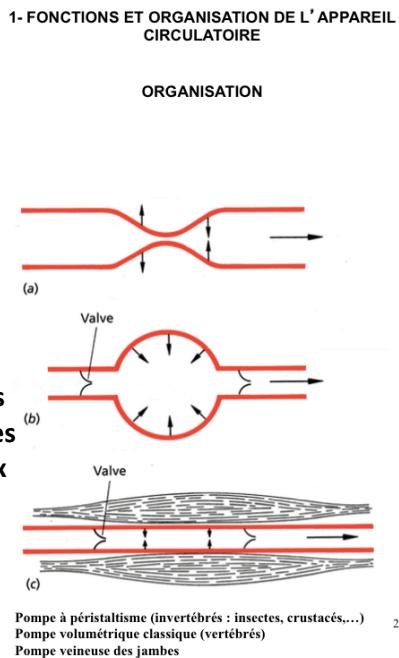
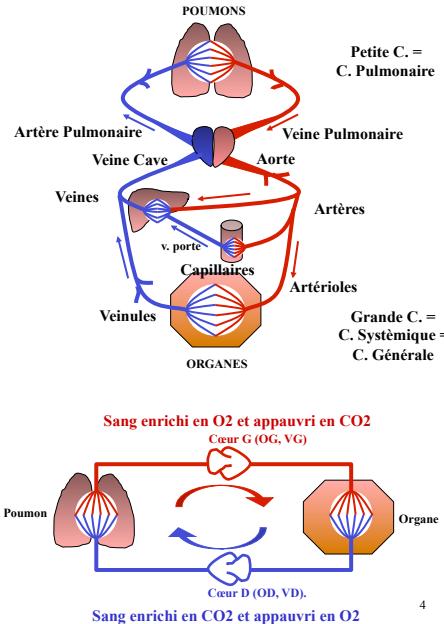


PHYSIOLOGIE : Circulation

Propagation au niveau veineux qui, du fait de la contraction musculaire, favorise le mouvement unidirectionnel du sang.



CIRCULATION : 2 pompes en série



sang qui provient du TD provient de la veine porte et déverse sang au niveau du foie: filtre hépatique. Tous les nutriments sont traités par le foie avant de revenir au ventricule droit.

Les vaisseaux sanguins sont des conduits qui transportent le sang dans l'organisme.

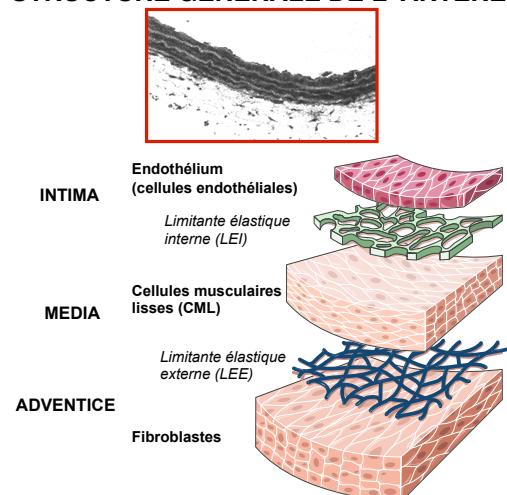
On distingue :

- les **veines**, qui transportent le sang des organes vers le cœur
- les **artères**, qui transportent le sang du cœur vers les organes
- les **capillaires** qui permettent les **échanges** (gaz, nutriments, déchets) entre le sang et les tissus
- les **lymphatiques**, qui sont borgnes et prennent naissance directement dans les tissus pour rejoindre ensuite le réseau veineux

Fonctions :

- Transport du sang (T. liquide et solutés)
- Echanges
- Communications (le sang transporte les hormones et les distribue à tout le corps)

STRUCTURE GENERALE DE L'ARTERE

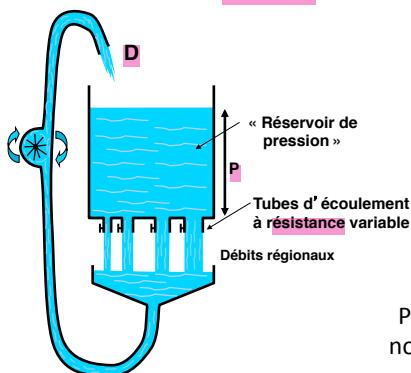


En coupe transversale, les artères présentent de l'intérieur vers l'extérieur :

- **L'intima** (tunique interne) : monocouche d'endothélium.
- **La media** (tunique moyenne) : cellules musculaires lisses mais aussi de collagène et d'élastine. Plus l'artère est de gros calibre, plus elle est riche en élastine.
- **L'aventice** (tunique externe), elle est composée de tissu conjonctif et de fibres de collagène et d'élastine.

La loi d'Ohm : $U = R \times I$
peut s'appliquer à la mécanique des fluides :

P = R x D



R = résistance

D = débit

Dans les artères, il y a un réservoir de pression, le cœur va pomper en permanence pour maintenir la pression à un certain niveau dans les artères. A partir de ce réservoir, on va avoir des tubes d'écoulements à résistances variables (artéries) qui vont conditionner les débits régionaux.

Pression est très constante et très bien maintenue, il y a en permanence une pression dans nos artères nécessaire à la circulation du sang, parce qu'à la base les artéries résistent à l'écoulement du sang varie. Et donc les débits régionaux vont eux même variés.

L'aorte :

La plus large des artères.

Sa **distensibilité** lui permet d'amortir les importantes élévations de pression lors de la contraction cardiaque (systole ventriculaire) puis le retour élastique de cette même paroi pendant la période de repos cardiaque (diastole ventriculaire) permet de conserver dans le réseau artériel une pression minimale (ou pression diastolique).

L'aorte se « ramifie » en de nombreuses artères.

Les artères pulmonaires :

Les artères pulmonaires sont des artères qui transportent le sang du cœur aux poumons.

Portent le nom d'artères, mais contiennent un sang «veineux» c'est-à-dire pauvre en O₂ (veineux : enrichi en CO₂).

La pression sanguine artérielle (PSA) = pression du sang dans les artères (= « grosses » artères) :

L'unité internationale de mesure de pression est le pascal (Pa).

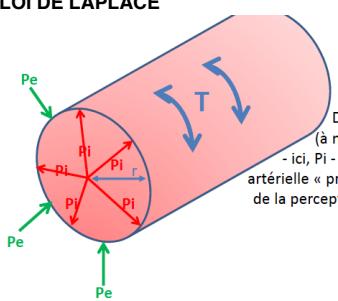
Toutefois, l'usage fait que la PSA est mesurée en millimètres de mercure (**mmHg**).

Mesure de la PSA :

- **invasive** = sanglante (introduction d'un cathéter dans l'artère)
 - **non invasive** (cf infra, mesuré grâce à l'application d'une **pression externe** qui augmente la pression interstitielle)

On parle aussi de **tension artérielle**, car cette pression est aussi la force exercée par le sang sur la paroi des artères, elle tend la paroi de l'artère.

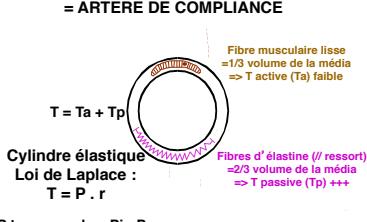
LOLDE LAPLACE



Il y a une proportionnalité directe entre pression et tension artérielle.

Il existe une relation directe (loi de Laplace) entre tension et pression. A condition que le rayon soit constant

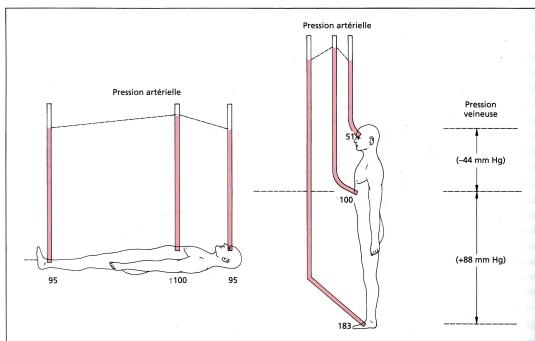
La tension est donc égale au produit de la pression par le rayon (on peut donc parler d'hypertension comme d'hyperpression).



PHYSIOLOGIE : Circulation

$$\text{Ohm : } \Delta P = R \times D$$

Artères : très peu de résistance à l'écoulement du sang



	Volume (mL)	Pression (mmHg)
Aorte	100	100
Artères	300	100-40
Artéries	50	40-30
Capillaires	250	30-12
Veinules	300	12-10
Veines	2 200	10-5
Veine cave	300	2

Il faut donc, en application de la loi d'Ohm, que la pression diminue.

Où se trouve le sang dans les vaisseaux ? La grande majorité (2/3) se trouve dans les veines.
Les veines sont capacitatives.

Pompe cardiaque : éjection intermittente de sang :

- du VG dans l'aorte
- du VD dans l'artère pulmonaire

Ejection intermittente => oscillations :

- Systole (contraction ventriculaire, éjection de sang)
- Diastole (relaxation ventriculaire)

PA Moyenne (PAM) = $(P_{\text{systolique}} + 2 \times P_{\text{diastolique}}) / 3 = 95 \text{ mmHg}$ (environ 100).

P. Systolique (pression maximale), pression diastolique (pression minimale).

Dans la suite de ce cours, nous ne raisonnons que sur la PAM.

Les artères sont très peu résistantes à l'écoulement du sang (quand le diamètre interne d'une artère fait plus d'1mm : peu de résistance à l'écoulement).

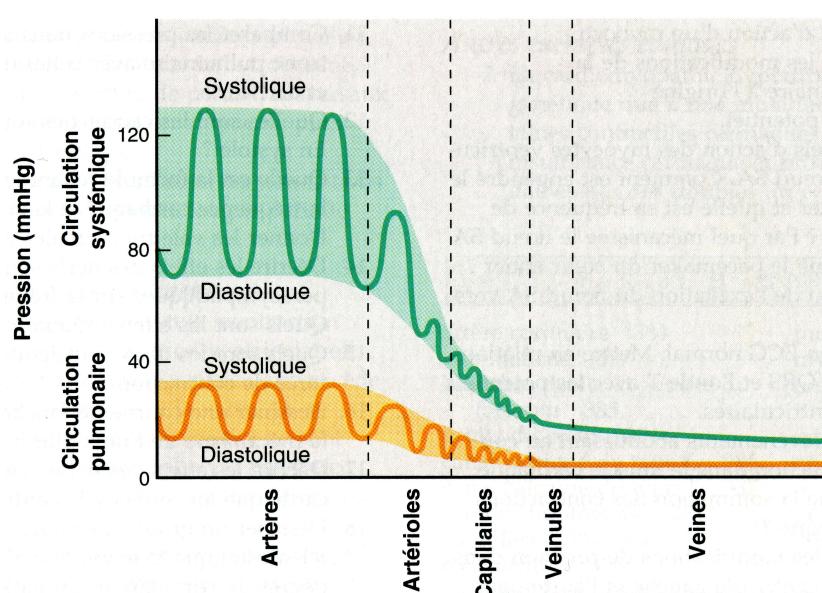
Si on mesure donc chez un sujet allongé la pression artérielle à 3 niveaux : on a à peu près la même pression. Le sang va s'écouler du cœur vers les extrémités car, comme la résistance est très faible, une toute petite différence de pression va servir à acheminer le sang vers les extrémités.

Chez un sujet debout, il va y avoir plus de pressions qui s'ajoutent du fait de la gravitation.

La pression dans l'aorte (100 mmHg) : quand on passe dans les artères, capillaires, artéries et veines, la pression chute progressivement pour faire circuler le sang.

100 mm au niveau des coeurs et 95 au niveau de la tête et des pieds.

On a les même delta allongée que couché, il n'y a pas plus de résistance à l'écoulement dans tel ou tel position



Cette pression oscille dans les artères, et même dans les artéries et les capillaires.

Dans la petite circulation, il se passe la même chose que dans la grande en divisant tout par 5 : PA pulmonaire = PA systémique / 5

PHYSIOLOGIE : Circulation

Les artéries :

Elles font suite aux artères de plus gros calibre, et amenant le sang dans les capillaires. Elles sont des artères de **petit calibre** :

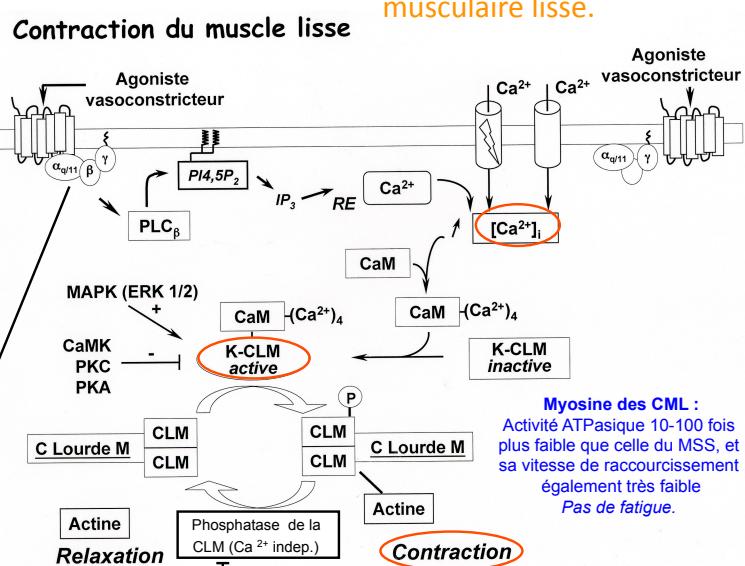
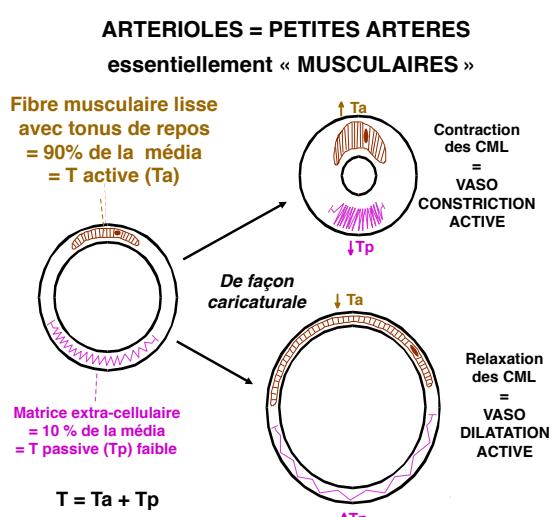
Définition fonctionnelle d'une artériole : diamètre interne = environ **300 à 30 µm**.

Les artéries opposent une **résistance** à l'écoulement du sang.

Leur paroi (en particulier la média) est **innervée** par le **SN orthosympathique**, dont l'activation peut provoquer :

- la contraction des cellules musculaires lisses
- une augmentation de la résistance à l'écoulement sanguin = vasoconstriction
- une réduction du débit sanguin tissulaire

Le SN orthosympathique exerce en permanence un certain degré de vasoconstriction = **tonus vasoconstricteur** au niveau de la plupart des territoires artériolaires. **90 % de la média sont constitués de cellule musculaire lisse.**

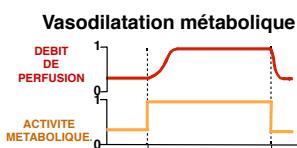


VASOMOTRICITE = Propriété qu'ont les vaisseaux sanguins de changer de diamètre.
-soit par une **vasoconstriction** = diminution du diamètre des artéries = Augm. résistance
- soit par une **vasodilatation** = augmentation du diamètre des artéries = Dimin. résistance

Loi de Poiseuille

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

Plus un liquide est visqueux, plus cela freine l'écoulement d'un liquide dans un tuyau;



Débit cardiaque et débits sanguins régionaux au repos et au cours d'un exercice physique intense

	REPOS ml/min	EXERCICE ml/min
Cerveau	750	Autorégulation 750
Cœur (a. coron.)	250	750
Muscles squelettiques	1 200	15 000
Peau	500	1 900
Rein	-	20 000
Organes abdominaux	-	-
Autres	-	-
TOTAL = DC	5 000	

Débit proportionnel au rayon puissance 4. Quand le débit double, le rayon est augmenté de 16 fois (2 puissance 4)

Quand l'activité métabolique d'un tissu augmente (MSS par exemple au cours de la contraction), le débit de sang dans le muscle augmente.

Lorsqu'on arrête l'activité métabolique, chute de ce débit sanguin. Lors de l'activité, on observe en effet une vasodilatation des vaisseaux.

Le débit cardiaque est, au repos, de **5L/min**. Comment se distribue-t-il ?

Le débit cardiaque c'est la somme de tous les débits régionaux.

- Cerveau : 750 mL/min
- Artères coronaires du cœur : 250 mL/min
- MSS : 1200 mL/min
- Peau : 500 mL/min

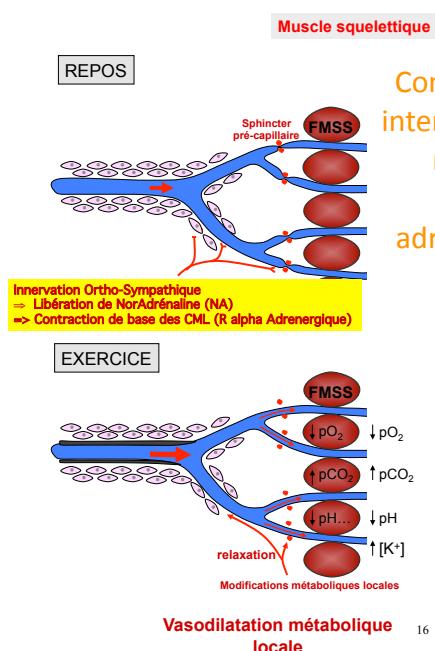
Evolution de ce débit au cours d'un exercice physique : augmentation du débit d'un facteur 4 (20L/min).

Par rapport l'état de repos, le débit du rein diminue pour favoriser l'exercice physique.

PHYSIOLOGIE : Circulation

Distribution :

- cerveau : pas de variation grâce à un mécanisme d'auto-régulation : 750 mL/min
- Artères coronaires : 750mL/min
- MSS : 15 000 mL/min
 - o 15 litres par minute vont, sur les 20 L (soit 3/4) du débit cardiaque, aux MSS.
- Peau : augmentation du débit pour la thermorégulation



Fonctionnement du débit sanguin au niveau du MSS :

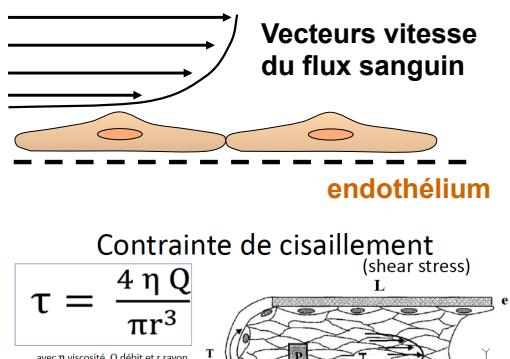
Contraction par intermédiaire des récepteur Alpha adrénnergétique

- *Au repos* : débit relativement faible. Du fait de l'innervation orthosympathique, on assiste à une **vasoconstriction** qui induit que les sphincters pré-capillaires : pas de débit de sang dans le muscle strié squelettique au repos.

- Au cours d'un *exercice physique* : lorsqu'il va se contracter, il consomme de l'oxygène, diminution de la pression partielle en oxygène, augmentation de la pression partielle en CO₂ par rejet de CO₂, combinaison de CO₂ et acidification (pH diminue), augmentation du potassium interstitiel = **extracellulaire**

→ Modifications métaboliques locales qui provoquent la relaxation des cellules musculaires lisses : vasorelaxation artériolaire : **vasodilatation métabolique locale** (l'emporte sur l'orthosympathique) et augmentation du débit sanguin.

Contraintes mécaniques sur l'endothélium : Cisaillement = Shear stress



Fluide visqueux : perte de charge dans l'écoulement laminaire liée à la force de frottement sur l'endothélium vasculaire = contrainte de cisaillement τ qui tendrait à entraîner dans le courant les cellules endothéliales

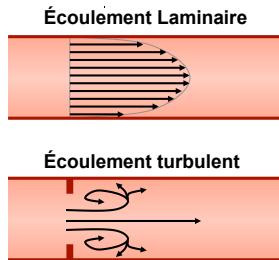
L'équilibre s'écrit en tenant compte que la perte de charge $\frac{\Delta P}{L}$ agit sur la section πr^2 et la contrainte de cisaillement τ sur le périmètre $2\pi r$

$$\tau \cdot 2\pi r \cdot L = \Delta P \cdot \pi r^2 \Rightarrow \tau = \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{r}{2}$$

Par la loi de Poiseuille : $\frac{\Delta P}{L} = \frac{8\eta}{\pi} \frac{Q}{r^4}$ $\tau = \frac{8^4 \eta Q r}{\pi r^{43} 2} \Rightarrow \tau = \frac{4\eta Q}{\pi r^3}$

Le frottement du sang sur l'endothélium entraîne un cisaillement. On peut calculer les contraintes tau proportionnelles à la viscosité des liquides.

REGIMES D' ECOULEMENT DU SANG



PHYSIOLOGIE : Circulation

Se produit lorsque les parois du vaisseaux et des vecteurs vitesses sont //: écoulement silencieux

Rétrécissement du vaisseau : écoulement turbulents, non laminaire, accélération centrale du flux, les vecteurs vitesses ne sont plus parallèles → importance majeure sur l'endothélium.

vecteur vitesse deviennent anarchique : non prédictible.

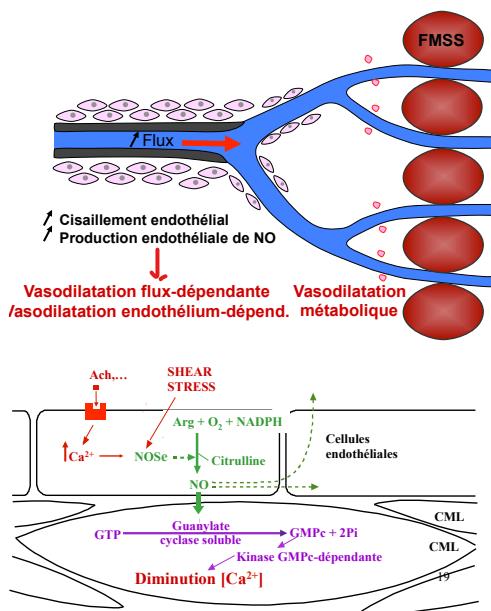
3 exemples d'application :

- 1) Effet du cisaillement aigu sur la fonction endothéliale
- 2) Effet du cisaillement chronique sur la structure endothéliale
- 3) Utilisation de l'écoulement turbulent pour la mesure non invasive de la PSA

18

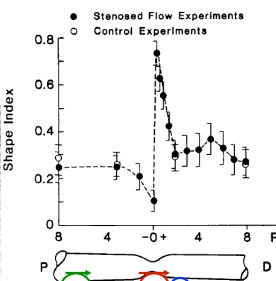
convertit arg en présence d'oxygène et NADPH

1) Effet aigu du cisaillement endothérial sur une fonction de l'endothélium (NO) : Rôle dans l'adaptation à l'EXERCICE



2) Impact du cisaillement sur la structure (morphologie) de l'endothélium

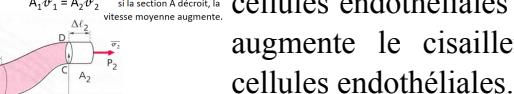
Expérience : sténose (de 70%) au niveau de l'aorte abdominale pendant 12 semaines chez un animal (chien). Coloration des jonctions inter-endothéliales.



Équation de continuité

• Loi de conservation du débit : le produit de la section du conduit et de la vitesse du fluide est constant

$A_1 \bar{v}_1 = A_2 \bar{v}_2$ si la section A décroît, la vitesse moyenne augmente.



- Point C : en *aval* de la sténose : présence de turbulences. On peut observer un aspect polyédrique (pavimenteux) des cellules endothéliales.

→ Le cisaillement chronique à une influence profonde sur la morphologie de l'endothélium.

PHYSIOLOGIE : Circulation

10:30

3) Mesure non invasive de la PSA

Elle est faite classiquement par un brassard gonflable circulaire relié à un manomètre, appelé **tensiomètre** ou **sphygmomanomètre**.



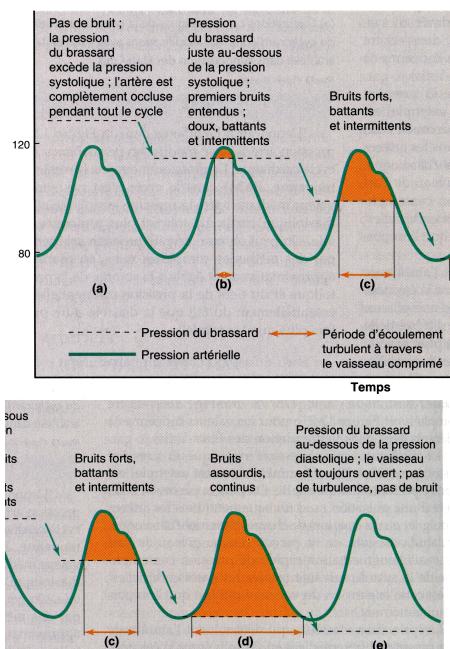
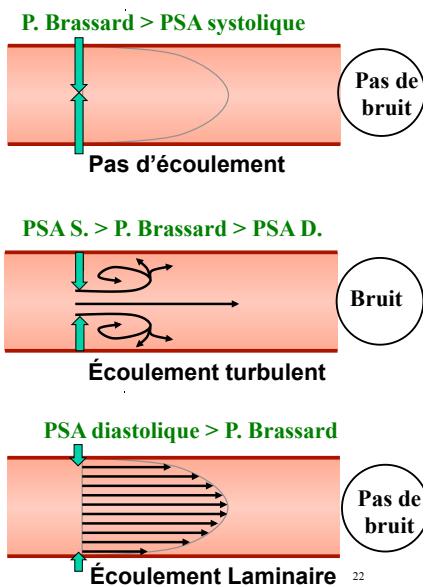
Le **sphygmomanomètre manuel** =

- un brassard gonflable relié à un manomètre,
- une poire servant à augmenter la **pression** dans le manchon autour du bras => augmentation de la P interstitielle autour de l'artère jusqu'à ce que $> P$ artère
- équipée d'une soupape permettant de faire diminuer progressivement pour effectuer la mesure.

Conjointement, un **stéthoscope** permet de détecter le **bruit (turbulences)** au niveau de l'artère en aval du brassard, quand la Pression brassard devient $< P$ systolique.

En lisant à cet instant la valeur indiquée par le manomètre, on obtient la mesure de la **PSA systolique**.

REGIMES D' ECOULEMENT DU SANG



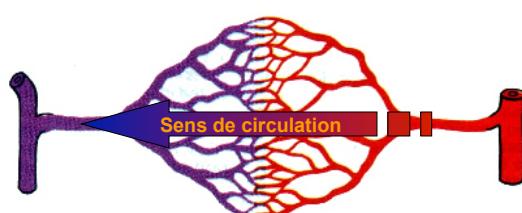
Le réseau capillaire :

Les capillaires sont les plus petits vaisseaux sanguins ($5 \text{ à } 6 \mu\text{m}$ diamètre, $0,5 - 1 \text{ mm}$ long) = une **monocouche de cellules endothéliales** et une membrane basale.

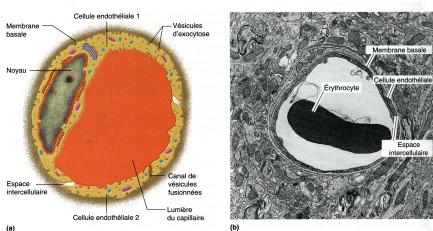
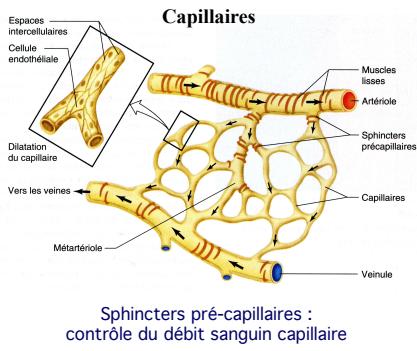
Ils assurent les **échanges** entre tissu sanguin et tissus périphériques

Surface échange = $500 - 1000 \text{ m}^2$.

Leur paroi est perméable à l'eau, aux électrolytes, aux gaz (O_2, CO_2) et aux nutriments (acides aminés, glucose, lipides, vitamines ...) => permet la nutrition des cellules et l'évacuation des déchets du métabolisme cellulaire.



PHYSIOLOGIE : Circulation



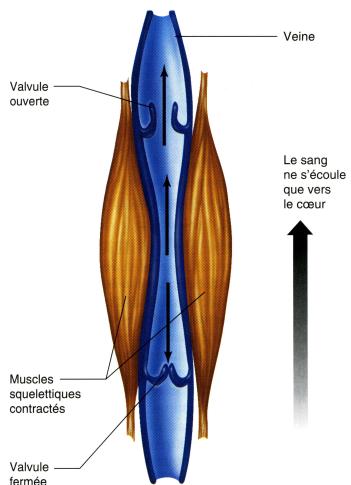
Les **veinules** prennent naissance après le versant veineux capillaire.

Les **veines** sont issues de la fusion des veinules en vaisseaux de plus gros calibre, ces dernières amènent le sang au cœur. Elles possèdent une paroi élastique et des **valvules** permettant la circulation sanguine à sens unique.

Les **veines de gros calibre** donnant naissance en se fusionnant à des veines caves, achèvent de ramener le sang vers le cœur.

Les **veines pulmonaires** ramènent du sang oxygéné des poumons vers l'oreillette gauche du cœur.

Veines périphériques : valvules



Défiance des valvules : favorise le stockage de sang dans les veines → **varices** (dilatation des veines car les valvules ne fonctionnent donc plus).

En l'absence de bon fonctionnement du système lymphatique, on peut assister à une apparition d'œdème.

Transsudation de liquide interstitiel => lymphé (4 L/j)

