



UNIVERSITÉ
BORDEAUX
SEGALÉN

Licence Biologie - UE Biologie animale

Les appareils circulatoires des Métazoaires

Étienne Roux

*Adaptation cardiovasculaire à l'ischémie INSERM U 1034
UFR des Sciences de la Vie Université Bordeaux Segalen*

contact: etienne.roux@u-bordeaux2.fr

support de cours :

*plateforme pédagogique l'UFR des sciences de la Vie
e-fisio.net*

*plan du cours et descriptif de compétences (format pdf)
diaporama du cours (format ppt)*

position du problème

échange de substances entre les cellules de l'organisme et son environnement

- passage de substances chimiques entre l'environnement et le milieu intérieur de l'organisme
- passage de substances chimiques entre les différents compartiments de l'organisme
- passage de substances chimiques entre les milieux extracellulaires et intracellulaires
 - O₂, CO₂, déchets azotés, acides aminés, glucides, lipides, sels minéraux, hormones, etc.

position du problème

diffusion des substances dans l'organisme

• diffusion passive : temps proportionnel au carré de la distance de diffusion.

→ exemple : diffusion du glucose

100 μM : 1 seconde

1 mm : 100 secondes

1 m : 3 ans

appareil circulatoire : circulation du liquide intérieur → distribution par convection des substances chimiques dans l'organisme

→ lien avec appareils respiratoires

→ lien avec appareils excréteurs

plan

I. rôle des systèmes circulatoires

II. organisation générale des appareils circulatoires

A. structure générale

B. appareils circulatoires ouverts

C. appareils circulatoires fermés

III. animaux sans appareil circulatoire

A. cavité gastrocirculatoire des Cnidaires

B. Nématodes

IV. animaux à appareil circulatoire ouvert

A. reliés à un appareil respiratoire : Bivalves

B. non reliés à un appareil respiratoire : Insectes

V. animaux à appareil circulatoire fermé

A. Annélides

B. Vertébrés

pompe : coeur(s) (activité contractile) pression hydraulique

tuyauterie : vaisseaux (conduit limité par un endothélium)

zone de conduction : artères/veines

zone de conduction et de diffusion : capillaire/hémocoèle

tuyauterie continue :

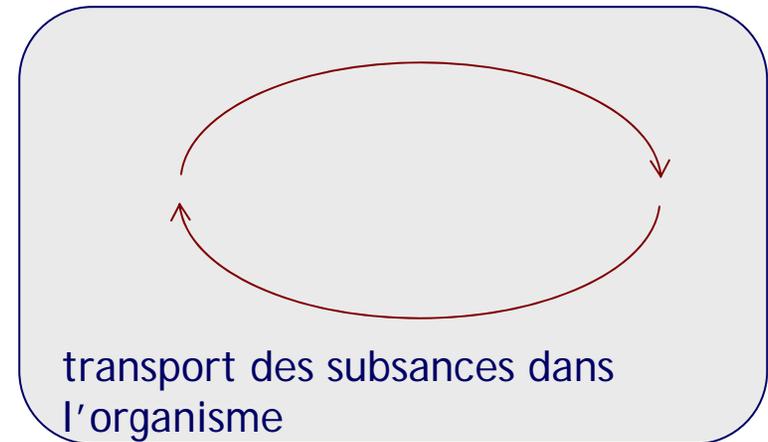
appareil circulatoire fermé

artères → capillaires → veine

tuyauterie discontinue :

appareil circulatoire ouvert

artères → hémocoèle → veine



NB : la distinction artères/veines pas toujours pertinente

convection : différentiel de pression hydraulique le long du circuit

sang/hémolymphe

- eau
- sels minéraux et ions
- nutriments (a. aminés, glucides simples, lipides)
- déchets azotés
- protéines (albumine, immunoglobulines...)
- O_2 ; CO_2
- pigments respiratoires (en solution ou dans érythrocytes)
- cellules (globules rouges, globules blancs)
- hormones

système vasculaire clos : séparation sang / liquide interstitiel

sang : fluide circulant dans les vaisseaux

(mais échange avec liquide interstitiel par diffusion)

système vasculaire ouvert : continuité vaisseaux-milieu interstitiel

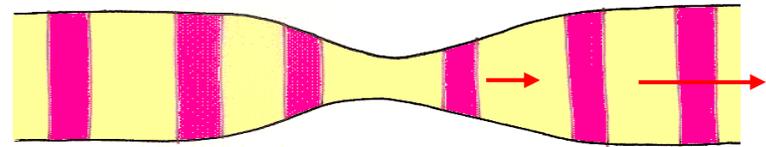
hémolymphe : fluide circulant dans les vaisseaux et milieu interstitiel

coeur

les différents types de coeur

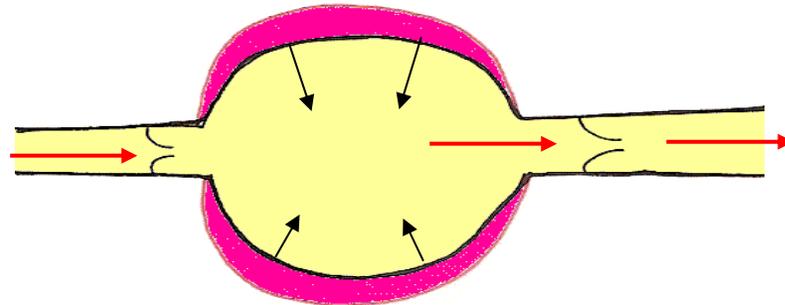
pompe péristaltique
(ex. Annélides)

contraction des muscles circulaires
→ propulsion péristaltique



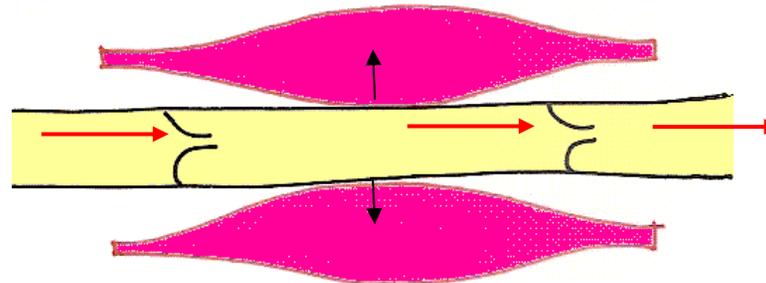
pompe à chambre
(ex. Vertébrés, Mollusques)

contraction des muscles de la chambre
→ éjection systolique



tube étirable/compressible
(ex. Insectes)

contraction des muscles relié au vaisseau
→ étirement diastolique



vaisseaux

artères : vaisseaux afférents (vers les tissus)
système ramifié : du coeur du vers lit
capillaire/hémocoèle
entrée du système : gros vaisseaux (aorte)
sortie du système : petits vaisseaux (artérioles →
capillaires)

→pression forte, décroissante des aortes vers les
artérioles terminales
paroi épaisse

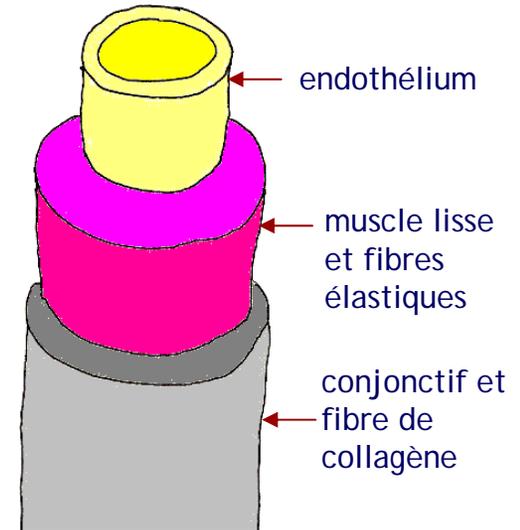
→capacité élastique : grosses artères)

résistance aux fortes pressions/propulsion du sang

→propriétés contractiles (artérioles)

contrôle du diamètre des artérioles / pression et débit sanguins

artères



vaisseaux

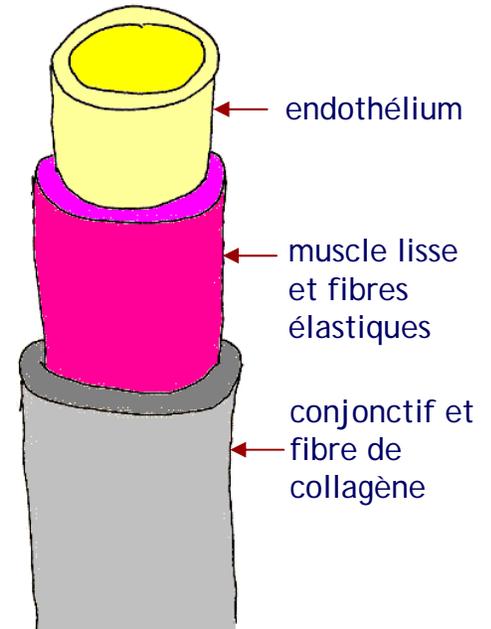
veines : vaisseaux efférents (depuis les tissus)
système ramifié : du lit capillaire/hémocoèle vers de coeur
entrée du système : petits vaisseaux
sortie du système (cavité cardiaque) : gros vaisseaux

→pression, faible décroissante des veinules vers les veines cardinales
paroi mince

→capacité de dilatation : stockage du sang

→éventuellement propriétés contractiles : facilite le retour veineux

veines



vaisseaux

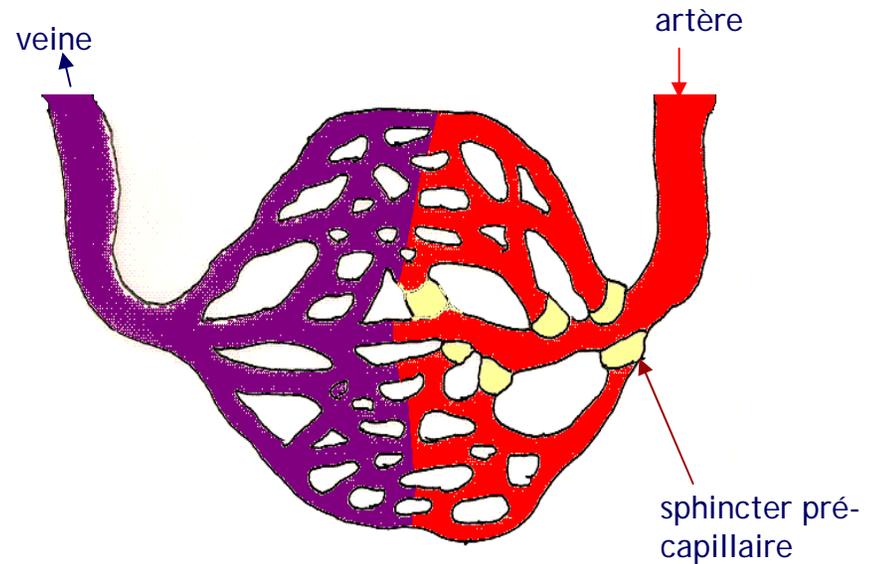
réseau très dense de petits vaisseaux
diamètre : quelques μm
longueur : quelques millimètres

endothélium
lame basale
parfois ouverts (capillaires fenêtrés)

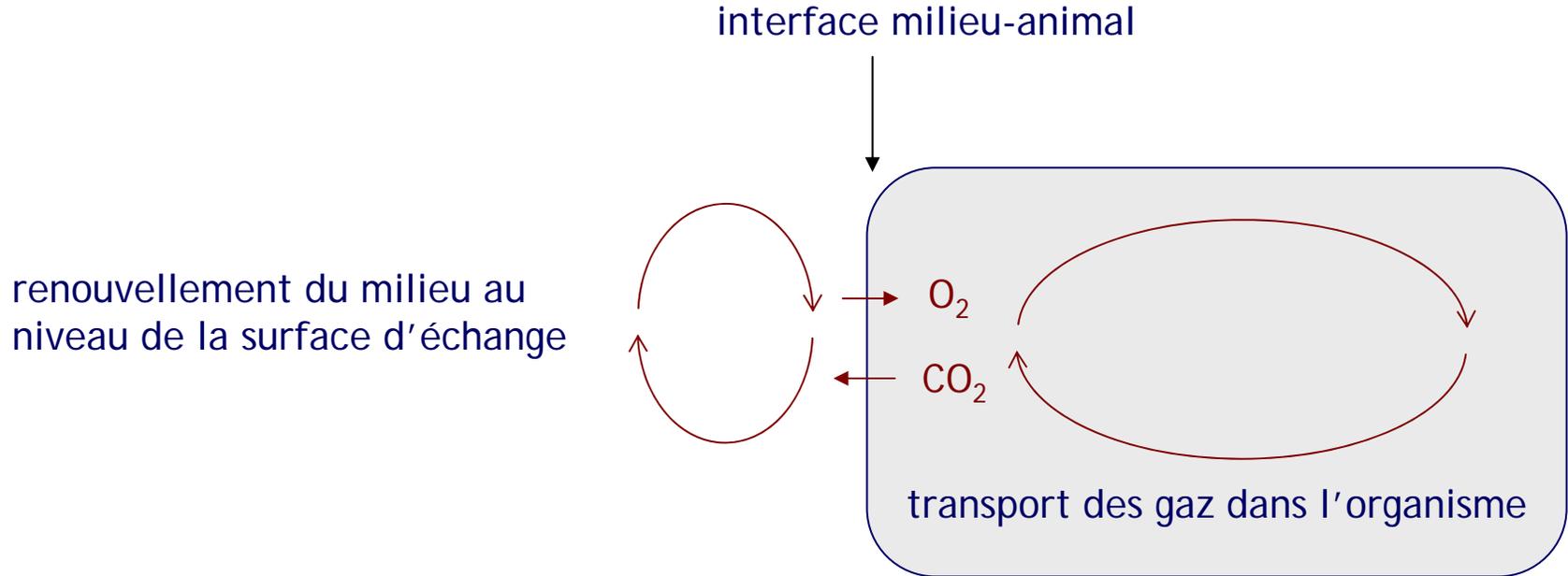
diffusion à travers la paroi : eau, gaz, ions et petites molécules

longueur total des vaisseaux sanguins dans le corps humain :
 $\approx 100\,000\text{ km}$

capillaires



lien avec les appareils respiratoires



vascularisation des surfaces d'échanges gazeux → **détermine la structure de l'appareil circulatoire**

transport des gaz dans le sang → **pigments respiratoires**

organisation générale

structure générale

lien avec les appareils respiratoires

répartition phylogénétique
des pigments respiratoires

pigments présents :

➔ en solution dans le plasma

➔ dans des cellules spécialisées
érythrocytes
(Vertébrés)

pigments

hémoglobine	Échinodermes Plathelminthes Chordés Nématodes Mollusques <i>Chitons</i> <i>Lamellibranches</i> <i>Céphalopodes</i> <i>Opisthobranches pulmonés</i> Annélides <i>Oligochètes</i> <i>Polychètes</i> Crustacés Insectes
hémérythrine	Brachiopodes Sipunculiens Priapulides Annélides <i>Polychètes</i>
chlorocruorine	Annélides <i>Polychètes</i>
hémocyanine	Céphalopodes Opisthobranches pulmonés Crustacés Chélicérates

définition

pas de continuité du système vasculaire :

le sang n'est pas clos

→ arrive dans l'hémocoèle : ensemble de lacunes situées dans les organes, sans forme précise, non délimitées par un endothélium

dans l'hémocoèle : échange de gaz et de métabolites avec les cellules des tissus à travers la membrane plasmique.

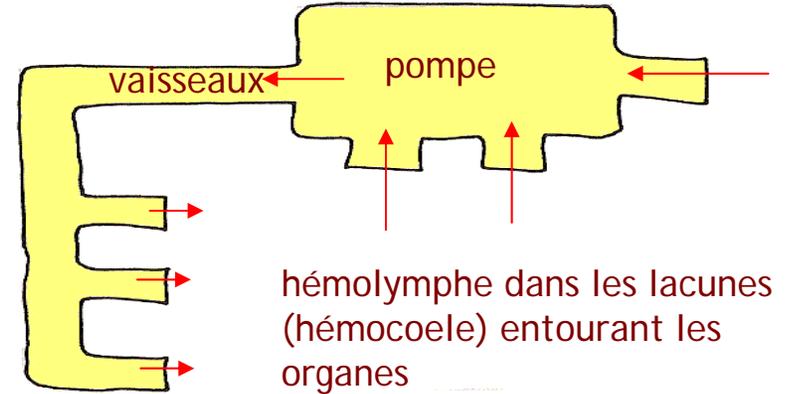
hémocoèle : 20 à 40 % du volume corporel

liquide circulant : hémolymphe

organisation fonctionnelle

- pas de forte pression d'irrigation : problème retour veineux (assuré par cœurs accessoires ou succion péricardique).

- circulation de l'hémolymphe lente (système basse pression): animaux de faible taille ou à métabolisme faible



Arthropodes

Mollusques non Gastéropodes

définition

continuité du système vasculaire :

le sang est clos

→séparation du secteur vasculaire et du secteur intersticiel

volume sanguin : 2 à 10 % du volume corporel

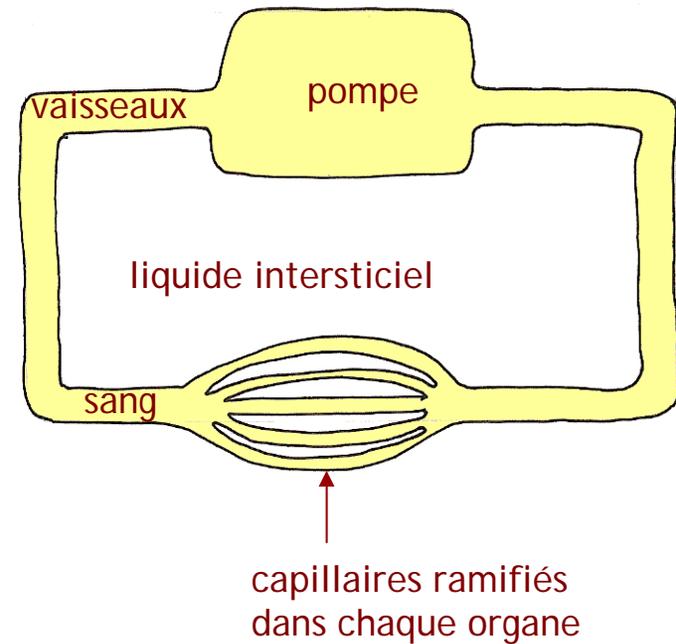
volum intersticiel : 10 à 20 % du volume corporel

liquide circulant : sang

organisation fonctionnelle

- forte pression d'irrigation :
activité cardiaque importante
- la pression systémique et la vitesse
de circulation du sang sont
importantes.

Annélides
Mollusques Gastéropodes
Vertébrés



caractéristiques	ouverts	clos
volume circulant (% poids)	15-20	2-10
capillaires	présents	absents
contractilité des artères	faible	importante
élasticité des artères	faible	importante
pression artérielle	faible	forte
vitesse du sang	faible	élevé

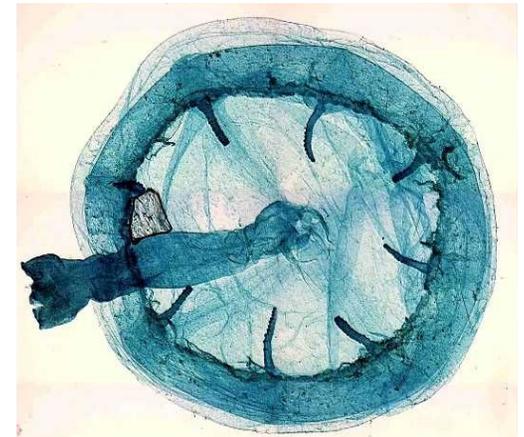
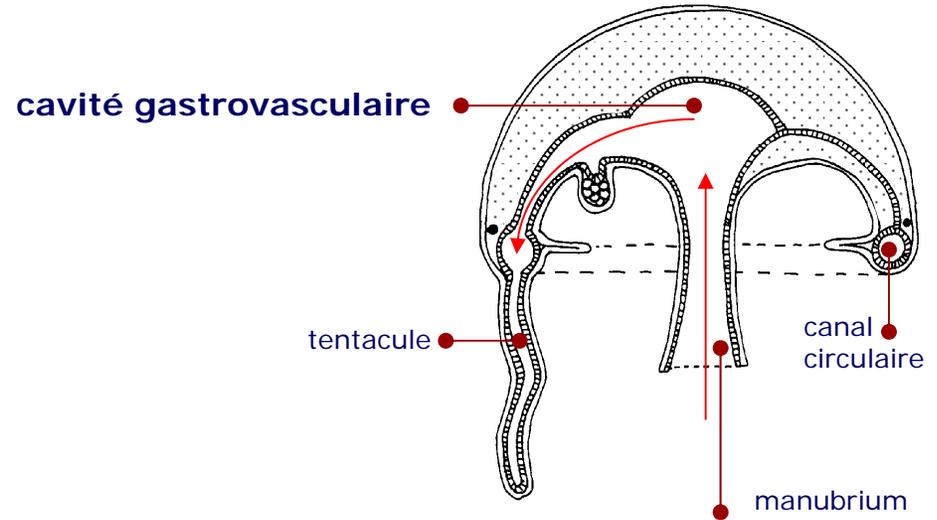
espèce	système circulatoire	pression artérielle (mm Hg) (systolique-diastolique)
Homme	clos	120-80
Girafe	clos	240-180
Grenouille	clos	30-20
Truite	clos	40-32
Poulpe	clos	60-30
Lombric	clos	48-34
Homard	ouvert	3-1
Criquet	ouvert	6-2
Moule	ouvert	2-0

pas de système circulatoire différencié.

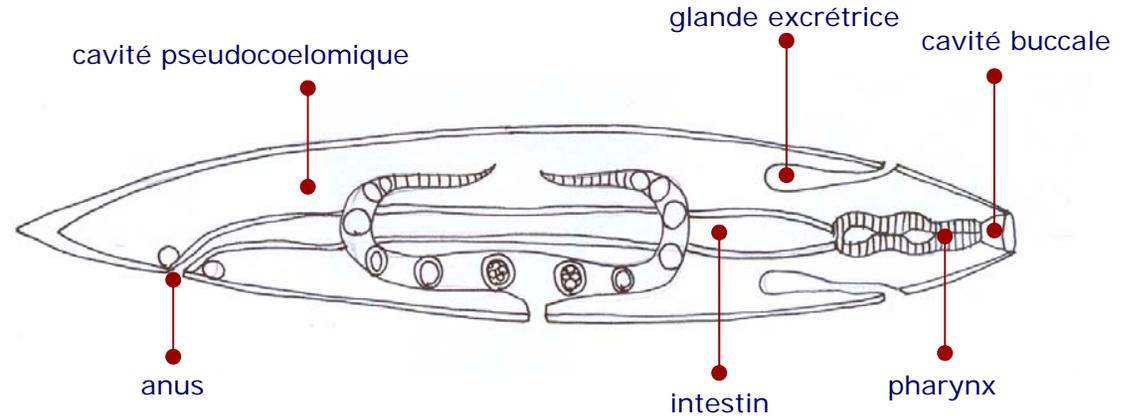
- cavité gastrovasculaire : les ramifications vers le canal circulaire

- Cellules ciliés de la cavité gastrovasculaire : circulation de l'eau et nutriments dans ces canaux

- Échanges entre la cavité gastrovasculaire et les cellules par simple diffusion

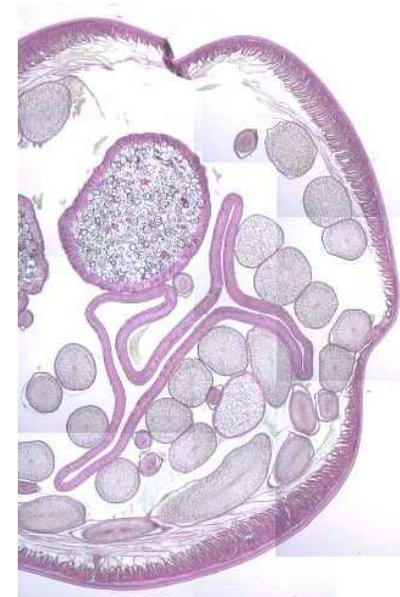


pas de système
circulatoire différencié.

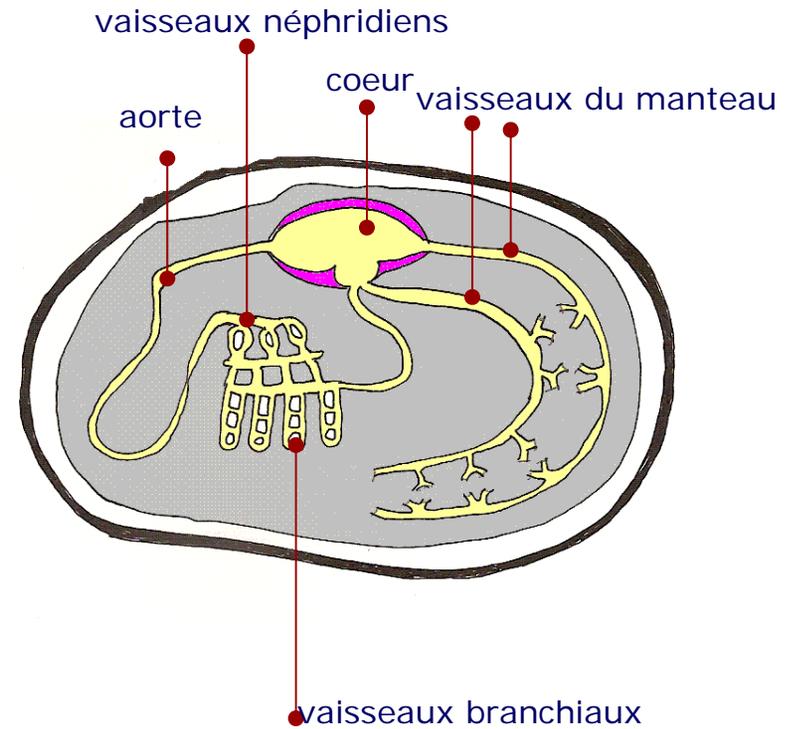
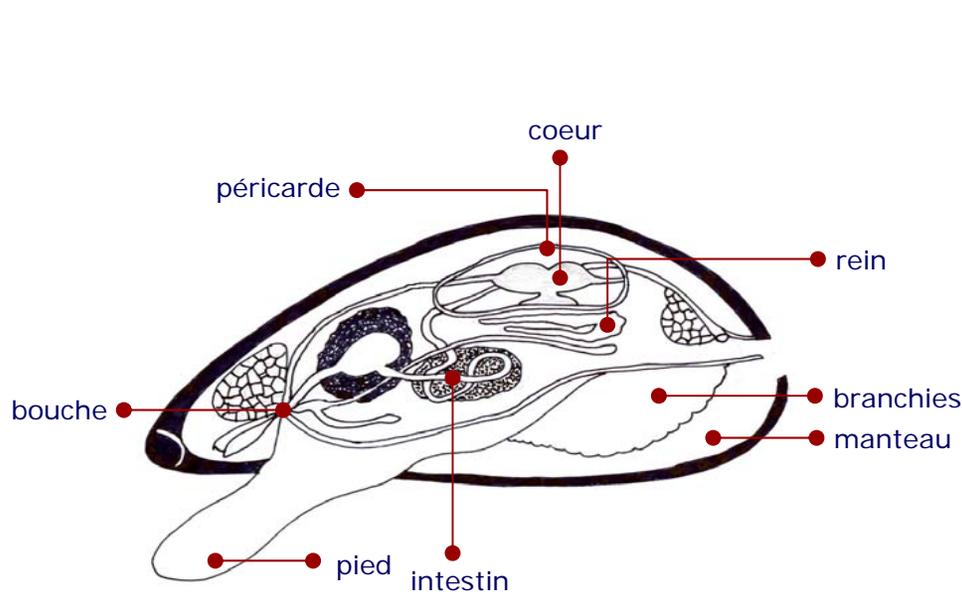


- Les mouvements du corps de l'animal assurent une certaine circulation du liquide interstitiel dans le pseudocœlome.

- Échanges entre la cavité pseudocoelomique et les cellules par simple diffusion



Bivalves



système vasculaire ouvert : ventricule → artères céphalique et viscérale → lacunes (hémocoèle) → veines → oreillettes

Bivalves

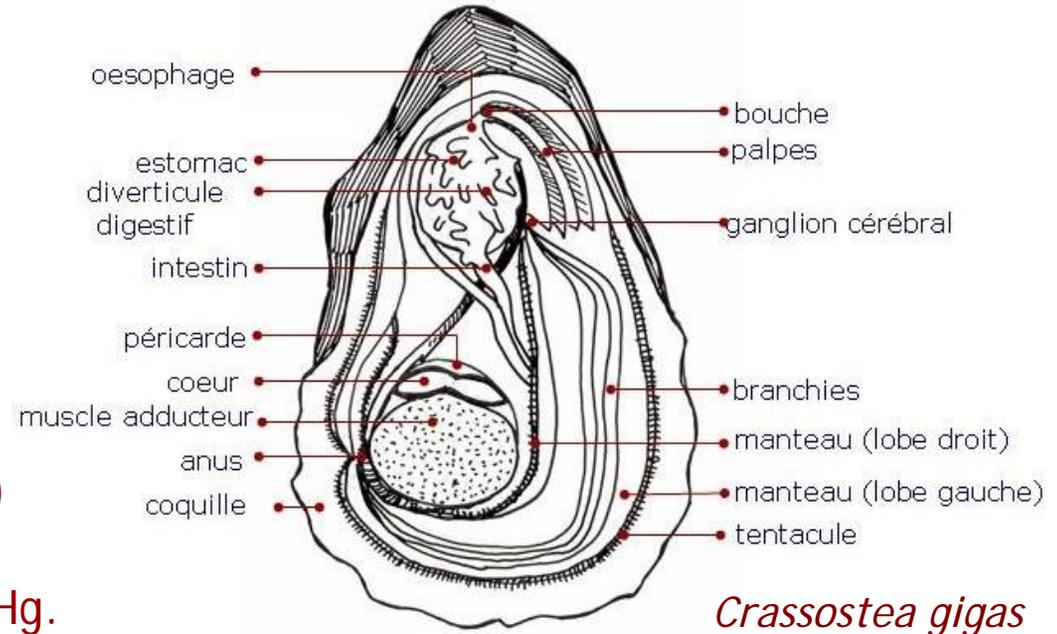


Cœur: un ventricule et 2 oreillettes

fréquence cardiaque: de 20 à 30

battements par minute

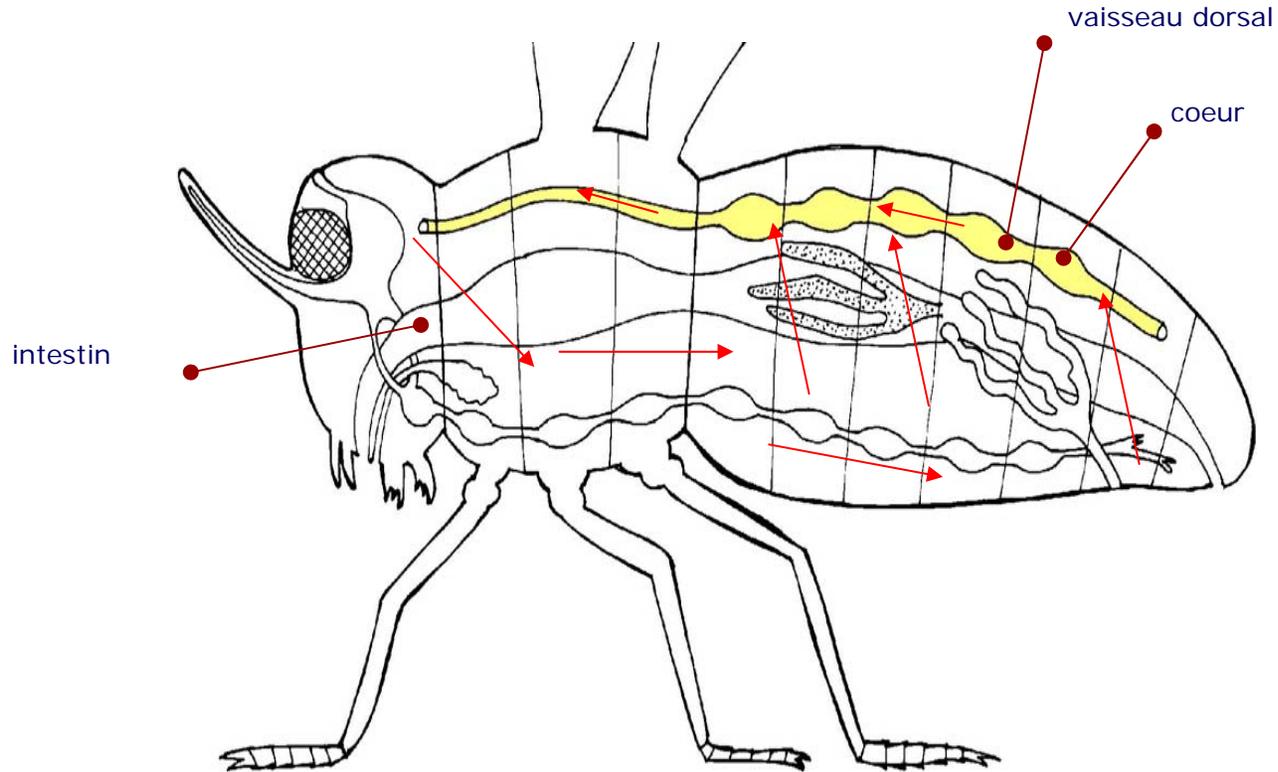
pression systolique: 1,4 mm de Hg.



hémolymphe : incolore, ne contient pas de pigment. O₂ transporté dissous dans l'hémolymphe des branchies vers les organes.

appareil circulatoire ouvert non relié à un appareil respiratoire

Insectes

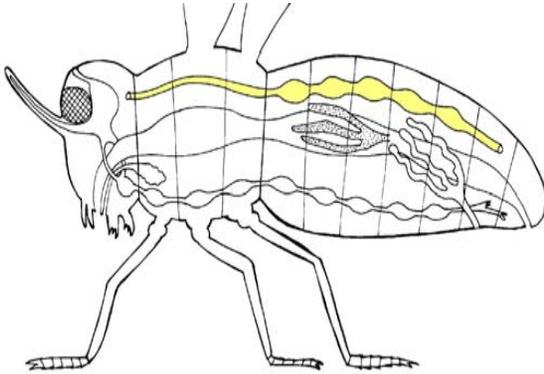


systeme vasculaire ouvert : circulation du sang dans le vaisseau dorsal (arriere vers avant)

ventricule → aorte → artères céphaliques et viscérales → lacunes (hémocoèle)
→ veines → oreillettes

appareil circulatoire ouvert non relié à un appareil respiratoire

Insectes



Cœur : métamérisé

contraction des muscles aliformes (diastole) :

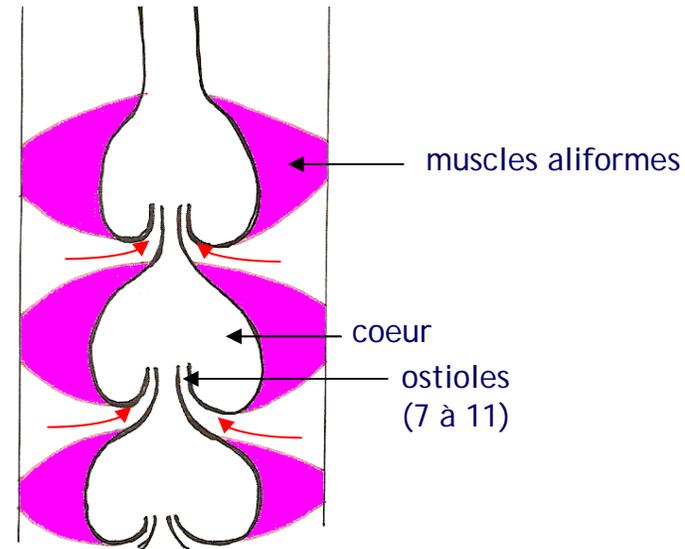
augmentation de volume du cœur

ouverture des ostioles : entrée de l'hémolymphe par les ostioles

relaxation des muscles aliformes (systole):

diminution du volume du cœur

fermeture des ostioles : éjection du sang vers l'avant



hémolymphe : incolore, ne contient pas de pigment (sauf cas particulier).

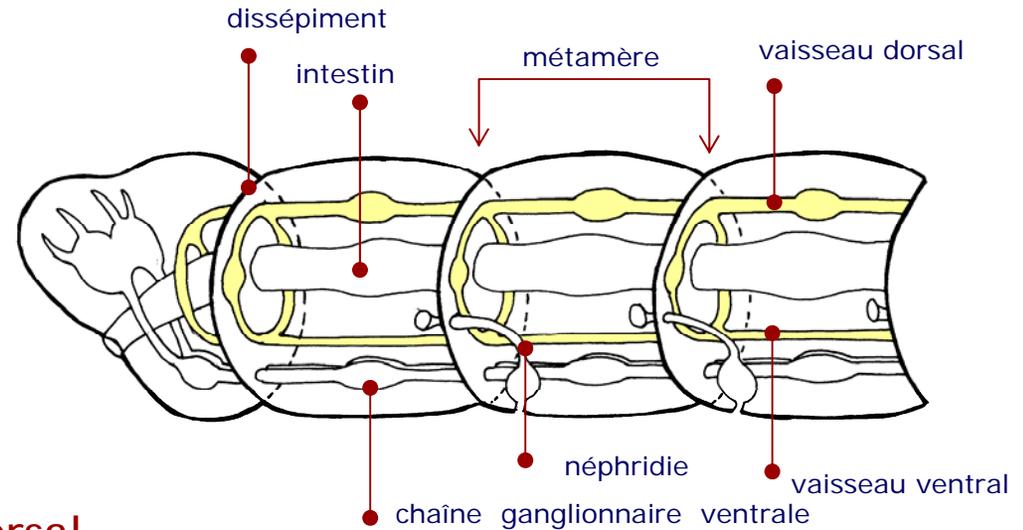
Pas de fonction respiratoire. Eau, sels minéraux, a. azminés, métabolites, déchets azotés.

appareil circulatoire clos.

vaisseau dorsal

vaisseau ventral

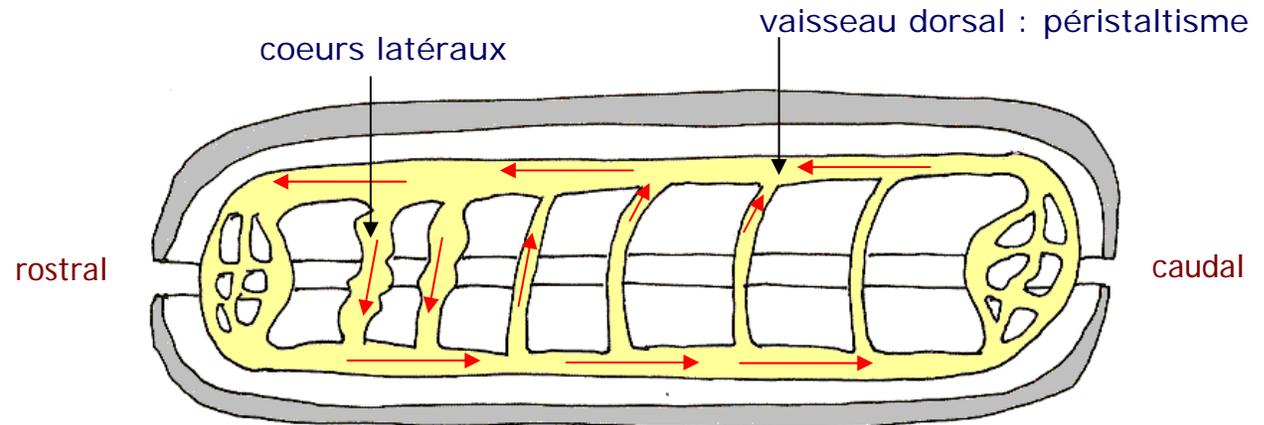
réseaux capillaires vers les tissus



pompe sanguine

- activité péristaltique du vaisseau dorsal.

- cinq paires de « cœurs latéraux » situées vers l'avant (S7 à 11). (20 battements/min)



sang

pigment dissous

généralités

appareil circulatoire clos

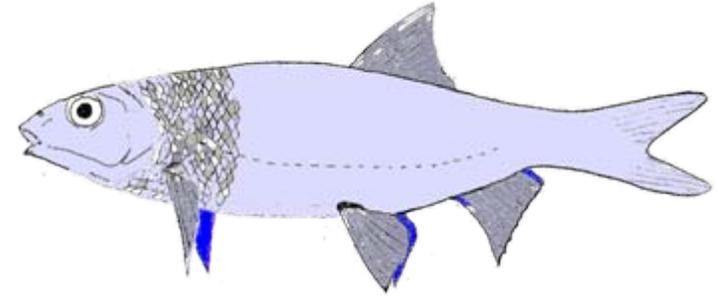
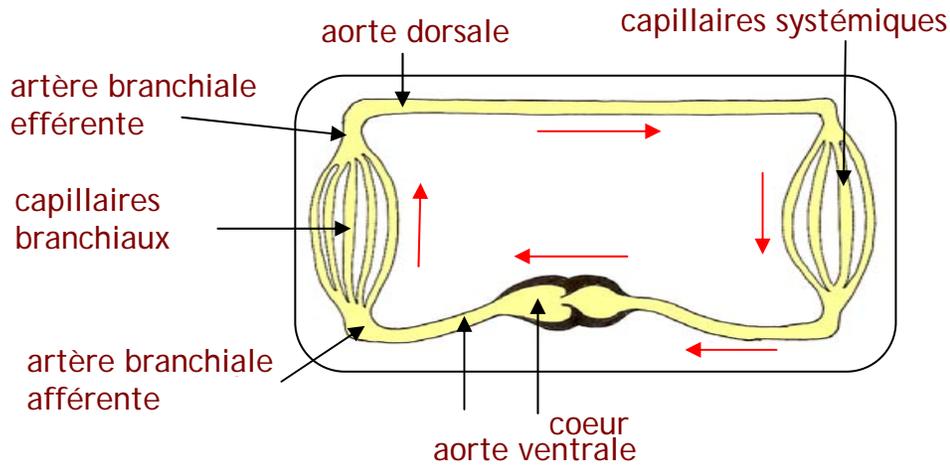
sang non stagnant, circule dans les vaisseaux par l'action d'une pompe ventrale

différentiation entre circulation sanguine et circulation lymphatique

pigments respiratoires dans des cellules : érythrocytes

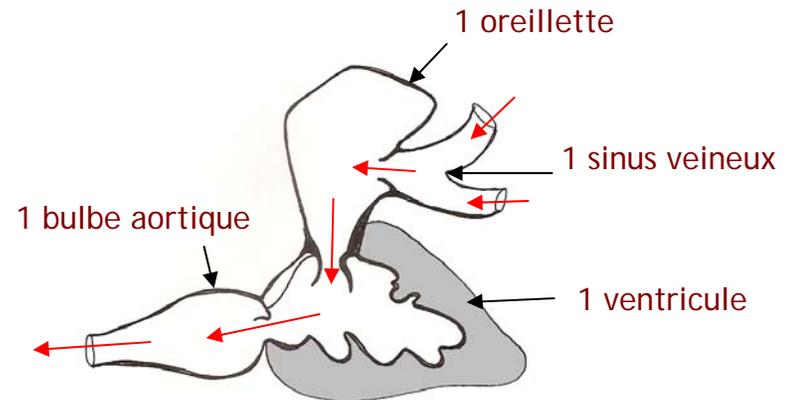
relié à une respiration branchiale

Téléostéens



coeur

- 1 sinus veineux
- 1 oreillette
- 1 ventricule
- 1 bulbe aortique



reçoit du sang non oxygéné

vaisseaux : le sang passe par deux lits capillaires à chaque circuit.

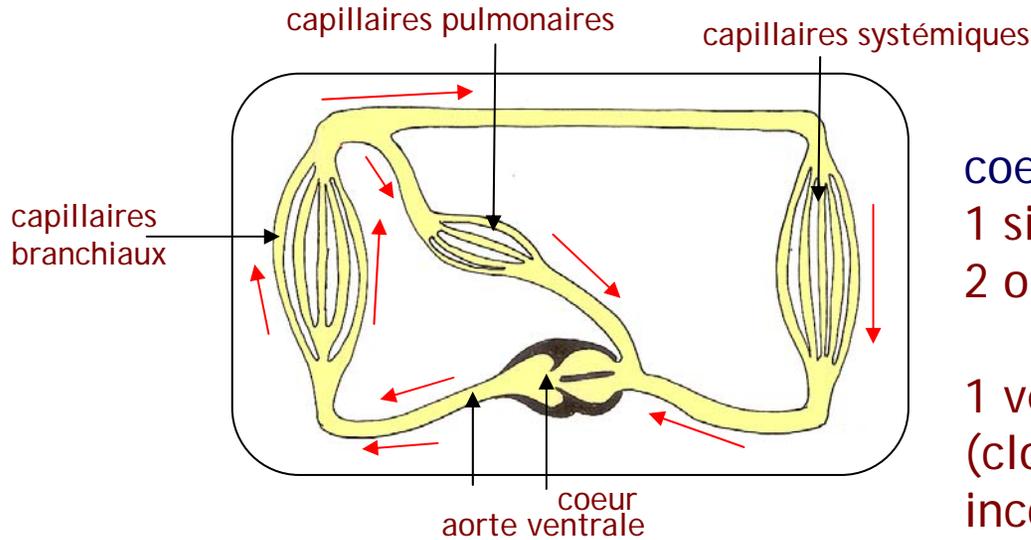
- le premier dans les branchies.
- le second dans les autres organes

appareil circulatoire fermé

Vertébrés

relié à une respiration bimodale

Dipneustes



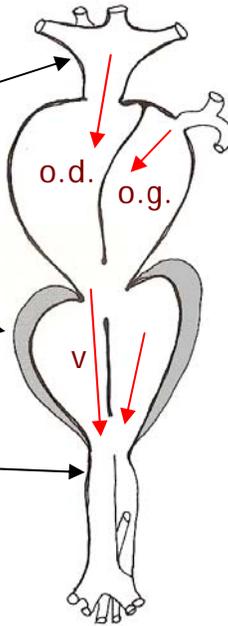
coeur

1 sinus veineux

2 oreillettes

1 ventricule
(cloisonnement
incomplet)

1 bulbe aortique



vaisseaux :

aorte ventrale en 2 parties :

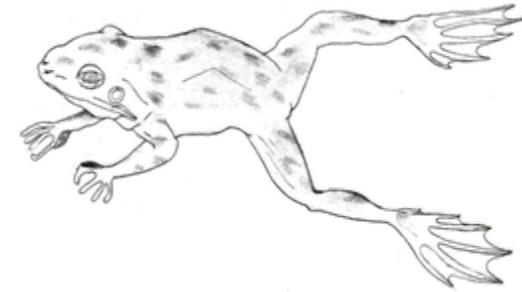
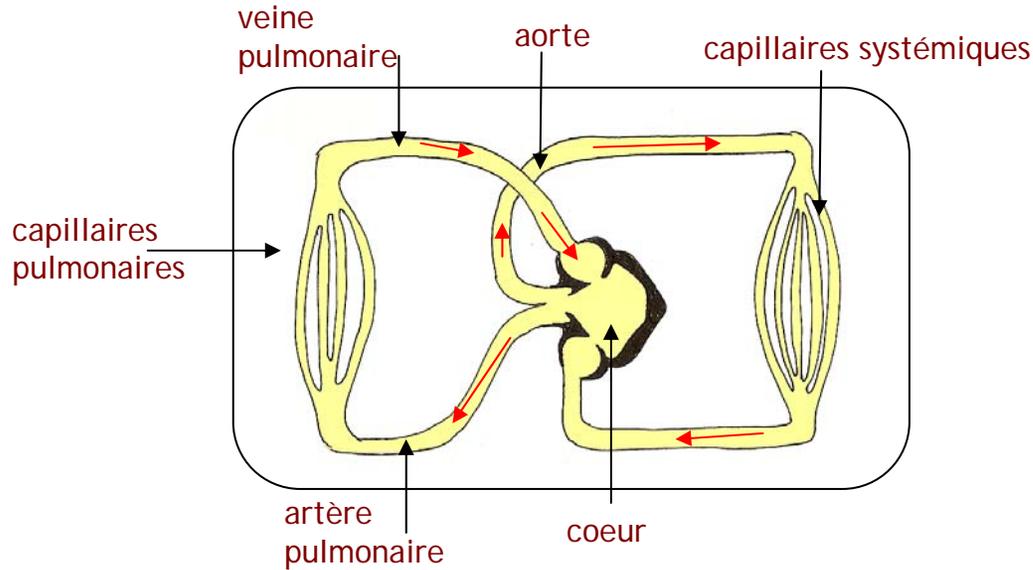
rampe ventrale : irrigue les branchies antérieures

rampe dorsale : irrigue les 2 dernières paires de branchies, dont les vaisseaux donnent dans l'artère pulmonaire. Le sang oxygéné dans le poumon revient au coeur par la veine pulmonaire

existence d'une « petite » circulation : circulation pulmonaire

relié à une respiration pulmonée

Amphibiens pulmonés



vaisseaux

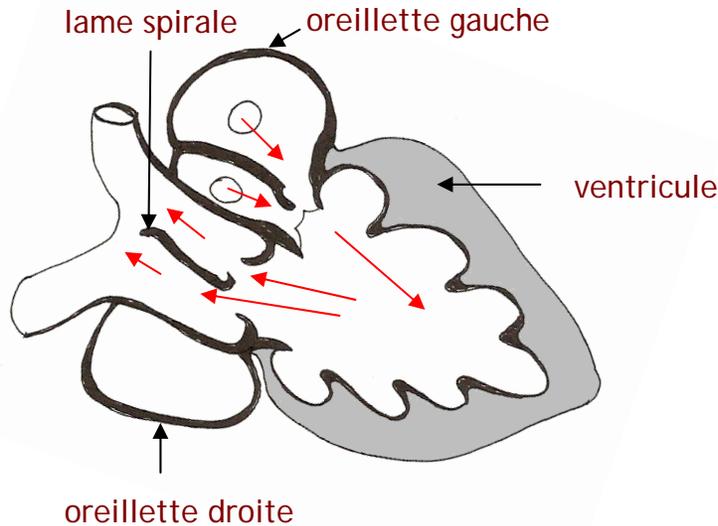
2 circulations :

circulation systémique ou grande circulation : conduit aux tissus

- petite circulation conduit au poumon et à la peau où le sang s'enrichit en O_2 en circulant dans les capillaires.

relié à une respiration pulmonée

Amphibiens pulmonés



coeur

2 oreillettes

1 ventricule non cloisonné

lame spirale de la crosse aortique :
facilite la séparation des sangs non
oxygéné (o.droite) et oxygéné
(o.gauche)

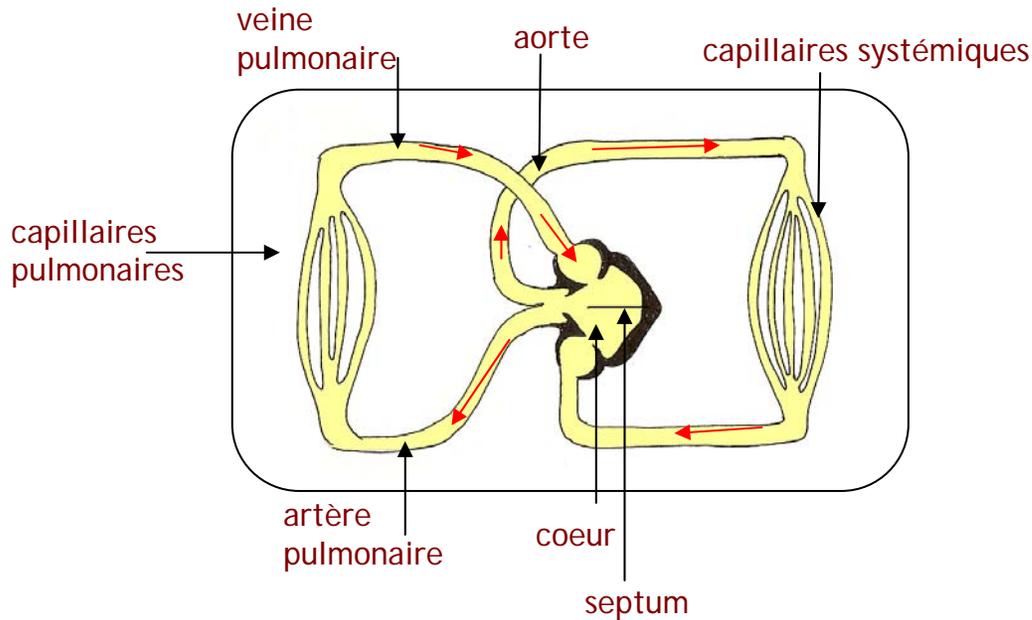
Malgré le ventricule unique il y a séparation du sang.

Le ventricule chasse le sang dans une artère ramifiée qui dirige le sang dans deux circuits, la petite circulation et la grande circulation;

contraction asynchrone des oreillettes. Contraction en 2 temps du ventricule

relié à une respiration pulmonée

Chéloniens



coeur

- Tortue, Lézard, Serpent : 2 oreillettes séparées
- ventricule partiellement subdivisé par une cloison musculaire incomplète : le septum.

vaisseaux

2 circulations :

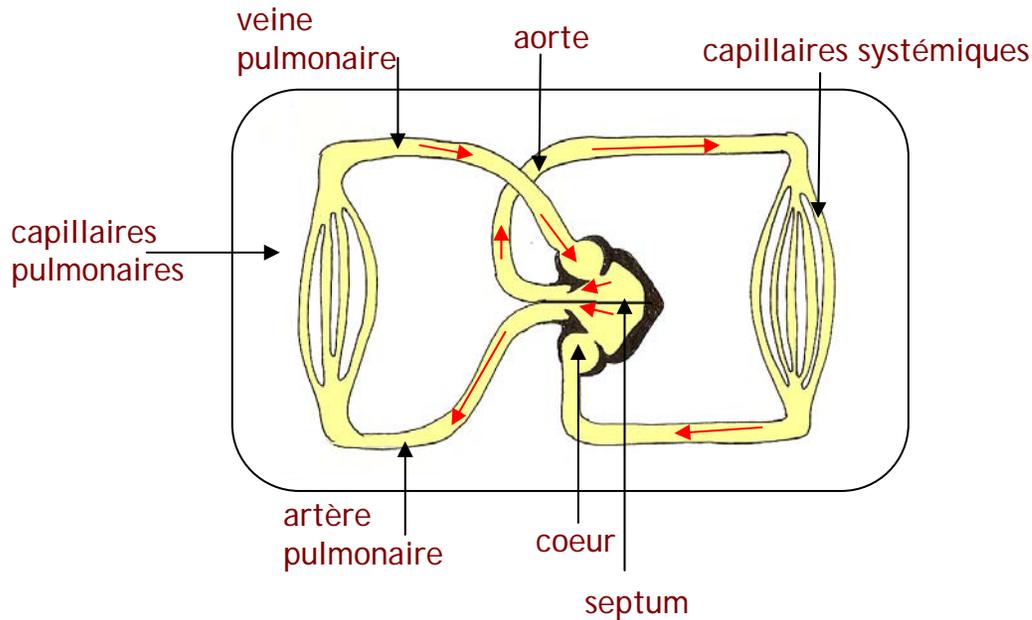
circulation systémique ou grande circulation : conduit aux tissus

- petite circulation conduit au poumon où le sang s'enrichit en O_2 en circulant dans les capillaires.

Flux de sang vers poumon ou circuit systémique déterminé par résistance dans chaque partie système circulatoire.

relié à une respiration pulmonée

Mammifères



coeur

- complètement cloisonné
- 2 oreillettes séparées
- 2 ventricules séparés par le septum

vaisseaux

2 circulations :

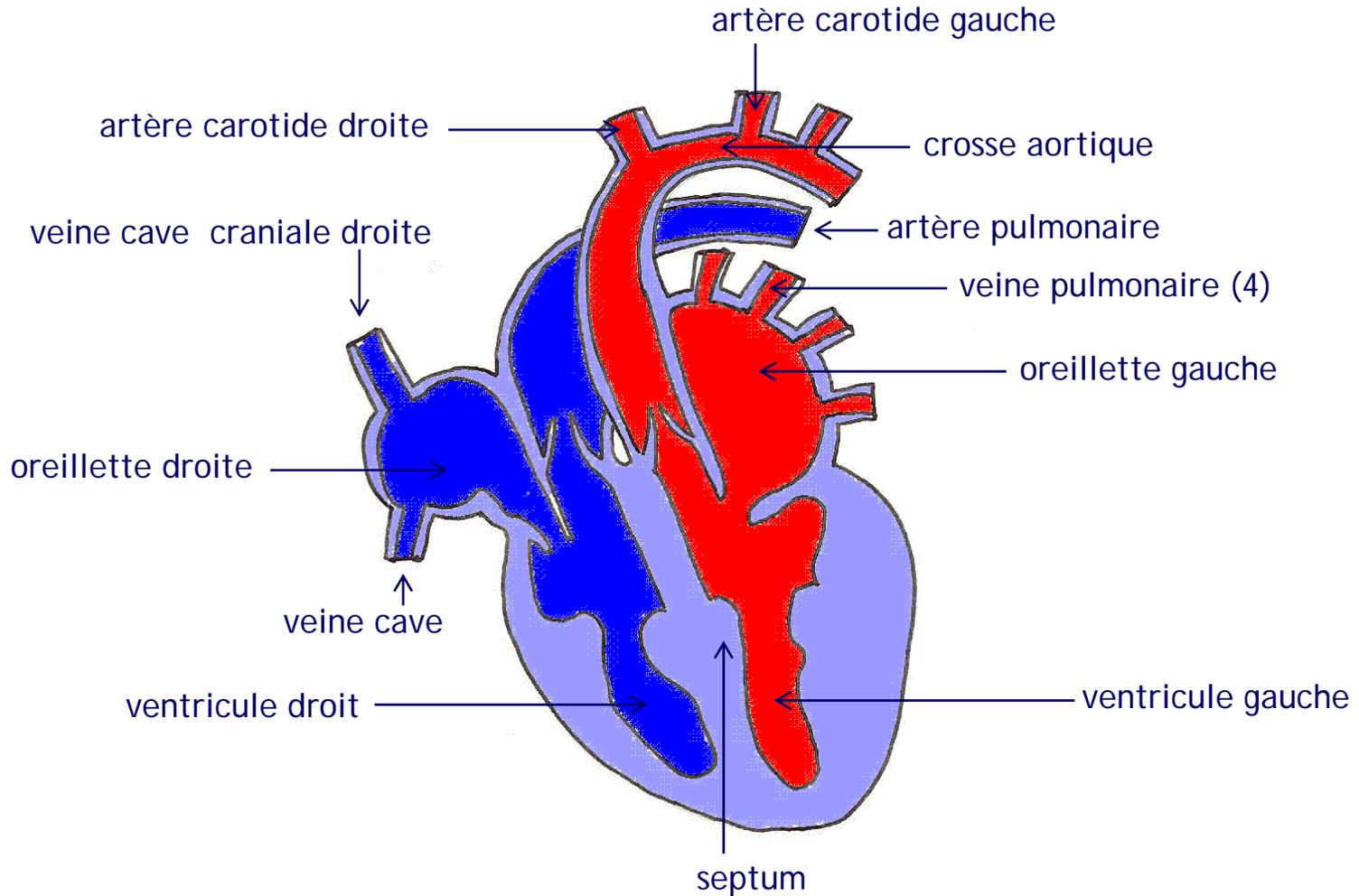
- circulation systémique ou grande circulation : conduit aux tissus
- petite circulation conduit au poumon où le sang s'enrichit en O_2 en circulant dans les capillaires.
- circulations complètement séparées

appareil circulatoire fermé

Vertébrés

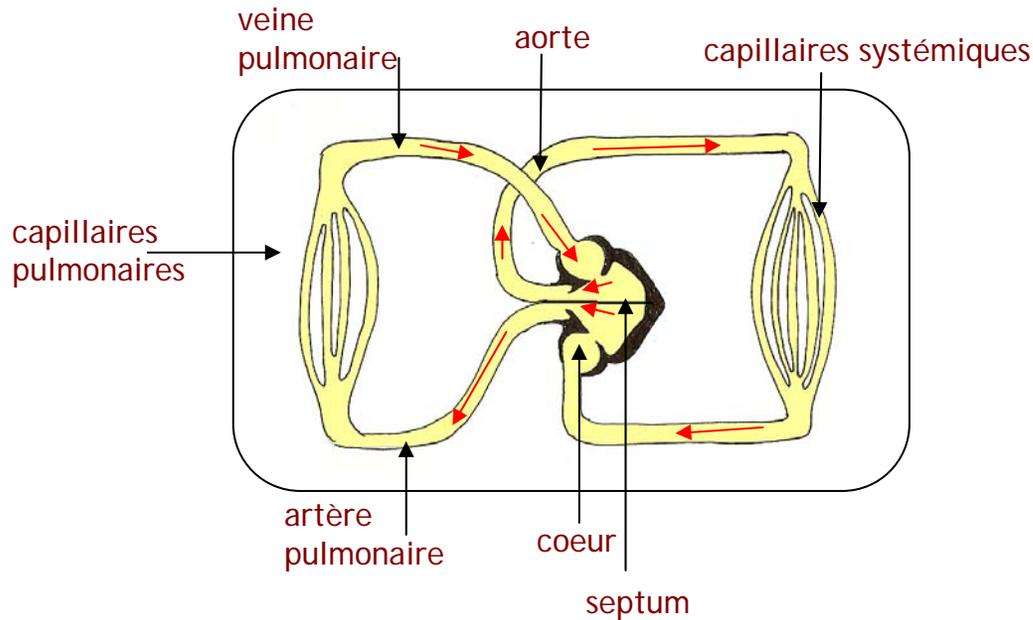
relié à une respiration pulmonée

Mammifères



relié à une respiration pulmonée

Oiseaux



coeur

- complètement cloisonné
- 2 oreillettes séparées
- 2 ventricules séparés par le septum

vaisseaux

2 circulations :

- circulation systémique ou grande circulation : conduit aux tissus
- petite circulation conduit au poumon où le sang s'enrichit en O_2 en circulant dans les capillaires.
- circulations complètement séparées (idem Crocodiliens)

appareil circulatoire et liens phylétiques des Tétrapodes

Ancêtres des Tétrapodes : Panderichthyidés (sarcoptérygiens éteints)

Dévonien (370-390 Ma: apparition de Tétrapodes aquatiques
respiration bimodale : branchie/poumon
fraction O₂ faible (15 %)

Carbonifère (360-320 Ma : apparition de Tétrapodes terrestres
passage d'une respiration bimodale à monomodale
forte fraction O₂ (35%); fraction de CO₂ (0,003%)

structure putative du poumon des Tétrapodes primitifs:

poumon monocavitaire septé

structure putative de l'appareil circulatoire des Tétrapodes primitif:

coeur non cloisonné; 3 lits capillaires (branchie, poumon, tissus)

appareil circulatoire et liens phylétiques des Tétrapodes

