

CHAPITRE

2

Le cœur et la circulation sanguine

Manuel, pages 19 à 28

• Objectifs généraux du chapitre

L'approvisionnement en dioxygène des organes fait intervenir la circulation du sang. Il importe donc de comprendre comment celui-ci peut être mis en mouvement jusqu'aux différentes cellules, ce qui suppose l'étude du fonctionnement cardiaque. Celle-ci permet ensuite de comprendre la signification du débit cardiaque et ses variations au cours de l'exercice. La connaissance du fonctionnement du cœur permettra aussi d'envisager ultérieurement les modalités de son contrôle pour accéder à la notion d'intégration.

• Les acquis

La circulation sanguine est envisagée en cycle central de Collège (classe de 5^e). Le sang circule dans un système clos constitué par un ensemble de vaisseaux, artères, veines, capillaires. Il est mis en mouvement par le cœur, reconnu comme un muscle creux, cloisonné et fonctionnant de manière rythmique. L'appareil circulatoire est présenté avec le trajet du sang.

La circulation sanguine ne fait pas l'objet d'une étude particulière en classe de 3^e.

Les notions nouvelles à construire concernent donc surtout le fonctionnement du cœur, avec les différentes phases du cycle cardiaque et les mécanismes impliqués

dans la réalisation du trajet orienté du sang à l'intérieur du cœur (par exemple jeu des valvules). Elles correspondent ainsi au contenu indiqué dans le programme « La circulation du sang au sein des cavités cardiaques se fait dans un seul sens ».

• Progression proposée

L'étude des caractéristiques de la circulation du sang au sein des cavités cardiaques motive l'observation pratique du cœur et sa dissection (cavités cardiaques, valvules, vaisseaux afférents et efférents).

Ce chapitre a été conçu pour pouvoir être réalisé en une séance d'1 h 30 ; il s'articule donc pour l'essentiel autour de l'activité pratique de dissection, toujours longue à conduire en classe.

Le premier temps de la dissection, proposée dans la première activité, s'intéresse surtout au cœur en tant que pompe musculaire. Le second temps montre comment le trajet du sang est orienté au sein des cavités cardiaques, notamment par la disposition des valvules.

La connaissance de la contraction cardiaque (systole) et la définition déjà connue de la fréquence cardiaque permettront ensuite de mieux comprendre la signification du débit cardiaque, étudié à la séance suivante (pour des questions de temps) et dans le cadre plus dynamique de la réalisation de l'exercice (chapitre 3).

Activité

Le cœur : une pompe musculaire

Manuel, pages 20 et 21

■ Objectifs de l'activité

Il s'agit surtout de faire apparaître les caractéristiques de la pompe musculaire. On veillera donc à mettre en relation les différentes structures observées et leurs caractères (nature des parois, épaisseur relative) avec leurs effets dans la contraction cardiaque.

La réalisation de la dissection permet ensuite de mieux comprendre les expériences conduites sur le cœur en place pour mettre en évidence le trajet du sang (cf. Activité, chapitre 3, p. 30) et dont la lecture reste toujours difficile.

■ Activité pratique

• Le matériel

On travaille sur des cœurs de mouton ; un cœur pour deux élèves peut suffire. Le coût d'une séance de TP à 24 élèves est donc d'environ 100 Francs.

Il conviendra de commander les cœurs à l'avance en précisant leur destination au tripier : en effet, les parties intéressantes à la vente sont les seuls ventricules (en relation avec l'épaisseur du myocarde !) et les cœurs habituellement vendus sont sectionnés au ras de la limite ventricules-oreillettes, ces dernières étant souvent absentes ou largement ouvertes. Il est alors impossible d'observer les différents vaisseaux afférents ou efférents au cœur.

On peut également, pour une démonstration, commander une fressure, qui associe par exemple cœur et poumons, et permet de mieux étudier les relations entre ces organes.

Pour une séance moins onéreuse, on peut, à défaut, utiliser des cœurs de volailles, qui sont également entièrement cloisonnés en 4 parties, deux oreillettes et deux ventricules. On se souviendra qu'existent cependant des différences comme la crosse aortique qui est à droite. Les cœurs de volailles destinés à la vente présentent aussi l'inconvénient d'être sectionnés trop bas et de ne pas permettre l'observation des oreillettes.

• Identification des faces ventrale et dorsale et des vaisseaux

Chez le Mammifère, la face ventrale bombée est traversée par un sillon oblique très net, alors que la face dorsale plus plate est parcourue par un sillon longitudinal peu marqué.

La face ventrale ou artérielle permet l'observation de l'artère pulmonaire, vaisseau le plus ventral qui communique avec le ventricule droit ; il se divise un peu au-dessus du cœur en deux artères conduisant aux poumons. Les deux autres vaisseaux sont en communication avec le ventricule gauche : ce sont l'aorte, qui se poursuit en crosse du côté gauche, et sa ramification, le tronc brachio-céphalique qui irrigue le cou, la tête et les membres antérieurs. Plus loin du cœur, le tronc brachio-céphalique donne naissance aux deux artères carotides et aux deux artères sous-clavières. Chez l'Homme, la disposition serait un peu différente : le tronc brachio-céphalique ne correspond qu'aux artères carotide et sous-clavière droites, alors que ces artères, du côté gauche, se détachent directement de la crosse aortique.

Artère pulmonaire et aorte sont reliées par une cordelette fibreuse, ou cordon de Botal, vestige du canal de Botal, qui faisait communiquer ces deux vaisseaux chez l'embryon.

Pour identifier aisément les vaisseaux, on introduira une sonde dans leur lumière jusqu'à atteindre la paroi du ventricule, droit ou gauche selon le cas, et dont on observera la déformation. Cette introduction permet aussi de constater que la paroi du ventricule droit est beaucoup plus mince que celle du ventricule gauche. Elle montre aussi le sillon oblique à l'extérieur marque la ligne de séparation entre les ventricules, le gauche formant seul la pointe du cœur.

On observe sur la face ventrale ou veineuse les deux veines caves parvenant à l'oreillette droite. La sonde introduite dans la veine cave supérieure ressort par la veine cave inférieure ou pénètre dans le ventricule droit.

Quatre veines pulmonaires aboutissent à l'oreillette gauche.

• Dissection du cœur

On se reportera au protocole indiqué dans le manuel.

On peut accompagner la dissection des ventricules de celle des oreillettes, notamment de l'oreillette droite : on introduit pour cela une sonde d'une veine cave à l'autre et on pratique l'incision de la paroi soulevée. Une seconde incision perpendiculaire peut être réalisée. La face interne présente une partie lisse (qui correspond au sinus veineux des Amphibiens), où débouchent les veines caves et la veine coronaire, et une partie avec des colonnettes charnues. Au niveau de la cloison interauriculaire, s'observe une zone déprimée, la fossette ovale, correspondant à l'ancien trou du Botal, qui fait communiquer les deux oreillettes chez l'embryon.

La morphologie du cœur permet aussi l'étude de la circulation coronaire avec l'observation des artères gauche (en face ventrale) et droite (en face dorsale) et des veines coronaires. Les débouchés de ces vaisseaux et leurs relations avec les autres vaisseaux apparaissent à la dissection du cœur.

■ Correction de l'exploitation

1. Voir plus haut.
2. Identification des quatre cavités : les valvules seront repérées, leur étude sera complétée dans l'activité suivante.
- 3.a. Les oreillettes ont une paroi peu épaisse et de consistance relativement flasque ; leur paroi, à la dissection, est mince. Les ventricules ont une paroi beaucoup plus ferme et plus musculuse. Elle est beaucoup plus épaisse.
- b. La lumière des deux ventricules apparaît différente, mais les deux ventricules sont aussi de taille différente (le ventricule gauche s'étend jusqu'à la pointe du cœur). Les deux ventricules, se contractant à la même fréquence, expulsent à chaque contraction le même volume sanguin à droite et à gauche, ce qui assure un même débit dans les deux circulations, pulmonaire et générale (circulations en série). La paroi du ventricule gauche est beaucoup plus épaisse (d'environ cinq fois) que celle du ventricule droit. Il développe une force de contraction beaucoup plus importante. Cette force peut être mise en relation avec la place du ventricule gauche en relation avec l'aorte, que l'on sait vaisseau de la circulation générale.

Activité

Le trajet à sens unique du sang dans le cœur

Manuel, pages 22 et 23

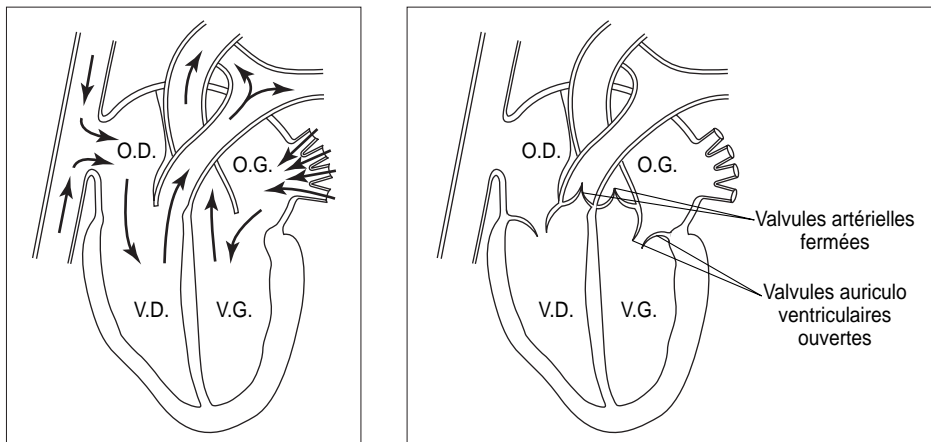
■ Objectifs de l'activité

Les différentes parties du cœur ont été identifiées dans l'activité précédente. Les relations entre cavités et vaisseaux, ainsi qu'entre cavités, ont été reconnues (veines et oreillettes ; ventricules et artères). Les valvules ont été observées lors de la dissection sans que leur rôle ait été étudié. On cherche alors à reconstituer le trajet du sang et on s'intéresse aux structures et aux mécanismes qui participent à son orientation : cette activité concerne surtout le jeu des valvules.

■ Correction de l'exploitation

1. Cette expérience, pratiquée sur un cœur intact, met en évidence le trajet du sang. Celui-ci s'écoule des veines vers les artères, ce qui, compte tenu des connaissances anatomiques acquises, permet de compléter son trajet dans le cœur (doc. 1). Cette expérience révèle aussi l'existence d'obstacles à l'écoulement à l'intérieur du cœur que l'on peut, après la dissection, rattacher aux valvules. On observera que cette activité pourrait aussi être proposée en motivation à la dissection ; elle montre l'existence d'un trajet orienté, que l'on peut alors préciser en ouvrant le cœur.
2. Les valvules observées sont les valvules artérielles et les valvules auriculo-ventriculaires. Dans une phase de relâchement général, les valvules auriculo-ventriculaires sont ouvertes, alors que les valvules artérielles sont fermées.
3. Les valvules auriculo-ventriculaires sont formées de lames membraneuses amarrées par des cordages tendineux à des piliers musculaires de la paroi des ventricules. Le remplissage ventriculaire provoque l'étirement de leurs parois et par suite la traction des cordages qui s'exerce sur le bord libre des valvules : celles-ci forment alors des sortes d'entonnoirs permettant le passage du sang de l'oreillette vers le ventricule. Les muscles des piliers et les cordages servent à limiter les mouvements des valvules et à empêcher leur retournement dans l'oreillette lors de la contraction ventriculaire.

Les valvules artérielles sont en forme de nids d'hirondelle : ces goussets interdisent le retour du sang des artères vers les ventricules.



REMARQUE : il n'y a pas de valvules entre oreillettes et veines : la contraction auriculaire n'entraîne qu'un très faible reflux du sang dans les veines car elle comprime celles-ci à leur site d'entrée dans les oreillettes.

COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

1. Les valvules

Du côté droit, la valvule auriculo-ventriculaire est la valvule tricuspide (pour se souvenir, mais sans relation étymologique ! « tri » comme « tribord » formée de trois lames membraneuses.

La valvule artérielle dite valvule sigmoïde comprend trois goussets (« en nids d'hirondelle ») dont l'ouverture est dirigée vers le haut et dont le bord libre porte en son milieu un nodule arrondi (sigmoïde car deux goussets dessinent la lettre grecque « sigma »).

Du côté gauche, la valvule auriculo-ventriculaire est la valvule mitrale (ou valvule bicuspidée), formée de deux lames membraneuses.

La valvule artérielle dite valvule sigmoïde de l'aorte est comparable à celle décrite plus haut. Il faut bien observer sous deux des goussets, les orifices des deux artères coronaires.

Ces terminologies anatomo-médicales sont sans intérêt pour les élèves. On pourra se limiter aux termes de valvules auriculo-ventriculaires et artérielles, beaucoup plus significatifs pour eux.

La curiosité des élèves pourrait conduire à évoquer certains dysfonctionnements liés aux valvules et certaines techniques de réparation.

Les souffles sont ainsi souvent le signe de cardiopathies liées à un dysfonctionnement des valvules : ces bruits anormaux, détectés au stéthoscope, peuvent se produire par exemple quand le sang s'écoule dans une direction habituelle par une valvule trop étroite ou quand il reflue par une valvule qui n'est plus étanche.

Ainsi, un souffle entendu pendant la diastole et prolongeant le deuxième bruit du cœur peut signifier un reflux de sang à travers la valvule artérielle aortique, qui n'est plus étanche ; un souffle entendu au cours de la systole peut correspondre à une valvule auriculo-ventriculaire imparfaitement close.

2. Le cycle cardiaque

Il faut se souvenir que les mouvements des valvules sont finalement déterminés par des différences de pression du sang entre les cavités. Cette approche est cependant hors programme. C'est pourquoi certaines étapes du cycle cardiaque ont été volontairement omises et simplifiées lorsque leur compréhension reposait sur l'analyse des pressions (par exemple contraction isovolumétrique du ventricule).

Pour mémoire, on peut rappeler ci-dessous quelques faits majeurs du cycle cardiaque.

- **Le remplissage ventriculaire** (de la mi-diastole à la fin de la diastole) :

- phase de remplissage rapide (0,11 s) : elle débute à l'ouverture des valvules auriculo-ventriculaires quand la pression ventriculaire est inférieure à celle des oreillettes ;
- phase de remplissage lent (0,19 s) : phase au cours de laquelle pression et volume se modifient peu (augmentation légère) ; cette phase ne joue un rôle significatif que dans les cycles cardiaques longs. Elle est abrégée en cas de tachycardie ;
- systole auriculaire (0,11 s) : elle complète le remplissage ventriculaire ; son importance est faible lorsque le rythme cardiaque est lent, mais s'accroît en cas de tachycardie. Chez un individu normal, les ventricules sont remplis à 80 % avant contraction des oreillettes. Les oreillettes, avec leurs parois fines, sont des cavités de faible pression, fonctionnant davantage comme des réservoirs que comme des pompes.

Le volume de sang dans le ventricule à la fin de la diastole est le volume télédiastolique. Au cours de la diastole, les valvules artérielles sont fermées : la pression dans l'aorte est supérieure à la pression dans le ventricule.

- **La contraction ventriculaire** (la systole) :

- contraction isovolumétrique ventriculaire : au début de la contraction ventriculaire, la pression dans le ventricule est supérieure à la pression des oreillettes, les valvules auriculo-ventriculaires se ferment. La pression aortique est toujours encore supérieure à la pression ventriculaire, les valvules artérielles sont toujours fermées ;
- éjection (0,22 s) rapide, puis plus lente : elle débute avec l'ouverture des valvules artérielles.

Le ventricule ne se vide pas totalement : la quantité de sang qui reste après l'éjection constitue le volume télésystolique (environ 65 mL pour un ventricule)

$V_{\text{systolique}} (\text{volume d'éjection systolique}) = V_{\text{télédiastolique}} - V_{\text{télésystolique}}$.

Valeurs normales : $VS = 70 \text{ mL}$; $VTD = 135 \text{ mL}$; $VTS = 65 \text{ mL}$.

Le rapport entre le volume systolique et le volume télédiastolique constitue une mesure clinique de contractilité du ventricule.

Les phénomènes observés dans les cœurs droit et gauche sont comparables avec, toutefois, des pressions artérielles très différentes, ce qui peut être mis en relation avec l'anatomie (notamment de l'épaisseur de la paroi) des ventricules : le ventricule droit développe une pression égale à 1/7 de celle du ventricule gauche.

Aorte : pression systolique = 120 mm Hg, pression diastolique = 70 mm Hg.

Artère pulmonaire : pression systolique = 24 mm Hg ; pression diastolique = 8 mm Hg (circulation pulmonaire : système à basse pression).

- **Le relâchement ventriculaire** (0,12 s) : début de la diastole.

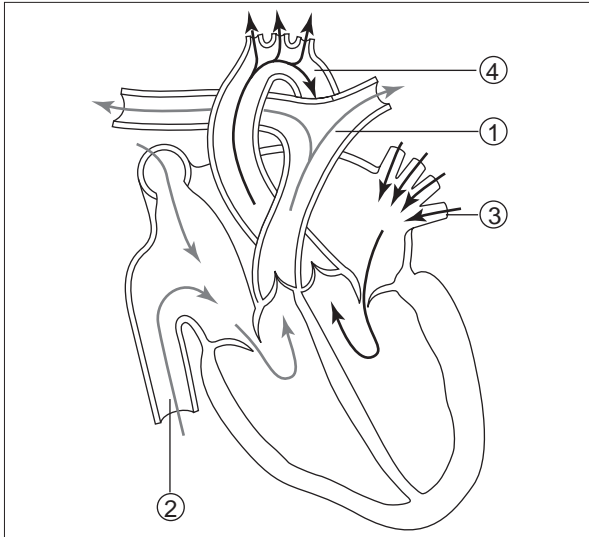
La pression dans le ventricule devient inférieure à la pression artérielle : les valvules artérielles se ferment. La pression ventriculaire, d'abord supérieure à celle des oreillettes, lui devient inférieure : les valvules auriculo-ventriculaires s'ouvrent.

Correction des exercices

Manuel, pages 27 et 28

Restitution des connaissances

4. La circulation du sang au niveau du cœur



1. Artère pulmonaire. Circulation du sang du ventricule droit à un poumon. Sang pauvre en dioxygène.
2. Veine cave inférieure. Circulation du sang depuis les organes de la partie inférieure du corps jusqu'à l'oreillette droite. Sang pauvre en dioxygène.
3. Veine pulmonaire. Circulation du sang d'un poumon vers l'oreillette gauche. Sang riche en dioxygène.
4. Artère aorte. Circulation du sang du ventricule gauche vers les organes. Sang riche en dioxygène.

Application des connaissances

5. L'organisation interne du cœur

Valvule auriculo-ventriculaire : assure la séparation de l'oreillette et du ventricule ; interdit la remontée du sang dans l'oreillette lors de la contraction du ventricule.

Valvules artérielles : empêchent le retour du sang des artères vers le ventricule lors du relâchement de celui-ci.

Cordons fibreux : empêchent le retournement de la valvule auriculo-ventriculaire vers l'oreillette.

Myocarde : paroi épaisse du ventricule permettant la contraction.

Oreillette droite : reçoit le sang des veines.

Artère pulmonaire : conduit le sang du ventricule droit vers les poumons.

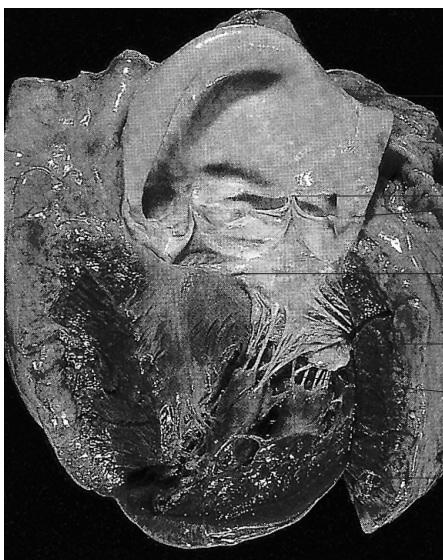
6. Les événements du cycle cardiaque

(Voir schéma, manuel, p. 28)

1^{re} colonne : fermeture des valvules auriculo-ventriculaires ; contraction de la paroi des ventricules ; ouverture des valvules artérielles ; expulsion du sang dans les artères.

2^e colonne : fermeture des valvules artérielles ; ouverture des valvules auriculo-ventriculaires ; relâchement des parois ; remplissage ventriculaire à partir des veines et des oreillettes.

3^e colonne : contraction de la paroi des oreillettes ; valvules auriculo-ventriculaires ouvertes ; relâchement de la paroi des ventricules ; fin de remplissage des ventricules.



Artère pulmonaire ouverte

Oreillette droite

Valvules artérielles

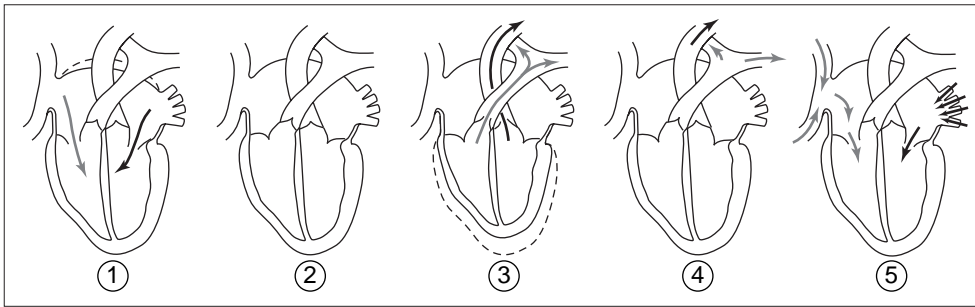
Cavité du ventricule droit

Cordon fibreux

Pilier

Paroi du ventricule (myocarde)

7. Mouvements du sang et valvules



1. Systole auriculaire : contraction des oreillettes ; fin de remplissage des ventricules.
2. Début de la contraction des ventricules avant ouverture des valvules artérielles.
3. Systole ventriculaire et expulsion du sang dans les artères.
4. Fermeture des valvules artérielles ; début de la diastole.
5. Diastole : remplissage des oreillettes et des ventricules.

8. Variations du volume ventriculaire et cycle cardiaque

a. Partie 2 : le volume ventriculaire diminue : le ventricule se vide. La valvule auriculo-ventriculaire est fermée ; les valvules artérielles sont ouvertes, le sang est expulsé dans les artères : c'est la systole ventriculaire.
Partie 4 : le volume ventriculaire s'accroît : le ventricule se remplit. La valvule auriculo-ventriculaire est ouverte, le remplissage se fait à partir des oreillettes ; les valvules artérielles sont fermées : c'est la diastole ventriculaire.

b. En fin de partie 4, on observe un léger accroissement du volume des ventricules : c'est l'effet de la systole auriculaire. Le ventricule commence à se contracter en partie 1 après la fermeture des valvules auriculo-ventriculaires. L'ouverture des valvules artérielles marque le début de l'expulsion du sang.

REMARQUE : le volume atteint en fin de partie 4 (ou partie 1) correspondrait au volume télédiastolique. Le volume en fin de partie 3 serait le volume télésystolique, la différence entre les deux, le volume d'éjection systolique.

La partie 1 correspondrait à la contraction iso-volumétrique du ventricule.

9. Fonctionnement des valvules et cycle cardiaque

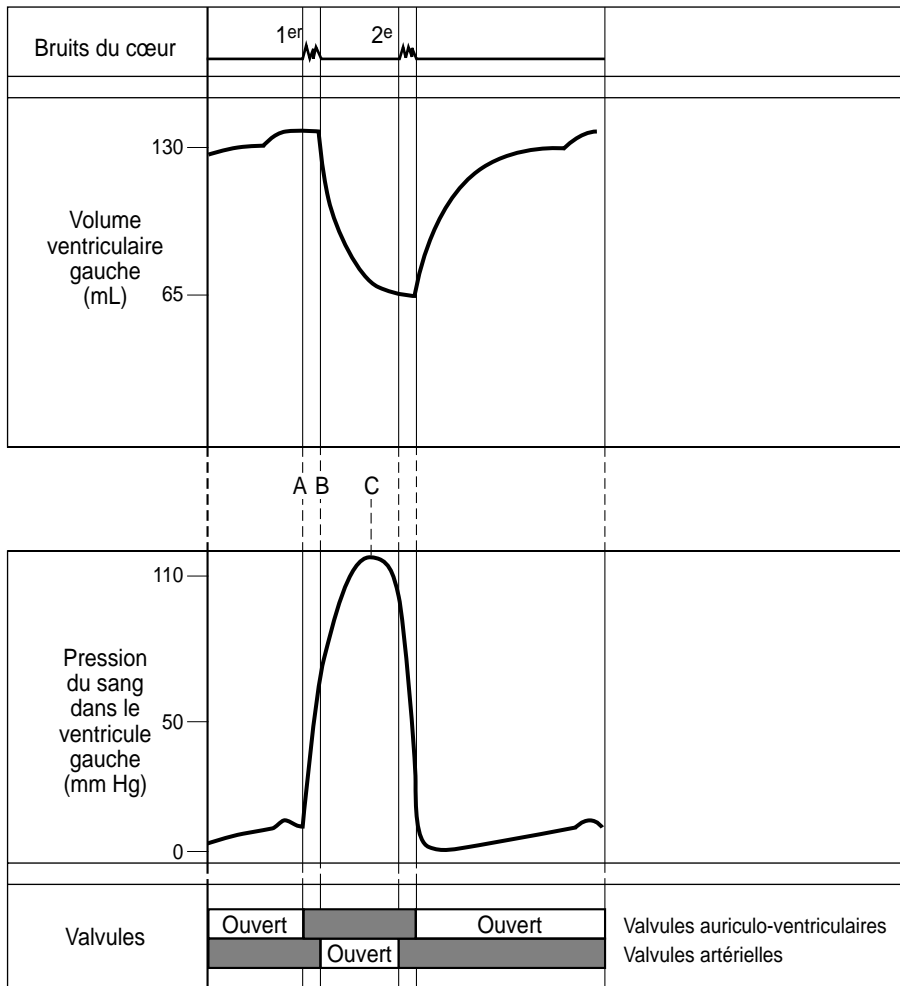
Les valvules auriculo-ventriculaires sont fermées alors que les valvules artérielles sont ouvertes : ce schéma pourrait correspondre à la systole ventriculaire.

Exercice supplémentaire

Systole ventriculaire et mouvements des valvules

Les schémas ci-dessous représentent quelques paramètres physiologiques enregistrés au cours d'un cycle cardiaque : on étudie notamment l'évolution du volume

du ventricule gauche et la pression du sang à l'intérieur de celui-ci. On note l'état ouvert ou fermé des valvules et les bruits liés au jeu de celles-ci.



• Questions

- Étudiez chacune des deux courbes pour situer la partie AC dans le cycle cardiaque.
- Indiquez, en mettant en relation les deux courbes, ce qui justifie la distinction de deux étapes, AB et BC.

- Utilisez les informations fournies par les deux courbes pour formuler des hypothèses expliquant la fermeture des valvules auriculo-ventriculaires en A, et l'ouverture des valvules artérielles en B.