

## CHAPITRE 5

# LE SYSTÈME CIRCULATOIRE

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, chacune des cellules du corps doit bénéficier d'un apport continu en nutriments et en dioxygène et permettre l'élimination constante du dioxyde de carbone et des déchets de l'activité cellulaire. Le transport de ces substances, nécessaire au maintien de l'homéostasie cellulaire, est assuré par le système circulatoire.

**Le système circulatoire est composé de l'association de deux systèmes :**

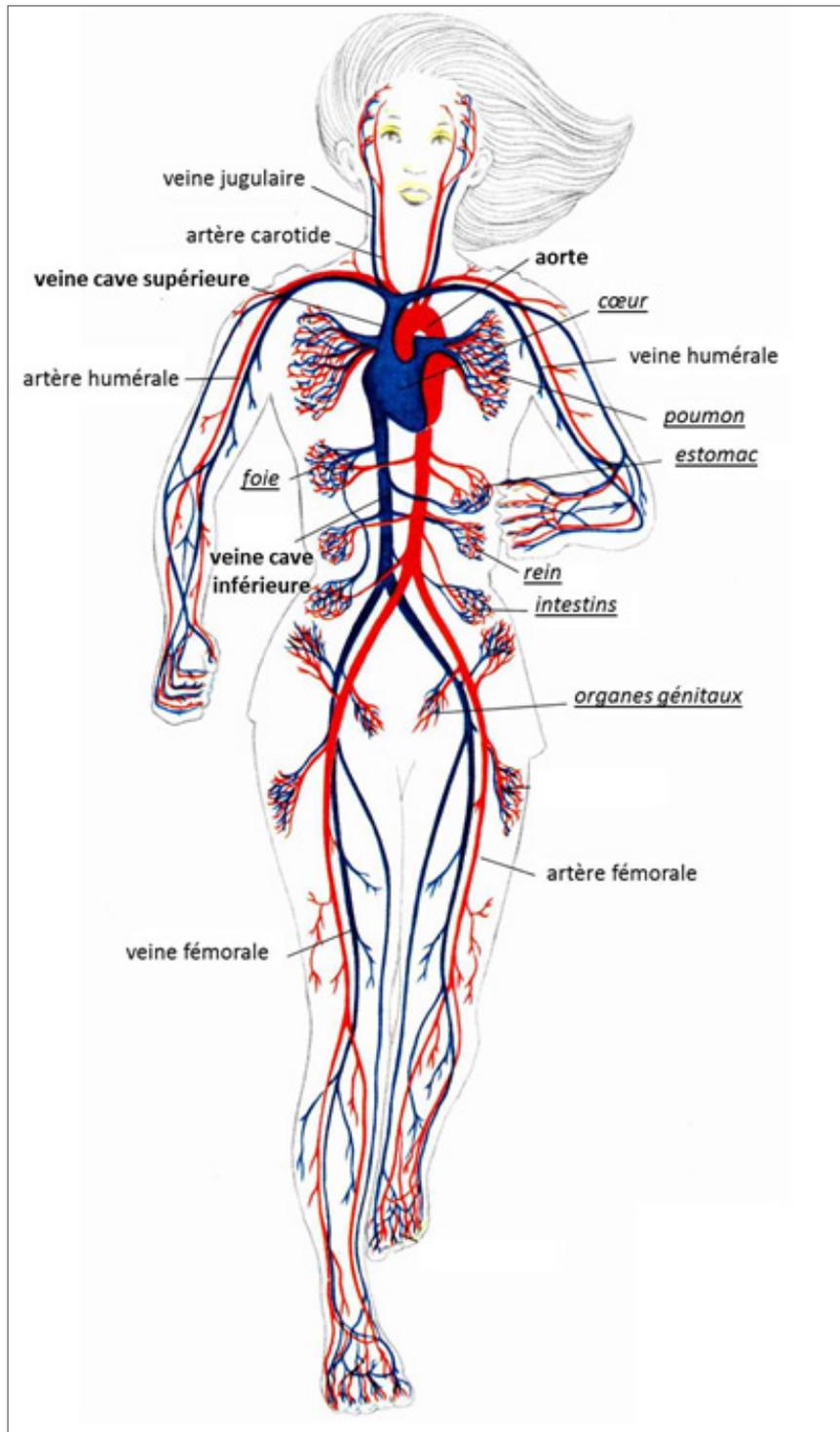
- **Le système cardiovasculaire :** constitué d'un réseau de vaisseaux sanguins et du cœur, jouant le rôle d'une pompe, qui propulse le sang dans tout l'organisme.
- **Le système lymphatique :** composé de vaisseaux et de ganglions lymphatiques mais dépourvus d'organe propulseur, qui drainent la lymphe canalisée.

## LE SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

---

Le système cardiovasculaire est composé d'un réseau de conduits, les vaisseaux sanguins (artères, capillaires et veines), et d'un organe central, le cœur, qui permettent ensemble l'irrigation permanente des tissus et des organes de l'organisme.

Représentation schématique (simplifiée) du système cardiovasculaire



Source : image adaptée de *Le corps humain, fonctionnement et anatomie*, Hachette, 1984.

## DÉFINITION

- Une artère est un vaisseau efférent du cœur, c'est-à-dire contenant le sang circulant du cœur au tissu.
- Une veine est un vaisseau afférent du cœur c'est-à-dire contenant le sang allant des tissus au cœur.
- Un capillaire est un vaisseau sanguin perméable de très petit diamètre, situé entre une artériole (petite artère) et une veinule (petite veine).

**Le cœur est un muscle qui se contracte de manière régulière afin de propulser le sang dans tous les organes.** Il est constitué de deux parties : l'hémicœur droit et l'hémicœur gauche séparés par une cloison.

Pour assurer la circulation du sang dans l'organisme, le cœur est relié à deux circuits séparés :

- **La petite circulation ou circulation pulmonaire :**

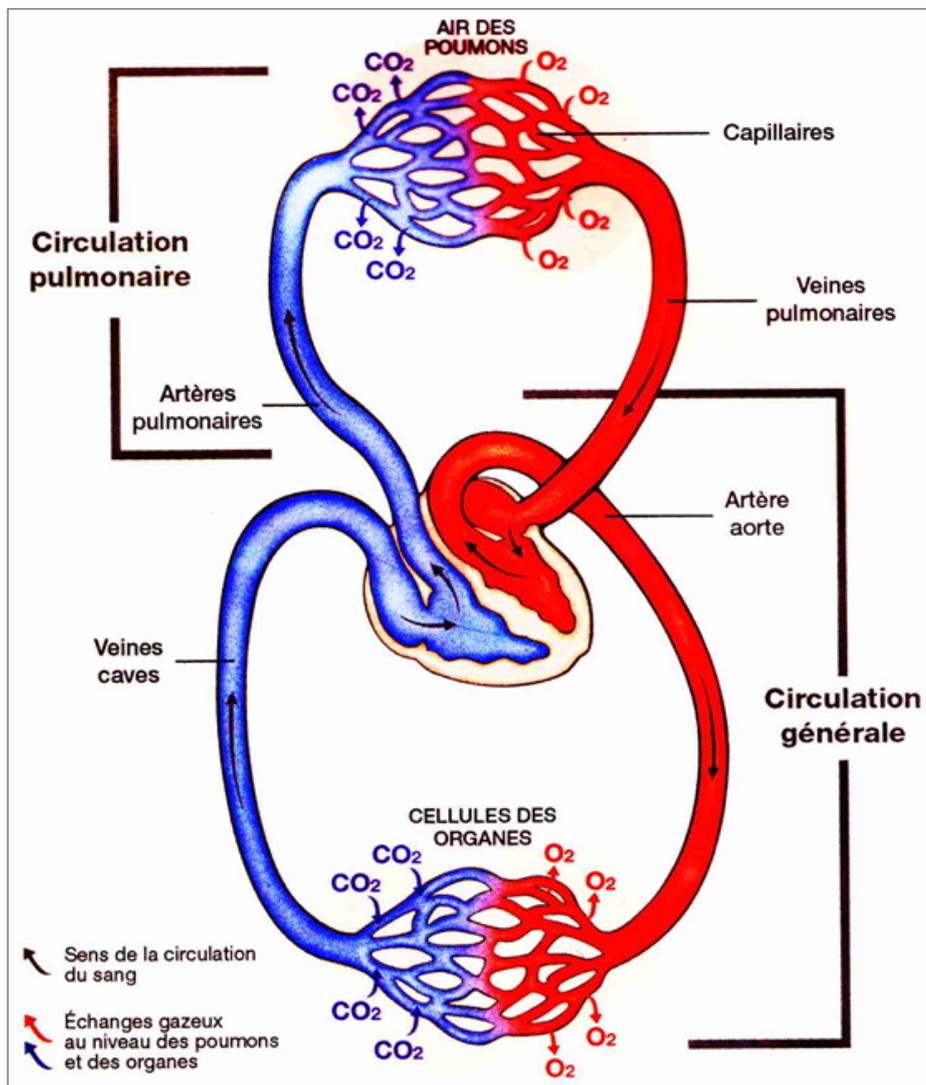
**La circulation pulmonaire est une circulation entre le cœur et les poumons qui assure l'oxygénation du sang.** Celle-ci prend naissance au niveau de l'hémicœur droit. Le sang non hématosé (c'est-à-dire appauvri en dioxygène ( $O_2$ )) est amené du cœur aux poumons par les artères pulmonaires où il est oxygéné et débarrassé du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). Puis ce sang hématosé retourne au cœur (au niveau de l'hémicœur gauche) par les veines pulmonaires.

**À NOTER :** les échanges gazeux qui ont lieu au niveau pulmonaire constituent l'hématose. Ces notions seront développées dans le chapitre sur l'appareil respiratoire (programme 2<sup>e</sup> année).

- **La grande circulation ou circulation générale ou systémique :**

La circulation systémique se fait entre le cœur et tous les autres organes. Celle-ci prend naissance au niveau de l'hémicœur gauche. Le sang hématosé quitte le cœur par une grosse artère, l'aorte. L'aorte se ramifie en artères et artérioles transportant le sang aux tissus. Après les échanges au niveau des capillaires, le réseau veineux ramènent ensuite le sang appauvri en  $O_2$  et enrichi en  $CO_2$  jusqu'à l'hémicœur droit auquel il s'abouche via les veines caves (inférieure et supérieure).

Modèle simplifié de la double circulation sanguine



Source : image adaptée de Sciences de la Vie et de la Terre, 2<sup>de</sup>, Hatier, 2000.

# 1 ANATOMIE ET HISTOLOGIE DU SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

## Anatomie et histologie du cœur

### LOCALISATION ET MORPHOLOGIE GÉNÉRALE DU CŒUR

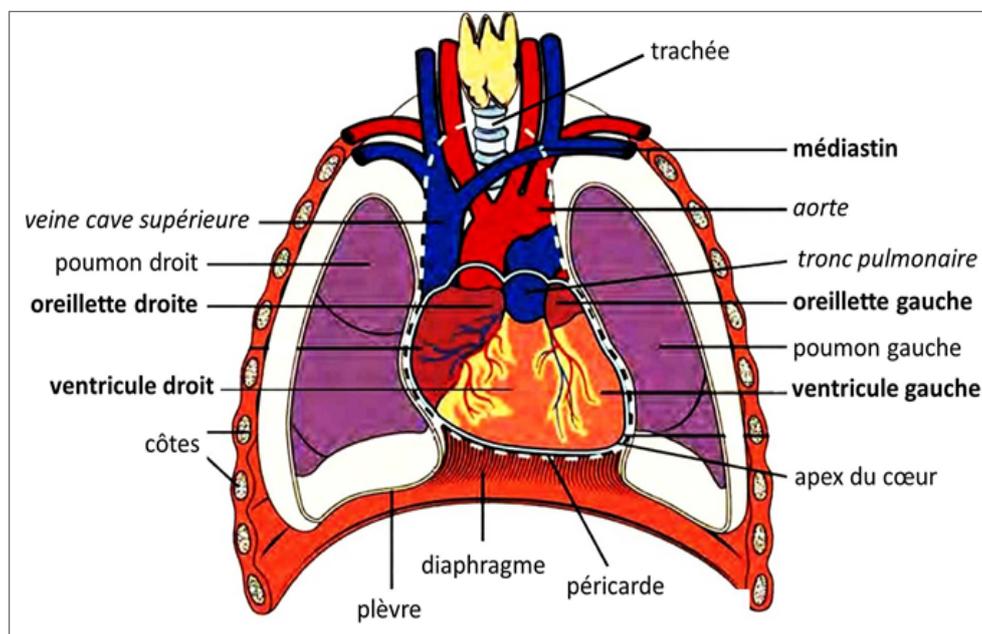
Le cœur est situé dans la cavité thoracique au sein du médiastin, région intermédiaire entre les deux poumons, en arrière du sternum et au-dessus du diaphragme.

C'est une masse rouge sombre, ferme, en forme de pyramide dont la pointe (appelée l'apex) est orientée en bas, en avant et à gauche.

**C'est un organe musculaire creux** qui pèse entre 250-300g chez l'adulte et mesure de 12 à 14cm de long, 8cm de large pour une épaisseur de 6cm.

Il présente deux parties indépendantes (appelées hémicœurs (droit et gauche)), chacune formée de deux cavités : une oreillette et un ventricule, séparés de manière imperméable par une cloison épaisse appelée septum cardiaque. Au final, le cœur est constitué de quatre cavités : deux oreillettes (droite et gauche) et deux ventricules (droit et gauche).

### Localisation et morphologie générale du cœur



Source : Image adaptée de Anatomy and Physiology, OpenStaxCollege, 2013.

#### • Les oreillettes

Les oreillettes occupent la partie supérieure des deux hémicœurs. On parle ainsi d'oreillette droite et d'oreillette gauche. Ce sont de petites cavités, flasques et aplaties dont la paroi est mince et extensible.

Les deux oreillettes sont séparées par le septum cardiaque, appelée ici le septum inter-auriculaire (ou inter-atrial). Au niveau de ce septum, on distingue une légère dépression, la fosse ovale, qui constitue un vestige du foramen ovale. Le foramen ovale, fermé à l'état normal chez l'adulte, permettait le passage du sang directement de l'oreillette droite vers l'oreillette gauche lors de la vie intra-utérine.

**Le rôle des oreillettes est de recueillir le sang en provenance de l'ensemble du corps (oreillette droite) ou des poumons (oreillette gauche) et de le transférer aux ventricules.**

Les oreillettes sont séparées de leurs ventricules respectifs par un orifice (l'orifice auriculo-ventriculaire) où s'insère une valve ou valvule appelée valvule auriculo-ventriculaire (ou atrioventriculaire).

**Les valvules sont des sortes de petits clapets qui ont la particularité de ne laisser passer le sang que dans un seul sens, de l'oreillette vers le ventricule, sans reflux possible.** Les valvules auriculo-ventriculaires ont des noms différents selon que l'on se situe dans l'hémi-cœur droit ou l'hémi-cœur gauche.

### **L'oreillette droite**

L'oreillette droite reçoit le sang pauvre en O<sub>2</sub> de l'ensemble du corps par deux grosses veines :

- la veine cave supérieure :

Celle-ci collecte le sang de la moitié supérieure du corps, c'est-à-dire en provenance de la tête, du cou, des membres supérieurs et de la paroi thoracique.

- la veine cave inférieure :

Celle-ci collecte le sang de la moitié inférieure du corps, c'est-à-dire en provenance du tronc, des organes intraabdominaux et des membres inférieurs.

La valvule auriculo-ventriculaire droite est formée de trois membranes dites « en nid d'hirondelle ». Elle est appelée valvule tricuspide.

### **L'oreillette gauche**

L'oreillette gauche reçoit le sang oxygéné en provenance des poumons par l'intermédiaire de quatre veines pulmonaires.

La valvule auriculo-ventriculaire gauche est formée de deux feuillets et est appelée valvule bicuspidale ou valvule mitrale.

## **• Les ventricules**

Les ventricules occupent la partie inférieure des deux hémicoeurs. On parle ainsi de ventricule droit et de ventricule gauche. Ce sont de volumineuses cavités, charnues, asymétriques et séparées par un sillon. Ces cavités présentent la particularité de posséder des parois épaisses et musclées.

Les deux ventricules sont séparés par le septum cardiaque appelé à ce niveau le septum interventriculaire.

Les ventricules reçoivent le sang en provenance des oreillettes via les valvules auriculo-ventriculaires. Celles-ci sont d'ailleurs reliées à la paroi du ventricule par de fines cordelettes tendineuses (riches en fibres de collagène) qui s'insèrent sur d'épaisses structures musculaires (appelées piliers ou muscles papillaires) faisant saillies dans la lumière des ventricules.

Les ventricules expulsent ensuite le sang dans les deux plus grosses artères de l'organisme (l'aorte et le tronc pulmonaire) par l'intermédiaire d'autres valvules

appelées valvules sigmoïdes (du fait de leur forme en S). De manière comparable aux valvules auriculo-ventriculaire, **les valvules sigmoïdes ne permettent le passage du sang que dans un seul sens, depuis les ventricules vers les artères.** Elles imposent ainsi, au même titre que les valvules auriculo-ventriculaires, un sens unique de circulation du sang dans le système cardio-vasculaire. Les valvules sigmoïdes ont des noms différents selon que l'on se situe dans l'hémi-cœur droit ou l'hémi-cœur gauche.

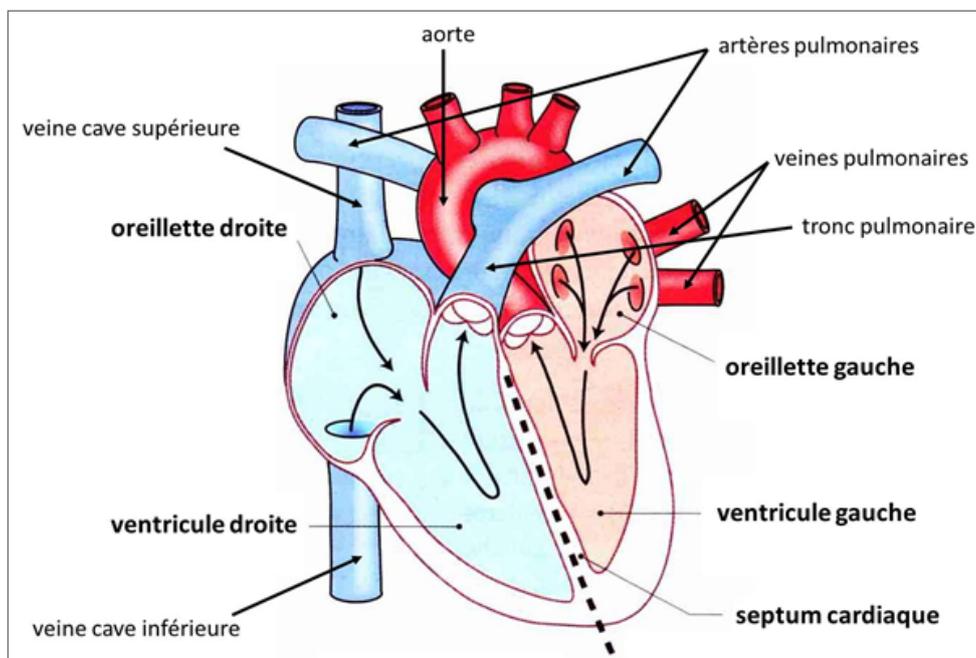
### Le ventricule gauche

Le ventricule gauche reçoit du sang oxygéné depuis l'oreillette gauche. La musculature de sa paroi est la plus épaisse et la plus puissante de tout le cœur. Il permet d'expulser le sang dans l'aorte à travers la valvule sigmoïde gauche appelée valvule aortique.

### Le ventricule droit

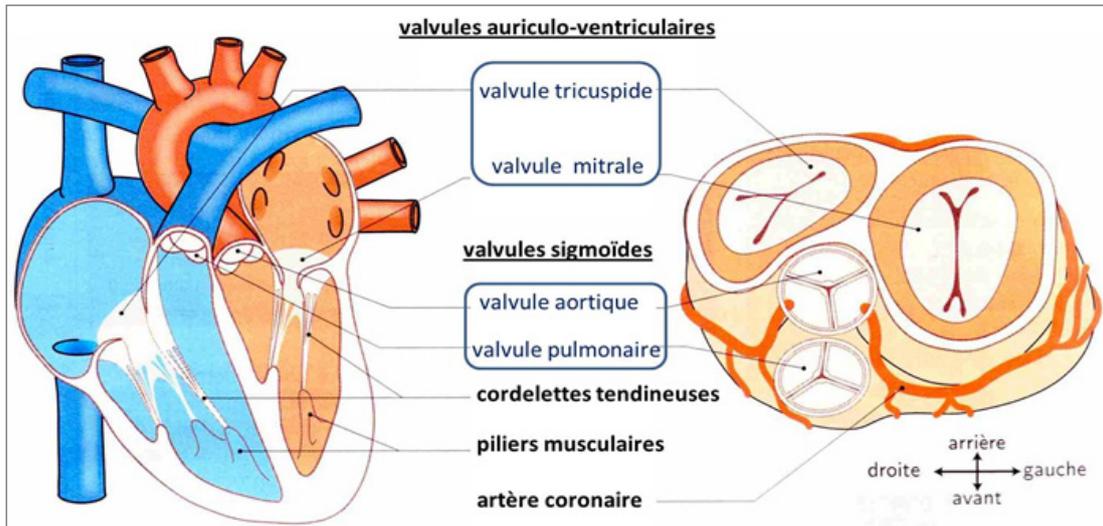
Le ventricule droit a la forme d'une pyramide renversée oblique. Il reçoit le sang non oxygéné depuis l'oreillette droite. Il transfère ensuite le sang en direction des poumons via la valvule sigmoïde droite appelée valvule pulmonaire. Le sang quitte ainsi le cœur par une structure nommée le tronc pulmonaire qui se divise rapidement en artères pulmonaires droites et gauches, pénétrant chacune dans un poumon.

## Coupe schématique du cœur et circulation dans les hémi-cœurs droit et gauche



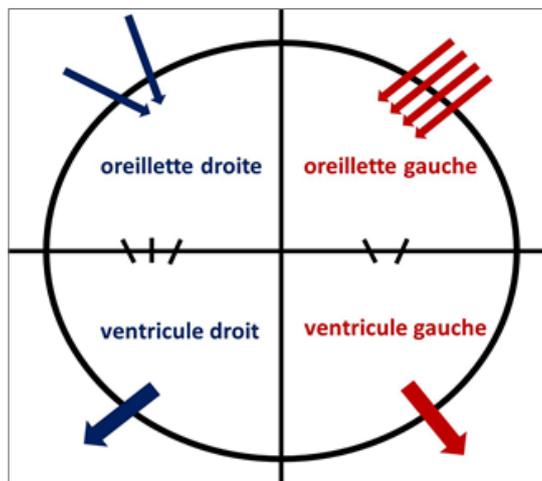
Source : image adaptée de Biologie et physiopathologie humaines, T<sup>em</sup> ST2S, Nathan, 2008.

### Coupe schématique du cœur montrant les cavités et les valvules cardiaques

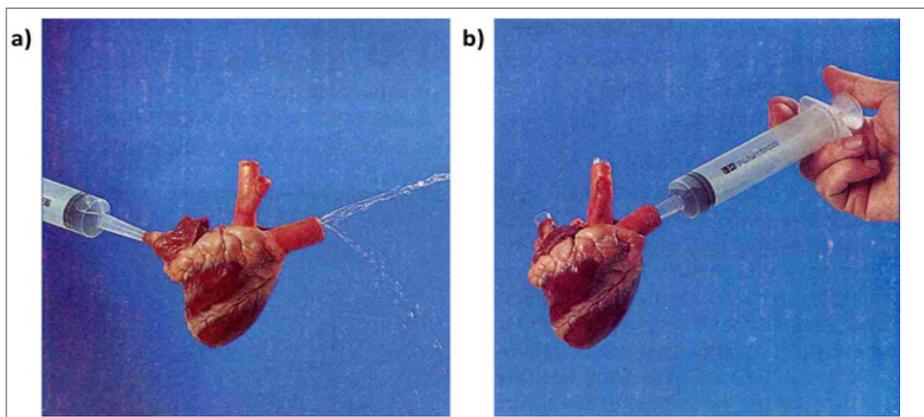


Source : image adaptée de Biologie et physiopathologie humaines, Term ST2S, Nathan, 2008.

### Représentation schématique du cœur



### Expérience de circulation d'eau à l'intérieur du cœur



Cette expérience est réalisée sur un cœur d'agneau dont l'organisation est comparable à celle d'un cœur humain. En a), on injecte de l'eau dans la veine cave et on observe la sortie de l'eau au niveau de l'artère pulmonaire. En b), on injecte de l'eau dans l'artère pulmonaire et on remarque que l'eau ne reflue pas par la veine cave, mettant en évidence, le caractère unidirectionnel de la circulation du sang dans le cœur.

## HISTOLOGIE DU CŒUR

La paroi du cœur est composée de trois tuniques superposées de l'extérieur vers l'intérieur :

- l'épicarde (qui fait partie intégrante du péricarde)
- le myocarde
- l'endocarde

**Ces 3 tuniques sont richement vascularisées.**

### • Le péricarde

**Le péricarde est le sac fibro-membraneux qui entoure le cœur.** Il est constitué de deux parties :

- vers l'extérieur : le péricarde fibreux
- vers l'intérieur : le péricarde séreux

- Le péricarde fibreux :

**Le péricarde fibreux est composé d'un tissu conjonctif très résistant qui a pour fonction de protéger le cœur et de le maintenir en place dans la cavité thoracique.** Pour cela, le péricarde fibreux est fixé en bas au diaphragme et sur les côtés aux plèvres séreuses (qui entourent les poumons).

- Le péricarde séreux :

Le péricarde séreux est lui-même composé de deux feuillets :

- le feuillet pariétal (vers l'extérieur), qui tapisse la face interne du péricarde fibreux.
- le feuillet viscéral (vers l'intérieur), également appelé épicarde, est la tunique externe du cœur, en contact étroit avec le myocarde.

**Les deux feuillets du péricarde séreux ne sont pas accolés et délimitent une cavité virtuelle fermée appelée la cavité péricardique.** Dans la lumière de cette cavité, les deux feuillets sécrètent une petite quantité d'un liquide clair : le liquide péricardique. Ce liquide joue un rôle capital dans le fonctionnement du cœur. En effet, il sert de lubrifiant, réduisant au minimum les frottements du cœur avec les structures voisines. Il facilite ainsi la succession de contractions et distensions du muscle cardiaque.

## • Le myocarde

**Le myocarde est la couche musculaire du cœur, doté de la faculté de se contracter.** Il correspond à la tunique moyenne et est constitué de deux types de tissus :

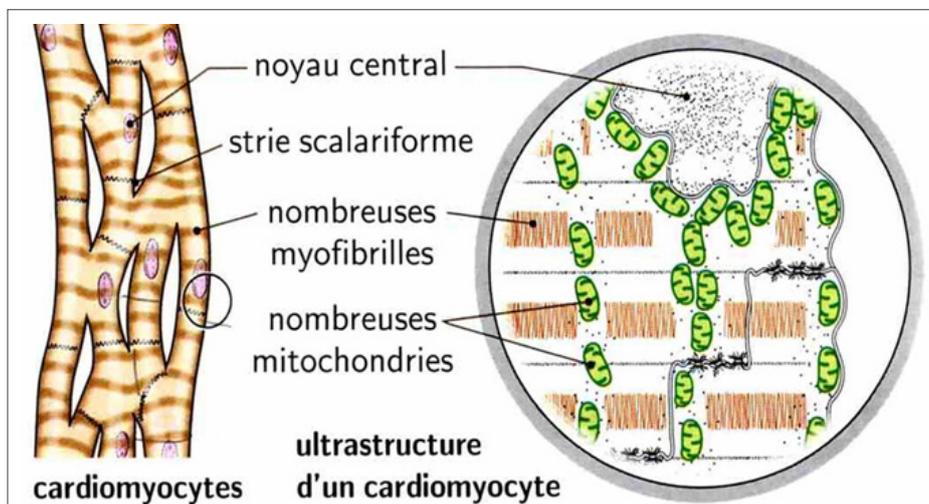
- le myocarde proprement dit, **formé de cellules musculaires excitables et contractiles.**
- le système cardionecteur, **capable de générer rythmiquement et automatiquement l'excitation cardiaque, responsable de l'activité contractile du myocarde proprement dit.**

### Le myocarde proprement dit

Cette partie du myocarde représente la grande majorité du myocarde (environ 99%). Il est formé majoritairement de cellules musculaires, appelées cardiomyocytes, excitables et contractiles. Les cardiomyocytes sont des cellules courtes et épaisses en forme de X ou de Y (environ 180µm de long sur 20µm de large). Ils possèdent un noyau unique central et un cytoplasme riche en myofibrilles contractiles d'actine et de myosine. Ils possèdent également de nombreuses mitochondries, impliquées dans l'approvisionnement de la cellule en énergie. Les cellules musculaires cardiaques présentent également la particularité d'être reliées par de nombreuses jonctions intercellulaires particulières appelées les disques intercalaires (ou stries scalariformes). Au niveau des disques intercalaires, on retrouve des jonctions serrées, des desmosomes et un nombre important de jonctions communicantes (jonctions gap). **Cette organisation assure la cohésion et la synchronisation des cellules musculaires cardiaques au cours de la contraction.** On dit d'ailleurs que les cardiomyocytes fonctionnent de manière coordonnée tel un syncytium.

(La structure du myocarde sera reprise en détail dans le chapitre sur le tissu musculaire.)

## Structure histologique du myocarde et ultrastructure d'un cardiomyocyte



Source : Biologie et physiopathologie humaines, T<sup>ème</sup> ST2S, Nathan, 2008.

On remarque cependant que le myocarde est formé de deux syncytiums indépendants :

- le myocarde auriculaire
- le myocarde ventriculaire

Ces deux réseaux de cardiomyocytes sont séparés par un anneau cartilagineux qui entoure les orifices auriculo-ventriculaires (mais également les orifices de l'aorte et de l'artère pulmonaire). **Cet anneau cartilagineux joue un rôle important d'isolation électrique entre les oreillettes et les ventricules, empêchant la propagation de la contraction directement des oreillettes aux ventricules.**

D'un point de vue structurel, l'épaisseur du myocarde est dépendant de la fonction des cavités. On remarque ainsi qu'il est très fin dans les oreillettes et épais dans les ventricules. De plus la musculature du ventricule gauche est jusqu'à quatre fois plus épaisse que celle du ventricule droit. En effet, la contraction du ventricule gauche est à l'origine de l'expulsion du sang dans la circulation générale et nécessite donc une force suffisante (supérieure à la force nécessaire pour expulser le sang dans la circulation pulmonaire par le ventricule droit).

On mesure ainsi les valeurs suivantes (pour information) :

- épaisseur du myocarde dans les oreillettes : inférieure à 1 mm
- épaisseur du myocarde dans le ventricule droit : 2-4 mm
- épaisseur du myocarde dans le ventricule gauche : 8-11 mm

On constate également que le myocarde ventriculaire présente des proéminences qui font saillies dans la lumière des ventricules. Ces proéminences sont appelées les muscles papillaires. Reliés aux valvules auriculo-ventriculaires par des cordages tendineux, les muscles papillaires permettent le renforcement des valvules (voir paragraphe 1.1.1.1.2).

### Musculature des oreillettes et des ventricules

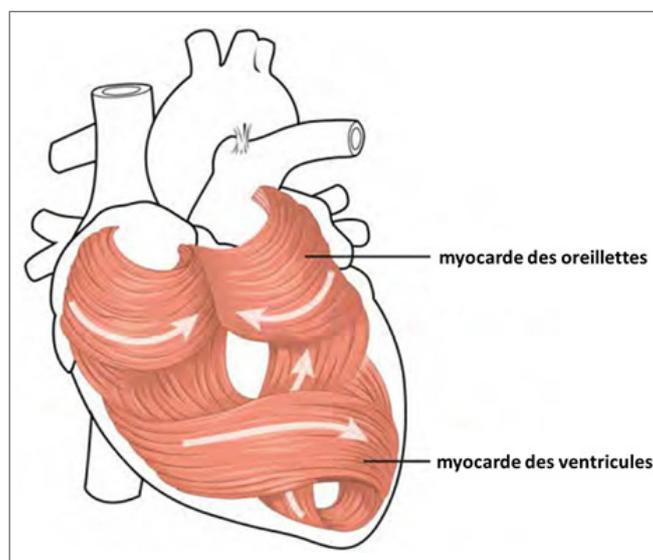


Image adaptée de Anatomy and Physiology, OpenStaxCollege, 2013.

## Musculature des ventricules

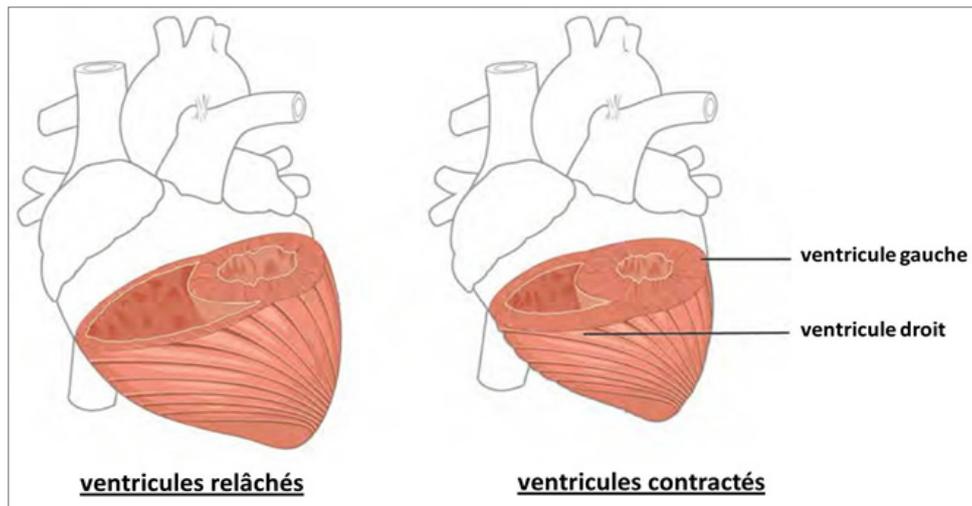


Image adaptée de Anatomy and Physiology, OpenStaxCollege, 2013.

Le myocarde présente enfin à sa surface un réseau de petits vaisseaux, les vaisseaux coronaires, qui assure son irrigation.

### Le système cardionecteur

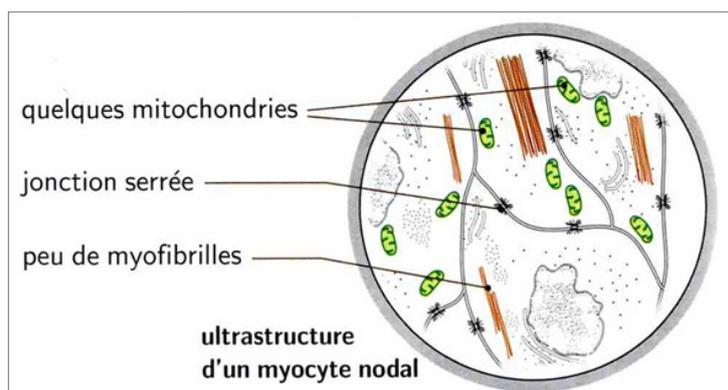
**Le système cardionecteur est également appelé système excitoconducteur.**

Il représente uniquement 1% du myocarde. Il correspond à un ensemble de cellules musculaires cardiaques modifiées connu sous le nom de tissu nodal.

Les cellules du tissu nodal sont des cellules uninucléés cylindriques ou fusiformes dont le cytoplasme contient très peu de myofibrilles contractiles. **Ces cellules présentent des particularités structurales (notamment au niveau membranaire) leur permettant de se dépolariser (c'est-à-dire de faire varier leur potentiel de repos membranaire) de manière spontanée, faisant d'elles des cellules dites auto-excitables** (excitation sans aucune intervention extérieure qu'elle soit chimique ou électrique).

Ces cellules peu différenciées sont appelées myocytes nodaux ou cellules cardionectrices. Elles sont fortement unies entre elles par des jonctions serrées.

### Ultrastructure d'un cardiomyocyte nodal



Source : Biologie et physiopathologie humaines, T<sup>em</sup> ST2S, Nathan, 2008.

### Le tissu nodal est à l'origine de l'excitation suivie de la contraction spontanée et rythmique de l'ensemble du tissu musculaire cardiaque.

Ces myocytes particuliers sont localisés en plusieurs endroits du cœur où ils forment des amas reliés entre eux (mais ayant leur rythme propre) :

#### - Le nœud sinusal :

Le nœud sinusal est un amas, en forme de croissant, de cardiomyocytes nodaux localisés dans la paroi de l'oreillette droite à proximité de l'embouchure de la veine cave supérieure. Toutes les excitations cardiaques partent normalement du nœud sinusal. **Il est considéré pour cette raison comme le stimulateur de l'activité cardiaque ou pacemaker cardiaque.**

#### - Le nœud auriculo-ventriculaire :

Le nœud auriculo-ventriculaire, également appelé le nœud septal, est localisé dans le plancher de l'oreillette droite, à la partie inférieure du septum inter-auriculaire, au-dessus de la valve tricuspide. Il traverse l'anneau cartilagineux et **constitue normalement le seul lieu de passage de l'excitation entre les oreillettes et les ventricules.**

#### - Le faisceau de His :

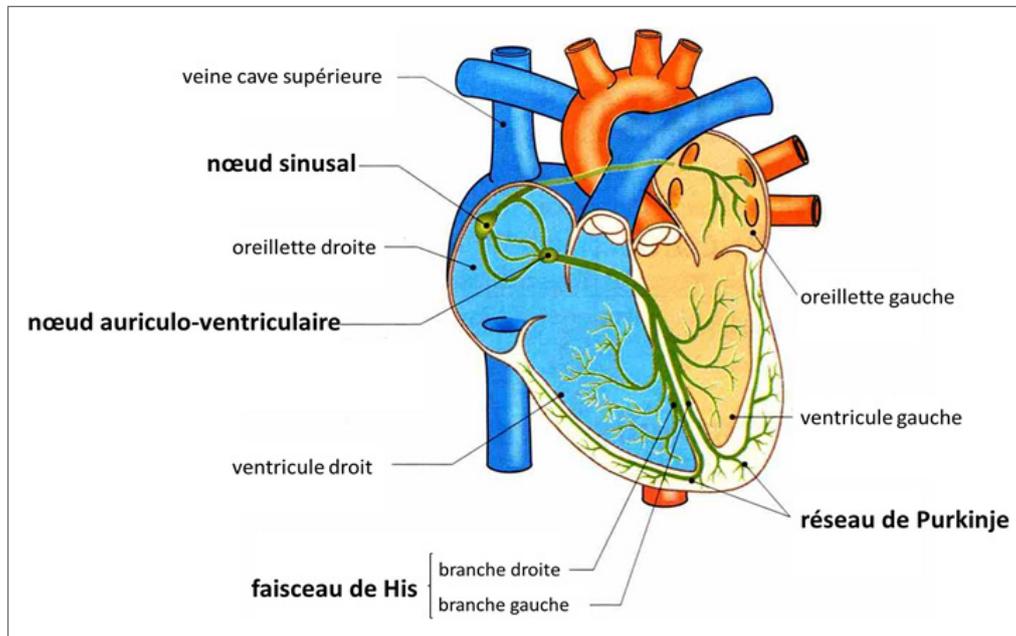
Le faisceau de His prend naissance au niveau du nœud auriculo-ventriculaire puis se divise en deux branches (droite et gauche) qui descendent le long du septum interventriculaire.

#### - Le réseau de Purkinje :

Le réseau de Purkinje est constitué de rameaux qui naissent des branches du faisceau de His et qui se distribuent le long de la paroi des ventricules.

**Le faisceau de His et le réseau de Purkinje assurent la conduction de l'excitation dans la paroi des ventricules.**

## Localisation du tissu nodal



Source : image adaptée de Biologie et physiopathologie humaines, T<sup>em</sup> ST2S, Nathan, 2008.

### • L'endocarde

L'endocarde correspond à la tunique interne du cœur. De faible épaisseur (<1 mm), il tapisse toutes les cavités cardiaques et également les valvules cardiaques.

Il présente plusieurs couches :

-une couche épithéliale interne : l'endothélium

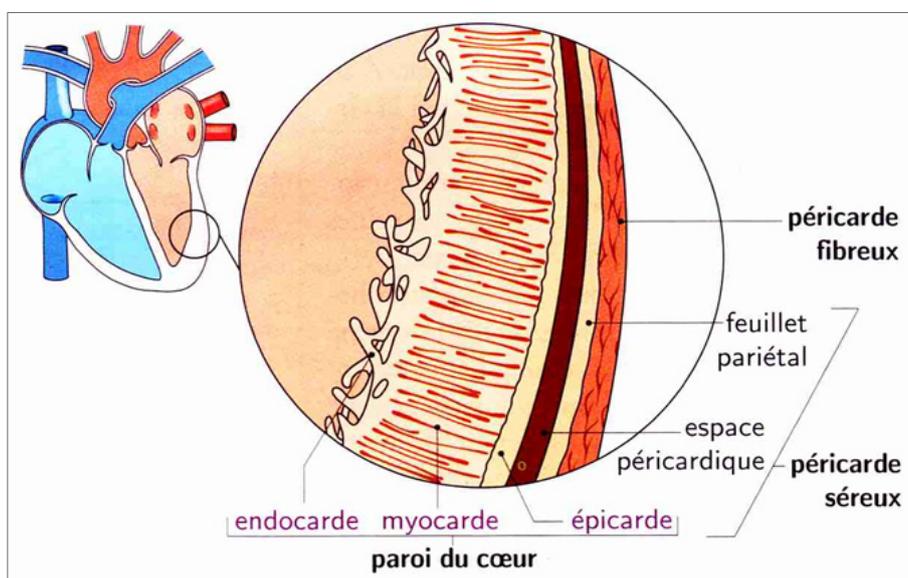
Rappel : l'endothélium est un tissu épithélial de revêtement unistratifié pavimenteux

-une couche conjonctive sous-endothéliale externe :

Celle-ci est riche en fibres élastiques et est traversée par les vaisseaux coronaires.

**L'endocarde assure l'étanchéité des cavités cardiaques.** Sa surface lisse exerce une action anticoagulante qui permet au sang de s'écouler sans frottement, évitant ainsi la formation de caillots sanguins.

## Structure du péricarde et tuniques de la paroi du cœur



Source : Biologie et physiopathologie humaines, T<sup>er</sup>m ST2S, Nathan, 2008.

### VASCULARISATION DU CŒUR

Comme tout organe, le cœur lui-même doit être alimenté par du sang. Le sang qui circule dans les cavités (oreillettes et ventricules) n'est pas en mesure de nourrir les différentes tuniques du cœur. **L'irrigation du cœur relève donc d'une autre circulation, appelée circulation coronarienne.** Cette circulation est la moins étendue de tout l'organisme.

Celle-ci débute par les artères coronaires droite et gauche qui émergent à la base de l'aorte et entourent le cœur dans le sillon coronaire. Les artères coronaires se ramifient ensuite afin d'irriguer les différentes tuniques et notamment le myocarde.

Ces vaisseaux ont la particularité de fournir au myocarde un apport sanguin intermittent. En effet, ils véhiculent le sang lorsque le myocarde est relâché mais ils sont momentanément comprimés et donc inefficaces lors de la contraction des ventricules.

Après son passage dans les lits capillaires du myocarde, le sang veineux est recueilli par les veines coronaires dont le trajet est plus ou moins parallèle aux artères coronaires. Ces veines donnent enfin le sinus coronaire, qui s'abouche directement au niveau de l'oreillette droite.