



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](mailto:etienne.roux@u-bordeaux2.fr)*

*support de cours :*

*plateforme pédagogique l'UFR des sciences de la Vie  
[e-fisio.net](http://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
  - $O_2$ ,  $CO_2$ , 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  $\mu\text{M}$  : 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<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>
- 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

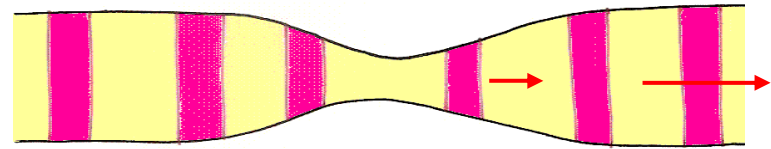
*hémolymphe* : fluide circulant dans les vaisseaux et milieu interstitiel

## coeur

### les différents types de coeur

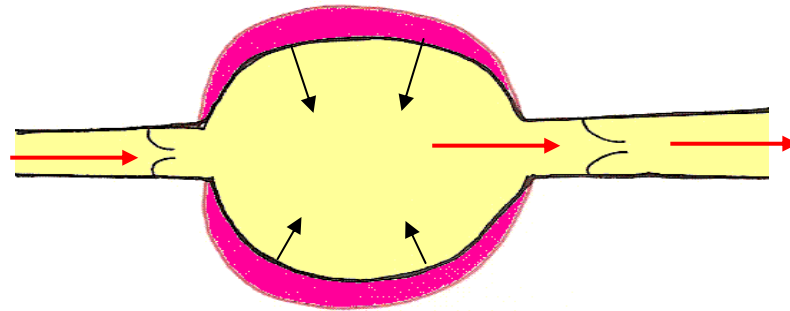
pompe péristaltique  
(ex. Annélides)

contraction des muscles circulaires  
→ propulsion péristaltique



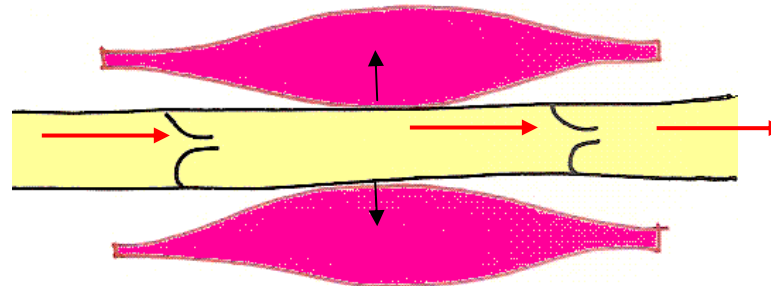
pompe à chambre  
(ex. Vertébrés, Mollusques)

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/hémocoele  
entrée du système : gros vaisseaux (aorte)  
sortie du système : petits vaisseaux (artérioles →  
capillaires)

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

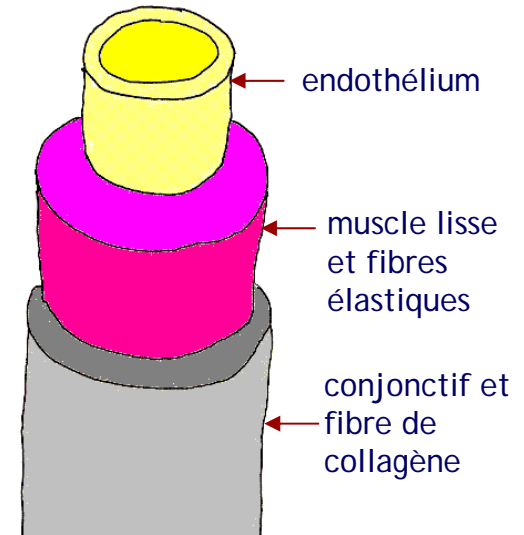
→capacité élastique : grosses artères)

résistance aux fortes pressions/propulsion du sang

→propriétés contractiles (artérioles)

contrôle du diamètre des artérioles / pression et débit sanguins

## artères





## vaisseaux

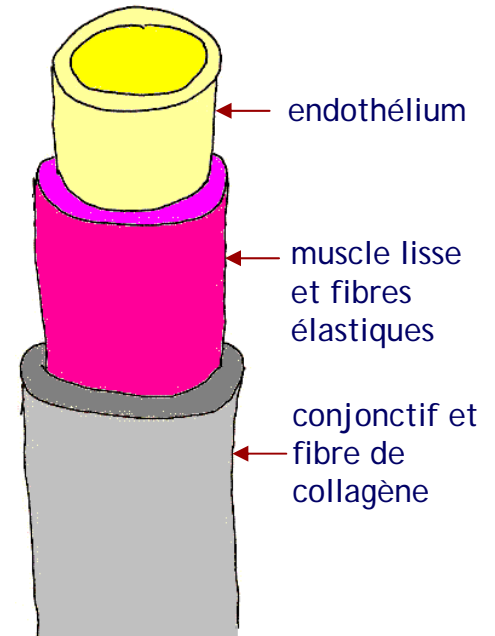
veines : vaisseaux efférents (depuis les tissus)  
système ramifié : du lit capillaire/hémocoèle vers de coeur  
entrée du système : petits vaisseaux  
sortie du système (cavité cardiaque) : gros vaisseaux

→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

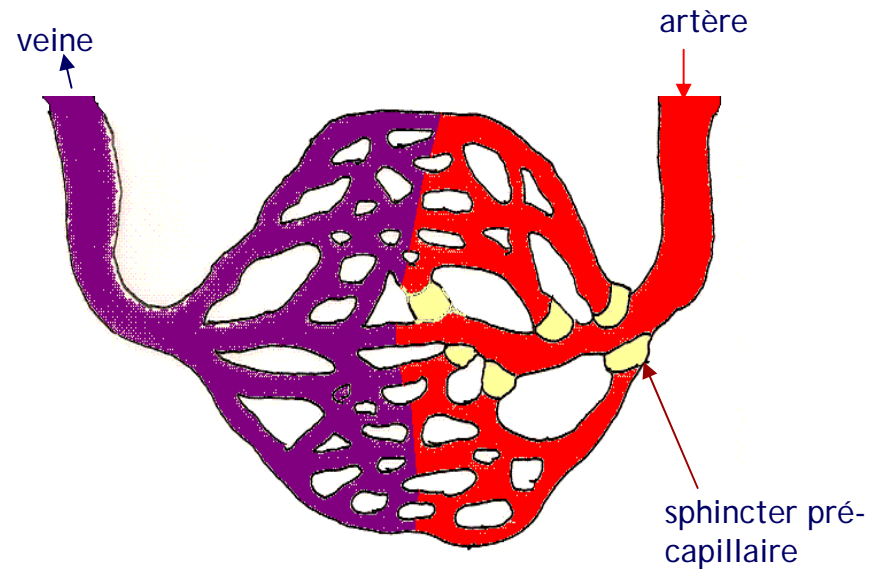
réseau très dense de petits vaisseaux  
diamètre : quelques  $\mu\text{m}$   
longueur : quelques millimètres

endothélium  
lame basale  
parfois ouverts (capillaires fenêtrés)

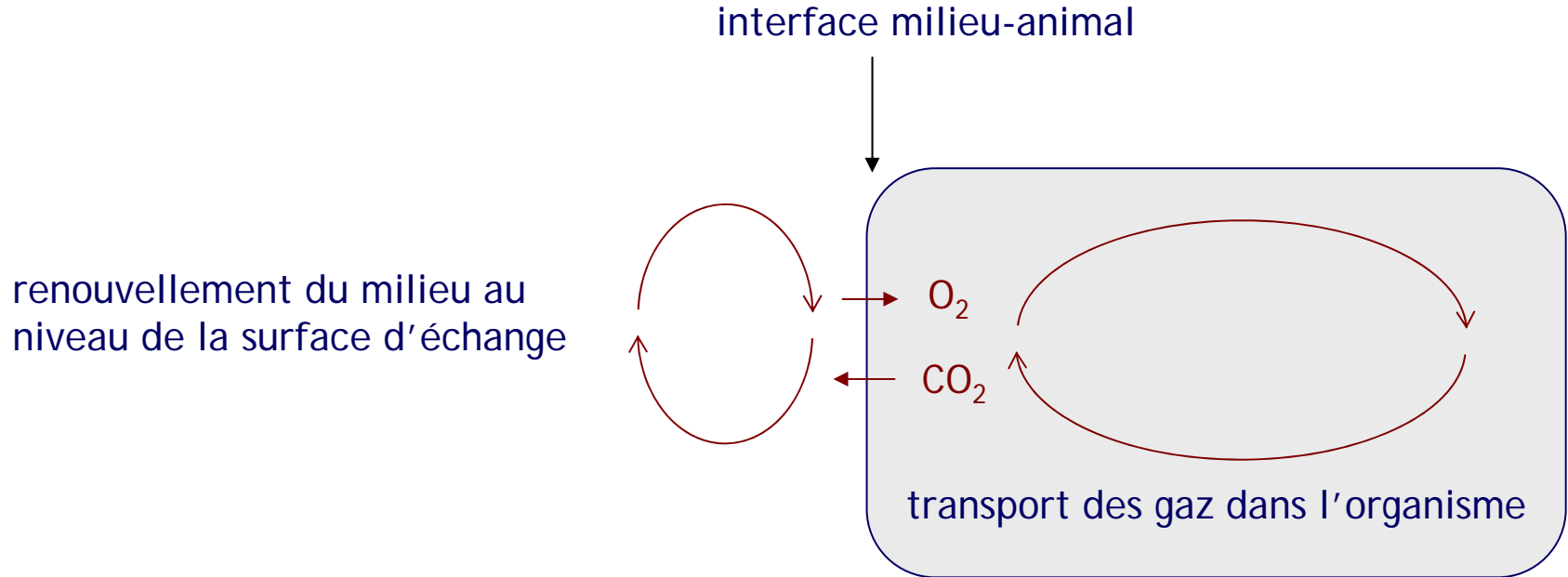
diffusion à travers la paroi : eau, gaz, ions et petites molécules

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

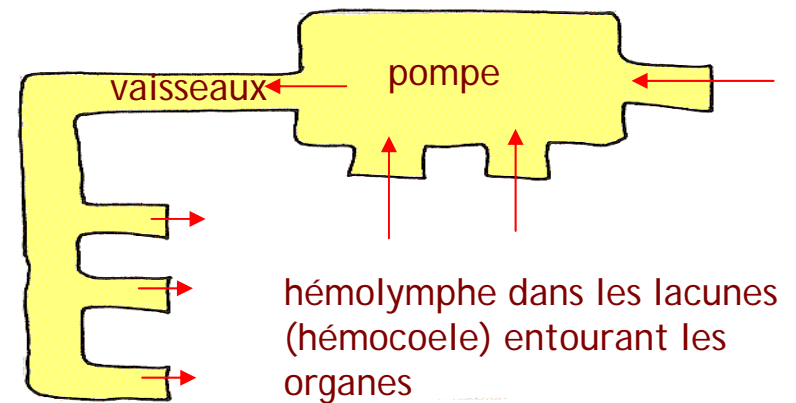
## organisation fonctionnelle

- 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

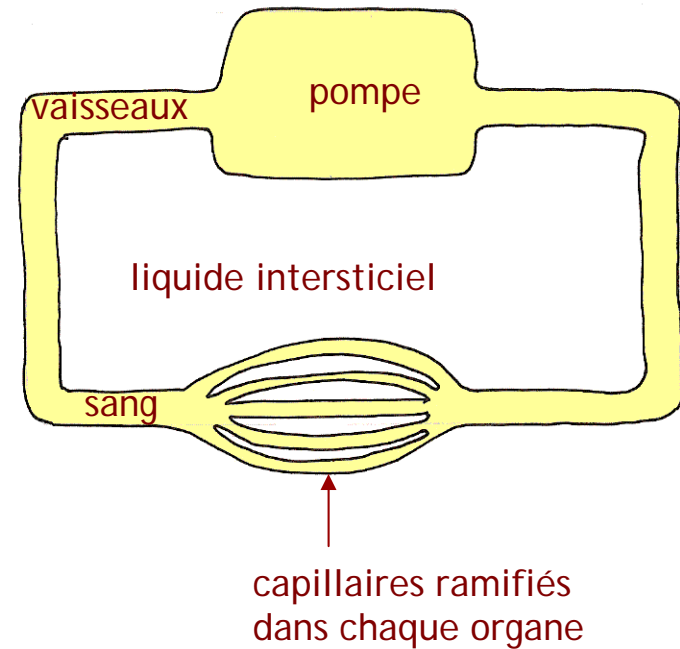
volum intersticiel : 10 à 20 % du volume corporel

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

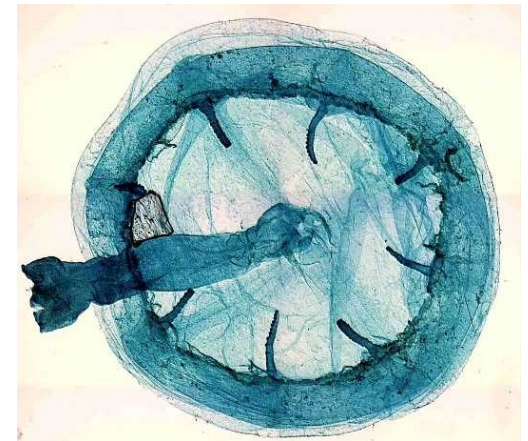
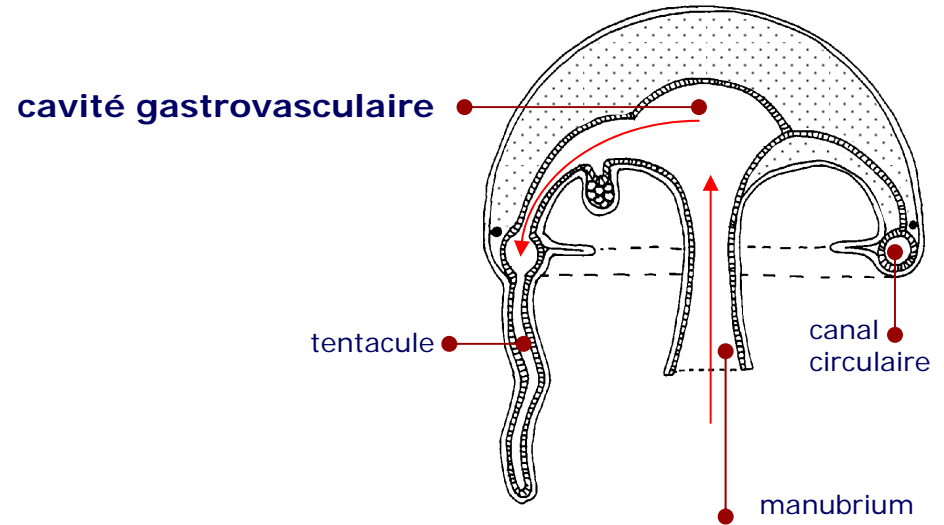
espèce	système circulatoire	pression artérielle (mm Hg) (systolique-diastolique)
Homme	clos	120-80
Girafe	clos	240-180
Grenouille	clos	30-20
Truite	clos	40-32
Poulpe	clos	60-30
Lombric	clos	48-34
Homard	ouvert	3-1
Criquet	ouvert	6-2
Moule	ouvert	2-0

pas de système circulatoire différencié.

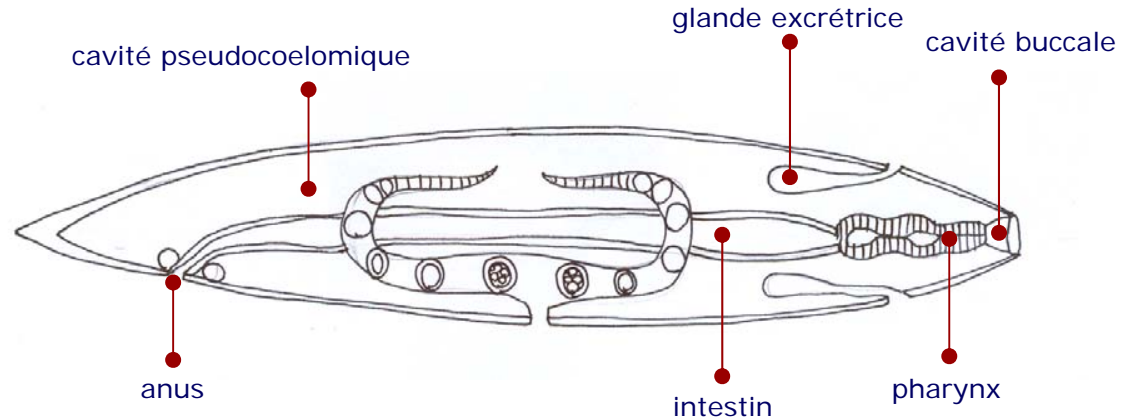
- cavité gastrovasculaire : les ramifications vers le canal circulaire

- 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

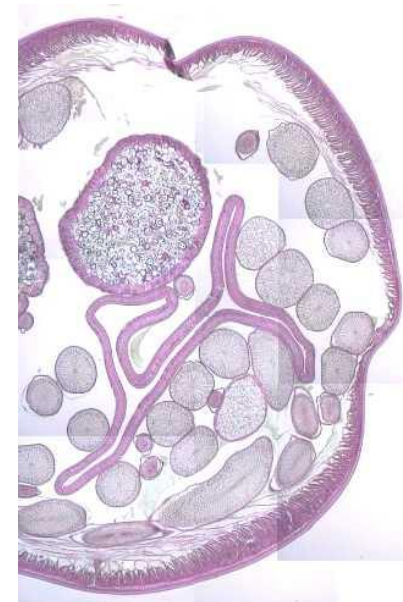


pas de système  
circulatoire différencié.

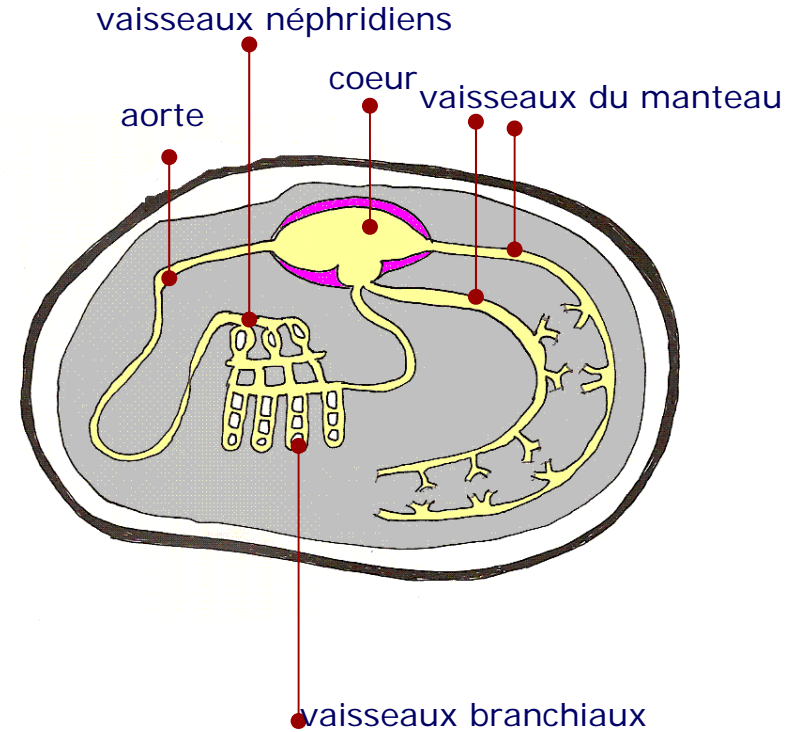
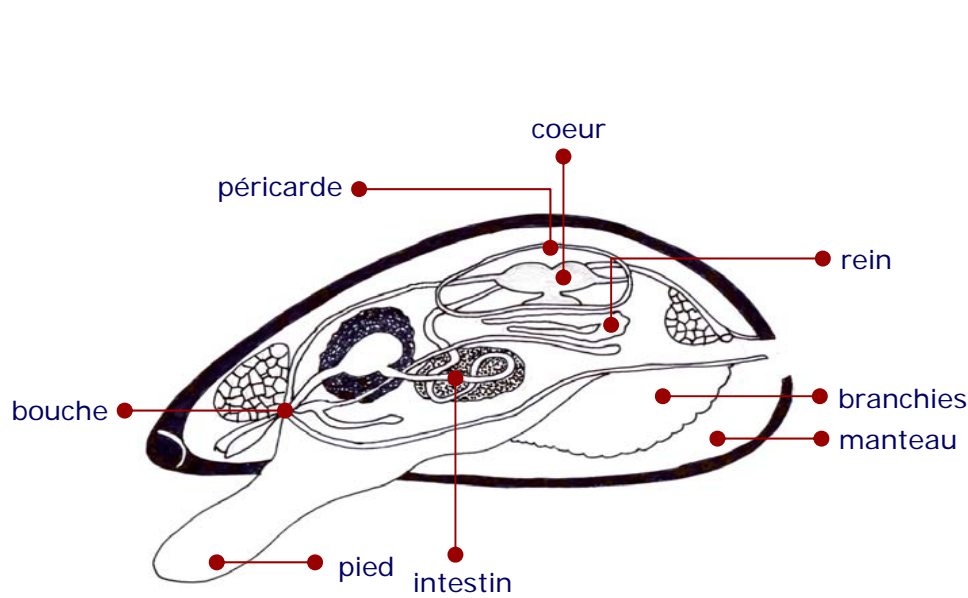


- Les mouvements du corps de l'animal assurent une certaine circulation du liquide interstitiel dans le pseudocœlome.

- 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

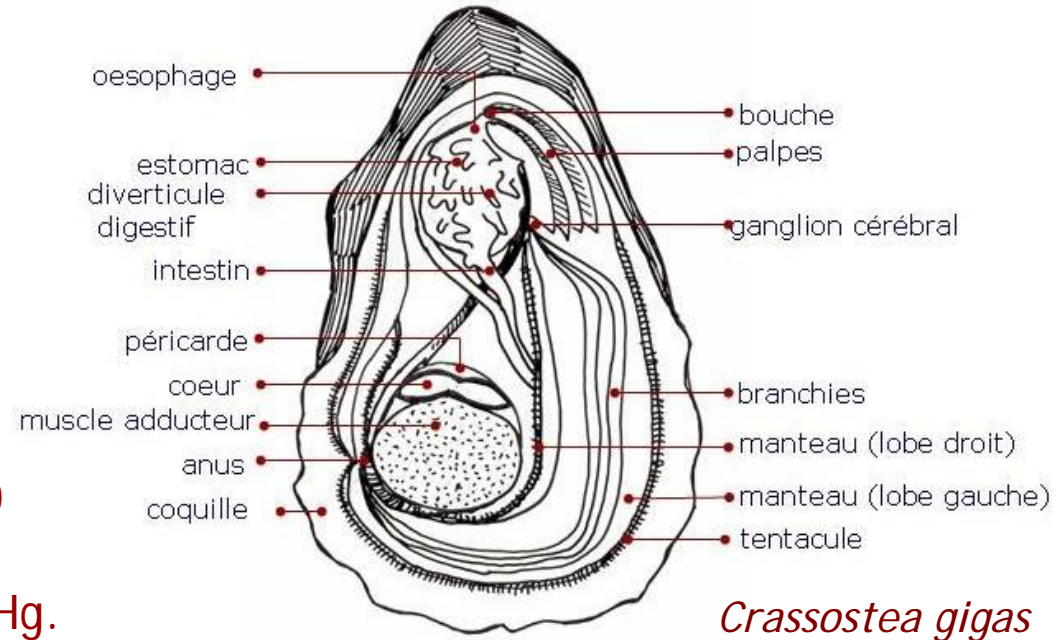


**Cœur:** un ventricule et 2 oreillettes

*fréquence cardiaque:* de 20 à 30

battements par minute

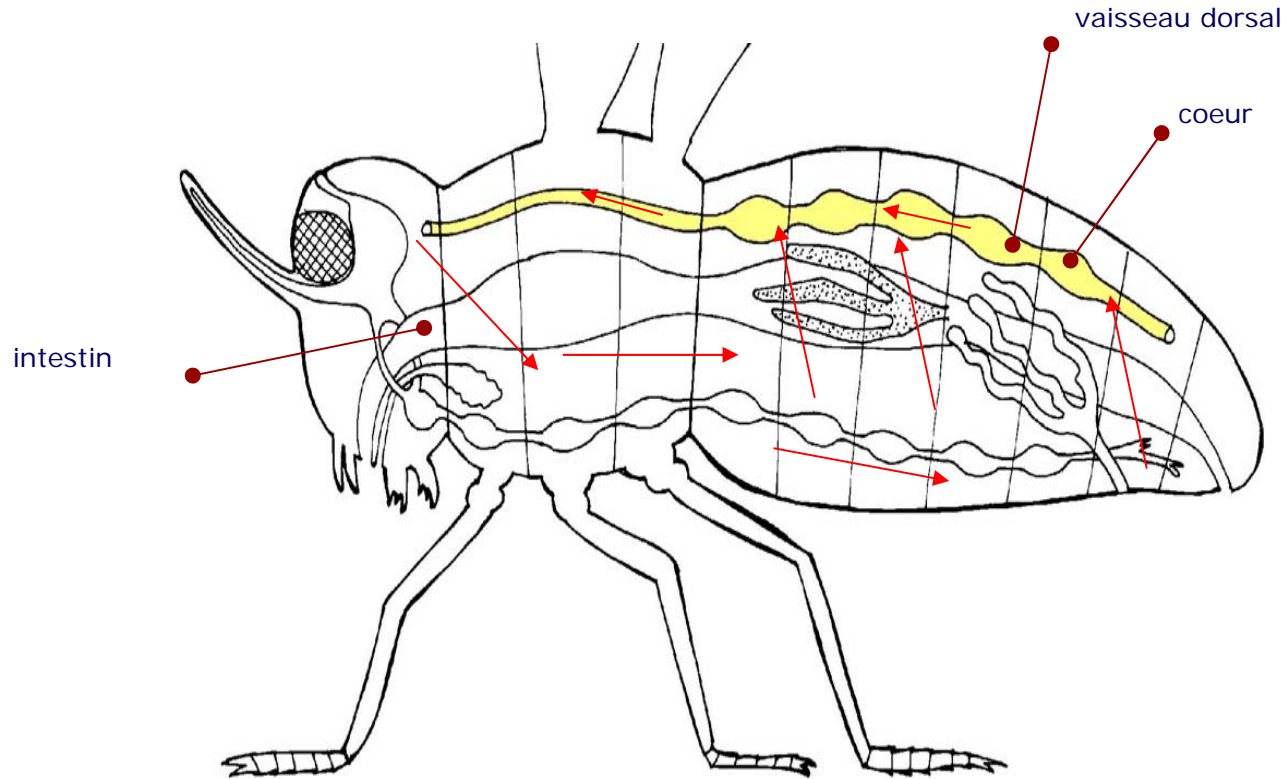
*pression systolique:* 1,4 mm de Hg.



**hémolymphe :** incolore, ne contient pas de pigment. O<sub>2</sub> transporté dissous dans l'hémolymphe des branchies vers les organes.

# appareil circulatoire ouvert non relié à un appareil respiratoire

## Insectes

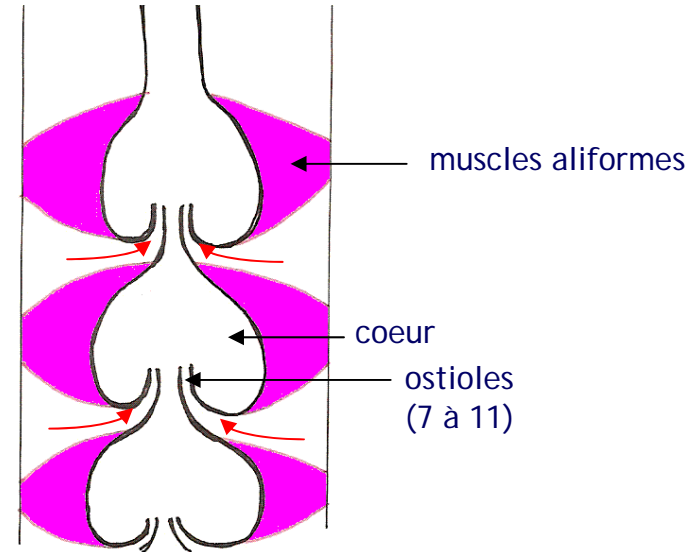
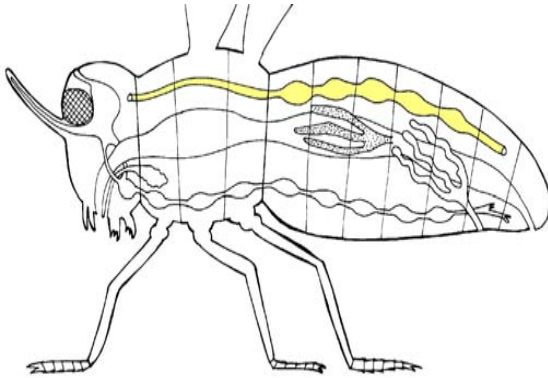


système vasculaire ouvert : circulation du sang dans le vaisseau dorsal (arrière vers avant)

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 coeur

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

relaxation des muscles aliformes (systole):

diminution du volume du coeur

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.

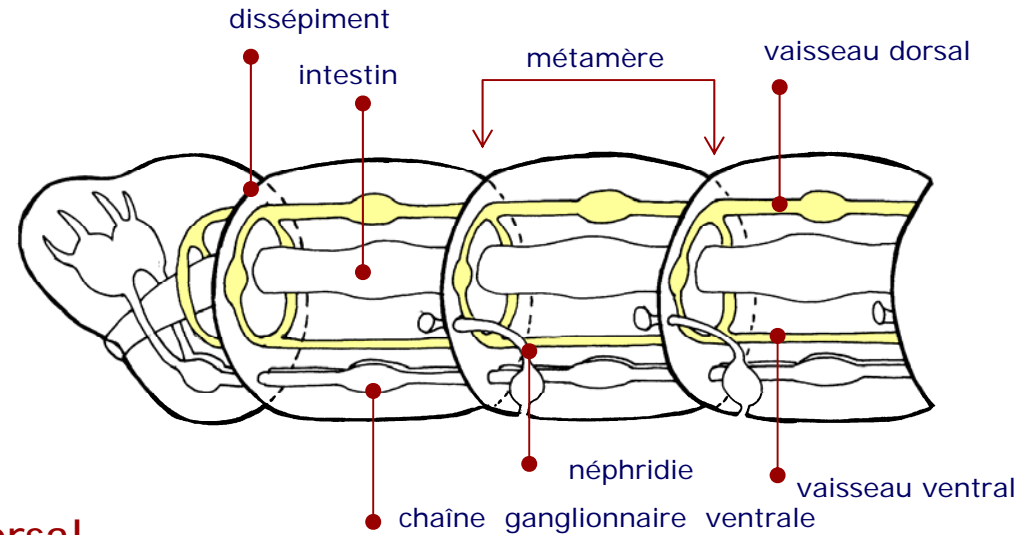


appareil circulatoire clos.

vaisseau dorsal

vaisseau ventral

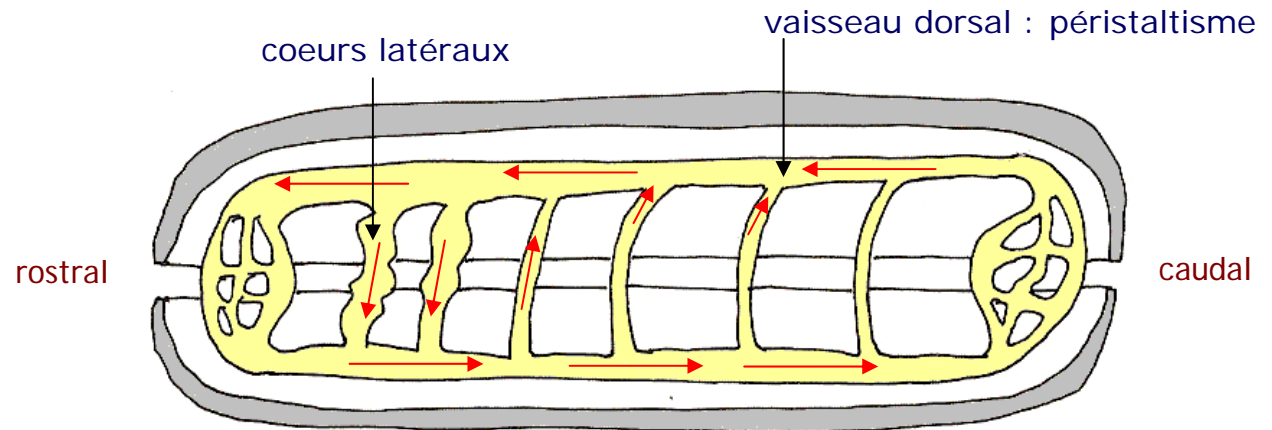
réseaux capillaires vers les tissus



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

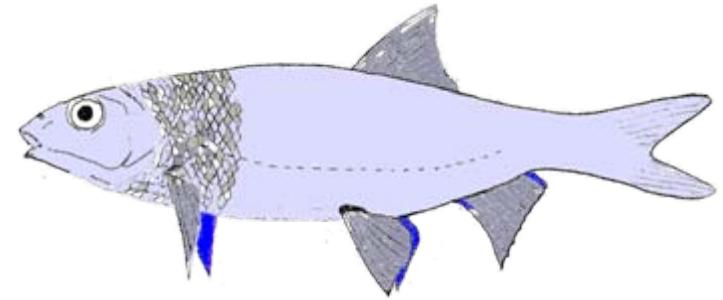
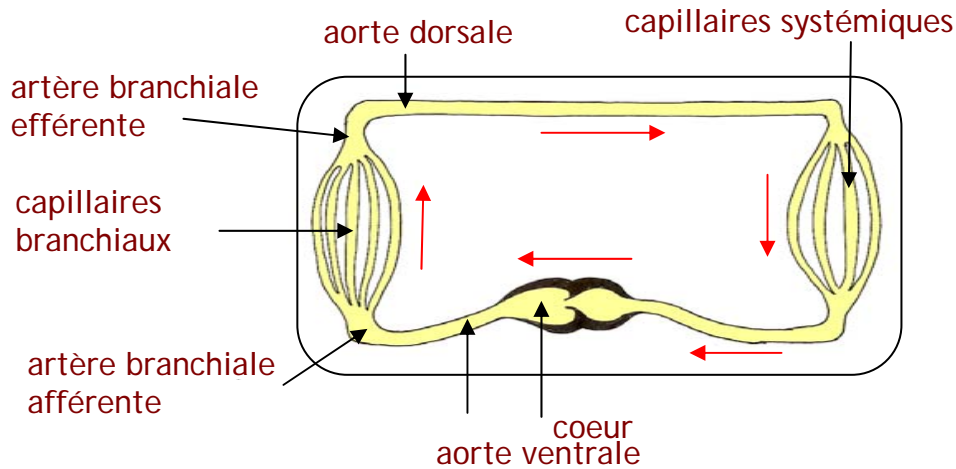
sang non stagnant, circule dans les vaisseaux par l'action d'une pompe ventrale

différentiation entre circulation sanguine et circulation lymphatique

pigments respiratoires dans des cellules : érythrocytes

relié à une respiration branchiale

*Téléostéens*



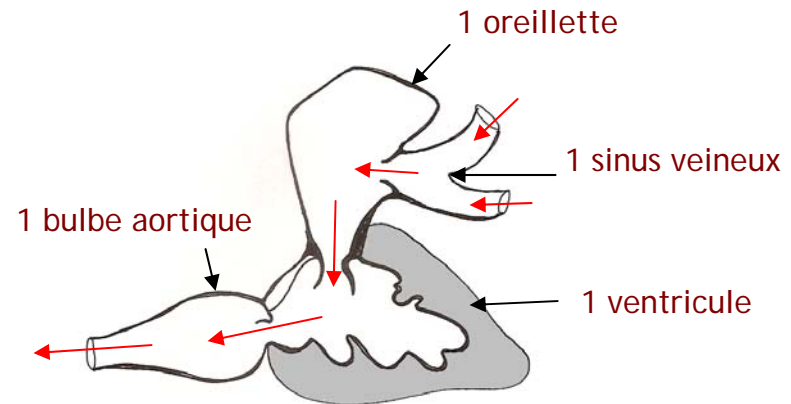
coeur

1 sinus veineux

1 oreillette

1 ventricule

1 bulbe aortique



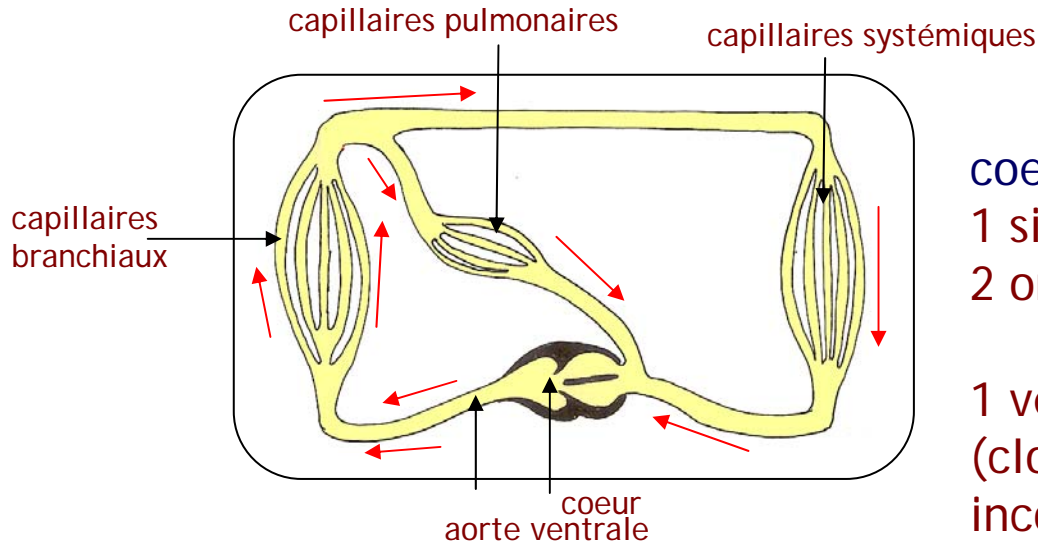
reçoit du sang non oxygéné

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

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

relié à une respiration bimodale

*Dipneustes*



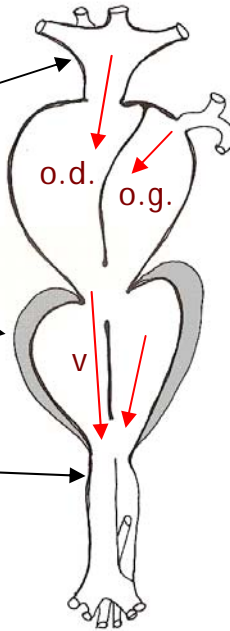
coeur

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

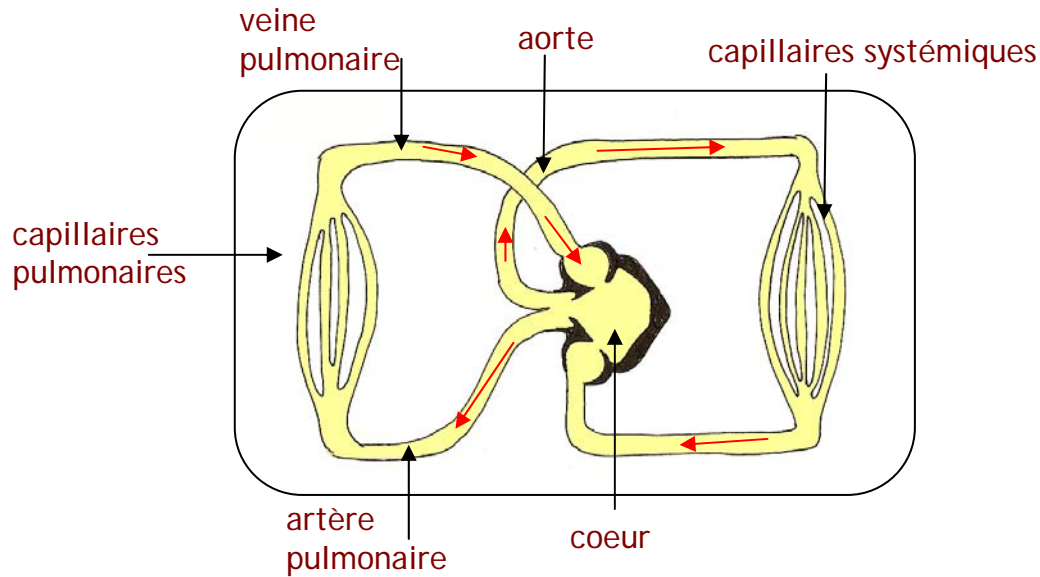
existence d'une « petite » circulation : circulation pulmonaire

# appareil circulatoire fermé

Vertébrés

relié à une respiration pulmonée

*Amphibiens pulmonés*



vaisseaux

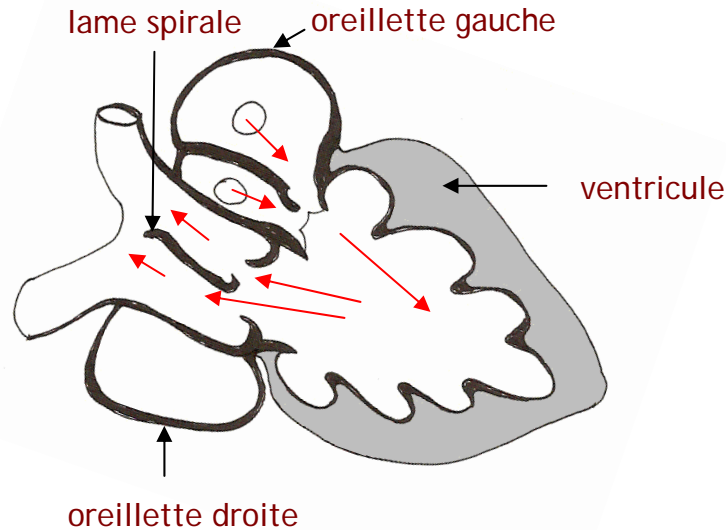
2 circulations :

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)

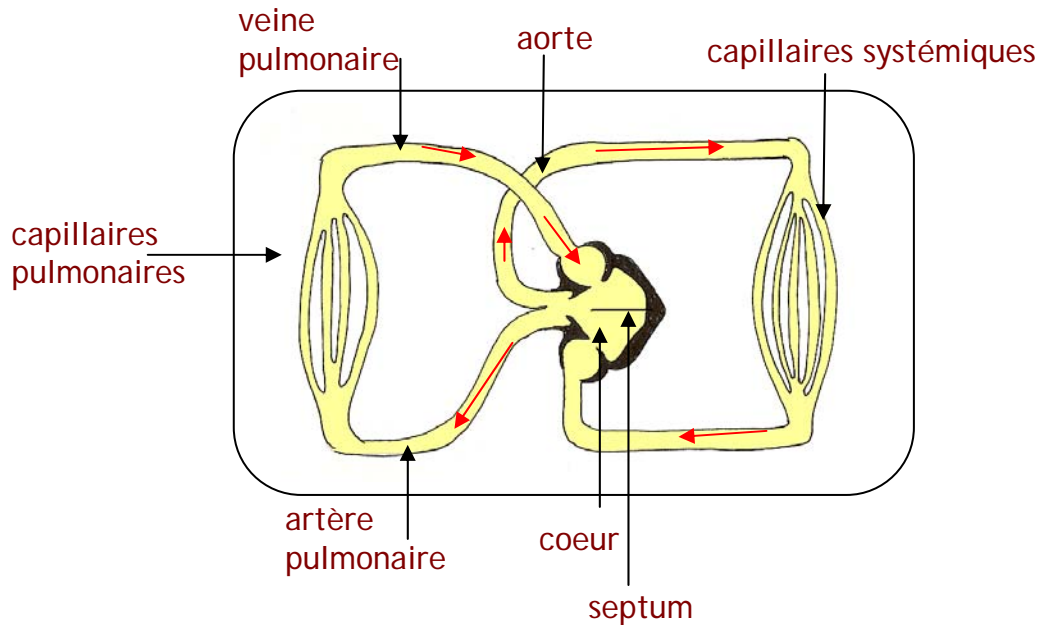
Malgré le ventricule unique il y a séparation du sang.

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 :

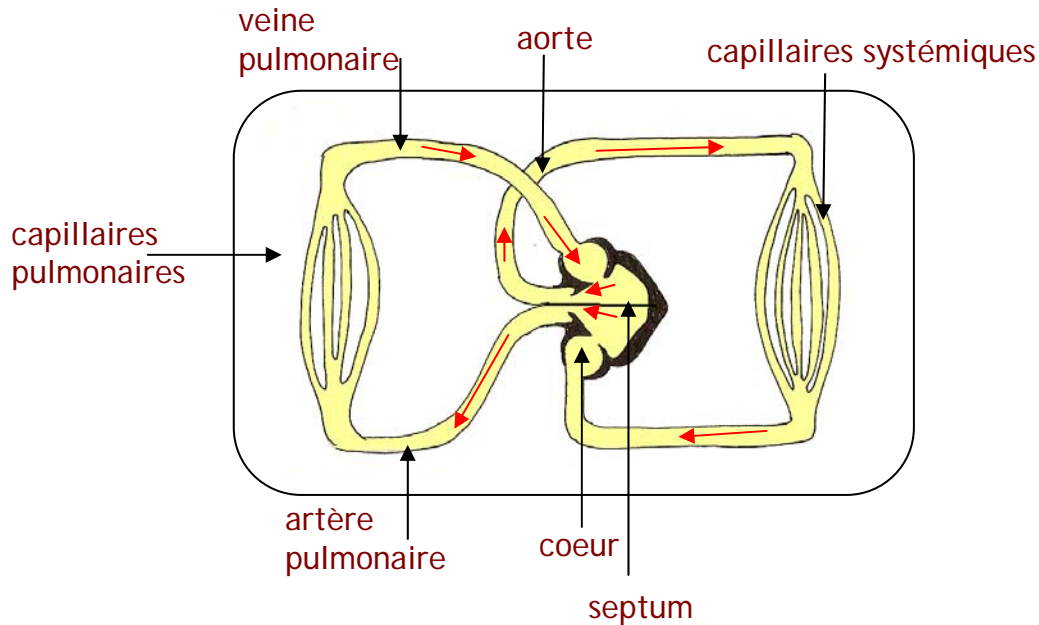
circulation systémique ou grande circulation : conduit aux tissus

- 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

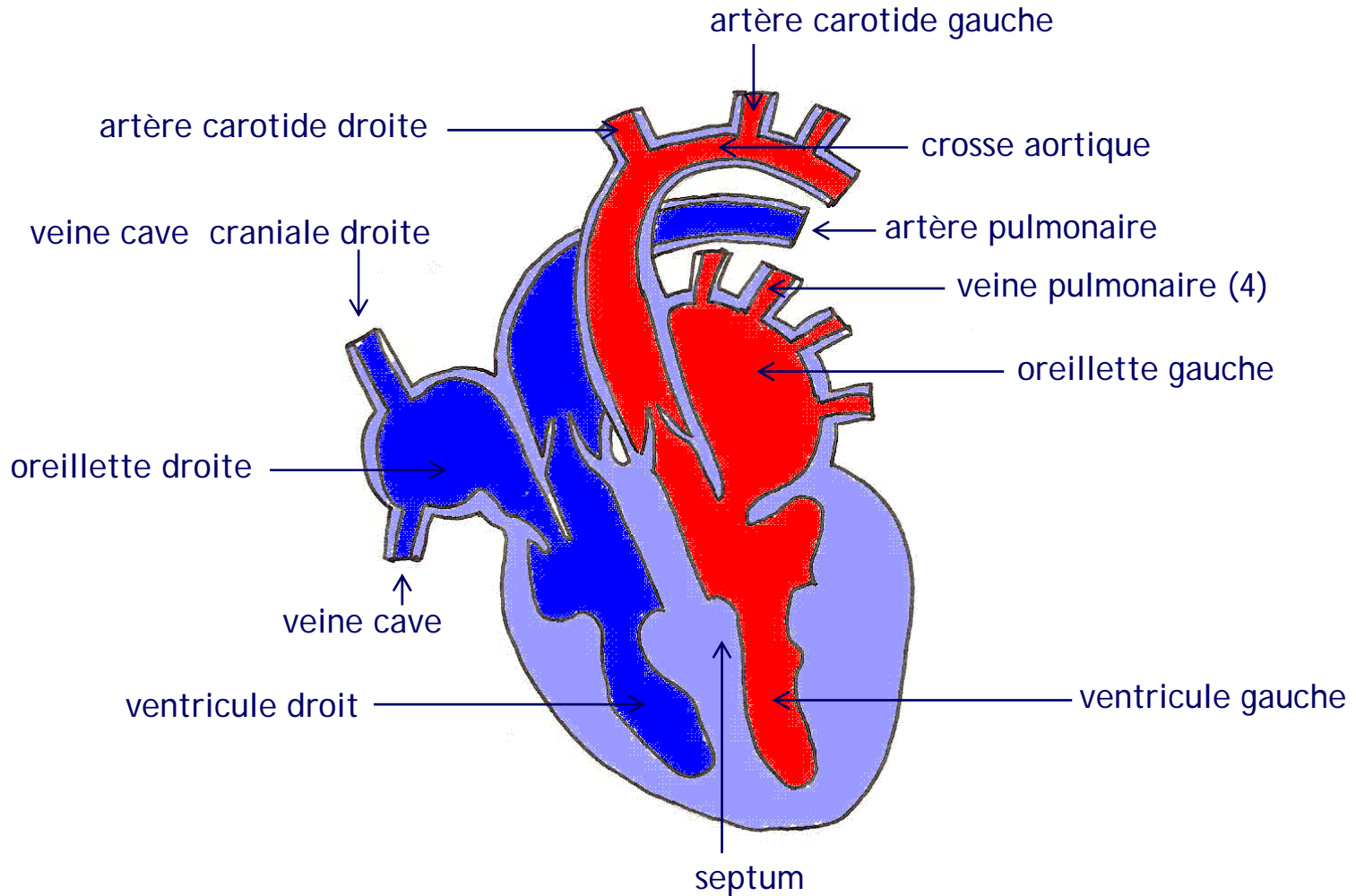


# appareil circulatoire fermé

Vertébrés

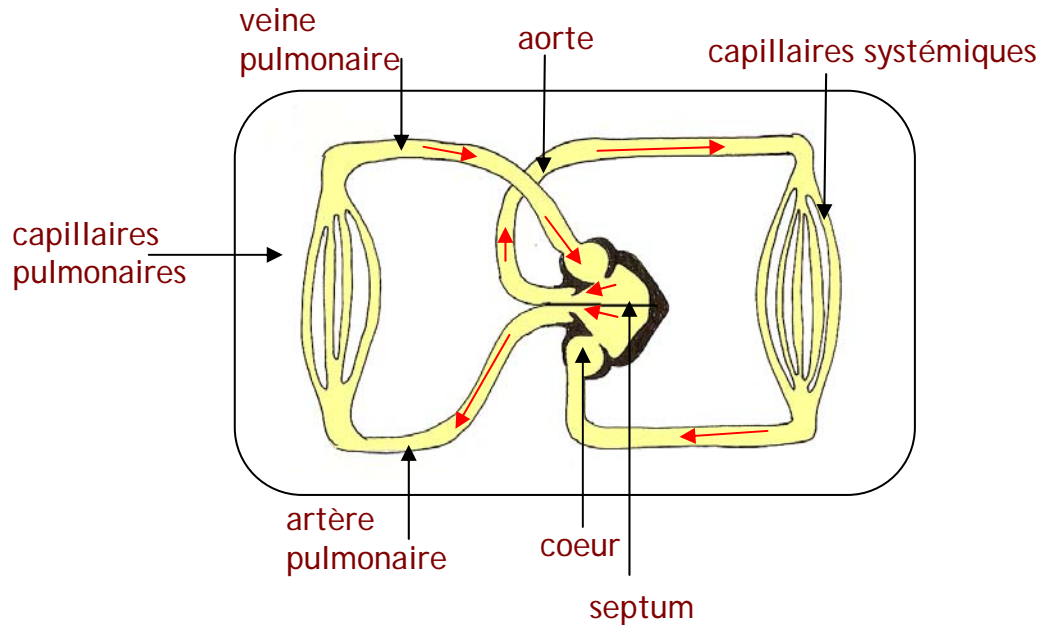
relié à une respiration pulmonée

*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 Tetrapodes : Panderichthydés (sarcopterygiens éteints)

Dévonien (370-390 Ma: apparition de Tetrapodes aquatiques  
respiration bimodale : branchie/poumon  
fraction O<sub>2</sub> faible (15 %)

Carbonifère (360-320 Ma : apparition de Tetrapodes terrestres  
passage d'une respiration bimodale à monomodale  
forte fraction O<sub>2</sub> (35%); fraction de CO<sub>2</sub> (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

