

SV-I-1 : LA CIRCULATION SANGUINE DES MAMMIFERES

SV-I Communications intercellulaires et intégration d'une fonction à l'organisme (BCPST 2)

Le fonctionnement d'un organisme pluricellulaire repose sur la coopération entre différents tissus, organes et appareils. La coordination des différentes structures est fondée sur des communications entre cellules par le biais de messagers chimiques ou de signaux électriques. Les modalités et les exemples de communication intercellulaire abordés sont choisis parmi les contrôles développés dans les différentes parties du programme.

Dans cette partie, l'intégration d'une fonction à l'échelle d'un organisme est conduite à partir de l'exemple de la fonction circulatoire chez les Mammifères. L'étude de la circulation sanguine systémique est l'occasion de développer les principes d'une régulation et d'une adaptation physiologique à partir de l'étude de la pression artérielle.

Savoirs visés	Capacités exigibles
SV-I-1 Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères	
<p>La circulation sanguine est un système de distribution à haut débit du sang (plasma et éléments figurés). Le système circulatoire sanguin des Mammifères est organisé par deux circulations en série : circulation systémique et circulation pulmonaire.</p> <p>Les artères, réservoir de pression, distribuent le sang aux réseaux de capillaires.</p> <p>Les capillaires constituent la surface d'échanges entre le sang et le milieu interstitiel selon trois grandes modalités : transports transmembranaires, transcytose et filtration-réabsorption. Les veines collectent le sang et constituent un réservoir de volume.</p> <p>La pression artérielle moyenne est la résultante de paramètres circulatoires (débit et résistance vasculaire) dépendants des activités cardiaque et vasculaire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractériser l'organisation histologique et anatomique des différents vaisseaux de l'organisme à l'aide de préparations microscopiques et d'électronographies. - Relier les caractéristiques des vaisseaux sanguins à leurs propriétés fonctionnelles (débit, vitesse et pression sanguins, résistance vasculaire, compliance). - Expliquer l'importance fonctionnelle de l'organisation en dérivation de la circulation systémique. - Représenter les échanges capillaires par filtration-réabsorption selon le schéma de Starling et discuter de leur importance pour l'homéostasie du milieu intérieur. - Utiliser la loi de Hagen-Poiseuille pour modéliser les relations entre pression et débit sanguins à l'échelle d'un vaisseau et à l'échelle de la circulation systémique (en incluant un paramètre de résistance périphérique totale)
<p>Le cœur est un muscle à rôle de pompe qui met le sang sous pression ; il est à l'origine du débit sanguin global. Le cœur présente un fonctionnement cyclique caractérisé par une succession de systoles et de diastoles.</p> <p>Le cœur présente un automatisme de fonctionnement, conséquence des propriétés du tissu nodal. Ce dernier a la capacité de générer, de façon cyclique, des potentiels d'action. Ces derniers sont propagés au sein du tissu de conduction et génèrent des potentiels d'action dans le tissu musculaire cardiaque. Ceux-ci provoquent la contraction du cœur selon la séquence caractéristique du cycle cardiaque.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sur un cœur de Mammifère : <ul style="list-style-type: none"> • identifier les différentes cavités et valvules ; • reconnaître les vaisseaux en connexion avec les cavités cardiaques ; • expliquer la circulation unidirectionnelle du sang à partir de l'analyse des dispositifs anatomiques. - À partir d'une préparation microscopique, présenter l'organisation fonctionnelle du tissu myocardique contractile. - Relier les étapes du cycle cardiaque au rôle de pompe du cœur. - Mettre en relation débit cardiaque, fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique. - Relier la localisation des structures impliquées dans l'automatisme et les vitesses de propagation de l'excitation cardiaque avec la séquence de contraction. - Relier les caractéristiques du potentiel d'action des cellules du nœud sinusal aux variations de conductances ioniques constatées.

Précisions et limites :

L'étude des potentiels d'action est limitée à celui généré par le nœud sinusal.

La technique d'électrocardiographie n'est pas exigible.

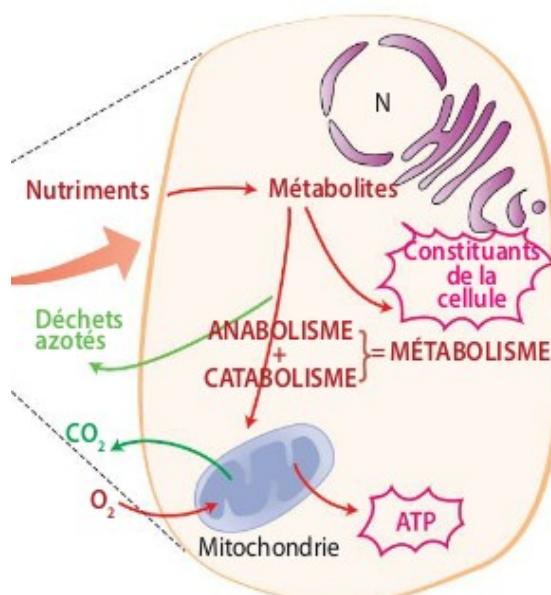
Le couplage excitation/contraction des cardiomyocytes n'est pas au programme.

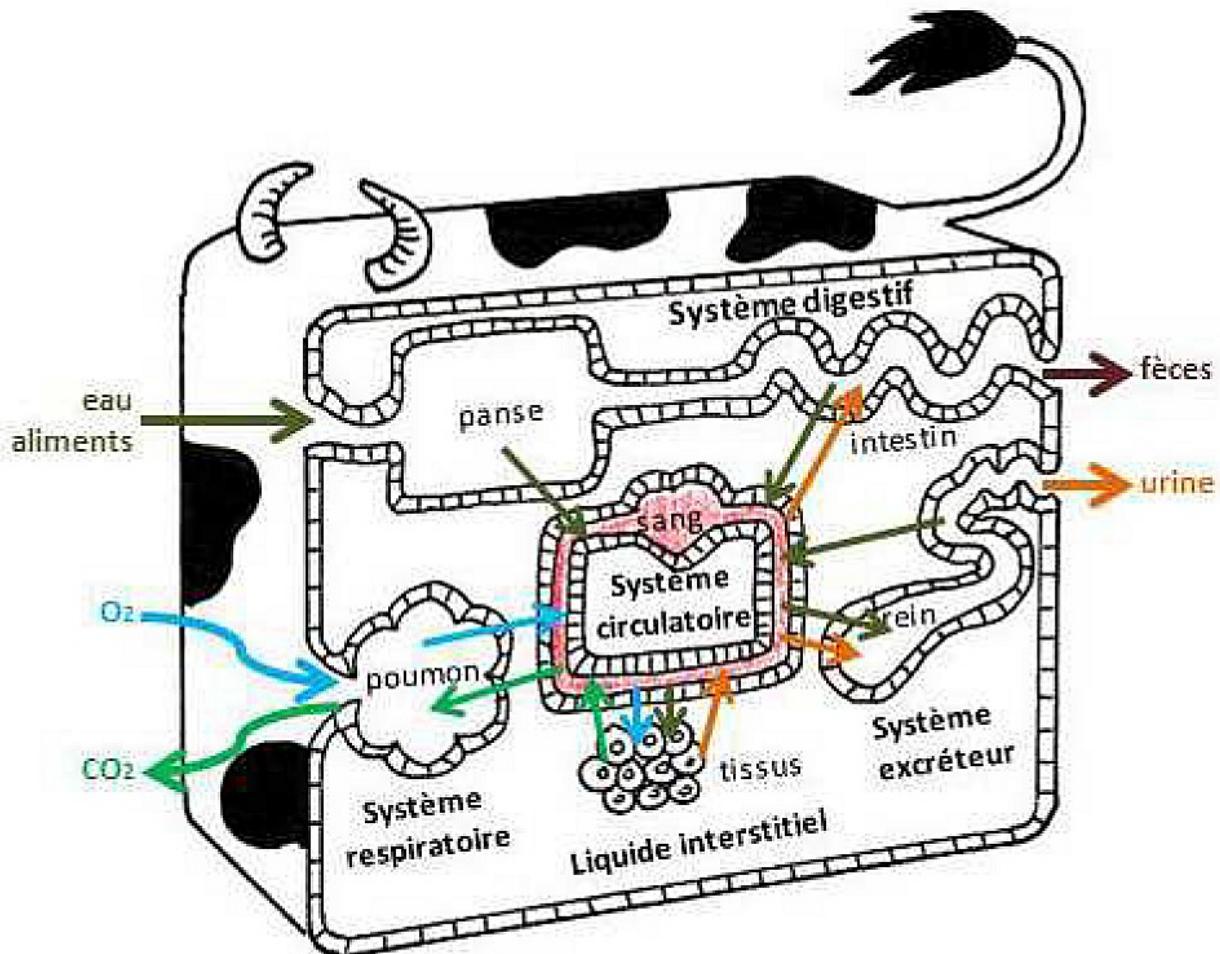
<p>La pression artérielle moyenne est maintenue dans une gamme de valeurs restreinte, variable selon les individus et les conditions, par des mécanismes de régulation. Le baroréflexe rectifie les écarts à la valeur de consigne de la pression artérielle mesurée à partir de récepteurs. Les centres intégrateurs, situés dans le système nerveux central, modifient l'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les informations vers les effecteurs transitent par les nerfs sympathiques et parasympathiques du système nerveux autonome.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser des résultats expérimentaux afin d'identifier la nature et le rôle des différentes composantes de la boucle de régulation du baroréflexe. - Expliquer les mécanismes du contrôle de la fréquence cardiaque jusqu'à l'échelle cellulaire et moléculaire.
<p>Précisions et limites : <i>Dans le cadre du baroréflexe, on ne discute que des barorécepteurs de haute pression. On se limite à présenter les voies centripètes et centrifuges du système nerveux autonome sans détailler les centres intégrateurs du système nerveux central et les relais ganglionnaires.</i></p>	
<p>Dans le cas de l'adaptation à l'effort physique, les débits globaux et locaux sont modifiés par des changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires. Les changements d'activité des effecteurs cardiaque et vasculaires sont le produit de contrôles nerveux, hormonaux et paracrinés. Des récepteurs vasculaires et musculaires informent les centres intégrateurs de l'état physiologique de l'organisme au cours de l'effort. Les boucles de contrôle forment ainsi des réseaux interconnectés modifiant l'activité des effecteurs en fonction de la situation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en relation les variations des différents paramètres circulatoires au cours d'un effort physique (pression artérielle moyenne, résistance périphérique, débit cardiaque, débits sanguins dans les différents organes). - Justifier la notion d'adaptation physiologique à partir de l'analyse des conséquences des modifications du débit global et local sur la pression artérielle. - Identifier les composantes des systèmes de contrôle globaux et locaux impliqués dans l'adaptation à l'effort physique. - Caractériser différentes périodes de contrôles : au début de la période d'effort, pendant l'effort puis à la fin de la période d'effort.
<p>Précisions et limites : <i>Le contrôle local est limité aux facteurs de l'hyperémie active et au monoxyde d'azote.</i></p>	

Introduction et problématique

Dès que l'organisme est pluricellulaire et dépasse l'ordre de grandeur du millimètre, cette loi ne suffit donc plus (paramètre d), il faut des **échangeurs spécialisés** et un **système de distribution**. Chez les Mammifères, il s'agit de l'**appareil circulatoire**, qui est clos, constitué d'une pompe et de tuyaux

Approvisionnement de toutes les cellules
en substrats du métabolisme





L'ensemble obéit à la loi de diffusion	: Flux = -KSD[C]/d ou -KSD[P]/d
--	---------------------------------

Problème 1 : comment le cœur propulse-t-il le sang vers les organes sous une pression suffisante, comment s'effectuent les échanges locaux et le retour au cœur

Problème 2 : comment le cœur adapte-t-il son fonctionnement aux besoins variables de l'organisme au cours de la journée

Problème 3 : comment cet appareil ajuste-t-il l'approvisionnement généralement et localement en cas d'effort physique

I La circulation est double**II. La pompe cardiaque et son automatisme**

1. Anatomie et histologie du cœur
 - 1.1. Anatomie
 - 1.2. Histologie
 - 1.3. Ultrastructure des cardiomyocytes
2. Cardiographie externe
 - 2.1 Les bruites du cœur
 - 2.2 Les raccourcissements du myocarde
3. Activité mécanique et électrique cycliques
 - 3.1 Un trajet unidirectionnel
 - 3.2 Cardiographie interne
4. Cellules nodales et automatisme
5. Le débit cardiaque
 - 5.1. Mesure du débit et résultats
 - 5.2. Dépenses énergétiques
6. Contrôle intrinsèque de l'activité cardiaque : l'expérience de Starling

III. Système vasculaire, système lymphatique, et flux de matière

1. Histologie des vaisseaux sanguins
2. Relations structure/fonction des vaisseaux sanguins
 - 2.1 Les artères amènent le sang sous pression aux organes
 - 2.1.1. les artères élastiques régularisent le flux sanguin à la sortie du cœur
 - 2.1.2. les grosses artères musculaires amènent le sang sous pression
 - 2.1.3. les petites artères musculaires et les artéries permettent de régler le débit de sang dans les organes et de s'adapter aux besoins de l'organisme
 - 3.2 Les capillaires : une surface d'échanges
 - 3.2.1. la vitesse du sang doit diminuer pour permettre les échanges : disposition en parallèle
 - 3.2.2. la surface d'échange doit être la plus grande possible (terme S loi de Fick)
 - 3.2.3. les différents types de capillaires permettent de répondre aux différents besoins des organes
 - 3.3 Les veines assurent le retour au cœur

IV. La pression artérielle moyenne est un paramètre régulé à court terme par le baroréflexe.

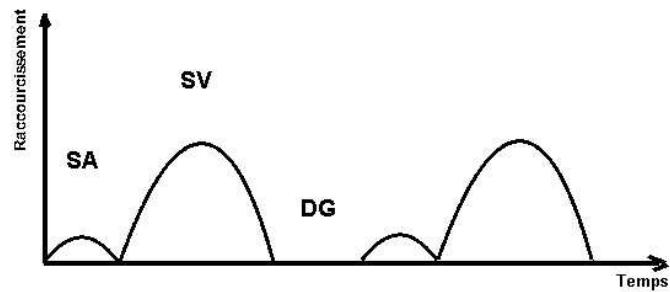
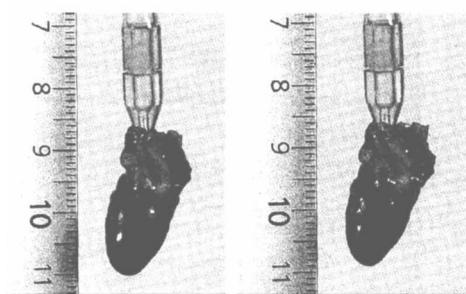
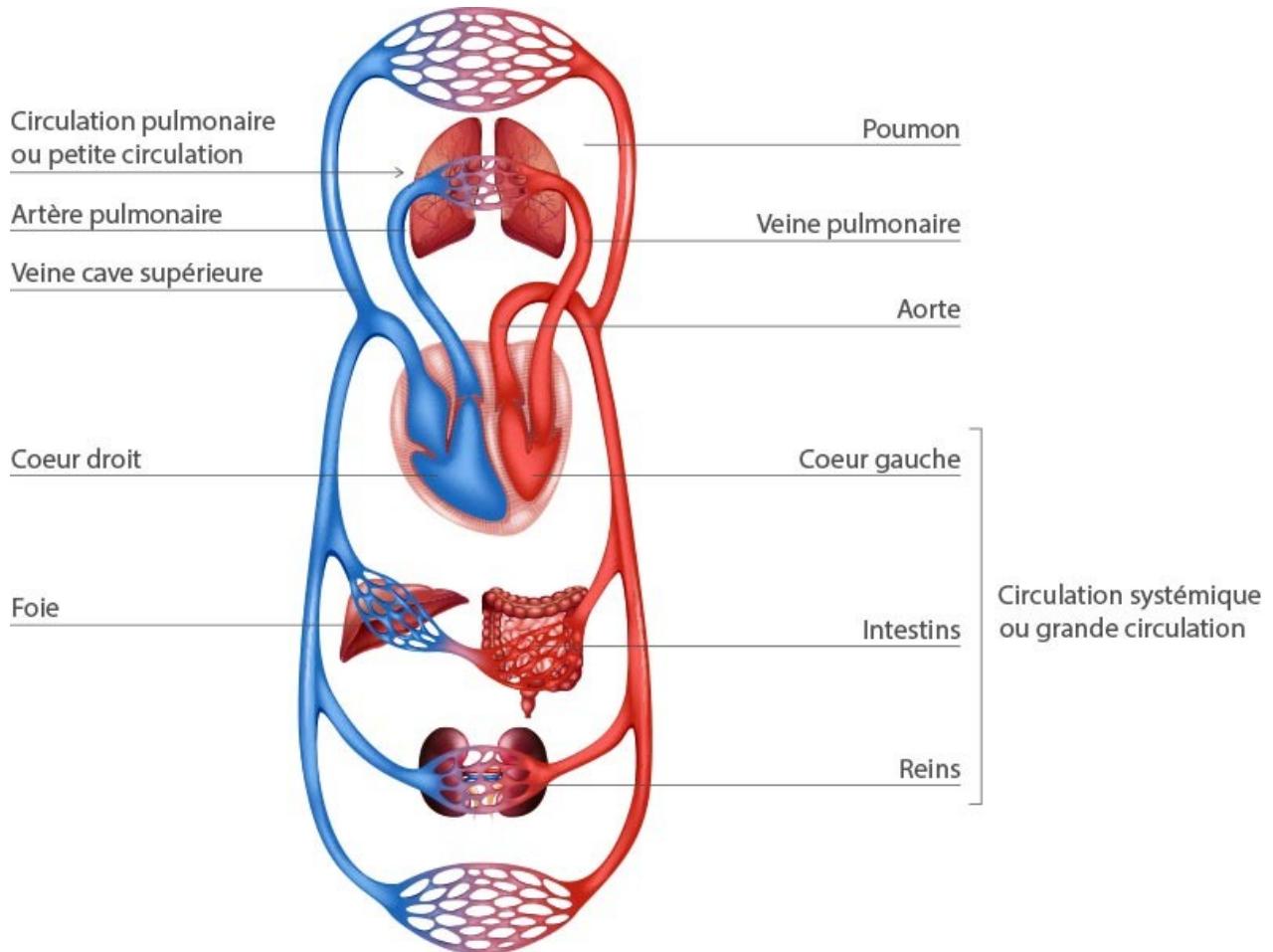
1. localisation des barorécepteurs
- 2 Voies afférentes et codage du message
- 3 intégration du message afférent dans les centres bulbares
- 4 effet des messages efférents sur les cellules cibles
 - 4.1 Les effets sur le cœur
 - La fréquence cardiaque et les cellules nодales
 - Le volume d'éjection systolique et la force de contraction
 - 4.2 les effets sur la vasomotricité

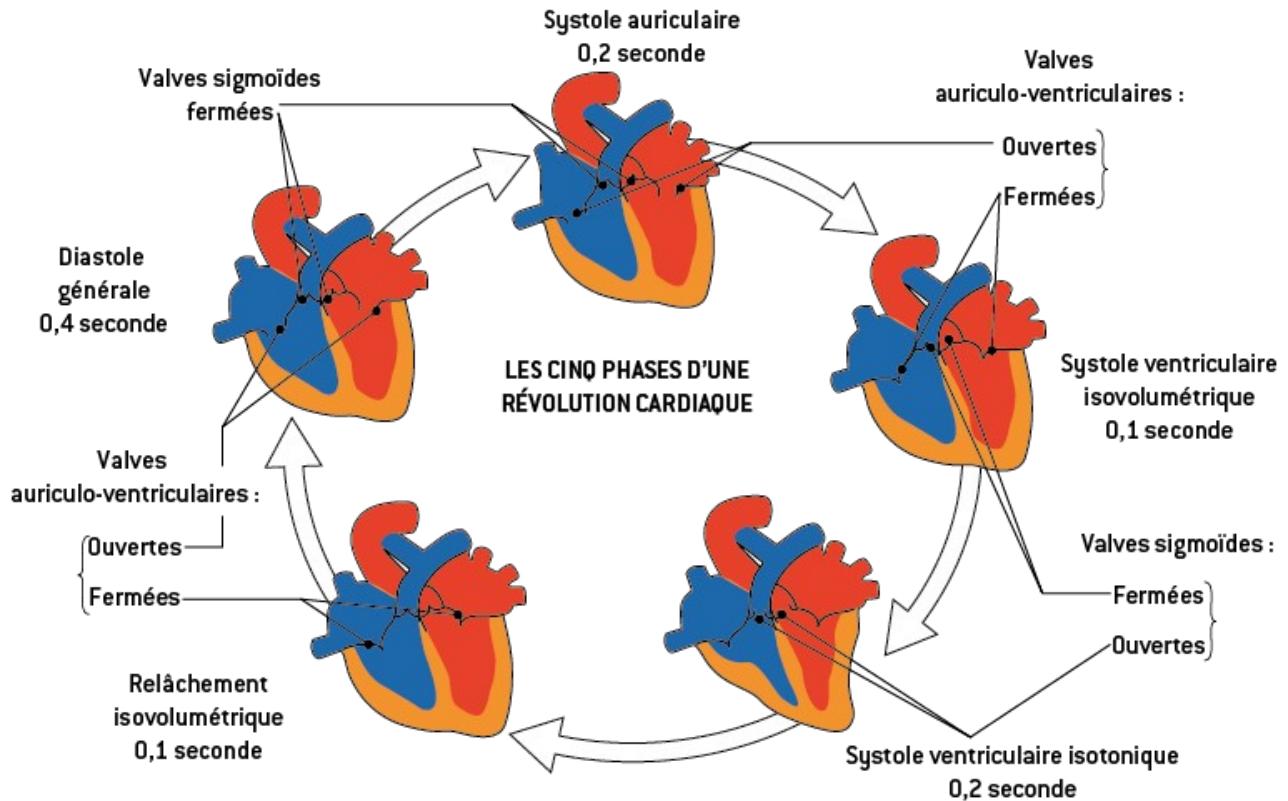
V. Ajustement des paramètres cardio-vasculaires lors de l'effort physique

1. Evolution des besoins des cellules musculaires au cours de l'exercice
2. effets de l'effort physique sur le système cardiovasculaire
- 3 rôle des chémorécepteurs et mécanismes d'adaptation du système cardiovasculaire
4. un décalage du point de consigne des barorécepteurs nécessaire
5. les limites d'adaptation et les effets de l'entraînement sportif (pour information)

ANNEXE 1 : UNE DOUBLE CIRCULATION ET CARDIOGRAPHIE EXTERNE

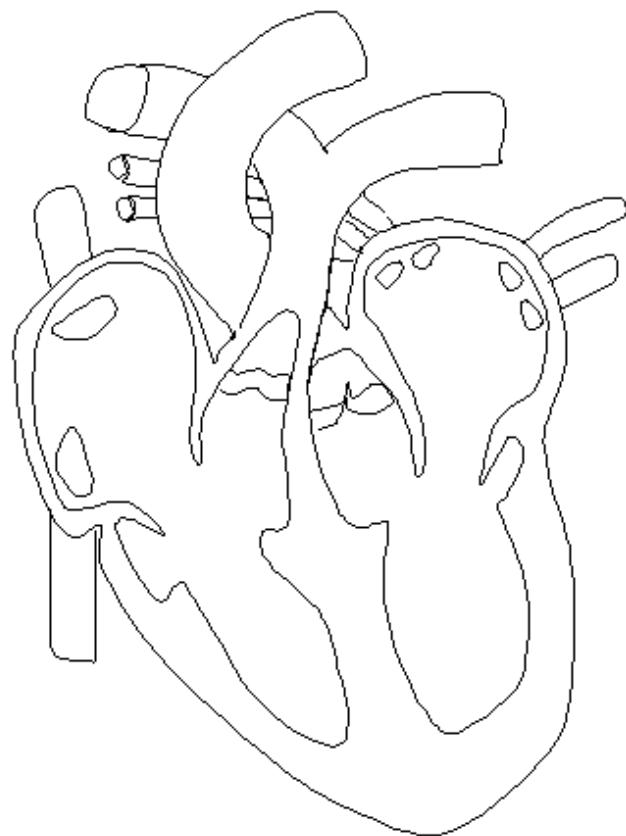
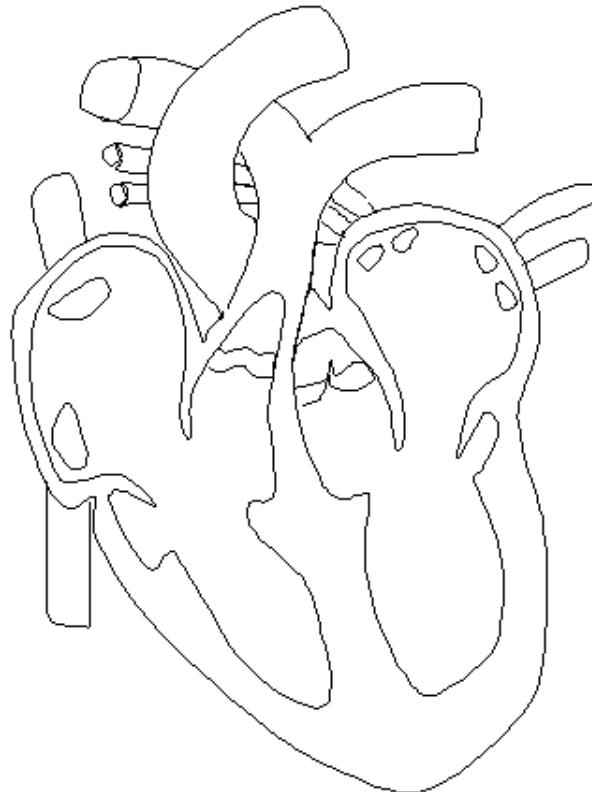
Utilisez l'annexe 3 à légendier (6 exemplaires) pour illustrer cette boucle unidirectionnelle

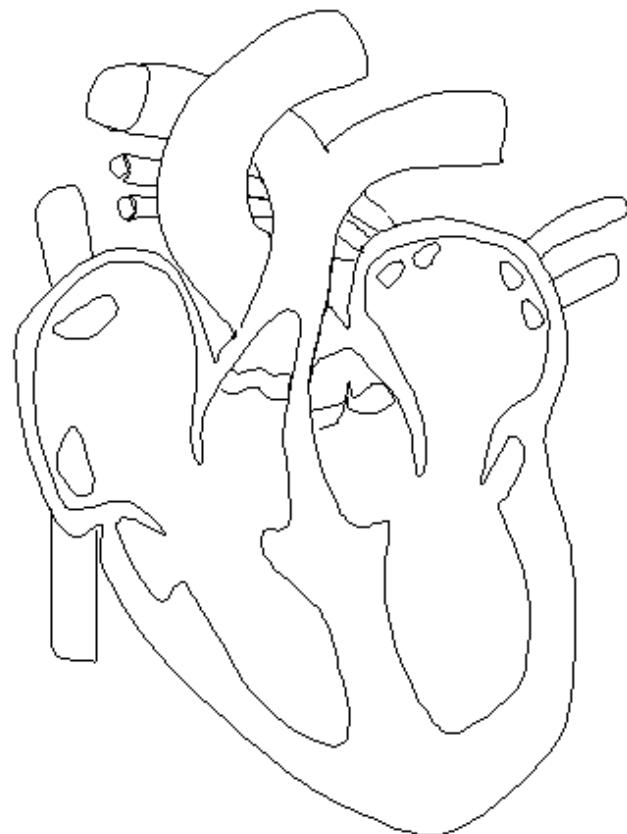
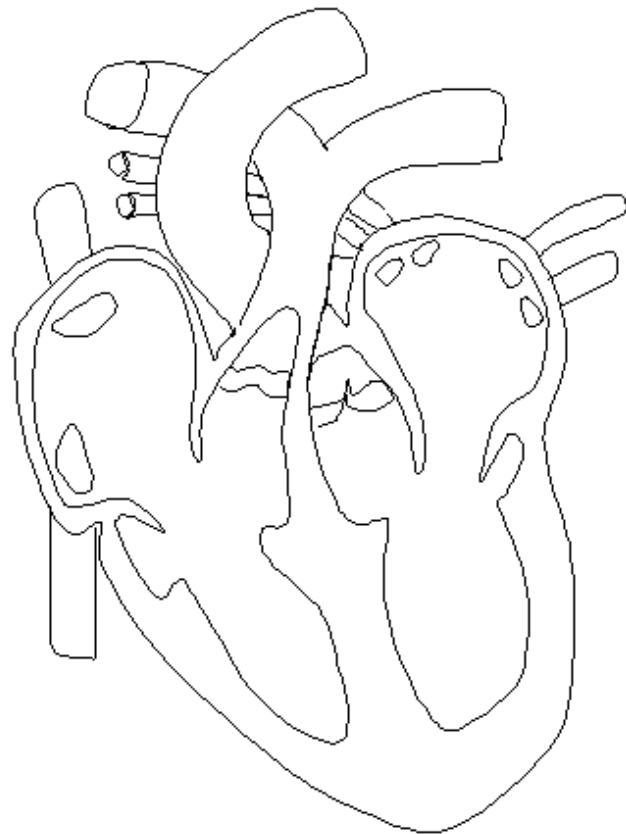


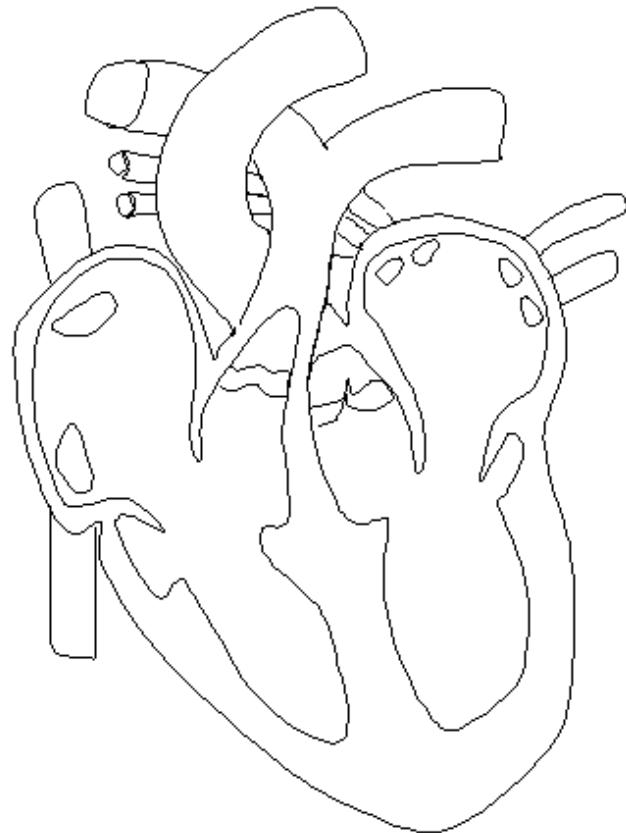
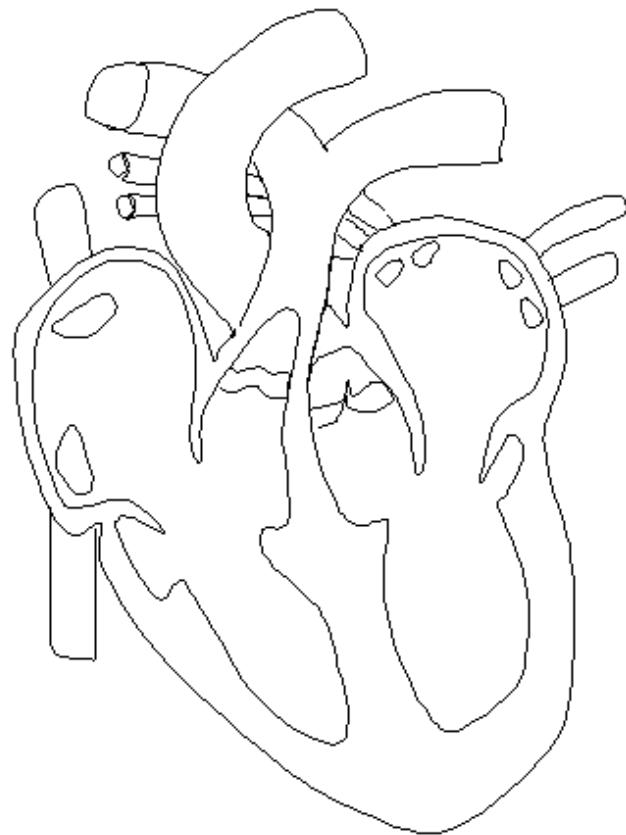
ANNEXE 2 : UNE CIRCULATION CYCLIQUE DE MOINS DE 0,8S

ANNEXE 3 : UNE CIRCULATION UNIDIRECTIONNELLE

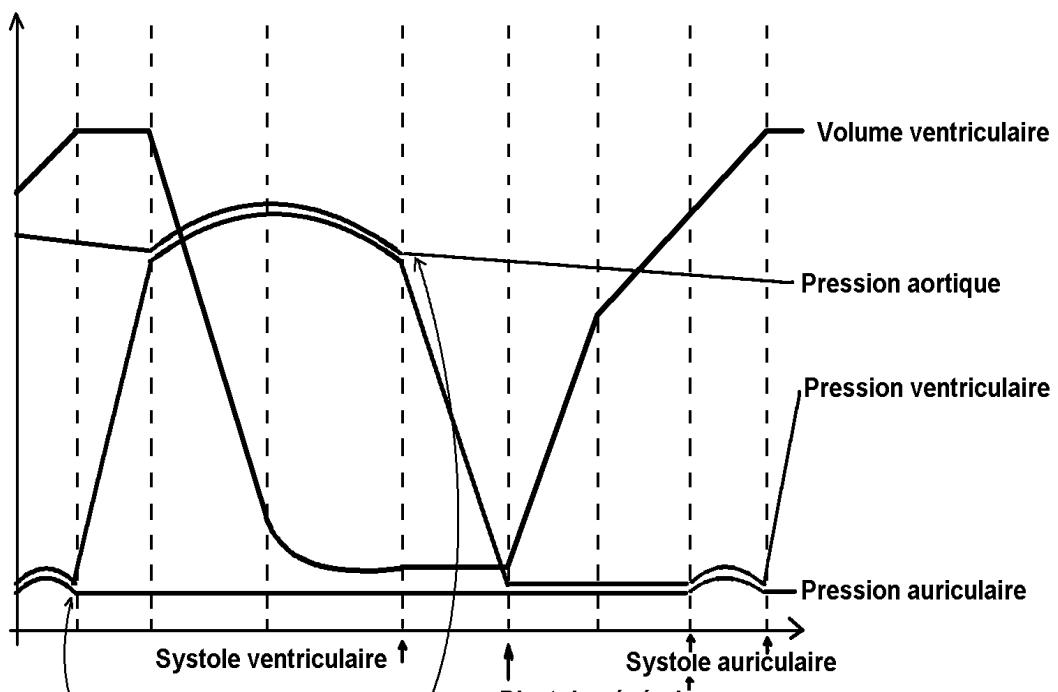
Lédez la figure ci-dessus en y ajoutant le trajet du sang et son caractère hématosé (rouge) ou non (bleu). Justifiez le caractère unidirectionnel



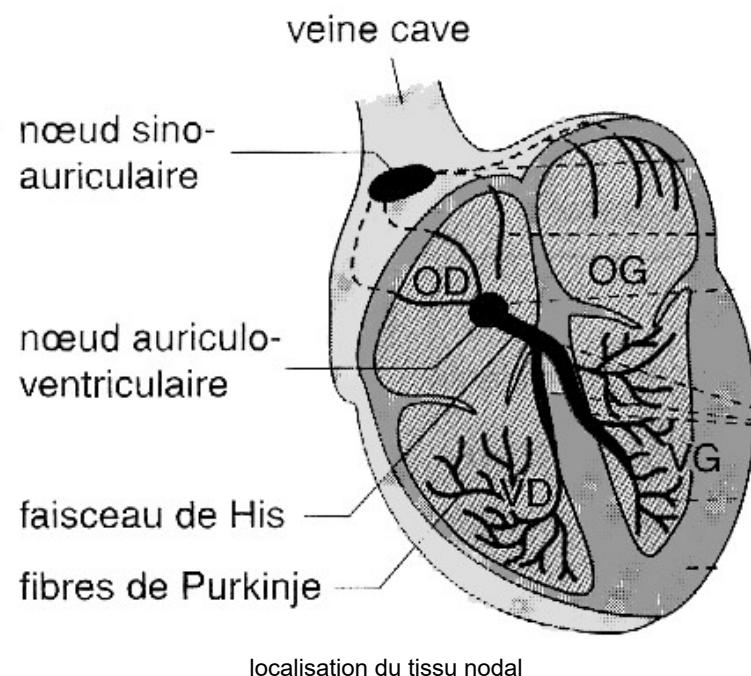




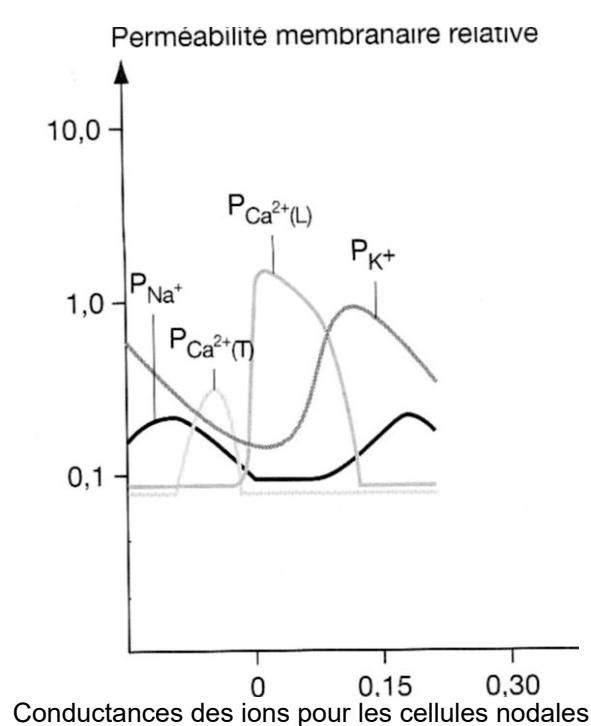
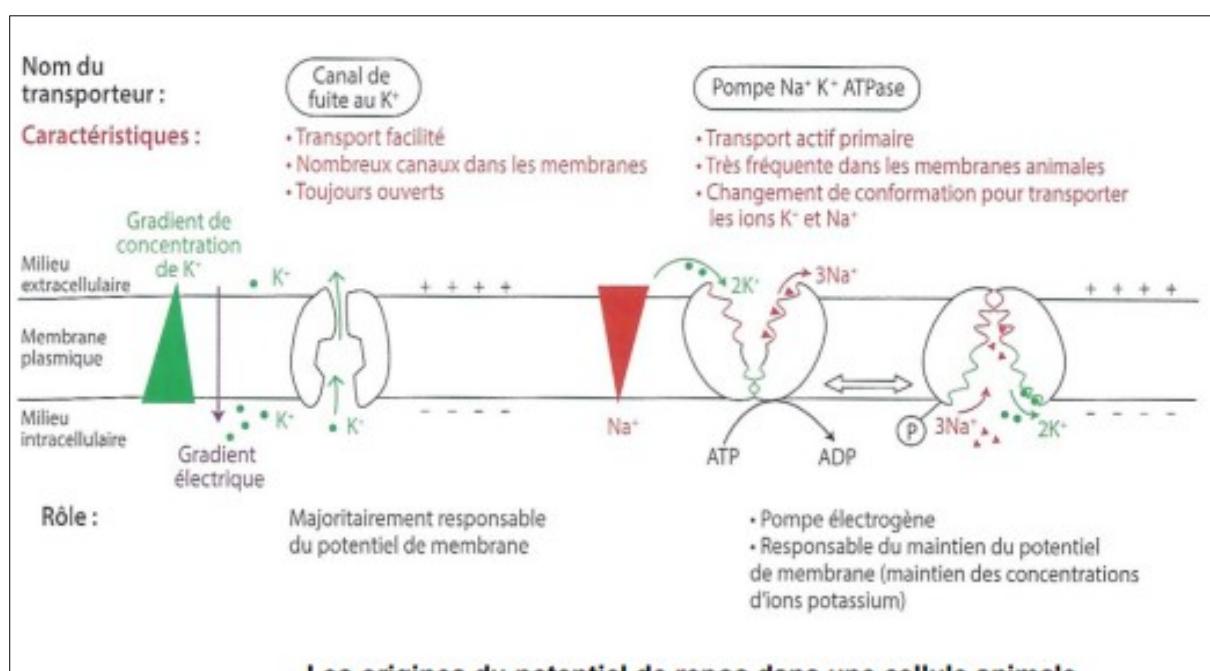
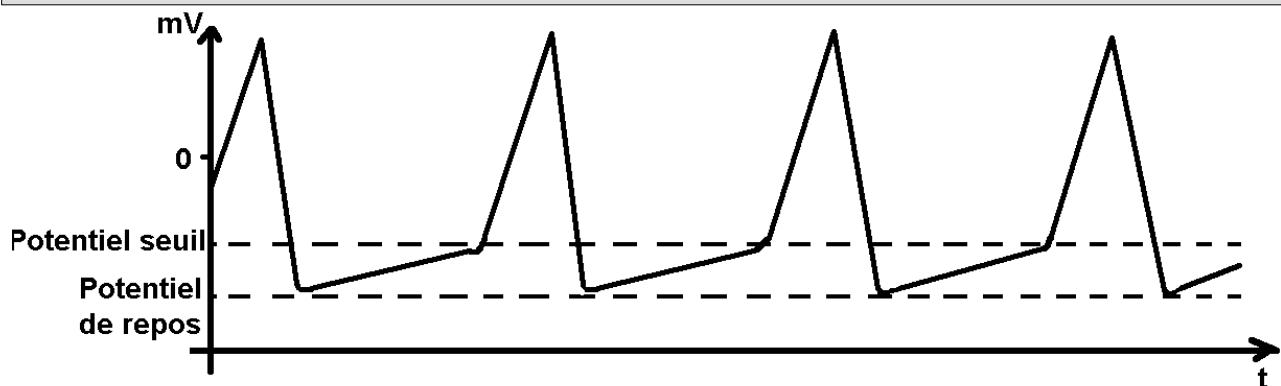
ANNEXE 4 : UNE DOUBLE CIRCULATION ET CARDIOGRAPHIE INTERNE

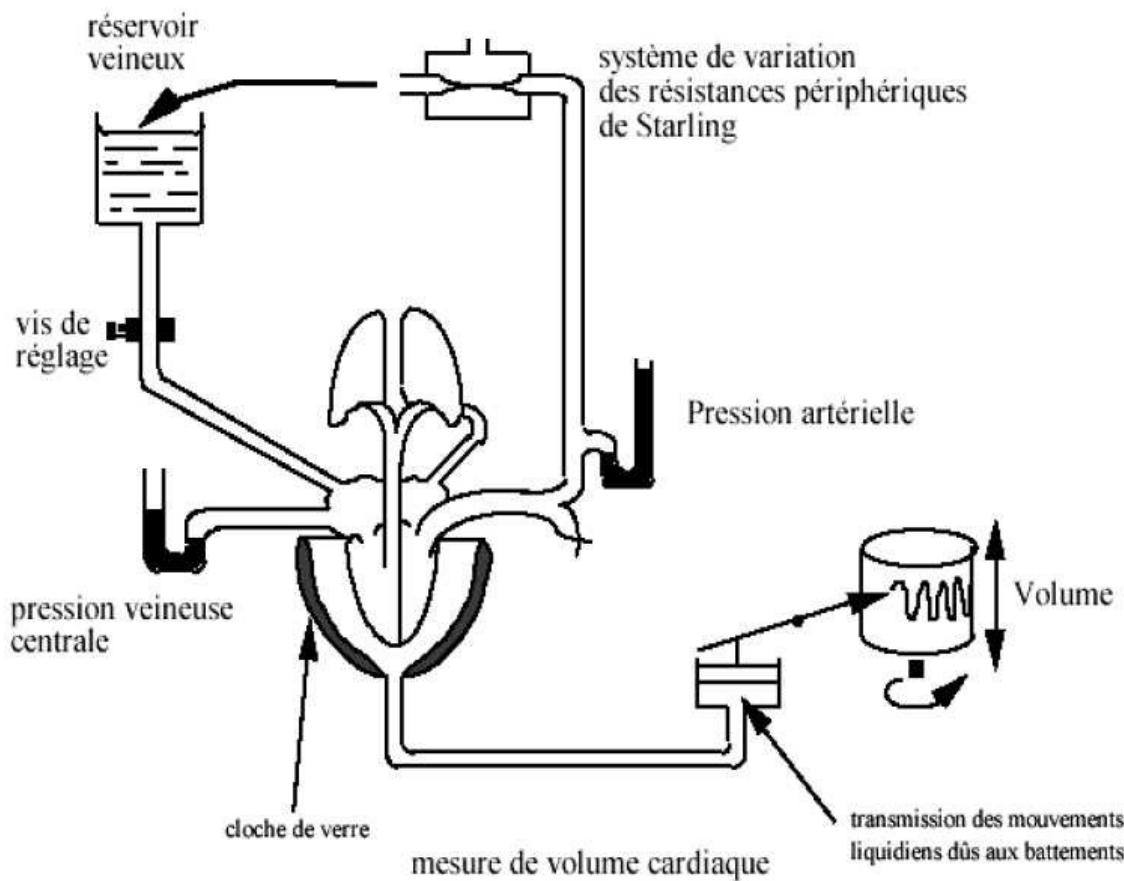


ANNEXE 5 : L'AUTOMATISME CARDIAQUE ET LE TISSU NODAL



ANNEXE 6 : L'AUTOMATISME CARDIAQUE

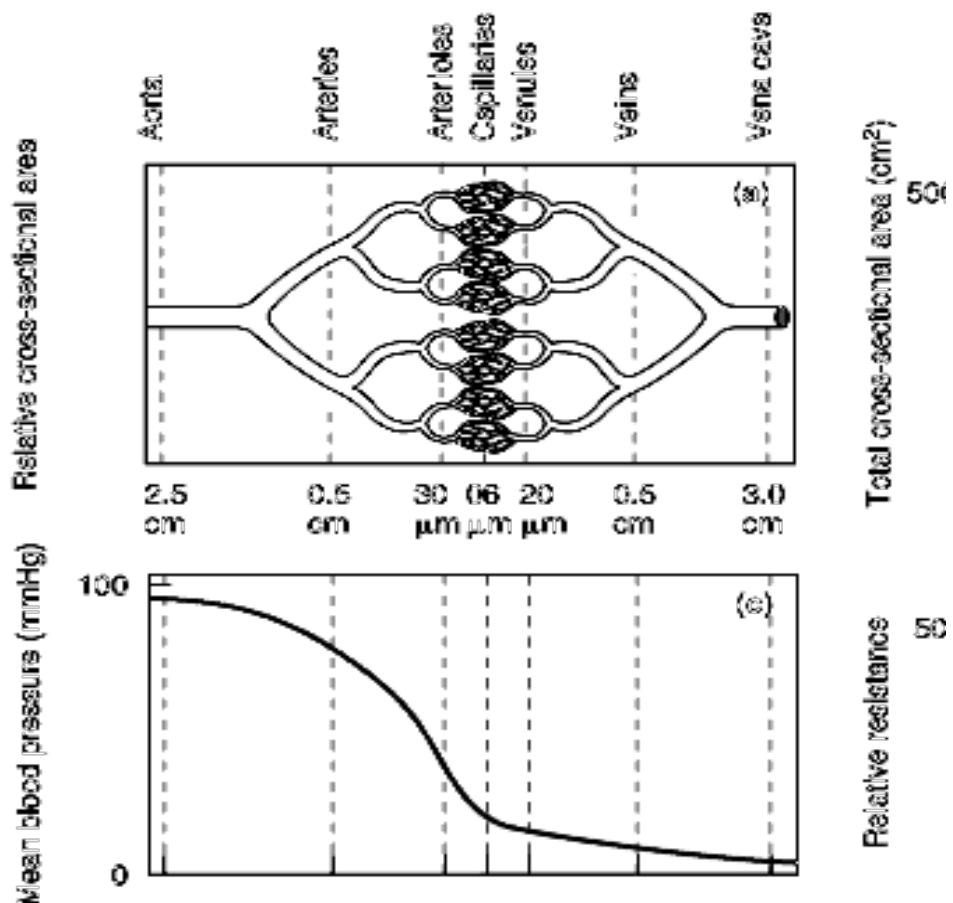


ANNEXE 7 STARLING ET L'ELASTICITE CARDIAQUE**ANNEXE 8 SECTION DES VAISSEAUX ET VITESSE DU SANG**

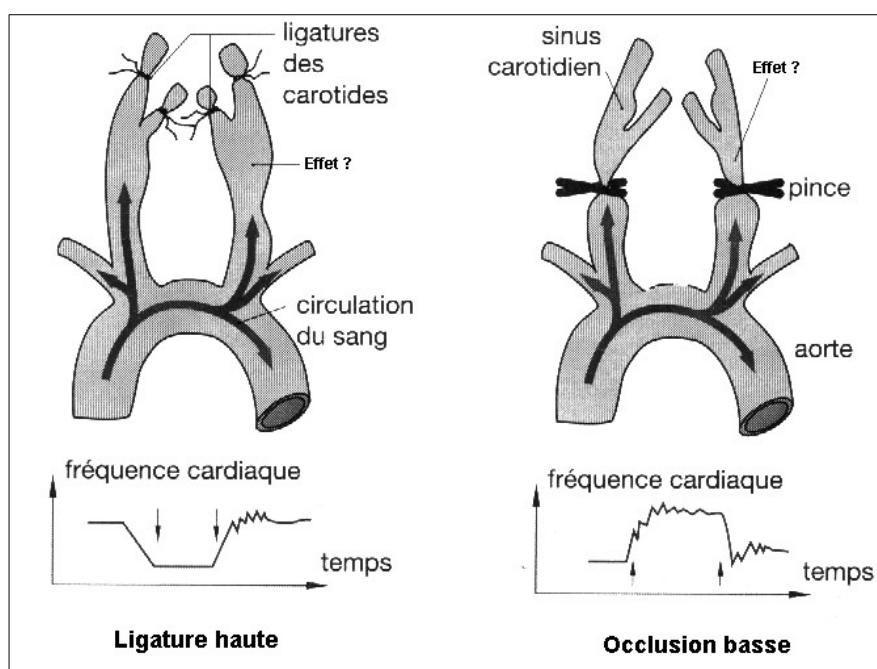
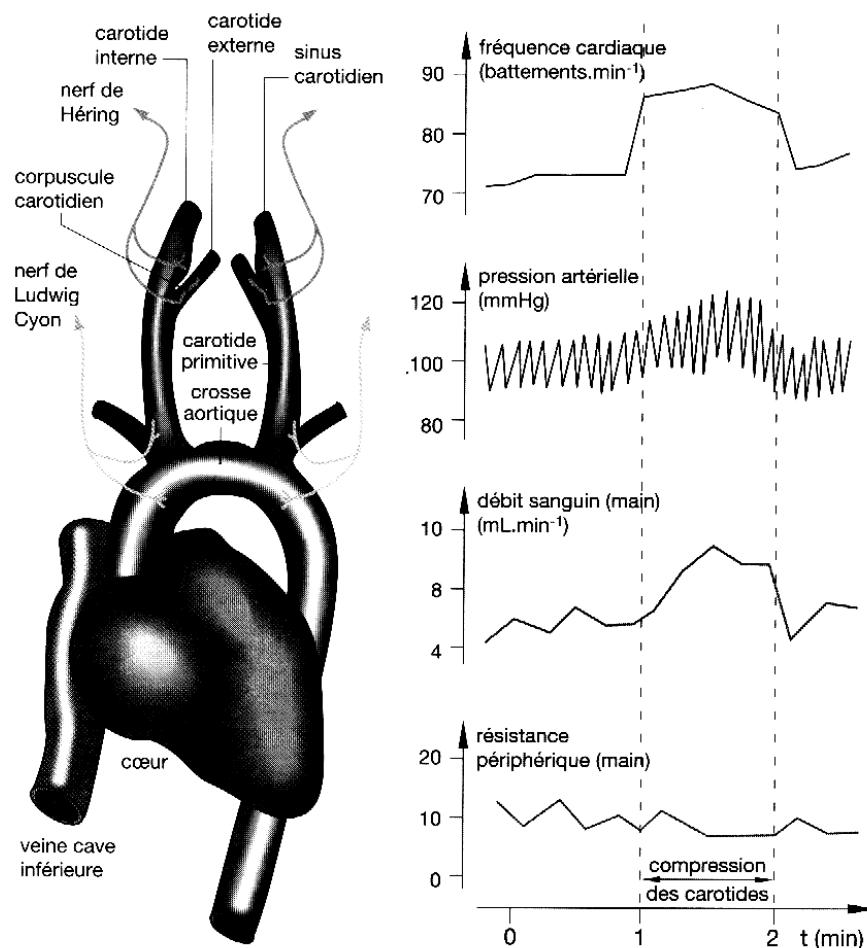
ANNEXE 9 : PARAMETRES PHYSIQUES LE LONG DU RESEAU SANGUIN

**Volume, pression et vitesse du sang
dans les compartiments du système vasculaire de l'homme**
(in Schmidt-Nielsen)

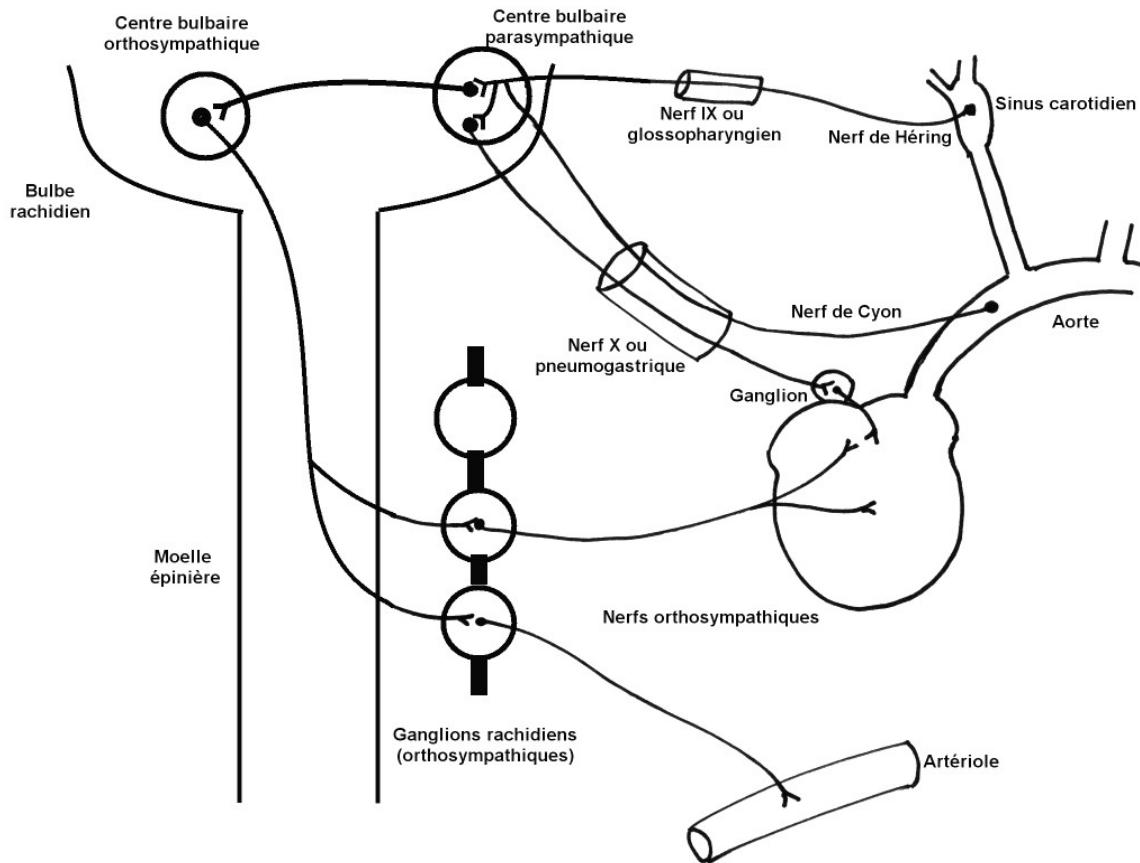
	volume (mL)	pression (kPa)	vitesse (cm/s)
aorte	100	13	40
artères	300	5,3 - 13	10 - 40
artéries	50	4 - 5,3	0,1 - 10
capillaires	250	1,6 - 4	<0,1
veinules	300	1,3 - 1,6	<0,3
veines	2200	0,7 - 1,3	0,3 - 5
veine cave	300	0,25	5 - 20



ANNEXE 9 PRESSION ARTERIELLE MOYENNE ET BARORECEPTEURS

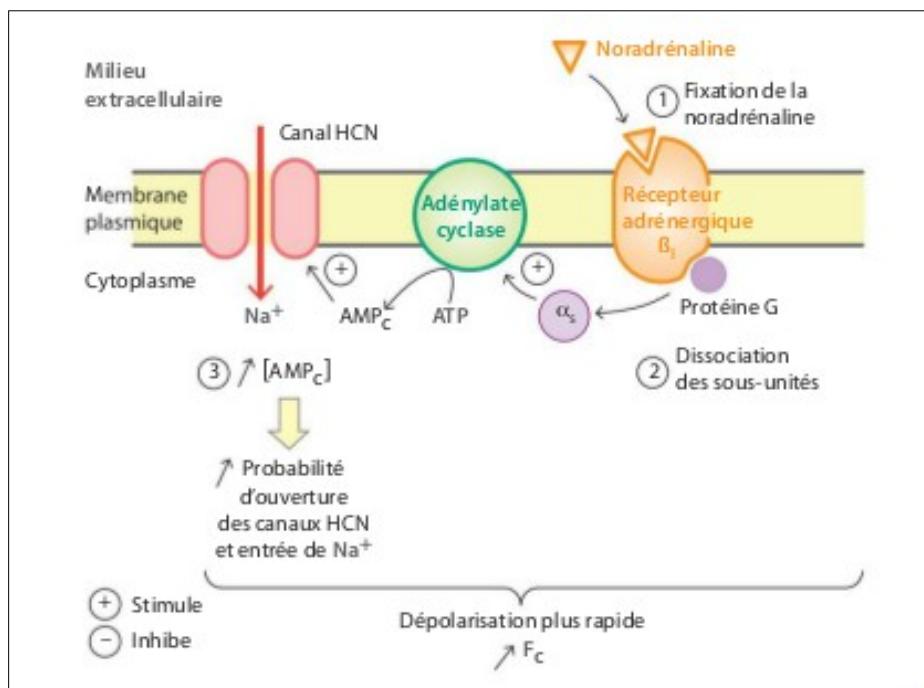
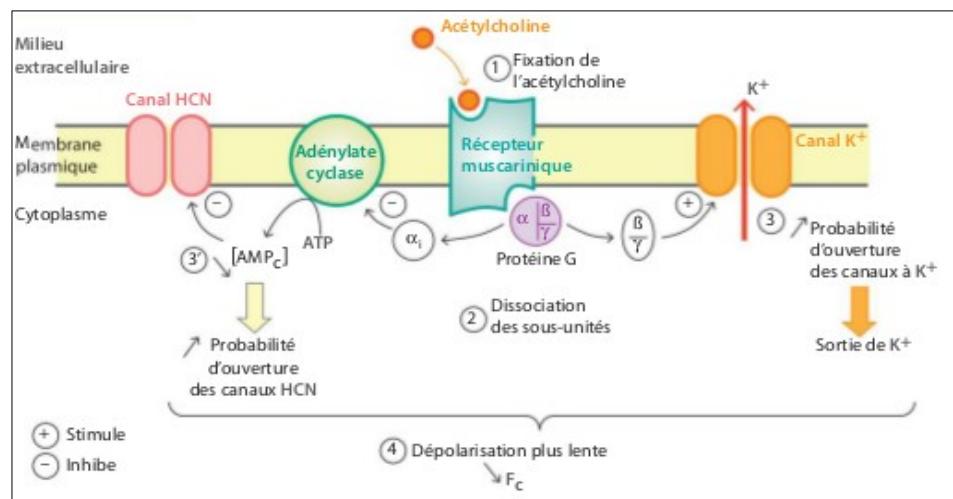
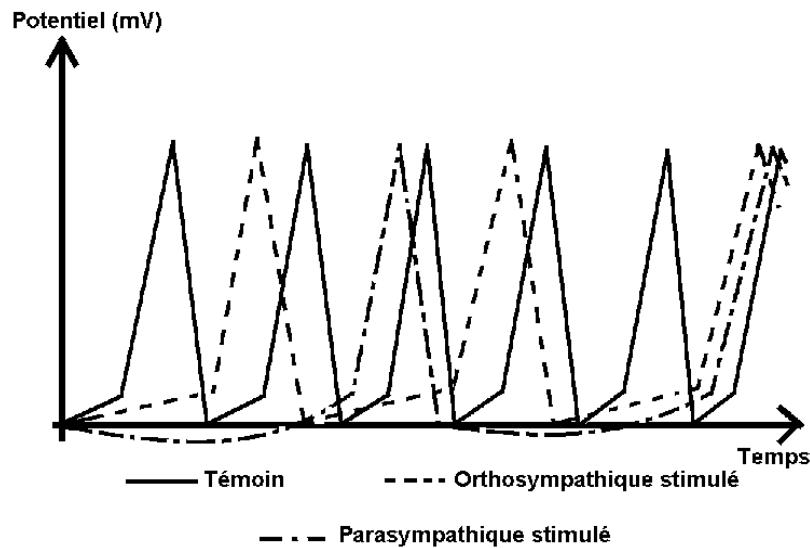


ANNEXE 10 : LE BAROREFLEXE

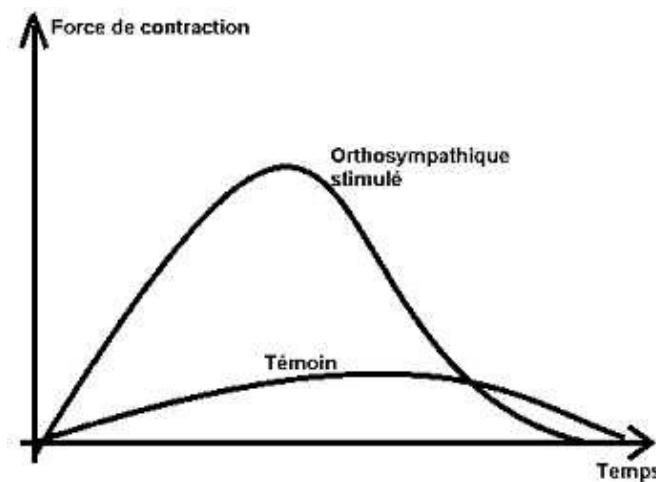


Pression artérielle	Hypotension	Pression normale	Hypertension
Enregistrement des fibres parasympathiques du nerf X			
Enregistrement des fibres sympathiques innervant le cœur			
Enregistrement des fibres sympathiques innervant les artéries périphériques			
Résistance périphérique	↗	→	↘
Fréquence cardiaque	120 battements	70 battements	36 battements

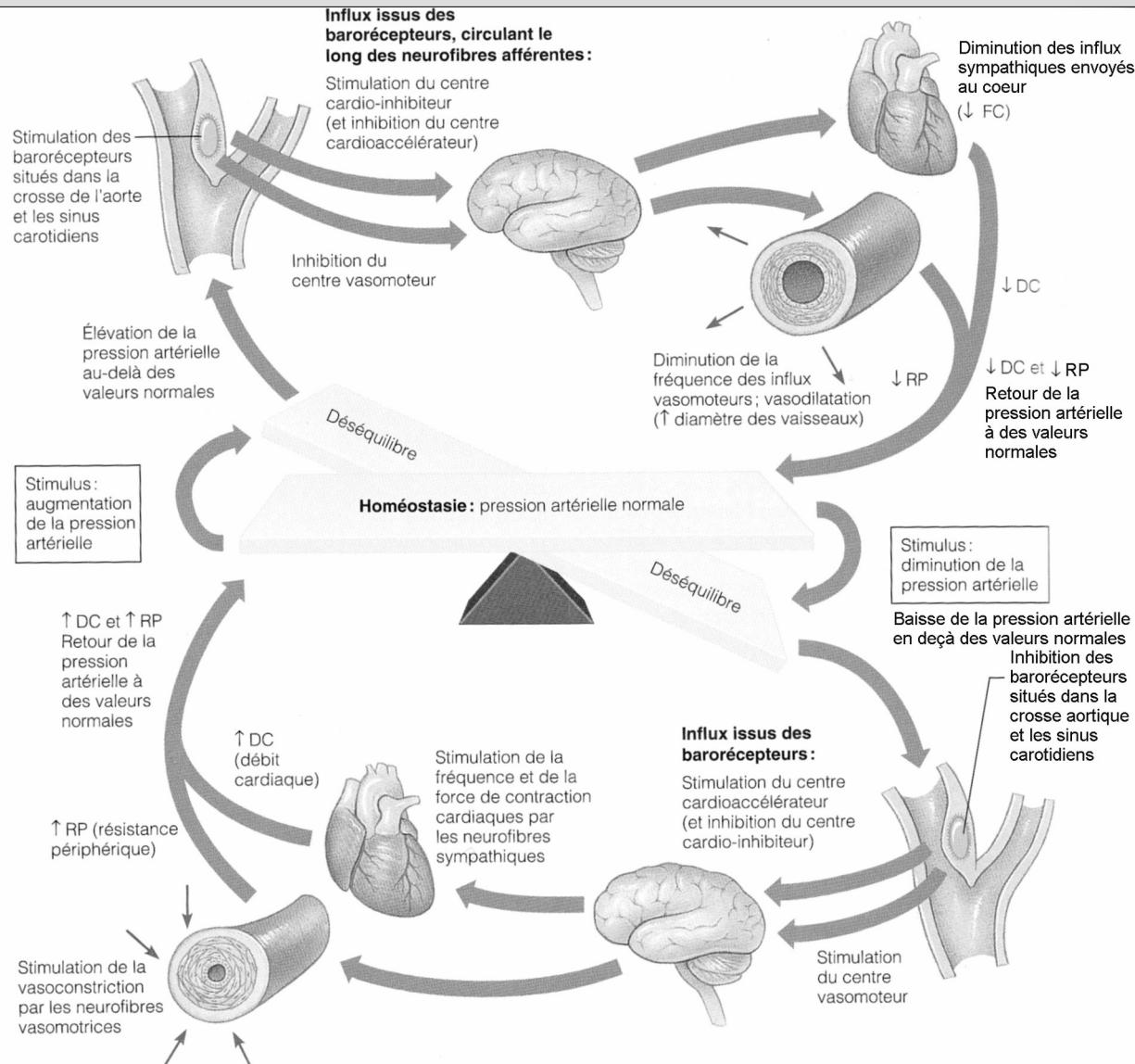
ANNEXE 11 : LES EFFETS SUR LE TISSU NODAL



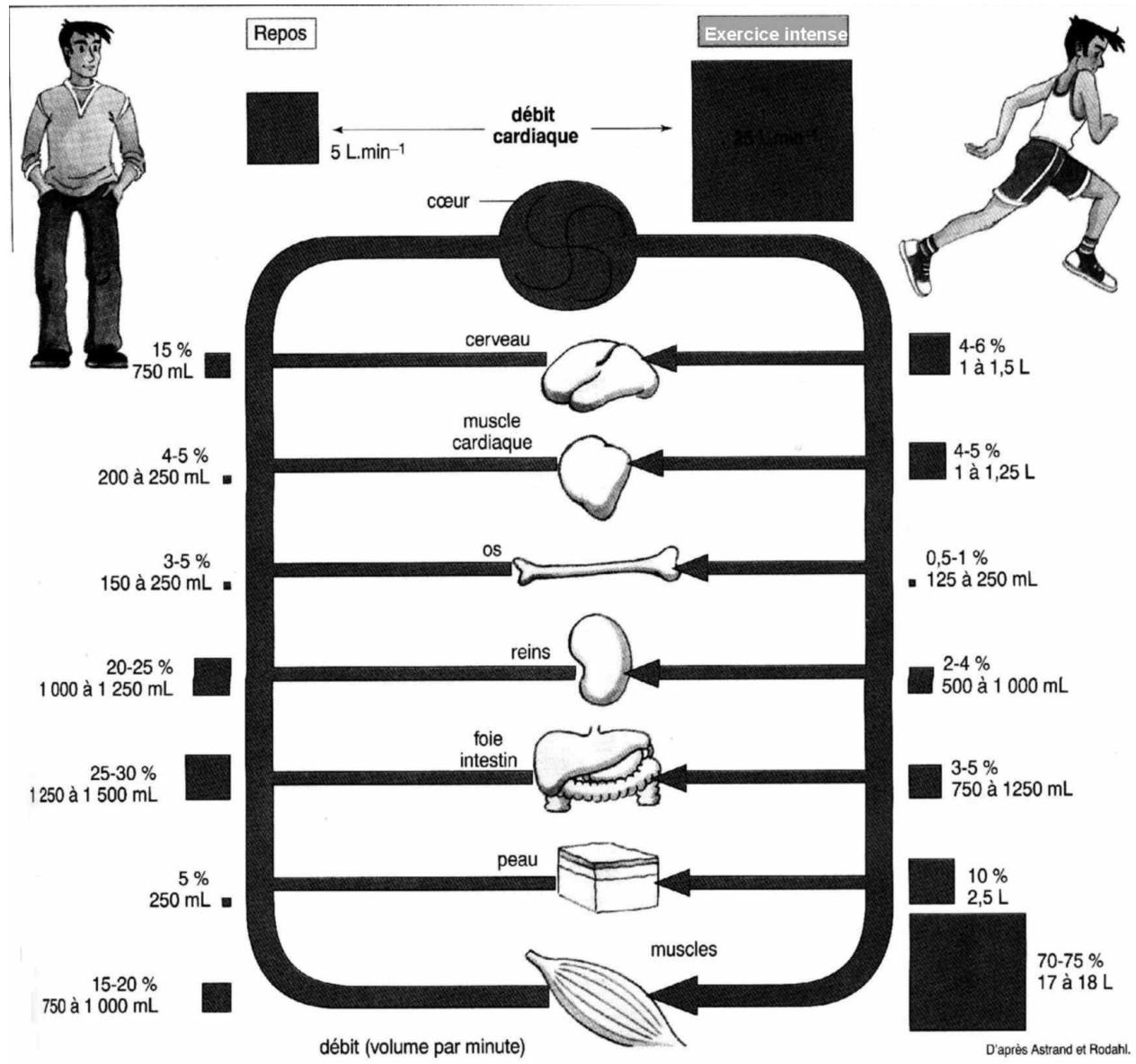
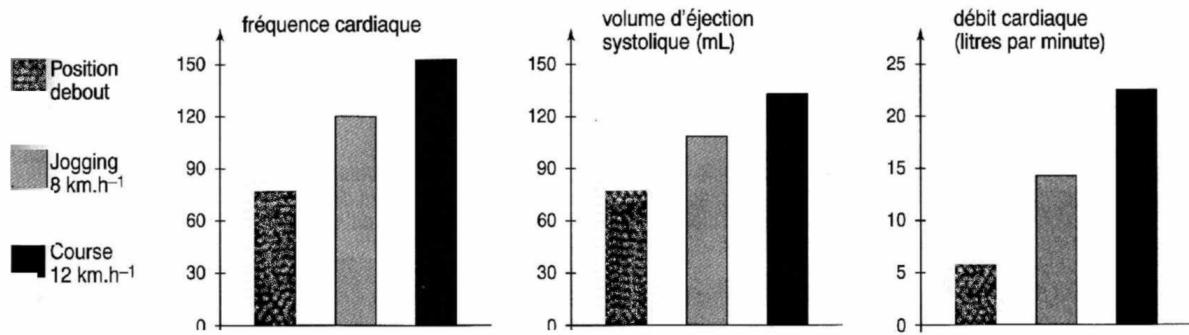
ANNEXE 12 : LA FORCE DE CONTRACTION



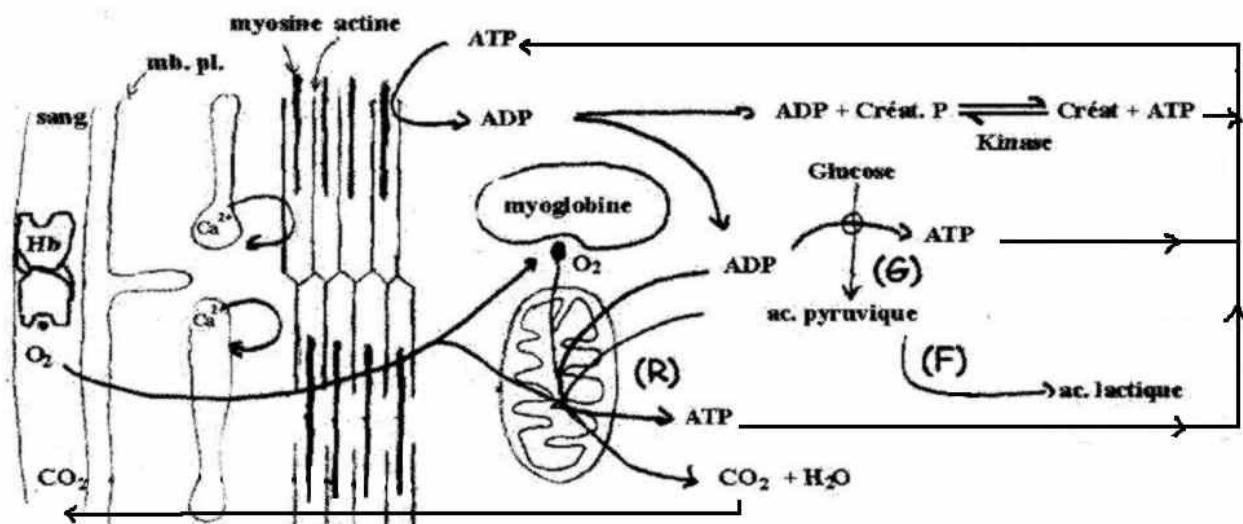
ANNEXE 13 : ACTION GENERALE SUR LE COEUR, LES ARTERIOLES ET SYNTHESE



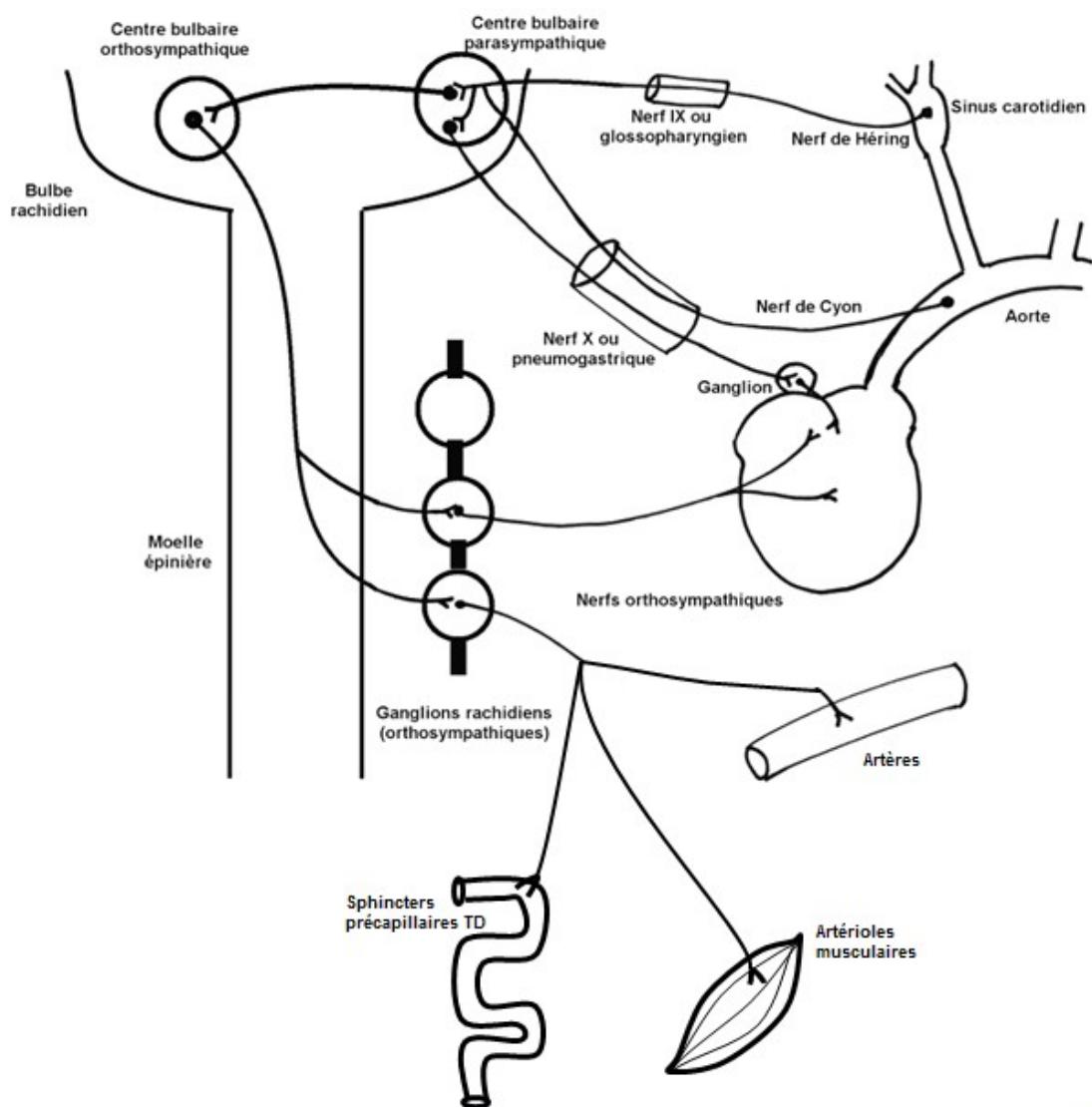
ANNEXE 14 : LE DEBIT SANGUIN AU COURS DE L'EFFORT



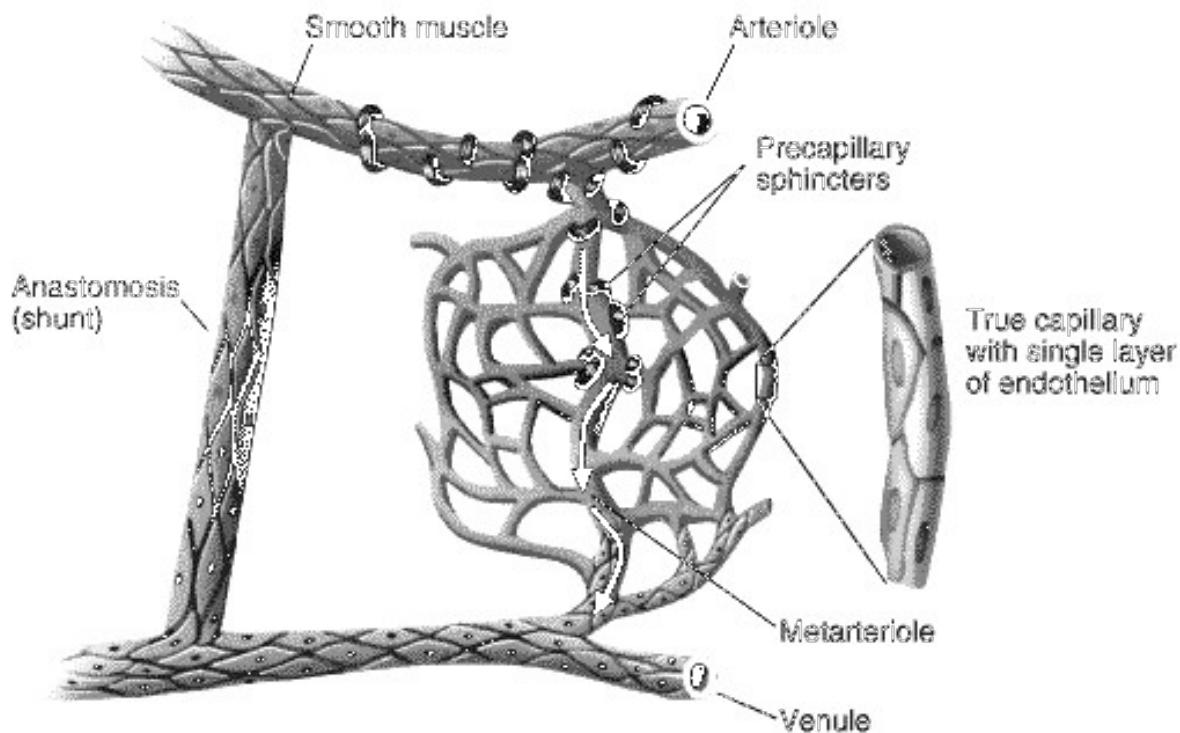
ANNEXE 15 LA DEMANDE ENERGETIQUE MUSCULAIRE



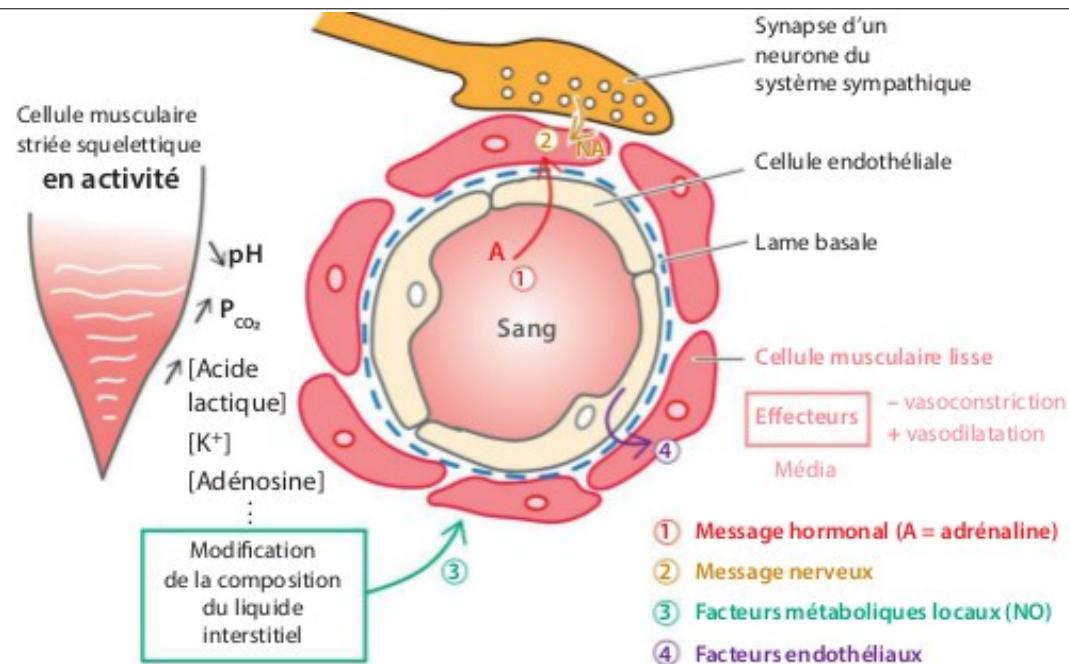
ANNEXE 16 : D'AUTRES EFFECTEURS INTERVIENNENT



ANNEXE 17 : SPHINCTERS PRECAPILLAIRES SHUNT ARTERIO-VEINEUX ET AJUSTEMENT LOCAL DU DEBIT



ANNEXE 18 : LA VASODILATATION LOCALE



ANNEXE 19 : DECALAGE DU POINT DE CONSIGNE ET BILAN

