

## CHAPITRE

## 3

## La distribution du sang aux organes

Manuel, pages 29 à 38

### • Objectifs généraux du chapitre

Il s'agit de montrer, dans ce chapitre, comment la circulation sanguine permet un apport adapté en dioxygène aux organes, en relation avec leur activité. Ceci suppose que soit comprise la signification fonctionnelle du circuit sanguin, et en particulier la situation relative des lieux d'hématose, les poumons, et des lieux de consommation de dioxygène, notamment les muscles. Cette étude conduit à développer les notions de circulation en série et de circulation en parallèle, évoquées dans le programme :

« La disposition en série de la circulation pulmonaire et de la circulation générale permet la recharge en dioxygène de l'ensemble du volume sanguin ».

« L'apport préférentiel de dioxygène aux muscles en activité résulte de la disposition en parallèle de la circulation générale associée à une vasoconstriction variable ».

Par cela, on soulignera l'importance, pour l'approvisionnement en dioxygène, du flux sanguin traversant un organe. Il importe alors de s'intéresser au débit cardiaque, à sa distribution aux différents organes et aux modifications apparues au cours de l'exercice, qui ajustent finalement l'approvisionnement du dioxygène aux besoins de ces organes. La connaissance du fonctionnement cardiaque, développée dans le chapitre précédent, permet de comprendre ce qu'est le débit cardiaque et comment peut être réalisée une augmentation de celui-

ci (augmentation de la fréquence et du volume d'éjection systolique).

### • Les acquis

En cycle central, le trajet du sang a été présenté et la double circulation, revue par ailleurs en 3<sup>e</sup>, apparaît un acquis.

Cependant, l'expérience pédagogique montre que la connaissance du circuit sanguin et la place du cœur dans celui-ci restent des notions difficiles à acquérir pour l'élève de collège. La signification fonctionnelle du trajet et son intérêt pour la nutrition des organes n'ont été qu'évoqués (cycle central : « indiquer sur un schéma ou verbalement, le trajet d'un nutriment depuis l'intestin, de l'oxygène depuis les poumons, jusqu'à un organe qui les utilise »).

C'est donc pour l'essentiel des notions nouvelles qui, au mieux, enrichiront et donneront du sens à une représentation initiale.

### • Progression proposée

Il s'agit, dans un premier temps, de faire apparaître les notions de circulation en série et de circulation en parallèle, pour en montrer l'intérêt fonctionnel. On étudie ensuite comment ce schéma général peut être modifié au cours d'un exercice, avec notamment l'augmentation du débit cardiaque dans l'ensemble du circuit, accompagnée de modifications dans l'importance relative des flux circulant en parallèle.

## Activité

### L'approvisionnement des organes en dioxygène

Manuel, pages 30 et 31

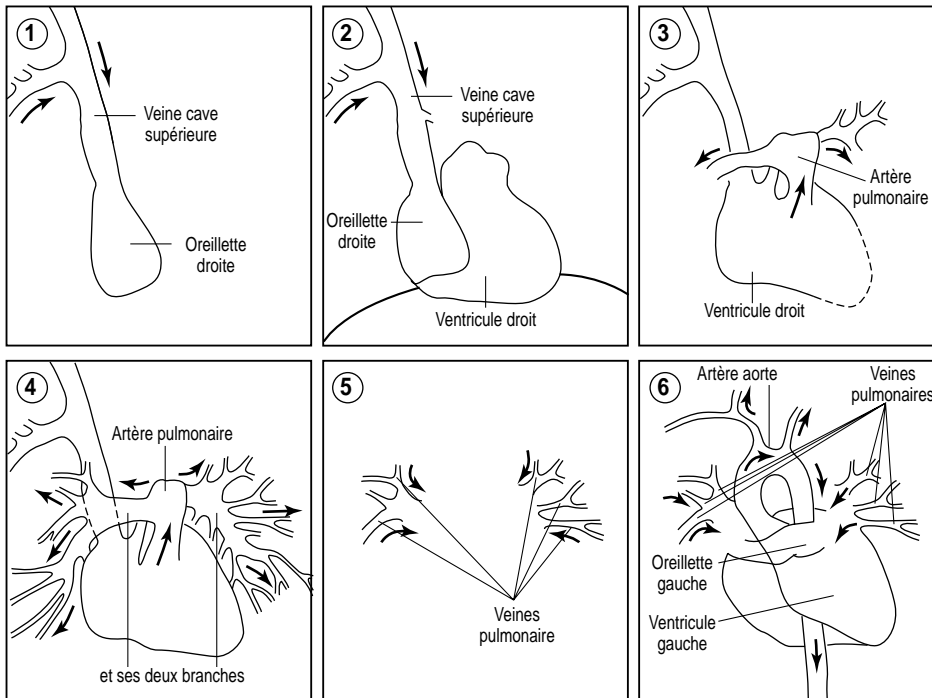
#### ■ Objectifs de l'activité

Il s'agit de préciser ici les caractéristiques du circuit sanguin qui permettent un approvisionnement en dioxygène adapté aux besoins des différents organes.

Cette activité conduit aux notions de circulation en série et de circulation en parallèle. Elle s'appuie sur des supports classiques de radiographie. Elle débouche sur un schéma de l'organisation générale du circuit sanguin qui peut, par exemple, correspondre à la représentation initiale de l'élève, mais dont la compréhension sera désormais enrichie des informations physiologiques apportées dans l'activité.

## ■ Correction de l'exploitation

1. Le document ci-dessous permet de suivre le trajet sanguin au niveau cardiaque et de montrer les relations existant entre circulation générale et circulation pulmonaire.



2. *Utilisation du document 1* : le suivi de la substance injectée révèle la continuité du circuit et donc, au niveau des vaisseaux étudiés sur ces photos, l'existence d'une circulation en série.

*Utilisation du document 2* : si l'on considère l'ensemble des organes irrigués par la circulation générale, on constate que la somme des flux sanguins qui les traversent est égale à 5 800 mL/min, ce qui correspond au débit de la circulation pulmonaire. Ceci peut suggérer une disposition en série des circuits pulmonaires et systémiques.

Pour éprouver cette hypothèse, il conviendrait de faire une mesure directe du débit total de la circulation générale, dont la valeur devrait alors être de 5 800 mL/min.

Le circuit à partir du document 3 est alors celui-ci : cœur droit-poumons-cœur gauche-organes-cœur droit.

3. La valeur correspondant à la circulation pulmonaire traduit, dans le cas d'une circulation en série (montrée par le document 1) le débit cardiaque, qui parcourt aussi la circulation générale. Celui-ci se distribue entre les différents organes de façon à ce que la somme des débits qui parcourent chacun d'eux soit égale au débit total. Ceci s'accorde avec le schéma d'une circulation en parallèle.

En relation avec les objectifs du programme, il importera de souligner l'importance de :

- la disposition en série : la circulation pulmonaire permet l'hématose du sang et c'est ce sang hématosé qui parcourt ensuite la partie artérielle de la circulation générale, afférente aux organes ;

- la disposition en parallèle : chaque organe irrigué par des artères de la circulation générale reçoit du sang qui n'a pas encore traversé d'autres organes, c'est-à-dire du sang qui est encore saturé en dioxygène. Le foie présente cependant une double irrigation : outre l'artère hépatique, il reçoit du sang provenant de l'intestin, via la veine cave hépatique. Cette relation intestin-foie est essentielle notamment au plan du stockage ou de la libération de nutriments (exemple : stockage de glucose en excès après un repas), ce qui n'entre pas dans le programme.

## Activité

# Les modifications de la circulation sanguine au cours d'un exercice physique

Manuel, pages 32 et 33

### ■ Objectifs de l'activité

Un exercice physique augmente de manière considérable les besoins en dioxygène des muscles. On cherche en quoi la circulation répond à cette demande et participe à cet approvisionnement accru. Il faut donc faire apparaître, d'une part, l'augmentation générale du débit cardiaque et, d'autre part, l'orientation privilégiée de celui-ci vers les organes les plus actifs. Cette double modification fait intervenir non seulement l'activité cardiaque mais aussi l'activité de certains vaisseaux sanguins, nouvelle notion pour les élèves. Les documents 3 et 4 s'intéressent ainsi à la vasomotricité des artérioles, sans que toutefois les structures des vaisseaux soient détaillées puisque les mécanismes de la vasoconstriction sont hors programme.

### ■ Correction de l'exploitation

**1.** On a vu que les organes étaient disposés en parallèle dans la circulation générale. Le débit cardiaque est donc la somme des débits traversant chaque organe : les valeurs au repos et au cours de l'exercice sont respectivement de 5 800 mL/min et 17 500 mL/min. Certains organes très actifs, comme les muscles et le cœur, voient leur débit augmenter de manière considérable. D'autres, non directement impliqués dans l'exercice comme les reins ou les organes abdominaux, ont un débit réduit. Le cerveau, dont les besoins sont impérieux, a un débit inchangé.

Le débit sanguin de la peau augmente considérablement, ce que l'on peut mettre en relation avec la thermorégulation (perte de chaleur réalisée).

**2.** Des modifications de la répartition peuvent être mises en évidence en calculant le pourcentage que représente chaque débit par rapport au débit total au repos, puis au cours de l'exercice.

Les valeurs obtenues sont respectivement :

Cerveau : 12,9 % / 4,3 %

Muscles : 20,7 % / 71,4 %

Peau : 8,6 % / 10,9 %

Reins : 19 % / 3,4 %

Organes abdominaux : 24,1 % / 3,4 %

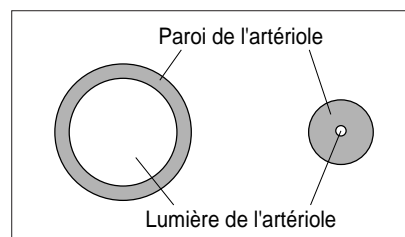
Cœur (circulation coronaire) : 4,3 % / 4,3 %

Reste du corps ; 10,4 % / 2,3 %

**3.** L'augmentation du débit sanguin dans les muscles au cours d'un exercice est ainsi réalisée par une augmentation générale du débit cardiaque et par une distribution privilégiée du flux sanguin vers les muscles.

**4.** L'augmentation du débit cardiaque est obtenue par l'augmentation de la fréquence cardiaque et par celle du volume d'éjection systolique. On peut obtenir le débit cardiaque du document 2c en multipliant pour chaque situation physiologique la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique.

**5.** On s'intéresse ici à l'évolution de l'artériole *b*, au niveau de laquelle on procède à une micro-injection de noradrénaline. Cette artériole s'observe bien dans le document *a*, par le sang qu'elle contient. Elle ne s'observe plus sur le cliché *b* : son diamètre est très réduit et ne permet plus le passage de sang (cf. schéma). Il s'agit ici d'une diminution de diamètre du vaisseau, ou vasoconstriction, qui illustre la vasomotricité de celui-ci, c'est-à-dire la capacité à modifier son diamètre. Cette propriété peut être mise en relation avec la présence de cellules musculaires dans la paroi de l'artériole.



**6.** Les variations de distribution d'un organe à l'autre sont liées à une vasoconstriction plus ou importante des artérioles. Une vasoconstriction accrue réduit le flux sanguin dans les organes les moins actifs lors de l'exercice. Les organes très actifs, comme les muscles, sont le siège d'une vasodilatation qui accroît le débit sanguin qui les traverse.

## COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

### 1. La structure des artérioles

On distingue habituellement trois couches au niveau de la paroi d'un vaisseau sanguin. L'intima est la couche la plus interne : elle comprend l'endothélium, sous lequel se trouve une lame basale. L'intima est limitée en profondeur par la limitante élastique interne, fine mais distincte. Celle-ci est plus visible dans les artères musculaires où elle peut être plissée par la contraction post-mortem de la média.

La média, plus externe, est formée de fibres musculaires lisses disposées circulairement. Les artérioles n'en comprennent que quelques couches (jusqu'à une seule couche). Dans ces vaisseaux, les fibres élastiques et de collagène sont peu abondantes (elles le deviennent dans le cas des artères élastiques).

La couche la plus externe est l'adventice, qui peut atteindre l'épaisseur de la média. On passe ensuite au tissu conjonctif adjacent.

### 2. Innervation des artérioles et contrôles locaux

Les vaisseaux sanguins (artères, artérioles, veines, à l'exception des capillaires et de la plupart des métartérioles) possèdent une innervation sympathique, qui se traduit par un tonus vasomoteur, c'est-à-dire une activité de base dont la diminution peut par exemple déterminer une vasodilatation.

Les récepteurs sont le plus souvent des récepteurs alpha-adrénergiques, à l'origine d'une vasoconstriction. Il existe aussi parfois certains récepteurs bêta-adrénergiques, provoquant une vasodilatation. Ces récepteurs existent au niveau des vaisseaux coronariens et des muscles squelettiques. Ils n'existent pas au niveau des vaisseaux cutanés. Ces récepteurs sont surtout sensibles à l'adrénaline, qui provoque à faible concentration une vasodilatation.

Mais la noradrénaline ou l'adrénaline à forte concentration ont toujours une action vasoconstrictrice. Il peut exister une innervation parasympathique des vaisseaux (viscères, organes génitaux...) ; elle n'existe pas au niveau des muscles et de la peau et ses effets, vasodilatateurs, sont de peu d'importance.

Enfin au niveau des muscles en activité, la vasodilatation qui s'observe est surtout le fait d'un contrôle intrinsèque local : une augmentation de l'activité métabolique détermine la variation à l'intérieur du muscle de certains paramètres ( $p\text{CO}_2$ , pH ou  $p\text{O}_2$ ) qui ont un effet direct sur la motricité des vaisseaux musculaires : il se produit une vasodilatation locale qui accroît le débit.

Ainsi, la vasoconstriction observée dans de nombreux organes en réponse à une stimulation sympathique peut s'accompagner d'une vasodilatation au niveau musculaire.

## Informations

### L'exploration du fonctionnement cardio-vasculaire

Manuel, page 34

Cette page a pour objet de présenter quelques techniques médicales fréquemment utilisées dans l'exploration fonctionnelle du système cardio-vasculaire.

## COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

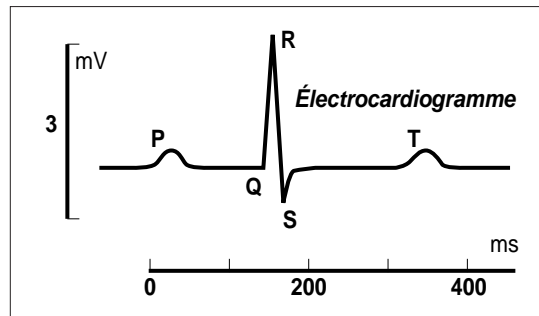
### 1. L'ECG ou électrocardiogramme

Cet outil clinique est utilisé pour évaluer les événements électriques à l'intérieur du cœur. Les cellules cardiaques sont en effet le siège d'une activité électrique, qui se manifeste à l'échelle membranaire par l'existence de potentiels d'action. Ces manifestations électriques sont à l'origine de courants enregistrables à la surface du corps. Le cœur peut être assimilé à un dipôle électrique situé dans un milieu conducteur ; la contraction cardiaque correspond à la progression d'un signal électrique sous forme d'un vecteur dont on peut enregistrer les projections sur les différentes lignes qui joignent les électrodes placées en surface de l'organisme.

Le tracé d'un ECG classique (figure) montre plusieurs ondes avec :

- onde P : dépolarisation des oreillettes ;
- complexe QRS (0,12 à 0,20 s plus tard ; durée du complexe : 0,06 à 0,1 s) ; dépolarisation des ventricules. La durée de ce complexe indique le temps de mise en place de la dépolarisation ventriculaire. Ce complexe peut, par exemple, s'allonger lorsque la conduction est altérée dans l'une des branches du faisceau de His (bloc dit de branche) ;
- onde T : re-polarisation ventriculaire. La re-polarisation des oreillettes n'apparaît pas car elle survient en même temps que le complexe QRS ;
- espace PQ (0,12 à 0,20 s) : durée de la conduction entre le nœud sinusal et le nœud auriculo-ventriculaire ;
- espace ST : plateau du myocarde ventriculaire (aucune variation de potentiel).

L'électrocardiogramme fournit ainsi des informations sur l'orientation anatomique du cœur, la taille relative des cavités ou les altérations de la conduction entre les différentes zones du cœur.



Électrocardiogramme typique enregistré à l'aide d'électrodes placées sur les bras.

### 2. L'échocardiographie-Doppler

C'est une technique également très utilisée. Elle s'appuie sur un effet physique courant : l'effet Doppler, qui peut être illustré par une observation bien connue : le bruit. En effet, les ondes sonores, émises par une voiture de Formule 1 sont perçues de manière différente par un observateur immobile : le bruit est plus aigu quand la voiture se rapproche ; il devient ensuite plus grave lorsqu'elle s'éloigne. On montre que la différence de fréquence observée est en relation avec la vitesse de la voiture. Cet effet a été mis à profit en cardiologie : on émet des ultrasons qui se réfléchissent sur les globules rouges du sang. Les ondes réfléchies sont enregistrées et les différences de fréquences mesurées permettent de connaître la vitesse du flux sanguin. L'exploration par échographie-Doppler fournit de précieux renseignements notamment sur le fonctionnement des valves en détectant, par exemple, des courants sanguins anormaux.

### 3. L'imagerie par résonance magnétique

Cette technique exploite la réflexion d'une onde électromagnétique sur les tissus et les modifications de cette réflexion sous l'influence d'un champ magnétique. Elle occupe une place croissante en cardiologie et complète utilement les données de l'échocardiographie. Elle permet notamment la caractérisation de tissus, qu'il s'agisse de myocarde vivant ou nécrosé, d'épaississement péricardique, de thrombus ou de tumeur. Actuellement cette technique se développe aussi pour l'exploration des vaisseaux (angio-IRM).

## Correction des exercices

Manuel, page 37

### Restitution des connaissances

#### 3. Importance de la circulation en parallèle

Dans une disposition en parallèle, chaque organe reçoit du sang artériel qui provient directement des poumons où il s'est hématisé. Ce sang qui a traversé le cœur gauche n'a alors cédé du dioxygène à aucun autre organe.

### Applications des connaissances

#### 4. Débit cardiaque et exercice physique

1. Le débit cardiaque est obtenu en multipliant le vo-

lume d'éjection systolique par la fréquence cardiaque soit ici :

– débit cardiaque au repos :

$$70 \times 60 = 4\,200 \text{ mL/min} = 4,2 \text{ L/min}$$

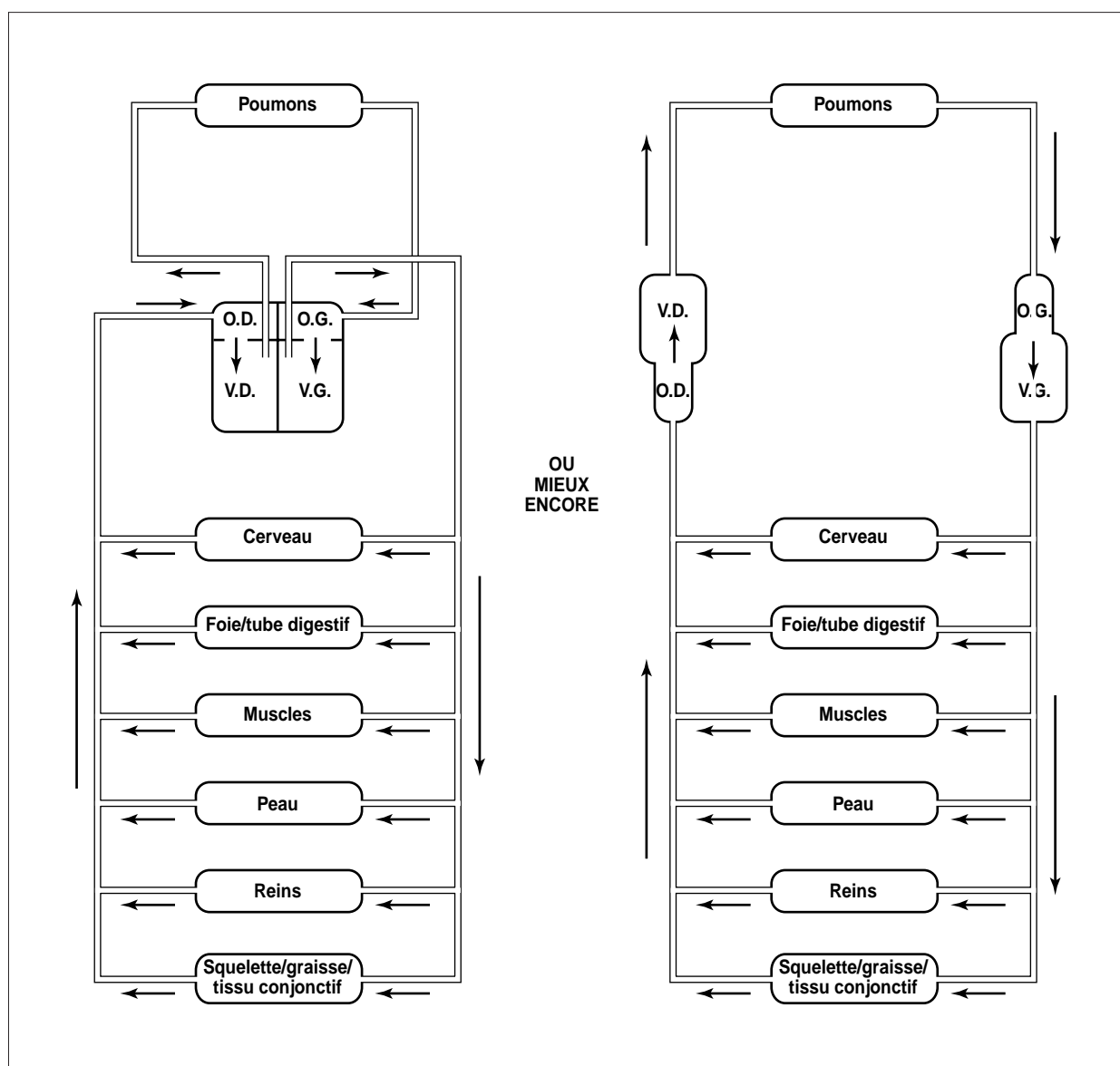
– débit cardiaque au cours de l'exercice :

$$130 \times 190 = 24\,700 \text{ mL/min} = 24,7 \text{ L/min}$$

2. Le débit cardiaque est multiplié par 6 au cours de l'exercice. Le débit sanguin traversant chaque organe est donc considérablement accru et par suite la quantité de dioxygène disponible est augmentée.

#### 5. Débits sanguins

a. Voir figure ci-dessous.



**b.** Le débit sanguin traversant le cœur gauche est égal au débit sanguin traversant le cœur droit : ce débit est aussi celui qui traverse les poumons. Ceci est en accord avec une circulation en série, le sang parcourant le cœur droit, avant d'atteindre les poumons et de revenir au cœur gauche.

**c.** Au cours d'un exercice physique, le débit cardiaque augmente, ce qui conduirait à une augmentation des débits traversant les cœurs droit et gauche et les poumons. L'importance relative des flux sanguins est modifiée, le débit augmentant dans les organes les plus actifs au détriment des organes non directement impliqués dans l'activité physique.

On observerait ainsi une augmentation des débits sanguins dans les muscles, le cœur (circulation coronaire) et la peau (augmentation des pertes de chaleur).

Foie, tube digestif, reins, squelette, graisse et tissu conjonctif recevraient des débits réduits.

Le débit sanguin cérébral serait inchangé.

## 6. Des modifications du débit sanguin dans les organes en relation avec l'exercice physique

**1.** Au cours de l'exercice, on observe une augmentation importante du débit cardiaque qui passe d'environ 5 L/min à presque 25 L/min. L'augmentation de débit affecte très différemment les organes : le débit sanguin musculaire augmente de manière considérable et représente la part la plus importante du débit cardiaque puisqu'il dépasse 20 L/min. Le débit coronarien augmente légèrement. En revanche, l'irrigation de certains organes comme les viscères diminue. Le débit sanguin cérébral reste inchangé.

**2.** L'augmentation du débit cardiaque peut être obtenue par une augmentation de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique. La redistribution des flux sanguins dépend de la constriction relative des artérioles des différents organes : une diminution de débit résulte d'une vasoconstriction accrue, une augmentation d'une vasodilatation plus importante.

## 7. Circulation sanguine au repos et au cours d'un exercice

**1.** Le débit cardiaque peut être obtenu en faisant la

somme des débits traversant les différents organes : 5 L/min au repos et 25 L/min au cours de l'exercice : on observe donc une augmentation considérable du débit cardiaque (multiplié par 5).

Certains organes ont un débit sanguin accru de manière importante : muscles (multiplié par plus de 20), peau (multiplié par 12,6), cœur (multiplié par 5).

Le débit sanguin d'autres organes n'augmente que plus faiblement (et moins que l'augmentation générale du débit) : cerveau (multiplié par 1,4).

L'irrigation de certains organes diminue comme celle des reins ou, moins nettement, du foie.

**2.** Les pourcentages du graphique *b* s'obtiennent en rapportant le débit sanguin traversant l'organe au débit cardiaque et en multipliant par 100 :

$$5 / 0,8 \times 100 = 16 \% ; 16,5 / 25 \times 100 = 66 \%$$

**3.** Le graphique *b* permet d'observer l'importance relative des débits sanguins par rapport au débit cardiaque et ses variations entre une situation de repos et d'exercice.

La réorientation des flux sanguins se fait ainsi en direction des organes impliqués dans l'activité physique : muscles et peau (maintien de la température corporelle par perte de chaleur).

La part relative des organes non directement impliqués se réduit : reins, foie, os, autres, cerveau.

Enfin, le débit coronarien conserve le même pourcentage relatif, qui traduit de fait une augmentation absolue.

**4.** On peut observer que le débit sanguin cérébral a légèrement augmenté au cours de l'exercice. Mais cette augmentation est beaucoup moins forte que celle du débit cardiaque, et la part relative du flux cérébral diminue finalement lors de l'activité.

## 8. Vascularisation d'un organe au repos et en activité








La densité des capillaires parcourus par le sang est plus importante en *b* qu'en *a* : la vascularisation capillaire de l'organe est plus importante lorsqu'il est en activité que lorsqu'il est au repos. Le diamètre de l'artériole apparaît ici inchangé ; on peut penser à l'action des sphincters pré-capillaires, bloquant par leur contraction la circulation dans le capillaire situé en aval.

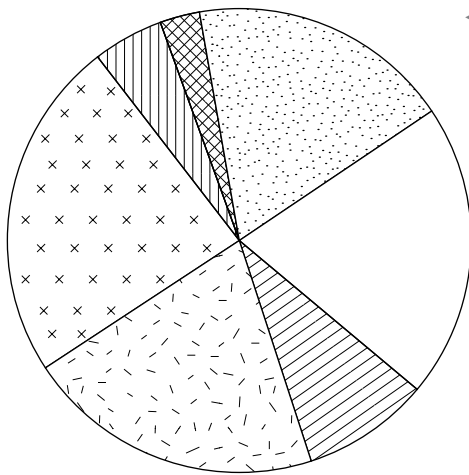
## Exercice supplémentaire

### Variations des débits sanguins lors de l'activité physique

Le tableau ci-dessous indique les débits sanguins traversant différents organes au repos et lors d'un exercice intense.

Les valeurs au repos ont permis d'établir une représentation schématique.

		Repos (mL. min <sup>-1</sup> )	Exercice intense (mL. min <sup>-1</sup> )
Cerveau		750	750
Muscles		1 200	12 500
Peau		500	1 900
Reins		1 100	600
Organes abdominaux		1 400	600
Reste du corps		600	400
Cœur		250	450
Total		5 800	17 500



◀ Représentation graphique des débits sanguins dans l'organisme au repos

#### • Question

Construire un diagramme identique à celui présenté mais correspondant à l'exercice intense. La surface du disque sera proportionnelle à l'augmentation de débit

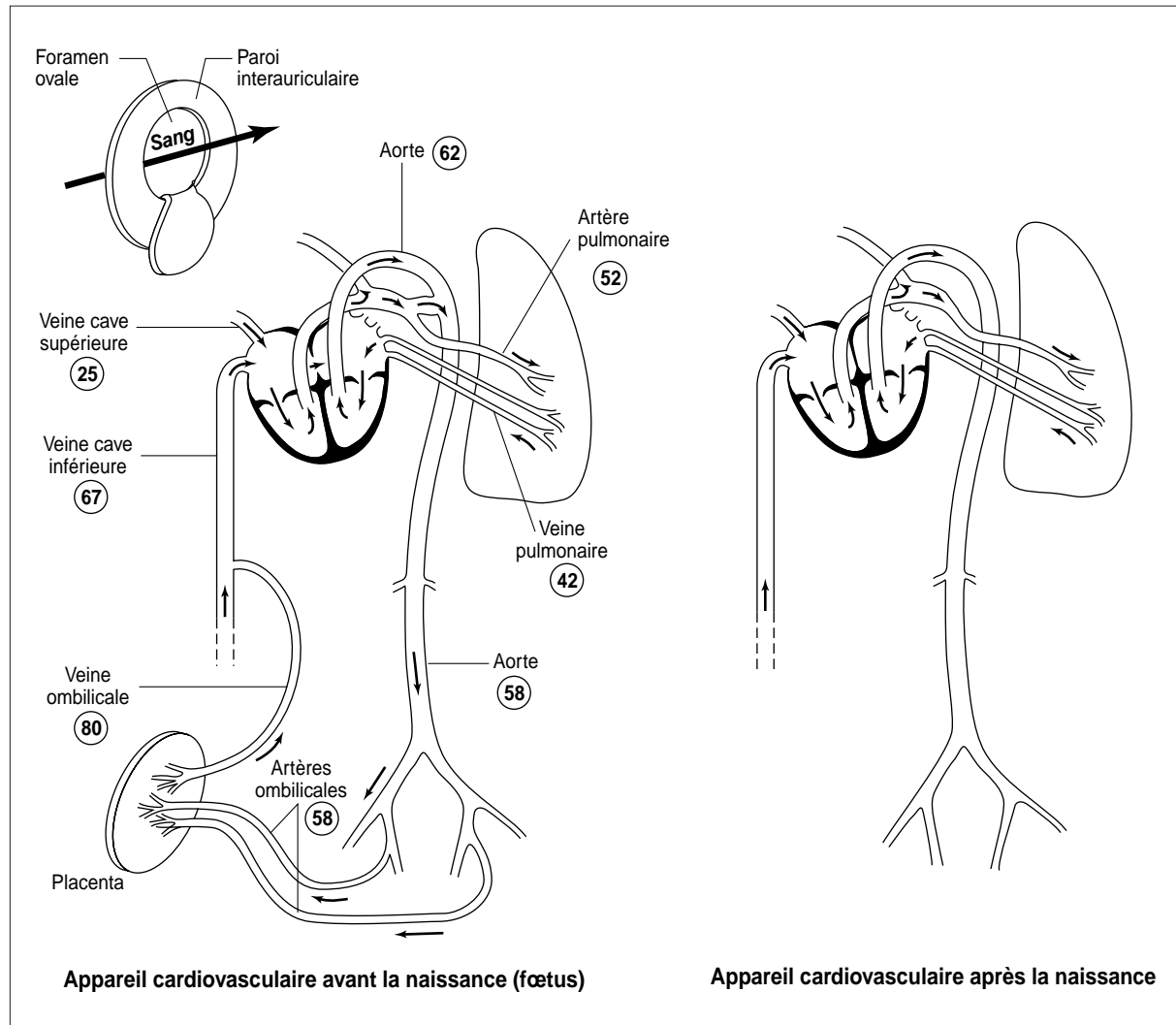
cardiaque et chaque secteur traduira, par sa surface, la part relative du débit sanguin de l'organe par rapport au débit cardiaque.

## Exercice supplémentaire

### Circulation chez le fœtus

Les schémas ci-dessous représentent une partie de l'appareil circulatoire du fœtus et de l'enfant après la naissance. Les valeurs indiquées sur le schéma de

gauche traduisent l'état de saturation de l'hémoglobine : elles sont d'autant plus élevées que le sang est riche en dioxygène.



#### • Questions

1. Indiquez les différences observées dans la région cardiaque et leurs conséquences quant à la réalisation du circuit sanguin.
2. En utilisant les valeurs fournies sur la richesse du sang en dioxygène, montrez que les surfaces d'échanges respiratoires ne sont pas localisées au niveau des poumons ; identifiez alors l'organe d'hématose chez le fœtus.

3. Dans certains cas, la structure cardiaque du fœtus peut perdurer après la naissance, alors que les poumons sont fonctionnels. Indiquez en quoi ce maintien anormal est préjudiciable à l'approvisionnement en dioxygène des organes de l'enfant.