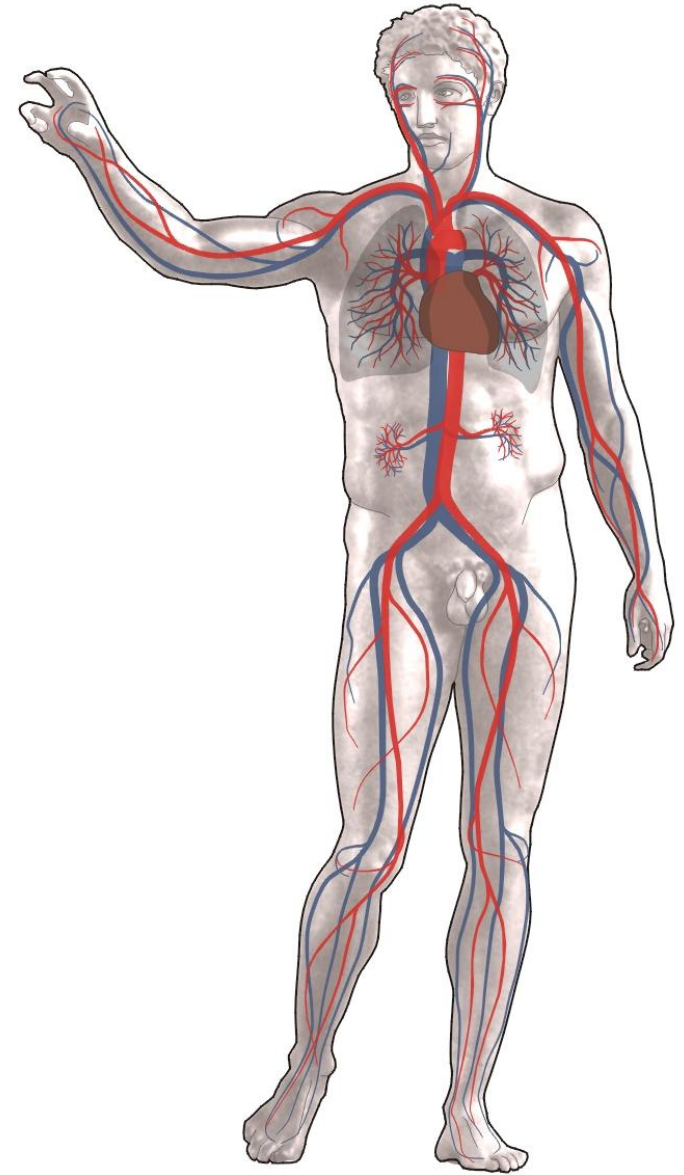
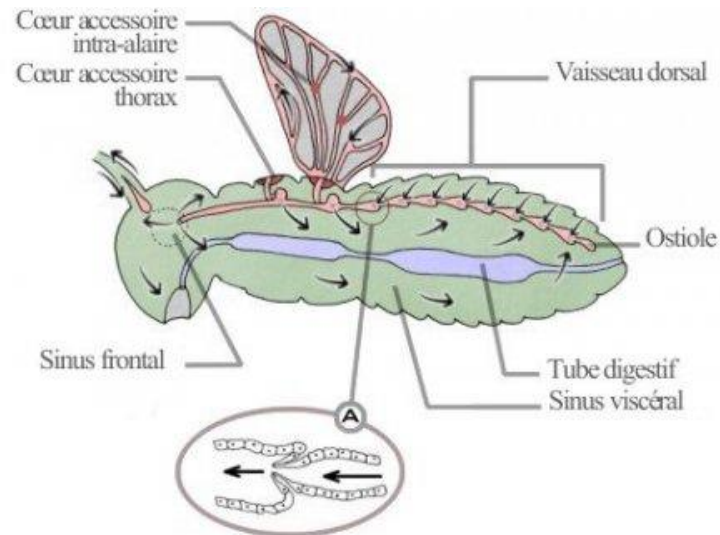


SV-I.1 : La circulation sanguine chez les mammifères.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.



1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

a. Circulation systémique, circulation pulmonaire

Lien cours sup :

- respiration,
- Vache,
- Métabolisme cellulaire.

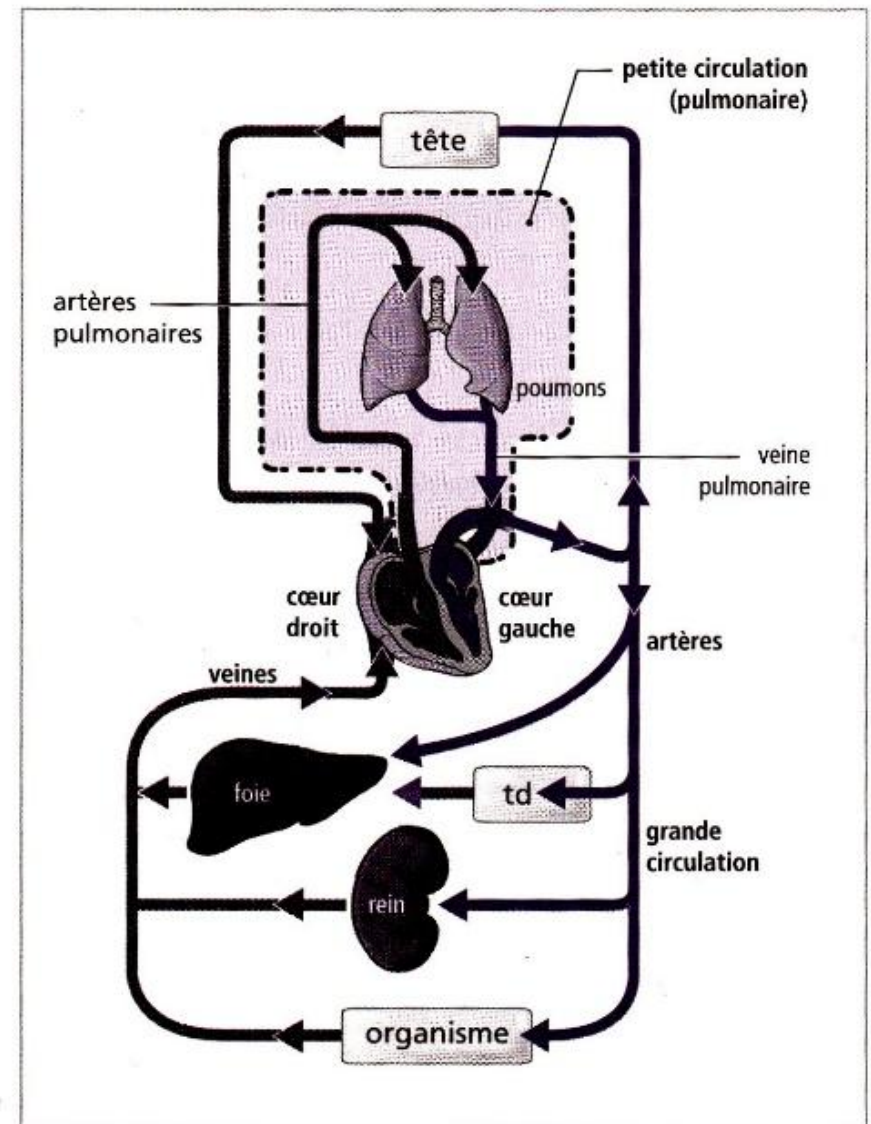


Fig. 2.4. Représentation schématique de l'appareil circulatoire cardio-vasculaire. La grande circulation irrigue tous les tissus et organes par l'intermédiaire de réseaux en parallèle (sur le schéma: tête, foie, tube digestif, rein, organisme), réseaux constitués d'un flux artériel, d'un échangeur (réseau capillaire d'un organe ou d'un tissu donné) et d'un flux veineux. td: tube digestif.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

a Circulation systémique, circulation pulmonaire

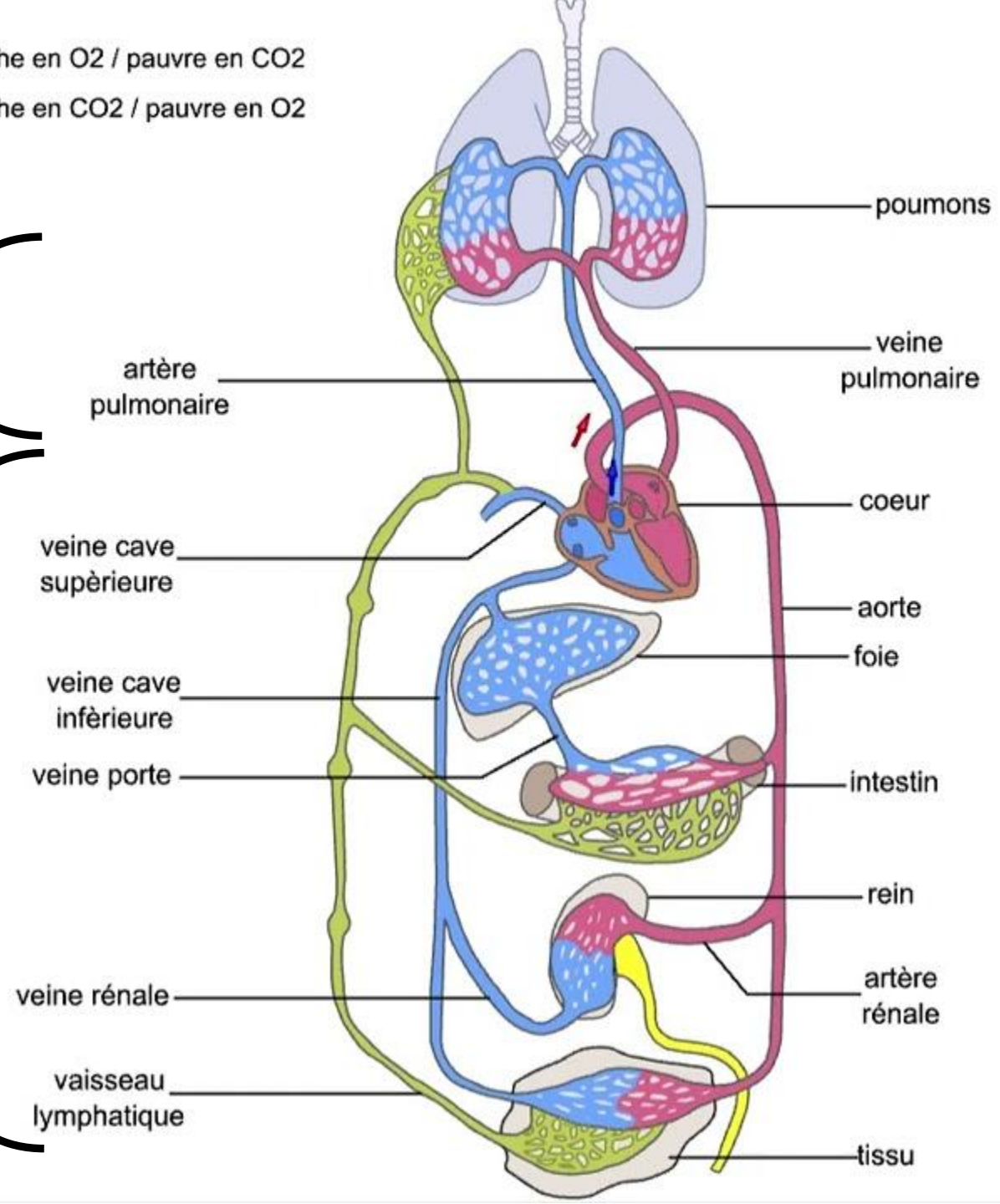
- ➔ Sang riche en O₂ / pauvre en CO₂
- ➔ Sang riche en CO₂ / pauvre en O₂
- ➔ Lymphhe



Circulation **pulmonaire**
entre le cœur et les
poumons

Circulation **systémique**
entre le cœur et tous les
organes sauf les poumons

Bf



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

a Circulation systémique, circulation pulmonaire

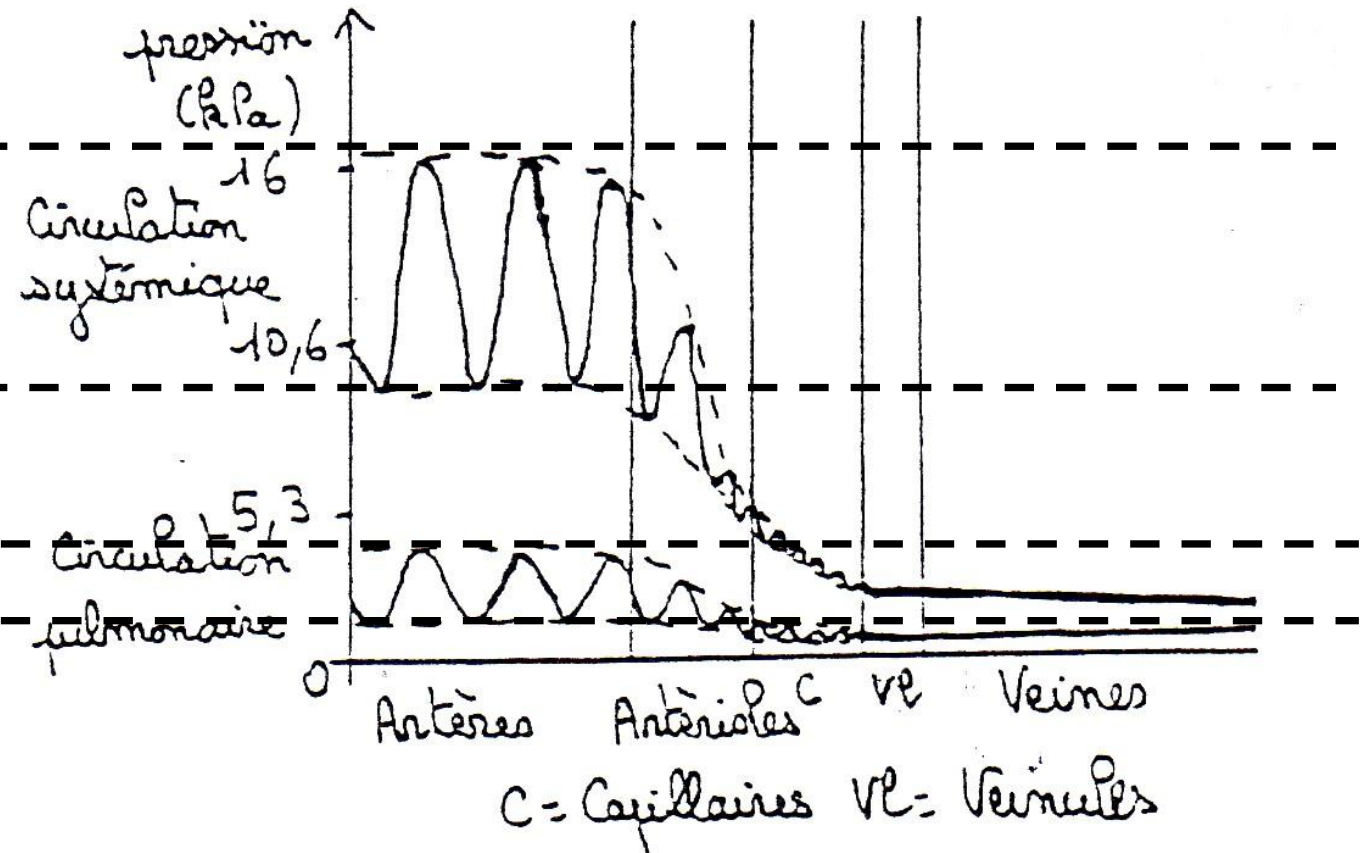
Pression sanguine dans le système vasculaire : figure 1

Pression systolique

Pression diastolique

Pression systolique

Pression diastolique



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

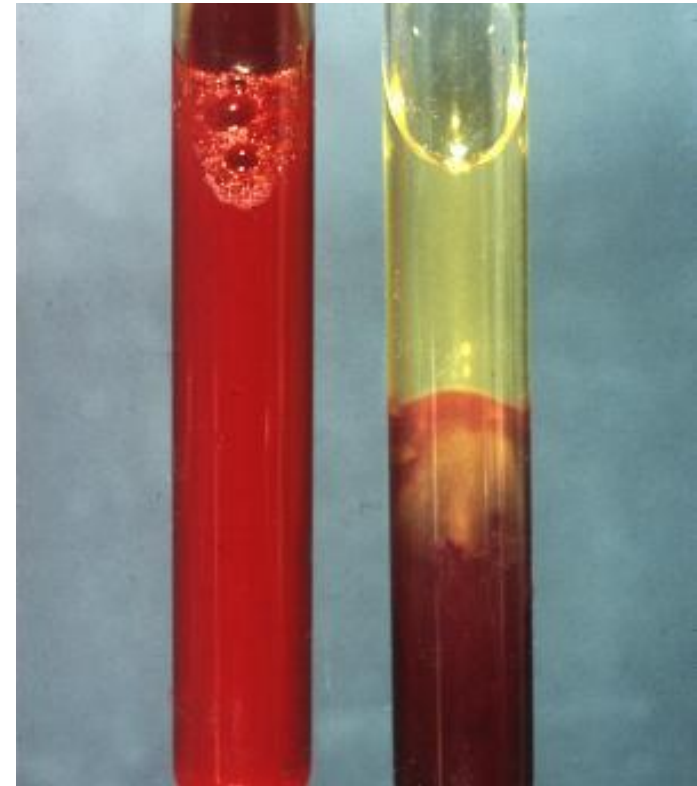
b. Le sang est un fluide permettant une convection à haut débit

Sang : éléments figurés + plasma.



Plasma liquide issu du sang
duquel on a extrait les cellules

+

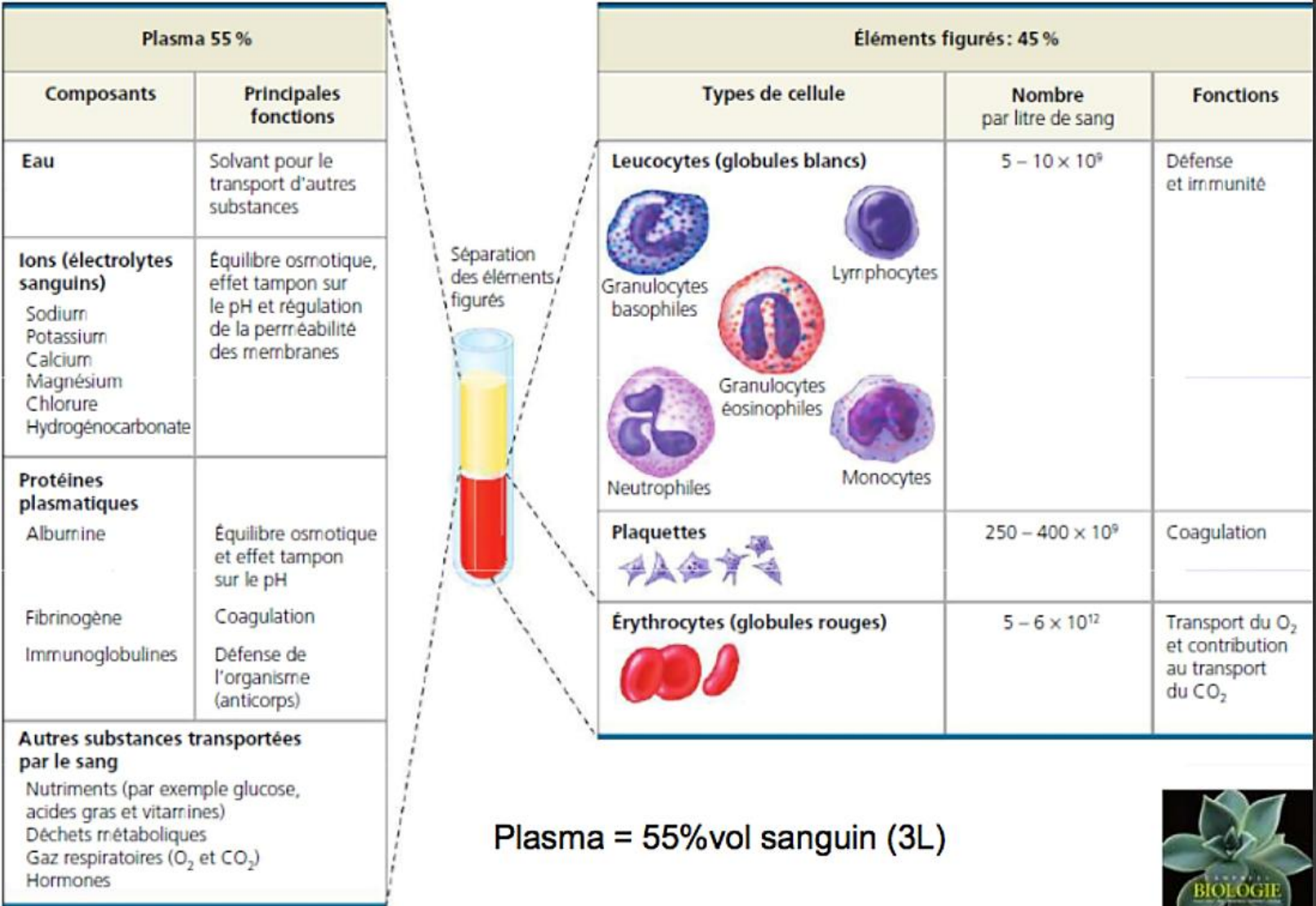


Éléments figurés : cellules
sanguines

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

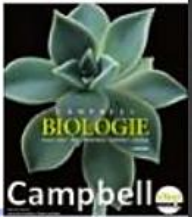
1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

b. Le sang est un fluide permettant une convection à haut débit



Plasma = 55%vol sanguin (3L)

▲ **Figure 42.17** La composition du sang des Mammifères.



- 1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
- 1.1. Le système sanguin, un système à double circulation
- b. Le sang est un fluide permettant une convection à haut débit

Composition

Composition du plasma : idem liquides interstitiels sauf protéines : 60 à 80 g par L.

Tableau 2.1. Concentration des principaux éléments dissous dans les liquides interstitiels et intracellulaires (en mosm.L⁻¹).

	Concentration extracellulaire (liquides interstitiels)	Concentration intracellulaire
Sodium (Na ⁺)	143	14
Potassium (K ⁺)	4	157
Calcium (Ca ²⁺)	2,5	1
Magnésium (Mg ²⁺)	1,5	13
Chlore (Cl ⁻)	117	10
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	27	10
Glucose	5,6	1
Protéines	0,2	7,5

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.1. Le système sanguin, un système à double circulation

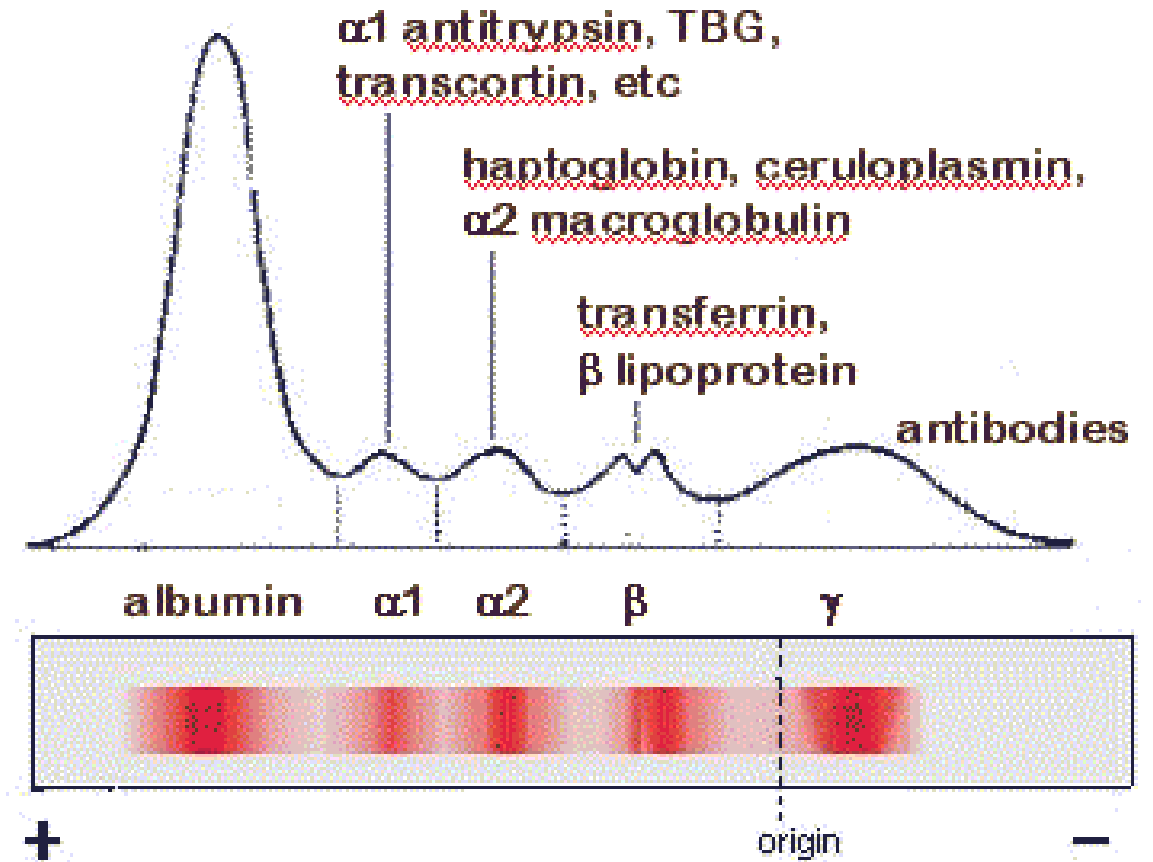
b. Le sang est un fluide permettant une convection à haut débit

Composition du plasma

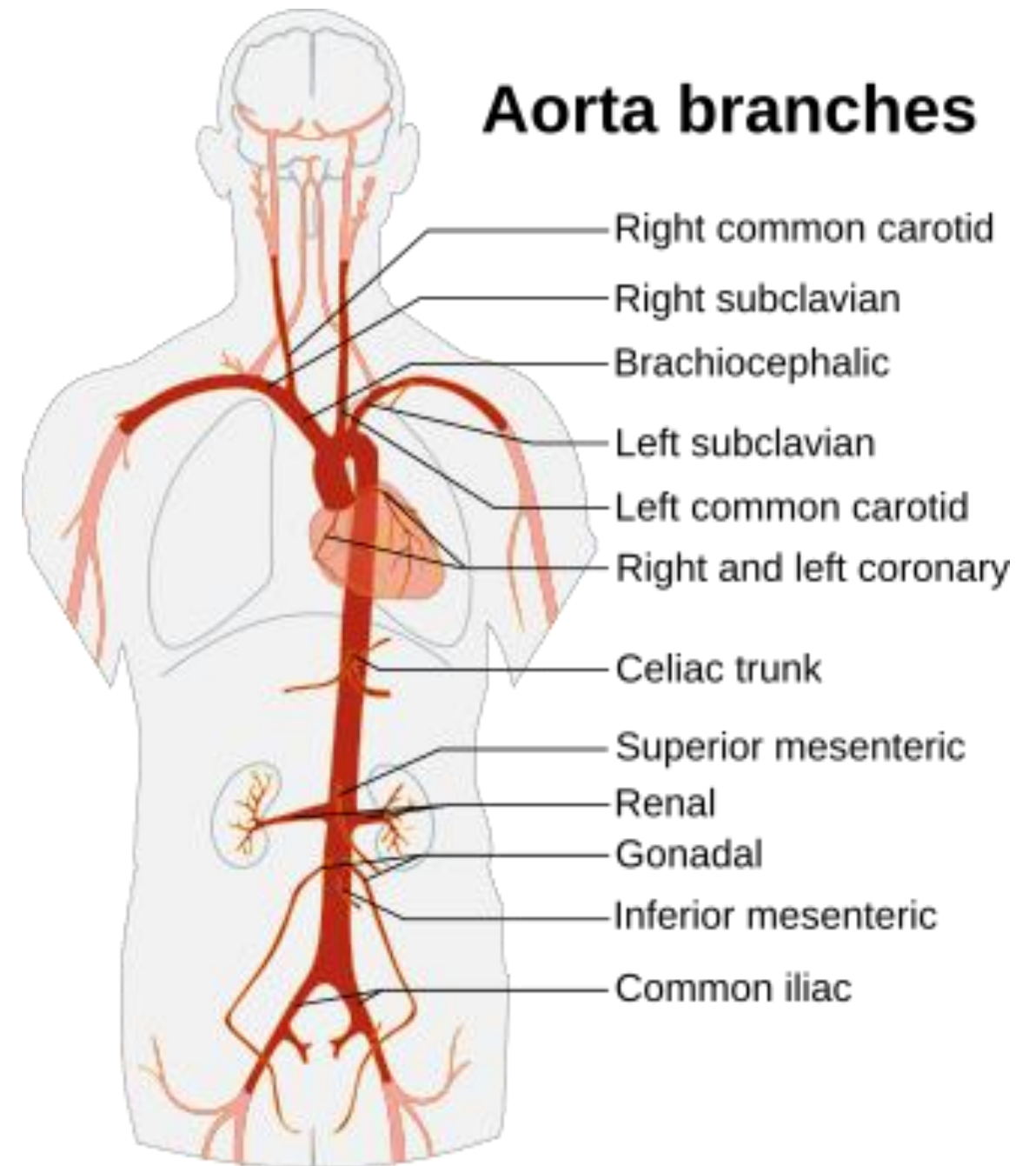
Electrophorèse protéine sang



Du **glucose**, des **ions** (Na, Cl principalement) et des **protéines** (albumine, globulines et fibrinogène).



1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes.

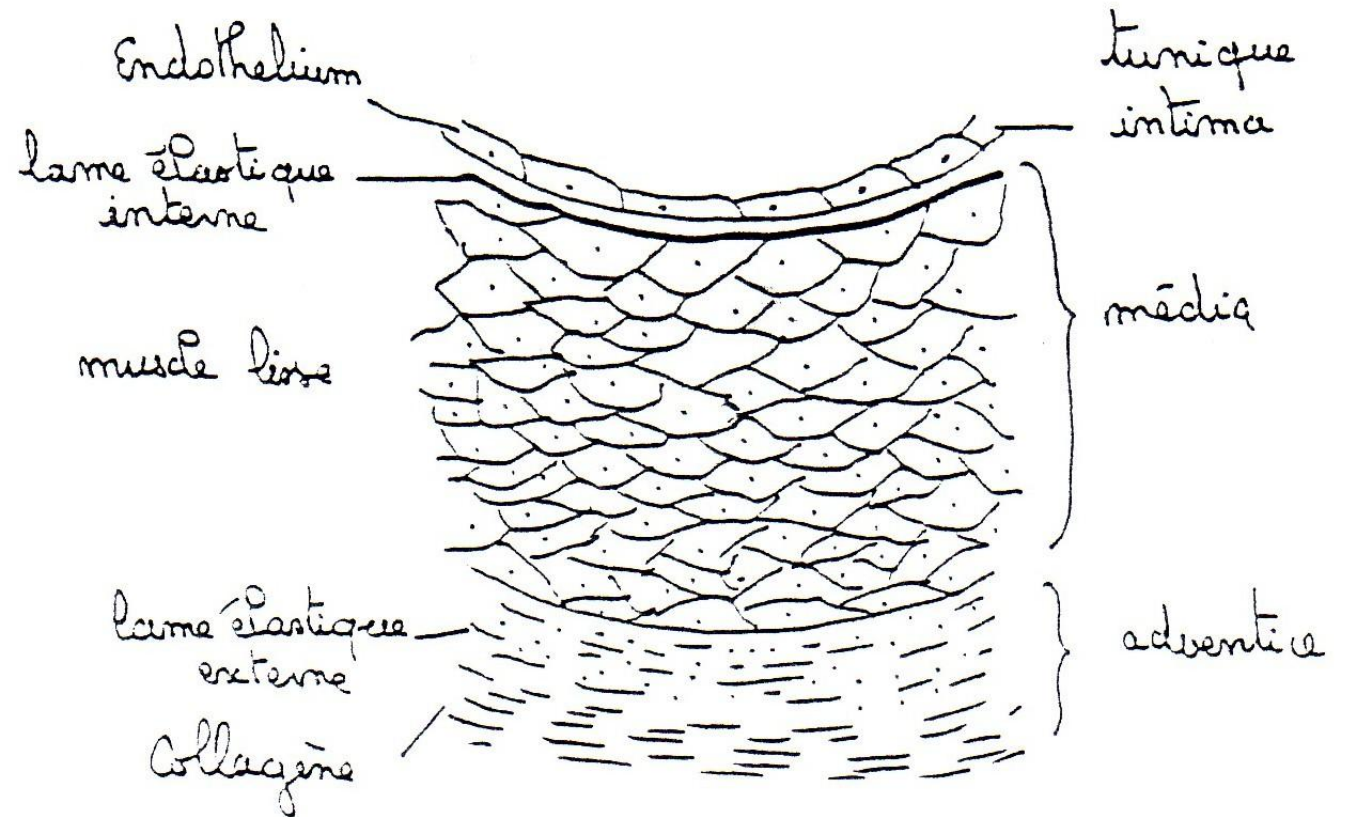


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

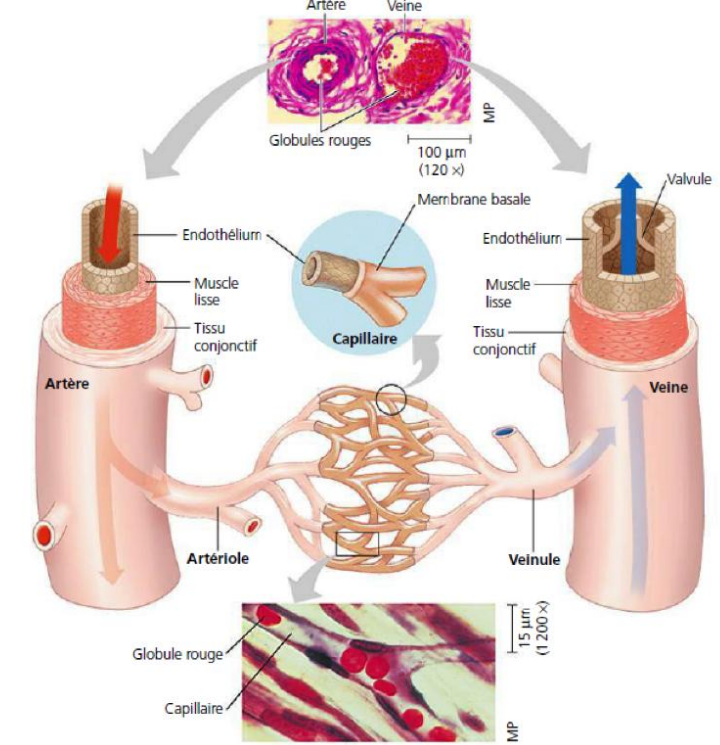
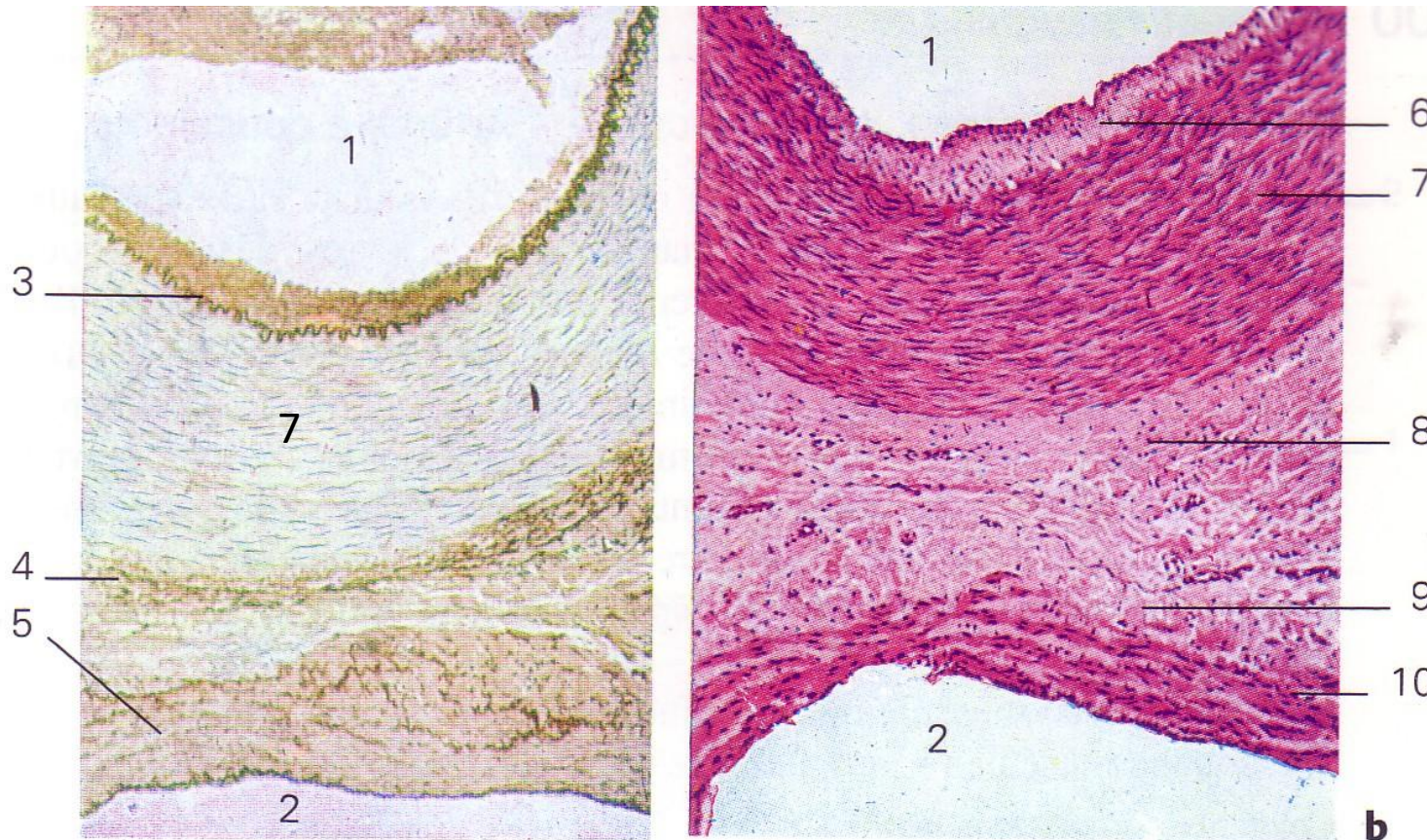
Figure 2 : structure générale de la paroi des vaisseaux, voir aussi TP Histologie



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.



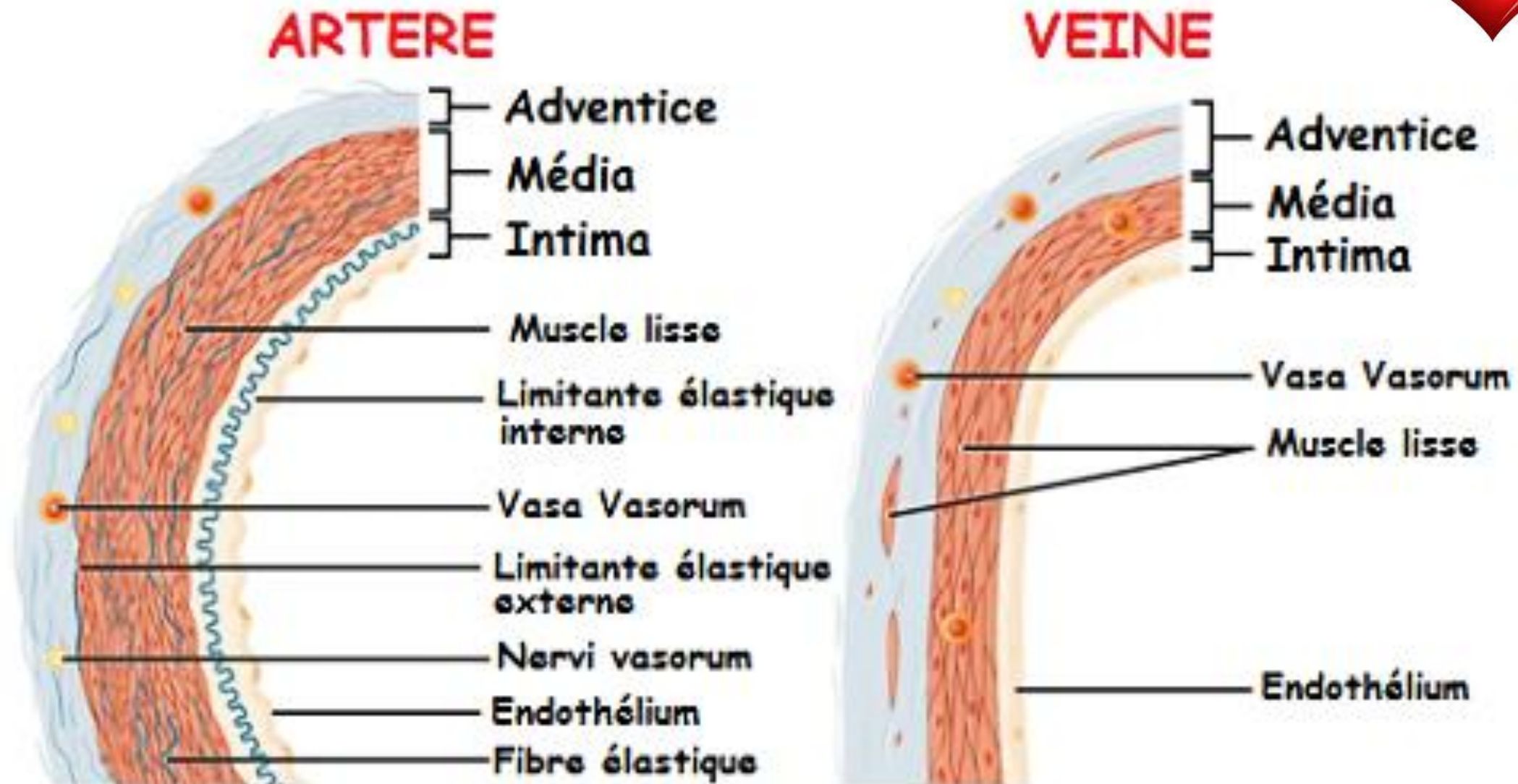
▲ Figure 42.10 La structure des vaisseaux sanguins.

1 = lumière artère,
2 = lumière veine,
7 = médias veine et
média artère

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

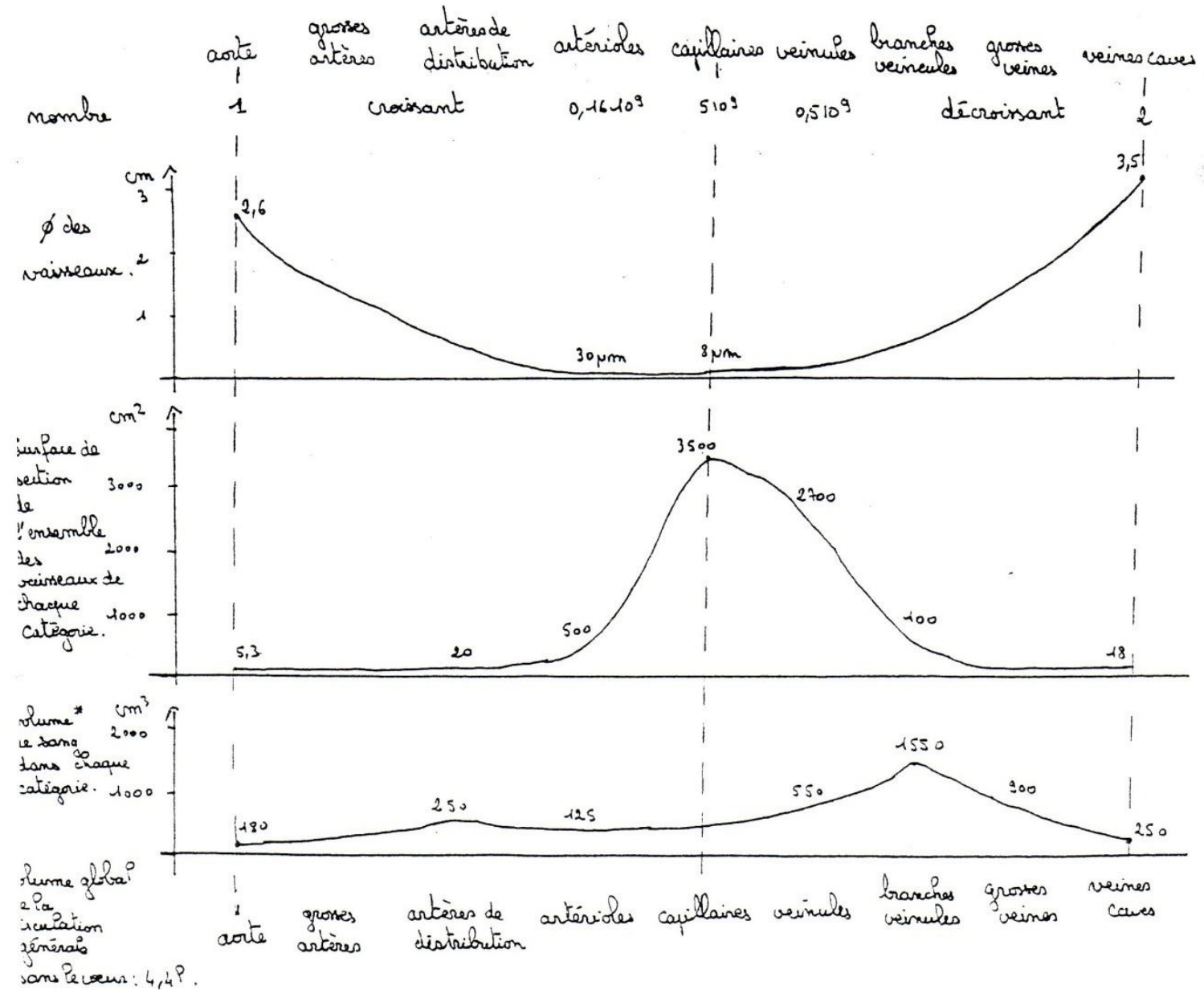


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Figure 3

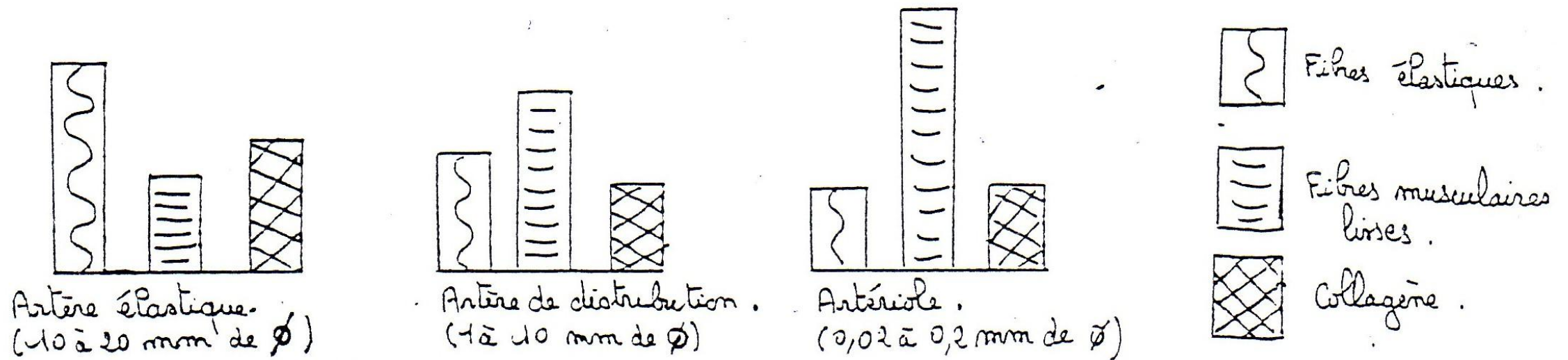


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Figure 4



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Lames
élastiques



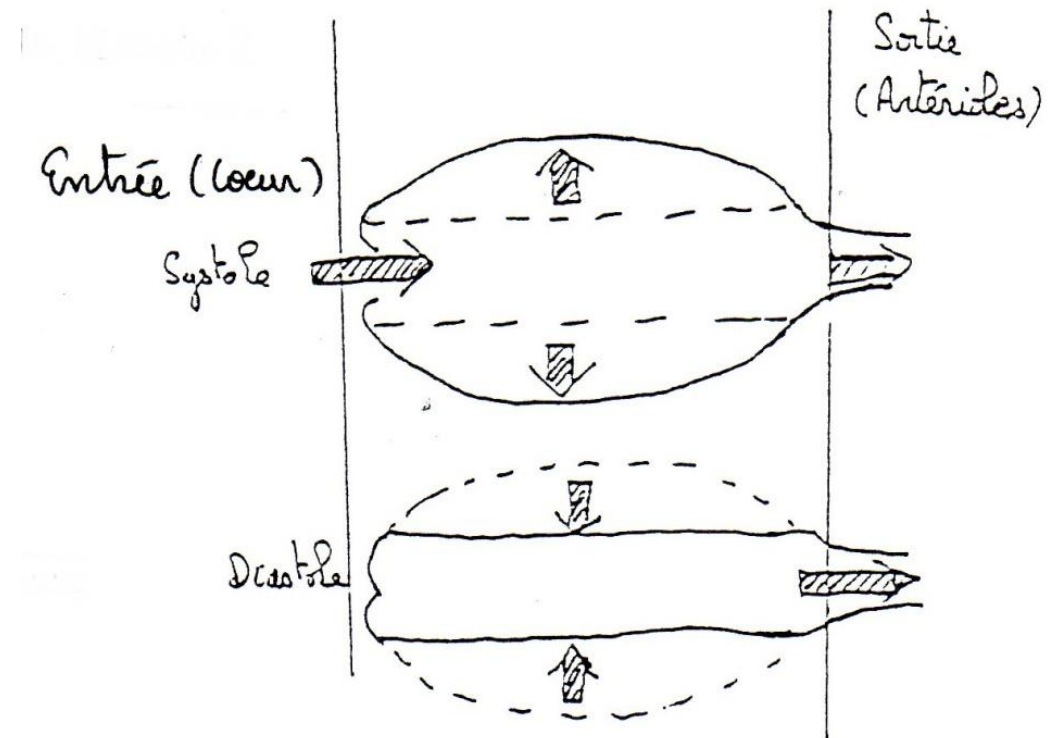
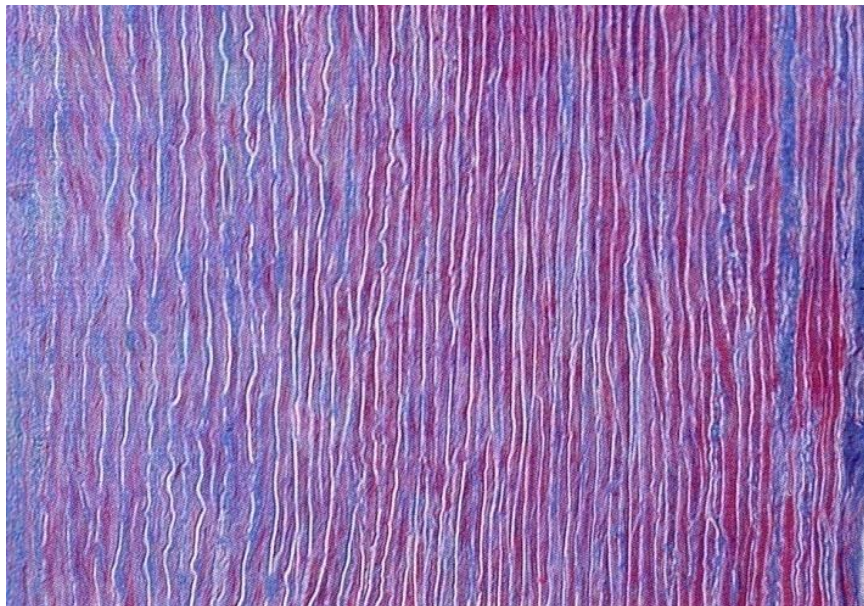
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Aorte : importance de l'élasticité dans la distribution du sang

Lames élastiques en rouge, fibres de collagène en bleu et lames élastiques blanchâtres



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

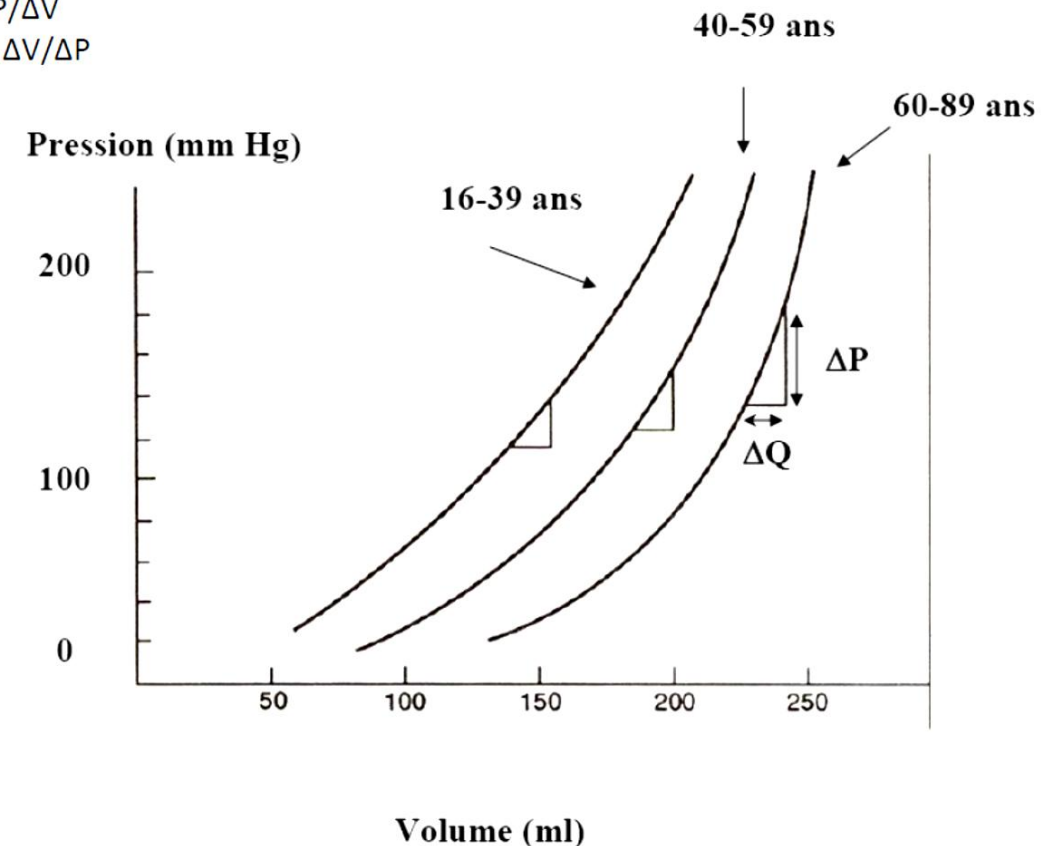
Notion de compliance artérielle

Élastance : $\Delta P / \Delta V$
Compliance : $\Delta V / \Delta P$

Compliance : degré de dilatation d'un vaisseau lorsque ce dernier est soumis à une pression. La compliance est proportionnelle au changement de volume du vaisseau et inversement proportionnelle à la pression nécessaire.

Compliance = Δ volume / Δ pression

La compliance varie en fonction de plusieurs paramètres, notamment l'âge



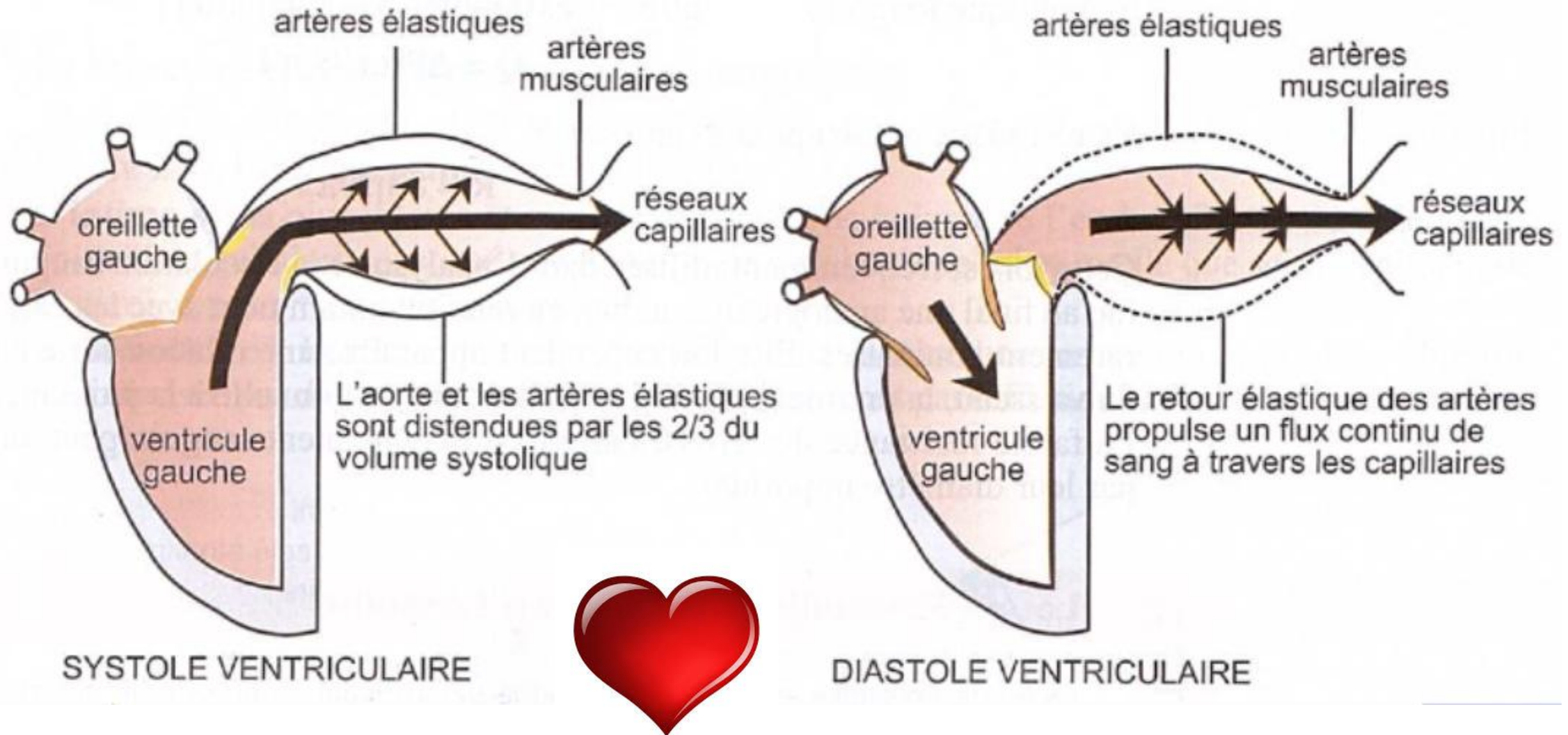
Relation pression-volume à différents âges

Les trois courbes obtenues expérimentalement ont des pentes différentes. La plus forte pente correspond à la tranche d'âge la plus élevée : pour une même variation de volume la variation de pression augmente avec l'âge = les fibres élastiques sont peu à peu remplacées par des fibres de collagène, élasticité diminuée

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

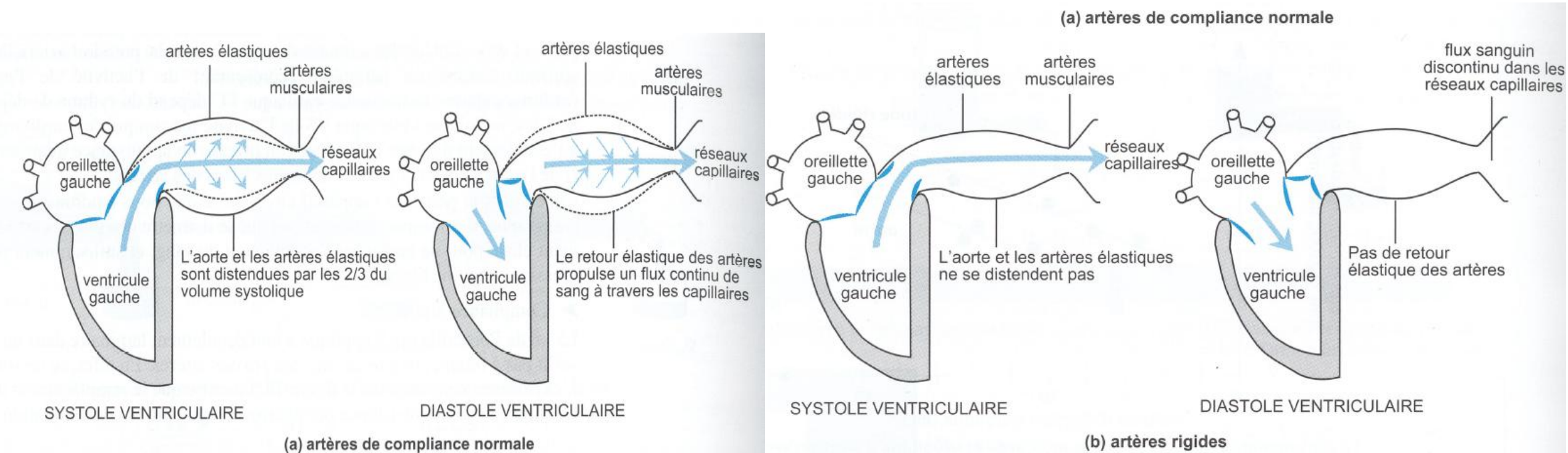


Figure 18.6 La compliance artérielle et la mise en circulation du sang.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Remarque : plaque d'athéromes

Sténose = rétrécissement artériel

Thrombus = caillot obstruant un vaisseau



Artère
Normale



Rétrécissement
(Sténose)



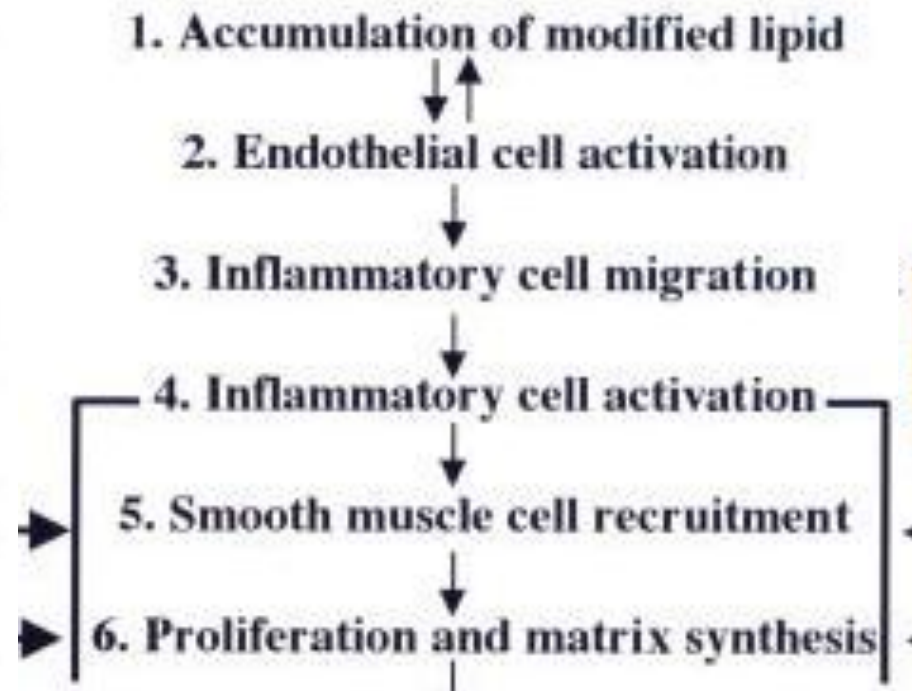
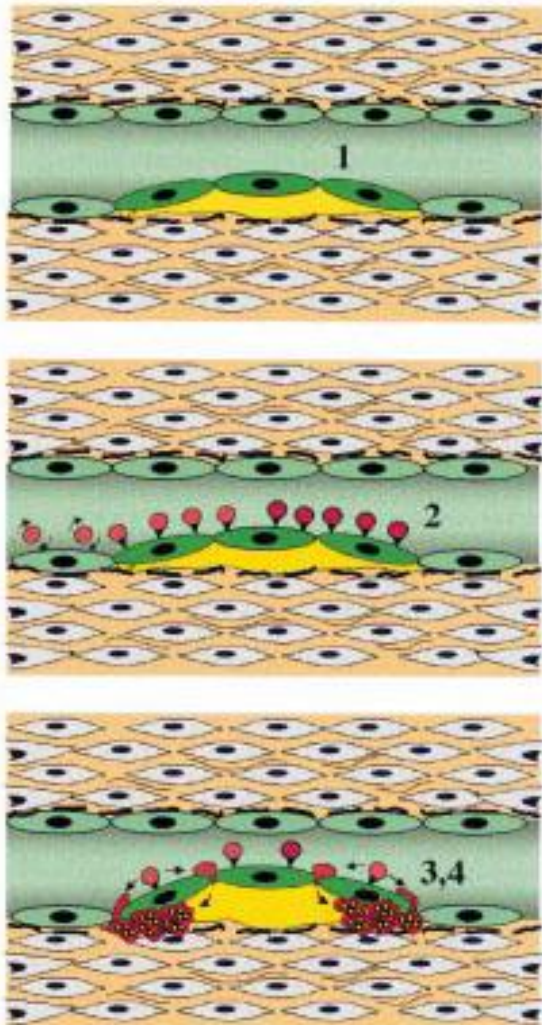
Occlusion
(thrombus en noir)

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

a. Les artères de gros diamètre, des vaisseaux élastiques facilitant l'écoulement du sang.

Plaque d'athérome



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

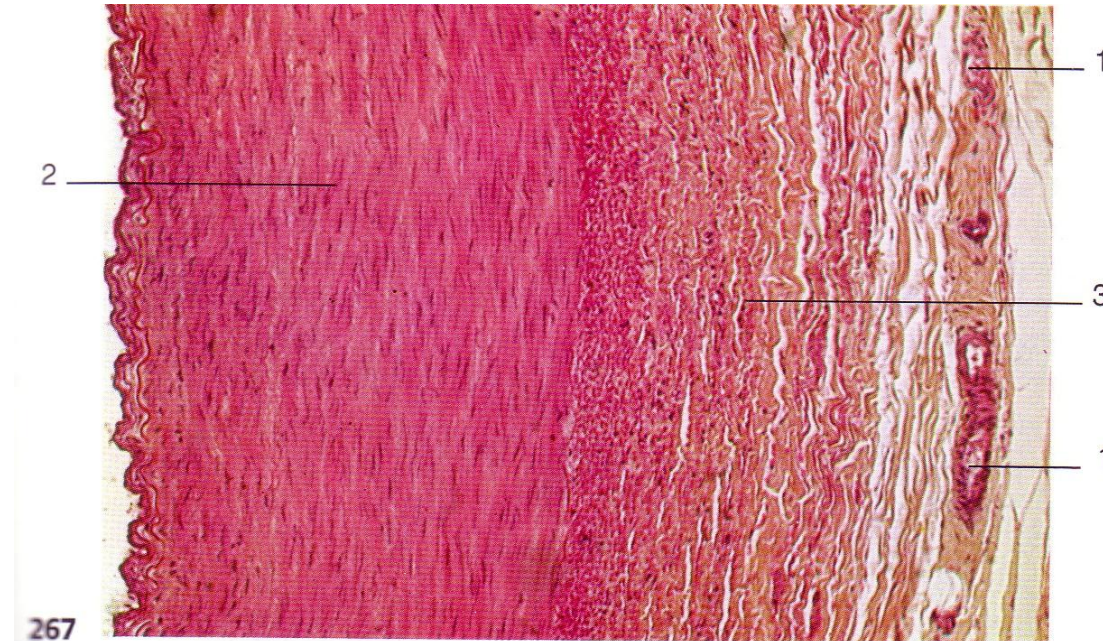
1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

- Organisation histologique

L'artère fémorale un exemple d'artère musculaire

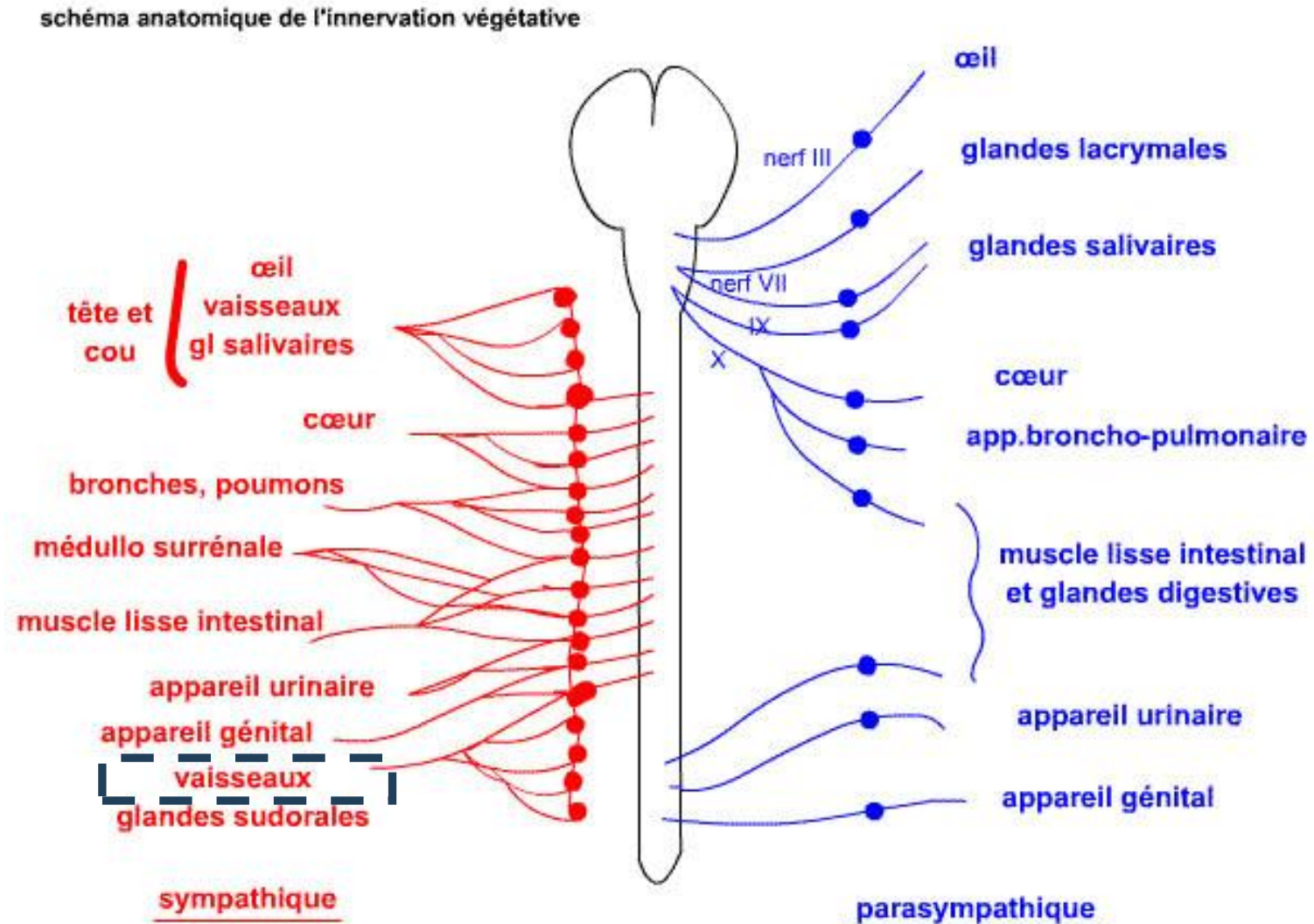
1 : vasa vasorum, 2 : média, 3 : adventice



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

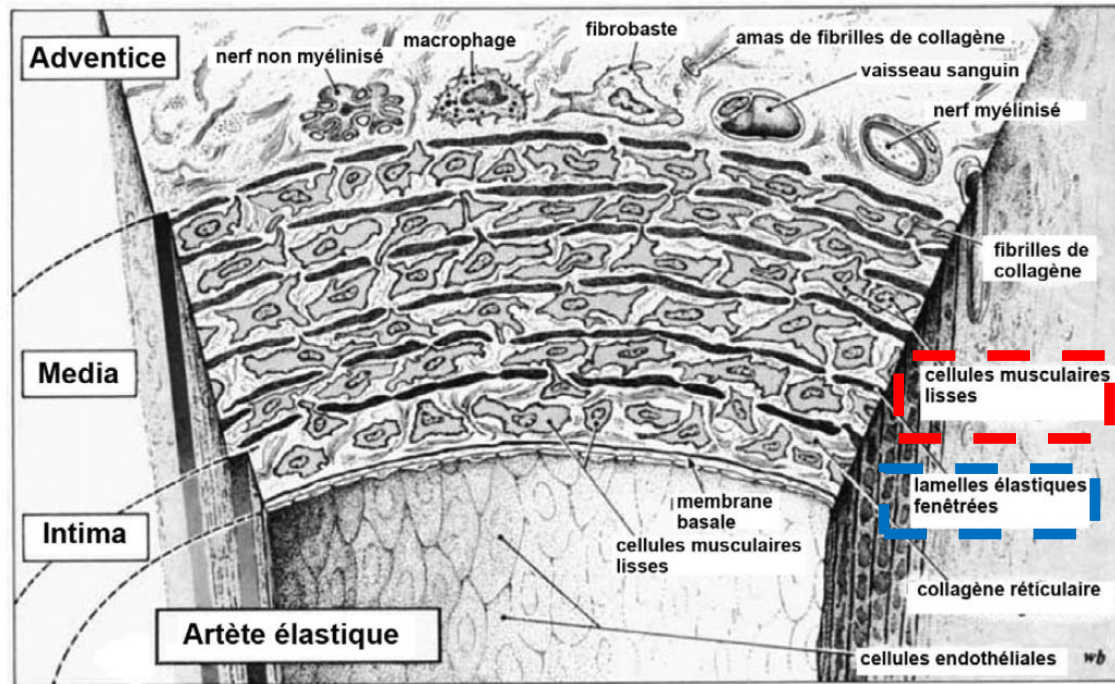
b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.



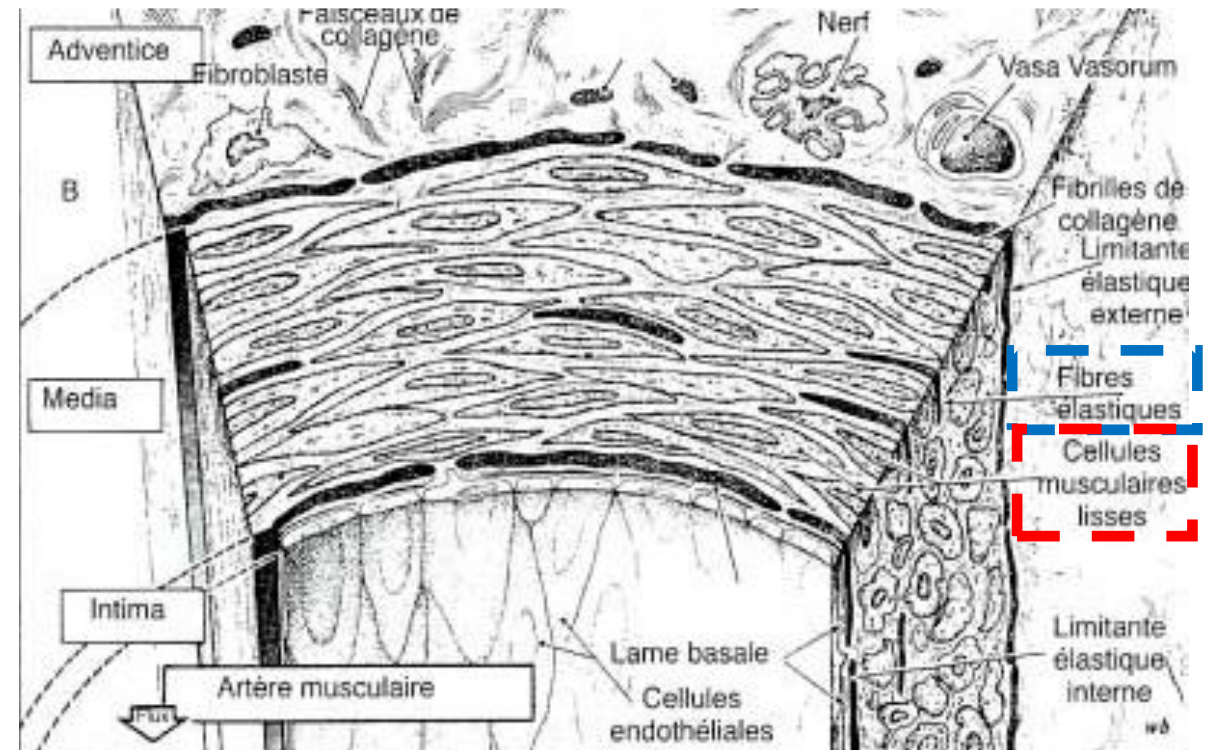
Les artères musculaires

Dites distributrices. Davantage de muscles lisses (variations de diamètre = vasodilatation et vasoconstriction), fibres d'élastine.

Les artérioles de 10 à 15 μm ne comportent qu'une couche de cellules musculaires qui forment les sphincters précapillaires

Les artères élastiques

Gros diamètre = faible résistance à l'écoulement qualifiées de conductrices. Forte élasticité perdue quand les artères deviennent rigides dans les cas d'artériosclérose.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

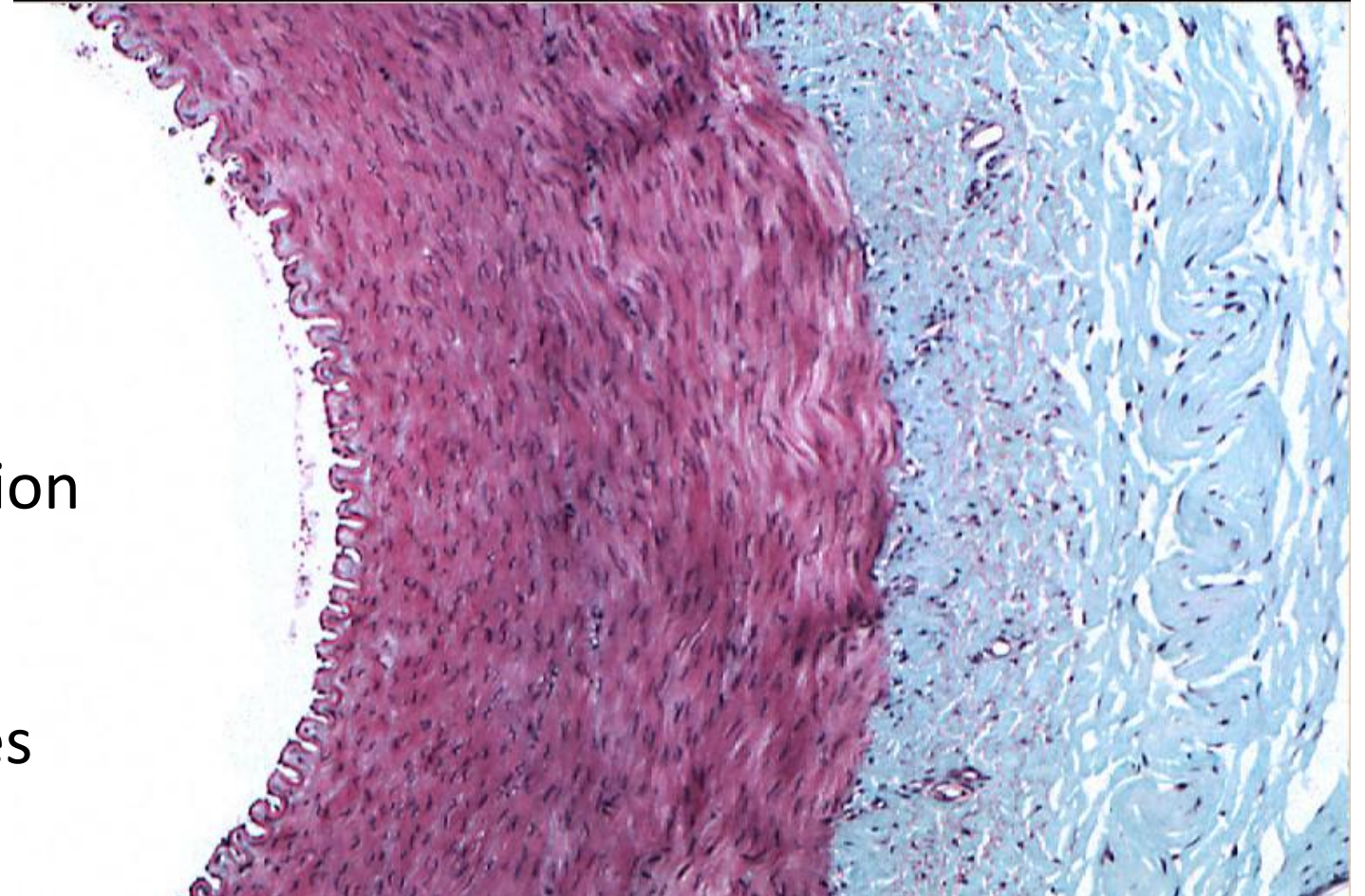
b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Artère musculaire

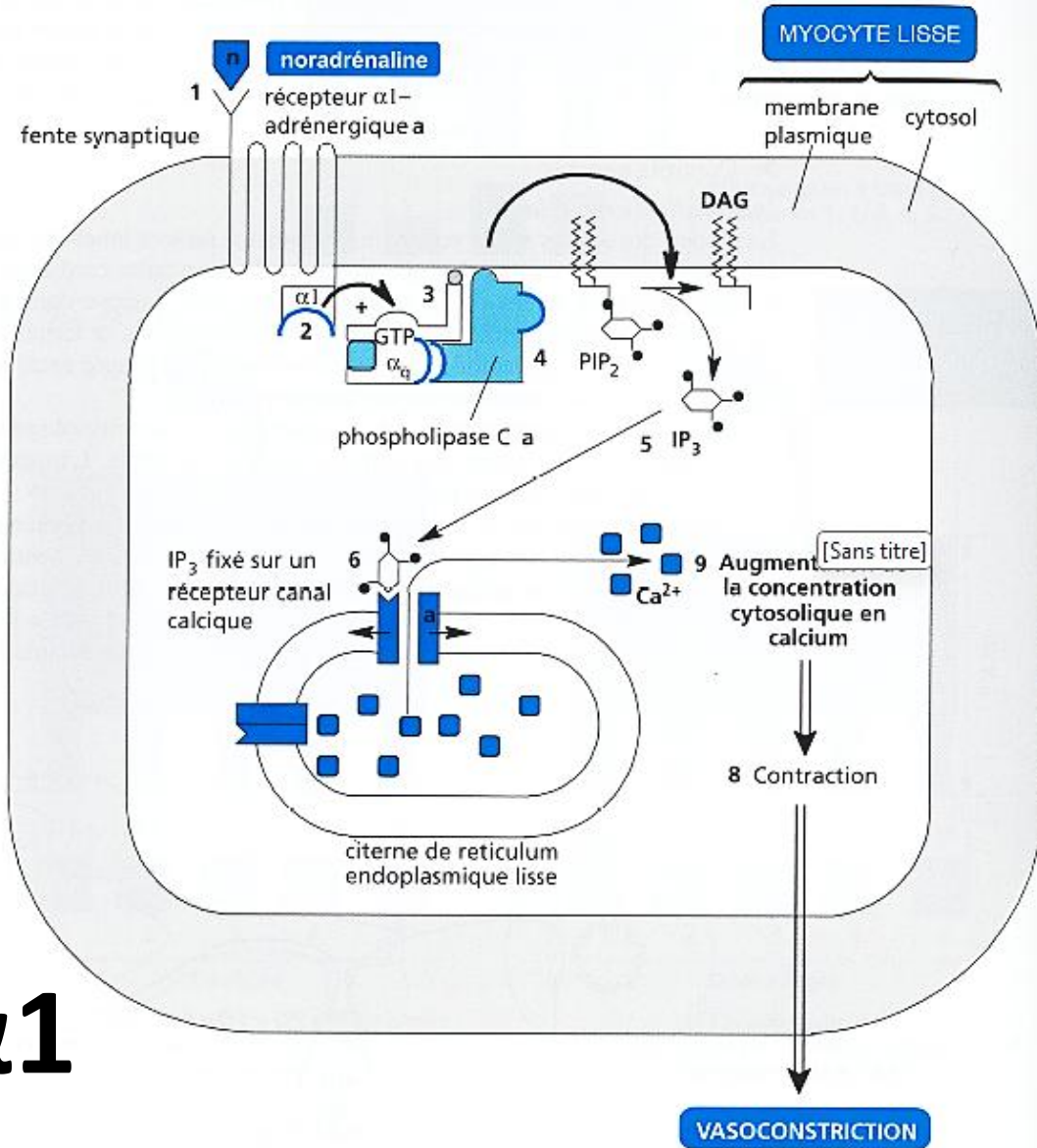
Beaucoup de cellules musculaires permettant un tonus important et une vasomotricité (vasoconstriction / vasodilatation) donc une régulation du diamètre.

Tonus de base = diamètre des artères aux repos

Détail de la paroi d'une artère musculaire



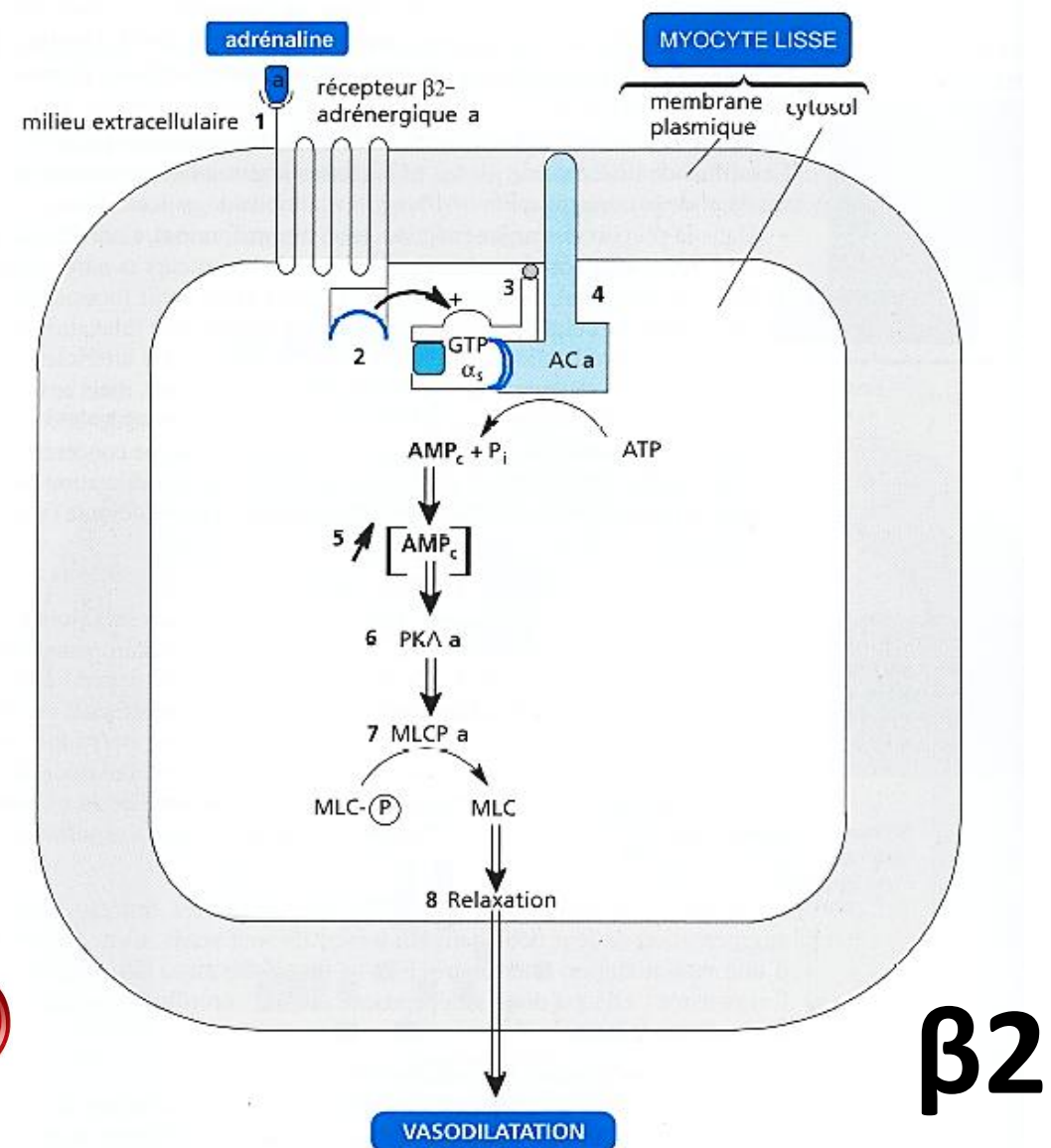
Source : <https://www.histology.be/atlas/HSH/HisSpe/HS-SCV-Art-003-0-b.htm>



α_1

$GTP \alpha_q$: sous-unité α de la protéine G_q
 a désigne les protéines activées
 PIP_2 : phosphatidyl inositol biphosphate
 IP_3 : inositol trisphosphate
 DAG: diacylglycérol

Figure 18.11 Mécanisme d'action de la noradrénaline sur les myocytes lisses de la média artériolaire.



β_2

$GTP \alpha_s$: sous-unité α de la protéine G_s
 a désigne les protéines activées
 (P) désigne les protéines phosphorylées
 AC: adénylyl cyclase
 PKA: protéine kinase A
 MLCP: phosphatase des chaînes légères de la myosine
 MLC: chaînes légères de la myosine

Figure 18.12 Mécanisme d'action de l'adrénaline sur les myocytes lisses des artérioles des muscles squelettiques et du cœur.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

- La pression artérielle et le débit vasculaire.

Mesure de la pression artérielle (lien avec TP).

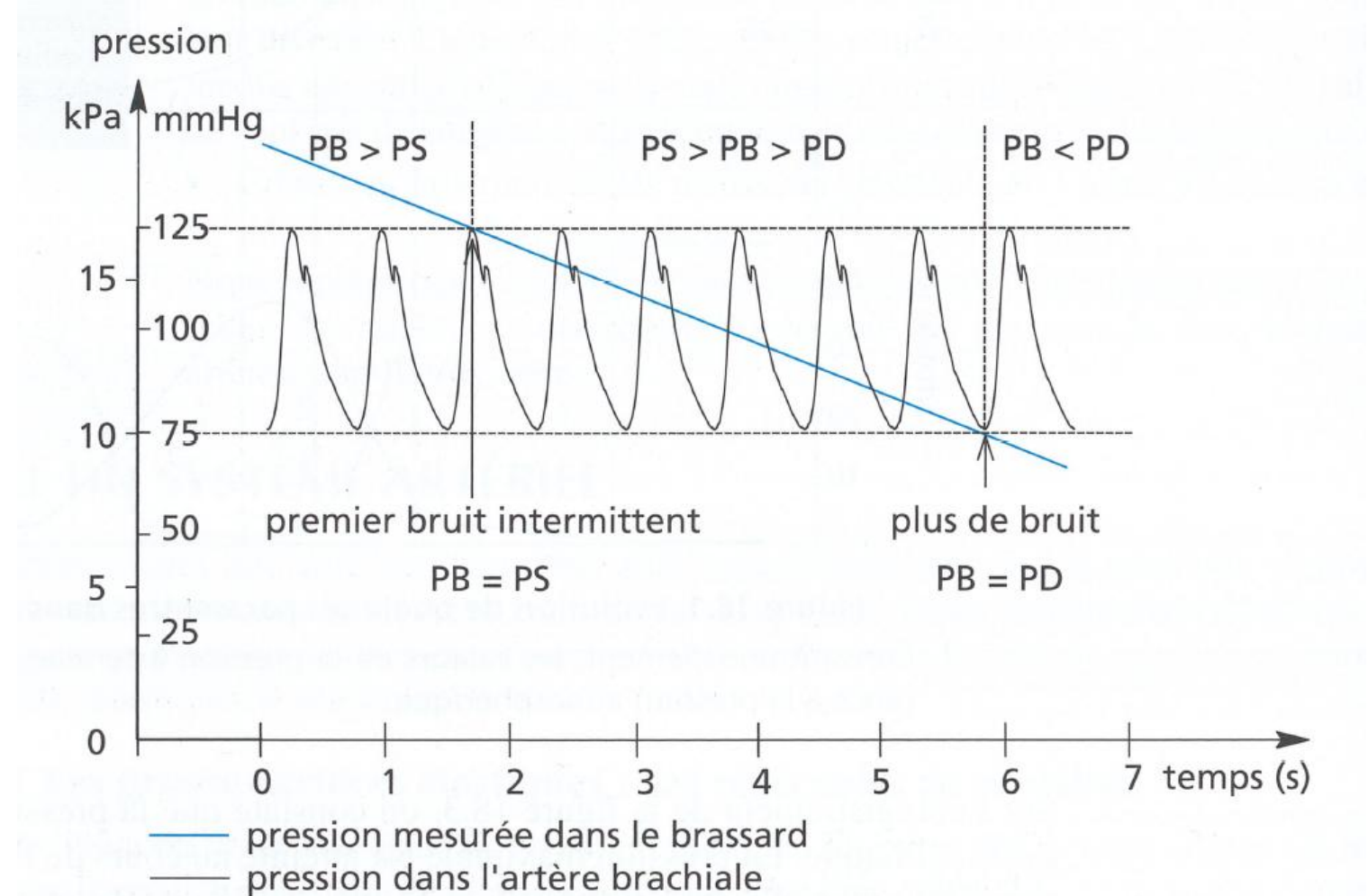
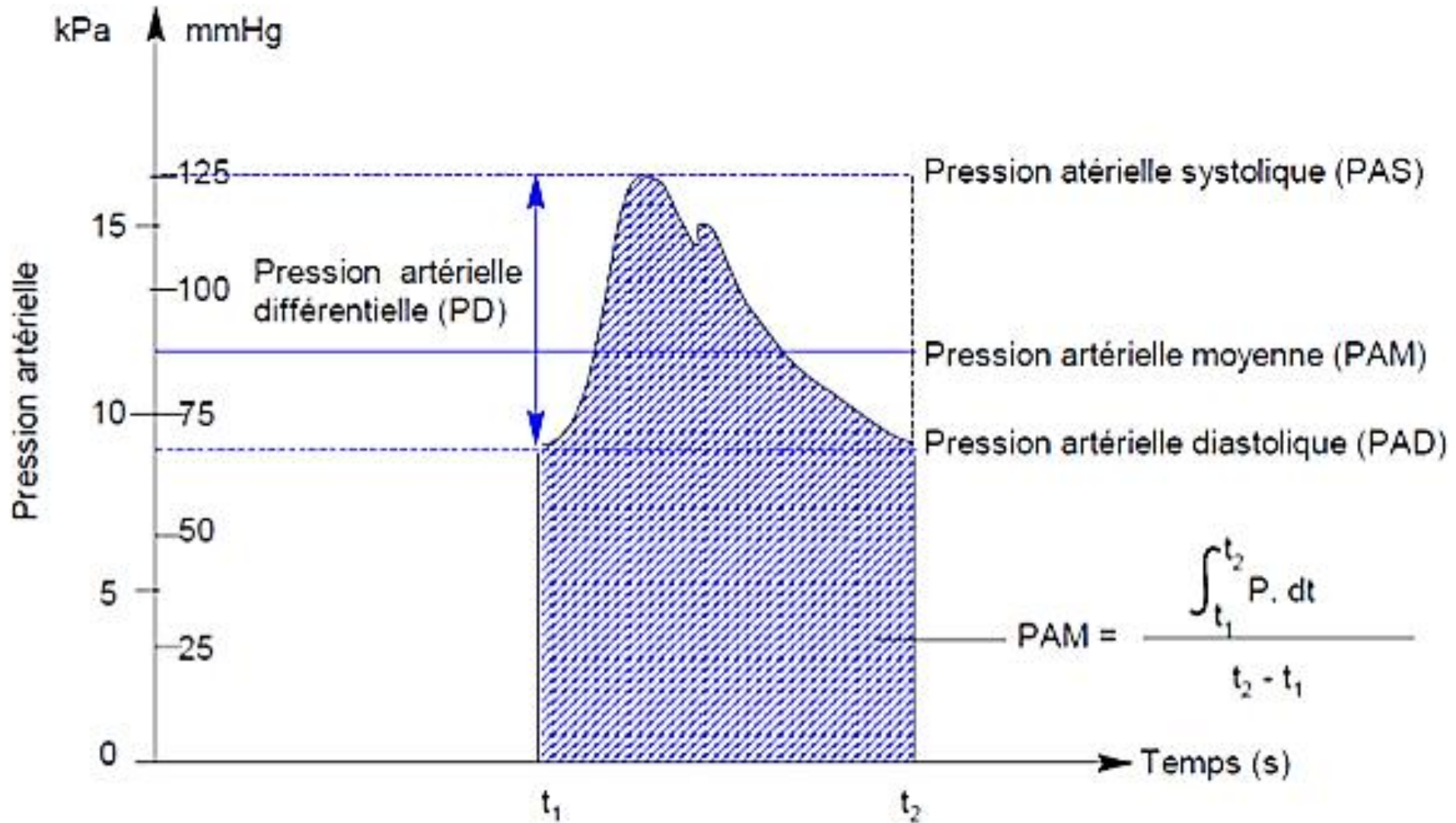


Figure 18.2 Mesure de la pression artérielle à l'aide d'un sphygmomanomètre.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

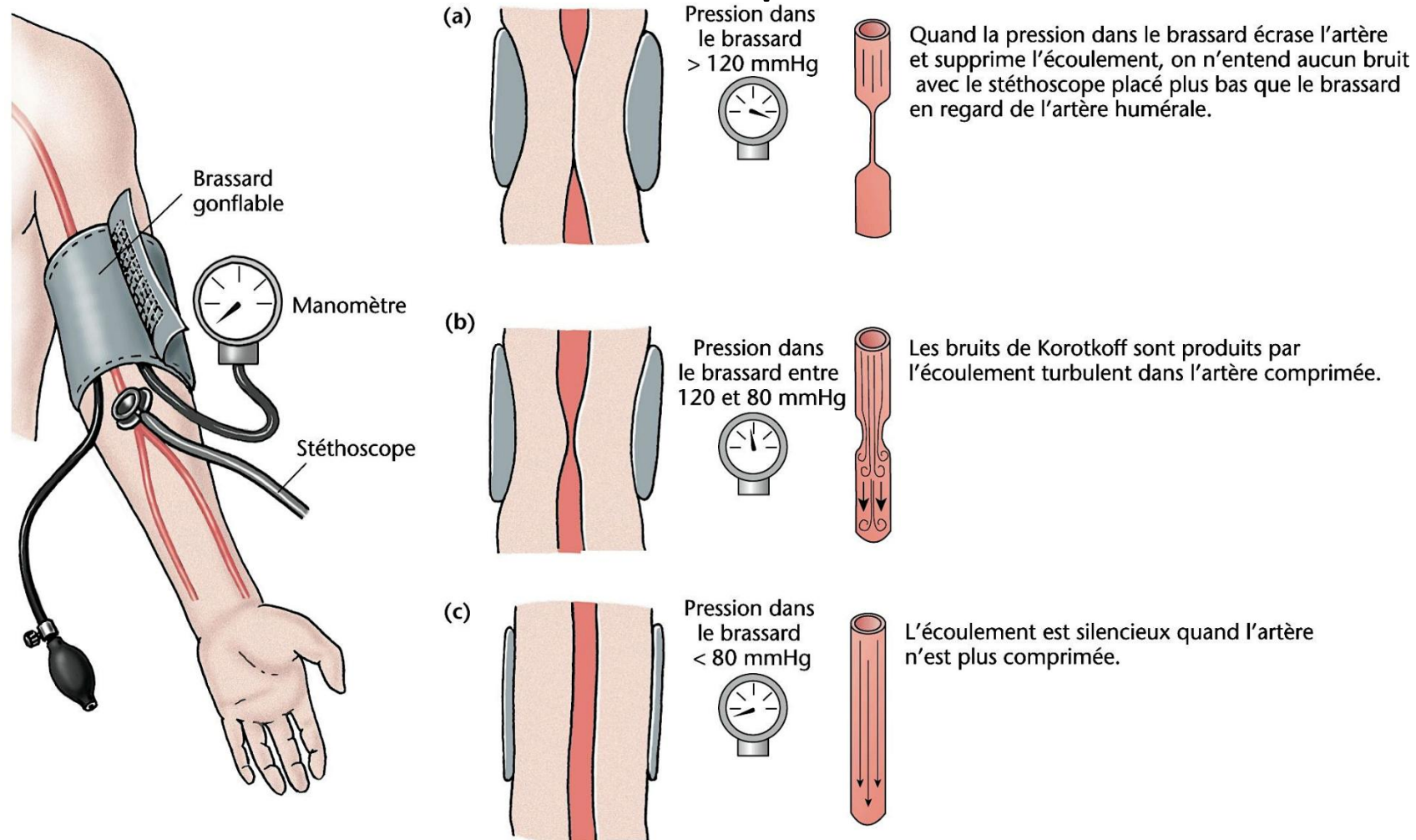


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Tensiomètre et stéthoscope



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Mesure de la pression artérielle

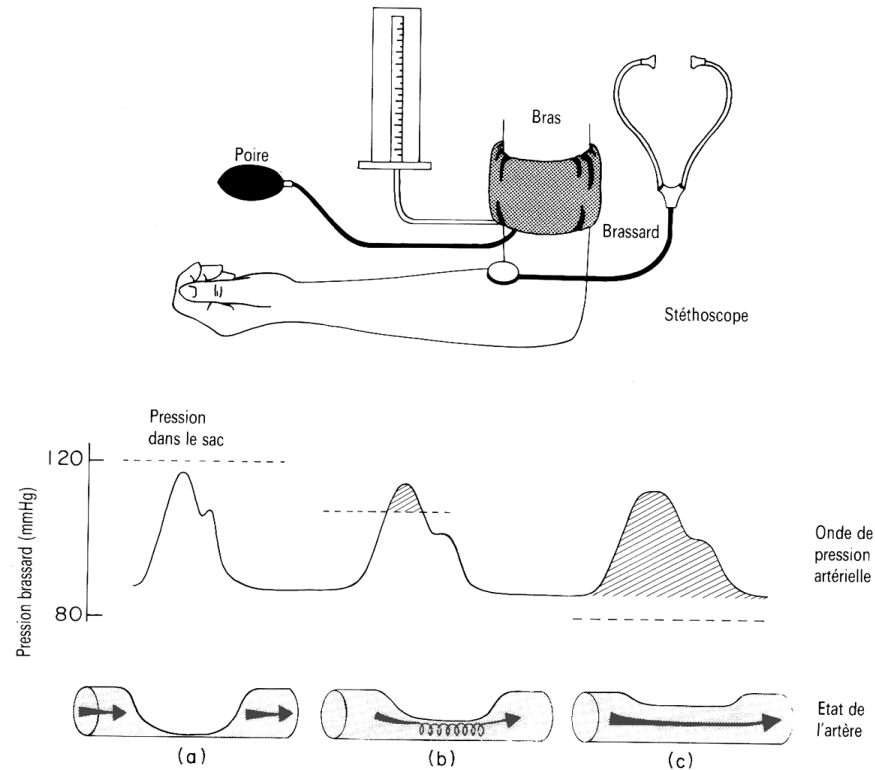


Fig. 5.23. La méthode sphygmomanométrique de mesure de la pression artérielle. Un manchon est appliqué sur le bras ; ce manchon contient un sac en caoutchouc relié à un manomètre à mercure et pouvant être gonflé à l'aide d'une poire. Le sac recouvre l'artère brachiale et la comprime quand il est gonflé. Lorsqu'il est gonflé au-dessus de la pression systolique (a), il arrête complètement le flux sanguin et l'on ne sent aucun pouls au poignet ou au pli du coude ; s'il est gonflé juste en dessous de la pression systolique, une petite quantité de sang (à forte vitesse) passe à chaque systole à travers cette résistance imposée ; ce flux est turbulent et peut donc être entendu au stéthoscope (b). Quand la pression continue à descendre, le temps de passage du sang et donc la turbulence durent plus longtemps jusqu'à ce que la pression passe en dessous de la diastolique (c) ; dans ces conditions, le vaisseau n'est fermé à aucun moment pendant le cycle et il n'y a plus d'écoulement turbulent donc plus de bruit au stéthoscope. La pression diastolique est la pression mesurée soit lorsque le son lié à la turbulence s'assourdit (juste avant le silence) soit lorsqu'on ne perçoit plus la turbulence — et le son.

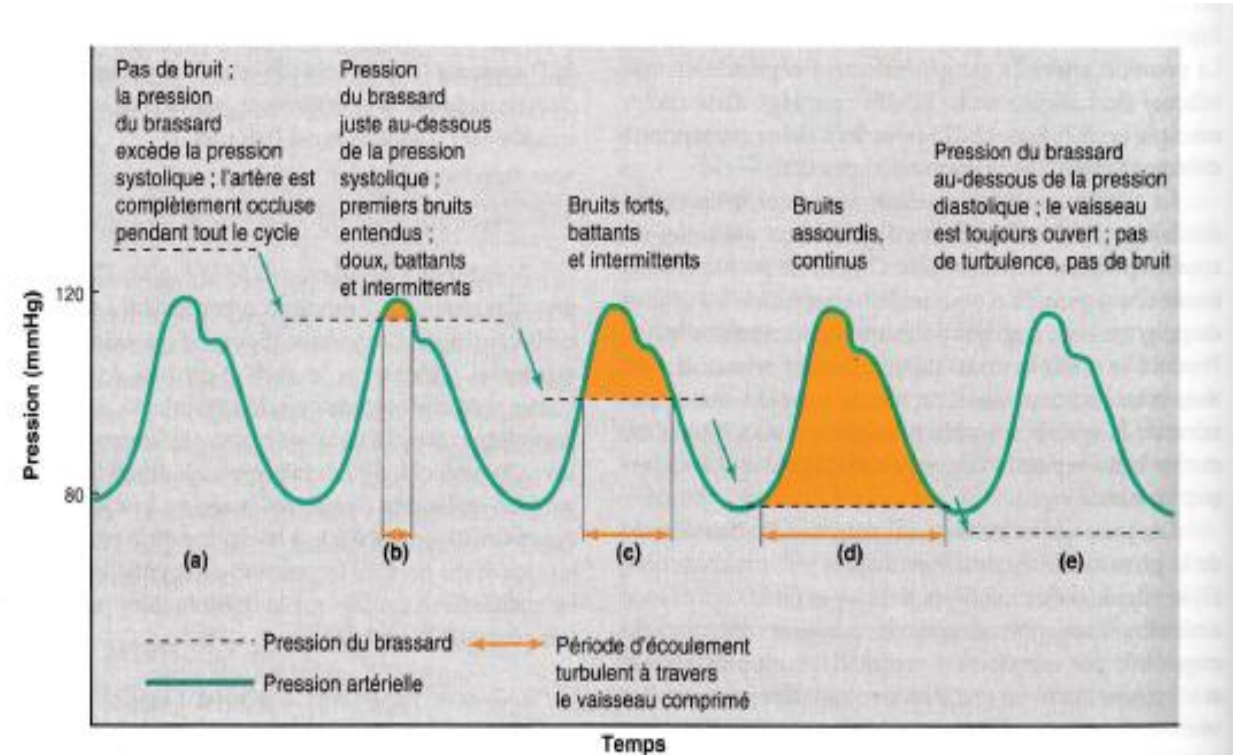


FIGURE 12-32

Bruits du cœur entendus par un stéthoscope lorsque l'on abaisse progressivement la pression du brassard d'un sphygmomanomètre. Les bruits sont d'abord entendus à la pression systolique, puis disparaissent à la pression diastolique.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Pression systolique, pression diastolique

Valeur classique au repos :

- Pression systolique :

13 cm Hg soit $130 * 0,1333$
= 17 kPa environ ;

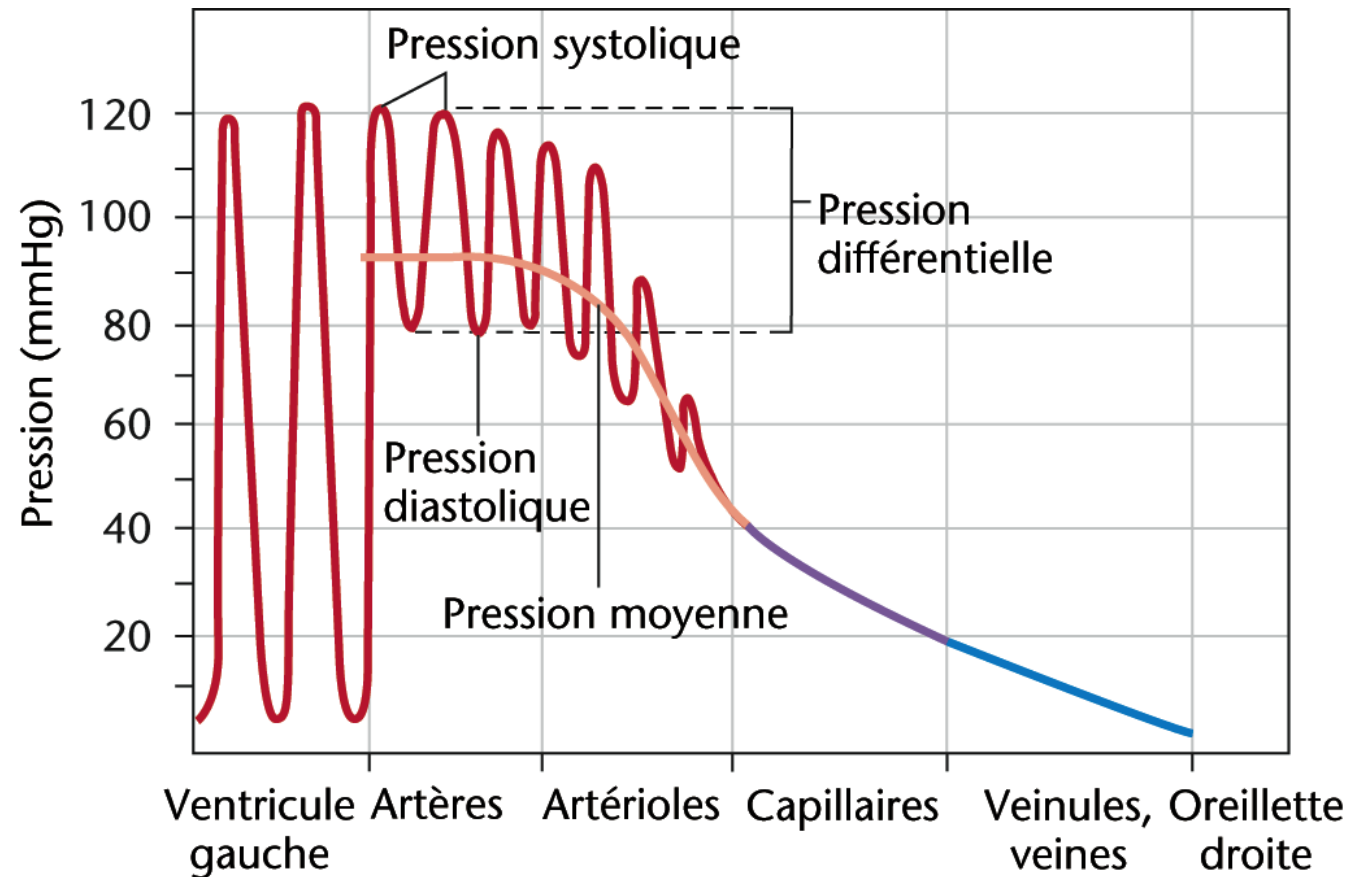
- Pression diastolique :

7 cm Hg soit $70 * 0,1333$
= 9 kPa ;

- Pression moyenne :

Formule empirique.

$$P_{am} = (PS + 2PD) / 3$$



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Les contraintes physiques et les conditions de la circulation sanguine : l'hémodynamisme, utilisation de la loi de Poiseuille.



Loi de Poiseuille (1840) : relation rayon
du vaisseau et résistance à l'écoulement

Application de la loi d'Ohm à l'hydraulique :

$$\Delta P = Q.R$$

$$\text{d'où } Q \text{ (débit vasculaire)} = \Delta P / R.$$

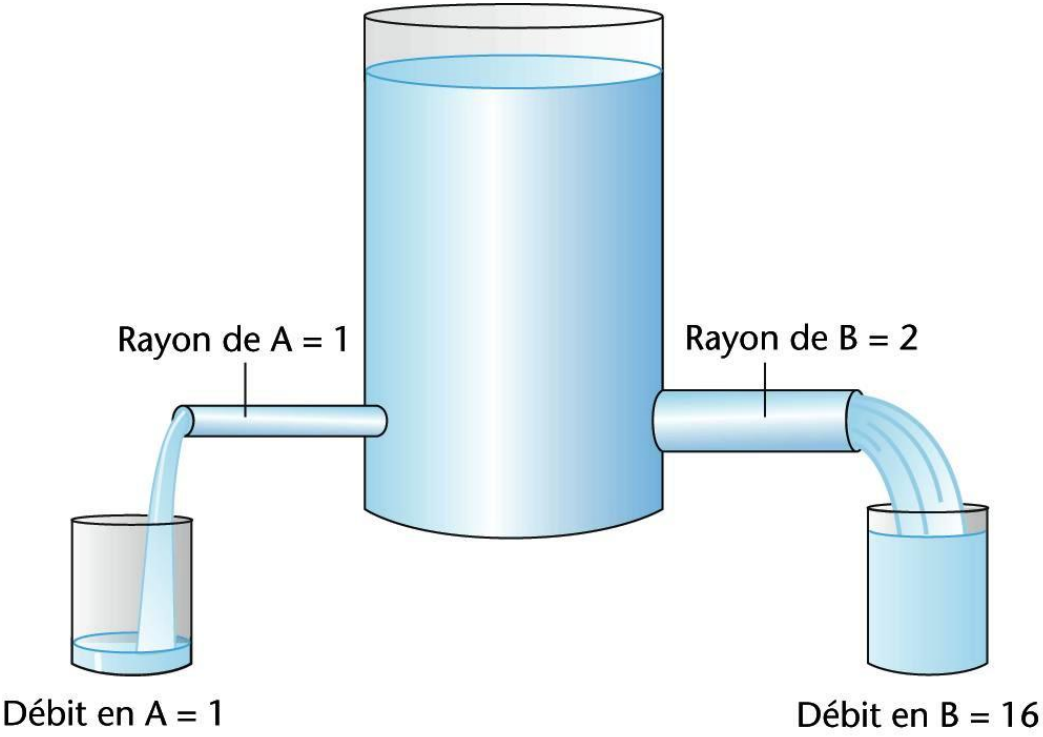
Avec Q = débit

et R = résistance à l'écoulement

Donc si R modifiée, le débit varie

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.



Résistance $\propto \frac{1}{\text{Rayon}^4}$	
Tube A	Tube B
$R \propto \frac{1}{1^4}$	$R \propto \frac{1}{2^4}$
$R \propto 1$	$R \propto \frac{1}{16}$

Débit $\propto \frac{1}{\text{Résistance}}$	
Tube A	Tube B
Débit $\propto \frac{1}{1}$	Débit $\propto \frac{1}{\frac{1}{16}}$
Débit $\propto 1$	Débit $\propto 16$

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Loi de Poiseuille application à la PAM

$$PAM = DC * RPT$$

avec RPT résistance périphérique totale = $8.\eta.L / \pi.r^4$

Où : η = **viscosité**, L = **longueur**, r : **rayon**

η et L peuvent être assimilés à des constantes d'où PAM est fonction de la FC et du VES qui déterminent le DC, et **du rayon des artères** :

Si $r' = \frac{1}{2} r$, alors $R' = 16 R$

⇒ Une faible variation du diamètre d'un vaisseau modifiera fortement la pression et donc le débit sanguin.

Vasodilatation générale : pression artérielle diminue

Vasoconstriction générale : pression artérielle augmente

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.

Important : connaitre quelques valeurs de pression artérielle

Effet de l'âge

Différence Homme / Femme

Mais aussi d'autres facteurs

Génotype

Alimentation (sodium)

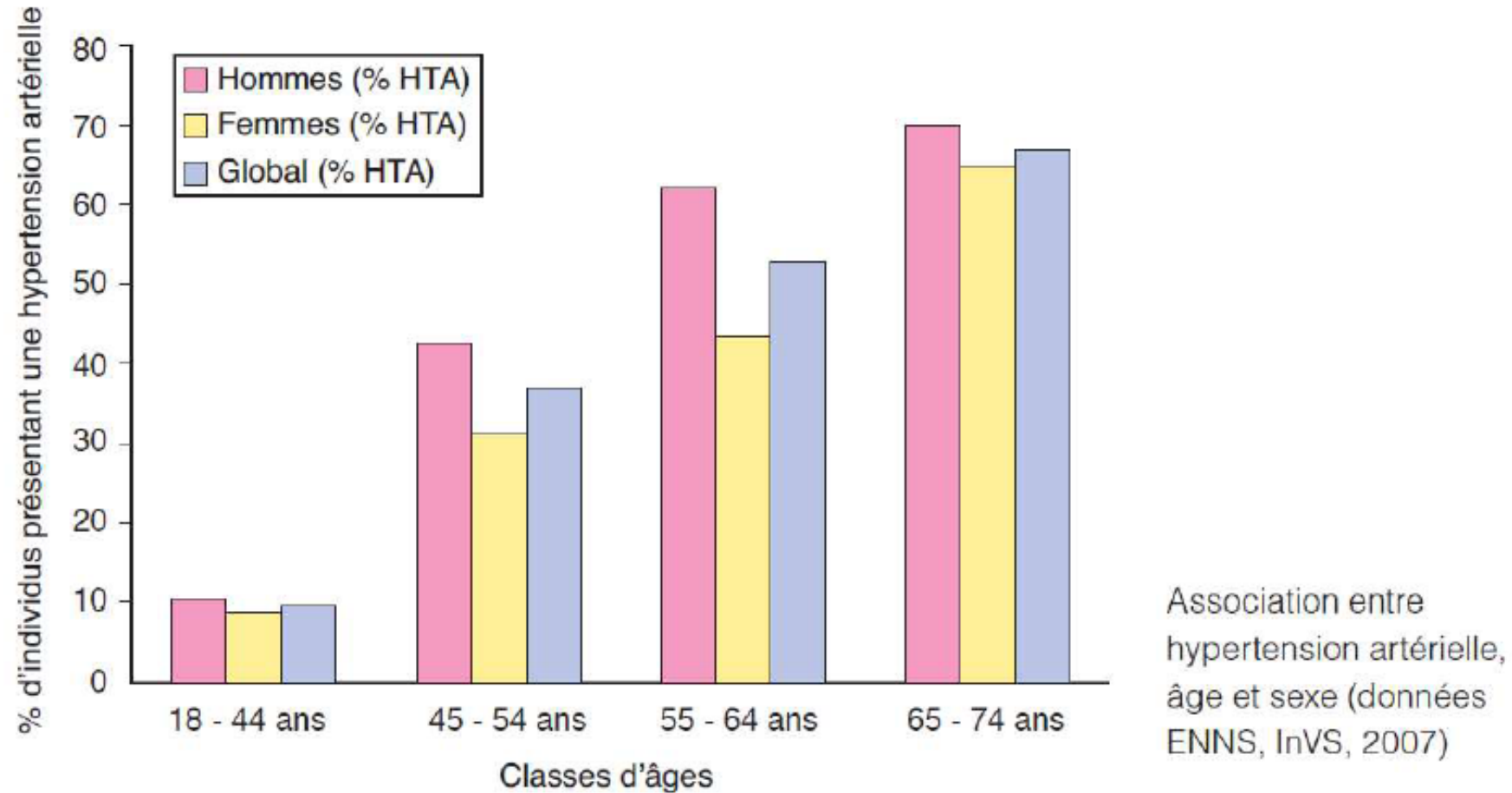
Tableau 1 • Pressions artérielles systolique et diastolique moyennes chez les 18-74 ans (en mmHg)			
	Hommes	Femmes	Ensemble
Pression artérielle systolique moyenne	128,7	118,5	123,6
18-34 ans	118,2	107,7	113,1
35-44 ans	124,3	112,4	118,4
45-54 ans	131,9	119,7	125,9
55-64 ans	136,5	126,2	131,4
65-74 ans	142,5	135,9	139,0
Pression artérielle diastolique moyenne	79,3	76,2	77,8
18-34 ans	70,2	70,3	70,2
35-44 ans	79,6	75,0	77,3
45-54 ans	83,6	78,6	81,1
55-64 ans	84,9	79,3	82,2
65-74 ans	82,7	80,6	81,6

Champ : France métropolitaine, population générale adulte (18-74 ans).
Sources : Étude nationale nutrition santé (ENNS), 2006-2007.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre contrôle la distribution vers les organes.



Influence de l'âge et du sexe sur l'hypertension.

D'après CALVINO (2003).

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

b. Le tonus des artères musculaires de moyen diamètre

Des formes d’HTA sont héréditaires.

Souvent causés par des mutations de gènes impliqués dans la régulation de l’équilibre hydrosodé.

Hypertension artérielle	Mode de transmission	Gène	Mutations et conséquences fonctionnelles	Phénotype
Hyperaldostéronisme de type 1 (glucocorticoid remedial aldosteronism)	Autosomique dominante	Fusion de <i>CYP11b1</i> et <i>CYP11b2</i>	Gène chimérique sous contrôle d'ACTH	Hypertension, hypokaliémie, hyperaldostéronisme, PRA ↓, 18-hydroxycortisol ↑
Hyperaldostéronisme de type 2	Autosomique dominante	Locus chromosome 7p22	Surproduction d'aldostérone dans glandes surrénaliennes	Hypertension, hypokaliémie, hyperaldostéronisme, PRA ↓, hyperplasie/adénome glandes surrénaliennes
Syndrome de Liddle	Autosomique dominante	<i>SCNN1B</i> <i>SCNN1G</i>	Activation constitutive d'ENaC (canal sodique épithéliale dans le tube distal/collecteur)	Hypertension, hypokaliémie, hypoaldostéronisme, PRA ↓
Hyperplasie congénitale surrénalienne	Autosomique récessive	<i>CYP11B1</i>	Déficit de l'enzyme 11β hydroxylase	Hypertension, hypokaliémie, hypoaldostéronisme, PRA ↓, déoxycortisone ↑
Déficit de 11β-OH stéroïd déhydrogénase type 2 (apparent mineralocorticoid excess)	Autosomique récessive	<i>HSD11B1</i>	Déficit de désactivation de cortisol	Hypertension, hypokaliémie, hypoaldostéronisme, PRA ↓
Pseudohypoaldostéronisme type II (syndrome de Gordon)	Autosomique dominante	<i>WNK1</i> <i>WNK4</i>	Activation constitutive du cotransporteur Na/Cl dans le tube distale	Hypertension, hyperkaliémie, hypoaldostéronisme, PRA ↓, acidose métabolique
Mutations de récepteur PPAR-γ	Autosomique dominante	<i>PPARG</i>	Loss-of-function mutation du récepteur	Hypertension, résistance à l'insuline, diabète
Syndrome d'hypertension artérielle, hypercholestérolémie, hypomagnésémie	Mitochondriale	Non identifié	Transmission maternelle d'une mutation causant une substitution de cytidine dans les ARNt mitochondriaux	Hypertension, hypercholestérolémie, hypomagnésémie
Hypotension artérielle				
Syndrome de Bartter (types 1-5)	Autosomique récessive	<i>SLC12A1</i> (1), <i>KCNJ1</i> (2), <i>CLCNKA</i> (3), <i>BSND</i> (4), <i>CASR</i> (5)	Désactivation du cotransporteur Na-K-2Cl de l'anse d'Henle	Hypotension, hypokaliémie, hyperaldostéronisme, PRA ↑, polyurie, alkalose métabolique, hypercalciurie
Syndrome de Gitelman	Autosomique récessive	<i>SLC12A3</i>	Désactivation du cotransporteur Na/Cl du tube distal	Hypotension, hypokaliémie, hyperaldostéronisme, PRA ↑, hypocalciurie, hypomagnésémie
Pseudohypoaldostéronisme type I	Autosomique récessive	<i>SCNN1A</i> , <i>SCNN1B</i> , <i>SCNN1G</i>	Perte de fonction d'ENaC	Hypotension, hyperkaliémie, hyperaldostéronisme, hypovolémie, transpiration excessive

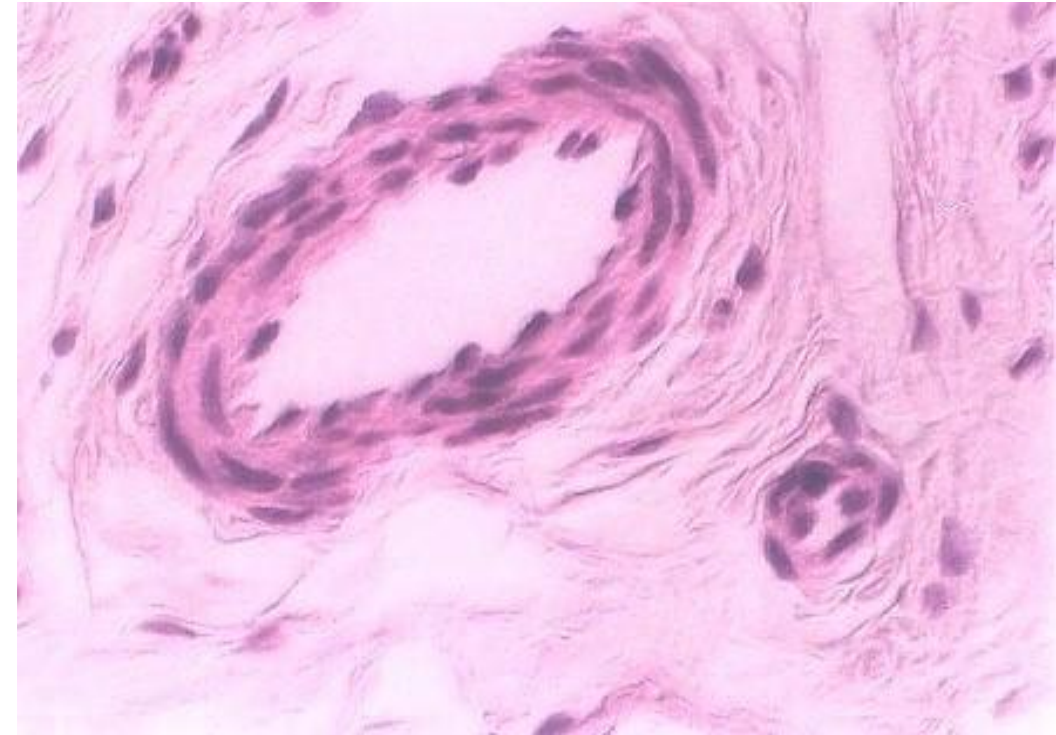
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

c. Les artérioles : vasomotricité intrinsèque et extrinsèque.

Diamètre est très faible (jusqu'à 30 μm environ), mais la surface couverte est importante car elles sont nombreuses.

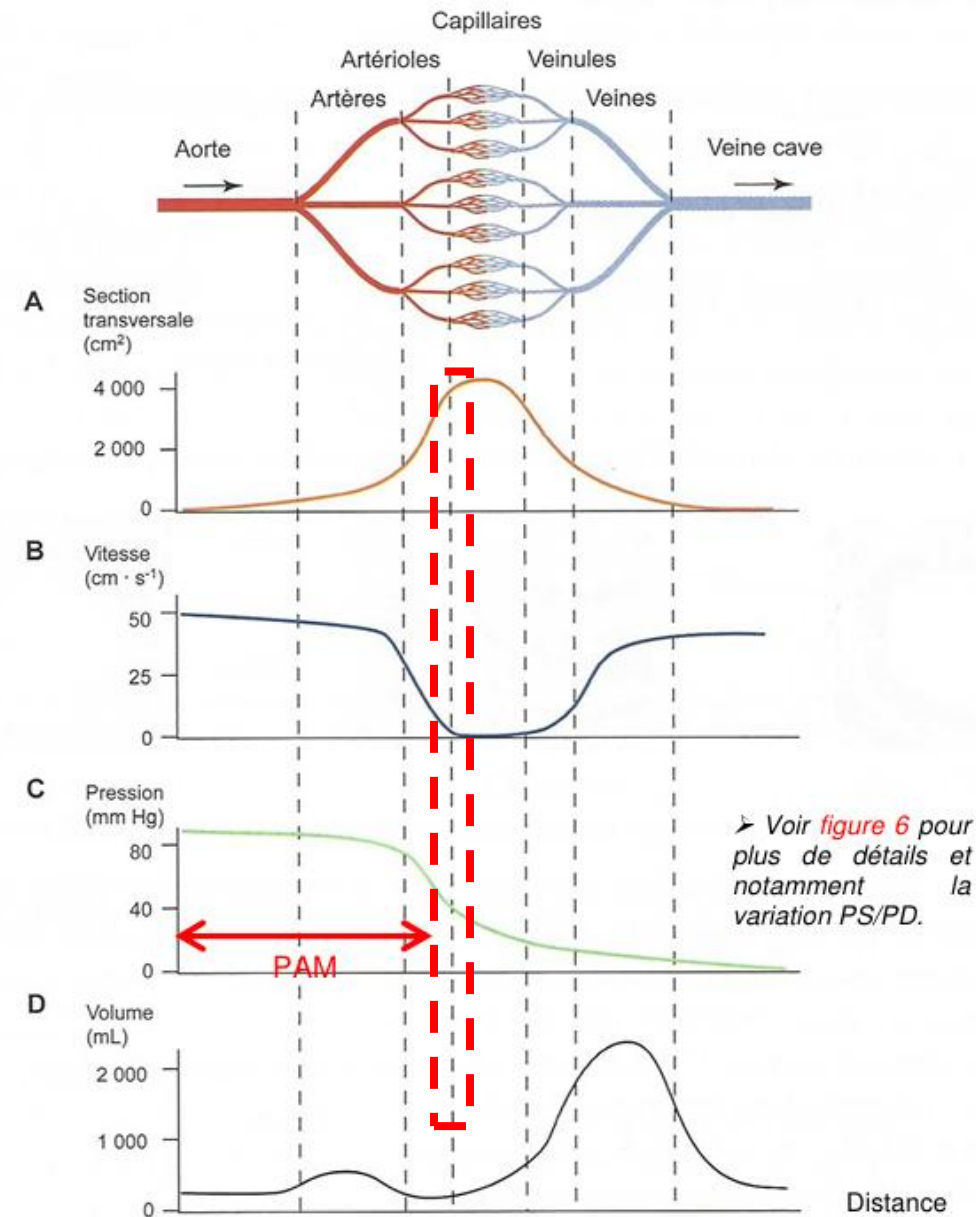
Innervées par le système orthosympathique. Certaines cellules de la média peuvent avoir une activité autonome, de type pace maker.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.2. Les artères sont des vaisseaux qui distribuent le sang vers les organes

c. Les artérioles : vasomotricité intrinsèque et extrinsèque.

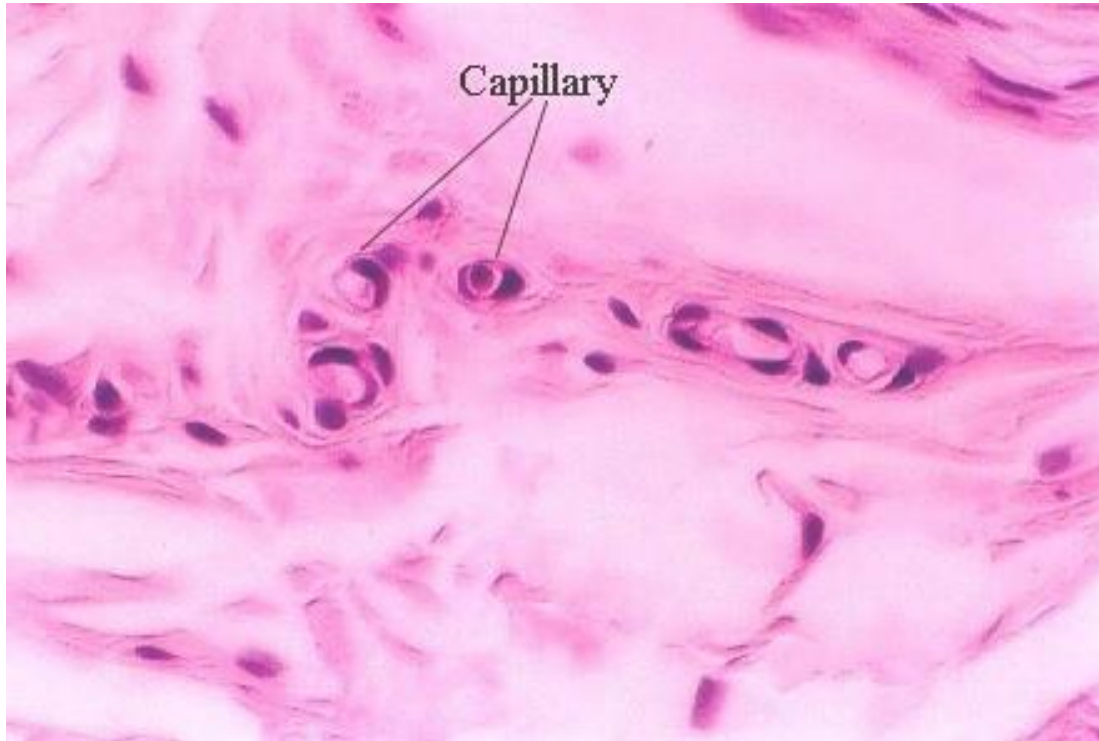


La distribution des surfaces de section (A), des vitesses du flux (B), des pressions (C), et des volumes (D) dans les différentes sections de l'appareil vasculaire systémique

Évolution des paramètres circulatoires en fonction des différents secteurs vasculaires. D'après RICHARD *et al.* (2015).

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.



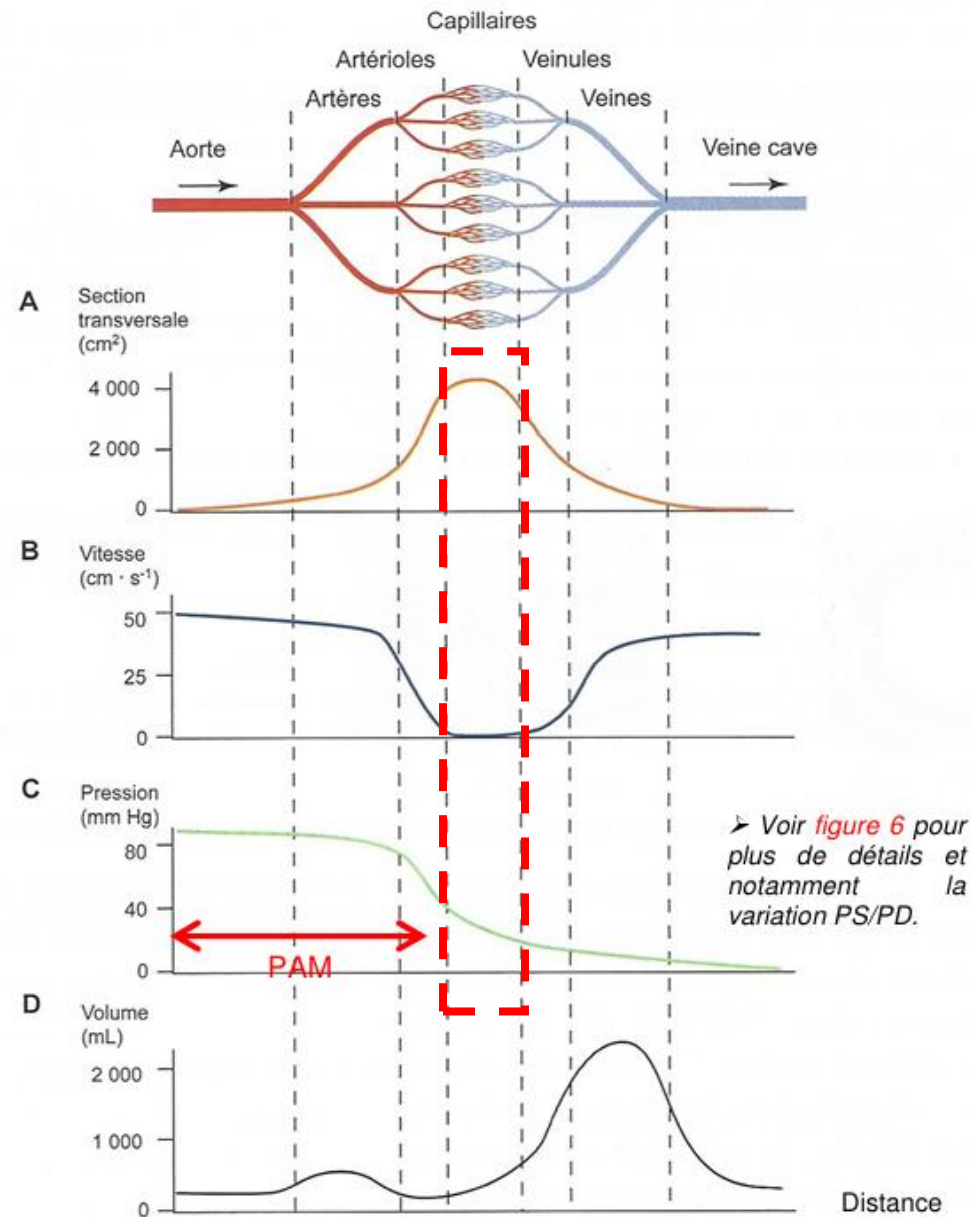
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.

$$\text{Vitesse} = D/A$$

A = aire de la section transversale



La distribution des surfaces de section (A), des vitesses du flux (B), des pressions (C), et des volumes (D) dans les différentes sections de l'appareil vasculaire systémique

Évolution des paramètres circulatoires en fonction des différents secteurs vasculaires. D'après RICHARD *et al.* (2015).

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.

Rappel TP Muscle

Capillaire dans un muscle squelettique



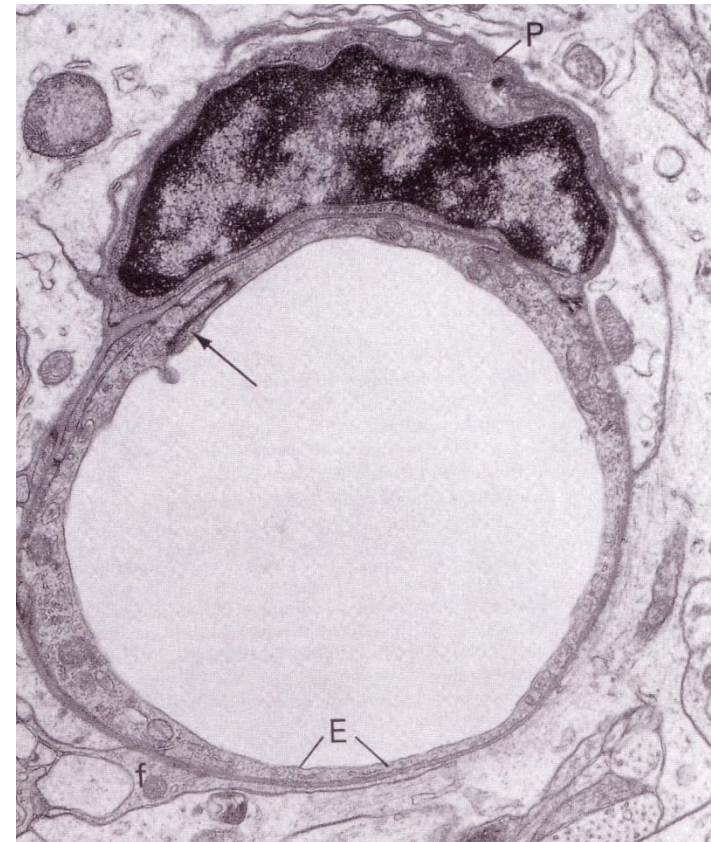
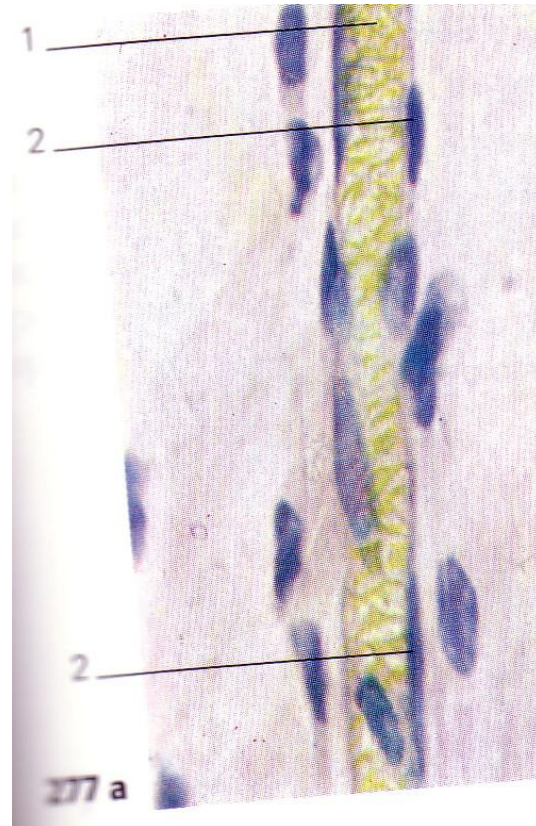
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.

CL (MO) et CT (MET)

1 : hématies, 2 : noyau d'une cellule endothéliale

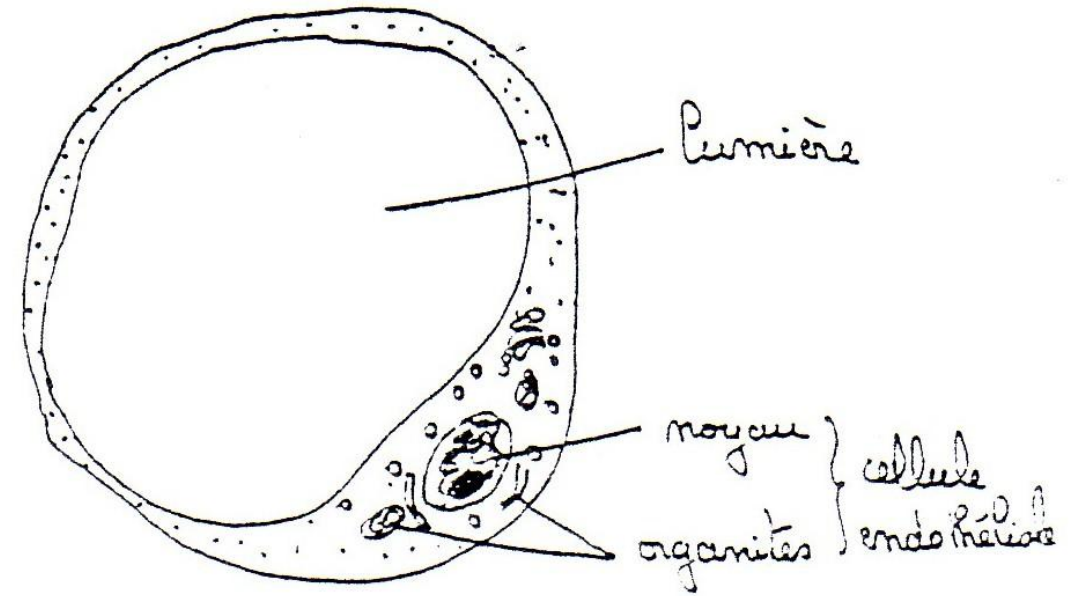
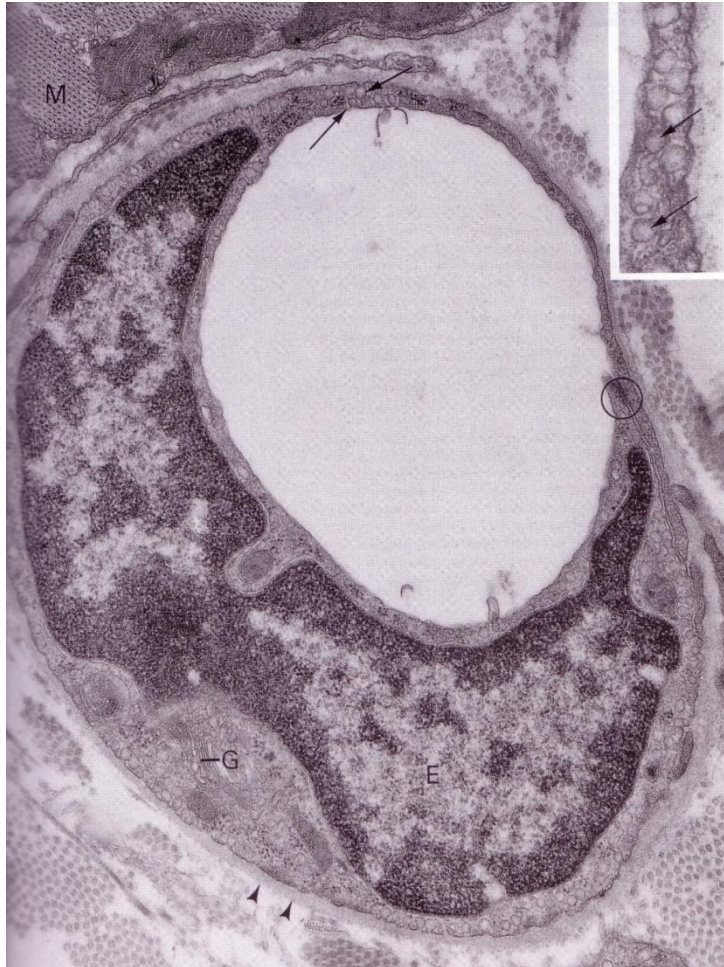


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

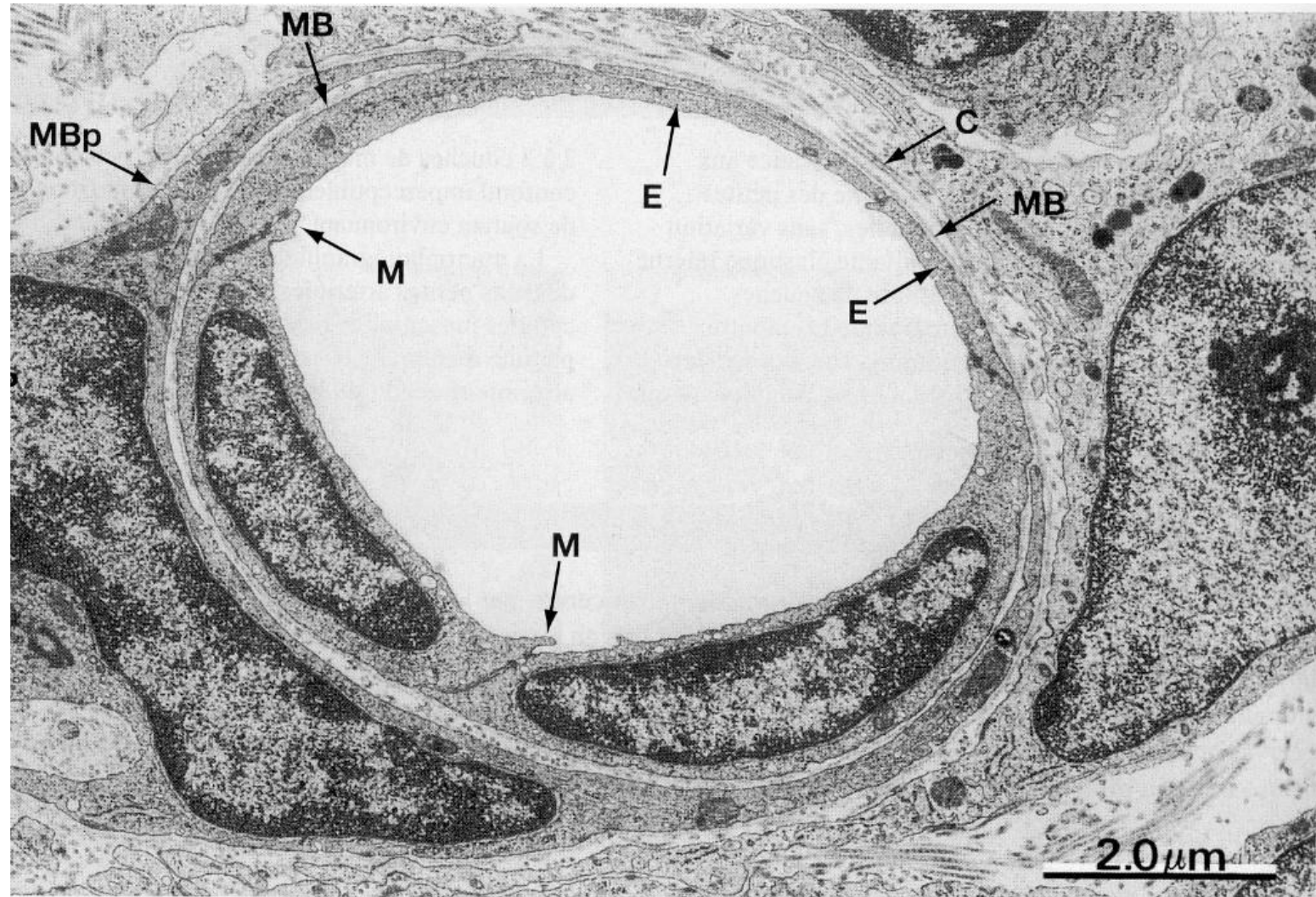
a. Capillaires et microcirculation.

Ultra-structure MET et interprétation.



Capillaires (MET)

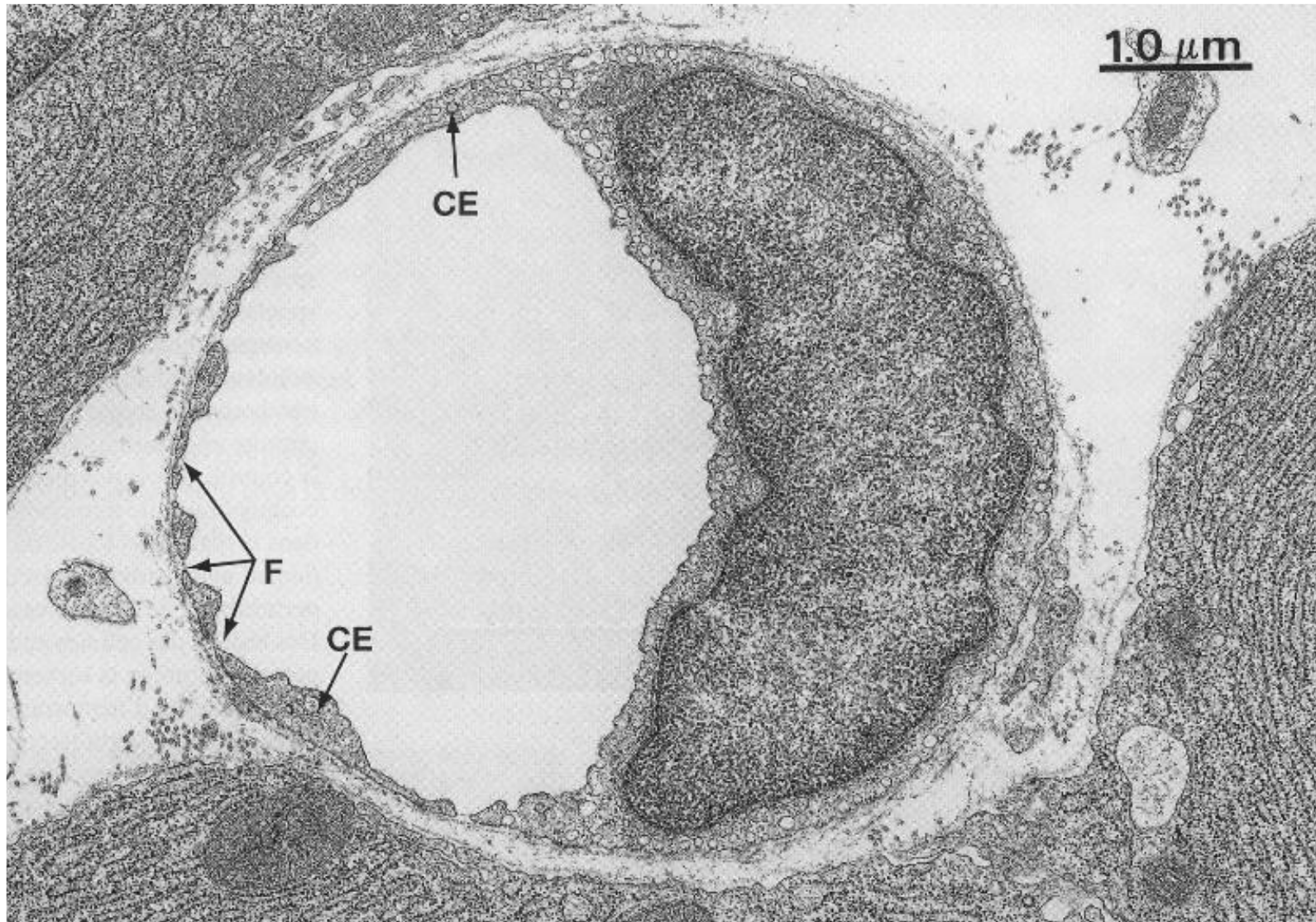
Poly

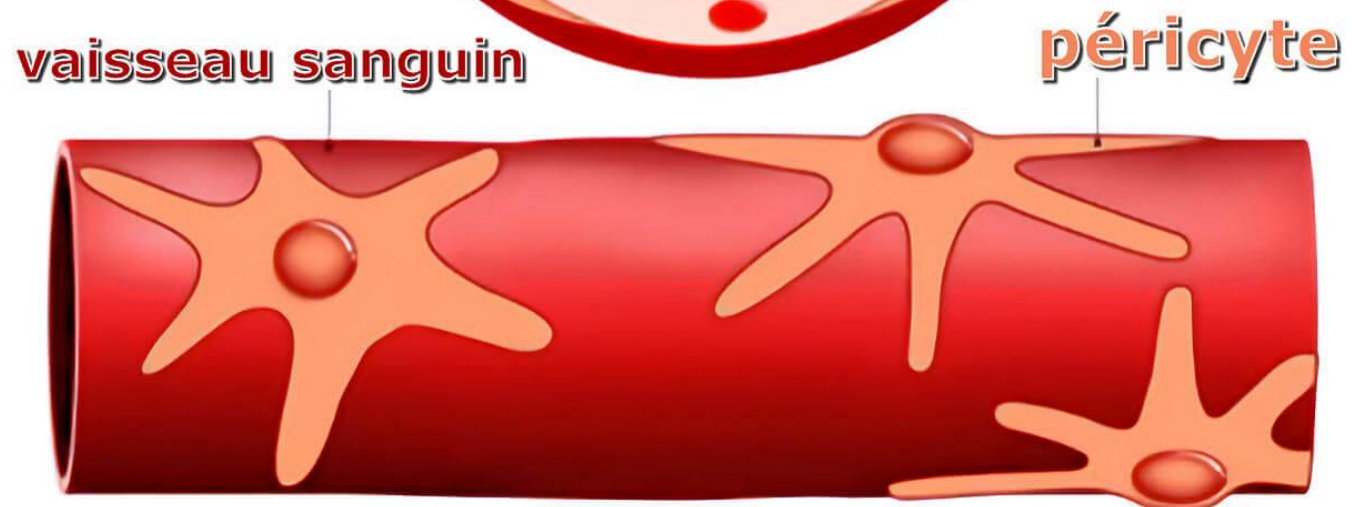
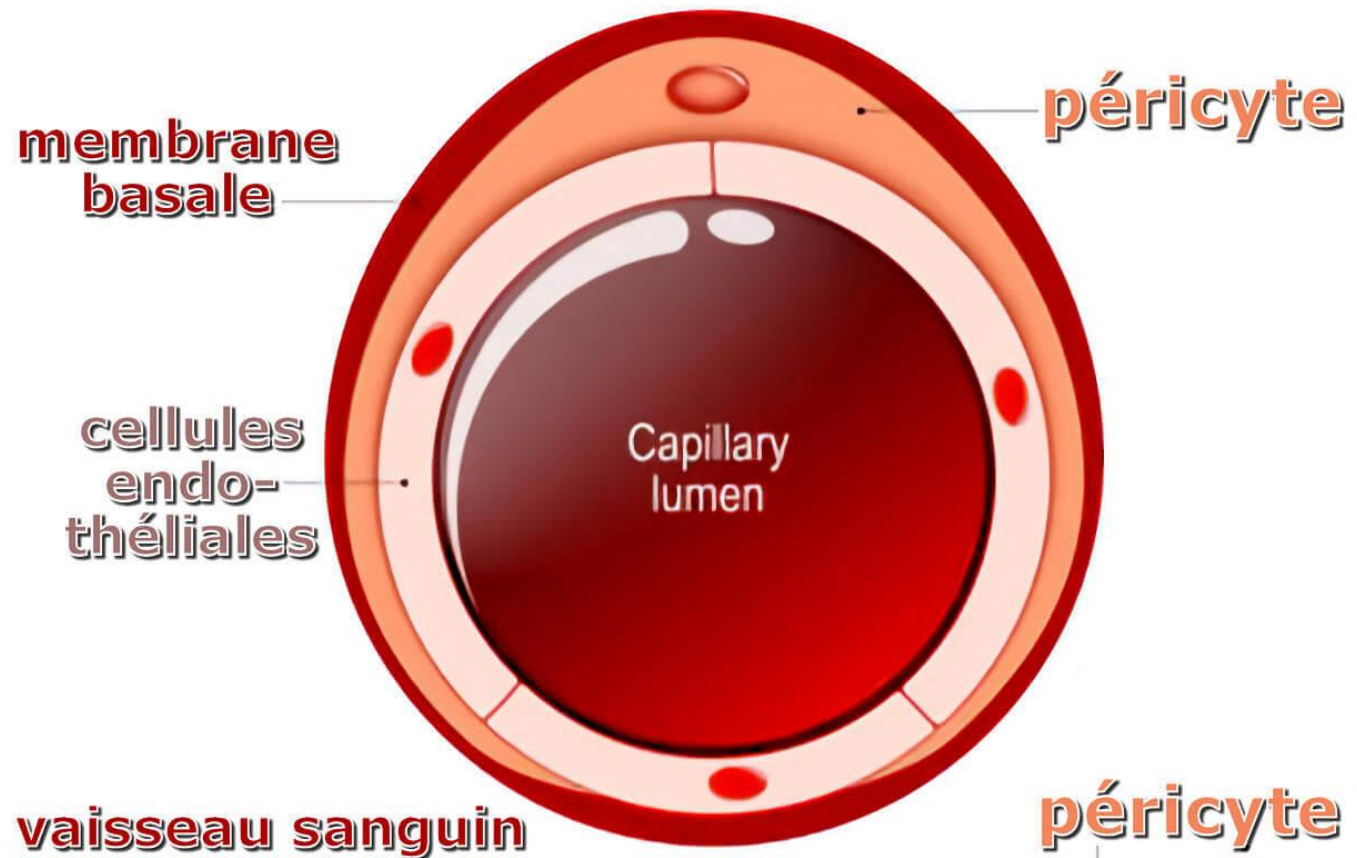


Poly

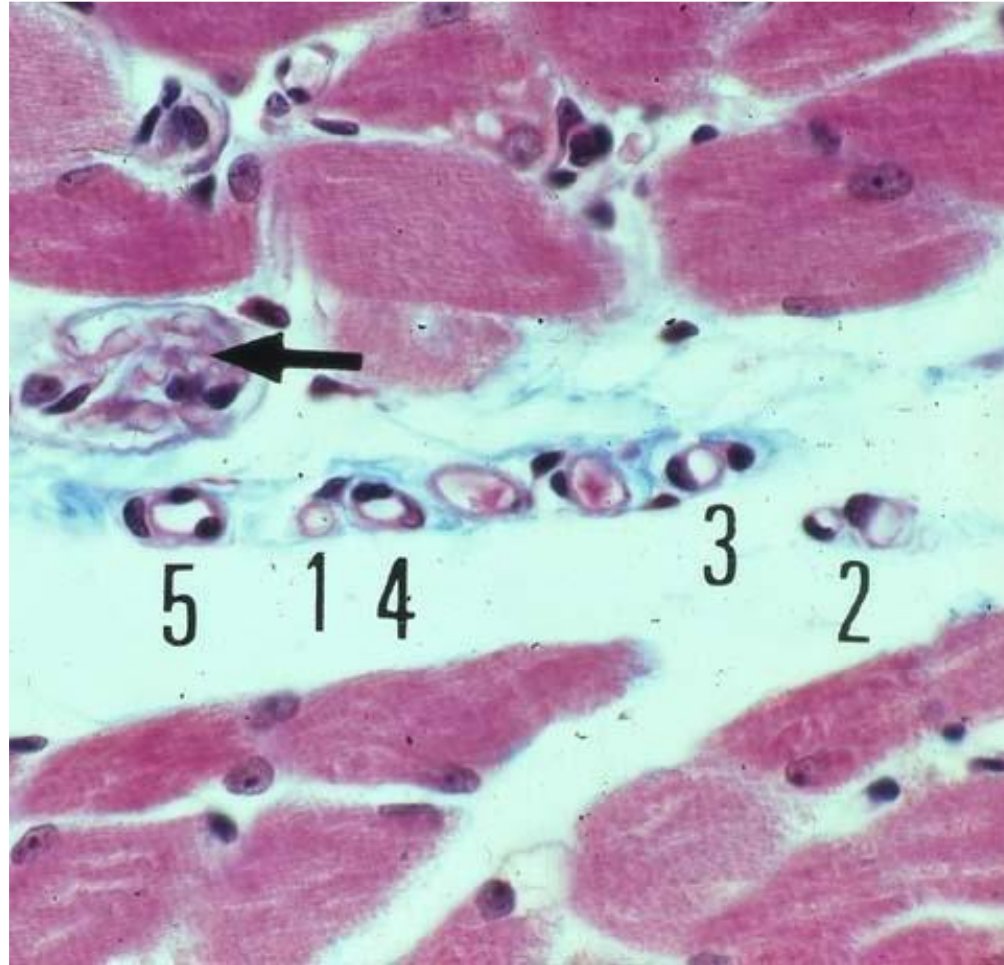


Poly





Poly



1 : la coupe passe en dehors du noyau ; 2 : la coupe passe par le noyau de la cellule endothéliale ; 3 : le capillaire est constitué par une cellule endothéliale et un péricyte ; 4 et 5, chaque capillaire possède 2 noyaux et un péricyte.

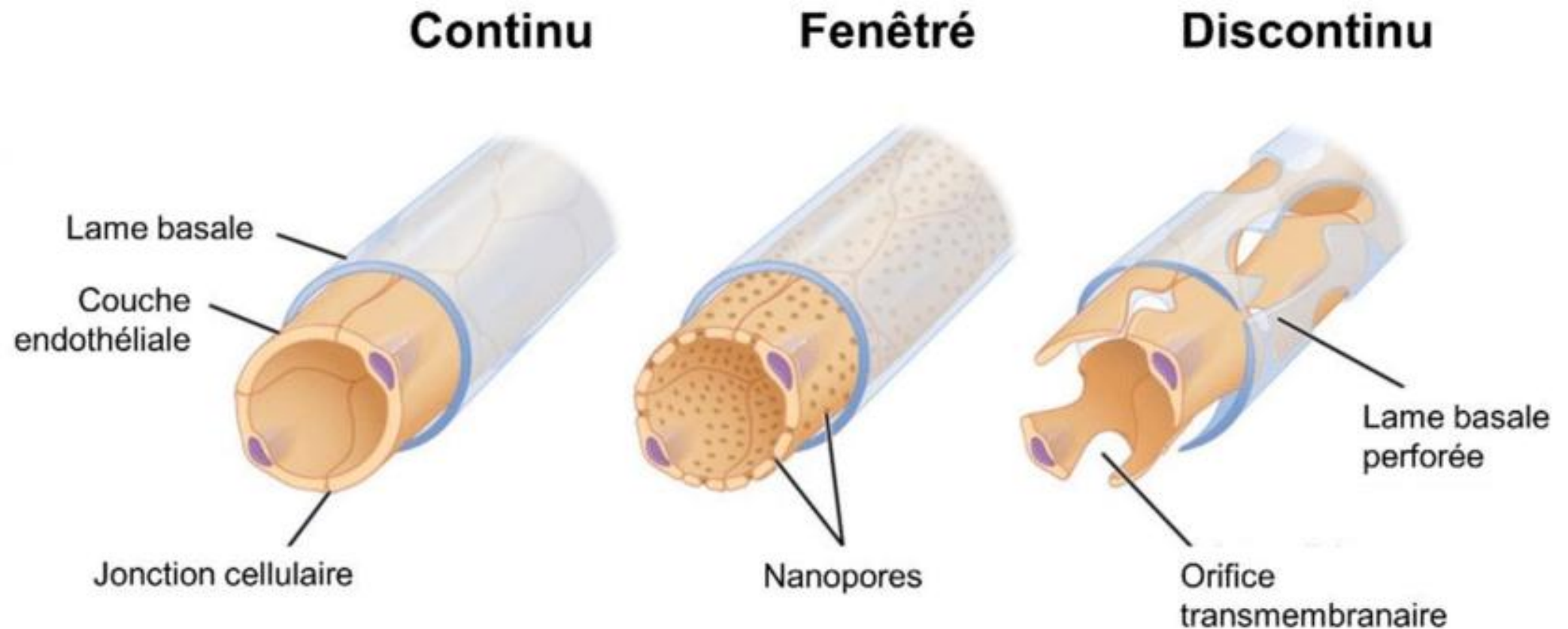
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

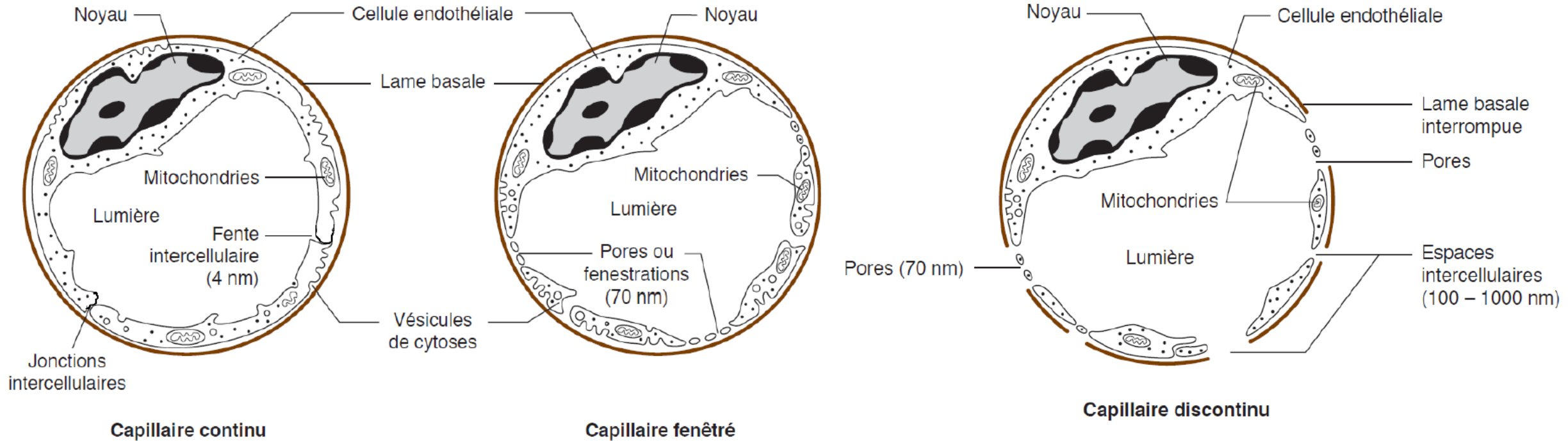
a. Capillaires et microcirculation.

Remarque : différents types de capillaires.

En fonction de l'endothélium



Équivalent de la diapo précédente en section transversale

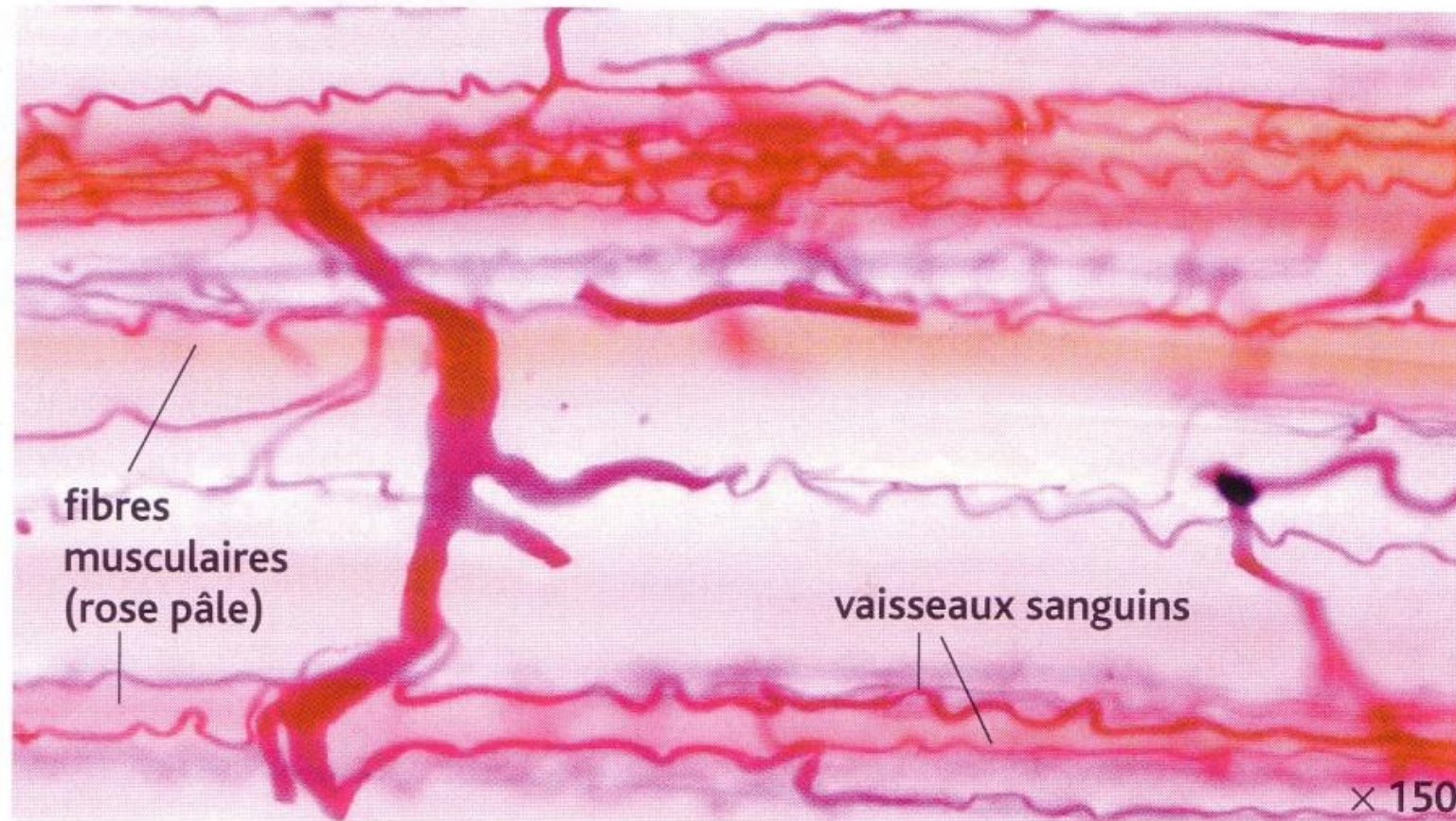


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.

Réseau capillaire dans un muscle

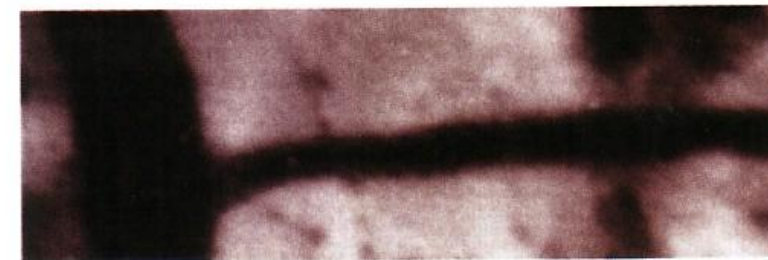
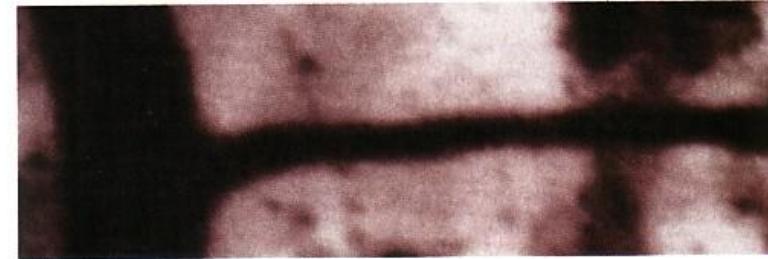


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.

Contraction rythmique autonome :
diminue la vitesse du sang et
favorise ainsi les échanges

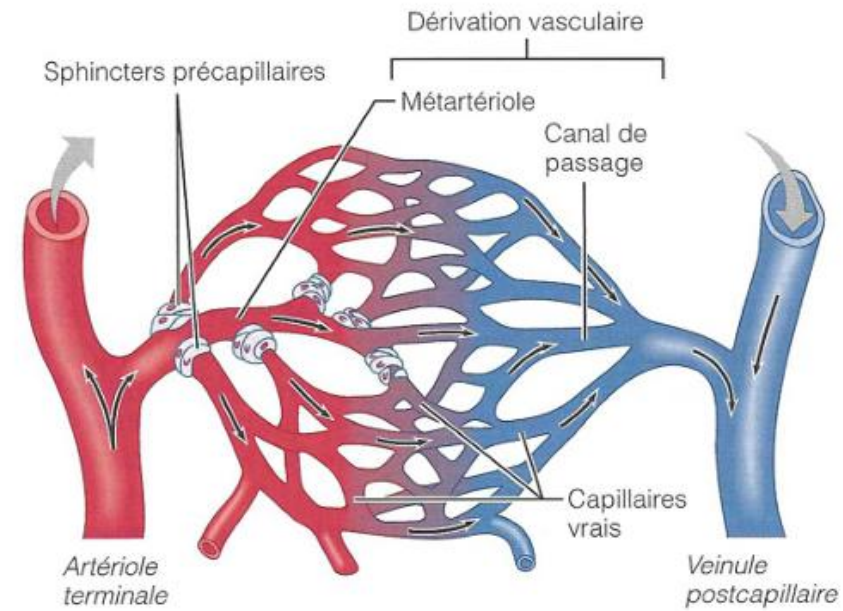


2. LES VEINULES ET LES ARTÉRIOLES sont entourées de cellules contractiles qui, commandées par l'influx nerveux, font varier leur diamètre. Ces contractions font avancer le sang dans les portions les plus étroites du réseau circulatoire. Sur cette série de photographies espacées de dix secondes, on observe une diminution progressive du diamètre de l'artériole horizontale, puis sur la dernière photographie, un relâchement de l'artériole avant un nouveau cycle de contraction.

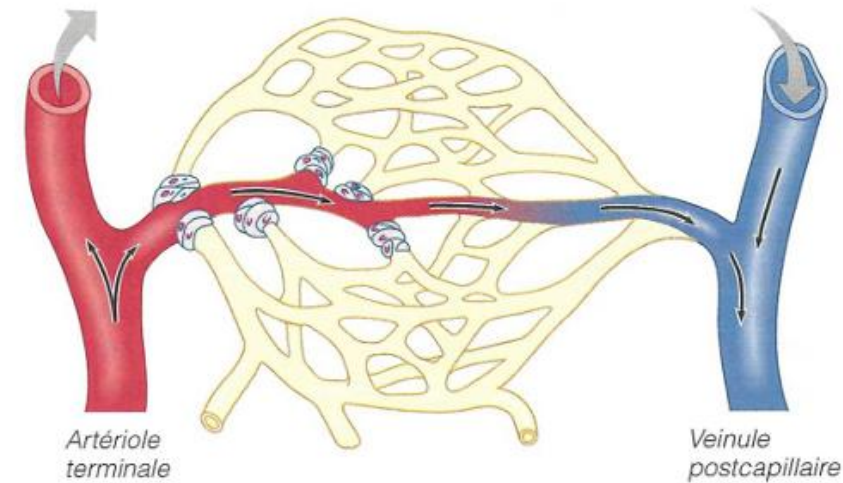
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

a. Capillaires et microcirculation.



(a) Sphincters ouverts



(b) Sphincters fermés

Anatomie d'un lit capillaire. La dérivation formée par la métartériole et le canal de passage permet au sang de contourner les capillaires vrais lorsque les sphincters précapillaires sont fermés.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

b. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

Echanges à travers les capillaires vers la lymphe interstitielle puis les cellules :

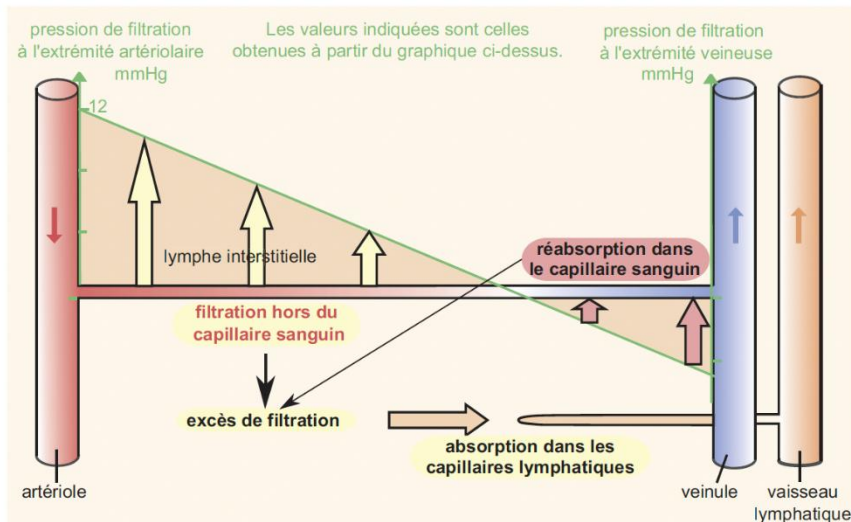
- Echanges de glucose et de gaz par **diffusion** (loi de Fick) à travers les membranes suivant les différences de pression partielle. (attention diffusion facilitée par des transports Glut pour le glucose).
- Echange de grosses molécules (LDL, HDL, VLDL) par endocytose ou exocytose = transport actif contrôlé.
- Au niveau des espaces entre les cellules endothéliales pour l'eau les ions et les petites molécules dissoutes.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

b. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

Echanges d'eau : filtration réabsorption.

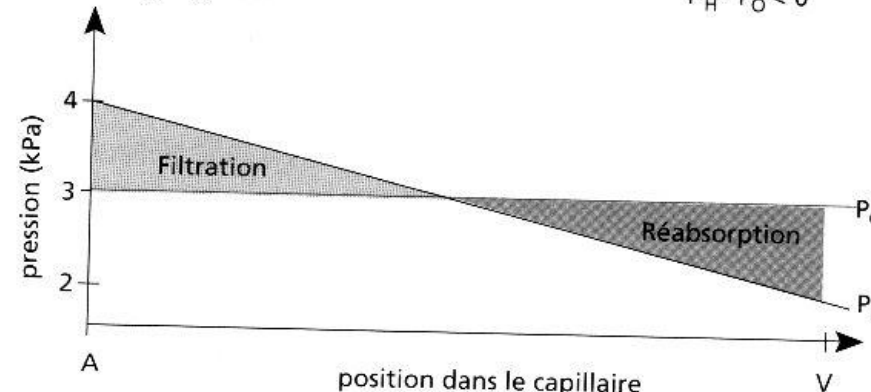
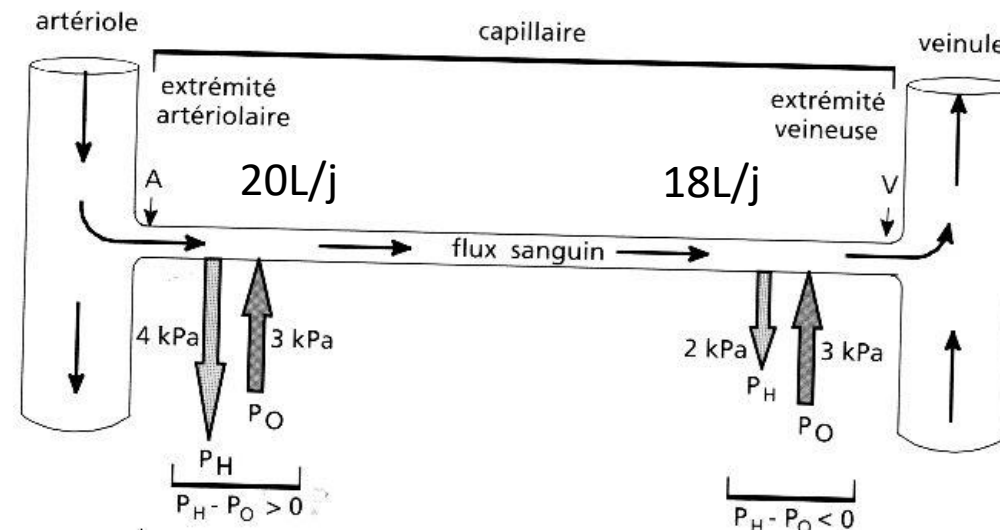


Évolution de la pression nette de filtration le long d'un capillaire.

Réabsorption et drainage lymphatique

La filtration (dans la première partie du capillaire) l'emporte généralement sur la réabsorption (la seconde partie du capillaire), d'autant que la filtration des protéines plasmatiques, faible mais réelle, conduit par ailleurs à un enrichissement progressif du liquide interstitiel en protéines, qui amoindrit encore la réabsorption. Avec un débit cardiaque moyen de $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, la pompe cardiaque envoie dans la circulation $7\,200 \text{ L} \cdot \text{j}^{-1}$. La filtration au niveau des capillaires fait passer 20 L dans le compartiment interstitiel dont 17 à 18 L sont immédiatement réabsorbés par les processus décrits ci-dessus. Les 2 à 3 L de liquide en excès entrent dans la **circulation lymphatique**.

Le drainage du compartiment interstitiel par la lymphe circulante (drainage lymphatique) assure un double rôle : il prévient l'œdème (accumulation de liquide interstitiel dans les tissus) et assure le retour au plasma des protéines qui ont filtré au niveau des capillaires et dont la principale est l'albumine. Le liquide interstitiel est ainsi mis sous tension ; ceci explique que la pression hydrostatique du liquide interstitiel soit parfois mesurée inférieure à la pression atmosphérique (par exemple, dans les tissus sous-cutanés) et donnée par suite négative. Elle reste cependant positive dans les organes limités par des enveloppes fibreuses ou rigides (muscles, rein...).



P_H : pression hémodynamique P_O : pression oncotique



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

b. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

Système lymphatique

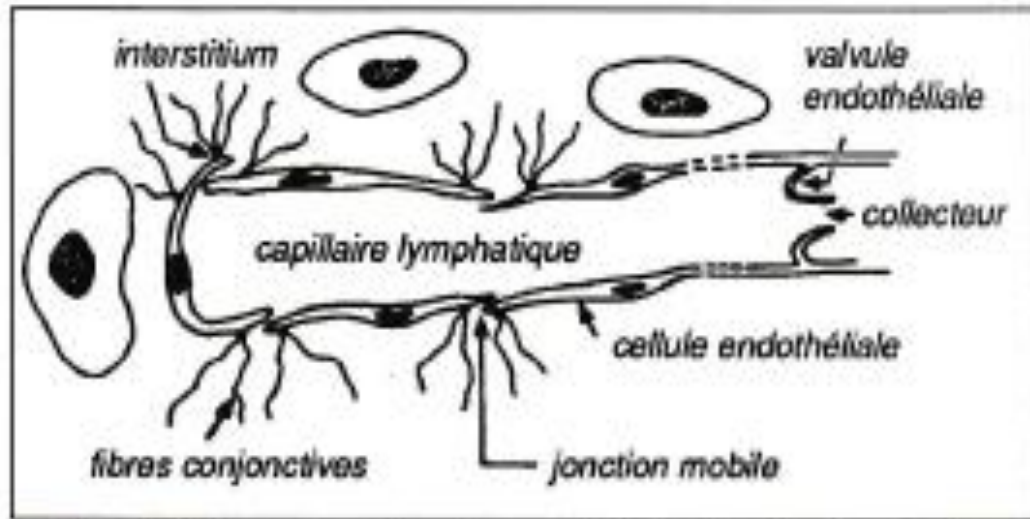


Figure 3.43 Représentation d'un capillaire lymphatique et de son canal collecteur. On voit d'une part les fibres conjonctives de soutien et les jonctions intercellulaires mobiles, d'autre part le collecteur équipé de valves endothéliales.

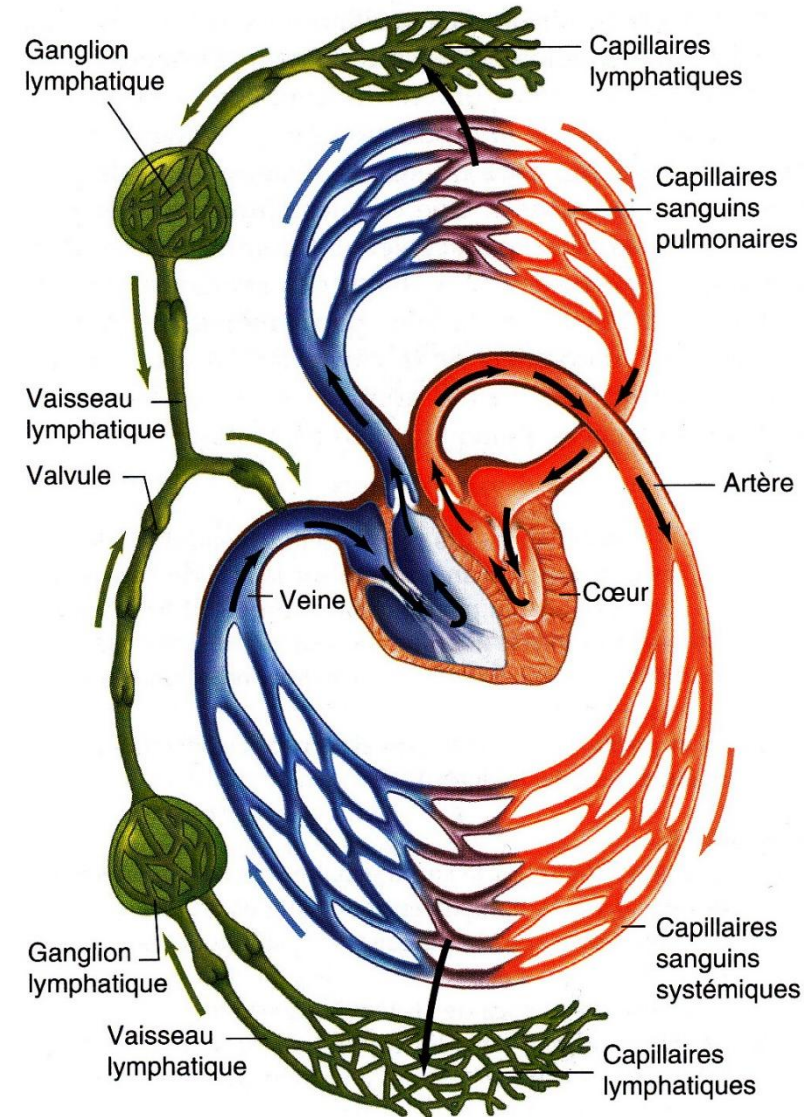


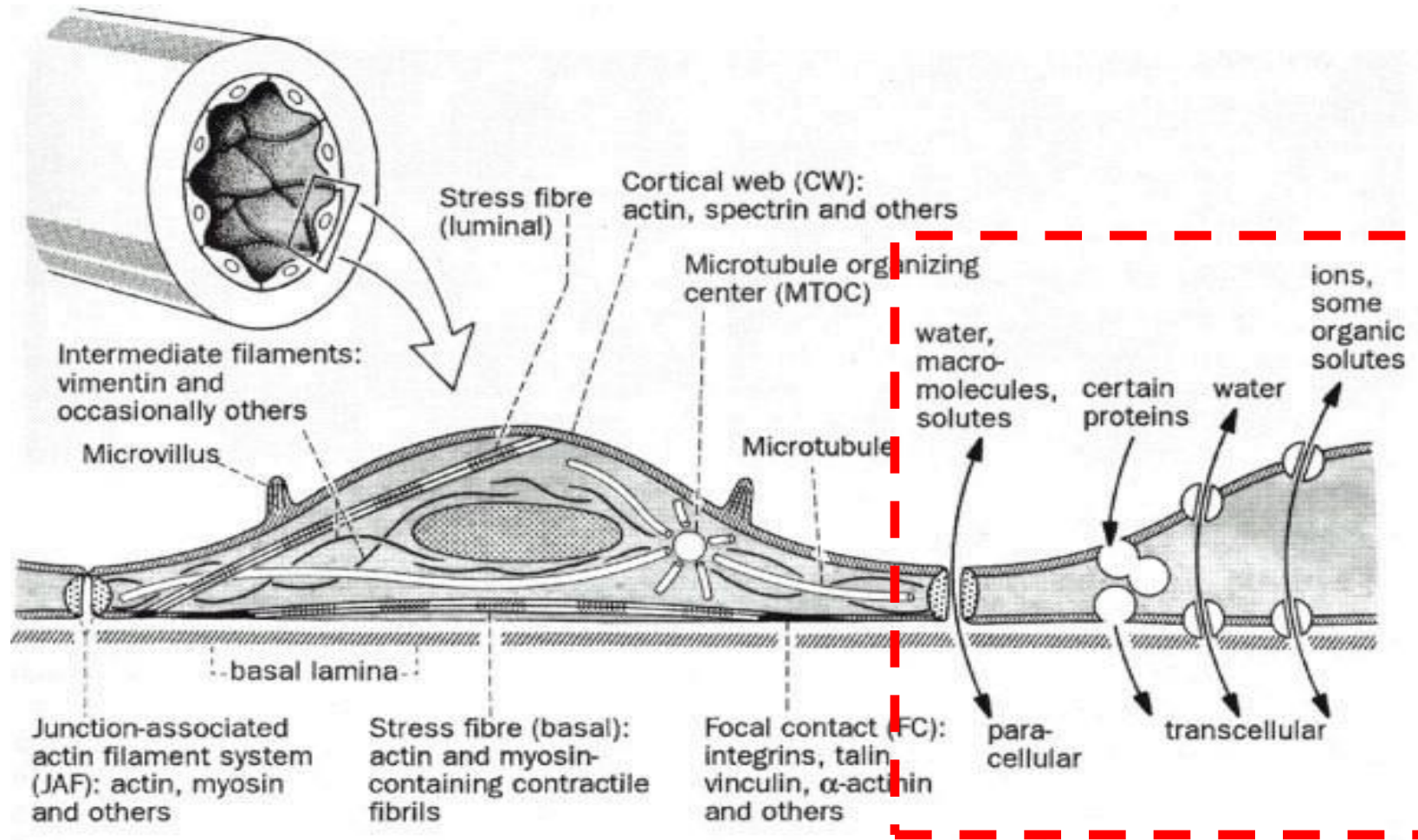
FIGURE 12-47

Système lymphatique (en vert) et ses relations avec le système cardiovasculaire (bleu et rouge). Le système lymphatique est un système unidirectionnel pour le liquide interstitiel vers le système cardiovasculaire.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

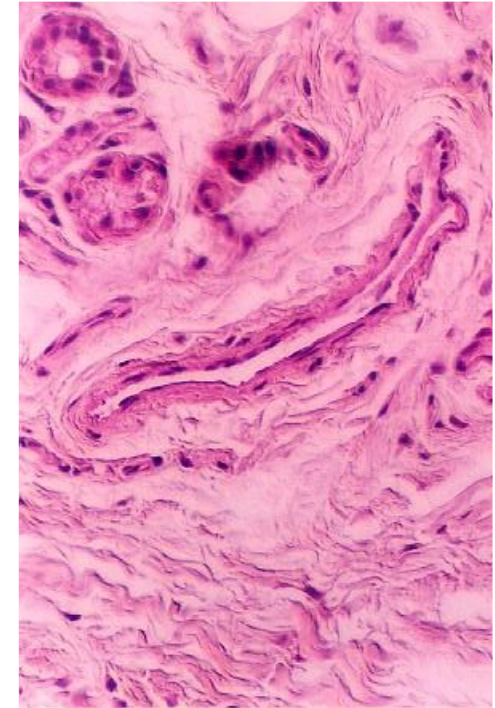
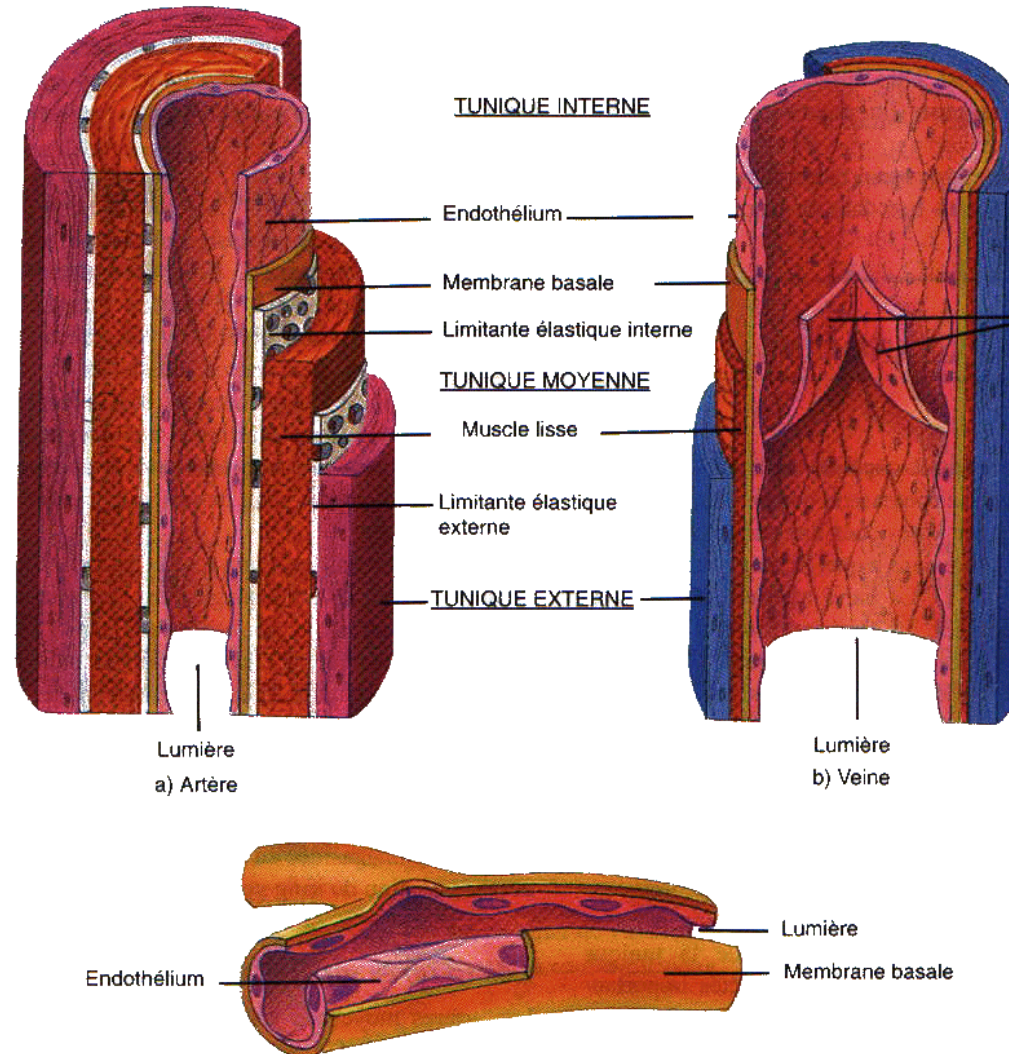
1.3. Le réseau capillaire est une zone d'échanges.

Bilan des échanges capillaires



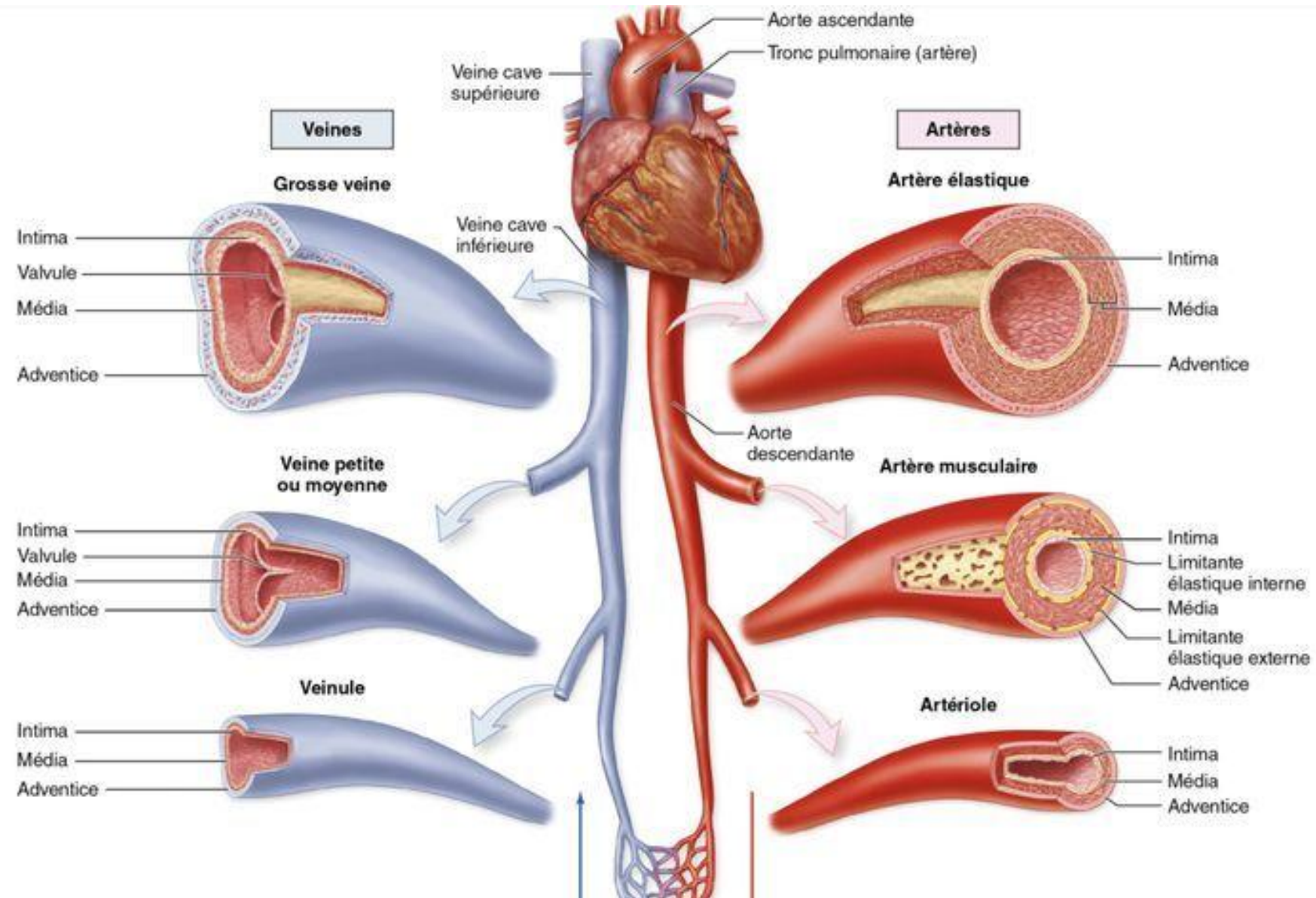
1.4. Les veines collectent et transportent à faible résistance, stockent à basse pression.

Structure et fonction



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.4. Les veines collectent et transportent à faible résistance, stockent à basse pression.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.4. Les veines collectent et transportent à faible résistance, stockent à basse pression.

Circuit à basse pression

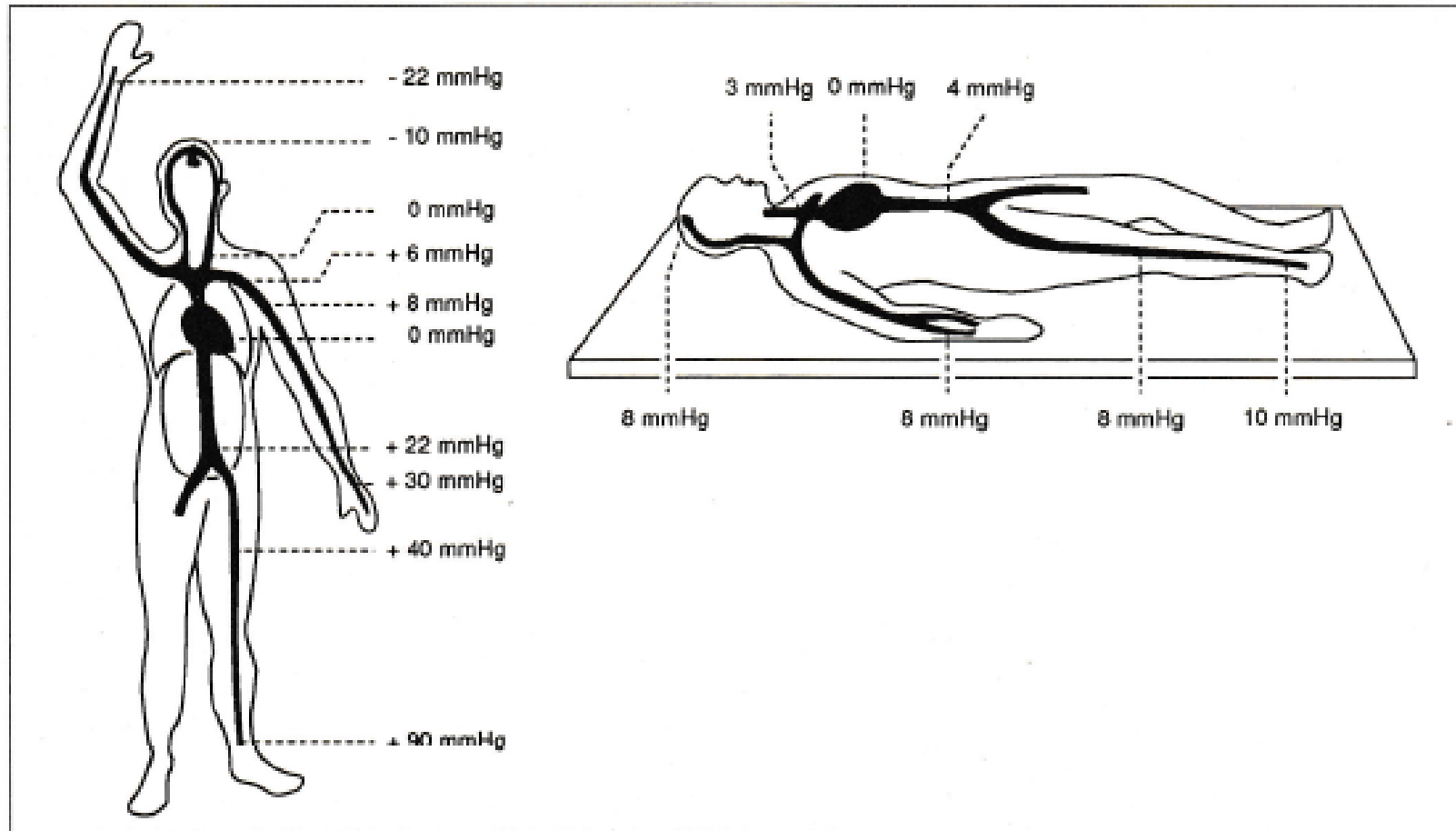


Figure 3.39 Pressions dans l'oreillette droite et dans les veines systémiques, mesurées en position debout et en position couchée

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.4. Les veines collectent et transportent à faible résistance, stockent à basse pression.

Valvules veineuses

Rôle des muscles
et des valvules
dans le retour
du sang

Les valves
anti-retour
des veines s'opposent
au reflux du sang.

Quand les muscles squelettiques
compiment les veines profondes,
ils expriment le sang vers le coeur
(pompe musculaire).

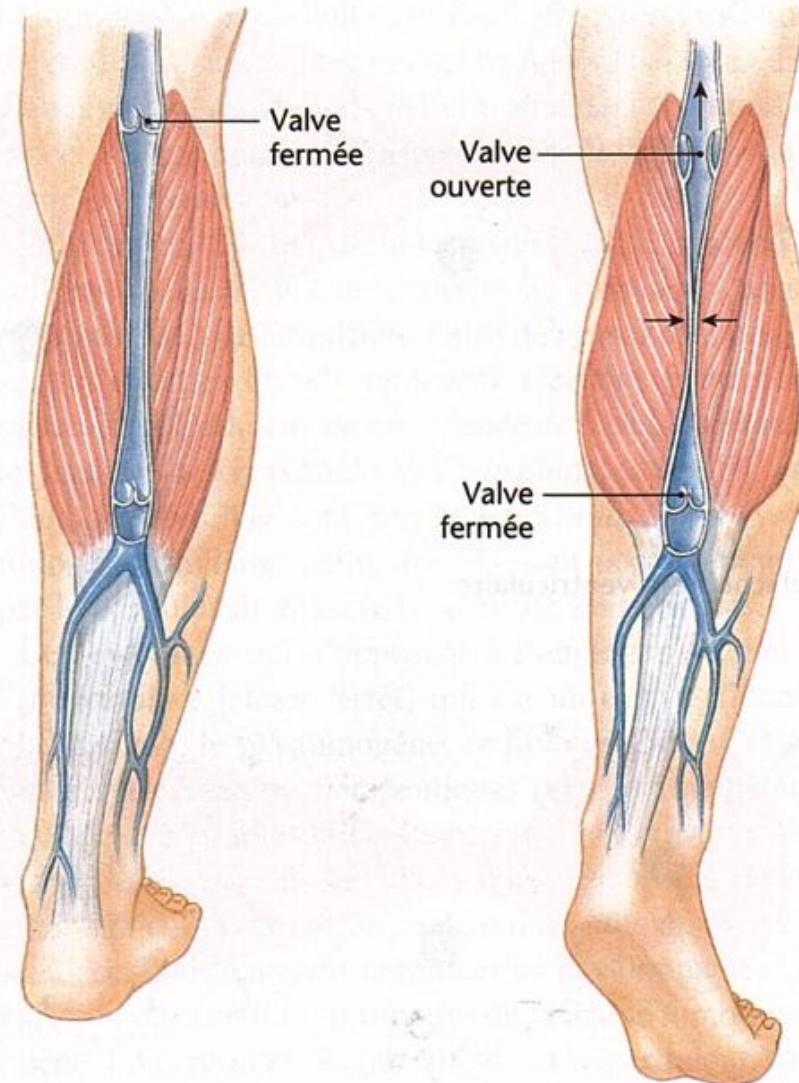
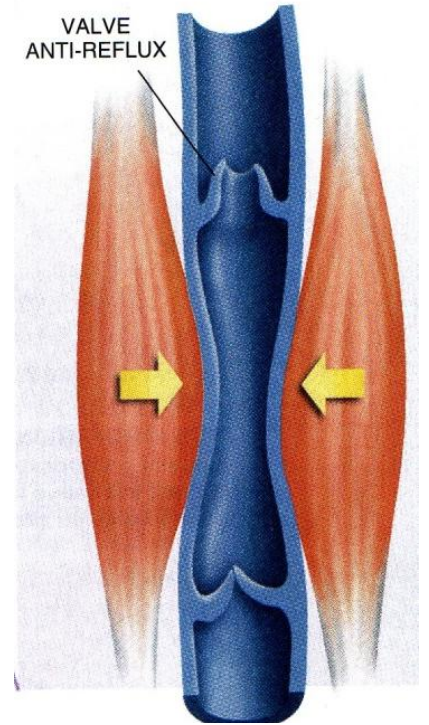
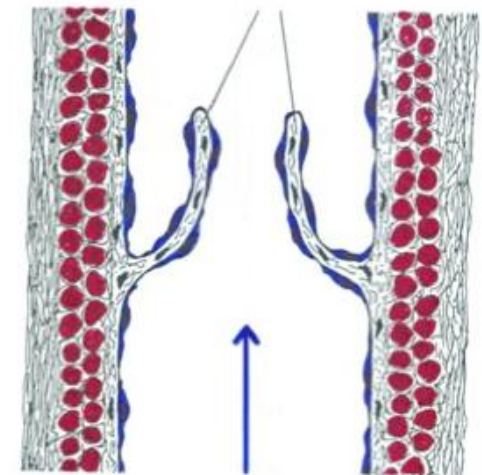


FIGURE 15.6 Grâce aux valves, l'écoulement se fait à sens unique dans les veines des membres.

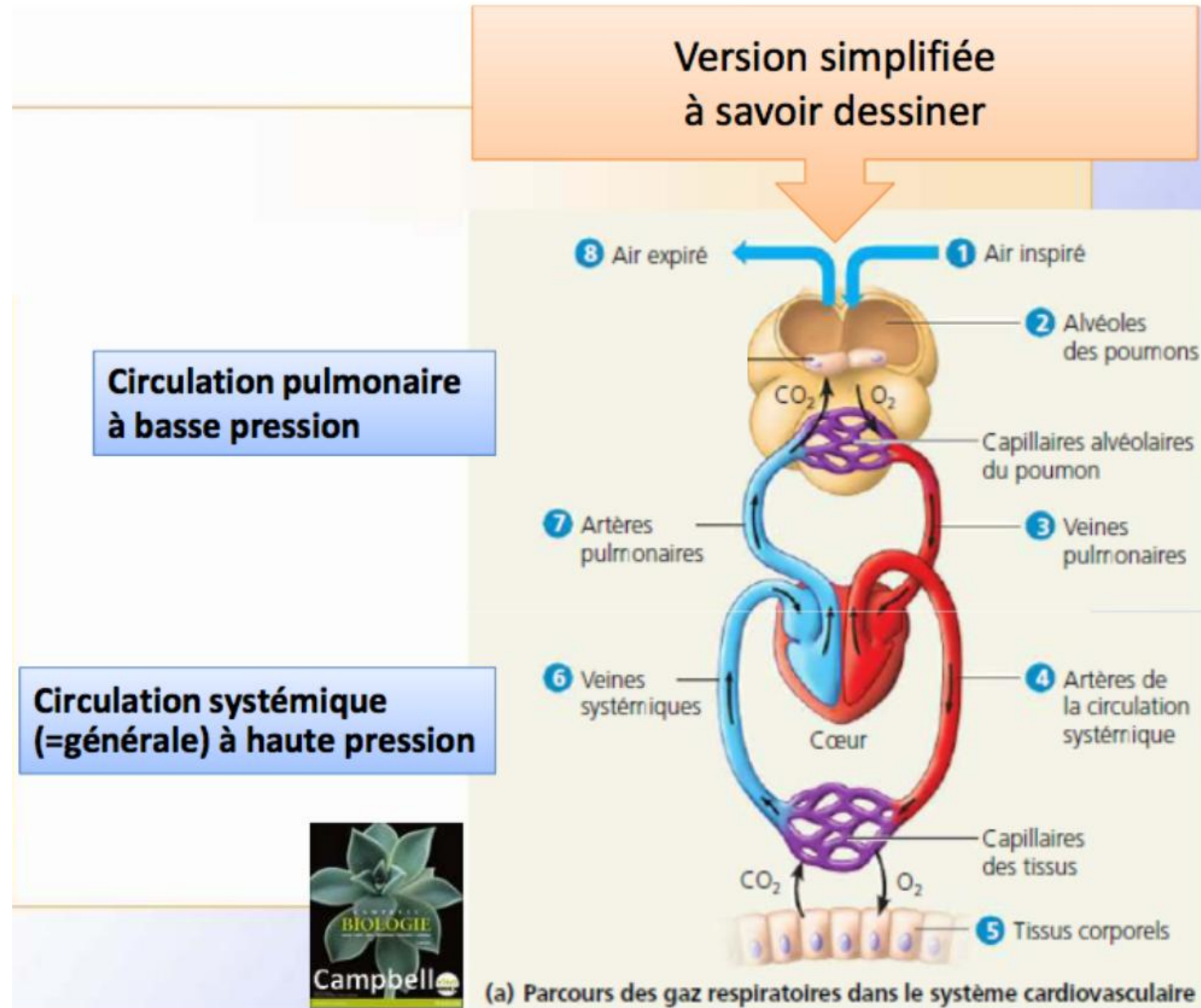


Valvules

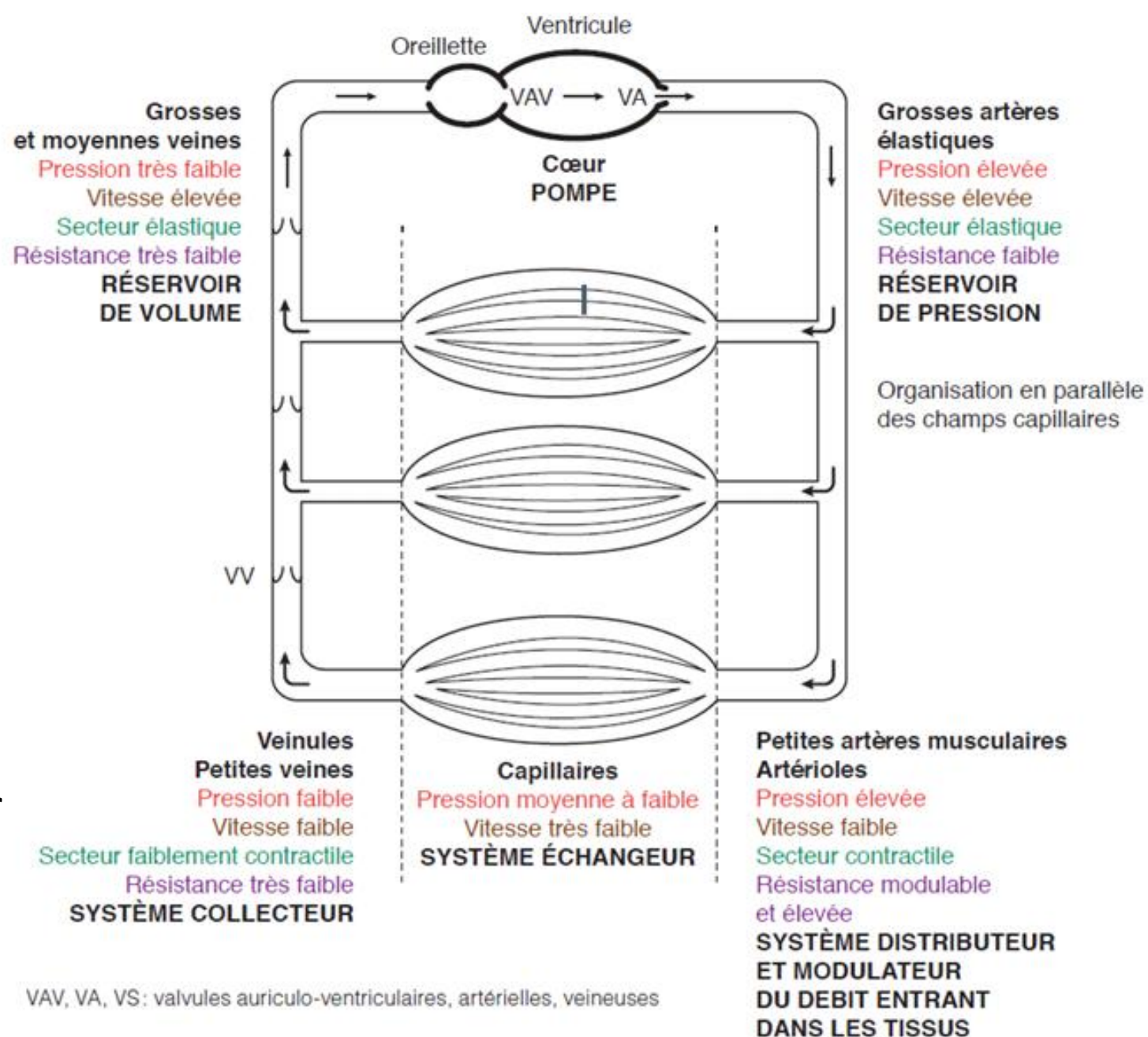


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.4. Les veines collectent et transportent à faible résistance, stockent à basse pression.



L'essentiel à savoir



Bilan:

Variation des paramètres circulatoires via le contrôle nerveux (orthosympathique) des muscles lisses de la média des vaisseaux.

L'essentiel à savoir

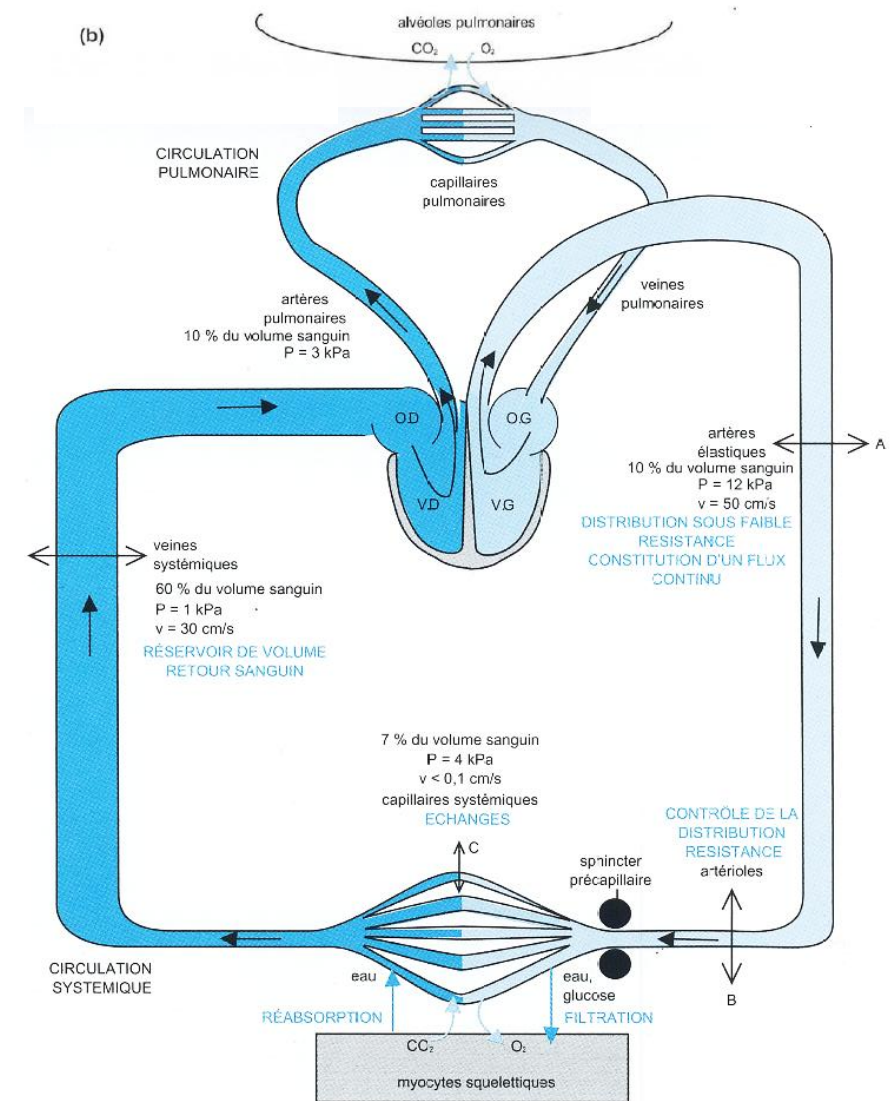
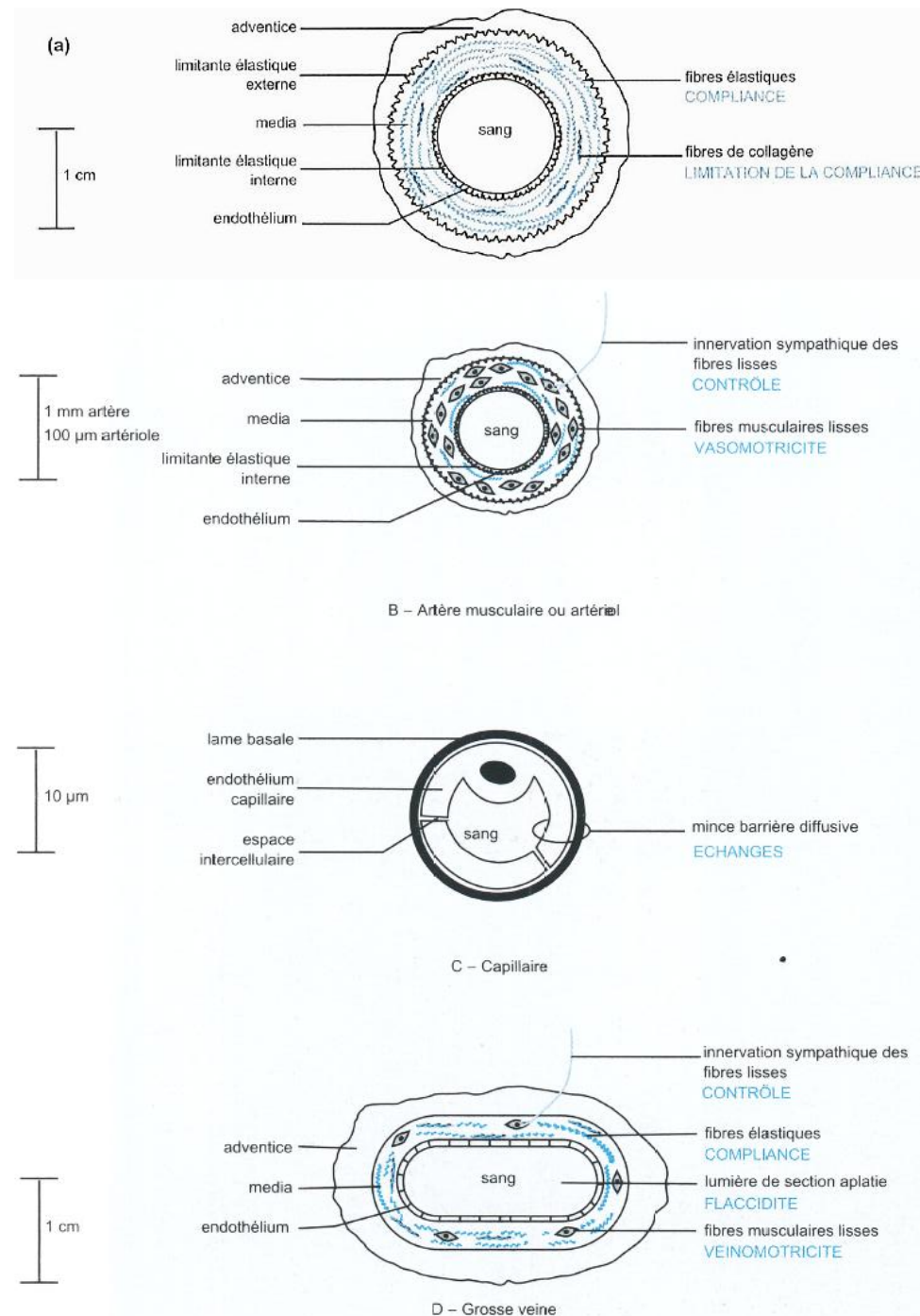


Figure de synthèse (a) Coupes transversales schématisques des différents vaisseaux ; (b) Rôles des différents vaisseaux dans la distribution du sang au muscle.

L'essentiel à savoir

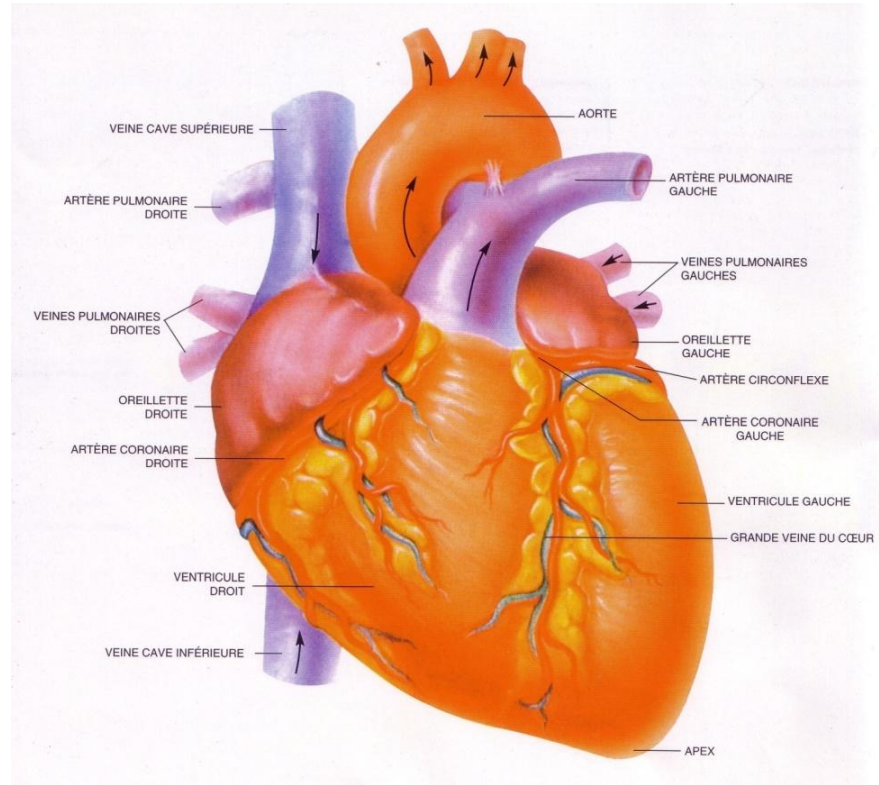


	Cellule nodale	cardiomyocyte	Cellules musculaires lisses des vaisseaux	
			du cœur et des muscles squelettiques	des autres organes (reins, intestins...)
récepteur	β_1 Muscariniques	β_1	β_2 et α_1	α_1
Effets de l'adrénaline (hormone de la médullosurrénale)			Sur β_2 <i>vasodilatation</i>	
Effets de la noradrénaline	Sur β_1 effet <i>chronotrope positif</i>	Sur β_1 effet <i>inotrope positif</i>	Sur α_1 <i>vasoconstriction</i> (mais effet β_2 plus important)	Sur α_1 <i>vasoconstriction</i>
Effets de l'acétylcholine	Sur récepteurs muscariniques effet <i>chronotrope négatif</i>			

Attention liste non exhaustive, elle replace juste les récepteurs vus au cours du chapitre et leurs effets

SV-I.1 : La circulation sanguine chez les mammifères.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

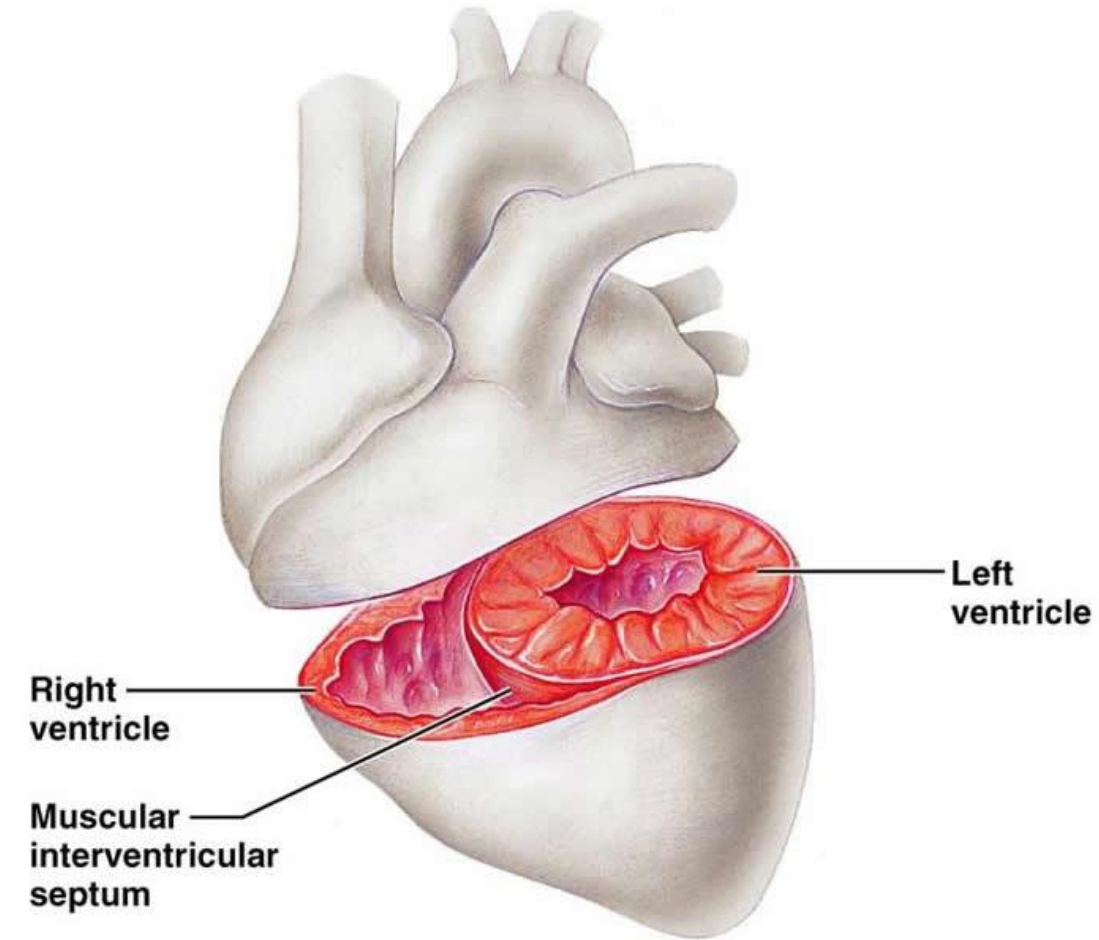
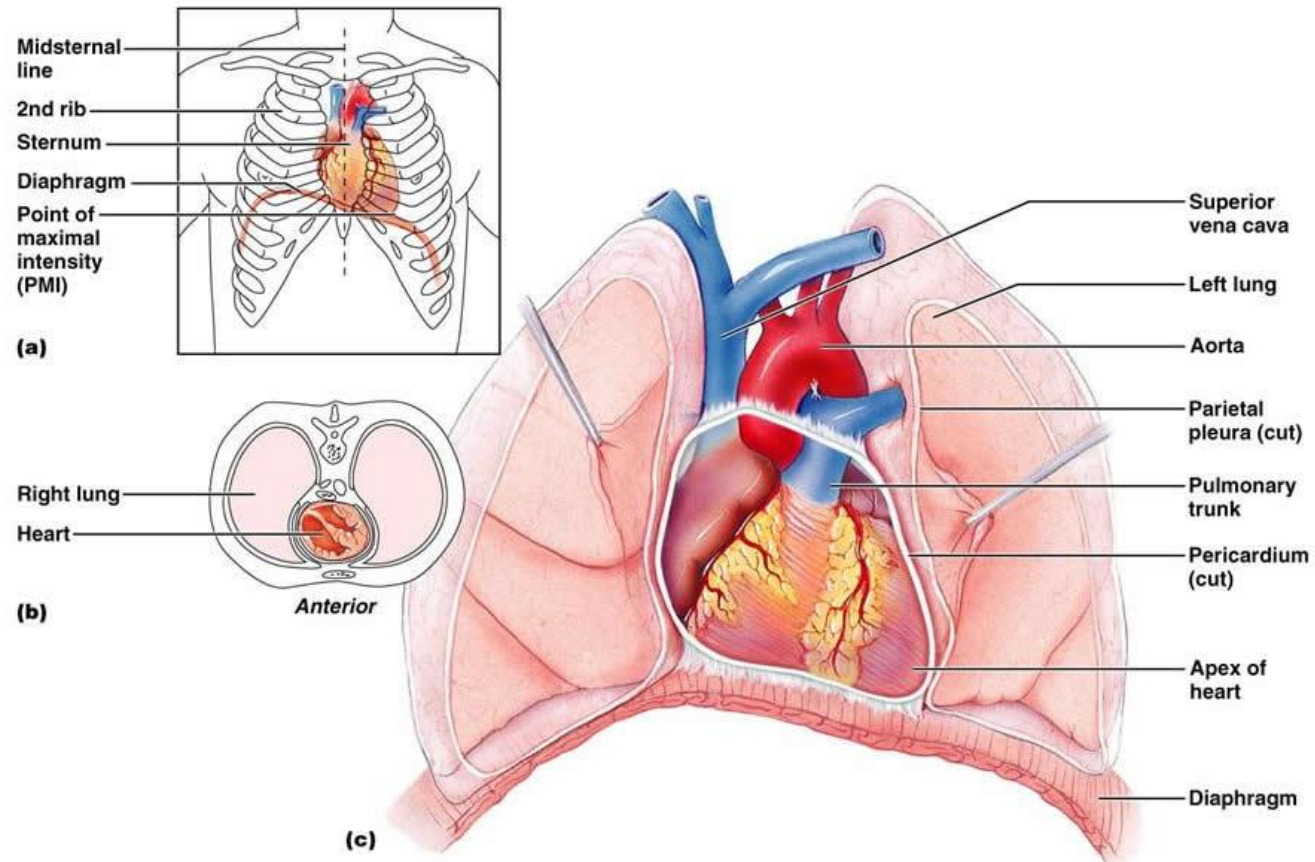


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

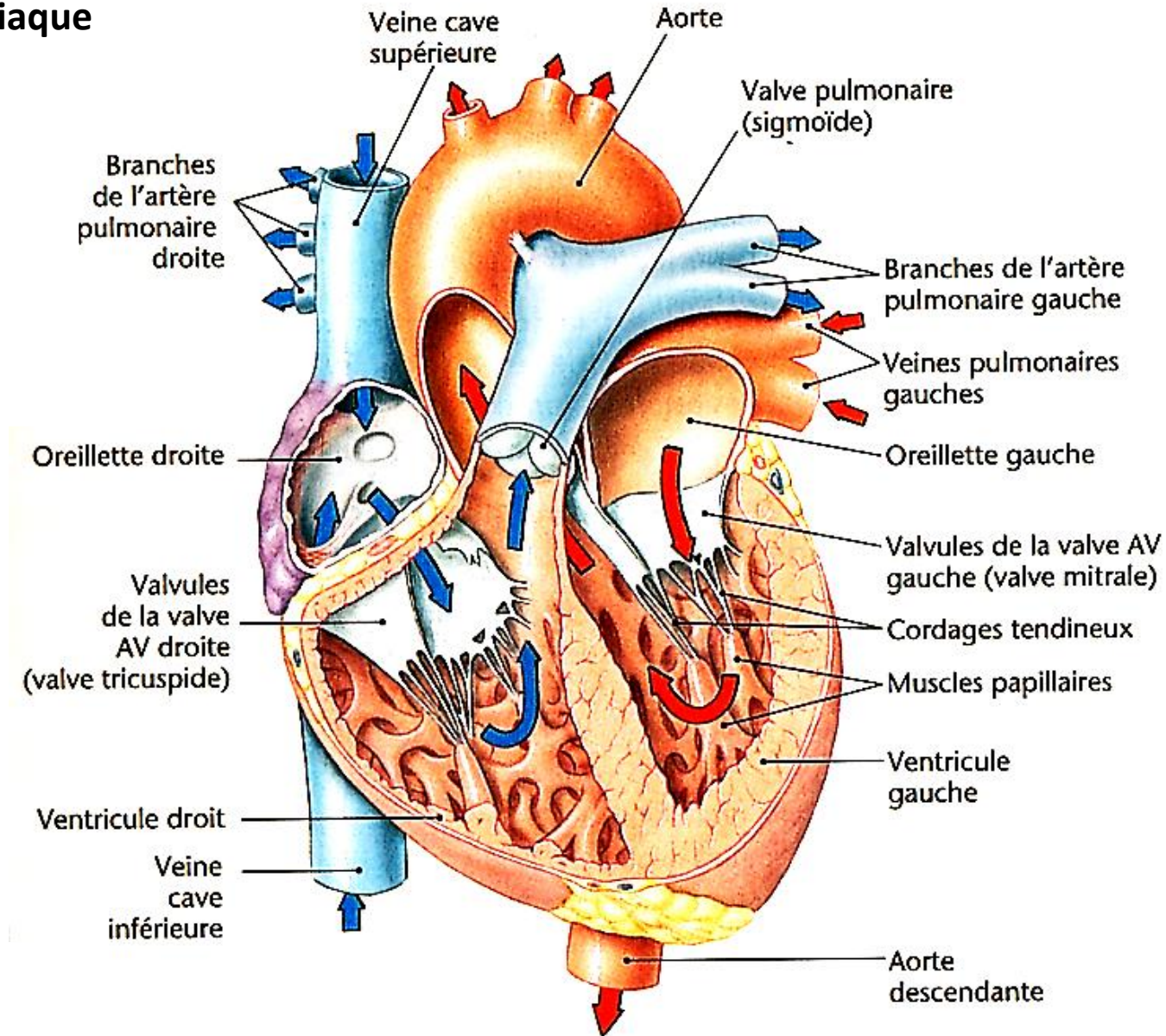
Organisation générale :



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

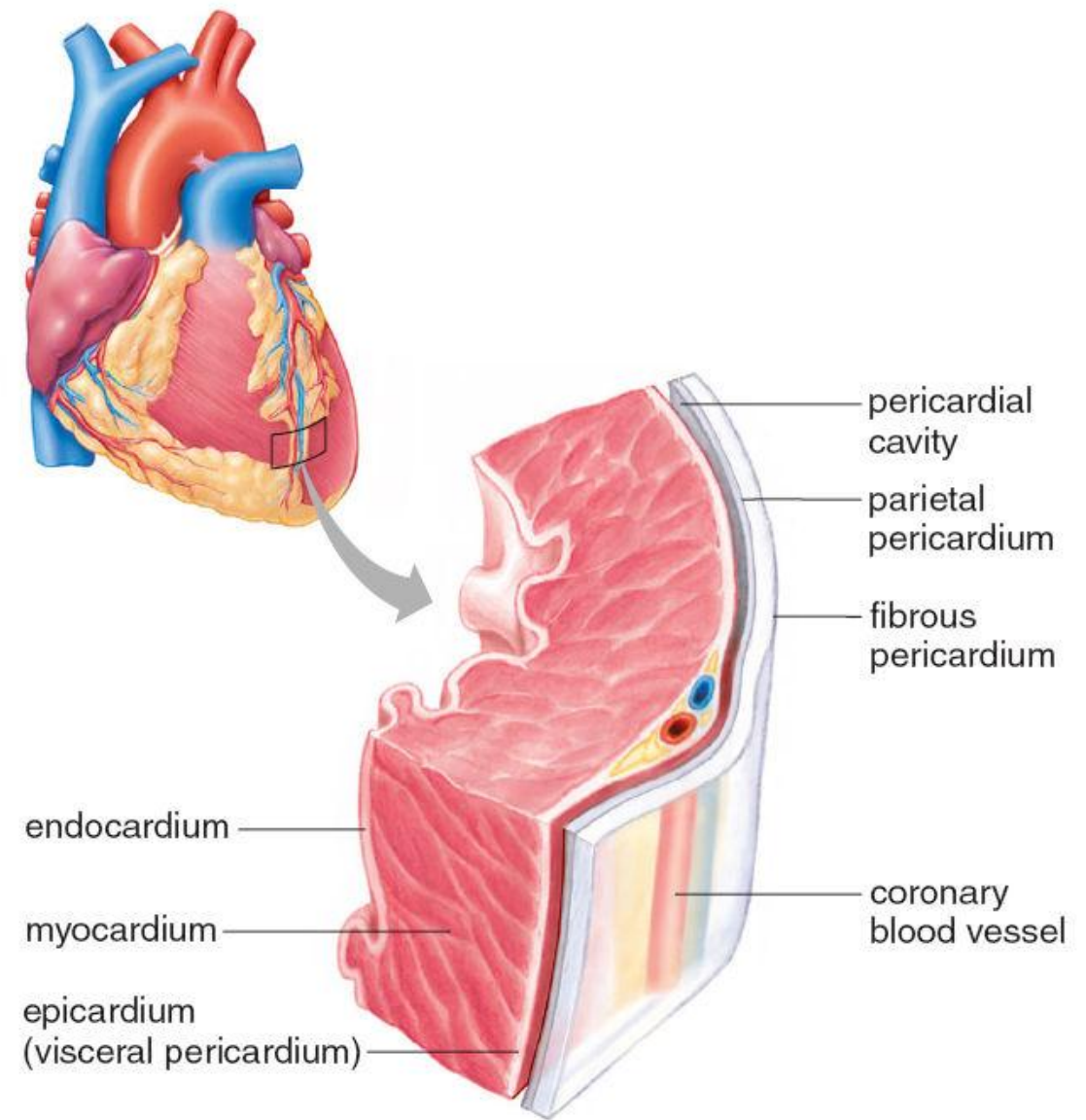
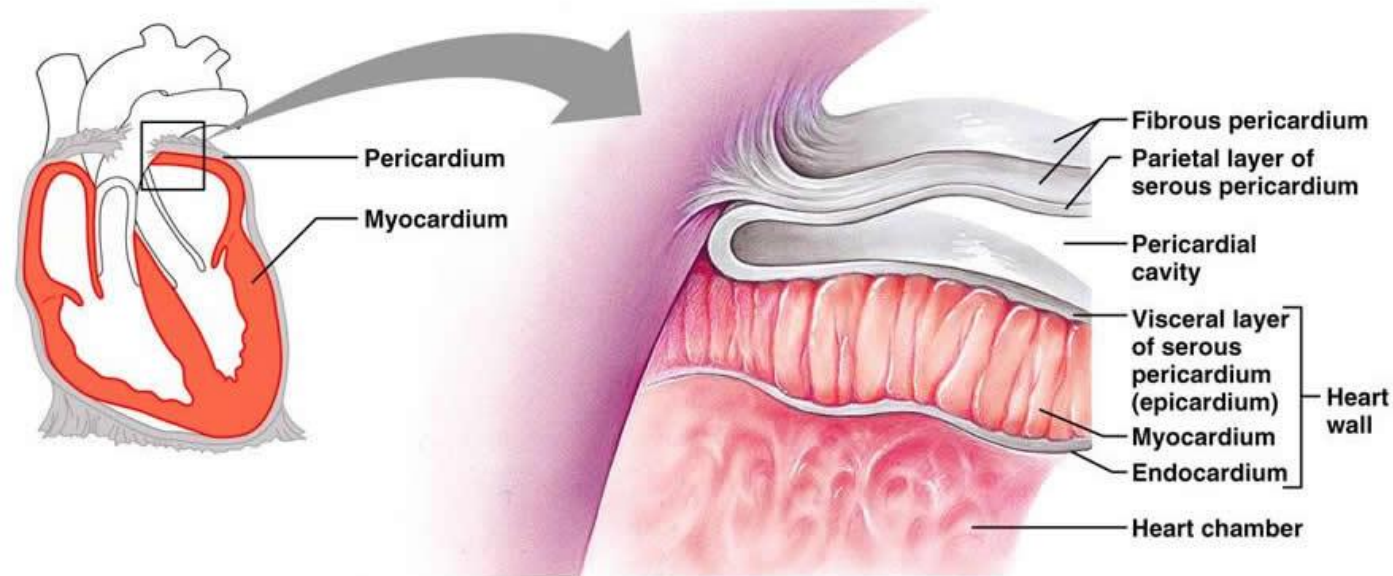


Le sens unique de l'écoulement dans le cœur est imposé par deux paires de valves anti-retour.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

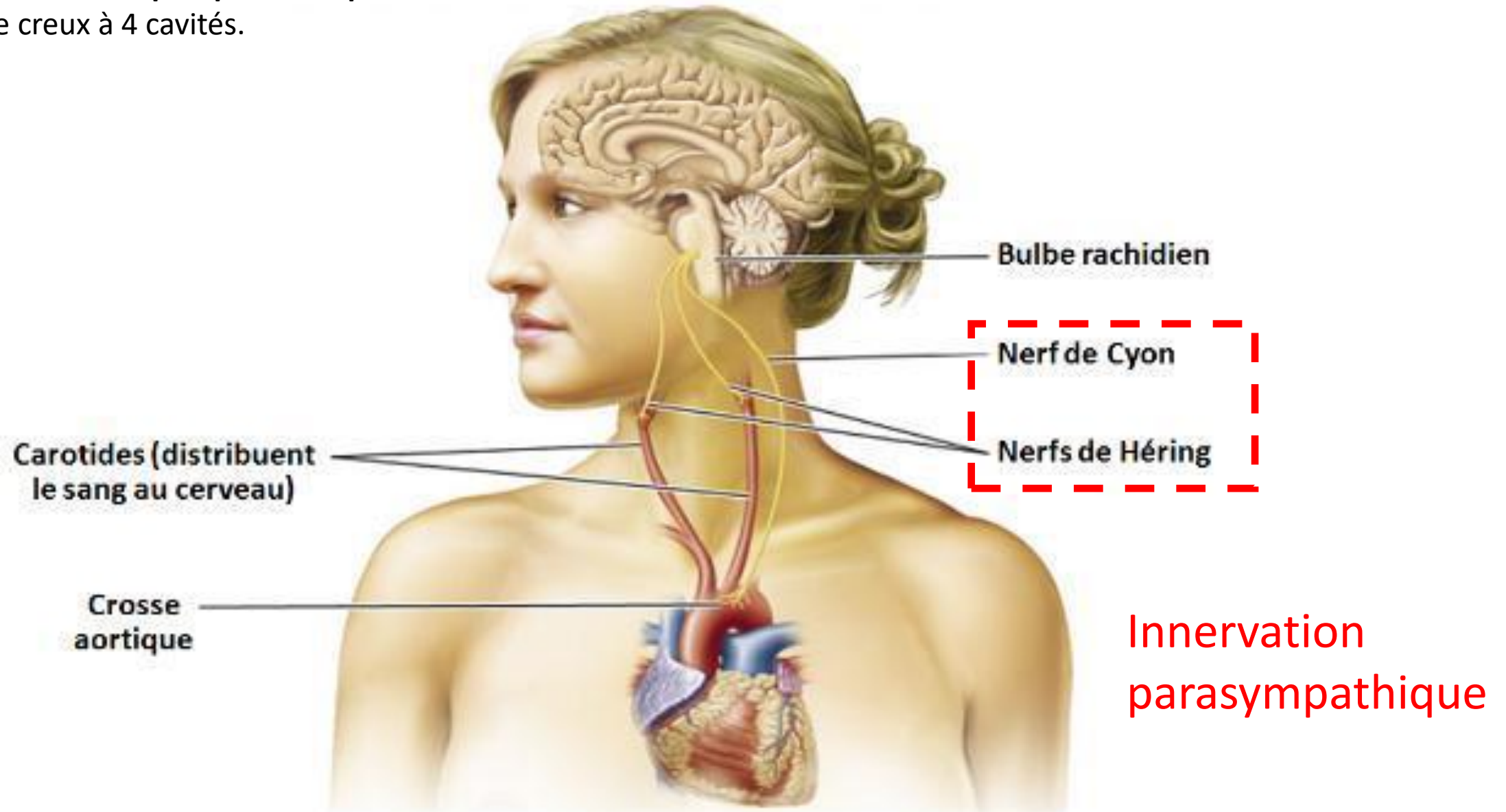
a. Un muscle creux à 4 cavités.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

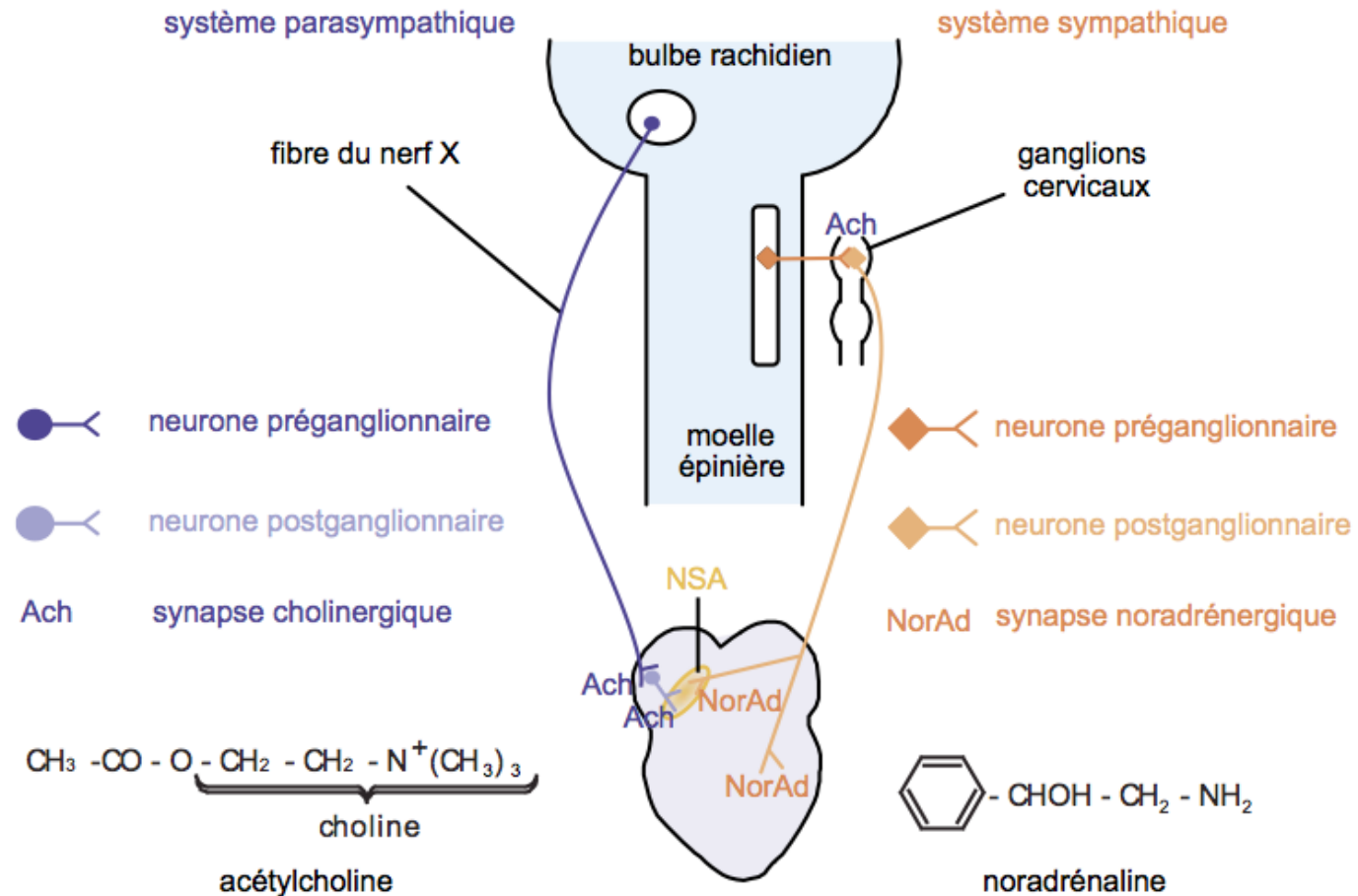


FIGURE 3.8 Disposition schématique de l'innervation cardiaque.

L'innervation cardiaque est paire. Le parasympathique n'est ici représenté que dans sa partie droite, le sympathique que dans sa partie gauche.

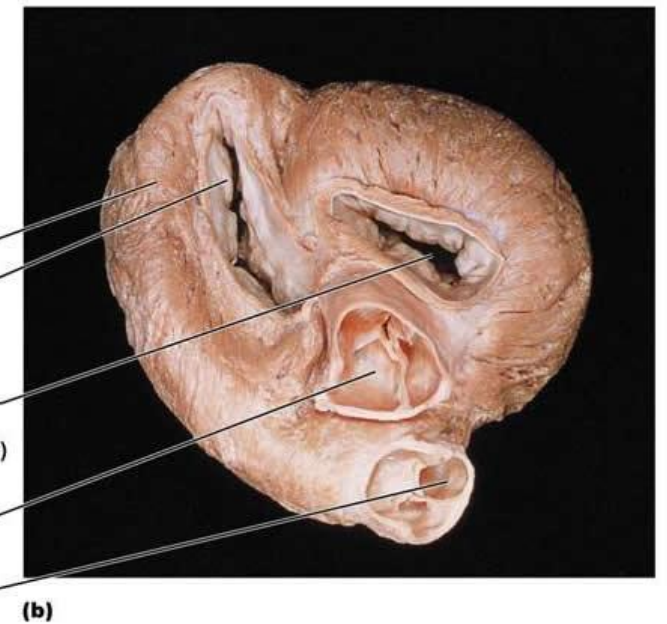
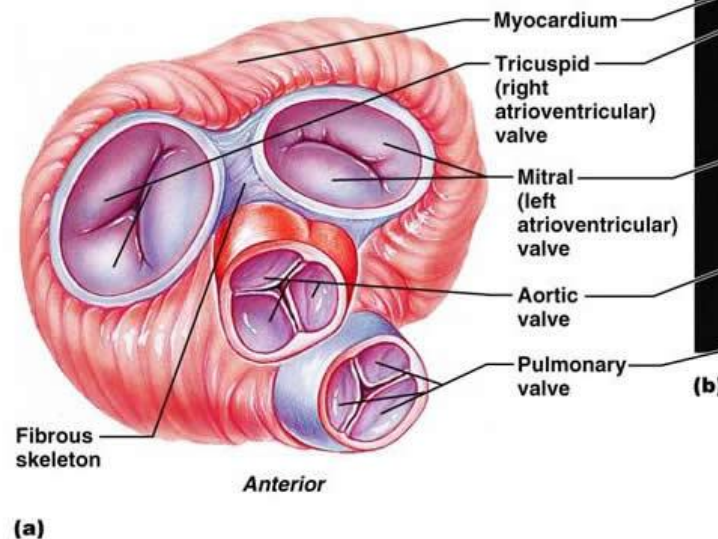
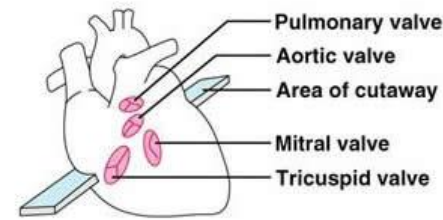
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

Organisation du cœur en CT entre les oreillettes et les ventricules

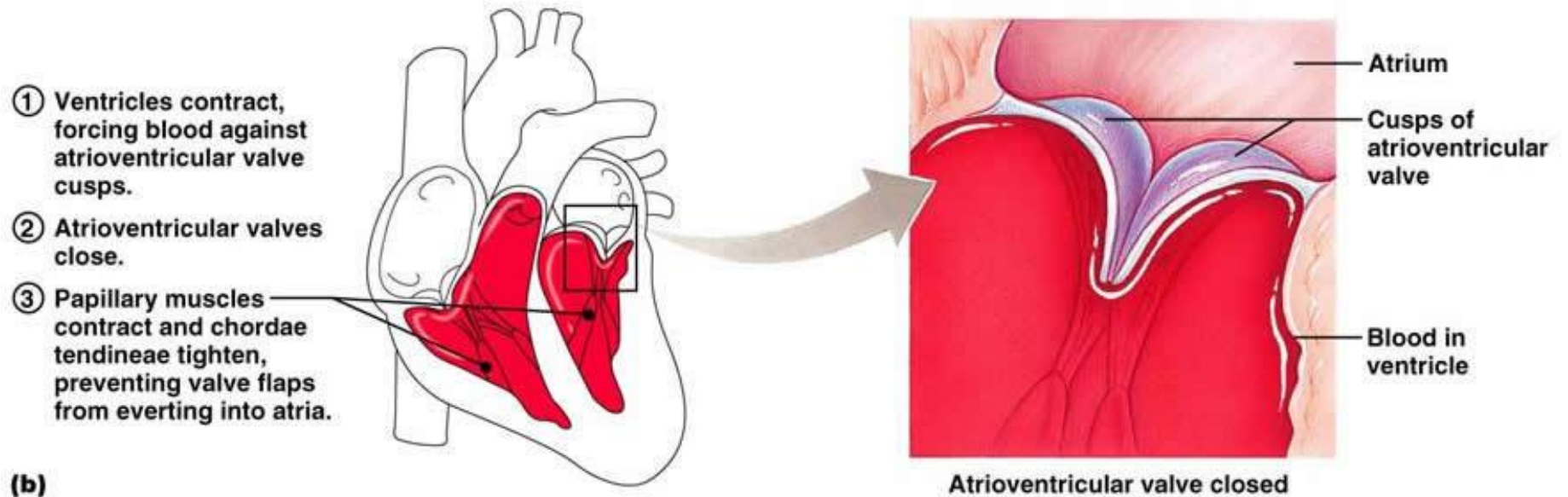
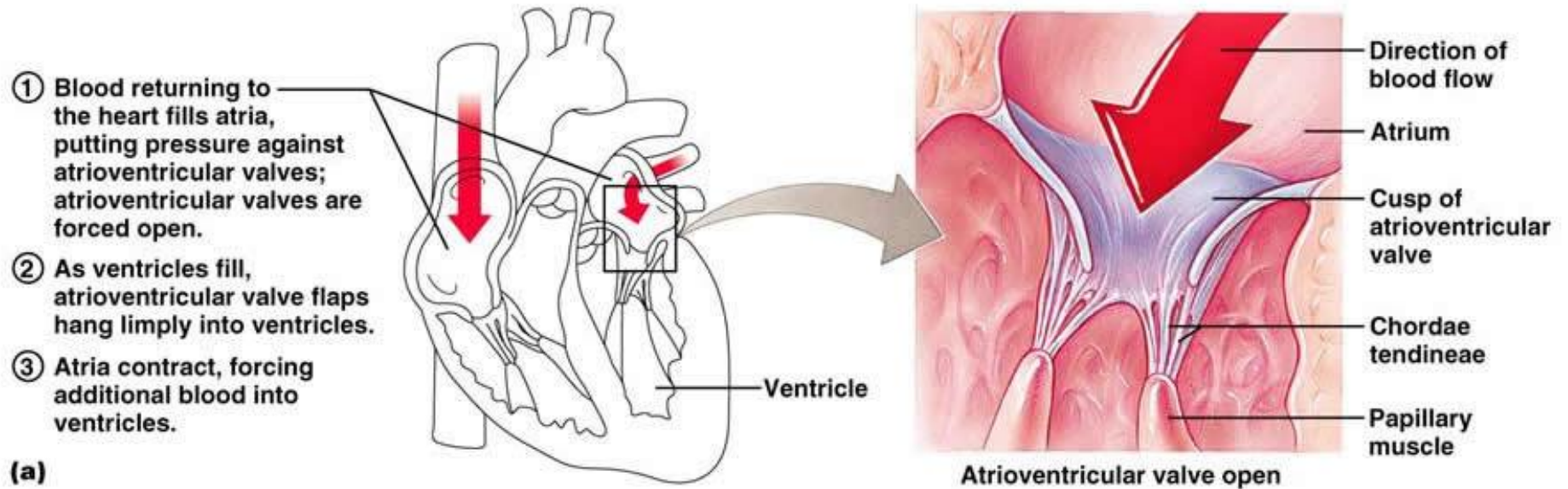
Les anneaux fibreux atrio-ventriculaires donnent insertion aux fibres musculaires des atriums et des ventricules et émettent des expansions qui forment la charpente fibreuse des valves atrio-ventriculaires



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

Les obligent une circulation à sens unique



Valves sigmoïdes ouvertes et fermées

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

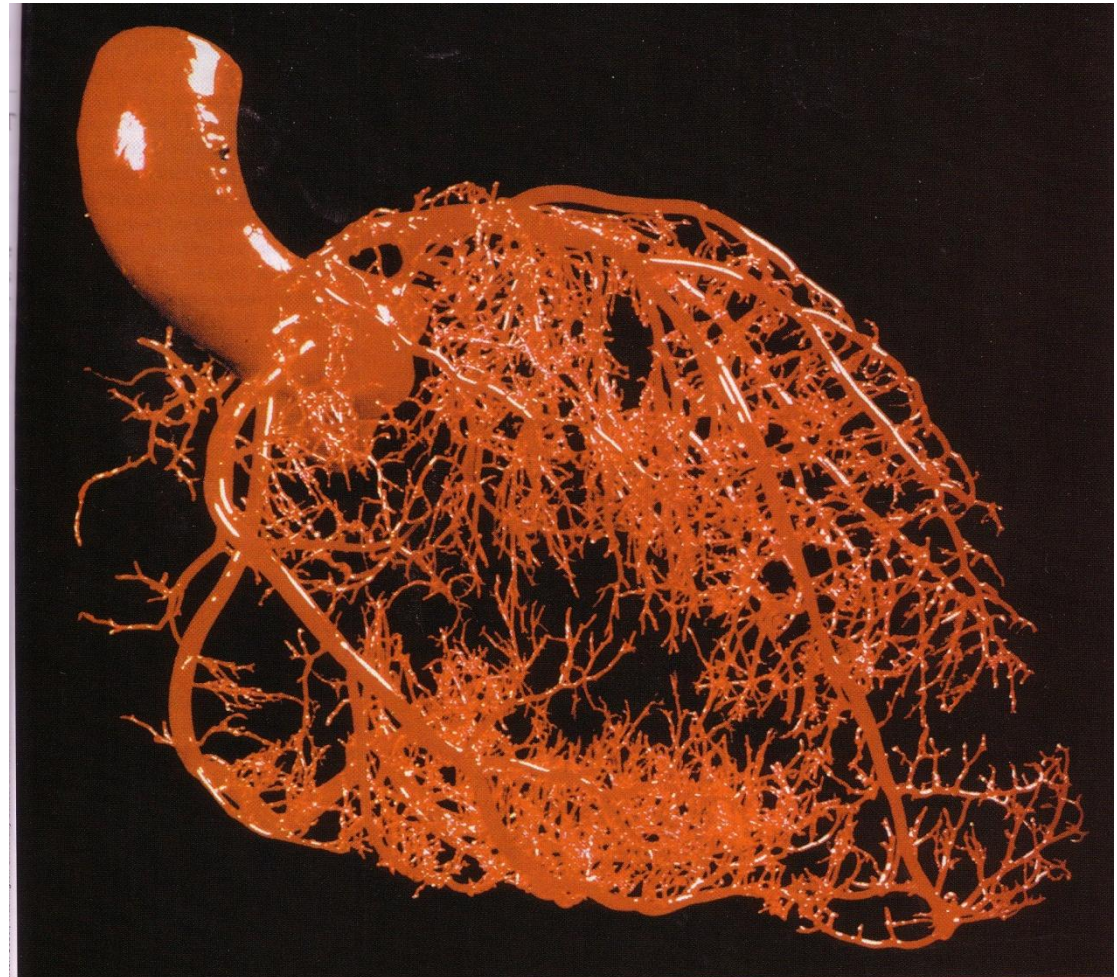
1.5. Organisation de la pompe cardiaque

a. Un muscle creux à 4 cavités.

Réseau coronarien:

vascularisation propre au cœur,
avec artères et veines, permet
l'approvisionnement en
nutriment et dioxygène et
l'évacuation des déchets
produits par le cœur.

Vaisseaux coronaires

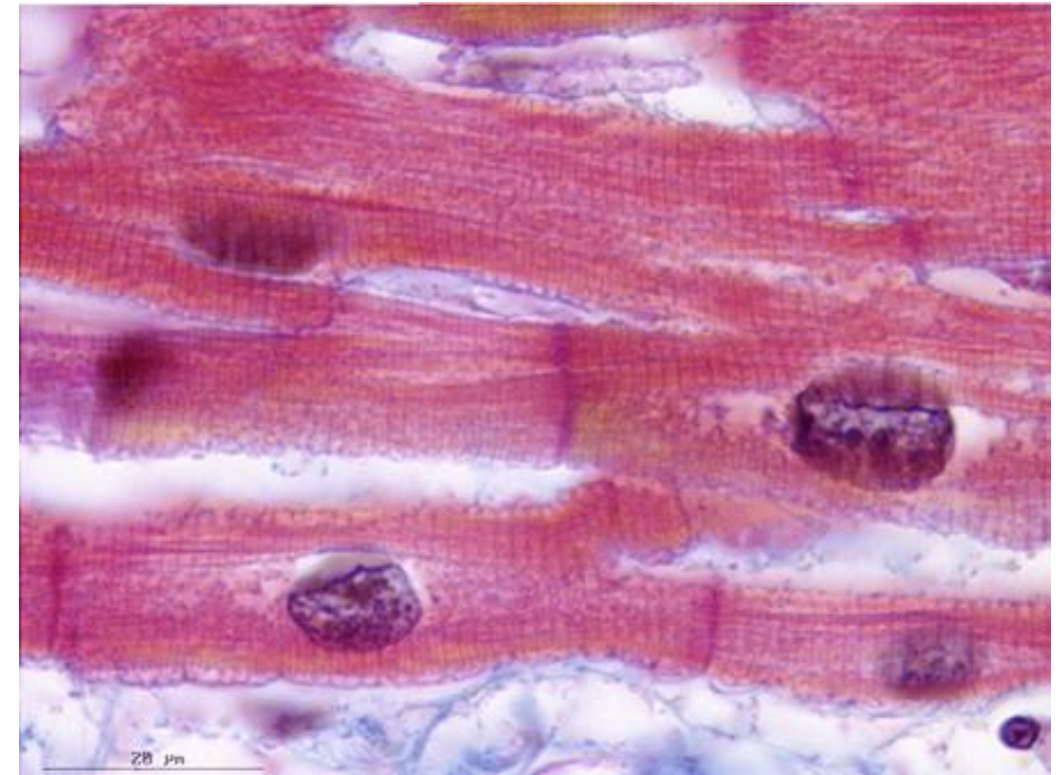
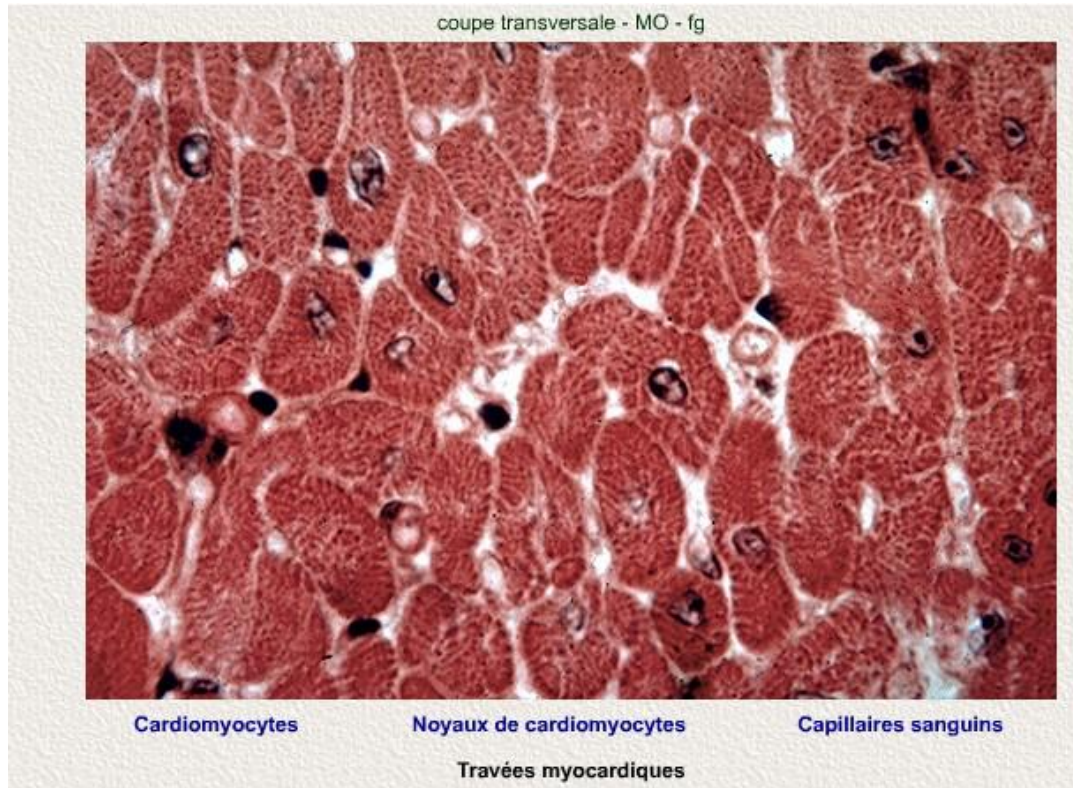


2. **LES VAISSEAUX SANGUINS** du cœur (ici des moulages en latex) ont une structure qui rappelle les fractales. Les vaisseaux se subdivisent en plus petits vaisseaux, qui se ramifient encore jusqu'aux capillaires.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde est une cellule contractile striée

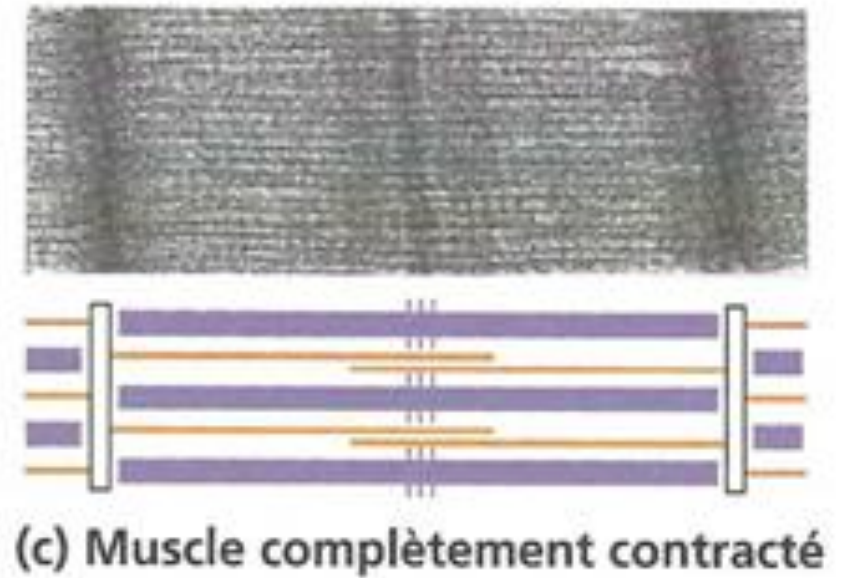
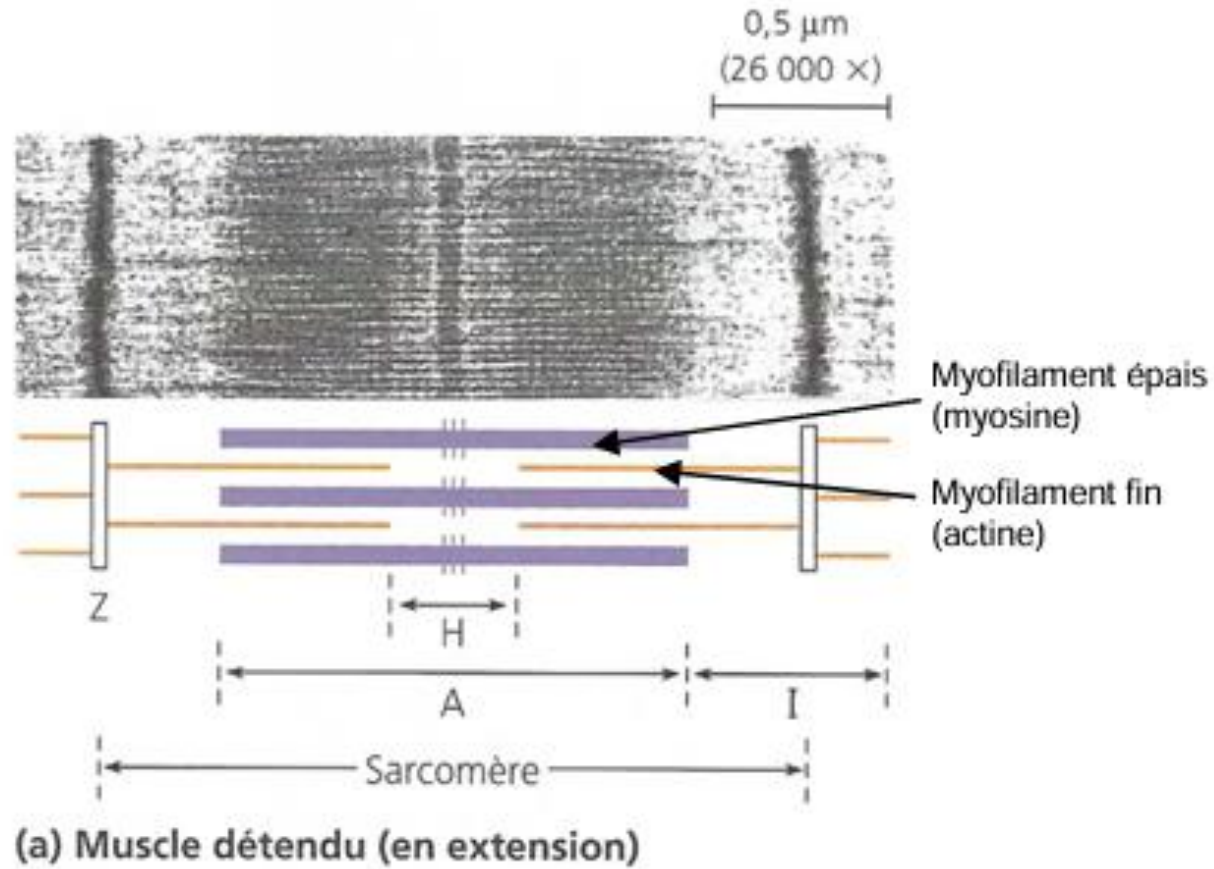
Des cellules striées originales.



Réseau anastomosé

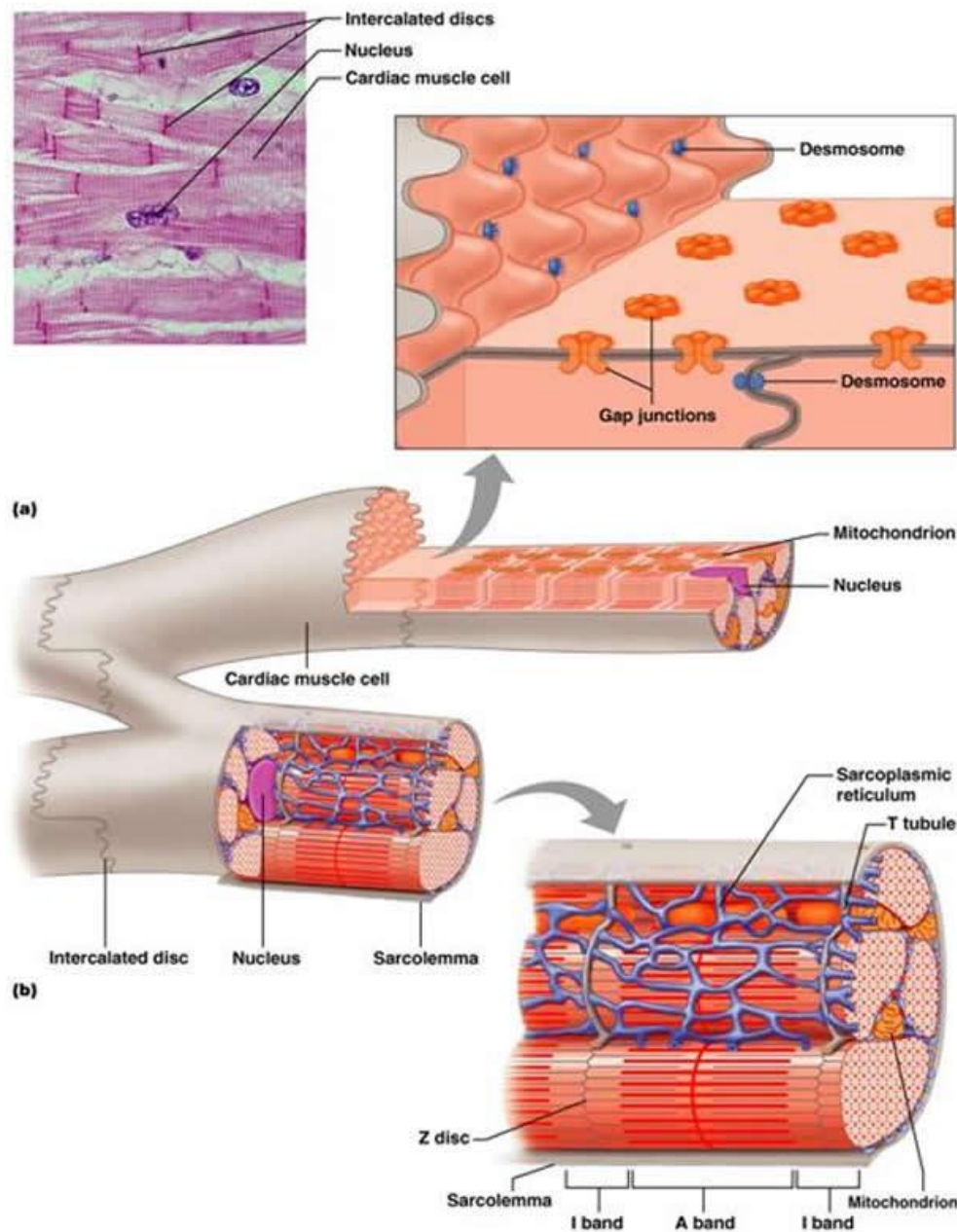
1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde est une cellule contractile striée



1.5. Organisation de la pompe cardiaque

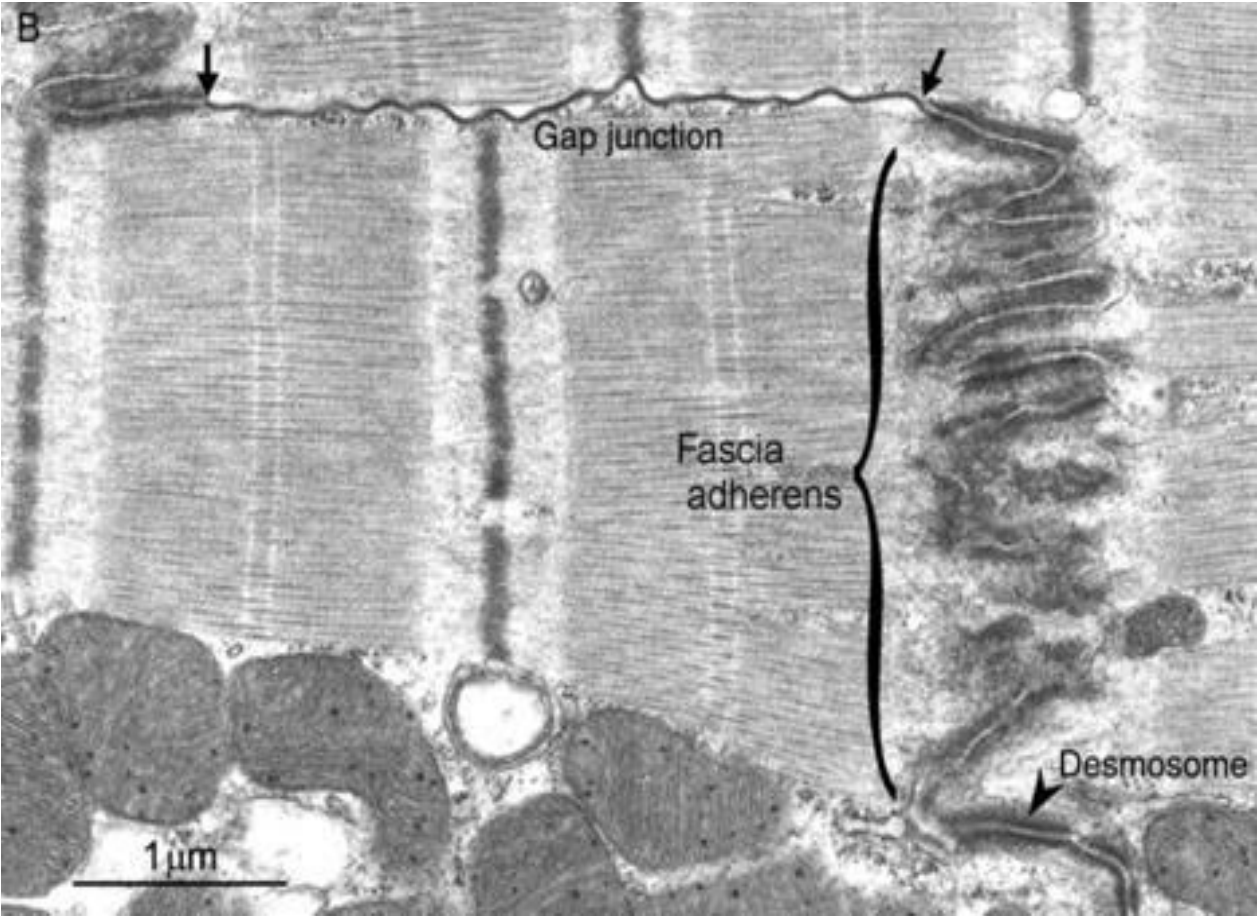
b. La cellule du myocarde est une cellule contractile striée



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée





1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Importance des jonctions

D'après MET

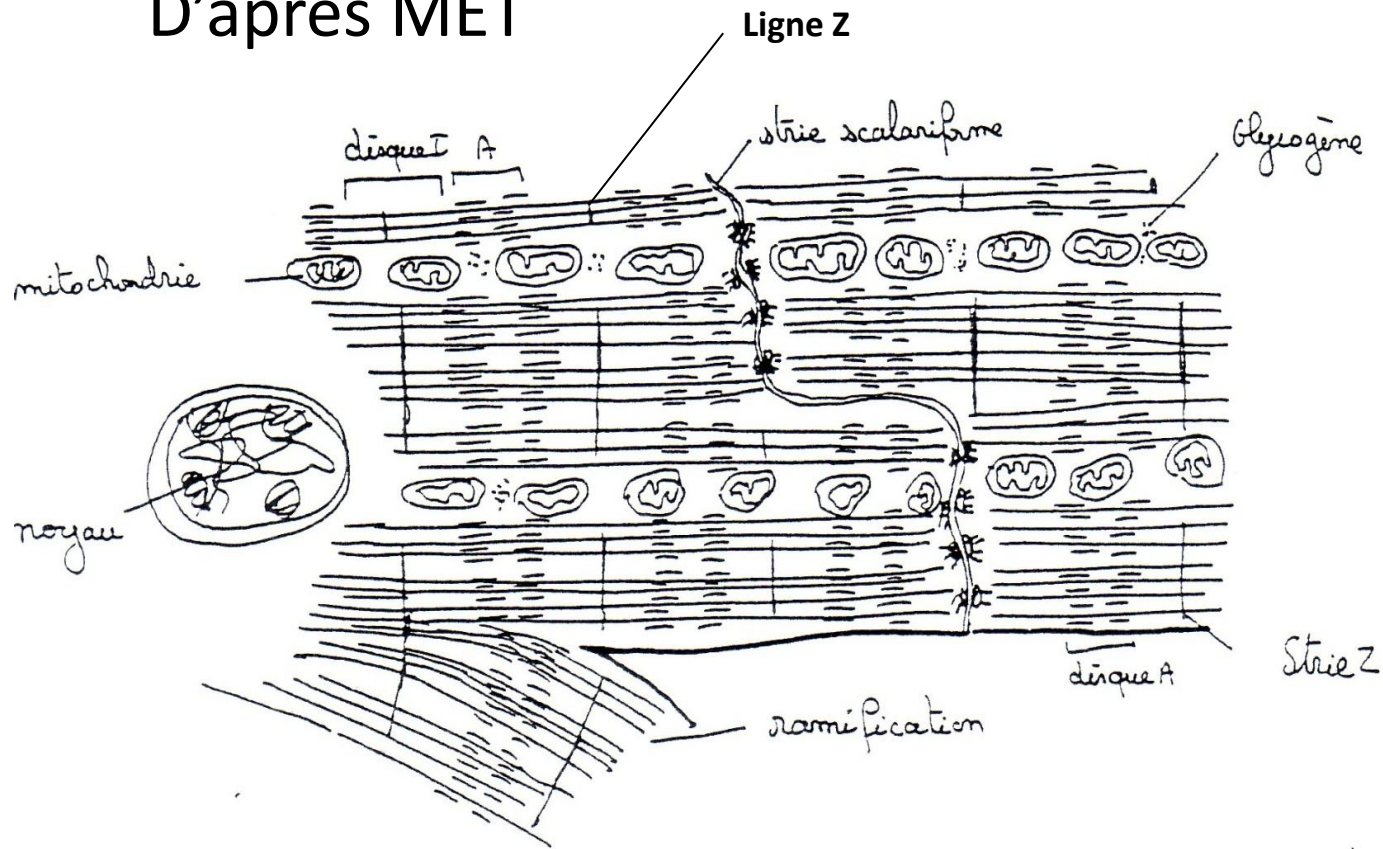
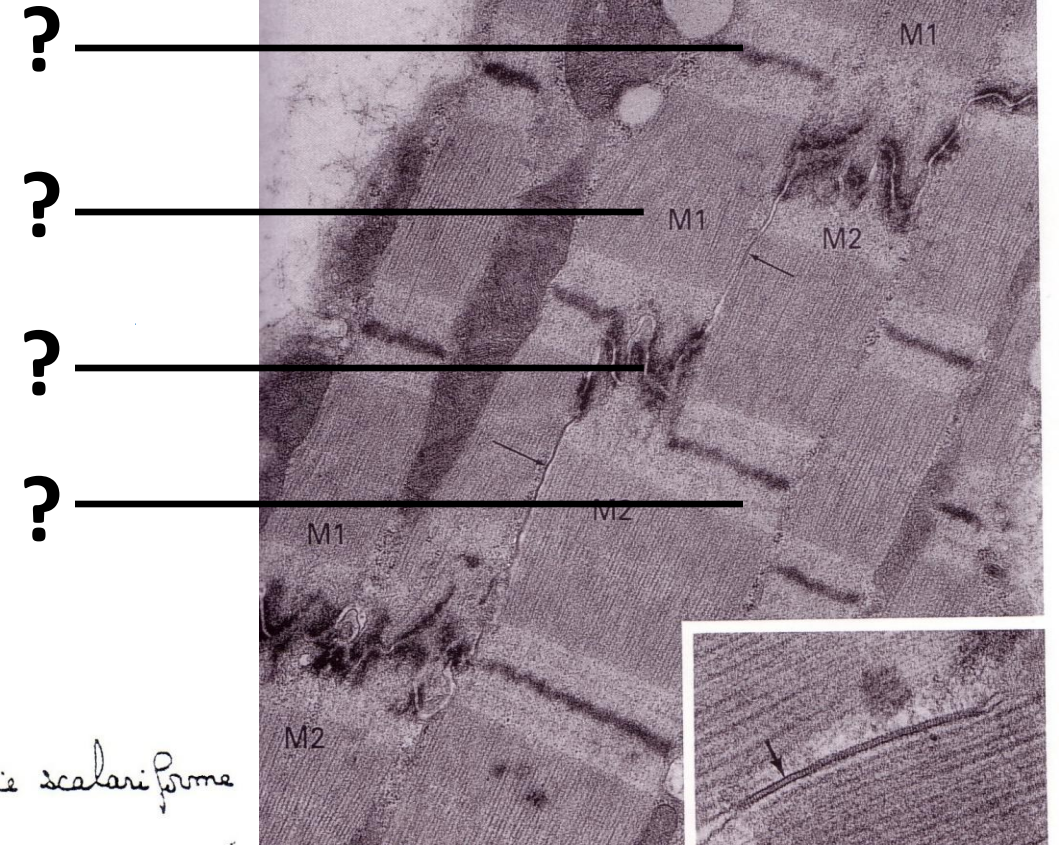


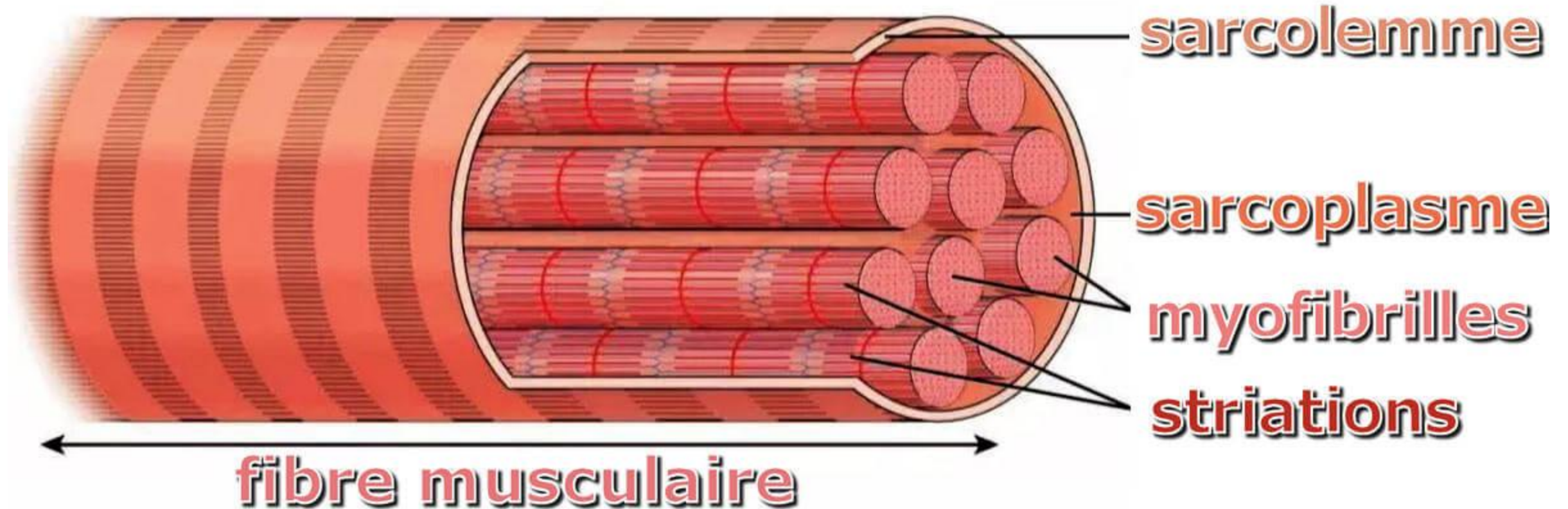
Fig 4. Détail d'une cellule myocardique au niveau d'une strie scalariforme observée au MET ($\times 30\,000$)



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Organisation des sarcomères : lien SV-H-3

Répétition d'unités élémentaires

= sarcomères

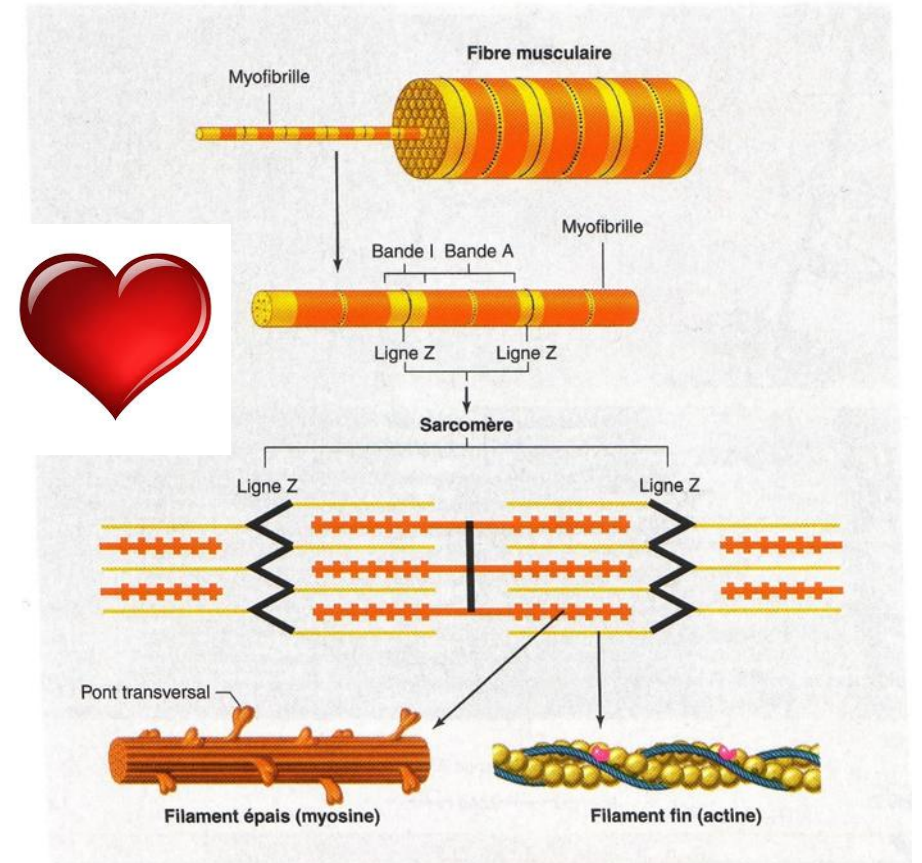


FIGURE 9-4

Disposition des filaments dans une fibre du muscle squelettique donnant à la fibre son aspect en bandes striées.

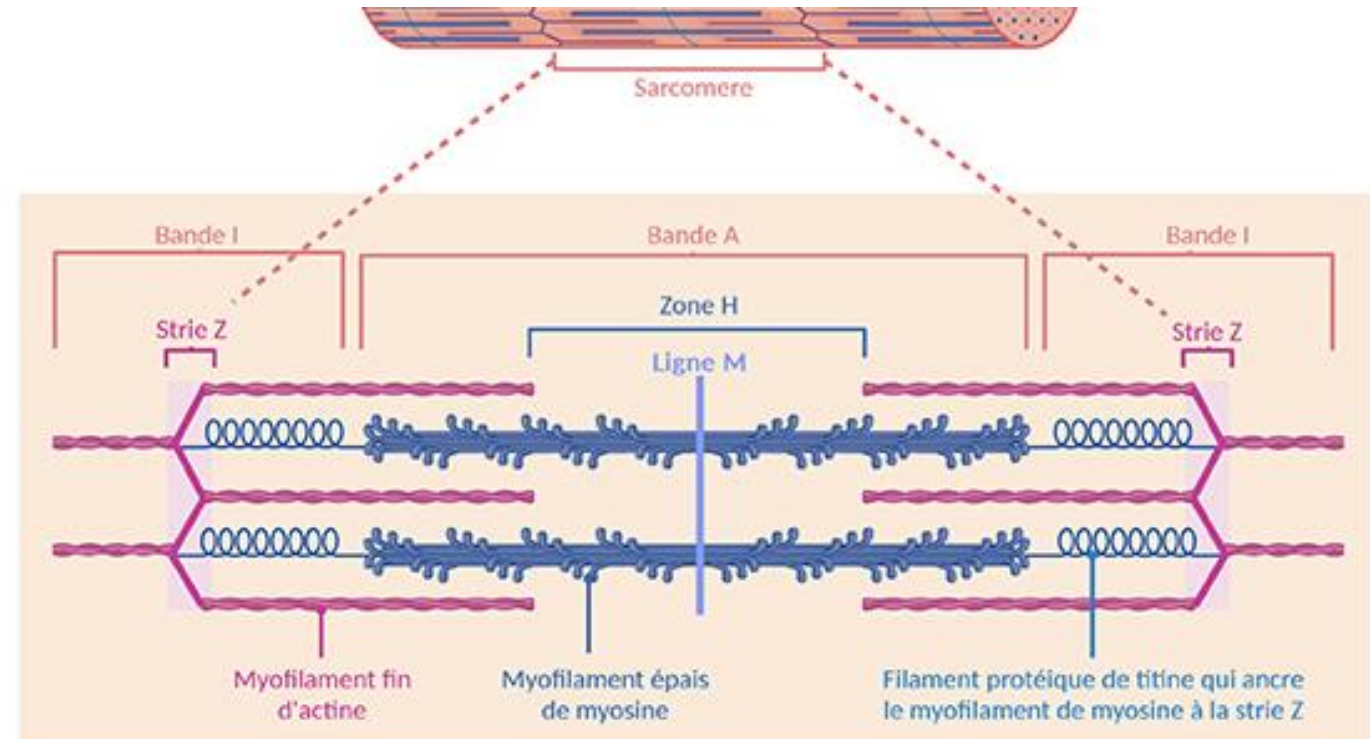
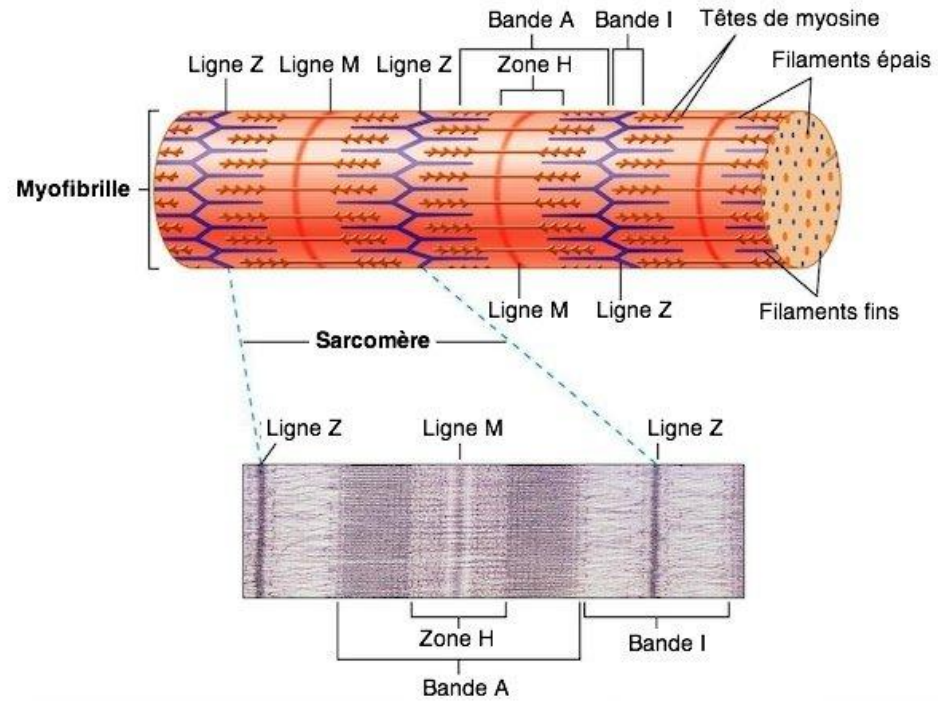
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Sarcomère : stries Z, Bande I, bande A, zone H, ligne M

Voir SV-H-3



Aspect d'un sarcomère relâché en microscopie électronique à transmission

Sarcomere

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

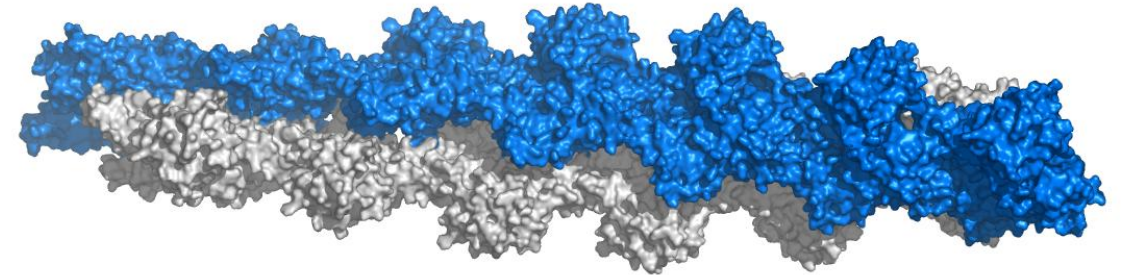
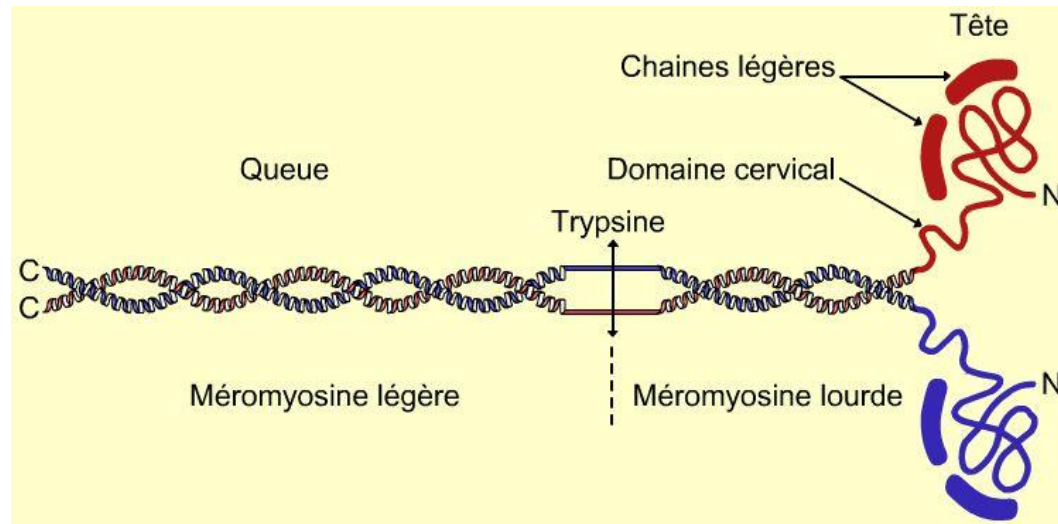
b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Deux protéines essentielles : actine / myosine

Voir SV-H-3

Myofilaments épais : myosine

Myofilaments fins : actine F



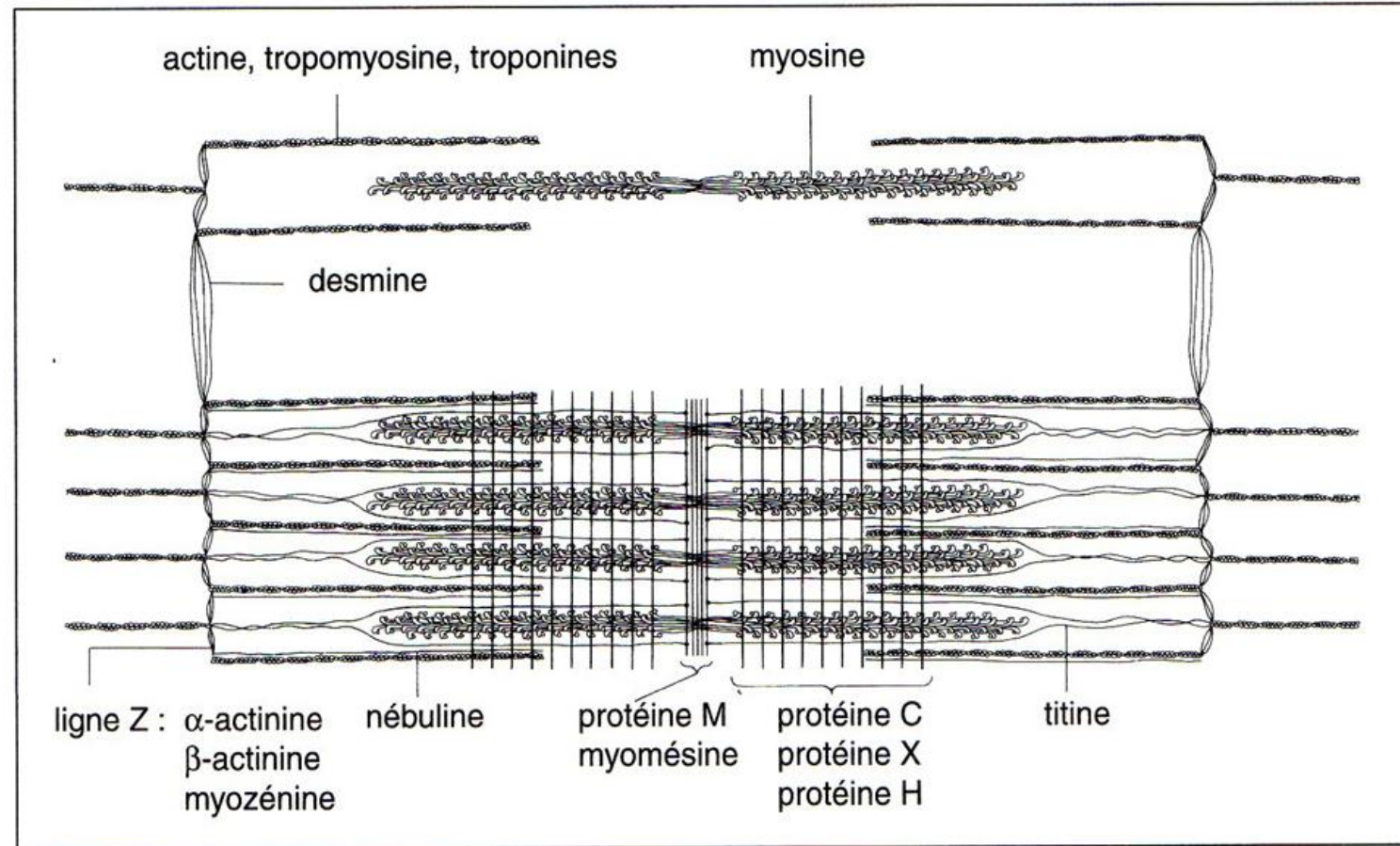
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Nombreuses autres protéines

Lien SV-H-3



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

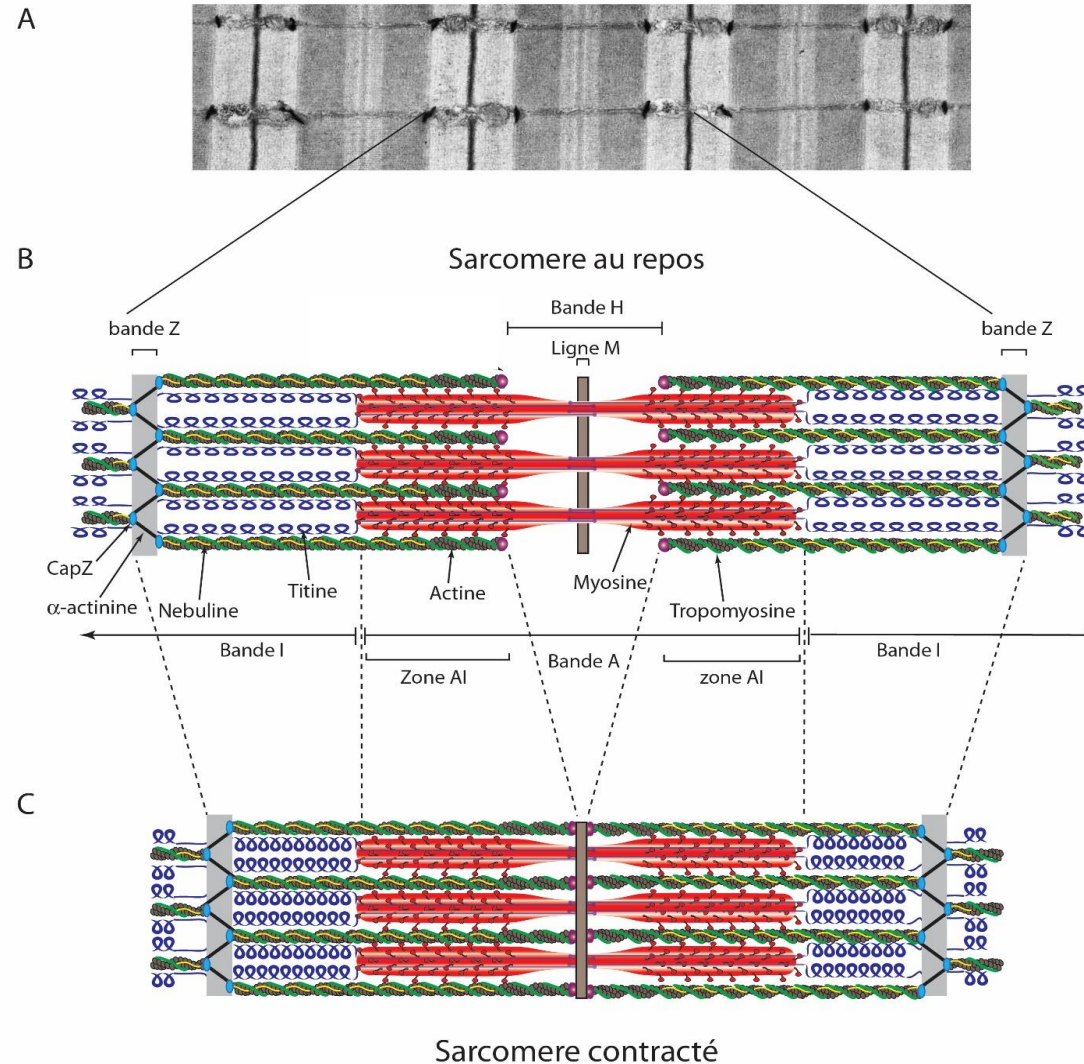
1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Glissement des sarcomères : contraction

Sommation des
raccourcissements

Passage de $3,4\ \mu\text{m}$ à
 $2,4\ \mu\text{m}$: environ
diminution $1/3$



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Le cycle actine / myosine à l'origine de la contraction

Voir SV-H-3

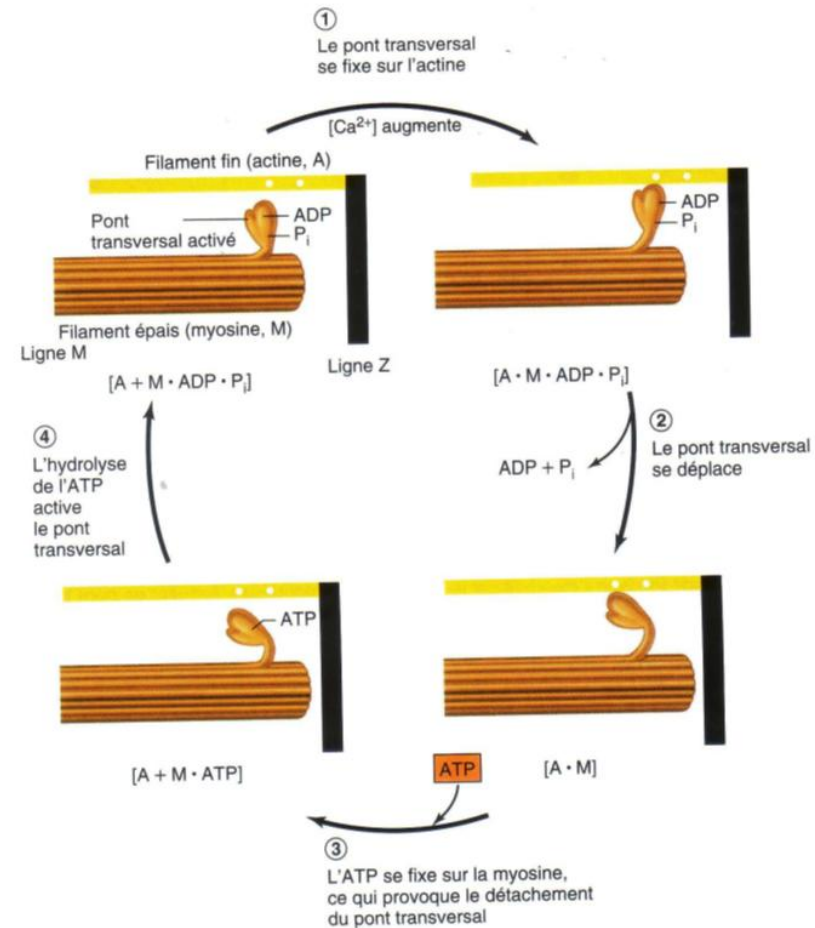


FIGURE 9-12

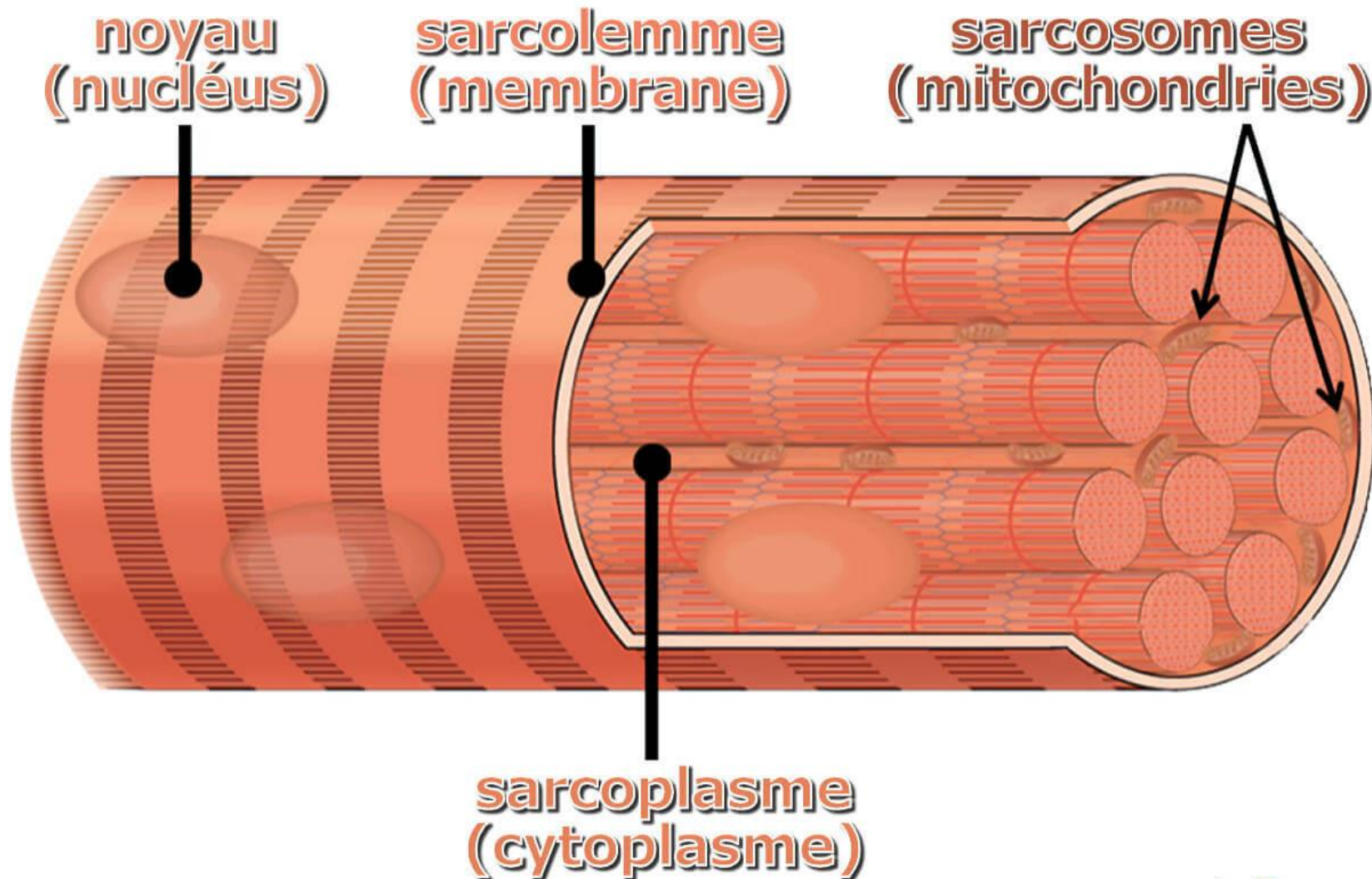
Représentations chimiques (montrées entre crochets) et mécaniques des quatre étapes du cycle d'un pont transversal. Dans une fibre musculaire au repos, la contraction débute quand le calcium active le filament fin.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

fibre musculaire



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

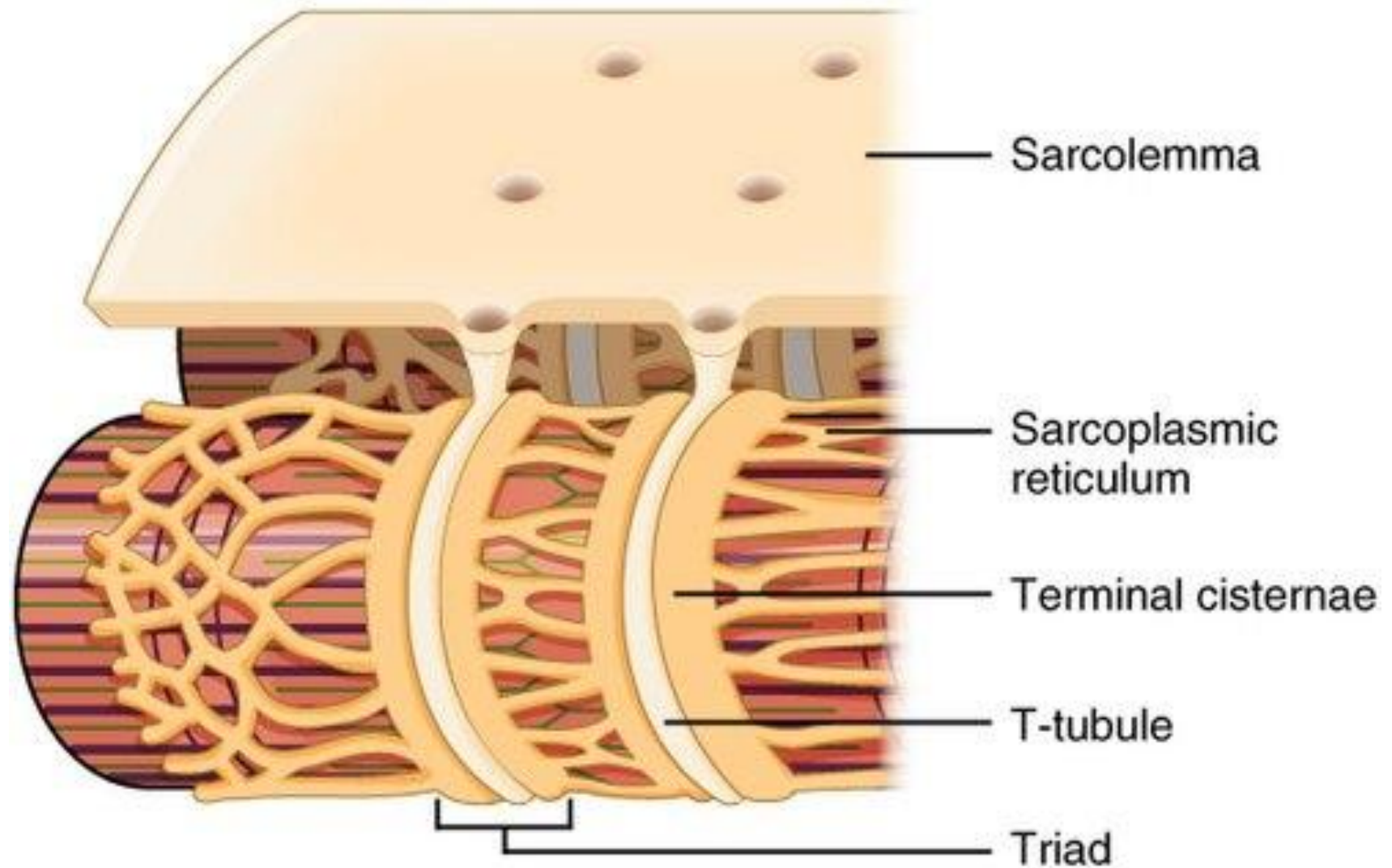


Illustration d'une dyade :
association d'un tubule T et
d'un réticulum
sarcoplasmique cardiaque

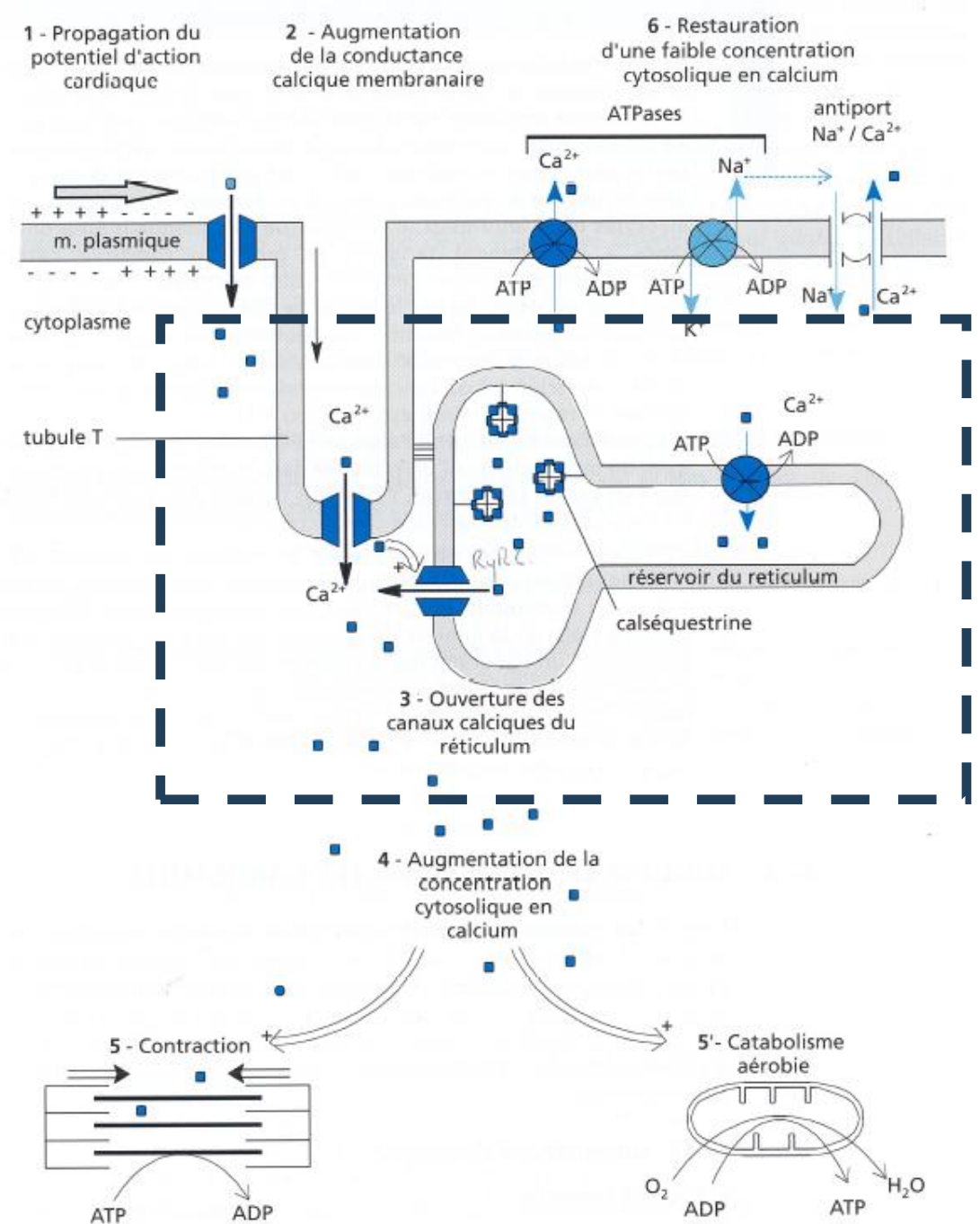


Figure 17.12 Le couplage excitation-contraction dans une cellule myocardique.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

b. La cellule du myocarde : une cellule contractile striée

Point communs et différences avec les cellules des muscles striés squelettiques :

- Points communs : aspect strié et organisation du sarcomère, tubule T et réticulum, mitochondries et glycogène ;
- Différences : 1 seul noyau, aspect ramifié et anastomosé, disques intercalaires, pas de plaque motrice

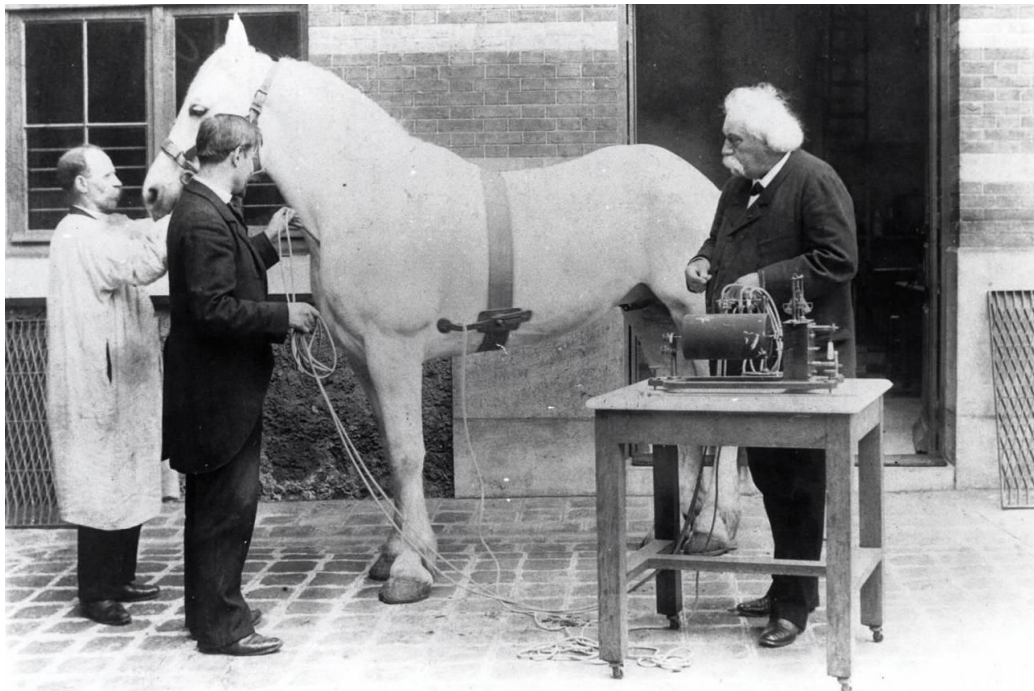
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.

Exploration du fonctionnement du muscle cardiaque : la cardiographie mécanique.

Dispositif de Chauveau et Marey (1861) :



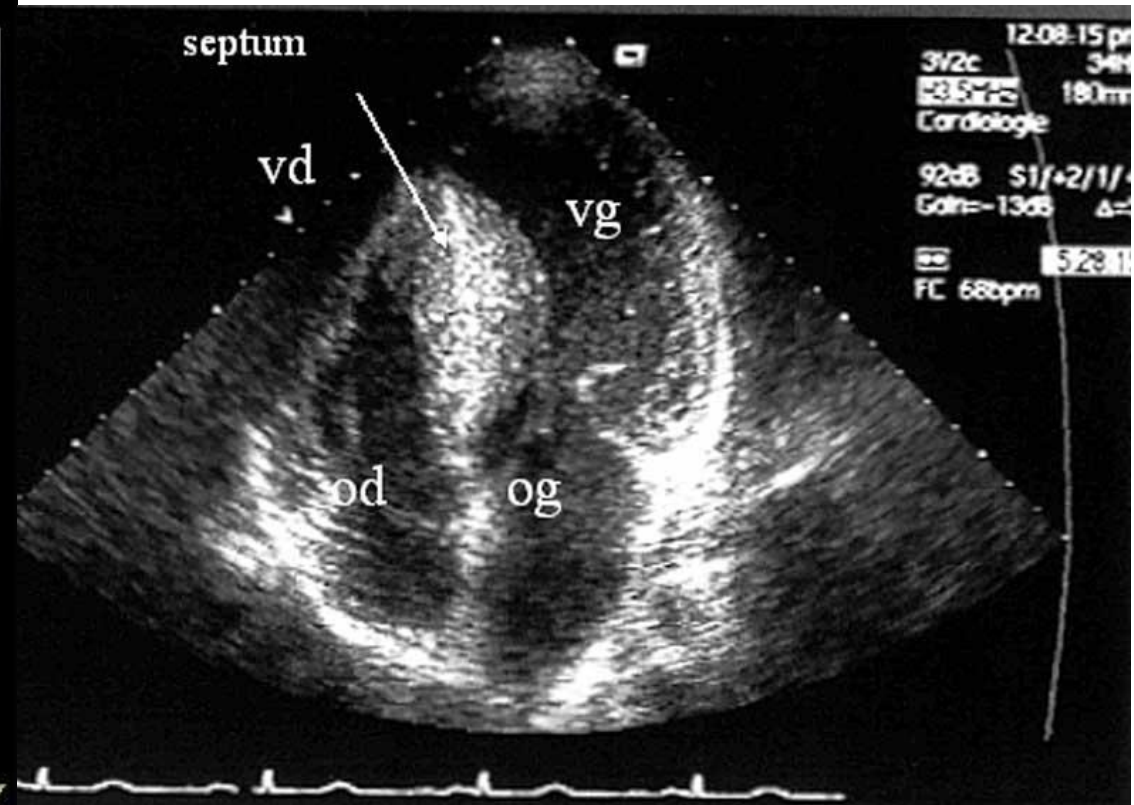
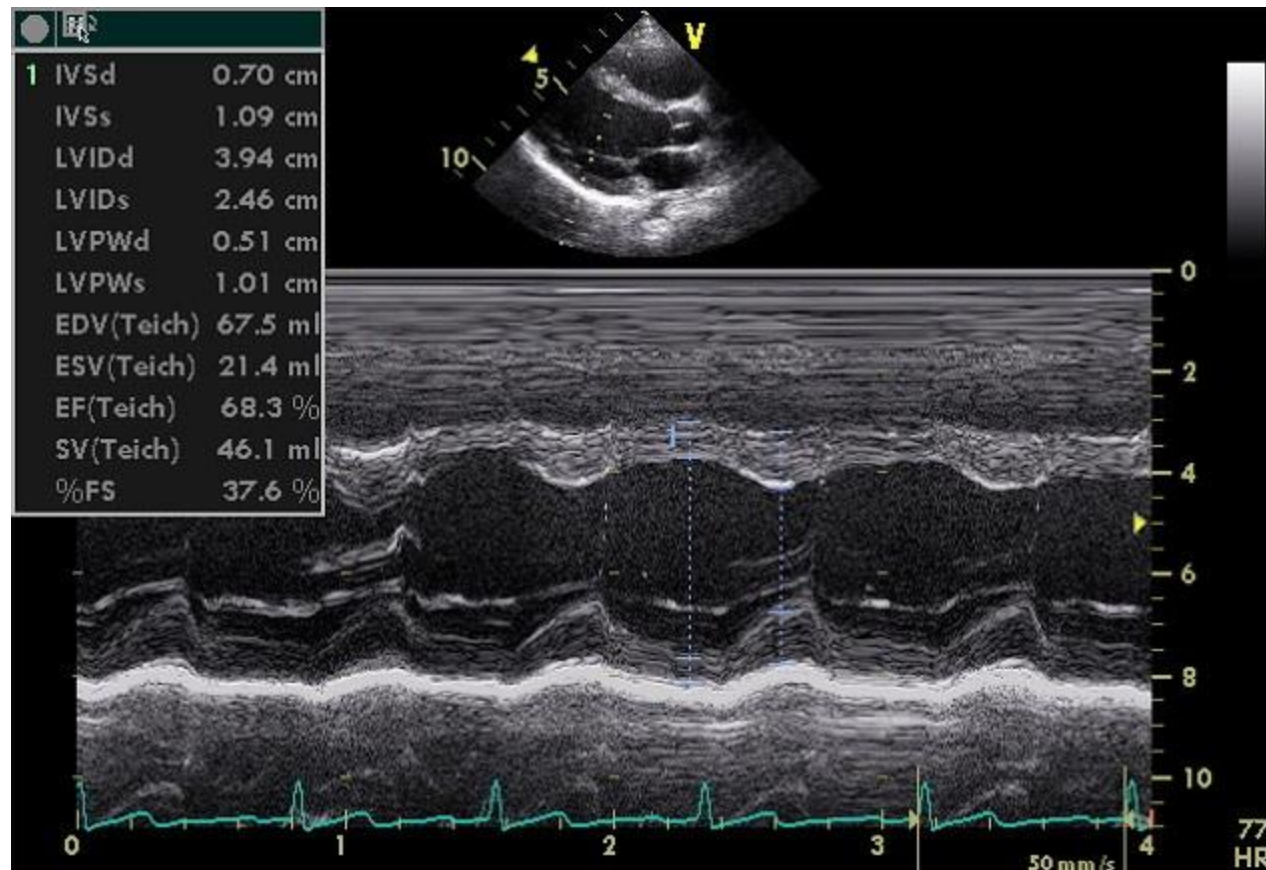
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.

Echographie cardiaque normale

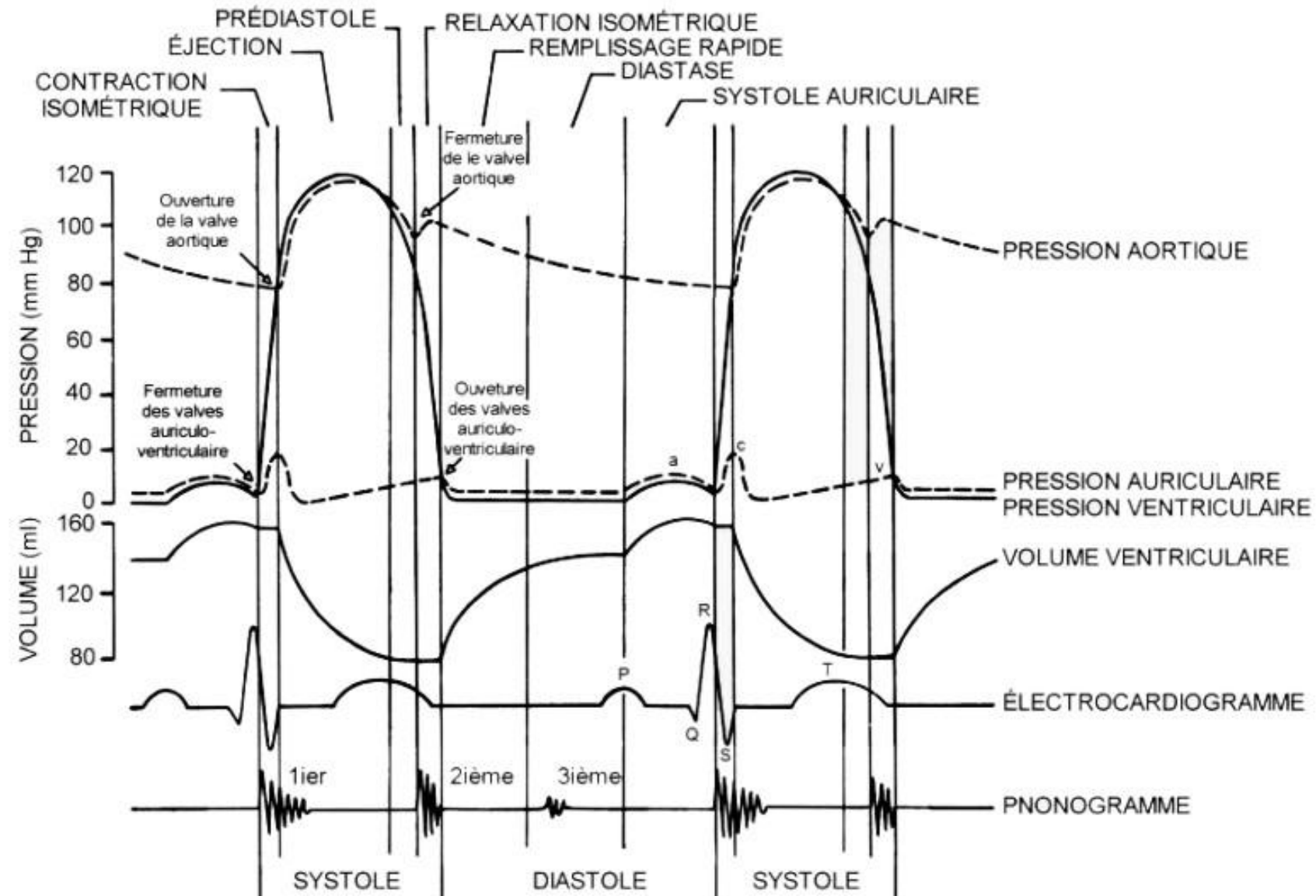
Visualisation au cours du temps



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.

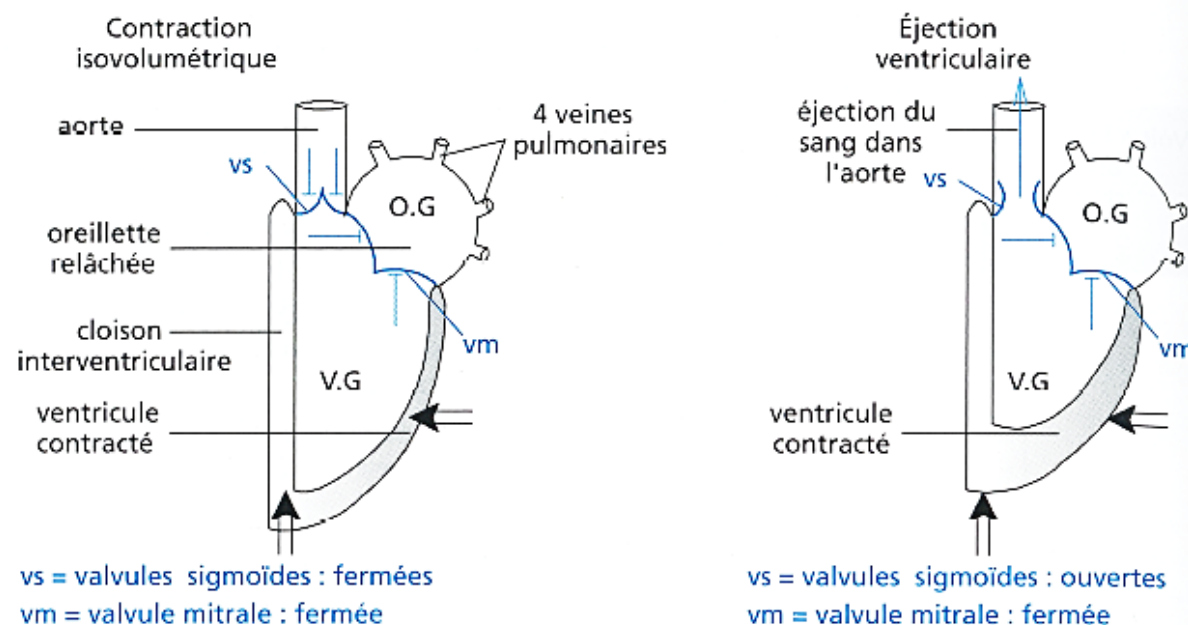


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.

1 - SYSTOLE VENTRICULAIRE



2 - DIASTOLE VENTRICULAIRE

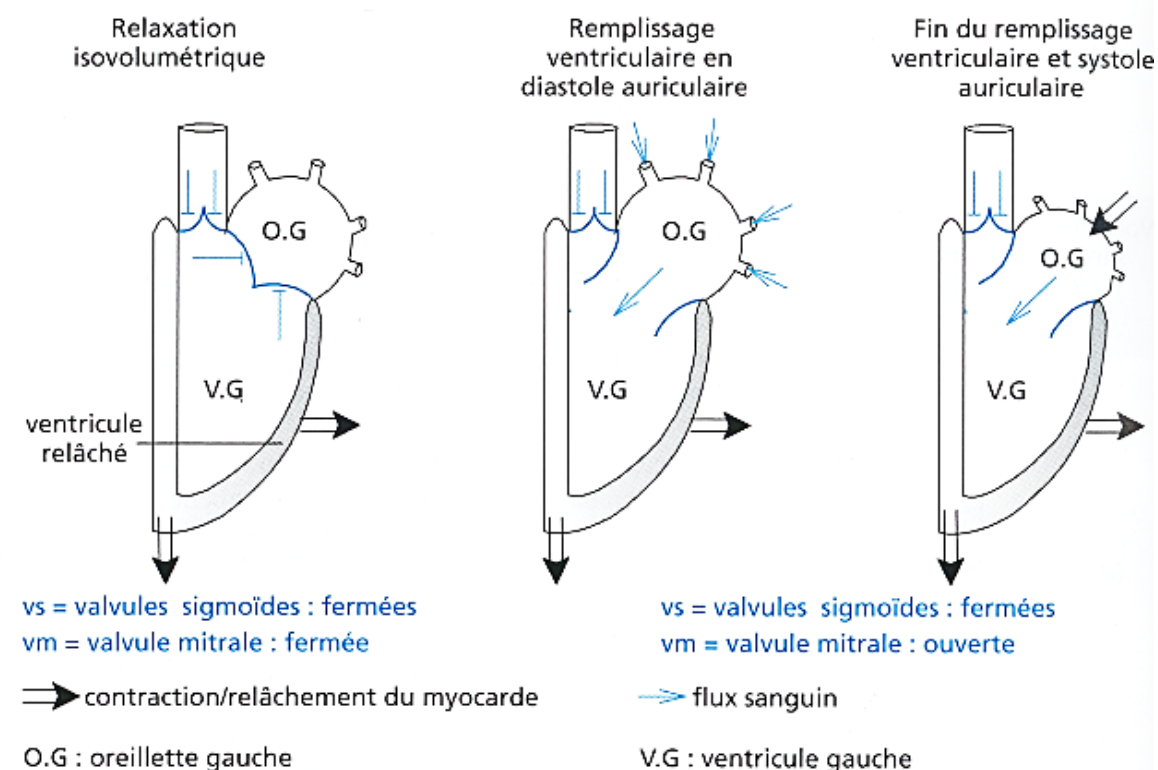


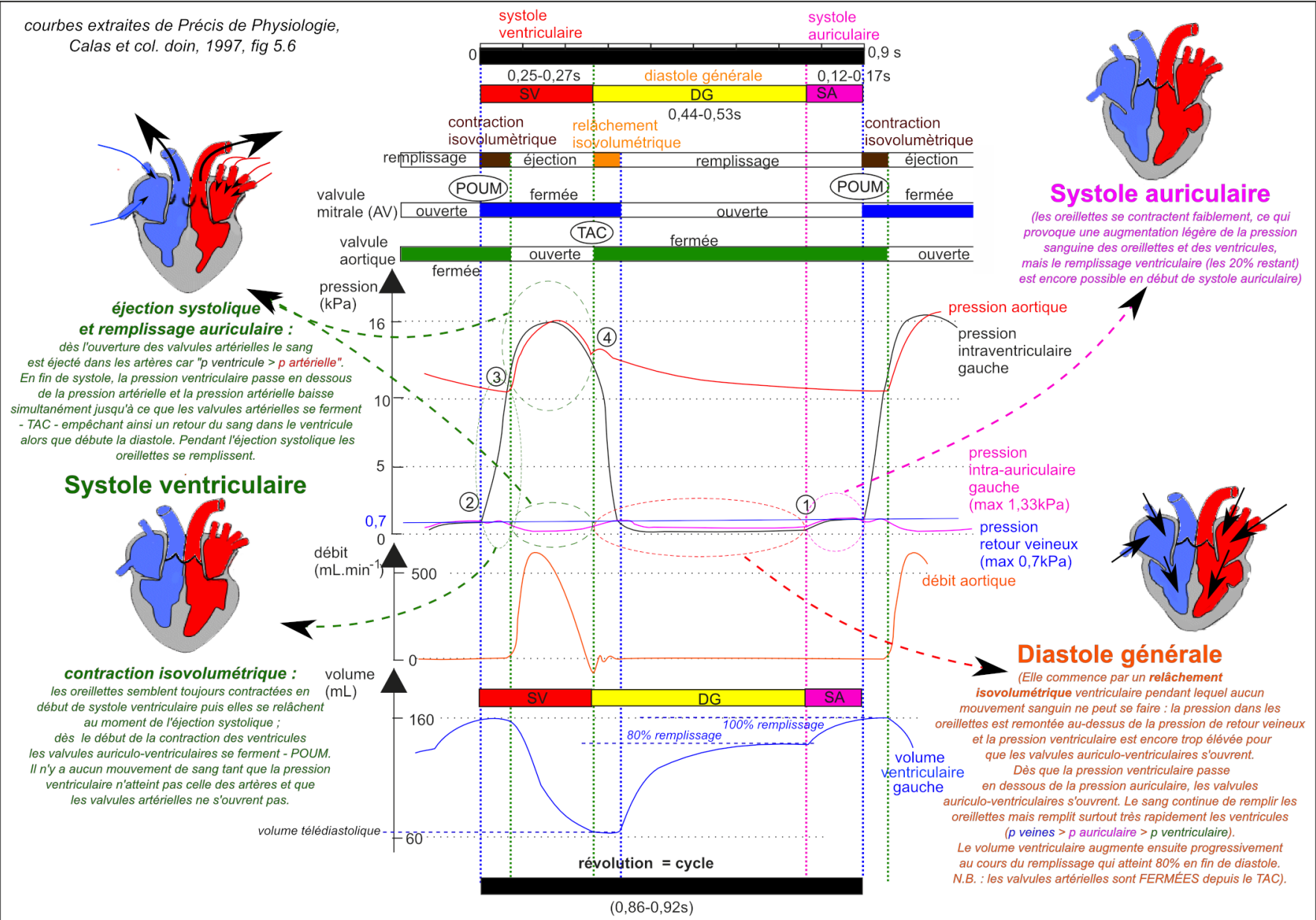
Figure 17.5 Récapitulatif des phases du cycle cardiaque (coupe longitudinale schématisée du cœur gauche).

Le cycle étant synchrone pour les deux moitiés du cœur, le cœur droit n'est pas représenté.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.

Bilan

Cycle volume pression

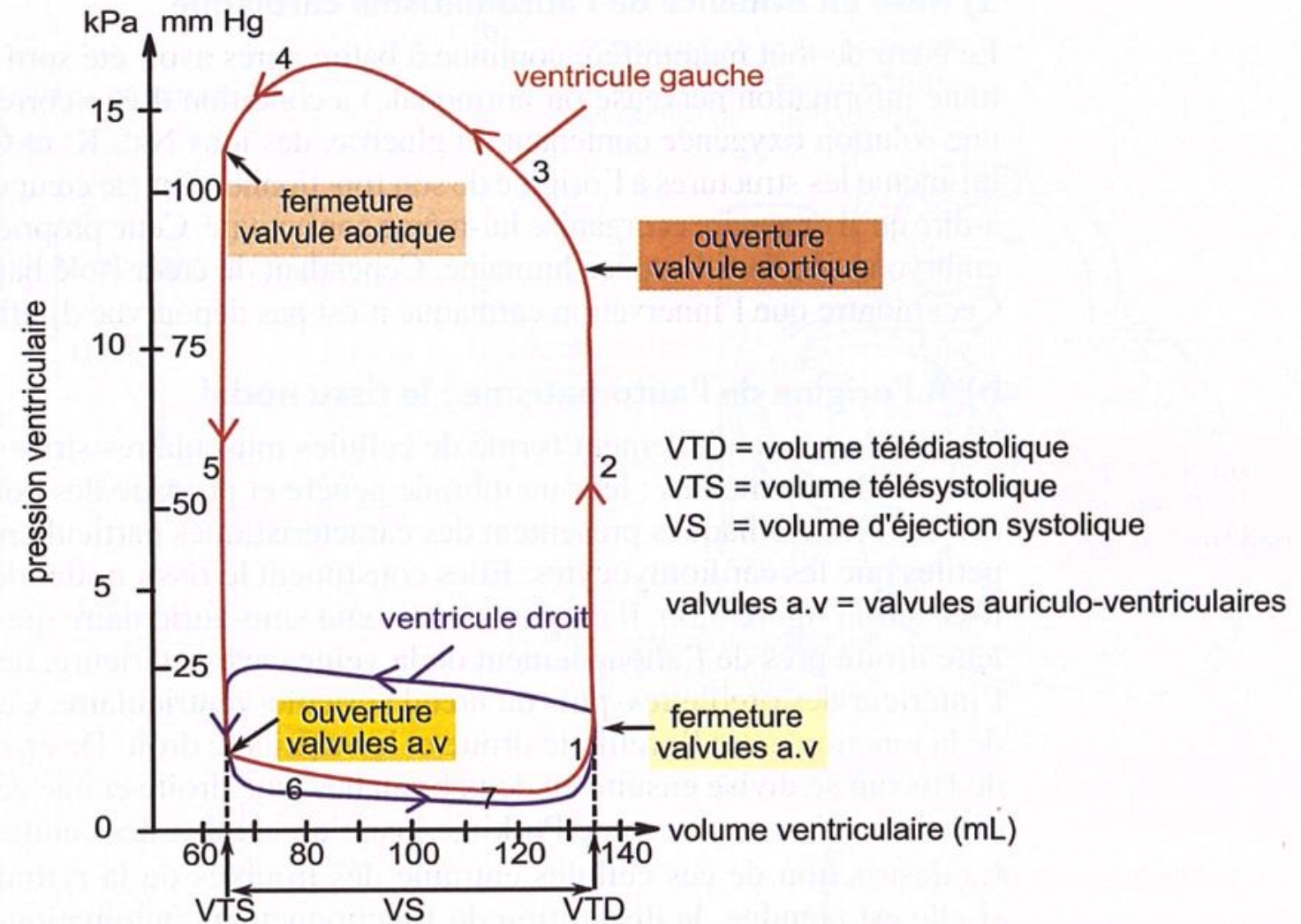
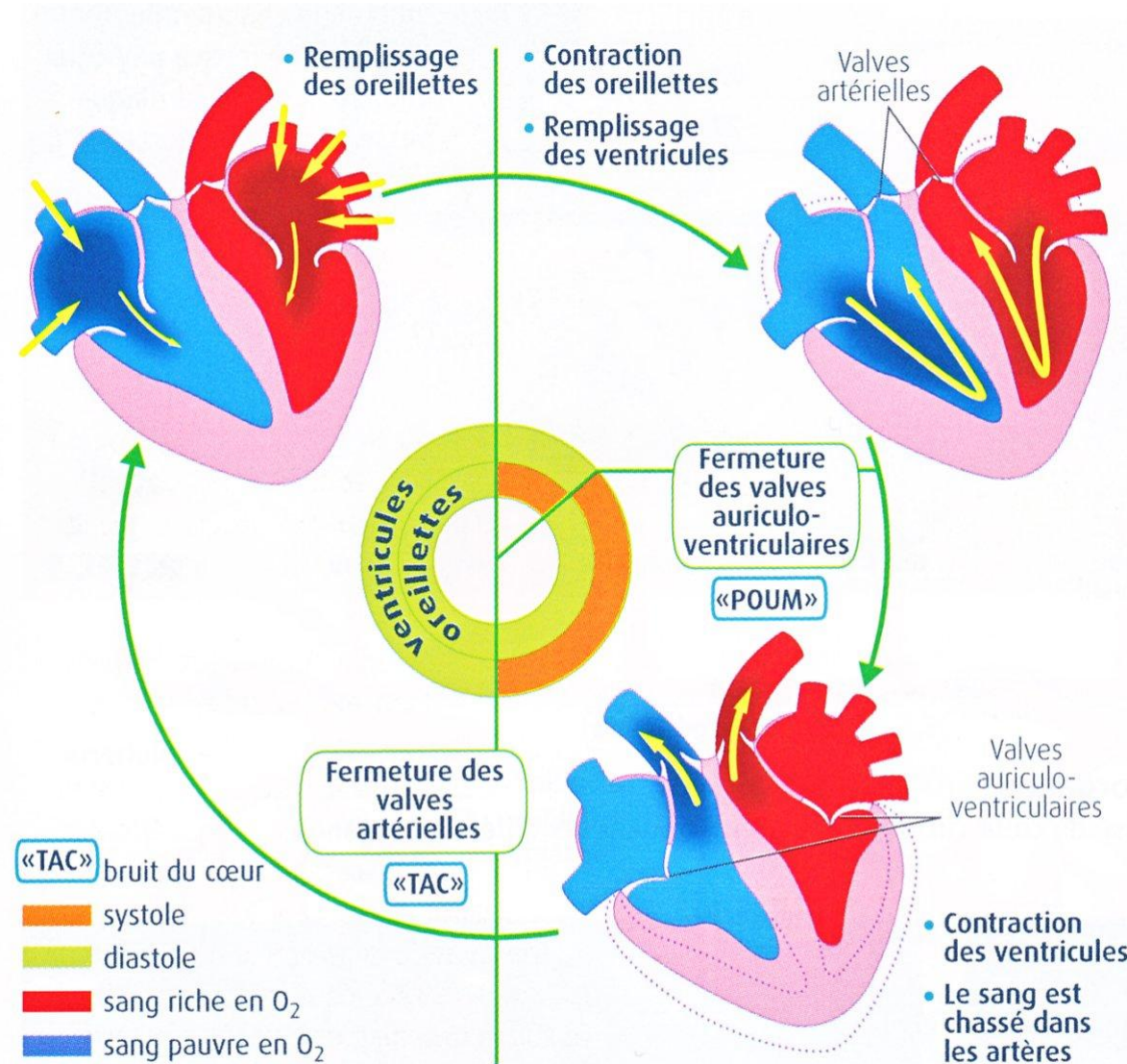


FIGURE 3.5 Évolution de la pression et du volume de chaque ventricule au cours du cycle cardiaque. Les numéros renvoient aux étapes du cycle ventriculaire de la figure 3.3.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.5. Organisation de la pompe cardiaque

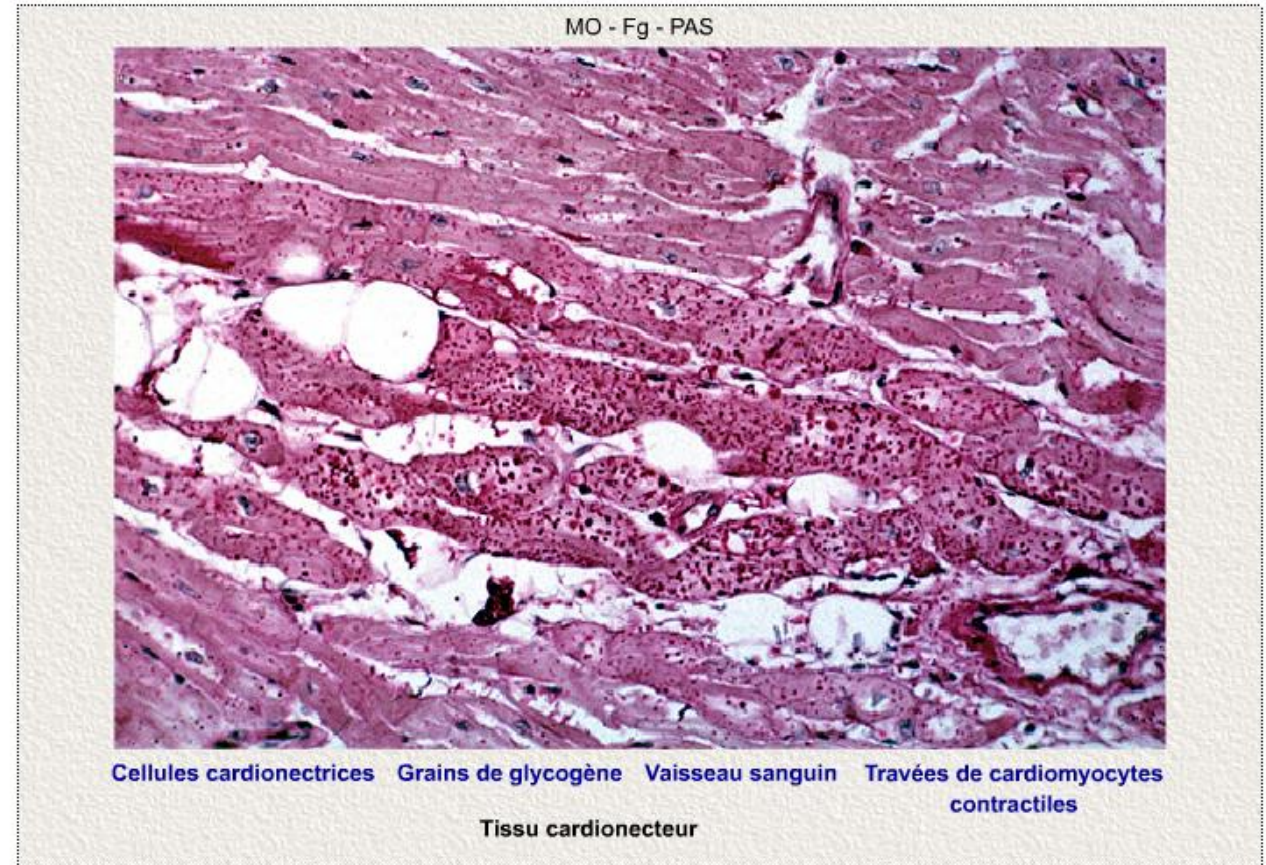
c. La révolution du muscle cardiaque à l'échelle de l'organe.



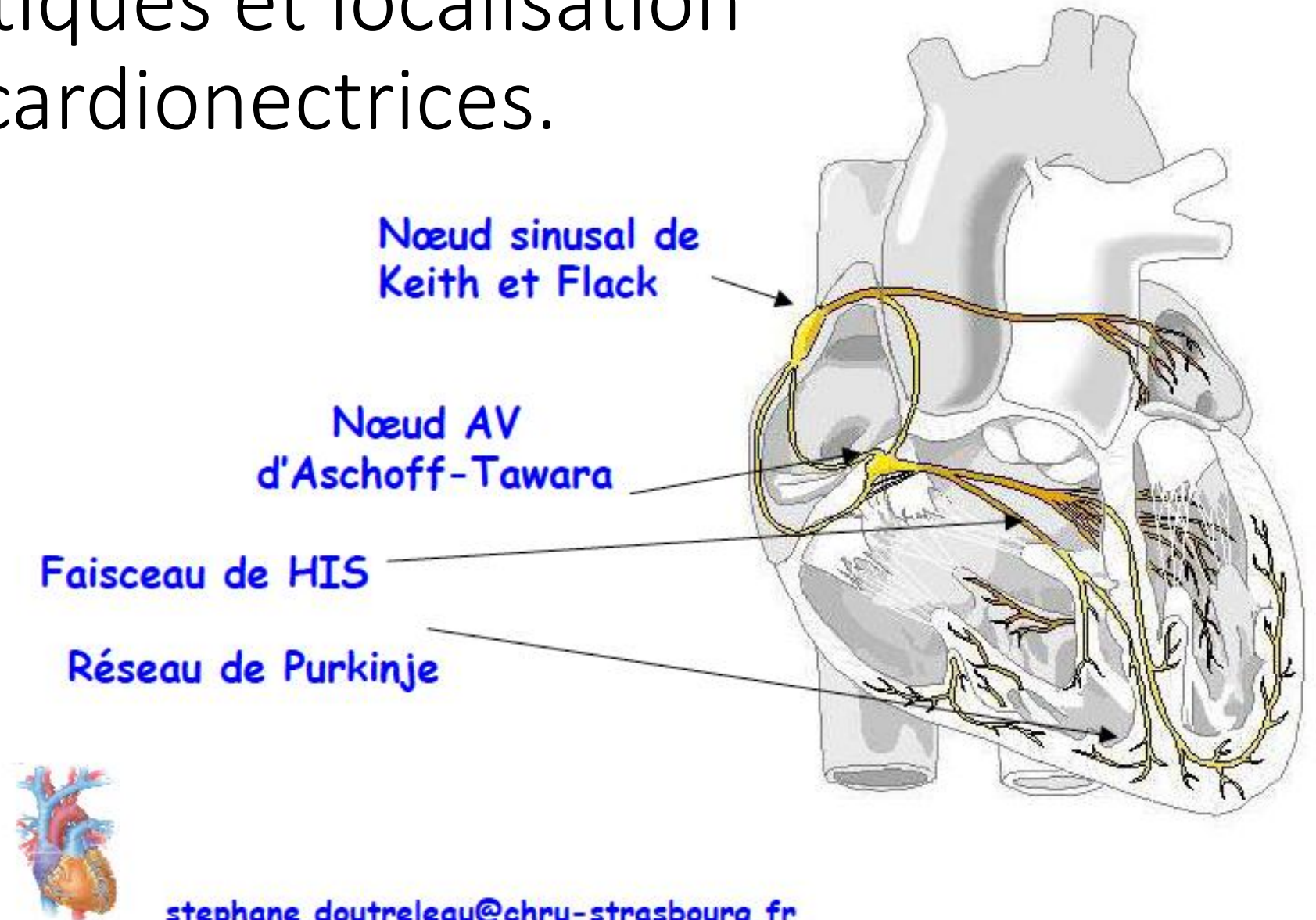
1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

a. Le cœur bat de façon autonome.

Cellules **cardionectrices** :
pauvres en myofibrilles, elles
permettent l'initiation et la
conduction de la contraction
musculaire.
Il s'agit des cellules **nodales**
(nœud AV et nœud sinusal) et
des cellules des faisceaux de **HIS**
et de **Purkinje**.



b. Caractéristiques et localisation des cellules cardionectrices.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

b. Caractéristiques et localisation des cellules cardionectrices.

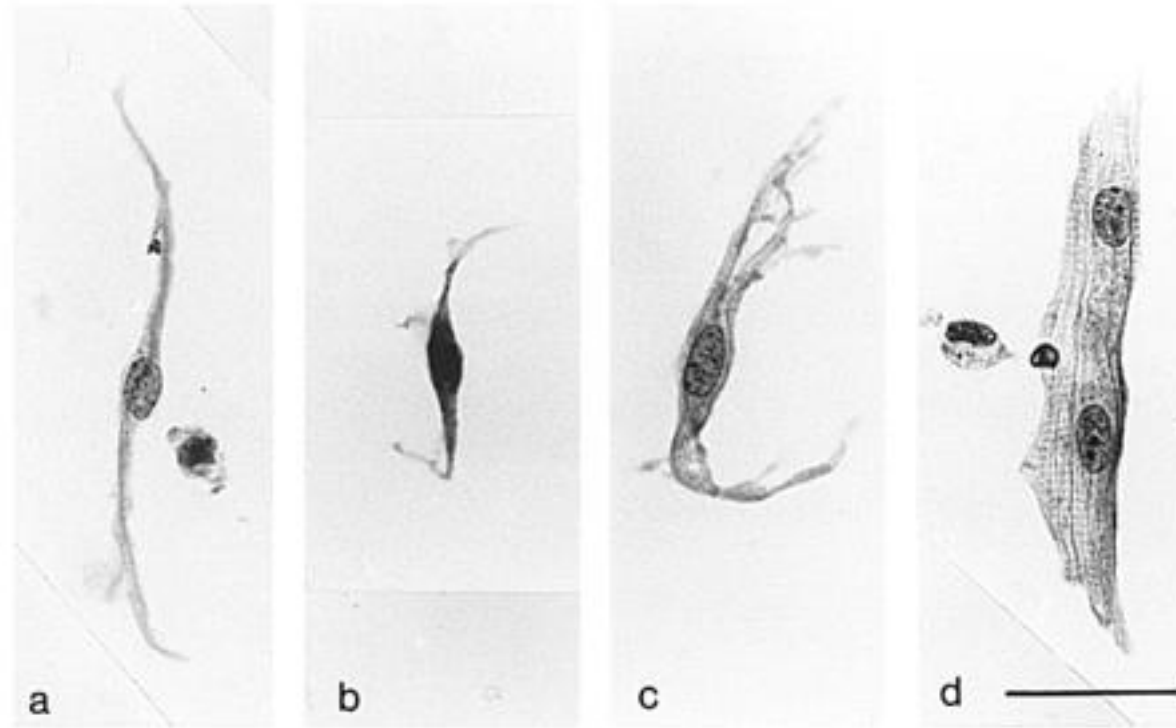


Figure 3.

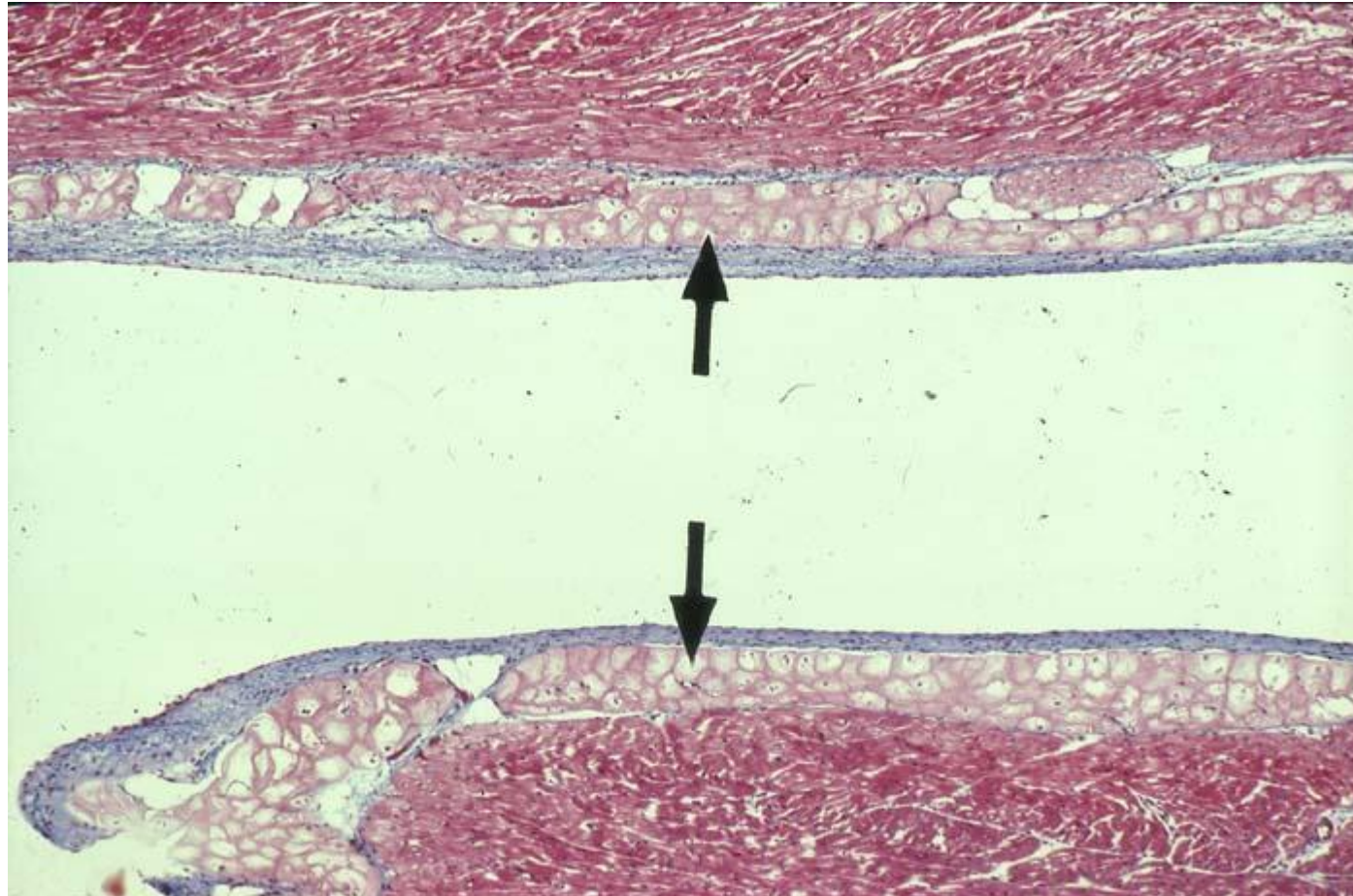
Cell types in the sinoatrial node. Photomicrograph of morphologically different cell types observed in cell suspension after enzymatic dispersion of the sinoatrial node. Cells are stained with hematoxylin-eosin. a, Elongated spindle cell; b, spindle cell; c, spider cell; and d, atrium cell. Bar, 30 μm .

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

b. Caractéristiques et localisation des cellules cardionectrices.

Cellules nodales (tissu de Purkinje)

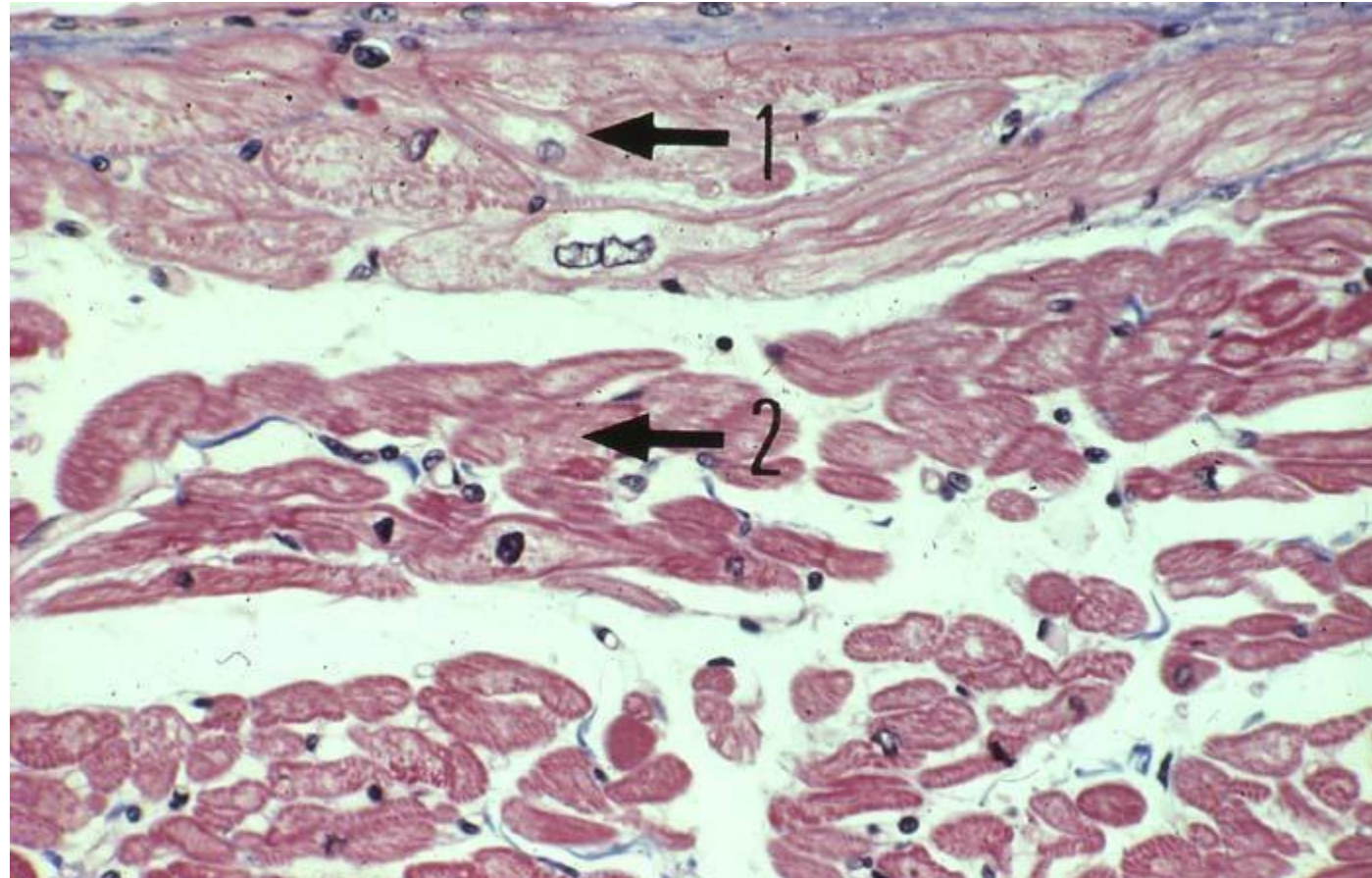


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

b. Caractéristiques et localisation des cellules cardionectrices.

Détail cellules de Purkinje – 1 sur la photo

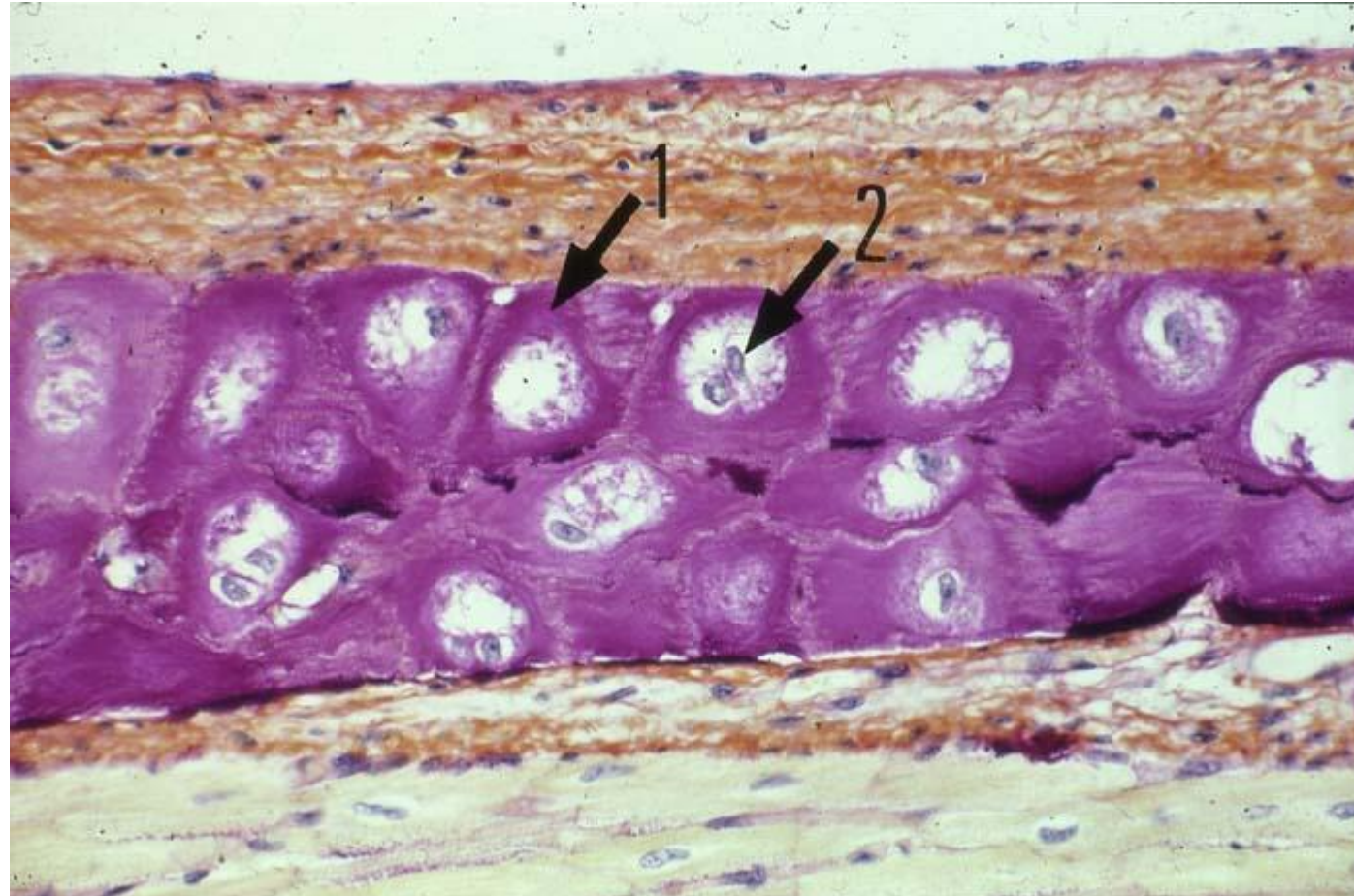


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

b. Caractéristiques et localisation des cellules cardionectrices.

Détail cellules de Purkinje





MYOCARDE DE MOUTON.
Cardiomyocytes Pk : réseau de Purkinje.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

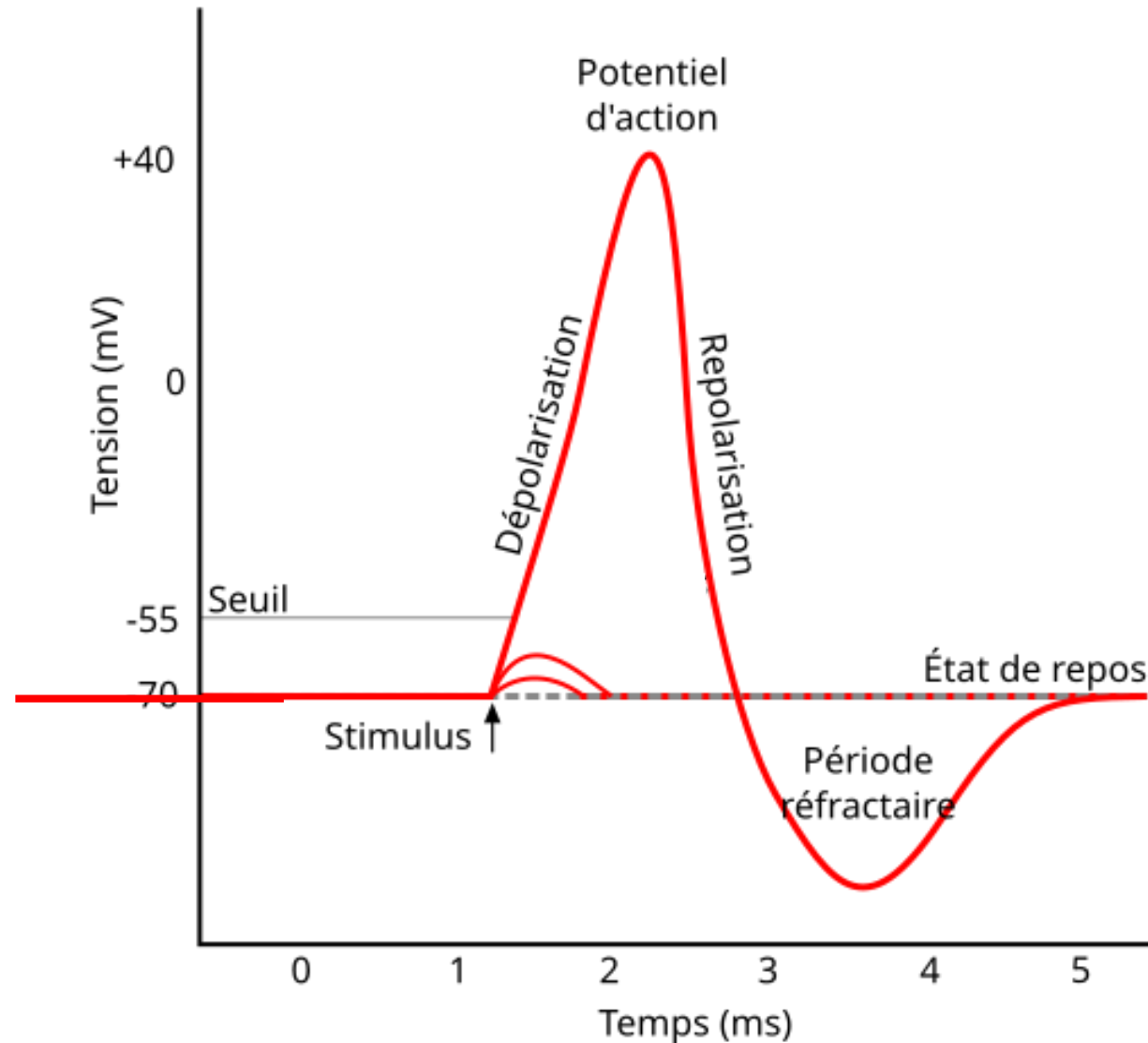
1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Rappel : vocabulaire
du potentiel d'action



**Potentiel
de repos**



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Rappel : Le **potentiel de repos** est la différence de potentiel entre l'extérieur et l'intérieur de la membrane (phénomène très local).

Le potentiel de repos (par exemple d'un neurone) est dû à l'efflux de K^+ (faible influx de Na^+) par des canaux constamment ouverts (=canaux de fuite).

NB : cet efflux est rendu possible en maintenant un déséquilibre via système antiport Na^+/K^+ ATP dépendant.

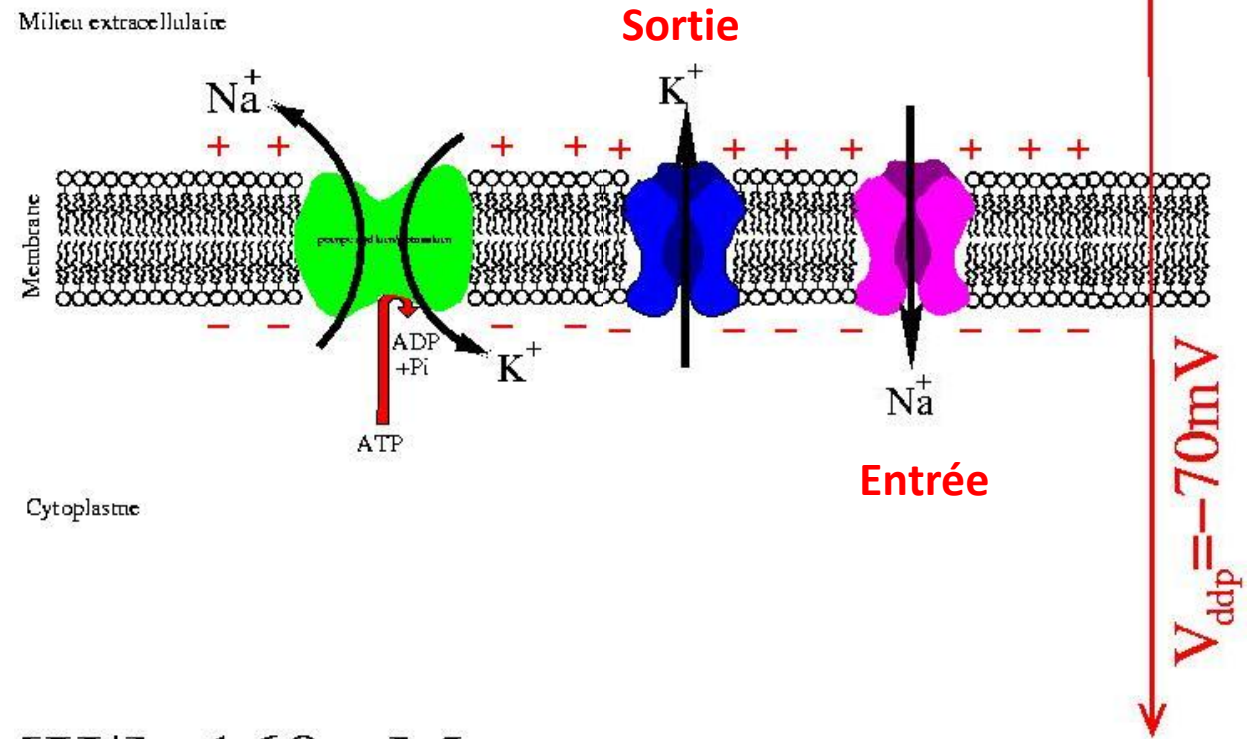
$$[Na^+] = 144 \text{ mM}$$

$$[K^+] = 4 \text{ mM}$$

Milieu extracellulaire

$$E_{Na} = +60 \text{ mV}$$

$$E_K = -90 \text{ mV}$$



$$[K^+] = 160 \text{ mM}$$

$$[Na^+] = 10 \text{ mM}$$

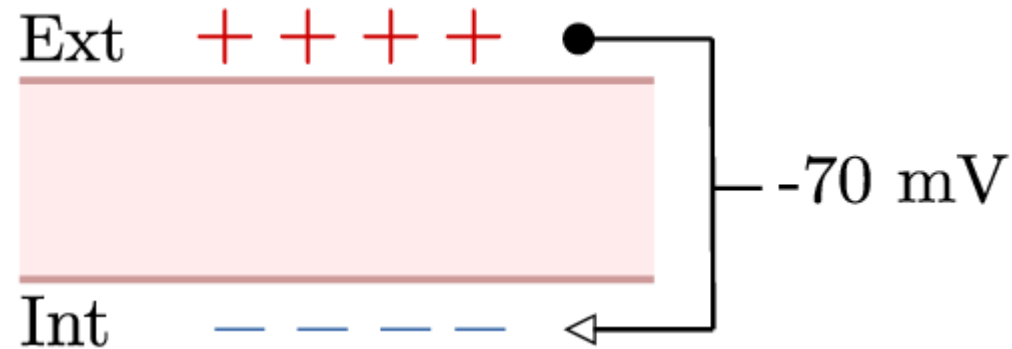
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Le potentiel de repos des cellules du cœurs :

- Il est négatif au repos, stable dans les cardiomyocytes mais n'existe pas vraiment dans les cellules nodales car le potentiel y est instable on parle de **potentiel pacemaker**



- Cette instabilité est à l'origine de la dépolarisation autonome de la membrane, donc de la rythmicité de la contraction.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

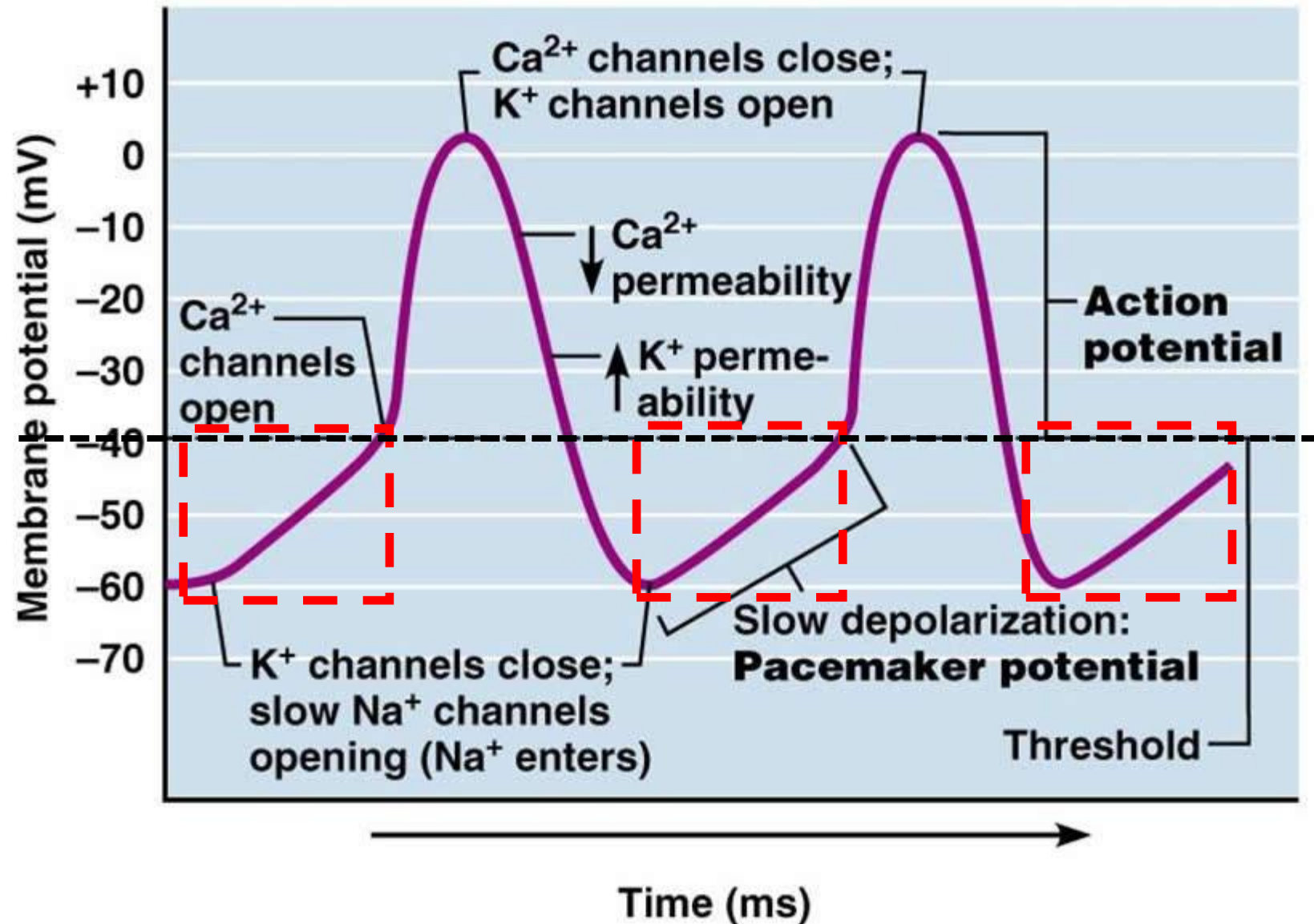
c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pace maker.

Les cellules nodales ont un potentiel d'action original :

Il ne possède **pas de potentiel de repos**.

Seuil de dépolarisation

— — — — —
| Dépolarisation lente
| = **potentiel entraineur**
| = **potentiel pacemaker**
— — — — —

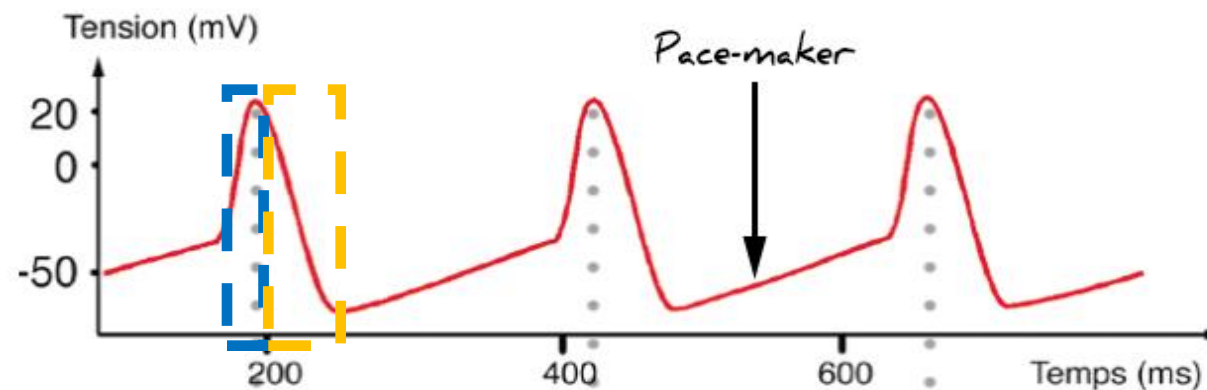


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

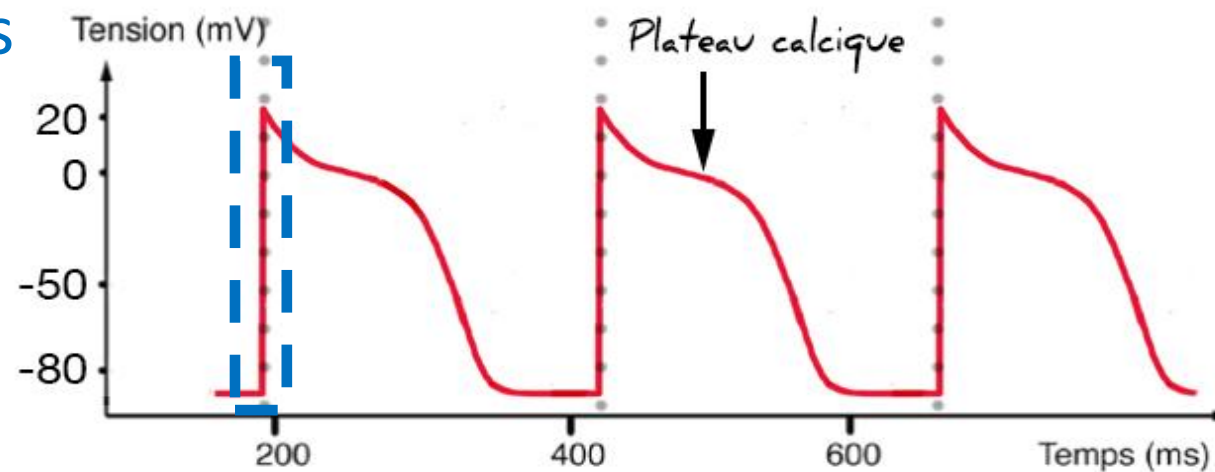
Repolarisation continue, sans plateau



Cellules nodales

Potentiel automatique généré grâce à un potentiel *pace-maker*.

Dépolarisation
moins rapide
pour les cellules
du NSA



Cellules **non**-nodales

Potentiel d'action à plateau calcique.

Hors programme

Hors programme

- Pour ceux qui le souhaitent :
Succession de l'ouverture des canaux d'une cellule cardiaque à l'origine de son PA.

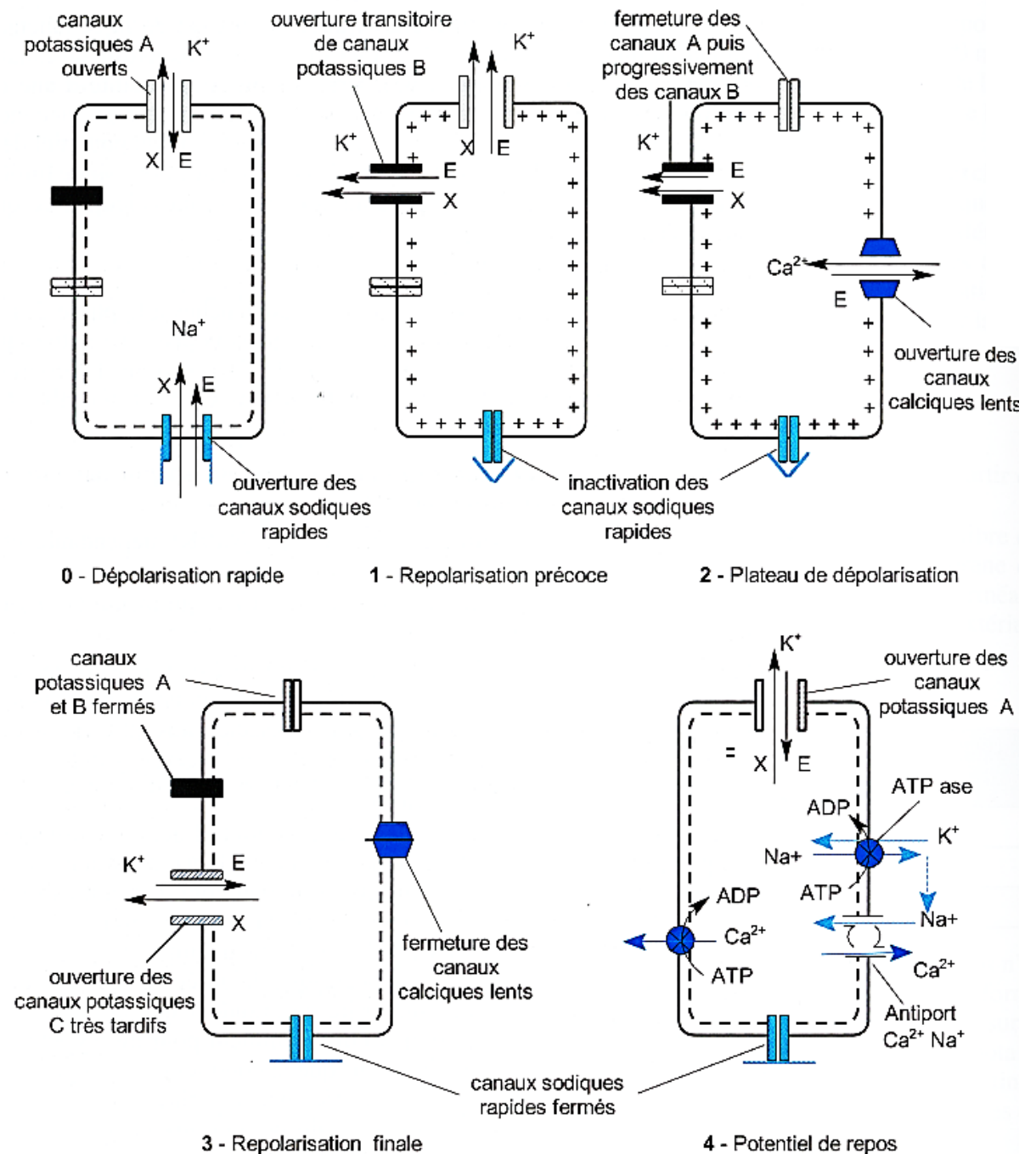


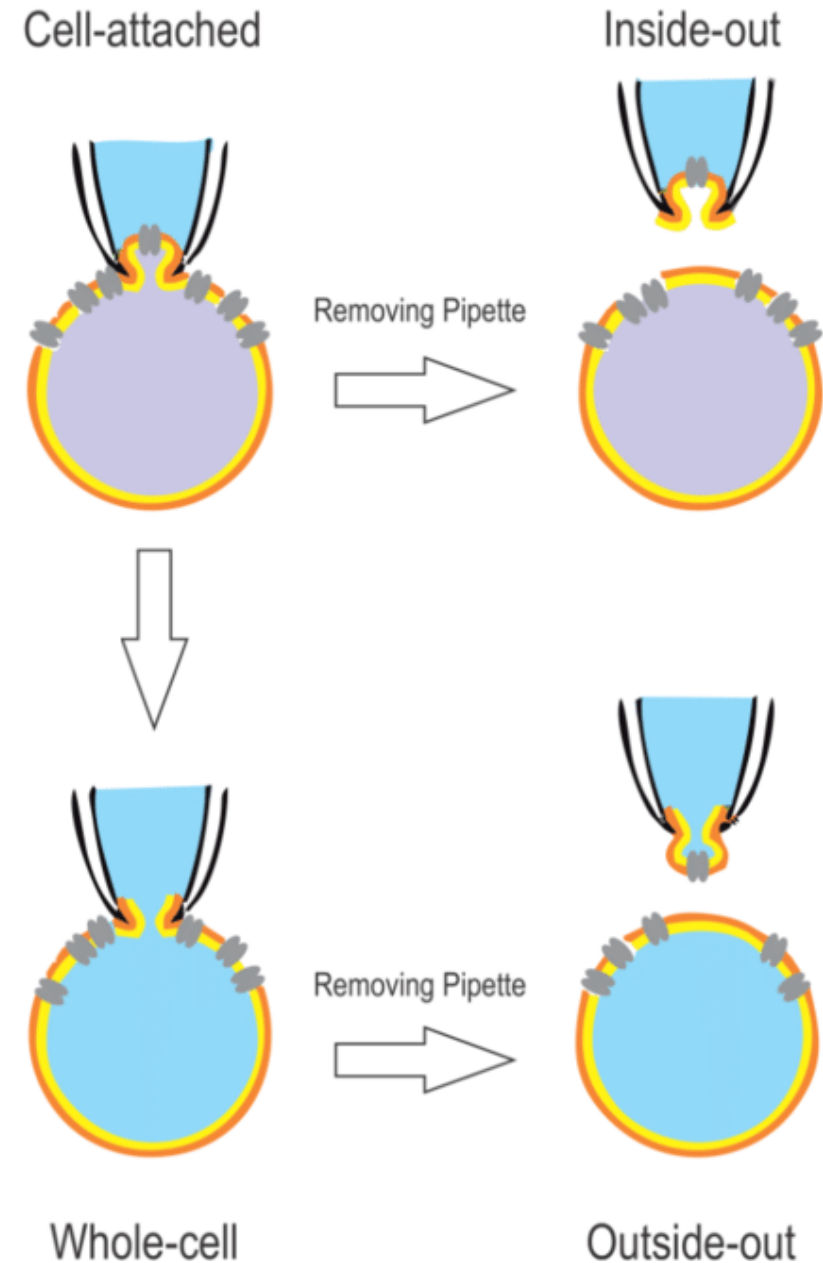
Figure 17.8 Les principaux flux ioniques lors du potentiel d'action cardiaque.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

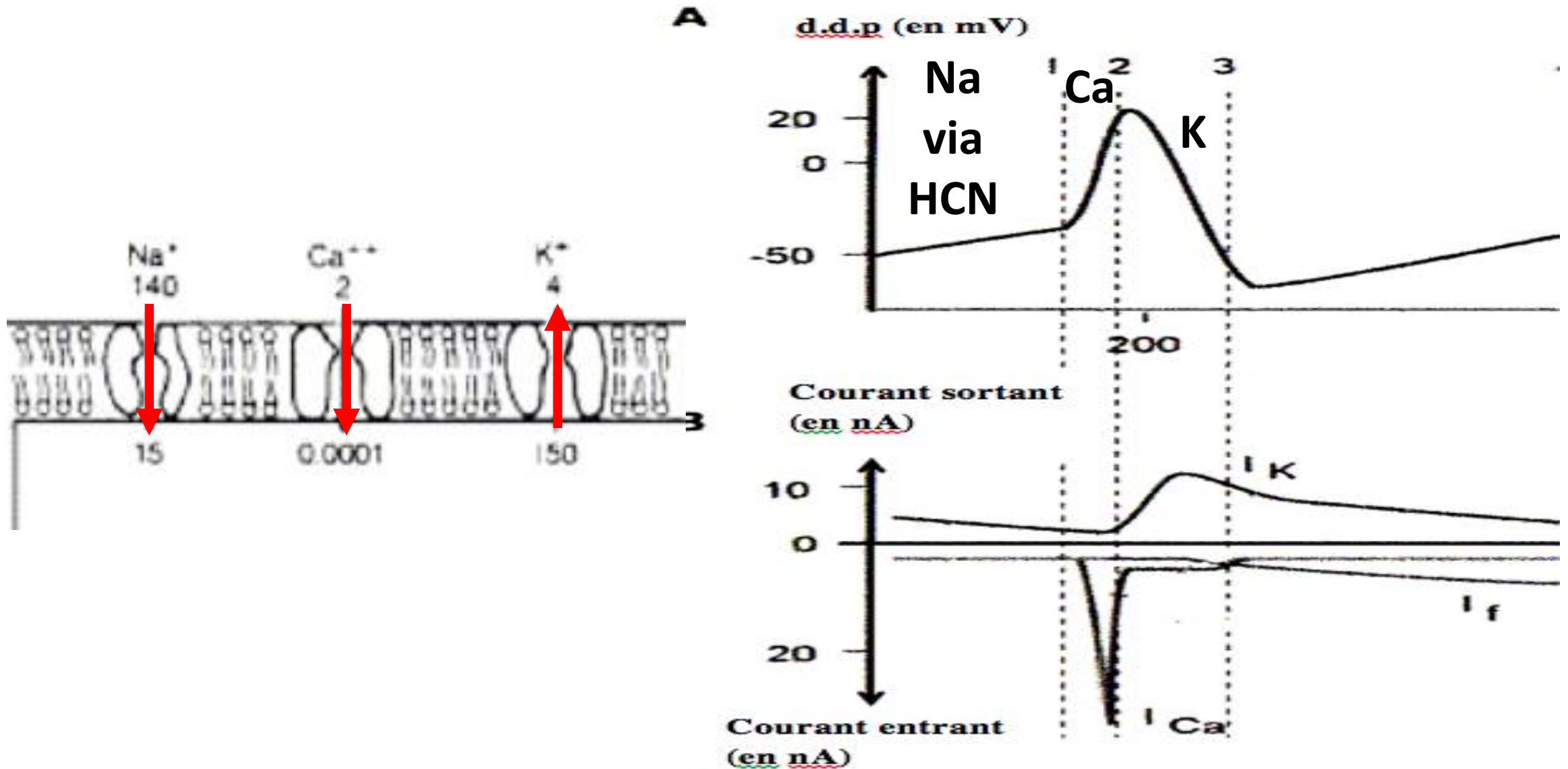
Rappel : techniques de patch clamp



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

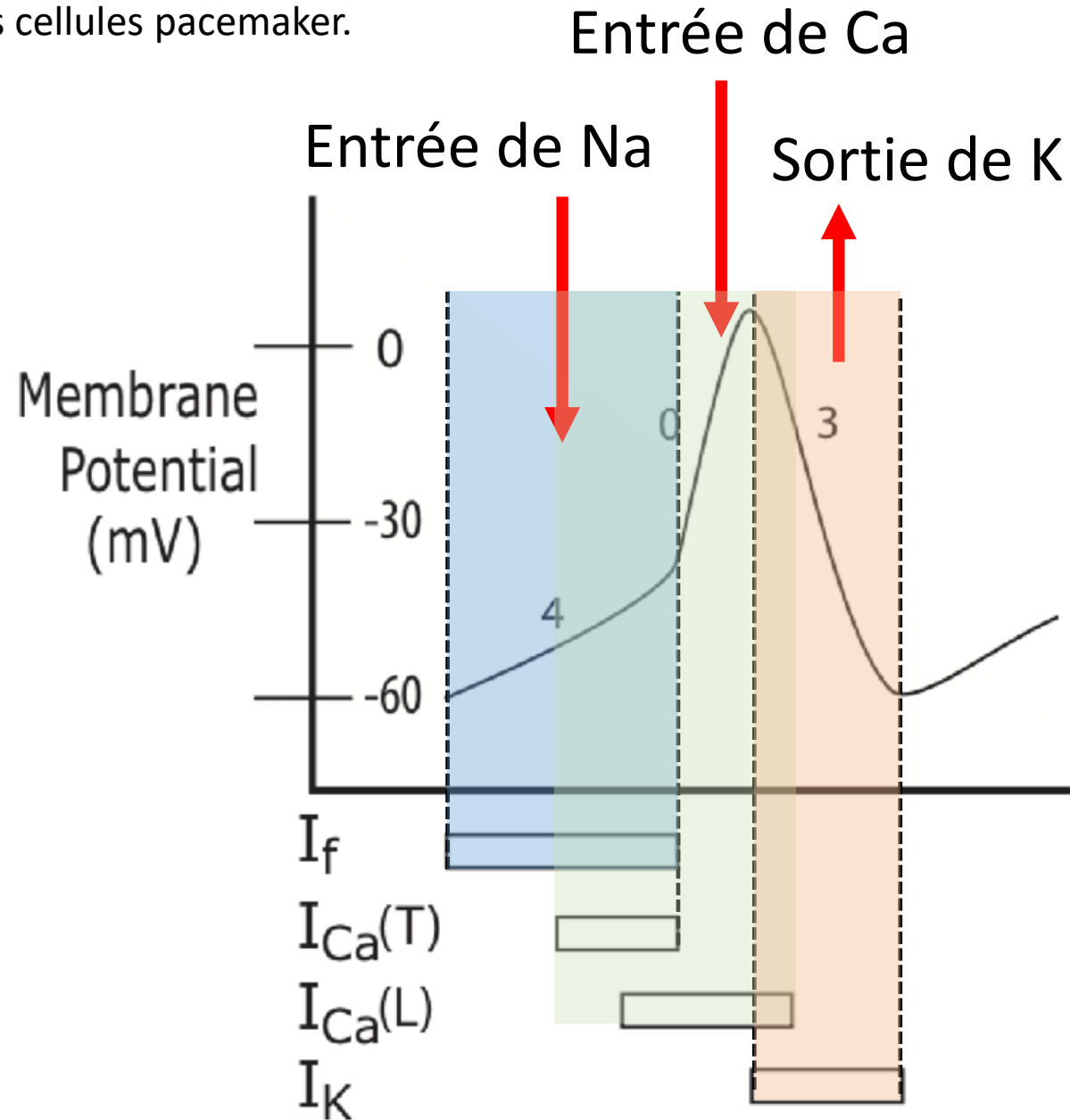
c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Comparaison cardiomyocyte cellule nodale

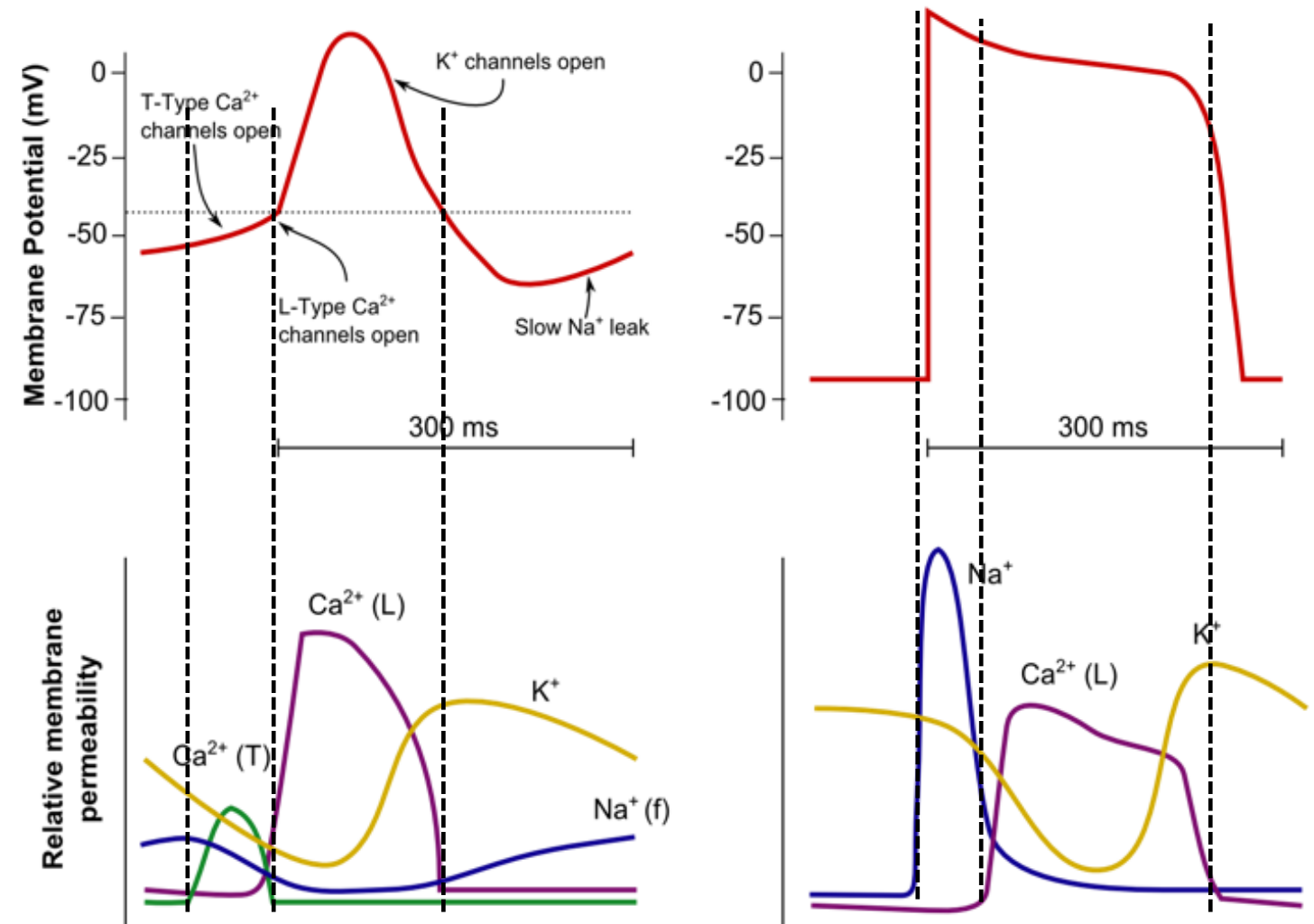


Figure 2: Comparison of the ionic currents underlying SA node and ventricular myocyte action potentials. The constant leak of Na^{+} from SA node pacemaker cells leads to a continuously depolarising baseline. This ultimately opens voltage gated ion channels leading to an action potential. In ventricular myocytes, the membrane potential is stable until the depolarising stimulus arrives, again causing voltage gated ion channels to open. Note that the ionic currents underlying the action potential in each case are different: Ca^{2+} for SA node cells and Na^{+} for ventricular cells. (Redrawn from Vander's physiology: The mechanisms of body function, 2008.)

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Autre représentation

Ici : courant

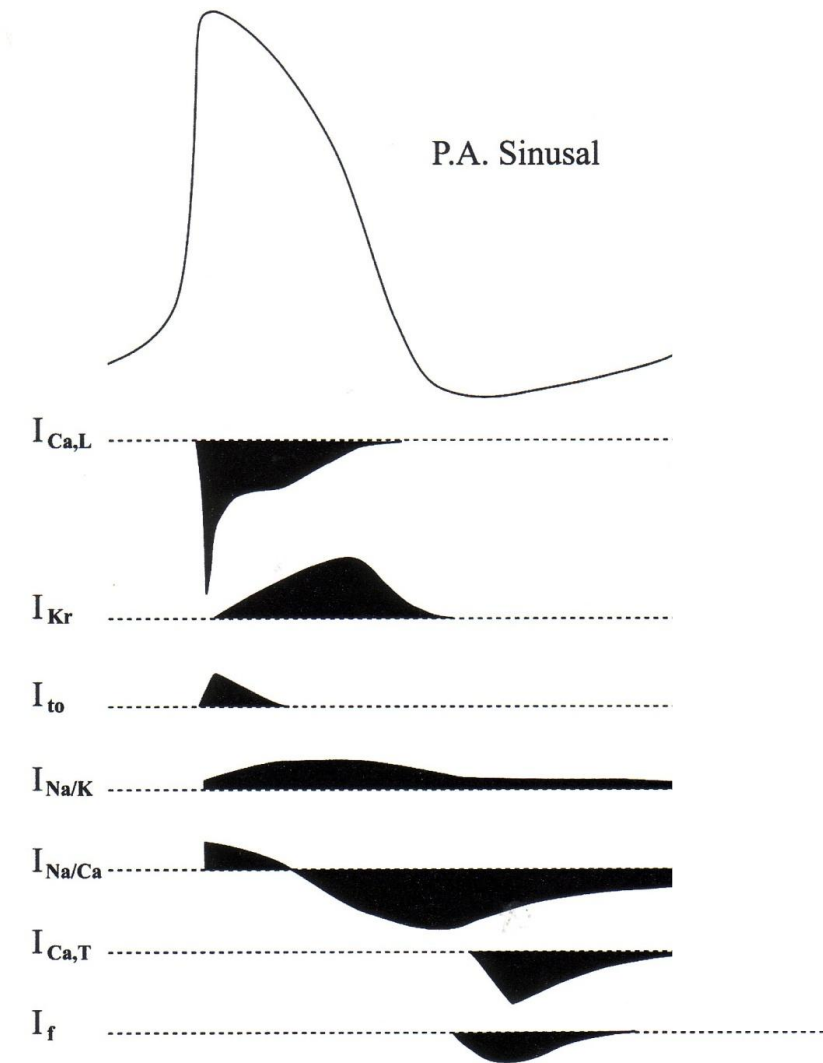


FIG. 3-2. – SCHÉMA ILLUSTRANT L'ÉVOLUTION EN FONCTION DU TEMPS ET LA PROPORTION HYPOTHÉTIQUE DES PRINCIPAUX COURANTS IONIQUES IMPLIQUÉS DANS L'ACTIVITÉ SPONTANÉE SINUSALE.

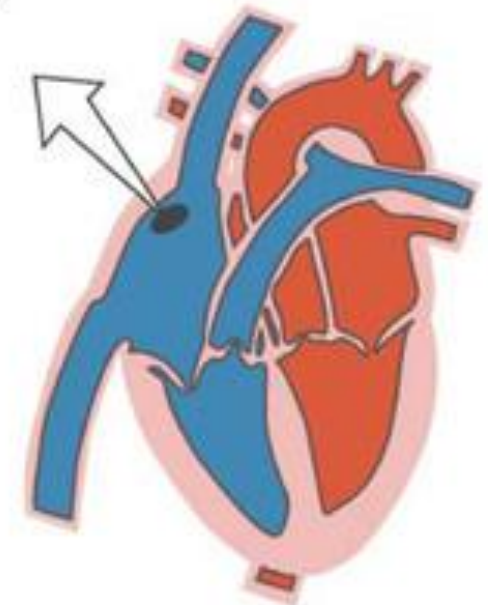
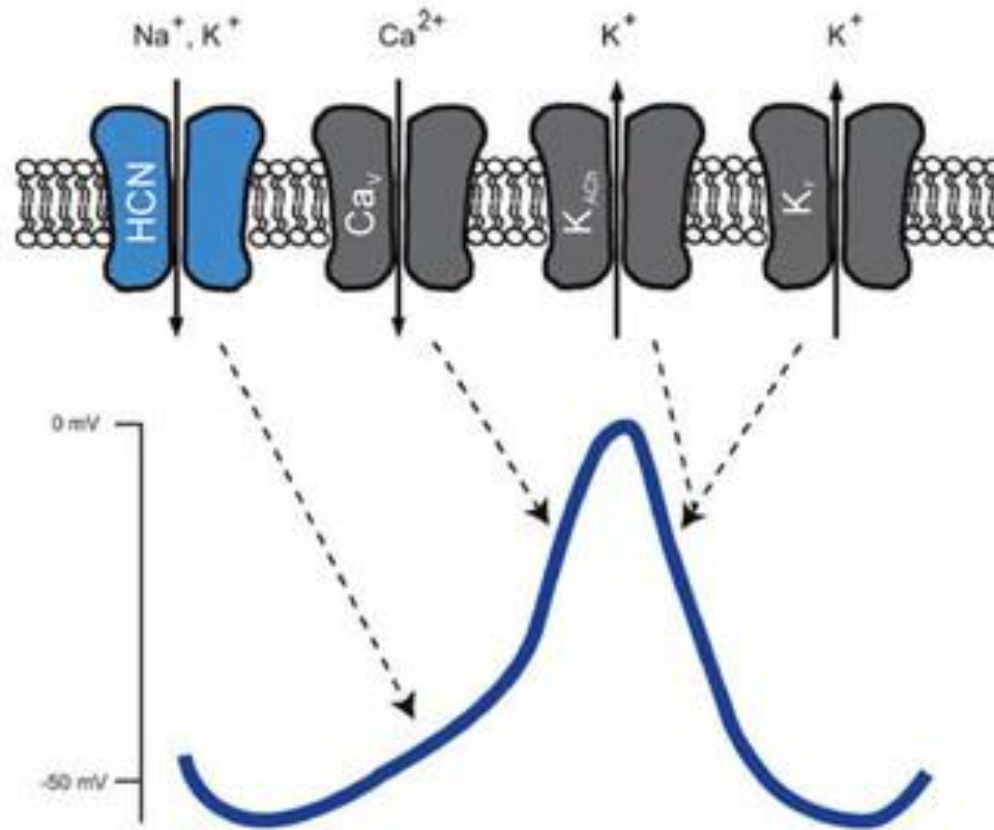
Les flux ioniques entrants dépolarisants et sortants repolarisants sont respectivement en dessous et au-dessus des lignes pointillées.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Canaux HCN : un canal voltage dépendant contrôlé par l'hyperpolarisation et non la dépolarisation



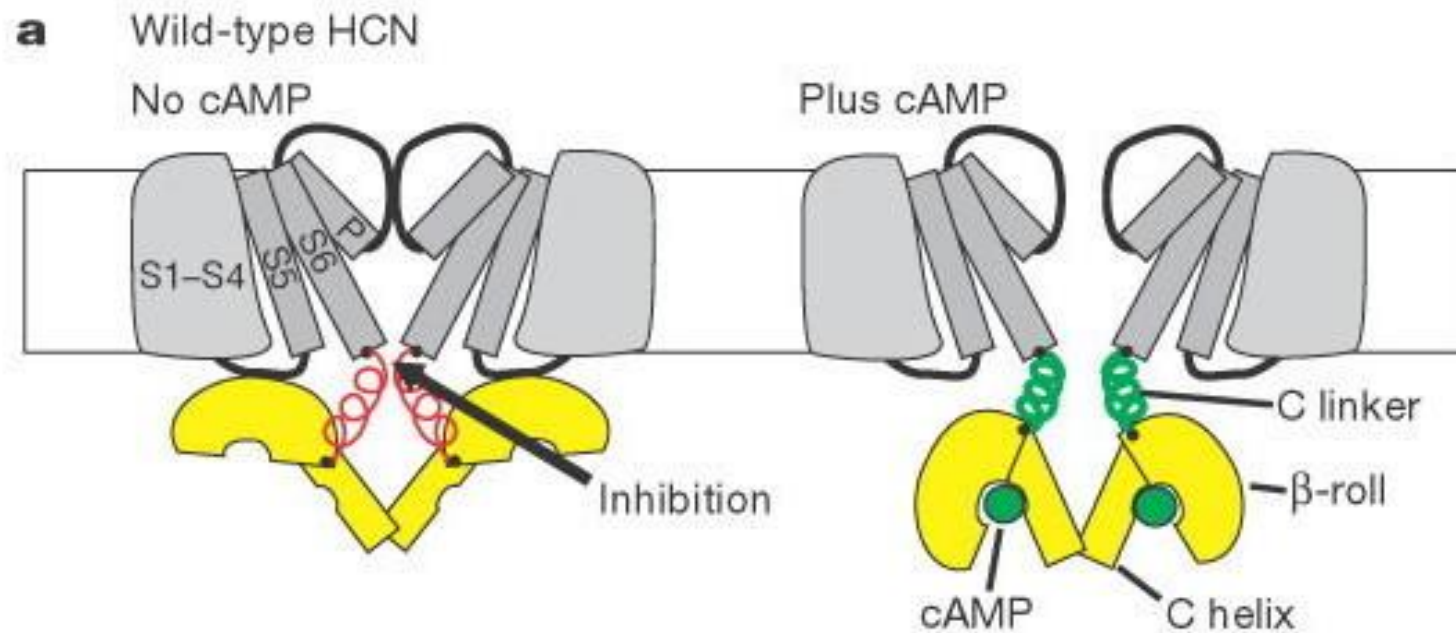
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

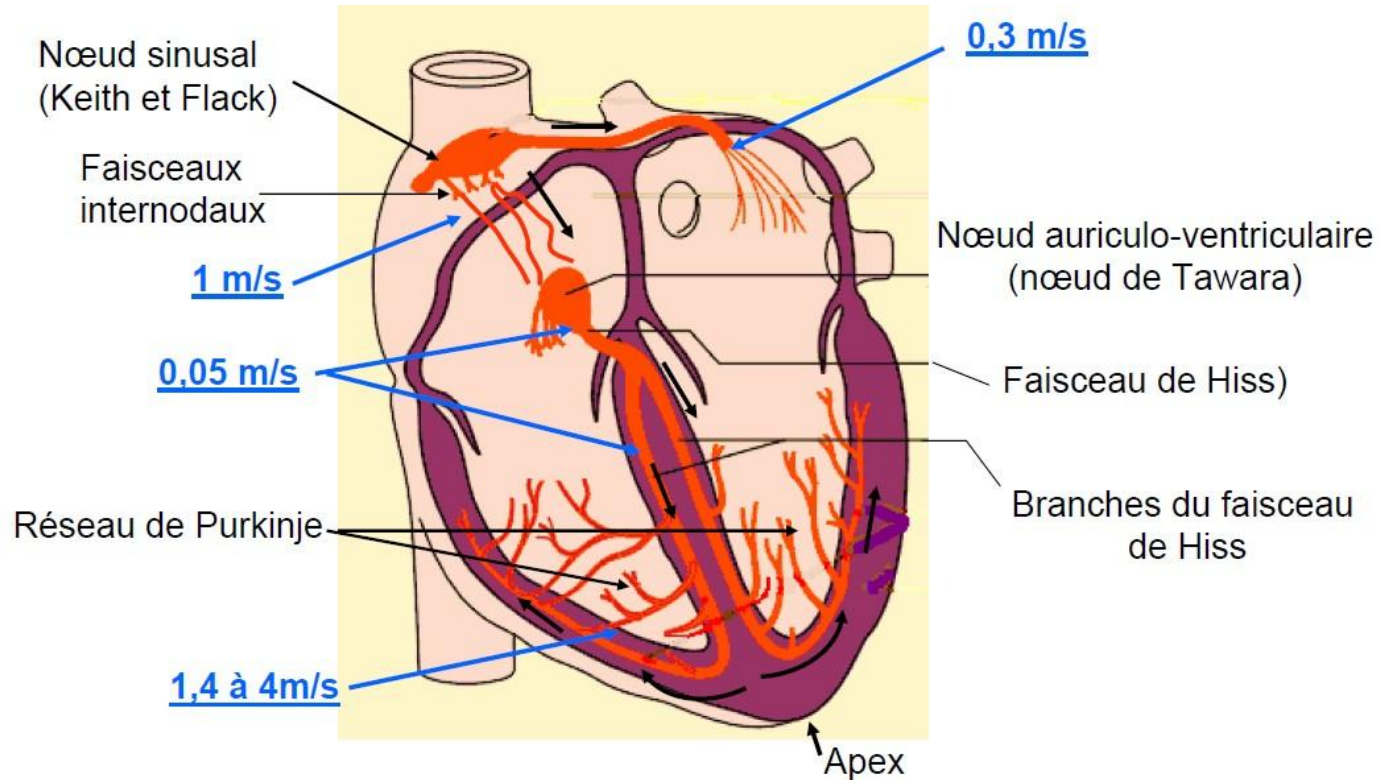
c. Les cellules du tissu nodal sont des cellules pacemaker.

Structure canal HCN

Protéine modulée par les nucléotides cycliques (lien SV-I-2)



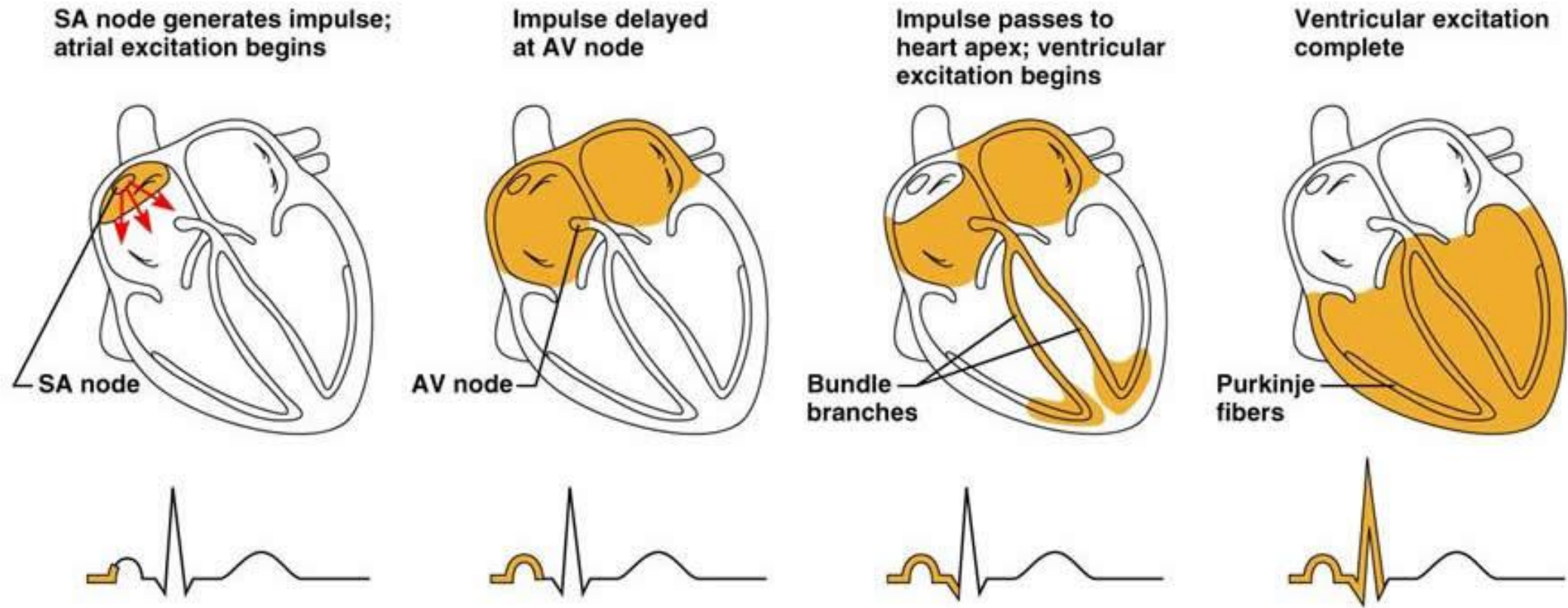
Vitesse conduction variable suivant les parties du cœur.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

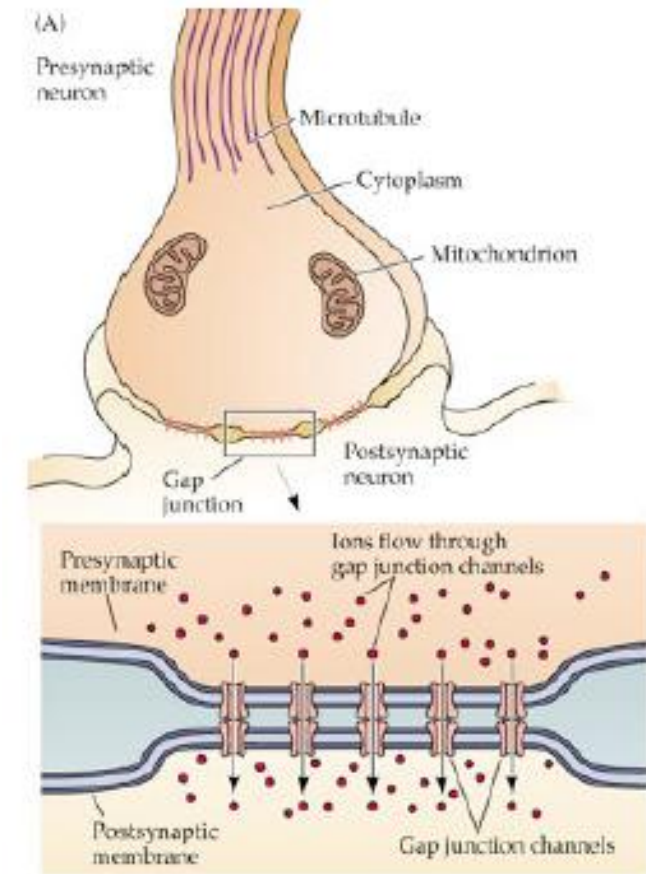
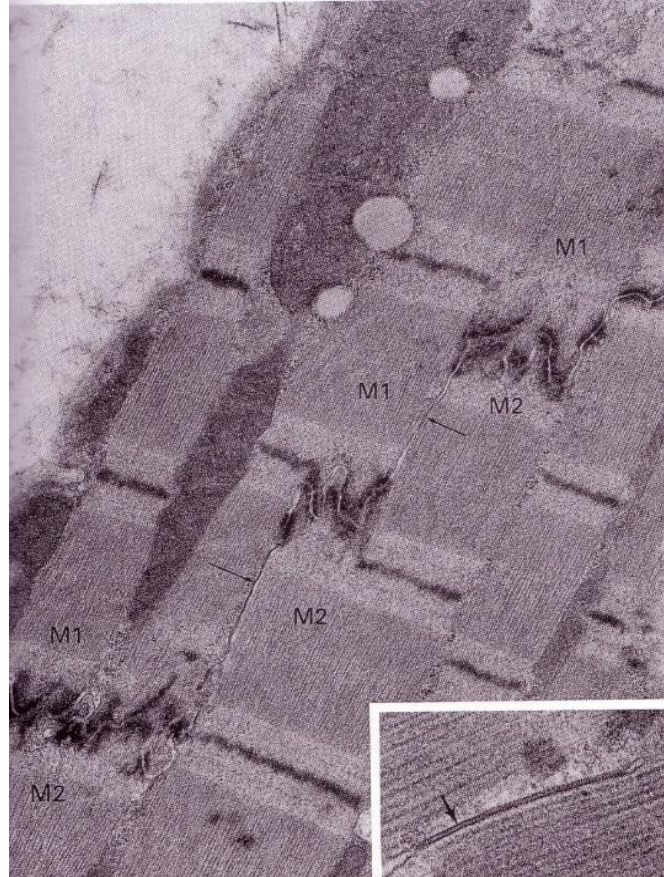
d. Les séquences de l'excitation



Nœud sinusal = pace maker principal.

Importance des jonction gap (synapse « électrique »)

Transmission des ions par les jonctions gap



Hors programme

Couplage excitation contraction

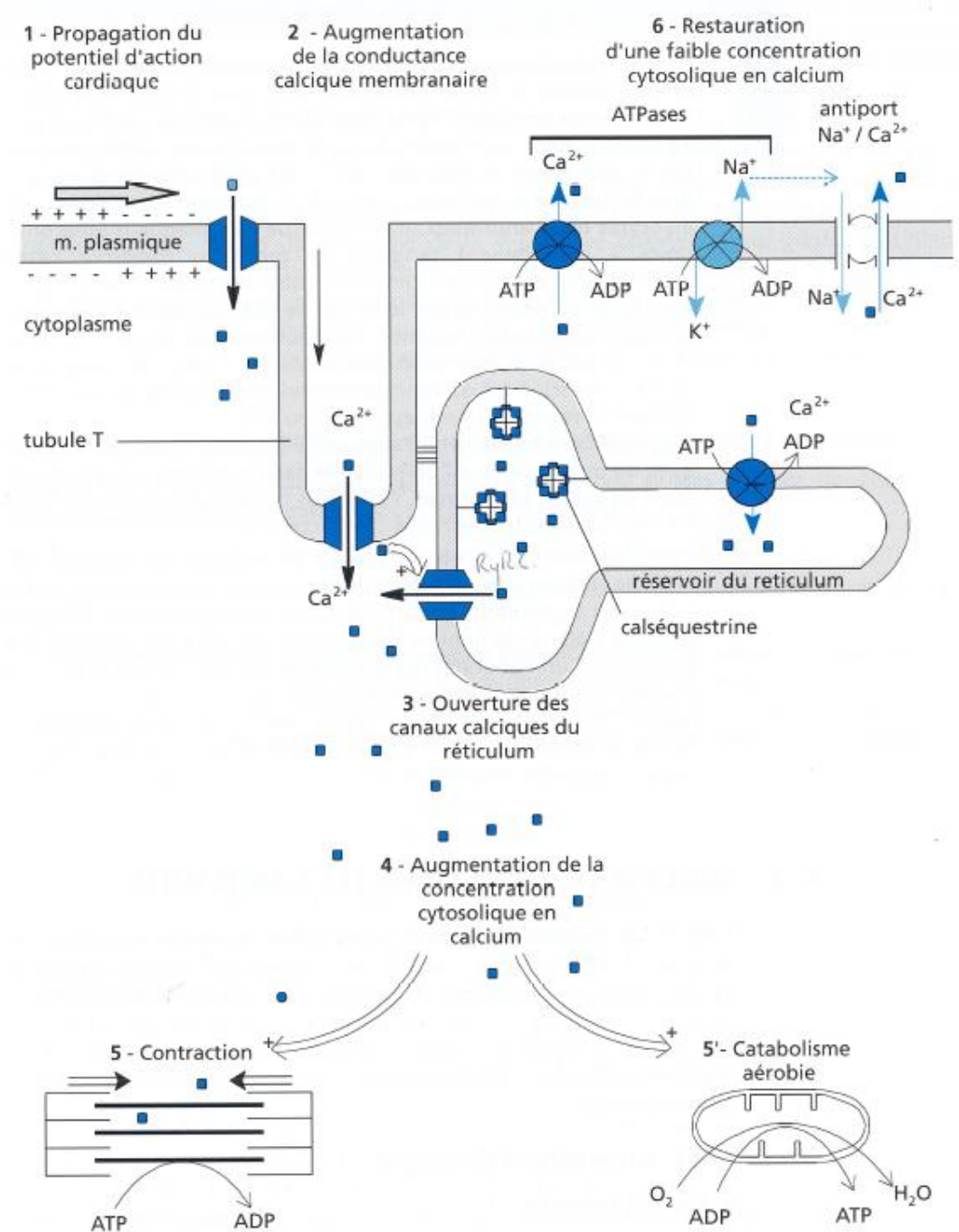


Figure 17.12 Le couplage excitation-contraction dans une cellule myocardique.

Hors programme

Le calcium intervient comme second messenger nécessaire au couplage excitation contraction.

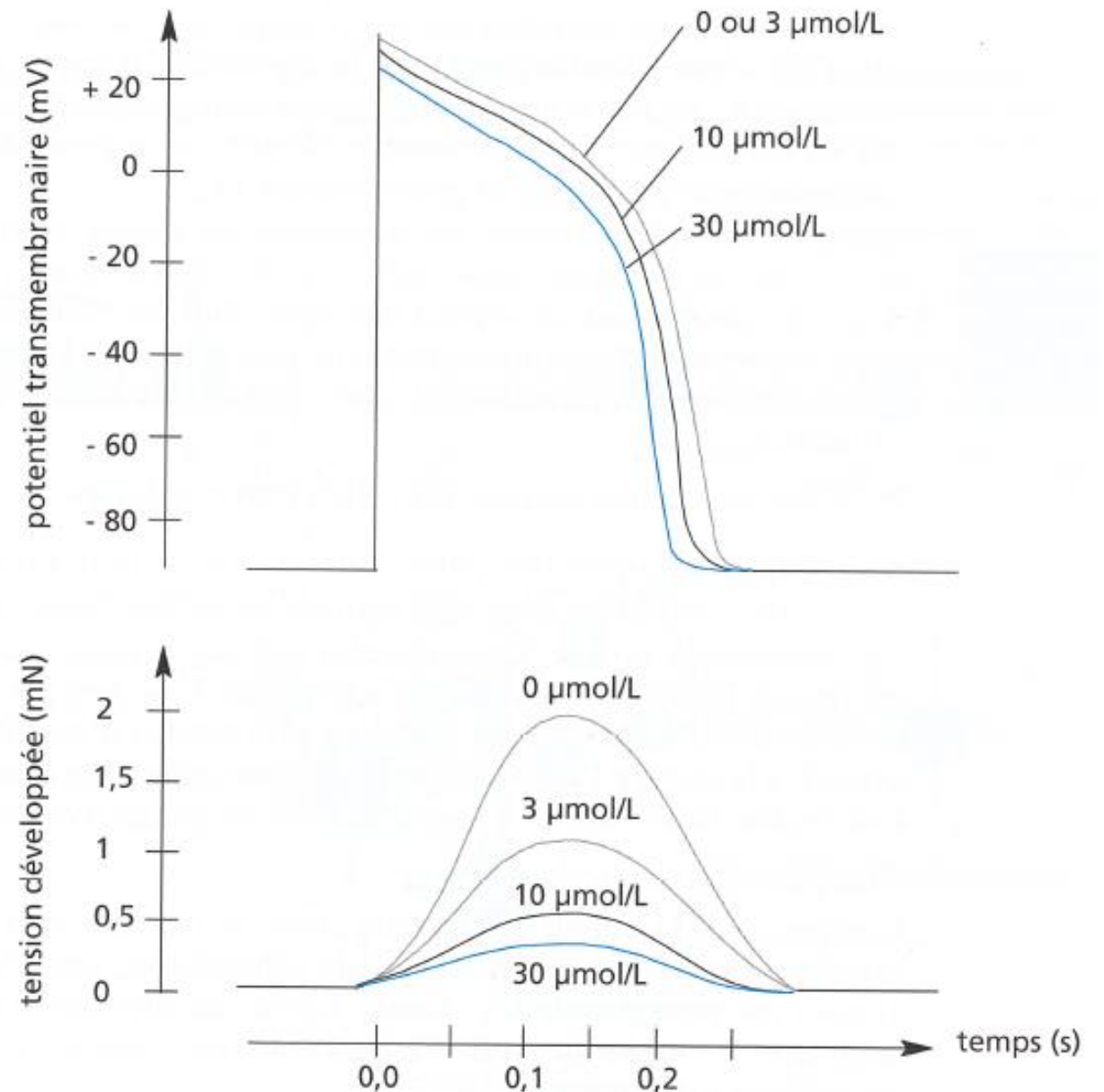
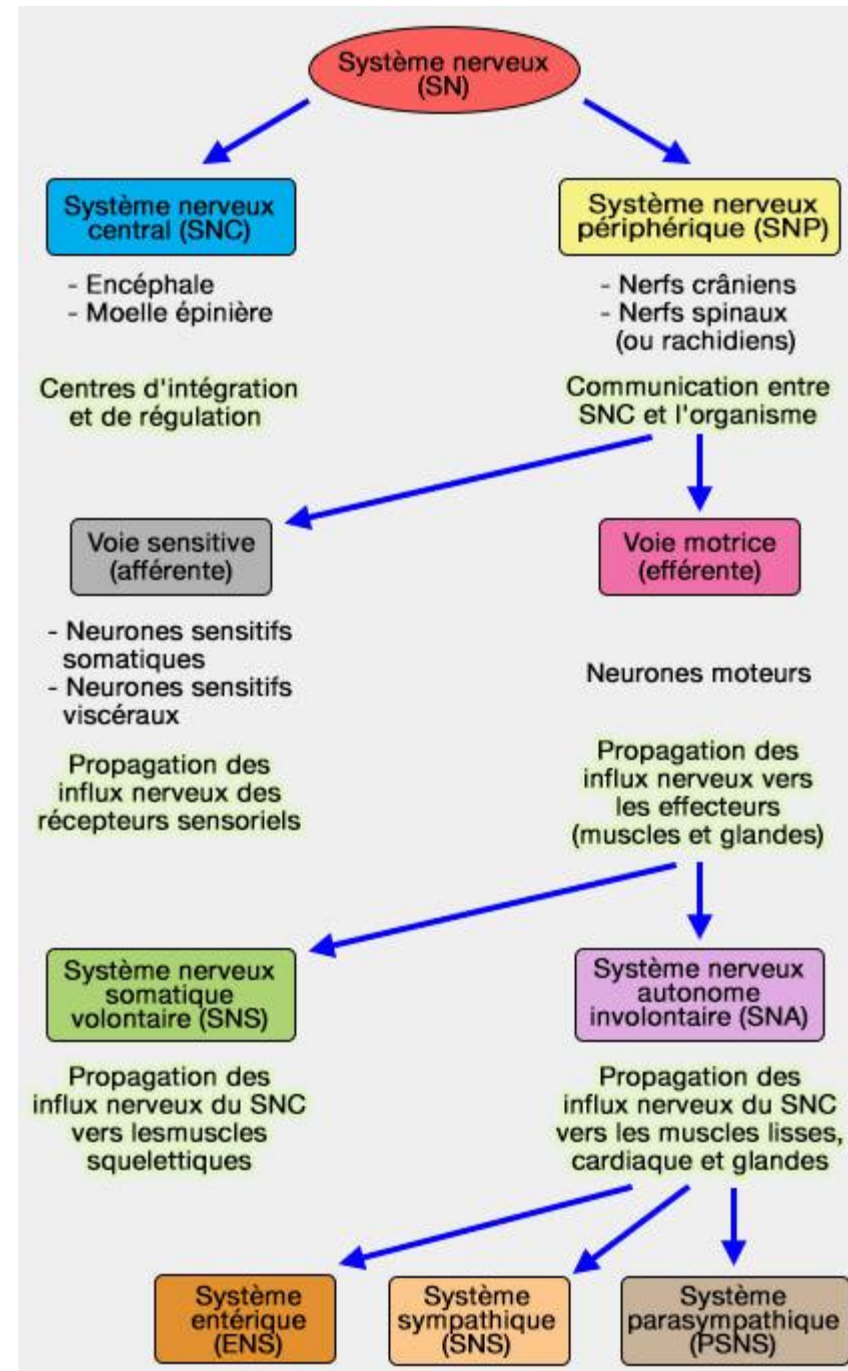
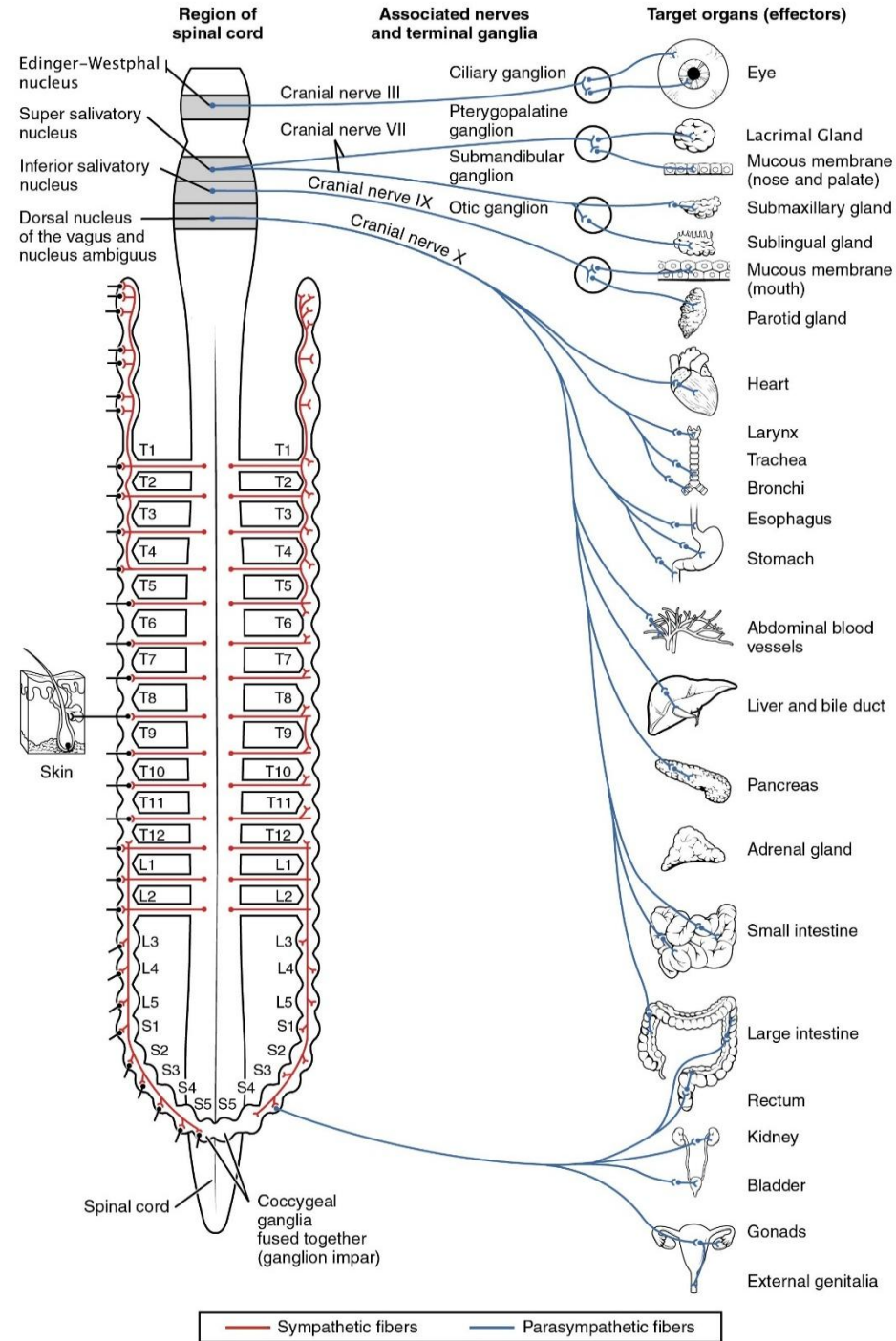
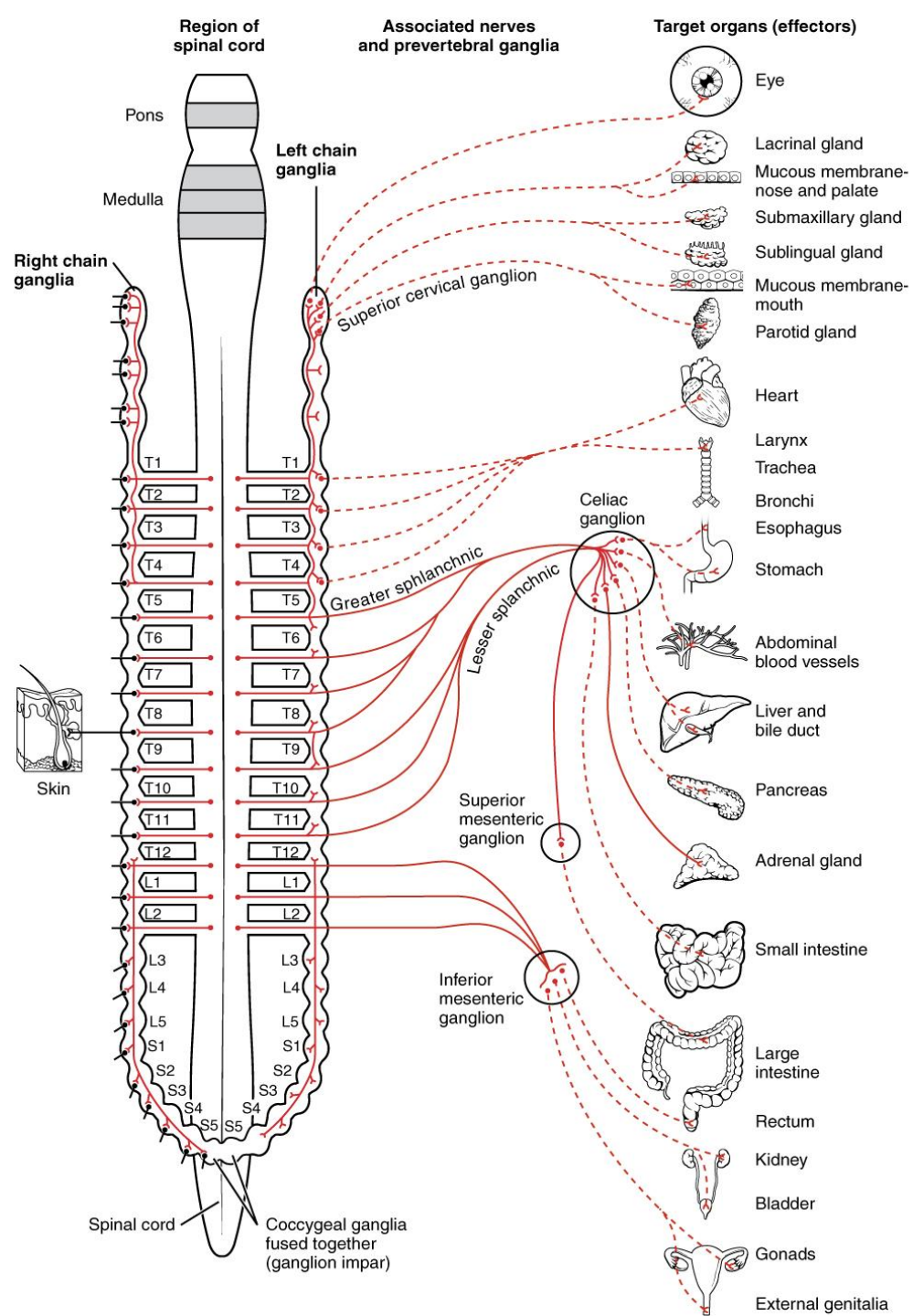


Figure 17.11 Effets de l'inhibition des canaux calciques sur la contraction d'un cardiomyocyte.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Il n'existe pas de commande nerveuse volontaire directe du cœur.



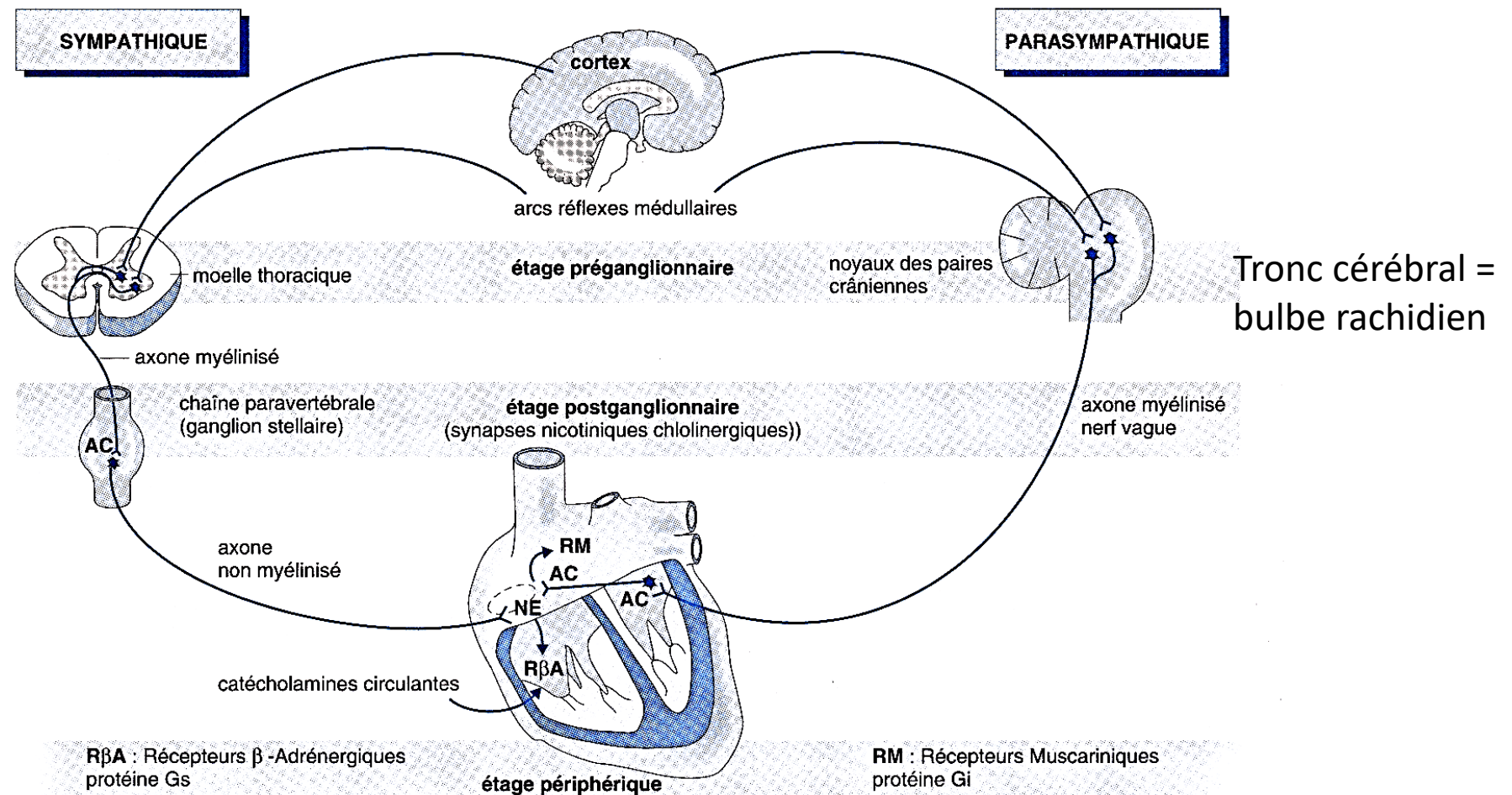


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

SN involontaire : voie ortho et parasympathique



3 A	Fréquence cardiaque (cycles cardiaques.min ⁻¹)
1 - Conditions témoins	270
2 - Section bilatérale des nerfs vagues	350
3 - Stimulation électrique du bout périphérique d'un nerf vague	100
4 - Section bilatérale des nerfs sympathiques cardiaques	300
5 - Stimulation électrique du bout périphérique d'un nerf sympathique cardiaque	330
6 - Administration d'acétylcholine par voie intraveineuse	100
7 - Administration consécutive d'atropine et d'acétylcholine par voie intraveineuse	300
8 - Administration de noradrénaline par voie intraveineuse	330
9 - Administration consécutive de propranolol et de noradrénaline par voie intraveineuse	300

A – Fréquence cardiaque enregistrée chez un lapin anesthésié en fonction de diverses conditions expérimentales successives. Afin de s'assurer de la spécificité des effets, les sections de nerfs ont été réalisées à proximité du cœur. Le délai entre chaque condition est suffisant pour que les effets des substances injectées et des stimulations appliquées précédemment ne soient plus perceptibles.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Analyse du Document 3 A

- ① Dans les conditions témoins, on mesure une fréquence cardiaque de 270 cycles cardiaques.min⁻¹.
- ② (témoin ①) La section bilatérale des nerfs vagues entraîne une augmentation de la fréquence à 350 cycles cardiaques.min⁻¹.
⇒ Cette tachycardie consécutive à la section des nerfs vagues permet de faire l'hypothèse que dans les conditions physiologiques, il existe un tonus cardiomodérateur vagal permanent qui a pour conséquence d'abaisser la fréquence cardiaque en dessous du rythme sinusal. On pourrait aussi penser que le nerf coupé est sensitif et que la réponse constatée est liée à un reflexe cardiomodérateur qui passerait par une autre voie efférente.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

- ③ (témoin = ②) La stimulation électrique du bout périphérique produit une bradycardie à 100 cycles cardiaques.min-1.
⇒ Ceci confirme donc que le nerf vague est un nerf qui véhicule des informations cardiomodératrices depuis le bulbe rachidien vers le coeur.
- ④ (témoin = ②) La section bilatérale des nerfs sympathiques cardiaques entraîne une baisse de la fréquence cardiaque, elle passe de 350 cycles cardiaques.min-1 à 300 cycles cardiaques.min-1.
⇒ Il existe un tonus cardioaccélérateur permanent moins important que le tonus cardiomodérateur ; *pour le mettre en évidence il est nécessaire au préalable de réaliser une bivagotomie.* On ne peut cependant exclure que l'effet constaté soit dû à la section d'une voie sensitive et passe par une autre voie efférente (cette fois ni ortho ni para puisque les deux sont sectionnés --> hormone ?
- ⑤ (témoin = ④) La stimulation électrique du bout périphérique provoque une tachycardie indiquant que les nerfs sympathiques cardiaques véhiculent des informations cardioaccélératrices depuis la moelle épinière vers le coeur.
- ⑥ (témoin = ④) L'administration d'**acéthylcholine** (Ach) induit une bradycardie similaire à celle produite par la stimulation électrique du bout périphérique du nerf vague. Cet effet est bloqué par l'**atropine**, un antagoniste de l'Ach au niveau des récepteurs muscariniques.
⇒ Sachant qu'il existe des récepteurs muscariniques au niveau des cellules cardiaques, on peut émettre l'hypothèse que l'Ach est le neurotransmetteur libéré par les terminaisons nerveuses de la voie cardiomodératrice.

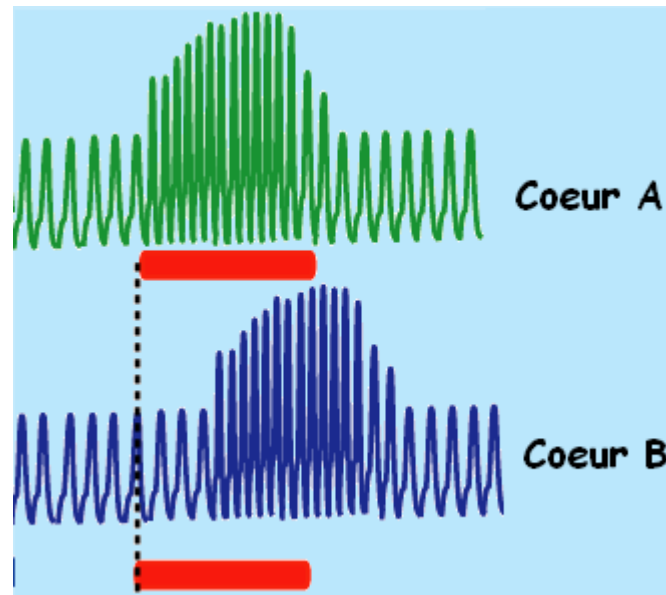
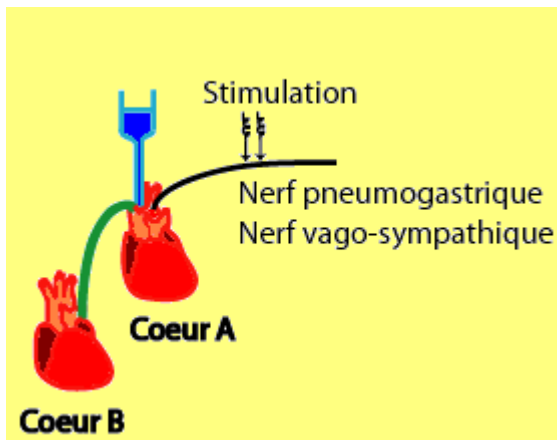
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

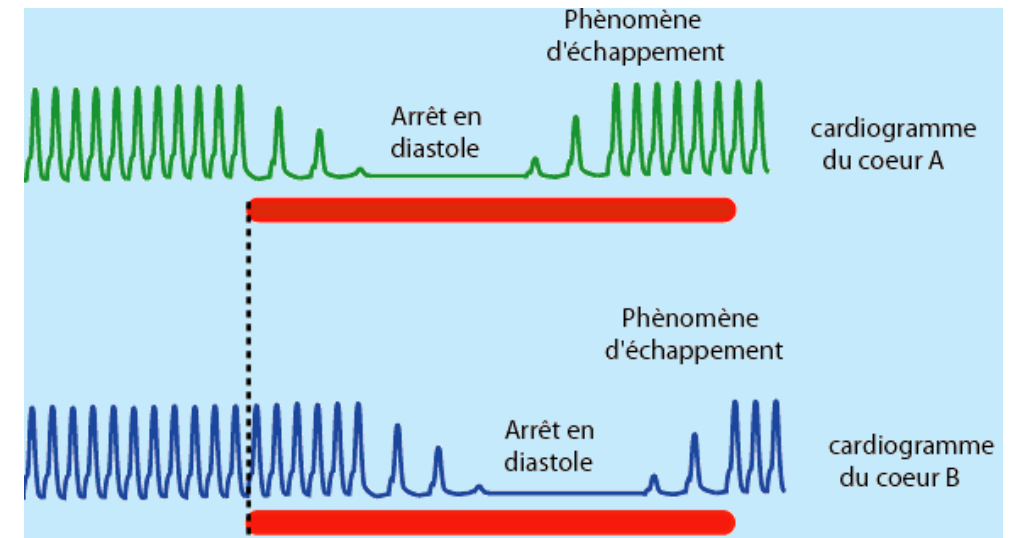
e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Expérience de stimulation des nerfs ortho ou parasympathiques

Expérience de Loewi Stimulation nerf orthosympathique



Stimulation para

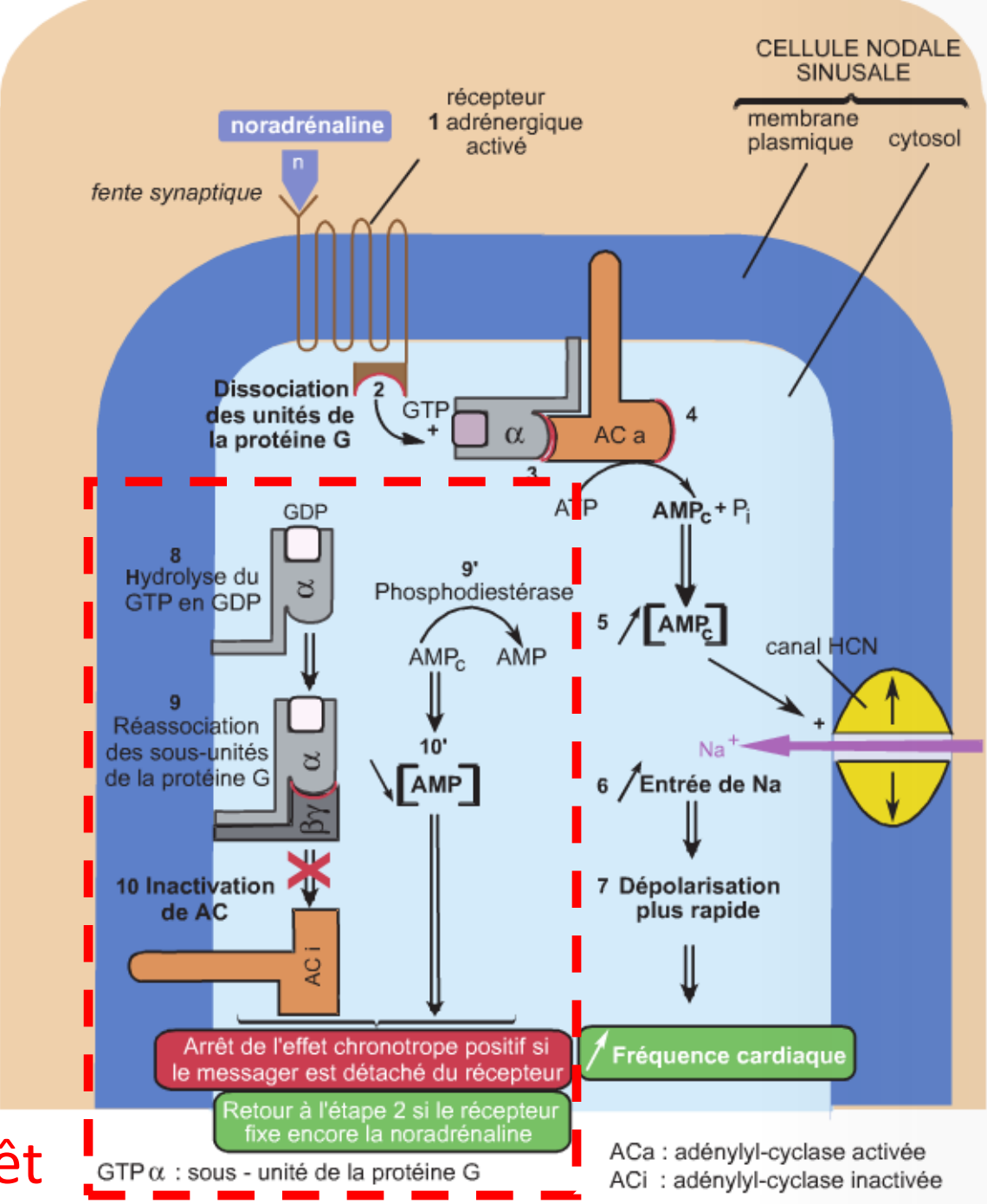
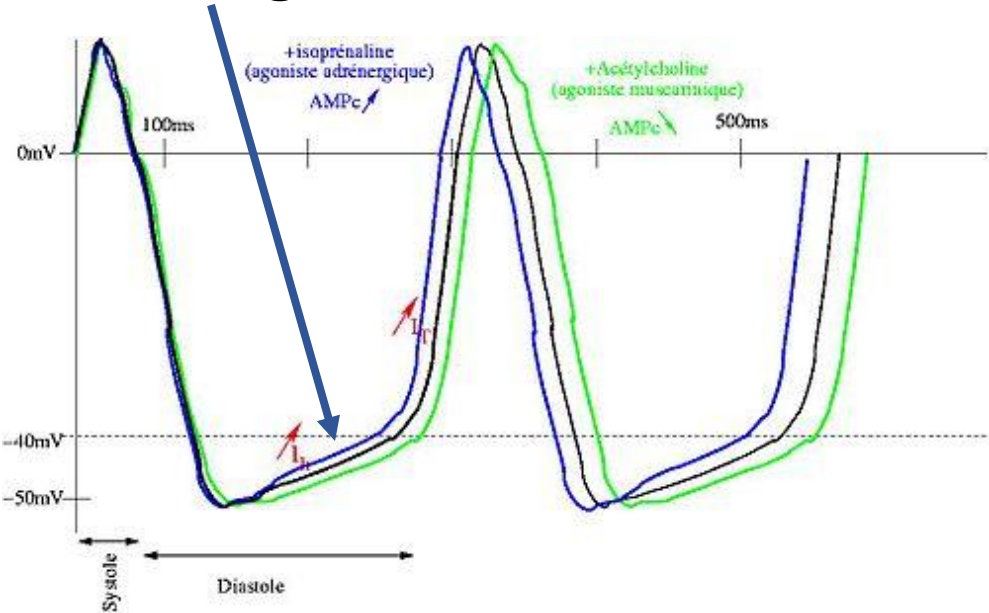


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Pente du potentiel entraineur plus forte
= seuil de dépolarisation atteint plus rapidement
= augmentation de la FC



arrêt

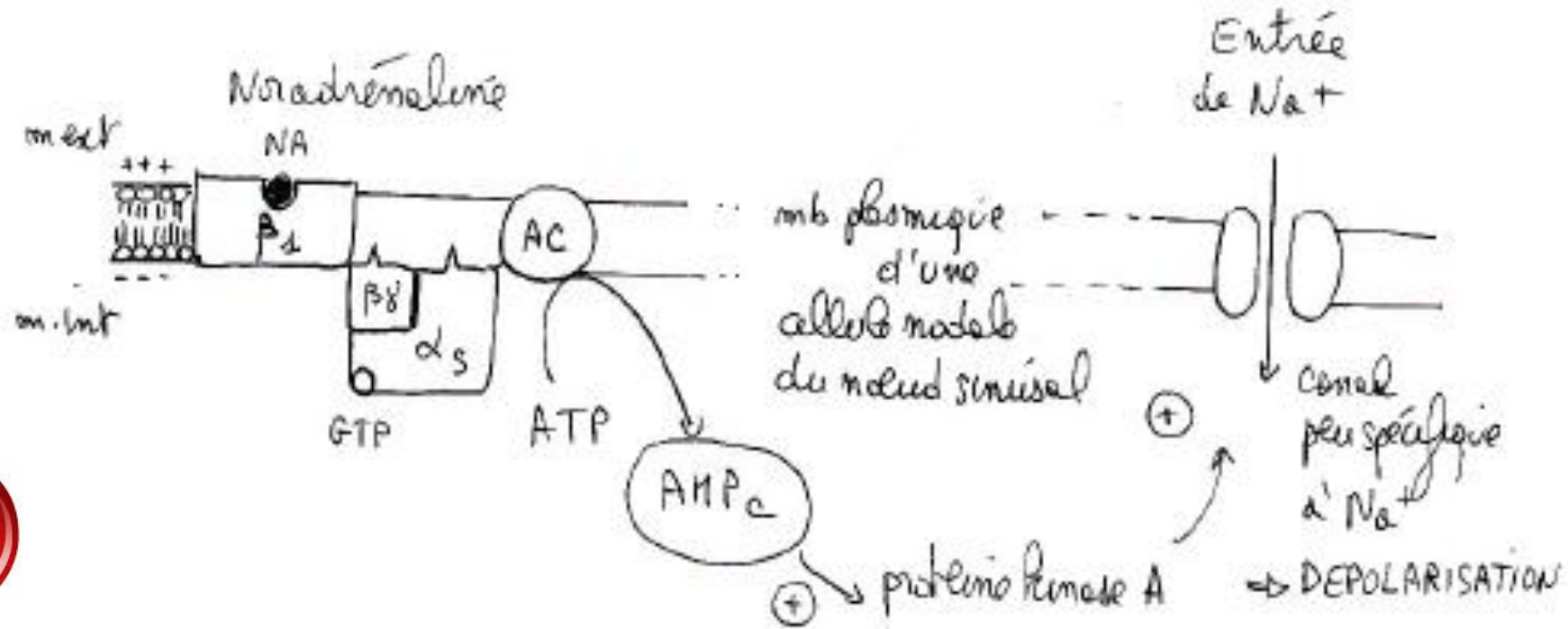
FIGURE 3.13 Effet chronotrope positif de la noradrénaline

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Effet de la noradrénaline



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

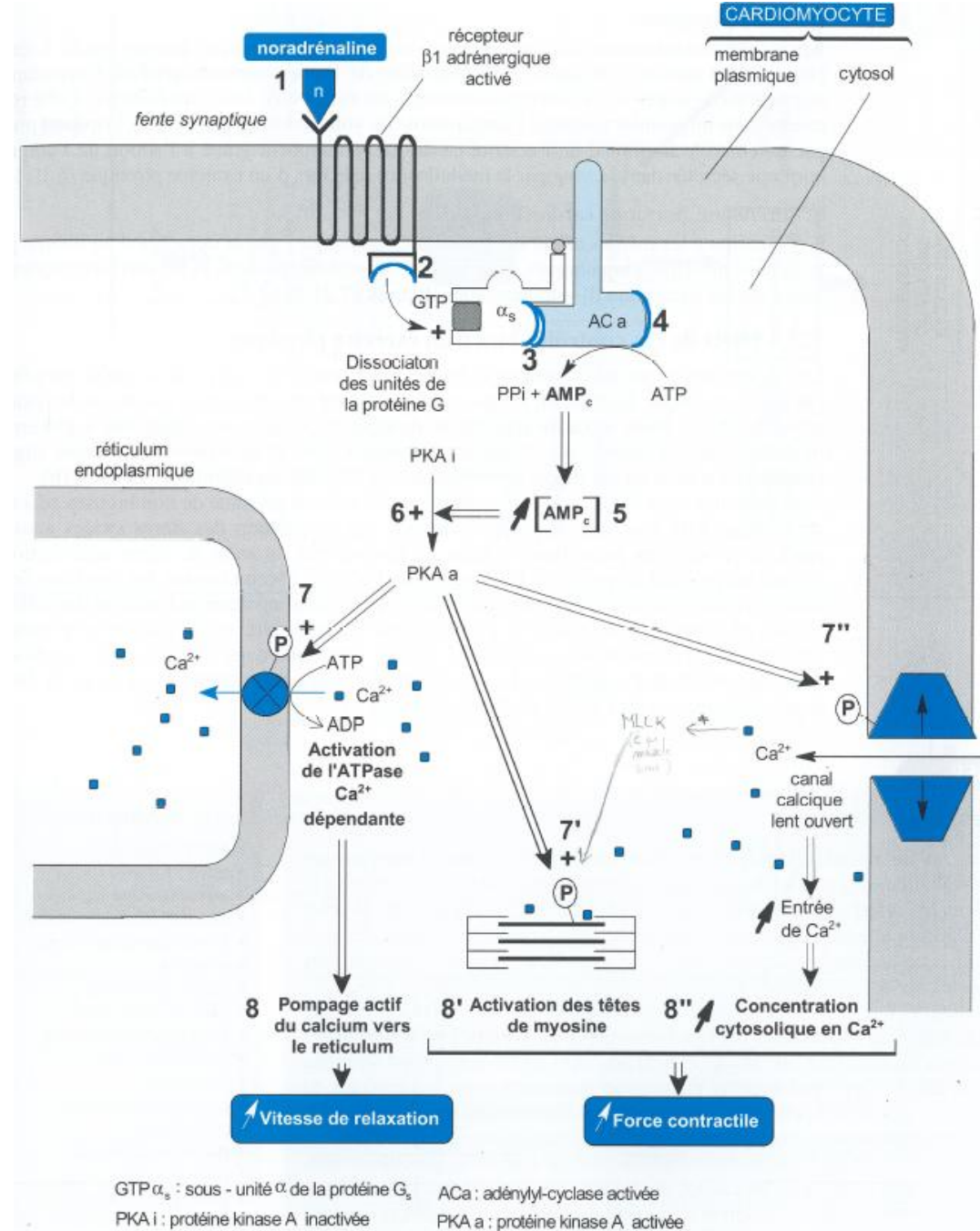


Figure 17.22 Effet inotrope positif de la noradrénaline sur un cardiomyocyte via les récepteurs β_1 -adrénergiques.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

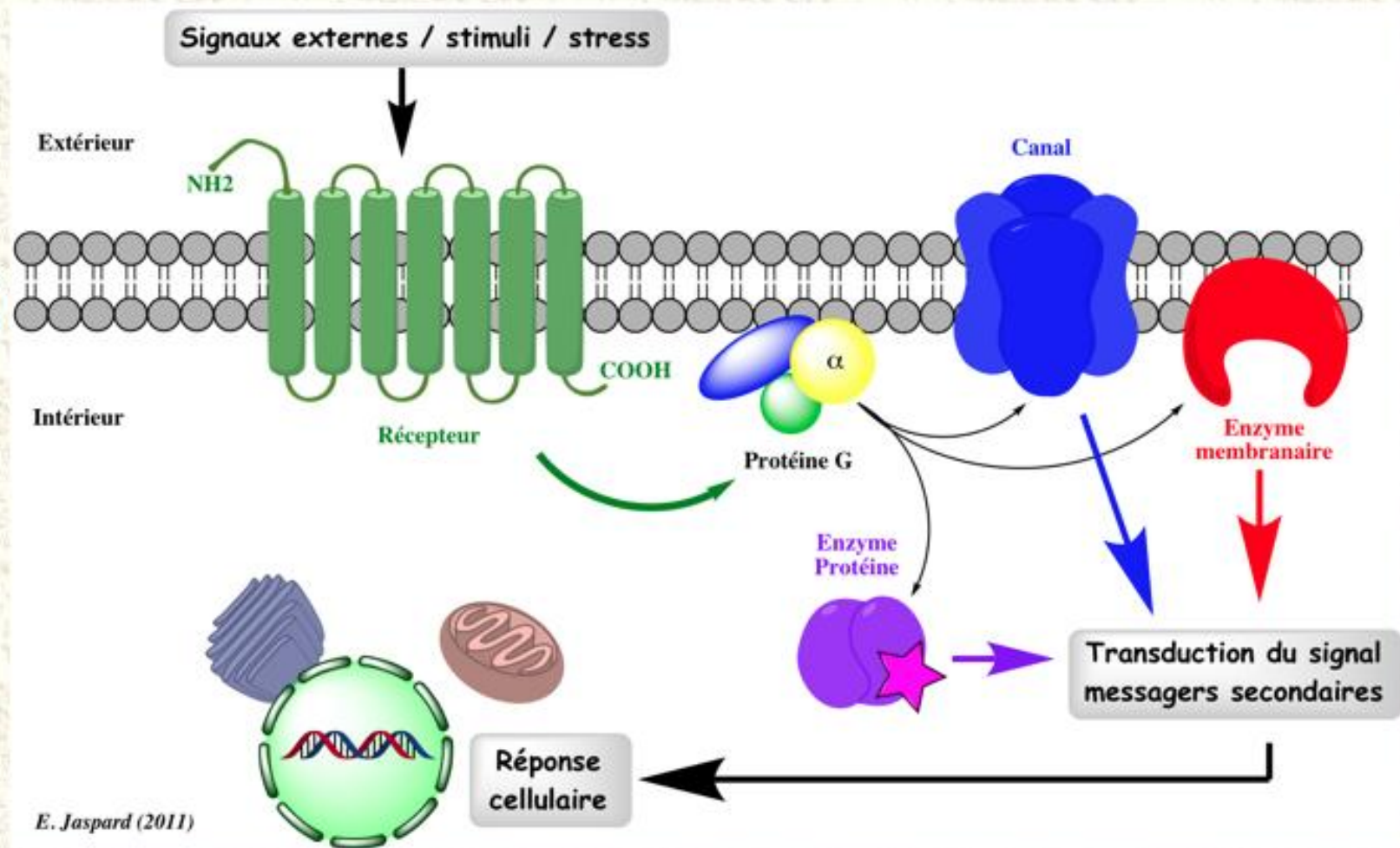
1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Exemple d'une cascade d'évènements

L'activation des récepteurs couplés aux protéines G entraîne une cascade d'événements (figure ci-contre) telle que :

- l'activation d'un récepteur par son ligand
- l'activation d'une protéine G par hydrolyse du GTP
- l'activation ou l'inhibition d'une protéine effectrice par une protéine G



Cette cascade d'événements inclut très souvent la modulation de la concentration intracellulaire de molécules intermédiaires appelées **messagers secondaires**.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Les protéines G

Elles ont été découvertes par **Alfred G. Gilman** et **Martin Rodbell** (prix Nobel de médecine 1994).

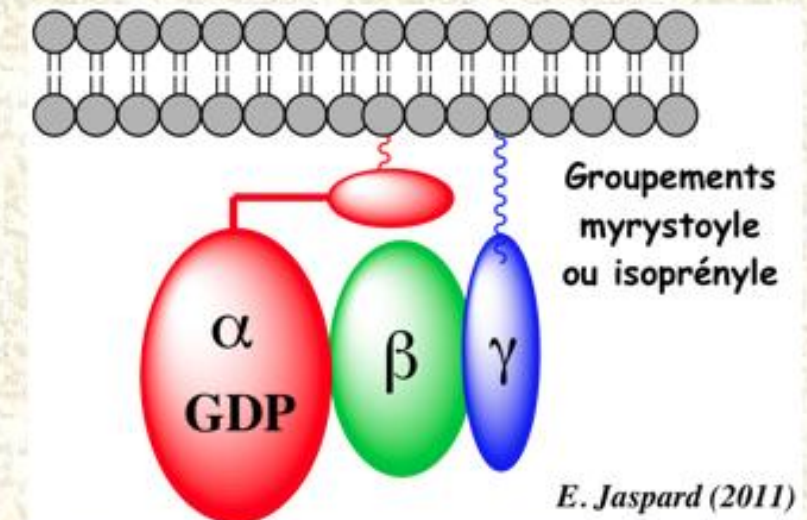
Les **protéines G** (G pour "*Guanine nucleotide binding proteins*") participent à la transduction du signal : ce sont des intermédiaires entre les récepteurs d'hormones situés dans la membrane plasmique et les systèmes réactionnels intracellulaires.

Les protéines G appartiennent à la famille des enzymes **GTPases** (E.C. 3.6.5) qui hydrolysent la guanosine triphosphate (GTP).

La famille des GTPases contient des **petites protéines G monomériques** qui participent à d'autres processus cellulaires : la **synthèse des protéines**, la division cellulaire, la translocation des protéines au travers de la membrane, le **transport** des vésicules dans la cellule

Les protéines G sont des protéines **hétérotrimériques** liées à la membrane, constituées d'une **sous-unités alpha** (39 - 46 kDa), **beta** (35 - 39 kDa) et **gamma** (8 kDa) .

Deux sous-unités sont **directement liées à la membrane** : l'extrémité N-terminale de la sous-unité α et l'extrémité C-terminale de la sous-unité γ sont modifiées par des groupements lipidiques **myristoyle** et **isoprényle**.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Les récepteurs couplés aux protéines G (RCPG)

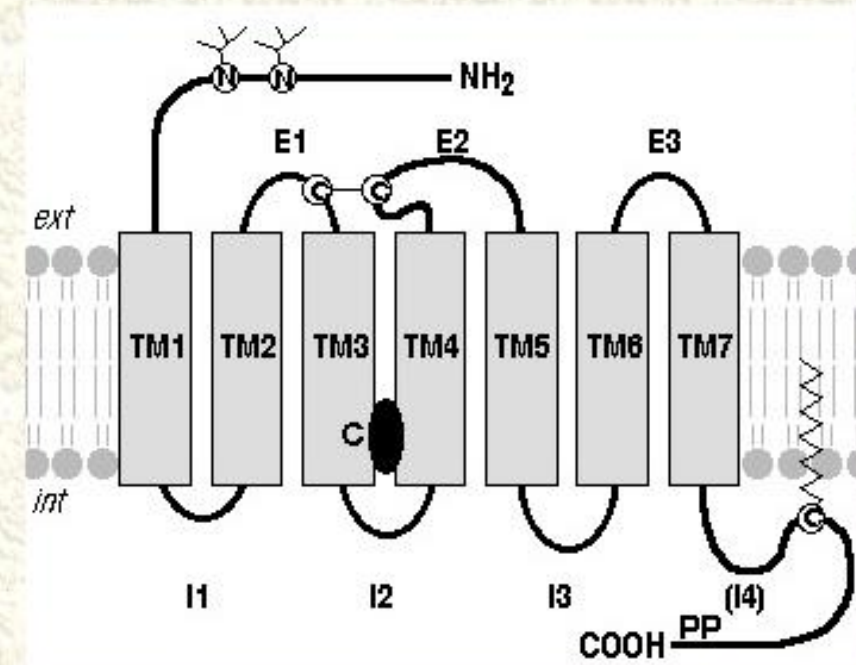
Généralités

Robert Lefkowitz et Brian Kobilka ont reçu le prix Nobel de Chimie en 2012 pour leurs travaux sur les RCPG.

On recense 826 RCPG chez l'homme. Les séquences codantes de leur gènes représentent plus de 1% du génome (voir Fredriksson *et al.*, 2003).

La structure de la grande majorité des RCPG est caractérisée par :

- l'extrémité N-terminale extracellulaire qui peut subir des modifications post-traductionnelles de type N-glycosylation.
- 7 hélices α trans-membranaires (TM1 à TM7) reliés par 3 boucles intracellulaires (I1, I2, I3) et 3 boucles extracellulaires (E1, E2, E3).
- un pont disulfure entre les boucles E1 et E2.
- l'extrémité C-terminale intracellulaire qui possède parfois des sites d'ancrage lipidique dans la membrane (création d'une 4ème boucle, I4) : ces sites d'ancrage résultent d'une modification réversible de cystéines par palmitoylation. Le palmitate interagit avec une molécule de cholestérol (C) (Zheng *et al.*, 2012).
- l'extrémité C-terminale intracellulaire qui peut-être phosphorylée (PP) sur différents résidus par la protéine kinase A, la protéine kinase C ou les GRK ("G-protein-coupled receptor kinases").



Source : "Récepteurs couplés aux protéines G"

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Les protéines G **amplifient** le signal :

- chaque récepteur activé par un ligand stimule de nombreuses molécules de protéines G
- chaque complexe [protéine G - protéine cible] est impliqué dans de nombreuses réactions avant que la protéine G ne soit inactivée.

a. Diversité des sous-unités des protéines G

La diversité des protéines G est moindre que celle des RCPG, mais permet de **nombreuses combinaisons** entre les sous-unités $G\alpha$ et $[G\beta/G\gamma]$.

Il existe au moins (figure ci-dessous) :

- 17 gènes codant la sous-unité $G\alpha$
- 5 gènes codant la sous-unité $G\beta$
- 12 gènes codant la sous-unité $G\gamma$

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Le mécanisme est le suivant : quand une hormone se fixe à son récepteur sur la face externe de la membrane plasmique, celui-ci change de conformation (figure ci-dessous).

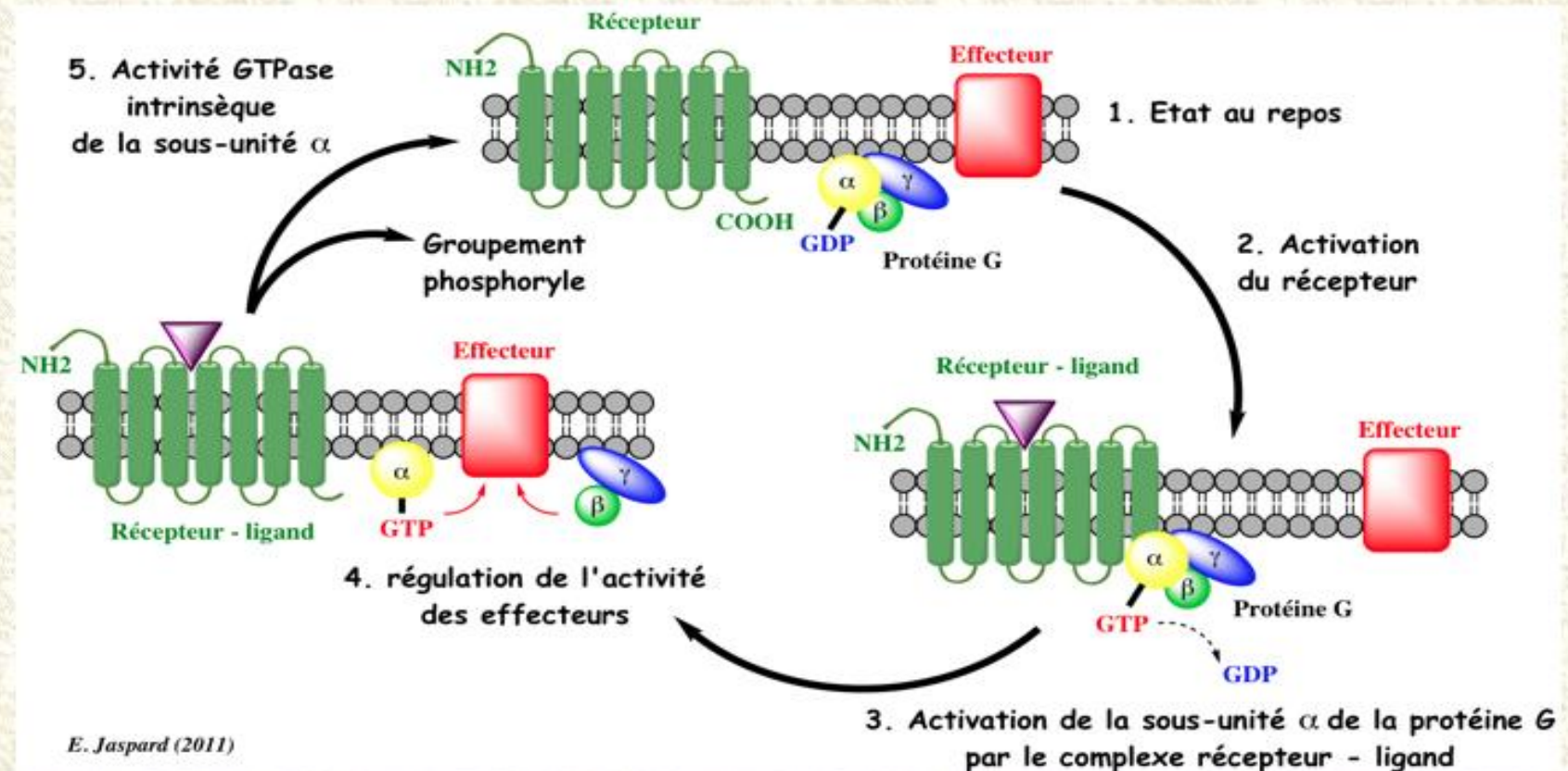
Le récepteur peut alors se fixer à une protéine G (**inactive - chargée en GDP**) située sur la face interne de la membrane plasmique.

Le GDP est remplacé par le GTP **activant** ainsi la **protéine G**. Les **sous-unités β et γ** forment un complexe libéré de la sous-unité α après l'échange du GDP en GTP.

Une fois activée, la sous-unité α se dissocie du récepteur et **se fixe à sa protéine cible appelée effecteur en l'activant.**

L'activité **GTPase** de la **sous-unité α** hydrolyse le GTP ce qui entraîne la réassociation des sous-unités de la protéine G.

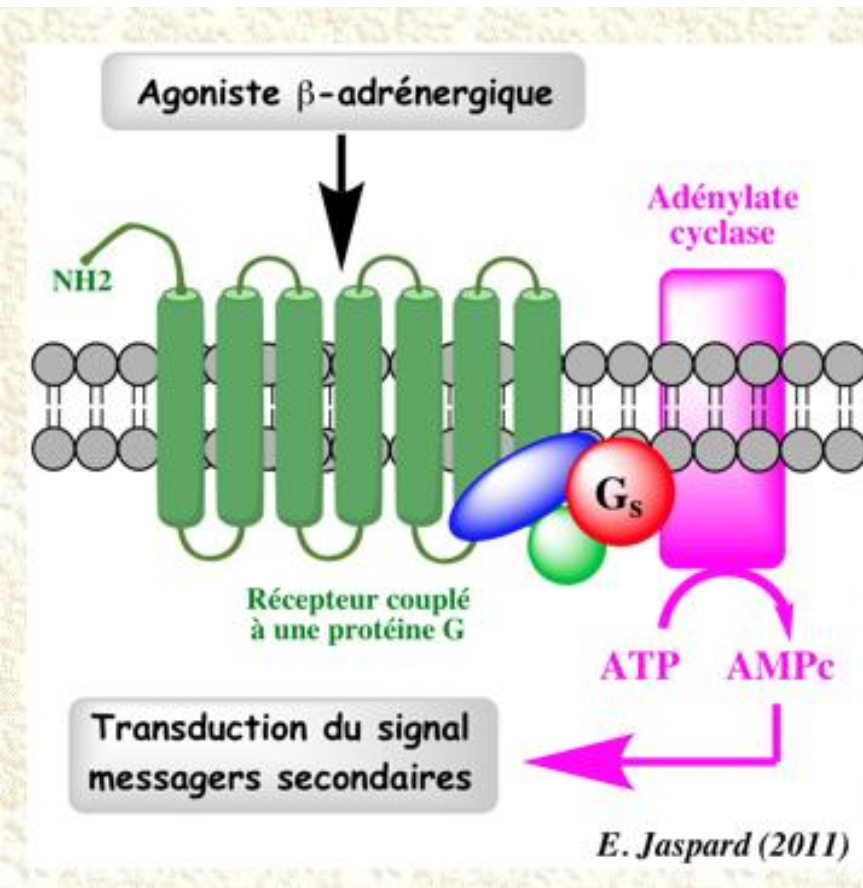
La protéine G retrouve sa conformation liant le GDP et elle est de nouveau **inactive**.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique



Le récepteur β -adrénergique s'associe avec la protéine G_s qui le couple à l'adénylate cyclase (AC).

L'AC produit l'AMP cyclique (AMPc) qui exerce ses effets par l'intermédiaire d'une protéine kinase AMPc dépendante.

- 1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
- 1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.
- e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Voie parasympathique :
 Contrôle uniquement sur le cœur.

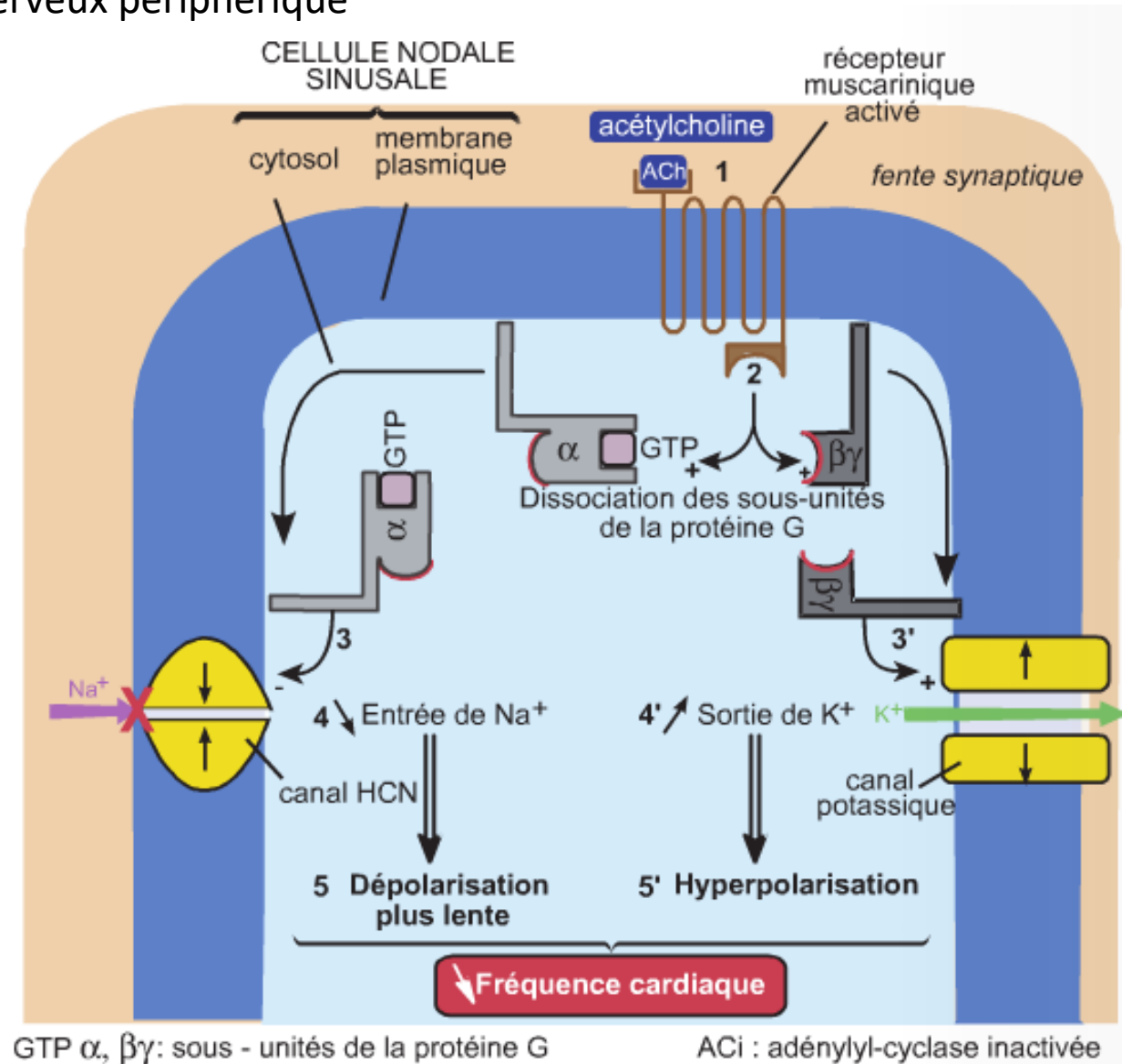
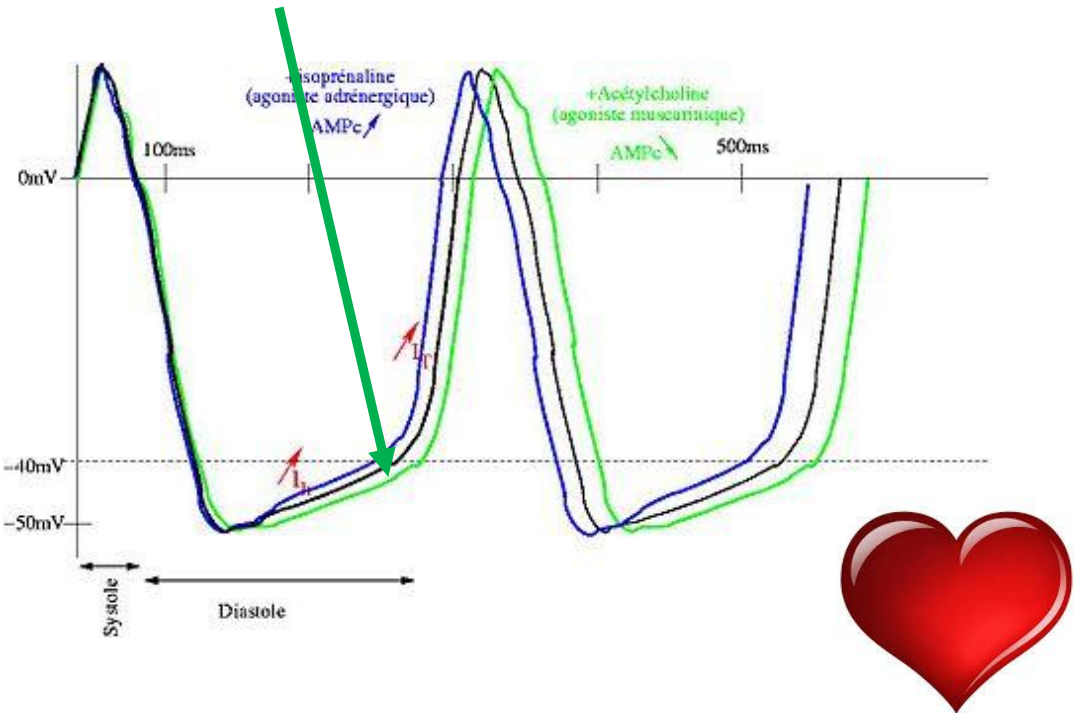
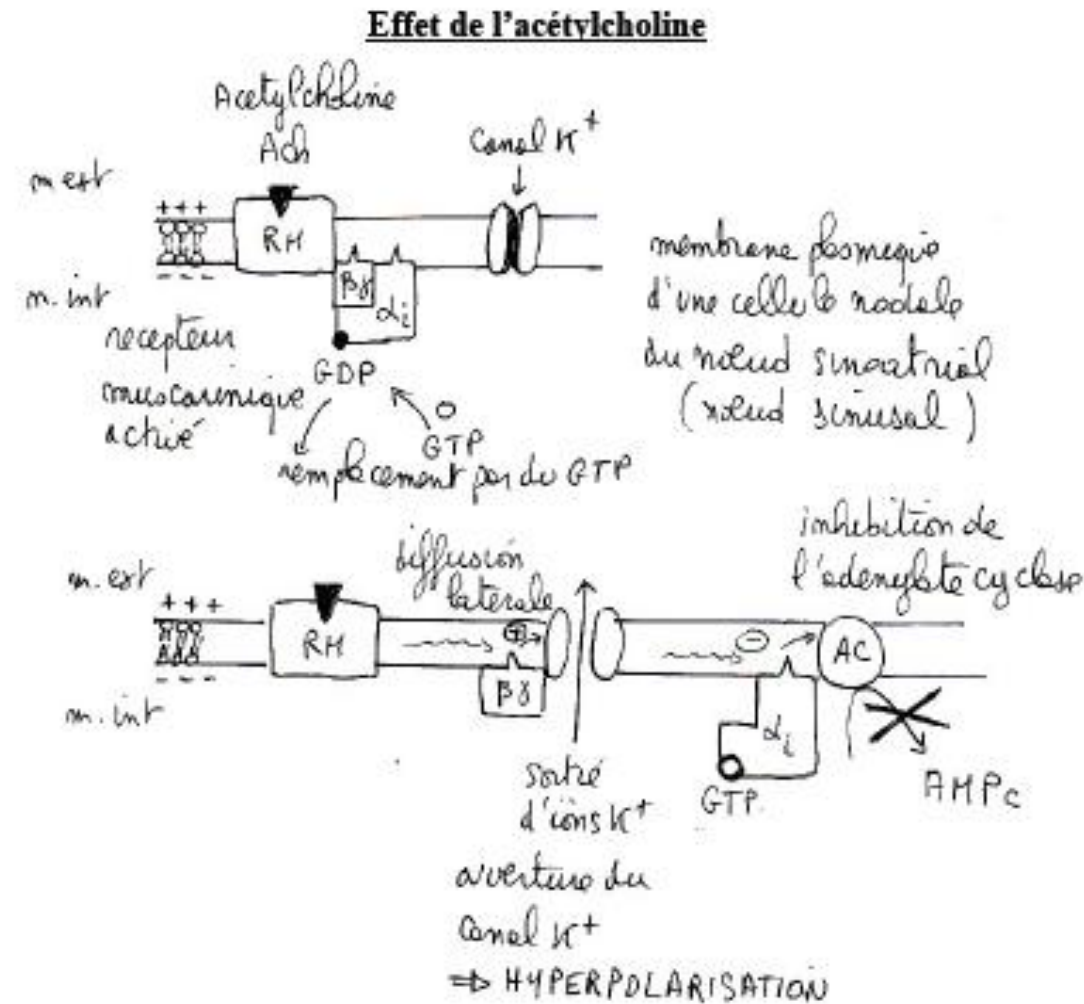


FIGURE 3.12 Effet chronotrope négatif de l'acétylcholine sur une cellule du NSA via les récepteurs muscariniques mAChR.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

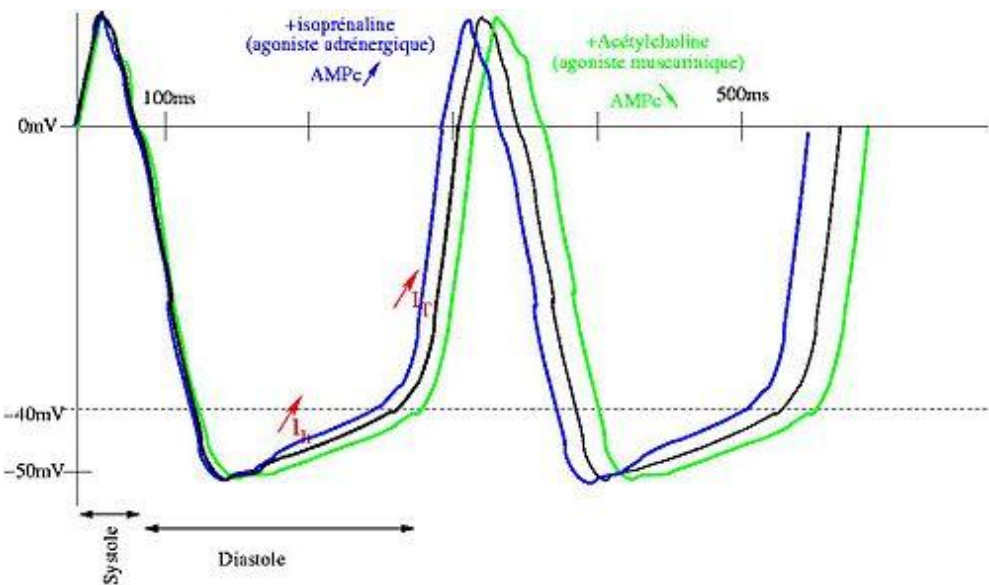
e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique



La sortie de K^+ dans le sens du gradient électrochimique conduit à une hyperpolarisation de la membrane ce qui demande une durée plus grande pour que l'entrée des cations conduise à la valeur seuil nécessaire au déclenchement du potentiel de pacemaker.

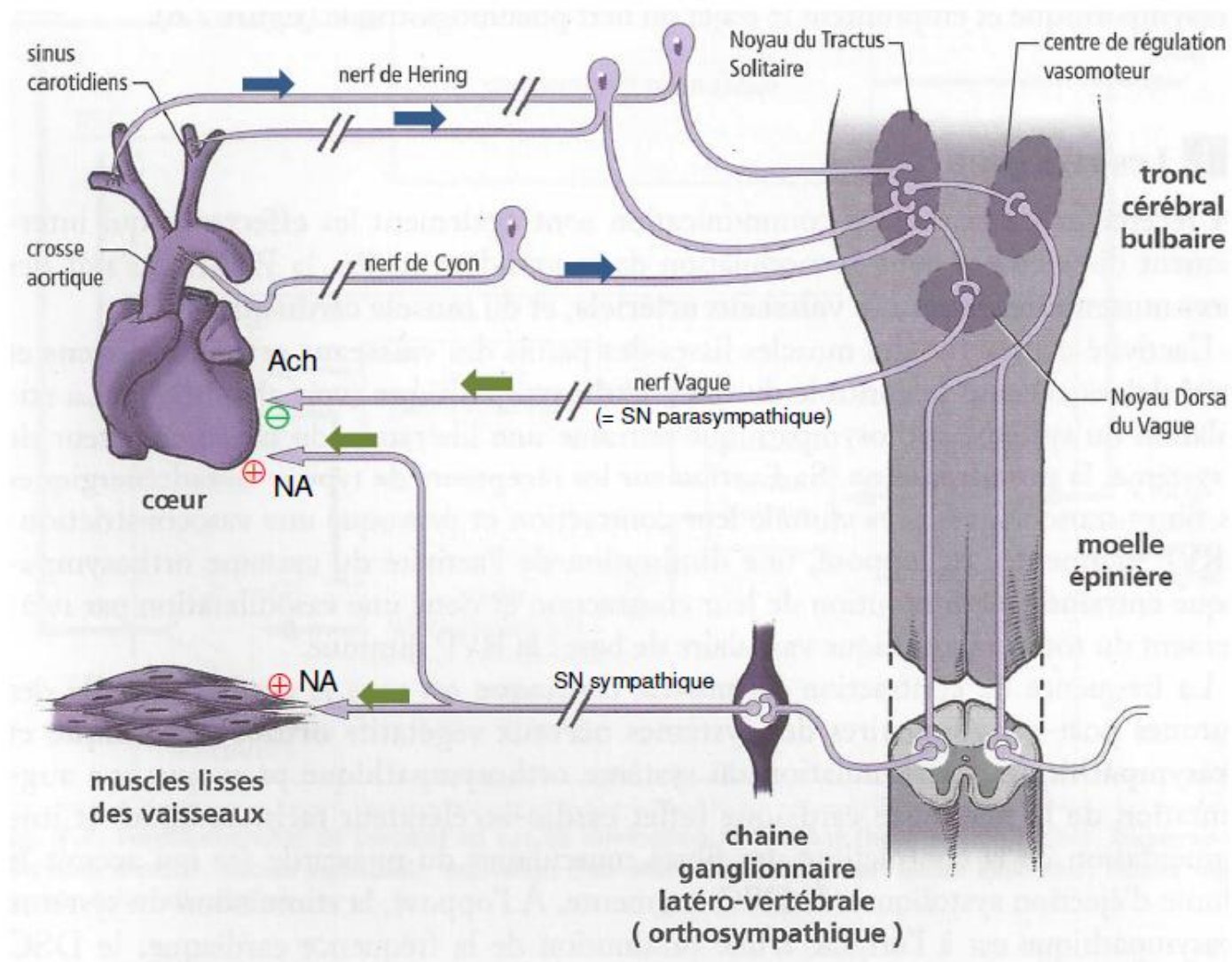
- 1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
- 1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.
- e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Bilan : effets des neuromédiateurs du système nerveux végétatif sur le potentiel de membrane d'une cellule du nœud sinusal



COMPARAISON DES EFFETS DES DEUX COMPOSANTES DU SYSTÈME NEUROVÉGÉTATIF SUR LA FRÉQUENCE CARDIAQUE.

	Système parasympathique	Système sympathique
Effet sur la dépolarisation lente du potentiel de pacemaker	Allongement	Raccourcissement
Effet sur le potentiel de membrane des cellules du NSA	Diminution de la fréquence de décharge	Augmentation de la fréquence de décharge
Effet sur la fréquence cardiaque	Diminution Effet chronotrope négatif	Augmentation Effet chronotrope positif



➡ Message nerveux afférent = sensitif ← Message nerveux efférent

Ach : acétylcholine

⊖ Synapse inhibitrice

NA noradrénaline

⊕ Synapse excitatrice

NB Les synapses au contact des artères et artérioles n'ont pas le même effet en fonction de leur localisation (cf. **plus loin : effort physique**)

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.6. Le tissu nodal est responsable de l'automatisme cardiaque.

e. Des cellules nodales sont sous contrôle du système nerveux périphérique

Bilan : double contrôle

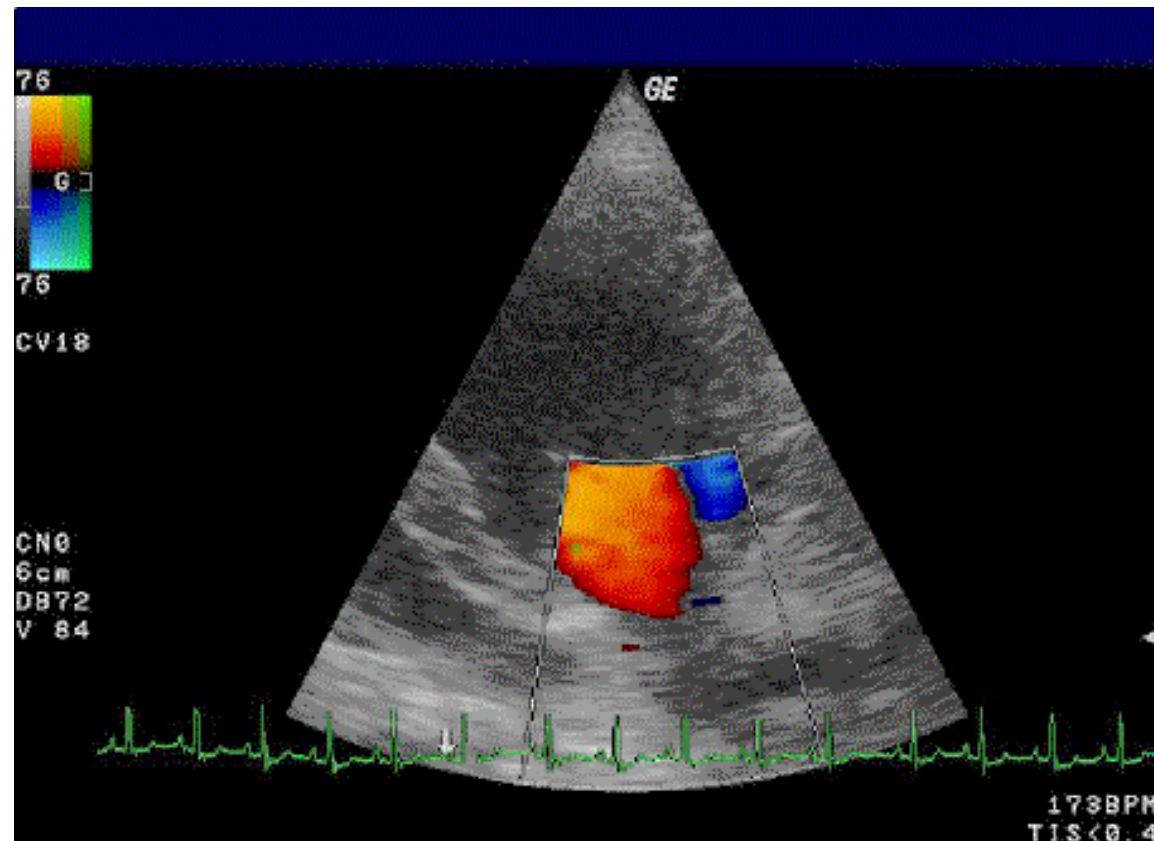
Contrôle orthosympathique : accélération du rythme cardiaque = tachycardie par l'action de noradrénaline.

Contrôle parasympathique : ralentissement du rythme cardiaque = bradycardie par l'action d'acétylcholine sur des récepteurs muscariniques

Au repos : contrôle parasympathique permanent : rythme au repos inférieur au rythme sans contrôle

1.7. Débit et fréquence cardiaque.

Mesure du débit par échographie avec effet doppler



- Il énonce que le débit cardiaque s'obtient en divisant la quantité injectée en amont du cœur d'un indicateur (colorant, thermique ou isotopique) par la surface de la courbe de première circulation de cet indicateur.



Méthode de Stewart-Hamilton

$$CO_{TDa} = \frac{(T_b - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}$$

T_b = Température corporelle

T_i = Température de l'injectat

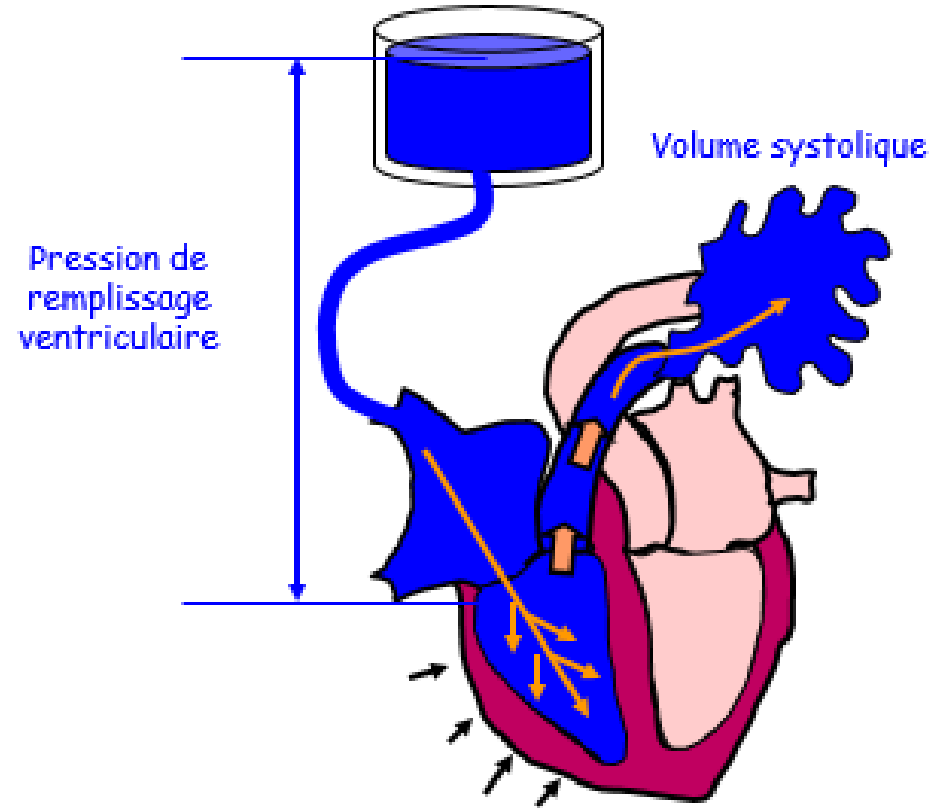
V_i = Volume de l'injectat

$\int \Delta T_b \cdot dt$ = Aire sous la courbe de thermodilution

K = Constante de calcul

Adaptation intrinsèque du débit : la loi de Starling du cœur.

Dispositif expérimental :

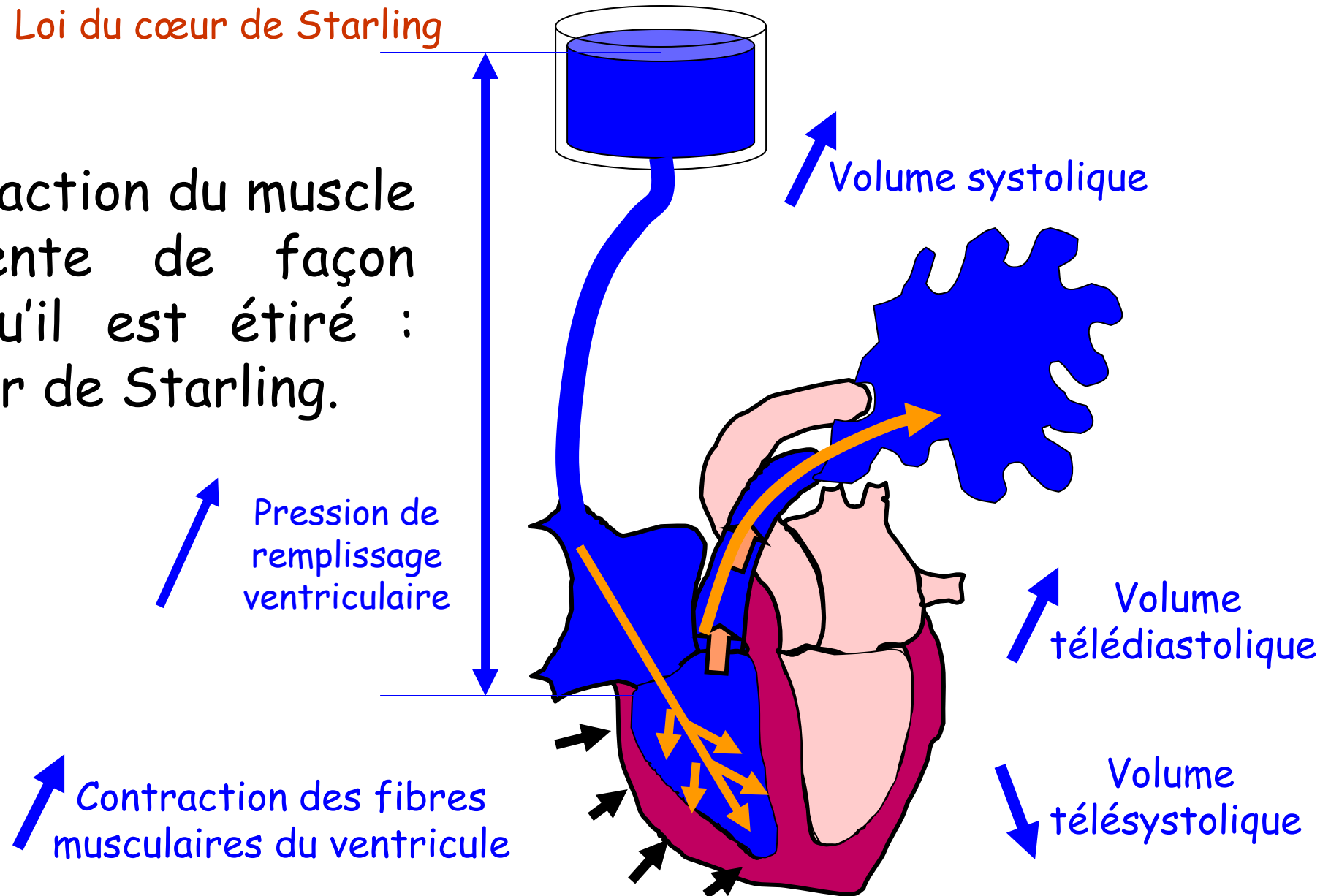


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.7. Débit et fréquence cardiaque. *Contrôle du volume d'éjection systolique (VES)*

Loi du cœur de Starling

La force de contraction du muscle cardiaque augmente de façon intrinsèque lorsqu'il est étiré : c'est la loi du cœur de Starling.

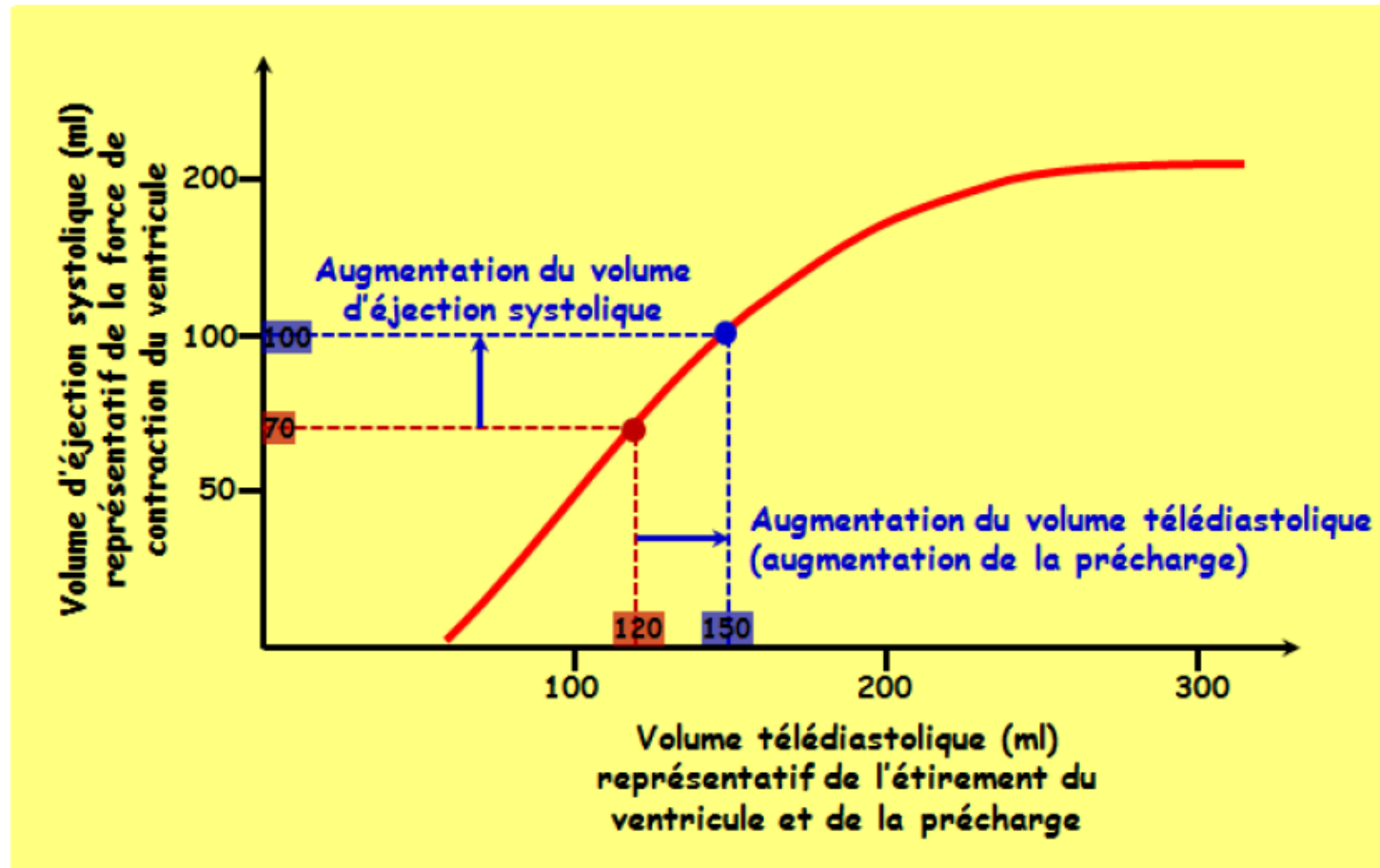


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.7. Débit et fréquence cardiaque.

Loi du cœur de Starling : propriété du muscle

Relation Volume éjection / volume de remplissage



1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

Observation : constance de la pression artérielle au repos pour un individu.

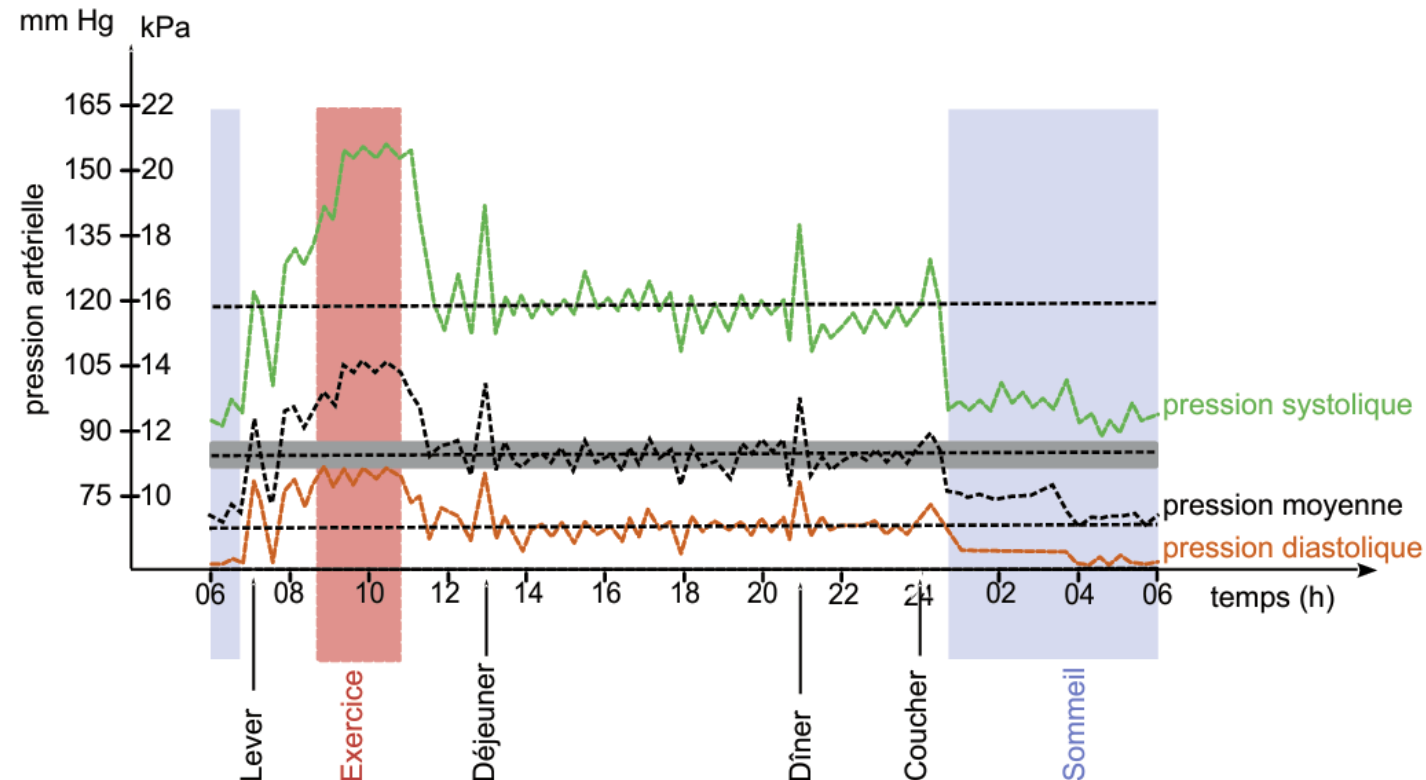


FIGURE 4.2 Enregistrement en continu de la pression artérielle d'un sujet en bonne santé au cours d'une journée.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

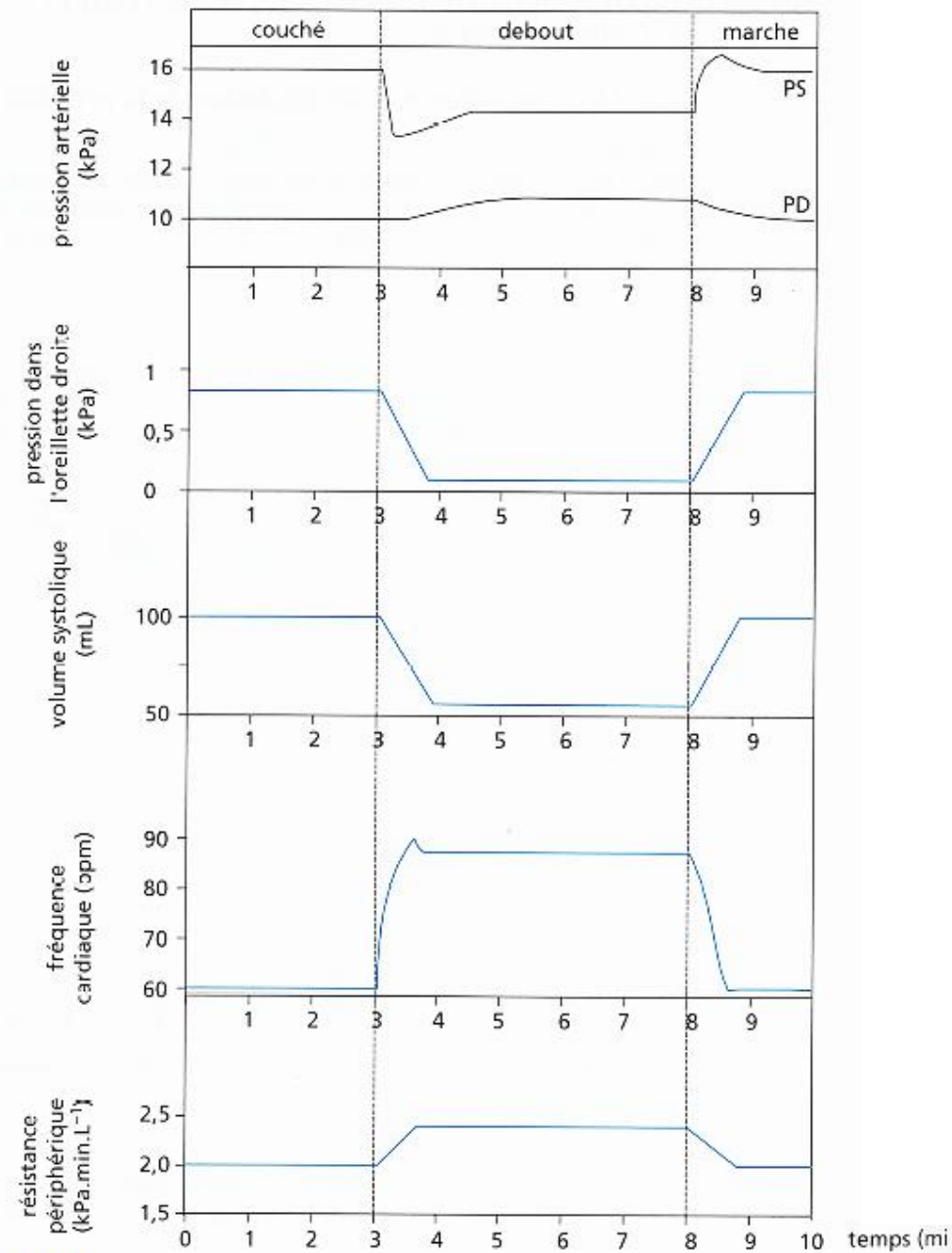


Figure 19.12 Conséquences de la position debout sur les paramètres cardiovasculaires.

La partie centrale de la figure montre les conséquences d'une position debout statique ; la partie droite celles de la marche.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

a. Les barorécepteurs artériels.

Approche expérimentale :

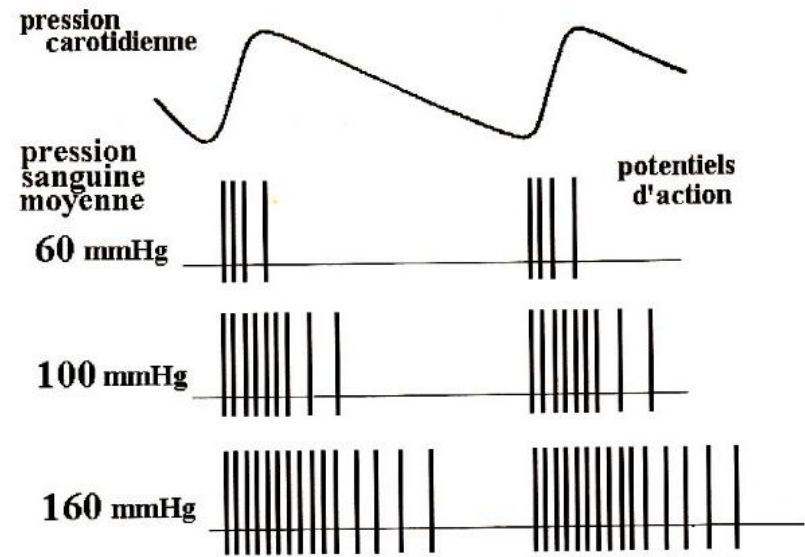
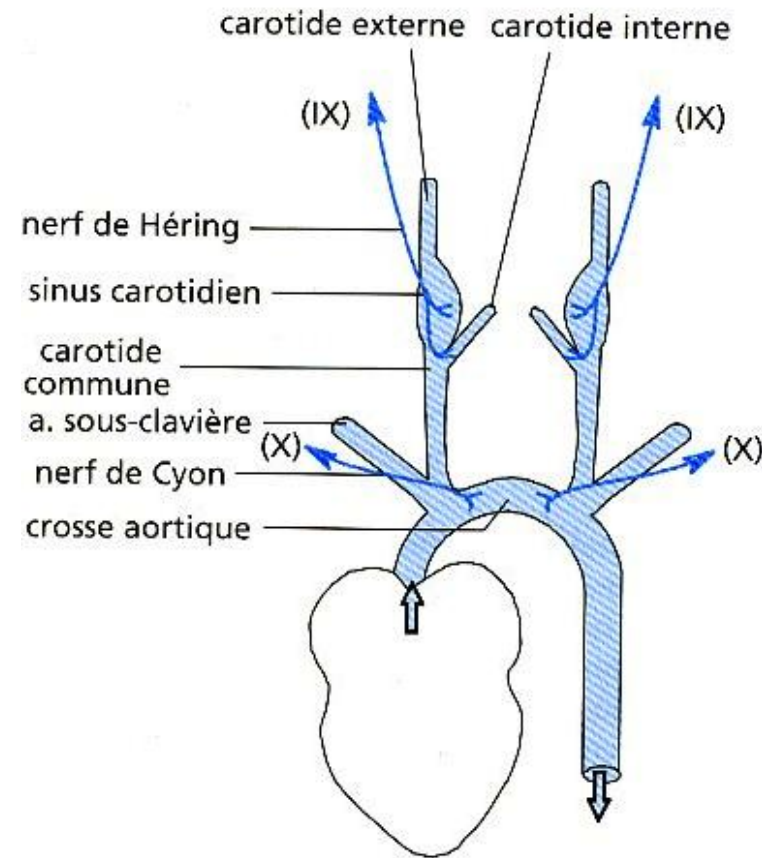
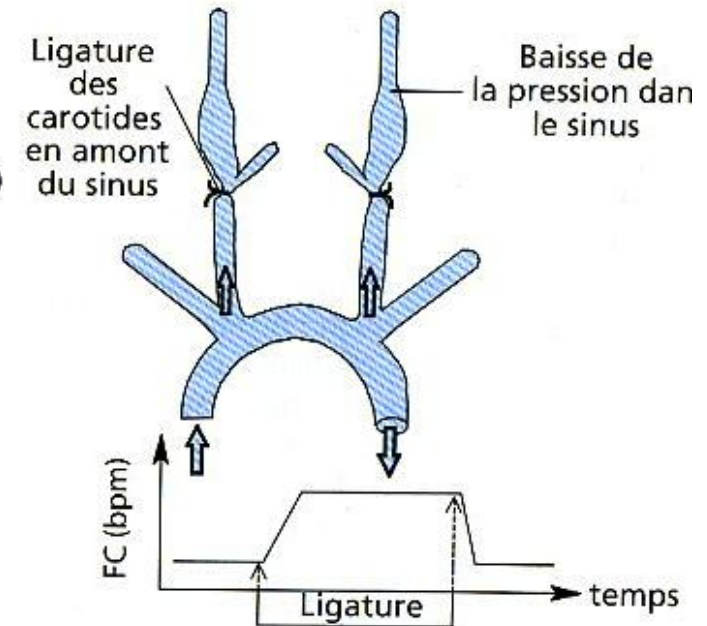
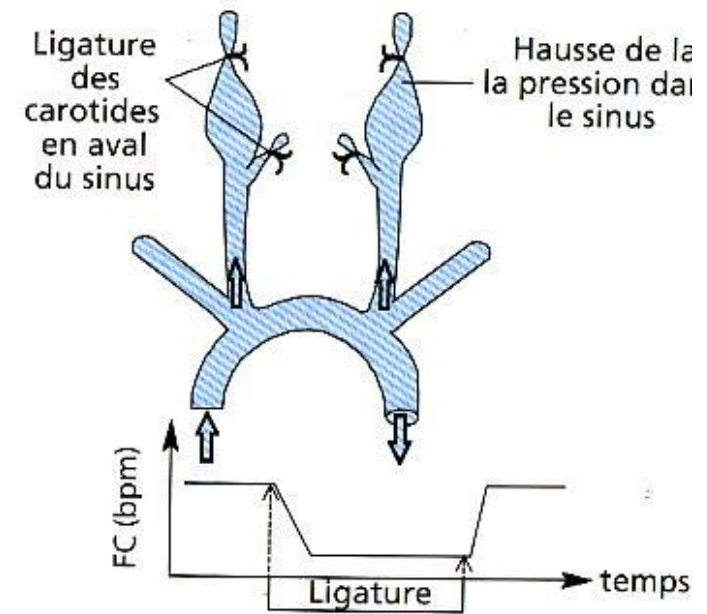


Figure 16-2 Potentiels d'action enregistrés sur le nerf sinusal (en raison de la faible vitesse de balayage de l'oscilloscope, les PA apparaissent comme de simples traits verticaux).

Mise en évidence du rôle des sinus carotidiens dans la régulation de la pression artérielle.



(a) Localisation des barorécepteurs artériels dans la circulation systémique



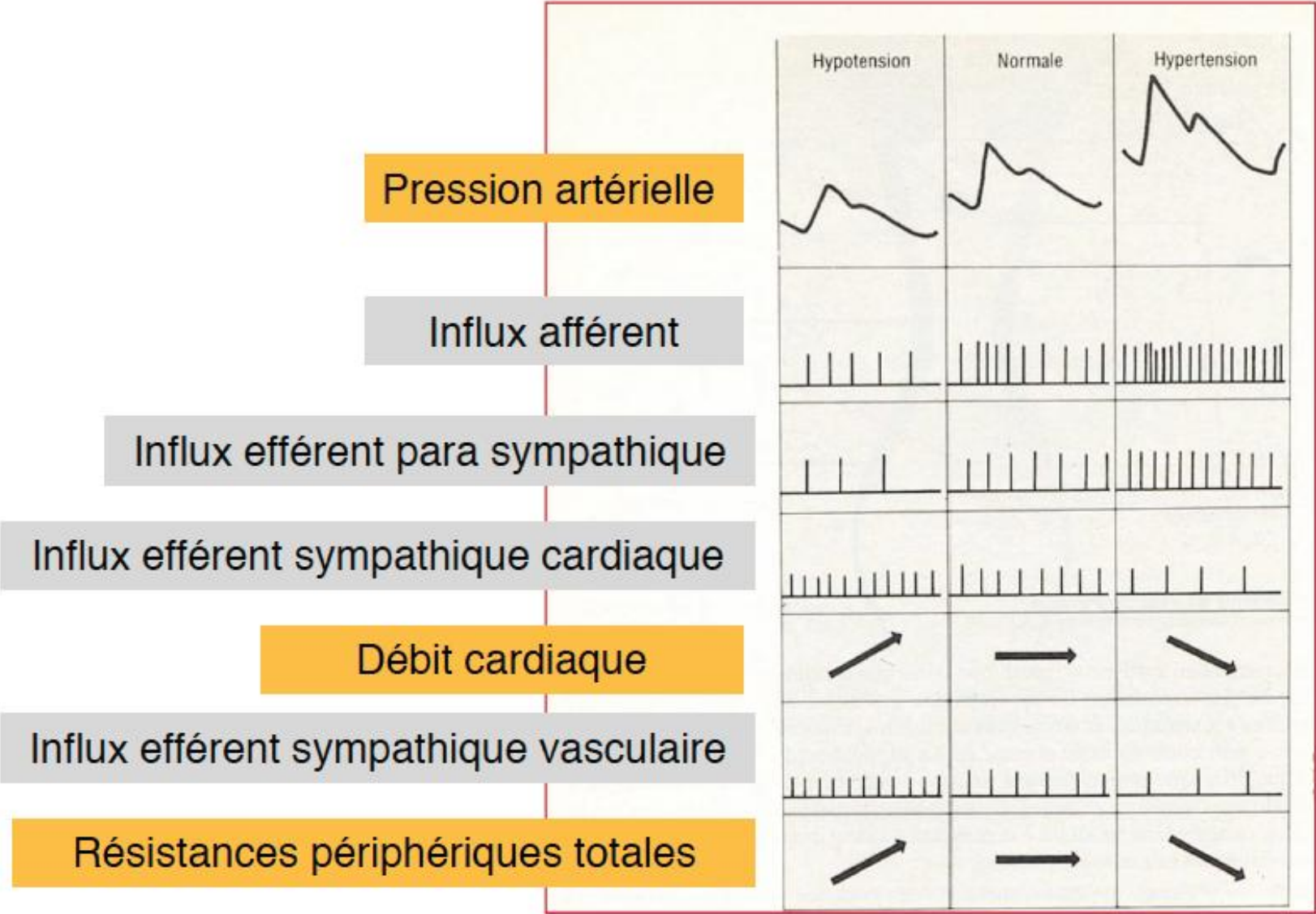
(b) Expériences de ligature du sinus carotidien

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

a. Les barorécepteurs artériels.

Relation



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

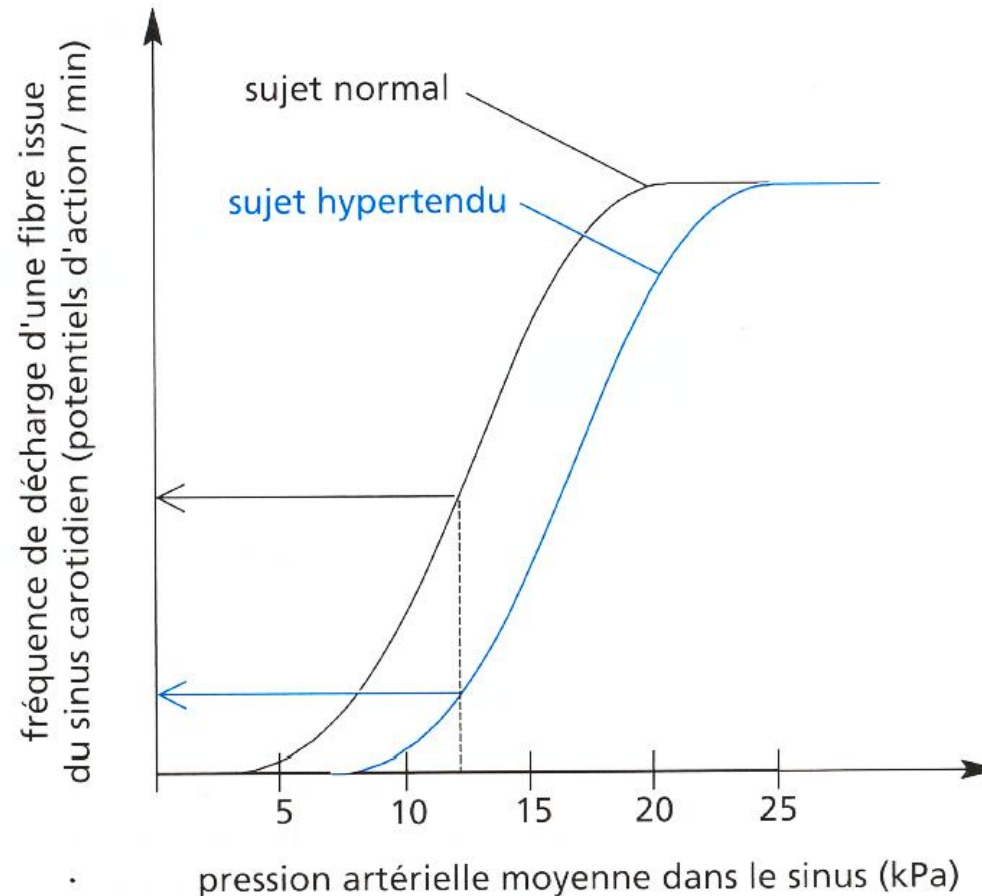
1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

a. Les barorécepteurs artériels.

Sensibilité des barorécepteurs

Relation fréquence des potentiels d'actions issus des barorécepteurs

Figure 19.14 Relation entre la fréquence de décharge d'une fibre issue de la paroi du sinus carotidien (nerf de Hering) et la pression artérielle dans le sinus carotidien correspondant.

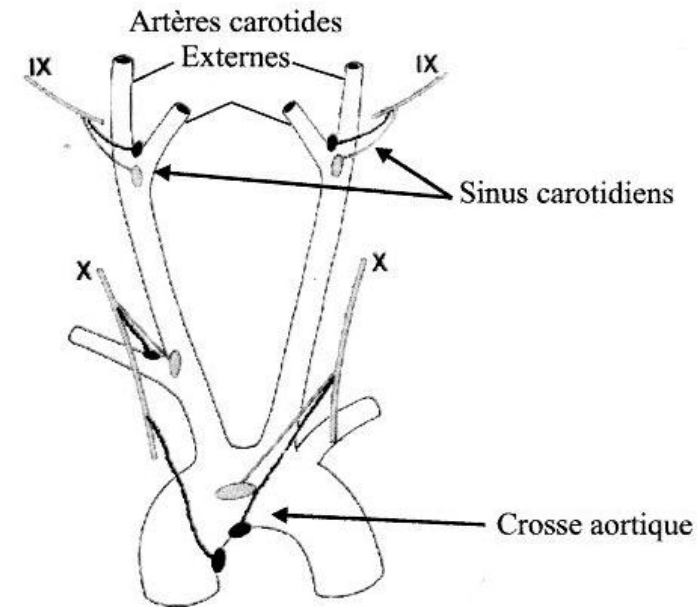
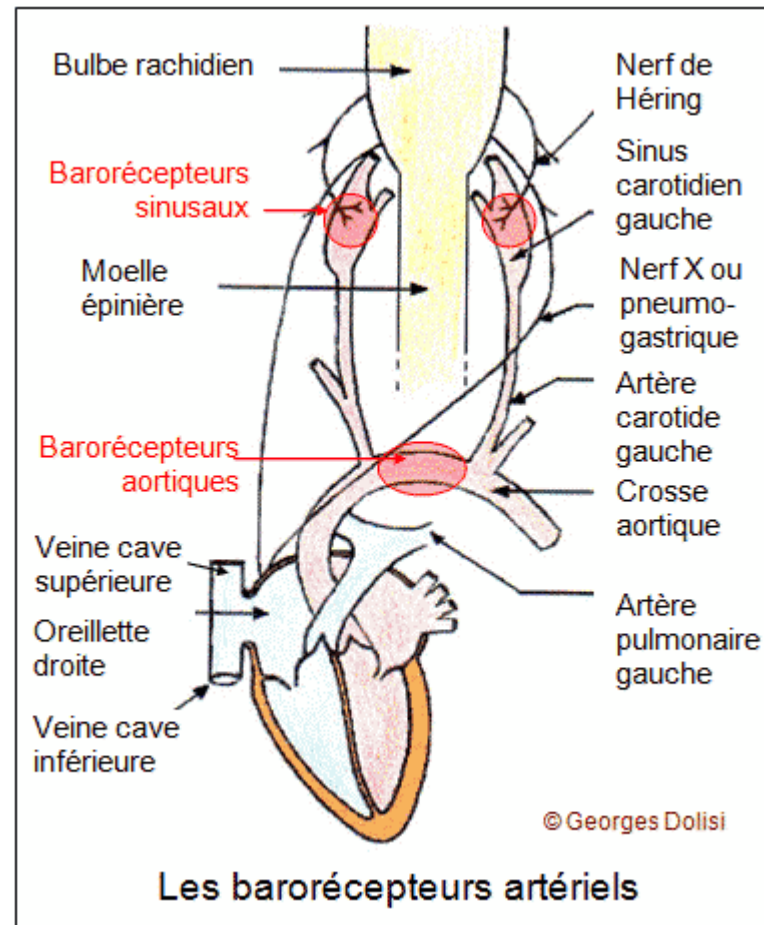


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

a. Les barorécepteurs artériels.

Localisation des barorécepteurs sensibles à la pression artérielle.



IX nerf glossopharyngien = nerf de Hering
X = nerf pneumogastrique = nerf de Cyon-Ludwig
= nerf vague

● = barorécepteur
● = chémorécepteur

**Innervation de la crosse aortique
Et du sinus carotidien**

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

Le système neurovégétatif :
voie orthosympathique et
voie parasympathique.

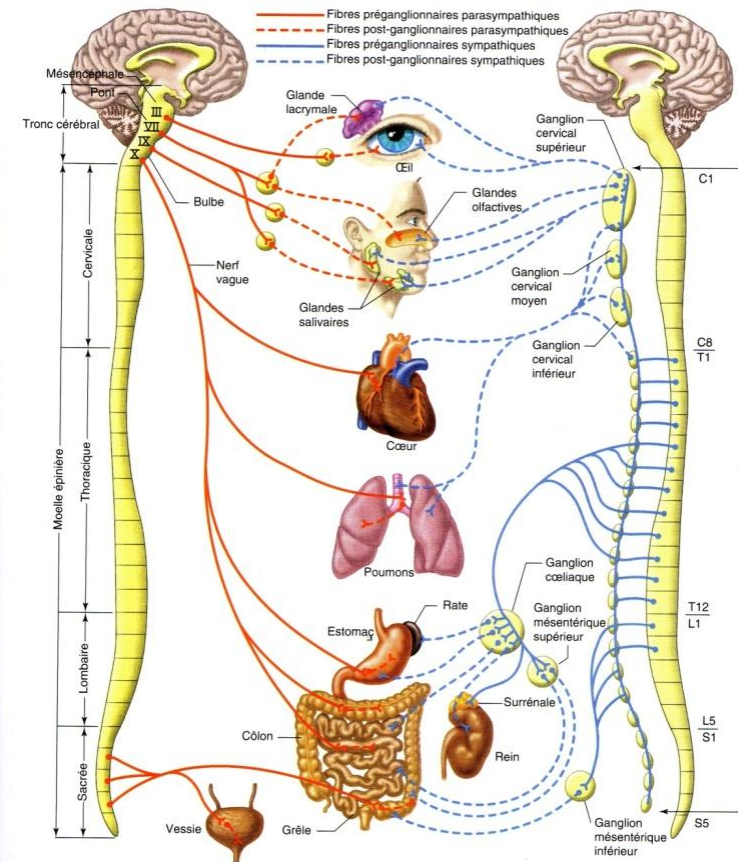


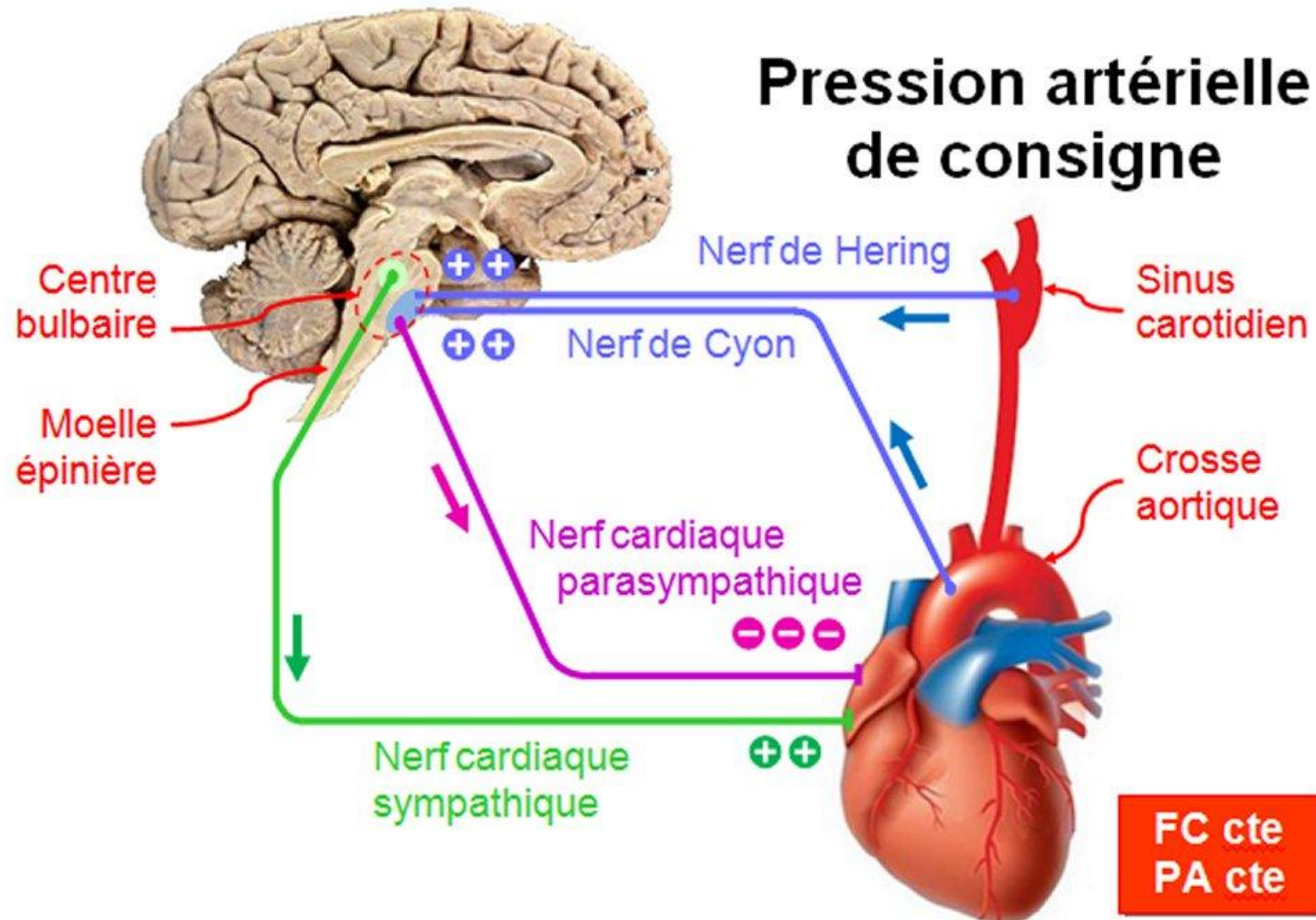
FIGURE 6-40

Divisions parasympathique (gauche) et sympathique (droite) du système nerveux autonome. Les ganglions coeliaques, mésentérique supérieur et mésentérique inférieur sont des ganglions collatéraux. On n'a fait figurer qu'un tronc sympathique, alors qu'il en existe deux, de chaque côté de la moelle épinière. On n'a pas fait figurer les fibres destinées au foie, aux vaisseaux sanguins, aux organes génitaux et aux glandes cutanées.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

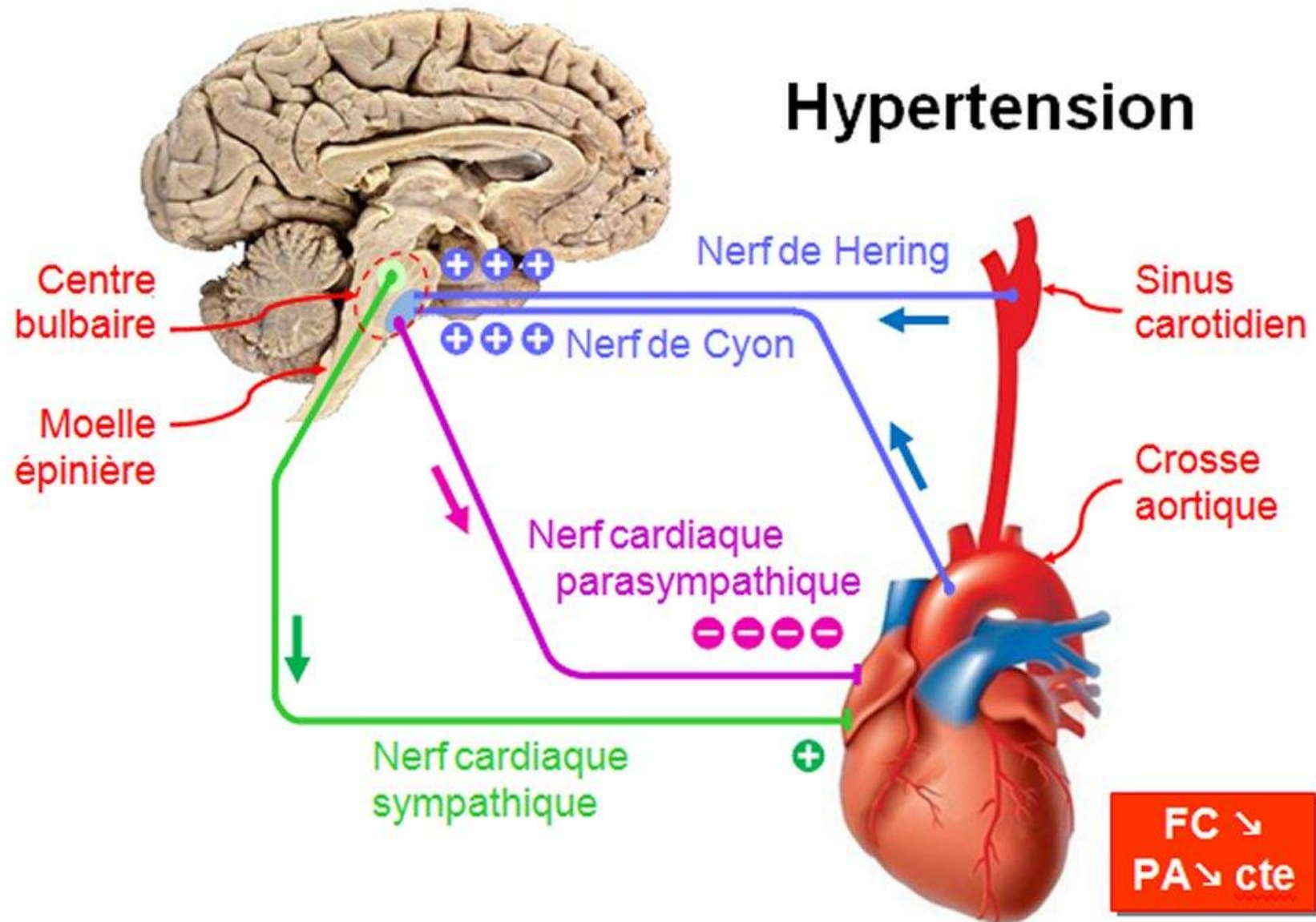
b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

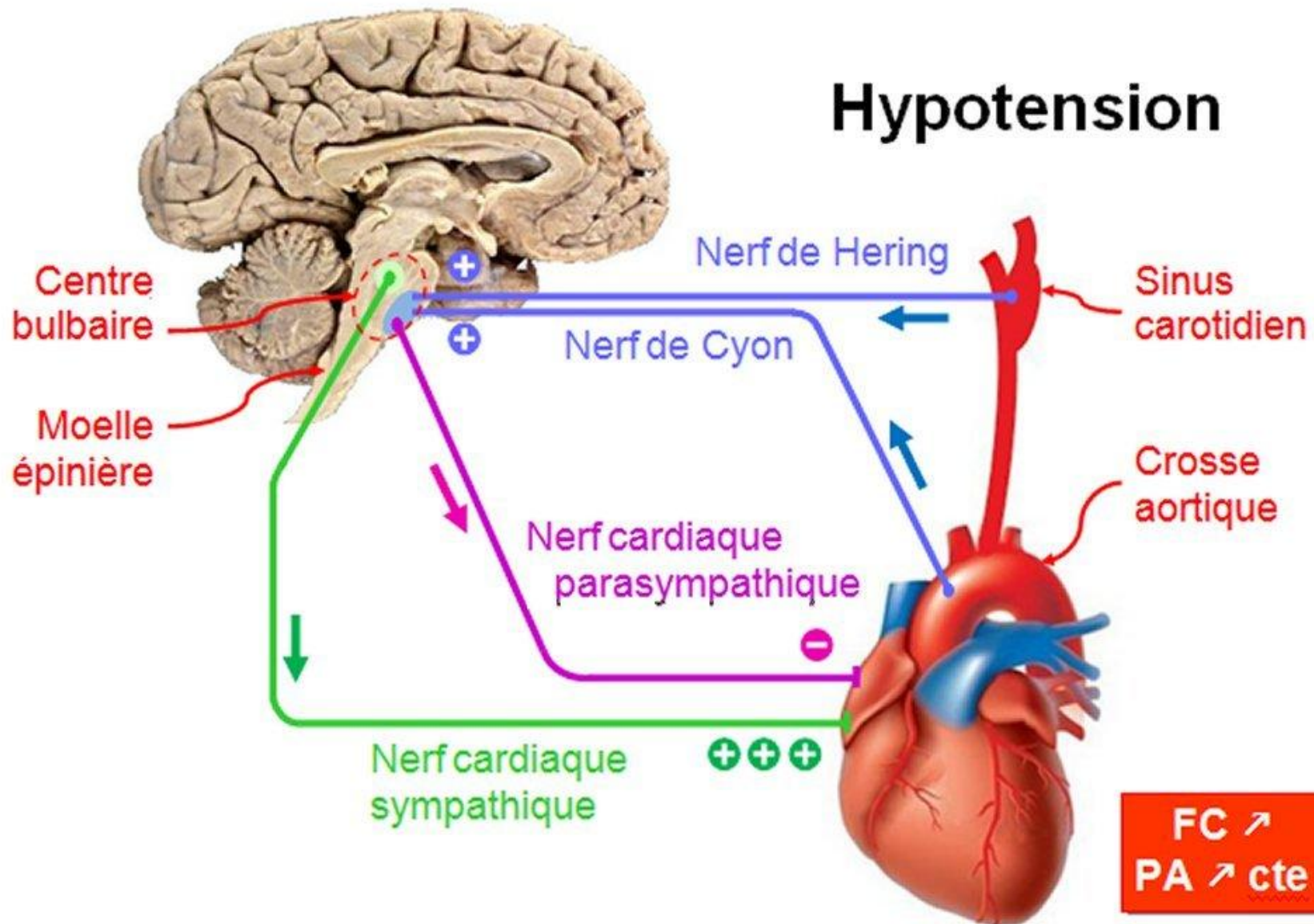
b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

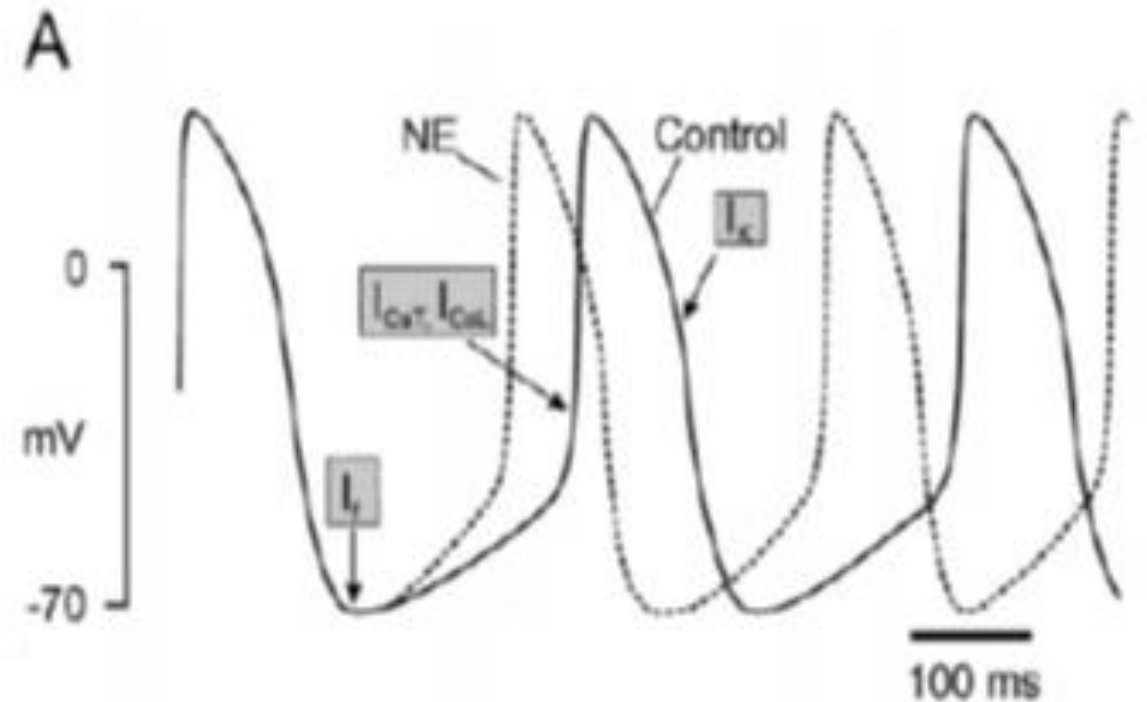
1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

Action de l'orthosympathique sur le cœur

Augmentation de la **FC** et du **VES**
par l'intermédiaire de
noradrénaline

Action via les **récepteurs β_1** sur
le cœur.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

Action de l'orthosympathique sur les vaisseaux : deux types de récepteurs

Vaisseaux innervés par l'orthosympathique uniquement.

Récepteurs α_1 : action vasoconstrictrice, donc augmente la résistance
Surtout dans les viscères (intestin, rein, etc.)

Récepteurs β_2 : action vasodilatatrice, donc diminue la résistance
Surtout dans les muscles

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

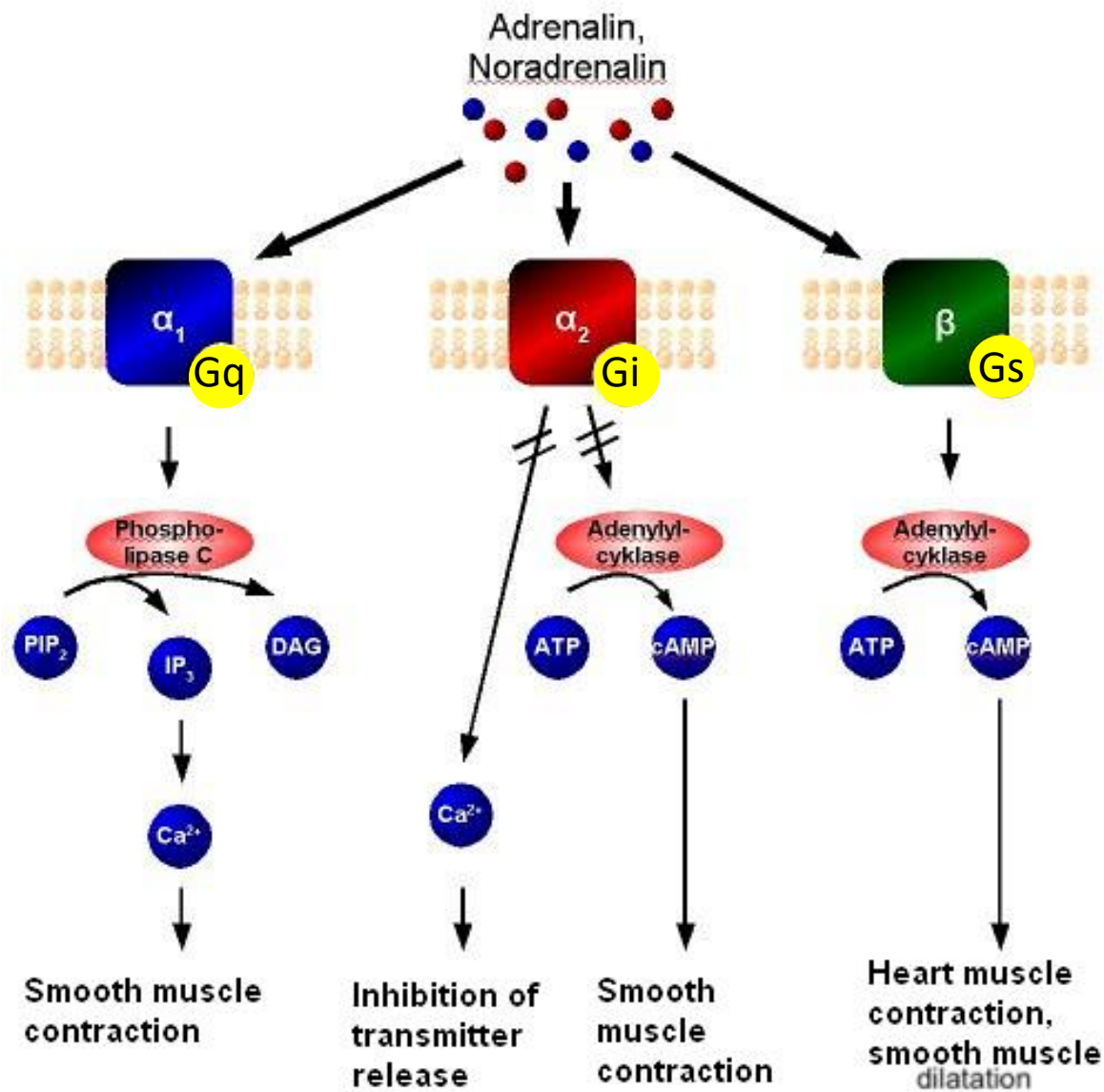


Tableau 10.4 Effets de l'adrénaline et de la noradrénaline sur la vasomotricité.

Territoire	Effet de la noradrénaline (stimulation sympathique)	Effet de l'adrénaline (sécrétion de la médullo-surrénale)	Réponse artériolaire dans le territoire
peau	vasoconstricteur	vasoconstricteur	vasoconstriction (puis vasodilatation due à des facteurs locaux)
muscles squelettiques	vasoconstricteur	vasodilatateur	vasodilatation
cœur (vaisseaux coronaires)	vasodilatateur	vasodilatateur	vasodilatation
autres territoires	vasoconstricteur	vasoconstricteur	vasoconstriction

Type de récepteur.	Exemple de cellules cibles et effet.	Type de protéine G.	Effet
Récepteur α_1 adrénergique : réponse à la noradrénaline,	Vaisseaux (muscle lisse des vaisseaux) : vasoconstriction. Cœur : accélération. Récepteurs α_1 moins fréquents que les récepteurs β_1 au niveau du cœur.	Protéine Gq activant la phospholipase C et IP ₃ comme second messenger.	IP₃ entraîne une libération plus importante de Ca²⁺ : plus de contraction.
Récepteur β_1 adrénergique : réponse à la noradrénaline.	Cellule cardiaque : accélération du rythme et de la force de contraction.	Protéine Gs, activation de l'adénylate cyclase.	Plus d'AMPc entraîne plus de Ca²⁺ libéré : plus de contraction.
Récepteur type muscarinique (mAChR) : réponse à l'acétylcholine.	Cellule cardiaque : Diminution de la fréquence cardiaque.	Récepteur associé à une protéine Gi : inhibition de l'adénylate cyclase	Moins d'AMPc : diminution libération Ca²⁺ : moins de contraction.
		Récepteur associé à une protéine G₀ = Gk : activation du canal de fuite de K⁺	Freine la fuite de K⁺ : dépolarisation moins rapide.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

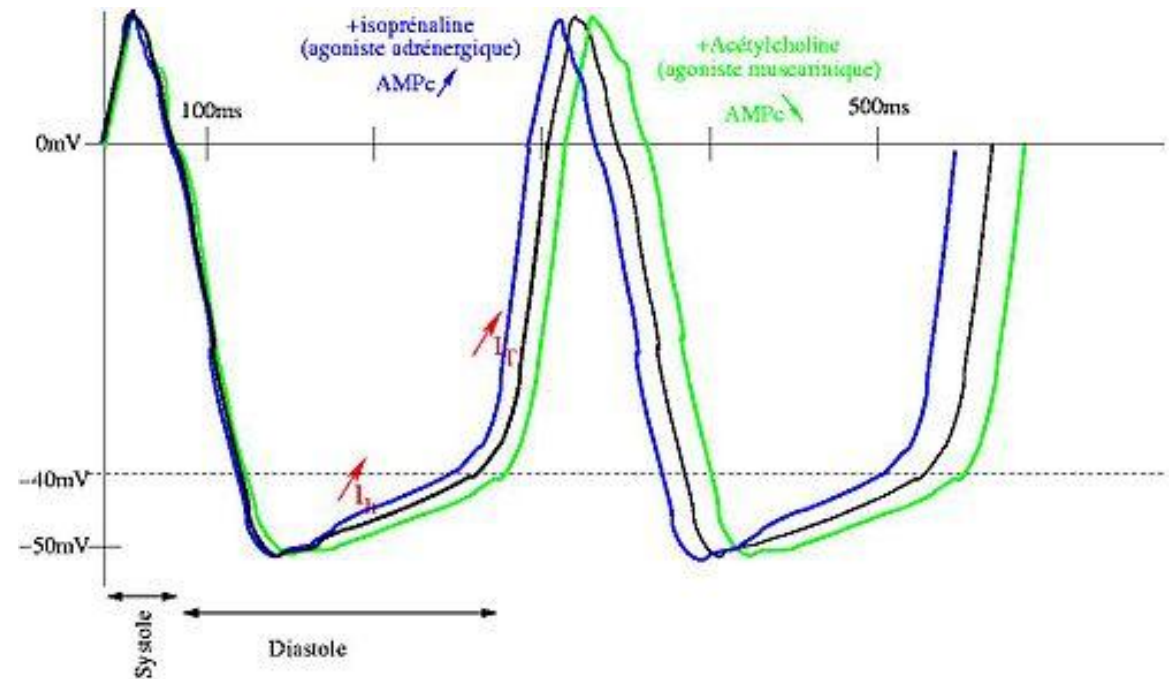
1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

Parasympathique : action uniquement sur le cœur via les récepteurs muscariniques à l'acétylcholine

Neuromédiateur parasympathique : acétylcholine

Effet cardiomodérateur, en modifiant la fréquence cardiaque mais pas le volume d'éjection systolique



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

b. Les deux voies de contrôle du fonctionnement du cœur.

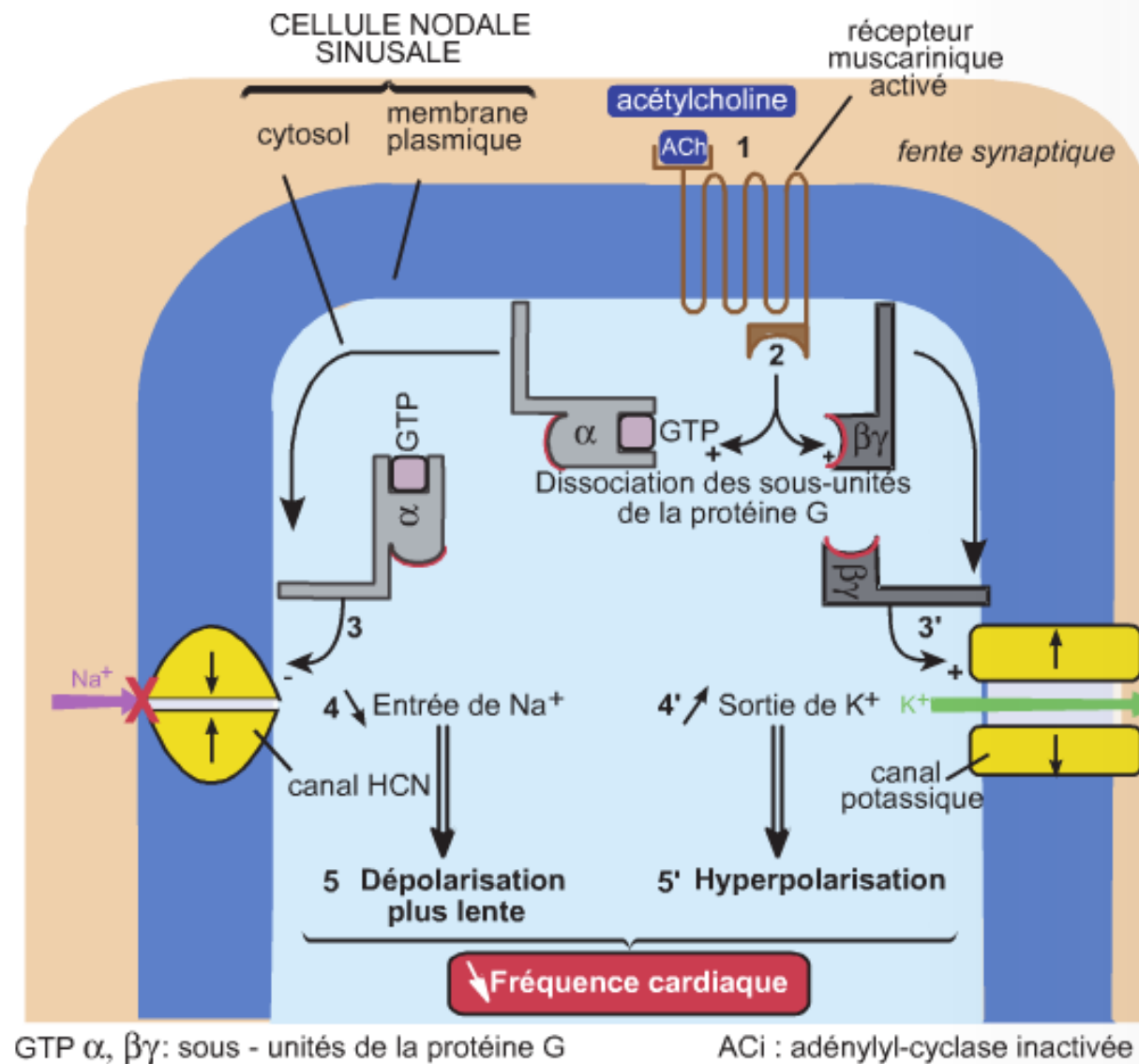


FIGURE 3.12 Effet chronotrope négatif de l'acétylcholine sur une cellule du NSA via les récepteurs muscariniques mAChR.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

c. Notion de centre intégrateur.

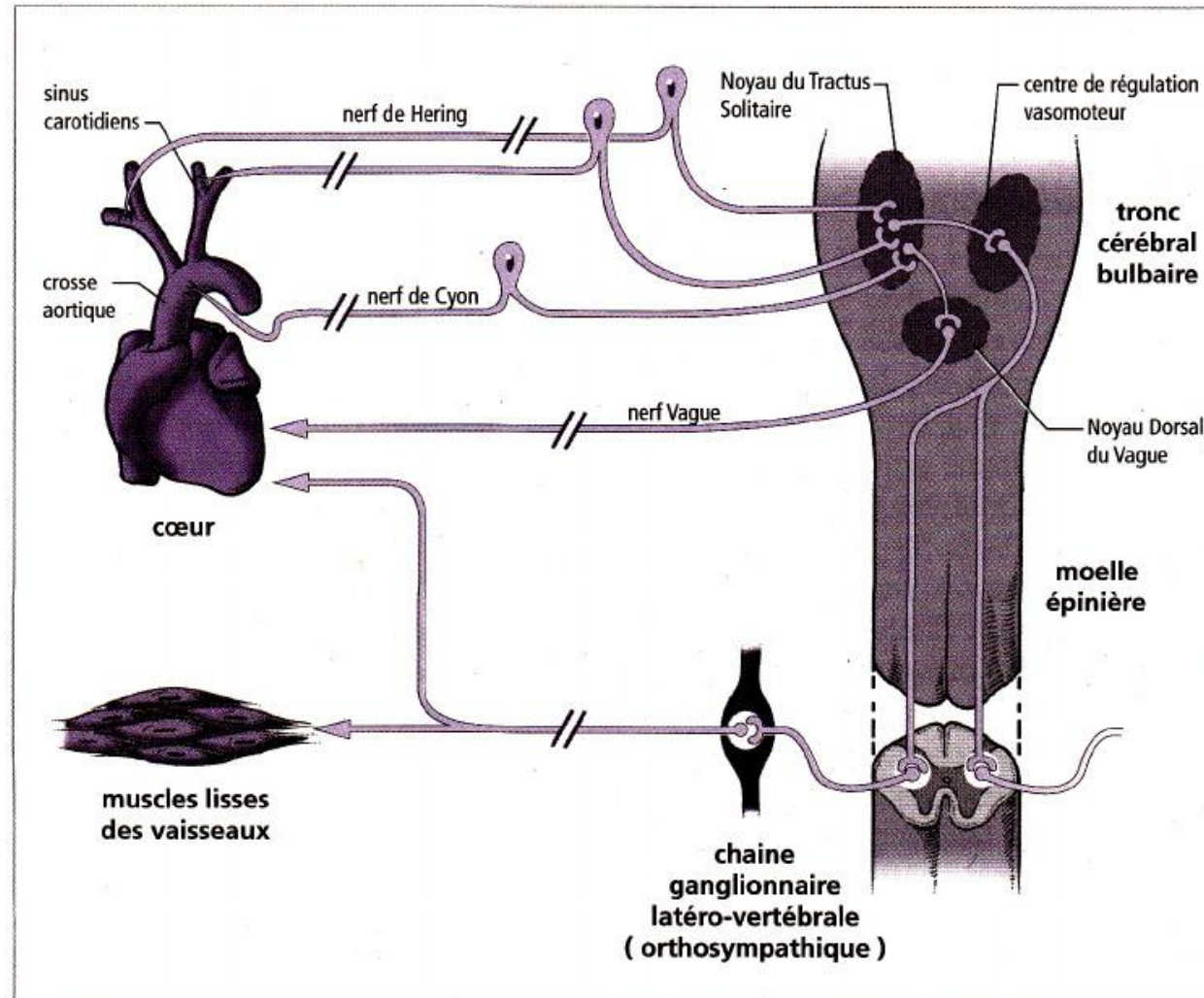


Fig. 7.6. Les voies et centres nerveux constituant le transmetteur du barostat.

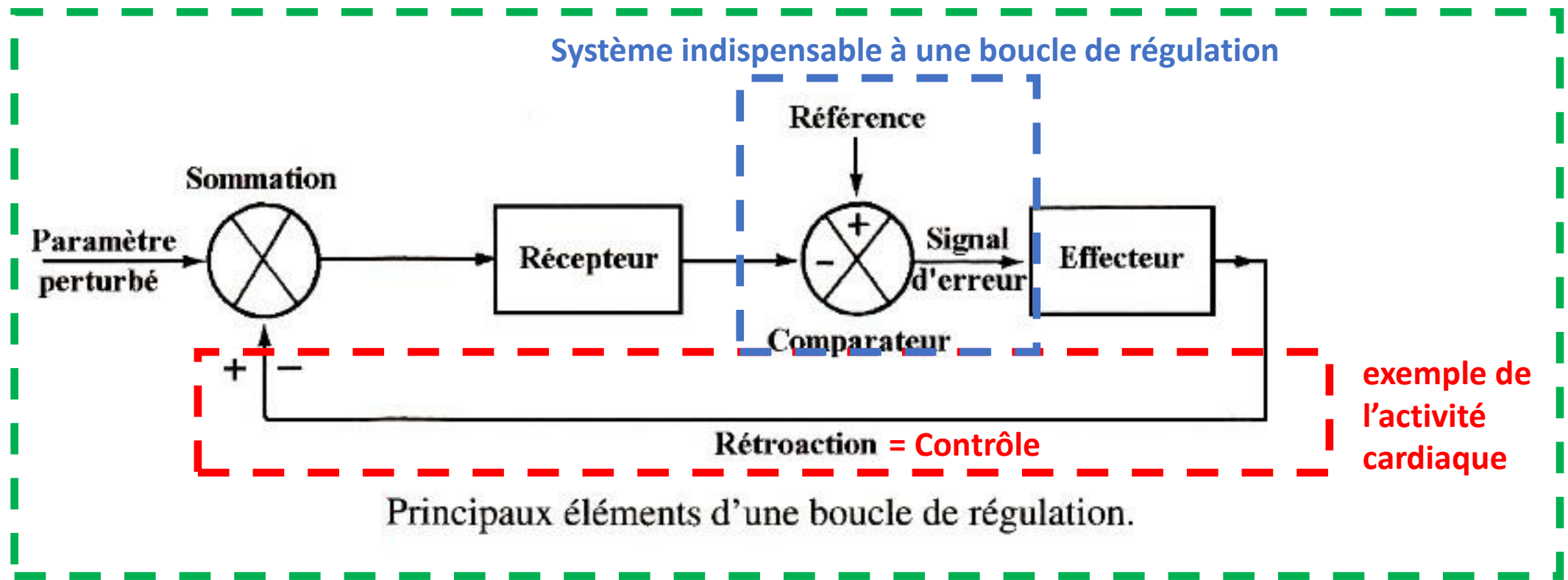
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

d. Bilan : la boucle du baroréflexe.

Boucle de régulation \neq Contrôle

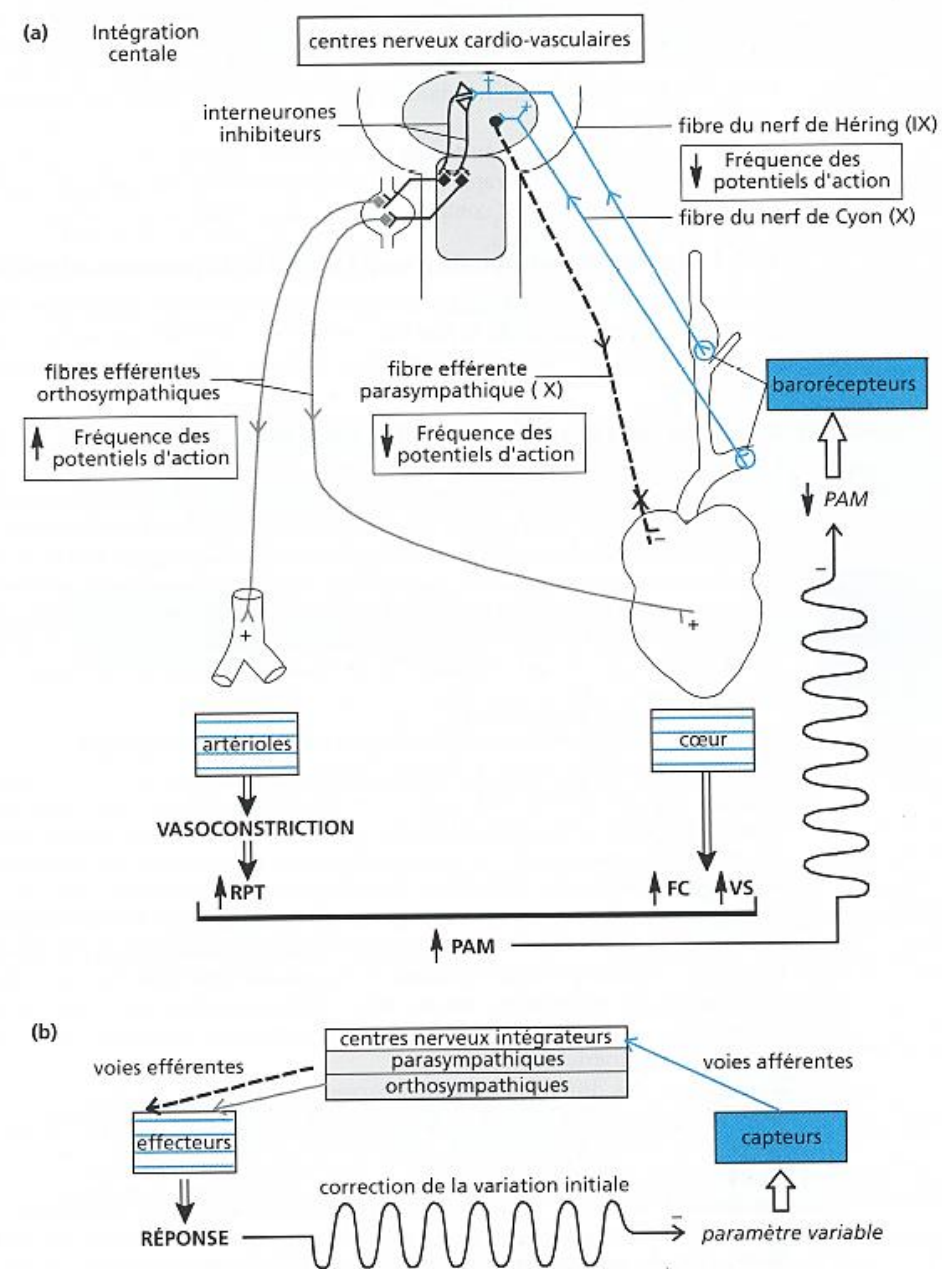
Régulation :
exemple de
la pression
artérielle



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.8. La régulation de la pression artérielle au repos : l'exemple du baroréflexe.

d. Bilan : la boucle du baroréflexe.



L'essentiel à savoir

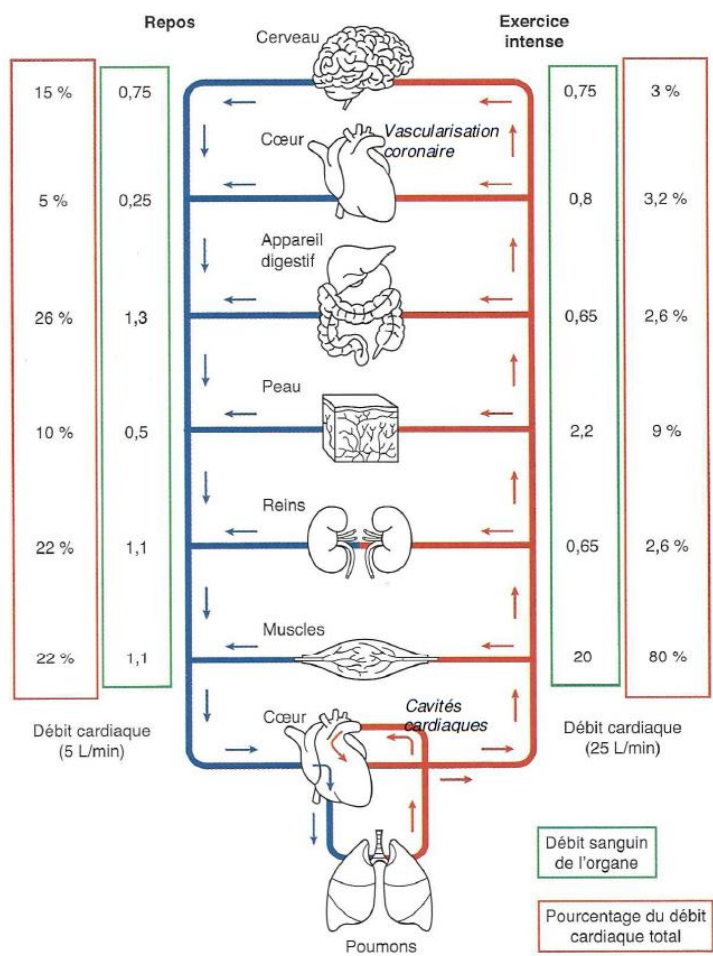


Figure 19.15 Régulation nerveuse de la pression artérielle.

(a) Schéma récapitulatif du baroréflexe en réponse à une hypotension. (b) Les constituants d'une boucle de régulation nerveuse.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

a. Variation physiologiques observées lors de l'exercice



	repos	exercice
réponses vasculaires		+ 175 %
	débit sanguin des muscles squelettiques actifs	+ 175 %
	débit sanguin du myocarde	- 75 %
	débit sanguin des autres organes	- 50 %
réponses cardiaques		+ 140 %
	débit cardiaque	+ 100 %
	fréquence cardiaque	+ 20 %
	volume systolique	
effets sur la pression artérielle		+ 20 %
	pression artérielle moyenne	+ 50 %
	pression artérielle systolique	
	pression artérielle diastolique	

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

Variation de la consommation en dioxygène

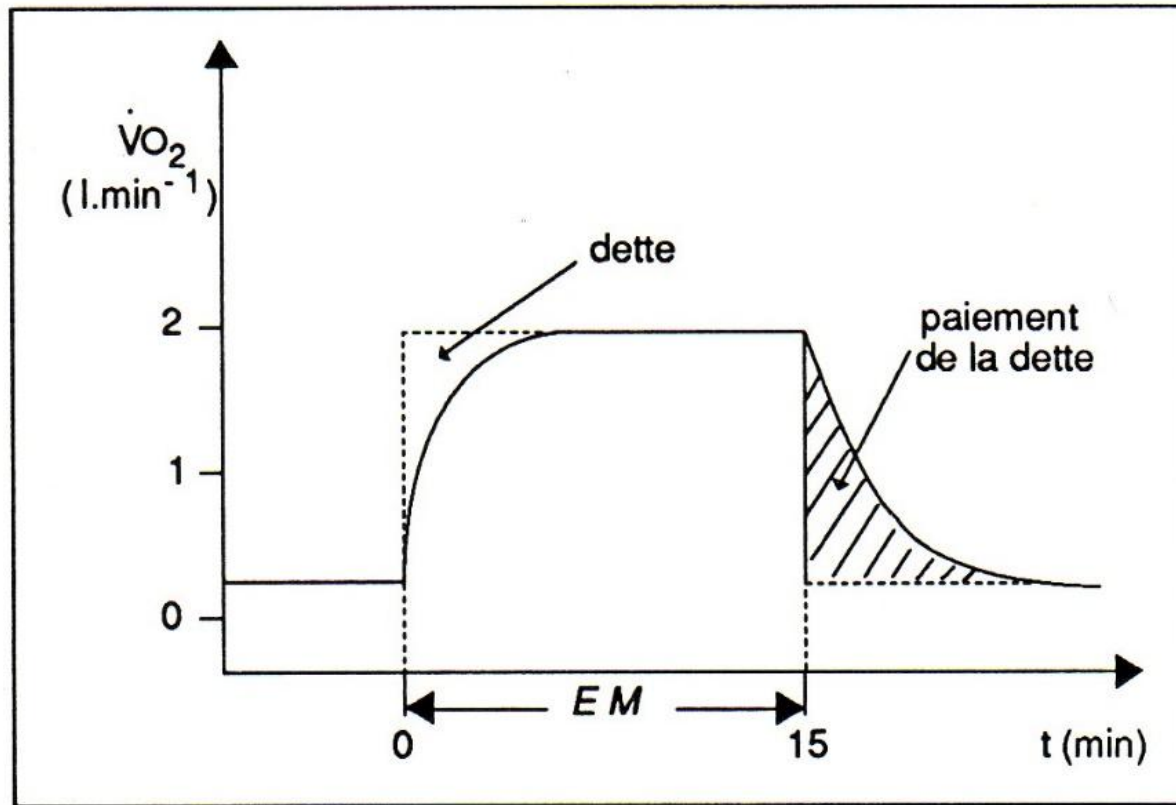


Figure 10.6 Consommation d'oxygène au cours d'un exercice musculaire à puissance constante, pendant 15 min

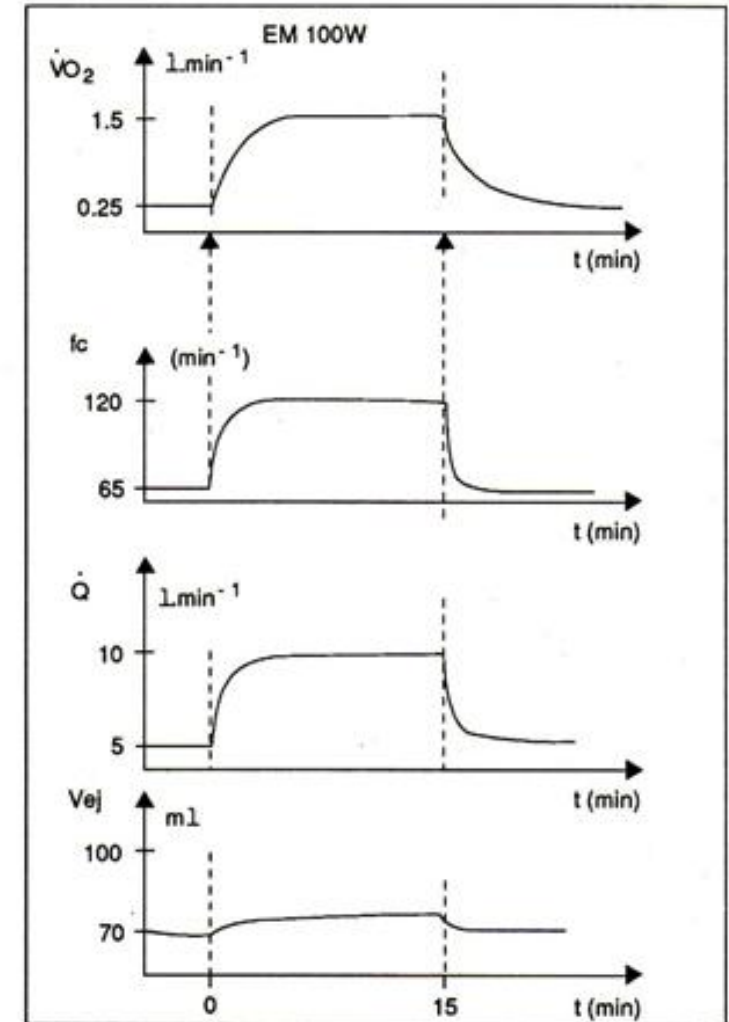


Figure 10.9 Évolution, en fonction du temps, de trois grandeurs hémodynamiques et de la consommation d'oxygène. Les variations transitoires des grandeurs hémodynamiques, au début et à la fin de l'exercice, sont très rapides, comparées à celles de la consommation d'oxygène.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

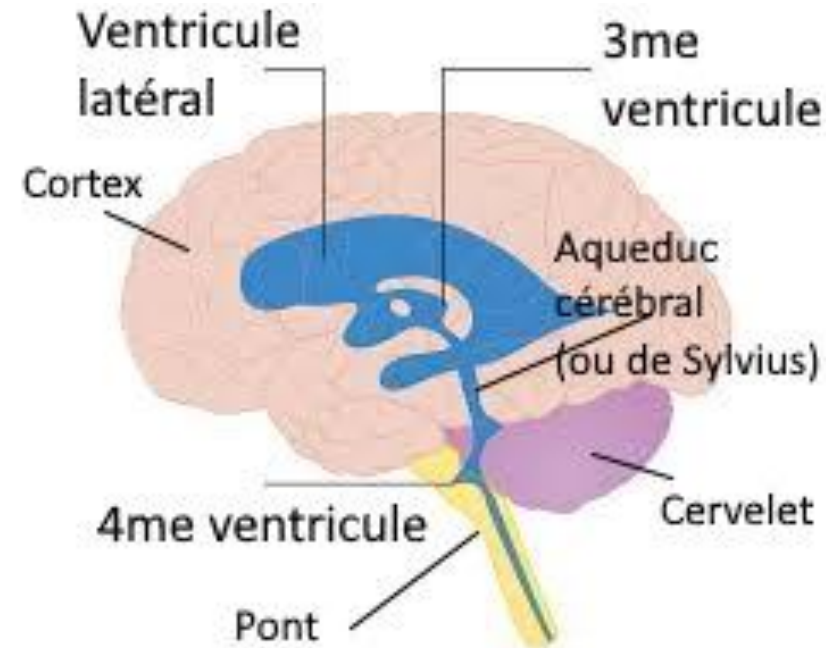
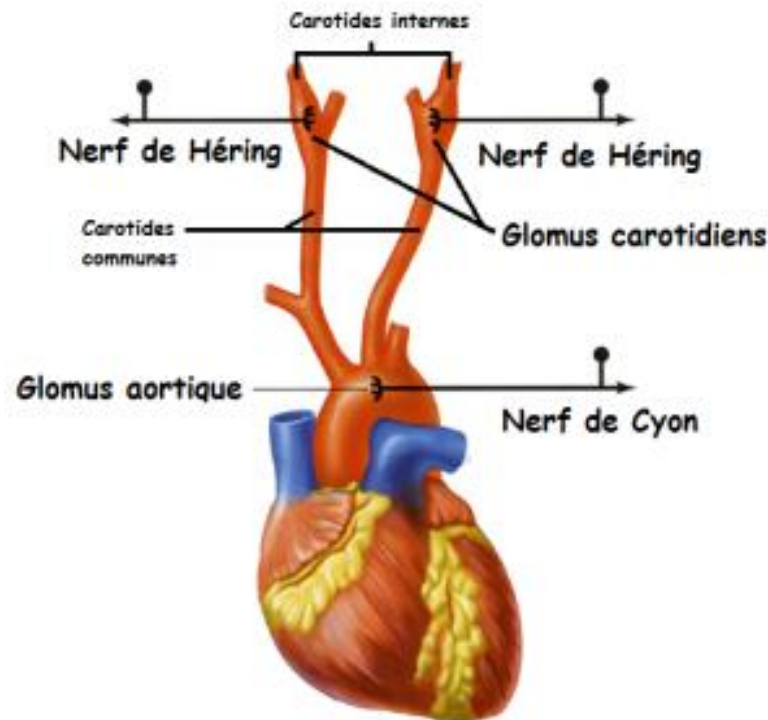
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

a. Intensité de l'exercice et consommation de dioxygène.

Chémorécepteurs = chimiorécepteurs

Récepteurs sensibles à un stimulus chimique

Périphérique (au niveau des sinus carotidien) et **centraux** (au niveau du quatrième ventricule; ventricule du cerveau = partie au contact du liquide céphalorachidien)



Exemple de chémorécepteurs sensibles aux pressions partielles en dioxygène et dioxyde de carbone

Activité des chémorécepteurs
en fonction de la variation O_2

Torr = mm de Hg

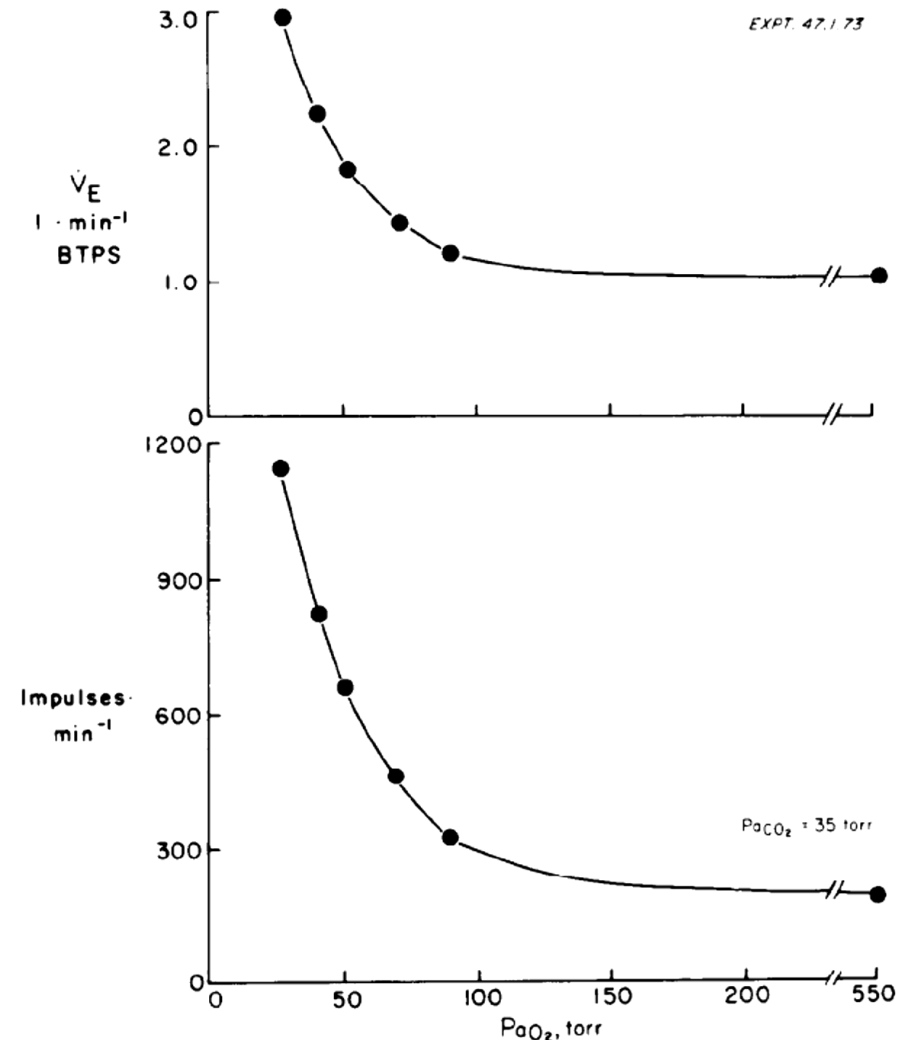
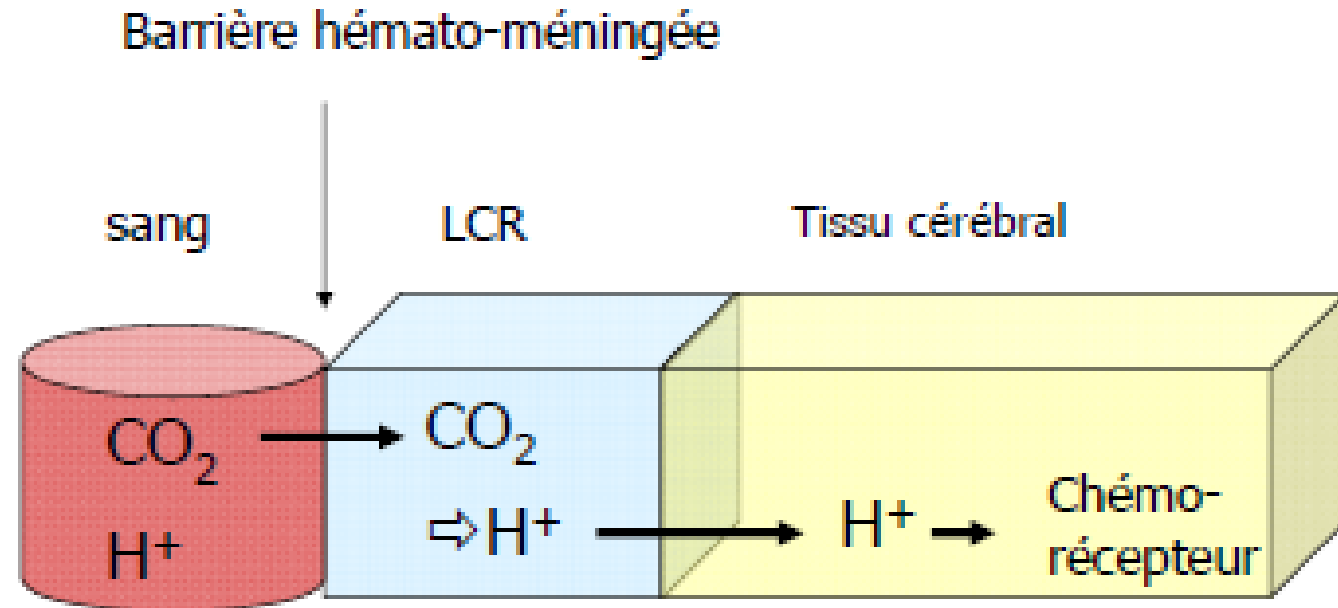


Fig. 3. The relationship between P_{aO_2} and carotid chemoreceptor activity and ventilation at a constant P_{aCO_2} of 35 torr. With the decrease in P_{aO_2} both the mean activity of carotid chemoreceptor and ventilation increased progressively. The resemblance between the two responses is clear.

Activité en réponse à une variation de pH

Sensible au pH

Rappel : relation CO_2 / pH



D'autres types de récepteurs sont présent dans le muscle : les mécanorécepteurs ou métaborécepteurs musculaires,
Mécanorécepteurs musculaires : le réflexe myotatique

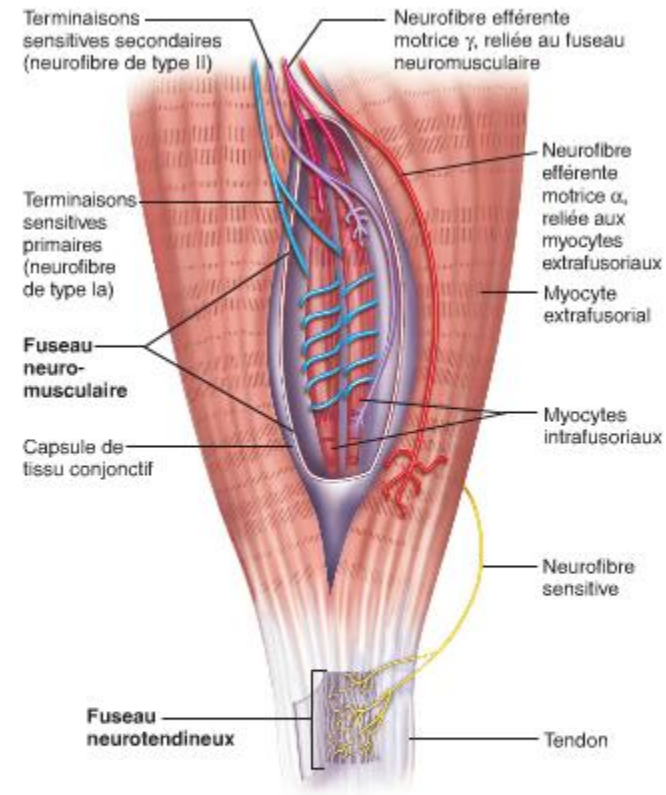
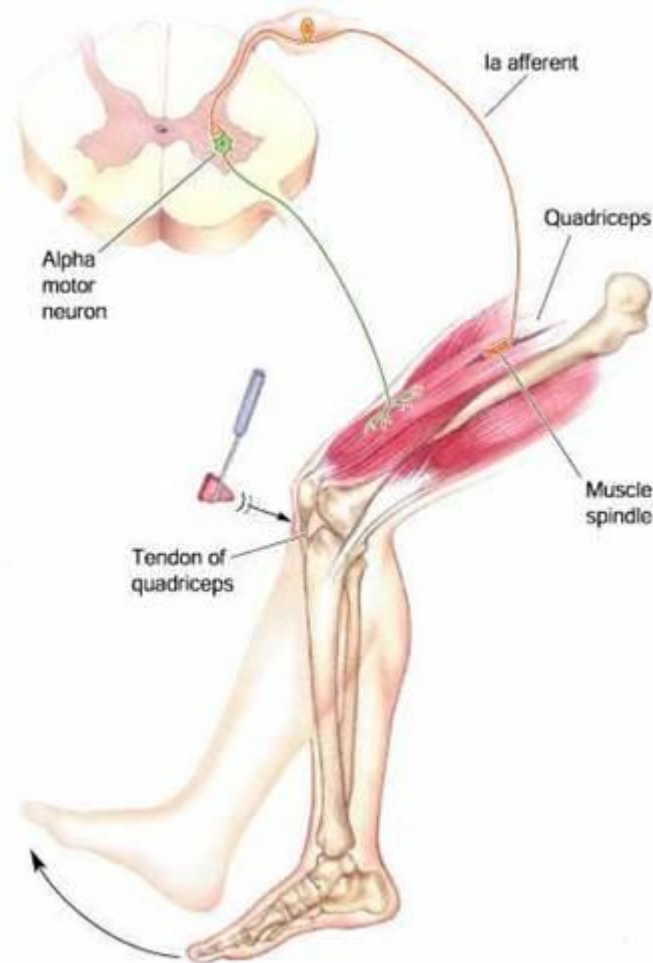


Figure 13.15 Anatomie du fuseau neuromusculaire et du fuseau neurotendineux. Notez les neurofibres afférentes provenant du fuseau neuromusculaire et les neurofibres efférentes qui s'y rendent. (La myéline des neurofibres n'est pas représentée pour plus de clarté.)

Réflexe ventilatoire sous le contrôle de récepteurs musculaires et centraux

Musculaires : mécano/métaborécepteurs musculaires

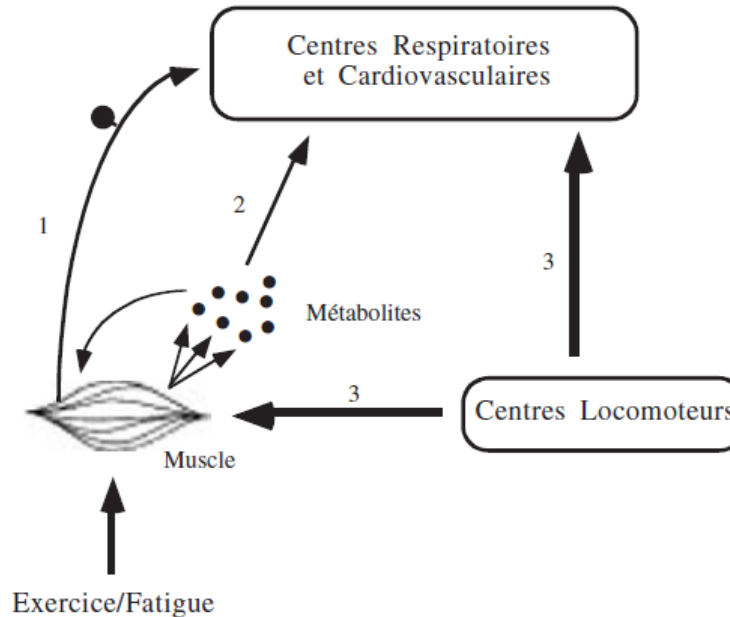


Fig. 2. – Théories expliquant l'ajustement des fonctions respiratoire et cardio-vasculaire pendant l'exercice : (1) activation des afférences nerveuses dans les muscles actifs, (2) activation humorale directe ou indirecte des centres respiratoires et cardio-vasculaires par des métabolites libérés par les muscles actifs, (3) action directe des centres locomoteurs sur les neurones médullaires des centres respiratoires et cardio-vasculaires.

2 types de récepteurs dans le muscle

Mécanorécepteurs

musculaires (fibres I et II)

Métaborécepteurs

(fibre III et IV) :

Responsables du couplage
avec la circulation
et la respiration

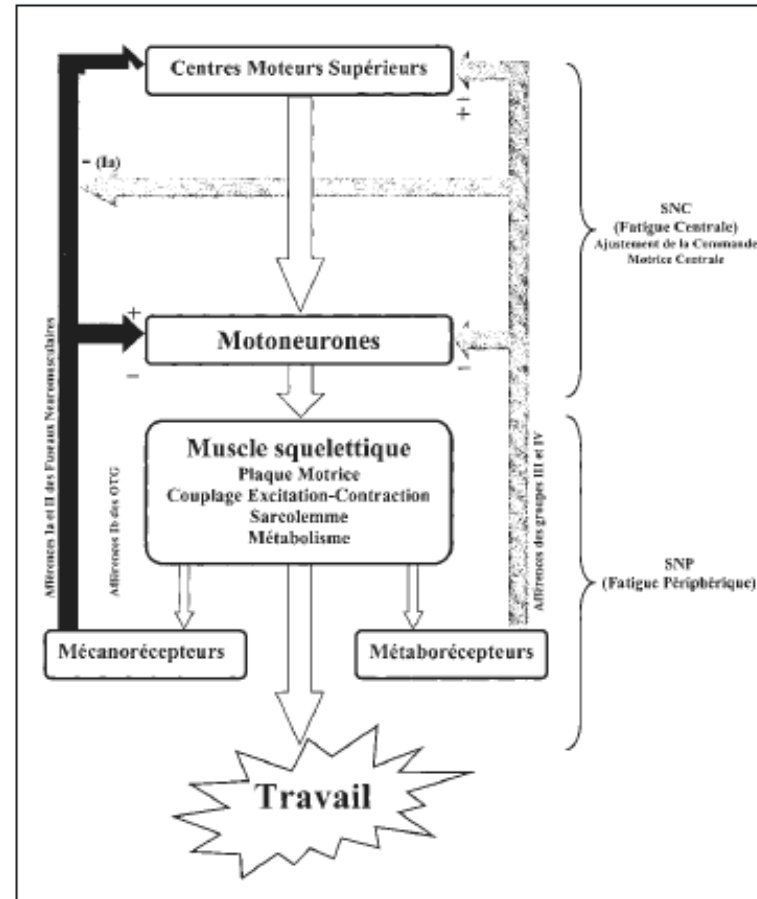


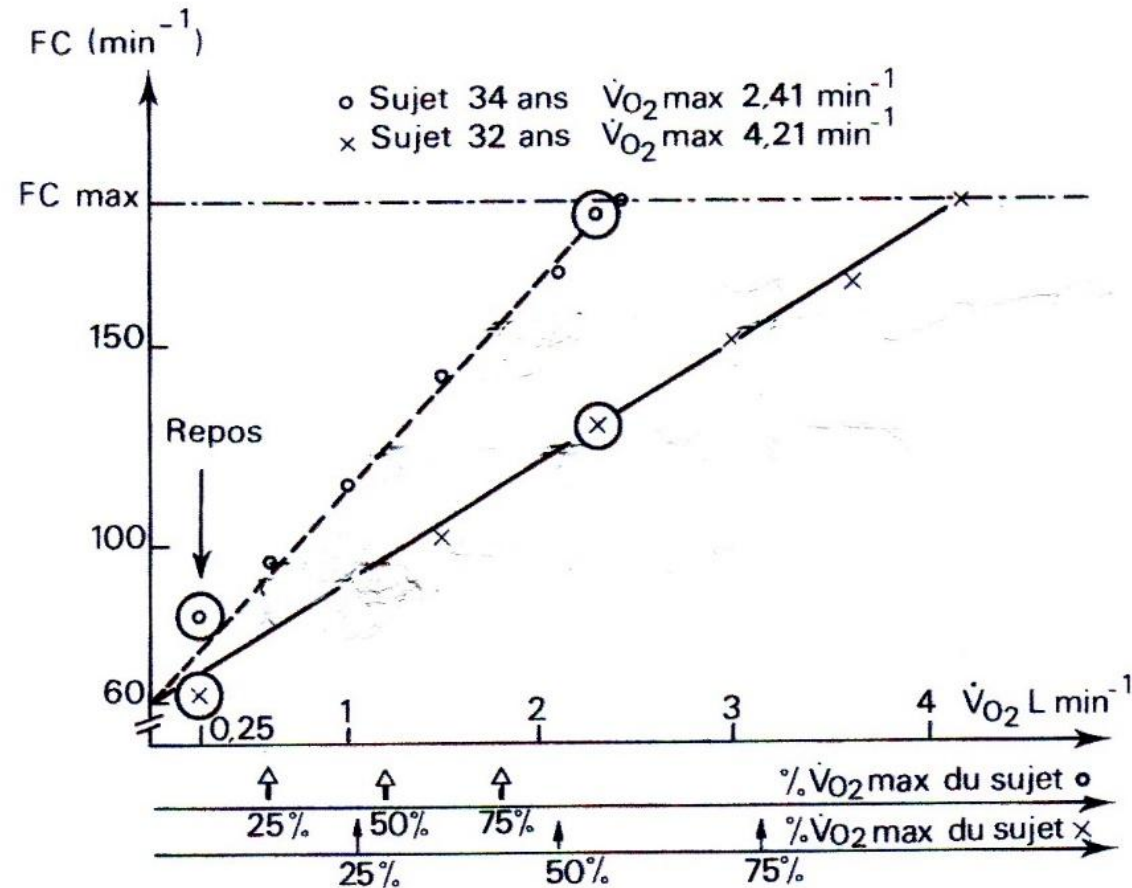
Figure 1: Genèse de l'ordre moteur et rôle des afférences musculaires. Le schéma montre l'initiation du travail musculaire et sa modulation par les différents types d'afférences musculaires.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

b. Adaptation du travail du cœur lors de l'effort.

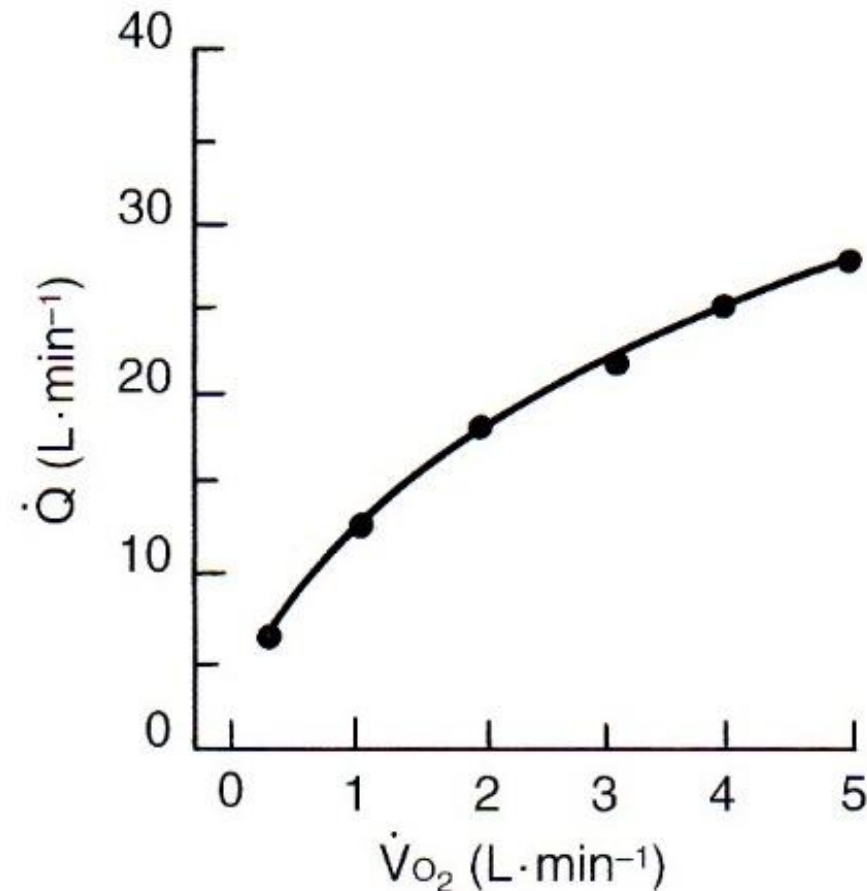
Adaptation du travail du cœur.



- 1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.**
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.
b. Adaptation du travail du cœur lors de l'effort.

Intérêt : relation avec le débit

Bilan : augmentation du débit par augmentation de la FC = plus d'apport de sang et donc de nutriments



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

b. Adaptation du travail du cœur lors de l'effort.

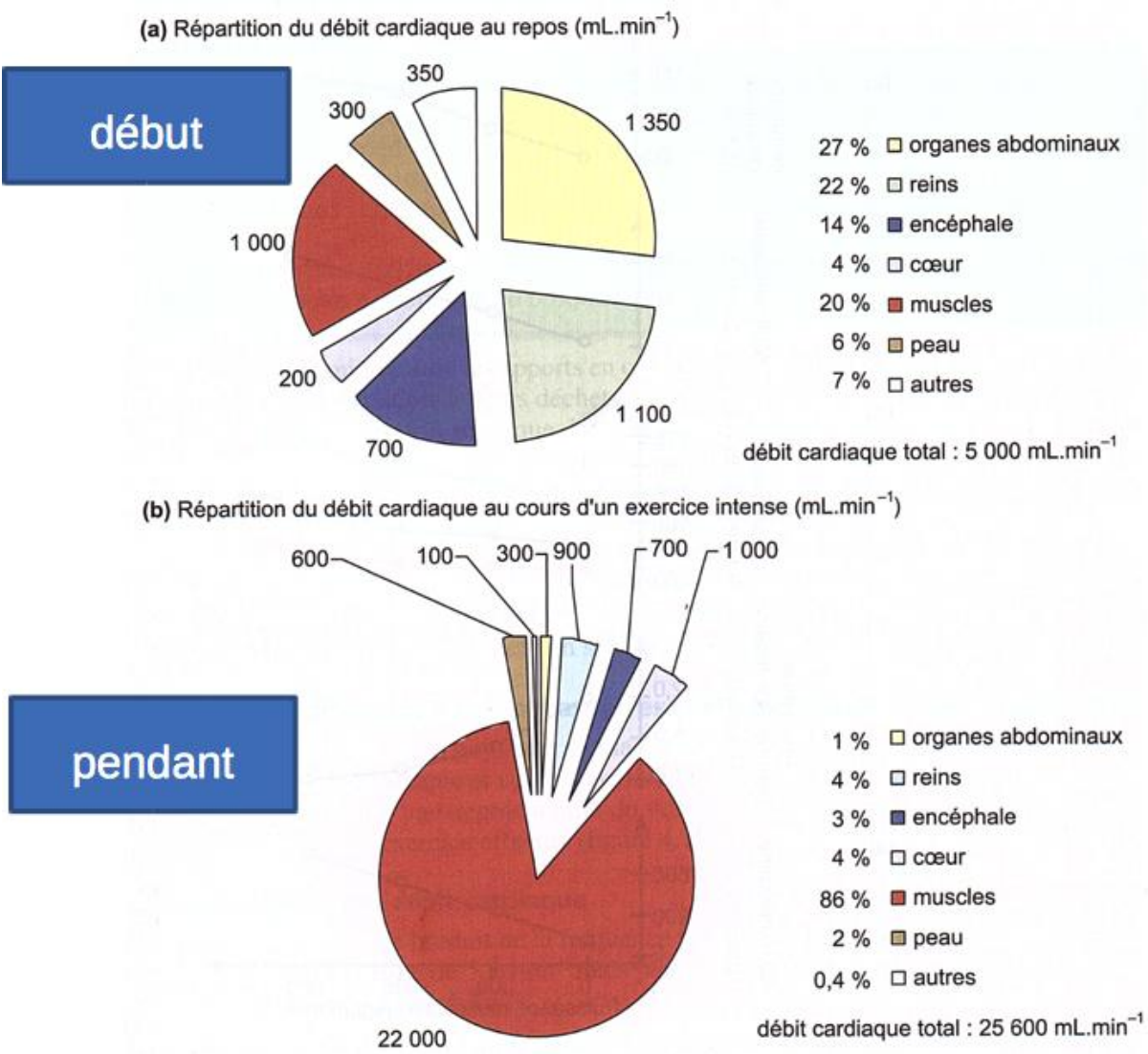
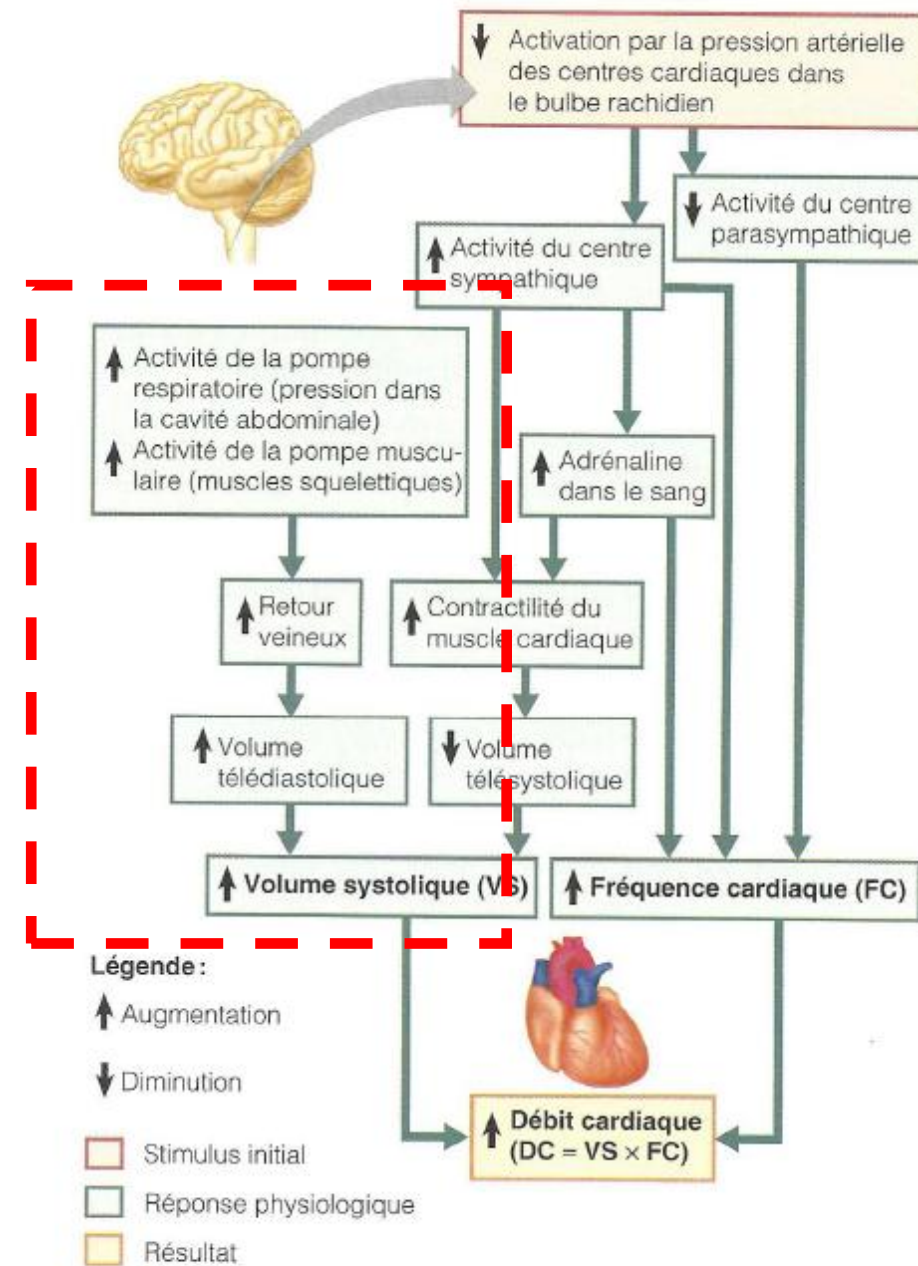


FIGURE 4.8 Distribution du débit cardiaque total chez un sujet au repos et lors d'un exercice intense.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

b. Adaptation du travail du cœur lors de l'effort.



Principaux facteurs augmentant le débit cardiaque. (Les influx efférents des centres cardiaques sont transmis par les neurofibres autonomes.)

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

b. Adaptation du travail du cœur lors de l'effort.

Fréquence cardiaque en fonction de la puissance en % du $\dot{V}O_2$ max

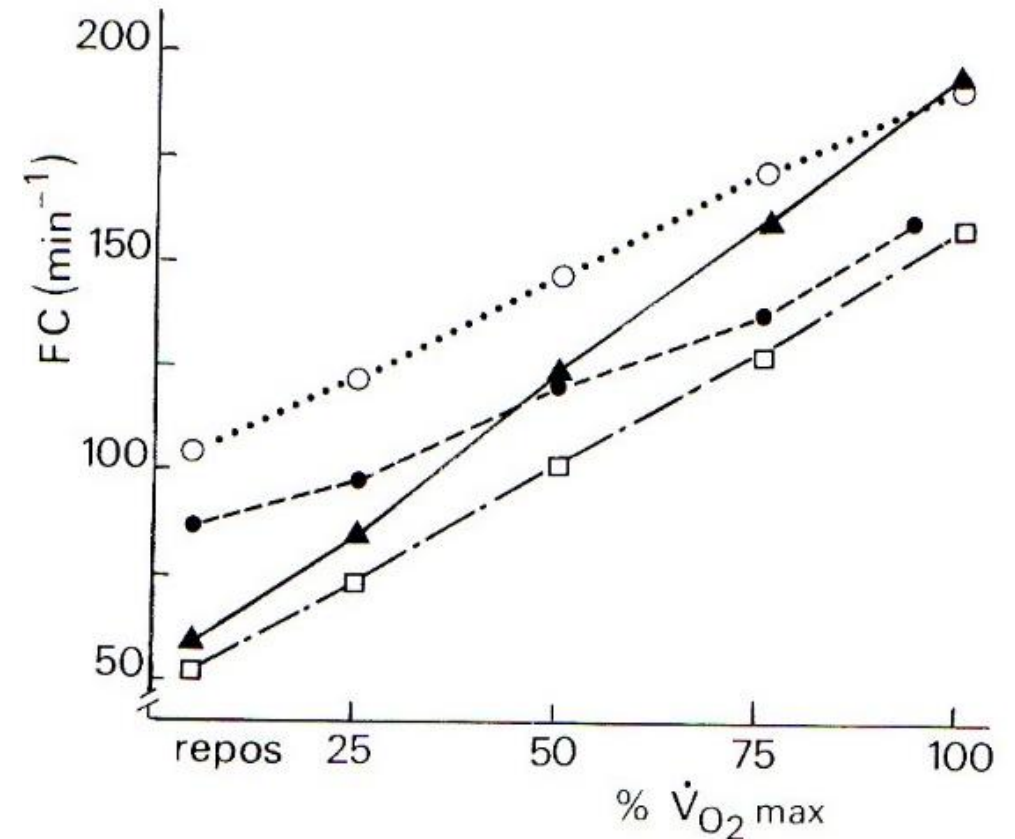
Etude de la fréquence cardiaque d'un individu en fonction de la puissance de l'exercice (exprimé en % du $\dot{V}O_2$ max).

▲ : conditions normales.

○ : après addition d'atropine [blocage des récepteurs cholinergiques].

□ : après addition de propranolol [blocage des récepteurs adrénergiques].

● : après blocage de tous les récepteurs.

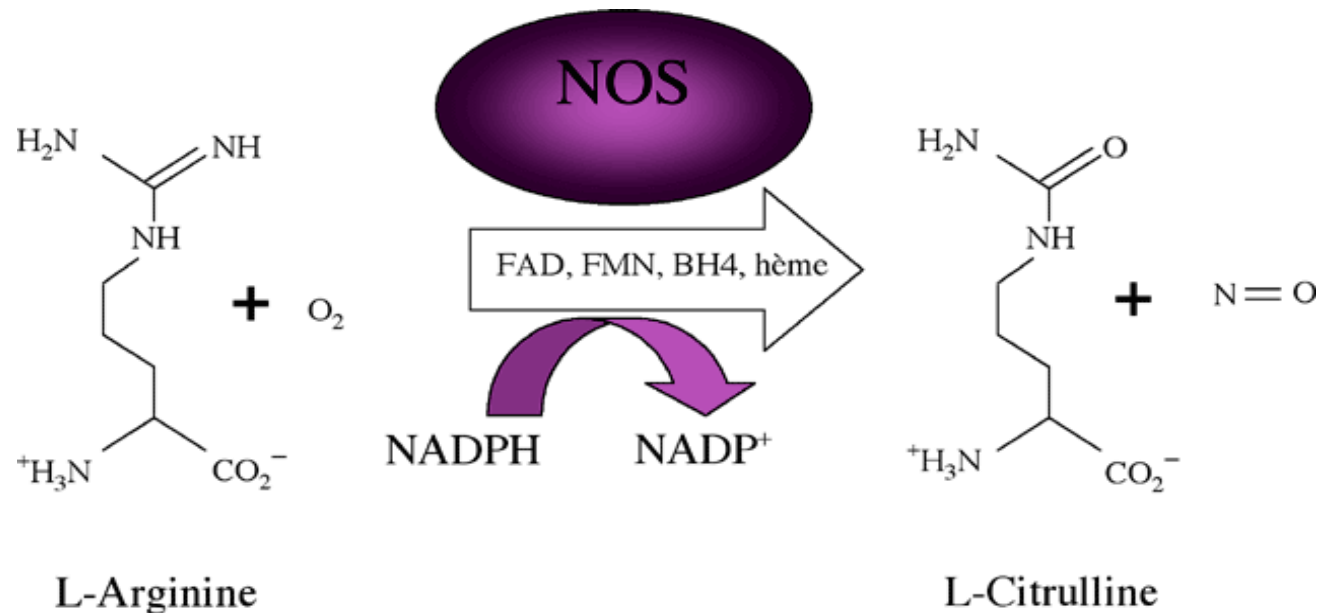


c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

Réponse locale : une réponse “égoïste”.

Importance du monoxyde d'azote (NO)

Hyperémie active.



1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

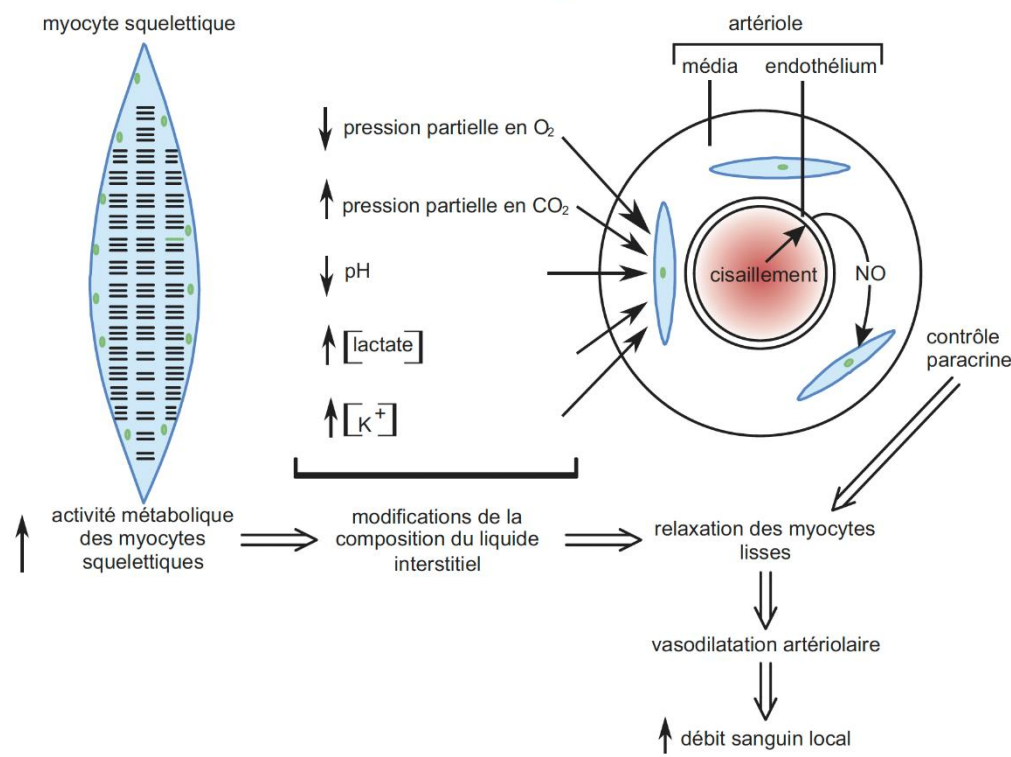


Figure 10.19 Contrôle local de la vasomotricité lors de l'hyperémie active dans un muscle.

Variations dues à des facteurs locaux

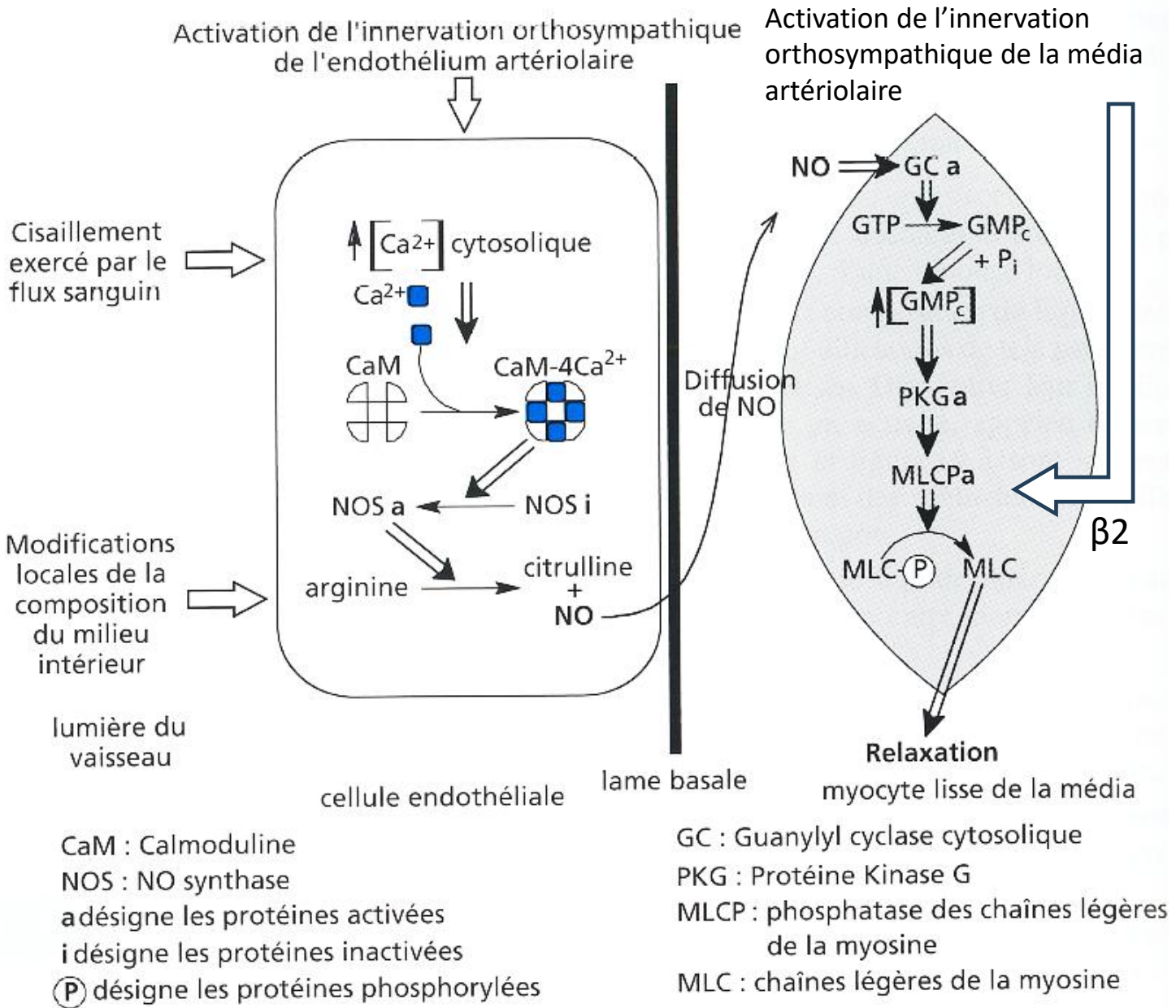


Figure 19.6 Contrôle de la contraction des myocytes lisses artériolaires par l'oxyde nitrique émis par les cellules endothéliales.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

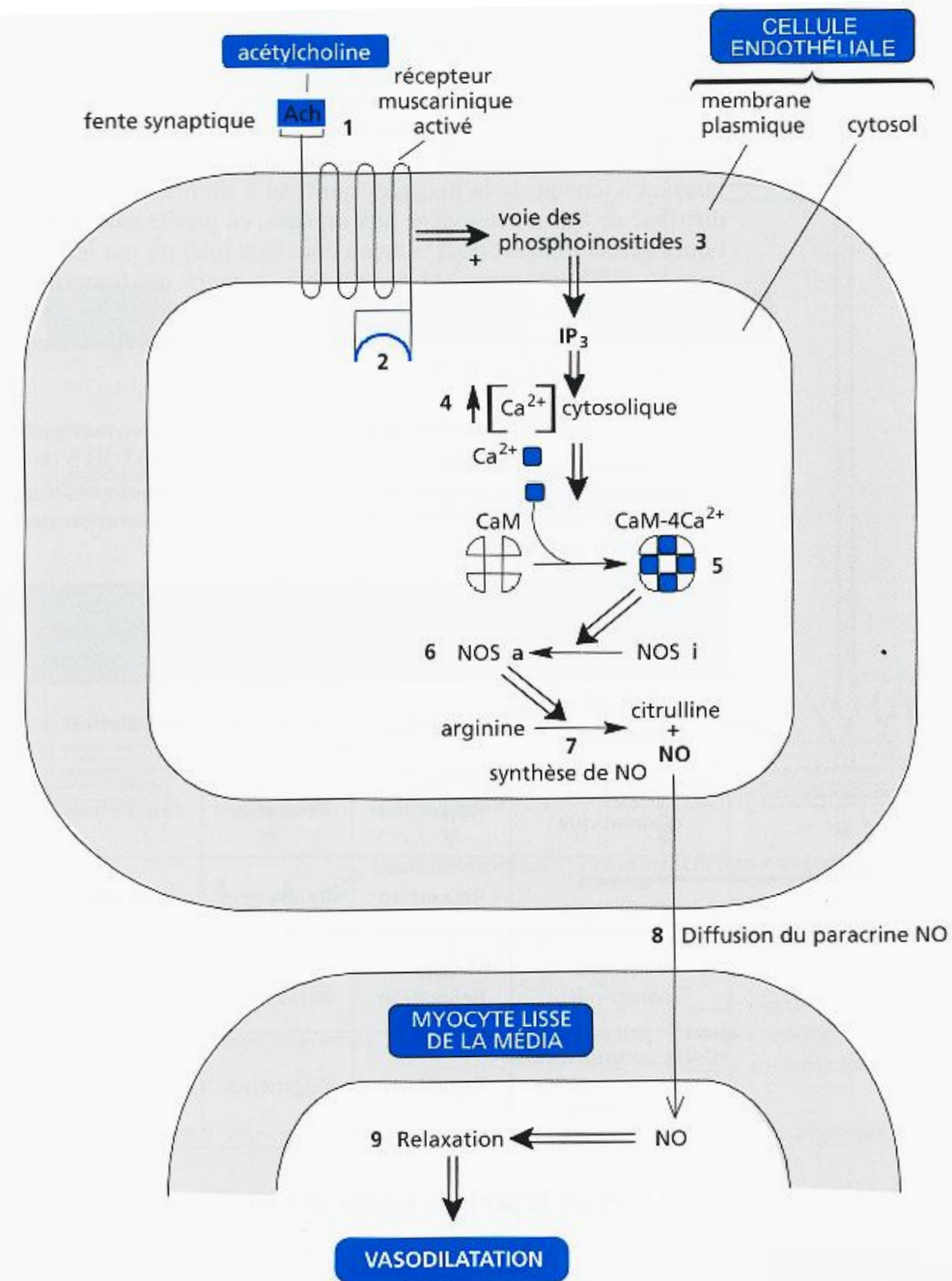


Figure 19.7 Effet vasodilatateur de l'acétylcholine agissant sur les cellules endothéliales.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

Hyperémie active : augmentation de débit dans le muscle qui travaille

Double origine :

Réponse locale (NO) +

Stimulation orthosympathique des muscles lisses artériolaires via les récepteurs β_2 provoquant une vasodilatation,

Stimulation orthosympathique de l'endothélium via Ach qui induit la production de NO,

Bilan : plus de sang dans le muscle, important car plus de consommation de dioxygène

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.
c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

Problème au niveau de l'organisme

Niveau global : comparaison avec un circuit en parallèle.

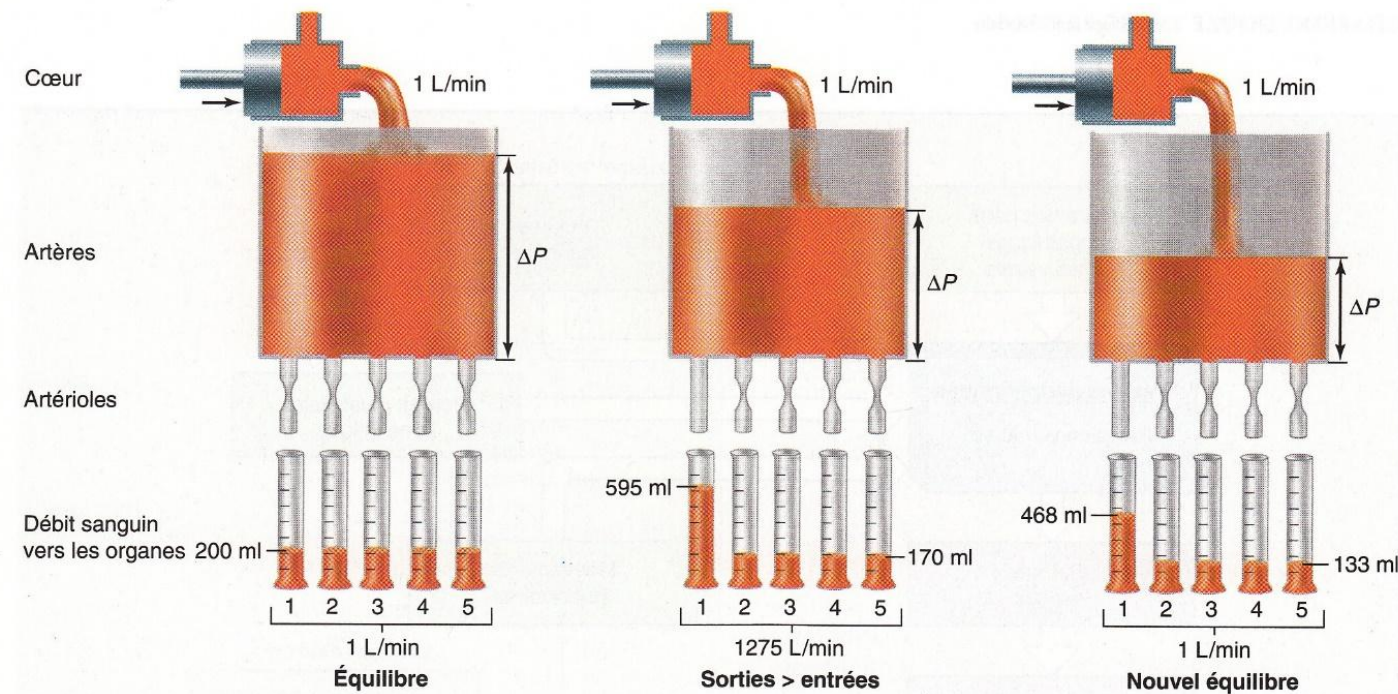


FIGURE 12-49

Dépendance de la pression artérielle vis-à-vis des résistances artériolaires totales. La dilatation d'un lit artériolaire modifie la pression artérielle et le débit sanguin vers l'organe concerné s'il n'y a pas d'intervention d'un mécanisme compensateur. Le schéma du milieu représente un état transitoire avant d'atteindre un nouvel équilibre.

Variation de débit

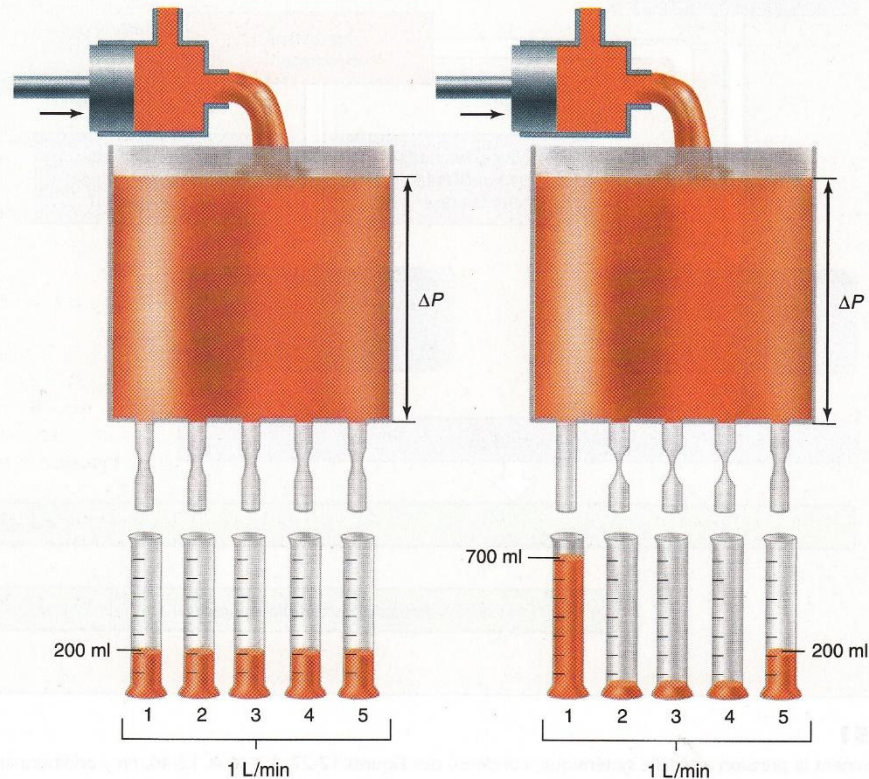


FIGURE 12-50

Compensation de la dilatation d'un lit par une constriction d'autres lits. Quand le conduit de sortie 1 est ouvert, les conduits de sortie 2 à 4 sont simultanément resserrés de telle sorte que la résistance totale au débit, l'écoulement total de sortie et la pression du réservoir restent tous constants.

Exemple : en cas d'exercice, dilatation des vaisseaux musculaires et vasoconstriction dans les organes moins demandeurs, intestin, rein ...(via les récepteurs α_1).

Intérêt / flux sanguin

Alimentation prioritaire muscles et cerveau

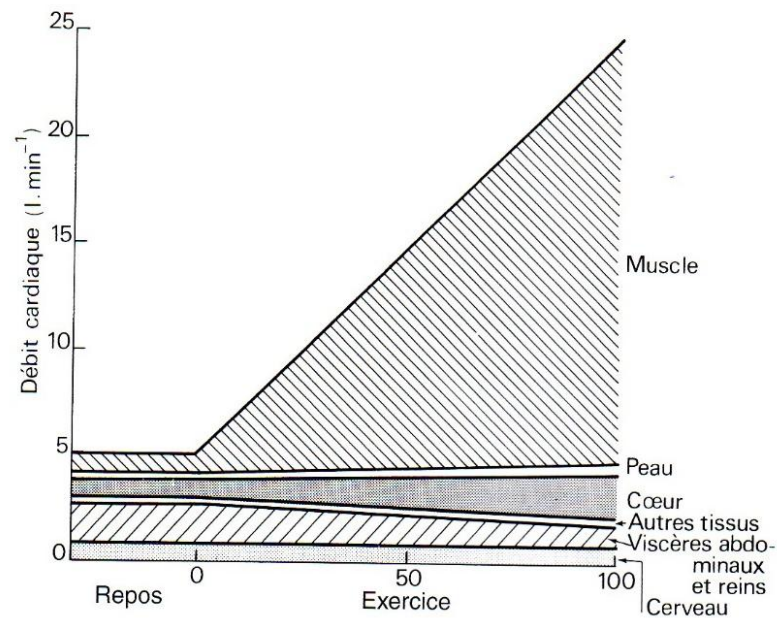
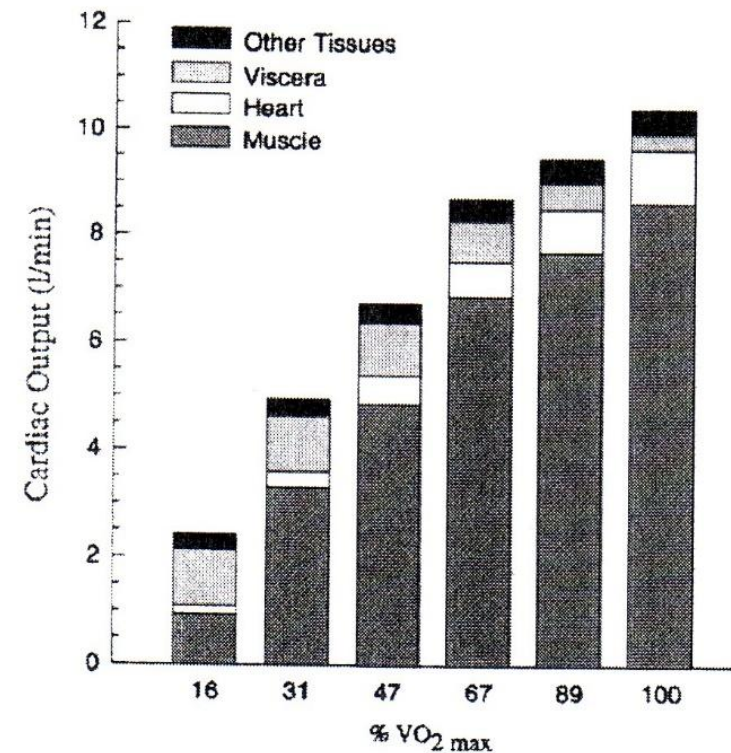


Fig. 27. Répartition du débit cardiaque dans les territoires périphériques. La part prise par le territoire vasculaire des muscles squelettiques augmente avec l'intensité de l'exercice et fait plus qu'absorber la totalité de l'augmentation du débit cardiaque (d'après Flandrois et Lacour, 1976).



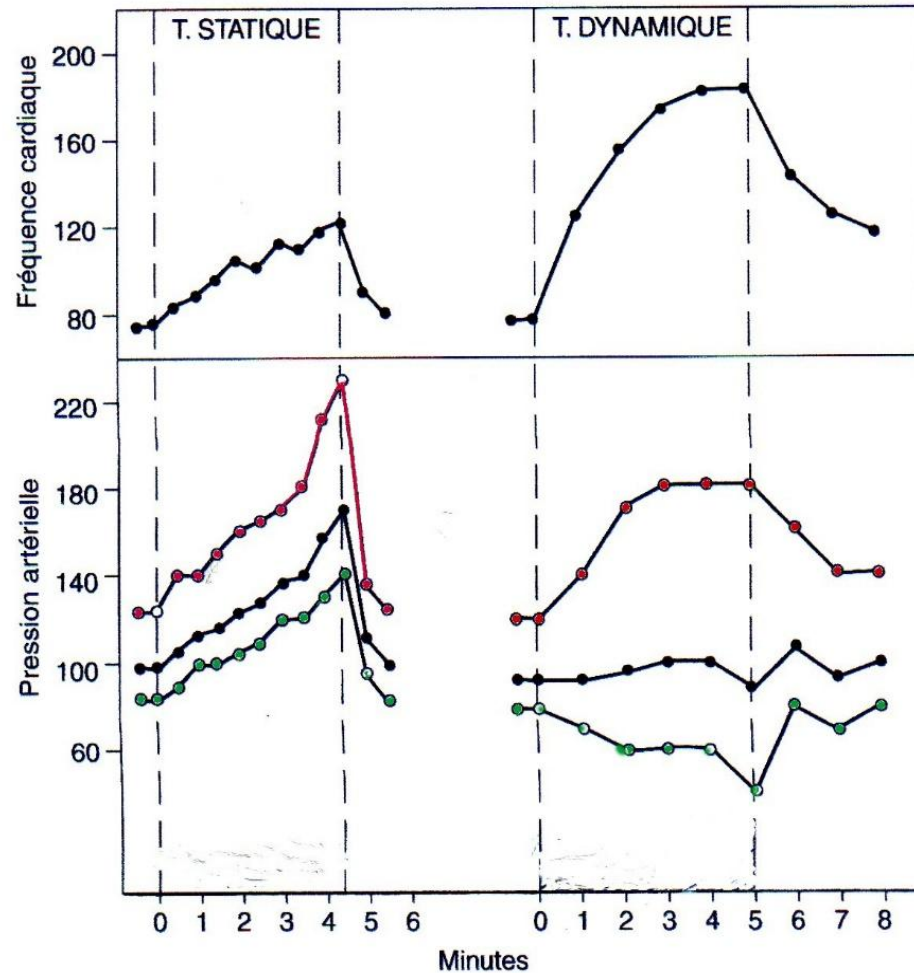
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

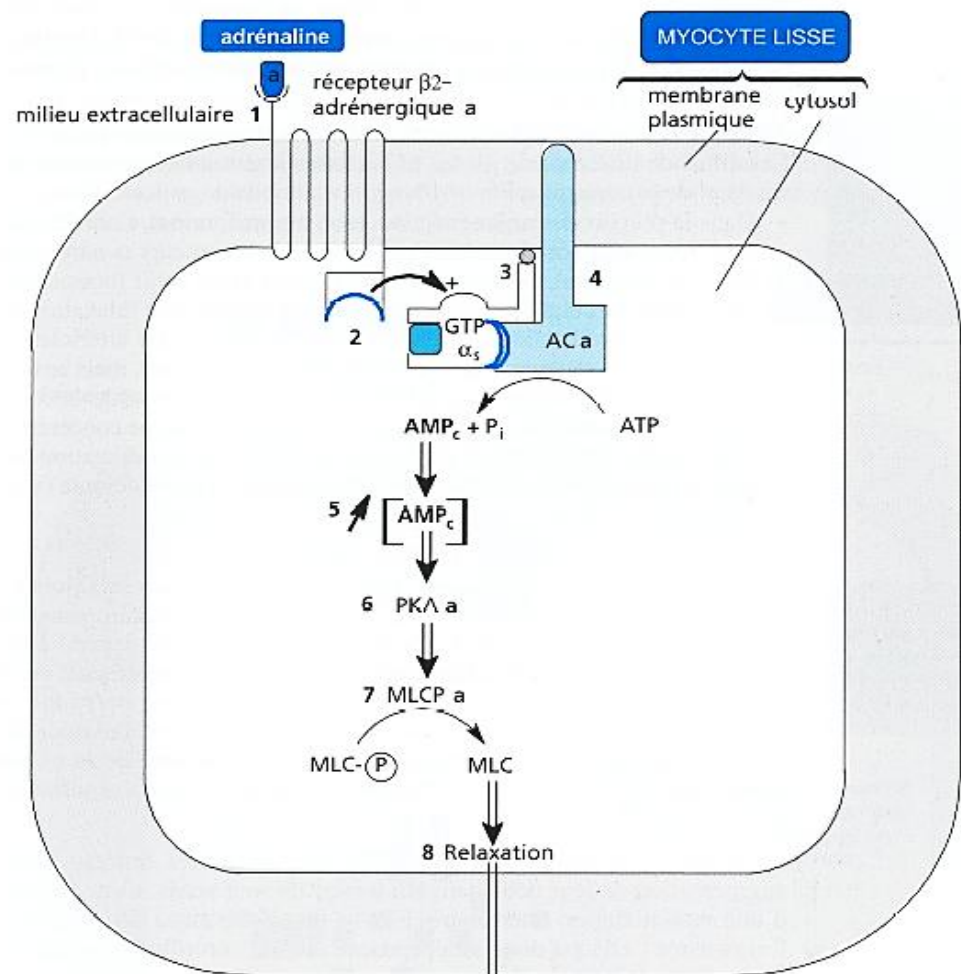
Régulation nerveuse de la vasomotricité exclusivement par le système orthosympathique.

Action de
l'orthosympathique sur les
vaisseaux



Artéριοles du muscle et du cœur

Artéριοles des autres organes

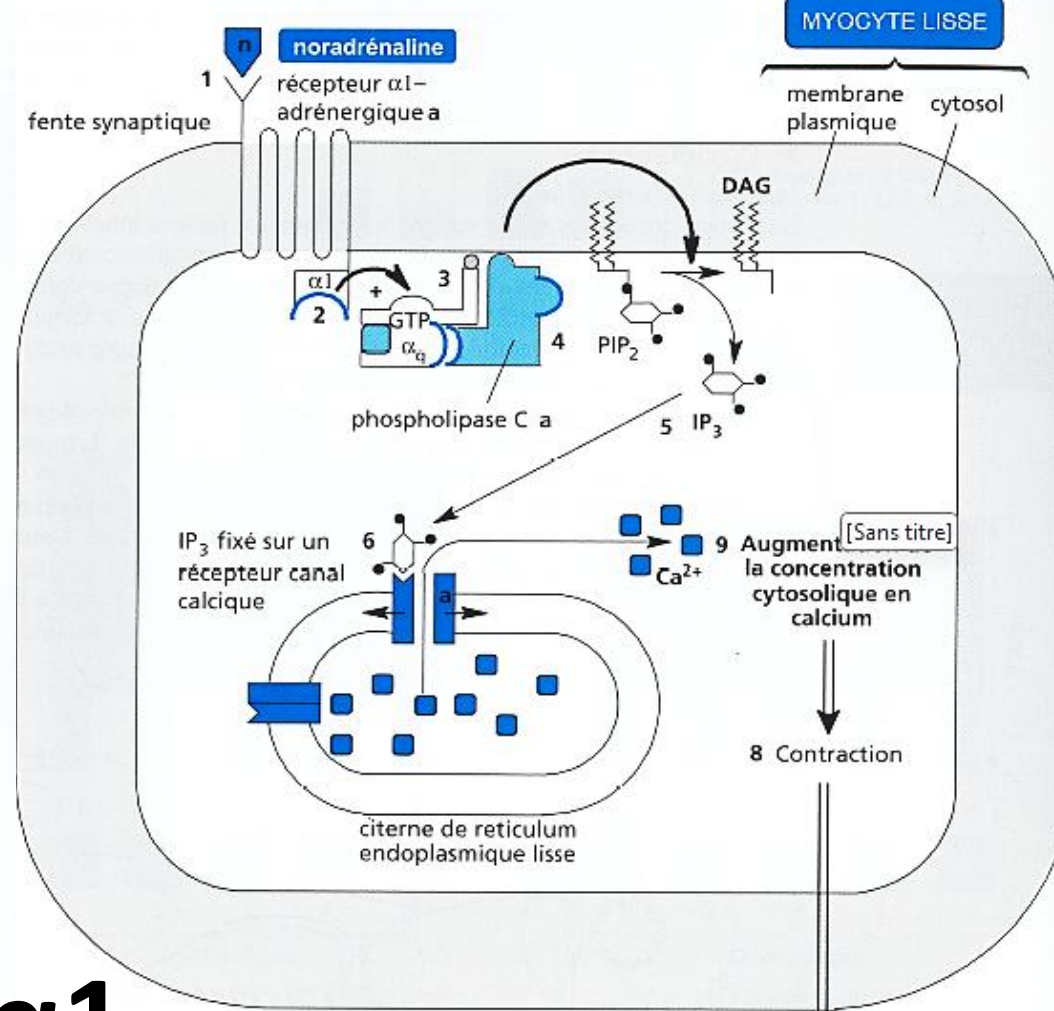


Via la médullosurrénale

VASODILATION

GTP α_s : sous - unité α de la protéine G_s AC : adénylyl cyclase
 a désigne les protéines activées PKA : protéine kinase A
 (P) désigne les protéines phosphorylées MLCP : phosphatase des chaînes légères de la myosine
 MLC : chaînes légères de la myosine

Figure 18.12 Mécanisme d'action de l'adrénaline sur les myocytes lisses des artéριοles des muscles squelettiques et du cœur.



β_2 α_1 Via le nerf orthosympathique

VASOCONSTRICTION

GTP α_q : sous - unité α de la protéine G_q PIP₂ : phosphatidyl inositol bisphosphate
 a désigne les protéines activées IP₃ : inositol trisphosphate
 DAG : diacylglycérol

Figure 18.11 Mécanisme d'action de la noradrénaline sur les myocytes lisses de la média artériolaire.

Vasodilatation des artéριοles du cœur et des muscles striés squelettiques.

Vasodilatation des muscles lisses des vaisseaux par l'adrénaline libérée par la médullosurrénale

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.
c. Adaptation de la réponse des vaisseaux lors de l'effort.

Muscles : diminution de la résistance vasculaire

Rappel : récepteurs β

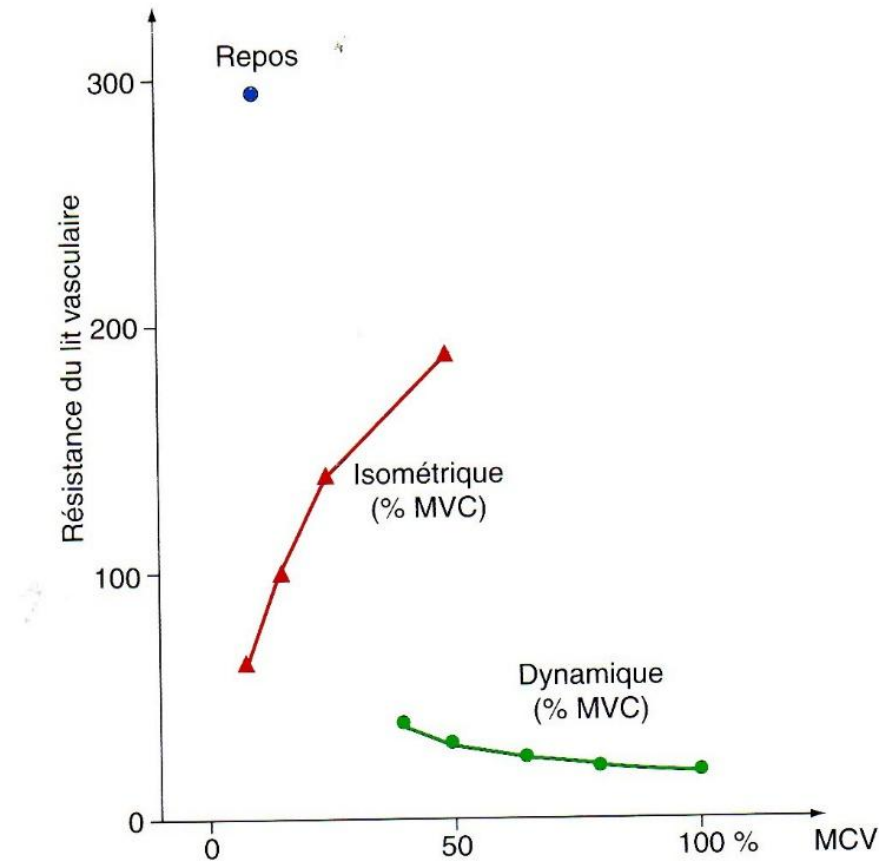
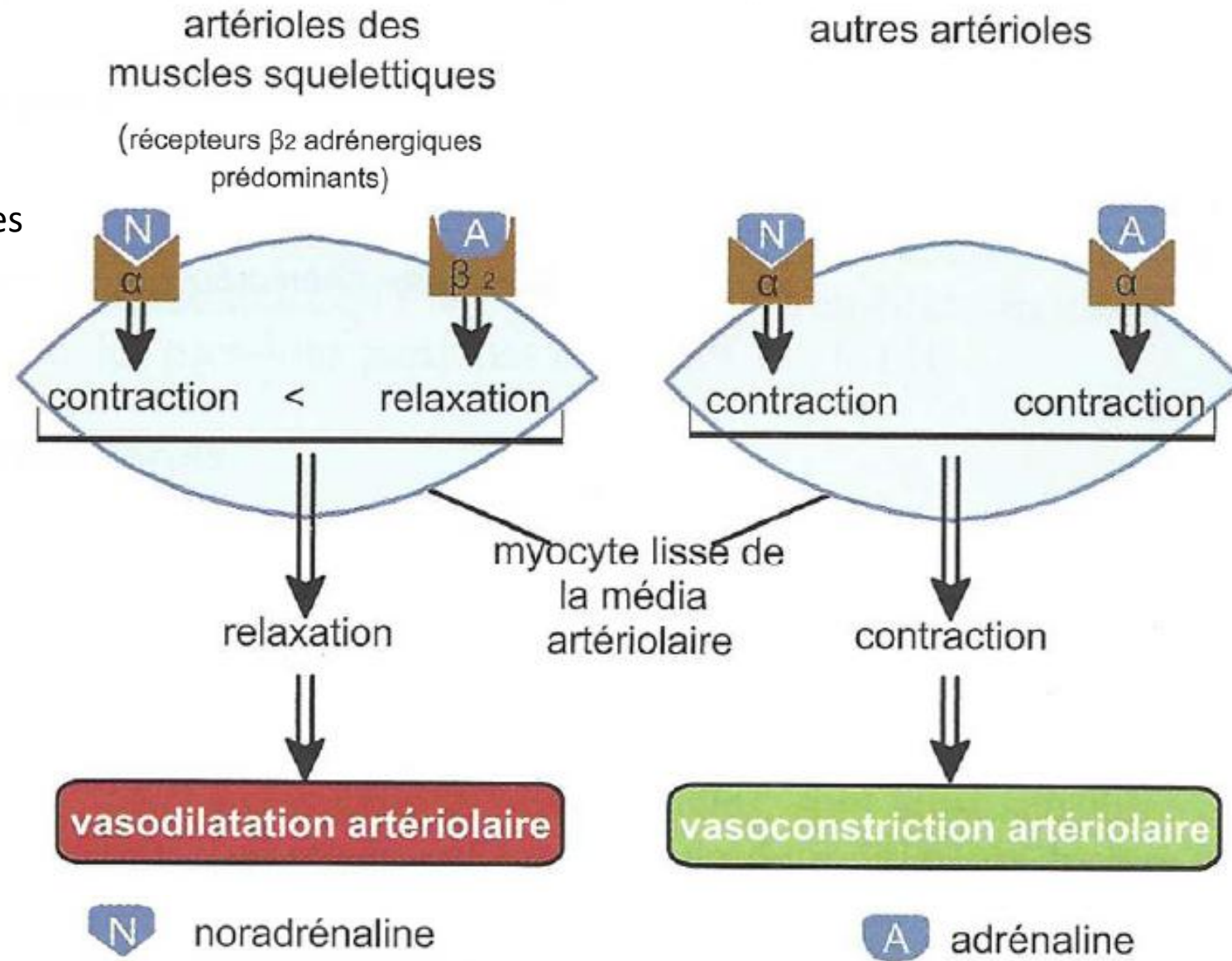


Fig. 26. Résistances vasculaires locales calculées pour des exercices statiques et dynamiques de diverses intensités relatives (d'après Sjogaard, 1987, in *Muscular function in exercise and training*, Karger, Bâle, 1 vol., 98-109).

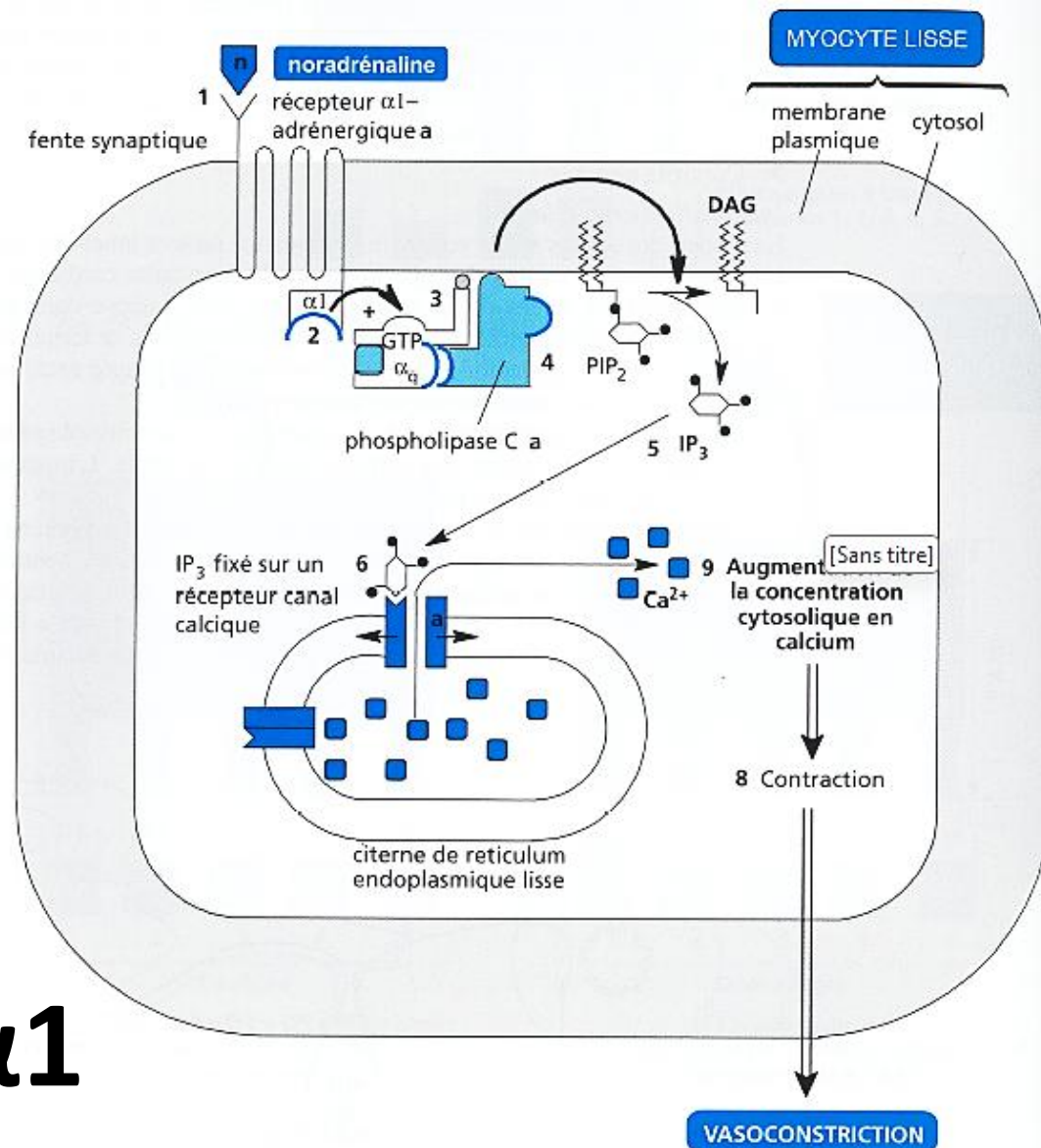
**1 - Organisation fonctionnelle
du système sanguin.**
**1.9. Adaptation de la
circulation lors d'un effort
physique.**
c. Adaptation de la réponse des
vaisseaux lors de l'effort.



**Action des catécholamines sur la vasomotricité des artérioles de
différents organes lors d'un effort**

Adaptation de la réponse des vaisseaux à la suite d'un message nerveux

α_1



GTP α_q : sous-unité α de la protéine G_q
a désigne les protéines activées

PIP₂: phosphatidyl inositol bisphosphate
IP₃: inositol trisphosphate
DAG: diacylglycérol

Figure 18.11 Mécanisme d'action de la noradrénaline sur les myocytes lisses de la média artériolaire.

Régulation via plusieurs types de récepteurs

Importance des récepteurs
du muscle dans la réponse
cardio-ventilatoire

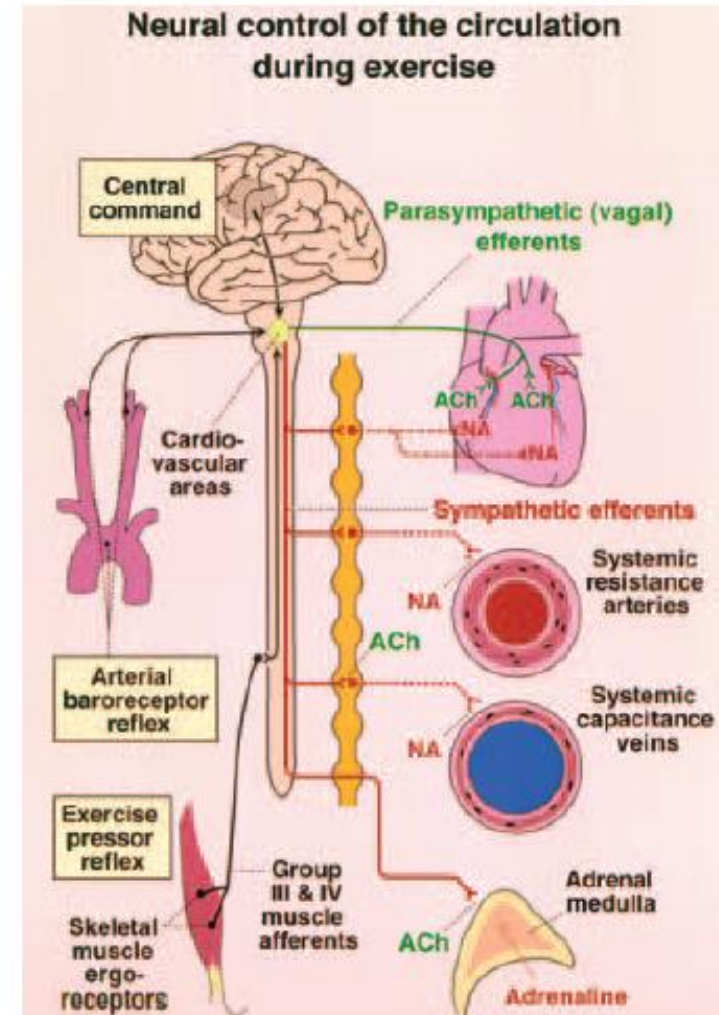


Figure 1. Neural cardiovascular control during exercise

L'essentiel à savoir

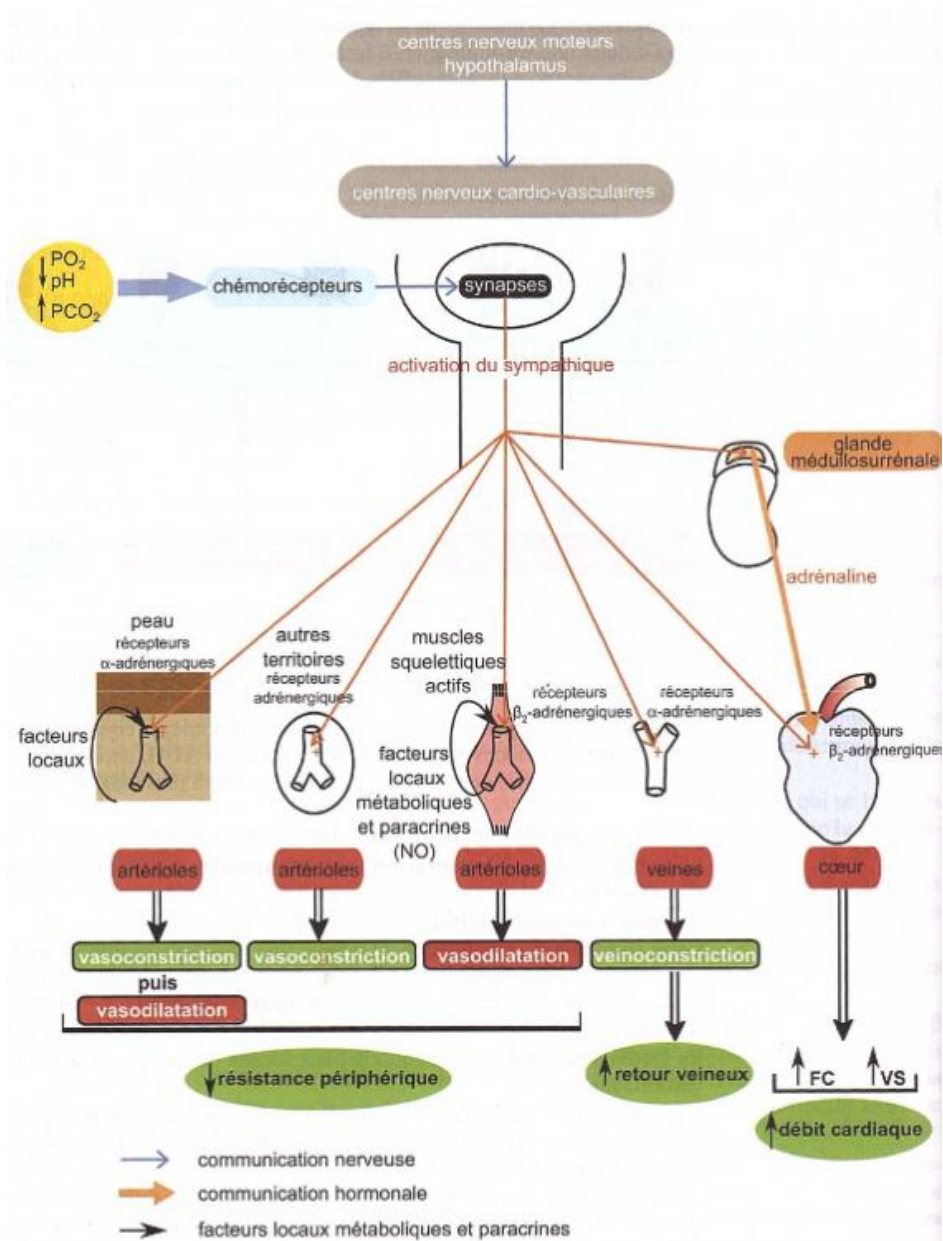
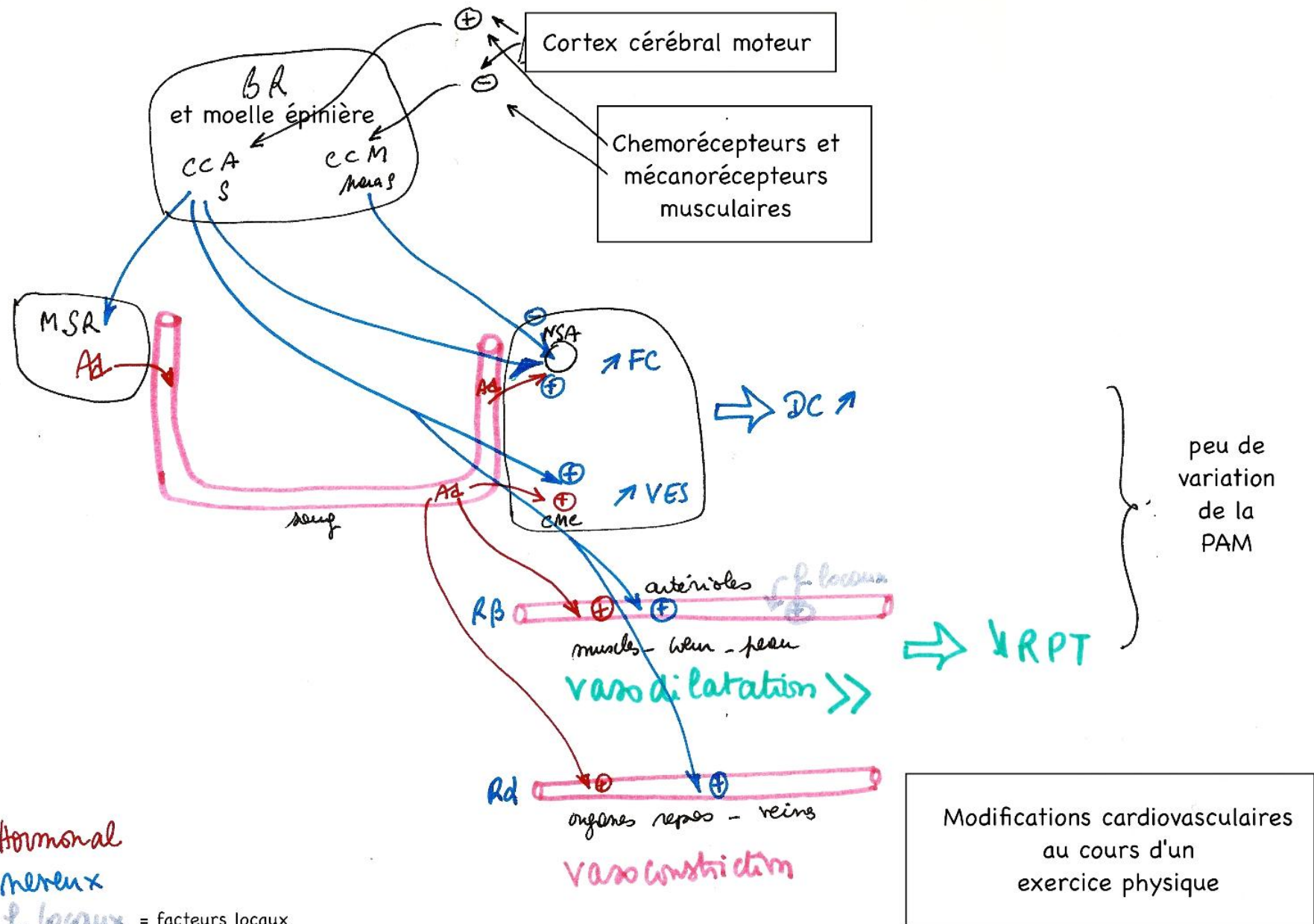


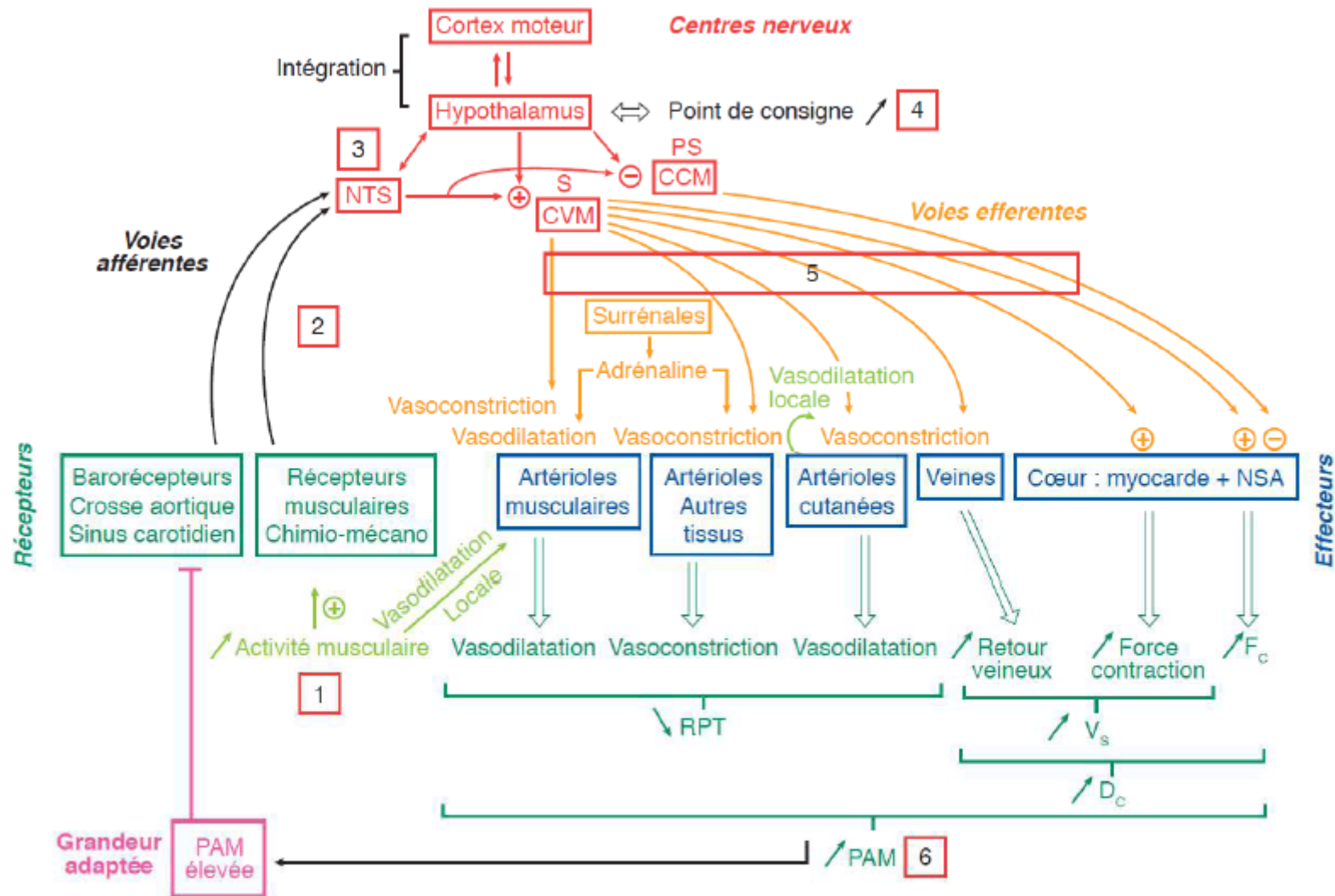
FIGURE 4.11 Les modifications circulatoires au cours d'un exercice physique.

Les capteurs et les voies sensibles impliqués dans la détection de stimuli et la propagation des messages afférents aux centres nerveux sont mentionnés sans être représentés (voir texte). FC : fréquence cardiaque ; VS : volume d'éjection systolique.



Hormonal
nerveux
f. locaux = facteurs locaux

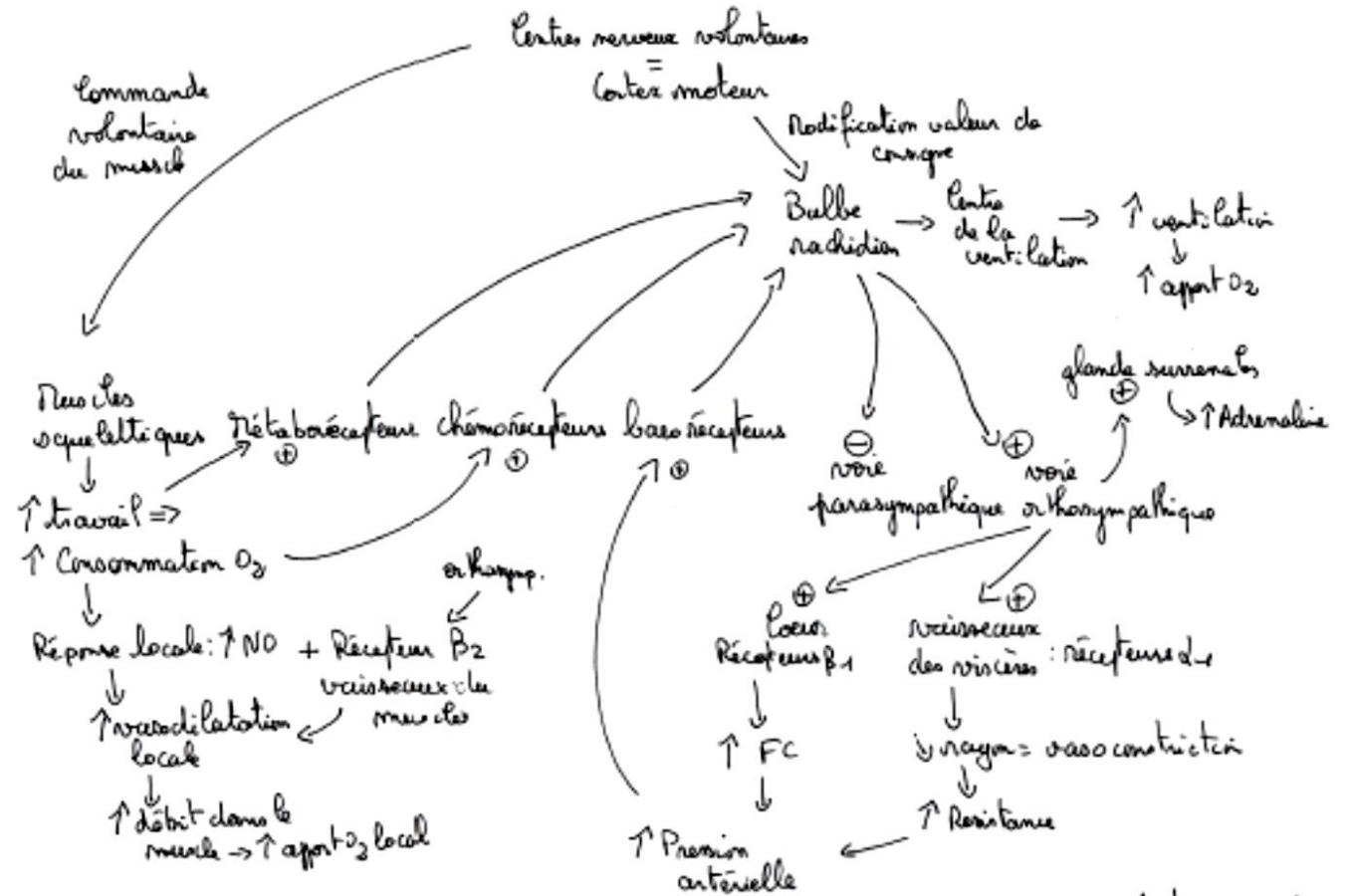




Les évènements sont numérotés dans l'ordre chronologique. CCM: centre cardiomodérateur; CVM: centre vasomoteur; PAM: pression artérielle moyenne; F_c: fréquence cardiaque; D_c: débit cardiaque; RPT: résistance périphérique totale; NSA: nœud sino-auriculaire; PS: centre parasympathique; S: centre sympathique.

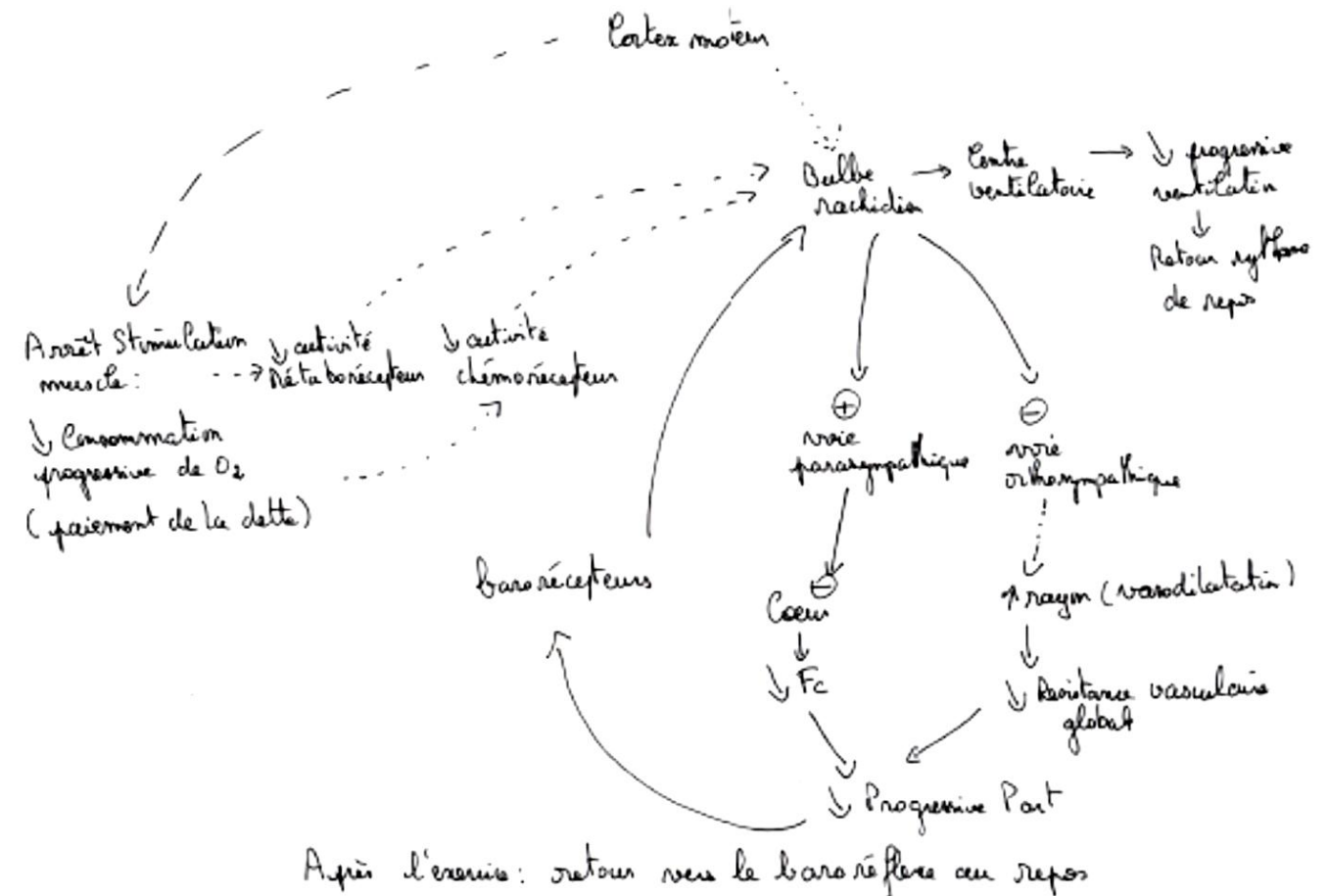
Bilan : notion d'adaptation physiologique

Modifications locales
(NO au niveau du
muscle) + modifications
de la boucle baroréflexe



Repos : retour progressif vers le baroréflexe au repos

Diminution progressive de la stimulation orthosympathique et augmentation parasympathique



d. Régulations hormonales

Sécrétion adrénaline et noradrénaline lors de l'exercice

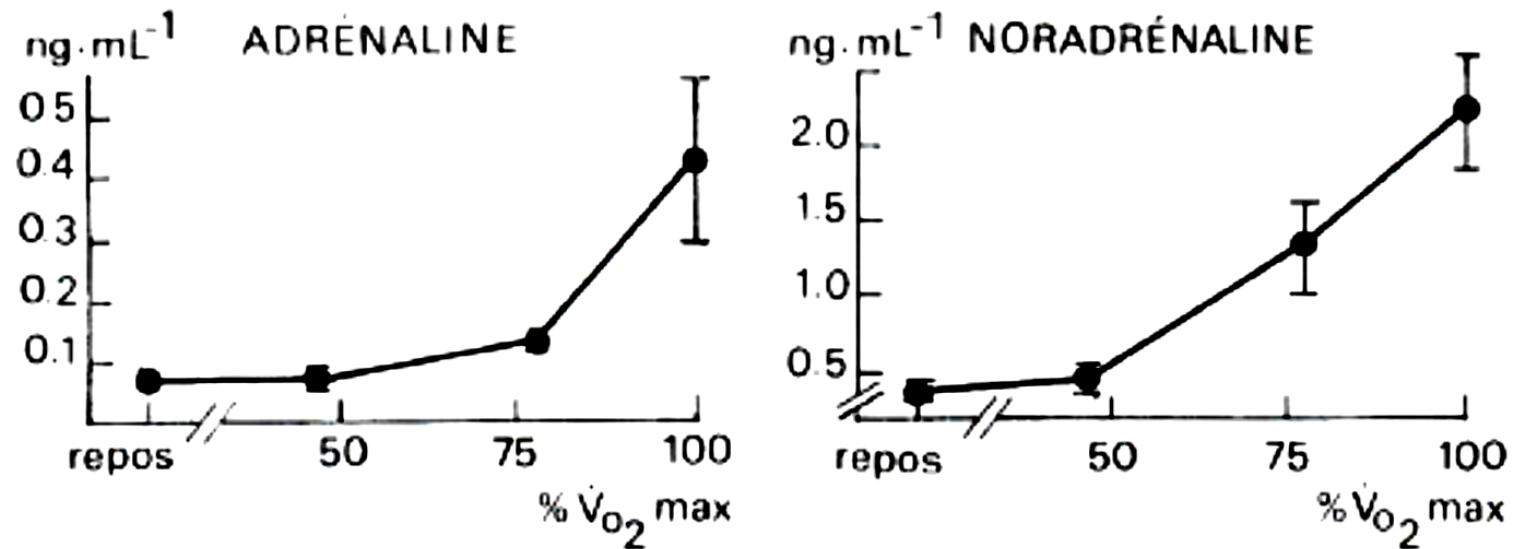


Fig. 76. Concentrations plasmatiques moyennes des catécholamines. Moyennes et écarts-types pour 8 sujets au repos et lors d'exercices d'intensité croissante (modifié d'après Galbo et coll., *J. appl. Physiol.*, 1975, 58, 70-76).

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

d. Régulations hormonales

Effet durée exercice et entraînement

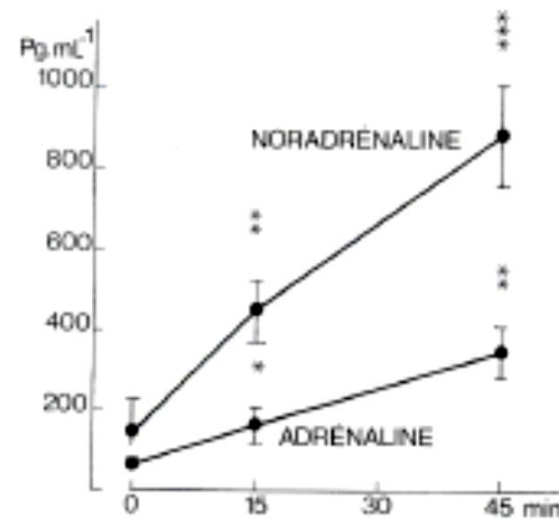


Fig. 77. Durée de l'exercice et concentration plasmatique des catécholamines. Exercices musculaires dynamiques à 80 % de \dot{V}_{O_2} max. Moyennes et écarts-types observés sur 7 sujets (d'après Péquignot et coll., *Europ. J. appl. Physiol.*, 1979, 40, 117-135).

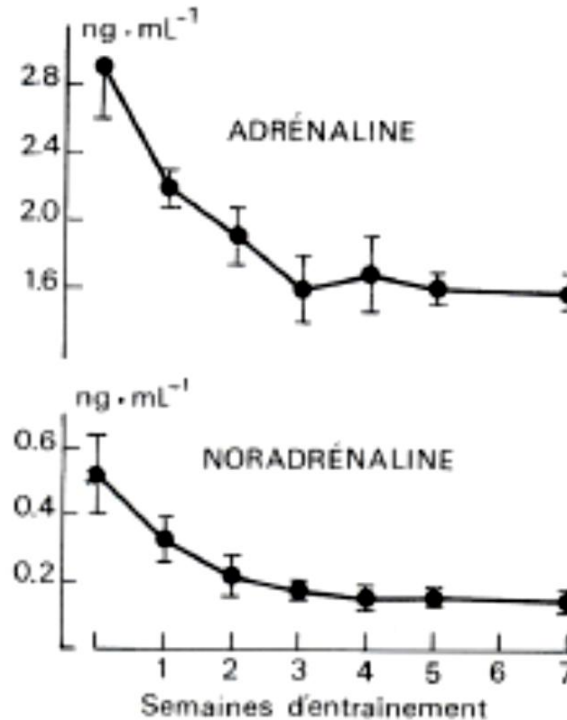


Fig. 78. Effets de l'entraînement sur la concentration plasmatique des catécholamines. Les concentrations d'adrénaline et de noradrénaline sont notées à la 5^e minute d'exercices réalisés à la puissance de 250 watts; moyennes et écarts-types chez 6 sujets de sexe masculin (d'après Winder et coll., *J. appl. Physiol.*, 1978, 45, 370-374).

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

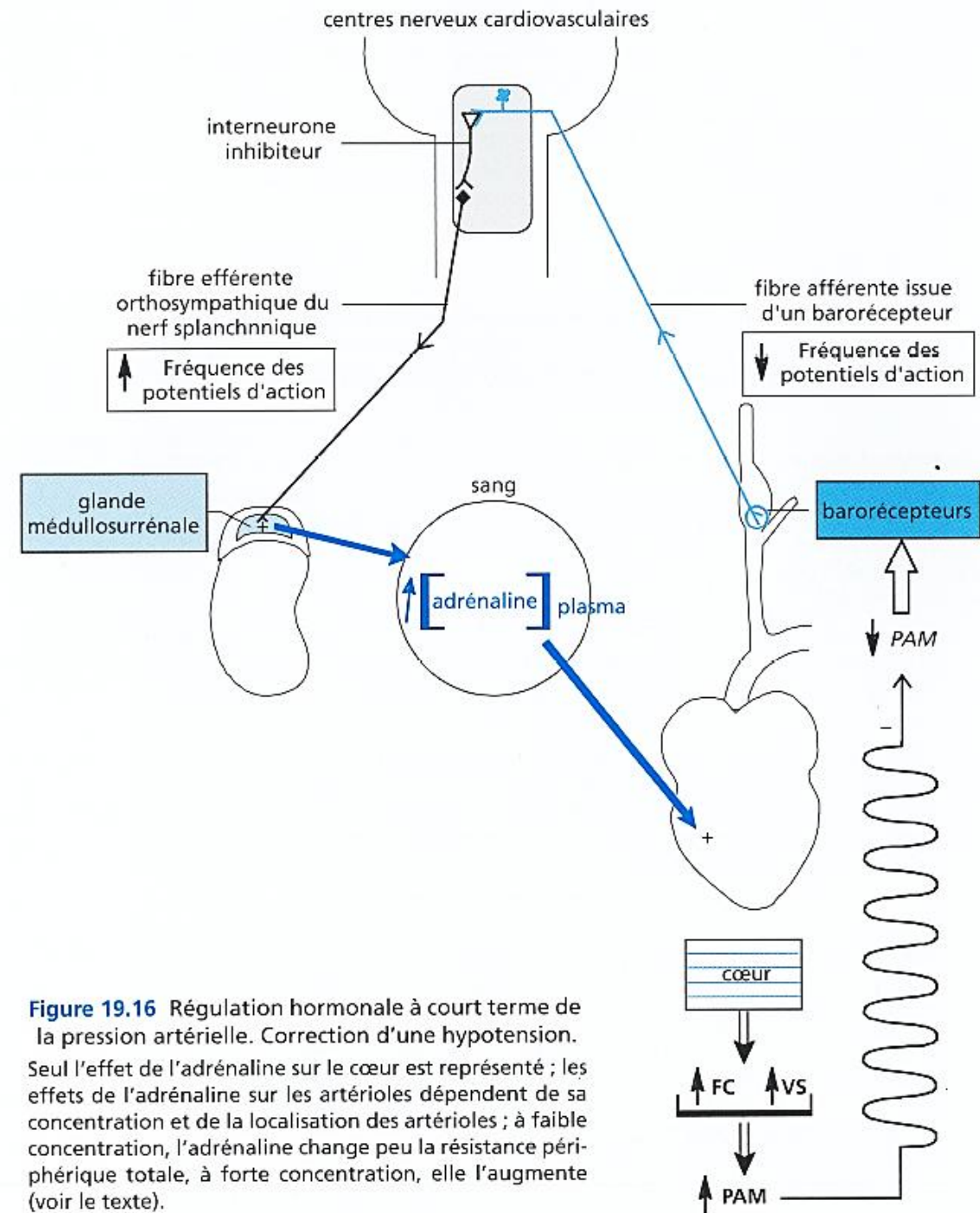
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

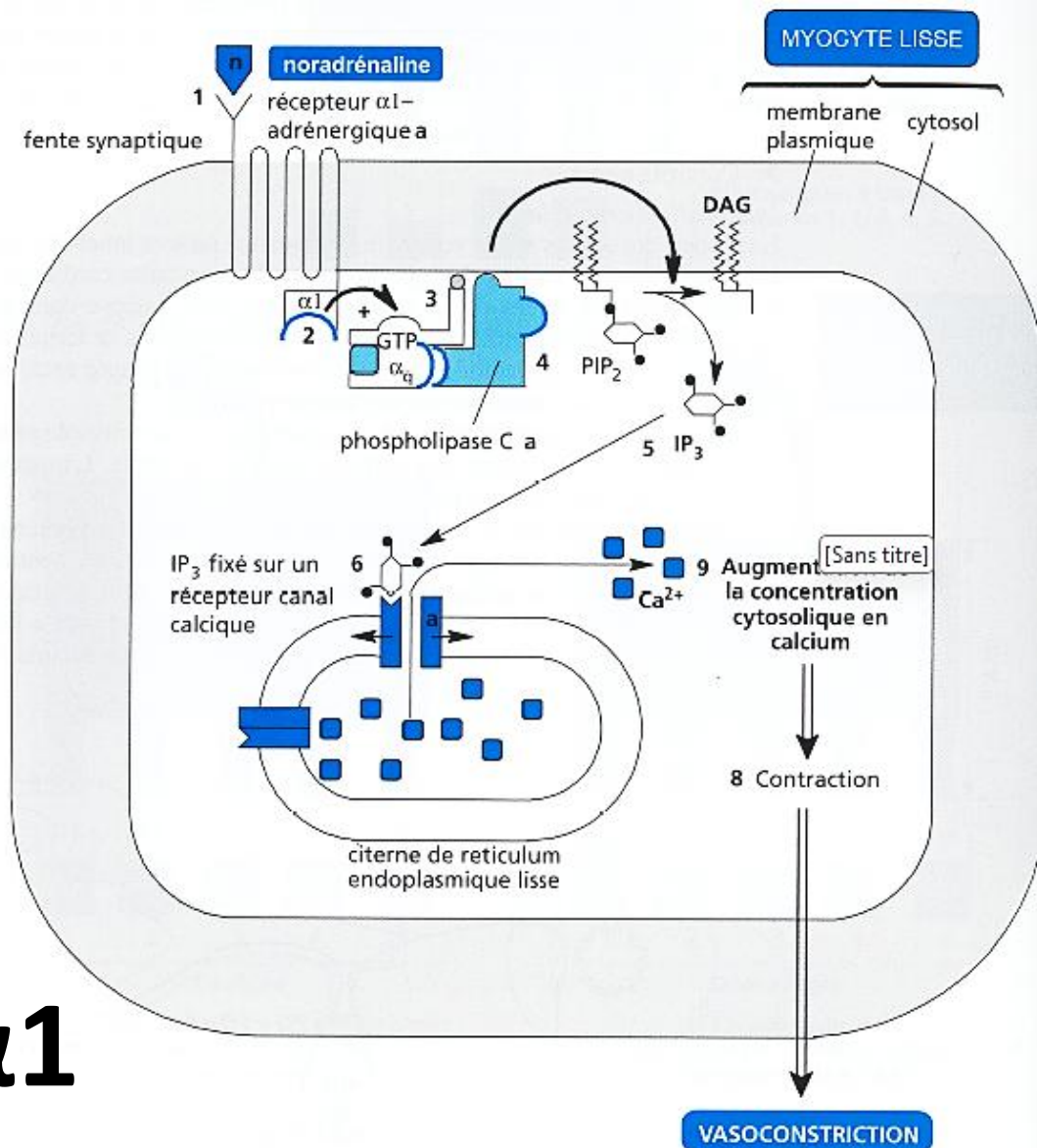
d. Régulations hormonales

PAM augment = augmentation de la fréquence des PA des barorécepteurs => diminution de [adrénaline]

- Si [adrénaline] faible ou moyenne : vasoconstriction mais pas dans le cœur ni les muscles squelettiques d'où RPT varie peu

- Si [adrénaline] forte, vasoconstriction partout, d'où augmentation de la RPT



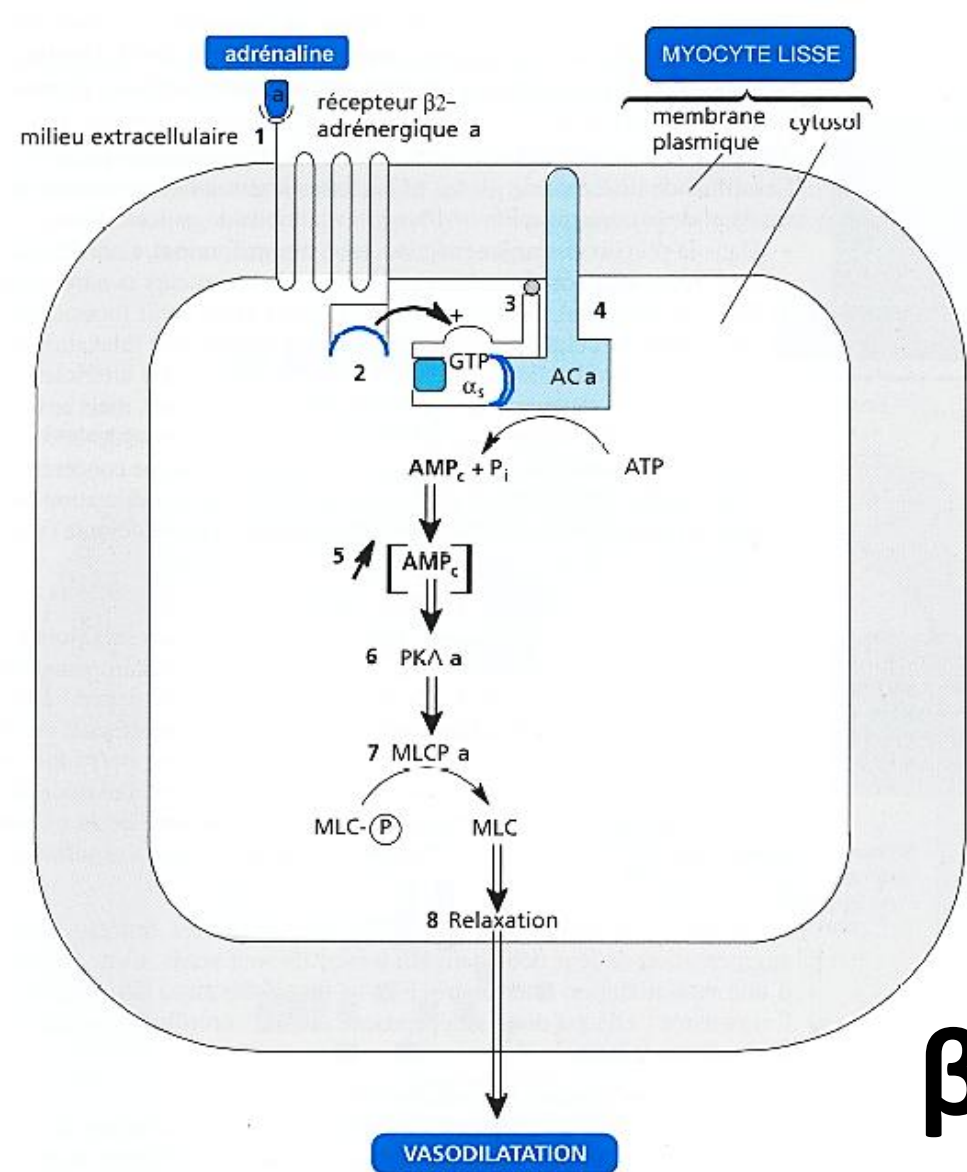


α_1

GTP α_q : sous - unité α de la protéine G_q
a désigne les protéines activées

PIP₂ : phosphatidyl inositol biphosphate
IP₃ : inositol trisphosphate
DAG : diacylglycérol

Figure 18.11 Mécanisme d'action de la noradrénaline sur les myocytes lisses de la média artériolaire.



β_2

GTP α_s : sous - unité α de la protéine G_s
a désigne les protéines activées

AC : adénylyl cyclase
PKA : protéine kinase A
(P) désigne les protéines phosphorylées
MLCP : phosphatase des chaînes légères de la myosine
MLC : chaînes légères de la myosine

Figure 18.12 Mécanisme d'action de l'adrénaline sur les myocytes lisses des artérioles des muscles squelettiques et du cœur.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

d. Régulations hormonales

Tableau 10.6 Facteurs de contrôle des effecteurs cardiovasculaires.

Organe effecteur	Cellules effectrices	Contrôle nerveux	Contrôle hormonal	Contrôle paracrine	Contrôle local
cœur	cellules nodales (NSA)	parasympathique : ↓ FC sympathique : ↑ FC	Ad : ↑ FC	ACh : ↓ FC NAd : ↑ FC	
	cardiomyocytes	sympathique : ↑ VS	Ad : ↑ VS	NAd : ↑ VS	Loi de Starling
coronaires	myocytes lisses de la média	sympathique : vasodilatation	Ad : vasodilatation	NAd, NO : vasodilatation	↑ pCO ₂ , ↓ pH, ↓ pO ₂ : vaso-dilatation
artérioles des muscles		sympathique : vasoconstriction		NAd : vasoconstriction NO : vasodilatation	
artérioles des autres territoires	myocytes lisses de la média	sympathique : vasoconstriction	Ad : vasoconstriction	NAd : vasoconstriction	
veines	myocytes lisses de la média	mêmes effets que sur les artères, dans chaque territoire			

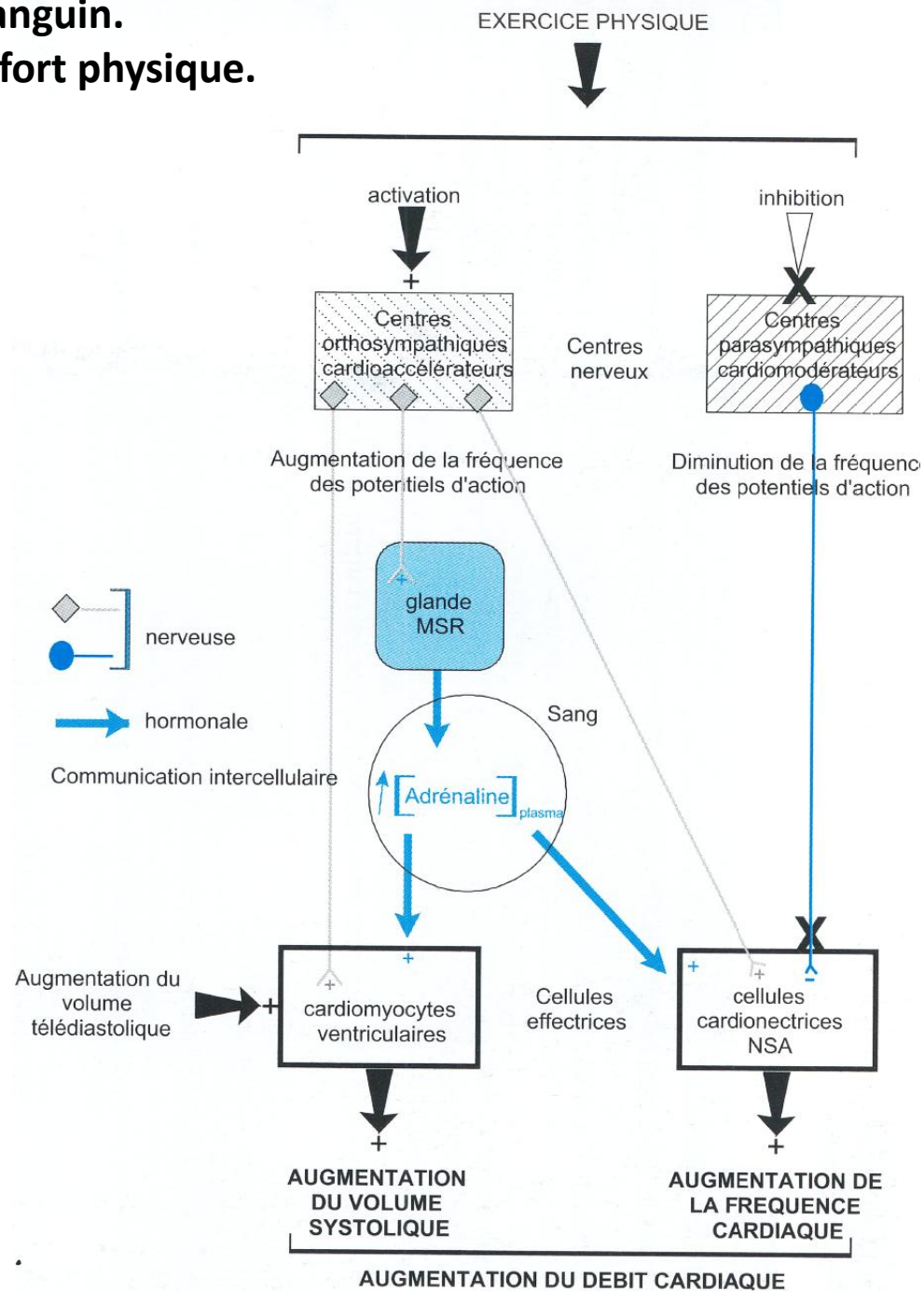
ACh : acétylcholine ; Ad : adrénaline ; FC : fréquence cardiaque ; NAd : noradrénaline ; NSA : nœud sino-auriculaire ; VS : volume de l'ondée systolique.

1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

d. Régulations hormonales

Bilan

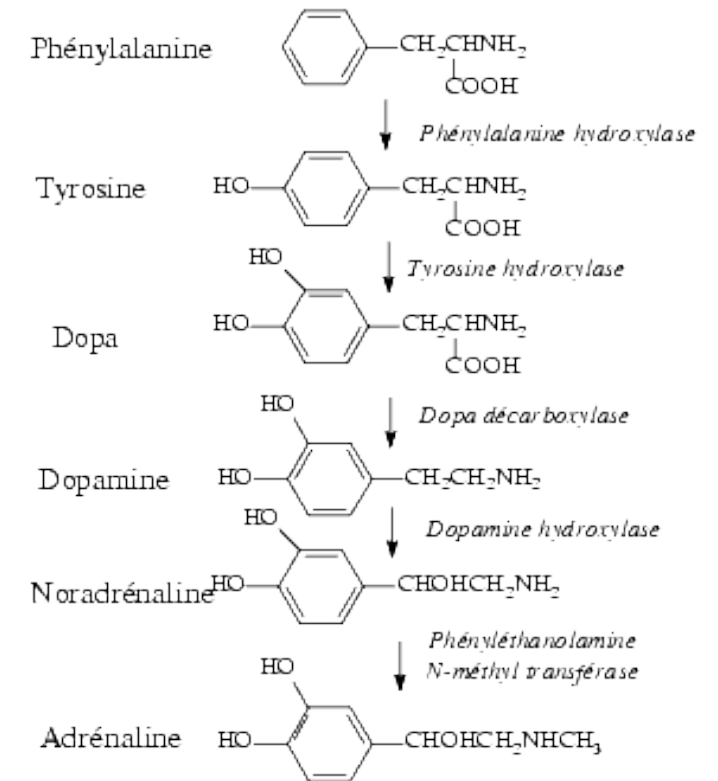
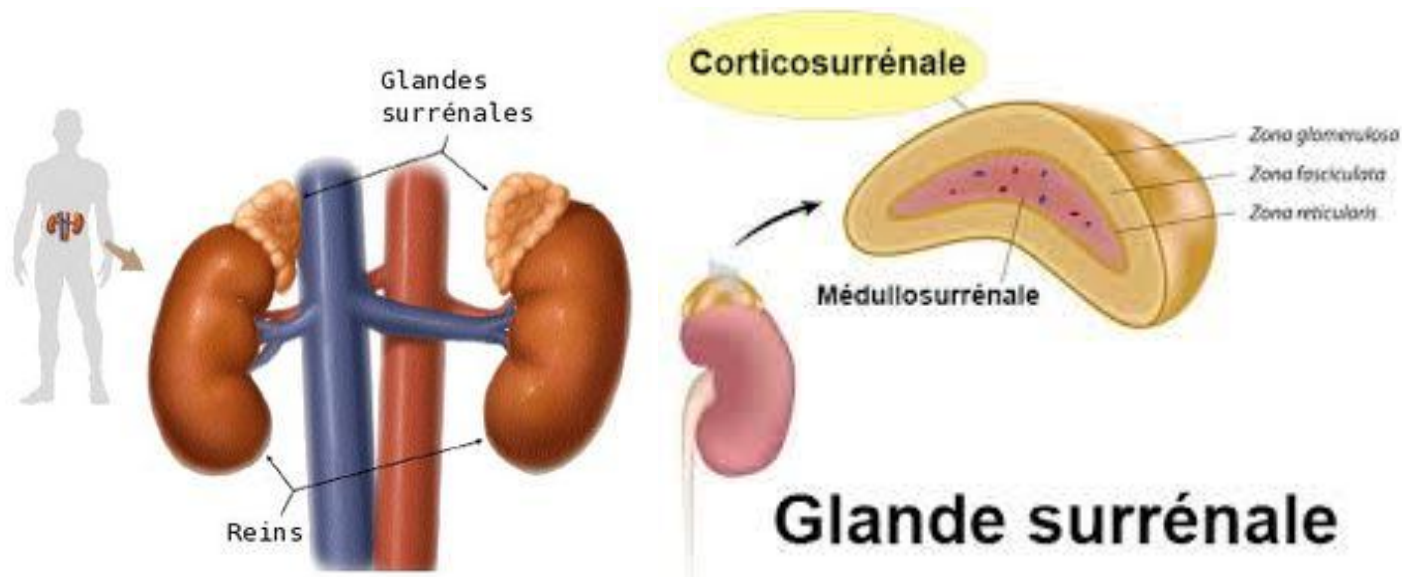


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

d. Régulation hormonale

Sécrétion par les glandes médulosurrénales
Adrénaline + noradrénaline = cathécholamines

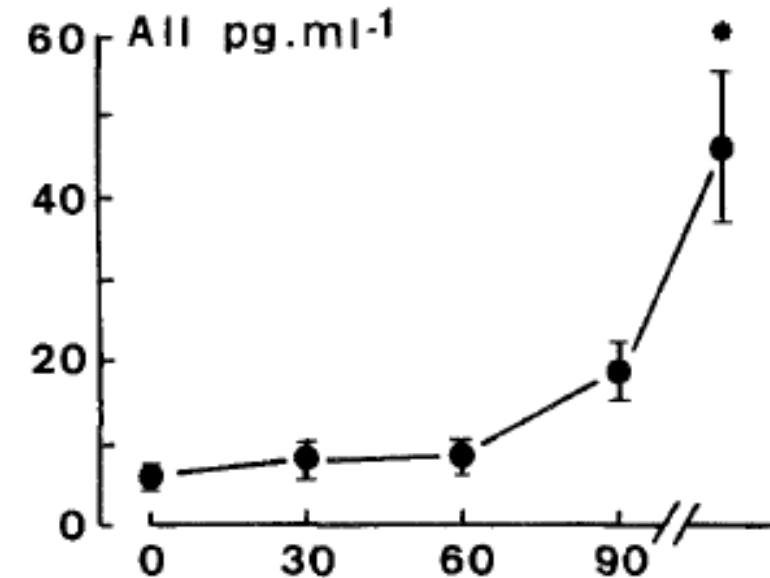
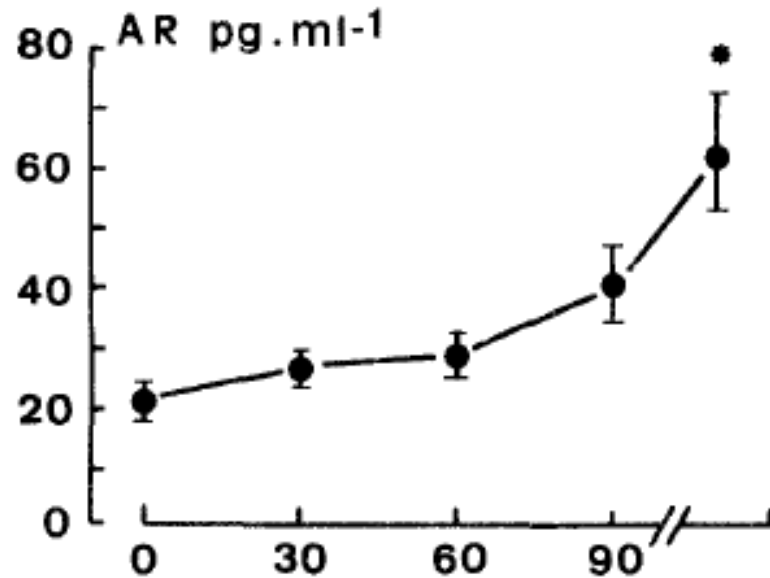


1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.
1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.
d. Régulation hormonale

Sécrétion de rénine et d'angiotensine

Rénine (AR) : enzyme produite par les reins

Angiotensine (All) : protéine provenant de la coupure de l'angiotensinogène



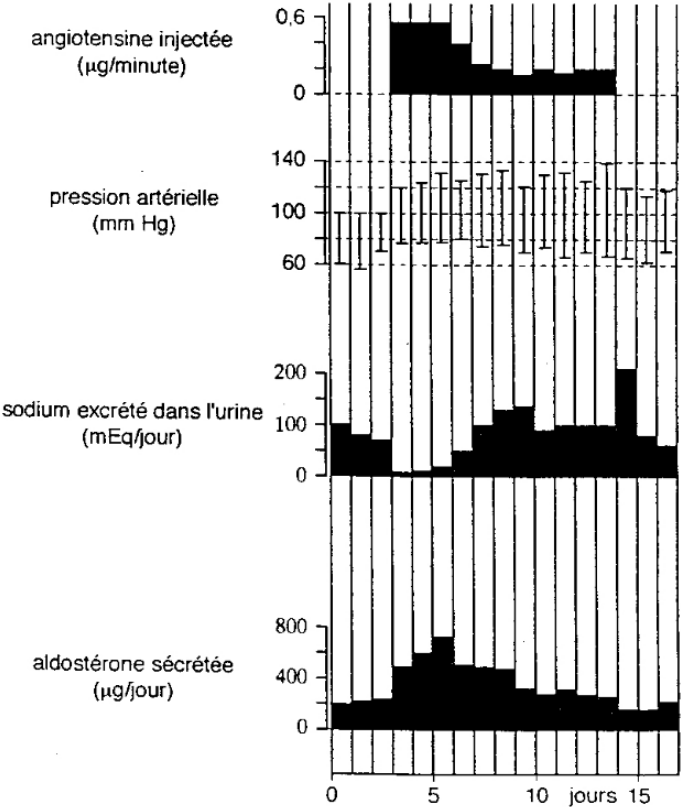
1 - Organisation fonctionnelle du système sanguin.

1.9. Adaptation de la circulation lors d'un effort physique.

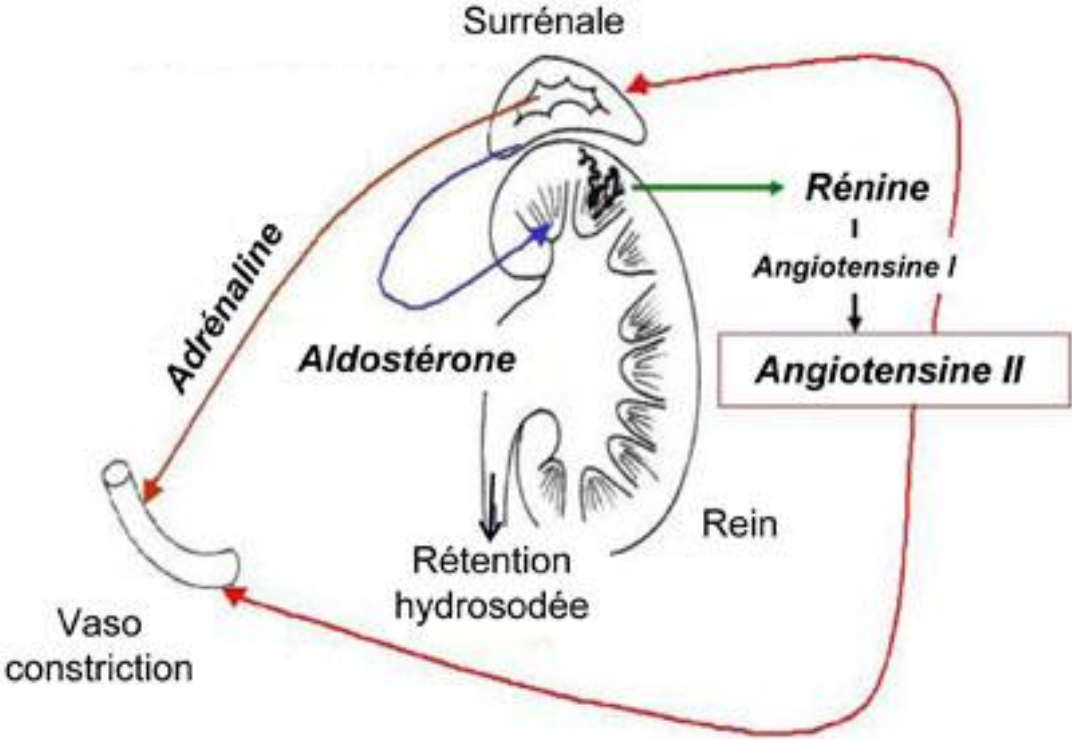
d. Régulation hormonale

Document 4

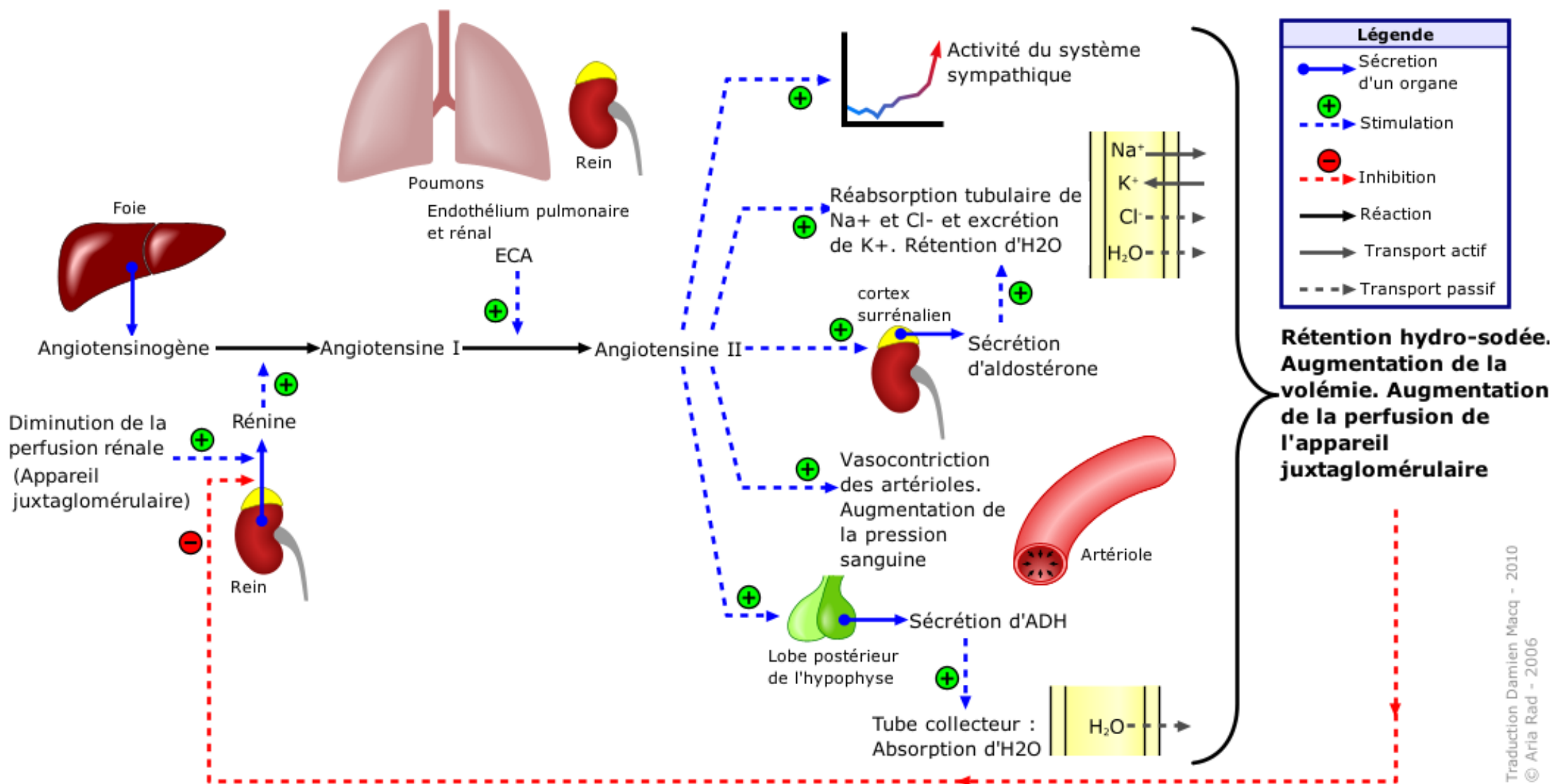
Perfusion prolongée d'Angiotensine chez un sujet sain et ses conséquences physiologiques.

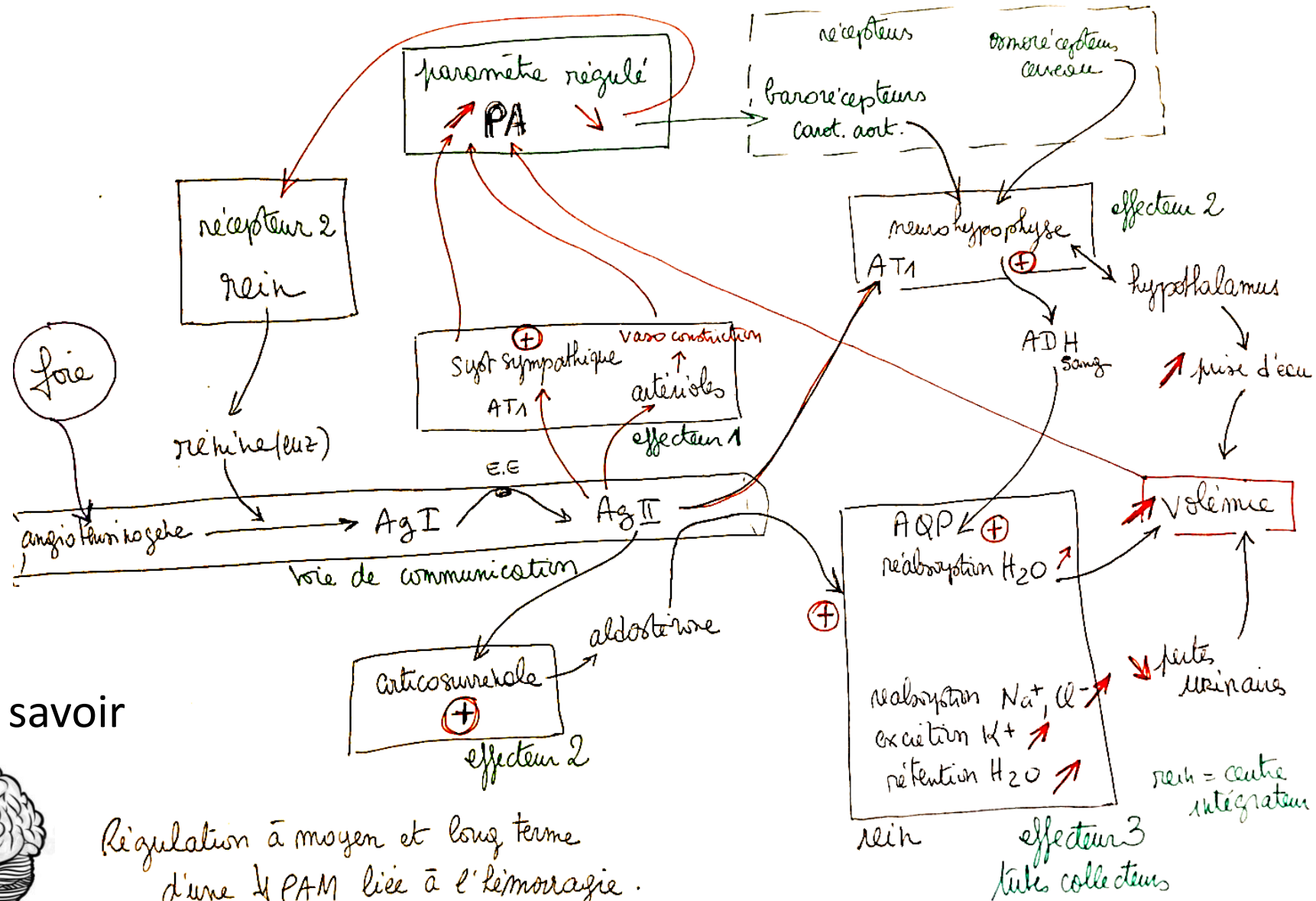


(d'après La Recherche n° 105 - 1979)



Système rénine-angiotensine-aldostérone





L'essentiel à savoir



Régulation à moyen et long terme
d'une HPA liée à l'hémorragie.

Conclusion

Différence contrôle, boucle de régulation

Notion d'homéostasie.

L'essentiel à savoir



	Cellule nodale	cardiomyocyte	Cellules musculaires lisses des vaisseaux	
			du cœur et des muscles squelettiques	des autres organes (reins, intestins...)
récepteur	β_1 Muscariniques	β_1	β_2 et α_1	α_1
Effets de l'adrénaline (hormone de la médullosurrénale)			Sur β_2 <i>vasodilatation</i> (sur α_1 <i>vasoconstriction</i> mais affinité supérieure pour β_2)	
Effets de la noradrénaline	Sur β_1 effet <i>chronotrope positif</i>	Sur β_1 effet <i>inotrope positif</i>	Sur α_1 <i>vasoconstriction</i> (mais effet β_2 plus important)	Sur α_1 <i>vasoconstriction</i>
Effets de l'acétylcholine	Sur récepteurs muscariniques effet <i>chronotrope négatif</i>			

Attention liste non exhaustive, elle replace juste les récepteurs vus au cours du chapitre et leurs effets