasma :

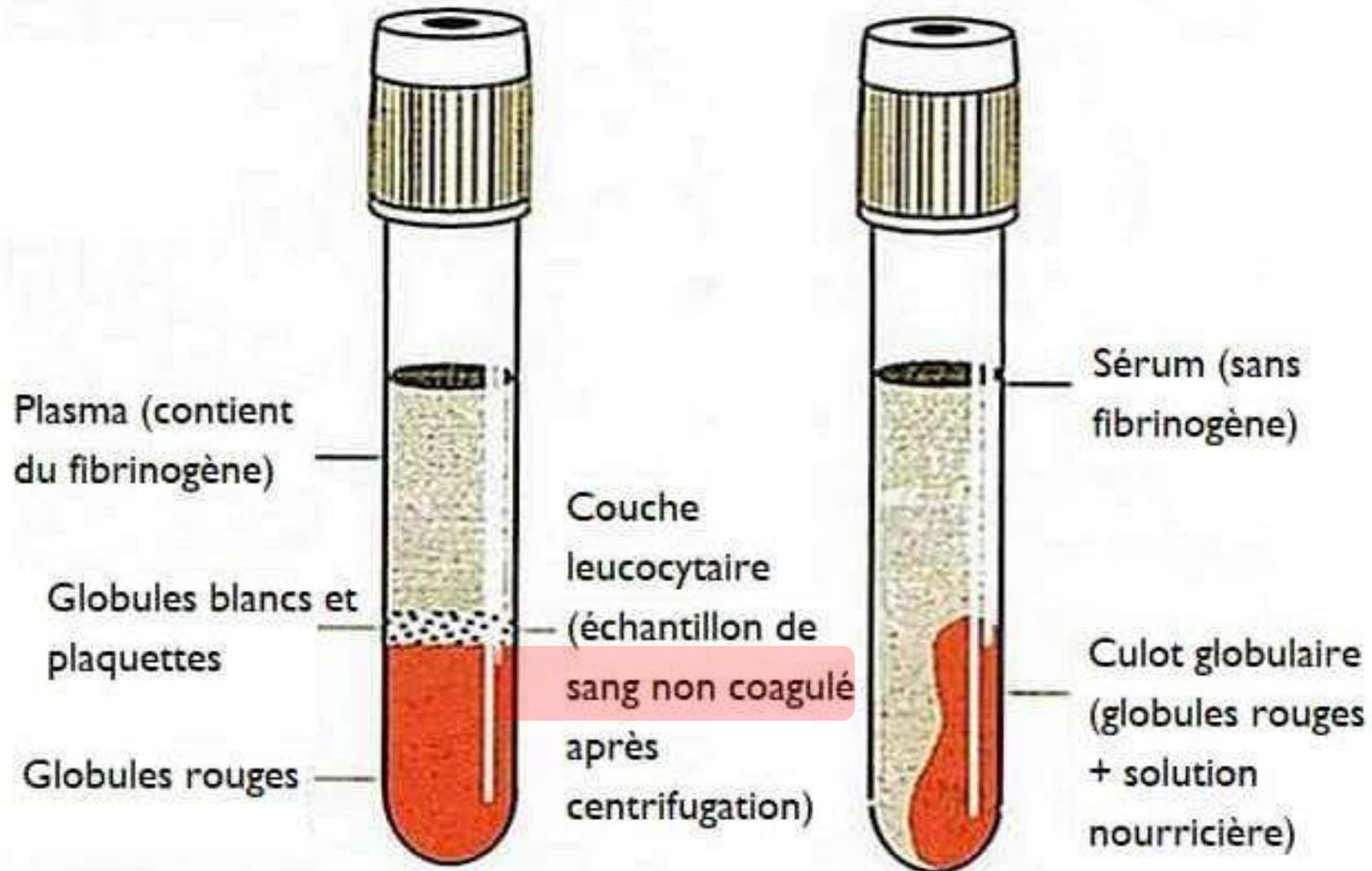
- Par **centrifugation**, le plasma reste au sommet, formant une **couche jaune**. Tandis que, Les cellules et plaquettes plus denses se déplacent vers le bas du tube, en formant des couches rouges et blanches.
- Environ 90 % d'**eau**, les 10 % restant d'**ions**, de **protéines**, de **nutriments**, de **déchets** et de **gaz dissous**.



- Les **ions**, les **protéines** et les autres **molécules** sont importants pour le maintien du **pH** et de **l'équilibre osmotique** du sang, avec **l'albumine**.
- **les hormones** -> **signaux de longue distance**, **les anticorps** -> neutralisent les **agents pathogènes**, et les **facteurs de coagulation** -> formation de caillots sanguins sur les blessures.
- **Sérum** = Plasma – Facteurs de coagulation

Plasma

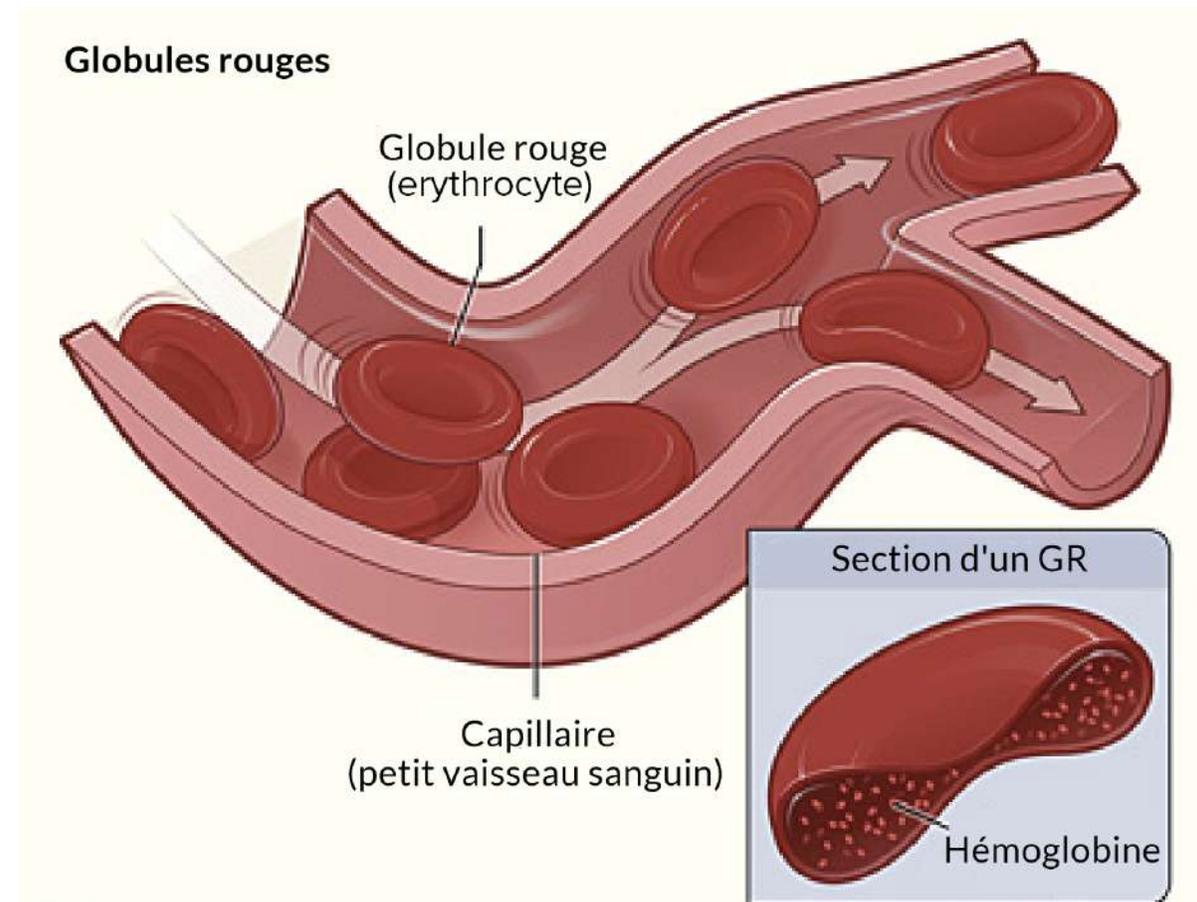
Sérum



Sérum = Plasma - facteurs coagulants

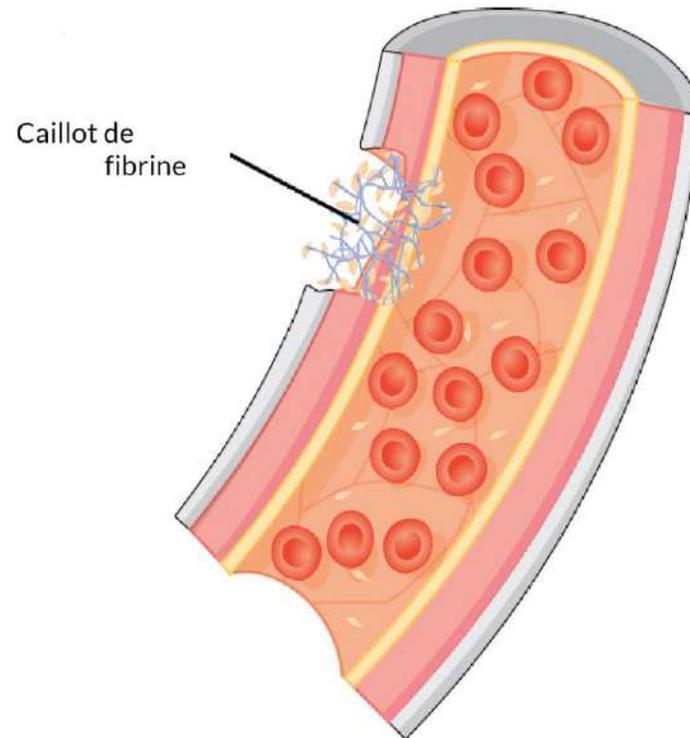
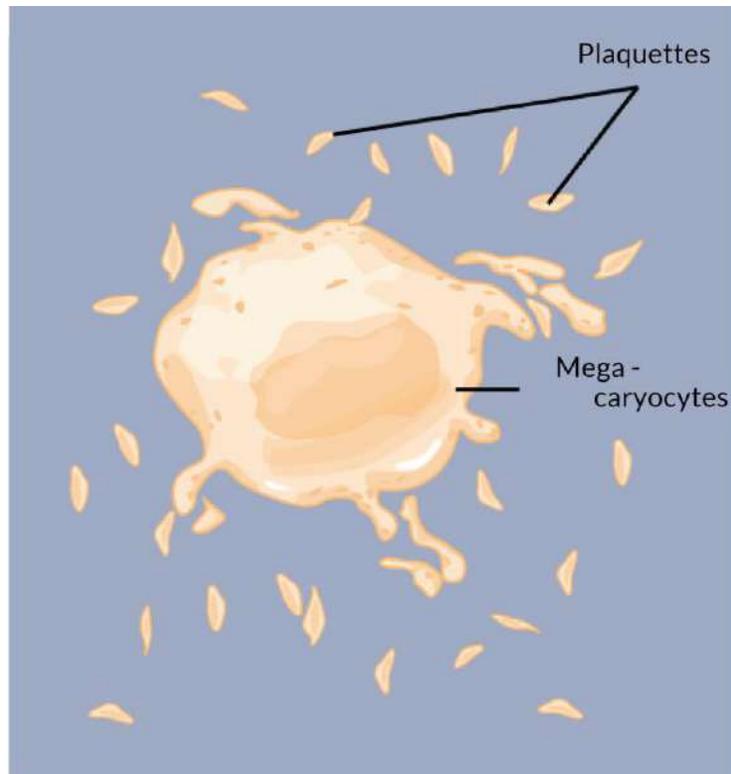
Les globules rouges :

- GR = **érythrocytes** = **hématies**, circulent à travers le corps et livrent de l'oxygène aux tissus.
- Sans mitochondrie ni noyau une fois mature.
- L'absence de noyau offre de l'espace supplémentaire pour l'**hémoglobine**, une protéine importante utilisée dans le transport de l'oxygène.
- L'absence de mitochondrie empêche les globules rouges d'utiliser l'oxygène qu'ils transportent, maximisant ainsi la quantité fournie aux tissus du corps.
- Les globules rouges jouent également un rôle important dans le transport du **dioxyde de carbone** depuis les tissus jusqu'aux poumons.
- La production de globules rouges est contrôlée par l'hormone **érythropoïétine**.
- Les globules rouges ont une **durée de vie** moyenne de **120 jours**. Les anciens globules rouges et ceux qui sont endommagés sont décomposés dans le foie et dans la rate,



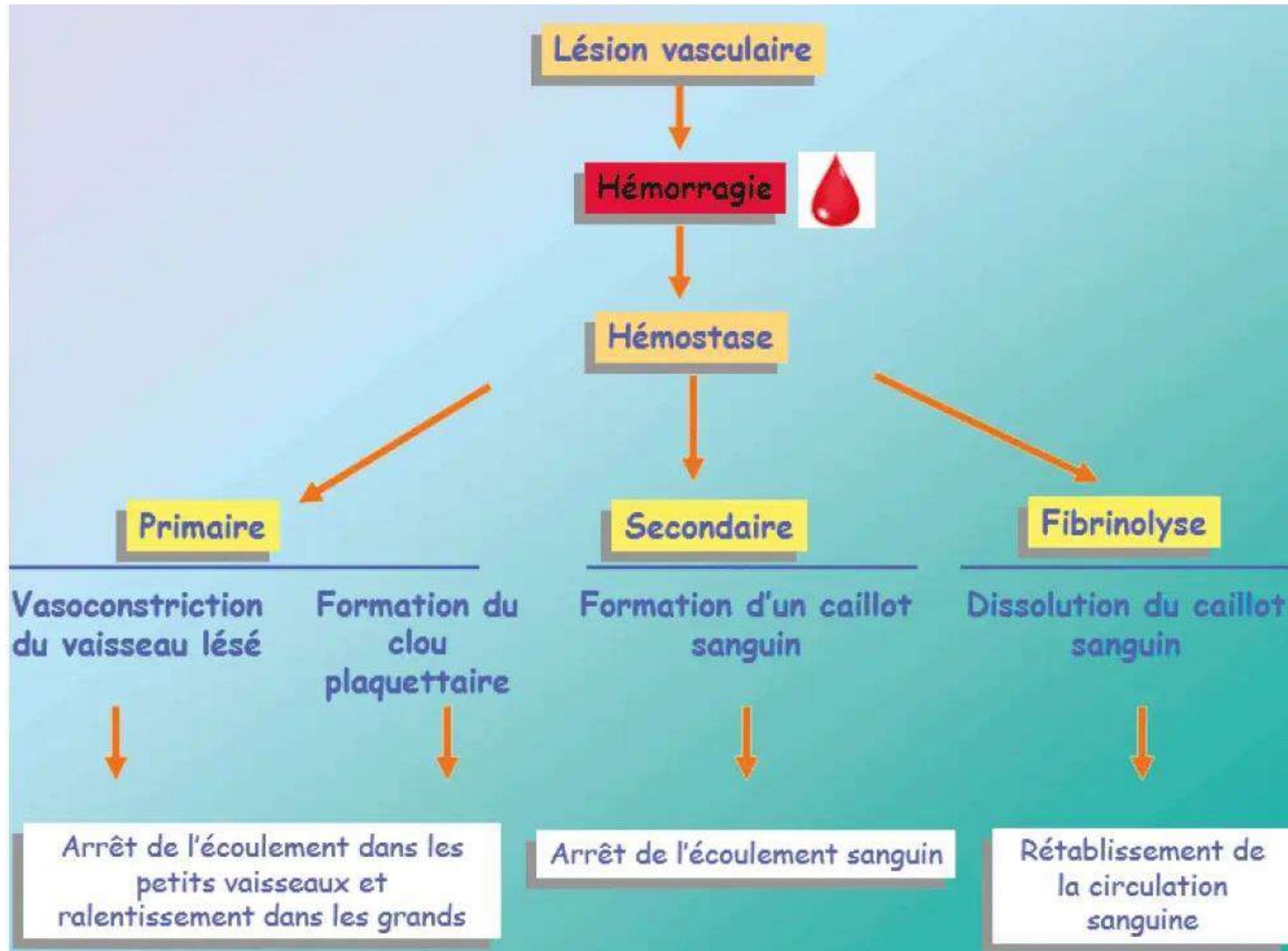
Plaquettes et coagulations :

- Les plaquettes (**thrombocytes**), sont des fragments de cellules impliqués dans la coagulation.
- Elles sont produites par décomposition de grandes cellules appelées **mégacaryocytes** en morceaux, et forme alors chacune entre 2000 - 3000 plaquettes.
- Les plaquettes sont discoïdes et petites, environ 2 - 4 μm de diamètre.



- les plaquettes sont attirées vers la plaie. Les plaquettes libèrent des signaux, qui attirent d'autres plaquettes et qui vont convertir la **fibrinogène**, une protéine soluble dans le plasma, en **fibrine** (non soluble dans l'eau). La fibrine renforce la prise des plaquettes, créant ainsi un caillot pour empêcher le sang de continuer à couler. C'est l'**Hémostase**

L'hémostase : remédiation au plaies après une incroyable mosaïque de réactions ordonnées



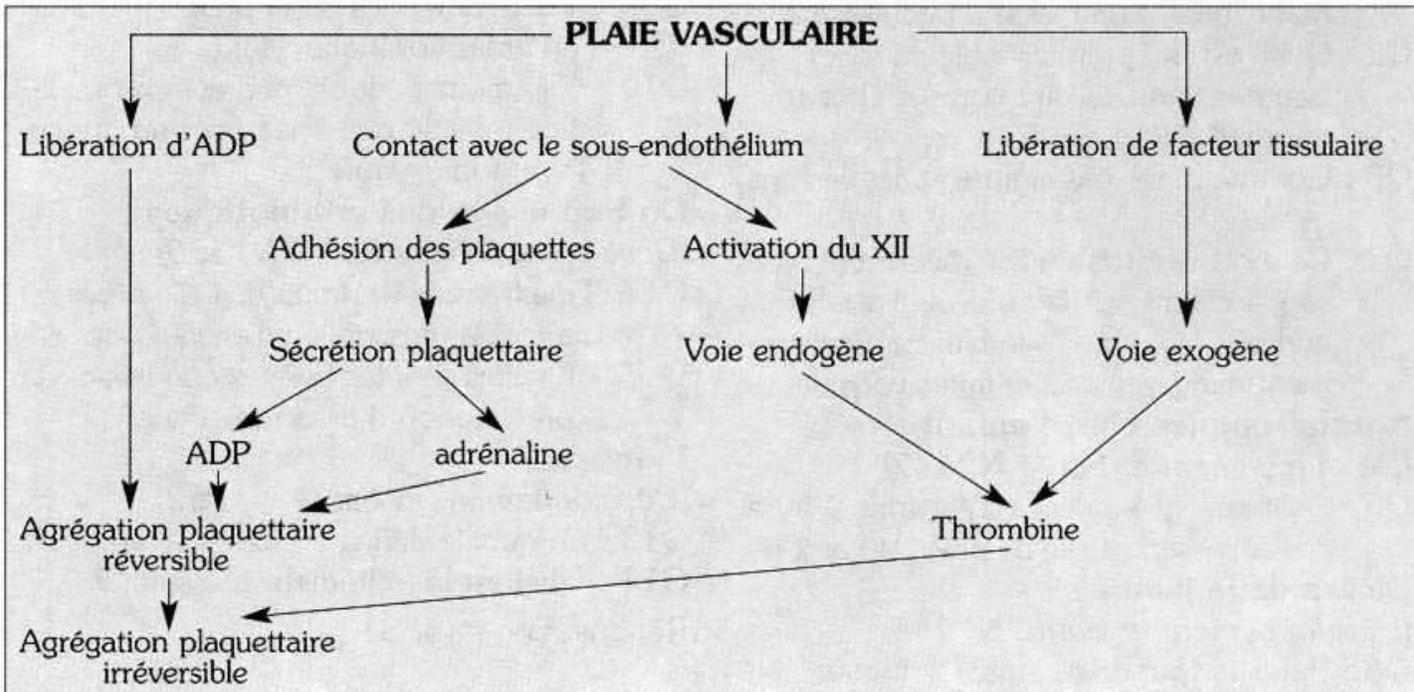
- La première étape de l'**hémostase primaire** est le **spasme vasculaire**. C'est une vasoconstriction qui entraîne une diminution du flux sanguin, favorise l'accumulation de **plaquettes sanguines** et de facteurs de la coagulation.

Les plaquettes s'agglutinent ensuite à la paroi du vaisseau sanguin pour former une fine membrane ou **clou plaquettaire** ou **thrombus** blanc et obturer la brèche vasculaire. C'est la **deuxième étape** de l'hémostase primaire.

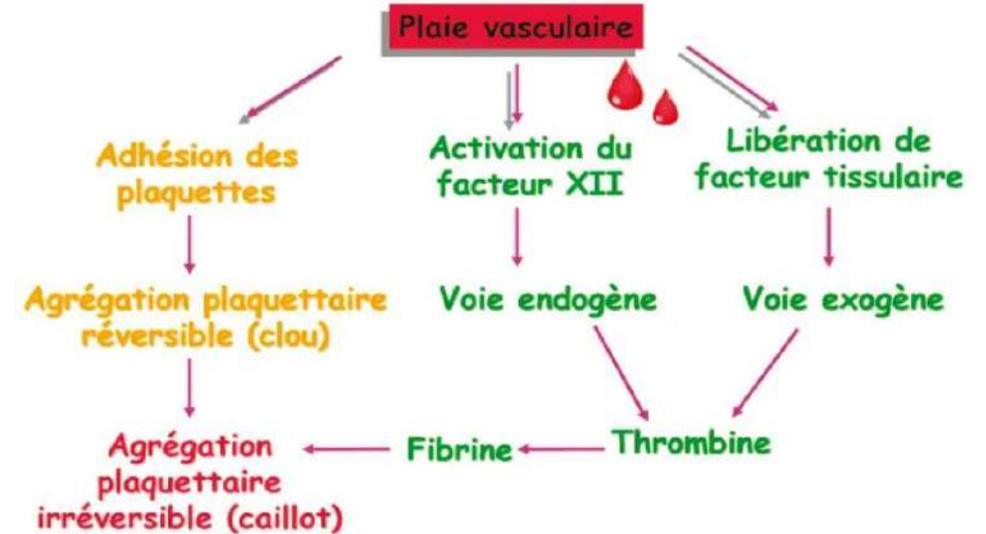
- L'**hémostase secondaire** : les filaments de **fibrine** (facteur I) emprisonnent les globules rouges, les globules blancs et d'autres plaquettes pour former le **caillot sanguin**.

- Enfin, lorsque le vaisseau sanguin est cicatrisé, des enzymes dissolvent le caillot. C'est la **fibrinolyse**. La circulation sanguine peut reprendre son cours normal.

Schéma de l'hémostase primaire et liens avec la coagulation.

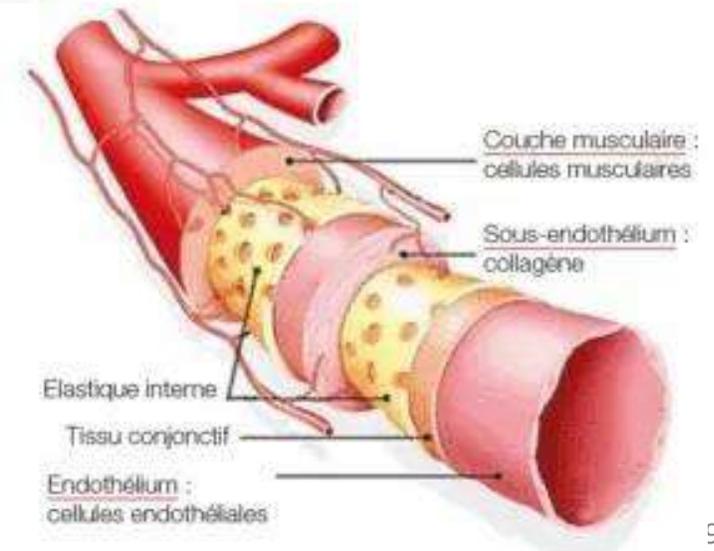


Lien entre hémostase primaire et hémostase secondaire



Les facteurs de coagulation

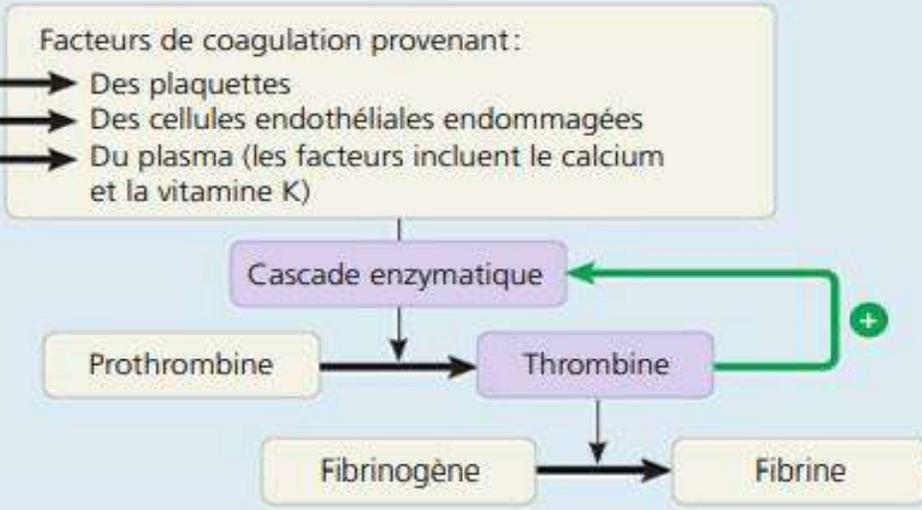
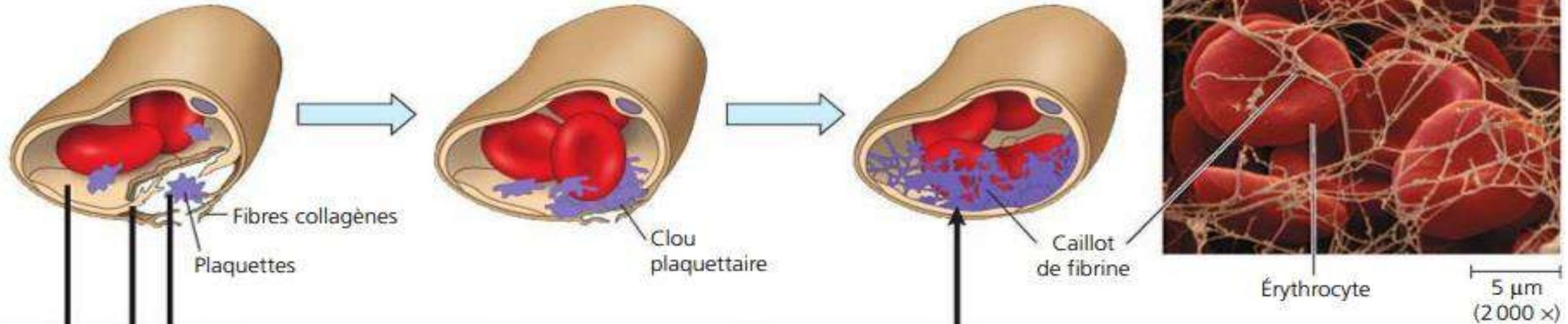
N°	Nom	Origine	Fonction
I	Fibrinogène → fibrine (I activée)	Foie et plaquettes	Forme des caillots (fibrine)
II	Prothrombine → Thrombine (II activée)	Foie	Active I, V, VIII, XI, XIII, protéine C, plaquettes Vitamine K dépendant
III	Facteur tissulaire		Active le facteur VII
IV	Calcium	Plasma	Lien phospholipide /facteur
V	Proaccélélerine	Foie et plaquettes	Augmente l'activité enzymatique du co-facteur Xa
VI	Accélélerine (ancien nom Facteur Va)		
VII	Proconvertine	Foie	Active IX, X Vitamine K dépendant
VIII	Facteur antihémophile A	Foie	Augmente l'activité enzymatique du co-facteur IX



1 Le processus de coagulation débute quand l'endothélium d'un vaisseau subit une lésion, ce qui expose au sang le tissu conjonctif de la paroi. Les plaquettes adhèrent aux fibres collagènes du tissu conjonctif et libèrent une substance qui rend collantes les plaquettes voisines.

2 Les plaquettes s'agglutinent pour former un bouchon (clou plaquettaire). Celui-ci assure une protection d'urgence contre la perte de sang.

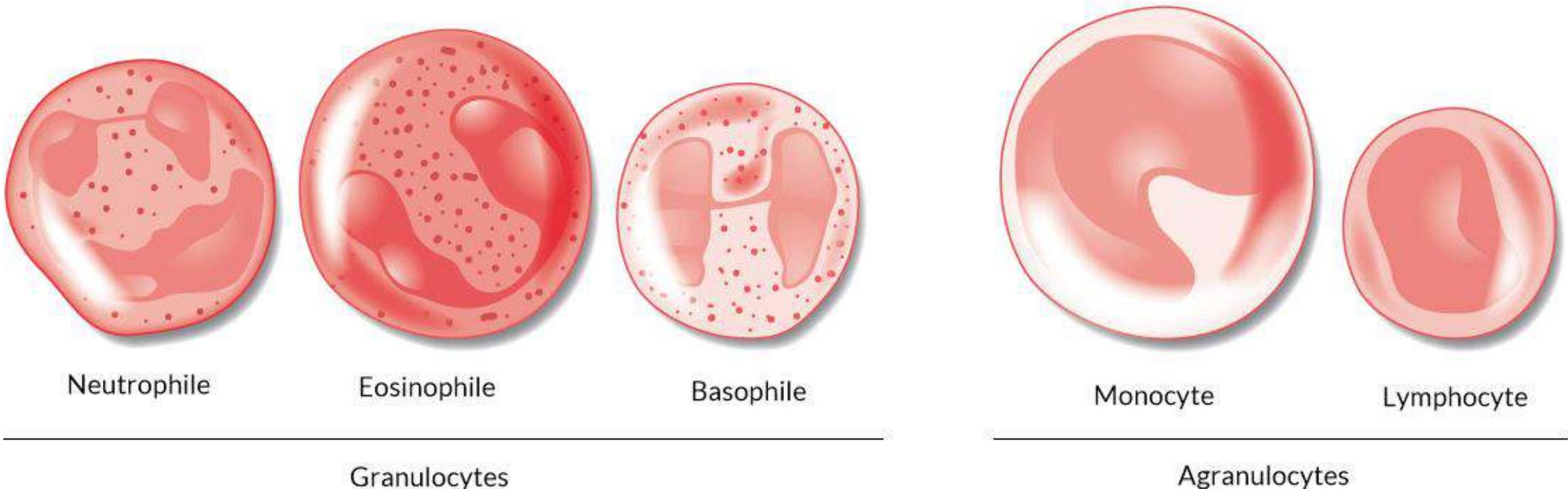
3 Cette obturation est renforcée par un caillot de fibrine dans le cas d'une lésion grave.



Formation du caillot de fibrine. Les facteurs de coagulation libérés par les plaquettes agglutinées ou les cellules endommagées de l'endothélium réagissent en cascade avec d'autres facteurs de coagulation du plasma. Cette activation en chaîne conduit à la transformation d'une protéine plasmatique inactive, la prothrombine, en sa forme active, la thrombine. La thrombine est une enzyme qui catalyse l'étape finale du processus de coagulation, c'est-à-dire la conversion du fibrinogène en fibrine. Les filaments de fibrine s'entremêlent de façon à former un caillot obturateur (voir la MEB colorée ci-dessus).

Les globules blancs :

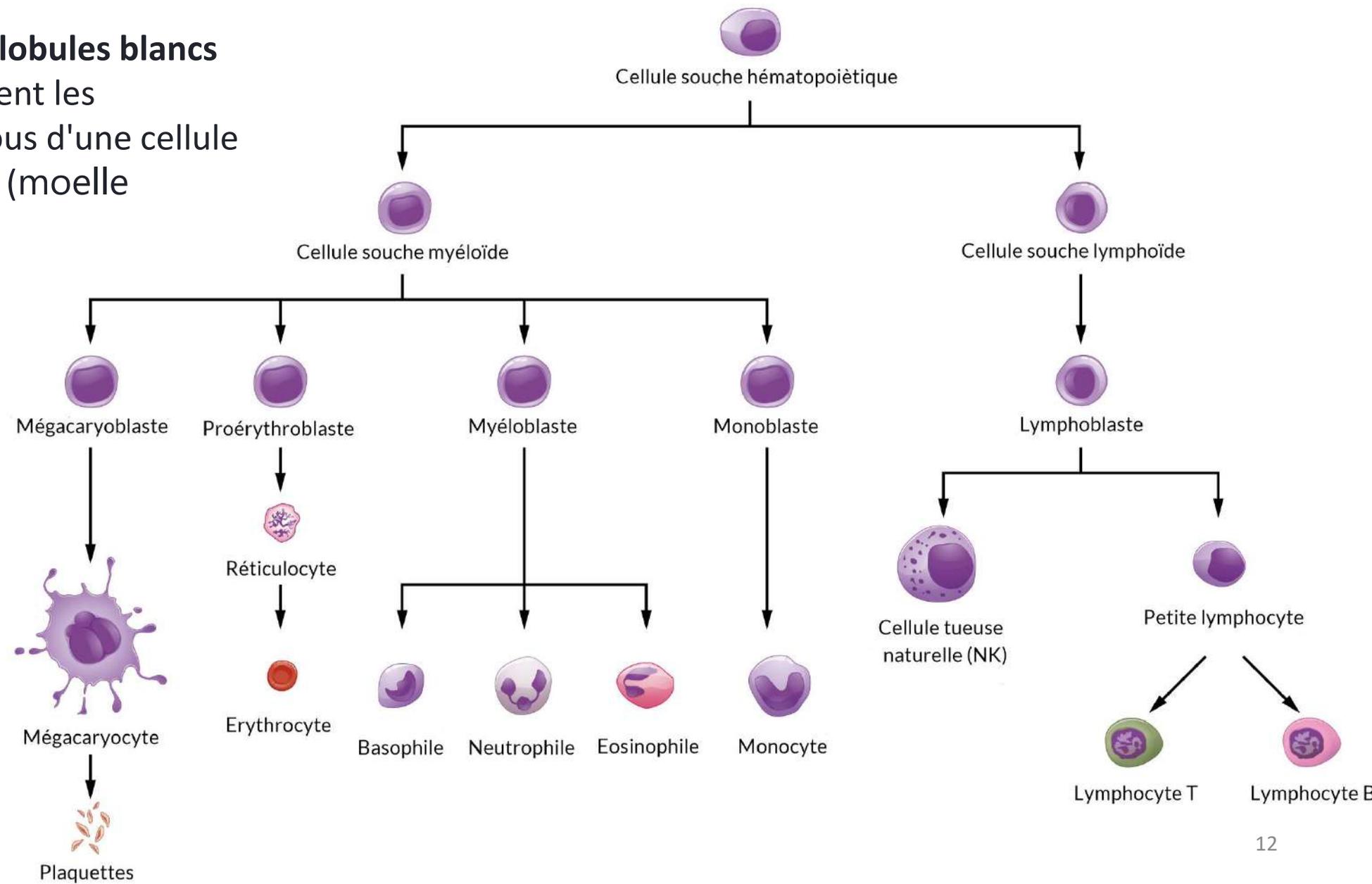
- GB ou **leucocytes**, moins 1% des cellules du sang. Impliqués dans des **réponses immunitaires**. Ils reconnaissent et neutralisent les envahisseurs (bactéries, virus..).
- ils ont **un noyau** et **des mitochondries**. Il existe cinq types principaux de globules blancs, que l'on répartit en deux groupes : **Granulocytes** (des granules dans leur cytoplasme), et les **Agranulocytes**.
- Durée de vies : entre **quelques heures** et **quelques années**.



La production et différenciation des cellules sanguines. :

Les **globules rouges**, les **globules blancs** et les cellules qui produisent les **plaquettes** descendent tous d'une cellule souche **hématopoïétique** (moelle osseuse).

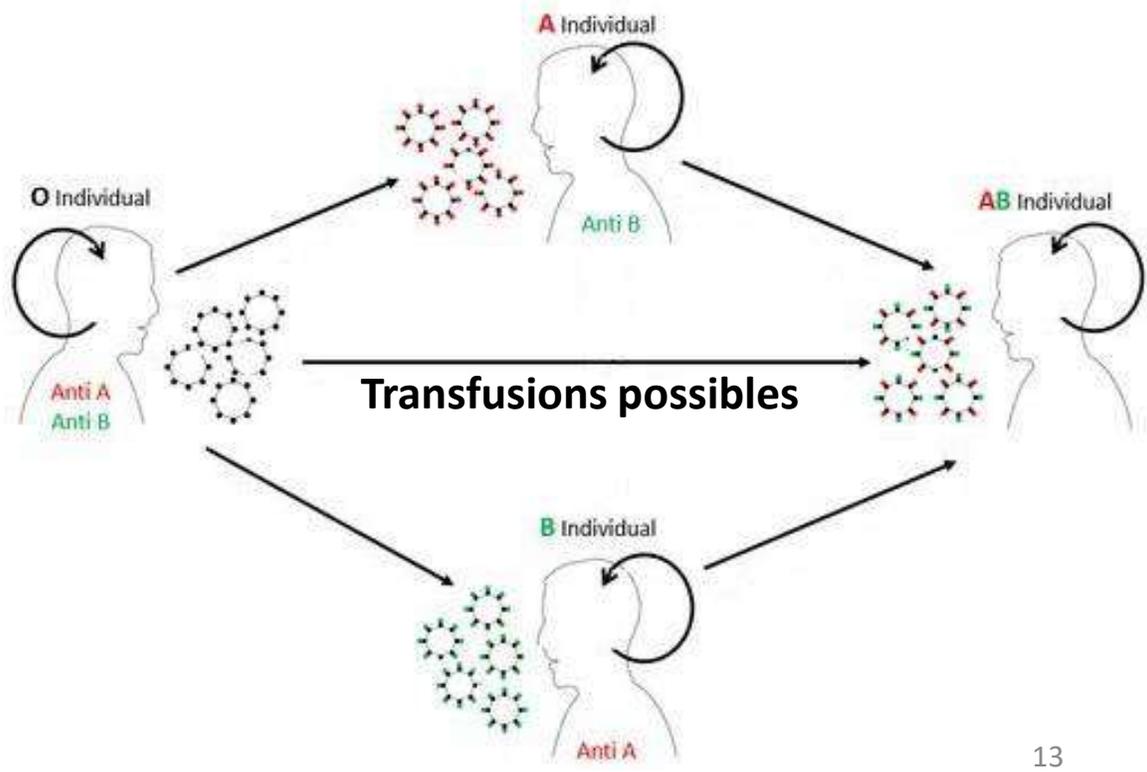
L'**hématopoïétique**, la **myéloïde** et les cellules souches **lymphoïdes** se divisent pendant toute la vie d'une personne.



Groupes sanguins :

- Un **groupe sanguin** est une classification reposant sur la présence ou l'absence de substances antigéniques héritées à la surface des globules rouges (hématies).
- Ces antigènes peuvent être des **protéines**, des **glucides**, des **glycoprotéines** ou des **glycolipides**.
- On distingue les groupes sanguins leucocytaires, plaquettaires, sériques et **érythrocytaires**, et les principaux modèles de classification de ces derniers selon les déterminants membranaires : **le Système ABO et RH**.

	Groupe A	Groupe B	Groupe AB	Groupe O
Sur les Globule Rouge				
Plasma: Anticorps = Agglutinines	 Anti-B	 Anti-A	Aucun	 Anti-A et Anti-B
Antigène = Agglutinogènes	 Antigène A	 Antigène B	 Antigène A et B	Pas d'antigène

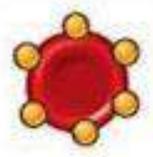


Allèles codominants -> Système ABO

(a) Les trois allèles pour les groupes sanguins du système ABO et leurs glucides. Chaque allèle code pour une enzyme qui peut ajouter un glucide spécifique (désigné par un exposant sur le symbole de l'allèle et illustré par un triangle ou un cercle) à la surface des globules rouges.

Allèle	I^A	I^B	i
Glucide	A 	B 	aucun

(b) Les génotypes et les phénotypes des groupes sanguins. Quatre phénotypes différents résultent de six génotypes possibles.

Génotype	$I^A I^A$ ou $I^A i$	$I^B I^B$ ou $I^B i$	$I^A I^B$	ii
Apparence des globules rouges				
Phénotype (groupe sanguin)	A	B	AB	O

Les allèles multiples pour les groupes sanguins du système ABO. Les quatre groupes sanguins sont dus à différentes combinaisons de trois allèles.

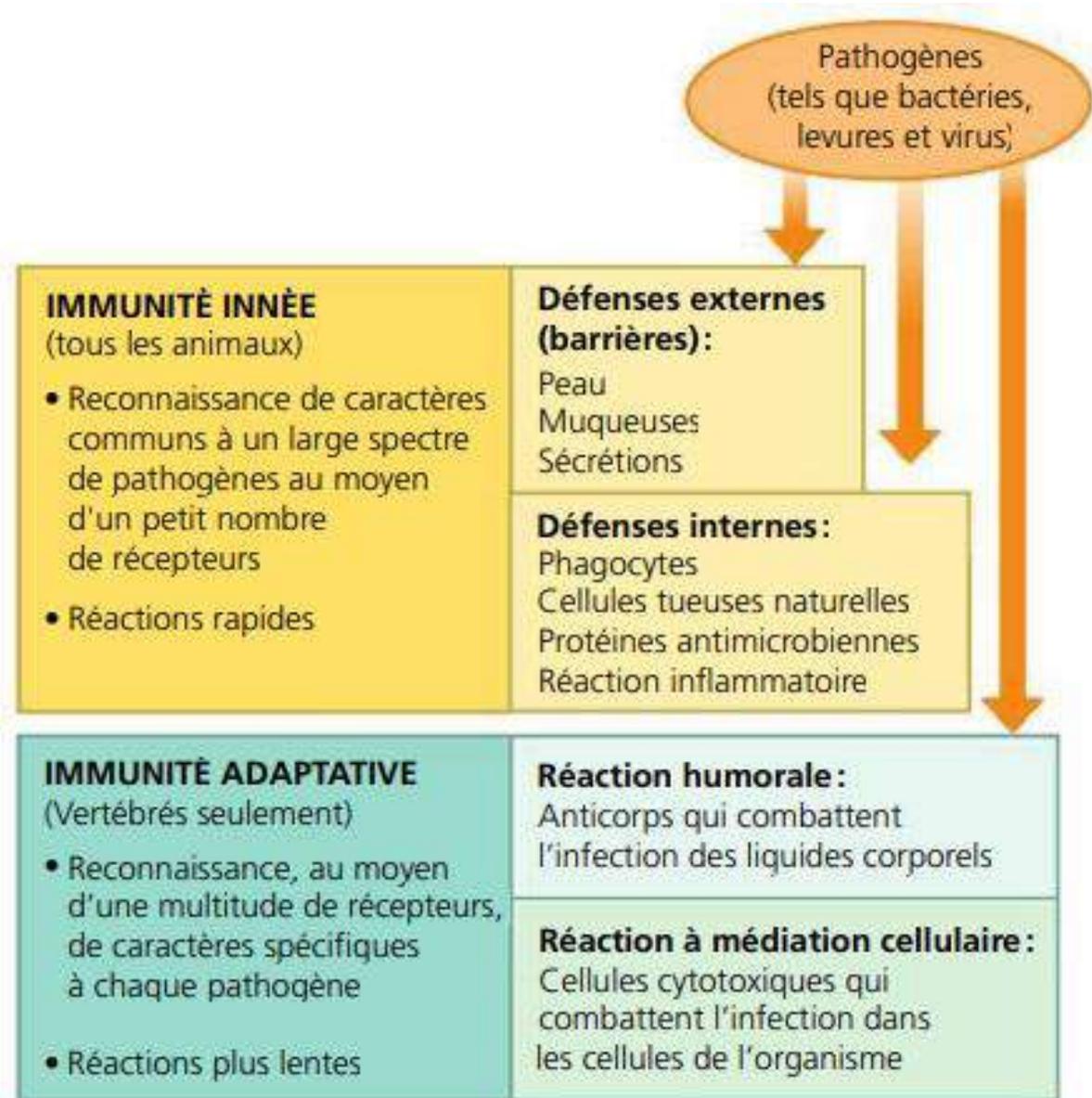
Suivant la même logique pour le Rhésus :

- Les GR de type Rh+ portent sur leur surface un déterminant antigénique «D» absent chez Rh-.
- Une personne Rh- peut recevoir une seule fois les GR de Rh+, mais il reconnaît l'antigène «D» et produit des Ac, une 2^{ème} transfusion conduit à une agglutination sanguine.

Votre Type	Vous pouvez donner votre sang à	Vous pouvez recevoir du sang de
A+	A+, AB+	A+, A-, O+, O-
O+	O+, A+, B+, AB+	O+, O-
B+	B+, AB+	B+, B-, O+, O-
AB+	AB+	Tous les types
A-	A+, A-, AB+, AB-	A-, O-
O-	Tous les types	O-
B-	B+, B-, AB+, AB-	B-, O-
AB-	AB+, AB-	AB-, A-, B-, O-

II. Le système immunitaire :

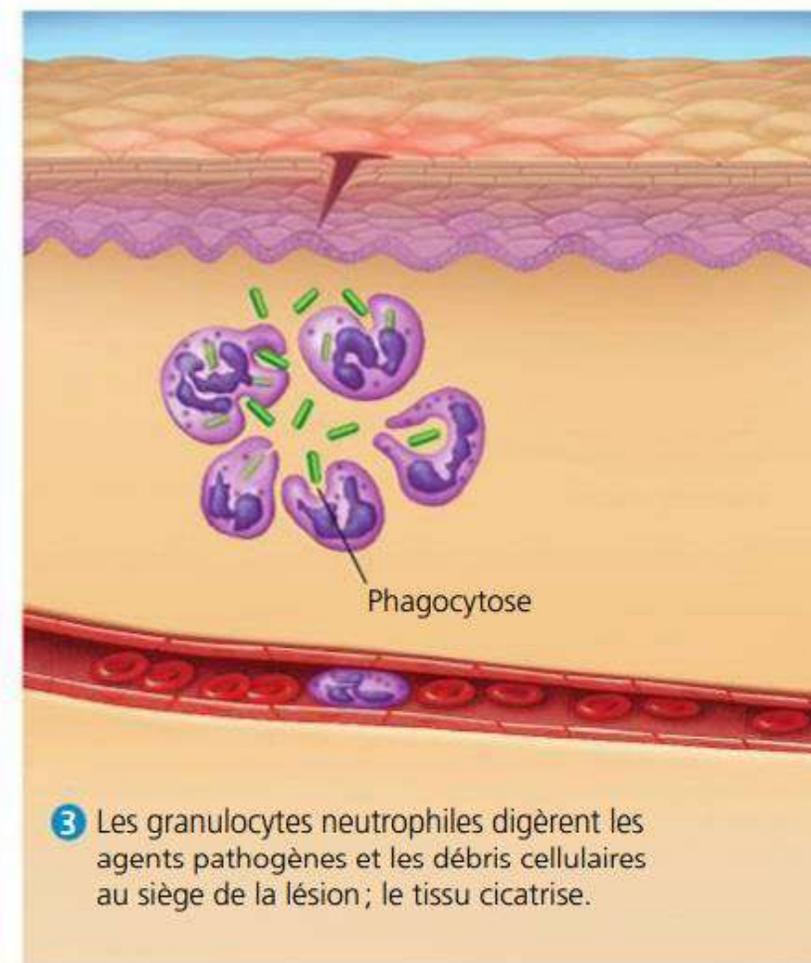
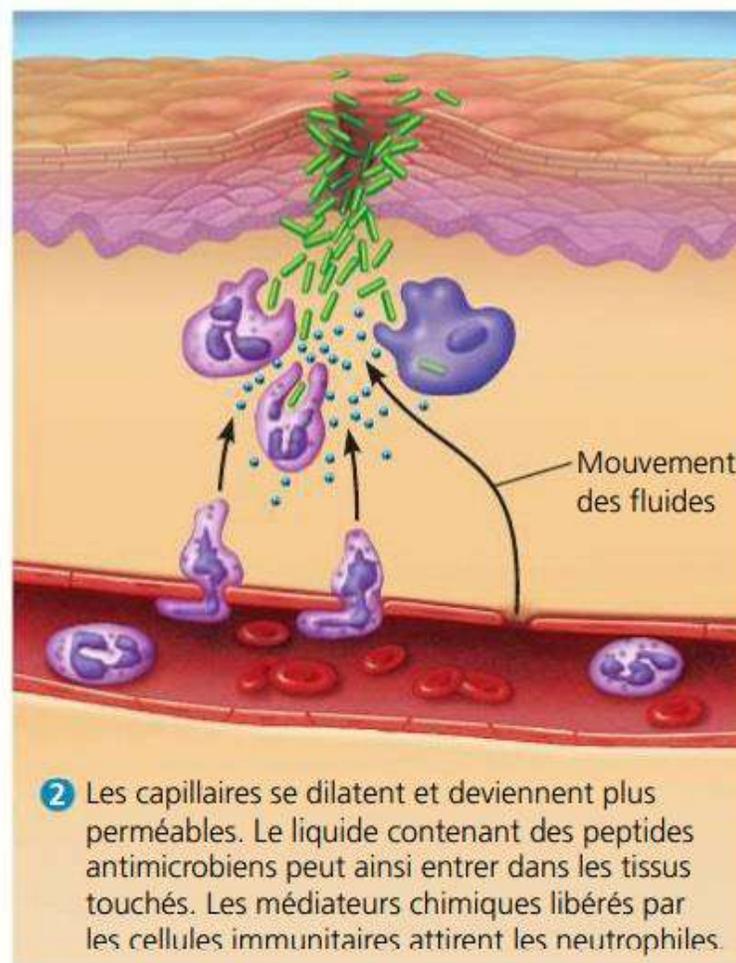
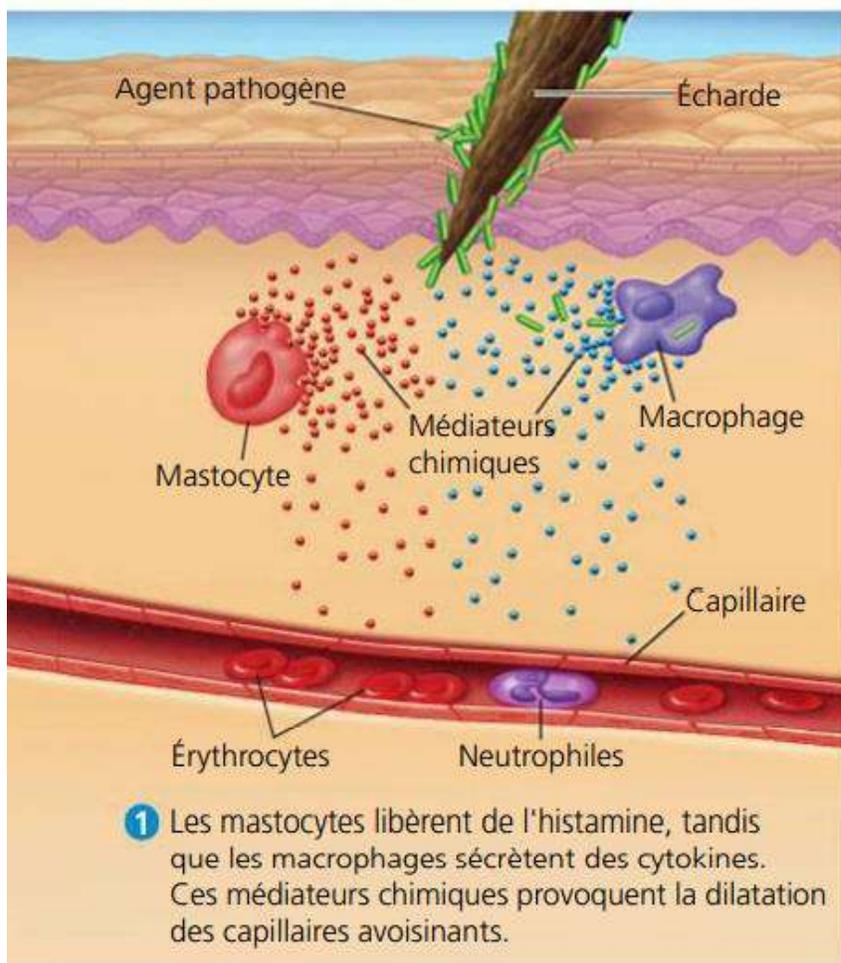
- **Le système immunitaire** est constitué d'un ensemble coordonné d'éléments de reconnaissance et de défense qui discrimine **le soi** du **non-soi** par intervention du CMH I et CMH II ou HLA (Complexe Majeur d'Histocompatibilité, Human Leucocyte Antigen).



Vue d'ensemble de l'immunité chez les Animaux.

Chez les Animaux, les réponses immunitaires sont de deux ordres : elles sont innées ou adaptatives. Certaines composantes de l'immunité innée contribuent à l'activation de l'immunité adaptative.

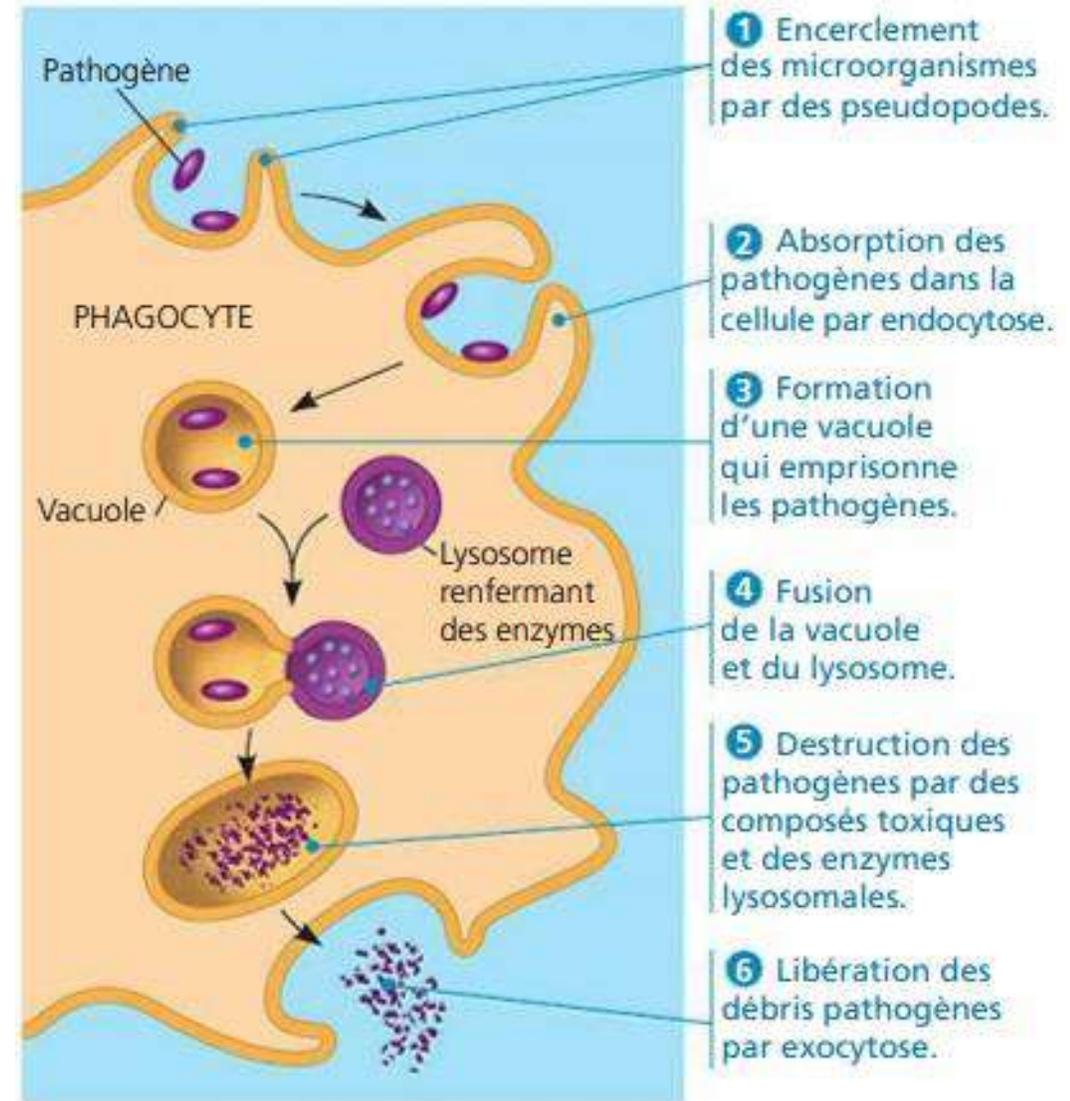
Immunité innée : la réaction inflammatoire (et activation du Système du Complément : Voie classique et alternative)



Les principaux événements de la réaction inflammatoire localisée.

La phagocytose:

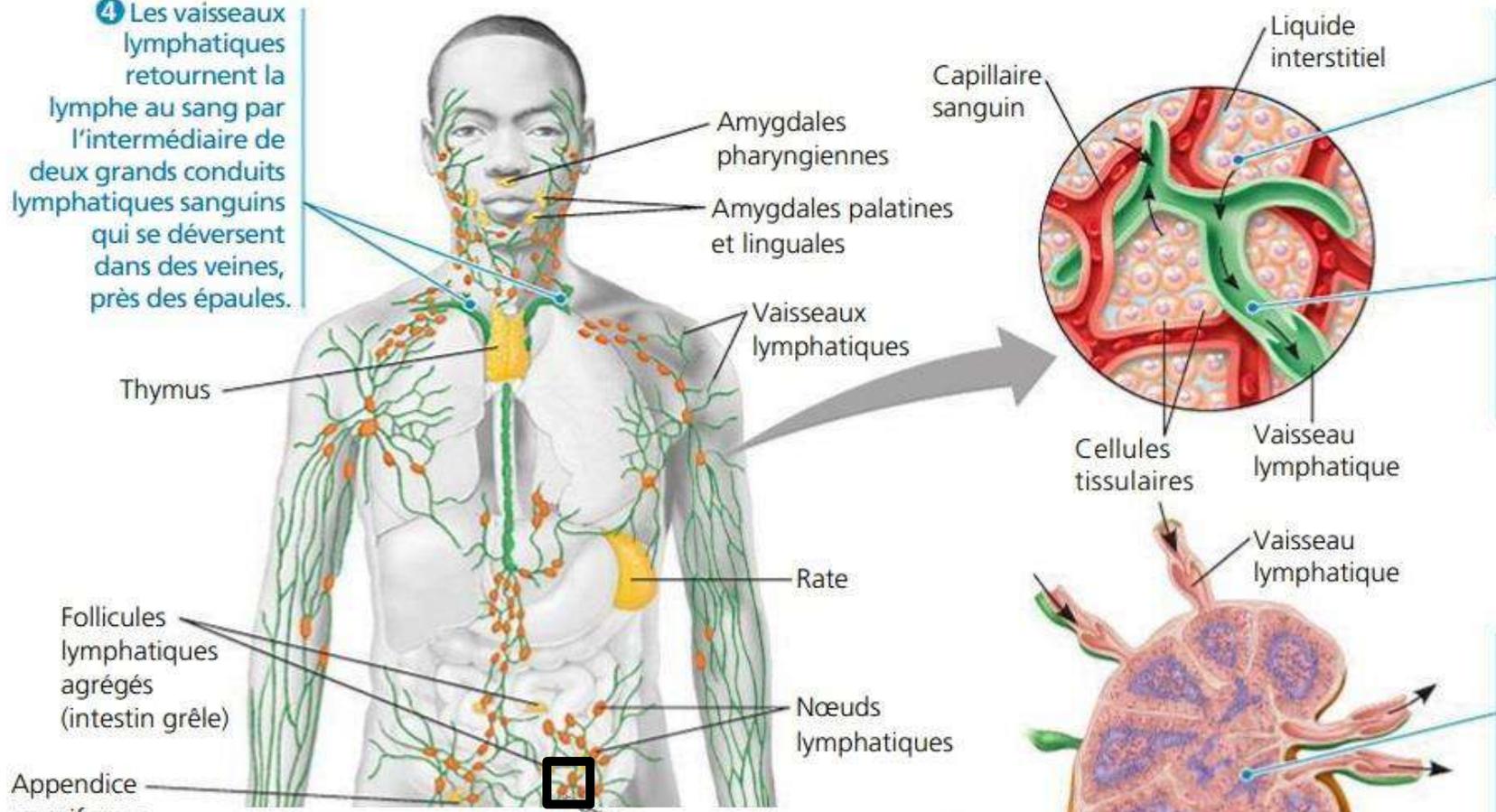
- Les pathogènes qui réussissent à **franchir les barrières immunitaires externes** d'un insecte par exemple rencontrent un certain nombre de **défenses internes**. L'équivalent du sang chez les Insectes, **l'hémolymphe**, contient des cellules en circulation appelées **hémocytes**.
- Certains **hémocytes** ingèrent et **digèrent** les bactéries et d'autres substances étrangères par **phagocytose**.



La phagocytose. Ce schéma illustre l'absorption et la destruction d'un microorganisme par un phagocyte.

Organes impliqués dans les réponses immunitaires :

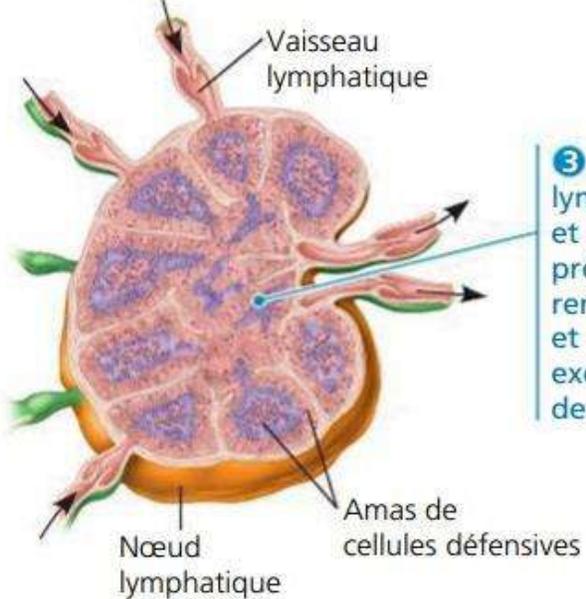
4 Les vaisseaux lymphatiques retournent la lymphe au sang par l'intermédiaire de deux grands conduits lymphatiques sanguins qui se déversent dans des veines, près des épaules.



1 Le liquide interstitiel dans lequel baignent les tissus, de même que les leucocytes qu'il contient, pénètre continuellement dans les vaisseaux lymphatiques.

2 Le liquide à l'intérieur du système lymphatique, appelé lymphe, circule dans le réseau de vaisseaux lymphatiques dans tout l'organisme.

3 Dans les nœuds lymphatiques, les pathogènes et les particules étrangères présents dans la lymphe rencontrent des macrophages et d'autres cellules qui exercent divers rôles de défense.

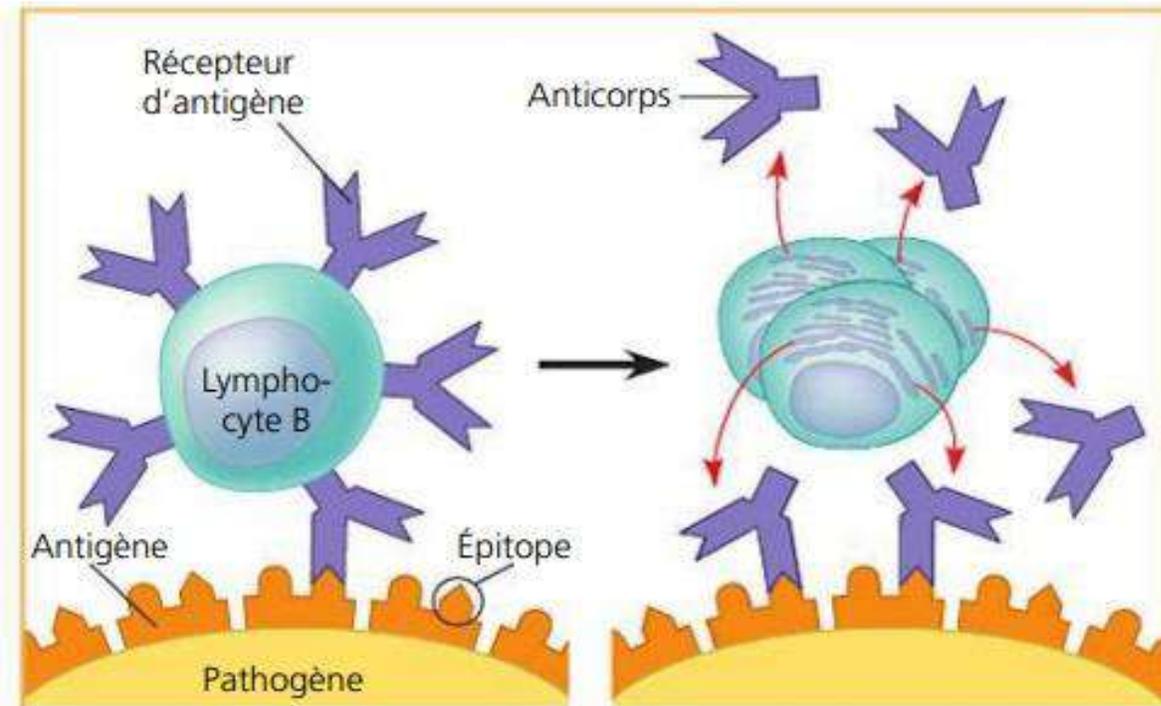


Le système lymphatique humain. Le système lymphatique est composé de vaisseaux lymphatiques (en vert), dans lesquels circule la lymphe, et de diverses structures qui capturent les substances étrangères. Ces structures comprennent les nœuds lymphatiques (en orange)

et les organes lymphoïdes (en jaune): les amygdales (ou tonsilles) pharyngiennes, les amygdales palatines et linguales, les nœuds lymphatiques, la rate, les follicules lymphatiques agrégés et l'appendice vermiforme. Les étapes 1 à 4 montrent le trajet de la lymphe et illustrent le rôle essentiel des nœuds

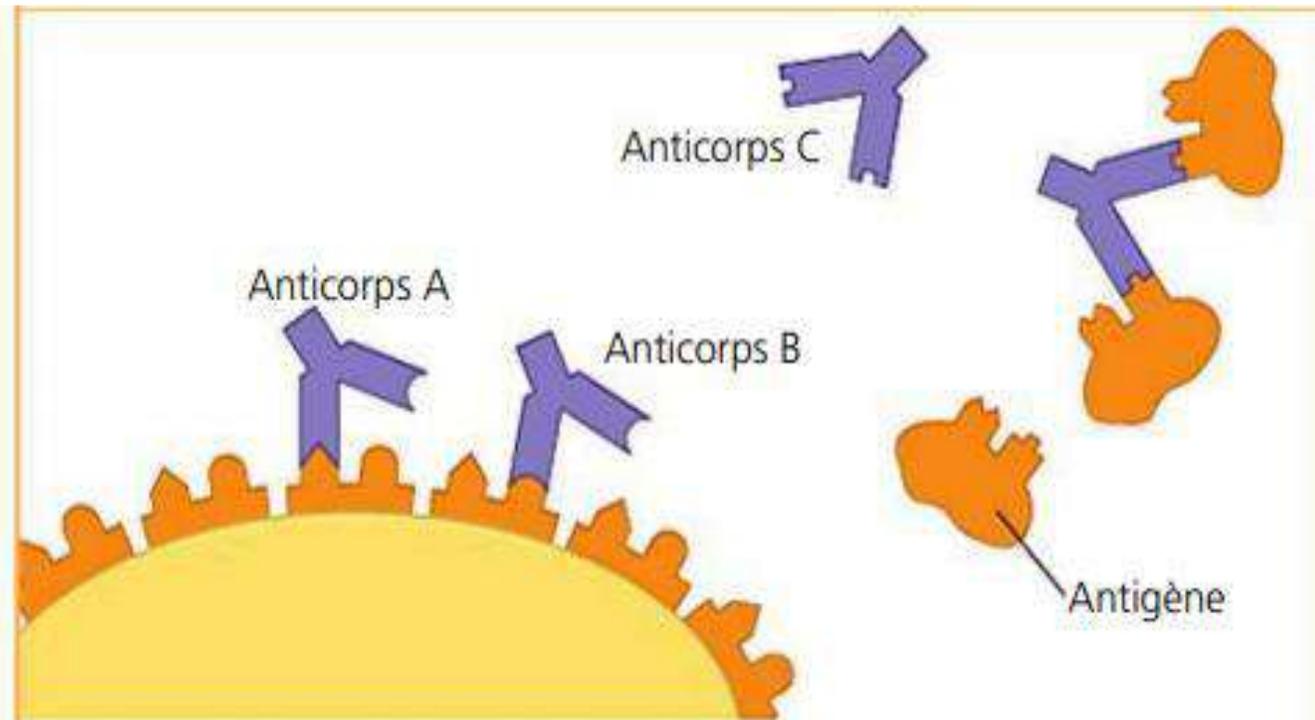
lymphatiques dans l'activation de l'immunité adaptative.

Immunité adaptative : reconnaissance des antigènes par les lymphocytes B et les anticorps



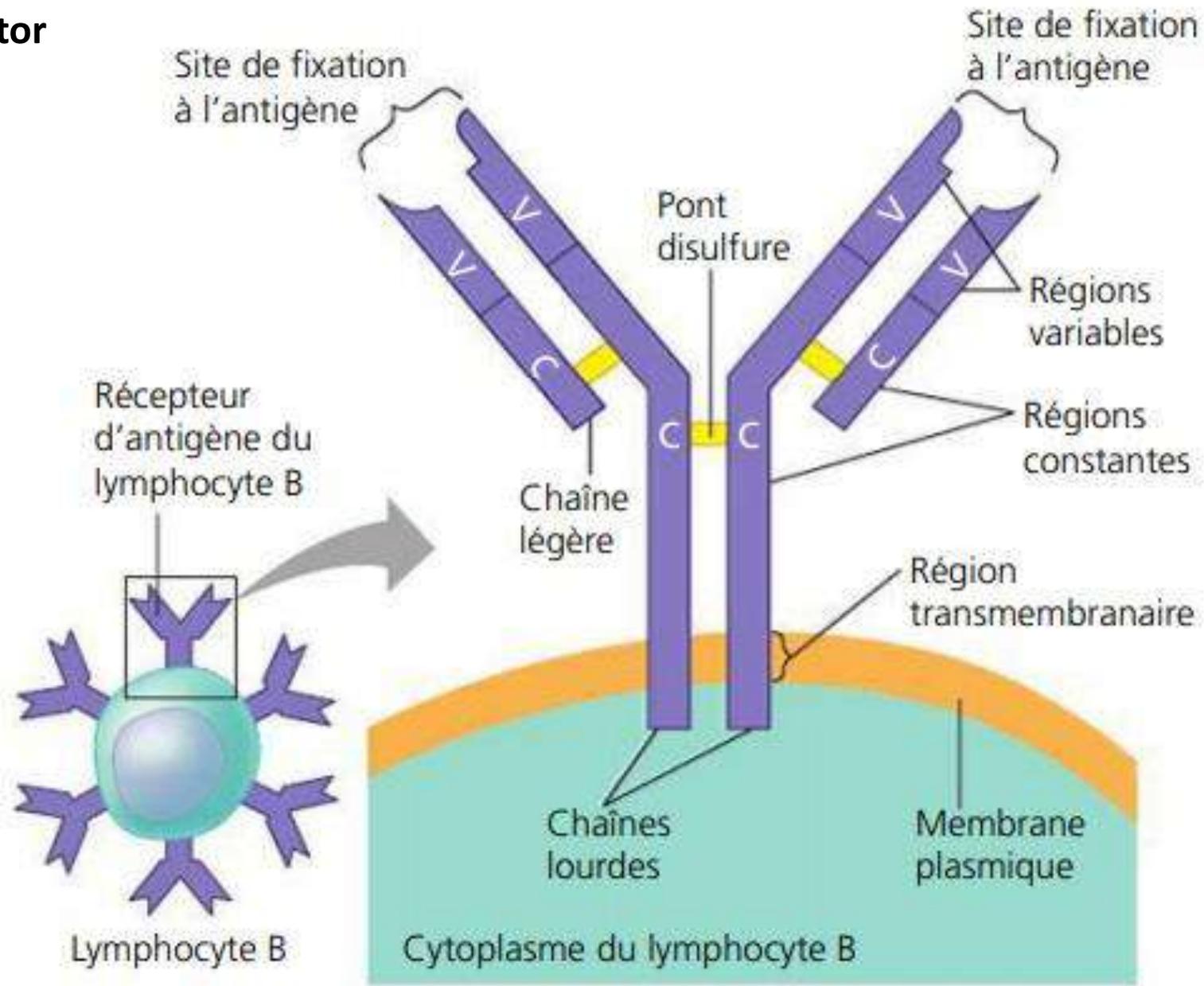
(a) Les récepteurs antigéniques et les anticorps des lymphocytes B.

Un récepteur antigénique de lymphocyte B se lie à un épitope, une région spécifique de l'antigène. Après liaison, le lymphocyte B produit un groupe de cellules (ou clone) qui sécrètent la forme soluble du récepteur antigénique. Le récepteur soluble, appelé anticorps, est spécifique du même épitope que le lymphocyte B dont il est issu.



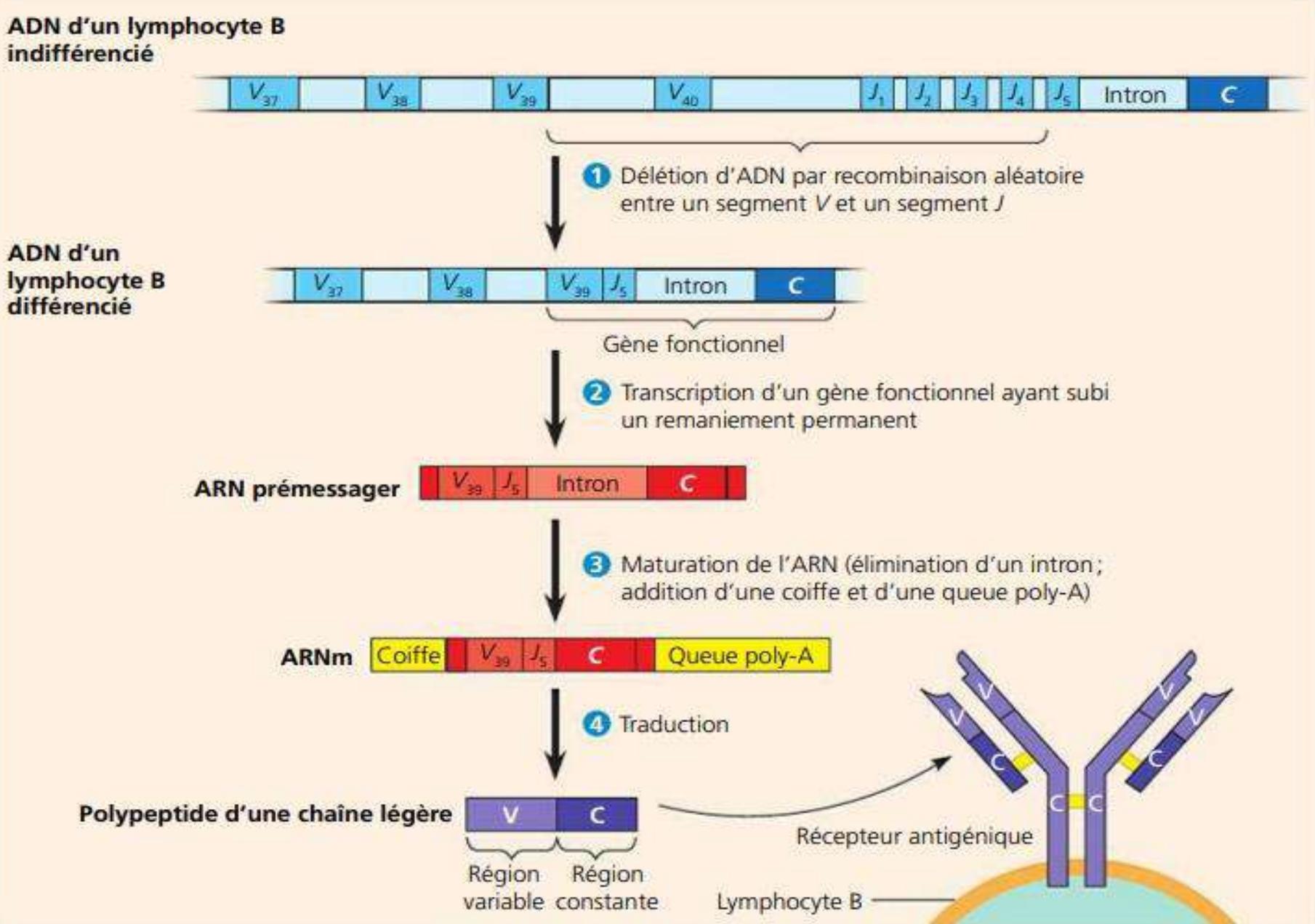
(b) La spécificité du récepteur antigénique. Différents anticorps peuvent reconnaître différents épitopes sur le même antigène. De plus, les anticorps peuvent reconnaître aussi bien les antigènes libres que les antigènes membranaires d'un pathogène.

BCR: B Cell Receptor



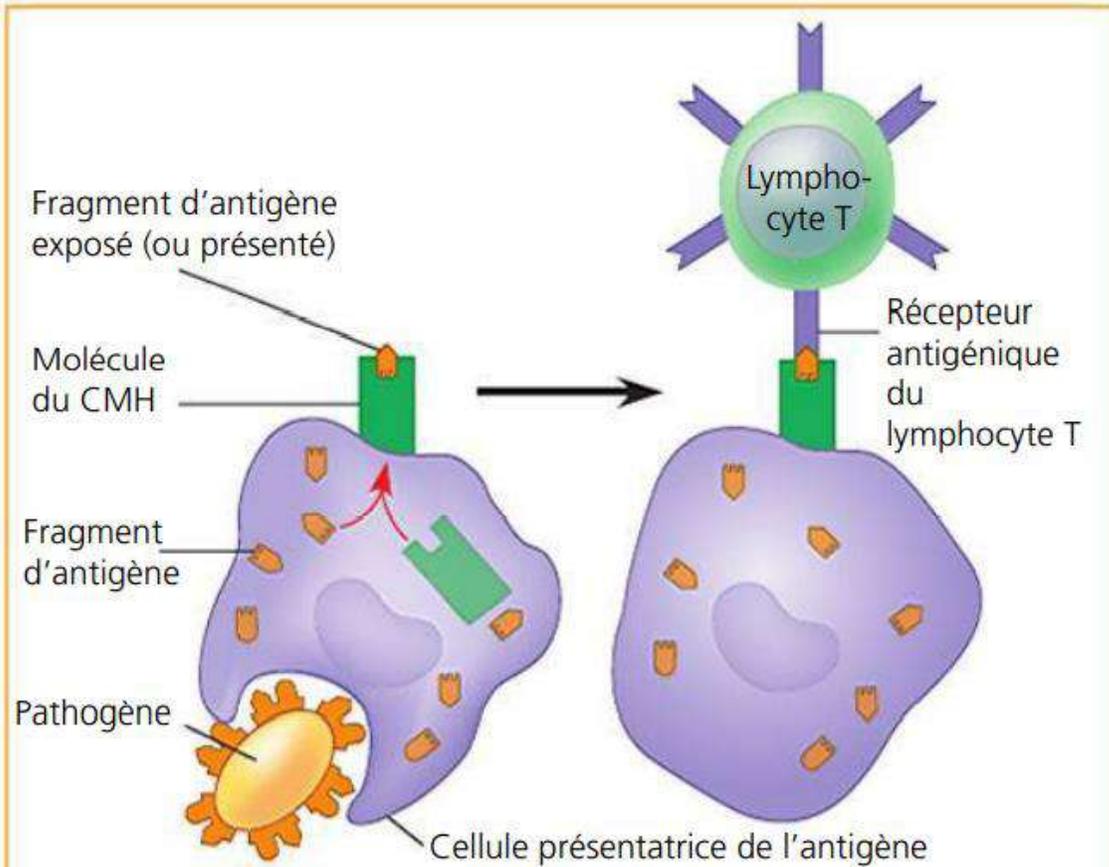
La structure d'un récepteur d'antigène de lymphocyte B.

Bases génétiques de la diversité de la partie variable, et reconnaissance de différents types d'antigènes.



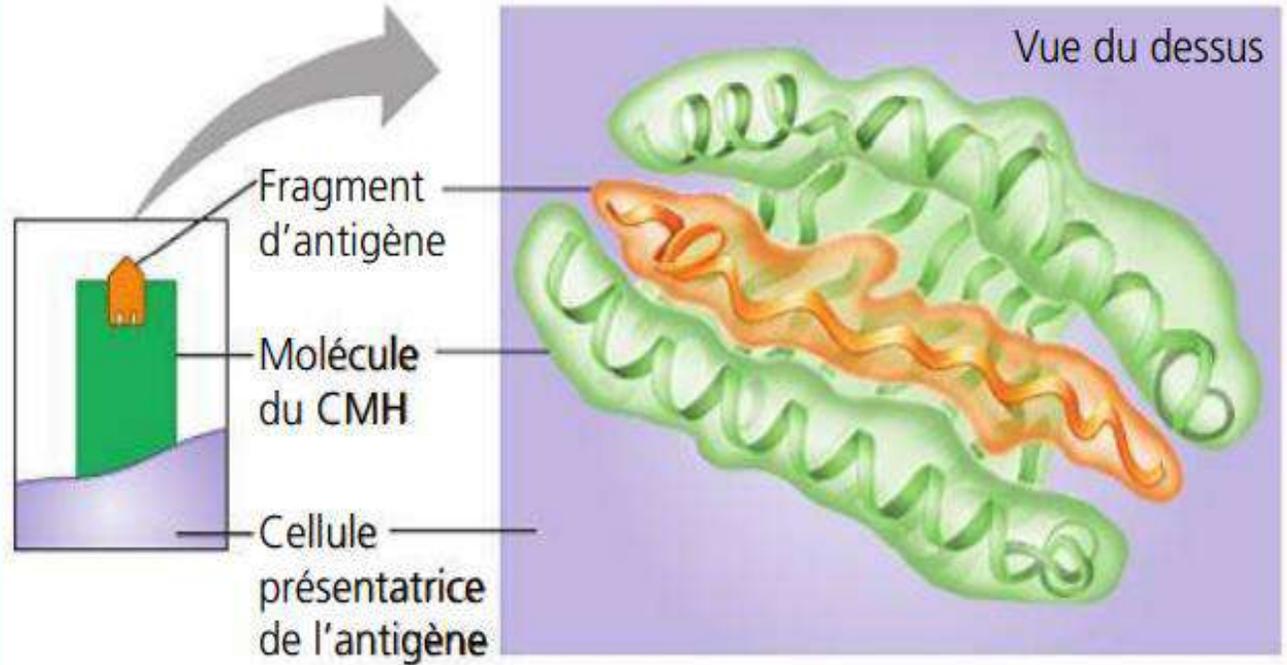
Le remaniement d'un gène d'immunoglobuline (anticorps). Un gène fonctionnel qui encode le polypeptide à chaîne légère du récepteur d'un lymphocyte B résulte de l'assemblage aléatoire des segments de gènes V et J (V_{39} et J_5 dans le présent exemple). La transcription, l'épissage et la traduction donnent une chaîne légère qui se combine avec un polypeptide issu d'un gène de chaîne lourde indépendamment remanié pour former un récepteur fonctionnel. Les lymphocytes B (et T) parvenus à maturation sont des exceptions au principe voulant que toutes les cellules somatiques d'un organisme renferment exactement la même copie d'ADN.

Immunité adaptative : La reconnaissance de l'antigène par les lymphocytes T



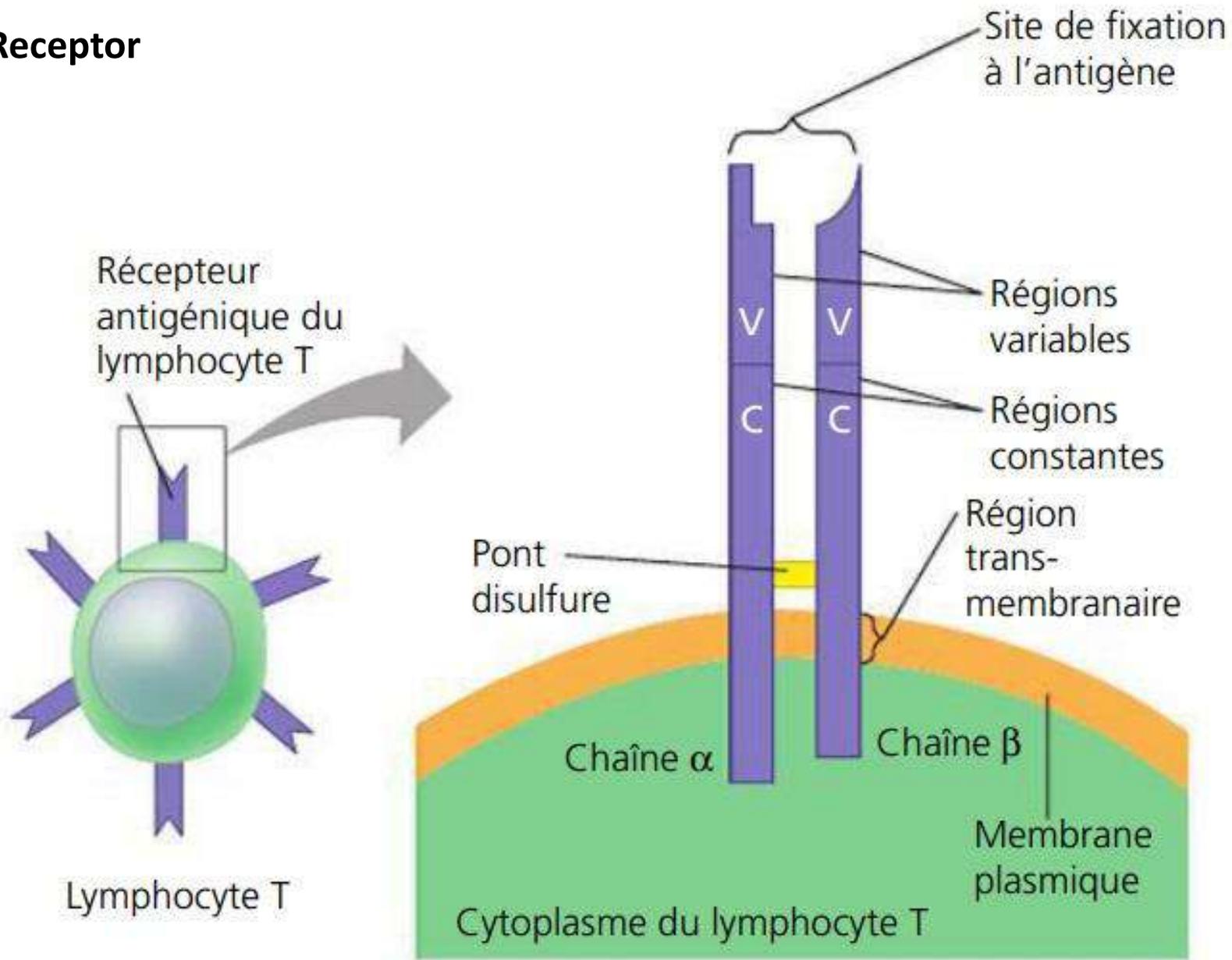
(a) Reconnaissance d'un antigène par un lymphocyte T.

Un fragment d'antigène d'un agent pathogène présent à l'intérieur de la cellule présentatrice de l'antigène s'associe à une molécule du CMH, puis il est transporté à la surface de la cellule, où il est exposé (ou présenté). Le complexe CMH-antigène est alors reconnu par le lymphocyte T.



(b) Détails de la présentation de l'antigène. Comme on le voit dans ce schéma agrandi présentant une vue du dessus, le haut de la molécule CMH enserre un fragment d'antigène, un peu comme un pain à hot dog enveloppe une saucisse. Une molécule du CMH peut présenter plusieurs fragments d'antigène différents, mais chaque récepteur antigénique d'un lymphocyte ne reconnaît un seul type de fragment d'antigène.

TCR: T Cell Receptor



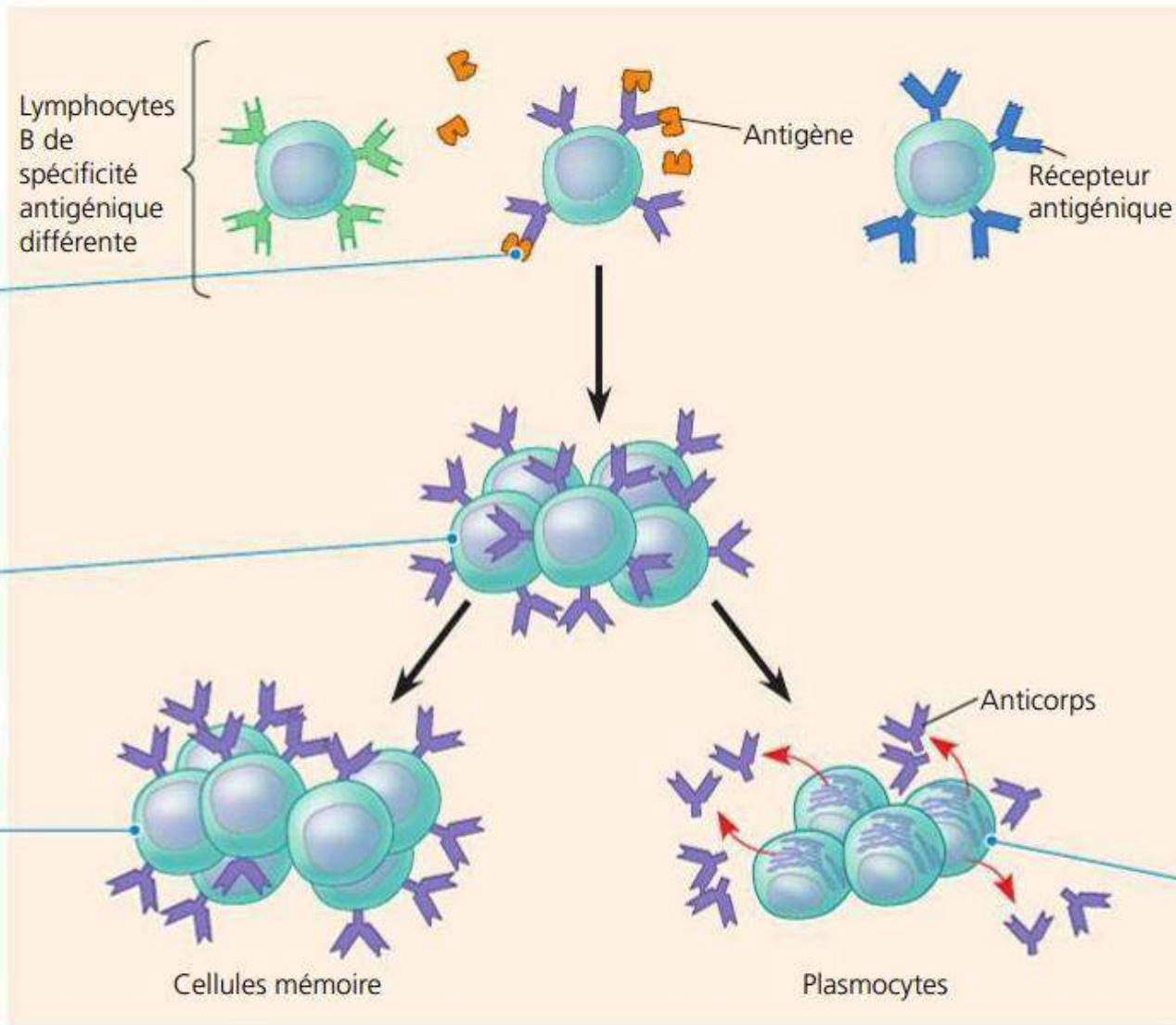
La structure d'un récepteur antigénique de lymphocyte T.

Sélection clonale des lymphocytes compatibles avec l'antigène:

1 Les antigènes se lient aux récepteurs antigéniques d'un seul des trois lymphocytes B illustrés.

2 Le lymphocyte B sélectionné prolifère et forme un clone de cellules identiques portant les récepteurs antigéniques compatibles avec l'antigène détecté.

3 Une partie des cellules filles deviennent des cellules mémoire dotées d'une longue durée de vie et susceptibles de réagir rapidement en cas d'exposition future au même antigène.



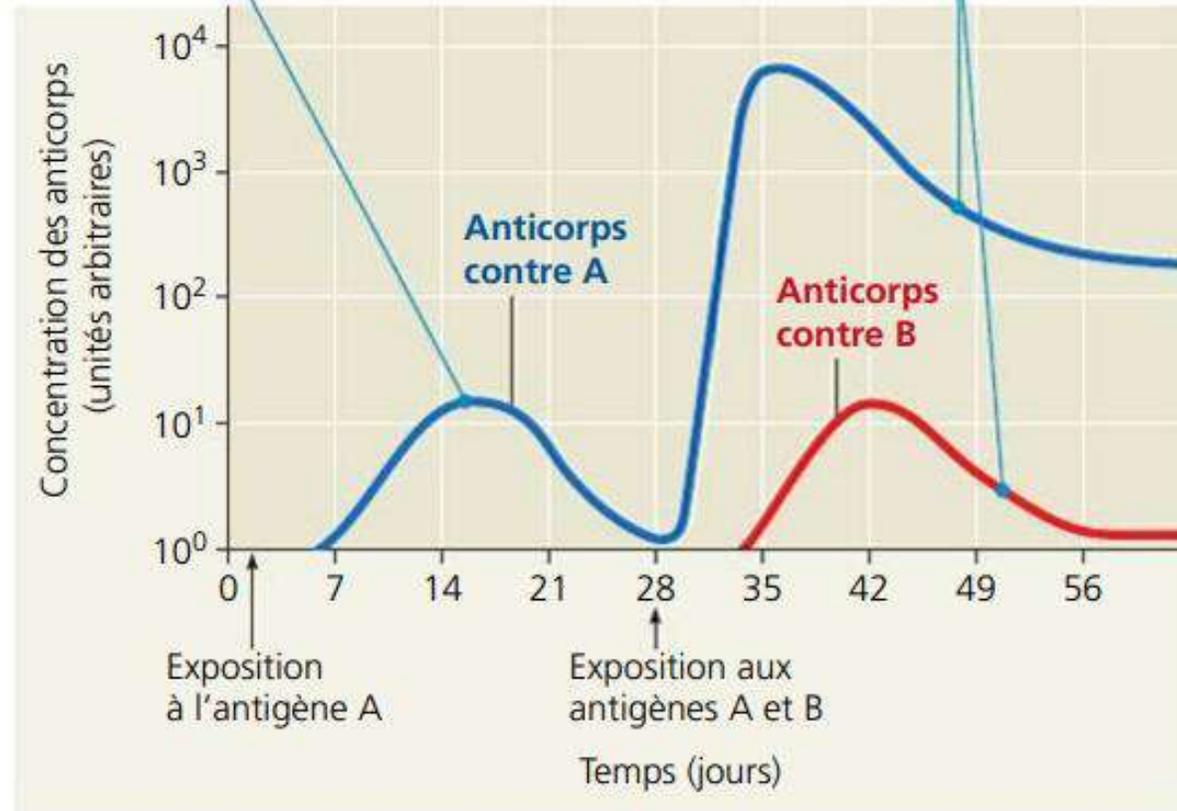
3 (suite) D'autres cellules filles deviennent des plasmocytes dotés d'une courte durée de vie et sécrétant des anticorps spécifiques à l'antigène.

La sélection clonale. Cette figure illustre la sélection clonale des lymphocytes B. Après avoir reconnu un antigène et les signaux des cellules immunitaires (non montrés ici), un lymphocyte B se divise et forme un clone de cellules. Les autres lymphocytes B ne réagissent pas, car leurs récepteurs antigéniques sont spécifiques à d'autres antigènes. Le clone de cellules issues du lymphocyte B activé donne naissance à des cellules mémoire B et à des plasmocytes producteurs d'anticorps. Les lymphocytes T subissent un processus semblable, mais leurs clones comprennent des cellules mémoire T et des cellules T effectrices (lymphocytes T cytotoxiques et lymphocytes T auxiliaires).

**Deuxième reconnaissance
immédiate, intense et efficace :
c'est la mémoire immunitaire**

**Réaction
immunitaire primaire**
à l'antigène A, avec
production d'anticorps
contre A

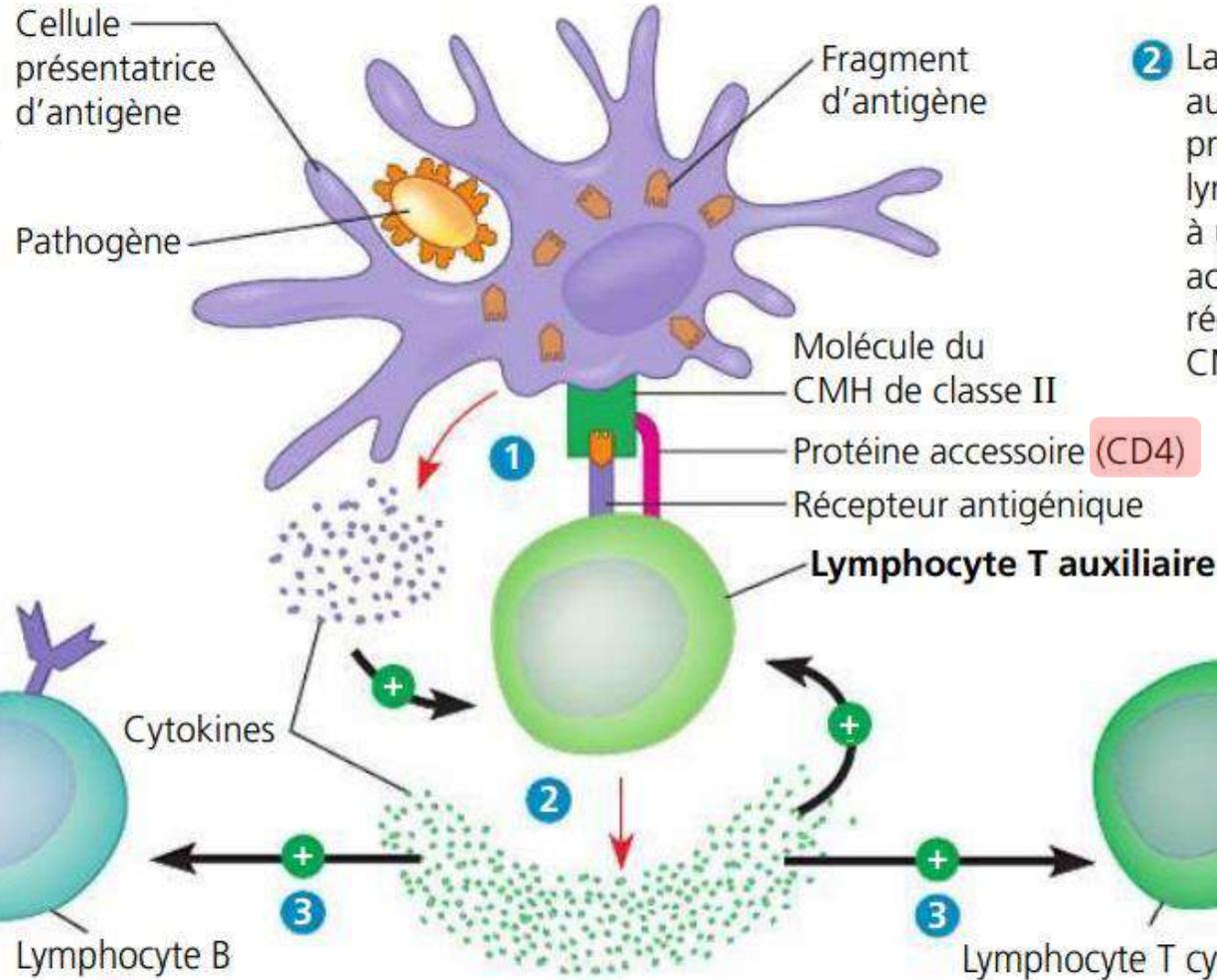
Réaction immunitaire secondaire
à l'antigène A, avec production
d'anticorps contre A ;
réaction immunitaire primaire
à l'antigène B, avec production d'anticorps
contre B



La spécificité de la mémoire immunitaire. Les cellules mémoire à longue durée de vie engendrées au cours de la réaction immunitaire primaire à l'antigène A donnent naissance à une réaction immunitaire secondaire plus intense au même antigène, mais n'influent pas sur la réaction primaire à un antigène différent (B).

Importance des lymphocytes T helper (=T4) :

1 Après avoir capturé et dégradé un pathogène, une cellule présentatrice d'antigène expose des fragments d'antigène formant un complexe avec des molécules du CMH de classe II à la surface de la cellule. Un lymphocyte T auxiliaire spécifique s'attache au complexe présenté par l'intermédiaire de son récepteur antigénique et d'une protéine accessoire appelée CD4. Cette interaction facilite la sécrétion de cytokines par la cellule présentatrice d'antigène.



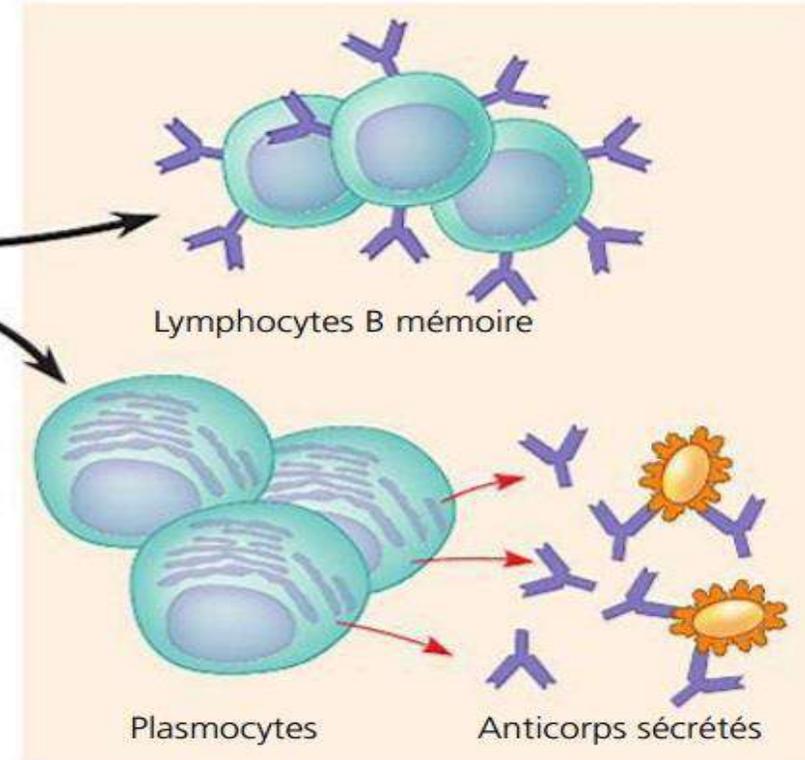
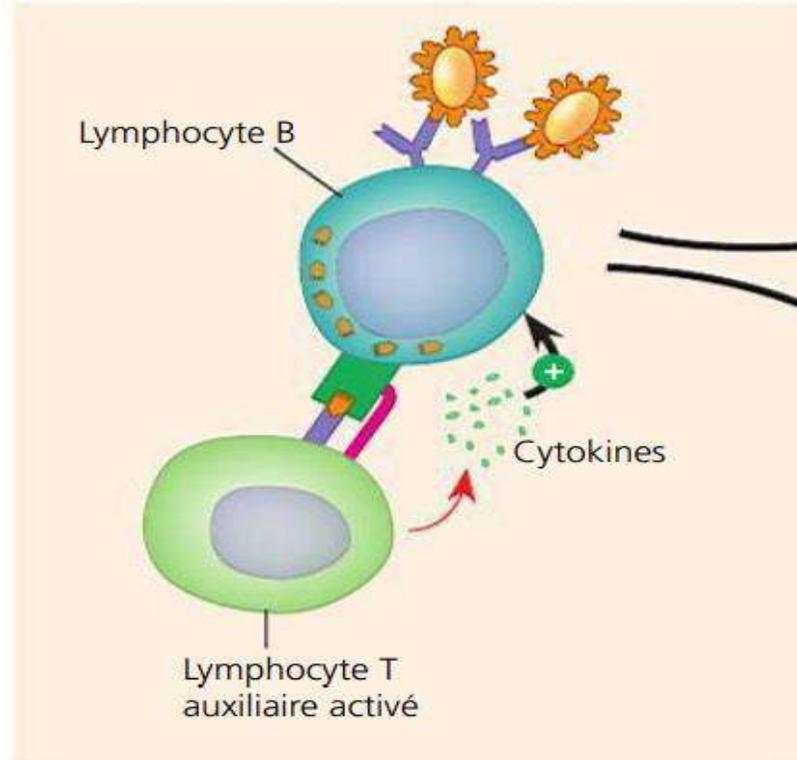
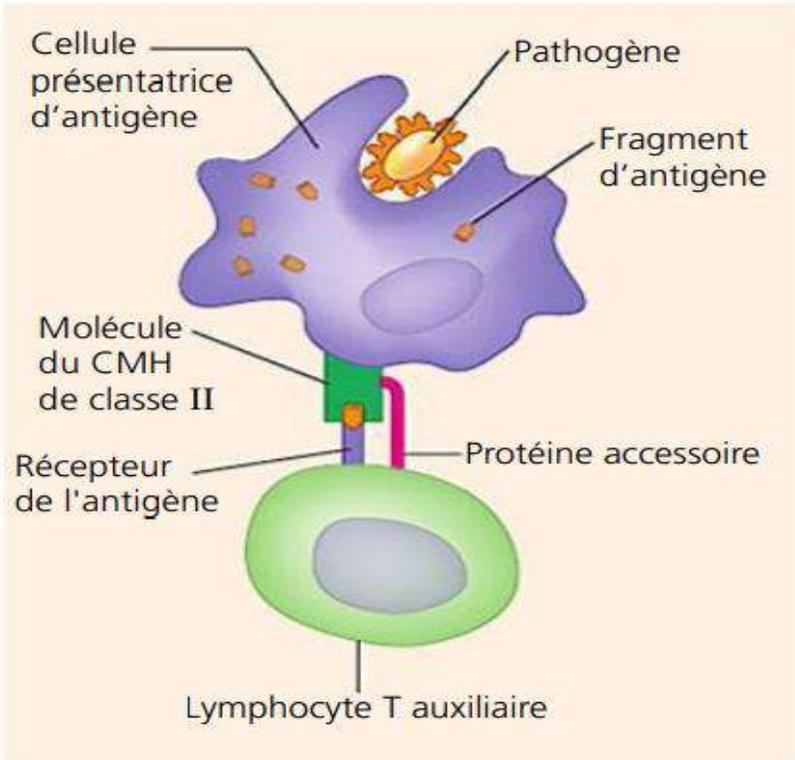
2 La prolifération du lymphocyte T auxiliaire, stimulée par les cytokines provenant de la cellule dendritique et du lymphocyte T lui-même, donne naissance à un clone de lymphocytes T auxiliaires activés (non illustrés), tous dotés de récepteurs pour le même complexe CMH-fragment d'antigène.

3 Après la prolifération, les lymphocytes T auxiliaires sécrètent d'autres cytokines qui facilitent l'activation des lymphocytes B et des lymphocytes T cytotoxiques.

Le rôle central des lymphocytes T auxiliaires dans les réactions immunitaires humorales

et à médiation cellulaire. Dans cet exemple, un lymphocyte T auxiliaire réagit à une cellule dendritique qui présente un antigène microbien.

la réaction immunitaire adaptative (= spécifique = acquise) à voie humorale : activation



1 Après avoir absorbé et dégradé un pathogène, la cellule présentatrice d'antigène présente un fragment d'antigène associé à une molécule du CMH de classe II. Un lymphocyte T auxiliaire qui reconnaît le complexe présenté est activé par des cytokines sécrétées par la cellule présentatrice d'antigène.

2 Le lymphocyte B muni de récepteurs pour le même épitope absorbe l'antigène. Il présente ensuite un fragment de cet antigène associé à une molécule du CMH de classe II. Un lymphocyte T auxiliaire activé portant des récepteurs spécifiques du fragment présenté se lie au lymphocyte B. Cette interaction, avec l'aide des cytokines du lymphocyte T, active le lymphocyte B.

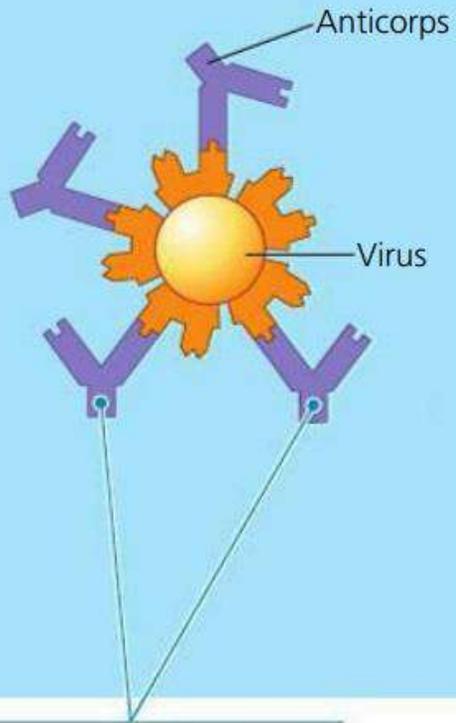
3 Le lymphocyte B activé prolifère et se différencie en lymphocytes B mémoire et en plasmocytes sécrétant des anticorps. Les anticorps sécrétés sont spécifiques du même antigène bactérien qui a amorcé la réaction.

L'activation d'un lymphocyte B dans la réaction immunitaire humorale. La plupart des antigènes protéiques nécessitent l'intervention des lymphocytes T cytotoxiques pour amorcer une réaction humorale. Un macrophage (illustré ici) ou une cellule dendritique peuvent activer un lymphocyte T auxiliaire qui, à son tour, permet au lymphocyte B de donner naissance à des plasmocytes sécrétant d'antigènes.

la réaction immunitaire adaptative (= spécifique = acquise) à voie humorale : action

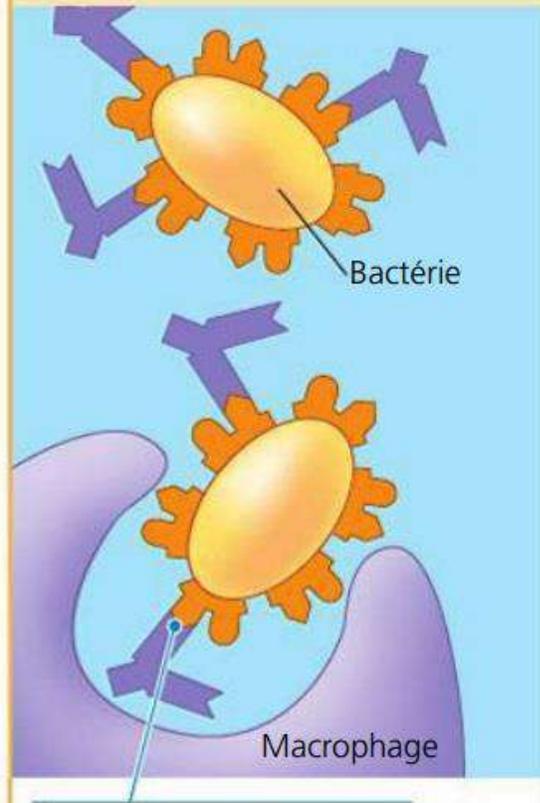
Les mécanismes de destruction des antigènes par l'intermédiaire des anticorps.

Neutralisation



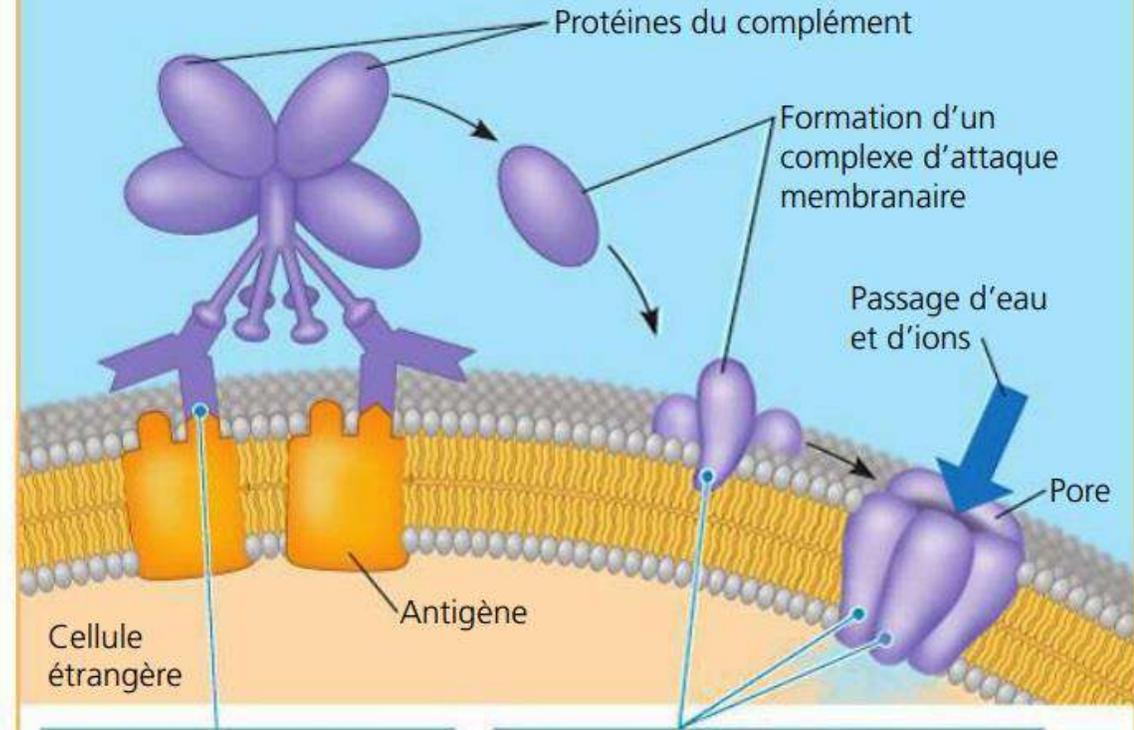
Les anticorps liés aux antigènes de surface d'un virus neutralisent le virus en l'empêchant de se lier à une cellule hôte.

Oponisation



La liaison des anticorps aux antigènes de surface des bactéries facilite la phagocytose par les macrophages et les neutrophiles.

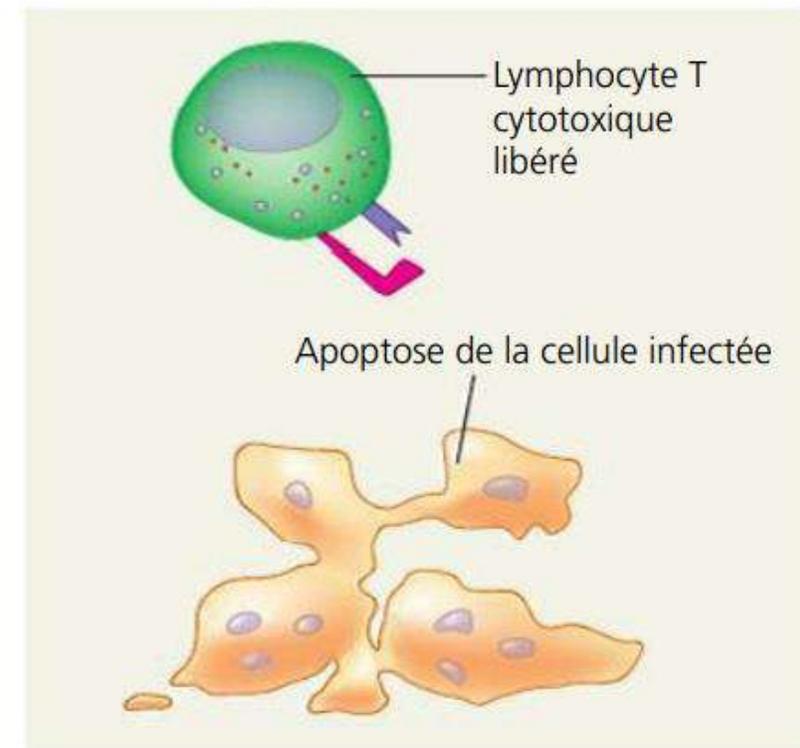
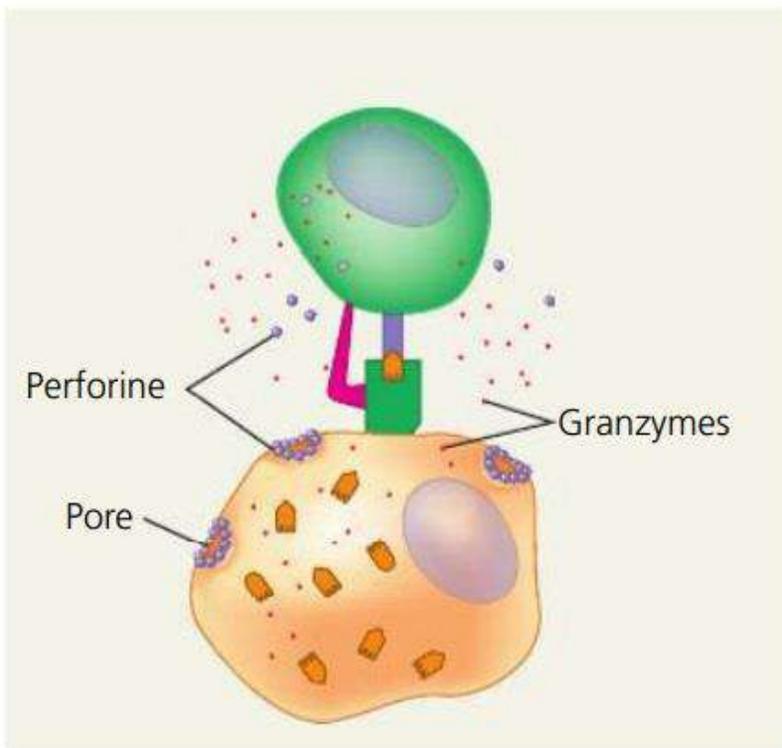
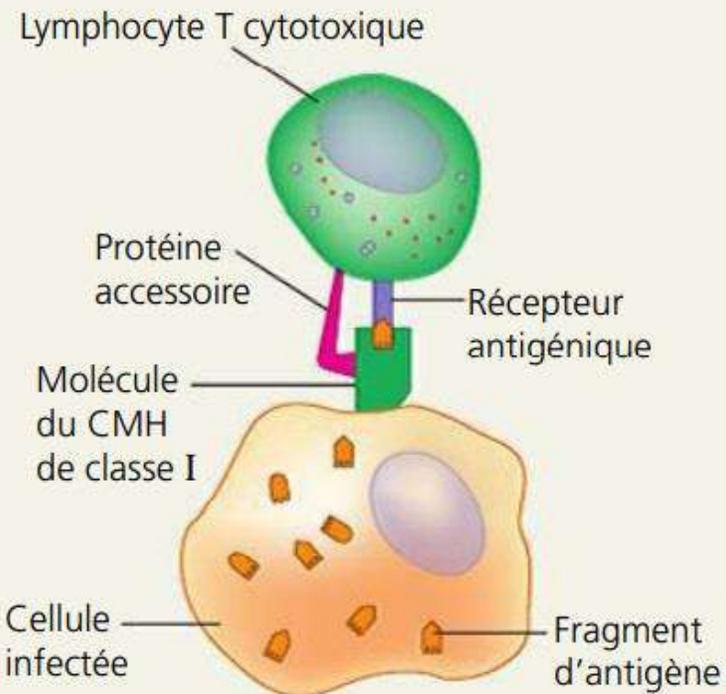
Activation du système du complément et formation de pores



La liaison des anticorps aux antigènes de surface d'une cellule étrangère active le système du complément.

Après l'activation du système du complément, le complexe d'attaque membranaire perce des pores dans la membrane de la cellule étrangère. Ces pores laissent entrer de l'eau et des ions. La cellule gonfle et finit par mourir.

la réaction immunitaire adaptative (= spécifique = acquise) à voie cellulaire : action des lymphocytes T8 -> Tc



1 Un lymphocyte T cytotoxique se fixe au complexe formé par le CMH de classe I et le fragment d'antigène sur une cellule infectée. Cette liaison s'établit par l'intermédiaire de son récepteur antigénique avec l'aide d'une protéine accessoire (CD8).

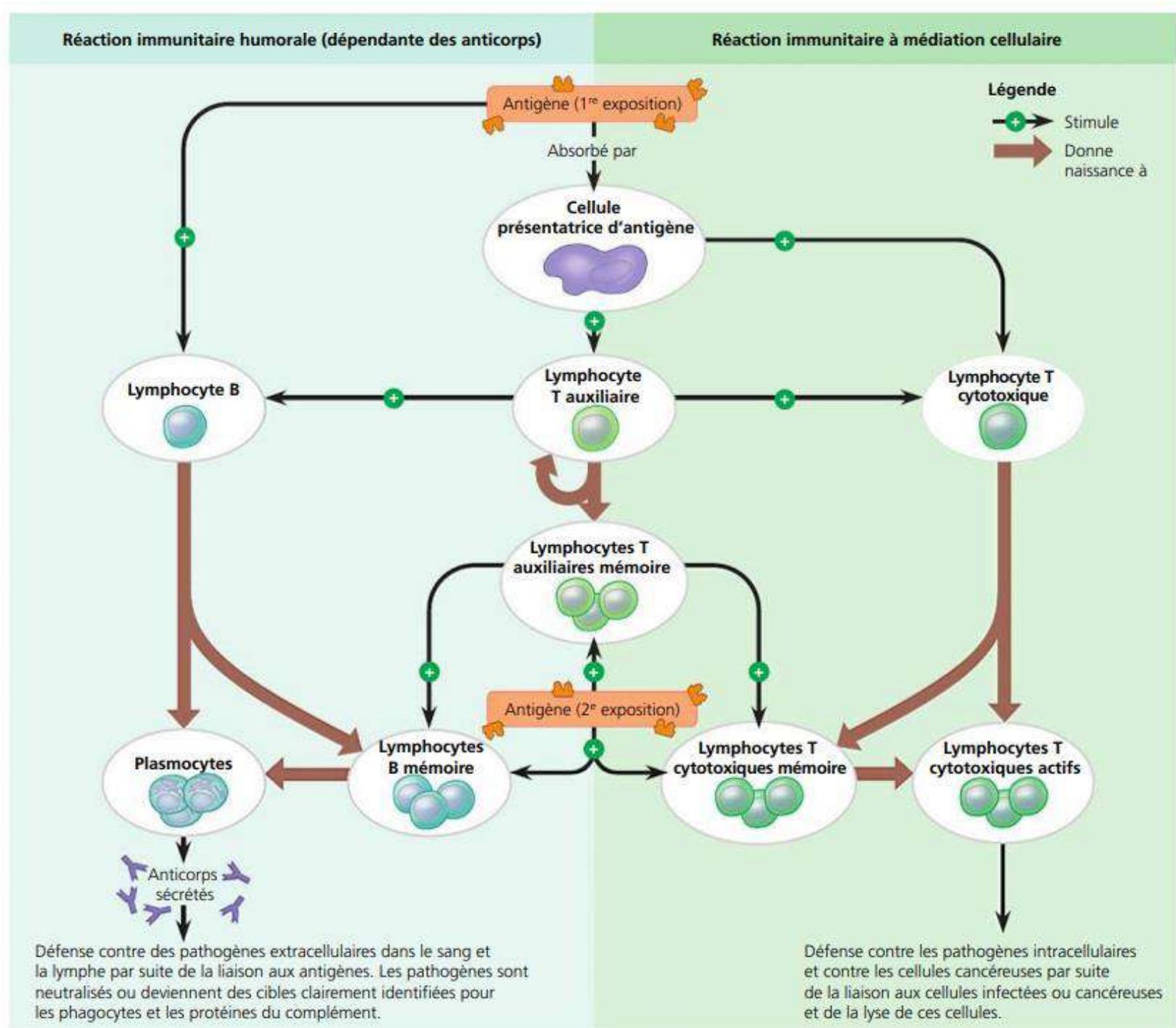
2 Le lymphocyte T libère des molécules de perforine, qui créent des pores dans la membrane de la cellule infectée, et des granzymes (enzymes qui dégradent des protéines), qui pénètrent dans la cellule infectée par endocytose.

3 Les granzymes amorcent l'apoptose dans la cellule infectée, ce qui mène à la fragmentation du noyau et du cytoplasme et, par la suite, à la mort de la cellule. Après la destruction de la cellule, le lymphocyte T cytotoxique peut attaquer d'autres cellules infectées.

La destruction d'une cellule hôte infectée par des lymphocytes T cytotoxiques.

Un lymphocyte T cytotoxique activé libère des molécules qui percent des pores dans la membrane de la cellule infectée ainsi que des enzymes qui dégradent les protéines et provoquent la mort cellulaire.

La réponse immunitaire adaptative :



III. L'homéostasie

- **l'homéostasie** est un phénomène par lequel un facteur clé (par exemple, la température) est maintenu autour d'une valeur bénéfique pour le système considéré, grâce à un processus de régulation.
- Ce mot fait référence à **un état stable** ou, à **un équilibre interne** qui se maintient en dépit des **changements** dans le **milieu externe**.
- L'homéostasie permet aux Animaux de **maintenir** un milieu interne relativement constant, même lorsque les conditions du **milieu externe varient** fortement.

Exemples d'homéostasie :

- Le maintien de la **température** corporelle de **la loutre** de rivière.
- La stabilité de de la **concentration des solutés** dans les tissus de **l'achigan** d'eau douce.
- l'humain est capable d'**homéostasie** à l'égard de plusieurs paramètres physiques et chimiques : **T** à 37 °C, **pH** du sang et du liquide interstitiel à environ 7,3, ajustement du la **glucose** sanguin à 5 mmol/L (= **Valeurs de référence**).

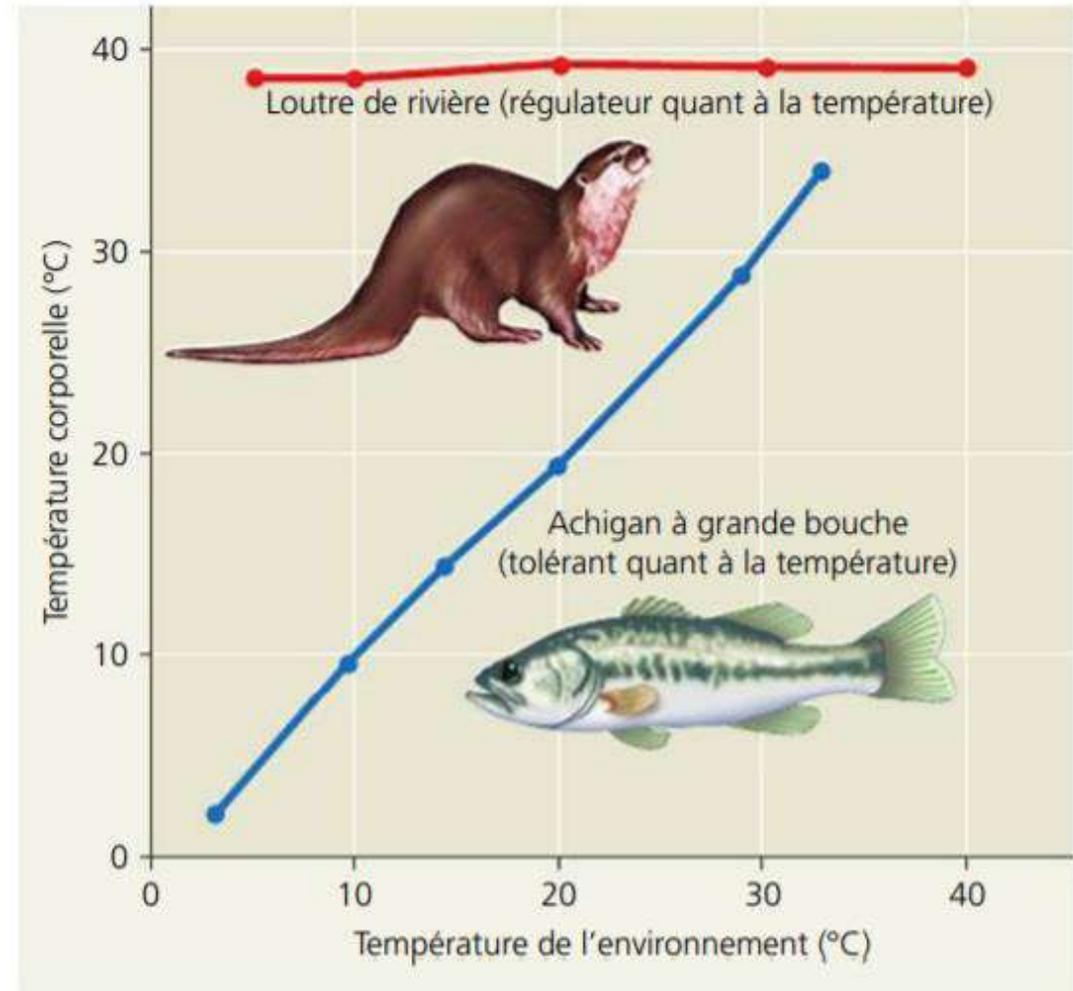


QUELQUES CONSTANTES PHYSIOLOGIQUES

- TEMPERATURE :37°C
- pH :7.3
- Glycémie : 1g/l
- Pression sanguine artérielle
 - Pression diastolique 8 cm de Hg (cm de mercure = Hg)
 - Pression systolique 12 cm de Hg
- Osmolarité (pression osmotique) : elle est exprimée en mosm/l de plasma
- Volémie : 5-6 litres de sang
- HOMEOSTASIE THERMIQUE (thermorégulation-Homéothermie)

La regulation et la tolérance :

- Le maintien du **milieu interne** est une tâche sans répit pour le corps d'un animal.
- Devant les fluctuations environnementales, les Animaux maintiennent la stabilité de leur milieu interne par la **régulation** et la **tolérance**.
- On qualifie un animal de **régulateur** s'il utilise des **mécanismes de régulation interne** pour atténuer les changements dans son **milieu interne** lorsque son environnement externe fluctue. Ex : la loutre de rivière (*Lontra canadensis*) est considérée comme un régulateur quant à la température.
- On qualifie un animal de **tolérant** s'il **supporte les variations** de son **milieu interne** liées à certains changements dans l'environnement externe. Ex : l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) est tolérant à la température du lac où il vit. Sa température interne varie au gré des fluctuations de la température de l'eau.



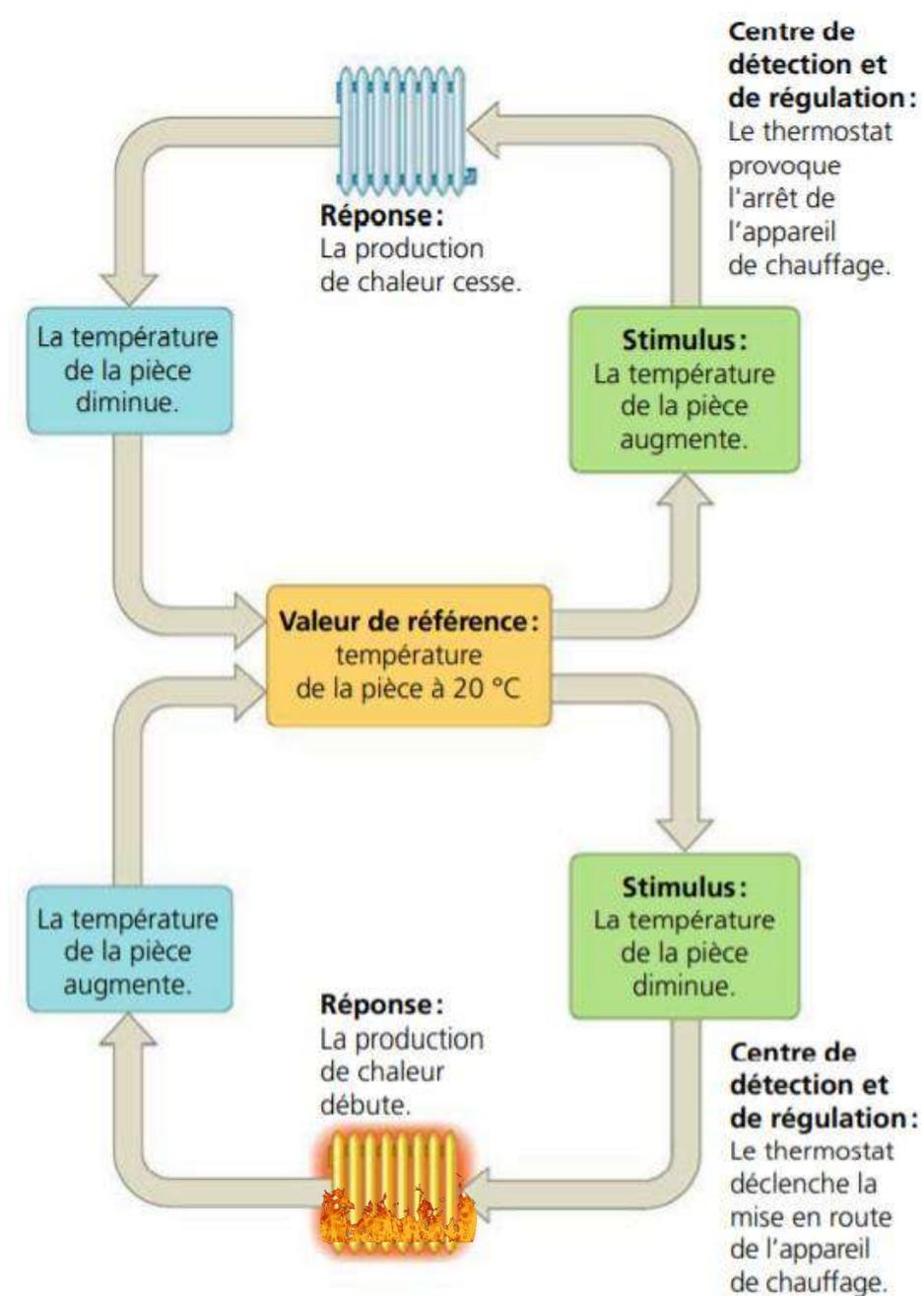
Les rapports entre les températures corporelles d'un régulateur et d'un tolérant aquatiques, et la température de l'environnement. La loutre de rivière maintient une température interne stable, indépendamment de la température de l'environnement. L'achigan à grande bouche, par contre, engendre relativement peu de chaleur métabolique et s'adapte à la température de l'eau.

Les mécanismes de l'homéostasie :

L'homéostasie est comparable à un **système mécanique**, pour garder une pièce à **20°C** par un système de chauffage :

- Le **thermostat** est réglé à **20°C**,
- Et le **thermomètre** de l'appareil détecte la **température ambiante** :
 - Si $T < 20^{\circ}\text{C}$: le **thermostat déclenche le chauffage** qui fonctionne jusqu'à la température fixée, à ce moment le thermostat **commande l'arrêt** du chauffage.
 - Pour chaque $T < 20^{\circ}\text{C}$, le thermostat déclenche le même processus.
- **1- Récepteur > 2- Centre de régulation > 3- Effecteur**
- Idem pour l'**homéostasie**, toute fluctuation à **une valeur de référence** représente un stimulus détecté par **1- un récepteur**, **2- un centre de régulation** traite l'information et émet un signal qui déclenche **une réponse** chez **3- l'effecteur**.

Dans l'exemple du système de chauffage, la **baisse de la température = stimulus**, le **thermomètre = le récepteur**, le **thermostat = centre de régulation**, et l'**appareil de chauffage = effecteur** de la réponse.



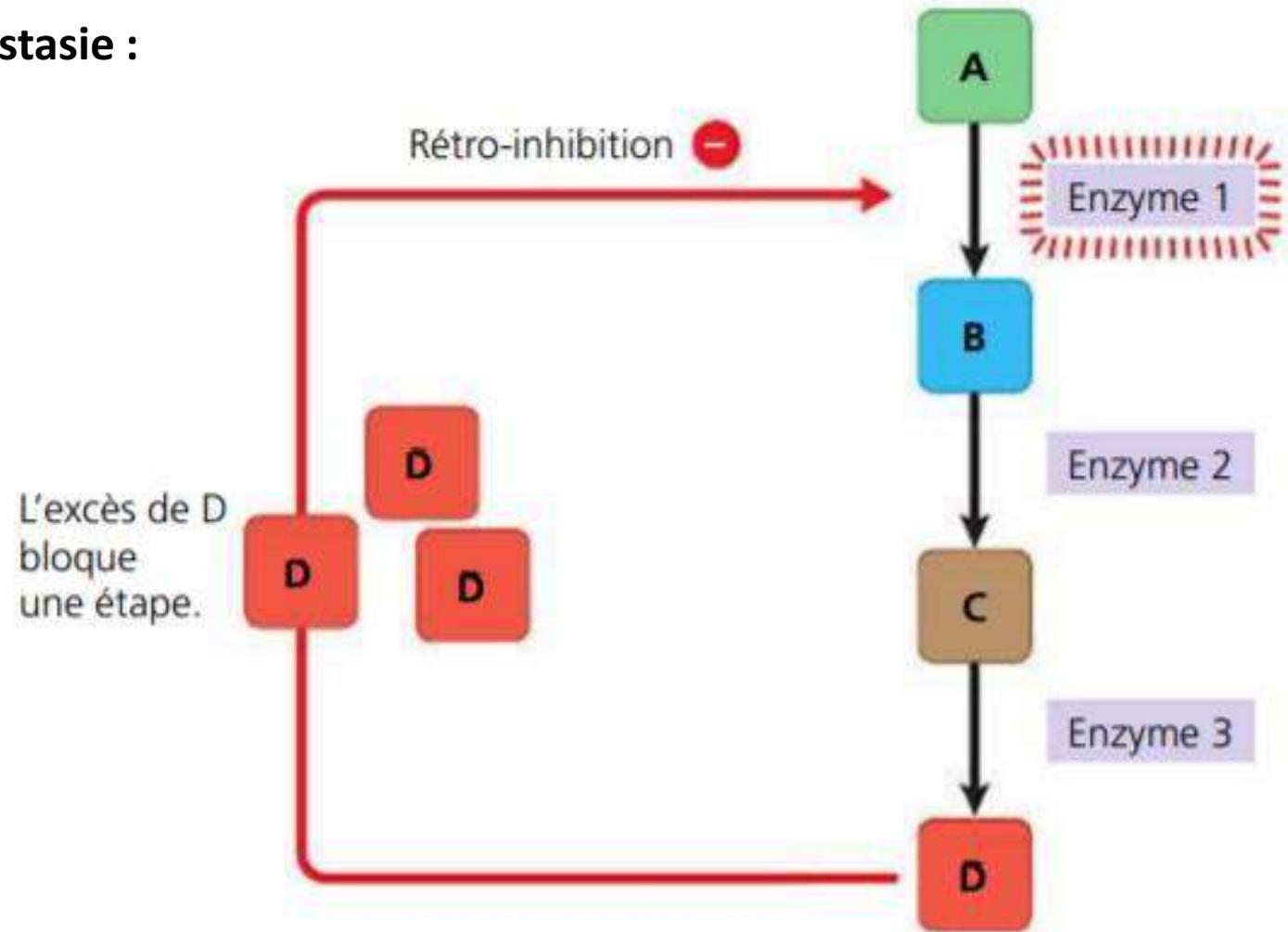
Exemple mécanique de régulation thermique: la régulation de la température dans une pièce.

Le rôle de la rétroaction négative dans l'homéostasie :

- L'homéostasie chez les Animaux dépend en grande partie de la **rétro-inhibition**, un mécanisme de régulation qui **atténue le stimulus initial** ou en diminue l'intensité.

Ex: Exercice intense -> chaleur -> système nerveux détecte l'augmentation de température -> déclenche le mécanisme de la transpiration -> la peau rafraîchit -> retour à la valeur de référence.

- **L'homéostasie** est un état d'**équilibre dynamique** : facteurs externes susceptibles d'influer sur le milieu interne / mécanismes de régulation internes qui s'opposent à cette influence.

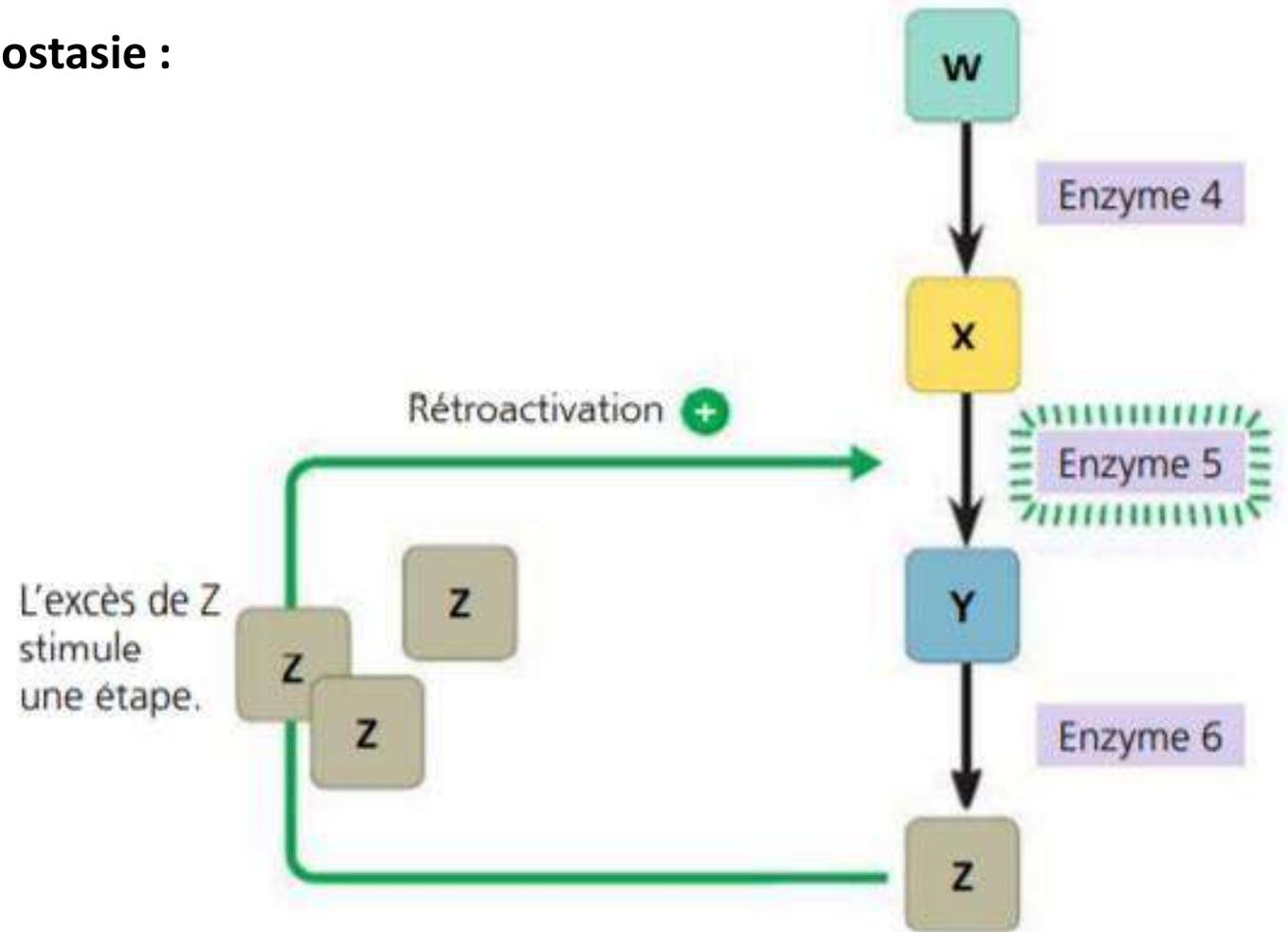


(a) Rétro-inhibition. La voie biochimique en trois étapes convertit la substance A en substance D. Une enzyme spécifique catalyse chaque réaction chimique. L'accumulation du produit final (D) inhibe la production de la première enzyme de la chaîne, ralentissant ainsi la production de D.

Le rôle de la rétroaction positive dans l'homéostasie :

- Contrairement à la rétro-inhibition, la **rétro-activation** est un mécanisme qui **amplifie le stimulus initial** au lieu de l'atténuer

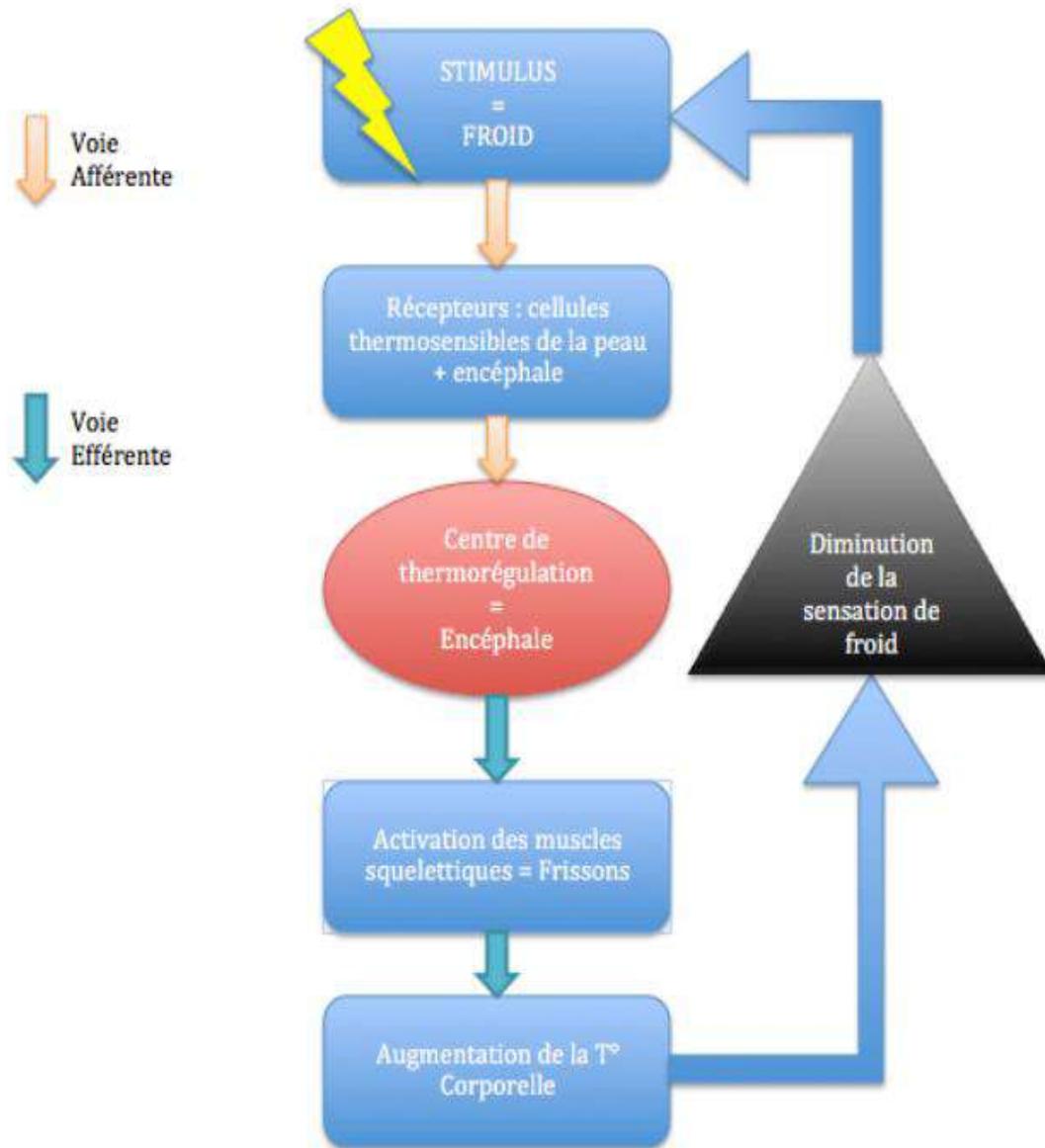
Ex. de l'accouchement : la pression du bébé sur les récepteurs du col utérin intensifie les contractions utérines. En s'amplifiant, le col utérin se dilate. La **rétro-activation** amène l'accouchement à son terme.



(b) Rétroactivation. Dans une voie biochimique régulée par la rétroactivation, un produit stimule une enzyme de la chaîne de réactions, ce qui accroît la vitesse de production de ce même produit.

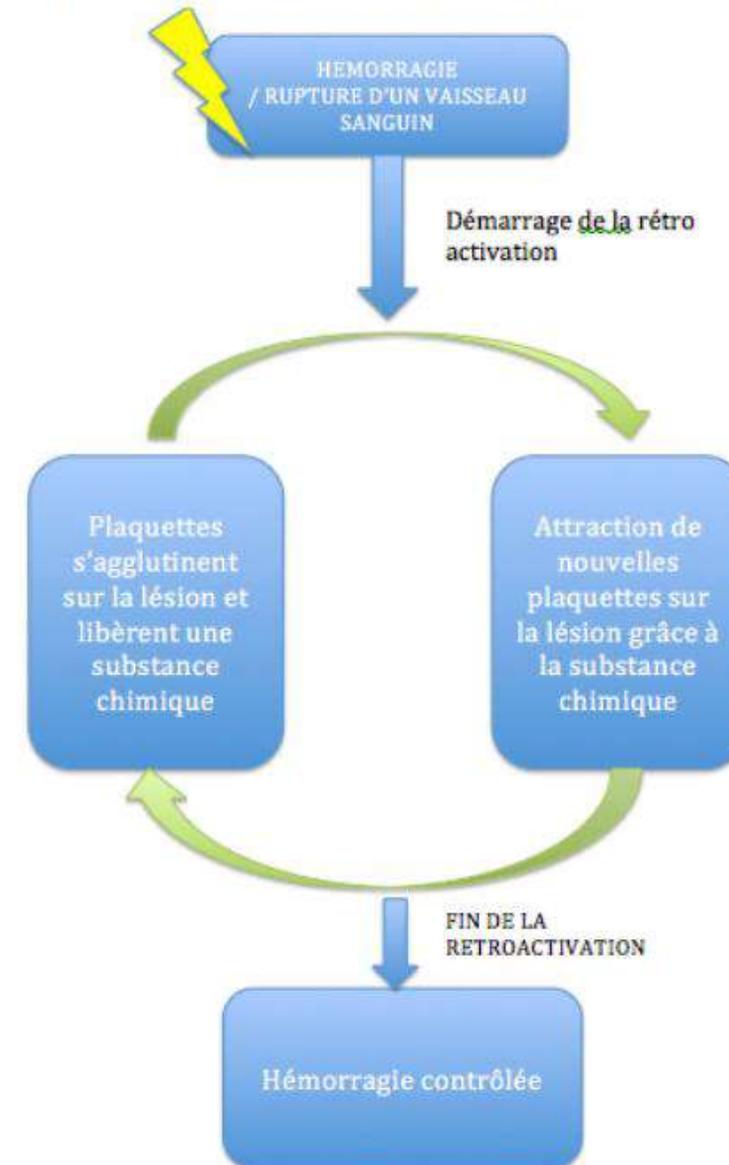
Mécanisme de Rétro-Inhibition

Systèmes qui, de par leur réponse, réduisent ou mettent fin au stimulus de départ.



Mécanisme de Rétroactivation

Systèmes qui de par leur réponse amplifient le stimulus initial, ce qui renforce l'activité.



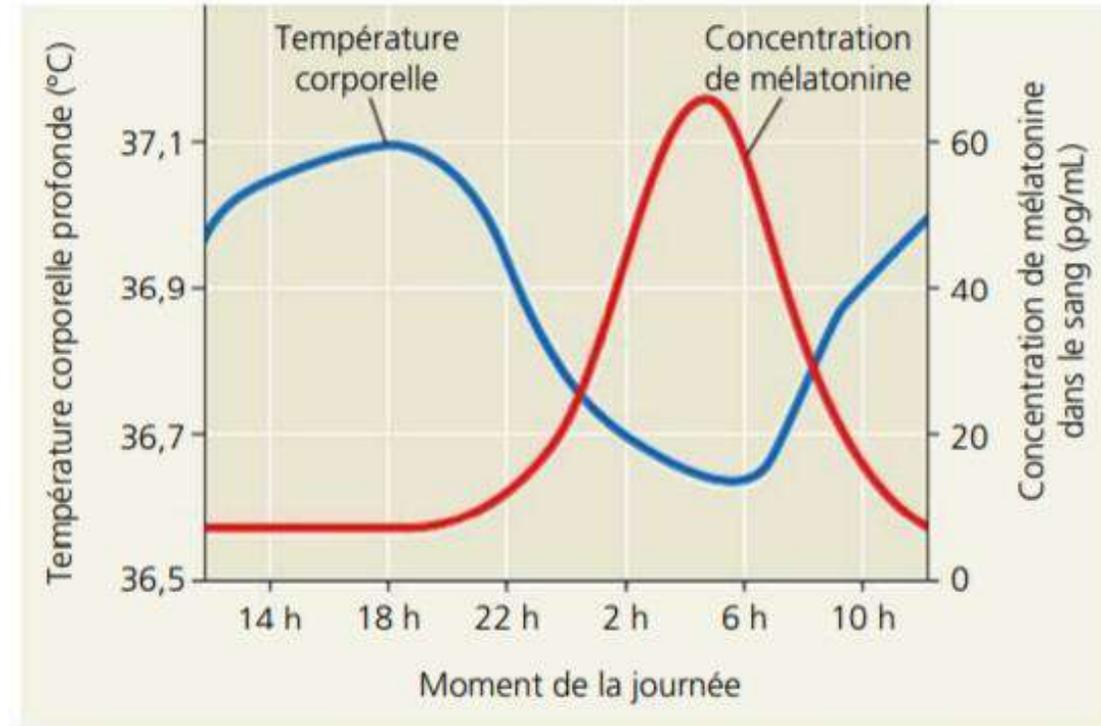
Les variations de l'homéostasie :

- Les **valeurs de référence** et les **limites normales** de l'homéostasie **peuvent changer** dans certaines conditions.
- Les **changements régulés** dans le **milieu interne** sont essentiels aux fonctions corporelles normales, associés à des fonctions physiologiques particulières ou à des périodes spécifiques du développement.

Ex: changement radical que connaît l'équilibre hormonal au cours de l'adolescence ou aux variations hormonales cycliques qui président au cycle menstruel de la femme.

- Chez tous les Animaux, certaines variations cycliques du métabolisme suivent un **rythme circadien** = un ensemble de changements physiologiques qui surviennent sur une période de 24 heures environ.

Ex: température corporelle qui change de 0,6 °C de façon cyclique au cours des 24h. Ce rythme de variation est réglé par **une horloge biologique** qui fonctionne **indépendamment** des variations de l'activité humaine, de la température ambiante et de l'intensité lumineuse.



Variations de la température corporelle profonde et concentration de mélatonine dans le sang. Des chercheurs ont mesuré ces deux variables chez des sujets au repos, mais éveillés, se trouvant dans une chambre d'isolement peu éclairée où la température était constante. (La mélatonine est une hormone qui semble intervenir dans les cycles veille-sommeil).

L'acclimatation :

- **L'acclimatation** est un des mécanismes mis à profit par **l'homéostasie** pour s'adapter à une nouvelle gamme de valeurs environnementales.
- Par ce processus graduel, l'organisme animal s'adapte aux changements dans son milieu externe.

Ex: En **haute montagne**, la teneur en **oxygène** de l'air étant plus faible, le cerf respirera plus rapidement et plus profondément. Il évacuera alors plus de CO₂ en expirant, ce qui élèvera son **pH sanguin au-dessus** de la **valeur de référence**. La fonction rénale se modifie et se met à excréter de **l'urine plus alcaline** afin de ramener le **pH sanguin** à sa valeur normale. Également, la production d'un plus grand nombre de globules rouges, qui transportent l'oxygène.



- Ne pas confondre **l'acclimatation**, un changement **temporaire** dans la vie d'un animal, avec **l'adaptation**, un processus de changement imposé à **une population** au cours de nombreuses générations.

❑ Exemple d'Homéostasie : **La thermorégulation**



- **La thermorégulation** est le mécanisme par lequel les Animaux **maintiennent leur température interne** dans un intervalle compatible avec la vie.
- Cette capacité est essentielle à **la survie** parce que la plupart des **processus biochimiques** et **physiologiques** sont extrêmement **sensibles** aux variations de la température corporelle.
- La vitesse de la plupart des réactions enzymatiques **diminue d'un facteur de deux ou trois** pour chaque **diminution** de température de **10 °C**.
- Une augmentation excessive de la température corporelle -> dénaturation des protéines.
Ex: l'hémoglobine se lie moins efficacement à l'oxygène dont elle assure le transport dans le sang.
Ex: les propriétés des membranes de plus en plus fluide ou rigide selon la T.

L'endothermie et l'ectothermie :

- Le métabolisme interne et l'environnement externe sont les sources de chaleur de la thermorégulation.
- Les **Oiseaux et les Mammifères** sont principalement **des endothermes**, ce qui signifie que **les activités métaboliques** constituent leur **principale source de chaleur**.
- Quelques **Reptiles**, certains **Poissons** et de nombreuses espèces d'**Insectes** sont également des endothermes.
- La plupart des **Invertébrés**, des **Poissons**, des **Amphibiens**, des **lézards**, des **serpents** et des **tortues** sont, eux, **des ectothermes**. Ils tirent presque toute leur chaleur de leur environnement.
- **l'endothermie et l'ectothermie** ne sont pas des modes de thermorégulation mutuellement exclusifs.
Ex: un oiseau est d'abord **un endotherme**, mais il peut se **réchauffer au soleil par temps froid**, à l'instar d'un lézard, qui est un ectotherme



(a) Le morse est un endotherme.



(b) Le lézard est un ectotherme.

Les variations de la température corporelle :

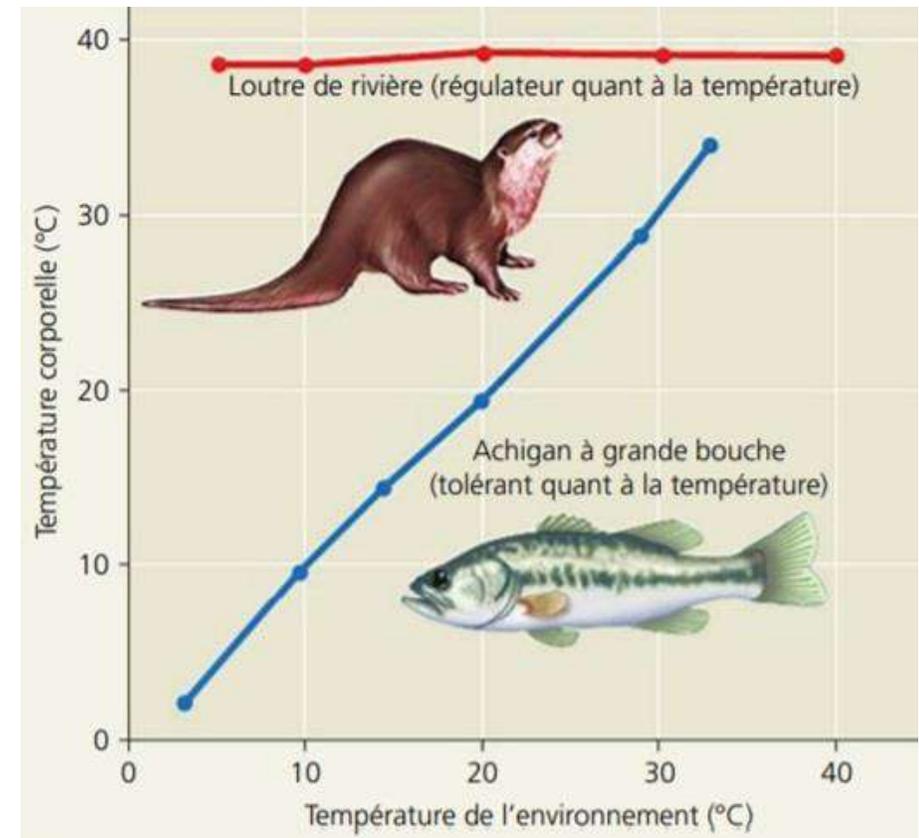
- La **température corporelle** des Animaux **peut varier** ou être **constante**.
- Un animal dont la température corporelle **varie** en fonction de celle de l'environnement est **un poïkilotherme** du grec poikilos « variable »).
- Un animal qui maintient une température interne relativement stable est **un homéotherme**.

Ex: l'**achigan** à grande bouche est un poïkilotherme, tandis que **la loutre** de rivière est un homéotherme.

- ❑ Remarque: L'employer des termes à **sang froid** et à **sang chaud** peut induire des erreurs.

La température corporelle des **ectothermes** n'est pas nécessairement **basse**.

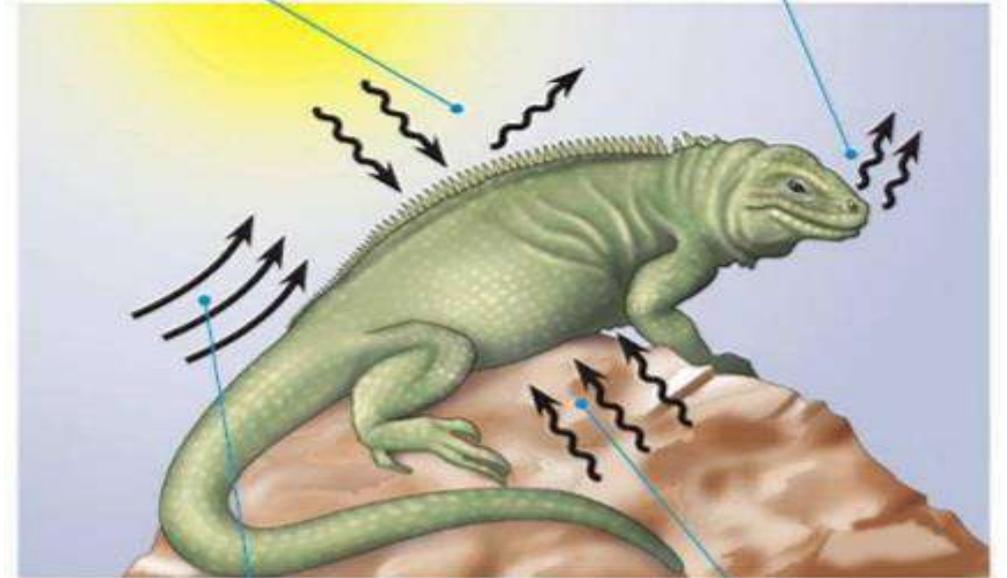
Des lézards, quand ils se chauffent au soleil, leur **température interne ectothermes** est **supérieure** à celle des **Mammifères**.



- **La thermorégulation** relève de la capacité d'un animal à **moduler l'échange** de chaleur avec son environnement.
- Comme tous les objets, les organismes ectothermes et endothermes échangent de la chaleur par quatre processus physiques : **la conduction, la convection, le rayonnement** et **la vaporisation**.
- **La thermorégulation** consiste à maintenir une quantité de chaleur équivalente à la quantité de chaleur perdue.
- Trois stratégies de régulation : contrôler l'échange thermique avec l'environnement, favoriser la production de la chaleur par le métabolisme (thermogenèse par phosphorylation oxydative), changement du comportement.

Le **rayonnement** désigne l'émission d'ondes électromagnétiques par tous les objets dont la température est supérieure au zéro absolu. Ici, un lézard absorbe de la chaleur irradiée par le Soleil et il transfère une petite partie de l'énergie à l'air ambiant.

La **vaporisation** désigne le retrait de chaleur à la surface d'un liquide, qui perd certaines de ses molécules du fait de leur passage à l'état gazeux. La vaporisation de l'eau à la surface humide d'un lézard a un effet de refroidissement important.



La **convection** est le processus par lequel l'air ou un liquide qui se réchauffe à la surface d'un corps se dilate et tend à s'éloigner de ce corps, faisant place à l'air ou au liquide plus froids. Par exemple, le vent facilite la déperdition thermique par convection à la surface d'un lézard ayant une peau sèche; le sang en circulation déplace la chaleur de l'intérieur du corps pour la transférer par convection aux extrémités plus froides. Chez les animaux, la convection contribue plus souvent à une perte de chaleur qu'à un gain.

La **conduction** désigne le transfert direct de chaleur entre les molécules de deux corps en contact ou celles de deux parties d'un même corps, par exemple quand un lézard se tient sur une roche préalablement chauffée au soleil.

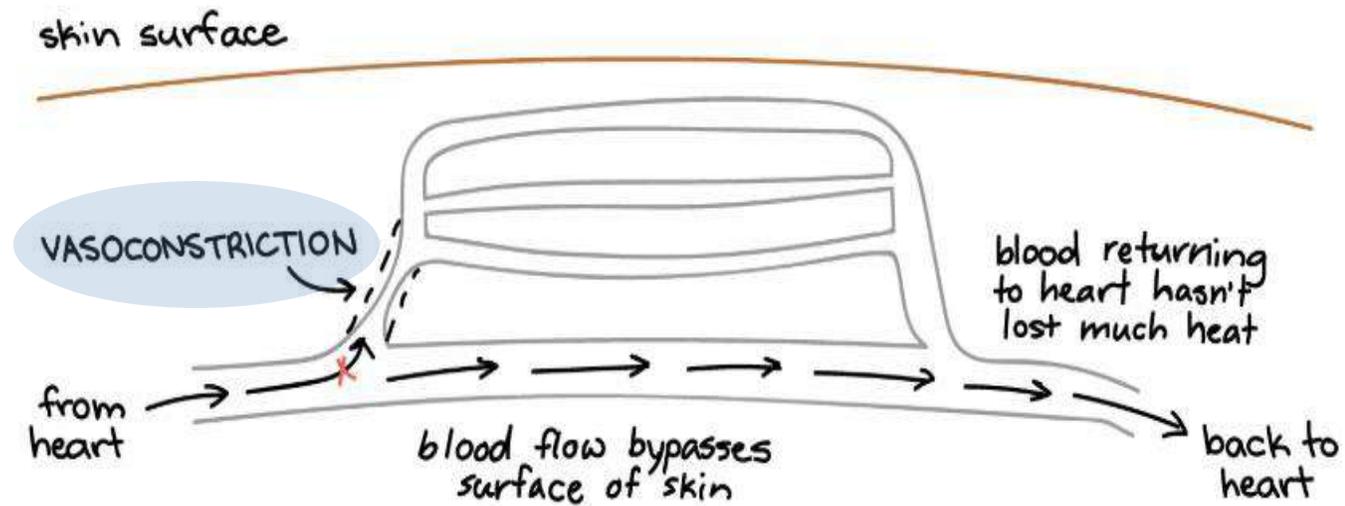
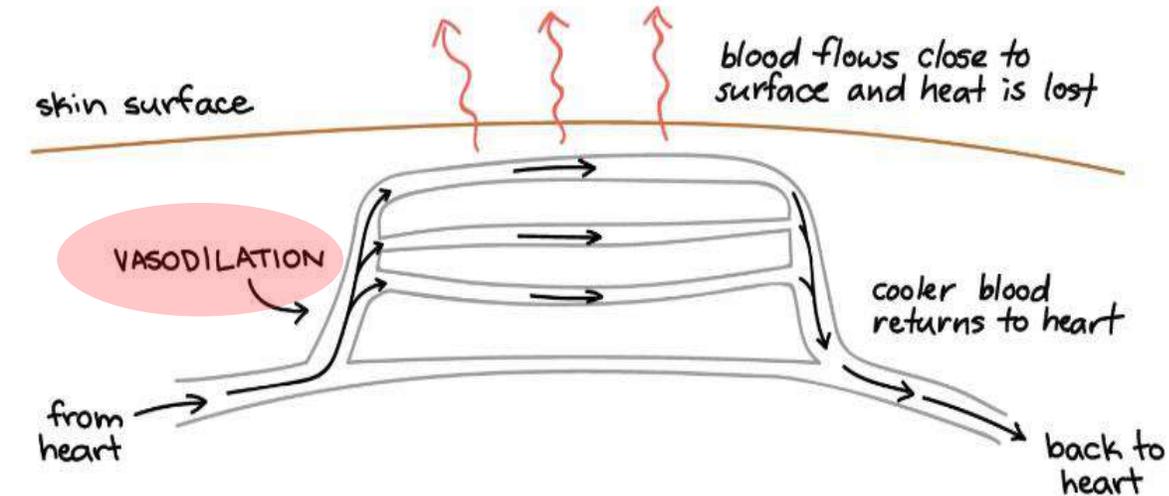
Mécanismes de la thermorégulation :

- **L'isolation** chez les Mammifères et chez les Oiseaux consiste à réduire le flux thermique entre le corps et l'environnement, Les poils, les plumes et les couches de graisse formées par le tissu adipeux contribuent à l'isolation.

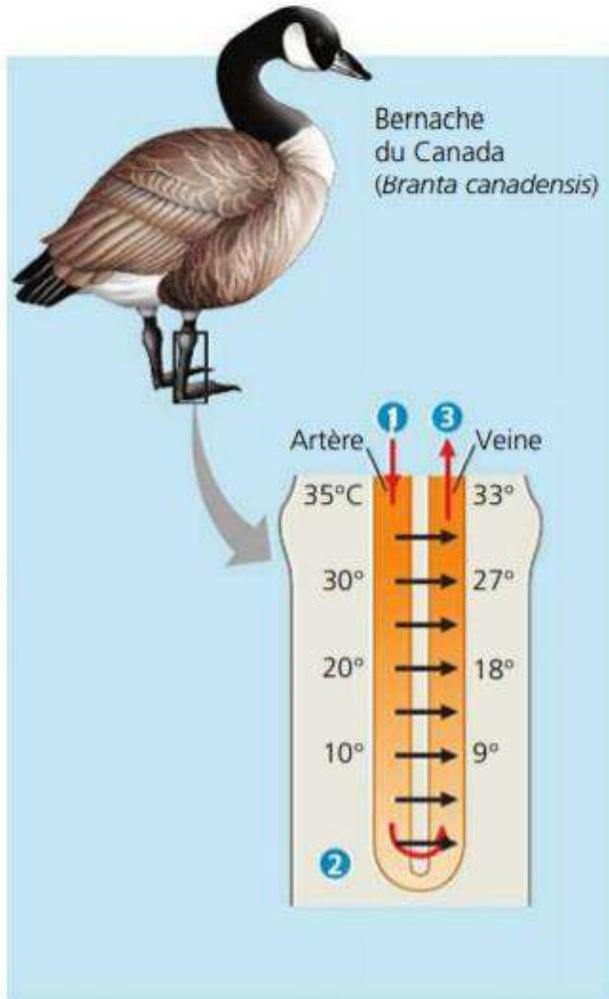


Left, a pigeon fluffs its feathers for warmth; right, human goosebumps are an attempt to increase insulation by trapping air near the skin—but are not very effective due to lack of hair! Image credits: left, *Parrow cold big bird* by Mike Sandoval, public domain; right, *Goose bumps*, by Ildar Sagdejev, CC BY-SA 3.0

- **Les systèmes circulatoires** jouent un rôle important dans l'échange de chaleur entre le milieu interne et l'environnement.
- Les adaptations qui régulent la circulation du sang proche de la surface du corps ou qui gardent la chaleur au centre du corps sont essentielles à la thermorégulation.
- **La vasodilatation** est déclenchée par des influx nerveux produisant un relâchement des fibres musculaires de la paroi des vaisseaux. Chez les **endothermes**, la vasodilatation **réchauffe** généralement **la peau**, ce qui accroît le transfert de la chaleur **du corps à l'environnement** par **radiation, conduction et convection**.
- **La vasoconstriction**, qui réduit l'apport sanguin et le transfert thermique en diminuant le diamètre des vaisseaux superficiels. C'est le mécanisme de la vasoconstriction dans les oreilles qui permet au lièvre de ne pas souffrir d'un coup de chaleur sous le soleil du désert.



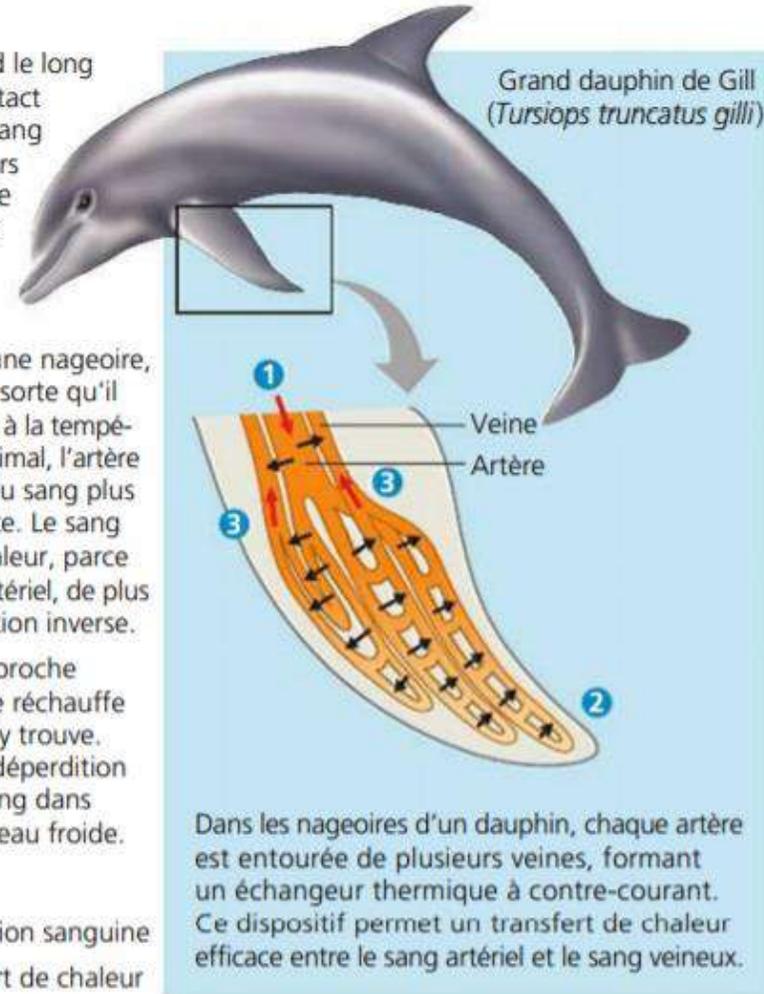
- Pour réduire la déperdition thermique, de nombreux Oiseaux et Mammifères doivent compter sur l'échange thermique à contre-courant, c'est-à-dire sur le transfert de chaleur (ou de solutés) entre des liquides qui circulent dans des directions opposées.



- 1 Les artères transportant le sang chaud le long des membres de l'animal sont en contact étroit avec les veines transportant le sang plus froid dans la direction inverse, vers le centre du corps. Ce dispositif facilite le transfert thermique des artères aux veines sur toute la longueur des vaisseaux sanguins.
- 2 Près de l'extrémité d'une patte ou d'une nageoire, là où le sang artériel s'est refroidi, de sorte qu'il atteigne une température bien inférieure à la température interne normale du corps de l'animal, l'artère peut encore transférer de la chaleur au sang plus froid passant dans une veine adjacente. Le sang veineux continue à absorber de la chaleur, parce qu'il se déplace à proximité du sang artériel, de plus en plus chaud, circulant dans la direction inverse.
- 3 À mesure que le sang veineux se rapproche du centre du corps, sa température se réchauffe et atteint presque celle du sang qui s'y trouve. Ce mécanisme réduit les effets de la déperdition thermique associée au transfert de sang dans les parties du corps en contact avec l'eau froide.

Légende :

- Orange Sang plus chaud
- Light orange Sang plus froid
- Red arrow → Circulation sanguine
- Black arrow → Transfert de chaleur



Dans les nageoires d'un dauphin, chaque artère est entourée de plusieurs veines, formant un échangeur thermique à contre-courant. Ce dispositif permet un transfert de chaleur efficace entre le sang artériel et le sang veineux.

Les échangeurs thermiques à contre-courant. Ce mécanisme aide à retenir la chaleur au centre du corps, réduisant ainsi la déperdition thermique par les extrémités, surtout lorsqu'elles sont immergées dans de l'eau froide ou en contact avec de la glace ou de la neige. En fait, la chaleur du sang artériel provenant du centre du corps est transférée directement au sang veineux qui retourne vers cette partie du corps, au lieu de se dissiper dans l'environnement.

Les réactions comportementales :

- **L'hibernation** (état d'inactivité) **regroupement, migration** vers un climat plus propice constituent des adaptations comportementales à des conditions de température extrêmes.



Le refroidissement en vue d'une perte de chaleur :

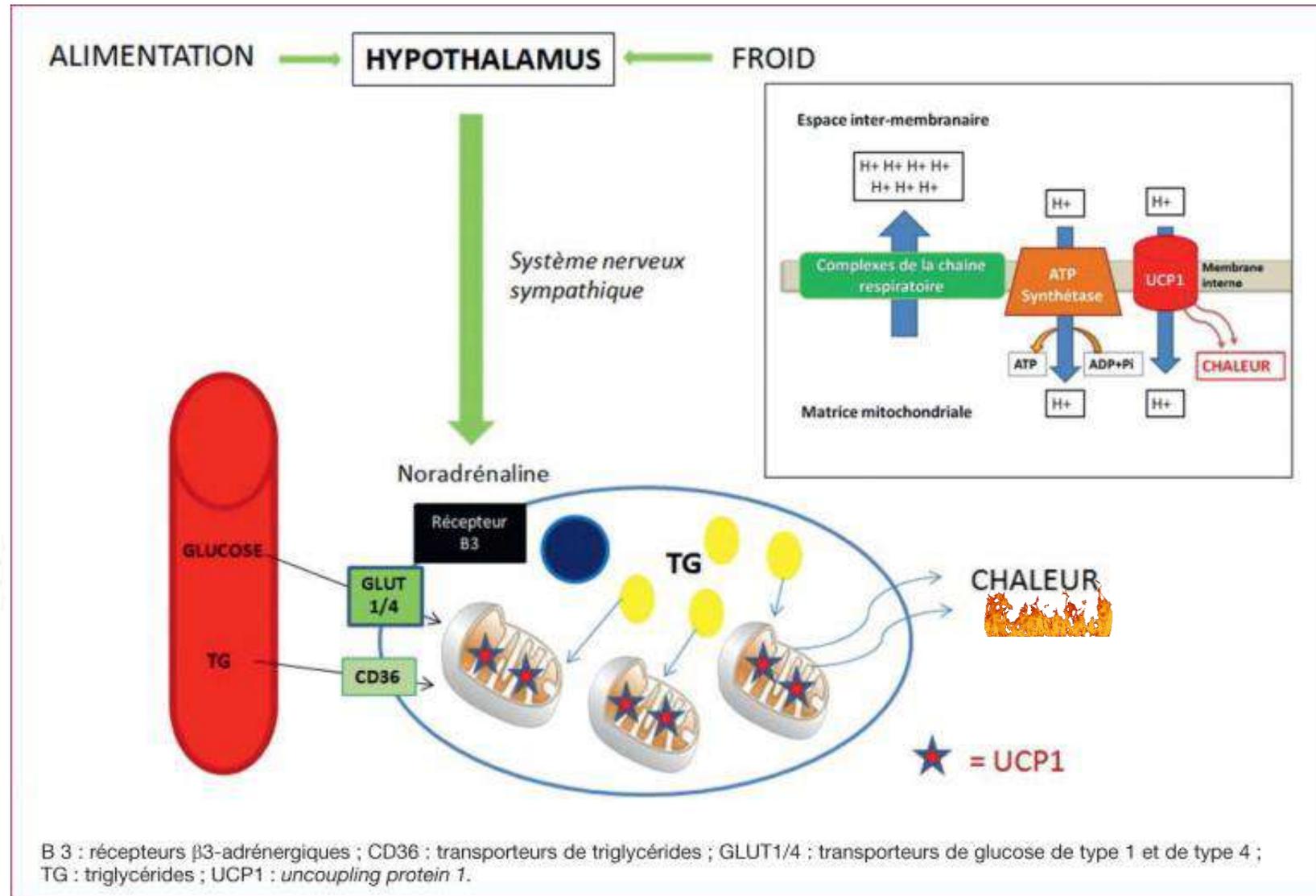
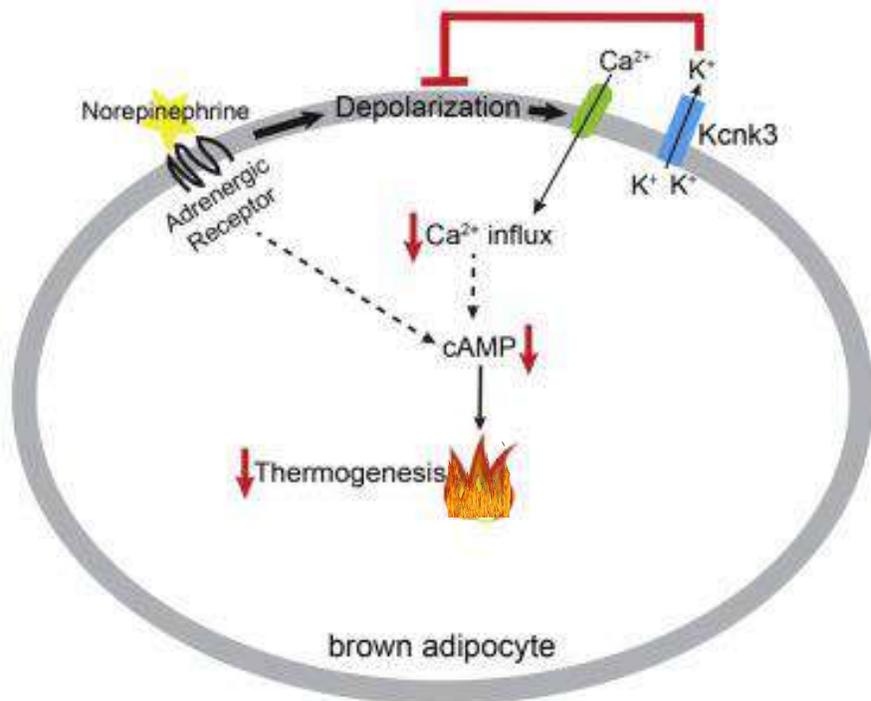
- Des animaux terrestres perdent de l'eau par **évaporation** à travers la peau et par la respiration. L'eau absorbe une quantité considérable de chaleur quand elle s'évapore.
- **Le halètement** joue un rôle important chez les Oiseaux et chez de nombreux Mammifères (le chien, par exemple).

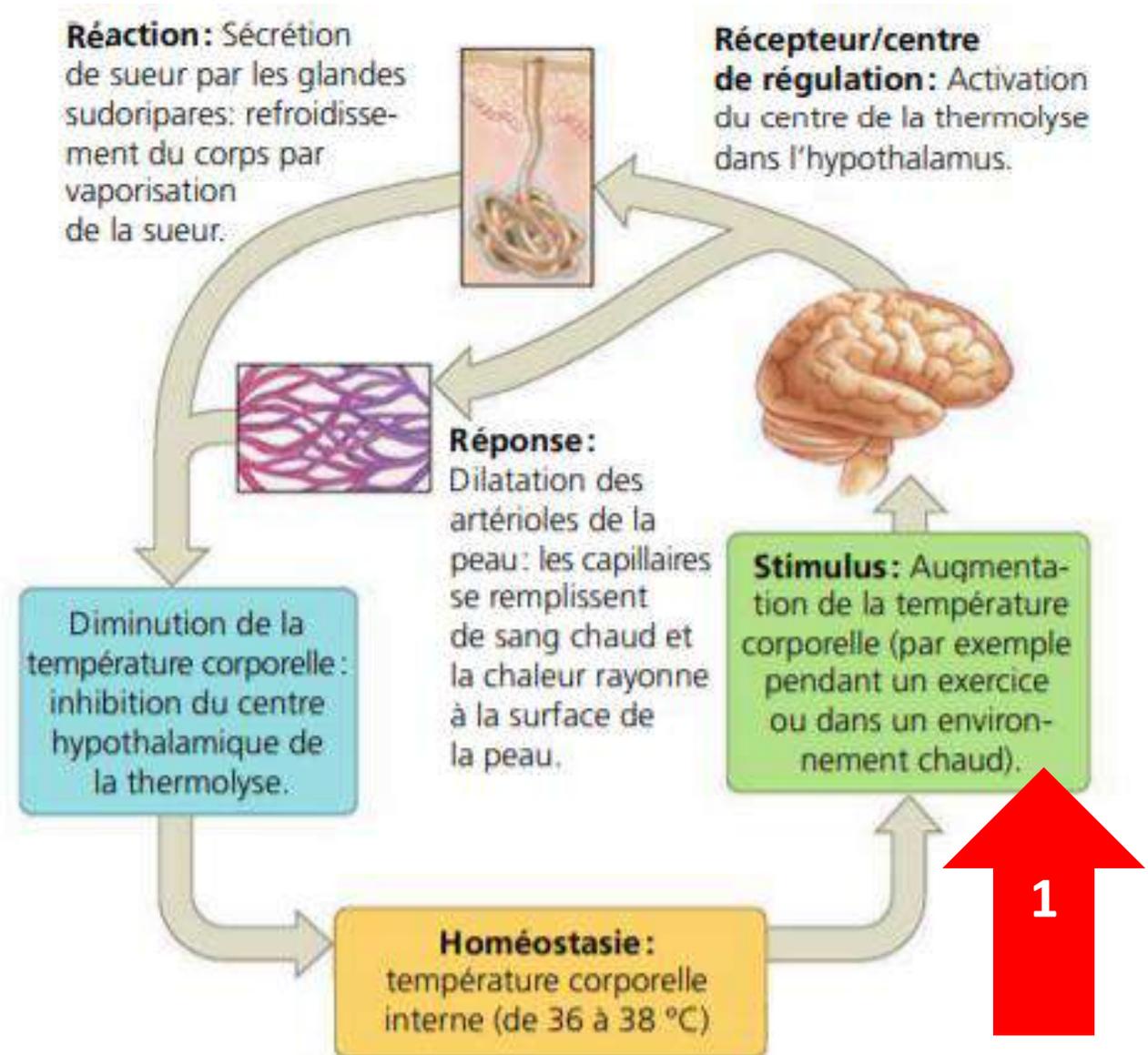
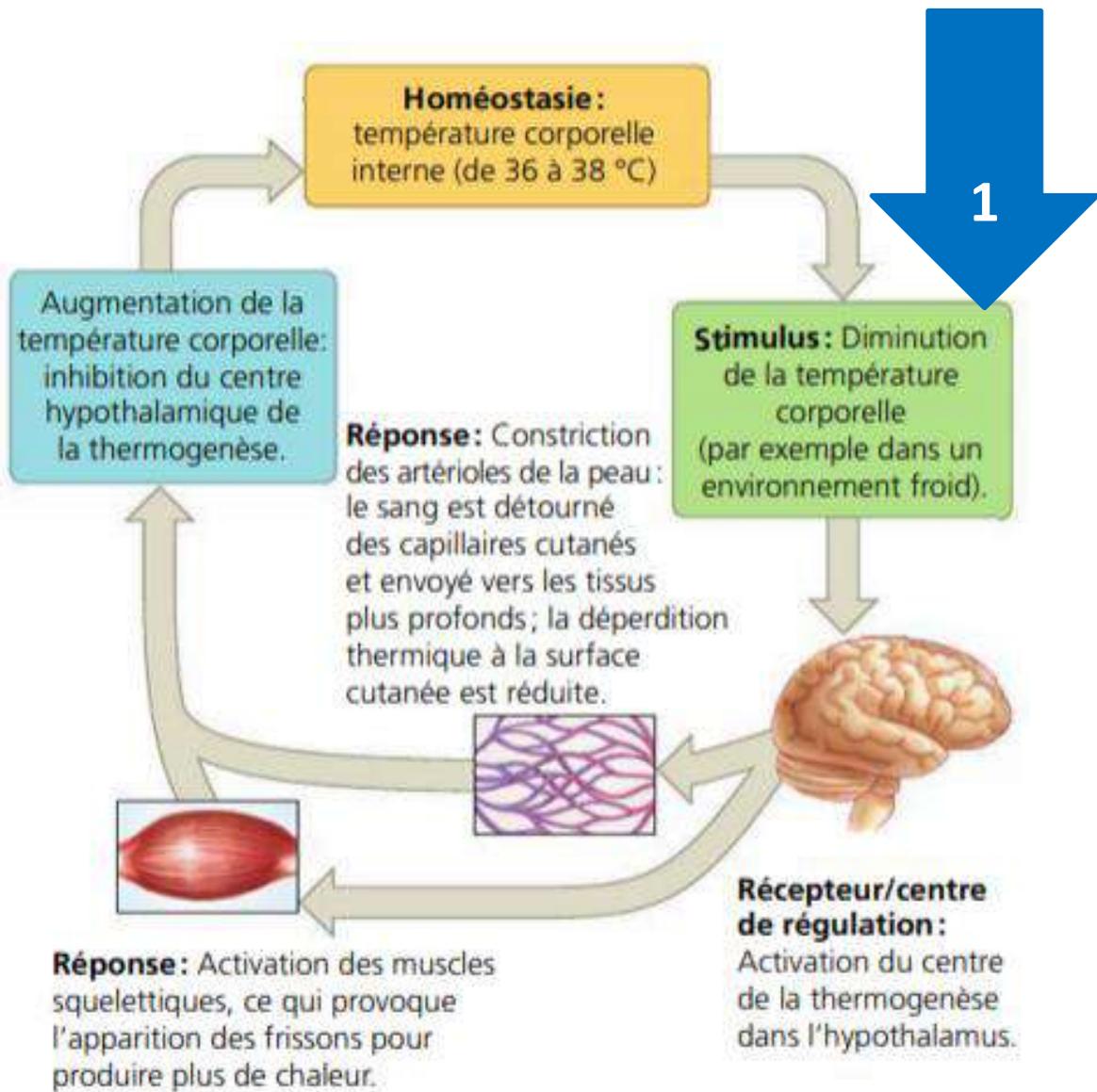


Left, wolf panting to lose heat; right, beads of sweat on a human arm.
Image credits: left, *Panting wolf* by Mark Dumont, CC BY-NC 2.0; right, *Photo of sweating at Wilson Trail Stage 1* by Minghong, CC BY-SA 3.0

L'ajustement de la production de chaleur métabolique :

- La thermogénèse augmente à la suite d'activités musculaires telles que les **mouvements** ou les **frissons**.
- Certains mammifères sécrètent des hormones qui incitent les mitochondries à accroître leur activité métabolique et à produire de la chaleur au lieu de l'ATP.





Le rôle prépondérant de l'hypothalamus dans la thermorégulation humaine.

A découvrir..

- Homéostasie **hydro-électrolytique**
- Homéostasie de **la pression artérielle**
- Homéostasie du **magnesium**
- Homéostasie **phosphocalcique**
- Homéostasie du **fer**
- Homéostasie de **la glycémie**

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

