

Systeme cardiovasculaire

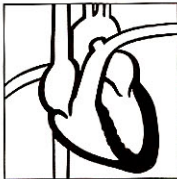
François Mooser

2015/2016

Système cardiovasculaire

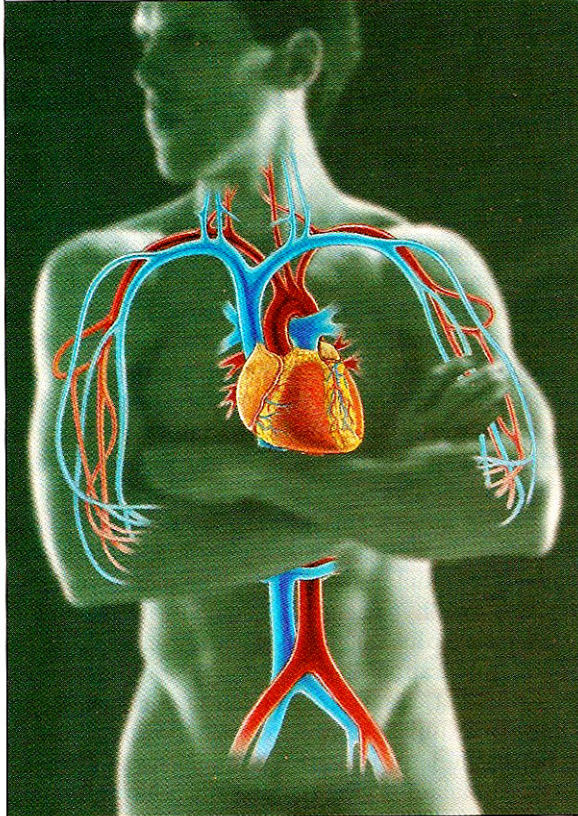
Table des matières

1. Le sang	6
1.1 Composition.....	6
1.2 Fonctions.....	7
2. Circulation sanguine et lymphatique	10
3. Anatomie et physiologie du cœur	11
3.1 Anatomie du cœur.....	11
3.2 Physiologie du cœur.....	18
3.2.1 Système de conduction du cœur.....	18
3.2.2 Innervation extrinsèque du cœur.....	23
3.2.3 La révolution cardiaque.....	24
3.2.4 Bruits du cœur.....	25
4. ECG : relations entre potentiels d'action (nœud sinusal, nœud auriculo-ventriculaire, muscles cardiaques) et physiologie cardiaque	26
4.1 Activité électrique neuronale comme modèle pour l'activité électrique du cœur...26	
4.2 ECG : potentiels d'action du cœur (activité électrique) – physiologie cardiaque (activité physiologique).....	29
5. Anatomie et physiologie de la circulation	29
5.1 Débit sanguin, pression sanguine et résistance.....	32
5.2 Relations entre débit sanguin, pression sanguine et résistance périphérique.....	32
5.3 Pression sanguine systémique.....	33
5.4 Pression veineuse.....	35
5.5 Maintien de la pression artérielle (homéostasie !)...36	
5.6 Vérification de l'efficacité de la circulation sanguine.....	37
5.6.1 Mesure du pouls.....	37
5.6.2 Mesure de la pression artérielle.....	37
5.7 Variations de la pression artérielle.....	38
5.7.1 Hypotension.....	38
5.7.2 Hypertension.....	38
5.8 Débit sanguin dans les tissus.....	39
5.9 Etat de choc.....	40
6. Références bibliographiques	41



SYNTHÈSE

Tous pour un, un pour tous: relations entre le système cardiovasculaire et les autres systèmes de l'organisme



- Le SNA régit la force et la fréquence des battements cardiaques; par son action sur les vaisseaux sanguins, le système nerveux sympathique régit la pression artérielle et adapte la distribution du sang aux besoins de l'organisme.



Système endocrinien

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets; le sang est le véhicule des hormones.
- Diverses hormones (adrénaline, FNA, T₄, ADH) influent sur la pression artérielle; les œstrogènes favorisent l'intégrité des structures vasculaires chez la femme.



Système lymphatique et immunitaire

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments aux organes lymphatiques, qui abritent les cellules immunitaires; il fournit un véhicule aux lymphocytes et aux anticorps; il débarrasse des déchets.
- Le système lymphatique recueille les liquides et les protéines plasmatiques échappés des capillaires, et il les renvoie dans le système cardiovasculaire; ses cellules immunitaires protègent les organes cardiovasculaires des agents pathogènes.



Système respiratoire

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- Le système respiratoire effectue les échanges gazeux; il charge le sang en oxygène et le débarrasse du gaz carbonique; la pompe respiratoire favorise le retour veineux.



Système digestif

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- Le système digestif fournit au sang des nutriments, y compris le fer et les vitamines du groupe B, essentiels à la formation des érythrocytes (et de l'hémoglobine).



Système urinaire

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets; la pression artérielle maintient la fonction rénale.
- Le système urinaire concourt à la régulation de la pression artérielle en modifiant la diurèse et en libérant de la rénine.



Système génital

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- Les œstrogènes favorisent l'intégrité des structures vasculaires chez la femme.



Système tégumentaire

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- Les vaisseaux cutanés sont d'importants réservoirs de sang et ils concourent à la thermorégulation.



Système osseux

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- Les os sont le siège de l'hématopoïèse; ils protègent le système cardiovasculaire et sont des réserves de calcium.



Système musculaire

- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.
- L'exercice aérobique améliore l'efficacité cardiovasculaire et prévient l'athérosclérose; la pompe musculaire favorise le retour veineux.

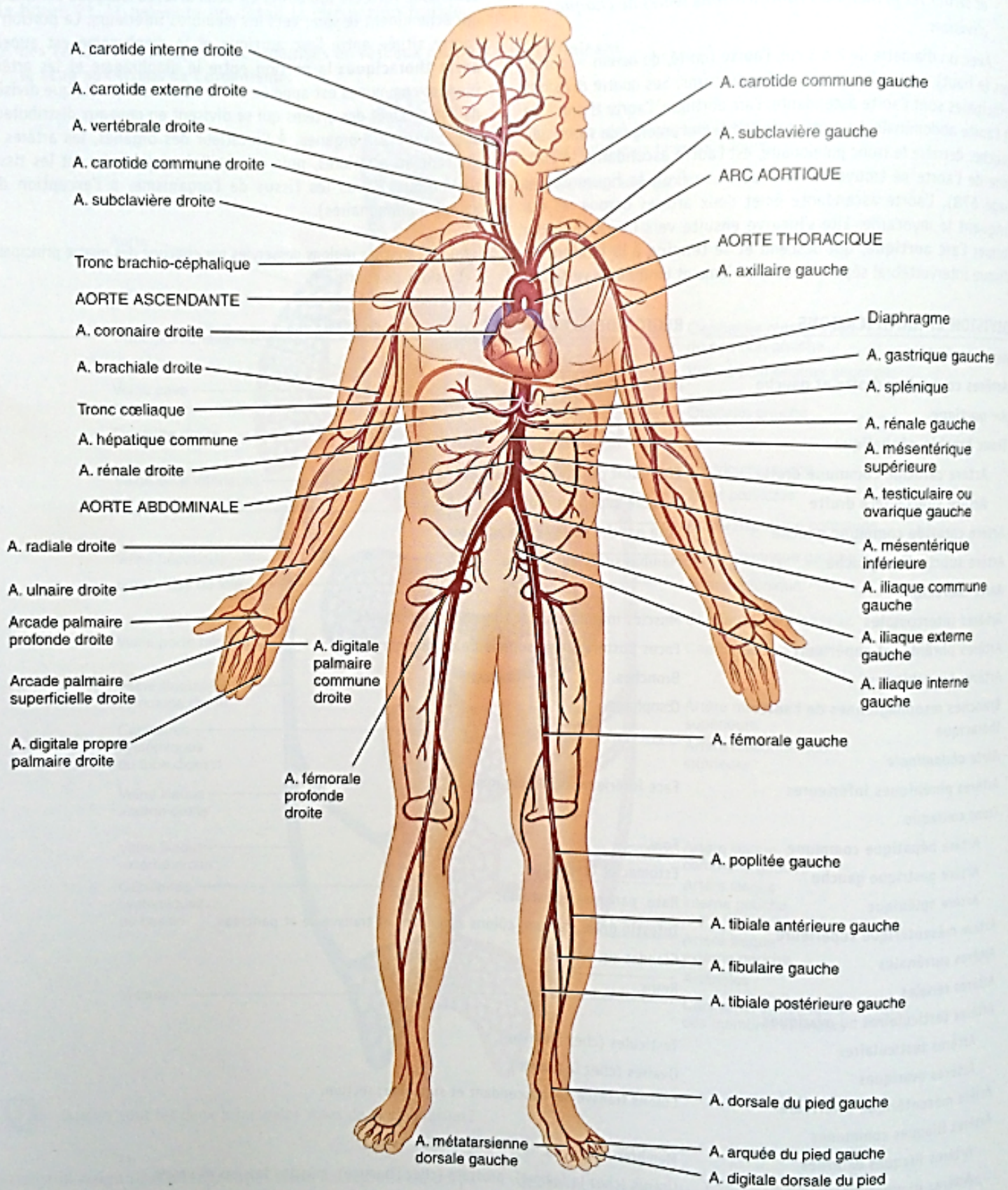


Système nerveux


- Le système cardiovasculaire apporte de l'oxygène et des nutriments; il débarrasse des déchets.

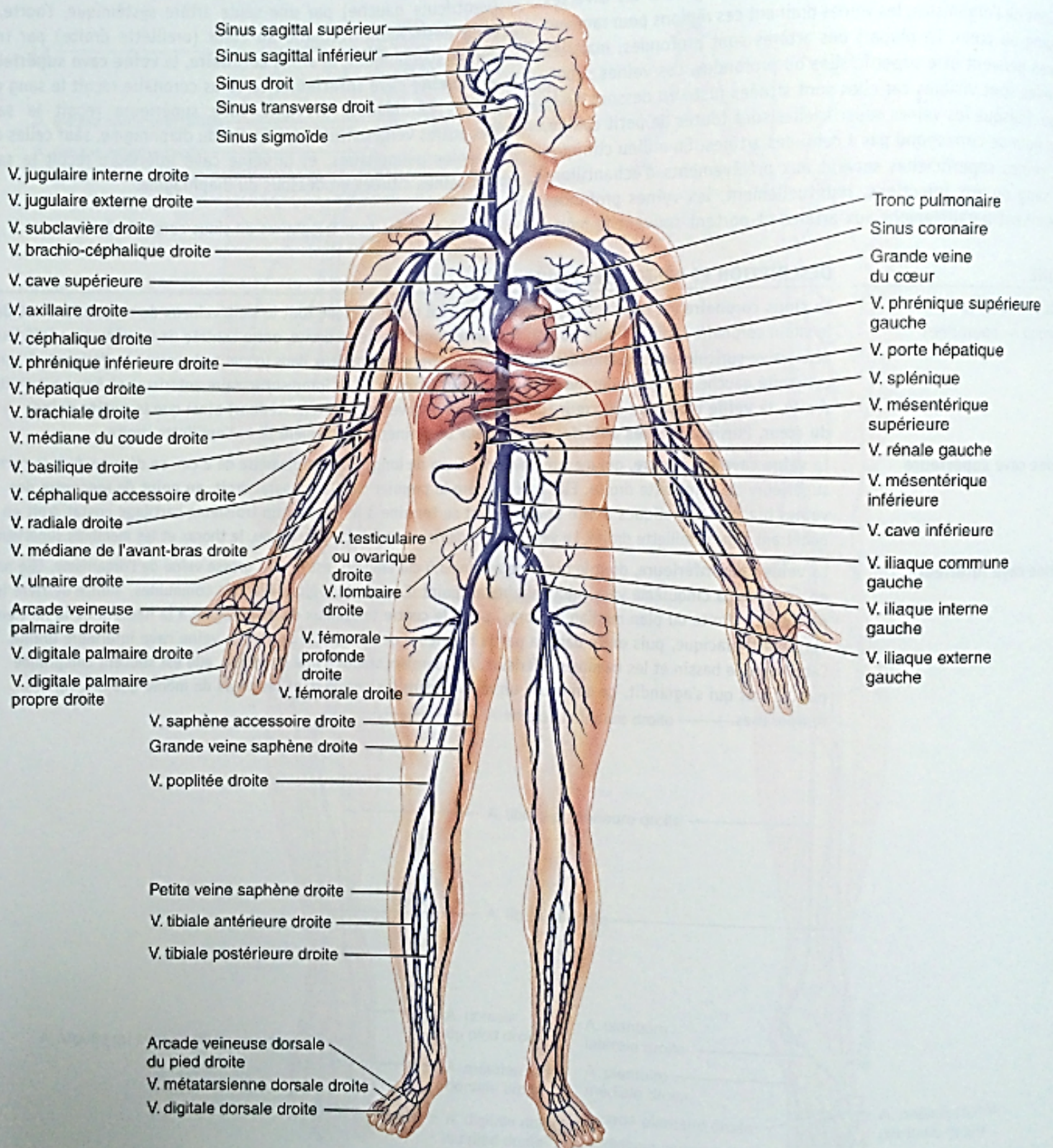


Toutes les artères systémiques sont issues de l'aorte.

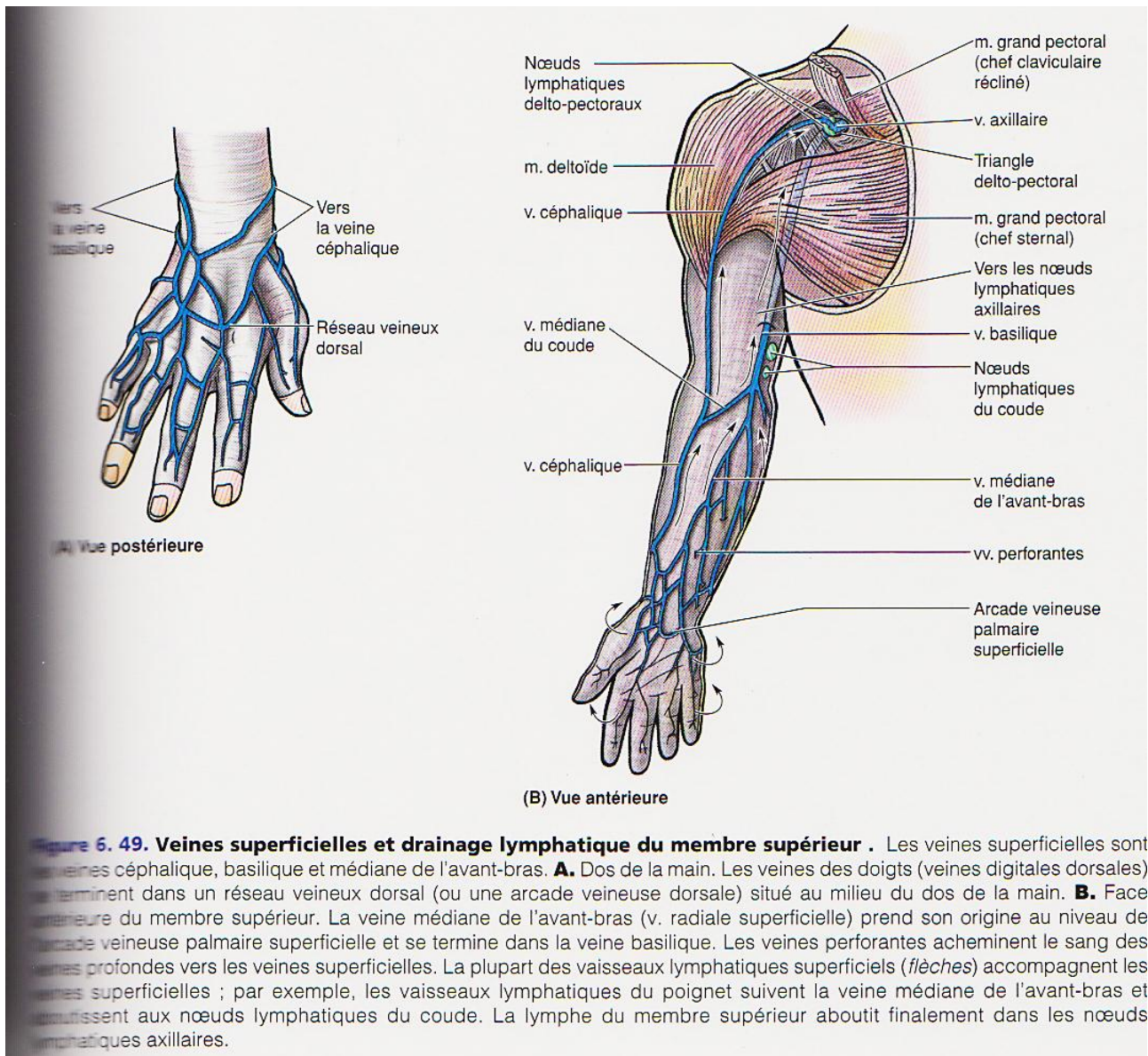


(a) Vue antérieure générale des principales ramifications de l'aorte

 **Le sang désoxygéné revient au cœur en empruntant les veines caves supérieure et inférieure et le sinus coronaire.**



Vue antérieure générale



1. Le sang

Le sang (système cardiovasculaire) : véhicule assurant pratiquement tous les échanges nécessaires au métabolisme cellulaire et à la défense de l'organisme. Il dispose d'un dispositif biochimique, la coagulation, qui lui permet d'obturer les brèches pouvant survenir dans la paroi des vaisseaux grâce à la transformation de certaines protéines de son plasma. **Un mm³ (1 µl) de sang contient environ 5 millions d'érythrocytes, 4'000-9'000 globules blancs et 150'000-400'000 thrombocytes. L'organisme contient environ 5 litres de sang.**

1.1 Composition

45% de cellules sanguines et 55% de plasma

CELLULES

- **globules rouges** (érythrocytes : ne contiennent pas de noyau cellulaire) →
transport d'oxygène, oxygénation de l'hémoglobine dans les poumons s'accompagnant d'une alcalinisation, désoxygénation dans les tissus couplée à une acidification. 97% d'oxygène est transféré sur Hb au niveau des poumons et transporté vers les cellules. Les 3% restants sont dissous dans le plasma.
→ transport du CO₂ rejeté par les tissus : 45% comme ions bicarbonates HCO₃⁻ dans le plasma, 35% comme ions bicarbonates HCO₃⁻ dans les globules rouges, 10% comme carbamino-hémoglobine (HbCO₂) et 10% sous forme de CO₂ libre dans le plasma.
Les globules rouges contiennent 75% d'eau dans laquelle est dissoute une protéine colorée, **l'hémoglobine**. Le sang d'un adulte renferme de 11.5 à 18 g d'hémoglobine pour 100 ml. Un seul globule rouge contient 250 à 300 millions de molécules d'hémoglobines.
La molécule d'hémoglobine : protéine globulaire comportant 2 paires de sous-unités symétriquement disposés. Chaque sous-unité porte une chaîne polypeptidique de globine et un groupement non protéique d'hème centré sur un ion ferreux Fe²⁺. Celui-ci peut lier une molécule d'oxygène de manière réversible. **Une molécule d'hémoglobine peut transporter 4 molécules d'oxygène** et 1 g d'hémoglobine peut fixer jusqu'à 1.34 ml d'O₂.
Durée de vie : 120 jours, après quoi ils sont détruits par les macrophages de la rate et du foie. Le fer est conservé et sert à la formation de nouveaux globules rouges. Le remplacement des globules rouges morts de vieillesse exige la fabrication quotidienne d'environ 210 milliards d'érythrocytes à partir de cellules souches.
- **globules blancs** (leucocytes) → défense de l'organisme contre les agressions bactériennes principalement. Durée de vie variable : de quelques heures à plusieurs années.
- **les plaquettes sanguines** (thrombocytes) → hémostase, coagulation

PLASMA

- liquide plus ou moins jaune et transparent obtenu après centrifugation du sang. Contient les éléments de coagulation. Constitué d'environ 90% d'eau ; sels : sodium (135-150 mmoles/l), chlorure (90-110 mmoles/l), calcium (1.17-1.29 mmoles/l), les phosphates (0.58-1.5 mmole/l), le sel de cuisine le plus important pour l'équilibre osmotique (**NaCl** : 0.6-0.7 g/100 ml) ; autres molécules résultant de la digestion (glucose, urée, acides aminés, gouttelettes de graisse en émulsion) ; hormones ; protéines plasmatiques (**albumine**, facteurs de coagulation, protéines de transport comme la transferrine pour le fer, les anticorps dans la défense de l'organisme). plus ou moins jaune et transparent obtenu après centrifugation du sang.

TABLEAU 17.1 Composition du plasma

Composants	Description et importance
Eau	Constitue 90% du volume plasmatique; milieu de dissolution et de suspension pour les solutés du sang; absorbe la chaleur
Solutés Protéines	Constituent 8% (au poids) du volume plasmatique
▪ Albumine	Constitue 60% des protéines plasmatiques; produite par le foie; exerce une pression osmotique qui préserve l'équilibre hydrique entre le plasma et le liquide interstitiel
▪ Globulines alpha et bêta	Constituent 36% des protéines plasmatiques
gamma	Produites par le foie; protéines vectrices qui se lient aux lipides, aux ions des métaux et aux vitamines liposolubles
▪ Facteurs de coagulation	Anticorps libérés par les cellules plasmatiques pendant la réaction immunitaire
▪ Autres	Constituent 4% des protéines plasmatiques; comprennent le fibrinogène et la prothrombine produits par le foie; interviennent dans la coagulation
Substances azotées non protéiques	Enzymes métaboliques, protéines antibactériennes (comme le complément), hormones
Nutriments (organiques)	Sous-produits du métabolisme cellulaire comme l'urée, l'acide urique, la créatine et les sels d'ammonium
Électrolytes	Matières absorbées par le tube digestif et transportées dans l'organisme entier; comprennent le glucose et d'autres glucides simples, les acides aminés (produits de la digestion des protéines), les acides gras, le glycérol et les triglycérides (lipides), le cholestérol et les vitamines
Gaz respiratoires	Cations dont le sodium, le potassium, le calcium, le fer et le magnésium; anions dont le chlorure, le phosphate, le sulfate et le bicarbonate; concourent à maintenir la pression osmotique du plasma et le pH sanguin
	Oxygène et gaz carbonique; un peu d'oxygène dissous (en majeure partie lié à l'hémoglobine dans les érythrocytes); le gaz carbonique est transporté par l'hémoglobine des érythrocytes et sous forme d'ions bicarbonate dissous dans le plasma

→ **Sérum** : liquide se séparant du caillot après coagulation du sang, de même composition que le plasma, mais sans protéines de coagulation
 On peut obtenir du sérum soit en laissant coaguler du sang recueilli sans anticoagulant soit en faisant coaguler secondairement un plasma recueilli après centrifugation d'un sang anti-coagulé.

1.2 Fonctions

TRANSPORT

- tous les gaz intervenant dans le métabolisme cellulaire. L'oxygène se fixe aux globules rouges (molécule d'hémoglobine).
- amène aux cellules les substances nutritives nécessaires à leur métabolisme
- emmène les résidus du catabolisme vers leur lieu d'élimination : foie, reins
- transporte des hormones et des anticorps
- eau et sels sont répartis par voie sanguine dans l'organisme → équilibre (pH, les concentrations, pression osmotique) dans les liquides de l'organisme
- l'irrigation plus ou moins intense d'une partie du corps détermine un réchauffement ou une déperdition de chaleur et donc la régulation thermique.

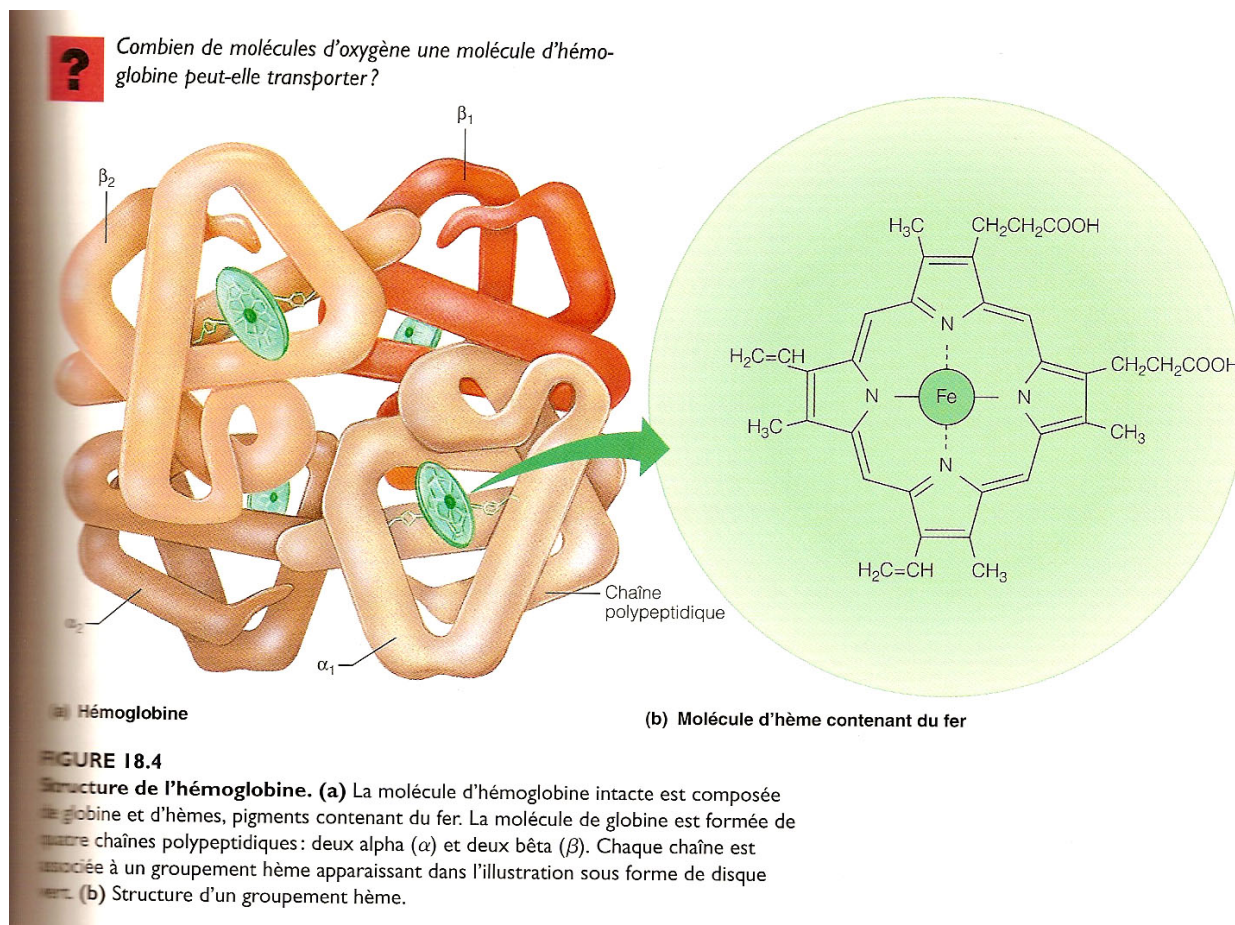
REGULATION :

- maintien de la température corporelle appropriée par absorption de chaleur et de sa répartition dans tout l'organisme, notamment à la surface de la peau pour favoriser la dissipation de l'excédent.
- Maintien d'un pH normal dans les tissus : réserve de bicarbonate + protéines sanguines + solutés jouent le rôle de tampon.

- Maintien du volume adéquat du liquide dans le système circulatoire. Le NaCl + albumine empêchent le transfert d'une quantité excessive de liquide dans l'espace interstitiel (œdème !)

PROTECTION :

- Prévention des hémorragies par hémostase !
- Prévention de l'infection : anticorps, protéines du complément et leucocytes défendent l'organisme contre toute attaque de virus, bactéries, etc.

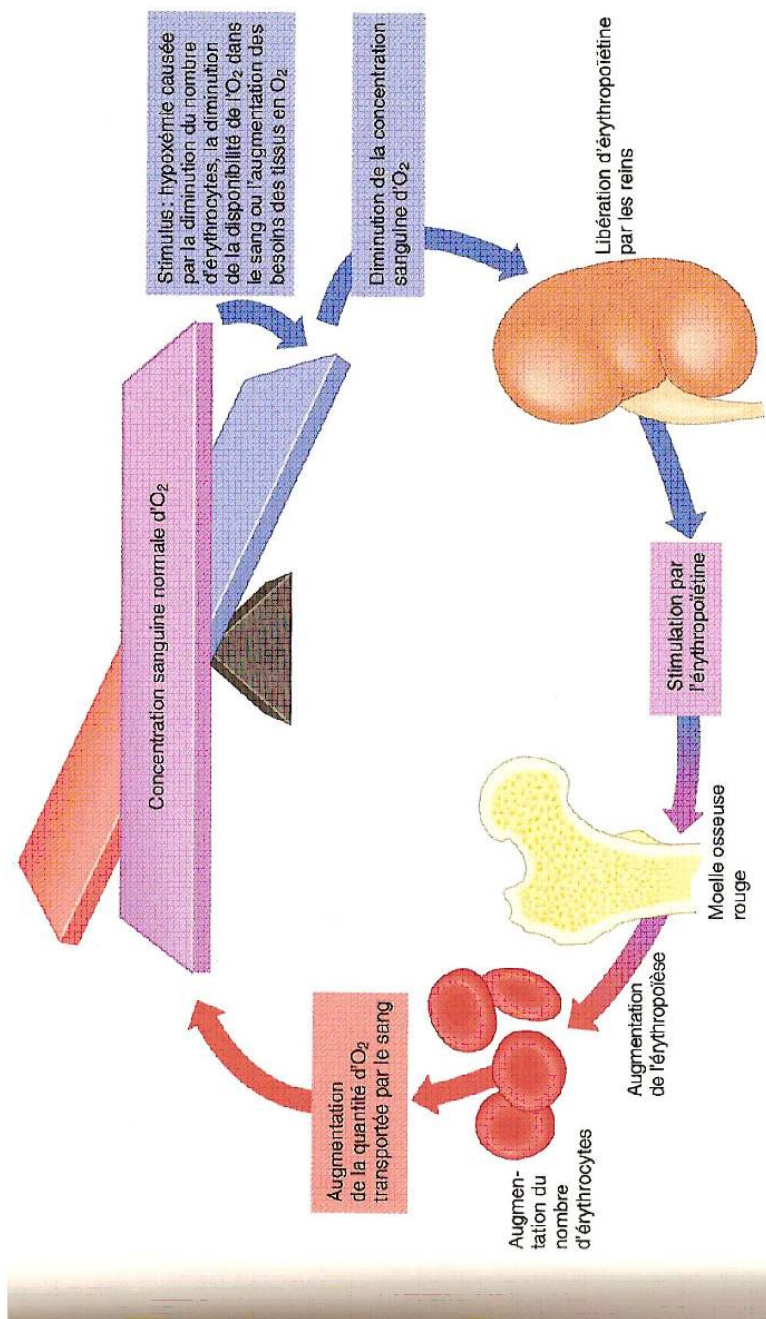


Hématocrite

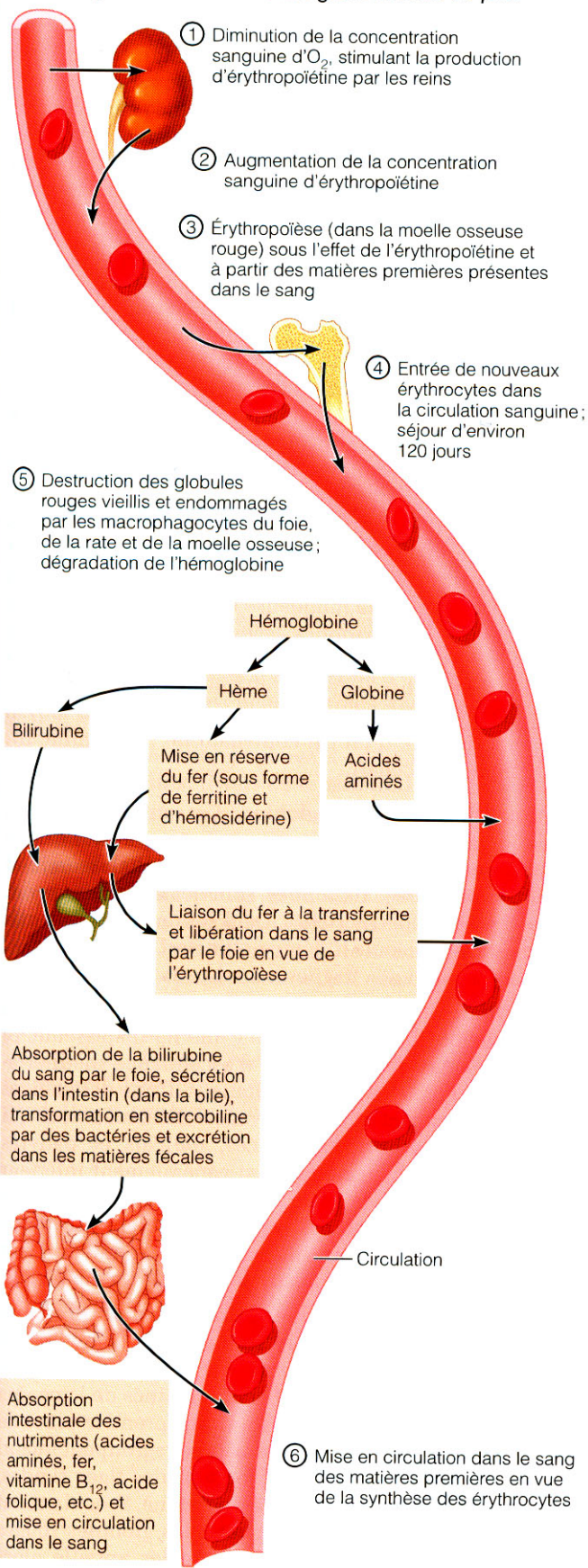
= volume occupé par les globules rouges dans 100 ml de sang. Il est exprimé en % (par 100 ml de sang)

L'hématocrite Ht est mesuré par centrifugation du sang total dans un tube.

Régulation de l'érythropoïèse par l'érythropoïétine et cycle de vie des globules rouges



? *Quels sont les changements prévisibles dans la concentration sanguine de bilirubine chez une personne atteinte d'une grave maladie du foie?*



2. Circulation sanguine et lymphatique

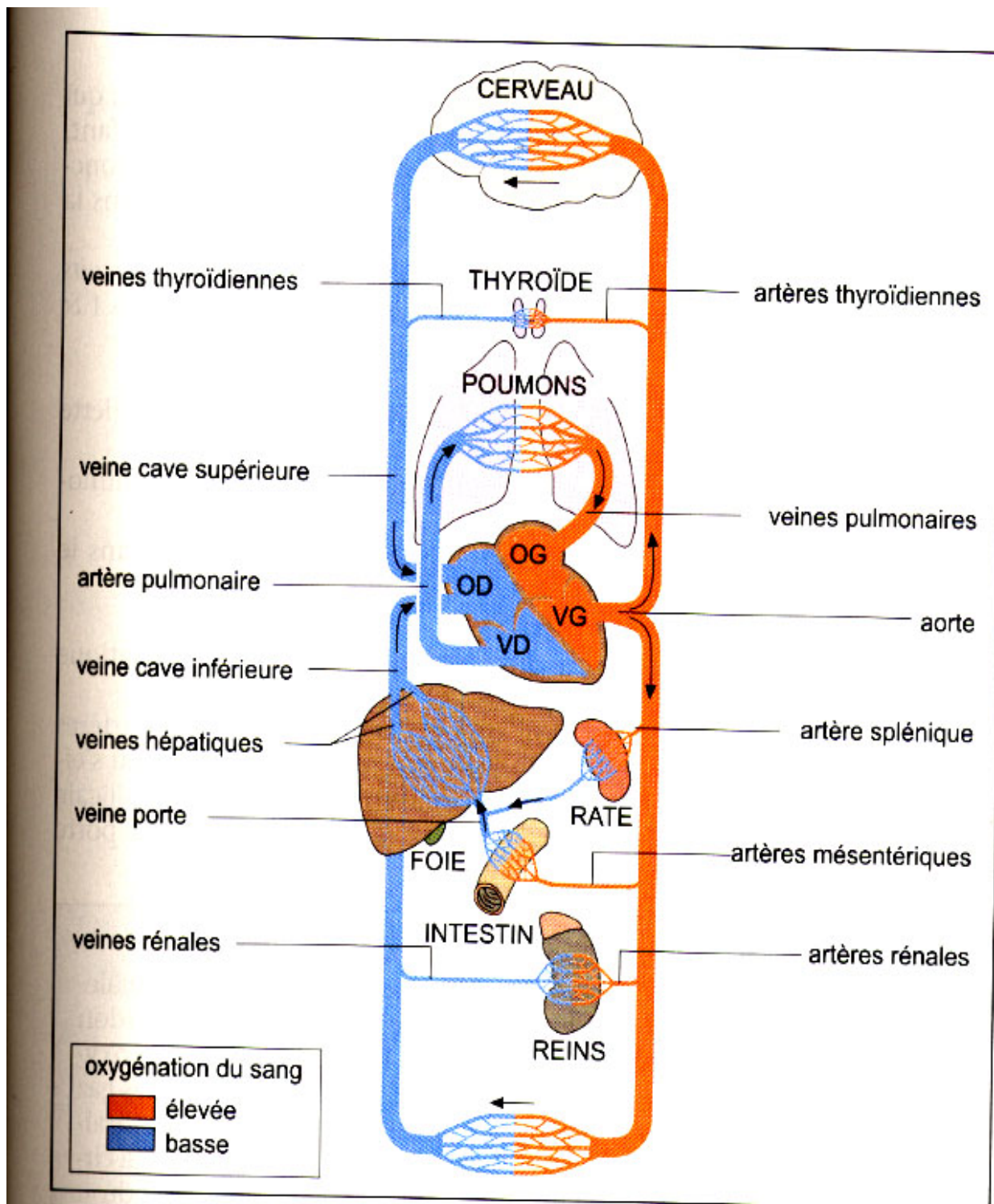


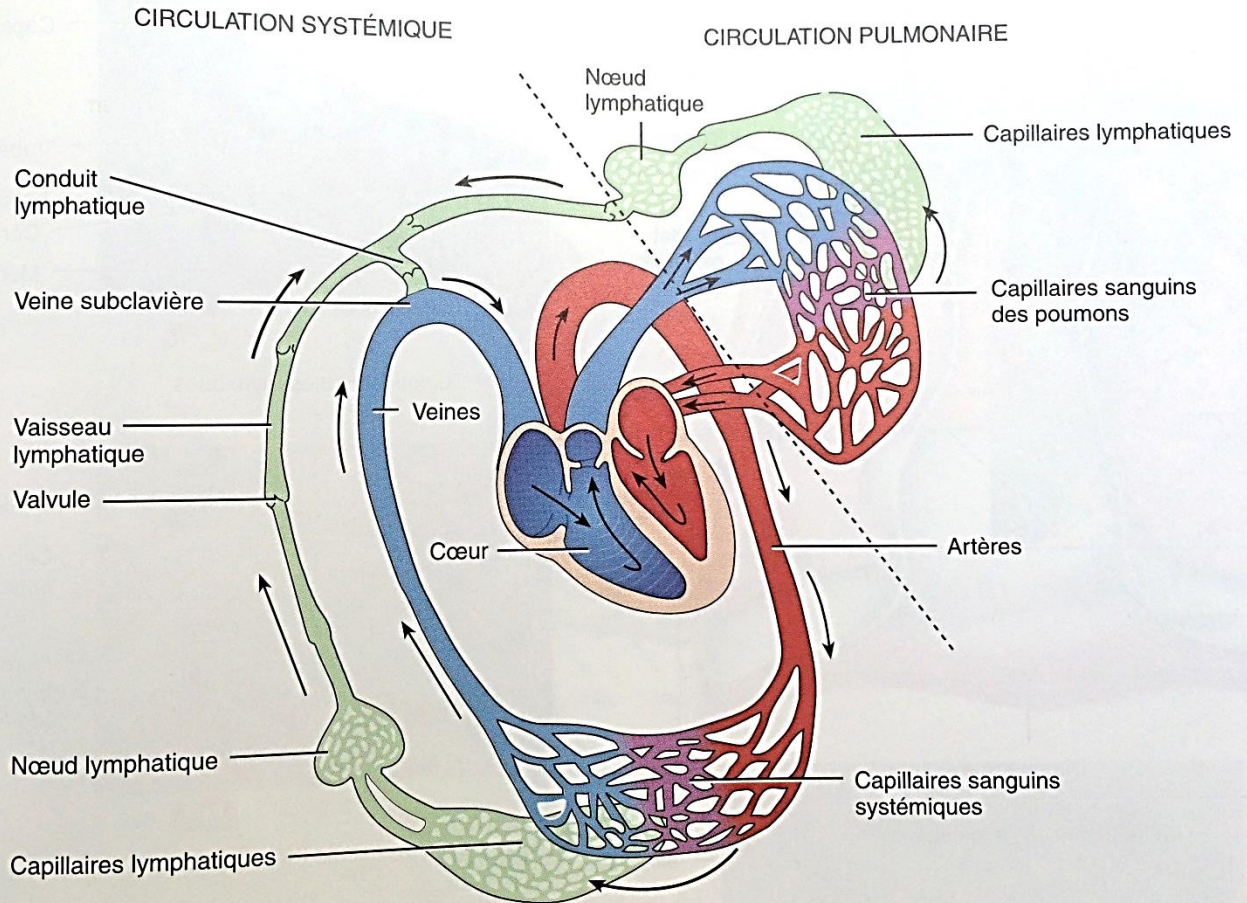
Figure 6.18 Schéma simplifié de la circulation

OD: oreillette droite; OG: oreillette gauche; VD: ventricule droit; VG: ventricule gauche.

Les flèches indiquent le sens de la circulation vers les principaux organes



Le liquide qui s'écoule passe par les structures suivantes: capillaires sanguins (sang) → espaces interstitiels (liquide interstitiel) → capillaires lymphatiques (lymphe) → vaisseaux lymphatiques (lymphe) → conduits lymphatiques (lymphe) → veines subclavières (sang).



3. Anatomie et physiologie du cœur

3.1 Anatomie du cœur

Cœur : organe musculaire creux chassant le sang vers les artères. Poids : 300-400 g

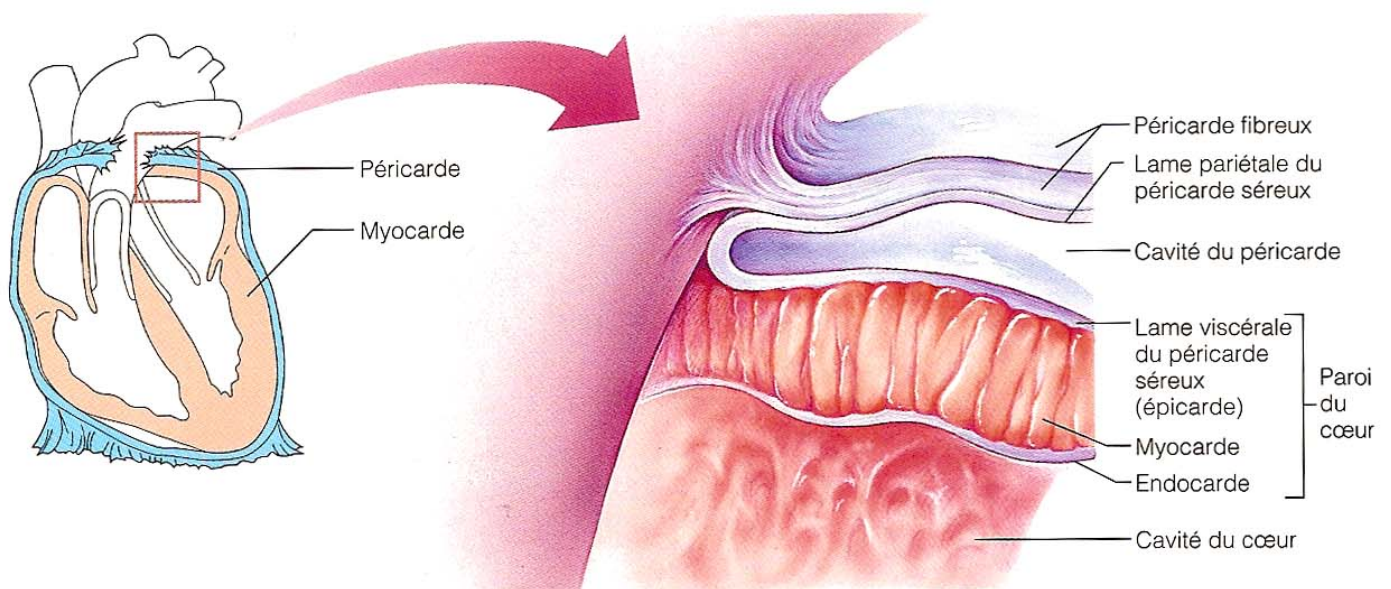
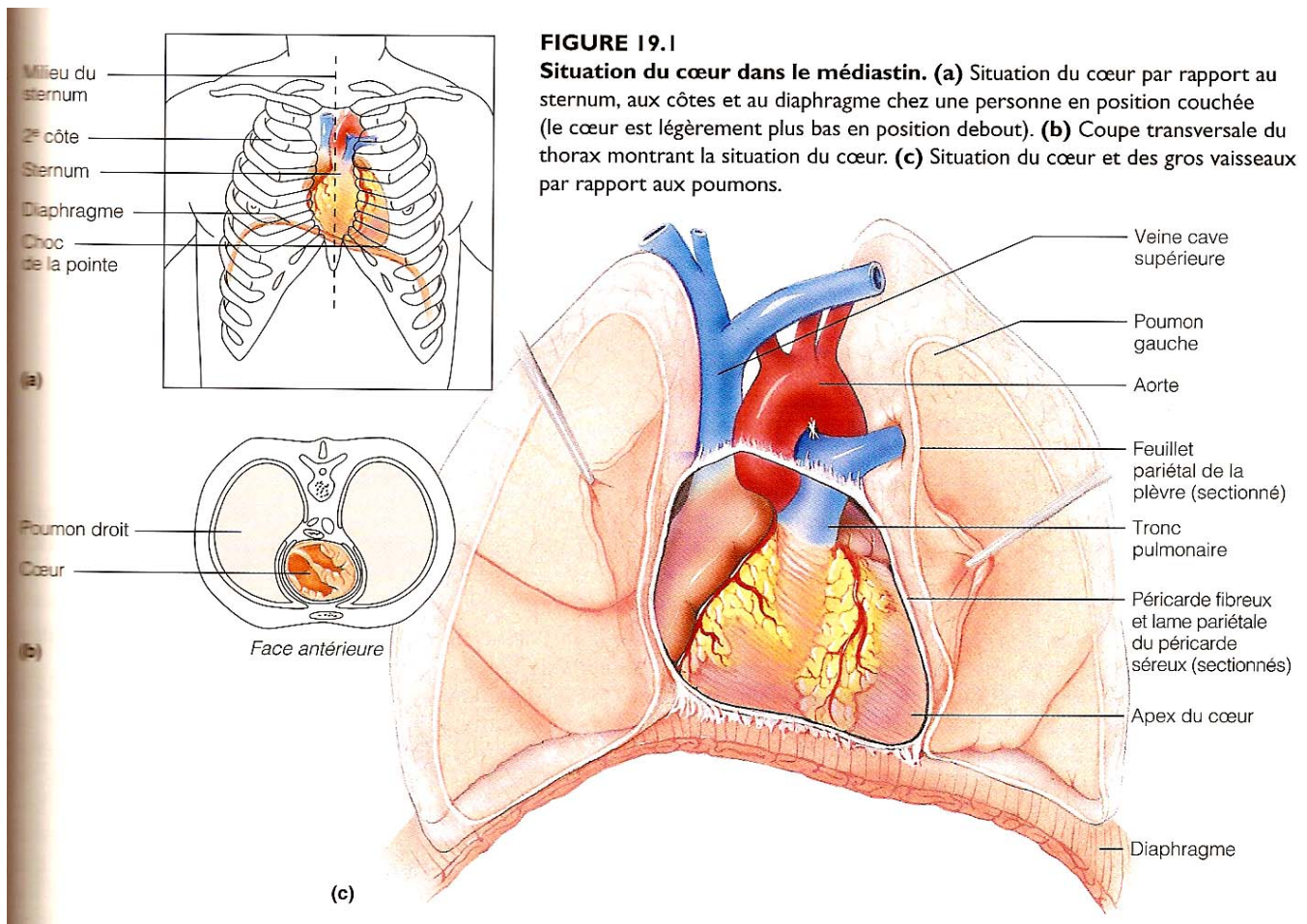
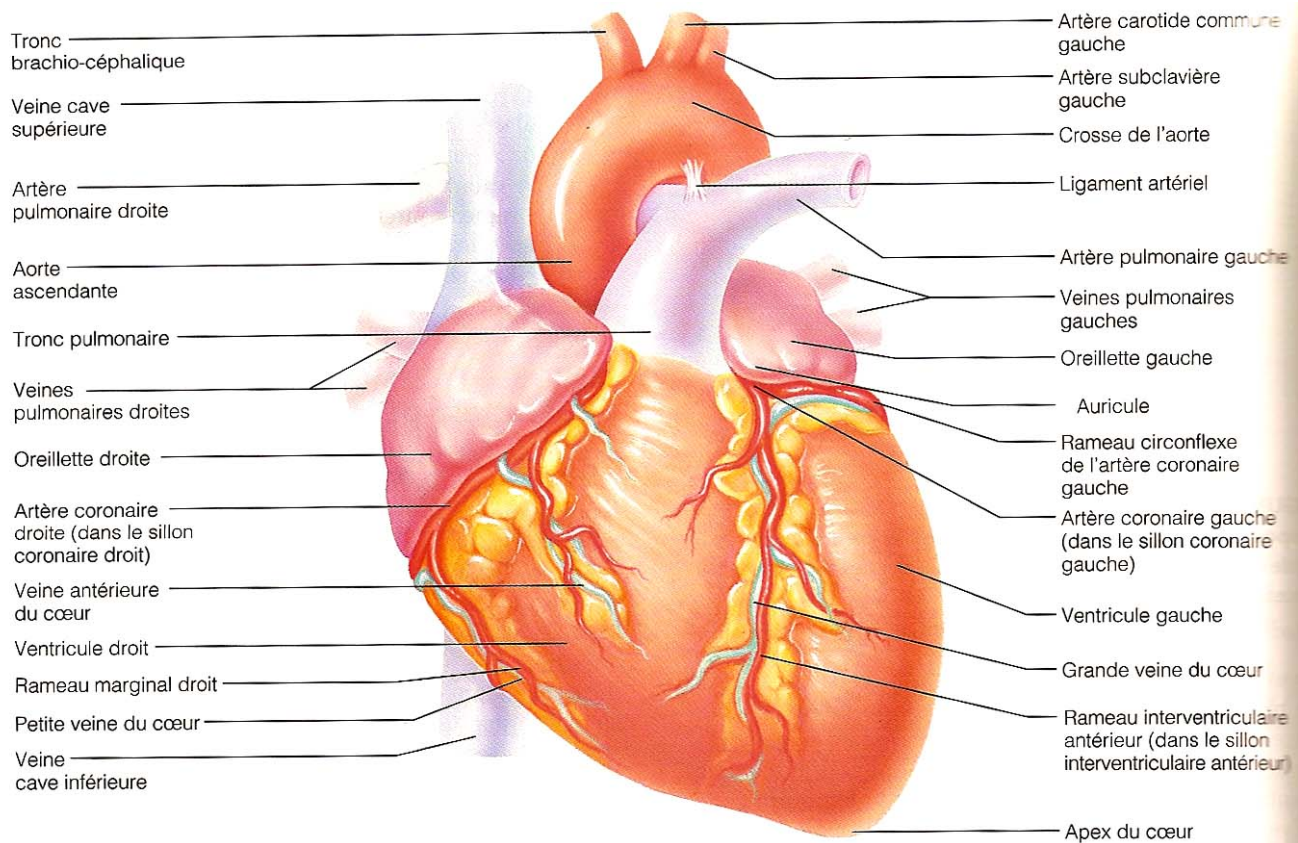


FIGURE 19.2
Péricarde et tuniques de la paroi du cœur.



(b)

FIGURE 19.4 (suite)

Anatomie macroscopique du cœur. (b) Face antérieure. (c) Coupe frontale montrant les cavités et les valves. (d) Face postérieure.

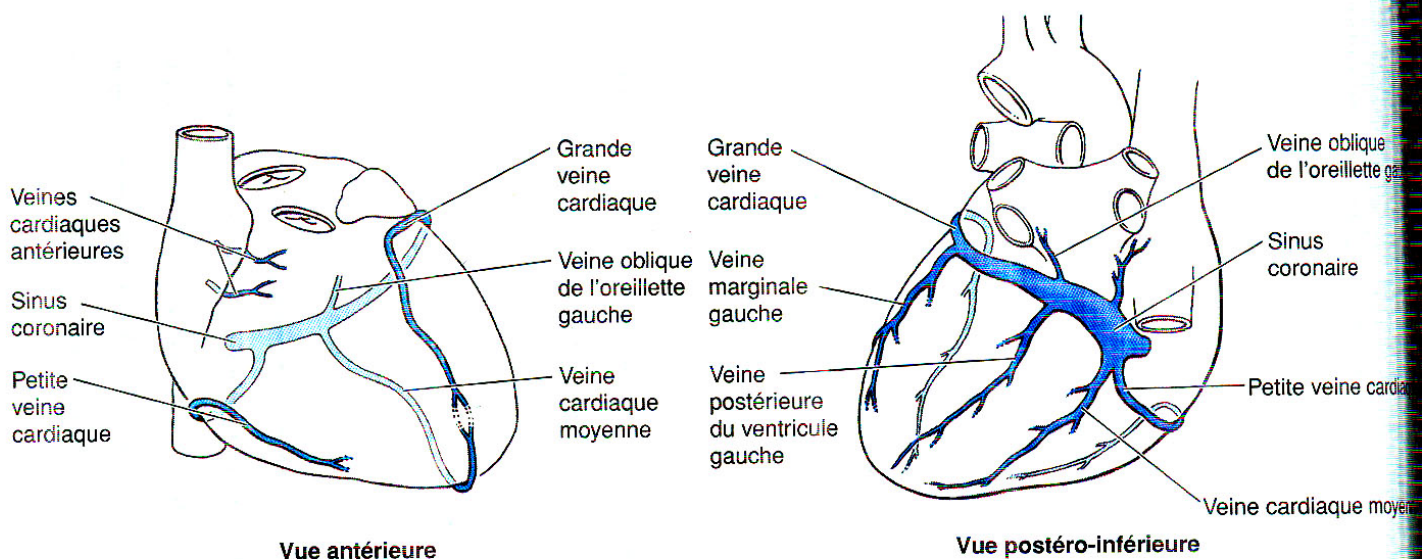


Figure 1.52. Veines cardiaques. Le sinus coronaire, le principal vaisseau de drainage veineux du cœur, s'ouvre dans l'oreillette droite. Les principales veines affluentes du sinus coronaire sont les grande, moyenne et petite veines cardiaques, la veine oblique de l'oreillette gauche et la veine ventriculaire postérieure gauche. Les veines cardiaques antérieures débouchent directement dans l'oreillette droite.

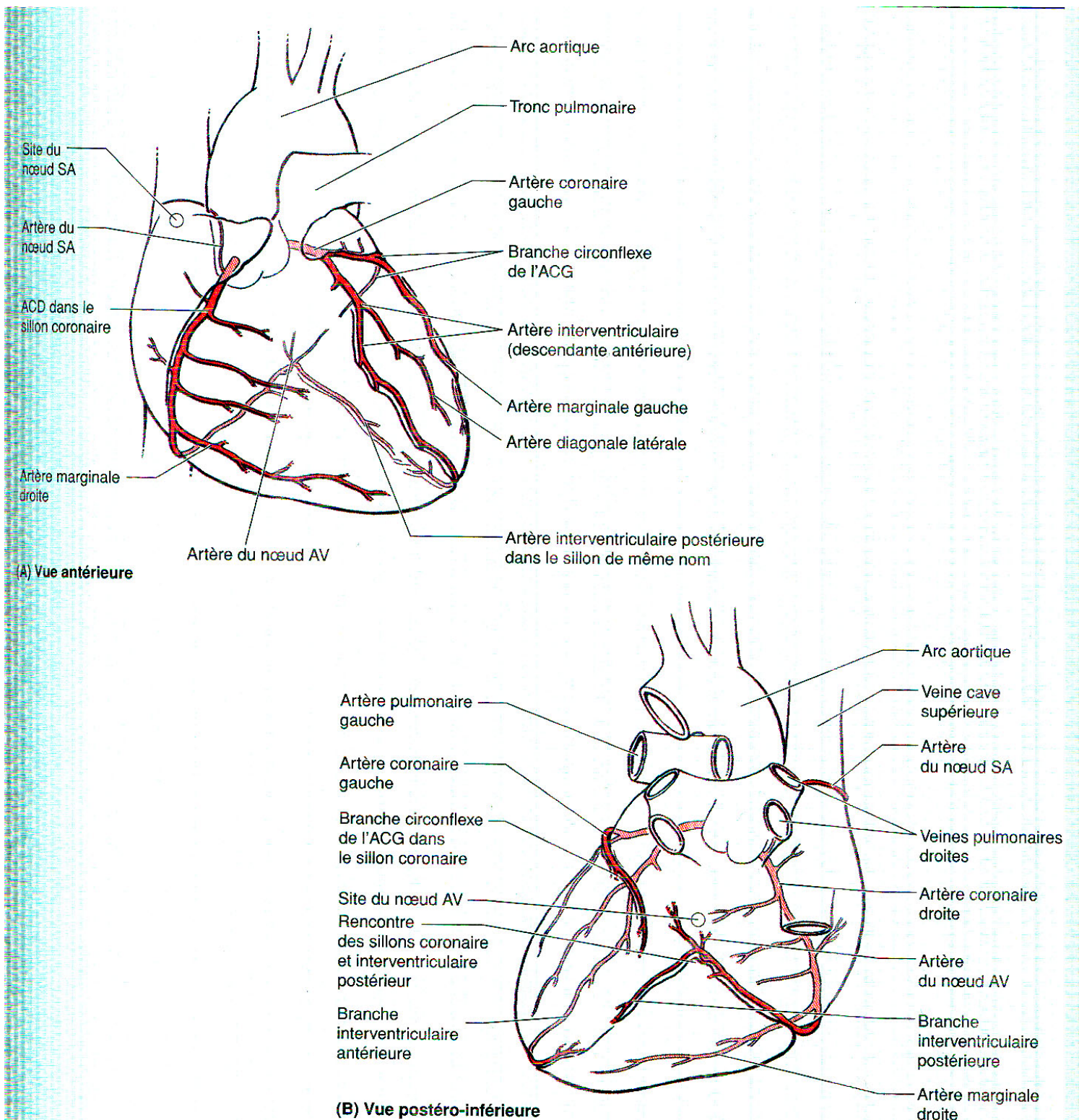
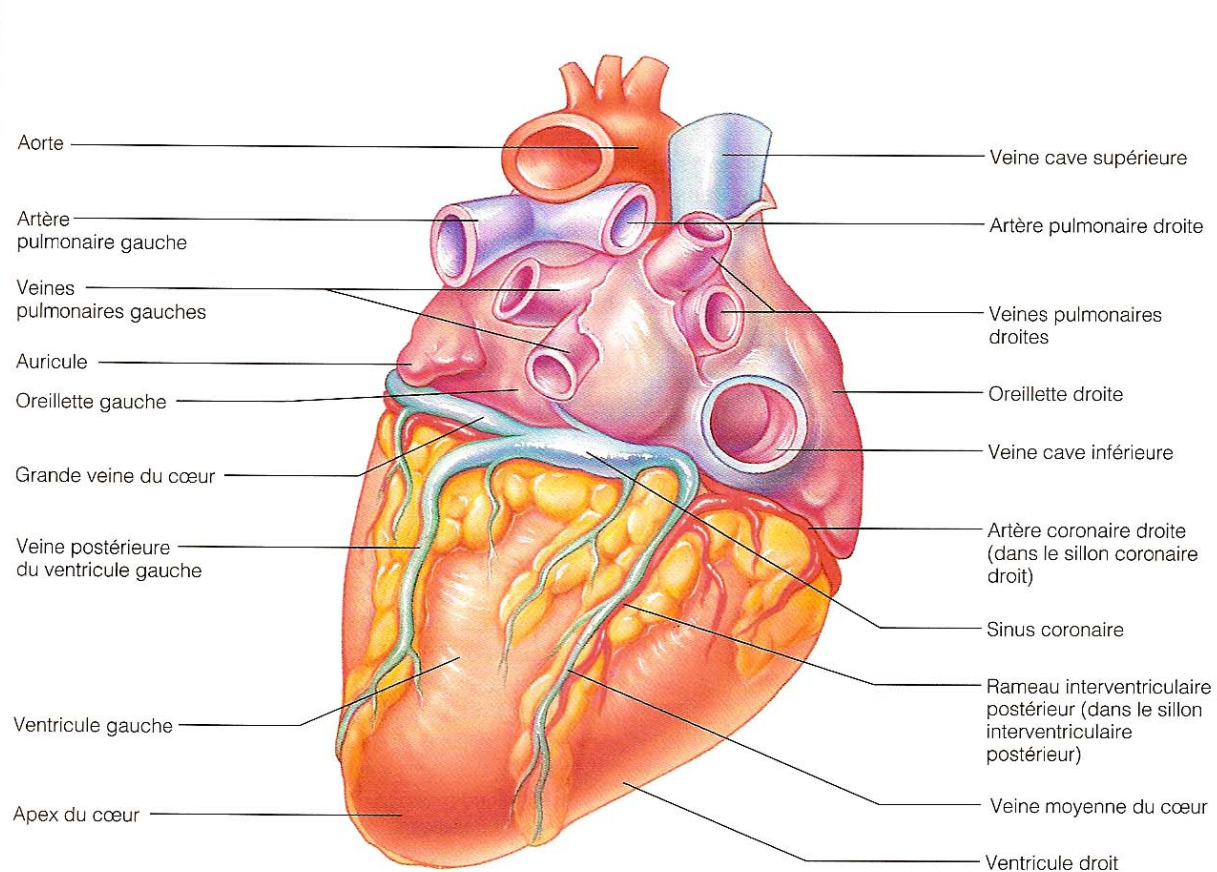
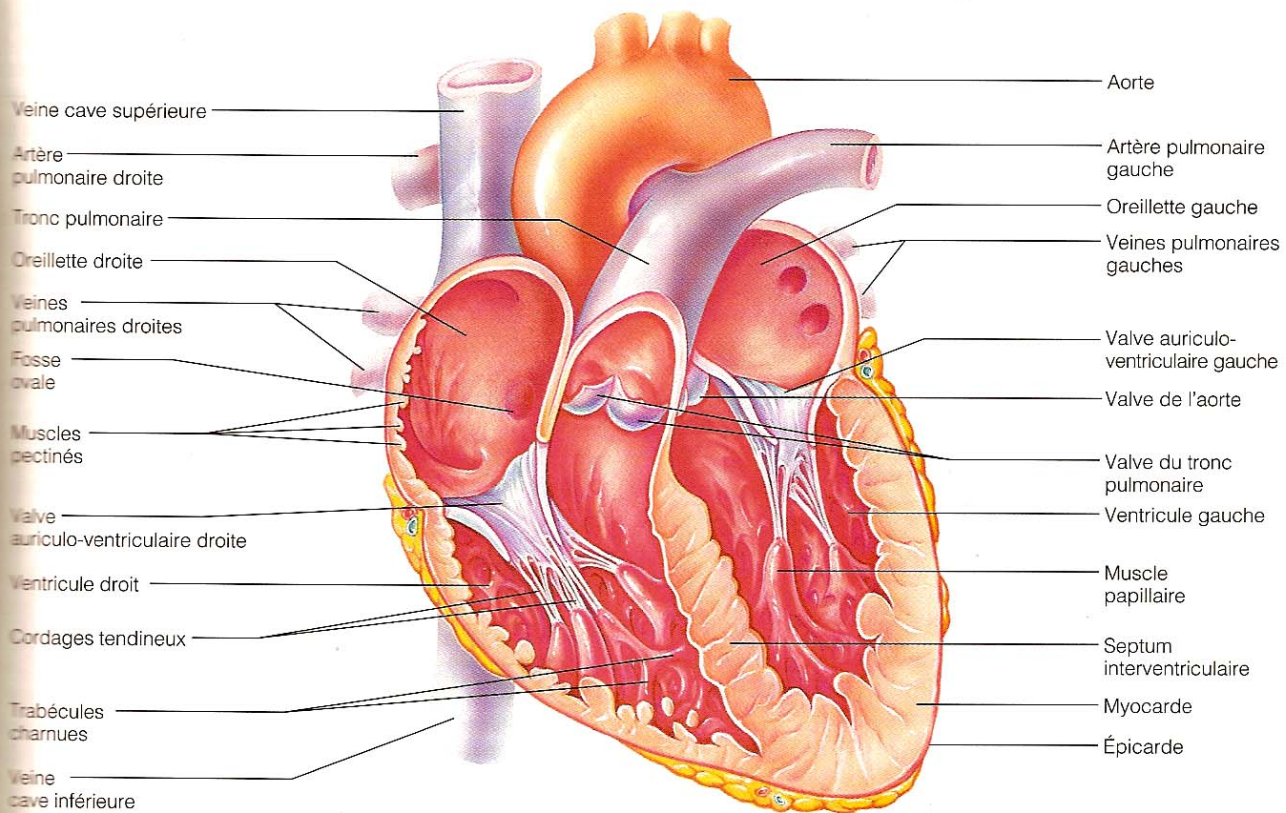


Figure 1.51. Artères coronaires. A-B. L'artère coronaire droite (ACD) chemine dans le sillon atrio-ventriculaire (coronaire) pour atteindre la face postérieure du cœur où elle s'anastomose avec la branche circonflexe de l'artère coronaire gauche (ACG) (les anastomoses ne sont pas illustrées). Au début de son trajet, l'ACD abandonne l'artère du nœud sinu-atrial (SA). **B.** L'ACG se divise en une branche circonflexe qui passe postérieurement pour s'anastomoser avec l'ACD sur la face postérieure du cœur et une branche descendante antérieure gauche, l'artère interventriculaire antérieure ; celle-ci chemine jusqu'à l'apex du cœur dans le sillon de même nom puis elle se coude et passe sur la face postérieure. Contrairement à ce que montre cette figure, l'artère du nœud SA passe normalement en avant de la VCS.



→ clinique :

- angine de poitrine = douleur siégeant au niveau du sternum et causée par une diminution momentanée de l'irrigation du myocarde. Peut résulter de spasmes des artères coronaires dus au stress ou à une obstruction partielle du réseau artériel (athérosclérose).
- si angine de poitrine se poursuit dans le temps → infarctus du myocarde = crise cardiaque = nécrose du muscle cardiaque.

Quelques définitions et liens...

A. Le cœur est un organe musculo-membraneux creux qui chasse le sang vers la périphérie via les artères

B. Une artère est un organe qui draine le sang du cœur vers la périphérie

Sang oxygéné pour une artère systémique
Sang désoxygéné pour une artère pulmonaire

C. Une veine est un organe qui draine le sang de la périphérie vers le cœur

Sang oxygéné pour une veine pulmonaire
Sang désoxygéné pour une veine systémique

D. Les vaisseaux lymphatiques communiquent avec le sang veineux systémique à l'intersection entre les veines jugulaires internes, sous-clavières et brachiocéphaliques, ces dernière se jetant dans la veine cave supérieure.

E. **Veine porte hépatique**

La veine porte hépatique draine le sang veineux (CO₂) chargé de nutriments (acides aminés, monosacharides et acides gras <10C) et des produits de dégradation de l'hémoglobine (acides aminés, fer et bilirubine) qui provient de :

- a) des organes de la digestion situés dans la cavité abdominale : estomac, intestin grêle, gros intestin.
- b) de la rate (dégradation de l'hémoglobine)

en direction du foie

→ **trajet de la bilirubine**

Hémoglobine se compose de :

- globine (partie protéique)
- hème (bilirubine et fer)

Question : pourquoi a-t-on des selles colorées ?

- a) Hémoglobine est dégradée dans la rate
- b) Bilirubine non conjuguée (= solitaire et insoluble dans l'eau, d'où un transporteur nécessaire = albumine) est transportée grâce à l'albumine dans la veine splénique qui elle-même se jette dans la veine porte hépatique
- c) La bilirubine est associée à une autre molécule dans le foie pour obtenir de la bilirubine conjuguée qui est soluble dans l'eau
- d) Bilirubine conjuguée est libérée par le foie dans la bile, laquelle se déverse à son tour dans le duodénum via le canal cholédoque
- e) Bilirubine conjuguée est transformée par des bactéries bienfaisantes intestinales pour colorer les selles en brun.

Pathologies : en cas de cirrhose du foie, de cancer du foie (insuffisance hépatique), il y a compression de la veine porte hépatique et la bilirubine non conjuguée, au lieu d'aller dans le foie, va rester dans le sang et colorer les téguments (peau) en jaune (jaunisse= ictère). Les selles deviennent alors blanchâtres et la bilirubine non conjuguée sera éliminée par les reins et l'urine. L'urine prend alors une couleur foncée.

F. fonctions de l'albumine (= protéine)

- a) transporte la bilirubine non conjuguée dans le sang
- b) maintient la pression oncotique (= force avec laquelle les protéines attirent l'eau dans le sang), ce qui permet de diminuer le risque d'œdèmes
- c) transport de beaucoup de médicaments

G. Un sinus

Définition générale :

Un sinus est une cavité creusée dans **quelque chose A** et contenant **quelque chose B**

Sinus dans le système cardiovasculaire :

Un sinus est une cavité creusée dans **la dure-mère** et contenant **du sang désoxygéné**. A la différence d'une veine, un sinus ne contient pas de valvules.

Un sinus coronarien est une cavité dépourvue de valvules collectant le sang provenant des veines coronariennes et aboutissant dans l'oreillette droite.

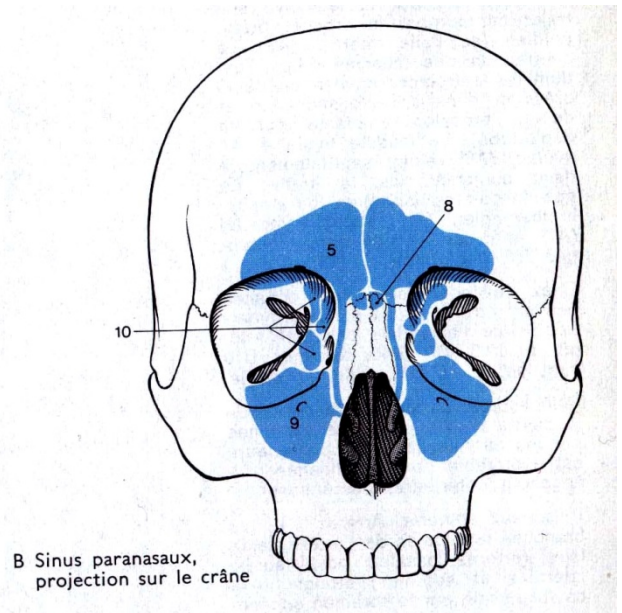
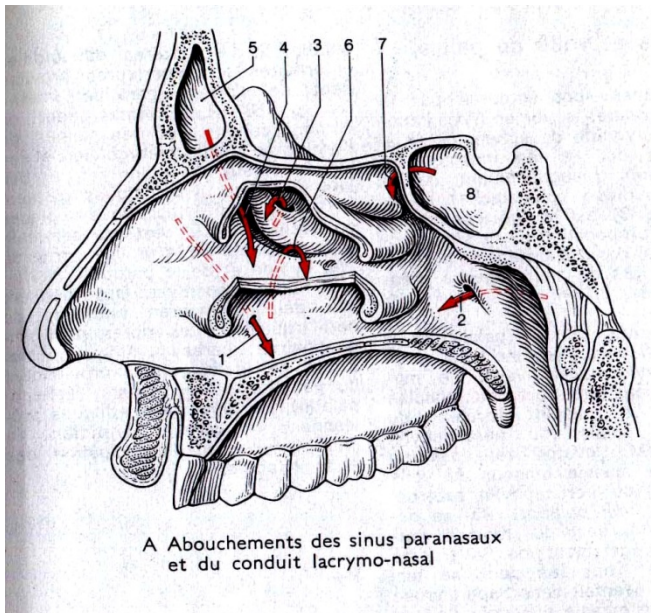
Sinus paranasaux dans le système respiratoire :

Un sinus est une cavité creusée dans **l'os crânien - frontal → 2 sinus frontaux (no. 5 sur le schéma B ci-dessous) ; maxillaire → 2 sinus maxillaires (no. 9 sur le schéma B ci-dessous) ; ethmoïdes → 10-20 sinus ethmoïdaux (no. 10 sur le schéma B ci-dessous) ; sphénoïde → 2 sinus sphénoïdaux (no. 8 sur le schéma B ci-dessous)** - et contenant **de l'air**.

Les sinus paranasaux communiquant avec les cavités nasales au travers des méats (= sillons) délimités par les cornets (= portions osseuses recouvertes de muqueuse nasale). Les sinus allègent la tête, réchauffent et humidifient l'air, produisent du mucus aboutissant dans les cavités nasales. Effet de succion créé par le mouchage → vidange des sinus

Clinique : virus du rhume, streptocoques et autres allergènes causent la rhinite = inflammation de la muqueuse nasale accompagnée d'une production excessive de mucus provoquant la congestion nasale.

La sinusite = inflammation des sinus. Mucus obstrue les voies de communication entre sinus et cavités nasales → absorption de l'air contenu dans les sinus → vide partiel dans les sinus → céphalée de la sinusite aiguë.



H. Insuffisance d'un organe X

C'est l'état dans lequel l'organe X ne fournit pas assez d'offre pour satisfaire la demande

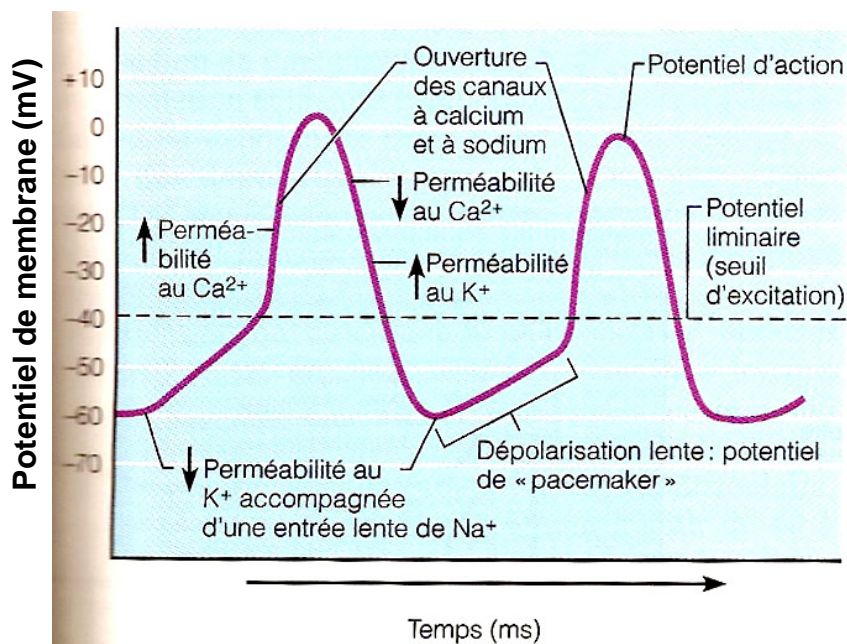
3.2 Physiologie du cœur

3.2.1 Système de conduction du cœur

- **phénomènes électriques** : capacité de contraction du muscle cardiaque est intrinsèque, c'est-à-dire qu'elle ne repose pas sur le système nerveux. Mais le cœur reçoit des fibres nerveuses également.
- **muscle cardiaque** : tissu contractile se trouvant dans les ventricules et les oreillettes (épaisseur 8-11 mm dans le ventricule gauche ; 2-4 mm dans le ventricule droit ; < 1 mm dans les oreillettes), ayant besoin d'un apport continu d'oxygène (très sensible de par l'abondance de mitochondries) pour son métabolisme énergétique nécessaire à fournir de l'ATP qui, à son tour, est indispensable avec les ions calcium à la contraction musculaire. Pour se contracter, certaines cellules musculaires cardiaques sont auto-excitables : elles peuvent produire elles-mêmes leur dépolarisation et la propager au reste du cœur, de manière spontanée et rythmique = automatisme cardiaque
- **système de conduction du cœur ou système cardionecteur** : composé de cellules cardiaques non contractiles = cellules cardionectrices (1% du tissu cardiaque). La fonction de ces cellules

consistent à produire des potentiels d'action et à les propager dans le cœur afin que les cellules musculaires se dépolarisent (potentiel d'action) et se contractent systématiquement des oreillettes aux ventricules → battements du cœur

→ **potentiel d'action des cellules contractiles du muscle cardiaque : voir cours sur « le système nerveux »**



Potentiel de « pacemaker » et potentiel d'action des cellules cardionectrices

Système de conduction du cœur

Fonction : coordination et synchronisation de l'activité cardiaque

Nœud sinusal = « pacemaker »

Myofibres de conduction cardiaque = fibres de Purkinje

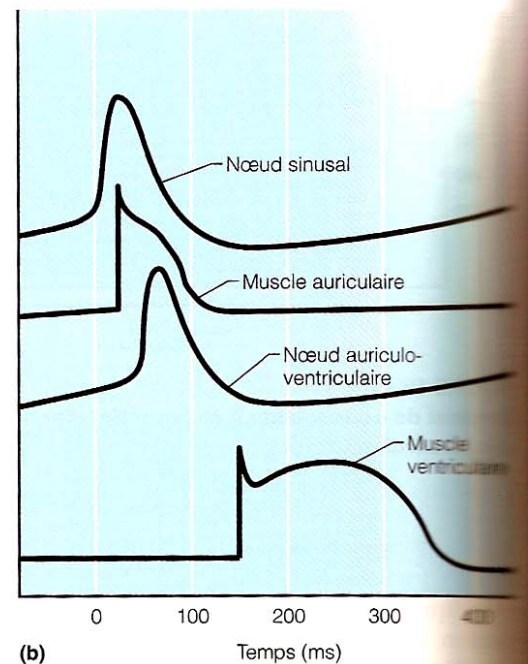
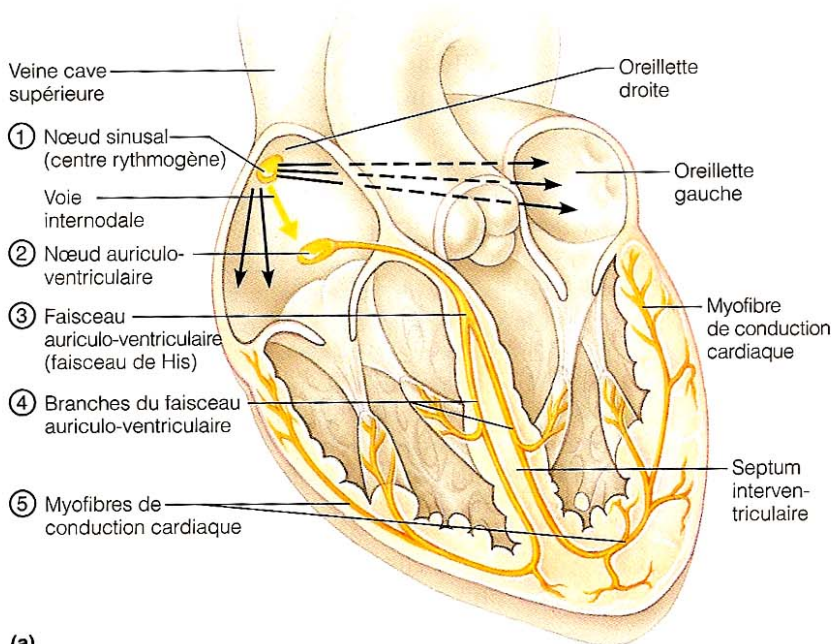


FIGURE 19.14
Système de conduction du cœur et succession des potentiels d'action dans quelques parties du cœur pendant un battement. (a) L'onde de dépolarisation trouve son origine dans les cellules du nœud sinusal, après quoi elle

traverse le myocarde auriculaire pour atteindre le nœud auriculo-ventriculaire, le faisceau auriculo-ventriculaire, les branches gauche et droite du faisceau auriculo-ventriculaire et les myofibres de conduction cardiaque, dans le myocarde ventriculaire. (b) La succession des poten-

tiels engendrés dans le cœur est représentée de haut en bas, du potentiel de «pacemaker» produit par les cellules du nœud sinusal jusqu'au potentiel d'action (au plateau étendu) typique des cellules contractiles des ventricules.

→ **électrocardiographie** : les courants électriques engendrés et propagés dans le cœur se transmettent facilement dans les liquides de l'organisme et on peut les enregistrer au moyen de l'**électrocardiographe**. Le tracé obtenu est appelé **électrocardiogramme (ECG)**. Habituellement on utilise 12 dérivations standards pour enregistrer un ECG : 3 sont bipolaires et mesurent la différence de voltage entre les bras ou entre un bras et une jambe. Les 9 autres dérivations sont unipolaires. L'ensemble des dérivations fournit un tableau global de l'activité électrique du cœur. Un électrocardiogramme est composé de 5 ondes :

- onde P** : faible amplitude, résulte de la dépolarisation des oreillettes engendrée par le nœud sinusal et dure 0.08 secondes. Environ 0.1 s après le début de l'onde P, contraction des oreillettes.
- complexe QRS** : ondes Q, R et S. Dépolarisation ventriculaire et précède la contraction des ventricules. Durée moyenne de 0.08 s.
- onde T** : causée par la repolarisation ventriculaire et dure généralement 0.16 s. Repolarisation est plus lente que la dépolarisation.

Le tracé obtenu par électrocardiographie reflète l'activité électrique totale du cœur (pas un potentiel d'action isolé)

Intervalle PR : temps s'écoulant entre le début de la dépolarisation auriculaire et celui de la dépolarisation ventriculaire (couvre la dépolarisation et la contraction des oreillettes ainsi que le passage de l'onde de dépolarisation dans le reste du système de conduction du cœur. Durée : ~ 0.15 secondes.

Intervalle QT : temps s'écoulant entre le début de la dépolarisation des ventricules et leur repolarisation (couvre le temps de la contraction ventriculaire). Durée : ~ 0.35 s.

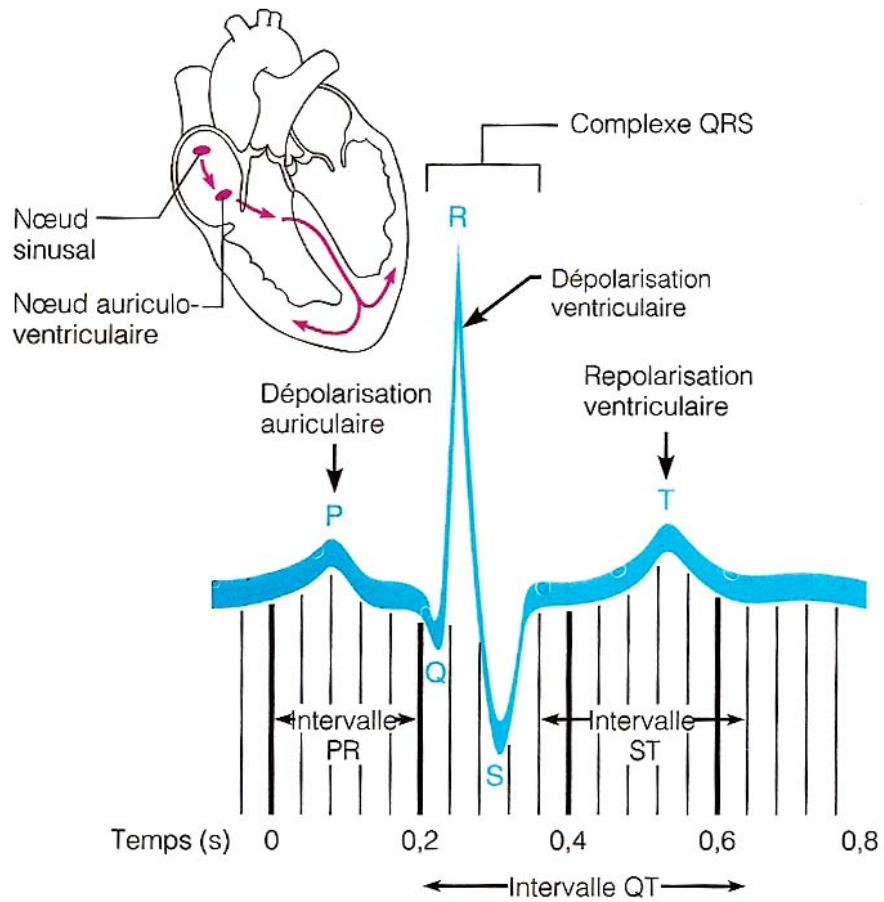


FIGURE 19.16
Électrocardiogramme normal (dérivation I) montrant les cinq ondes et les intervalles importants.

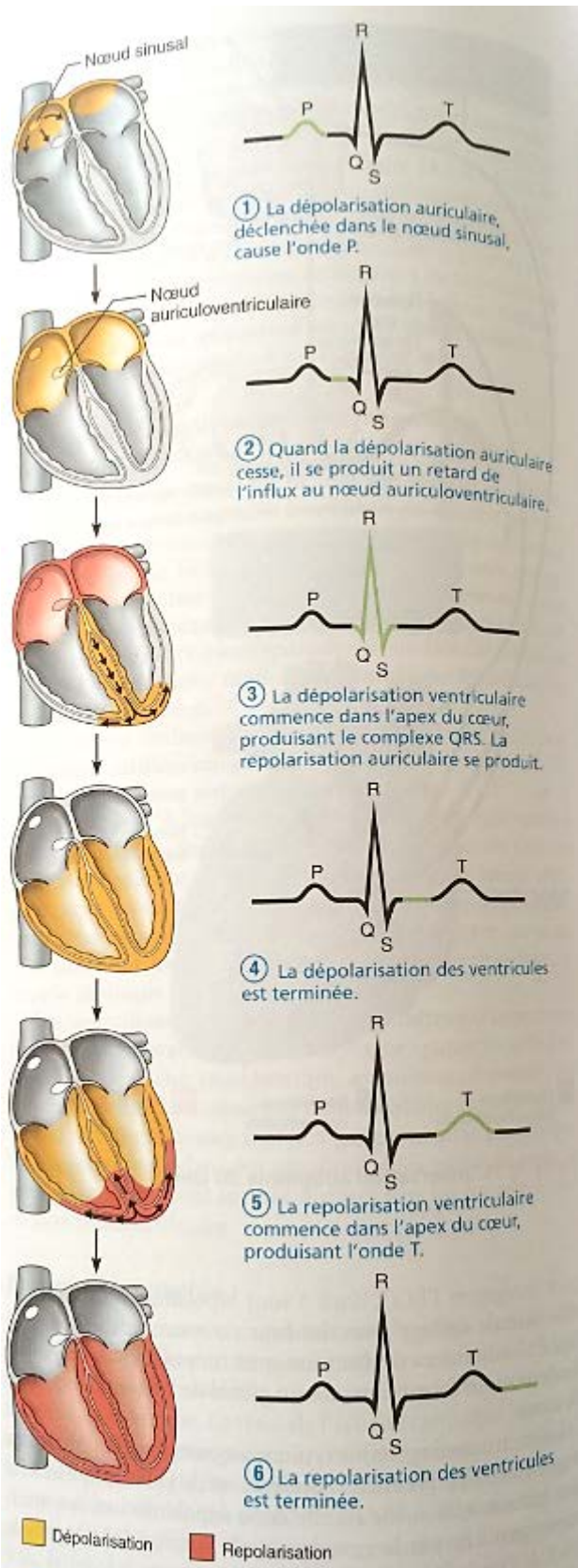
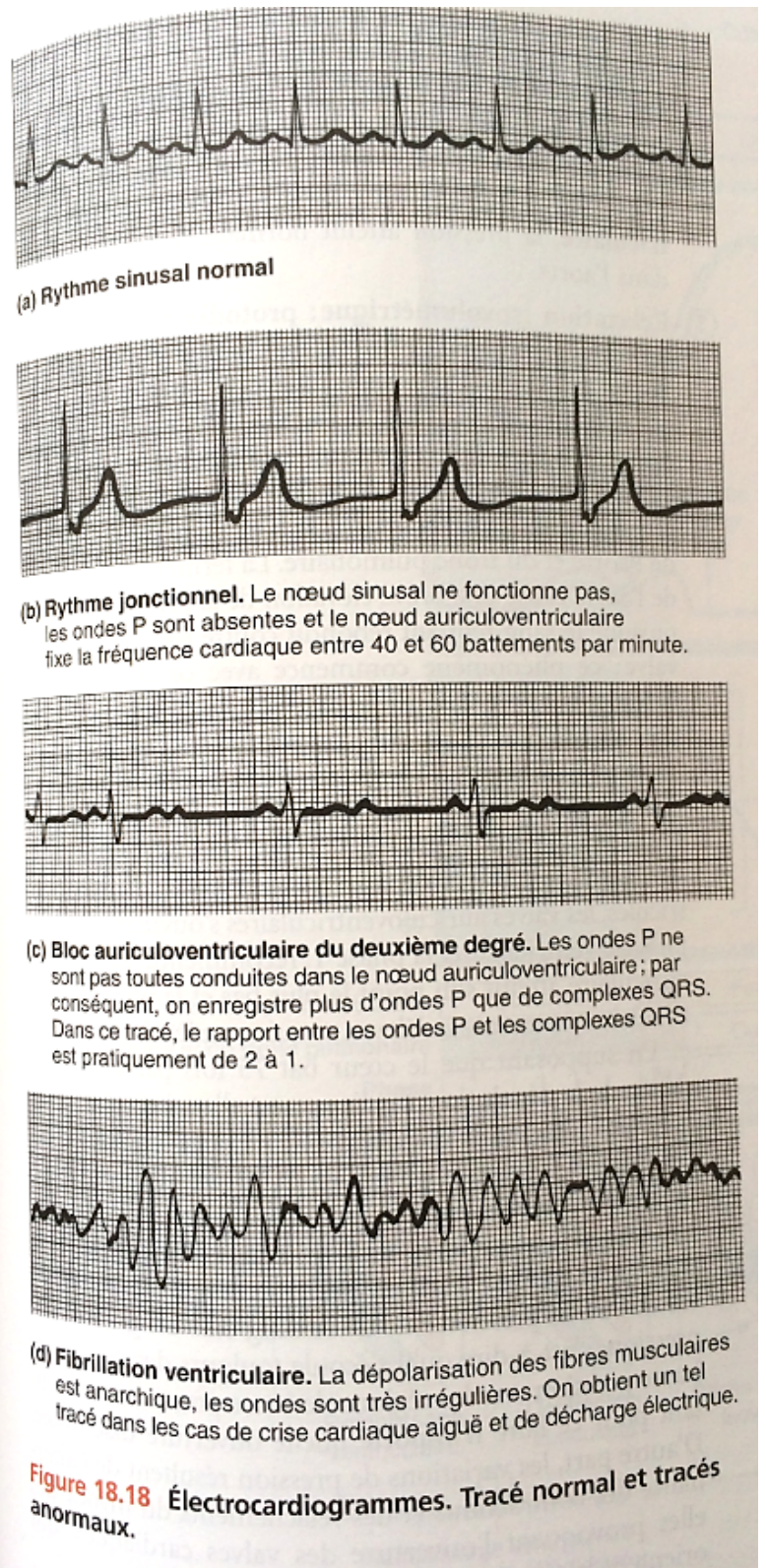


Figure 18.17 Correspondances entre les étapes de la dépolarisation et de la repolarisation du cœur et les ondes de l'électrocardiogramme.



→ **clinique** : anomalies du système de conduction du cœur pouvant causer des irrégularités du rythme cardiaque ou **arythmies**, des désynchronisations des contractions auriculaires et ventriculaires ainsi que **la fibrillation**

- fibrillation : contractions rapides et irrégulières de plusieurs régions du myocarde. La fibrillation ventriculaire brasse le sang dans les ventricules ; elle abolit l'action de pompage et cause, si elle persiste, l'arrêt de la circulation et la mort cérébrale.
- défibrillation : on expose le cœur à une secousse électrique intense qui dépolarise le myocarde entier

3.2.2 Innervation extrinsèque du cœur

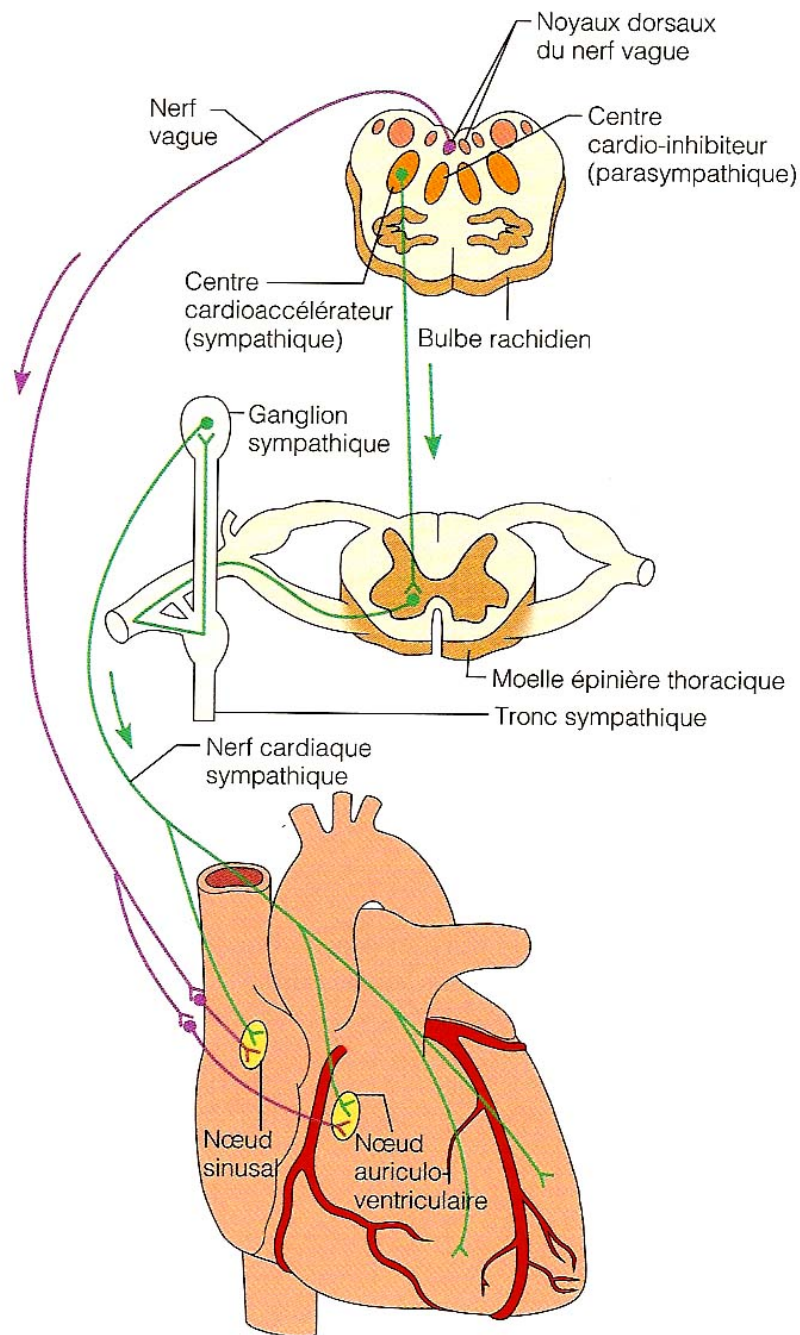


FIGURE 19.15
Innervation autonome du cœur.

3.2.3 La révolution cardiaque

= systole et diastole auriculaire suivies de la systole et de la diastole ventriculaire

Systole = phase de contraction du muscle cardiaque (éjection)

Diastole = phase de relâchement du muscle cardiaque (remplissage)

Débit cardiaque (DC) : quantité de sang éjectée par chaque ventricule en une minute

Volume systolique (VS) : volume de sang éjecté par un ventricule à chaque battement

Fréquence cardiaque (FC) : nombre de battements/minute =

66 battements/minute en position couchée

70 battements/minute en position assise

80 battements/minute lors d'un passage brusque à la position debout

DC (ml/min) = FC (75 battements/min) x VS (70 ml/battement) = 5250 ml/min

Volume télédiastolique (VTD) : volume de sang présent dans un ventricule à la fin de la diastole ventriculaire. 120 ml environ → **Précharge ventriculaire** : force (pression télédiastolique) qui distend (étire) les fibres myocardiques **avant leur contraction (juste avant la phase de contraction isovolumique) à la fin de la diastole ventriculaire**

Volume télésystolique (VTS) : volume de sang qui reste dans un ventricule à la fin de sa contraction. 50 ml environ.

Postcharge ventriculaire = force appliquée perpendiculairement sur les parois du ventricule gauche après le début de la contraction et s'opposant à l'éjection du sang par le ventricule gauche en systole

VS = VTD – VTS

Cycle cardiaque:

4 phases:

1. **Diastole (remplissage) ventriculaire, valves atrioventriculaires ouvertes**

durée : 0.35 sec.

Systole (contraction) auriculaire avec éjection pour terminer la diastole ventriculaire, valves atrioventriculaires ouvertes

durée : 0.1 sec.

2a. **Systole ventriculaire isovolumétrique, toutes les valves sont fermées. 1^{er} bruit = fermeture des valves atrioventriculaires**

durée : 0.05 sec.

2b. **Systole ventriculaire avec éjection du sang, valves aortiques et pulmonaires ouvertes**

Diastole auriculaire

durée : 0.25 sec

3. **Diastole auriculaire**

Relaxation ventriculaire isovolumétrique, toutes les valves se ferment. 2^{ème} bruit = fermeture des valves aortiques et pulmonaires

durée : 0.05 sec.

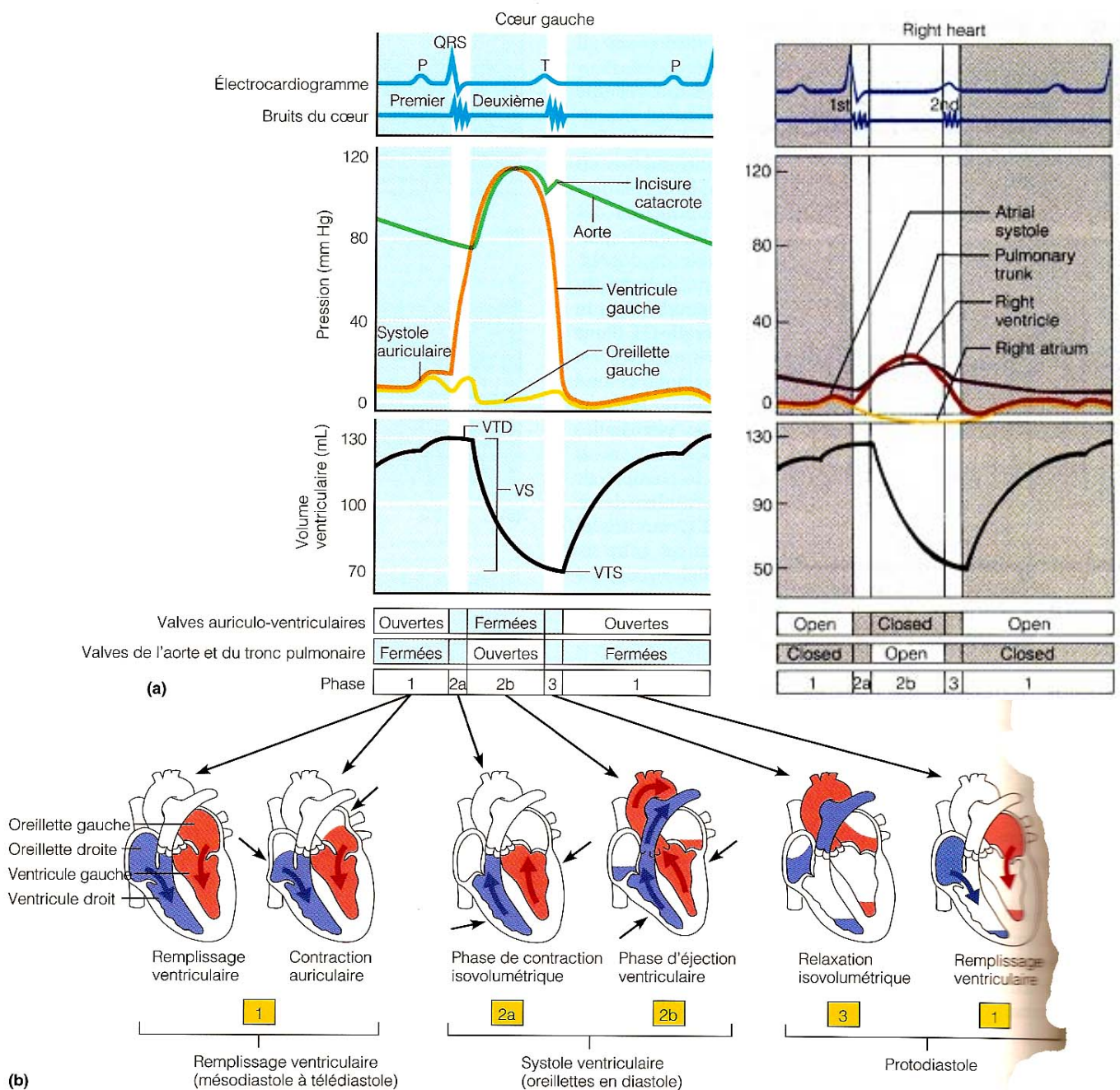


FIGURE 19.19 Révolution cardiaque. (a) Événements survenant dans le côté gauche du cœur. L'électrocardiogramme reproduit au haut

du graphique permet de relier les variations de pression et de volume aux phénomènes électriques. Les bruits du cœur sont aussi indiqués en fonction du temps.

(b) Schémas du cœur montrant les phases 1 à 3 de la révolution cardiaque.

3.2.4 Bruits du cœur

- pendant chaque révolution cardiaque, l'auscultation du thorax au stéthoscope révèle deux bruits émis par la fermeture des valves cardiaques

- 1^{er} bruit : fort, long et résonant. Associé à la fermeture des valves auriculo-ventriculaires, il indique le début de la systole ventriculaire, le moment où la pression ventriculaire > pression auriculaire.
- Second bruit : bref et sec. Il traduit la fermeture soudaine des valves de l'aorte et du tronc pulmonaire au début de la diastole ventriculaire.
- Bruits anormaux = souffles. Si le sang rencontre des obstacles, son écoulement devient turbulent et produit des bruits audibles au stéthoscope.

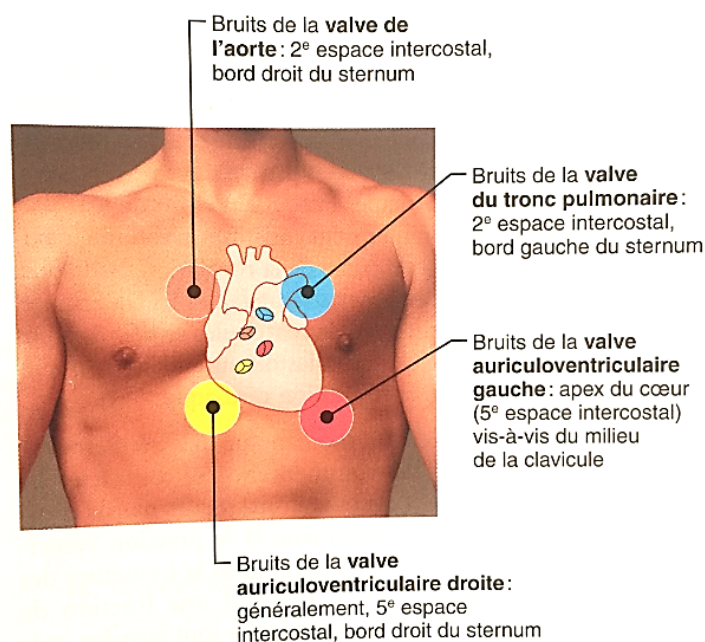
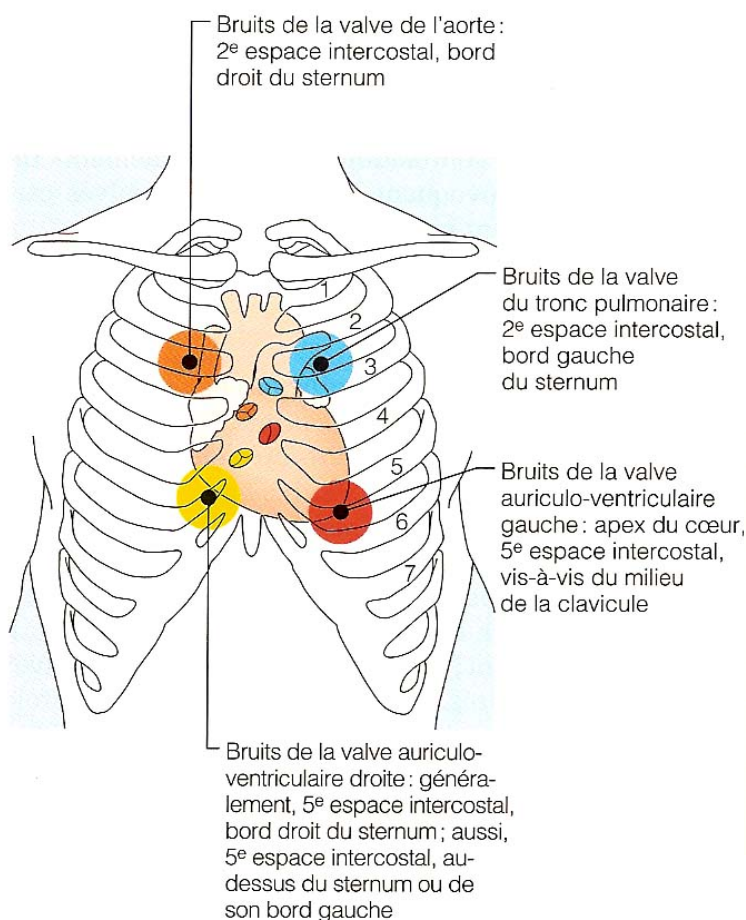


Figure 18.19 Points de la surface du thorax où l'on peut entendre les bruits du cœur.

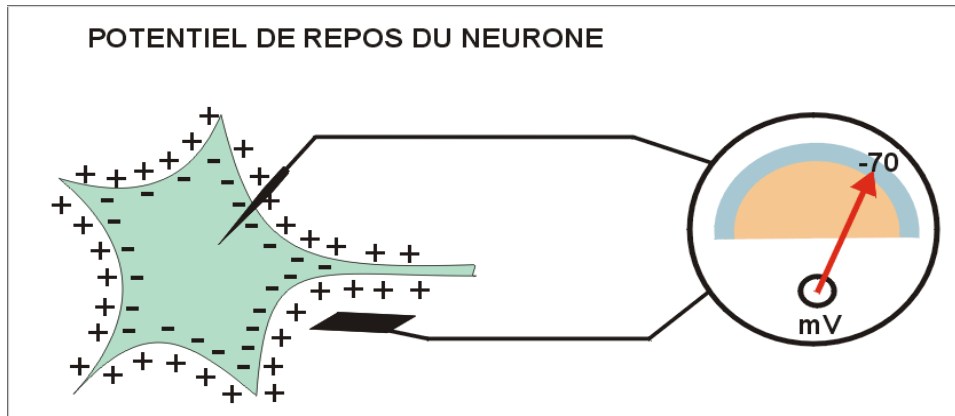
FIGURE 19.20
Points de la surface du thorax où l'on peut entendre les bruits du cœur.

4. ECG : relations entre potentiels d'action (nœud sinusal, nœud auriculo-ventriculaire, muscles cardiaques) et physiologie cardiaque

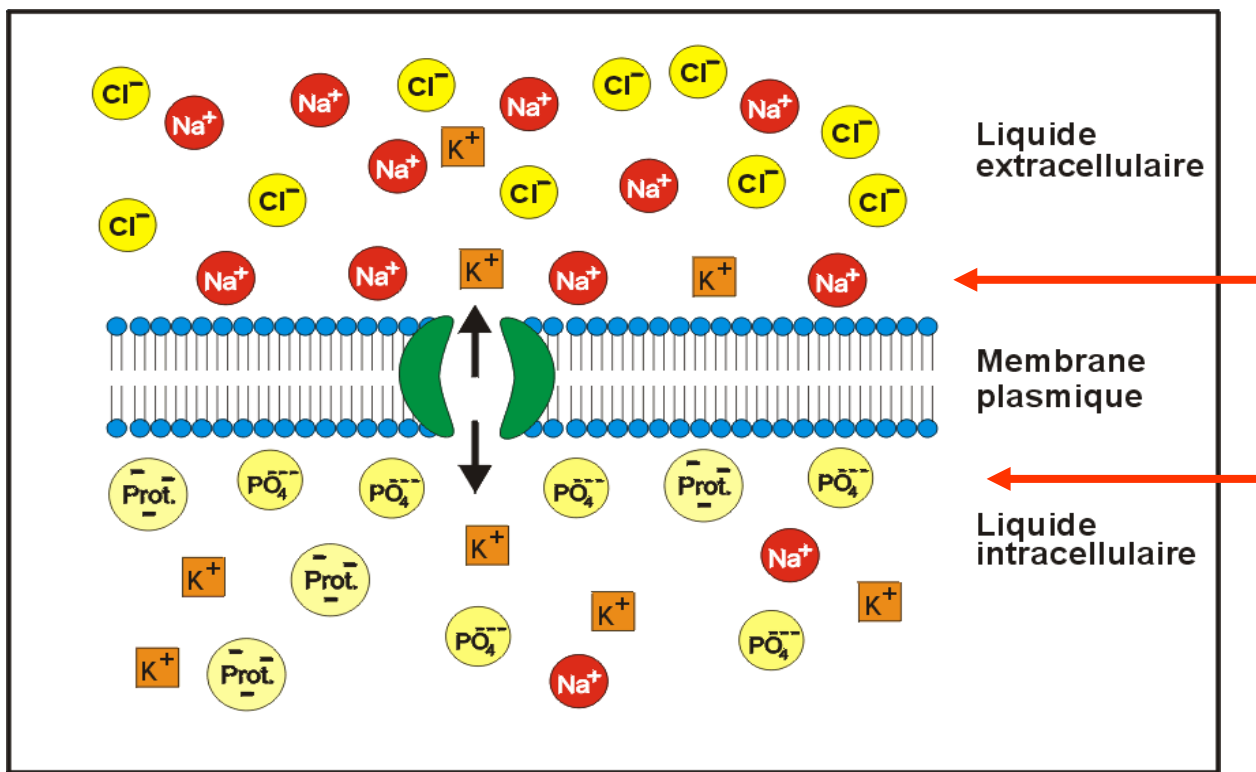
4.1 Activité électrique neuronale comme modèle pour l'activité électrique du cœur

→ Voir animation :

Au repos



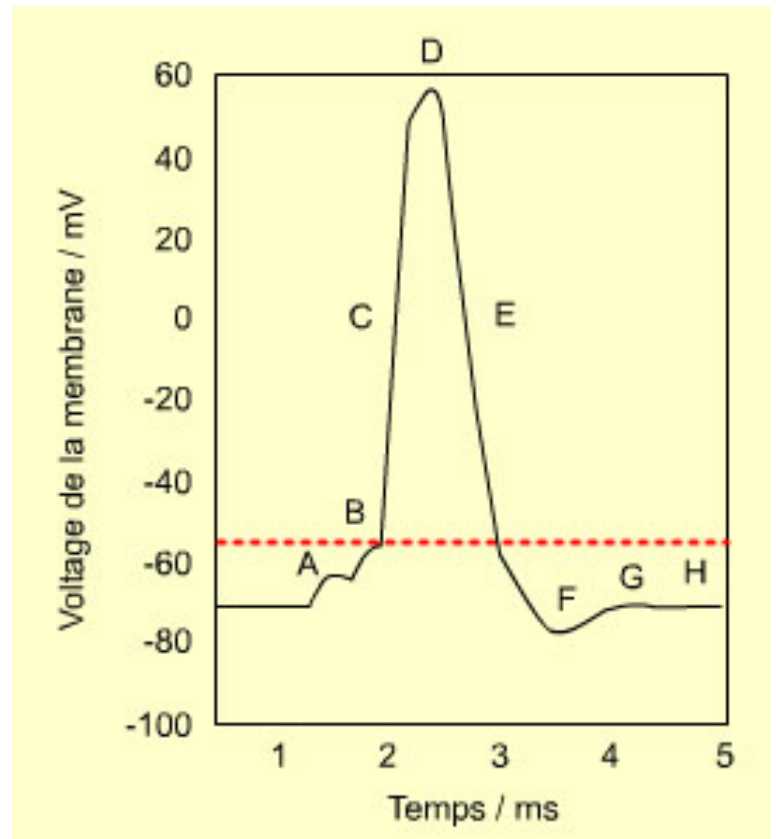
Les charges positives en surplus s'accumulent sur la membrane



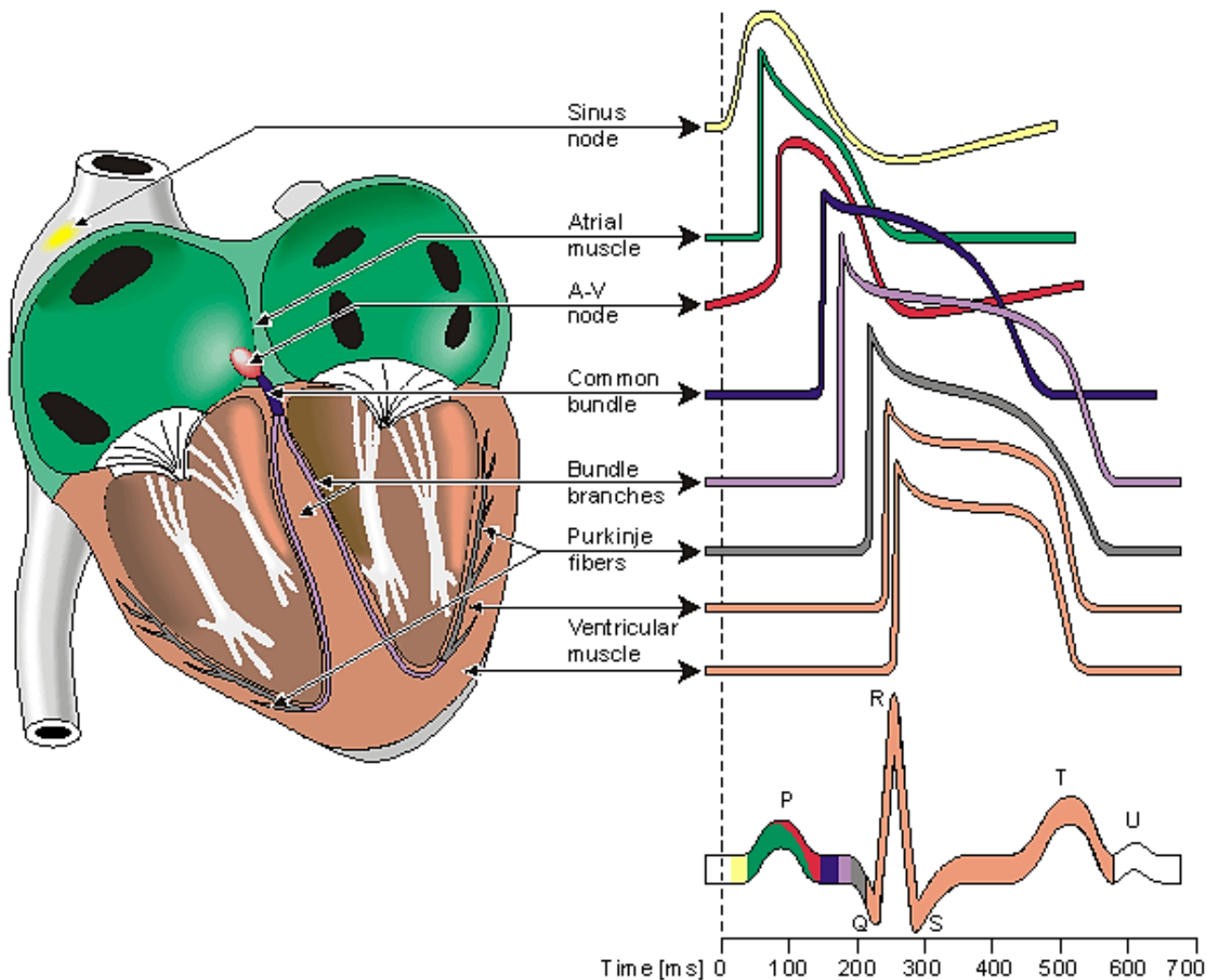
Les charges negatives en surplus s'accumulent sur la membrane

Potentiel d'action

- A. Le potentiel postsynaptique excitateur dépolarise le neurone au-delà du seuil (-50 mV)
- B. Ouvertures des canaux à sodium
- C. Entrée massive d'ions sodium dépolarisant davantage le neurone jusqu'à env. +40-50 mV (dépolariation)
- D. Fermeture des canaux sodiques et ouverture des canaux potassiques
- E. Sortie des ions potassiums (repolarisation)
- F. Période réfractaire
- G. Potentiel de repos restauré
- H. Le sodium est pompé vers l'extérieur et le potassium vers l'intérieur (pompe sodium/potassium) → restauration de la distribution originale des ions



4.2 ECG : potentiels d'action du cœur (activité électrique) – physiologie cardiaque (activité physiologique)



5. Anatomie et physiologie de la circulation

- les vaisseaux sanguins se divisent en 3 grandes catégories : les artères, les capillaires et les veines.
- les **veines** contiennent des **valvules** qui empêchent le reflux du sang ! → clinique : varices sont des veines dilatées et tortueuses du fait de l'insuffisance de leurs valvules.
- les **capillaires (lit capillaire)** sont des vaisseaux d'échange de gaz (oxygène et gaz carbonique), de nutriments et de déchets métaboliques entre la cellule et le sang

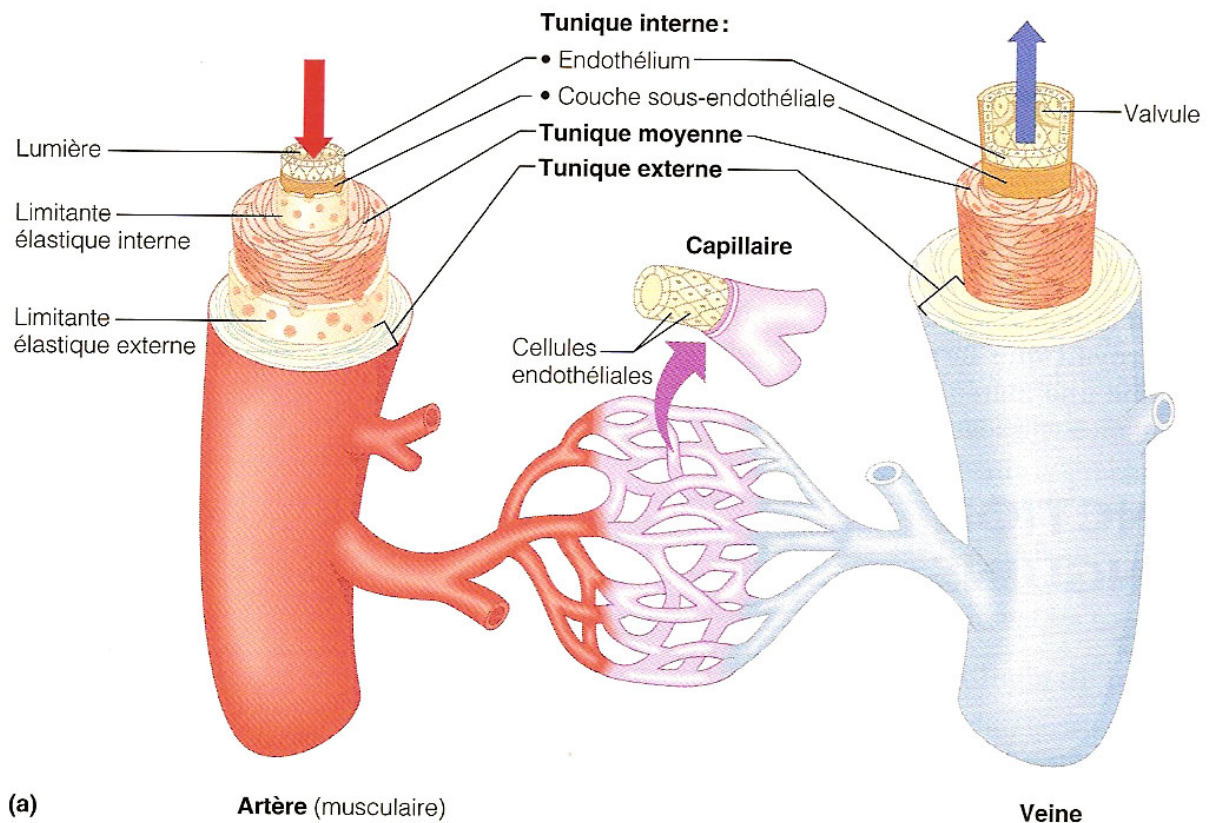


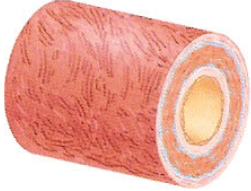
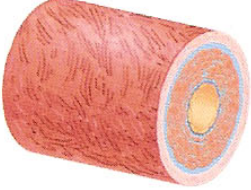
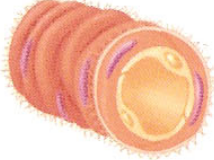


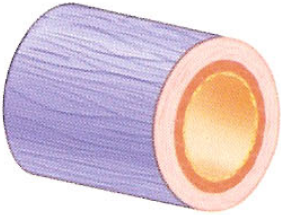
FIGURE 20.1

Structure des artères, des veines et des capillaires. (a) Les parois des artères et des veines sont composées de trois tuniques: la tunique interne (un endothélium reposant sur une couche sous-endothéliale formée de tissu conjonctif lâche), la tunique moyenne (constituée de cellules musculaires lisses

et de fibres élastiques et collagènes) et la tunique externe (formée principalement de fibres collagènes). Les capillaires, intermédiaires entre les artères et les veines dans la circulation, ne sont composés que d'endothélium et d'une lame basale qui peut être continue ou discontinue.

TABLEAU 19.1

Structure comparative des vaisseaux sanguins

Types de vaisseaux*	Diamètre (D) de la lumière et épaisseur (E) de la paroi (valeurs moyennes)	Composition relative			
		Endothélium	Tissu élastique	Muscle lisse	Tissu fibreux (collagène)
 Artère élastique	D: 1,5 cm E: 1,0 mm	Low	High	High	Low
 Artère musculaire	D: 6,0 mm E: 1,0 mm	Low	Low	High	High
 Artériole	D: 37,0 µm E: 6,0 µm	Low	Low	High	High
 Capillaire	D: 7,0 µm E: 0,5 µm	High	None	None	None
 Veinule	D: 20,0 µm E: 1,0 µm	Low	None	Low	High
 Veine	D: 5,0 mm E: 0,5 mm	Low	Low	High	High

* Les divers vaisseaux ne sont pas représentés à l'échelle. La taille des petits vaisseaux est exagérée pour montrer certains détails. Les dimensions réelles sont données dans la deuxième colonne.

5.1 Débit sanguin, pression sanguine et résistance

- a) Débit sanguin : volume de sang qui s'écoule dans un vaisseau, dans un organe ou dans le système cardiovasculaire entier en une période donnée (mL/min). A l'échelle du système cardiovasculaire, le débit sanguin équivaut au débit cardiaque et, au repos, il est relativement constant
- b) Pression sanguine : force par unité de surface que le sang exerce sur la paroi d'un vaisseau. Elle s'exprime en millimètre de mercure (mmHg). En clinique, l'expression « la pression artérielle » = pression sanguine dans la circulation systémique, en particulier dans les gros vaisseaux près du cœur.
- c) Résistance : force qui s'oppose à l'écoulement du sang, et elle résulte de la friction du sang sur la paroi des vaisseaux. Comme la friction se manifeste surtout dans la circulation systémique (= périphérique), loin du cœur, on parle généralement de résistance périphérique.

→ 3 facteurs peuvent influencer la résistance : la viscosité du sang, la longueur des vaisseaux et le diamètre des vaisseaux :

- viscosité du sang : viscosité = résistance inhérente d'un liquide à l'écoulement et elle varie selon que le liquide est fluide ou épais. Plus le frottement entre les molécules est important, plus la viscosité est grande et plus le déplacement du liquide est difficile à amorcer et à maintenir. Le sang est beaucoup plus visqueux que l'eau car il contient des protéines plasmatiques notamment. Si le nombre de globules rouges diminue (anémie), le sang devient moins visqueux et la résistance périphérique diminue.
- longueur totale des vaisseaux sanguins : plus le vaisseau est long, plus la résistance est grande.
- diamètre des vaisseaux sanguins : la résistance **R** est inversement proportionnelle à la quatrième puissance du rayon **r** du vaisseau : **$R = 1/r^4$** . Diamètre implique 2 notions :
écoulement laminaire : dans un tube de diamètre donné, la vitesse et la position relatives du liquide circulant à différents endroits de sa lumière sont constantes.
turbulence : flux irrégulier dans l'écoulement d'un liquide. Quand le sang circule dans un vaisseau qui change brusquement de diamètre (par exemple ses parois sont recouvertes de **dépôts lipidiques de l'athérosclérose**) → flux irrégulier dans l'écoulement du sang → nette augmentation de la résistance.

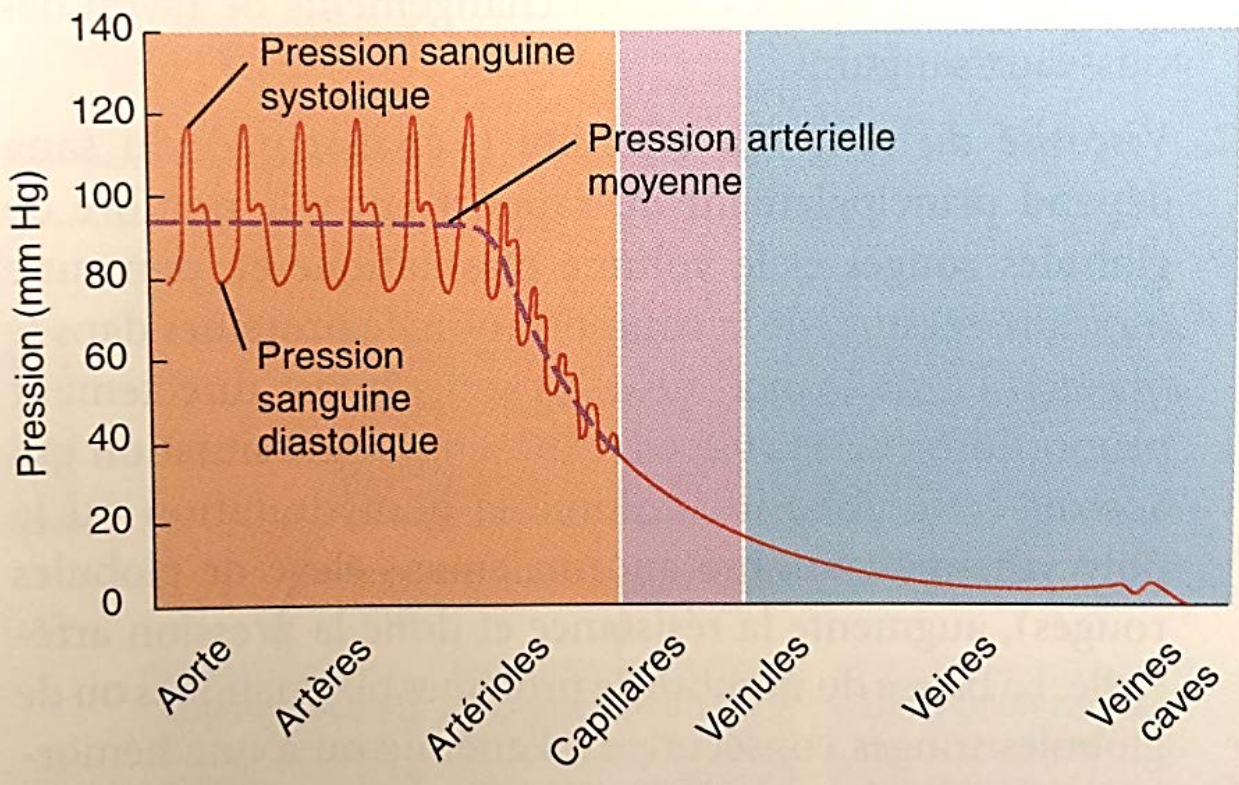
5.2 Relations entre débit sanguin, pression sanguine et résistance périphérique

$$\text{Débit sanguin} = \frac{\text{Différence de pression sanguine (entre deux points du système cardiovasculaire)}}{\text{Résistance périphérique}}$$

5.3 Pression sanguine systémique

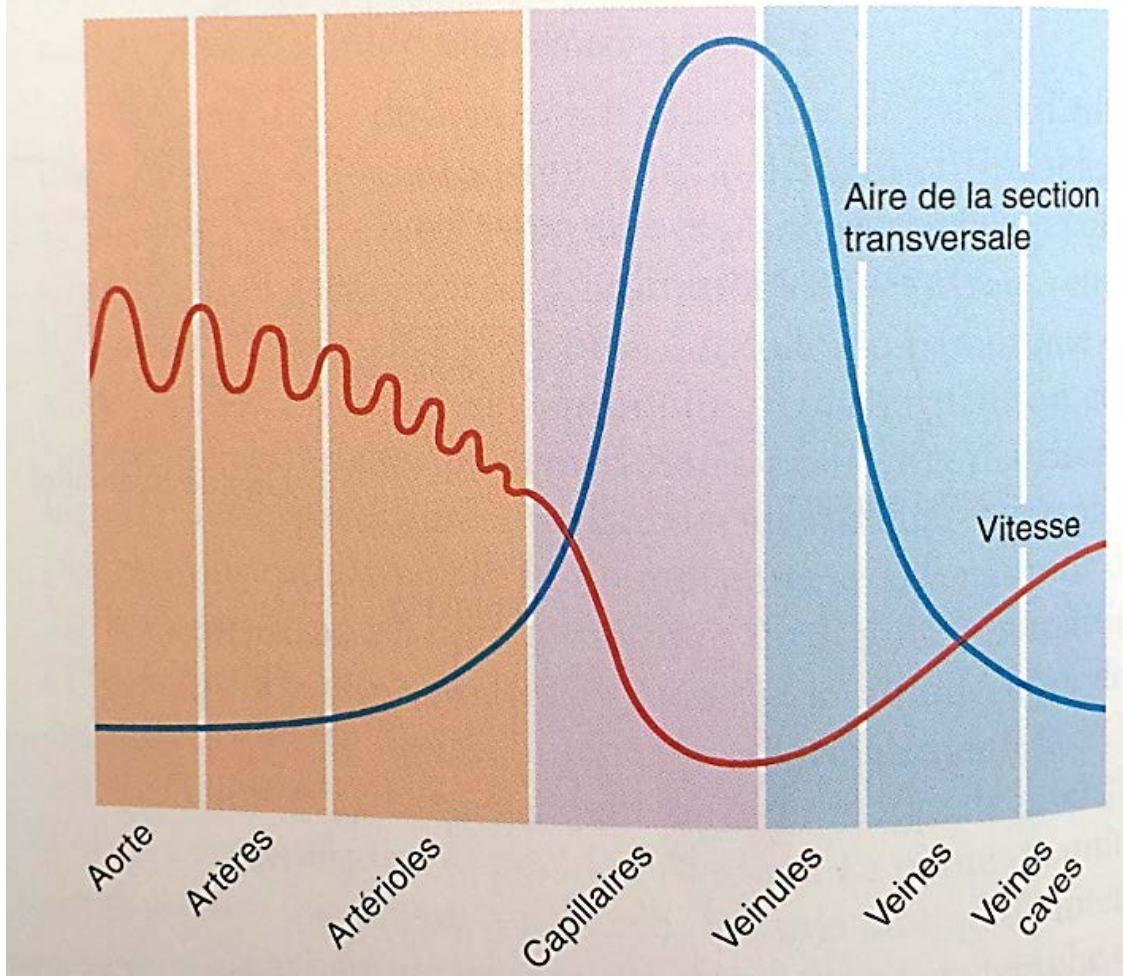


La pression sanguine augmente et diminue à chaque battement cardiaque dans les vaisseaux sanguins conduisant aux capillaires.





La vitesse du débit sanguin est la plus lente dans les capillaires car l'aire de la section transversale totale de ces vaisseaux est la plus grande.



$$\text{Pression artérielle moyenne} = \text{Pression diastolique} + \frac{\text{Pression différentielle}}{3}$$

Pression différentielle = pression systolique (~120 mmHg chez l'adulte) – pression diastolique (70-80 mmHg chez l'adulte)

$$\text{Pression artérielle moyenne} = \frac{\text{Pression diastolique} + \text{Pression systolique}}{2}$$

(= tension artérielle = TA)

Autres définitions de la TA :

a) TA = Force exercée par le sang / surface (=section d'un vaisseau sanguin)

Dans un capillaire : TA = Pression hydrostatique

b) $TA = \text{débit sanguin} \times \text{Résistance périphérique}$; $\text{débit sanguin} = \text{volume systolique (VS)} \times \text{fréquence cardiaque (FC)}$

5.4 Pression veineuse

- fluctue très peu au cours de la révolution cardiaque, contrairement à la pression artérielle qui oscille à chaque contraction du ventricule gauche
- pression veineuse est habituellement trop basse pour provoquer le retour veineux → facteurs favorisant le retour veineux

Facteurs favorisant le retour veineux :

a) pompe respiratoire : les changements de pression se produisant dans la cavité abdominale durant la respiration créent une pompe respiratoire qui aspire le sang vers le cœur. A l'inspiration, la compression des organes de l'abdomen par le diaphragme comprime les veines locales ; comme les valvules veineuses empêchent le reflux, le sang est chassé en direction du cœur. Simultanément, la pression diminue dans la cage thoracique et la dilatation des veines thoraciques accélèrent l'entrée du sang dans l'oreillette droite

b) pompe musculaire :

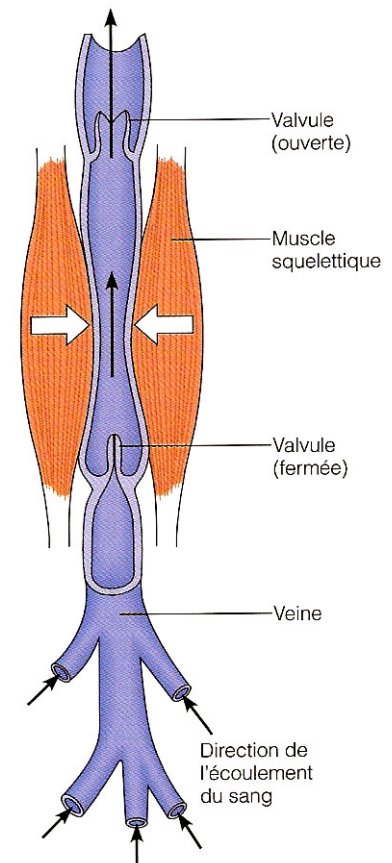
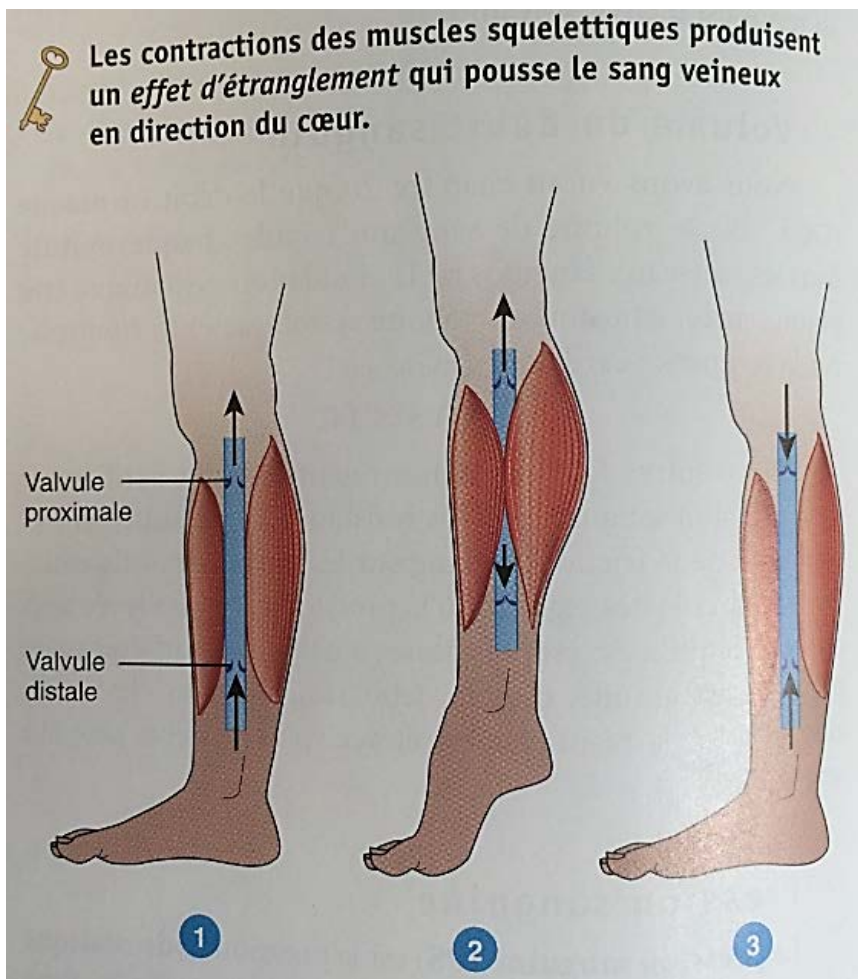


FIGURE 20.6

Fonctionnement de la pompe musculaire. En se contractant, les muscles squelettiques compriment les veines flexibles. Les valvules situées en aval du point de compression s'ouvrent et le sang est propulsé vers le cœur. Le reflux du sang ferme les valvules situées en amont du point de compression.

5.5 Maintien de la pression artérielle (homéostasie !)

→ mécanismes de rétro-inhibition

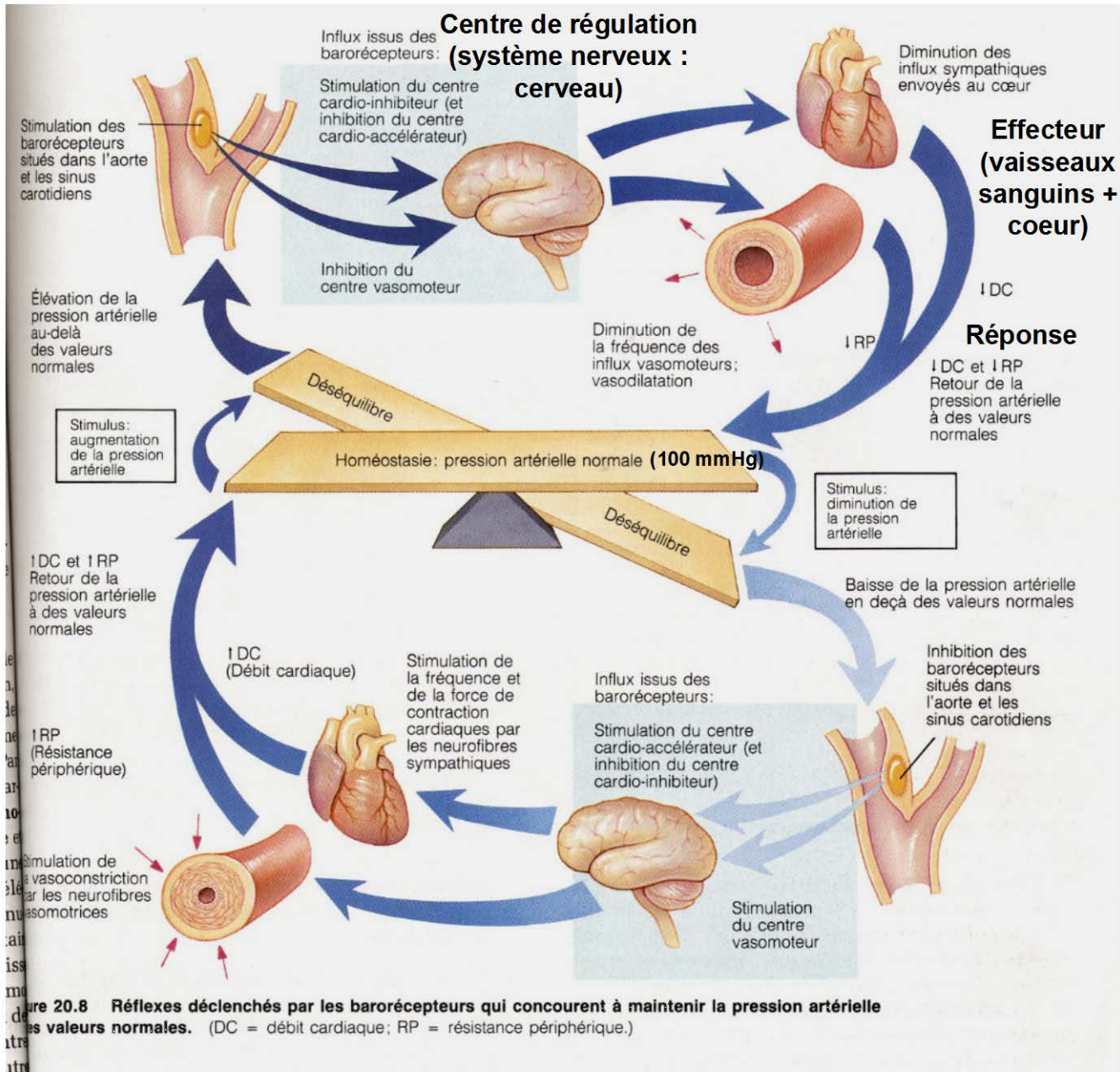
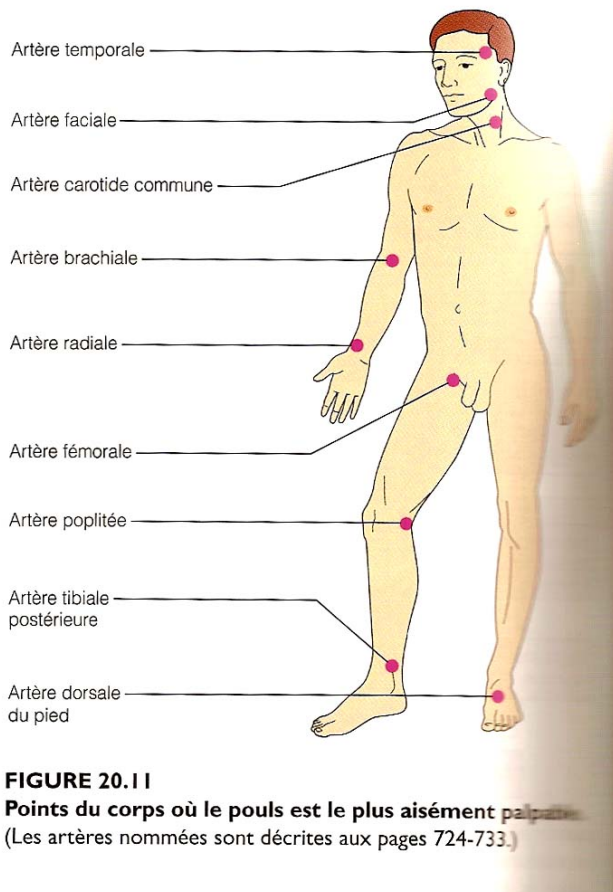


Figure 20.8 Réflexes déclenchés par les barorécepteurs qui concourent à maintenir la pression artérielle des valeurs normales. (DC = débit cardiaque; RP = résistance périphérique.)

5.6 Vérification de l'efficacité de la circulation sanguine

5.6.1 Mesure du pouls



Expansion et rétraction successives des artères élastiques lors de chaque révolution cardiaque créent une onde de pression, le **pouls**, transmise à toutes les artères à chaque battement du cœur.

On peut sentir le pouls des toutes les artères situées près de la surface de la peau en appuyant sur le tissu les recouvrant et en pressant l'artère contre une surface ferme (l'os) ; moyen facile de calculer la **fréquence cardiaque**.

Mesure du pouls permet d'évaluer les effets de l'activité physique, des changements de position et des émotions sur la fréquence cardiaque.

Pouls d'un homme en bonne santé :

66 battements/minute en position couchée

70 battements/minute en position assise

80 battements/minute lors d'un passage brusque à la position debout

Exercice vigoureux ou choc émotionnel → 140-180 battements/minute (système nerveux sympathique sur le cœur !)

Ce sont également ces mêmes points que l'on comprime pour arrêter l'afflux de sang vers les tissus plus éloignés lors d'une hémorragie → **points de compression**

5.6.2 Mesure de la pression artérielle

On mesure la pression artérielle systémique par la **méthode auscultatoire** → procédé :

- prendre la pression artérielle dans l'artère brachiale
- on enroule le brassard gonflable du sphygmomanomètre (sphygmomanomètre = pulsation) autour du bras, juste au-dessus du coude, et on le gonfle jusqu'à ce que la pression qui règne à l'intérieur du brassard > pression systolique → sang cesse de s'écouler dans le bras → on ne peut plus entendre ni sentir le pouls brachial.
- on réduit graduellement la pression à l'intérieur du brassard tout en auscultant l'artère brachiale à l'aide d'un stéthoscope.

- valeur indiquée par le manomètre au moment où on entend les premiers bruits (indiquant qu'une petite quantité de sang jaillit dans l'artère comprimée) représente la pression systolique.
- à mesure que la pression continue à baisser dans le brassard, ces bruits (= bruits de Korotkoff) se font plus forts et plus distincts. Ils s'évanouissent quand cesse la compression de l'artère et que le sang s'écoule librement.
- la valeur indiquée au moment où les bruits s'arrêtent représente la pression artérielle diastolique.

Chez l'adulte au repos : pression systolique varie entre 110 et 140 mmHg et la pression diastolique varie entre 75 et 80 mmHg

Mais la pression artérielle varie en fonction de l'âge, du sexe, du poids, de l'ethnie, de la situation socio-économique du sujet, de l'humeur, de l'activité physique

5.7 Variations de la pression artérielle

5.7.1 Hypotension

- hypotension = basse pression artérielle = pression systolique < 100 mmHg
- personnes âgées sujettes à l'hypotension orthostatique = état se caractérisant par des étourdissements lors du passage de la position couchée à la position assise ou debout. Système nerveux sympathique des personnes âgées réagit lentement aux changements de position → stagnation du sang dans les extrémités inférieures → baisse de la pression artérielle et de l'irrigation de l'encéphale.
- hypotension artérielle chronique : parfois un signe d'anémie et d'hypoprotéinémie consécutive à une mauvaise alimentation (réduction de la viscosité du sang). Peut aussi être un symptôme de la maladie d'Addison (dysfonctionnement du cortex surrénal), de l'hypothyroïdie ou de l'atrophie tissulaire grave.
- Hypotension artérielle aiguë = un des signes majeurs de l'état de choc ; elle met en danger les personnes subissant une intervention chirurgicale ou recevant des soins intensifs.

5.7.2 Hypertension

- élévations transitoires de la pression artérielle systolique sont des adaptations normales à la fièvre, à l'effort physique et aux bouleversements émotionnels comme la colère et la peur (STRESS !)
- hypertension persistante = haute pression si persistance d'une pression artérielle de 140/90 ou plus. Plus la pression artérielle est élevée, plus les risques de problèmes cardiovasculaires et cérébraux sont grands. Fréquente parmi les personnes obèses, chez lesquelles la longueur totale des vaisseaux sanguins est plus grande que chez les personnes minces. En général, élévation de la pression diastolique est plus inquiétante car elle indique toujours une occlusion et/ou un durcissement progressif du réseau artériel. Principale cause de l'insuffisance cardiaque, des maladies vasculaires, de l'insuffisance rénale et de l'accident vasculaire cérébral. Comme le cœur doit surmonter une résistance accrue, il travaille plus fort qu'il ne devrait et, au fil des années, le myocarde s'hypertrophie. Quand le cœur finit par outrepasser ses capacités, il s'affaiblit et ses parois deviennent flasques. Hypertension cause dans l'endothélium des vaisseaux sanguins de petites déchirures accélérant les ravages de l'athérosclérose et provoquent de l'artériosclérose. A mesure que les vaisseaux se bouchent, irrigation des tissus diminue → complications cérébrales, oculaires, cardiaques et rénales apparaissent
- facteurs pouvant contribuer à ce type d'hypertension :
 1. Régime alimentaire. Le sodium, les graisses saturées, le cholestérol (excès) et les carences en certains ions des métaux (potassium, calcium et magnésium)
 2. Obésité

3. Age : signes cliniques apparaissant après l'âge de 40 ans
4. Ethnie : on trouve plus d'hypertendus chez les Noirs que chez les Blancs
5. Héritéité : hypertension est héréditaire. L'enfant d'un parent hypertendu a deux fois plus de risque d'être atteint de la maladie
6. Stress : personnes plus à risque sont celles dont la pression artérielle augmente très fortement à chaque événement générateur de stress
7. Tabagisme : nicotine aggrave les effets vasoconstricteurs du système nerveux sympathique

5.8 Débit sanguin dans les tissus

= irrigation des tissus qui détermine :

- apport d'oxygène et de nutriments aux cellules des tissus et élimination de leurs déchets → **lien avec le système respiratoire + système digestif**
- échanges gazeux dans les poumons → **lien avec le système respiratoire**
- absorption des nutriments contenus dans le système digestif → **lien avec le système digestif**
- la formation de l'urine par les reins : filtration glomérulaire (système urinaire)
- concourt à la thermorégulation (peau)

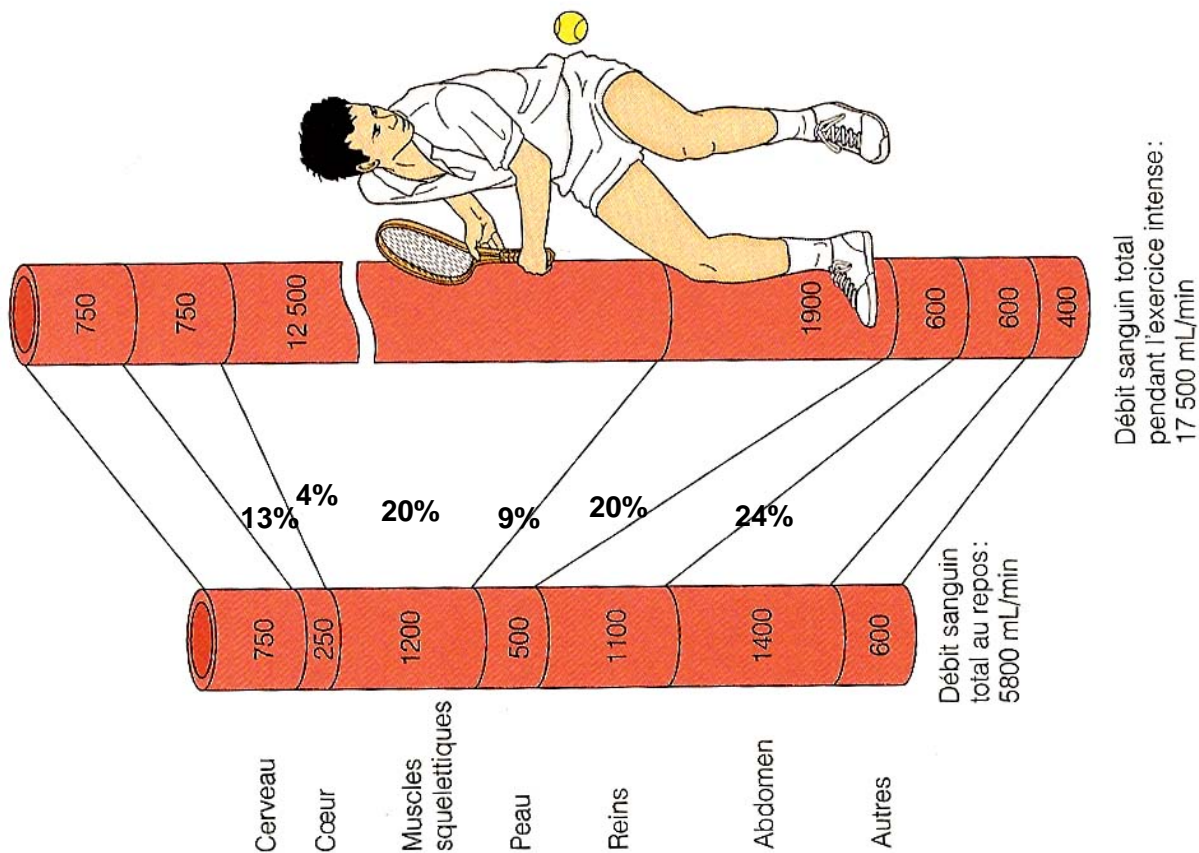


FIGURE 20.12
Débit sanguin dans certains organes, au repos et pendant l'exercice.

5.9 Etat de choc

= toute situation dans laquelle les vaisseaux sanguins ne contiennent pas suffisamment de sang → mauvaise irrigation des tissus → mort cellulaire et lésions des organes si persistance de la situation

Choc hypovolémique (hypo = bas ; volémie = volume sanguin total) : résulte d'une diminution considérable du volume sanguin, suite à une hémorragie aiguë, de vomissements, de diarrhées graves ou de brûlures étendues. Diminution considérable du volume sanguin → augmentation de la fréquence cardiaque.

Symptômes : pouls faible et filant, intense vasoconstriction chassant le sang dans les vaisseaux sanguins et favorise le retour veineux. Stable au début, la pression artérielle finit par baisser si le volume sanguin continue de décroître

Choc d'origine vasculaire : volume sanguin est normal et constant. Entrave à la circulation sanguine provient d'une expansion anormale du volume interne du réseau vasculaire consécutive à une vasodilatation extrême des artéioles → chute de la résistance périphérique → chute de la pression artérielle. Le plus souvent causé par :

- perte du tonus vasomoteur due à l'anaphylaxie (= réaction allergique systémique durant laquelle la libération massive d'histamine déclenche une vasodilatation généralisée)
- insuffisance de la régulation autonome (= choc neurogène)
- une septicémie (= infection bactérienne systémique grave : toxines bactériennes sont des vasodilatateurs)

Exemple : exposition prolongée au soleil

Choc cardiogénique

= défaillance de la pompe cardiaque survenant quand le cœur est faible au point de ne plus pouvoir faire circuler le sang de façon adéquate. Habituellement causé par des lésions myocardiques (infarctus répétés)

6. Références bibliographiques

- Bayat, S. (2003). Physiologie de la circulation. I. La fonction cardiaque 2 [Cours en ligne]. Retrieved from https://coursenligne.u-picardie.fr/ines/foadF/PCEM2/17905/Fonction_cardiaque_2_INES.pdf
- Bourbonnais, G. (2001). Chapitre 5 Neurophysiologie. Cours compensateurs - Université Laval (Québec) [diaporama]. Retrieved from <http://slideplayer.fr/slide/1316780/>
- Dubuc, B. (2003). *Le cerveau à tous les niveaux*. Université McGill, Canada. Montreal. Retrieved from <http://lecerveau.mcgill.ca/>
- Faller, A., Sprumont, P., & Schünke, M. (1999). *Le corps humain*. Fribourg, Suisse; Paris: Editions universitaires ; Editions Lamarre.
- Kahle, W., Leonhardt, H., & Platzer, W. (1990). *Anatomie, tome 2 : Viscères* (Christian Cabrol, ed.). Paris: Flammarion médecine-sciences.
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (2012). Bioelectromagnetism. Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. 6. *The Heart*. Retrieved from <http://www.bem.fi/book/06/06.htm>
- Marieb, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines*. Paris: Pearson Education.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. H. (2010). *Anatomie et physiologie humaines (Adaptation de la 8e édition américaine)*. Paris: Pearson Education.
- Tortora, G. J., & Grabowski, S. R. (2001). *Principes d'anatomie et de physiologie*. Bruxelles: De Boeck Université.
-