Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

EPLEFPA Dijon Quetigny Plombières-lès-Dijon
Site de Quetigny (21) • LEGTA Olivier de Serres
Classe préparatoire ATS (Adaptation Technicien Supérieur) Biologie
Préparation des Concours agronomiques et vétérinaires (voie C)

ENSEIGNEMENT DE BIOLOGIE • COURS
Partie B. L'organisme dans son milieu : exemple de la nutrition
Sous-partie B.2. La mise en mouvement de fluides circulants et la distribution de nutriments

Chapitre 17

Les voies empruntées par les liquides circulants et les flux de matière

Étude limitée aux Angiospermes et aux Mammifères

Objectifs : extraits du programme

2.2 Les voies empruntées par les liquides circulants et les flux de matière	
2.2.1. Les systèmes circulatoires des organismes pluricellulaires	- Chez les Angiospermes et les Mammifères, les systèmes circulatoires et la structure fonctionnelle des différents conduits sont étudiés. On compare les systèmes circulatoires ouverts et fermés dans ces deux groupes. - Les caractéristiques cinétiques de la circulation dans les différents conduits sont précisées. **[TP B6 et B7]** **Mots-clés** [Système artériel, système veineux, système lymphatique, microcirculation, double circulation sanguine, éléments conducteurs xylémiens et phloémiens]
2.2.2. Les flux de matière entre les organes et les processus de chargement et de déchargement chez les Angiospermes	- Les mécanismes de charge et de déchargement des trachéides/vaisseaux xylémiens et des tubes criblés phloémiens, les statuts d'organe source et d'organe puits sont présentés. Les changements de ces statuts sont envisagés en lien avec les situations physiologiques étudiées au point 2.3.1. - Un schéma de la corrélation trophique au sein de la plante est construit. **[TP B7]** **Mots-clés** [Complexes xylémien et phloémien, circulations radiale et verticale, transports actifs, assimilats, puits de consommation, transporteurs saccharose] *Pour le déchargement phloémien, seuls les mécanismes au niveau des organes de consommation sont abordés.*
2.2.3. Les flux de matière chez les Mammifères	- Un schéma montrant le rôle des liquides circulants dans l'approvisionnement, la distribution et les pertes de matière chez les Mammifères est élaboré. - La contribution des différents capillaires aux flux de matière dans l'organisme est montrée à partir des exemples suivants : - capillaires continus des muscles squelettiques et approvisionnement ; - capillaires fenestrés des reins et ultrafiltration glomérulaire ; - capillaires sinusoïdes du foie et stockage/déstockage du glucose. **[TP B6]** **Mots-clés** [Circulation en parallèle et en série, système porte]
	Le néphron n'est pas au programme. Seule l'ultrafiltration glomérulaire au niveau des capillaires fenestrés est décrite pour élargir la notion de flux dans un système ouvert.

Introduction

Une introduction générale à la fonction de circulation a été proposée au chapitre 16.

Dans le présent chapitre, on s'attachera à deux sujets :
- Comprendre comment s'organisent et fonctionnement les **conduits** qui assurent le **déplacement des fluides**, constituant un **réseau de transport**.
- Comprendre la **participation de ces fluides circulants** aux **flux de matière** chez les organismes.

Problématique de ce chapitre :
Comment les fluides circulants sont-ils déplacés dans l'organisme au sein d'un réseau de transport ? Comment s'y effectuent les principaux flux de matière ?

I. Des fluides circulants qui se déplacent dans des conduits

- Que ce soient les **sèves** ou le **sang**, il y a nécessité de **conduits tubulaires** qui permettent au **fluide circulant** de s'**écouler**.

A. Une discussion du caractère ouvert ou fermé des systèmes circulatoires des Angiospermes et des Mammifères

- Le programme invite à *« compar[er] les systèmes circulatoires ouvertes et fermés »* chez les Angiospermes et les Mammifères, sans que plus de précisions sur les attentes… ***La notion est pourtant typiquement une notion de biologie et physiologie animales !*** **Je ne l'ai jamais vu appliquée aux structures végétales**.
- Chez les Animaux, nous l'avons dit, le système est considéré comme un **système fermé** puisque le sang est un compartiment endigué dans des vaisseaux dont il ne sort pas. On peut toutefois noter que ***le plasma filtre au niveau des capillaires*** et que ***des globules blancs peuvent s'insinuer entre les cellules endothéliales des capillaires et rejoindre le tissu interstitiel (= diapédèse) en cas d'inflammation***. On peut donc **nuancer la notion de système clos**.
- *Chez les Angiospermes, j'ai beau réfléchir, j'avoue ne pas voir comment appliquer cette notion ! Je suis donc désolé mais je ne suis pas capable de traiter ce point du programme ! Est-ce que les plasmodesmes reliant les cytoplasmes font du système circulatoire un système ouvert ? Est-ce qu'on contraire, les parois qui limitent le système circulatoire en font un système fermé ? Jusqu'à quel point les fluides intracellulaires se ressemblent-ils ? Je n'en sais rien…*

B. Le système circulatoire des Angiospermes : des tissus conducteurs aux cellules tubulaires qui véhiculent des fluides intracellulaires (sèves)

Voir **TP B7 : les tissus conducteurs des Angiospermes** + revoir aussi le **Complément 4 (tissus végétaux)**

1. Le xylème, tissu résistant de cellules mortes à paroi lignifiée qui véhiculent la sève brute

- *Revoir le TP B7 et le Complément 4 : tout est dedans.*
- Rappelons les deux grands types de ***cellules qui ont un rôle conducteur dans le xylème*** (**éléments conducteurs**) :
  - Les **trachéides** (figure 1) : ***cellules mortes qu'on trouve essentiellement dans le protoxylème du xylème I, de petite taille et qui présentent uniquement des ponctuations (interruptions de la lignification pariétale) assurant le passage de la sève brute*** ; elles sont beaucoup plus **rares** voire **absentes** dans le **xylème II (= bois)** chez les Angiospermes.
  - Les **vaisseaux** ou **éléments de vaisseaux au sens strict** (figure 1) : ***cellules mortes de plus gros calibre où se trouvent des zones sans lignine qu'on appelle ponctuations et dont les parois transverses sont pourvues d'importantes perforations***. On les trouve dans le **métaxylème** et dans le **xylème II (= bois)**. Dans ce dernier, les **vaisseaux mis en place au printemps** (dans le **bois initial**) sont plus **gros** que les **vaisseaux mis en place en été** (dans le **bois final**), ce qui montre que le déplacement de sève brute se réduit en été jusqu'à se tarir en automne.

Ces cellules présentent des épaississements lignifiés qui assurent leur résistance à la pression générée par la pression racinaire ou à la tension générée par l'aspiration foliaire.

- Les **éléments conducteurs** sont accompagnés de **cellules parenchymateuses**, particulièrement importantes dans le **xylème II** où elles forment des **rayons horizontaux** et **verticaux** (figure 1). Ces cellules ont un **rôle de réserve** (accumulation d'**amidon**) voire de **défense contre les xylophages** (accumulation de **tanins**).
- Enfin, des **fibres** abondantes dans le **bois (50 à 80 %)** permettent le ***soutien du tissu sans vraiment participer à la conduction de sève*** : ce sont des ***cellules mortes lignifiées de petite taille*** (figure 1).

Attention, ces **fibres** sont **parfois confondues** avec les **trachéides** par de **nombreux auteurs**, notamment les auteurs anglo-saxons. Le terme « trachéide » n'est donc pas toujours très explicite car on ne sait pas vraiment ce qu'il y a derrière…

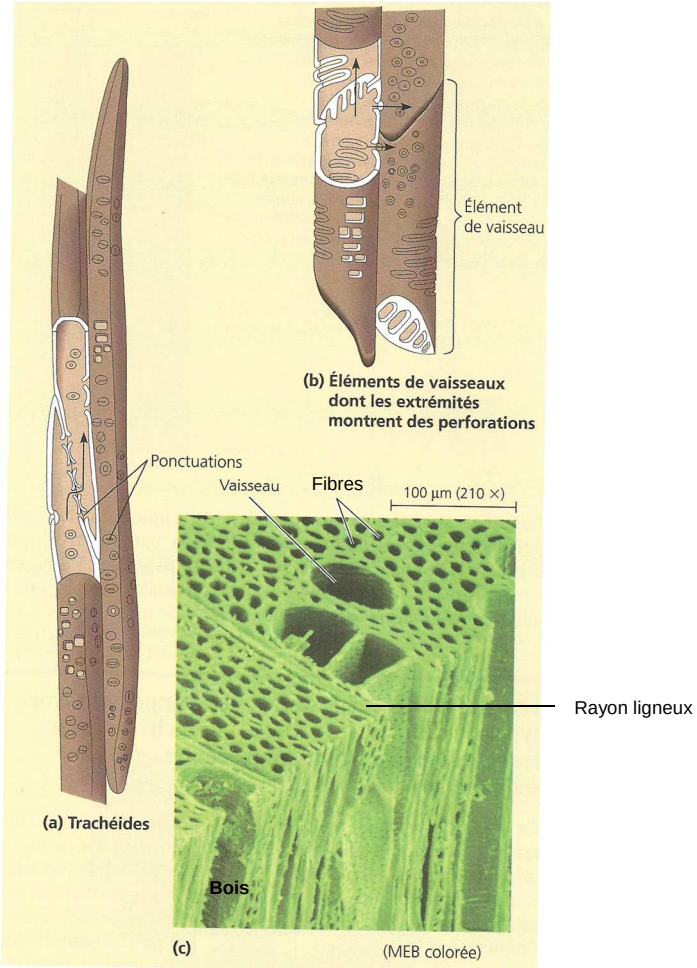


FIGURE 1. Les éléments conducteurs du xylème. D'après CAMPBELL& REECE (2004).

2. Le phloème, tissu de cellules vivantes à fine paroi pectocellulosique qui véhiculent la sève élaborée

- Le **phloème** est constitué principalement de **deux types de cellules** à **fine paroi pectocellulosique** (figures 2-3) :
  - Des **cellules criblées**, ***cellules vivantes à paroi pectocellulosique mais sans noyau (le noyau est dans la cellule compagne adjacente) qui constituent les éléments conducteurs du tissu***. Les **parois transverses** sont **épaissies** mais forment des **plaques criblées** où de **nombreuses ponctuations** assurent le **passage** de la **sève élaborée**. Les ***files de cellules criblées*** forment des **tubes criblés**.
  - Des **cellules compagnes** (qui se sont **formées** par **séparation d'avec la cellule criblée adjacente**) ***assurent le chargement ou le déchargement du phloème***. Elles sont plus minces que les cellules criblées et présentent un **noyau** ainsi qu'un **réseau endomembranaire** classique (mitochondries, RE…).

Une cellule criblée et sa cellule compagne forment le **complexe phloémien**.

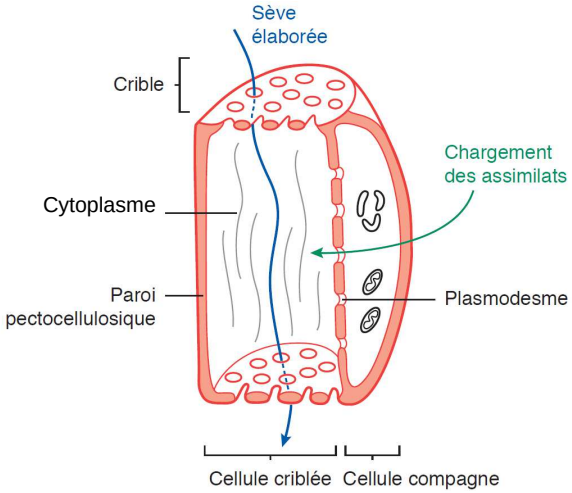


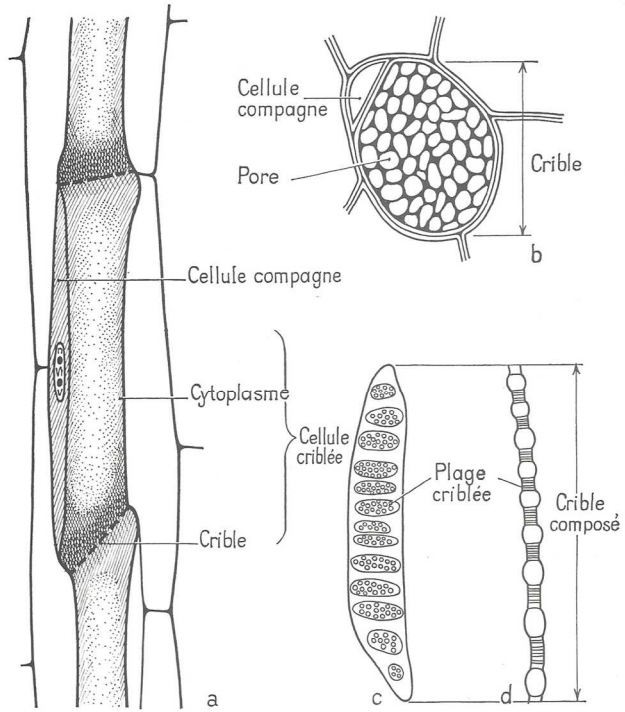
FIGURE 2. Le complexe phloémien. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

- On trouve également, essentiellement dans le **phloème II (= liber)**, des **cellules parenchymateuses** (organisées en **rayons**) à **rôle de réserve** et des **fibres de soutien**.

3. Des tissus proches, ce qui permet notamment les mouvements d'eau

- Les **tissus xylémiens** et **phloémiens** sont **regroupés en faisceaux cribrovasculaires** dans les **tiges primaires** ou **feuilles**, et sont **constitués** en **massifs alternes** dans les **racines primaires**. Les **flux entre sèves**, notamment d'**eau** (mais aussi de solutés variés) sont ainsi facilités par cette **proximité**.
- Au sein des **tissus conducteurs secondaires**, les flux entre sèves restent possibles ; il y a alors **traversé du cambium** par l'eau.

Voir **chapitre 16 :** les flux hydriques entre les deux types de sèves



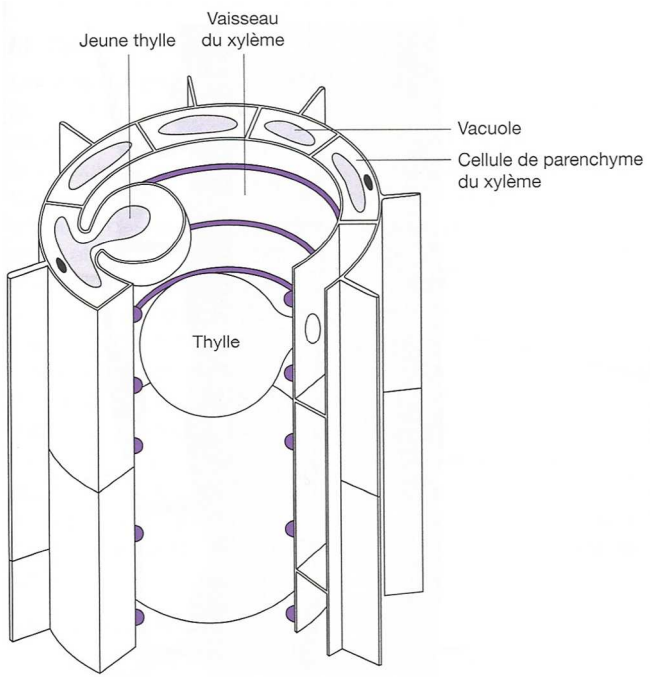
Cellules et tubes criblés.

a : portion de tube criblé vue en coupe longitudinale; b : crible simple vu de face (Courge); c : crible composé vu de face; d : vu en coupe (Vigne).

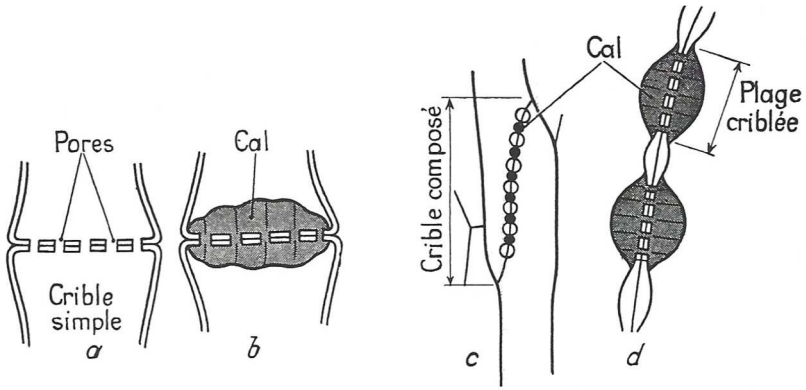
FIGURE 3. Cellules criblées et cribles. D'après CAMEFORT (1977).

4. Des tissus qui peuvent s'obturer à la mauvaise saison

- À l'approche de la **saison défavorable** (l'hiver sous nos latitudes) qui se caractérisé par une **cessation des flux de sèves** chez les **Angiospermes pérennes**, on note que ***les éléments conducteurs s'obturent*** :
  - Dans le **xylème secondaire**, des ***excroissances des cellules parenchymateuses (vivantes) adjacentes se forment dans les vaisseaux, leur vacuole se remplissant de substances variées (tanins, réserves, résines…)*** : ce sont des **thylles** (figure 54) (*genre féminin : une thylle*). Les **thylles** sont aussi ce qui obstrue définitivement les vaisseaux du **duramen** (***bois de cœur non fonctionnel***) [les **cellules parenchymateuses** qui le forment deviennent alors, dans le cas du **duramen**, **mortes**].
  - Dans le **phloème**, des **cals** (figure 55) peuvent se former au niveau des **cribles** à la **mauvaise saison** puis être **dissous** par le **cytosol** des **cellules** au retour de la **saison favorable**. Les **cals** sont des ***bouchons de callose (polymère de glucose en β1-3 ramifié en β1-3)***.



⮝ **FIGURE 4. Formation d'une thylle.** D'après BREUIL (2007).



a, b: Cal obstruant un crible simple ; c, d : cals dans un crible composé.

⮝ **FIGURE 5. Cals au niveau de plaques criblées.** D'après CAMEFORT (1977).

C. Le système vasculaire des Mammifères : des vaisseaux qui endiguent un tissu liquide (sang)

- Le sang est véhiculé dans un **système circulatoire clos**, c'est-à-dire un ***ensemble de conduits « enferment » le sang***. On appelle **vaisseaux sanguins** ces conduits.

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

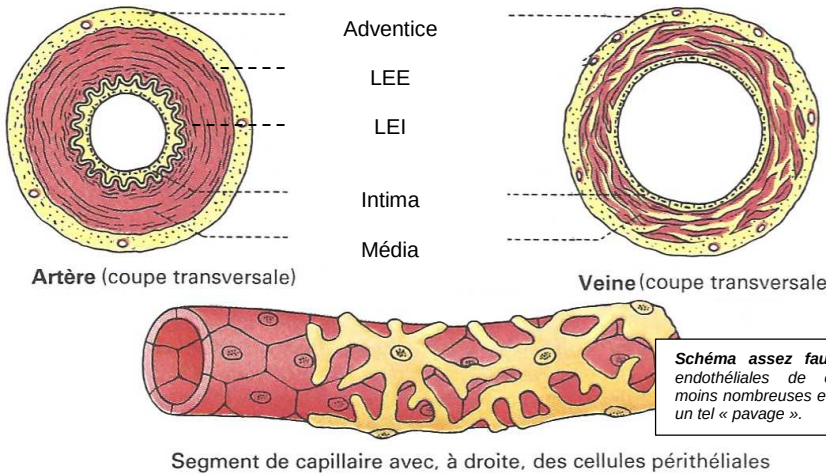
1. Des conduits véhiculant le sang : une vue d'ensemble

a. Une même constitution de base

- En coupe transversale (figures 6-7), la **paroi** des **vaisseaux sanguins** comprend fondamentalement **trois niveaux** ou **tuniques** plus ou moins développés (*du plus interne au plus externe*) :
  - Un **endothélium**, ***épithélium unistratifié au contact de la lumière où circule le sang***. Il repose sur une **lame basale** un ***tissu conjonctif pas toujours présent*** nommé **couche sous-endothéliale**. [*Seul niveau présent dans les capillaires*].
  - Une **media**, ***couche intermédiaire contenant une proportion variable de fibres élastiques (constituées d'élastine), de cellules musculaires lisses et de collagène***. On y trouve aussi des **fibroblastes**.
  - Une **adventice**, ***couche externe de tissu conjonctif plus ou moins riche en collagène***. On y trouve des **fibroblastes**.

- L'**élastine** permet plutôt l'**élasticité** (= ***déformabilité autorisant un retour à la forme de départ***) et la **compliance** (= ***souplesse, distensibilité***, voir plus loin) du **vaisseau**.
- Le **collagène** permet plutôt la **résistance à la tension** (= ***limitation de la déformabilité***).

- En outre, des **limitantes élastiques** sont décrites : ce sont des ***lames d'élastine situées entre les tuniques*** (**limitante élastique interne LEI** ***entre intima et média***, et **limitante élastique externe LEE** ***entre média et adventice***). On les observe nettement dans les **gros vaisseaux**, notamment les **artères**.
- De **petits vaisseaux sanguins (artérioles, veinules, capillaires)**, les ***vasa vasorum*** (« vaisseaux de vaisseaux »), se trouvent dans la **paroi** des **gros vaisseaux** au niveau de l'**adventice**.

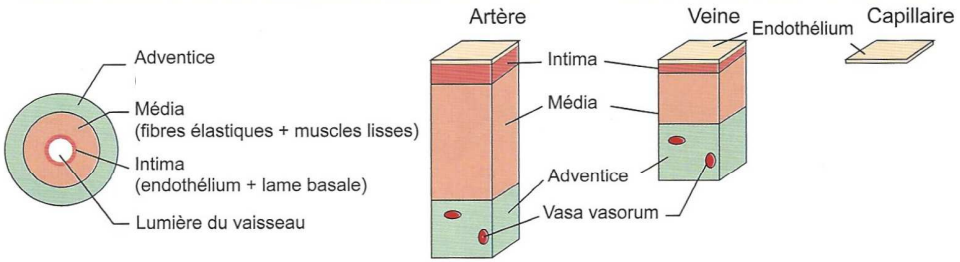


*La **section des veines** est rarement aussi ronde, mais **plutôt aplatie** en lien avec leur **flaccidité** (caractère flasque).*

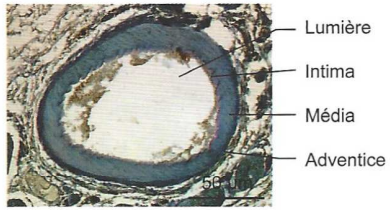
***Schéma assez faux** : les cellules endothéliales de capillaires sont moins nombreuses et ne forment pas un tel « pavage ».*

⮝ **FIGURE 6. Structure de base des principaux types de vaisseaux (Mammifères).**
D'après VOGEL & ANGERMANN (1994)

Il existe trois grands types de vaisseaux sanguins : les artères, les veines et les capillaires. La paroi des vaisseaux comporte plusieurs couches ou tuniques dont les épaisseurs varient d'un type de vaisseaux à l'autre. Tous ces vaisseaux permettent la circulation du sang et chacun réalise une fonction spécifique en relation avec sa structure.

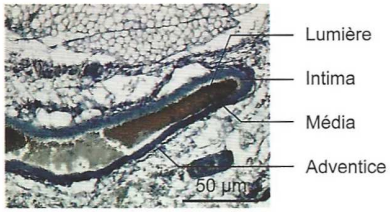


Structure générale d'un vaisseau sanguin



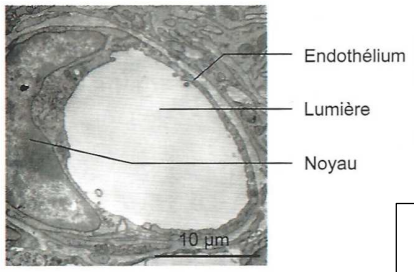
Artériole (CT - M.O.)

Les parois des artères sont riches en fibres musculaires lisses, ce qui leur confère des propriétés vasomotrices. La possibilité de faire varier le diamètre vasculaire permet un maintien de la pression artérielle. Les artères forment ainsi un réservoir de pression.



Veinule (CT - M.O.)

Les veines ont une fine média, pauvre en fibres musculaires lisses et riche en fibres élastiques. La grande extensibilité de leurs parois induit une faible résistance à l'écoulement et la possibilité d'une grande capacité. Les veines forment ainsi un réservoir de volume.

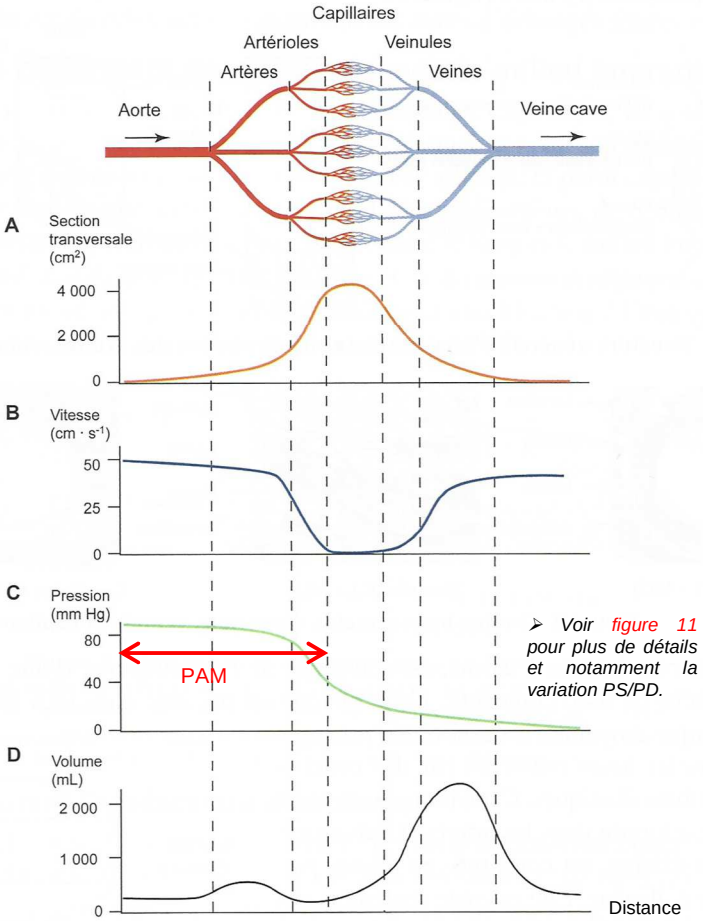


Capillaire (CT - MET)

Les capillaires ne sont pourvus que d'un endothélium. Cette faible épaisseur permet les échanges par diffusion entre le sang et les liquides interstitiels. Les échanges sont facilités par la faible vitesse d'écoulement du sang dans ce type de vaisseaux.

Les **péricytes** (schématisés sur la figure 6) sont des ***cellules périphériques situées autour des capillaires en faible nombre et qui auraient diverses fonctions, dont un rôle contractile qui régulerait localement le débit sanguin***.

FIGURE 7. <u>Structure de base et grandes caractéristiques des principaux types de vaisseaux (Mammifères)</u>. D'après RICHARD *et al.* (2014).



Voir figure 11 pour plus de détails et notamment la variation PS/PD.

La distribution des surfaces de section (A), des vitesses du flux (B), des pressions (C), et des volumes (D) dans les différentes sections de l'appareil vasculaire systémique

FIGURE 8. <u>Évolution des paramètres circulatoires en fonction des différents secteurs vasculaires</u>. D'après RICHARD *et al.* (2015).

b. Différents secteurs vasculaires avec un volume sanguin variable, des vitesses chutant dans les capillaires et une pression décroissante des artères aux veines

- Le **volume sanguin** se répartit pour **84 % dans la circulation générale** – pour environ **8 % dans le cœur** et **8 % dans la circulation pulmonaire**. Au sein de la circulation vasculaire (qu'elle soit générale ou pulmonaire), **l'essentiel du volume sanguin** se trouve dans les **veines** (**75-80 % environ**) (tableau I, figure 8-D) : ***les veines sont donc des réservoirs de volume sanguin***.

⮟ **TABLEAU I. Structure de base des principaux types de vaisseaux (Mammifères) [*pour information*].** D'après SEGARRA *et al.* (2015)

		Volume (mL)	% du volume sanguin
cavités cardiaques (diastole)		360	**7,2**
circulation pulmonaire (artères, capillaires, veines)		440	**8,8**
circulation systémique	aorte, grosses artères	300	6
	petites artères	400	8
	capillaires	300	6
	petites veines	2300	46
	grosses veines	900	18
	total	4200	**84**

Le volume sanguin total est de 5 L.

- Concernant la **vitesse d'écoulement** (figure 8-B), on notera que le **sang** se déplace à environ **50 cm • s^{-1}** dans les **grosses artères** et les **grosses veines** au repos, mais chute à une **vitesse négligeable** dans les **capillaires**, ce qui laisse aux **échanges** entre sang et liquide interstitiel le temps de se réaliser.
- Concernant la **surface transversale des vaisseaux** (figure 8-A), on notera que, malgré le faible volume de sang qui s'y trouve, les capillaires sont les vaisseaux présentant la plus grande surface, ce qui implique qu'ils soient **très nombreux** (voir plus loin). Cela est encore à mettre en lien avec la **fonction d'échanges** de ces vaisseaux que l'on retrouve dans tous les tissus, souvent abondance.
- Enfin, la **pression sanguine** (figure 8-C) décroît progressivement de la sortie du cœur jusqu'aux veines ; ***les artères sont des réservoirs de pression***.

c. Une relation entre débit sanguin et pression sanguine : la loi de POISEUILLE (*pour information ?*) [encadré A]

Encadré A — *La loi de POISEUILLE et sa signification hémodynamique*

- Le **haut débit sanguin** (rappel : 5 L • min^{-1} au repos) est lié à la **mise sous pression du sang**. Il existe une **relation entre le débit (D), la pression (P) et la résistance à l'écoulement (R)** (aussi appelée ici **résistance périphérique totale RPT**, ***due aux frottements avec la paroi vasculaire***) qu'on appelle **loi de HAGEN-POISEUILLE** :

$$D = \frac{\Delta P}{R}$$

où la **résistance (*R*)** dépend de la **viscosité du fluide (*η*)**, la **longueur du conduit (*l*)** et le **rayon du conduit (*r*)** :

$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

La loi de POISEUILLE peut ainsi s'écrire :

$$D = \frac{\Delta P \pi r^4}{8\eta l}$$

- Le **débit sanguin** est donc d'autant plus **important** que :
  - ° la **pression du sang** est **élevée**
  - ° la **résistance à l'écoulement** est **faible**

- En utilisant le détail du paramètre *R*, on peut dire que le **débit sanguin** est donc d'autant plus **important** que :
  - ° la **viscosité du sang** est **faible**
  - ° la **longueur du conduit** est **faible**
  - ° le **rayon du conduit** est **élevé**

2. Le réseau artériel, un réservoir de pression à rôle distributeur

- Le **réseau artériel** comprend ***l'ensemble des vaisseaux qui achemine le sang depuis le cœur jusqu'aux capillaires (artères au sens le plus large)***.

a. Les artères élastiques : maintien d'une pression sanguine élevée

Structure des artères élastiques (« grosses artères ») et relations structure-fonction

- **Intima** (soutenue par un conjonctif riche en élastine) **peu ou pas festonnée** dans les très grosses artères.
- **Média**

° **pauvre** en **fibres musculaires lisses** → **faible vasomotricité**

° **riche** en **fibres élastiques (élastine)** → **forte compliance** permettant « d'encaisser » les à-coups de la propulsion cardiaque du sang + forte **élasticité**

- **Adventice** contenant encore quelques **fibres élastiques (élastine)** mais surtout des **fibres de collagène** → **limitation** de la **compliance**, assurant une **distensibilité maximale**. On y trouve des *vasa vasorum*.

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

α. Des pressions élevées à la sortie du cœur…

- À la sortie du cœur, la **pression** est **très élevée** mais variable (figure 9). On peut ainsi distinguer [*valeurs données pour la circulation systémique*] :
  - La **pression systolique PS**, ***pression maximale dans l'artère obtenue au cours du cycle cardiaque et qui correspond à la pression du sang expulsé par le cœur lors de la systole***. Chez un homme au repos, elle est en moyenne d'**environ 16 kPa (≈ 120 mm Hg)**.
  - La **pression diastolique PD**, ***pression minimale dans l'artère obtenue au cours du cycle cardiaque et qui correspond à la pression du sang suite à la diastole***. Chez un homme au repos, elle est en moyenne de **10 kPa (≈ 70 mm Hg)**.

*Quand un **médecin** prend la **« tension »** (= **pression artérielle**) à l'aide d'un **sphygmomanomètre** (ou « **tensiomètre** ») (encadré B), il donne deux valeurs approximatives en cm Hg. Ainsi, quand il vous annonce que vous avez « 12 7 » de tension, ce n'est pas une valeur de ~~12,7~~ – mais bien **deux valeurs** : 120 mm Hg de **pression systolique** et 70 mm Hg de **pression diastolique**.*

- On peut également définir une **pression différentielle (P_{diff})** (**P_{diff} = PS – PD**, en moyenne **50 mm Hg** chez un homme au repos) et une **pression artérielle moyenne (PAM)** (en moyenne **proche de 90 mm Hg** au repos) :

PAM = 1/3 PS + 2/3 PD ou **PAM = PD + 1/3 (PS – PD)**

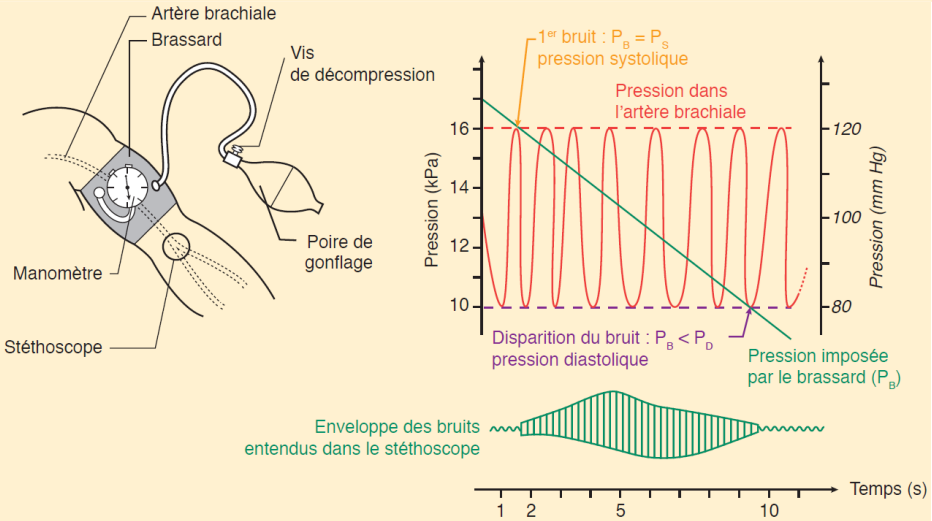
Encadré B La prise de la pression artérielle systémique

***Bon à savoir** car… beaucoup de collègues le font en seconde avec leurs élèves !!!*
D'après SEGARRA et al. (2015)

Une méthode de mesure directe impose d'introduire un capteur de pression dans une artère. Toutefois, pour l'usage médical courant, on utilise le **sphygmomanomètre**. Un brassard gonflable contenant une jauge de pression est placé autour du bras et un stéthoscope est inséré sous le brassard au niveau de l'artère brachiale (artère principale du bras située en position latérale et interne).

Le principe est le suivant :

- gonflage du brassard à une pression bloquant le débit sanguin : pression supérieure à la pression systolique ;
- dégonflage du brassard jusqu'à entendre un premier bruit : pic de pression systolique (bruit de Korotkoff ; les premiers bruits sont doux et intermittents puis plus forts, battants et intermittents, signalant un écoulement turbulent) ;
- dégonflage poursuivi jusqu'à ne plus avoir de bruit : la pression est inférieure à la pression diastolique, le flux sanguin est continu et non turbulent.



Principe de la mesure de la pression artérielle par la méthode auscultatoire du sphygmomanomètre

A. Dispositif d'auscultation et de mesure ; B. Relations entre la pression imposée par le brassard, la pression dans l'artère brachiale et les bruits entendus au stéthoscope.

Le **premier bruit** permet l'obtention de la **pression systolique** alors que la **disparition du bruit** détermine la **pression diastolique**. Les deux valeurs constituent les « chiffres de pression » indicatrices de l'état cardiovasculaire de l'individu.

Les individus présentent une hypertension artérielle pour des valeurs égales ou supérieures à 18,4 kPa (140 mm Hg) pour la PS et 11,8 kPa (90 mm Hg) pour la PD. L'hypertension artérielle provoque des dégâts sur le cœur, les vaisseaux mais aussi le cerveau et les reins (élargissement du cœur, insuffisance cardiaque, rupture et occlusion des vaisseaux).

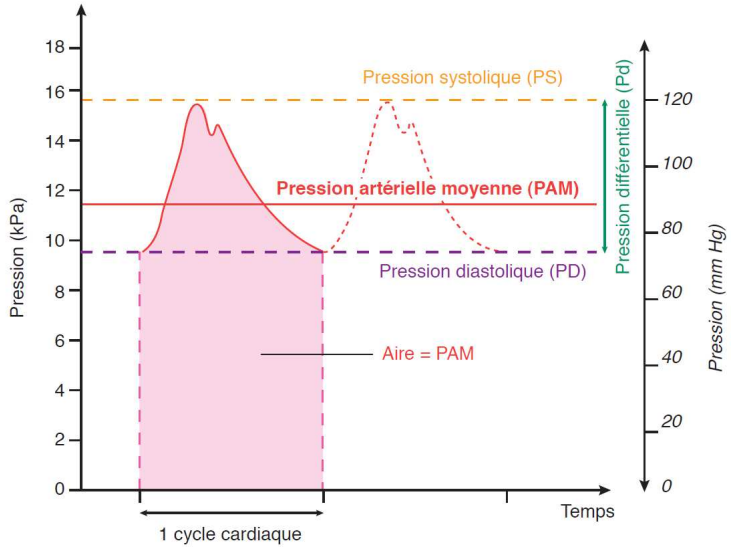
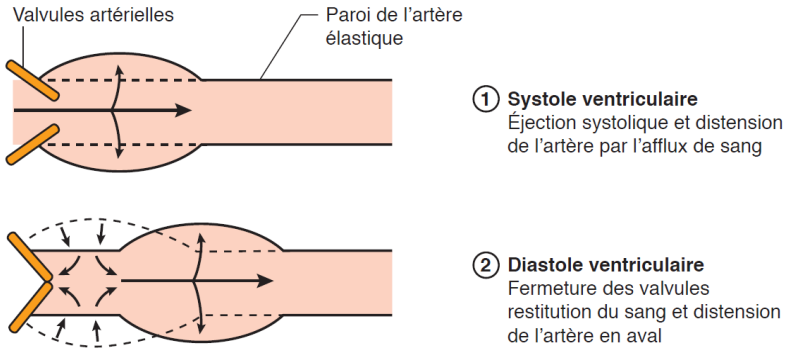


FIGURE 9. Variation de la pression artérielle au cours du temps.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

β. … amorties grâce à la compliance et l'élasticité des artères élastiques



Les tirets représentent la position de la paroi de l'artère avant sa distension par l'afflux sanguin.
(schéma d'après D'Alché E.-P., *Comprendre la physiologie cardiovasculaire*, 1999)

FIGURE 10. Déformation des artères lors d'un cycle cardiaque.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

- Les **grosses artères**, en lien avec leur **richesse en élastine** principalement dans la **média**, présentent une importante **compliance**, c'est-à-dire une certaine ***distensibilité*** mais aussi une importante **élasticité**, c'est-à-dire une ***capacité à revenir à la forme de départ après déformation***. Les artères élastiques sont ainsi capables d'**amortir** le **caractère saccadé** de l'**éjection du sang** par le cœur ; lors de la **systole**, l'artère **s'élargit** suite à l'afflux de sang (**compliance**) qui **se déplace**

ensuite **sous pression** et lors de la **diastole**, l'**énergie** emmagasinée par les **fibres élastiques** est « restituée » au sang et permet le **retour à la forme de départ** (**élasticité**) (figure 10).

- La **richesse en collagène** de l'adventice assure toutefois un **maximum à la distensibilité** au-delà duquel l'artère ne peut plus s'élargir.

b. Les artères musculaires et les artérioles : contrôle des débits dans les organes et atténuation de la pression sanguine

Structure des artères musculaires et relations structure-fonction

- **Intima fine** et **festonnée**.
- **Média épaisse** [**LEI** et **LEE** très nettes]

° **riche** en **fibres musculaires lisses** → **forte vasomotricité** (= ***modulabilité du diamètre des vaisseaux***) → **modulation du débit sanguin** dans les organes

° **moyennement riche** en **fibres élastiques (élastine)** → **compliance et élasticité** moyennes → **diminution** légère de la **pression**

- **Adventice riche** en **fibres de collagène** → **limitation** de la **déformabilité**, assurant une **distensibilité maximale**. On peut trouver des ***vasa vasorum*** dans les grosses artères musculaires.

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

Structure des artérioles et relations structure-fonction

- **Intima fine** et assez **festonnée** (attention, *cet aspect disparaît dans les petites artérioles ou si l'artériole est à l'état relâché*) ; les **noyaux** des **cellules endothéliales** font souvent **saillie** dans la **lumière**.
- **Média** proportionnellement **épaisse**

° **riche** en **fibres musculaires lisses** → **forte vasomotricité** (= ***modulabilité du diamètre des vaisseaux***) → **modulation du débit sanguin** dans les organes

° très **pauvre** en **fibres élastiques (élastine)** → **compliance et élasticité** faibles → **diminution nette** de la **pression sanguine**

- **Adventice riche** en **fibres de collagène** → **limitation** de la **déformabilité**. *L'adventice se confond généralement avec le tissu conjonctif alentour.*

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

α. Un circuit résistif qui abaisse la pression sanguine

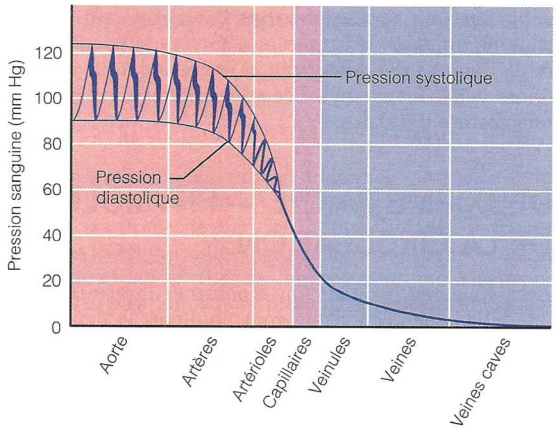


FIGURE 11. Évolution de la pression dans le réseau vasculaire (circulation systémique). D'après MARIEB (2005).

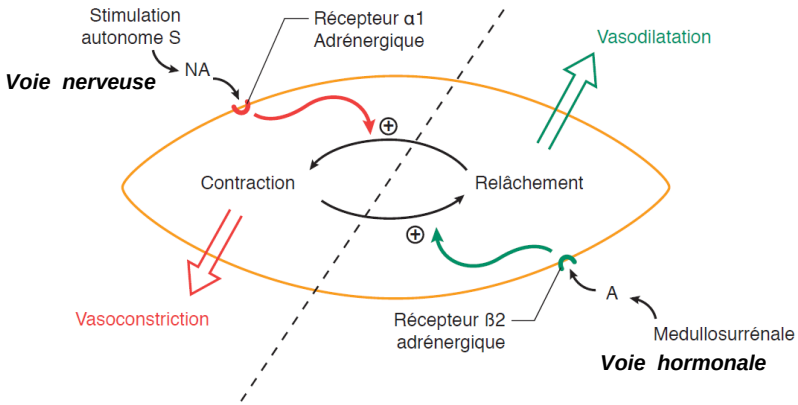
- Les **artères musculaires** et surtout les **artérioles**, en lien avec leur composition où l'élastine laisse la place à une **abondance de cellules musculaires lisses (CML)** dans la **média**, présentent une **résistance périphérique totale (RPT)** notoirement **supérieure** à ce qu'elle était dans les artères élastiques. La RPT est encore **augmentée** lorsque les **CML** sont fortement **contractées**.
- Le caractère **résistif** des **artères musculaires** et des **artérioles** explique une **baisse notoire de la pression sanguine** avant l'arrivée dans les **capillaires** (figure 11).

β. Un circuit qui contrôle le débit et la résistance périphérique par une vasomotricité liée au degré de contraction des cellules musculaires lisses (CML)

- Les **grosses artères musculaires** distribuent le **sang** aux **organes** et les **petites artères musculaires** ou les **artérioles** situées dans les organes **répartissent** les **débits** au sein des **tissus**.
- On peut noter que la **présence** proportionnellement importante de **fibres lisses** permet de ***moduler le diamètre des vaisseaux*** (**vasomotricité**) :
  - **Vasoconstriction** : ***réduction du diamètre du vaisseau par contraction des CML***, ce qui ***diminue le débit sanguin*** et ***augmente la RPT***.
  - **Vasodilatation** : ***augmentation du diamètre du vaisseau par relâchement des CML***, ce qui ***augmente le débit sanguin*** et ***diminue la RPT***.

Notons que la **vasomotricité** est **possible** dans **tous les vaisseaux** (hors capillaires) dès lors qu'ils possèdent des **myocytes lisses**… ***L'importance du phénomène est particulièrement notoire dans les artères musculaires et les artérioles***.

γ. L'existence de contrôles nerveux, hormonal et local de la vasomotricité



La fixation de la noradrénaline (NA) sur des récepteurs α1-adrénergiques situés sur la membrane plasmique de la cellule musculaire lisse provoque une contraction : ceci induit alors une vasoconstriction. Le phénomène contraire, une vasodilatation, se produit lors de la fixation de l'adrénaline (A) sur des récepteurs β2-adrénergiques. Les deux récepteurs impliqués ici fixent l'un ou l'autre de ces deux ligands pour des raisons d'affinité différentielle.

FIGURE 12. Contrôle de la contraction des CML par les catécholamines : cas des CML des artérioles. D'après SEGARRA *et al.* (2015).
Les processus sont en réalité un peu plus complexes et dépendent du type de vaisseau et de sa localisation dans l'organisme (cf. chapitre 18 : page 25 : figure 37).

Encadré C Les cellules musculaires lisses (CML)

Les cellules musculaires lisses sont des constituants de nombreux organes creux (ex. : intestin, utérus, vaisseaux) à l'exception du cœur. Elles sont interconnectées pour former des couches de cellules en feuillets. Elles ont une **forme en fuseau** (longueur de 50-400 µm pour un diamètre de 2-10 µm) et contiennent un unique noyau. L'appareil contractile des cellules musculaires lisses est constitué par des myofilaments épais de myosine et des myofilaments fins d'actine dans des proportions distinctes de celles des cellules musculaires striées. Les myofilaments ne sont pas organisés en sarcomère et **aucune striation n'est visible** en microscopie optique. Comme pour les cellules musculaires striées, le mécanisme de contraction est fondé sur la formation de ponts myosine - actine à l'origine d'un **glissement des filaments fins et épais** et **l'augmentation de la concentration en ion calcium** joue un rôle clé dans le déclenchement de la contraction. Dans un certain nombre de cellules musculaires lisses, la concentration intracellulaire en calcium suffit à maintenir une faible activité basale de contraction en l'absence de toute stimulation externe. C'est le cas dans les artérioles qui présentent une activité basale de vasoconstriction.

D'après SEGARRA *et al. (2015)*

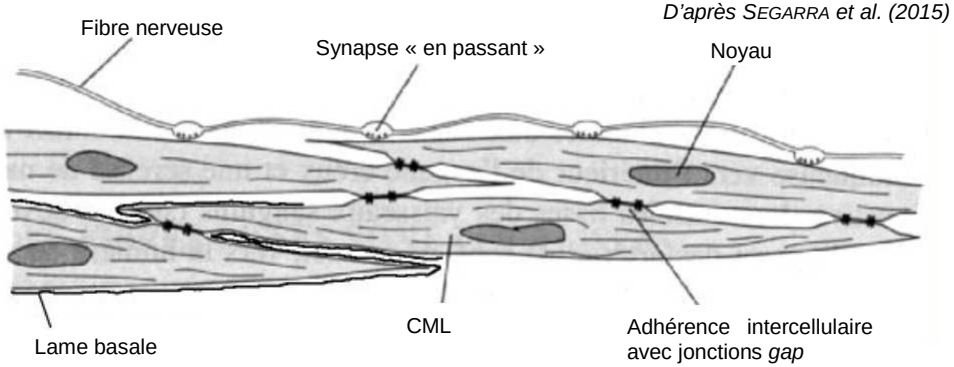
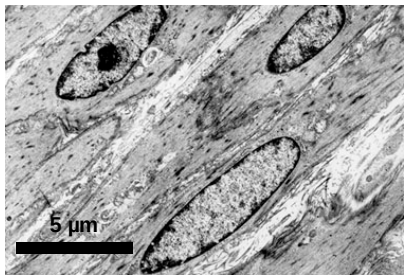


FIGURE a. Organisation d'une cellule musculaire lisse (CML).
http://www.db-gersite.com/ (février 2016)

Remarque : les **synapses *en passant*** correspondent à des ***synapses se formant sur le trajet (et non à la terminaison) d'une fibre nerveuse***.



Au **microscope optique**, les CML ne présentent **pas de striation** mais on peut voir l'organisation du **cytosquelette** en **microscopie électronique** : il s'avère alors que le **réseau de cytosquelette** a une **organisation** semblant **désorganisée** (figure c) loin de l'alignement des myofibrilles des muscles striés.

FIGURE b. Myocyte lisse au MET
http://campus.cerimes.fr/histologie-et-embryologie-medicales/enseignement/histologie2/site/html/21.html (février 2016)

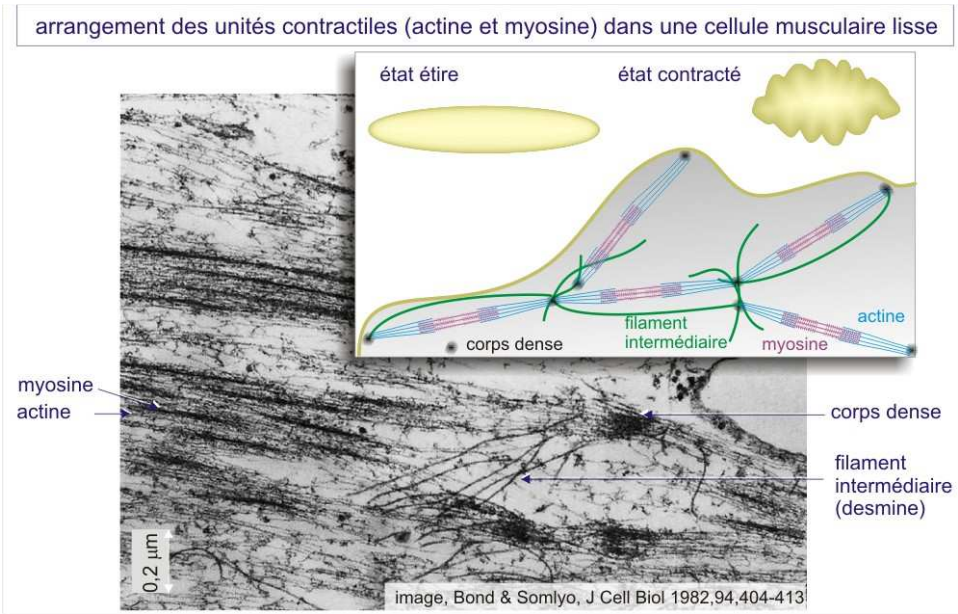


FIGURE c. Aspects des filaments d'actine et de myosine dans une CML.
http://tout-sur-l-asthme.blogspot.fr/p/le-muscle-lisse.html (février 2016)

- Le **degré de contraction des CML** est contrôlé par les **catécholamines** (figure 62) :
  - La **noradrénaline NA**, d'origine nerveuse (**neurotransmetteur**) – produite par le **système orthosympathique** – engendre une **vasoconstriction** (donc une **réduction du débit sanguin**) en agissant sur des **récepteurs adrénergiques α1** notamment présents dans la plupart des **tissus non sollicités lors d'un effort** (cf. chapitre 18 : page 25 : figure 37).
  - L'**adrénaline (A)** est ici de nature **hormonale** : elle est produite par les médullosurrénales en situation de **stress** ou d'**effort** et engendre une **vasodilatation** (donc une **augmentation du débit sanguin**) en agissant sur des **récepteurs adrénergiques β2** notamment situés dans les **muscles squelettiques** et le **cœur**.
  - La **vasopressine** ou **ADH (hormone antidiurétique)**, hormone **hypothalamique** à **rôle vasoconstricteur**.
- Le **degré de contraction des CML** est aussi **contrôlé** par des **facteurs locaux**, particulièrement **actifs** dans un **muscle** lors d'un effort physique :
  - Des **facteurs métaboliques** (figure 13) **pression partielle en O_2** (sa diminution a un effet vasodilatateur), **pression partielle en CO_2** (son augmentation a un effet vasodilatateur), **acide lactique** (sa présence a un effet vasodilatateur), **concentration en K^+** (libéré par les **muscles en activité**, il augmente aussi la **vasodilatation**)…
  - Un **facteur paracrine** de nature gazeuse, le **monoxyde d'azote NO** (parfois appelé EDRF, *Endothelial Derived Relaxing Factor*) est ***produit par les cellules endothéliales quand le débit sanguin augmente*** (figure 14). Comme il a un effet local vasodilatateur, la **vasodilatation** est alors **localement** encore **augmentée** davantage.

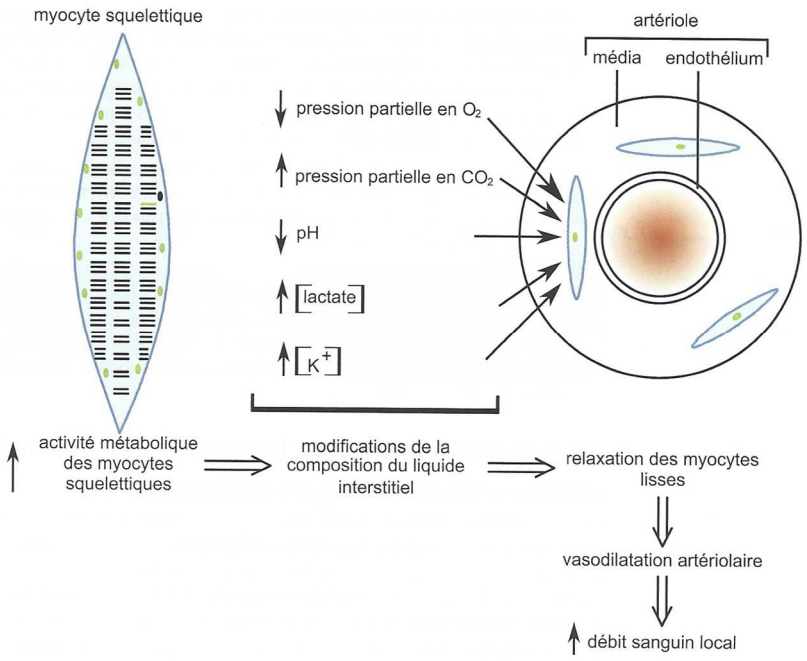


FIGURE 13. Rôle des facteurs métaboliques dans la vasodilatation au niveau d'un muscle squelettique en activité. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

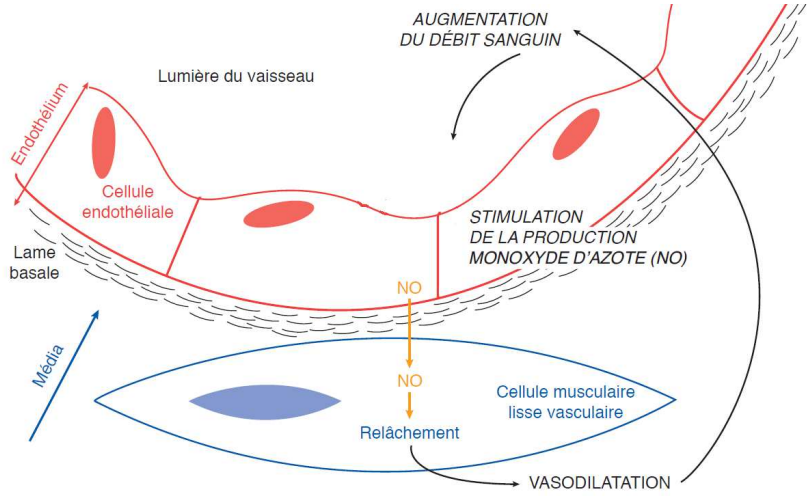


FIGURE 14. Rôle du NO (produit par l'endothélium) dans l'entretien local de la vasodilatation par relâchement des CML (niveau musculaire).
D'après SEGARRA *et al.* (2015), simplifié.

3. Les capillaires, zone de réalisation des échanges de matière entre sang et liquide interstitiel

a. Les lits capillaires et la notion de microcirculation

Les **capillaires** sont seulement constitués d'un **endothélium (intima)** et éventuellement de quelques **péricytes**.

- Les **capillaires sanguins** (figure 15) sont de ***fins conduits*** (**3 à 7 µm de diamètre** : les **cellules** y compris les hématies y sont **déformées** lors de leur passage) ***où se réalisent les échanges entre sang et liquide interstitiel***. Ils sont situés entre une ***petite artériole*** (**artériole pré-capillaire**) ***qui leur amène du sang*** et une ***petite veinule*** (**veinule post-capillaire**) ***qui en évacue le sang***.

Les capillaires peuvent aussi présenter des **péricytes**, ***cellules localisées au niveau de la lame basale de l'endothélium des capillaires qu'elles entourent par de longs prolongements circonférentiels et cytoplasmiques***. Peu nombreux, les péricytes auraient une **fonction contractile** et un rôle dans la **régulation du débit sanguin** au niveau des capillaires et des veinules post-capillaires.

- ***L'ensemble des capillaires plus ou moins ramifiés situés entre l'artériole pré-capillaire et la veinule post-capillaire*** forme un **lit capillaire** (figure 15).
- ***Avec cette artériole et cette veinule***, cela forme la **microcirculation** d'une zone. Dans ce terme, certains auteurs incluent les **petits capillaires lymphatiques** de la zone.

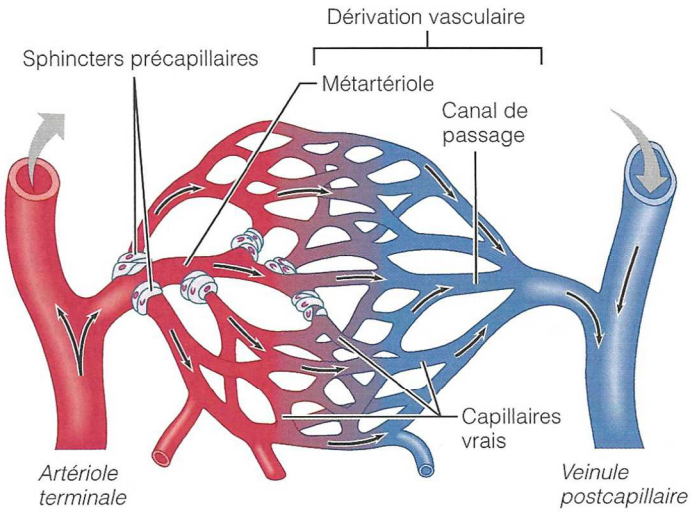
b. La possibilité d'une variation de la microcirculation grâce aux CML

- Les **CML des artérioles** (figure 15) contrôlent, par leur **degré de contraction**, le **débit sanguin** arrivant au lit capillaire.
- Quelques ***anneaux de CML situés à l'entrée des capillaires*** forment des **sphincters précapillaires** qui ***permettent l'ouverture ou la fermeture de tronçons capillaires*** (figure 15). On appelle **perfusion** ***l'existence et/ou l'intensité d'un débit sanguin dans un capillaire, un lit capillaire voire un organe***.

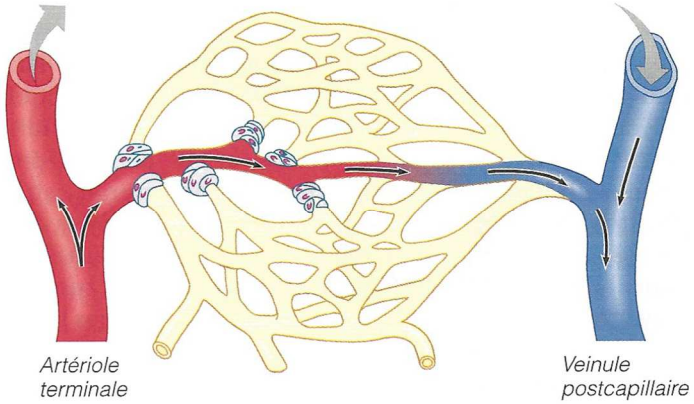
Notez qu'au **repos**, on estime à environ **25-30 %** le **pourcentage de capillaires perfusés** dans l'organisme humain.

c. Des caractéristiques structurales et dynamiques facilitant les échanges

- On peut faire le lien entre diverses caractéristiques structurales ou dynamiques et le rôle d'échanges de matière assuré par les capillaires :
  - **Très petite taille** et **paroi fine (quelques µm)** : **réduction de la distance d'échanges** entre les compartiments ; [*la plupart des cellules ne sont pas éloignées de plus de 0,1 mm d'un capillaire*] ;
  - **Nombre très élevé** : on estime à **40 milliards** le **nombre de capillaire**s chez l'homme correspondant à **près de 40 000 km** de zone d'échanges ;
  - **Surface très importante** : la surface totale des capillaires d'un homme adulte s'étendrait de **500 à 1000 m²** ;
  - **Vitesse très faible** de l'ordre de **0,2 à 0,4 mm • s⁻¹**, ce qui laisse le temps aux échanges de se réaliser : *un capillaire d'1 mm de long est ainsi traversé en 3 s*.



(a) Sphincters ouverts



(b) Sphincters fermés

Anatomie d'un lit capillaire. La dérivation formée par la métartériole et le canal de passage permet au sang de contourner les capillaires vrais lorsque les sphincters précapillaires sont fermés.

FIGURE 15. La microcirculation et le rôle des sphincters dans le contrôle de la perfusion d'un lit capillaire. D'après MARIEB *et al.* (2005).

d. Trois types structuraux de capillaires : continus, fenêtrés et sinusoïdes

- On distingue classiquement **trois types de capillaires** (figure 16) :

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

  - Les **capillaires continus** : ***capillaires dont les cellules endothéliales ne présentent pas de perforation*** (*exception faite peut-être des* ***fentes intercellulaires****, de l'ordre de 4 nm*). Les échanges se font seulement par **diffusion** et **transcytose** (***phénomènes fréquents et bidirectionnels de cytoses entre plasma et liquide interstitiel des tissus***).
  - Les **capillaires fenêtrés** ou **fenestrés** : ***les cellules présentent des pores (fenestrations) de 50 à 80 nm***.
  - Les **capillaires discontinus** ou **capillaires sinusoïdes** : ***les cellules endothéliales présentent des pores de 100 à 1000 nm***.

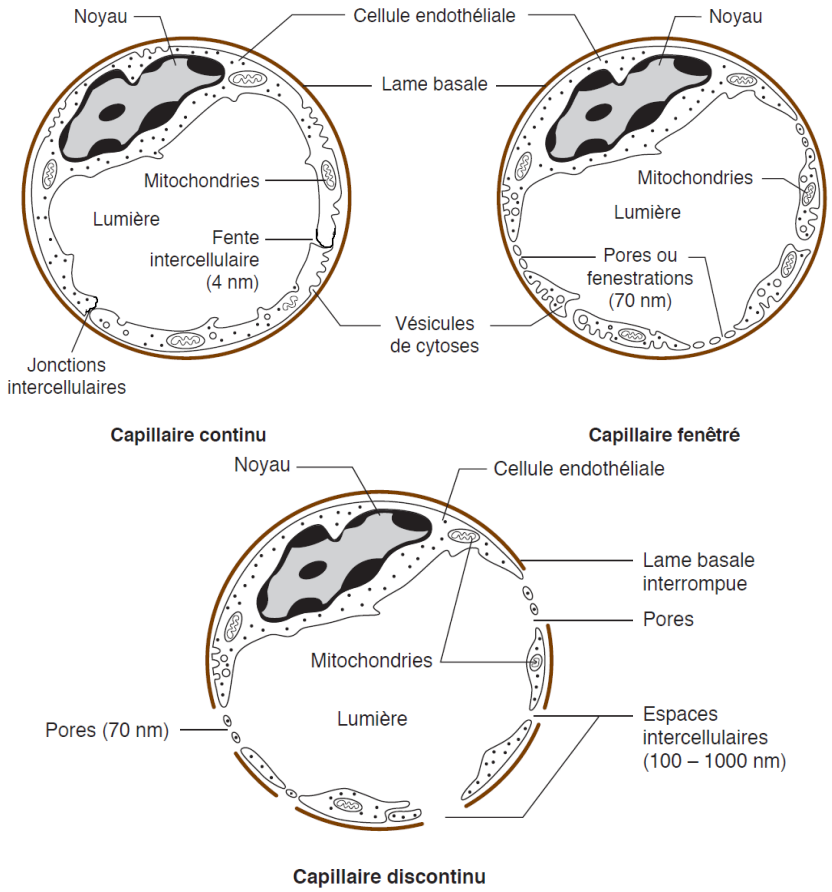


FIGURE 16. Les trois types de capillaires : une schématisation possible. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

e. La diversité des substances échangées au niveau des capillaires

- Le sang comporte de très **nombreuses substances** qui constituent pour la plupart l'objet d'échanges au niveau des capillaires ; les **substances échangées** sont résumées au tableau III.

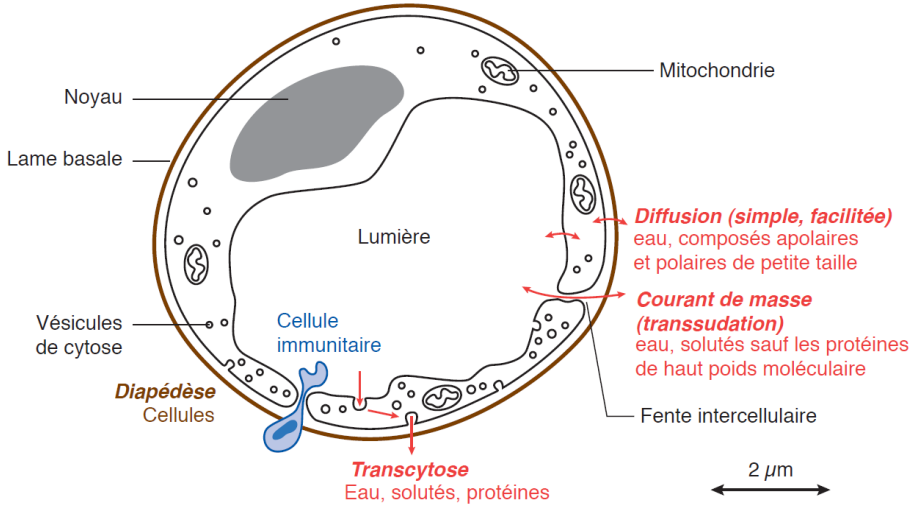
⮟ **TABLEAU II. Nature et diversité des échanges transcapillaires.** D'après SEGARRA *et al.* (2015)

Nature des échanges	Exemples	Commentaires
matière minérale	• eau • ions minéraux (Na^+, K^+, Ca^{2+}, PO_4^{3-}…) • gaz respiratoires dissous (O_2, CO_2)	
nutriments et métabolites	• oses, acides aminés, acides gras, lactate, urée…	limite de taille des petites molécules pouvant être échangés variables selon les types de capillaires
molécules à rôle informatif	• hormones (insuline, adrénaline…) • facteurs paracrines (monoxyde d'azote, interleukines…)	
cellules	• leucocytes • cellules cancéreuses	passage des cellules par diapédèse (dissociation des jonctions dans le cas des capillaires continus ou passage par les sinusoïdes des capillaires discontinus)
physique	• chaleur	évacuation de l'énergie thermique dégagée par les tissus en activité notamment au niveau de la peau (vasodilatation et augmentation du débit sanguin dans le derme)

f. La diversité des modalités d'échanges : diffusion simple, diffusion facilitée, transcytose, filtration-réabsorption

- Au niveau des capillaires, les échanges peuvent se faire selon les modalités suivantes (figure 17) :
  - **Diffusion simple** ou **facilitée** selon le ***gradient de concentration***, le ***gradient de potentiel hydrique (eau)***, le ***gradient électrochimique (ions)*** ou le ***gradient de pression partielle (gaz)*** : passage de substances variées par **traversée de la cellule**… [eau, gaz, ions, glucose, AA, urée…].
  - **Transcytose** : ***phénomènes fréquents et bidirectionnels de cytoses entre plasma et liquide interstitiel des tissus***.
  - **Filtration-réabsorption (= transsudation)** : ***courant d'eau (et de solutés) entre plasma et liquide interstitiel à travers les fentes ou les pores des capillaires sous l'effet de la pression hydrostatique et de la pression oncotique*** (encadré D). C'est le **moteur principal** des **mouvements liquidiens** (y compris au travers des cellules).

La **diapédèse** (figure 17) désigne le ***mécanisme par lequel un leucocyte se déplace et s'insinue entre les cellules endothéliales d'un capillaire sanguin en réponse à des signaux chimiques inflammatoires***.



⮝ **FIGURE 17. Une vision de la diversité des modalités d'échanges entre plasma et liquide interstitiel au niveau des capillaires.**
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Encadré D Filtration et réabsorption capillaires : une affaire de pressions

Selon moi : indispensable !

La pression hydrostatique (pression sanguine)

➢ La **pression hydrostatique du sang** correspond à la ***pression du sang héritée de la pression artérielle***. Elle est d'environ **35 mm Hg au pôle artériel** et **15 mm Hg au pôle veineux** du capillaire. *Cette pression tend à faire sortie l'eau des capillaires*.

NB On **néglige** ici la **pression hydrostatique du liquide interstitiel** (environ **2 mm Hg**) qui s'exerce de l'autre côté du capillaire.

La pression oncotique

➢ La **pression oncotique du sang** correspond à la ***pression osmotique due aux solutés non perméants (= qui ne peuvent pas passer la barrière capillaire et sont « coincés » dans sa lumière), c'est-à-dire dans les faits de grosses protéines plasmatiques (masse supérieure à 60 kDa)***. L'**osmolarité des solutés** est en effet très **semblable** des deux côtés des **capillaires**, sauf en ce qui concerne justement ces **protéines**. La pression oncotique est une constante d'environ **25 mm Hg**. *Cette pression tend à faire rentrer l'eau dans les capillaires, sous l'effet du gradient de potentiel osmotique*.

NB On **néglige** ici la **pression oncotique du liquide interstitiel** (environ **3 mm Hg**) due aux grosses protéines qui s'y trouvent et qui s'exerce de l'autre côté du capillaire.

Le sens du courant d'eau, une résultante des mouvements d'eau dus à chacune de ces pressions

➢ ***Lorsque la pression sanguine est supérieure à la pression oncotique, ce qui est le cas au pôle artériel, l'eau sort du capillaire***. Il y a **filtration** de **l'eau plasmatique** qui entraîne avec elle divers **solutés**.

➢ ***Lorsque la pression sanguine est inférieure à la pression oncotique, ce qui est le cas au pôle veineux, l'eau rentre dans le capillaire***. Il y **réabsorption** de **l'eau plasmatique** qui entraîne avec elle divers **solutés**. Une **très faible portion de liquide** n'est **pas** **réabsorbée** : c'est ce qui est **à l'origine de** la constitution de **la lymphe**.

Remarque 1 : ***la variation des valeurs de ces deux pressions peut faire varier la balance filtration/réabsorption.***

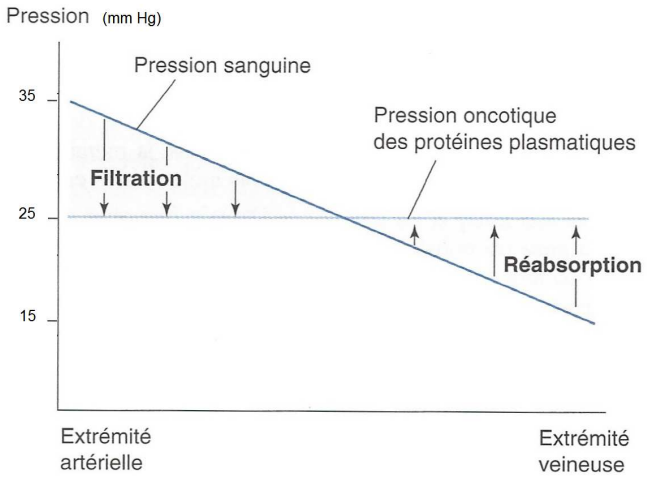


FIGURE a. Pressions sanguine et oncotique en fonction de la distance à l'artériole précapillaire : conséquences sur la filtration ou la réabsorption de plasma.
D'après RICHARD *et al.* (1997), simplifié.

4. Le réseau veineux, un réservoir de volume à rôle collecteur

Structure des veines et relations structure-fonction

- **Intima fine** et pouvant montrer un aspect **festonné**.
- **Média fine** (*en comparaison avec les artères de même niveau*)

° **peu riche** en **fibres musculaires lisses** → **faible vasomotricité** (mais leur contraction peut augmenter, même modestement, la pression veineuse et favoriser le retour au cœur)
° **riche** en **fibres élastiques (élastine)** → **compliance** très importante (20 fois plus élevée que les artères) → forte **capacité de stockage** par **déformation**

- **Adventice riche** en **fibres de collagène** → **limitation** de la **déformabilité**, assurant une **distensibilité maximale**. *Couche la plus épaisse*. On peut trouver des ***vasa vasorum*** dans les veines.

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

- NB **Lumière** souvent **collapsée** (**flaccidité**) + existence de **valvules** anti-reflux.

Structure des veinules (taille < 0,3 mm) et relations structure-fonction

- **Structure proche des veines, mais couches plus fines en lien avec le diamètre du conduit. Média** et **adventice** parfois **difficiles** à discerner.

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères**

a. Un système capacitif qui permet le retour du sang au cœur

- Le **système veineux** est un ***segment vasculaire à basse pression dont les vaisseaux nommés veines permettent le retour du sang au cœur (retour veineux) et sont caractérisés par une paroi fine, souple (flaccidité) et très distensible (compliance)***. La pression y chute à **quelques mm Hg**. En revanche, **75 à 80 % de la volémie** au repos s'y trouve : les veines sont donc un système **capacitif**, c'est-à-dire un ***réservoir de volume***.

b. Les mécanismes du retour veineux : pression veineuse, pompe musculaire squelettique, pompe respiratoire, pompe artérielle

- Le ***retour du sang au cœur par les veines*** (= **retour veineux**) est permis par :
  - La **pression sanguine veineuse** : ***même faible, ces quelques mm Hg suffisent à faire avancer quelque peu le sang***. Les **CML** présentes dans la **média** peuvent en outre **augmenter la pression veineuse** par leur **contraction** (sous l'effet d'un contrôle nerveux ou hormonal), favorisant ainsi le **retour veineux**.
  - La **pompe musculaire** (figure 18) : ***les muscles squelettiques, particulièrement dans les membres inférieurs, pressent les veines (dont la paroi est très souple, rappelons-le) par leur activité et font ainsi avancer le sang***. Des **valvules** empêchent le **reflux sanguin**.
  - La **pompe respiratoire** (figure 19) : ***les modifications du volume de la cage thoracique à cause des mouvements ventilatoires exercent une pression sur les veines***.
  - La **pompe artérielle** (figure 20) : ***le passage du sang dans une artère musculaire presse les veines adjacentes***.

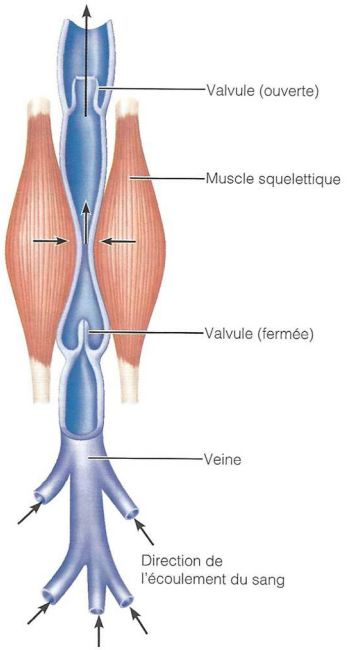


FIGURE 18. La pompe musculaire. D'après MARIEB (2005).

- La présence de **valvules veineuses** dans les **veines des membres** contribue à garantir l'**unidirectionnalité** du **déplacement sanguin**.

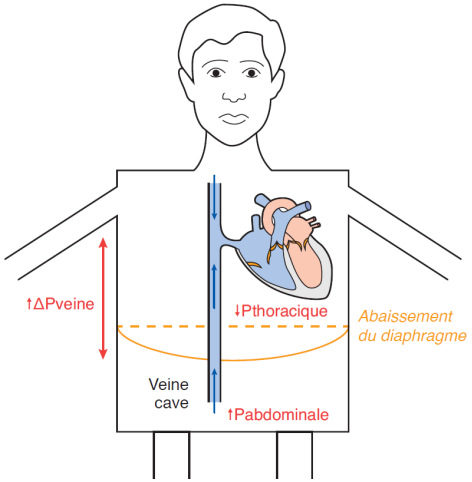


FIGURE 19. La pompe respiratoire.
L'abaissement du diaphragme diminue la pression veineuse dans le thorax et augmente la pression veineuse dans l'abdomen.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

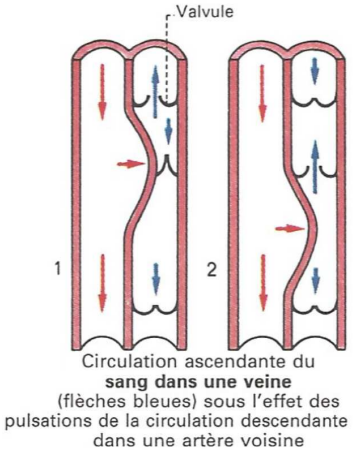


FIGURE 20. La pompe artérielle. D'après VOGEL & ANGERMANN (1994).

5. Bilan sur le système vasculaire des Mammifères

- Les figures 21-14 présentent trois intéressantes **synthèses** sur le **réseau vasculaire des Mammifères**. La figure 21 est particulièrement intéressante pour les **schémas simplifiés de vaisseaux** qu'elle propose.

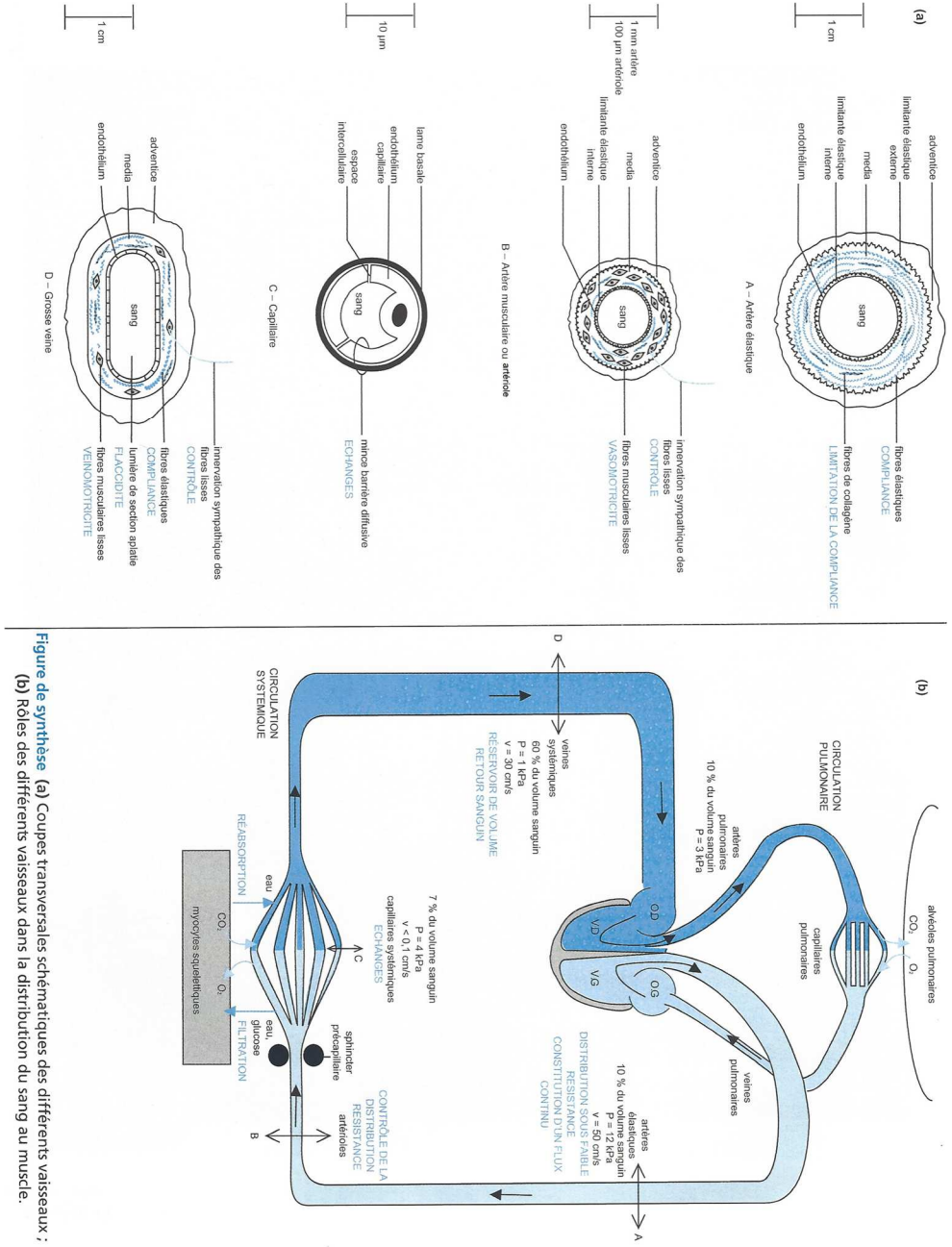


Figure de synthèse **(a)** Coupes transversales schématiques des différents vaisseaux ; **(b)** Rôles des différents vaisseaux dans la distribution du sang au muscle.

FIGURE 21. Bilan sur le système vasculaire des Mammifères. Vision de PEYCRU *et al.* (2010b).

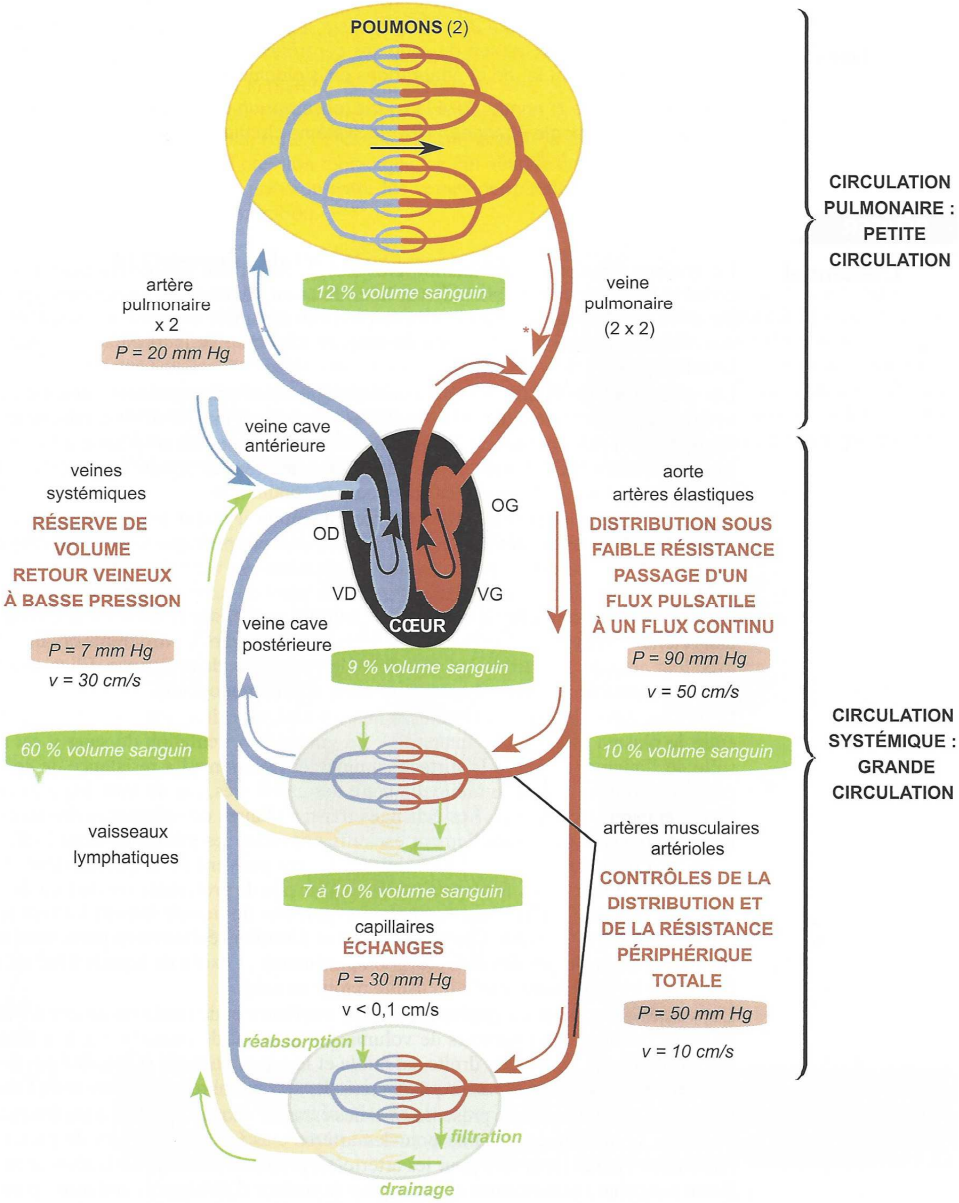


FIGURE 22. Bilan sur le système vasculaire des Mammifères. Vision de PEYCRU *et al.* (2014).

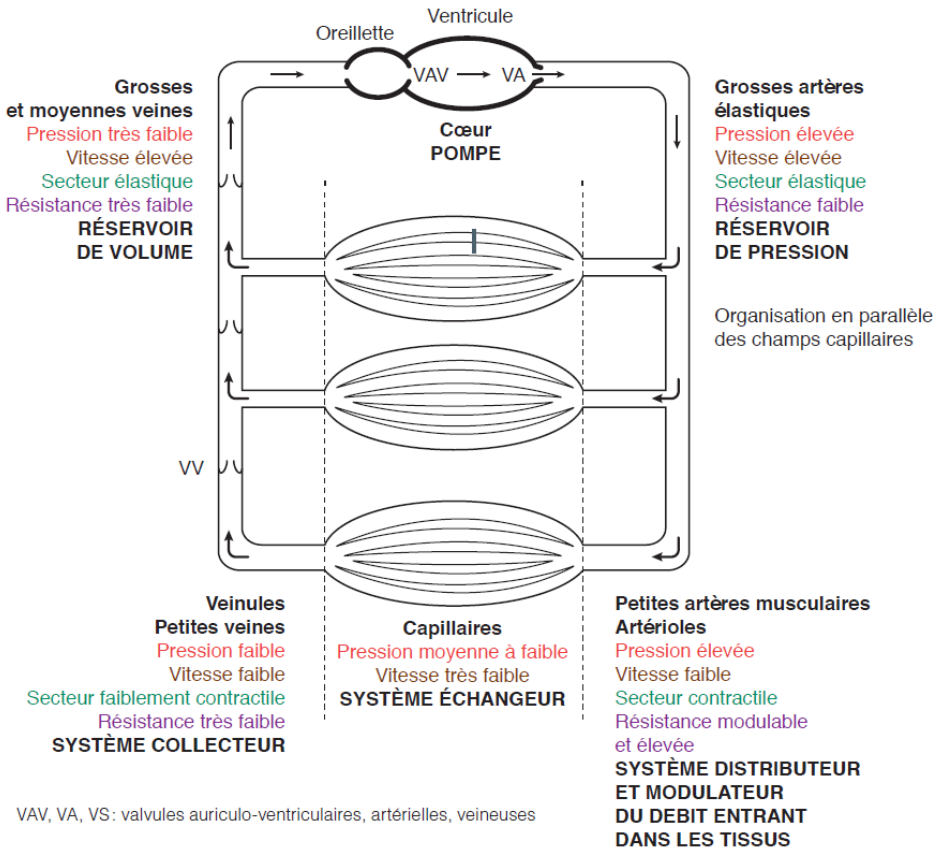
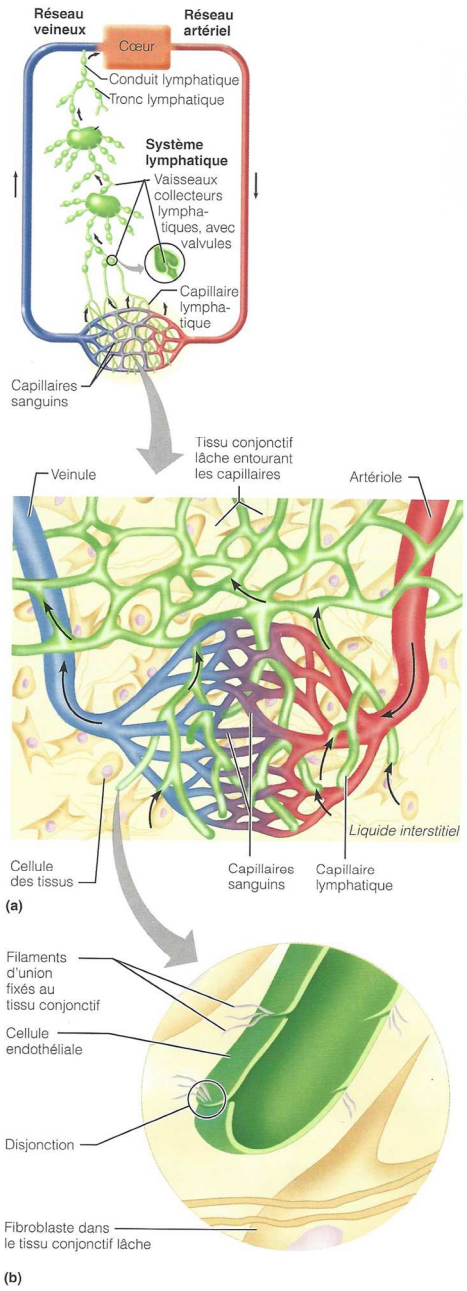


FIGURE 23. Bilan sur le système vasculaire des Mammifères. Vision de SEGARRA *et al.* (2015).

D. Le système lymphatique des Mammifères : des vaisseaux à paroi fine, contractile et valvulés

- Le **système lymphatique** (figure 24) comprend ***un ensemble de vaisseaux lymphatiques ainsi que des organes lymphoïdes impliqués notamment dans la production de divers globules blancs***.
- Les **vaisseaux lymphatiques** ***se terminent en cul-de-sac près des lits capillaires où ils récupèrent l'excès de plasma filtré et les protéines plasmatiques ayant filtré par « erreur »***.
- Leur **paroi** est très **mince**, comprend un **endothélium** au contact de la **lymphe** et des **cellules musculaires lisses** dans les **vaisseaux importants**. Ces CML **se contractent spontanément 5 à 10 fois par minute** et cet automatisme est modulable par des signaux nerveux, hormonaux… Des **valvules fréquentes** empêchent le reflux de lymphe.
- La **circulation lymphatique** est aussi favorisée par des **mécanismes identiques au retour veineux** (**pompe musculaire**, **pompe respiratoire**, **pompe artérielle**).



Distribution et caractéristiques structurales des capillaires lymphatiques. (a) Relations structurales entre un lit capillaire du système cardiovasculaire et les capillaires lymphatiques. Les flèches indiquent la direction dans laquelle circule le liquide. **(b)** Les capillaires lymphatiques naissent sous forme de culs-de-sac. Les cellules endothéliales de leurs parois se chevauchent et forment des disjonctions.

FIGURE 24. Le réseau lymphatique. D'après MARIEB (2005).

II. Des fluides circulants qui permettent des flux de matière dans l'organisme

- Les **fluides circulants** transportent, chez les organismes pluricellulaires, des matières variées qui sont **chargées** ou **déchargées** selon la **localisation** considérée.

A. Les flux de matière chez les Angiospermes : les processus de charge et décharge des sèves

1. La charge du xylème : une circulation radiale d'eau et de solutés constituant l'absorption racinaire

Revoir **chapitre sur le prélèvement de la solution minérale du sol (chapitre 13)**

- La façon dont le **xylème** est **chargé** en **eau** et en **ions** a été vu dans le chapitre 13 consacré à l'absorption racinaire : à revoir !
- On rappelle l'importance des **mycorhizes** dans le **chargement xylémien** chez beaucoup d'Angiospermes.

2. La décharge du xylème en lien avec la circulation verticale ascendante de la sève brute

- La **circulation verticale** de la **sève brute** a été expliquée dans le chapitre 16, en lien avec la **tension-cohésion des molécules d'eau** et les **moteurs** que sont l'**évapotranspiration foliaire** et la **poussée racinaire**.
- Le **xylème** est **déchargé** :
  - En **eau** selon le **gradient** de **potentiel hydrique** allant du **xylème** vers les **autres tissus** (parois + cellules).
  - En **solutés** (**ions** principalement) selon le **gradient électrochimique** de la plupart des **solutés**, plus concentrés dans le xylème que dans l'**apoplasme**. Leur entrée dans les cellules emprunte des **transporteurs passifs** ou **actifs** selon les cas.

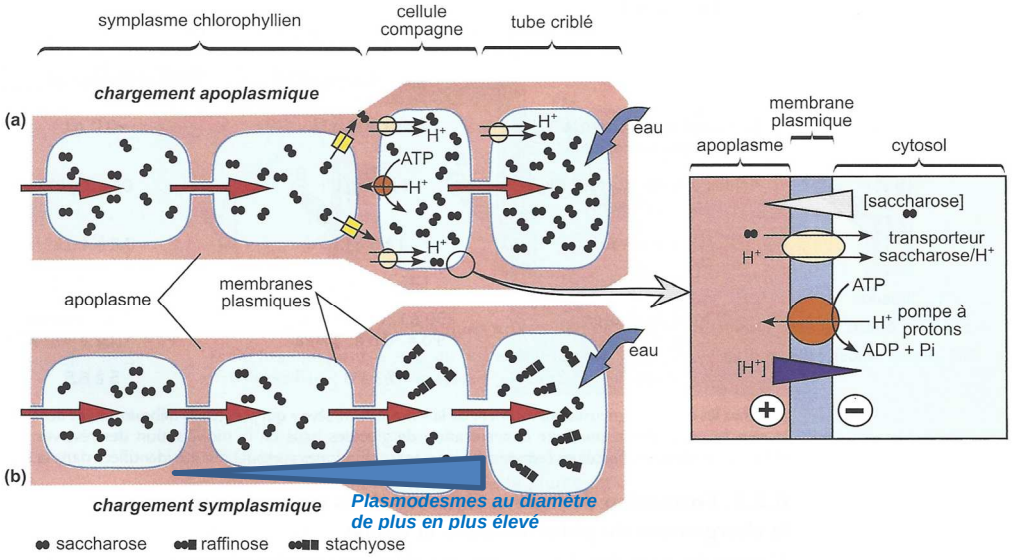
3. La charge du phloème en photoassimilats au niveau des organes-sources : un processus apoplasmique ou symplasmique

- Il existe **deux possibilités** principales de **charge glucidique du phloème** (figure 25).
- Les notions d'**organe-source**, d'**organe-puits** et de **corrélation trophique** ont été définies dans le chapitre 16.

a. Un complexe phloémien « fermé » : la charge apoplasmique de saccharose par un symport saccharose/H^+

- Chez la plupart des **espèces herbacées** des **zones tempérées**, le **cytoplasme** des **cellules du mésophylle chlorophyllien** est **isolé** des **cellules compagnes** du **phloème** par l'**absence** de **plasmodesmes**.
- Le **saccharose** (figure 76) sort des **cellules chlorophylliennes** dans l'**apoplasme**, probablement par une **perméase** (**diffusion facilitée** = *dans le sens du gradient de concentration*).
- Il est ensuite **chargé** dans la **cellule compagne** par un **transport actif secondaire** couplé à un **flux entrant de protons**.
- Le **gradient de protons** est quant à lui entretenu par une **pompe à protons** qui consomme de l'**ATP**.

On rappelle que le **saccharose** (figure 26) est un ***disaccharide composé d'un glucose α et d'un fructose β liés en α1-β2***. Ce sucre, parce qu'il est **non réducteur** et donc **peu réactif** quand il n'est pas hydrolysé, est une **forme privilégiée** de **transport glucidique** par la **sève élaborée**. Il est en outre aisément **stockable** dans les **vacuoles**.



Mécanismes de chargement apoplasmique **(a)** et symplasmique **(b)** du phloème.
La zone encadrée représente les principaux acteurs moléculaires du chargement apoplasmique.

FIGURE 25. Charge du phloème : deux modalités possibles. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

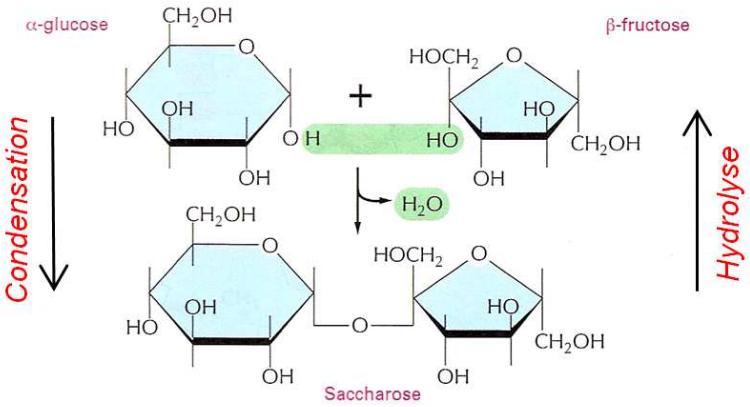


FIGURE 26. Le saccharose. D'après ALBERTS *et al.* (2004).

b. Un complexe phloémien « ouvert » : la charge symplasmique passive de très courts oligosaccharides (stachyose, raffinose…)

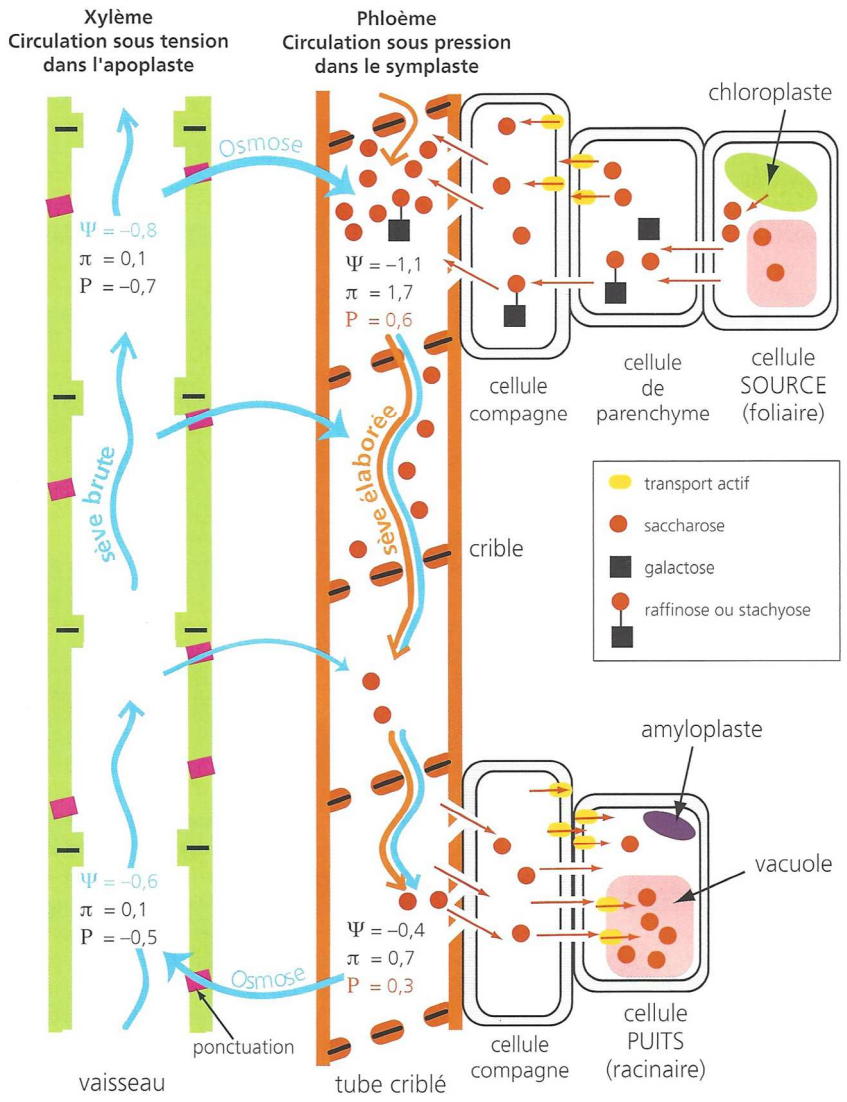
- Chez les **espèces arborescentes**, chez de nombreuses **plantes tropicales** mais aussi chez **diverses herbacées** de **nos latitudes**, il y a une totale **continuité symplasmique** entre mésophylle et phloème (figure 25).
- *La **taille** de ces **plasmodesmes** est alors souvent **de plus en plus élevée** à mesure que l'on s'approche du **phloème**.* Le **saccharose**, disaccharide de **petite taille** produit par les cellules chlorophylliennes, peut **transiter** par **tous les plasmodesmes** (figure 25).
- Dans les **cellules compagnes** et les **tubes criblés**, de **nouveaux oses** sont **ajoutés** aux **molécules de saccharose** formant des ***sucres à trois oses*** (par exemple le **raffinose**) ou ***à quatre oses*** (par exemple le **stachyose**) voire davantage : ceux-ci ne peuvent **pas refluer dans les cellules chlorophylliennes** car ils sont **trop volumineux** pour passer par les **plasmodesmes** du **mésophylle**. Ils sont donc « condamnés » à **rester** dans le **phloème** et à s'y **déplacer**.

4. La décharge du phloème en photoassimilats au niveau des organes-puits

- Le **phloème** est **déchargé** au niveau des **organes-puits** :
  - Soit par voie **symplasmique** : les **glucides** suivent alors leur **gradient de concentration** jusqu'aux **cellules-puits** (cette possibilité existe y compris pour le **saccharose**).
  - Soit par **voie apoplasmique** : dans ce cas, il peut y avoir **interruption du symplasme** entre phloème et organe-puits. Le saccharose est alors déchargé par des mécanismes identiques à la charge du phloème (perméase + symport saccharose/H^+) (revoir figure 13 du chapitre 16).
- Dans les **organes-puits**, le **saccharose** peut :
  - Être **stocké** dans la **vacuole**
  - Être **métabolisé** : ***hydrolysé enzymatiquement en glucose et fructose*** (figure 16) par une **invertase**. Ces oses peuvent ensuite :
    - Être utilisés dans le **catabolisme** (production d'**ATP**)
    - Être utilisés dans la production de nouvelles molécules (**anabolisme**), y compris de l'**amidon** qui peut être mis en **réserve**.

5. Une vision synthétique de la circulation chez les Angiospermes

- La figure 27 montre un **bilan** tenant compte des phénomènes de **charge** et **décharge** du **phloème** et des grands **mouvements de sèves** entre organes-sources et **organes-puits**, illustrant ainsi les **corrélations trophiques**.



hypothèse de circulation de la sève élaborée selon Münch, processus de chargement et déchargement du phloème

Des ordres de grandeur de potentiel hydrique (Ψ), de pression osmotique (π) et de pression hydrostatique (P) sont indiqués en MPa. La composante qui détermine le flux de sève est indiqué en couleur. Dans le xylème, la sève brute circule sous tension, selon un gradient de Ψ décroissant. Dans le phloème, la sève élaborée circule sous pression, selon un gradient de P.

FIGURE 27. Une vision synthétique de la circulation chez les Angiospermes.
D'après MEYER *et al.* (2008).

B. Les flux de matière chez les Mammifères

1. Une vue d'ensemble : rôle des liquides circulants dans l'approvisionnement, la distribution et les pertes de matière chez les Mammifères

- La figure 28 montre le **rôle central** de la **circulation sanguine** (*la circulation lymphatique n'est pas représentée*) à l'échelle des **tissus** dans :
  - l'**approvisionnement** des **cellules** en **dioxygène**, **nutriments**, **eau**, **ions**…
  - l'**évacuation** de leurs **déchets métaboliques** : **urée**, **dioxyde de carbone**…
- La figure 28 montre le **rôle central** de la **circulation sanguine** (*la circulation lymphatique n'est pas représentée*) à l'échelle de l'**organisme** dans les **entrées de matière** dans l'organisme, la **distribution de matière** et les **sorties de matière**, à savoir :
  - la **distribution** du **dioxygène**, des **nutriments**, de l'**eau**, des **ions**… aux organes.
  - l'**acquisition** de ces substances au niveau de **surfaces d'échanges** (*système digestif*, *système respiratoire*)
  - l'**évacuation** des **déchets** produits par les cellules ou des substances en surplus : **urée**, **eau**, **ions** (*système urinaire*), **dioxyde de carbone** (*système respiratoire*)…
- À chaque fois, les **échanges de matière** ont lieu au niveau de **surfaces spécialisées** qui permettent les échanges avec les **capillaires**.

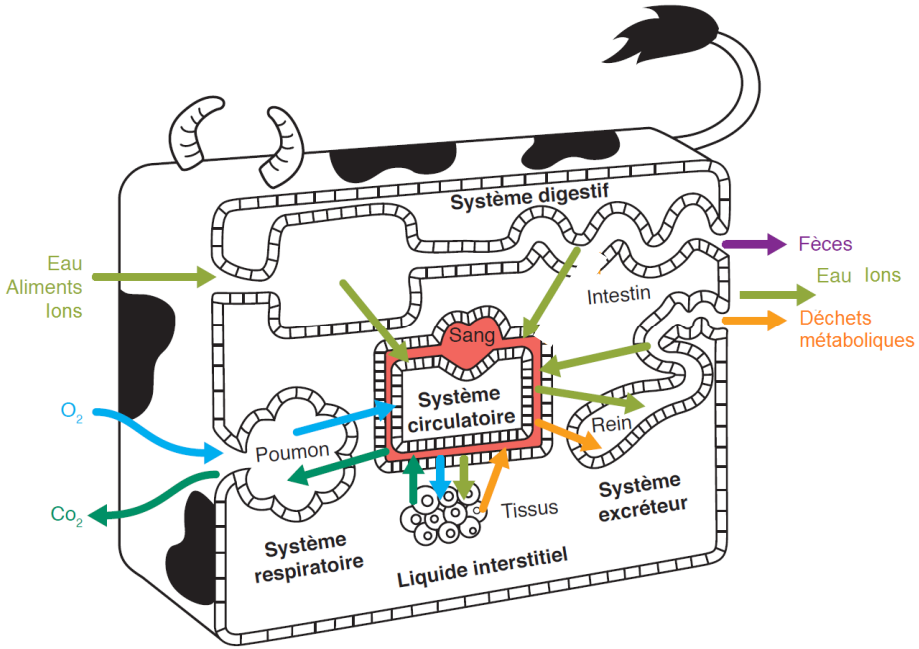


FIGURE 28. La circulation et les flux de matière chez les Mammifères.
D'après SEGARRA *et al.* (2015), légèrement adapté et corrigé.
Préférez des couleurs conventionnelles à celles retenues dans ce schéma.

2. L'importance de la disposition des organes au sein de la circulation dans les échanges gazeux respiratoires

- L'**organisation générale** du **système circulatoire** chez les **Mammifères** (figure 29) est fortement à mettre en lien avec l'**oxygénation** du sang.

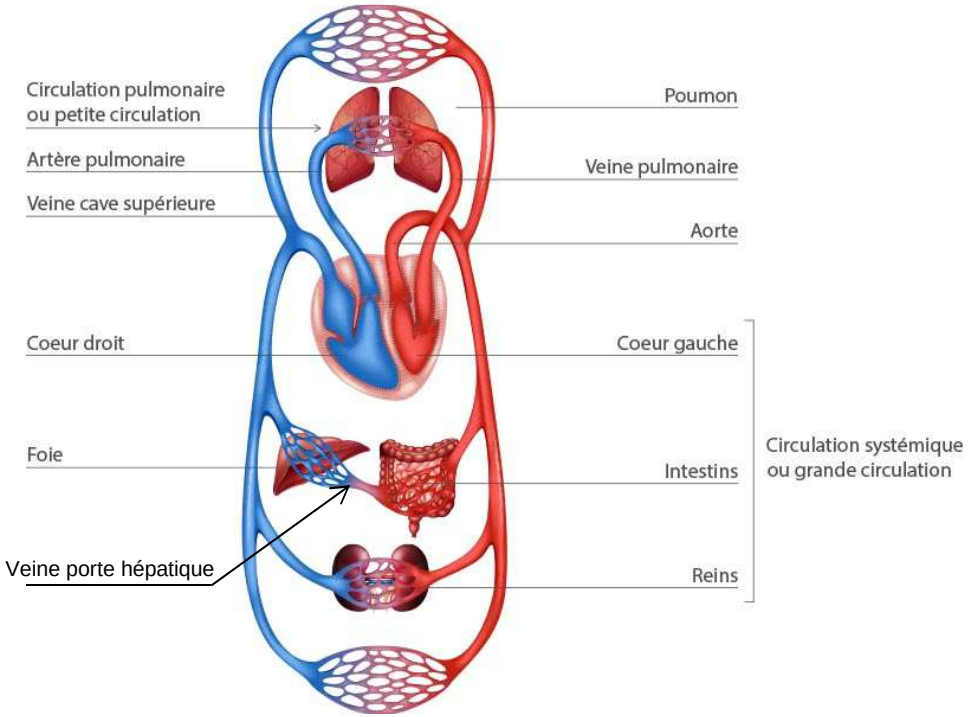


FIGURE 29. Une représentation simplifiée du système circulatoire des Mammifères.
http://www.sante-sur-le-net.com/fiches-info/generalites-sur-le-coeur/ (consultation février 2016)

a. Une circulation générale et une circulation pulmonaire en série l'une par rapport à l'autre, permettant à l'ensemble du sang de transiter par les poumons

- La **circulation générale** et la **circulation pulmonaire** sont **en série** l'une par rapport à l'autre (figure 29 – voir aussi chapitre 16). ***L'ensemble du sang transite donc successivement par les deux circulations*** : **tout le sang hématosé** dans la **petite circulation** se rend ensuite dans la **grande circulation** où son **dioxygène** est **prélevé** par les organes et où du **CO_2** est **rejeté**. Inversement, **tout le sang désoxygéné** en provenance de l'organisme arrivant au cœur va ensuite dans les **poumons** où a lieu la **respiration interne** (charge en O_2, décharge en CO_2).

b. Au sein de la circulation systémique : des organes placés en dérivation qui bénéficient ainsi tous d'un sang hématosé

- Au sein de la **circulation systémique**, les **organes** sont placés **en dérivation** les uns par rapport aux autres. Tous les **organes** bénéficient ainsi d'un **sang hématosé** arrivant au niveau de leurs **capillaires**. *Si les organes étaient placés en série à la suite les uns des autres, seuls les organes en début de chaîne bénéficieraient d'un sang vraiment riche en dioxygène.*

c. Au sein de la circulation systémique : quelques organes alimentés en sang veineux par des systèmes portes

- Quelques rares organes sont placés sur un **système porte**, c'est-à-dire ***un segment circulatoire issu d'une veine véhiculant du sang appauvri en dioxygène par la consommation d'un premier organe***. Normalement, les veines situées après un lit capillaires font revenir le sang au cœur… Mais une **veine porte** ***irrigue en série un second organe***.
- Le cas d'école est le **foie** (figure 29) : il est essentiellement irrigué par une **veine porte** en provenance des autres organes de l'**appareil digestif** (*il existe toutefois aussi une* ***artère hépatique***). Le sang a donc été **appauvri en dioxygène** par ces organes.
- Ce **positionnement** à mettre en lien avec la **coopération fonctionnelle** du foie et du tube digestif : le **foie traite**, dès le **premier passage**, le **sang** contenant les **produits** de la **digestion**. D'une part, il **détoxifie** de manière importante le **sang** de substances potentiellement dangereuse. D'autre part, il traite directement les **nutriments** ; le **foie** étant notamment le **principal organe de stockage du glucose**, son positionnement vasculaire **évite ainsi une trop forte hyperglycémie** en **période postprandiale**.

> Il est à noter aussi que le **foie** est sensible aux **hormones pancréatiques** régulant la **glycémie** (**insuline**, **glucagon** notamment) qui sont donc ainsi **sur le trajet même du sang** directement issu du **pancréas** (voir chapitre 19).

3. La contribution des capillaires aux flux de matière : une illustration au travers de trois exemples

Voir **TP B6 : L'appareil cardiovasculaire des Mammifères** + voir **plus haut**

- Nous avons vu plus haut les **modalités des échanges capillaires** ainsi que les **substances** qui pouvaient y être **échangées**. Nous avons également vu les **trois types de capillaires**. Le programme invite à présenter un exemple de **contexte fonctionnel** pour chacun de ces types de capillaires.

a. Les capillaires continus des muscles squelettiques et l'approvisionnement essentiellement diffusif

- Les **capillaires continus** sont **les plus abondants quantitativement** et on les trouve par exemple dans les **muscles**, les **poumons**, les **conjonctifs**… Leur **caractère continu** limite la **transsudation** (surtout localisée au niveau des **fentes intercellulaires**) et favorise la **diffusion** ; il implique également que les **grosses molécules (protéines, y compris hormones peptidiques)** passent obligatoirement par **transcytose**. L'**approvisionnement des tissus** est ainsi relativement **contrôlé** et les **échanges de liquides** y sont très **limités**.

b. Les capillaires fenêtrés des reins et l'ultrafiltration glomérulaire

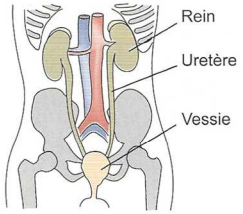
- Les **capillaires fenêtrés** sont percés de **pores (70 nm)** qui facilitent la **transsudation** et donc la **filtration** et/ou **réabsorption** du **liquide plasmatique** avec ses **solutés**. On le retrouve là où des **échanges liquidiens importants** ont lieu : **intestins**, **reins** (encadré E) *sans toutefois permettre aux protéines (sauf les petites) de passer aisément par transsudation.*

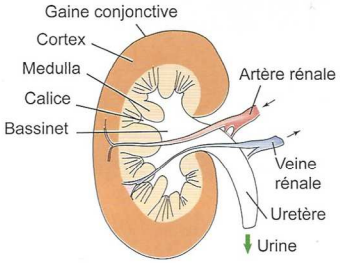
Encadré E Le rein, organe principal de l'excrétion chez les Mammifères

Pour information… mais un peu utile quand même pour comprendre le programme !
D'après RICHARD et al. (2014)

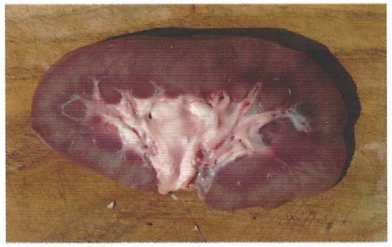
L'organisation générale du rein des Mammifères

Le rein est le principal organe d'excrétion des Mammifères. Cet organe pair se trouve dans la partie postérieure de la cavité abdominale. Les reins sont reliés à la vessie par les uretères. Chaque organe, en forme de haricot, est enveloppé d'une gaine conjonctive et constitué de deux parties, le cortex externe et la médulla centrale. Chaque rein est irrigué par une artère et une veine rénale.

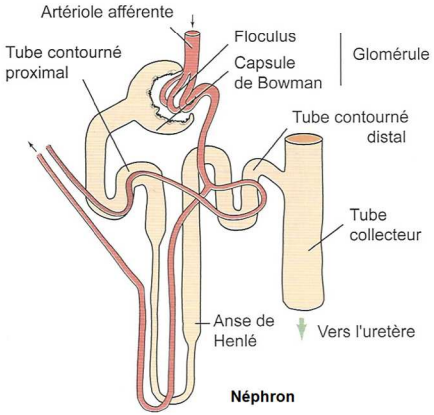




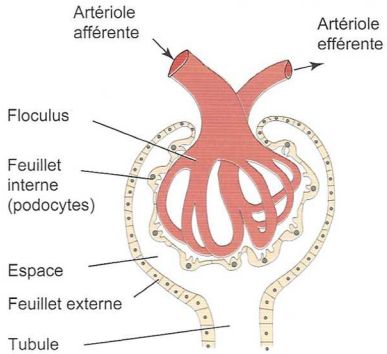
Chaque rein est constitué d'environ un million de néphrons, éléments constitutifs qui permettent la formation de l'urine primaire, puis définitive. Les néphrons sont positionnés dans la zone corticale mais certains de leurs prolongements (anse de Henlé et tube collecteur) pénètrent dans la médulla. L'urine définitive s'écoule au niveau du bassinet et est ensuite évacuée par l'uretère, vers la vessie.



Rein de Porc (C.L.)

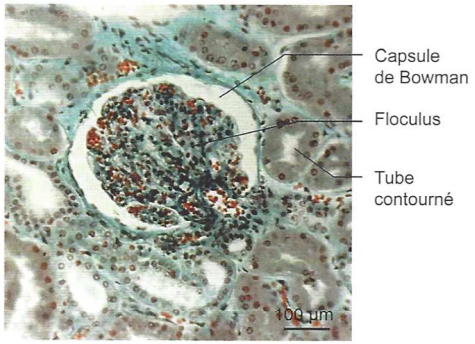


Néphron

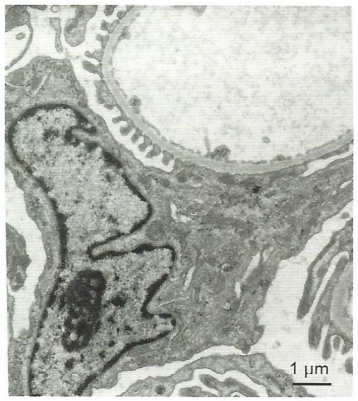


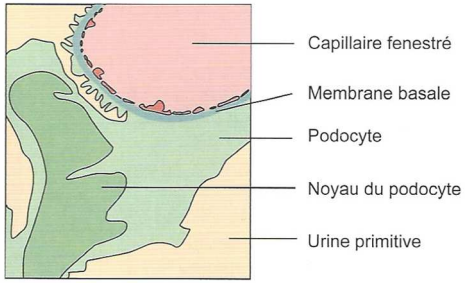
Glomérule

Le fonctionnement du néphron des Vertébrés

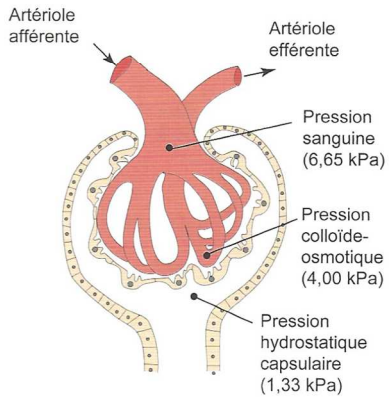


Le glomérule constitue la structure filtrante du néphron. Il est formé d'un bouquet de capillaires, le floculus, qui prolonge l'artériole rénale afférente et est encapsulé dans l'extrémité aveugle du tubule, la capsule de Bowman.
Le feuillet interne de la capsule de Bowman est constitué de cellules possédant des prolongements en piliers, les podocytes qui sont en contact avec l'endothélium fenestré du floculus.





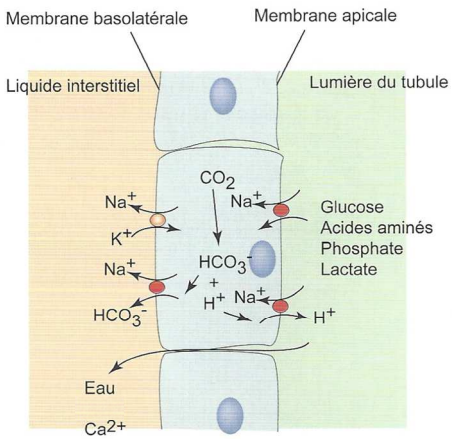
La filtration du plasma est réalisée au niveau du glomérule. La pression de filtration, orientée vers la capsule, est la résultante des pressions sanguine, colloïde osmotique du sang, et hydrostatique de l'urine primitive. Le filtrat contient toutes les substances du plasma exceptées les protéines retenues par la barrière glomérulaire.



P. efficace = P. sanguine – (P. capsulaire + P. colloïde-osmotique)
P. filtration = 6,65 – (1,33 + 4,00) = 1, 32 kPa

Répartition des pressions dans le glomérule

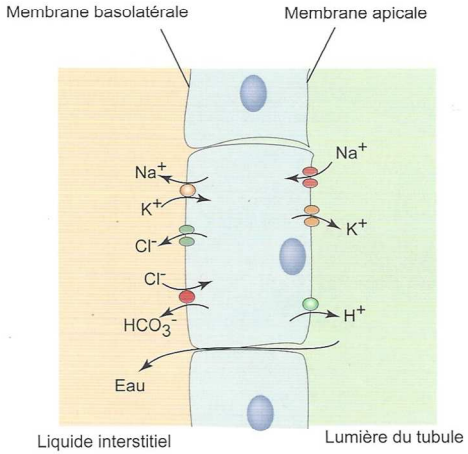
Le fonctionnement du néphron des Vertébrés



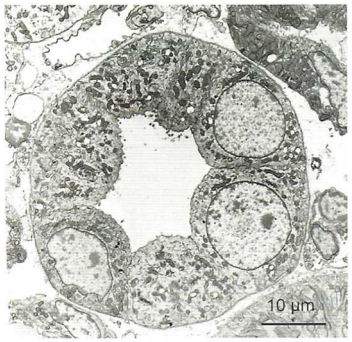
Tubule proximal

Au niveau du tubule proximal, les solutés ainsi que certaines substances indispensables pour l'organisme (glucose, acides aminés, lactate, pyruvate, etc.), sont réabsorbés grâce à un gradient transcellulaire de Na^+ dû à l'activité d'une pompe Na^+/K^+, localisée dans la membrane basolatérale des cellules.

L'anse de Henlé et le tubule distal ont un rôle essentiel dans la concentration de l'urine et donc dans la régulation de la pression osmotique du milieu intérieur. Le tubule distal réabsorbe du Na^+ et sécrète des ions K^+ et H^+. Ces mouvements de Na^+ sont contrôlés par l'aldostérone, tandis que les mouvements d'eau associés sont contrôlés par l'ADH.

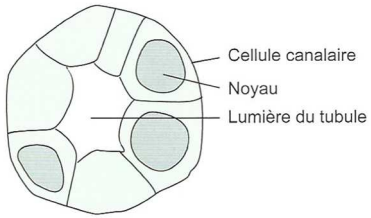


Tubule distal



Tube collecteur (MET)

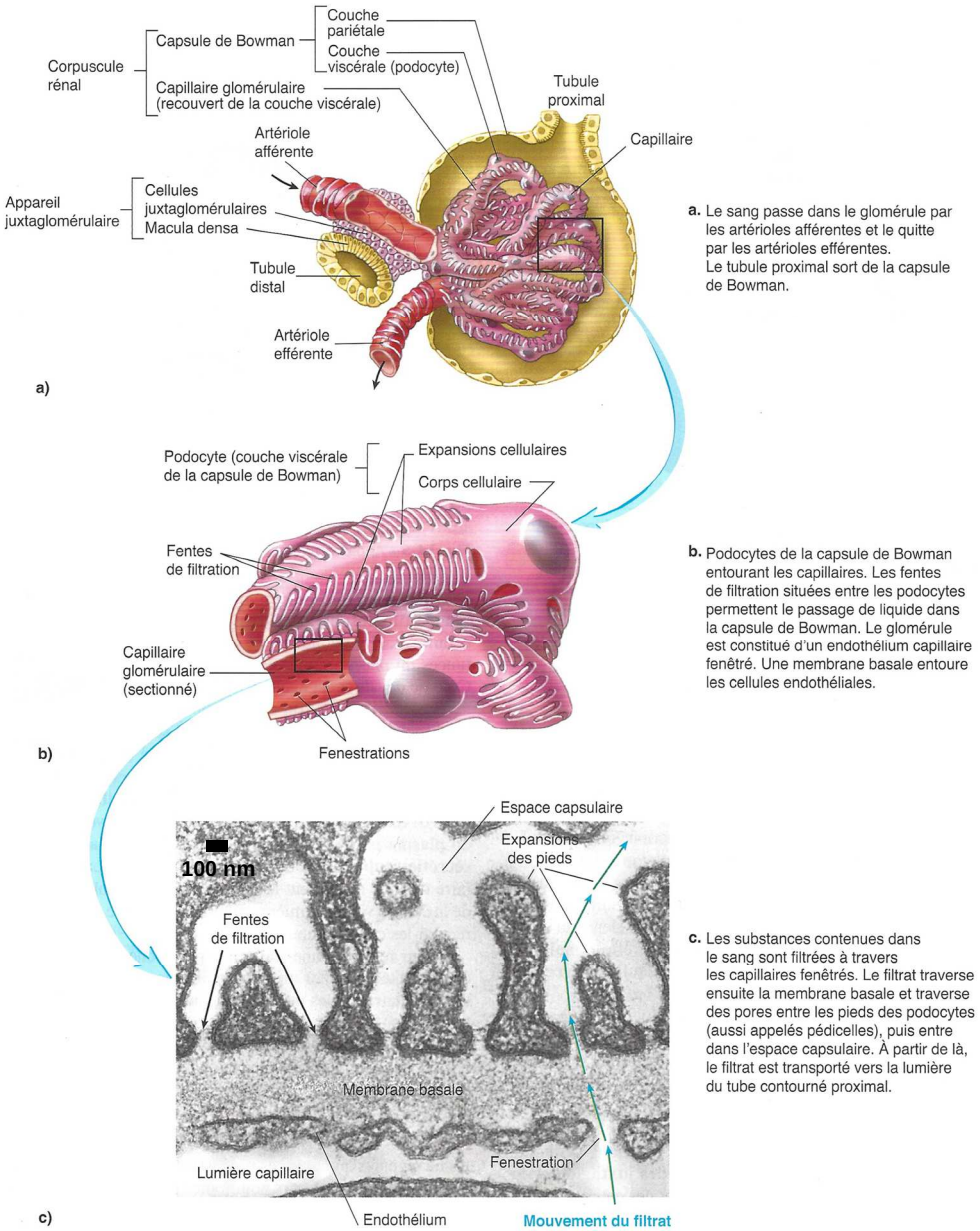
Le tube collecteur sécrète des ions H^+, sous forme de NH_4^+.



- La tête du **néphron** est constituée du **glomérule** (encadré B) au niveau duquel s'effectue la **production d'urine primaire** par **filtration du sang**. La **barrière hémato-urinaire** (figure 30) comprend **trois couches cellulaires** :
  - **L'endothélium fenêtré** des capillaires, ***pourvu de petits pores de 50 à 80 nm de diamètre***, qui permet le ***passage de substances*** comme l'**eau**, les **ions**, l'**urée**, le **glucose**, les **AA** et les très **petites protéines**, mais ***empêche celui des éléments figurés et des macromolécules dont le poids moléculaire est égal ou supérieur à 60 kDa (les protéines à rôle oncotique comme l'albumine restent donc dans le plasma)***.
  - la **lame basale** (d'une épaisseur de **250-350 nm**), ***limitant fortement le passage des protéines***.
  - les **fentes de filtration** (d'une largeur d'environ **25 nm**) formées par les **podocytes** et recouvertes d'un **mince diaphragme** (de composition mystérieuse) de 4 nm d'épaisseur. ***Ces fentes empêchent le passage des petites protéines***.
- Le **sang sous pression du glomérule** est donc **filtré** dans la **capsule de Bowman** mais seuls ***l'eau et les petits solutés*** parviennent dans la **lumière glomérulaire**.

c. Les capillaires sinusoïdes du foie et les échanges de masse, y compris protéiques

- Les **capillaires sinusoïdes** se rencontrent dans le foie, la rate, les os… Ce sont des lieux d'**intense transsudation** où peuvent passer des **éléments figurés** (ex. cas de la rate qui dégrade les hématies âgées) et de **grosses protéines** (ex. cas des glandes endocrines produisant des hormones peptidiques) ***au travers de larges pores de 100 nm à 1 µm***.
- Dans le cas du **foie**, les **intérêts** sont multiples :
  - **Détoxification** du **plasma** arrivant juste **après les échanges digestifs**
  - **Prélèvement** ou **sécrétion** de **glucose** en forte quantité
  - **Sécrétion** de nombreuses **protéines plasmatiques** (albumine, complément…)
  - Passage des **hématies** ou **leucocytes usagés** en partie dégradés par le foie.



Corpuscule rénal. a) Anatomie du corpuscule rénal. b) Vue interne des podocytes et des capillaires. c) Capillaire glomérulaire et membranes glomérulaires en microscopie électronique à transmission. Daniel Friend d'après William Bloom et Don Fawcett, *Textbook of Histology*, 10th ed, W.B. Saunders Co.

FIGURE 30. La barrière hémato-urinaire (MET). D'après VANDER *et al.* (2013).

Quelques pistes pour construire une fiche de révision

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

° **Xylème**
° **Phloème**
[° **Obturation** du **xylème** et **phloème** ?]
° Schémas simples des **grands types de vaisseaux** [vous pouvez utiliser les schémas bilan !]
° **Paramètres circulatoires** des **différents secteurs** : impératif !!!
+ ajouter l'évolution de la **PA** (et non la PAM) dans les **artères**
° **Déformation des artères** lors du passage du **sang**
° Contrôle de la **vasomotricité** au niveau des **CML** (combiner les schémas)
° **Lits capillaires**
° Trois types de **capillaires** : **continu** / **fenêtré** / **sinusoïde**
° Modalités de **transferts de matière** au niveau d'un **capillaire**
° **Graphe filtration-réabsorption** (à bien savoir expliquer ! – notions de pression hydrostatique, pression oncotique… associées)
° **Pompe musculaire** / **Pompe respiratoire** / **Pompe artérielle**
° Schéma-bilan sur les **vaisseaux de Mammifères**
° **Charge** du **phloème** : deux **mécanismes** [savoir représenter aussi saccharose] + **décharge** du **phloème** (utiliser le chapitre 17)
° **Modèle synthétique** de **circulation** chez les **Angiospermes**
° Vue d'ensemble des **flux de matière** chez les **Mammifères** (on peut aussi utiliser la figure 1 du chapitre 17)
° **Système circulatoire** des **Mammifère**s : vue d'ensemble
° Paroi d'un **capillaire fenêtré** dans le **néphron** (schéma d'interprétation de l'électronographie)

Attention à connaître des **valeurs** et **ordres de grandeur** !

Vous devez en outre **savoir / pouvoir** [faire le lien avec les TP B6-B7]
° **Reconnaître** / **exploiter** des lames microscopiques de **vaisseaux**
° **Reconnaître** / **exploiter** des électronographies de **capillaires**
° **Reconnaître** / **exploiter** des lames en CT ou CL montrant des **tissus conducteurs végétaux**

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

BAL, A., C. CALAMAND, C. COTTON, G. GOHAU, M. LE BELLÉGARD, C. MARCONIS, D. RICHARD, M. SEBBAH & C. TORTORA (1992). *Régulation. La régulation des fonctions.* Hachette, Paris.

BERNARD, J.-J. (2002). *Bioénergétique cellulaire.* Ellipses, Paris.

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BOUJARD, D. (dir.), B. ANSELME, C. CULLIN & CÉLINE RAGUÉNÈS-NICOL (2015). *Biologie cellulaire et moléculaire. Tout le cours en fiches. Licence. PACES. CAPES.* 2e édition (1e édition 2012), Dunod, Paris.

BOUTIN, V., J.-F. FOGELGESANG, J.-F. BEAUX & F. RIBOLA (2010). *Atlas de Biologie végétale BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BOUTIN, V., L. GERAY, Y. KRAUSS & C. VILBERT (2015). *Atlas de biologie BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CADET, R. (2008). *L'invention de la physiologie. 100 expériences historiques.* Belin, Paris.

CAMEFORT, H. (1977). *Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1962).

CAMEFORT, H. & H. BOUÉ (1980). *Reproduction et biologie des végétaux supérieurs. Brophytes. Ptéridophytes. Spermaphytes.* Doin, Paris.

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

CHASSANY, V., M. POTAGE & M. RICOU (2012). *Mini manuel de Biologie végétale.* Dunod, Paris.

CLESSE, B. (2006). *Glossaire botanique illustré*. Entente nationale pour la Protection de la Nature, Bruxelles (B).

CÔME, D. (dir.) et collaborateurs (1992). *Les végétaux et le froid.* Hermann, Paris.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DUCREUX, G. (2002). *Introduction à la botanique.* Belin, Paris.

GALIANA, D., C. LE ROUX & I. MONCHÂTRE (coord. T.-M. BOTREAU) (2015). *Biologie-Écologie Module M72. Bac technologique STAV. La gestion du vivant et des ressources.* Éducagri, Dijon.

GUIGNARD, J.-L. & F. DUPONT (2004). *Botanique. Systématique moléculaire.* Masson, Issy-les-Moulineaux (92), 13e édition (1e édition 1974).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

HEUSSER, S. & H.-G. DUPUY (2015). *Atlas de biologie animale.* Dunod, Paris.

HIATT, J. & L. P. GARTNER (2012). *Atlas en couleurs d'histologie.* Traduction de la 5e édition américaine par J.-F. Bernar=udin, A. Fajac & R. Lacave, Pradel (Wolters Kluwer France), Rueil-Malmaison. [CDI]

KLEIMAN, C. (2001). *La reproduction des Angiospermes.* Belin, Paris.

LABERCHE, J.-C. (2004). *Biologie végétale.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.

LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), V. AUDEBERT, C. BRUNET, G. GUTJAHR, Y. JUSSERAND, A. MATHEVET, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2007). *SVT Sciences de la Vie et de la Terre Première S.* Bordas, Paris.

LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), A. ANDRÉ, C. BRUNET, J.-Y. DUPONT, B. FORESTIER, E. FRANÇOIS, Y. JUSSERAND, G. LÉVÊQUE, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2012). *Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S. Enseignement spécifique.* Bordas, Paris.

MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines.* Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6e édition américaine (2004) adaptée par R. Lachaîne.

MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).

MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.

PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris, 2e édition.

PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).

PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007*a*). *Biologie*. De Boeck, Bruxelles.

RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHHORN (2007*b*). *Biologie végétale*. De Boeck, Bruxelles. Traduction de la 7e édition américaine par J. Bouharmont, révision C. Evrard.

RICHARD, D., É. PÉRILLEUX (dir.), B. ANSELME, J.-C. BAEHR, J. CHAFFARD, J. MÉREAUX & P. VALET (1997). *Physiologie des animaux. Tome **1**. Physiologie cellulaire et fonctions de nutrition.* Nathan, Paris.

RICHARD, D., É. PÉRILLEUX (dir.), B. ANSELME, J.-C. BAEHR, J. CHAFFARD, J. MÉREAUX & P. VALET (1998). *Physiologie des animaux. Tome **2**. Construction de l'organisme, homéostasie et fonctions de relations.* Nathan, Paris.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET & T. SOUBAYA (2014). *Mémo visuel de Biologie. L'essentiel en fiches. Licence. Prépas. Capes*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2011).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2010).

ROBERT, D. & J.-C. ROLAND (1998*a*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **1**. Organisation cellulaire.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1989).

ROBERT, D., C. DUMAS & C. BAJON (1998*b*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **3**. La reproduction.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1994).

ROBERT, D. & A.-M. CATESSON (2000). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **2**. Organisation végétative.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1990).

ROJAT, D., M. JUBAULT-BREGLER (dir.), C. CORNILLON-BERTRAND, J.-M. DUPIN, C. GOISSET, B. MSHIHID, V. RICARD, L. RUER, F. SAINTPIERRE, B. SALVIAT, J.-M. VALLÉE & M. VIAL (2007). SVT *Sciences de la Vie et de la Terre 1re S*. Nathan, Paris.

SPERANZA, A. & G. L. CALZONI (2005). *Atlas de la structure des Plantes. Guide de l'anatomie microscopique des Plantes vasculaires en 285 photos.* Belin, Paris.

SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.

TAIZ, L. & E. ZEIGER (dir.) (2010). *Plant physiology.* Sinauer Associates, Sunderland (Massachussetts, USA), 5e édition (1e édition 1991).

[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme*. Maloine, Paris, 6e édition.

VINCENT, P. (1964). *Sciences naturelles. Classe de 2eM'*. Vuibert, Paris.

VINCENT, P. (1974). *Sciences naturelles. Classe de Terminale D*. Vuibert, Paris.

VOGEL, G. & H. ANGERMANN (1994). *Atlas de la biologie*. Illustrations R. & R. FAHNERT. Traduit de l'allemand. La Pochothèque, Librairie générale française, Paris.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme **1**
Introduction **1**

I. Des fluides circulants qui se déplacent dans des conduits **2**
A. Une discussion du caractère ouvert ou fermé des systèmes circulatoires des Angiospermes et des Mammifères **2**
B. Le système circulatoire des Angiospermes : des tissus conducteurs aux cellules tubulaires qui véhiculent des fluides intracellulaires (sèves) **2**
1. Le xylème, tissu résistant de cellules mortes à paroi lignifiée qui véhiculent la sève brute **2**
2. Le phloème, tissu de cellules vivantes à fine paroi pectocellulosique qui véhiculent la sève élaborée **3**
3. Des tissus proches, ce qui permet notamment les mouvements d'eau **3**
4. Des tissus qui peuvent s'obturer à la mauvaise saison **3**
C. Le système vasculaire des Mammifères : des vaisseaux qui endiguent un tissu liquide (sang) **4**
1. Des conduits véhiculant le sang : une vue d'ensemble **4**
a. Une même constitution de base 4
b. Différents secteurs vasculaires avec un volume sanguin variable, des vitesses chutant dans les capillaires et une pression décroissante des artères aux veines 5
c. Une relation entre débit sanguin et pression sanguine : la loi de Poiseuille (pour information ?) [encadré A] 6
2. Le réseau artériel, un réservoir de pression à rôle distributeur **6**
a. Les artères élastiques : maintien d'une pression sanguine élevée 6
α. Des pressions élevées à la sortie du cœur… 6
β. … amorties grâce à la compliance et l'élasticité des artères élastiques 7
b. Les artères musculaires et les artérioles : contrôle des débits dans les organes et atténuation de la pression sanguine 8
α. Un circuit résistif qui abaisse la pression sanguine 8
β. Un circuit qui contrôle le débit et la résistance périphérique par une vasomotricité liée au degré de contraction des cellules musculaires lisses (CML) 8
γ. L'existence de contrôles nerveux, hormonal et local de la vasomotricité 8
3. Les capillaires, zone de réalisation des échanges de matière entre sang et liquide interstitiel **10**
a. Les lits capillaires et la notion de microcirculation 10
b. La possibilité d'une variation de la microcirculation grâce aux CML 10
c. Des caractéristiques structurales et dynamiques facilitant les échanges 10
d. Trois types structuraux de capillaires : continus, fenêtrés et sinusoïdes 11
e. La diversité des substances échangées au niveau des capillaires 12
f. La diversité des modalités d'échanges : diffusion simple, diffusion facilitée, transcytose, filtration-réabsorption 12
4. Le réseau veineux, un réservoir de volume à rôle collecteur **13**
a. Un système capacitif qui permet le retour du sang au cœur 13
b. Les mécanismes du retour veineux : pression veineuse, pompe musculaire squelettique, pompe respiratoire, pompe artérielle 13
5. Bilan sur le système vasculaire des Mammifères **14**
D. Le système lymphatique des Mammifères : des vaisseaux à paroi fine, contractile et valvulés **15**

II. Des fluides circulants qui permettent des flux de matière dans l'organisme **16**
A. Les flux de matière chez les Angiospermes : les processus de charge et décharge des sèves **16**
1. La charge du xylème : une circulation radiale d'eau et de solutés constituant l'absorption racinaire **16**
2. La décharge du xylème en lien avec la circulation verticale ascendante de la sève brute **16**
3. La charge du phloème en photoassimilats au niveau des organes-sources : un processus apoplasmique ou symplasmique **16**
a. α. Un complexe phloémien « fermé » : la charge apoplasmique de saccharose par un symport saccharose/H^+ 16
b. Un complexe phloémien « ouvert » : la charge symplasmique passive de très courts oligosaccharides (stachyose, raffinose…) 17
4. La décharge du phloème en photoassimilats au niveau des organes-puits **17**
5. Une vision synthétique de la circulation chez les Angiospermes **17**
B. Les flux de matière chez les Mammifères **18**
1. Une vue d'ensemble : rôle des liquides circulants dans l'approvisionnement, la distribution et les pertes de matière chez les Mammifères **18**
2. L'importance de la disposition des organes au sein de la circulation dans les échanges gazeux respiratoires **19**
a. Une circulation générale et une circulation pulmonaire en série l'une par rapport à l'autre, permettant à l'ensemble du sang de transiter par les poumons 19
b. Au sein de la circulation systémique : des organes placés en dérivation qui bénéficient ainsi tous d'un sang hématosé 19
c. Au sein de la circulation systémique : quelques organes alimentés en sang veineux par des systèmes portes 19
3. La contribution des capillaires aux flux de matière : une illustration au travers de trois exemples **19**
a. Les capillaires continus des muscles squelettiques et l'approvisionnement essentiellement diffusif 19
b. Les capillaires fenêtrés des reins et l'ultrafiltration glomérulaire 19
c. Les capillaires sinusoïdes du foie et les échanges de masse, y compris protéiques 21

Quelques pistes pour construire une fiche de révision **22**
Références **23**
Plan du chapitre **24**

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en janvier 2016 • Dernière actualisation : mars 2017. Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : http://tanguyjean.businesscatalyst.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.